

VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

# VTEI/2023/5

TÉMA

## Ochrana vody v krajině

- 4/ Přímý monitoring výparu z vodní hladiny Vavříneckého rybníka a jeho vliv na celkovou hydrologickou bilanci
- 10/ Výstražný systém na sucho a místní směrodatné limity
- 42/ Rozhovor s RNDr. Radimem Tolaszem, Ph.D., klimatologem  
Českého hydrometeorologického ústavu

# Psali jsme před 60 lety

Časopis TECHNICKÉ INFORMACE Z OBORU VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ se v třetím čísle roku 1959 zabýval velmi zajímavým problémem. Šlo o možné způsoby odpuzování ryb od česlí vodních elektráren, aby se zabránilo zbytečnému poranění ryb, či dokonce jejich usmrcení.

Před vtoky do vodních elektráren se osazují česle, které chrání turbíny před poškozením většími předměty a brání přístupu ryb do turbín, v nichž často dochází k jejich poranění nebo usmrcení. Protože vestavěním česlí do vtokového profilu vznikají ztráty na spadu, a tím i na výrobě elektřiny ve vodní elektrárně, projevuje se již po delší dobu snaha zkonstruovat zařízení na odpuzování ryb od vtoků do vodních elektráren, čímž by bylo umožněno používání jen řídkých česlí s malými ztrátami.

Bylo provedeno mnoho pokusů u nás i v zahraničí, jež ukázaly, že právě turbíny rychloběžné a s větším počtem lopatek mají největší podíl na usmrcování ryb. Podle výsledků Ing. Rabena, uveřejněných v čís. 3/1957 časopisu *Die Wasserwirtschaft*, je pro posouzení turbíny z tohoto hlediska rozhodná tzv. kritická nárazová rychlost (součin oběžné rychlosti a průměru oběžného kola). Kdyby se podařilo při dimenzování turbín tyto kritické rychlosti nepřekročit, bylo by řešení problému značně usnadněno. Jiné možnosti dává použití elektrického pole vytvořeného speciálními elektrodami před vtokem nebo ultrazvuku.

Jako elektrod se používá tyčí hrubých česlic umístěných na začátku vtokového kanálu. Navrhují se též elektrody zavěšené, které lze umístit v libovolné potřebné poloze. Odpuzování ryb ultrazvukem je dosud ve stadiu výzkumu. Podle názoru některých odborníků si však ryby časem na ultrazvukové impulsy zvykají a nereagují na ně.

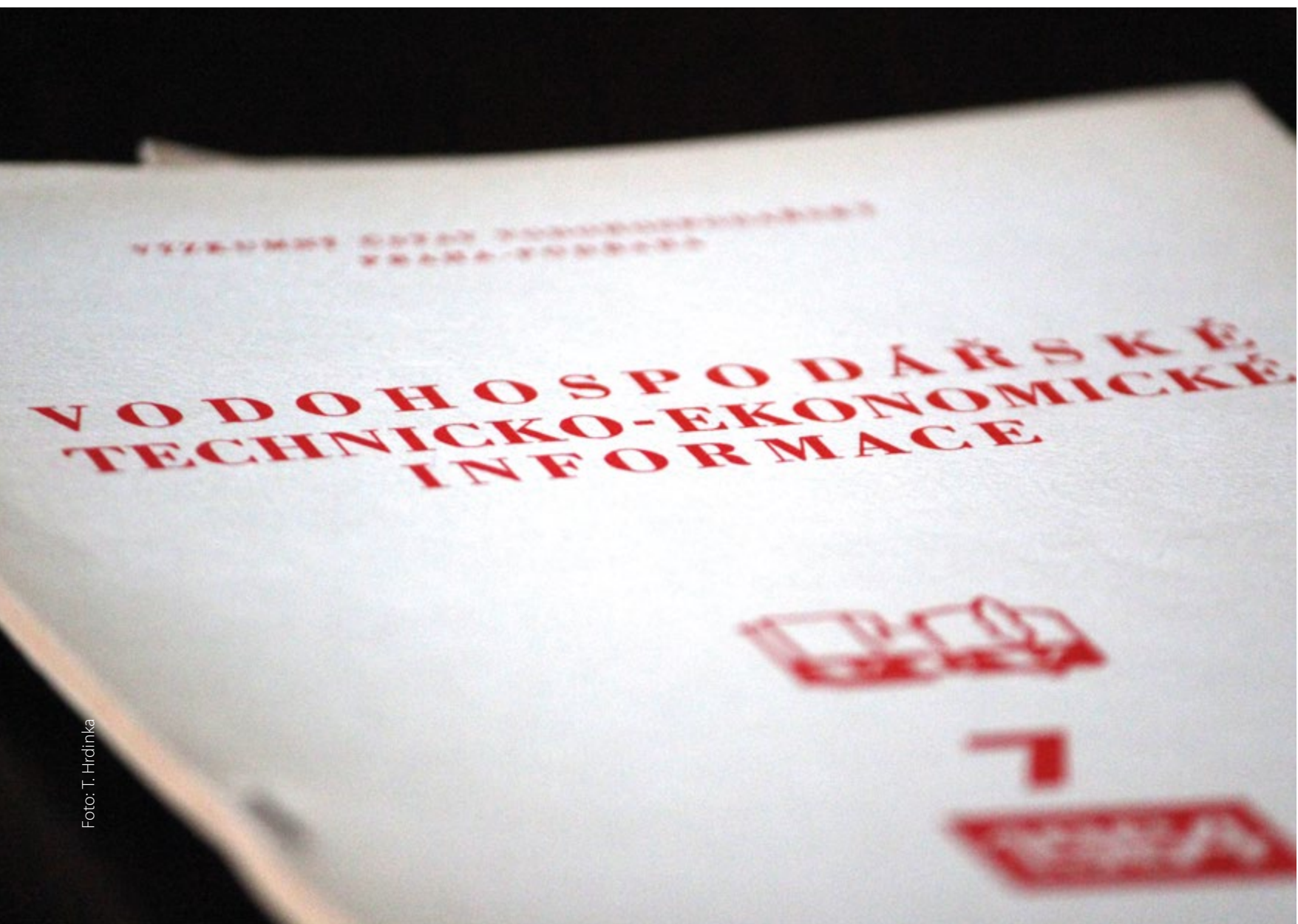
Odpuzující účinek ultrazvuku na ryby není sice dosud dostatečně prozkoumán, lze však předpokládat, že by mohl mít své uplatnění při odpuzování ryb pouze jako doplněk k zesílení účinku elektrofysiologického odpuzovacího zařízení.

Ultrazvukový generátor je popsán v Inženýrských stavbách č. 5757. Tento ultrazvukový generátor a budiče jsou zatím výrobkem vývojovým, který se ověřuje při měření na přehradních blocích.

Při navrhování odpuzovacích zařízení je třeba uvážit všechny podmínky provozu hydrocentrály a okolnosti, jež nastávají při velkých vodách a chodu ledu, kdy může snadno dojít k poškození nebo i zničení příslušného zařízení.

Z archivu VÚV TGM

Redakce VTEI



# Obsah



## 3 Úvod

## 4 Přímý monitoring výparu z vodní hladiny Vavříneckého rybníka a jeho vliv na celkovou hydrologickou bilanci

Adam Beran, Václav David, Radovan Tyl



## 10 Výstražný systém na sucho a místní směrodatné limity

Adam Vizina, Petr Pavlík, Irina Georgievová, Martin Pecha, Martin Hanel, Martina Peláková, Miroslav Trnka, Radek Čekal, Eva Melišová, Radek Vlnas



## 16 Chráněná území pro akumulaci povrchových vod z pohledu hydrogeologa – vliv případné realizace akumulace povrchových vod na hydrogeologické poměry

Jiří Prinz, Pavel Eckhardt, Roman Kožíň



## 24 Studium morfologických změn vodních toků a jeho uplatnění při navrhování přírodě blízkých koryt

Petr Sklenář

## 34 Budou průtoky ve vodních tocích v létě k horizontu roku 2060 o polovinu menší?

Ladislav Kašpárek, Martina Peláková

## 42 Rozhovor s RNDr. Radimem Tolaszem, Ph.D., klimatologem Českého hydrometeorologického ústavu

Adam Beran, Adam Vizina

## 46 „Centrum Voda“

Anna Hrabánková, Josef V. Datel, Adam Beran, Petr Sklenář, Roman Kožíň, Vojtěch Moravec



# Vážení čtenáři,

vítáme vás u stránek říjnového vydání časopisu VTEI, které je zasvěceno jednomu z nejstarších oborů vodního hospodářství – hydrologii. Říjnové číslo má sice monotematický charakter, skladbou příspěvků je však velmi pestré.

První článek je zaměřen na studium vlivu malých vodních nádrží na celkovou hydrologickou bilanci. Shrnuje výsledky pozorování uskutečněných prostřednictvím plovoucích výparoměrných stanic umístěných na Vavříneckém rybníce ve Středočeském kraji. Vzhledem k tomu, že během tříletého pozorování celkový výpar v průběhu výparoměrné sezony převyšoval množství srážek o více než 100 mm, znamená tato skutečnost z pohledu dlouhodobé bilance úbytek vody ve vodním toku. Podrobnosti o tom, že i přesto vliv malých vodních nádrží na celkovou hydrologickou bilanci není černobílý, naleznete v příspěvku Adama Berana (VÚV TGM).

V době, kdy jih Evropy letos postihlo extrémní sucho spojené s rozsáhlými požáry v oblastech Středomoří, a naopak Slovinsko a skandinávské země se v srpnu potýkaly s extrémními povodněmi, je logicky diskutovaným tématem zavádění, případně vylepšování systémů výstražných informací. Z pohledu hydrologie jde o vytváření nástrojů pro dlouhodobou predikci stavu vodních zdrojů a stavu sucha. Příspěvek přináší informaci o stanovování směrodatných limitů pro vodní zdroje určeném pro přípravu plánů na zvládání sucha a nedostatku vody. Tyto limity jsou analogií povodňových stupňů a slouží k operativnímu řízení sucha. Více pak v článku Adama Viziny a kol. (VÚV TGM).

Příspěvek Jiřího Prinze, Pavla Eckhardta a Romana Kožína (VÚV TGM) se zabývá územími chráněnými pro akumulaci povrchových vod z pohledu hydrogeologického a současně představuje důležité aspekty ochrany těchto území i význam, který mají tato území pro udržitelné využívání vodních zdrojů. Jelikož existují i potenciálně negativní vlivy výstavby plánovaných nádrží na podzemní vody, je nezbytné posuzovat dané lokality z hydrogeologického hlediska individuálně.

Studium morfologických změn vodních toků a uplatnění výsledků tohoto studia je dalším tématem, jemuž se autoři v tomto čísle věnují. Příspěvek

Petra Sklenáře (VÚV TGM) shrnuje výzkum vzniku a vývoje morfologie vodního toku v úseku toku na přechodu od opevněného koryta s tvarově fixovanými břehy a dnem ke korytu, které může být dále a zcela nekontrolovaně morfologicky přetvářeno.

Zpravidla se říká, že budoucnost je nejistá. Ale jak moc nejistá je budoucnost našich vodních toků? Analýza průtoků a trendů nám dovoluje položit otázku: O kolik budou průtoky ve vodních tocích do roku 2060 menší a nakolik je správné změnu potenciální evapotranspirace považovat za zvýšení reálné evapotranspirace nebo zmenšení odtoku? Více v příspěvku Ladislava Kašpárka (VÚV TGM).

Pro rozhovor do říjnového vydání VTEI jsme si vybrali významnou osobnost české i světové klimatologie – vedoucího oddělení klimatické změny Českého hydrometeorologického ústavu a experta Světové meteorologické organizace (WMO) pro klimatická data Radima Tolazse. Naše otázky směřovaly nejen na „tradiční“ téma změny klimatu, ale v rozhovoru jsme se dotkli i jeho profesních začátků či soukromé aktivity, např. v podobě sepsání „Klimatického desatera jednotlivce“.

Příspěvek Anny Hrabánkové (VÚV TGM), který letošní říjnové číslo uzavírá, čtenářům podá bližší informace o projektu „*Centrum Voda*“, jehož cílem je nalezení vhodných opatření pro zachování vodních zdrojů pro zásobování vodou v oblastech, kde již dochází nebo by mohlo v budoucnosti dojít k jejímu nedostatku, a to konkrétně o jeho části nazvané „Voda pro lidi“.

Doufáme, že vás příspěvky říjnového čísla časopisu VTEI zaujmou a poskytnou vám užitečné informace.

S přáním příjemného čtení a inspirativního objevování světa hydrologie

Redakce VTEI

# Přímý monitoring výparu z vodní hladiny Vavříneckého rybníka a jeho vliv na celkovou hydrologickou bilanci

ADAM BERAN, VÁCLAV DAVID, RADOVAN TYL

**Klíčová slova:** plovoucí výparoměr — Vavřínecký rybník — výpar z vodní hladiny — hydrologická bilance

## ABSTRAKT

Vlivem zvýšené průměrné teploty vzduchu dochází ke zvyšování výparu vody z vodní hladiny. Plovoucí výparoměr monitoruje výpar z vodní hladiny spolu se základními meteorologickými veličinami přímo na hladině vodní nádrže, jeho výsledky by tedy měly být přesnější než výpočet na základě dat z přilehlých meteorologických stanic. V letech 2020–2022 byl sledován výpar z vodní hladiny plovoucím výparoměrem na Vavříneckém rybníce ve Středočeském kraji. Výsledky ukazují ve všech třech letech výpar převyšující srážky o více než 100 mm v období duben až září. Tato skutečnost z pohledu dlouhodobé bilance v principu znamená úbytek vody ve vodním toku za předpokladu zachování objemu vody v nádrži. Problematika vlivu malých vodních nádrží na hydrologickou bilanci je nicméně velice komplexní téma, kde posouzení negativních a pozitivních vlivů není vždy černobílé a vyžaduje podrobné zkoumání.

## ÚVOD

Na území České republiky (ČR) se v posledních desetiletích zvyšuje průměrná teplota vzduchu, za posledních 60 let to bylo o více než 2 °C [1]. Se zvyšující se teplotou dochází ke zvýšenému výparu vody ze všech povrchů české krajiny, ať už jsou to pole, lesy, nebo vodní plochy. Úbytek vody výparem je při vyrovnané bilanci kompenzován srážkovými úhrny, nicméně celkové srážkové úhrny na území ČR se příliš nemění a zůstávají s různými výkyvy na stejné úrovni. Z toho vyplývá, že v rámci ČR v oblastech s nižšími dlouhodobými srážkovými úhrny, jako jsou např. oblasti jižní až střední Moravy, Polabí, Poohří nebo dolního toku Vltavy, dochází k navyšování záporného rozdílu srážek a výparu. V těchto oblastech převyšuje celkový územní výpar srážky, a proto jsou dlouhodobě deficitní.

V posledních letech je snahou pro území ČR navrhovat a přijímat adaptační opatření, jež by podpořila zadržení vody v krajině a dokázala snížit celkový deficit vody. Jedním z diskutovaných opatření je výstavba či obnova malých vodních nádrží (MVN). Dle ČSN 75 2410 jde o nádrže s maximální hloubkou 9 m a objemem ovladatelného prostoru do 2 mil. m<sup>3</sup> [2]. MVN mají potenciál v suchém období nadlejšovat průtok pod hrází, stejně tak přínosné může být navyšování hladiny podzemní vody v okolí nádrže. Dopady na hydrologickou bilanci mohou být ovšem také negativní, a to zejména nevhodným zvolením funkce MVN nebo jejím umístěním v rámci ČR. Při nedostatečném přítoku do MVN a zvolením oblasti s dlouhodobou zápornou vláhovou bilancí bude docházet k nadměrnému vypařování vody, a vliv na hydrologickou bilanci vodního toku tak může být negativní.

Vyčíslení ztrát vody výparem pro konkrétní MVN je možné vypočítat, přesnější údaje však lze získat přímým monitoringem za využití výparoměru. VÚV TGM se zabývá přímým monitoringem výparu již od padesátých let minulého století [3]. V posledních letech jsou k určení výparu z vodních ploch používány plovoucí výparoměry, jež jsou umístěny přímo na hladině vodních ploch, a dokážou tak nejlépeji postihnout meteorologické podmínky konkrétních nádrží.

V příspěvku jsou popsány výsledky měření výparu plovoucím výparoměrem z vodní plochy Vavříneckého rybníka v letech 2020–2023 a jeho vliv na celkovou hydrologickou bilanci. V závěru jsou diskutovány klady a zápory využití MVN jako adaptačního opatření podporujícího zadržení vody v krajině.

## METODIKA

### Projekt „Vliv malých vodních nádrží na hladinu podzemních vod a celkovou hydrologickou bilanci s důrazem na suchá období“ (TITSMZP809)

Vliv výparu z vodní hladiny na celkovou hydrologickou bilanci MVN byl řešen v letech 2019–2022 v rámci programu Technologické agentury ČR (TA ČR) Beta2 „Vliv malých vodních nádrží na hladinu podzemních vod a celkovou hydrologickou bilanci s důrazem na suchá období“ pro Ministerstvo životního prostředí (MŽP). Hlavním cílem projektu bylo posoudit vliv MVN na hydrologickou bilanci a její složky v různém prostorovém měřítku. Analýza byla provedena v blízkém okolí MVN, ve zdrojových povodích a v povodích se soustavami rybníků a MVN. Hydrologická bilance byla posuzována zejména s ohledem na vliv MVN na hladinu podzemní vody, výpar a odtok. Aktivita vycházela z přímého monitoringu vybraných hydrologických veličin na MVN, z analýz blízkého okolí MVN prostřednictvím dat dálkového průzkumu Země, odhadu složek hydrologické bilance hydrologickými modely spolu s popisem nejistot, odhadu fyzikogeoграфických charakteristik MVN a dotčených povodí a z regionální analýzy charakteristik MVN [4].

### Projekt „Centrum Voda“ (SS02030027)

Po skončení výše zmíněného projektu přešel výzkum přímého monitoringu výparu z vodní hladiny na Vavříneckém rybníce pod pracovní balík WP3 „Adaptační opatření na povrchových a podzemních vodách v deficitních

oblastech“, který je součástí výzkumného projektu SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum voda)“ řešeného v rámci Programu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí – Prostředí pro život (Podprogram 3 – Dlouhodobé environmentální a klimatické perspektivy) spravovaného TA ČR. Uvedený pracovní balík má za cíl pro deficitní oblasti ČR posoudit možná adaptační opatření s ohledem na předpokládané scénáře změny klimatu. Mezi zkoumaná možná adaptační opatření patří převody vody, umělá infiltrace, ochrana a podpora podzemních vodních zdrojů, změna manipulace či navýšení zásobního prostoru stávajících vodních/suchých nádrží, výstavba či obnova MVN, podpora přirozené infiltrace prostřednictvím retence vody v krajině a realizace hájených lokalit pro akumulaci povrchových vod. Přesné určení výparu z vodní hladiny hraje roli při navrhování či obnově MVN jako adaptačního opatření.

## Rybník Vavřinec

Vavřínecký rybník se rozprostírá ve Středočeském kraji na horním toku Výrovky (ř. km 49,4) přibližně 3 km severně od Uhlířských Janovic v okrese Kutná Hora. S rozlohou hladiny přibližně 71 ha a objemem přes 1 mil. m<sup>3</sup> patří k největším MVN ve Středočeském kraji a mezi ty velké náleží i v celostátním měřítku. Je napájen Výrovkou přitékající od Uhlířských Janovic a Ostašovským potokem přitékající od jihozápadu. Plocha povodí k profilu hráze činí 60 km<sup>2</sup>.

Lokalita se nachází v hydrogeologickém rajonu 6531 Kutnohorské krystalinikum. Jde o typické prostředí hydrogeologického masivu s výskytem puklinově propustných hornin. K infiltraci srážek dochází prakticky v celé ploše území, s výjimkou ploch s výskytem sprašových, málo propustných hornin, kde je infiltrace velmi omezena. Přírodní zdroje podzemních vod jsou spíše podprůměrné, hodnoty specifického podzemního odtoku uvádí Krásný a kol. [5] kolem 1,5–2 l/s/km<sup>2</sup>, bilanční výpočty ČGS z roku 2006 počítají s hodnotou 2,19 l/s/km<sup>2</sup>, čemuž odpovídá infiltrace na úrovni zhruba 8 % úhrnu celkových srážek. Dlouhodobé novější hodnoty přírodních zdrojů za období 1981–2019 uvádí Kašpárek a kol. [6], jehož výpočty na základě hydrologických metod pro hydrogeologický rajon (HGR) 6531 odpovídají hodnotě 1,5 l/s/km<sup>2</sup>; jde tedy v daném HGR o zmenšení přírodních zdrojů ve srovnání se staršími údaji, zejména vlivem suchého období 2014–2019.

## Plovoucí výparoměr

Výparoměr plovoucí na hladině vodní plochy dokáže nejlépe simulovat meteorologické podmínky dané vodní nádrže. Jde o věrné zachycení teploty vody, která se v klasických zakopávaných výparoměrech ve srovnání s podmínkami vodních ploch na jaře rychleji ohřívá a na podzim zase rychleji chladne. Vodní plochy totiž mají díky svému velkému objemu určitou setrvačnost, a proto je teplota stálejší než v samotné měrné nádobě. Stejně tak je monitoring výparu přímo na vodní hladině reprezentativnější s ohledem na další podmínky ovlivňující tento proces, jako je oslnění a především rychlost větru.

Plovoucí výparoměr používaný na rybníce Vavřinec (obr. 1) je tvořen nosnou konstrukcí zahrnující plováky a vlnolamy, jejíž součástí je měrná nádoba o průměru 620 mm. Zařízení je napájeno pomocí akumulátoru dobíjeného 2 ks solárních panelů (à 20 W). Nádoba je vybavena obousměrným čerpadlem, které napouští/vypouští vodu do/z výparoměrné nádoby v případě změny hladiny od referenční hodnoty o 5 cm.

Senzorové vybavení:

- H7-G-TA4-NZ – univerzální multikanálová monitorovací jednotka s GSM/GPRS modulem
- Přesný snímač výšky hladiny výparoměru, rozsah 0–400 mm
- RVT13/RK – snímač relativní vlhkosti vzduchu a teploty vzduchu

- WD360 – snímač směru větru
- WS103 – anemometr v celokovovém provedení
- PT100-KP – snímač teploty vody, čtyřvodičové připojení
- RDH11 – detektor deště s řízeným vytápěním
- NR LITE2 – Net radiometr Kipp & Zonen



Obr. 1. Plovoucí výparoměr

Fig. 1. Floating evaporation meter

## DATA

Data jsou zaznamenávána v 10minutovém intervalu a odesílána na server 3 x denně v 1:00, 7:00 a 19:00 hodin na základě GSM přenosu dat. Výpar a srážky jsou měřeny na základě 1minutového záznamu hladiny vody ve výparoměrné nádobě v kombinaci s detektorem deště (v případě detekce deště je zvýšení hladiny způsobeno srážkami) a informacemi o dopouštění/vypouštění vody do/z nádoby. Průměrné denní hodnoty meteorologických veličin jsou počítány jako průměr z 10minutových měření v daném dni. Hodnoty výparu a srážek jsou odvozovány z 1minutových záznamů.

Sledované meteorologické veličiny – výpar [mm], srážky [mm], solární radiace [W/m<sup>2</sup>], teplota vzduchu [°C], teplota vody ve výparoměru [°C], teplota vody v hloubkách 0,5–1–1,5–2–2,5 m [°C], rychlost větru [m/s], okamžitá rychlost větru [m/s], směr větru [0–360°], relativní vlhkost vzduchu [%].

Meteorologická data byla zaznamenávána plovoucím výparoměrem, pro verifikaci byla použita data z měřické sítě ČHMÚ ze stanice P3STAN01 Vavřinec, Žišov. Vodoměrné stanice na přítoku a odtoku (obr. 2) byly zřízeny v rámci projektu TITSMZP809 v roce 2019 a v minutovém kroku zaznamenávají vodní stav na přítoku – Ostašovský potok, Výrovka a odtok – Výrovka pod hrází Vavříneckého rybníka. V rámci projektu byly zřízeny mělké (hloubka do 9 m) monitorovací vrty pro pozorování hladiny podzemní vody v okolí rybníka (50–300 m).



Obr. 2. Umístění monitorovacích čidel na Vavříneckém rybníce

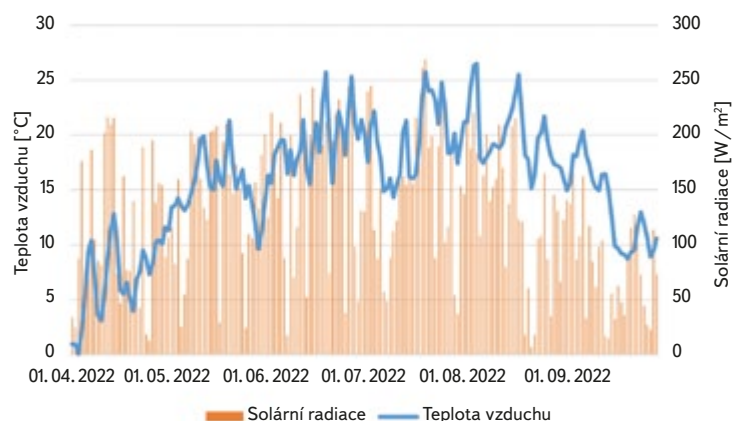
Fig. 2. Monitoring placement at Vavřínek pond

## VÝSLEDKY

Ve výparoměrné sezoně od 1. dubna do 30. září 2022 byl změřen celkový výpar z vodní hladiny 678,4 mm, celkový srážkový úhrn byl pak 582,4 mm. Průměrná teplota vzduchu činila 15,81 °C. Průběh teploty vzduchu, solární radiace, výparu z vodní hladiny a srážek je znázorněn v grafech na obr. 3 a 4.

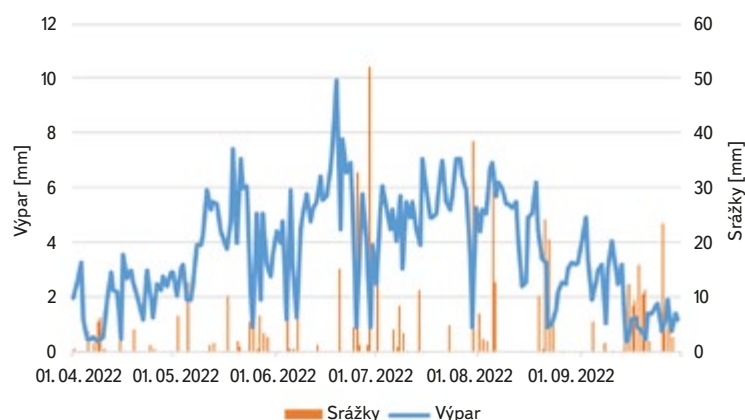
Srovnání celkového výparu a srážek v posledních třech letech, kdy byl plovoucí výparoměr používán, je uvedeno v tab. 1 spolu s údaji o rozdílu srážky a výparu. Znázornění výparu v mm a současně v m<sup>3</sup> v denním kroku v letech 2019–2022 je zobrazeno na obr. 5. Měřená data dobře ilustrují skutečnost, že vodní plocha 71 ha znamená v letních měsících významný úbytek vody z vodního toku právě vlivem výparu. Každý jeden milimetr výparu znamená úbytek 710 m<sup>3</sup> vody. Při průměrném denním výparu 3,7 mm v roce 2022 to představuje průměrnou denní ztrátu vody 2 627 m<sup>3</sup>. Maximální denní výpar za poslední tři roky byl na Vavříneckém rybníce změřen 19. června 2022, a sice 10 mm, což znamená úbytek vody vlivem výparu z hladiny 7 100 m<sup>3</sup> za jediný den. Nutno zmínit, že nebyla brána v úvahu změna plochy hladiny při úbytku vody, která je při úbytcích několika centimetrů zanedbatelná.

Na obr. 6 je porovnání denního výparu s aktuálním odtokem z rybníka a také s hodnotou průměrného dlouhodobého odtoku  $Q_a = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$  a s hodnotou minimálního zůstatkového průtoku  $MZP = 0,047 \text{ m}^3/\text{s}$ . V roce 2020 došlo k jednomu případu, kdy aktuální odtok z rybníka poklesl pod hodnotu minimálního zůstatkového průtoku. Tato situace nastala na konci sezony v září, kdy chyběly srážkové úhrny a přítok do nádrže. Odtok byl navyšován zásobou vody v rybníce. V roce 2022 bylo zaznamenáno několik dní, kdy výpar z vodní hladiny převyšoval hodnotu minimálního zůstatkového průtoku, a dokonce i aktuální hodnotu odtoku vody z rybníka. Toto je nejlépe pozorovatelné kolem 19. června 2022, kdy byl výpar extrémní.



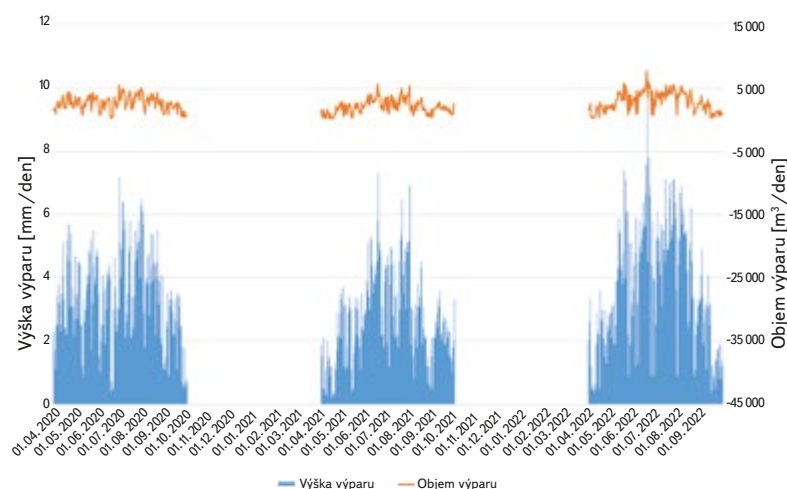
Obr. 3. Teplota vzduchu a solární radiace na rybníce Vavřínek v období 1. duben 2022 – 30. září 2022

Fig. 3. Air temperature and solar radiation at Vavřínek pond in period 1st April 2022 – 30th September 2022



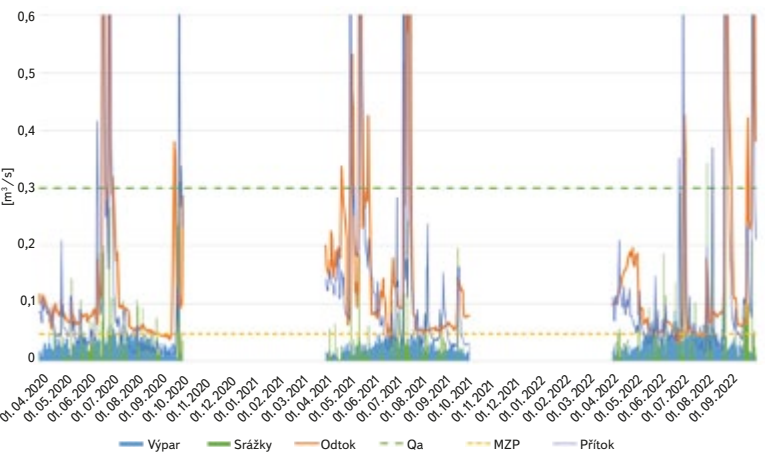
Obr. 4. Výpar z vodní plochy a srážkové úhrny na Vavříneckém rybníce v období 1. duben 2022 – 30. září 2022

Fig. 4. Water surface evaporation and rainfall depths at Vavřínek pond in period 1st April 2022 – 30th September 2022



Obr. 5. Výpar z vodní plochy Vavříneckého rybníka v období 1. duben 2020 – 30. září 2022

Fig. 5. Water surface evaporation at Vavřínek pond in period 1st April 2020 – 30th September 2022



Obr. 6. Výpar z vodní plochy ve srovnání se srážkami, přítokem a odtokovými charakteristikami Vavříneckého rybníka 1. duben 2020 – 30. září 2022  
Fig. 6. Volume of water level evaporation compared to the precipitation, inflow and water outflow characteristics at Vavřínek pond 1st April 2020 – 30th September 2022

Tab. 1. Srovnání výparu a srážek v letech 2020–2022 (duben až říjen)  
Tab. 1. Comparison of water level evaporation and rainfall in 2020–2022 (April – October)

|      | Výpar [mm] | Srážky [mm] | Rozdíl [mm] |
|------|------------|-------------|-------------|
| 2020 | 615,5      | 464,1       | -151,4      |
| 2021 | 495,2      | 397,6       | -97,6       |
| 2022 | 678,4      | 582,6       | -95,8       |

ZÁVĚR

Výpar z vodní hladiny je významným činitelem ovlivňujícím hydrologickou bilanci povodí. Vavřínecký rybník je nádrží s poměrně velkou rozlohou vodní plochy, čímž jsou ztráty vody vypařováním ještě umocněny a během suchých období může vznikat situace, kdy vlivem výparu dochází k negativnímu ovlivnění hydrologické bilance. V průběhu monitorovaného období byl v sezonách od dubna do září celkový výpar z vodní hladiny v rozmezí 500 až 680 mm, srážky se pohybovaly v rozmezí 400 až 580 mm. Rozdíl mezi výparem z vodní hladiny a srážkami činil 150 mm v roce 2020, v letech 2021 a 2022 100 mm ve prospěch výparu, což v přepočtu na objem vody činí více než 70 000 m³ vody.

V průběhu pozorování se stalo jen výjimečně, že hodnoty odtoku z rybníka poklesly pod hodnotu minimálního zůstatkového průtoku. Odtok byl v málovodných obdobích doplňován na úkor zásoby vody v rybníce. V roce 2022 došlo také k jednotlivým případům, kdy aktuální výpar z vodní plochy byl větší než aktuální odtok vody z rybníka.

Příspěvek shrnuje monitorovaná data výparu získaná pozorováním plovoucím výparoměrem, umístěným v letech 2020–2022 na hladině rybníka Vavřínek. Plovoucí výparoměry dokážou věrněji monitorovat podmínky na vodních plochách, zejména přesněji postihnout teplotu vody, solární radiaci a rychlost větru. Výpar z vodní hladiny je z hlediska bilance vodního toku v rámci hydrologické bilance záporným činitelem. Na základě pouhého zhodnocení velikosti srážek a výparu nelze nicméně tvrdit, že MVN mají negativní dopad na své okolí. Vliv MVN na hydrologický režim je velmi komplexní, stejně jako ovlivnění MVN jednotlivými hydrologickými procesy. Ztráta vody výparem je tedy jedním z aspektů, jež sice ovlivňují bilanci vodního toku negativně, na druhou stranu ovšem působí kladně ochlazováním vzduchu vlivem spotřeby energie

na změnu skupenství vody při výparu, což má za následek pozitivní ovlivnění mikroklimatu. Za pozitivní lokální vliv MVN lze bezpochyby považovat i zvýšení zásob podzemní vody v důsledku vzdutí vody v nádržích. V neposlední řadě je nutné zmínit možnost transformace povodňových vln při významných srážko-odtokových událostech.

Pozitivní i negativní vlivy MVN na hydrologický režim jsou popsány v souhrnné zprávě projektu TITSMZP809 [4]. Jak vyplývá z výzkumů provedených v rámci projektu, ovlivňují MVN režim jak povrchových, tak podpovrchových vod. Výstavba MVN je často vnímána jako možný prvek ochrany před dopady klimatické změny, nicméně je důležité pamatovat na to, že vodohospodářské prvky ovlivňují různé procesy různými způsoby, a to jak pozitivně, tak i negativně. Při obnově nebo navrhování nových MVN by proto všechny možné dopady měly být náležitě posouzeny. V hlediska vlivu výparu je důležité umístění MVN v rámci ČR v oblastech s vyrovnanou bilancí srážky-výpar a důležitá je také funkce MVN. Postupem při navrhování nebo obnově MVN se zabývá metodický postup pro posouzení dopadů MVN na hydrologickou bilanci a vodní zdroje [7].

**Poděkování**

Příspěvek vznikl v rámci projektů TITSMZP809 „Vliv malých vodních nádrží na hladinu podzemních vod a celkovou hydrologickou bilanci s důrazem na suchá období“ a „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum voda)“ financovaných Technologickou agenturou ČR.

Autoři článku děkují zaměstnancům podniku Rybářství Chlumec za ochotu a součinnost při monitoringu plovoucím výparoměrem na rybníce Vavřínek.

Příspěvek byl 15. června 2023 prezentován na konferenci Rybníky 2023.

**Literatura**

[1] ŠTĚPÁNEK, P., TRNKA, M., MEITNER, J., DUBROVSKÝ, M., ZAHRADNÍČEK, P., LHOTKA, O., SKALÁK, P., KYSELÝ, J., FARDA, A., SEMERÁDOVÁ, D. *Očekávané klimatické podmínky v České republice*. Brno: Ústav výzkumu globální změny, Akademie věd České republiky, 2019.

[2] ČSN 75 2410 *Malé vodní nádrže*, duben 2011.

[3] BERAN, A., KAŠPÁREK, L., VIZINA, A., ŠUHÁJKOVÁ, P. Ztráta vody výparem z volné vodní hladiny. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2019, 61(4), s. 12–18. ISSN 0322-8916.

[4] DAVID, V., ČERNOCHOVÁ, K., KRÁSA, J., BERAN, A., DATEL, J. V., KOŽÍN, R., TYL, R., JEDLIČKA, M., KUKLA, P. a kol. *Shrnutí posouzení vlivu malé vodní nádrže na složky hydrologické bilance malého povodí*. Praha: ČVUT, 2023.

[5] KRÁSNÝ, J., DAŇKOVÁ, H., KNĚZEK, M., KULHÁNEK, V., SKOŘEPA, J., TREFNÁ, E. *Výsledky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1 : 200 000, list 13, Hradec Králové*. Vyd. 1. Praha: Ústřední ústav geologický, 1982. 159 s.

[6] KAŠPÁREK, L., KOŽÍN, R., DATEL, J. V., PELÁKOVÁ, M. Odhad přírodních zdrojů podzemní vody v hydrogeologických rajonech v České republice v měnících se klimatických poměrech 1981–2019. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2022, 64(5), s. 4–13.

[7] BERAN, A., DATEL, J. V., DAVID, V., VIZINA, A., TREML, P., KOŽÍN, R., TYL, R. *Metodický postup pro posouzení dopadů malých vodních nádrží na hydrologickou bilanci a vodní zdroje*. Praha: VÚV TGM, v. v. I., 2022.

## Autoři

**Ing. Adam Beran, Ph.D.<sup>1</sup>**

✉ adam.beran@vuvv.cz

ORCID: 0000-0002-8800-5599

**Ing. Václav David, Ph.D.<sup>2</sup>**

✉ vaclav.david@fsv.cvut.cz

ORCID: 0000-0002-7792-9470

**Ing. Radovan Tyl, Ph.D.<sup>3</sup>**

✉ radovan.tyl@chmi.cz

ORCID: 0000-0002-5270-3248

<sup>1</sup>Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

<sup>2</sup>České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Praha

<sup>3</sup>Český hydrometeorologický ústav, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2023.07.001

---

## DIRECT MONITORING OF WATER VAPOR FROM THE FREE WATER LEVEL OF THE VAVŘINECKÝ POND AND ITS INFLUENCE ON THE HYDROLOGICAL BALANCE

**BERAN, A.<sup>1</sup>; DAVID, V.<sup>2</sup>; TYL, R.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

<sup>2</sup>Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering, Prague

<sup>3</sup>Czech Hydrometeorological Institute, Prague

**Keywords:** floating evaporimeter — water surface — evaporation — hydrological balance

Because of the increased average air temperature, there is an increase in water vapor from the water surface. Between 2020 and 2022, evaporation from the water surface was observed with a floating evaporimeter at the Vavřínecký pond in the Central Bohemia region. A floating evaporimeter monitors evaporation from the water surface along with basic meteorological quantities directly on the surface of the water reservoir, so its results should be more accurate than calculations based on data from nearby meteorological stations. The results show that in all three years evaporation exceeds precipitation by more than 100 mm in the period from April to September. However, the issue of the influence of small water reservoirs on the hydrological balance is a very complex topic, where the assessment of negative and positive effects is not always black and white and requires detailed investigation.



# Výstražný systém na sucho a místní směrodatné limity

**ADAM VIZINA, PETR PAVLÍK, IRINA GEORGIEVOVÁ, MARTIN PECHA, MARTIN HANEL, MARTINA PELÁKOVÁ, MIROSLAV TRNKA, RADEK ČEKAL, EVA MELIŠOVÁ, RADEK VLNAS**

**Klíčová slova:** sucho — hydrologické sucho — povrchové vody — podzemní vody — výstraha — predikce — změna klimatu — nedostatek vody — informační systém HAMR (IS HAMR) — projekt „PERUN“

## ABSTRAKT

Sucho a povodně jsou extrémní hydrologické jevy, jež v současnosti s rostoucími dopady klimatických změn získávají na četnosti a mohou významně ovlivnit naše životy. V rámci výzkumného projektu „PERUN“ se vyvíjí hodnocení stavu a vývoje sucha v České republice (ČR) a inovace výstražného systému Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Sucho je přirozený jev charakterizovaný postupným nástupem, dlouhodobým trváním a malou dynamikou, který vyžaduje specifický přístup. Novela zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (Vodní zákon), zavádí povinnost pravidelného informování o suchu a zavedení předpovědní služby, kterou má provádět ČHMÚ. Vytvářejí se nástroje pro dlouhodobou predikci stavu vodních zdrojů a metodika plánů pro řešení sucha a nedostatku vody. Plány mají zajistit oddálení nedostatku vody, ochranu životního prostředí a minimalizaci ekonomických dopadů. Orgánem s rozhodovací pravomocí je Komise pro sucho, jež koná na úrovni krajů, případně na úrovni ČR. Výstražné informace jsou dostupné na webovém portálu HAMR, který zobrazuje i místní směrodatné limity pro jednotlivé vodní zdroje.

## ÚVOD

Sucho a povodně jsou extrémní hydrologické jevy, jež představují přirozenou součást našeho životního prostředí. S ohledem na rostoucí dopady klimatických změn se však četnost těchto jevů zvyšuje a mohou významně ovlivňovat naše životy. Je nezbytné, abychom byli připraveni na změnu časového i plošného rozsahu extrémních hydrologických událostí, a mohli tak minimalizovat jejich negativní důsledky [1–4].

Sucho je považováno za přirozený jev a označuje se jím dočasný pokles dostupnosti vody. Je charakterizováno postupným nástupem, dlouhodobým trváním a malou dynamikou. Často se vyskytuje na rozsáhlých územích. Přestože okamžitá nebezpečnost sucha je ve srovnání s jinými hydrometeorologickými jevy minimální, informování o jeho stavu a vývoji vyžaduje průběžný specifický přístup.

Hlavním cílem výzkumného projektu „PERUN“ – Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku, který je spolufinancován s podporou Technologické agentury ČR, je vytvořit metodiku pro hodnocení stavu a vývoje sucha v ČR a inovovat výstražný systém ČHMÚ. Tato práce zahrnuje hodnocení sucha v povrchových i podzemních vodách tak, aby byly splněny požadavky novely Vodního zákona (zákonem č. 544/2020 Sb.).

Do roku 2021 neexistoval žádný oficiální systém výstrah, jenž by systematicky a pravidelně upozorňoval na vznik a další vývoj sucha v ČR. Novela Vodního zákona přinesla povinnost pravidelného informování o suchu a zavedení předpovědní služby. ČHMÚ musí podle této novely jasným a srozumitelným způsobem informovat kraje a obce s rozšířenou působností (ORP) o riziku vzniku a vývoje sucha. To pak umožní efektivní rozhodování o případných opatřeních. Pokud jde o prezentaci pro běžné uživatele, musí být tato informace začleněna ke stávajícím jevům, což je však kvůli specifické povaze tohoto jevu poněkud složité.

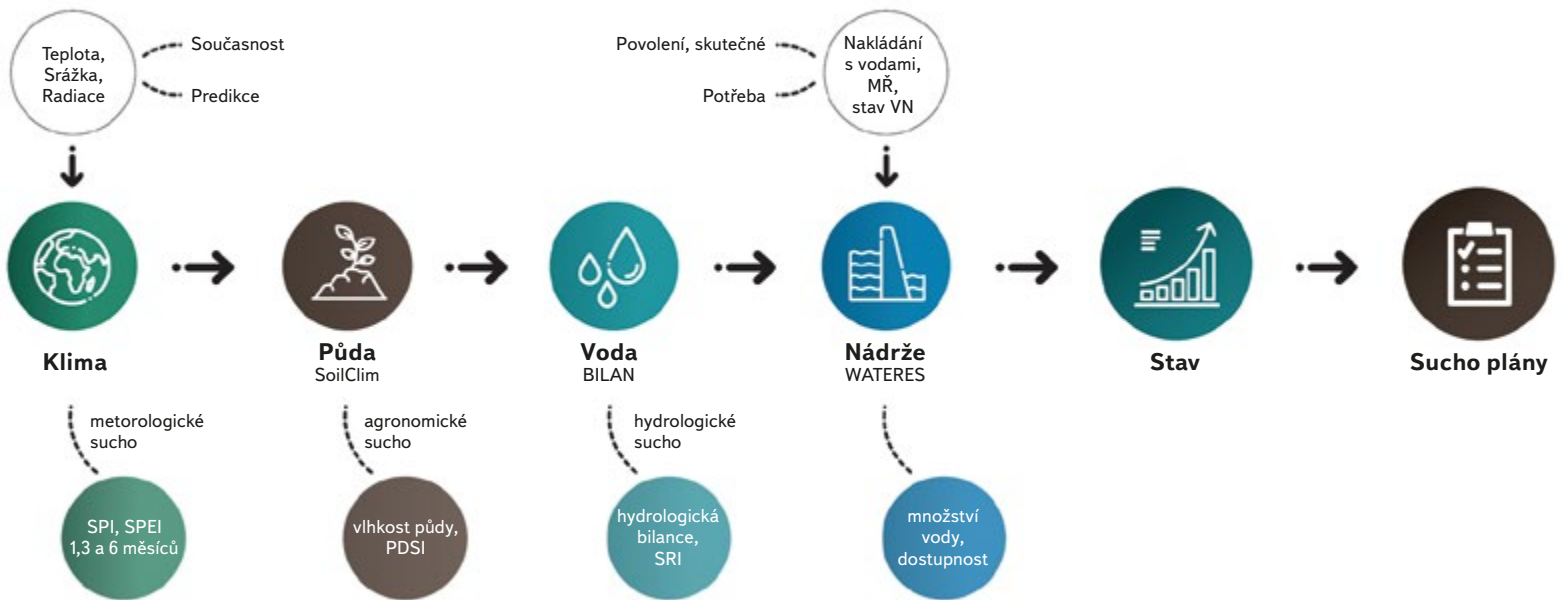
Podle již zmíněné novely Vodního zákona je v současnosti klíčovou výzkumnou činností vytváření nástrojů pro dlouhodobou predikci stavu vodních zdrojů a následná interpretace získaných dat při plánování opatření pro zvládnutí sucha a nedostatku vody. Ministerstvo zemědělství (MZe) a Ministerstvo životního prostředí (MŽP) vydala počátkem roku 2023 společnou metodiku [5], jež zahrnuje postupy při tvorbě plánů pro řešení sucha a nedostatku vody, zpracované na úrovni krajů. V průběhu roku 2023 vzniká plán národní. Cílem plánů je zajištění dostatku vody pro základní potřeby, ochrana životního prostředí před negativními dopady sucha a minimalizace ekonomických dopadů sucha a nedostatku vody. Plán obsahuje informace o identifikaci vodních zdrojů, rizik sucha a jejich možných dopadech. Hlavní část plánu obsahuje postupy pro zvládnutí sucha a opatření při nedostatku vody.

Orgán s rozhodovací pravomocí pro vydávání opatření na základě plánů pro sucho při stavu nedostatku vody je a bude Komise pro sucho. Jednání Komise pro sucho již na úrovni krajů probíhají a účastní se jich i zástupci ČHMÚ [6]. Výstražné informace jsou dostupné na portálu informačního systému HAMR [7], kde jsou také zobrazeny místní směrodatné limity [8].

## METODIKA A MATERIÁL

### HAMR

Vývoj systémového nástroje HAMR [9] financuje MŽP spolu s dalšími aktivitami zabývajícími se dopadem sucha, adaptačními opatřeními, monitoringem a klimatickými změnami (více na [www.suchovkrajine.cz](http://www.suchovkrajine.cz)). Sucho se dělí na meteorologické, agronomické, hydrologické a socioekonomické. Z toho vychází samotný název systému HAMR (Hydrologie, Agronomie, Meteorologie, Retence), jehož schéma je znázorněno na obr. 1. Každá komponenta je reprezentována matematickým modelem založeným na fyzikálním základě (SoilClim [10], Bilan [11, 12] a Wateres [13]) a následně je hodnocena dle vypočtených indikátorů.



Obr. 1. Schéma systému HAMR

Fig. 1. Scheme of HAMR system

Pro hodnocení aktuálního stavu a zejména predikci vývoje sucha na území ČR byla v průběhu roku 2022 na ČHMÚ vytvořena metodika, jež zahrnuje predikce pro tři typy sucha: sucho v povrchových vodách, sucho v podzemních vodách a sucho hydrologické (sucho v podzemních i povrchových vodách). Jednotlivé typy sucha jsou identifikovány pro územní jednotky ORP [6].

## Data pro výstražný systém

Pro hodnocení sucha v povrchových vodách bylo podle stanovených kritérií vybráno 135 referenčních vodoměrných profilů (z cca 520). Výběr referenčních profilů se řídil reprezentativností pro příslušný správní obvod ORP. Cílem bylo vybrat profily s menší plochou povodí, jež lépe vypovídají o odtokových poměrech daného ORP. Některé referenční profily leží na území okolních ORP, zejména kvůli menšímu pokrytí vodoměrnými profily s menší plochou povodí. Každému ORP je přiřazen jeden referenční vodoměrný profil, ideálně přímo v rámci daného ORP. Pokud v ORP není vhodný profil, je vybrán nejvhodnější profil z blízkého okolí. Některé profily jsou tak reprezentativní pro více ORP, zejména v oblastech s řidší říční sítí.

Při stanovování nebezpečí sucha v povrchových vodách se primárně vychází z údajů referenčního profilu přiřazeného k danému ORP. Nicméně jsou brány v úvahu také hodnoty z okolních referenčních profilů a neovlivněných profilů, zejména v hraničních situacích, kdy jsou hodnoty průměrných průtoků blízké úrovni 355denního průtoku ( $Q_{355d}$ ) za období 1991–2020 [6].

Při hodnocení nebezpečí sucha v povrchových vodách se primárně vychází z údajů referenčního profilu přiřazeného danému ORP. Každý týden se zohledňují průměrné hodnoty vodnosti v referenčních vodoměrných profilech za poslední týden a aktuální hydrometeorologická situace. Pokud se předpokládá pokles průměrných denních průtoků na nebo pod úroveň  $Q_{355d}$ , je pro dané ORP indikováno nebezpečí sucha v povrchových vodách.

Výsledná informace o nebezpečí sucha v nadcházejícím týdnu v povrchových vodách pro příslušné ORP je pravidelně vytvářena v úterý odpoledne na základě syntézy výpočtů a očekávané hydrometeorologické situace. Tato predikce je následně zveřejněna na webových stránkách systému HAMR v sekci *Výstražné informace* v samostatné mapě s názvem „Povrchové vody“.

Pro hodnocení sucha v podzemních vodách se využívá monitorovací síť podzemních vod ČHMÚ, která zahrnuje 874 mělkých vrtů, 440 hlubokých vrtů a 317 pramenů. Mělké vrty měří úroveň podzemních vod v kvartérních sedimentech s volnou hladinou, zatímco hluboké vrty měří úroveň podzemních vod podložních struktur bez vlivu povrchových útvarů. Vývěry pramenů představují přirozený odtok podzemních vod.

Pro hodnocení sucha byl vybrán soubor 332 objektů, z nichž 251 jsou mělké vrty, 75 jsou hluboké vrty a šest jsou prameny. Při výběru objektů bylo zohledněno umístění v rámci ORP a sledovaná zvědeň [6]. Většina objektů je sledována od roku 1991. Každé ORP má alespoň jeden přiřazený objekt, a pokud nebyl nalezen vhodný objekt na území ORP, byl vybrán nejbližší objekt sledující stejnou hydrogeologickou strukturu. Pro hodnocení sucha je rozhodující průměrná týdenní hladina ve vrtu nebo průměrná týdenní vydatnost pramene. Pokud hodnota alespoň u jednoho objektu spadá pod 95% kvantil za referenční období, je indikováno nebezpečí sucha v podzemních vodách ORP. Hodnocení probíhá každé pondělí a výsledky jsou zveřejněny ve středu v mapě „Podzemní vody“ v systému HAMR.

## Místní směrodatné limity

Místní směrodatné limity (MSL) pro vodní zdroje k přípravě plánů pro zvládání sucha a nedostatku vody [14] doplňují *Metodiku k přípravě plánů pro zvládání sucha a stavu nedostatku vody*, kterou vydaly MZe a MŽP v roce 2021. Plánování opatření ke zvládání sucha a nedostatku vody je povinností krajských úřadů podle § 87c Vodního zákona, ve spolupráci s příslušnými správci povodí a ČHMÚ. MSL jsou stanoveny pro vodní zdroje, které jsou důležité pro daný kraj.

MSL je dosaženo, když existuje vysoká pravděpodobnost nedostatečné vydatnosti nebo jakosti vodního zdroje v souvislosti se suchem a zároveň je dostatečně dlouhé časové období, než zdroj již nebude schopen pokrýt potřeby uživatelů vody. MSL jsou analogií povodňových stupňů a slouží k operativní implementaci opatření ke zvládání sucha. MSL mohou mít více hodnot během roku v souladu s hydrologickým cyklem a proměnlivými požadavky na vodní zdroje. Jsou odvozeny od okamžiku, kdy zdroj nedokáže plnit svou funkci v souvislosti se suchem, a to buď kvůli nedostatku vody, nebo nevyhovující jakosti.

MSL doplňují informaci o nebezpečí sucha poskytovanou ČHMÚ. Představují místní informaci o reakci konkrétního vodního zdroje na nepříznivou hydrologickou situaci. Metodika pro suché plány popisuje základní přístup k stanovení MSL a pracovní pomůcka [14] obsahuje příklady pro různé typy vodních zdrojů s různou úrovní podrobnosti vstupních dat. Cílem pracovní pomůcky bylo poskytnout tvůrcům plánů pro sucha možné přístupy a inspiraci při stanovování MSL pro strategické vodní zdroje kraje. Nemůže však zohlednit všechny skutečnosti v reálném prostředí, proto jednotliví zpracovatelé krajských plánů volili při stanovení MSL různé strategie, jež jsou popsány v samotných plánech. Stanovení MSL vodního zdroje mělo proběhnout ve spolupráci s konzultačním týmem, který zahrnuje provozovatele, uživatele vody, správce povodí, krajské úřady, zpracovatele plánů pro sucha a další relevantní subjekty, a to ve čtyřech krocích [14]:

- Výběr klíčových veličin se systematickým monitorováním fungování vodního zdroje během dlouhodobého sucha.
- Stanovení mezní úrovně této veličiny, která označuje vyčerpání disponibilního množství vody ve zdroji nebo limit pro upravitelnost vody v souvislosti se suchem, při němž nelze zajistit všechny požadavky na vodu včetně environmentálních požadavků.
- Návrh časového předstihu pro dosažení MSL, což je období mezi vyčerpáním disponibilního množství vody ve zdroji či limitem pro upravitelnost vody a dosažením MSL.
- Odvození úrovně vybrané veličiny, která předchází vyčerpání disponibilního množství vody ve zdroji nebo limitu pro upravitelnost vody s přiměřeným časovým předstihem.

Data pro místní směrodatné limity většinou poskytuje ČHMÚ nebo samotní provozovatelé. Tato data jsou podkladem pro zobrazení MSL v systému HAMR a jsou dostupná na webových stránkách systému [8].

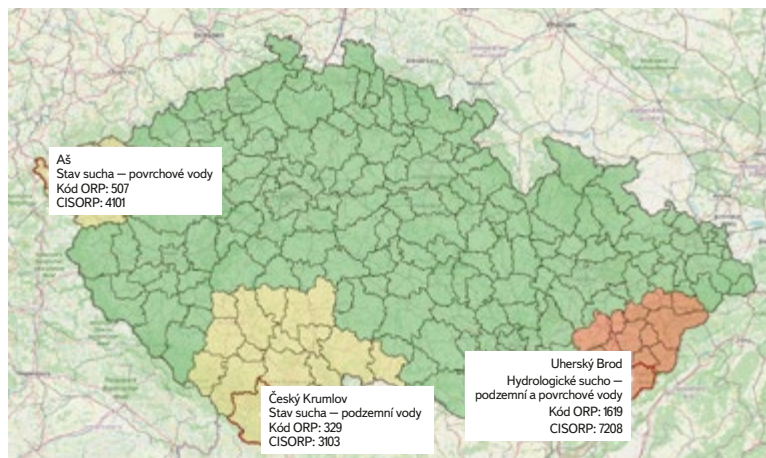
## VÝSLEDKY

Výsledná informace (výstraha) o stavu a vývoji hydrologického sucha vzniká pravidelně v úterý odpoledne kombinací dat o obou typech sucha pro jednotlivá ORP a je vizualizována ve středu dopoledne v samostatné mapě v systému HAMR v sekci *Výstražné informace*. V případě, že žádný z uvedených typů sucha není indikován pro příslušnou ORP podle referenčních profilů, jsou tato ORP na výsledné informační mapě vybarvena zeleně. Pokud je indikován pouze jeden typ sucha, buď v podzemních, nebo povrchových vodách, jsou příslušná ORP vybarvena žlutě. Pokud je indikováno suché období ve vodách obou typů (podzemních i povrchových), je takové území ve výsledné informační mapě vybarveno oranžově (obr. 2). ORP je dále informováno e-mailem.

Jako doplněk k informačnímu systému byla vytvořena mapa (obr. 3) porovnávající průměrný sedmidenní průtok v referenčních vodoměrných profilech s M-denními průtoky pro nové referenční období 1991–2020 pro jednotlivá ORP. Tato doplňková mapa slouží jako indikátor možného dosažení úrovně stavu sucha ( $Q_{355d}$ ) v blízké budoucnosti, zejména pokud se průměrný sedmidenní průtok pohybuje blízko úrovně 330denního průtoku ( $Q_{330d}$ ).

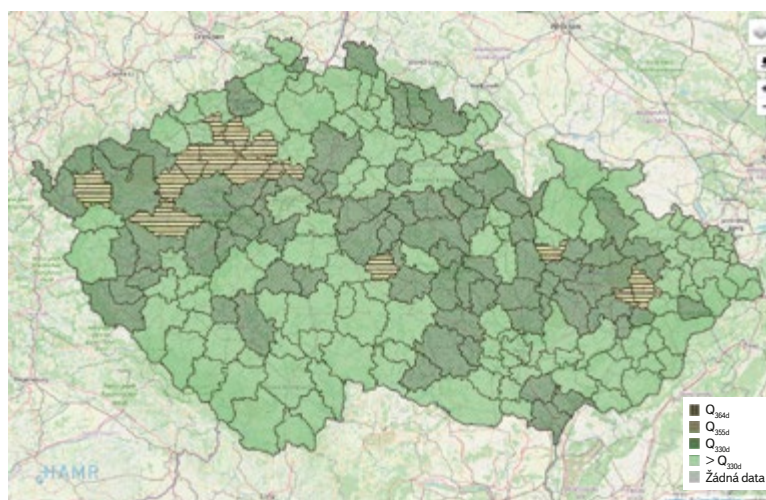
Zároveň tato mapa jasně ukazuje, kde se nízké stavy povrchové vody prohloubily natolik, že průměrné sedmidenní vodnosti klesly až na úroveň  $Q_{364d}$ . Tato doplňková mapa je pravidelně vytvářena během úterního dne a nejpozději ve středu dopoledne zveřejněna v systému HAMR v sekci *Výstražné informace* a dále v sekci *Povrchové vody*, kde je možné vyhledat průměrné vodnosti za poslední týden.

Stanovené místní směrodatné limity jsou zobrazeny v aplikaci HAMR v mapovém okně, kde je indikován aktuální stav, tedy zda jsou MSL podkročeny, či nikoli. Aplikace zobrazuje MSL pro povrchové vody, podzemní vody a vodní nádrže, na nichž jsou MSL často stanoveny. V rámci systému je možné zobrazit také časové řady zvolených veličin, pokud jsou k dispozici. Aplikace pro MSL byla zprovozněna v září 2023 a je znázorněna na obr. 4.



Obr. 2. Ukázka predikce sucha na území České republiky pro jednotlivé ORP [6]

Fig. 2. Demonstration of drought prediction in the Czech Republic for Municipalities with Extended Powers [6]



Obr. 3. Ukázka doplňkové mapy průměrných sedmidenních vodností v porovnání s vybranými kvantily získanými z křivek překročení průměrných denních průtoků v období 1991–2020

Fig. 3. Example of a complementary map of 7-day flow-rate averages in comparison to selected quantiles taken using flow duration curves of mean daily discharges to the period 1991–2020



Obr. 4. Mapová aplikace pro zobrazení místních směrodatných limitů

Fig. 4. Mapping application for displaying local threshold limits

## ZÁVĚR

Od září 2022 ČHMÚ každý týden vyhodnocuje a predikuje stav hydrologického sucha v České republice. Výstupy jsou od přelomu září a října plně dostupné na webových stránkách IS HAMR v sekci *Výstražné informace*. Během zimní sezony 2022/2023 proběhlo vyhodnocení testovacího provozu a verifikace referenčních vodoměrných profilů povrchových vod a objektů podzemních vod pro jednotlivé ORP. Na základě tohoto testování byly před novou vegetační sezonou provedeny drobné změny ve výběru reprezentativních objektů. Informační systém o stavu a vývoji sucha v ČR byl od začátku vegetační sezony v roce 2023 plně zařazen do operativního provozu ČHMÚ. V průběhu září 2023 byla v systému HAMR zprovozněna aplikace na zobrazení a hodnocení stanovených místních směrodatných limitů pro vodní zdroje, jež vycházejí z jednotlivých krajských plánů, zpracovaných převážně v roce 2022.

## Poděkování

*Tento výzkum byl částečně financován Technologickou Agenturou ČR v rámci programu „Prostředí pro život“ (Program aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí) a projektu „PERUN (SS02030040) – Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku (<https://www.perun-klima.cz/>)“.*

## Literatura

- [1] FISCHER, M., PAVLÍK, P., VIZINA, A., BERNSTEINOVÁ, J., PARAJKA, J., ANDERSON, M., TRNKA, M. a kol. Attributing the Drivers of Runoff Decline in the Thaya River Basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2023, 48, 101436.
- [2] POTOPOVÁ, V., TRNKA, M., VIZINA, A., SEMERÁDOVÁ, D., BALEK, J., CHAWDHURY, M. R. A., MUSILOKOVÁ, M., PAVLÍK, P., MOŽNÝ, M., ŠTĚPÁNEK, P., CLOTHIER, B. Projection of 21st Century Irrigation Water Requirements for Sensitive Agricultural Crop Commodities across the Czech Republic. *Agricultural Water Management*. 2023, 262, 107337.
- [3] TRNKA, M., BRÁZDIL, R., VIZINA, A., DOBROVOLNÝ, P., MIKŠOVSKÝ, J., ŠTĚPÁNEK, P., HLAVINKA, P., ŘEZNÍČKOVÁ, L., ŽALUD, Z. Droughts and Drought Management in the Czech Republic in a Changing Climate. *Drought and Water Crises: Integrating Science, Management, and Policy*. 2017, s. 461–480.
- [4] MELIŠOVÁ, E., VIZINA, A., HANEL, M., PAVLÍK, P., ŠUHÁJKOVÁ, P. Evaluation of Evaporation from Water Reservoirs in Local Conditions at Czech Republic. *Hydrology*. 2021, 8(4), 153.
- [5] MŽP, MZe. *Metodika k přípravě plánů pro zvládnutí sucha a stavu nedostatku vody*, 2021. Dostupná z: [https://eagri.cz/public/web/file/679559/metodika\\_plan\\_sucho.pdf](https://eagri.cz/public/web/file/679559/metodika_plan_sucho.pdf)
- [6] PECHA, M., ČEKAL, R., LEDVINKA, O., LAMAČOVÁ, A., VLINAS, R., VIZINA, A., GEORGIEVOVÁ, I., PAVLÍK, P. a kol. Informační systém o stavu a vývoji sucha na území České republiky. *Meteorologické zprávy*. 2022, 75(6), s. 165–169.
- [7] <https://hamr.chmi.cz/hamr-JS/vystraha.html>
- [8] <https://hamr.chmi.cz/hamr-JS/msl.html>
- [9] VIZINA, A., HANEL, M., TRNKA, M., DAŇHELKA, J., GREGORIEOVÁ, I., PAVLÍK, P., HEŘMANOVSKÝ, M. HAMR: Online Drought Management System—Operational Management during a Dry Episode. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2018, 60(5), s. 22–28.
- [10] HLAVINKA, P., TRNKA, M., BALEK, J., SEMERÁDOVÁ, D., HAYES, M., SVOBODA, M., EITZINGER, J., MOŽNÝ, M., FISCHER, M., HUNT, E., ŽALUD, Z. Development and Evaluation of the SoilClim Model for Water Balance and Soil Climate Estimates. *Agricultural Water Management*. 2011, 98(8), s. 1 249–1 261.
- [11] MELIŠOVÁ, E., VIZINA, A., STAPONITES, L. R., HANEL, M. The Role of Hydrological Signatures in Calibration of Conceptual Hydrological Model. *Water*, 2020, 12(12), 3401.
- [12] VIZINA, A., HORÁČEK, S., HANEL, M. Nové možnosti modelu Bilan. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2015, 57(4–5), s. 7–10.
- [13] GEORGIEVOVÁ, I., HANEL, M., PAVLÍK, P., VIZINA, A. Streamflow Simulation in Poorly Gauged Basins with Regionalised Assimilation Using Kalman Filter. *Journal of Hydrology*. 2023, 620, 129373.
- [14] NESLÁDKOVÁ, M., PELÁKOVÁ, M. *Stanovení místních směrodatných limitů pro vodní zdroje k přípravě plánů pro zvládnutí sucha a stavu nedostatku vody: Pracovní pomůcka pro zpracovatele plánů pro zvládnutí sucha a stavu nedostatku vody podle § 87b až § 87d zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů*, 2021.

## Autoři

**Ing. Adam Vizina, Ph.D.<sup>1,2</sup>**  
✉ [adam.vizina@vuv.cz](mailto:adam.vizina@vuv.cz)  
ORCID: 0000-0002-4683-9624

**Ing. Petr Pavlík<sup>1,2</sup>**  
✉ [petr.pavlik@vuv.cz](mailto:petr.pavlik@vuv.cz)  
ORCID: 0000-0002-6138-1156

**Ing. Irina Georgievová<sup>1,2</sup>**  
✉ [irina.georgievova@vuv.cz](mailto:irina.georgievova@vuv.cz)  
ORCID: 0000-0002-5760-6471

**Ing. Martin Pecha<sup>3</sup>**  
✉ [martin.pecha@chmi.cz](mailto:martin.pecha@chmi.cz)  
ORCID: 0000-0003-0294-8981

**Prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.<sup>1,2</sup>**  
✉ [martin.hanel@vuv.cz](mailto:martin.hanel@vuv.cz)  
ORCID: 0000-0001-8317-6711

**Ing. Martina Peláková<sup>1</sup>**  
✉ [martina.pelakova@vuv.cz](mailto:martina.pelakova@vuv.cz)  
ORCID: 0000-0003-0485-1542

**Prof. Miroslav Trnka, Ph.D.<sup>4</sup>**  
✉ [mirek\\_trnka@yahoo.com](mailto:mirek_trnka@yahoo.com)  
ORCID: 0000-0003-4727-8379

**RNDr. Radek Čekal<sup>3</sup>**  
✉ [radek.cekal@chmi.cz](mailto:radek.cekal@chmi.cz)

**Ing. Eva Melišová, Ph.D.<sup>1</sup>**  
✉ [eva.melisoa@vuv.cz](mailto:eva.melisoa@vuv.cz)  
ORCID: 0000-0001-5677-2673

**Ing. Radek Vlnas<sup>3</sup>**  
✉ [radek.vlnas@chmi.cz](mailto:radek.vlnas@chmi.cz)  
ORCID: 0009-0008-1196-6261

<sup>1</sup>Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

<sup>2</sup>Česká zemědělská univerzita, Praha

<sup>3</sup>Český hydrometeorologický ústav, Praha

<sup>4</sup>Ústav výzkumu globální změny, Brno

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2023.07.003

## DROUGHT WARNING SYSTEM AND LOCAL THRESHOLD LIMITS

**VIZINA, A.<sup>1,2</sup>; PAVLÍK, P.<sup>1,2</sup>; GEORGIEVOVÁ, I.<sup>1,2</sup>; PECHA, M.<sup>3</sup>;  
HANEL, M.<sup>1,2</sup>; PELÁKOVÁ, M.<sup>1</sup>; TRNKA, M.<sup>4</sup>; ČEKAL, R.<sup>3</sup>;  
MELIŠOVÁ, E.<sup>1</sup>; VLNAS, R.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

<sup>2</sup>Czech University of Life Sciences, Prague

<sup>3</sup>Czech Hydrometeorological Institute, Prague

<sup>4</sup>CzechGlobe – Global Change Research Institute of the Czech Academy of Sciences, Brno

**Keywords:** drought – hydrological drought – surface water – groundwater – warning – prediction – climate change – water scarcity – HAMR Information System (HAMR IS) – „PERUN“ project

Droughts and floods are extreme hydrological phenomena that are currently increasing in frequency due to the growing impacts of climate change and can have significant effects on our lives. Within the research project „PERUN“, an assessment of drought conditions and their development in the Czech Republic is being developed, along with the innovation of the warning system by the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI). Drought is a natural phenomenon characterized by a gradual onset, long duration, and low dynamics, which requires a specific approach. The amendment to the Water Act introduces the obligation of regular reporting on drought and the establishment of a predictive service to be conducted by CHMI. Tools are being developed for long-term prediction of water resource conditions and a methodology for drought and water scarcity management plans. These plans aim to ensure water supply, protect the environment, and minimize the economic impacts. The decision-making body for issuing measures based on the drought plans is the Drought Commission, which operates at the regional level. The warning information is available on the HAMR web portal, which also displays local threshold limits for individual water resources.



# Chráněná území pro akumulaci povrchových vod z pohledu hydrogeologa – vliv případné realizace akumulace povrchových vod na hydrogeologické poměry

JIŘÍ PRINZ, PAVEL ECKHARDT, ROMAN KOŽÍN

**Klíčová slova:** vodní zdroje – akumulace povrchových vod – zásobování pitnou vodou – hydrogeologie – hladina podzemní vody – GIS

## ABSTRAKT

Na území České republiky (ČR) byly vymezeny vhodné plochy pro akumulaci povrchových vod potenciálně sloužící především pro zásobování pitnou vodou a pro zmírnění nepříznivých účinků povodní a sucha. Lokality jsou uvedeny v Generelu území chráněných pro akumulaci povrchových vod, který pořídila ministerstva zemědělství a životního prostředí v návaznosti na předchozí dlouhodobé územní hájení výhledových vodních nádrží. Před případným rozhodnutím o vybudování těchto nádrží je nezbytné daný záměr posoudit z různých hledisek. Článek přináší vyhodnocení těchto lokalit z hydrogeologického pohledu. Zabývá se mimo jiné analýzou umístění potenciálních nádrží do hydrogeologického prostředí, vlivem na kvantitu a kvalitu podzemních vod a potenciálním dopadem na využívané zdroje podzemních vod. Na lokalitách dojde po případném vybudování nádrží ke zvýšení hladiny podzemní vody mělké zvodně, a tím i ke zvýšení zásob podzemních vod. Lokality je však nezbytné posuzovat z hydrogeologického hlediska individuálně, často existují i potenciálně negativní vlivy budoucí nádrže na podzemní vody.

## ÚVOD

Nádrže a rezervoáry povrchových vod, ať přirozené, nebo uměle vybudované, mají významný vliv na oběh podzemní vody v jejich okolí. Zvýšení úrovně erozní báze vede ke vzestupu hladiny podzemní vody v okolí nádrže – s tím, že se většího rozsahu dosahuje nad hrází nádrže. Předkládaná práce se zabývá potenciálním vlivem území vymezených v Generelu území chráněných pro akumulaci vod [1] (dále jen Generel LAPV) na hydrogeologické poměry a zdroje podzemních vod. V současnosti je Generelem LAPV územně chráněno 96 lokalit. Vývoj počtu chráněných území pro akumulaci povrchových vod (LAPV) a jejich potenciál pro zmírnění dopadů klimatické změny shrnuje např. [2, 3]. Generel LAPV je podkladem pro návrh politiky územního rozvoje a územně plánovací dokumentace. Není plánem výstavby vodních nádrží, ale podkladem pro územní plánování, aby nedošlo k znemožnění nebo podstatnému ztížení případné realizace v budoucnosti [1].

Cílem článku je informovat o zpracování hydrogeologické problematiky LAPV v rámci Výzkumného projektu SS02030027 – „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)“. V této fázi jsou

zpracovávány hydrogeologické pasporty jednotlivých lokalit. Článek uvádí tři příklady lokalit pro různá hydrogeologická prostředí. Vzhledem k náročnosti přípravy případných budoucích nádrží bude k podrobnějšímu průzkumu přistoupeno až v případě rozhodnutí o jejich realizaci. Jako vhodné nástroje pro posouzení vlivu úrodních nádrží lze využít matematické modelování, režimní měření a geofyzikální průzkum. Před samotnou výstavbou by pak proběhl podrobný geologický průzkum.

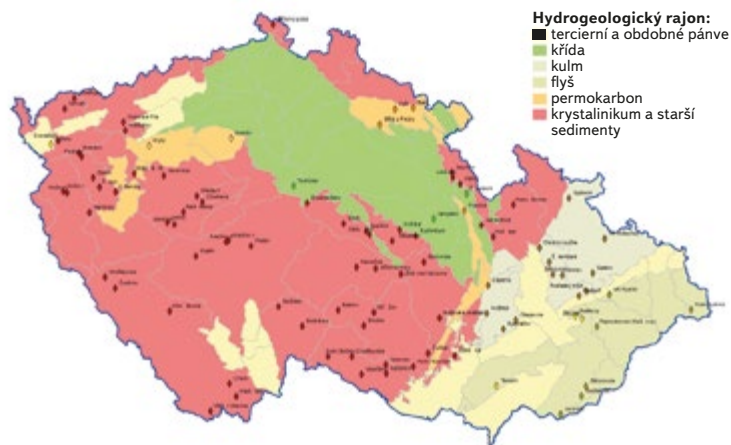
Vhodným nástrojem pro předběžné posuzování vytipovaných lokalit a získávání podkladů k rozhodování o případné realizaci vodního díla jsou nástroje GIS [6] s dostupnými relevantními údaji o lokalitě a pasportizaci těchto území. Ke každé lokalitě tak jsou v rámci realizovaného projektu „Centrum Voda“ získávána prostorová data a základní údaje, na části lokalit je sledován průtok a další parametry.

## Umístění LAPV z hydrogeologického hlediska

Chráněná území pro LAPV byla prvotně vybírána většinou na základě jiných kritérií, než jsou kritéria hydrogeologická. Významné bylo např. hledisko morfologické (možnost efektivního vybudování hráze), které ovšem s geologickými poměry úzce souvisí. Přehledná hydrogeologická situace umístění LAPV na území ČR je znázorněna na mapě na obr. 1.

Více než polovinu plochy ČR, přibližně 57 %, zaujímá prostředí hydrogeologického masivu [4]. Řadíme sem vedle krystalinických hornin i sedimenty proterozoika a staršího paleozoika a horniny kulmu. Mají většinou jen omezený oběh podzemní vody, vázaný především na přípovrchovou vrstvu kvartérního pokryvu a zónu rozvolnění skalních hornin. Naprostá většina LAPV (80 %) se nachází v prostředí hydrogeologického masivu. Procentuální zastoupení LAPV v tomto prostředí tedy významně převyšuje jeho plošný rozsah. LAPV byly vymezeny jak v horninách krystalinika, tak staršího paleozoika nebo kulmu. Např. v horninách kulmu se nachází přes 14 % všech lokalit. Celkem je v prostředí hydrogeologického masivu vytypováno 76 lokalit pro nádrže s průměrným objemem 21,2 mil. m<sup>3</sup> (při průměrné výšce hráze 38 m) s celkovou plochou povodí 8 715 km<sup>2</sup>.

V Českém masivu existují i výskyty pevných karbonátových hornin, zejména vápenců a krystalických vápenců, které mají vedle puklinové propustnosti často i propustnost krasovou. Ty nebývají pro umístění nádrží z důvodu možného



Obr. 1. Mapa skupin hydrogeologických rajonů základní vrstvy ČR s umístěním chráněných území pro akumulaci povrchových vod (upraveno na podkladě Vyhlášky č. 5/2011 Sb.)

Fig. 1. Map of group of hydrogeological regions of the base layer of the Czech Republic with the location of protected areas for the surface water accumulation (according to the Act N. 5/2011 Coll.)

úniku vody krasovými systémy vhodné. Do těchto hornin tak není situována žádná LAPV.

Horniny flyšového pásma západních Karpat, jež tvoří pruh území podél východní hranice ČR v rozsahu přes 8 % území ČR, mají také charakter hydrogeologického masivu. Zde bylo navrženo 8 % lokalit LAPV, což odpovídá rozšíření těchto hornin v ČR. Celkem je v tomto prostředí vytipováno osm lokalit pro nádrže s průměrným objemem 8,7 mil. m<sup>3</sup> (při průměrné výšce hráze 31 m) s celkovou plochou povodí 251 km<sup>2</sup>.

U menší části lokalit je podloží tvořeno sedimentárními horninami, které mají kromě majoritní puklinové propustnosti také průlinovou propustnost. V okolí těchto lokalit dojde – v případě výstavby nádrže a v delším časovém horizontu – ke zvýšení statické zásoby podzemní vody. Dosah vlivu údolních nádrží bude většinou lokální, způsobený zvýšením erozní báze nad hrázi.

Permokarbonské pánve a výskyty zaujímají ve výchozech plochu asi 5,8 % území ČR. Horniny permokarbonu mají vedle puklinové propustnosti i průlinovou propustnost. V těchto horninách je situováno 6 % lokalit LAPV, což odpovídá plošnému rozšíření tohoto hydrogeologického prostředí. Celkem je v prostředí permokarbonu vytipováno šest lokalit pro nádrže s průměrným objemem 6,8 mil. m<sup>3</sup> (při průměrné výšce hráze 26 m) s celkovou plochou povodí 251 km<sup>2</sup>.

Česká křídová pánev je vodohospodářsky nejvýznamnější hydrogeologickou strukturou ČR. Přestože tato hydrogeologická struktura pokrývá přes 15 % plochy ČR, do hydrogeologických rajonů české křídové pánve byla situována jen 3 % LAPV. U dalších pěti lokalit jsou křídové hydrogeologické rajony zasazeny chráněným územím okrajově (LAPV Doubravčany, Hoříčka, Ostružno, Rychmburk a Albrechtice). Výrazně nižší vhodnost této struktury pro situování LAPV bývá způsobena mimo jiné morfologickými poměry, vysokou propustností zastoupených hornin a existencí stávajících významných zdrojů (podzemních) vod. Umístění nádrží v této struktuře by tak namísto vytvoření akumulace povrchových vod mohlo být zaměřeno na umělou infiltraci povrchové vody do horninového prostředí (např. [7]). Celkem jsou v prostředí české křídové pánve vytipovány tři lokality pro nádrže s průměrným objemem 13,6 mil. m<sup>3</sup> (při průměrné výšce hráze 27 m) s celkovou plochou povodí 458 km<sup>2</sup>.

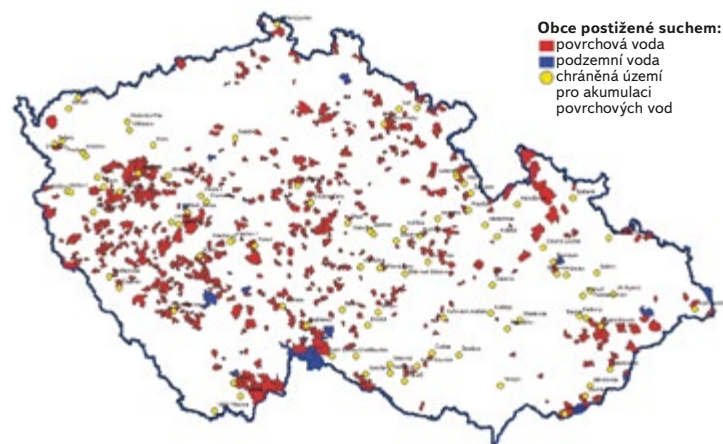
V horninách kenozoických pánví (s terciární a svrchnokřídovou výplní) je zastoupení LAPV velmi sporadické, a to částečně z obdobných příčin jako u české křídové pánve. Jihočeské pánve ani pánve Mostecká (Severočeská) a Sokolovská nemají vymezenou žádnou LAPV. Je třeba upozornit, že velké vodní plochy vznikající v posledních desetiletích v Mostecké a Sokolovské

pánvi nemají charakter LAPV, ale jsou tvořeny zatápěním povrchových dolů. Jedna lokalita LAPV je vázána na terciární Chebskou pánev (podrobněji obr. 4), obdobné je to i s Vídeňskou pánví. Pouze dvě lokality LAPV jsou vázány na rajony terciární výplně karpatské předhlubně (Blazice a Radkovy). Celkem jsou v tomto prostředí vytipovány tři lokality pro nádrže s průměrným objemem 11,8 mil. m<sup>3</sup> (při průměrné výšce hráze 23 m) s celkovou plochou povodí 79 km<sup>2</sup>.

Kvartérní sedimenty na povrchu představují nejrozšířenější geologickou jednotku ČR. Zejména v případě hydrogeologicky zvláště významných akumulací silně propustných kvartérních sedimentů byla tato území vyčleněna do hydrogeologických rajonů svrchní vrstvy. Pouze na dvou lokalitách LAPV (Tuřany v povodí Ohře a VN Rybník v povodí Odry) zasahují zátopové oblasti nádrží do takto vymezeného svrchního hydrogeologického rajonu kvartérních sedimentů. Vliv těchto údolních nádrží na oběh podzemní vody bude pozitivní. Vzhledem k vyšší propustnosti horninového prostředí tu může docházet k poměrně intenzivní samovolné infiltraci povrchových vod do vod podzemních a zvyšování úrovně hladiny podzemních vod v okolí. Zvýšení hladiny podzemní vody může mít však i negativní dopady, jako jsou např. vznik nebo zvýšení rizika svahových nestabilit a podmáčení zemědělských pozemků.

## Obce postižené suchem a LAPV

Přibližně třetina LAPV byla vymezena na katastrálním území obcí postižených suchem, kde by případná výstavba vodních nádrží mohla přispět ke zlepšení situace. Mapu LAPV a obcí postižených suchem znázorňuje obr. 2.



Obr. 2. Katastrální území obcí postižených suchem z hlediska zásobování pitnou vodou (problém v celé obci) na území ČR s lokalitami LAPV (HEIS, 2020)

Fig. 2. Cadastral territory of municipalities affected by drought from the point of view of drinking water supply (problem in the entire municipality) in the territory of the Czech Republic with LAPV locations (HEIS, 2020)

Z mapy na obr. 2 je patrné, že při této charakterizaci postižení obcí suchem jsou problémy zaznamenávány zejména v souvislosti s podzemní vodou. Proto je potřeba řešit i otázku, zda a do jaké míry by realizace nádrží LAPV mohla přispět ke zlepšení kvantitativního stavu podzemních vod v době sucha a také její možné využití obcemi.

V lokalitách typu hydrogeologického masivu, kam je situována podstatná část LAPV, se obvykle využívá jen mělký oběh podzemní vody z jímacích objektů. Ty nejvydatnější bývají často umístěny v blízkosti vodních toků. V posledních letech, jak stoupá poptávka po lokálních zdrojích pro obce i jednotlivé rodinné domy, roste též počet hlubších hydrogeologických vrtů, jež využívají podzemní vodu puklinového systému. Vliv údolních nádrží na oběh podzemní vody bude většinou významný jen v rámci mělkého oběhu podzemní vody.

## Obecné hydrogeologické změny způsobené realizací vodních nádrží

Z obecného hlediska při vybudování a napuštění nádrže povrchové vody dochází ke zvýšení hladiny podzemních vod mělké zvodně v dané oblasti.

Zásoby podzemních vod vznikají infiltrací srážkových vod a jejich akumulací v horninovém prostředí. V místech erozní báze je horninové prostředí přirozeně odvodňováno do povrchových toků. Změnou výškové úrovně erozní báze, např. výstavbou vodního díla, dojde ke změně odtokových podmínek. Pokud nastanou vhodné podmínky, může dojít k částečné infiltraci povrchových vod do vod podzemních.

Vybudováním hrází a zaplavením nivy vodních toků dojde k navázání hladiny podzemních a povrchových vod, avšak s určitým zpožděním v závislosti na vzdálenosti od vodní nádrže.

Obecně lze říci, že vybudováním vodního díla a jeho zaplavením dojde k pozitivnímu vlivu na stav podzemních vod jak nad hrází (zvýšením hladiny podzemní vody mělkého oběhu), tak pod hrází (stabilizací povrchového odtoku). Z dřívějších zkušeností vyplývá, že i malé zvýšení hladiny povrchových vod, např. vybudováním jezu [5], má pozitivní vliv na zvýšení hladiny podzemních vod v okolí vodního toku.

Vydatnost přírodních zdrojů podzemní vody zůstane obdobná, protože propustnost je dána charakterem horninového prostředí. Případná akumulace povrchových vod však bude – za příhodných podmínek – plnit funkci dodatečného zdroje vody (k infiltraci srážek) tím, že dojde k přetoku povrchové vody do vod podzemních.

Ke komplexnímu vyhodnocení změn v režimu proudění podzemních vod po případné výstavbě vodního díla lze využít rovněž možnosti matematického modelování. Matematickým modelem je také možné simulovat různé režimy budoucího využití. Model proudění podzemní vody spolu se srážkoodtokovým modelem vytvoří komplexní představu o vlivu vodního díla na oběh vody v dané lokalitě. Zpracování matematických modelů je však časově a finančně náročné a spolu s nutností adaptace na měnící se klimatické podmínky je vhodné k tomuto kroku přistoupit až po rozhodnutí o realizaci vodního díla.

## Příklady jednotlivých LAPV a jejich specifických hydrogeologických problémů

LAPV byly prostorově vymezeny a základním způsobem charakterizovány. V rámci pasportizace jednotlivých lokalit byly kromě základních geologických a hydrogeologických podmínek zjišťovány a stručně popsány ochrana území, zdroje podzemních vod a možná rizika. Na části z nich probíhá hydrologické sledování – měření průtoků a stavů na vodních tocích. Pro podchycení specifických hydrogeologických problémů jednotlivých LAPV bylo přikročeno k sestavování hydrogeologických pasportů. Příklad takového pasportu se nachází na obr. 4. V následujícím textu uvádíme pro názornost tři příklady LAPV v různých hydrogeologických prostředích a jejich vybrané specifické hydrogeologické problémy.

### Příklad LAPV v prostředí hydrogeologického masivu – lokalita Pěčín na Zdobnici

Nejběžnějším hydrogeologickým prostředím, kam jsou situovány LAPV, je prostředí hydrogeologického masivu. Oběh podzemní vody je tu vázán především na zónu připovrchového rozvolnění skalních hornin a kvartérní sedimenty. Jako příklad LAPV v prostředí hydrogeologického masivu uvádíme lokalitu Pěčín na říčce Zdobnici v Orlických horách. Nádrž Pěčín je projektována mimo jiné k zásobování obyvatel Královéhradeckého kraje pitnou vodou. V případě

lokality Pěčín již proběhl v osmdesátých letech minulého století podrobnější geologický průzkum zaměřený na výstavbu vodní nádrže. V rámci napuštění nádrže dojde ke zvýšení hladiny podzemní vody mělké zvodně v nyní nesaturované zóně zátopy a v jejím okolí, a tím i k navýšení zásob podzemních vod [8].

Jednou ze zajímavostí LAPV Pěčín jsou i stará důlní díla (obr. 3) a na ně vázané aplanované haldy hlíny na dně budoucí nádrže. I přes dokumentovaný (sporadický) výskyt sulfidických rudních minerálů na těchto haldách by tyto staré zátěže neměly ohrozit kvalitu povrchové vody plánované nádrže.



Obr. 3. Vyústění průzkumné štoly v údolí Zdobnice (LAPV Pěčín)

Fig. 3. Adit (exploration gallery) in valley of Zdobnice (LAPV Pěčín)

### Příklad hydrogeologického pasportu LAPV na terciérních a kvartérních sedimentech – Tuřany v Chebské pánvi

Do terciérních sedimentů a kvartérních rajonů svrchní vrstvy jsou LAPV situovány jen velmi sporadicky. Příkladem takovéto lokality jsou Tuřany na Šitbořském potoce v terciérní Chebské pánvi.

Vysoká propustnost zejména kvartérních sedimentů při zatopení území po vzniku plánované nádrže může způsobit intenzivní infiltraci povrchových vod do vod podzemních a jejich odtok mimo zájmovou lokalitu. Hydrogeologické podrobnosti k lokalitě se nacházejí ve zpracovaném hydrogeologickém pasportu na obr. 4.

### Název lokality: Tuřany Vodní tok: Šitbořský potok

Hydrogeologický rajon – číslo: 2110

Hydrogeologický rajon – název: Chebská pánev

Morfologie, šířka údolní nivy: Mělké údolí – přehrada zcela zaplaví sedimenty nivy

### Geologické a litologické charakteristiky lokality

Převládající horninový typ na lokalitě jsou sedimentární horniny Chebské pánve. Vyskytují se zde lakustrinní sedimenty cyprisového souvrství: jílovce, jíly a pelokarbonáty, písky v příbřežní zóně. Následuje sedimentární sled vildštejnského souvrství, počínaje jíly a konče písky až štěrkopísky v závěru nejmladší etapy. Místa jsou tu zachovány reliktu říčních teras (stáří mindel a riss). Kvartérní pokryv tvoří vrstva fluviálních a deluviofluviálních sedimentů, v okolí vodního toku o mocnosti do 6 m. Východně od vodního toku Šitbořského potoka se v nadloží neogenních sedimentů nacházejí spraše a sprašové hlíny.



Obr. 4. Příklad hydrogeologického pasportu lokality LAPV (Tuřany v Chebské pánvi)

Fig. 4. An example of a hydrogeological passport of a locality LAPV (Tuřany in Cheb basin)

Umístění lokality na geologické mapě (Zdroj: mapy.geology.cz), s hydrogeologickou rajonizací:

### Tektonika

Nejvýznamnější tektonickou poruchou v okolí je mariánsko-lázeňský komplex probíhající cca 1 500 m východně od Šitbořského potoka v severojižním směru. Na jižním konci předpokládané zátopové plochy probíhá v příčném směru JZ-SV zlom.

### Hydrogeologické charakteristiky lokality

Lokalita se nachází v hydrogeologickém rajonu základní vrstvy 2110 Chebská pánve a hydrogeologickém rajonu svrchní vrstvy 1190 Kvartér a neogén odraťské části Chebské pánve. Sedimentární sled Chebské pánve vytváří podmínky pro střídaní izolátorů a průlinových kolektorů, a to především v sedimentech vildštejnského souvrství,  $T = 2 \times 10^{-4}$  až  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . Sedimenty cyprisového souvrství tvoří regionální izolátor, ale v Chebské pánvi jsou na rozdíl od Sokolovské pánve propustnější,  $T = 5 \times 10^{-5}$  až  $3,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . V okolí se nacházejí prostorově omezené průlinově propustné kolektory vázané na říční terasy,  $T = 1 \times 10^{-4}$  až  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ . Směr odtoku podzemní vody je k severozápadu až severu – k erozní bázi tvořené vodním tokem Ohře.

### Jímání podzemní vody

Zdroje podzemní vody v bezprostředním okolí lokality nejsou evidovány. Lokalita se nachází v ochranném pásmu II. stupně vodního zdroje Nebanice. Jímací objekty tohoto zdroje jsou umístěny na protějším břehu řeky Ohře, a tak je nepravděpodobné jejich ovlivnění. Vybudováním vodní nádrže dojde k navýšení hladiny podzemní vody v okolí a infiltraci do propustných vrstev horninového prostředí.

### Ověření přítomnosti starých ekologických zátěží

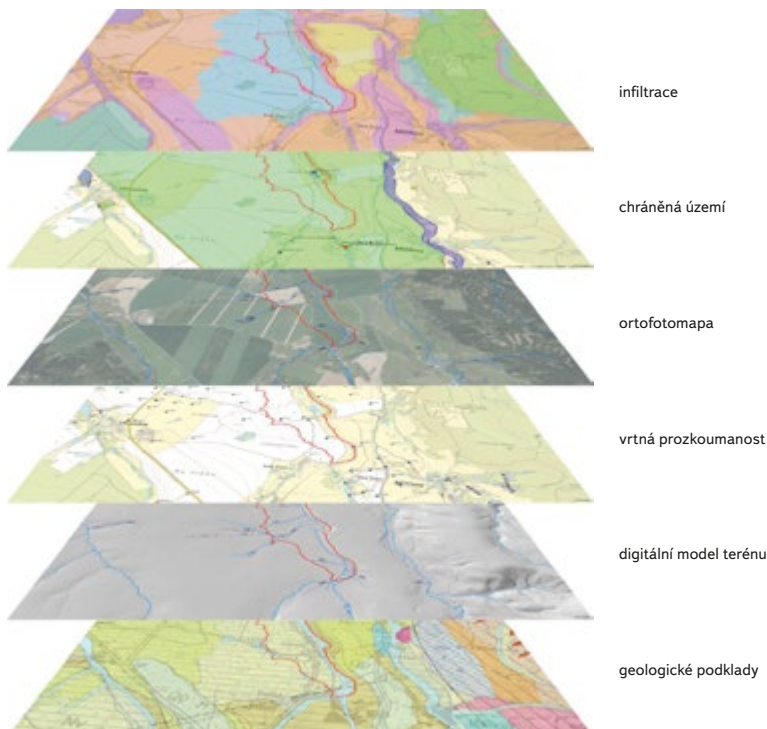
V povodí Šitbořského potoka a jeho přítoků jsou evidovány dvě lokality, jež mohou negativně ovlivnit kvalitu podzemní a povrchové vody. První je bývalá čerpací stanice pohonných hmot v obci Malá Šitboř (riziko znečištění ropnými látkami) a druhá je zemědělský areál jižně od obce Tuřany (riziko znečištění ropnými látkami). Obě lokality jsou evidovány v databázi SEKM.

### Ověření ochranných pásem vodních zdrojů, oblasti ochrany, geohazardu, poddolování území

Lokalita se nachází v ochranném pásmu přírodních léčivých zdrojů: IIb – Františkovy Lázně a Mariánské Lázně, dále v ochranném pásmu zdroje podzemní vody 2. stupně – Nebanice podzemní zdroj. Lokalita patří do chráněné oblasti přirozené akumulace vod Chebská pánve a Slavkovský les. Podél východního okraje lokality probíhá hranice CHKO Slavkovský les. Jižní okraj lokality navazuje na oblast s vysokým radonovým indexem, nalézájí se zde také stará důlní díla (šurfy) pro průzkum radioaktivních surovin. V okolí lokality a také na březích vodní nádrže Jesenice se objevují svahové nestability, oblast spadá do území střední třídy sesuvné náchylnosti.

### Shrnutí

Šitbořský potok má v současnosti převážně drenážní účinek na podzemní vody mělkého oběhu. Přehrada způsobí lokální zvýšení hladiny podzemní vody pod nádrží a v bezprostřední blízkosti. V místech, kde se nachází kolektor s volnou hladinou a nesaturovanou zónou nad hladinou podzemní vody, bude ve výsledku lokálně navýšena zásoba podzemní vody. Po ustálení stavu lze předpokládat, že dojde k infiltraci povrchové vody do propustných vrstev štěrkopísků říčních teras, případně písčité vrstev neogenních sedimentů. V blízkosti hráze bude docházet k infiltraci povrchové vody a podzemnímu odtoku směrem pod přehradu.

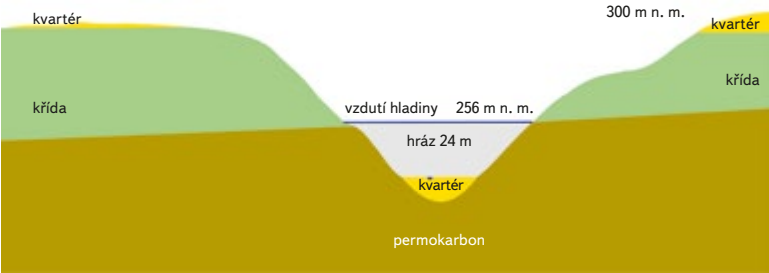


Obr. 5. Příklad možného shrnutí dat na mapových podkladech pro lokalitu LAPV Tuřany (Zdroje dat: HEIS, ČGS, MŽP, Čenia, MZe apod.)

Fig. 5. An example of a possible summary of data on map documents for a location LAPV Tuřany (Data source: HEIS, Czech Geological Survey, The Ministry of the Environment and The Ministry of Agriculture of the Czech Republic, Čenia etc.)

Příklad LAPV na sedimentech permokarbonu a křídý – Tucharaz na potoce Šembera

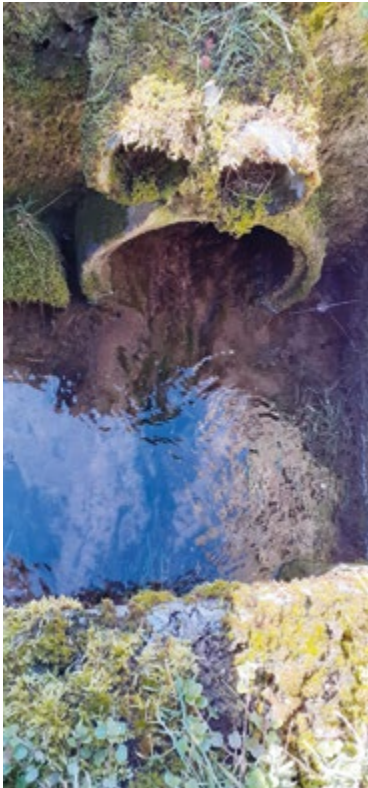
Zařazení jednotlivých LAPV do hydrogeologických rajonů někdy plně neodpovídá reálnému hydrogeologickému prostředí. Příkladem může být LAPV Tucharaz na potoce Šembera ve Středočeském kraji. Lokalita Tucharaz patří do křídového rajonu 4350. Reálně však podloží dna nádrže budou tvořit převážně permské uloženiny, pokryté při povrchu kvartérními sedimenty. Pouze okrajové vyšší boční části dna při plném napuštění nádrže budou tvořeny sedimenty české křídové pánve (obr. 6).



Obr. 6. Schematizovaný převýšený geologický řez lokalitou LAPV Tucharaz na Šemberě  
Fig. 6. Schematic geological exaggerated section of locality LAPV Tucharaz, Šembera stream

V údolí Šembery, do potenciální oblasti zátopy LAPV, jsou umístěna tři významnější jímací území pro zásobování obcí pitnou vodou, přičemž jde o obecnější problém. Významnější jímání podzemních vod bývá situováno do údolí vodních toků běžně, neboť se zde často nacházejí výrazně příhodnější podmínky pro tyto odběry. Bývá tady nejvyšší mocnost silně propustných fluvialních kvartérních sedimentů. Údolí vodních toků bývají tektonicky predisponována, a v jejich dně tudíž bývá vyšší propustnost vzhledem k tektonickému rozrušení skalních hornin. Vyskytuje se tu víceméně stálá hladina podzemní vody mělko pod terénem. V neposlední řadě existuje v tomto prostředí možnost nadlepšení jímání podzemních vod břehovou infiltrací z vodního toku.

Jímací objekty podzemní vody v místě nádrže zaniknou. Vzhledem k tomu, že napuštěním vodního díla dojde většinou k zaplavení celé údolní nivy a prostoru výskytu fluvialních sedimentů, bude nutno případné jímací objekty budovat mimo zónu rozlivu povrchové vody; tedy buď pod hrází vodního díla, nebo výše podél vodního toku. Umístění nádrže do blízkosti obcí závislých na zdrojích podzemní vody z mělké zvodně v oblasti zátopy tak může vést k potřebě



Obr. 8. Zatrubněný vodní tok/meliorace v údolí Šitbořského potoka a dno případné budoucí nádrže (LAPV Tuřany)  
Fig. 8. Piped water flow/melioration in the Šitboř stream valley and the bottom of the future reservoir (LAPV Tuřany)

doprovodných investic do vodohospodářské infrastruktury, nebo dokonce celkové přestavby zásobovací sítě.

DISKUZE

Vybudováním vodních nádrží dojde k místním změnám v režimu povrchových i podzemních vod. Oběh podzemních vod bude ovlivněn zejména v mělkém



Obr. 7. Jímací objekty podzemních vod v nivě Šembery (LAPV Tucharaz)  
Fig. 7. Groundwater pumping facility in the Šembera alluvial plain (LAPV Tucharaz)

horizontu, zahrnujícím především kvartérní sedimenty uložené podél vodních toků. Prostorové omezení vlivu akumulace povrchových vod na vody podzemní bude záviset na charakteru horninového prostředí, zejména na jeho propustnosti.

Značná část LAPV je situována do prostředí, kde je nejvhodnější lokalitou pro umístění využívaného zdroje podzemní vody prostředí fluvialních sedimentů podél vodních toků. Vybudováním hráze a napuštěním nádrže dojde v rozsahu zaplaveného území k zániku případných využívaných zdrojů podzemních vod (studní a podobně), na druhou stranu se v okolí vodní nádrželepší podmínky pro využívání zdrojů podzemních vod.

Zvýšením úrovně erozní báze může dojít i k napojení rozsáhlejšího puklinového systému v prostředí hydrogeologického masivu, a tím ke zlepšení podmínek pro využití individuálních zdrojů podzemních vod v těchto oblastech.

Přímý vliv akumulace povrchových vod na kvalitu podzemních vod nebude významný. Riziko kontaminace podzemních vod zůstane v podstatě stejné, je však třeba provést důkladný průzkum zaplavených oblastí, aby nebyly vyplaveny např. staré skládky, deponie důlních odpadů apod.

Předpokládáme, že v případě realizace akumulace povrchových vod převážší díky nástupu hladiny a zvýšení zásob podzemních vod pozitivní vliv na vodohospodářské využití zdrojů podzemních vod.

Na kvalitu povrchových vod a jejich prostřednictvím i na kvalitu vod podzemních má výrazný vliv zejména vypouštění komunálních odpadních vod. Vliv vypouštění odpadních vod na podzemní vodu v jednotlivých případech poklesne např. z důvodu zdržení povrchové vody a dalších samočisticích procesů v nádrži (např. redukce fekálních bakterií), dále i v důsledku stabilizace odtoku a zachování minimálního průtoku pod nádrží během roku, a tím i zachování ředícího poměru.

## ZÁVĚR

Vodní nádrže vybudované v oblastech LAPV povedou ke stabilizaci a vyrovnání odtoku a vytváření zásob podzemních vod. Jejich význam poroste s očekávanými projevy klimatické změny v budoucích letech.

Předpokládaný kladný vliv nádrží LAPV je však nezbytné detailně posoudit pro každou lokalitu. Na některých LAPV mohou negativní vlivy převážít – např. tam, kde jsou umístěny využívané zdroje podzemní vody pro zásobování obcí v údolních nivách vodních toků, a akumulace povrchových vod by mohla vést k zániku těchto objektů.

## Poděkování

Článek vznikl na základě výzkumu prováděného v rámci projektu „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda) – SS02030027.

## Literatura

- [1] MŽE a MŽP: *Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území*, Praha, srpen 2020.
- [2] VIZINA, A., VYSKOČ, P., KOŽÍN, R., NOVÁKOVÁ, R. Potenciál chráněných území pro akumulaci povrchových vod pro zmírnění dopadu klimatické změny na zásobování pitnou vodou. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2023, 65(1), s. 32–41. ISSN 0322-8916.
- [3] KOŽÍN, R., HANEL, M., KAŠPÁREK, L., PELÁKOVÁ, M., VIZINA, A., TREML, P. Možnosti zmírnění dopadů změny klimatu využitím území chráněných pro akumulaci povrchových vod. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2015, 57(4–5), s. 11–16.
- [4] KRÁSNÝ, J. a kol. *Podzemní vody České republiky. Regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod*. Praha: Česká geologická služba, 2012. 1 144 s.
- [5] KANDRÍK, R., VIDO, J., CHRIAŠTEL, R. Vliv výstavby jezu v lokalitě Abovce (Slovensko) na hladinu podzemních vod – případová studie v povodí Slaně. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2023, 65(1), s. 24–30. ISSN 0322-8916.
- [6] FOJTÍK, T., JAŠÍKOVÁ, L., KURFÍŘTOVÁ, J., MAKOVCOVÁ, M., MAŤAŠOVSKÁ, V., MAYER, P., NOVÁKOVÁ, H., ZAVŘELOVÁ, J., ZBOŘIL, A. GIS a kartografie ve VÚV TGM. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2022, 64(1), s. 47–52. ISSN 0322-8916.
- [7] HRKAL, Z. a kol. *Zpracování metodiky pro posuzování problematiky umělé infiltrace v ČR DU4. Návrh pilotních lokalit*. Praha: MS VUV TGM, 2010.
- [8] MORAVEC, M., VALDHANS, J. *Studie: Zdobnice, Pěčín, výstavba přehradní nádrže – předprojektová příprava – 1. etapa*. Praha: Společnost SHDP + VRV Sweco Hydroprojekt a. s., 11/2017.

## Autoři

**Mgr. Jiří Prinz**

✉ [jiri.prinz@vuv.cz](mailto:jiri.prinz@vuv.cz)

**Mgr. Pavel Eckhardt**

✉ [pavel.eckhardt@vuv.cz](mailto:pavel.eckhardt@vuv.cz)

ORCID: 0000-0002-4218-5344

**Ing. Roman Kožín**

✉ [roman.kozin@vuv.cz](mailto:roman.kozin@vuv.cz)

ORCID: 0000-0002-5773-6567

**Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha**

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2023.07.003

---

## PROTECTED AREAS FOR SURFACE WATER ACCUMULATION FROM A HYDROGEOLOGIST'S THE POINT OF VIEW – THE EFFECT OF POSSIBLE REALIZATION OF SURFACE WATER ACCUMULATION ON HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

**PRINZ, J.; ECKHARDT, P.; KOŽÍN, R.**

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

**Keywords:** water resources – surface water accumulation – potable water supply – hydrogeology – groundwater level – GIS

Suitable areas for the accumulation of surface water have been defined in the Czech Republic, potentially serving mainly for the supply of potable water and for mitigating the adverse effects of floods and drought. The sites are listed in the General Scheme on the Accumulation of Surface Water, which was obtained by the Ministries of Agriculture and the Environment following the previous long-term territorial protection of prospective water reservoirs. Before any decision to build these reservoirs, it is necessary to assess the project from various points of view. This article presents an evaluation of selected sites from a hydrogeological point of view. Among other things, it deals with the analysis of the location of potential reservoirs in the hydrogeological environment, the effect on the quantity and quality of groundwater, and the potential impact on the used groundwater resources. After the construction of the reservoirs, the groundwater level of the shallow aquifer will rise, and consequently, groundwater storage will also increase. However, it is necessary to assess the sites individually; there are often potentially negative effects of future reservoirs on groundwater.



# Studium morfologických změn vodních toků a jeho uplatnění při navrhování přírodě blízkých koryt

PETR SKLENÁŘ

**Klíčová slova:** proudění v korytě — prostorový výmol — boční a hloubková eroze — fluviální procesy — disipace energie — návrh revitalizačních úprav

## ABSTRAKT

Klimatická změna se projevuje na řadě míst výrazně prostorově lokalizovanými přívalovými srážkami s krátkou dobou svého trvání, zato však s velkou intenzitou. Jako jeden z očekávaných důsledků takového typu srážek je i vznik bleskových povodní, vyznačujících se prudkým vzestupem z hodnoty běžného průtoku na hodnotu kulminačního průtoku a opětovného rychlého poklesu. Důsledkem výskytu tohoto typu epizodálních povodňových jevů je iniciace morfologických přeměn v korytech menších a středních podhorských vodních toků, často až s devastáčními účinky pro úsek koryta vodního toku. Článek shrnuje výzkum vzniku a vývoje výmolu v úseku toku na přechodu od opevněného koryta s tvarově fixovanými břehy a dnem ke korytu, které může být zcela nekontrolovaně morfologicky přetvářeno. Hlavní pozornost byla v rámci tohoto výzkumu věnována formulaci parametrického modelu morfologického vývoje výmolu na přechodu mezi opevněným a neopevněným (rozvolněným) korytem. Poznatky z tohoto modelu mohou být využity jak pro pochopení hydraulicko-morfologických procesů, jež vznikají v místě náhlé přeměny koryta, tak i pro praktický návrh revitalizačních úprav koryta na přechodu od plně opevněného koryta ke zcela rozvolněnému korytu.

## ÚVOD

Revitalizační úpravy koryt vodních toků představují jedno z adaptačních opatření v oblasti snižování dopadu sucha na vodní režim krajiny. Tato adaptační opatření patří mezi nosná témata výzkumné činnosti projektu SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)“. Jde zejména o oblast návrhu opatření vedoucích ke snížení povodňových rizik se zaměřením na aspekty ovlivnění průběhu povodní změnou klimatu. Rovněž sem spadá výzkum dopadu klimatické změny na ekosystémy a snížení důsledků antropogenního ovlivnění vodního a na vodu vázaného prostředí a vytváření podmínek pro zlepšení ochrany ekosystémů. Revitalizace koryta vodního toku je dnes v užším hydromorfologickém měřítku vnímána jako soubor opatření, jež umožňují utváření koryta za přítomnosti širokého spektra korytotvorných, především fluviálních procesů. K těmto procesům v korytech vodních toků patří i vytváření hydraulických proudových struktur – např. kontrakce a expanze proudu, vznik úplavů s přítomností vírů s vertikální osou a vznik vodního válce s vodorovnou osou jako součást vodního skoku. Dále pak vznikají erozní, transportní a sedimentační procesy, které jsou navázány na předchozí hydraulické

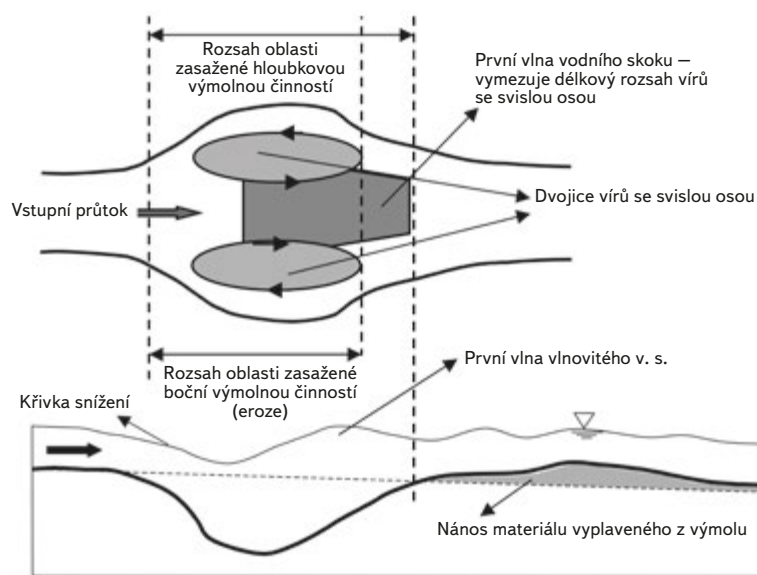
jevy. Závisí na geomechanických vlastnostech materiálu, v němž se koryto přetváří, a na stabilitě břehů, které se svou deformací výrazně podílejí na proměnlivé geometrii koryta. Při návrhu revitalizačních úprav je vhodné vycházet právě z poznatků a pozorování sukcesních procesů podílejících se na přetváření koryta. Výrazné morfologické změny lze pozorovat v terénních podmínkách během průchodů bleskových povodní i po nich, kdy morfologické změny mají značně akcelerovaný průběh. Dále lze morfologické změny pozorovat při cíleném fyzikálním výzkumu v laboratorních podmínkách, v nichž lze detailněji sledovat a vyhodnotit průběh procesu, který by však měl být pokud možno verifikován pro podmínky, jež jsou co nejbližší reálným korytům. V tomto příspěvku se autor věnuje vzniku a vývoji prostorového výmolu, pro svůj charakteristický tvar často nazývaného „výmol – hruška“, který vzniká na přechodu mezi opevněným a neopevněným korytem. To dobře odpovídá i revitalizačním úpravám vodních toků, v minulosti poznamenaných soustavnými melioracemi, při nichž docházelo k odstraňování opevnění v celých úsecích koryta.

## Výzkum výmolu v přechodové oblasti rozvolněného koryta

Problematikou stabilizace rozvolněného koryta v jeho rozšíření se již dříve zabývala řada autorů, namátkou [3, 7]. Výzkum VÚVH Bratislava [3], který se svým charakterem asi nejvíce blíží této studii prostorového výmolu, přijal jako první pro tento morfologický objekt na vodním toku pracovní označení „hruška“ (obr. 1 vpravo). Ačkoli byl výzkum proveden na modelu objektu typu „hruška“ v několika tvarových alternativách, a to i s uvážením vlivu transportu splavenin z horních částí vodního toku, nebyly uvedeny kromě obecných doporučení pro konstrukci těchto objektů metody jejich hydrotechnického řešení.

Vlastní výzkumný projekt autora, zabývající se morfologickými změnami na malých, relativně strmých podhorských vodních tocích za vysokých průtoků, byl prováděn ve dvou etapách:

1. Terénní šetření s pozorováním reakce koryt na přirozené nebo uměle vyvolané morfologické změny. Cílem této etapy bylo provést kvalitativní popis změn.
2. Laboratorní modelové experimenty, které byly zaměřeny na návrh kvantitativního modelu morfologických přeměn se schopností předpovídat morfologickou odezvu koryta při použití ekologicky šetrných a nákladově efektivních revitalizačních opatření.



Obr. 1. Vývoj „výmolu – hrušky“ iniciovaného porušením spádového stupně při povodni (vlevo); schematické naznačení charakteru proudění v přechodové oblasti prostorového výmolu (vpravo)  
 Fig. 1. Development of the “pear shaped” scour resulting from degradation of a drop structure on flash flood occurrence (left); feature of flow in transitional zone of the spatial 3D scour (right)

V části projektu, jehož cílem bylo umožnit kvantifikaci morfologických změn, probíhal soustavný výzkum v laboratorních podmínkách na dvou odlišných typech modelu koryta v přechodové oblasti. Pro komplexnější popis chování modelu byla zvolena „úplná prostorová“ realizace koryta v přechodové oblasti jeho rozvolnění (obr. 2 vlevo). Pro urychlení postupu dokumentace okamžitého vývoje výmolové prohlubně koryta byla navržena realizace symetricky zjednodušeného „polovičního“ koryta (obr. 2 vpravo). Osou symetrie koryta zde byla skleněná stěna hydraulického žlabu, v němž bylo koryto ve vstupní opevněné části i přechodové rozvolněné části vytvořeno. Tato druhá realizace umožňovala velmi rychle zachytit průběh hladiny a dna v podélném směru prakticky

v daném okamžiku. Pro urychlení geometrického zaměření hladiny i dna byla využita optická přístupnost přes skleněnou boční stěnu žlabu. Taktéž proměření rychlostních polí v přechodové oblasti koryta bylo možno provést výrazně rychleji než při úplné prostorové realizaci koryta. Je zřejmé, že předpoklad symetrie byl i z hlediska reálného vývoje koryta v rozvolnění zjednodušujícím předpokladem, který bylo nutno v další fázi projektu verifikovat s úplnou prostorovou realizací modelu koryta. V zásadě by neměly být žádné objektivní důvody pro výrazně nesymetrický vývoj výmolu, pokud k tomu ovšem nejsou vytvořeny zvláštní podmínky. Další podrobnosti o výzkumu jsou popsány v literatuře [5, 6] a pro stručnost zde nejsou uvedeny.



Obr. 2. Úplný prostorový model koryta v přechodové oblasti vývoje výmolu (vlevo); poloviční model koryta s osou symetrie ve skleněné stěně žlabu (vpravo) – vše v laboratorních podmínkách

Fig. 2. Full space model of the channel in the transition zone of scour hole development (left); symmetric half-space model of the channel with axis at the flume glass wall (right) – all under laboratory conditions

## Pozorovaný vývoj výmolu v úplném modelu koryta

Na základě pozorování sukcesního vývoje prostorové prohlubně výmolu v nekohezních materiálech lze shrnout dílčí poznatky (viz schéma na *obr. 1 vpravo*):

- Na přechodu mezi pevným a deformovatelným korytem začíná celý proces vznikem malé prohlubně ve dně tak, jak k tomu dochází i u širokých koryt. Při samovolném utváření prahu ve dně na přechodu mezi koryty vzniká proudění charakteru vodního skoku. Nejdříve jde o proudění s povrchovým válcem nebo o vlnovitý vodní skok.
- S rostoucí hloubkou prohlubně nemění toto proudění v podélné rovině výrazně svůj charakter. Jakmile prohlubeň dosáhne pat svahů, dojde k poruše jejich stability a malé části nebo i celé bloky materiálu začnou sjíždět do prohlubně. Svahy přetvárného koryta v blízkosti své paty již plynule nenavazují na svahy pevného koryta. Dochází zde k odtrhávání proudu od stěny a vznikají první boční víry u pat obou svahů.
- Boční víry začínají postupně narůstat a sílit. Hlavní část své cirkulační energie dostávají od hlavního proudu v blízkosti osy koryta. Boční válce se z obou stran rozpínají, stlačují středový proud a vedou k jeho šířkové kontrakci. Znasobuje se tím tečný účinek proudu u dna a od tohoto okamžiku postupuje prohlubování výmolu velmi rychle.
- Čím více se výmolová prohlubeň rozšiřuje do stran, tím rozvinutější je cirkulační struktura bočních válců. Materiál (písek), unášený ze dna silným proudem vodního skoku v blízkosti podélné osy koryta, je zčásti odnášen pryč z oblasti výmolu a zčásti je cirkulován v bočních válcích. Pohyb jednotlivých částic písku v cirkulačních oblastech probíhá od středu proudu do stran ke svahům, odsud podél bočních svahů protiproudě a zpětně je nasáván do hlavního proudu v ose koryta.
- Jakmile se tento cirkulační splaveninový proces ustálí, začne se další vývoj maximální hloubky výmolu zpomalovat. Hlavní proud má již totiž částečně vyčerpanou transportní kapacitu materiálem, který je cirkulován v bočních válcích. Tento materiál zpětně vstupuje do hlavního proudu vždy, když je proudění v bočních válcích posune u dna do osy koryta.

Někdy je šířka bočních válců již natolik velká, že zpětný proud podél svahů nemá dostatečnou sílu odebírat materiál ze dna. Výmol se prohlubuje více u středu, na okrajích se prohlubuje méně nebo vůbec. V takovýchto případech je dno na okrajích výmolové prohlubně velmi ploché a u středu koryta se příkře svažuje k místu maximální hloubky celého výmolu. Vytvářejí se zde postranní plošiny s jednou úzkou hlubokou prohlubní uprostřed profilu.

## Hydraulická východiska studia výmolu

Jelikož v místě prostorového výmolu vzniká vodní skok, jehož charakteristiky je možno získat aplikací věty o hybnosti, lze zcela přirozeně uvažovat o tom, že i řešení prostorového výmolu bude vycházet z tohoto principu. Věta o hybnosti umožňuje přesné řešení při navrhování dimenzí vývarů konstantní šířky, pro případ prostorového výmolu tvaru hrušky je však šířka proměnná. Je potřeba počítat i s tlakovou normálovou silou, kterou je reakce stěn objektu „hrušky“, i když v případě deformovatelných stěn ani toto zcela neplatí. Půdorysně není rozměr vodního skoku z bočních stran vymezen pevnými stěnami, nýbrž kontaktními plochami s bočními válci (*obr. 1 vpravo*). Vzhledem k tomu, že v kontaktní ploše ze strany bočních válců se svislou osou má voda obvodovou rychlost danou prouděním ve víru, nelze počítat pouze s velikostí normálové síly, ale též s tečnou silou. Kromě toho nemusí být rozdělení tlaků ve vstupním profilu vždy hydrostatické a hybnost proudu ve výstupním profilu je v důsledku nerovnoměrného rozdělení rychlostí v příčném profilu ovlivněna i velikostí Boussinesqova čísla (poměr skutečné hybnosti proudu k hybnosti vyjádřené z průřezové rychlosti). Z předchozího je tedy zřejmé, že prostá aplikace věty o hybnosti nevede k cíli. Jako nadějnější se jeví návrh autora, jenž po

vzoru Hunzingera [4] dává do vzájemné závislosti bezrozměrnou délku úplavu vznikajícího v rozšíření proudu:

$$\lambda_w = \frac{2L_w}{B_2 - B_1} \quad (1)$$

a parametr  $F$  vzájemné přeměny kinetické a polohové energie v důsledku rozšíření (*rov. 2*).

$$\lambda_w = 2,2 - 2,8 \ln(1 - F) \quad (2)$$

Bezrozměrný parametr  $F$  definoval Ashida [1] vztahem:

$$F = \left( \frac{V_2^2}{V_1^2} \right)^{1,1} \left( \frac{h_{p2}}{h_{p1}} \right)^{2,1} \quad (3a),$$

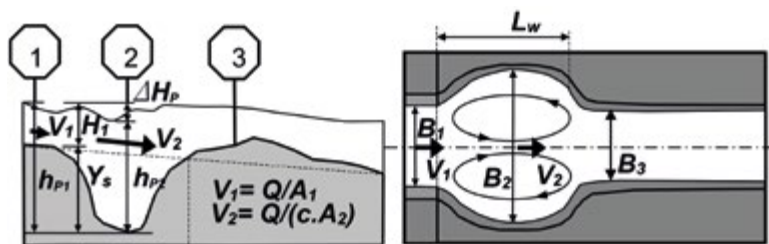
což je vyjádření přeměny energie v přechodové oblasti mezi vstupním profilem 1, kde je původní nezměněná šířka koryta, a profilem 2, kde je naopak šířka výmolu do stran největší. Důvod, proč by parametr energetické přeměny  $F$  mohl být dobrým indikátorem tendence k vytváření prostorového výmolu tvaru „hrušky“, plyne z úvahy, že čím více energie (kinetické i polohové) se přemění v bilančním úseku v disipativní formu energie a v část energie uplatňující se při transportu materiálu koryta, tím lze očekávat větší přetvárné účinky proudu na morfologii koryta, a tím bude i větší prostorový rozsah vzniklého výmolu. Všechny veličiny vystupující ve vztahu (*rov. 3a*) jsou uvedeny na *obr. 3*. V tomto definičním obrázku je význam uvedených hodnot následující:

- $V_1, V_2$  [m.s<sup>-1</sup>] – průřezové rychlosti v příslušném profilu
- $A_1, A_2$  [m<sup>2</sup>] – průtočné plochy v příslušném bilančním profilu
- $c \cdot A_2$  [m<sup>2</sup>] – část průtočné plochy v profilu 2, zmenšená o recirkulační oblasti bočních válců
- $H_1$  [m] – hloubka proudění v bilančním vstupním profilu 1
- $h_{p1}, h_{p2}$  [m] – polohové výšky hladiny na vstupu do výmolu a v místě výmolu měřené od nejnižší úrovně dna výmolu
- $\Delta H_p = h_{p1} - h_{p2}$  [m] – rozdíl polohových výšek hladin v bilančních profilech
- $Y_s$  [m] – hloubka výmolu „hrušky“
- $L_w$  [m] – celková délka výmolu „hrušky“
- $B_1, B_2, B_3$  [m] – šířky proudu v hladině na vstupu do výmolu, ve výmolu a těsně za výmolem

V *rov. 3a* je však uvažována jediná průřezová rychlost v celém profilu 1 a 2. Na základě vlastního výzkumu rozdělení bodových rychlostí v přechodové oblasti vývoje výmolu [5] lze doporučit modifikaci členů průřezových rychlostí v profilech 1 a 2 příslušnými koeficienty kinetické energie profilu (Coriolisovo číslo  $q_c$ ), zahrnujícími poměr skutečné kinetické energetické výšky k energetické výšce vyjádřené ze střední průřezové rychlosti.

$$F = \left( \frac{q_{e2} V_2^2}{q_{e1} V_1^2} \right)^{1,1} \left( \frac{h_{p2}}{h_{p1}} \right)^{2,1} \quad (3b)$$

V bilančním vztahu (*rov. 3b*) je třeba věnovat zvláštní péči vhodné volbě polohy obou bilančních profilů – zejména pak profilu 2 (*obr. 3*).



Obr. 3. Typická podoba výmolu „hrušky“ v podélném profilu (vlevo) a v půdorysu (vpravo) se základními rozměry vyznačenými v charakteristických profilech výmolu  
Fig. 3. Typical form of the “pear” shaped scour hole in a long section (left) and a plan view (right) with basic dimensions marked at characteristic profiles of scour hole

## Metodika stanovení změn koryta

Hlavním úkolem tohoto příspěvku je na podkladu předchozích sledování [5, 6] navrhnout jednoduchý postup pro stanovení rozměrů prostorového výmolu, jenž vzniká na přechodu od opevněného k plně rozvolněnému korytu bez jakéhokoli technického zajištění. Postup by měl být co nejjednodušší, umožňující určit rozsah morfologických změn koryta bez potřeby znalosti příliš mnoha detailů, které lze stanovit většinou jen v laboratorních podmínkách.

## Vztahy pro stanovení základních rozměrů prostorového výmolu

Postup měření na „plném“ prostorovém modelu byl velmi pomalý a zdoluhavý. Nedařilo se zaměřovat časově si odpovídající průběhy hladiny a dna v podélném profilu a obou bilančních příčných profilech. Pro systematické měření bylo proto nutné přistup omezit na poloviční koryto. Veškerá vyhodnocovaná experimentální data v grafech na obr. 4 pocházejí právě z těchto měření.

Pro říčního inženýra není příliš praktické používat vzorec ve tvaru rov. 3b, např. kvůli nedostatku znalostí o rozložení lokálních rychlostí v profilu 1 a hlavně 2 (obr. 3), kde vznikají boční víry. Je třeba využít některé náhradní přímočařejší vztahy. Nabízí se vztah mezi  $F$  a  $\beta = B_2/B_1$  vyneseny na obr. 4 (graf 1). Je zřejmé, že  $F$  není pouze funkcí geometrických rozměrů výmolvé prohlubně, ale souvisí také s vlastnostmi proudění před vstupem do přetvárného koryta. Proto je navržen vztah:  $F = F(\beta, Fr_1)$ , kde  $Fr_1$  je Froudovo číslo proudění ve vstupním úseku 1 definované vztahem  $Fr_1 = V_1/(gH_{1str})^{0.5}$ , kde  $H_{1str}$  je střední hloubka proudění,  $H_{1str} = A_1/B_1$ ,  $A_1$  je plocha proudění v bilančním profilu 1 a  $B_1$  je šířka proudění v hladině ve stejném úseku. Byl odvozen exponenciální vztah (rov. 4), který je přirozeně splňuje logickou podmínku  $F = 1$  pro poměr rozšíření koryta  $\beta = B_2/B_1 = 1$ .

$$F = 0,084 \exp \left( \frac{2,48}{\beta^{0,85} Fr_1} \right) \quad (R^2 = 0,867 - \text{viz obr. 4 – graf 1}) \quad (4)$$

Vztah získaný prokladem experimentálně zjištěnými body dosahuje součinitele determinace  $R^2 = 0,867$ .

Dále byl z experimentálních dat (obr. 4 – graf 2) získán vztah mezi bezrozměrnou délkou úplavu  $\lambda_w$  v analogii s Hunzigerovým vztahem (rov. 2). Vztah zohledňuje závislost geometrických rozměrů, podílejících se na vyjádření bezrozměrné veličiny  $\lambda_w$ , na parametru energetické přeměny mezi profily 1 a 2, a navíc zohledňuje i podmínky ( $Fr_1$ ) na přítoku do přechodové oblasti koryta, kde se výmlová prohlubeň vyvíjí.

$$\lambda_w = 1,47 - 0,65 \ln(1 - F) Fr_1 \quad (R^2 = 0,978 - \text{viz obr. 4 – graf 2}) \quad (5)$$

Zkušenosti z výzkumu tvaru výmolu, který vzniká účinkem ponořeného vodorovného paprsku na deformovatelné dno [2], ukazují, že tvar výmolu v jednotlivých okamžicích svého vývoje je podobný – afinní (obr. 5). Lze zjistit i zřejmou podobu mezi pozorovaným tvarem hladiny a dna v podélném profilu (obr. 1 vpravo). Proto je třeba hledat vztahy mezi základními geometrickými parametry výmolvé prohlubně ( $B_2, B_3, L_w$  a  $Y_s$ ) a také mezi úrovními vodní hladiny ( $\Delta H_p = h_{p1} - h_{p2}$ ) a dna ( $Y_s$ ). Další odvozené vztahy (rov. 6, 7 a 8) čerpané z experimentálně získaných dat (obr. 4 – graf 3, 4 a 5) byly určeny opět pomocí statistické analýzy [5, 6].

$$B_2 = 1,58 L_w + 0,14 \quad (R^2 = 0,992 - \text{viz obr. 4 – graf 3}) \quad (6)$$

$$B_3 = 0,58 B_2 + 0,10 \quad (R^2 = 0,978 - \text{viz obr. 4 – graf 4}) \quad (7)$$

$$\Delta H_p = 0,51 Y_s \quad (R^2 = 0,923 - \text{viz obr. 4 – graf 5}) \quad (8)$$

Poslední statisticky odvozený vztah z experimentálně získaných dat na „polovičním“ modelu rozvolněného koryta je patrný na obr. 4 z grafu 6.

$$\frac{Y_s}{B_2} = \left( \frac{d_{50} \tan \varphi}{B_1} \cdot \frac{L_w}{B_1} \right)^{0,57} \quad (R^2 = 0,955 - \text{viz obr. 4 – graf 6}) \quad (9)$$

Autor si je vědom skutečnosti, že rov. 9 může mít i jiný než navržený tvar se zastoupením řady dalších kombinací bezrozměrných veličin. Z celé řady prověřovaných vztahů mezi bezrozměrnými veličinami byl dle [6] vybrán právě uvedený tvar na základě nejlepší dosažené kritériální hodnoty optimalizačního procesu ( $R^2$ ) při zahrnutí minimálního počtu parametrů určených k optimalizaci (pouze mocninový exponent), což mělo pozitivní vliv na malou chybu v jejich hodnotě. Tato rovnice vzájemně svazuje všechny tři hlavní veličiny geometrie výmolu  $L_w, B_2, Y_s$  s veličinou  $B_1$  na vstupu do výmolu v závislosti na geomechanických vlastnostech zeminy ( $\tan \varphi$  [–],  $d_{50}$  [m]).

Kromě definiční rovnice parametru energetické přeměny (rov. 3a) a navržených empirických rovnic (rov. 4–9) lze v souladu s obr. 3 ještě odvodit základní vazební rovnice pro polohové výšky v bilančních profilech 1 a 2.

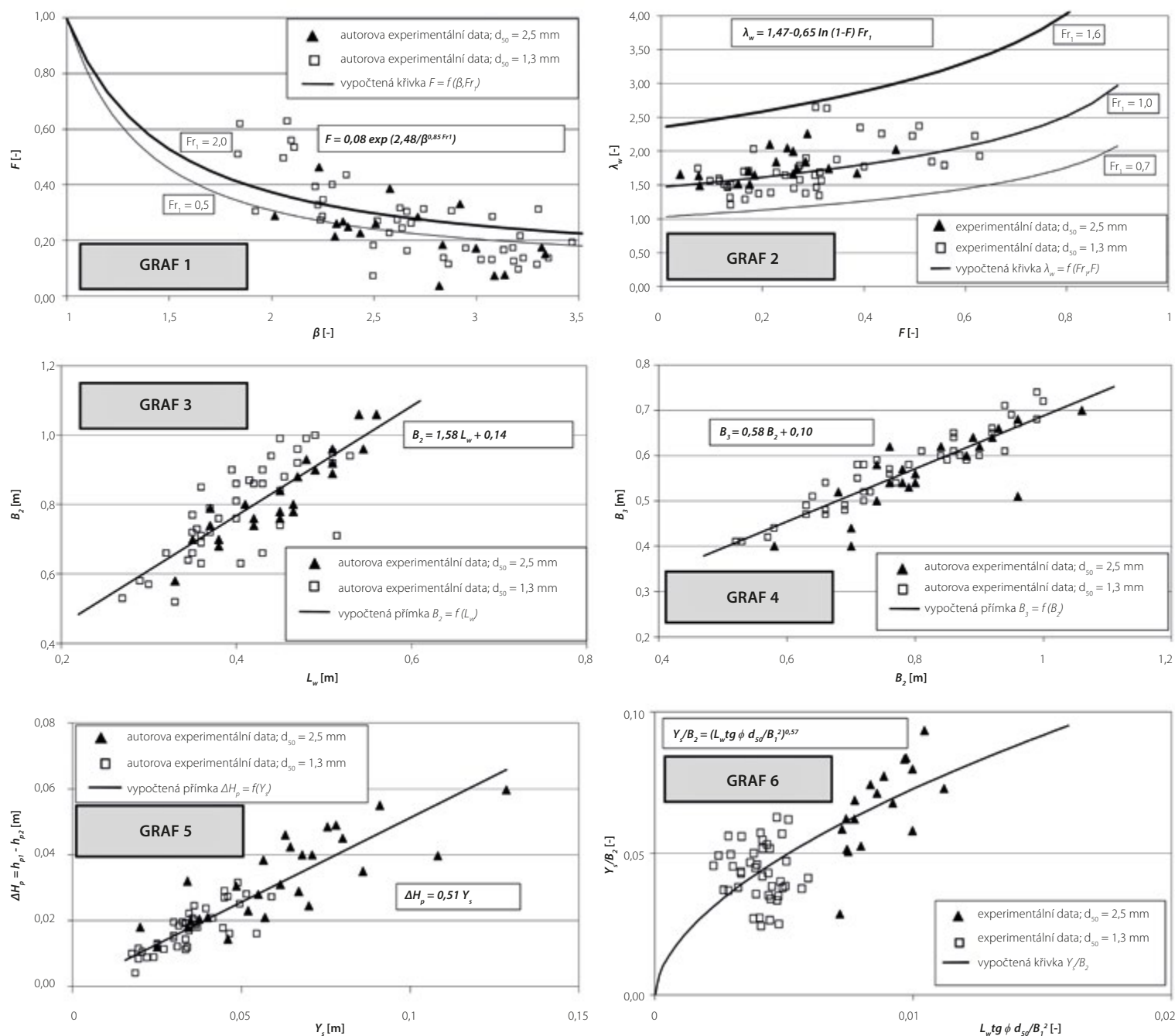
$$h_{p1} = Y_s + H_1 \quad (10)$$

$$h_{p2} = Y_s + H_1 - \Delta H_p \quad (11)$$

Poslední vazební rovnicí je výraz pro vyjádření bezrozměrné délky úplavu  $\lambda_w$ , kde  $L_w$  je délka úplavu odpovídající přibližně délce výmolvé prohlubně.

$$\lambda_w = \frac{2L_w}{B_2 - B_1} \quad (12)$$

Pro návrh rozměrů morfologického objektu byly odvozeny všechny potřebné kvantitativní vztahy. Všechny vztahy jsou rozměrově homogenní, jsou uvedeny ve formě závislosti geometrických rozměrů výmolvé prohlubně (rov. 6, 7, 8, 10, 11) nebo závislosti bezrozměrných parametrů (rov. 3a, 4, 5, 9, 12). Tyto vzorce používají jako vstupní údaje hlavní geometrické a hydraulické charakteristiky vstupního proudu ( $B_1, H_1, V_1, Fr_1$ ) v úseku koryta před rozvolněním toku a geomechanické vlastnosti nesoudržného materiálu v rozvolněné části (úhel sklonitosti zeminy pod vodou  $\varphi$  a reprezentativní velikost zrna zeminy  $d_{50}$ ). Je třeba upozornit, že v případě aplikace experimentálně odvozených rovnic je nutné vycházet z platnosti těchto vztahů pro určité rozmezí použitých bezrozměrných parametrů. Bezrozměrné vztahy (rov. 4, 5 a 9) byly odvozeny v rozmezí parametru  $Fr_1$  (0,75; 1,9) – tj. spíše v podmínkách charakteristických pro podhorské až horské potoky. Poměr rozšíření koryta  $\beta = B_2/B_1$  ve výmolvé prohlubni v experimentech odpovídal rozmezí (1,8; 3,5), tj. podmínkám proudění s dobře



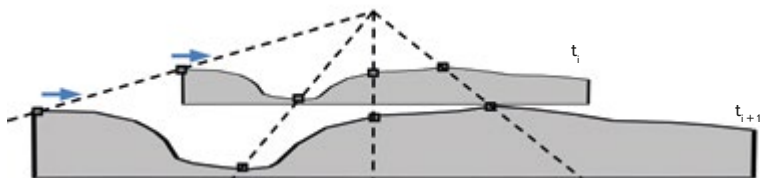
Obr. 4. Odvozené experimentální vztahy pro návrh výmolové prohlubně v přechodové oblasti rozvolněného koryta; grafy 1–6 jsou odkazovány ve schématu návrhu výmolové prohlubně (obr. 6)

Fig. 4. Relationships derived to design preformed scour hole at channel transition; graphs 1–6 are referred in chart of design procedure of the scour hole (fig. 6)

až velmi dobře rozvinutými bočními víry, které se výrazně podílejí na formování prostorového výmolů s charakteristickým tvarem „hrušky“. Bezrozměrné parametry výmolů byly v tomto rozmezí:  $B_2/H_{1str}$  (15; 50),  $L_w/H_{1str}$  (7; 23) a  $Y_s/H_{1str}$  (0,6; 2,7). Parametr energetické přeměny  $F$  se pohyboval v rozmezí (0,04; 0,8). Experimenty probíhaly pouze na dvou typech zrnitého nesoudržného lože, tvořeného významně stejnozrnnými ostrohrannými sklářskými písky FP 1–1,6 a FP 1,6–4 mm se zrnem  $d_{50} = 1,3$  mm a 2,5 mm a s čísly nestejnozrnnosti  $U = d_{60}/d_{10}$  1,5, resp. 1,7. Specifická hmotnost písku byla pro oba případy 2 516 kg/m<sup>3</sup> a objemová hmotnost 1 560 a 1 600 kg/m<sup>3</sup>. Úhel vnitřního tření pod vodou byl u jemnozrnnějšího písku 33,8° a u hrubšího písku 35,9°.

Změny všech relevantních geometrických rozměrů, jež jsou spojeny se vznikem a vývojem výmolů, jsou závislé na parametru, kterým je čas – lze tedy hovořit o „parametrickém výmolu“ [2]. V případě návrhu výmolů tvaru „hrušky“ jako stabilizovaného výmolů je třeba vycházet z jednoho známého rozměru výmolů. V praxi je častým omezením pro návrh výmolů typu „hrušky“ limitovaná šířka přilehlého příbřežního pásu, kde není nutné řešit komplikované vztahy s vlastníky okolních pozemků. Bude tedy volen tento limitovaný rozměr, odpovídající veličině  $B_2$ ; je možno však volit i kterýkoli z ostatních rozměrů ( $Y_s$ ,  $L_w$ ). Touto volbou je do výpočtu vnesen nepřímý faktor času. Projektanta výmolů tvaru „hrušky“ nemusí zajímat, v jakém čase  $t$  by k vytvoření výmolů

o výpočtem zjištěných dimenzích došlo. Podstatná je pro něj skutečnost, že jím zvolená dimenze výmolu (v čase  $t$  proměnná) je limitní, za níž již nelze jít, a že tvarově výmol odpovídá některému z afinních mezistavů (obr. 5), korespondujících s aktuálním rozsahem dvojice bočních vodních válců se svislými osami. Výmol typu „hruška“ je pak třeba ve výpočtem stanovených dimenzích stabilizovat, např. zapuštěnými záhozovými žebry ve dně i na svazích na začátku a konci objektu. Konkrétní technické opatření stabilizace výmolu však musí vycházet z místních zvyklostí na daném vodním toku, respektujících zejména charakter zemin v nivních uloženiích a dostupnou materiálovou základnu.

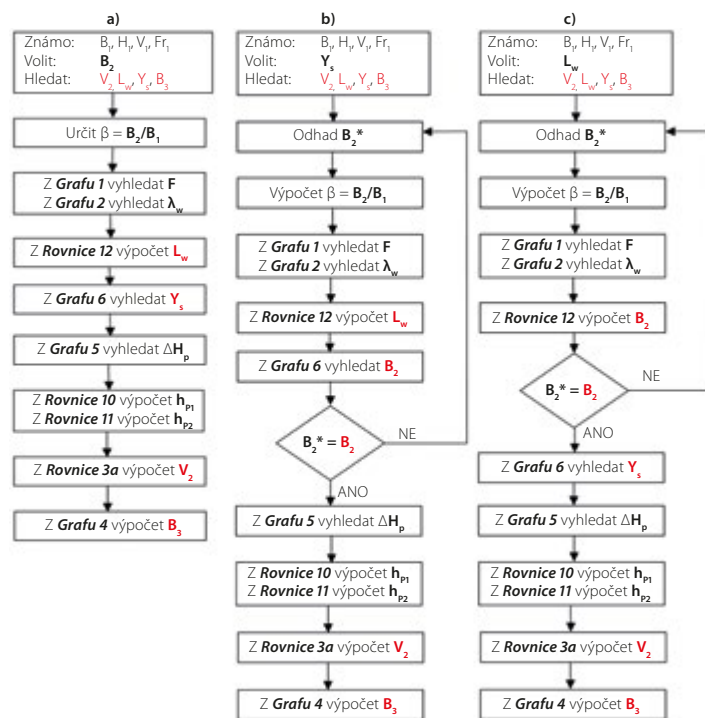


Obr. 5. Parametrický vývoj tvaru výmolu – tvar výmolu pro jakýkoli časový okamžik  $t$  je afinní ke tvaru v jiném časovém okamžiku  $t + 1$

Fig. 5. Parametric scour hole development – the scour hole shape for any time instant  $t$  is affine to the shape at another time instant  $t + 1$

## Návrhová metodika prostorového výmolu

Schéma postupu stanovení základních rozměrů výmolové prohlubně v přechodové oblasti rozvolněného koryta vychází z grafického znázornění na obr. 6. Pro vstupní tvarově fixovaný profil 1 opevněného koryta jsou známy charakteristiky proudu – hloubka  $H_1$ , rychlost  $V_1$ , hodnota Froudeova čísla  $Fr_1$  a šířka proudu  $B_1$ .



Obr. 6. Schéma postupu stanovení prostorové výmolové prohlubně, kdy jeden z rozměrů je zvolen: a)  $B_2$  je zvolen; b)  $Y_s$  je zvolen; c)  $L_w$  je zvolen. Odkazované grafy jsou uvedeny v obr. 4, čísla rovnic odpovídají textu

Fig. 6. Charts of design procedure of the scour hole dimensions which one is chosen: a)  $B_2$  is given; b)  $Y_s$  is given; c)  $L_w$  is given. The referenced graphs are shown in fig. 4, the numbers of the referenced formulas correspond to the text

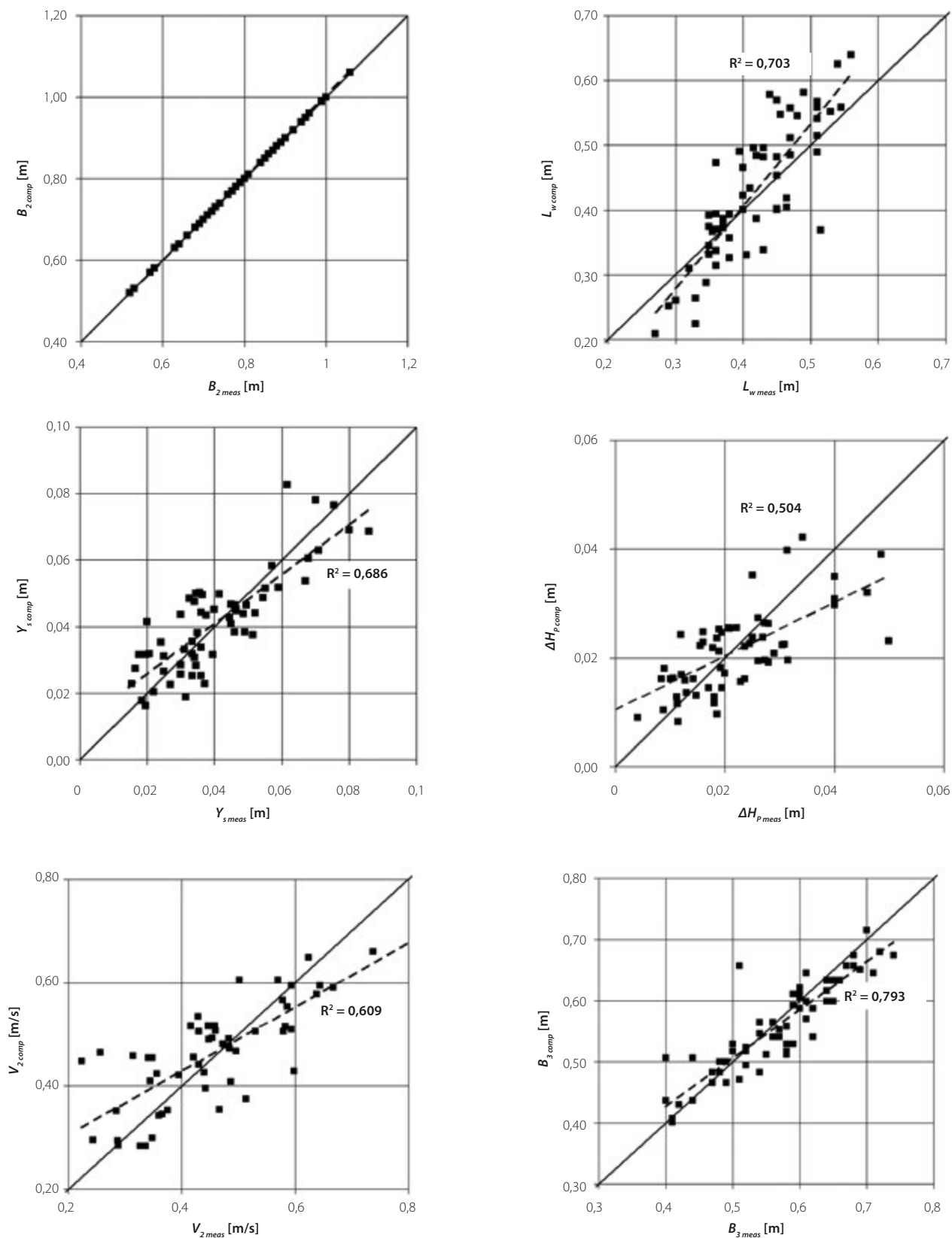
odpovídající výchozí šířce koryta v přechodové oblasti rozvolněného koryta. Návrh výmolové prohlubně jako prostorového morfologického prvku spočívá v určení jeho základních geometrických rozměrů  $B_2$ ,  $L_w$ ,  $Y_s$ ,  $B_3$  a stanovení snížené průřezové rychlosti  $V_2$  v rozšířeném profilu 2 (obr. 3). Postup stanovení základních veličin výmolu se u alternativy a), b) nebo c) na obr. 6 liší podle toho, zda je výchozím známým nebo zadaným rozměrem výmolové prohlubně její maximální šířka  $B_2$ , hloubka  $Y_s$ , nebo délka  $L_w$ . Ve všech alternativách výpočtu je třeba nejdříve určit poměr rozšíření koryta  $\beta = B_2/B_1$  – pokud  $B_2$  není známo nebo zadáno, je třeba jej odhadnout. Dále je třeba dle grafu 1 nebo ze vztahu (rov. 4) stanovit parametr energetické přeměny  $F$  v závislosti na  $\beta$  a hodnotě  $Fr_1$  a dle grafu 2 nebo ze vztahu (rov. 5) bezrozměrnou délku úplavu  $\lambda_w$ , jež spojuje základní půdorysné rozměry výmolové prohlubně  $L_w$ ,  $B_1$  a  $B_2$  prostřednictvím vztahu (rov. 12). Pokud  $B_2$  nebylo známo na počátku výpočtu a bylo nutné ho volit, lze jeho správnou volbu ověřit právě vztahem (rov. 12), popř. i grafem 6, resp. vztahem (rov. 9), který spojuje geomechanické vlastnosti nesoudržného materiálu v rozvolnění koryta a všechny základní geometrické rozměry výmolové prohlubně. Pokud je docíleno dostatečné shody odhadu  $B_2$  s jeho hodnotou určenou výpočtem, lze postupovat dále stanovením šířky koryta na konci výmolové prohlubně  $B_3$  dle grafu 4, resp. pomocí vztahu (rov. 7). Pokud je třeba stanovit průřezovou rychlost  $V_2$  v profilu 2 (např. pro posouzení kritické nevymílací rychlosti částic dna), stanoví se nejdříve snížení hladiny ve výmolu  $\Delta H_p$  dle grafu 5, resp. vztahem (rov. 8) a následně se využijí vazební vztahy (rov. 10) a (rov. 11) ke stanovení polohových výšek  $h_{p1}$  a  $h_{p2}$ . Poté již lze použít definiční vztah (rov. 3a) pro stanovení průřezové rychlosti  $V_2$  v profilu 2 ve výmolu.

## VÝSLEDKY A DISKUZE

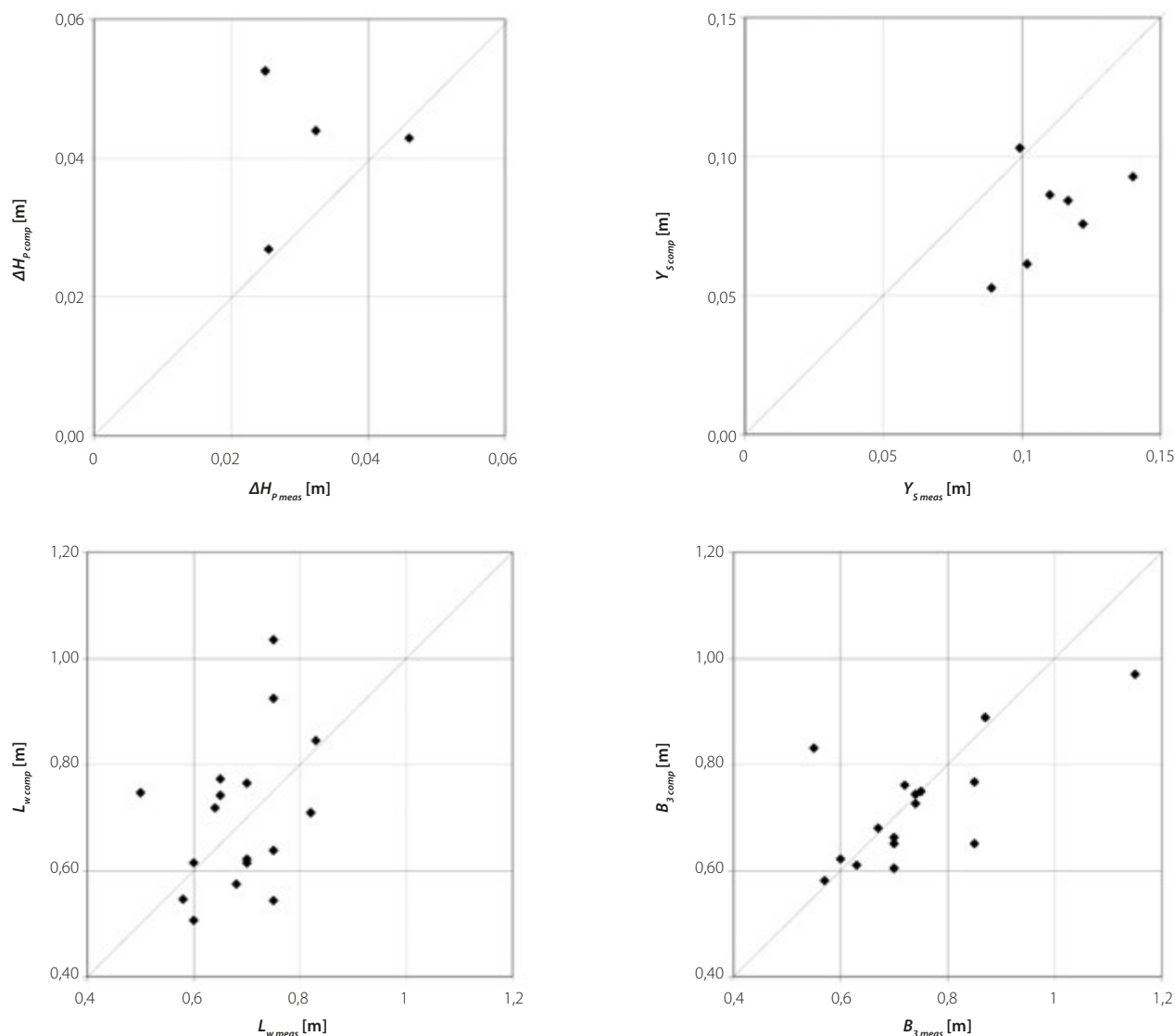
Soustava empirických rovnic (4–9) společně s rovnicemi výškových vztahů (10, 11) a definičními vztahy (3a) a (12) tvoří systém k plnému řešení prostorového výmolu tvaru „hrušky“. Vzájemně provázaná aplikace jednotlivých vztahů při výpočtu výmolu, tvořící ucelený postup, je chápána jako metodika návrhu výmolu typu „hruška“. Každá z empirických rovnic však byla statisticky upřesněna pouze individuálně. Je tedy nezbytné prověřit, jaké míry shody s měřeními daty lze docílit při aplikaci celého systému navržených vztahů – návrhové metodiky. Nejedná se zde o verifikaci na nezávislém souboru dat. Jde pouze o prověření, jak „přiléhavá“ je celá metodika výpočtu výmolu v porovnání s měřeními daty, z nichž byl každý z použitých empirických vztahů individuálně odvozen. Při stanovení výmolu typu „hruška“ musí být vždy jeden z rozměrů výmolu volen, čímž je do návrhu parametrického výmolu vnesen faktor času. Podle toho, který z rozměrů je volen, musí být metodický postup mírně upraven – jsou použity stejné vztahy, ale v jiném pořadí. Schémata postupu řešení pro případ, že jsou voleny rozměry a)  $B_2$ , b)  $Y_s$  nebo c)  $L_w$ , jsou uvedena na obr. 6.

Postup posouzení „přiléhavosti“ probíhal následovně. Vyšlo se ze známých údajů o proudění na vstupním profilu do výmolu (průřezová rychlost  $V_1$ , hloubka  $H_1$  a šířka proudu  $B_1$  a z nich stanovená hodnota  $Fr_1$ ) a geomechanických vlastností zeminy ( $d_{50}$ ,  $\phi$ ) – tyto údaje budou většinou v praxi také známy. Byly aplikovány jednotlivé postupy řešení podle toho, který z rozměrů  $B_2$ ,  $Y_s$  nebo  $L_w$  byl volen jako výchozí pro výpočet. Výsledkem byly vypočtené veličiny  $B_2$ ,  $L_w$ ,  $Y_s$ ,  $\Delta H_p$ ,  $V_2$ ,  $B_3$  (označené indexem *comp* = *computed*). Ty byly porovnány pomocí testu shody s veličinami změřenými v polovičním modelu koryta (označené indexem *meas* = *measured*). Výsledky testu shody pro výpočet při zvoleném rozměru  $B_2$  ukazuje obr. 7. První graf sady vykazuje naprostou shodu, neboť zaměřená data byla použita zároveň i jako výchozí rozměr ve výpočtu. Provedené testy shody pro další volené výchozí rozměry výmolové prohlubně  $Y_s$  a  $L_w$  (není zobrazeno) umožňují učinit závěr, že výpočetní metodika výmolu je „nejpřiléhavější“, pokud je jako výchozí volený rozměr pro výpočet použita právě šířka výmolu  $B_2$ .

Mimo posouzení „přiléhavosti“ u navržené výpočetní metodiky byla také provedena její verifikace se skupinou nezávislých dat, jež byla získána na „úplném“



Obr. 7. Posouzení přiléhavosti metodiky výpočtu výmolu testem shody vypočtených (*comp*) a měřených (*meas*) geometrických a hydraulických charakteristik při volbě šířky  $B_2$   
 Fig. 7. Assessment of the scour hole computation procedure suitability by testing the agreement between calculated (*comp*) and measured (*meas*) geometric and hydraulic characteristics when the width  $B_2$  is given



Obr. 8. Verifikace výpočetní metodiky návrhu výmolu typu „hrušky“ (při voleném  $B_2$ ) testem shody s daty zjištěnými na „plném“ prostorovém modelu  
 Fig. 8. Verification of the “pear shaped” scour hole computation procedure (when  $B_2$  is given) by a test of agreement with the data measured in the “full” spatial model

prostorovém modelu. Ze sady 23 experimentů na prostorovém modelu bylo možné vyhodnotit jen některé posuzované veličiny s četností hodnot v souboru v rozmezí 4–17. Toto porovnání mezi výpočetní metodikou odvozenou na „polovičním“ modelu a daty zjištěnými v „úplném“ prostorovém modelu je jistě užitečné (obr. 8). Lze zde stanovit, jak významně se promítne zjednodušující předpoklad symetrie proudění ve výmolu do správnosti výpočetní metodiky odvozené za zjednodušujících předpokladů.

Dat pro porovnání je málo. Ta, která byla k dispozici, ukazují, že zjednodušující předpoklad symetrie skutečně má určitý dopad na přesnost navržené metodiky výpočtu výmolu typu „hrušky“ při její aplikaci na plně prostorový případ vymílání. Lze se však domnívat, že ovlivnění správnosti výpočetní metodiky z důvodu předpokladu symetrie proudění nepřesahuje vliv jiných faktorů, včetně chyb při měření. Např. svislicové rychlosti určené v „polovičním“ modelu byly měřeny zjednodušeným způsobem a skleněná stěna v ose proudu zřejmě mírně ovlivňovala tvar hladiny i dna v její blízkosti. Naopak u „plného“ modelu docházelo k méně přesnému a časově nepohotovému zaměřování dna a hladiny hrotovým měřítkem. Při zvážení všech uvedených vlivů zahrnutých v rámci

chyb a zkrácení při zvoleném postupu experimentálních prací se lze domnívat, že předložená výpočetní metodika má reálné jádro a mohla by být přínosem v oblasti návrhu morfologických objektů při revitalizačních úpravách na vodních tocích.

## ZÁVĚR

Výše uvedený postup pro stanovení prostorové výmolvové prohlubně v rozvolnění toku lze využít při návrhu přírodně blízkých koryt malých vodních toků nebo v procesu zpřiroďování v minulosti necitlivě kanalizovaných koryt drobných vodotečí v podhorských oblastech. Konstruování předem vytvořených morfologických objektů ve formě cíleného rozvolnění koryta, které podporují vznik prostorového proudění a disipaci přebytku kinetické energie, může být užitečným a nákladově efektivním opatřením v prevenci proti destruktivní erozi povodňového průtoku v korytě a zároveň může vést ke zvýšení morfologické, a tedy i habitatové rozmanitosti uvnitř koryta vodního toku.

Nicméně, přijetí těchto opatření v rámci procesu revitalizačních úprav koryta vodního toku musí být vždy řádně posouzeno příslušným vodoprávním úřadem z hlediska změny stavu i užívání vlastního koryta a území v okolí vodního toku, kdy se např. opevněný meliorovaný odvodňovací kanál změní na tvarově rozvolněný mělký luční potok a okolní odvodněná zemědělsky využívaná plocha se přemění na občasné zatápné louky.

## Poděkování

*Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu podpořeného Technologickou agenturou ČR SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu (Centrum Voda)“.*

## Literatura

- [1] ASHIDA, K. On River Bed Variations and Stable Channels in Alluvial Streams. *Bulletin of the Disaster Prevention Research Institute*. 1964, 14, s. 23–45.
- [2] BREUSERS, H. N. C. Scour bellow Low Head Structures. In: BREUSERS, H. N. C., RAUDKIVI, A. J. *Scouring. IAHR Hydraulic Structures Design Manual 2*. Rotterdam/Brook-field: Balkema, 1991, s. 123–142. ISBN 978-9061919834.
- [3] HRAZDÍLEK, I. Etapa č. 02. Výskum transformácie prizmatických korýt ako súčasť ich revitalizácie a výskum vzájomného ovplyvňovania prúdenia v inundácii a v koryte. Bratislava: VÚVH, 1999. 138 s.
- [4] HUNZINGER, L. *Flussaufweitungen – Morphologie, Geschiebehaushalt und Grundsätze zur Bemessung*. Zürich: VAW, 1998. 206 s. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH, 159.
- [5] SKLENÁŘ, P., WRIGHT, C. Scour Formation and Dissipation of Kinetic Flow Energy in a Channel with Loose Boundary and Small Width/Depth Ratio. In: *Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics – River Flow*. Vol. 2. A. A. Balkema Publisher, 2002, s. 117–125. ISBN 978-9058095169.
- [6] SKLENÁŘ, P. *Hydraulické a morfologické účinky proudění v korytech malých vodních toků s revitalizačními úpravami. Doktorská disertační práce*. Praha: Fakulta stavební ČVUT, 2004.
- [7] ZARN, B. Stabilising a Riverbed by Local Widening – A Case Study of the River Emme, Switzerland. In: *Sediment Transport Mechanisms in Coastal Environments and Rivers. Proceedings of the EUROMECH 310 Conference, Le Havre, France, 13–17 September 1993*, s. 388–396. World Scientific Publication, 1994. ISBN 978-9810218546.

## Autor

**Ing. Petr Sklenář, Ph.D.<sup>1,2</sup>**

✉ petr.sklenar@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-4591-3148

<sup>1</sup>Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

<sup>2</sup>Fakulta stavební ČVUT, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2023.07.002

# STUDY OF STREAM MORPHOLOGICAL CHANGES AND ITS APPLICATION IN THE DESIGN OF ENVIRONMENTALLY ACCEPTABLE CHANNELS

**SKLENÁŘ, P.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

<sup>2</sup>CTU – Faculty of Civil Engineering, Prague

**Keywords:** open channel flow – 3D scour – bed and bank erosion – fluvial processes – energy dissipation – design of channel renaturation

Climatic changes are manifested in a number of places by significantly spatially localized torrential rainfalls with a short duration but with a high intensity. One of the expected consequences of this type of precipitation is the occurrence of flash floods with devastating effects of enormous morphological changes in the channels of small or medium sub-mountainous streams. This paper summarizes research on the initiation and development of a scour hole at transition from fixed to loose channel boundary. The main attention in this research was paid to development of a new method of the spatial stabilization of the channel “parametric morphological scour”, using their shape modifications without application of any engineered methods of revetment, enabling successive natural channel changes. The insights from this model can be used both for understanding the hydraulic-morphological processes that occur at the site of sudden channel transition, and for practical design of channel renaturation at conditions of transition from fixed to loose channel boundary.



# Budou průtoky ve vodních tocích v létě k horizontu roku 2060 o polovinu menší?

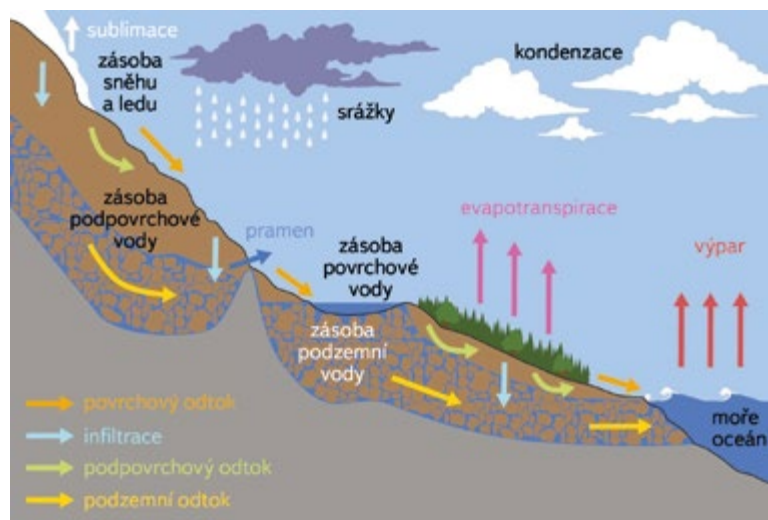
Zvýšení potenciální evapotranspirace vlivem oteplování je dosti často používáno jako ukazatel probíhajících a předpokládaných změn hydrologické bilance. Bez posouzení jejího působení v povodích s rozdílným režimem srážek není správné změnu potenciální evapotranspirace považovat za zvýšení reálné evapotranspirace nebo zmenšení odtoku.

Pro lepší porozumění zopakujeme definice základních složek hydrologické bilance, jež použijeme v následujících úvahách a výpočtech.

- **SRÁŽKY** ve formě deště, sněhu, krup, rosy, jinovatky, námrazy apod. jsou jediným vstupem hydrologické bilance.
  - **EVAPOTRANSPIRACE** zahrnuje evaporaci (výpar z vodní hladiny, půdy a povrchu vlhkých rostlin) a transpiraci rostlin.
    - **POTENCIÁLNÍ EVAPOTRANSPIRACE** je teoretická horní hranice výparu z plochy v daných přírodních a meteorologických podmínkách. Vyjadřuje schopnost vzdušného prostředí odnímat vodu z povrchu – odpovídá přibližně výparu z volné vodní hladiny nebo evapotranspiraci z trávníku s optimální vlhkostí. Je závislá především na teplotě vzduchu.
    - **SKUTEČNÁ EVAPOTRANSPIRACE** závisí na teplotě vzduchu, resp. potenciální evapotranspiraci, a je omezena množstvím vody, které je pro výpar a transpiraci k dispozici. Bývá také označována termínem územní výpar.
  - **POVRCHOVÝ ODTOK** nastává ve dvou situacích – pokud intenzita srážek překračuje rychlost vsakování, nebo pokud je svrchní půdní profil zcela nasycen vodou. Do nejbližšího vodního toku se dostane rychle, v řádu minut až hodin.
  - **HYPODERMICKÝ (PODPOVRCHOVÝ) ODTOK** probíhá preferenčními cestami ve svrchní vrstvě půdy a podloží bez kontaktu s hladinou podzemní vody. Do vodního toku se dostane během několika dnů po dešti nebo tání sněhu.
  - **ZÁKLADNÍ (PODZEMNÍ) ODTOK** je vyvěrání ze zásob podzemní vody v podobě pramenů nebo skrytých pod hladinou do vodních toků a nádrží. Ve vodním toku se projevuje během týdnů až měsíců po dešti či tání sněhu.
  - **ZÁSoba VODY** se nachází v kolektorech podzemní vody, v půdě, mokřadech, ve vodních nádržích nebo ve sněhu a ledu, zpravidla na dočasnou dobu. Pokud se budeme zabývat průměry z dostatečně dlouhého víceletého období, lze vliv zásob zanedbat, ale již při posuzování bilance jednotlivých let či kratších období jsou podstatné.
- V hydrologické bilanci povodí, jež se dá vyjádřit následující rovnicí, je obsažena reálná, nikoli potenciální evapotranspirace:

$$\text{SRÁŽKY} = \text{EVAPOTRANSPIRACE} + \text{POVRCHOVÝ ODTOK} + \text{PODPOVRCHOVÝ ODTOK} + \text{PODZEMNÍ ODTOK} \pm \text{ZMĚNA ZÁSoby VODY (obr. 1)}$$

Hydrologickou bilanci povodí lze popsat jako soupeření dvou složek výstupu – výparu z plochy povodí a odtoku vody z povodí o podíl ze složky vstupní, kterou jsou atmosférické srážky. Pod pojem odtok v tomto případě zahrnujeme celkový odtok, vytvořený v časově proměnných poměrech složkou povrchového odtoku, podpovrchového odtoku a základního odtoku, soustředěný v průtoku závěrovým profilem toku.

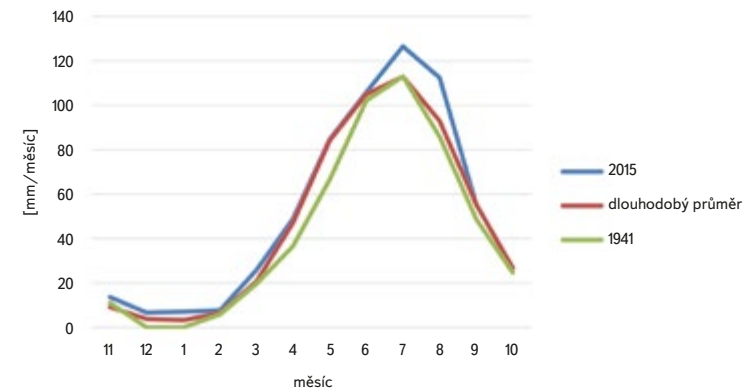


Obr. 1. Schéma hydrologického cyklu [2]

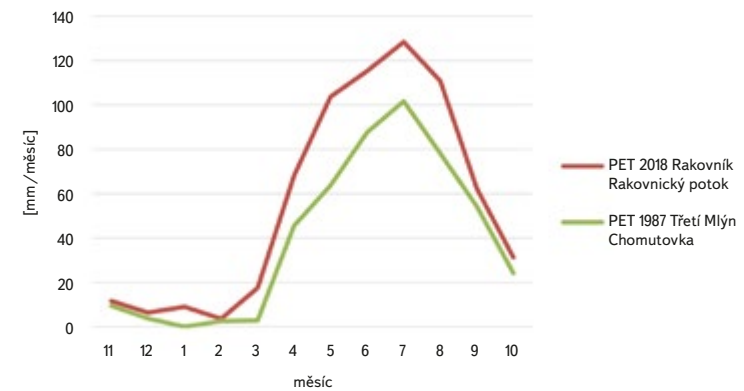
Dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek činí v ČR 680 mm, skutečná evapotranspirace je 490 mm, celkový odtok 190 mm, tj. pouze 28 % srážek, zatímco 72 % srážek se vypaří. V našich klimatických podmínkách s výjimkou povrchového odtoku z přívlových dešťů, který v dlouhodobém průměru tvoří cca 2 % až 6 % srážek, ovlivňuje rozhodující část bilance skutečná evapotranspirace, závislá na potenciální evapotranspiraci, ale omezená velikostí srážek a dostupným množstvím vody v povrchové vrstvě půdy, jež je výsledkem bilance předcházejícího období.

## Potenciální evapotranspirace

Pro stanovení potenciální evapotranspirace existuje několik metod výpočtu. V oblasti hydrologického modelování se osvědčil relativně jednoduchý postup podle článku [1], ve kterém je její průběh určován podle teploty vzduchu. Potenciální evapotranspirace je uváděna ve stejných jednotkách jako srážky, tj. ve výšce vody spadlé či vypařené za rok nebo měsíc. Potenciální evapotranspirace má vzhledem k závislosti na teplotě vzduchu v roce typický průběh, znázorněný na obr. 2. Na něm jsou vyneseny dlouhodobé průměrné měsíční výšky potenciální evapotranspirace v průběhu hydrologického roku na povodí Labe v Děčíně. Jako ukázka její proměnlivosti v jednotlivých letech jsou zobrazeny hodnoty pro extrémně chladný rok 1941 a velmi teplý rok 2015. Největší rozdíl mezi hodnotami z let 2015 a 1941 je v srpnu – činí 26,5 mm a odpovídá 30,8 % hodnoty roku 1941. Větší rozdíly potenciální evapotranspirace ukazuje obr. 3, zachycující její průběh v povodí Rakovnického potoka ve středních Čechách v extrémně teplém roce 2018 a průběh v horském povodí Chomutovky po Třetí Mlýn v relativně chladném roce 1987. Největší rozdíl zobrazených průběhů je patrný v červenci: 36,9 mm, tedy 38,5 % hodnoty z Rakovníku.



Obr. 2. Průběh potenciální evapotranspirace na povodí Labe po Děčín v teplém roce 2015, v extrémně chladném roce 1941 a v dlouhodobém průměru



Obr. 3. Průběh potenciální evapotranspirace (PET) v teplém roce 2018 na povodí Rakovnického potoka a chladném roce 1987 na povodí Chomutovky

### Reálná evapotranspirace

Při zkoumání regresních vztahů pro odhad ročních výšek evapotranspirace bylo prokázáno, že vztah evapotranspirace a srážek je u většiny povodí podstatně těsnější než vztah evapotranspirace a potenciální evapotranspirace. Při regionálním odhadu dlouhodobých průměrů reálné evapotranspirace, tj. také dlouhodobých průměrů odtoku, bývají aplikovány vztahy používající jako vysvětlující proměnné srážky i teploty. Pro velikost reálné evapotranspirace, doplňování zásoby vody v půdě a tvorbu odtoku jsou rozhodujícím činitelem relace mezi potenciální evapotranspirací a srážkami v časovém průběhu. Pro popis hydrologické bilance volíme měsíční krok, ve kterém je zásobními složkami bilance vyrovnáno detailnější kolísání bilančních veličin. V průběhu bilančního procesu nastávají dvě odlišné situace:

- Při zanedbání rozložení srážek v měsíci lze použít předpoklad, že pokud srážky v daném měsíci převyšují potenciální evapotranspiraci, je jejich část spotřebována na reálnou evapotranspiraci shodnou s potenciální evapotranspirací a zbývající část infiltruje do půdy. Je-li půda plně nasycena, prosákne část srážky půdou, generuje podpoверхový odtok a doplňuje zásoby podzemní vody.
- Pokud jsou srážky v daném měsíci menší než potenciální evapotranspirace a půda je nasycená, spotřebují se celé na reálný výpar. Jestliže půda není zcela nasycená, část srážek zvětší zásobu vody v půdě, část přispěje k výparu, ale skutečný výpar je menší než potenciální evapotranspirace.

Při uvažování o důsledcích probíhajícího oteplování je tedy třeba nezanebávat, že zvýšení teploty vzduchu, resp. zvětšení potenciální evapotranspirace,

se projevuje zvětšením reálné evapotranspirace, jen když je pro výpar a transpiraci dostupná voda ze srážek a z půdní zásoby. Výskyt takových podmínek je pravděpodobnější v povodích s vyšší nadmořskou výškou, kde jsou větší srážky. Vlivem nižších teplot je ve výše položených povodích menší potenciální evapotranspirace, takže popsaná podmínka je snadněji splněna.

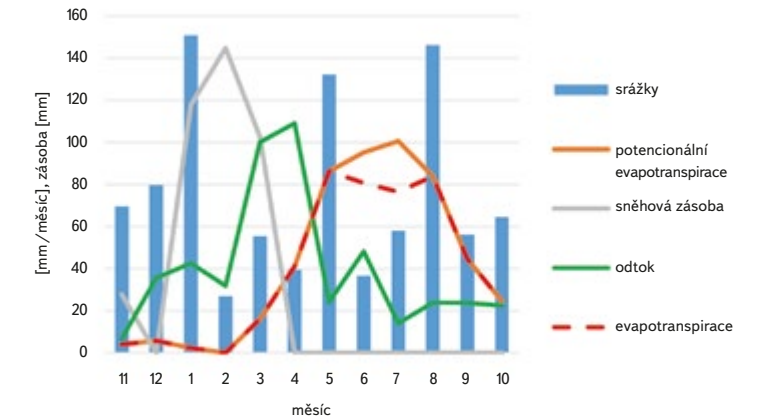
### Příklady průběhů bilančních veličin ve vztahu k potenciální evapotranspiraci

Příklady průběhu srážek, potenciální evapotranspirace, evapotranspirace a odtoku v chladném roce 1986 a v teplém roce 2015 z horského povodí Chomutovky (plocha 43,6 km²) jsou uvedeny na obr. 4 a 5 a z povodí Rakovnického potoka (plocha 302 km²) na obr. 6 a 7. Tab. 1 a 2 obsahují roční hydrologické charakteristiky bilančních veličin. Hodnoty roční evapotranspirace odpovídají zobrazeným měsíčním modelovaným průběhům a od rozdílů (srážky minus odtok) se liší o zmenšování nebo doplňování zásob vody v povodí (k největšímu poklesu o 46,7 mm došlo v roce 2015 v povodí Rakovnického potoka). V tab. 3 je analogická sestava dat pro povodí Labe v Děčíně, uvedená bez odpovídajících obrázků.

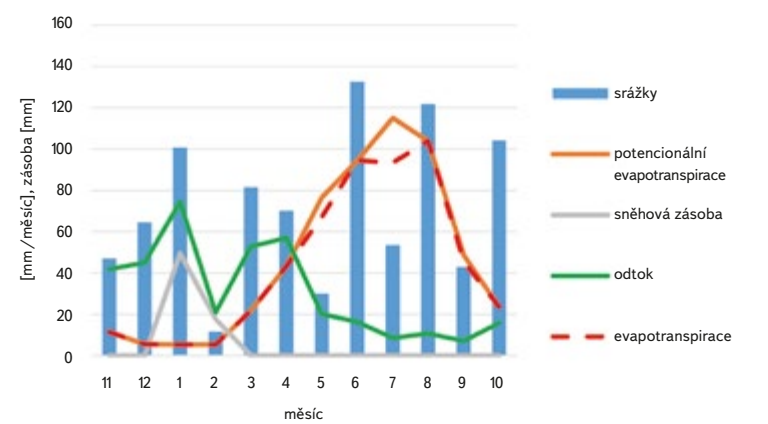
Tab. 1. Charakteristiky hydrologických let 1986 a 2015 – povodí Chomutovky po Třetí Mlýn

| Charakteristika                                     | rok 1986 | rok 2015 | rozdíl 2015–1986 |
|-----------------------------------------------------|----------|----------|------------------|
| Teplota vzduchu [° C]                               | 5,45     | 7,46     | 2,01             |
| Srážka [mm/rok]                                     | 916      | 861      | -55              |
| Odtok [mm/rok]                                      | 482      | 370      | -112             |
| Odtok (% ze srážky)                                 | 53       | 43       | -10              |
| Potenciální evapotranspirace [mm/rok]               | 505      | 554      | 49               |
| Evapotranspirace [mm/rok]                           | 466      | 521      | 55               |
| Evapotranspirace (% z potenciální evapotranspirace) | 92       | 94       | -2               |

V povodí Chomutovky v chladném roce 1986 potenciální evapotranspirace pouze ve dvou měsících převyšovala srážky, takže evapotranspirace byla jen o 8 % menší; i v teplém roce 2015 byla jen o 6 % menší. Zvětšení evapotranspirace v roce 2015 oproti roku 1986 je obdobné zvětšení potenciální evapotranspirace. Pokles odtoku je větší, podílil se na něm pokles srážky i evapotranspirace.



Obr. 4. Průběh bilančních hydrologických veličin v roce 1986 – povodí Chomutovky



Obr. 5. Průběh bilančních hydrologických veličin v roce 2015 – povodí Chomutovky

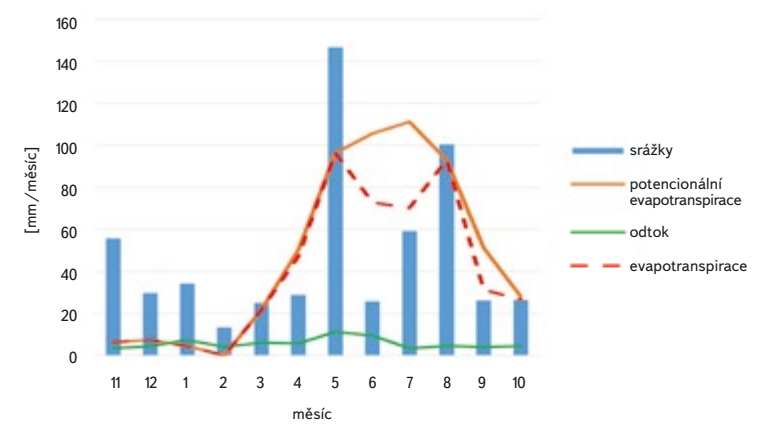
Tab. 2. Charakteristiky hydrologických let 1986 a 2015 – povodí Rakovnického potoka po Rakovník

| Charakteristika                                     | rok 1986 | rok 2015 | rozdíl 2015–1986 |
|-----------------------------------------------------|----------|----------|------------------|
| Teplota vzduchu [°C]                                | 7,36     | 9,66     | 2,3              |
| Srážka [mm/rok]                                     | 571      | 423      | -148             |
| Odtok [mm/rok]                                      | 67,9     | 50,7     | -17,2            |
| Odtok (% ze srážky)                                 | 11,8     | 12       | 0,2              |
| Potenciální evapotranspirace [mm/rok]               | 575      | 637      | 62               |
| Evapotranspirace [mm/rok]                           | 477      | 419      | -58              |
| Evapotranspirace (% z potenciální evapotranspirace) | 83       | 66       | -17              |

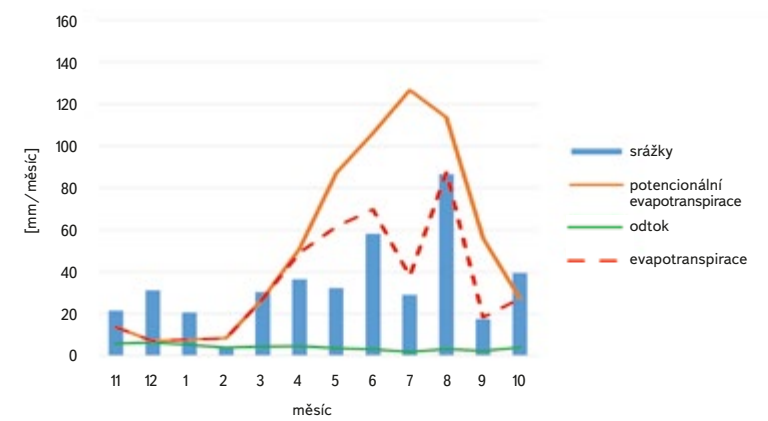
V povodí Rakovnického potoka i v chladném roce 1986, zejména v červnu a červenci, potenciální evapotranspirace výrazně převyšovala srážky, evapotranspirace byla o 17 % menší. V teplém a suchém roce 2015 byla menší o 34 %. Zvětšení potenciální evapotranspirace v roce 2015 oproti roku 1986 se neuplatnilo, následkem poklesu srážek o 148 mm reálná evapotranspirace poklesla. Pokles odtoku je v porovnání se zvětšením potenciální evapotranspirace i vzhledem k poklesu srážky malý. Očividně byl odtok, blíží se vyschnutí toku, tvořen výtokem zbytku dynamických zásob podzemní vody a ze srážek byl dotován jen do ledna. Na obr. 7 je patrné, že i kdyby v roce 2015 byly od května do července srážky podstatně větší, neprojevily by se podstatným zvětšením odtoku, spotřebovala by je evapotranspirace.

Tab. 3. Charakteristiky hydrologických let 1986 a 2015 – povodí Labe po Děčín

| Charakteristika                                     | rok 1986 | rok 2015 | rozdíl 2015–1986 |
|-----------------------------------------------------|----------|----------|------------------|
| Teplota vzduchu [°C]                                | 7,04     | 9,19     | 2,15             |
| Srážka [mm/rok]                                     | 733      | 496      | -237             |
| Odtok [mm/rok]                                      | 205      | 118      | -87              |
| Odtok (% ze srážky)                                 | 28       | 23,7     | -4,2             |
| Potenciální evapotranspirace [mm/rok]               | 562      | 622      | 60               |
| Evapotranspirace [mm/rok]                           | 509      | 416      | -93              |
| Evapotranspirace (% z potenciální evapotranspirace) | 90,4     | 66,9     | -23,5            |



Obr. 6. Průběh bilančních hydrologických veličin v roce 1986 – povodí Rakovnického potoka



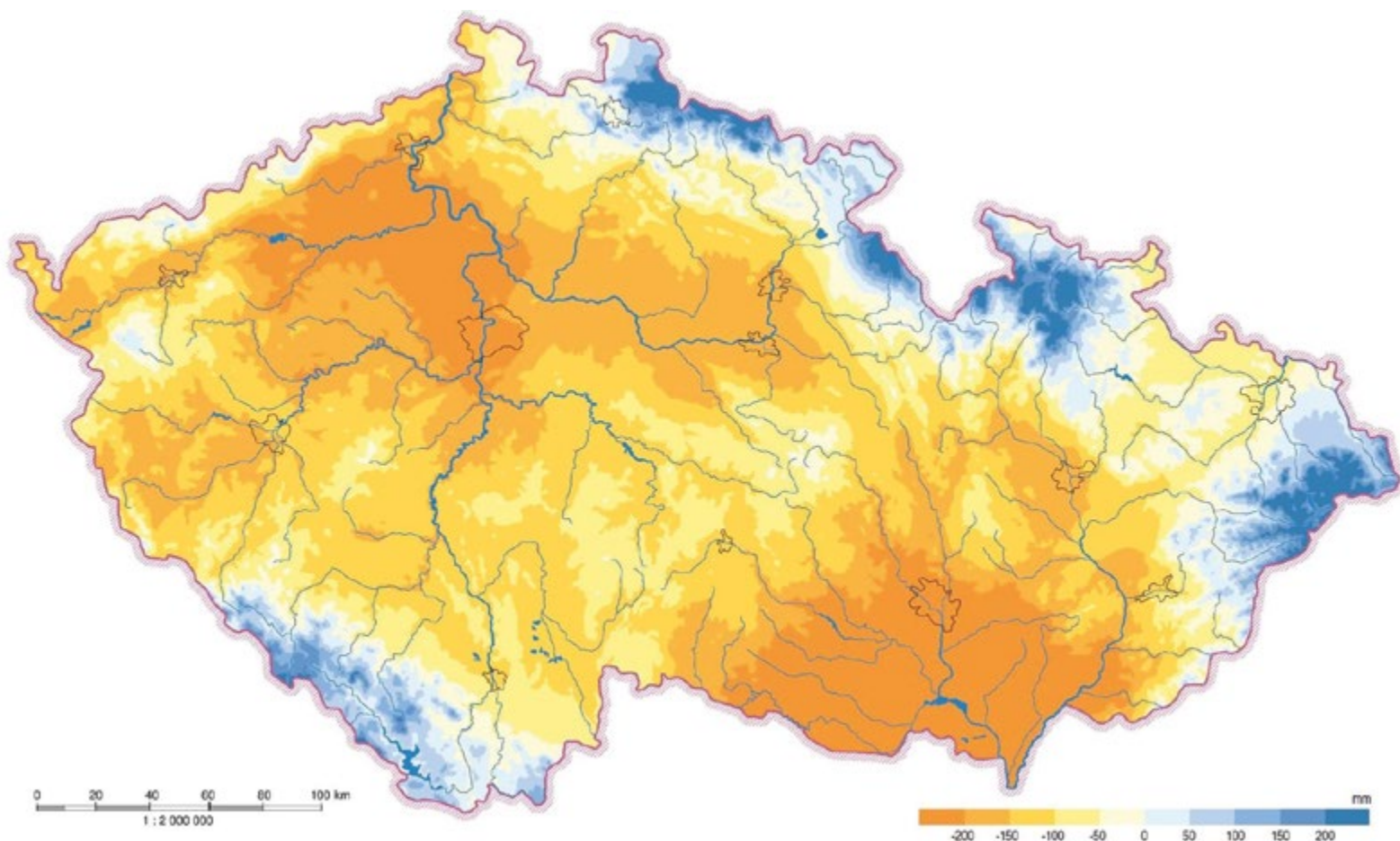
Obr. 7. Průběh bilančních hydrologických veličin v roce 2015 – povodí Rakovnického potoka

Na povodí Labe byla i v chladném roce 1986 evapotranspirace o 9,4 % menší než potenciální evapotranspirace, v roce 2015 pak o 33,1 %, přičemž se zde projevuje omezení evapotranspirace velikostí srážek. Na poklesu odtoku se podílí pokles srážek i zvětšení potenciální evapotranspirace.

Uvedené příklady průběhu hydrologické bilance v povodích s rozdílným režimem srážek ukazují, že údaj o zvětšení potenciální evapotranspirace může bez posouzení vlivu srážek, i když se nezmění, charakterizovat vliv oteplení jen v povodích s relativně velkými srážkami. Na většině území ČR je dlouhodobý průměr potenciální evapotranspirace větší než dlouhodobý průměr srážek, zejména v letním pololetí (obr. 8). V této převažující části území nelze bez další analýzy hydrologické bilance ztotožňovat změnu skutečné evapotranspirace, resp. odtoku, se změnou potenciální evapotranspirace.

### Důsledky rozdílů hydrologické bilance v letním a zimním pololetí pro pokles průtoků vlivem oteplování

Na celém území ČR jsou podstatně rozdílné relace mezi srážkami a potenciální evapotranspirací v chladné části roku. V zimním pololetí srážky převyšují potenciální evapotranspiraci, takže při kladných teplotách vzduchu se půdní profil v průběhu zimy nasýtí, při záporných teplotách se vytváří sněhová zásoba. Při obou typech zimního režimu jsou dotovány zásoby podzemní vody. Pro další časový vývoj odtoku je příznivější, když většina vody na jaře prosákne půdou později. Při rychlém tání sněhu však může být dotace podzemních vod ochuzena povrchovým a intenzivním podpovrchovým odtokem.



Obr. 8. Rozdíl mezi úhrnem srážek a potenciální evapotranspirací v letním půlroce (květen až říjen) na území ČR podle [3]

Pro posouzení rozdílů hydrologické bilance v zimním pololetí (listopad až duben) a v letním pololetí (květen až říjen) jsme použili data z povodí Labe v Děčíně. V tab. 4 jsou uvedeny dlouhodobé průměrné hodnoty bilančních veličin.

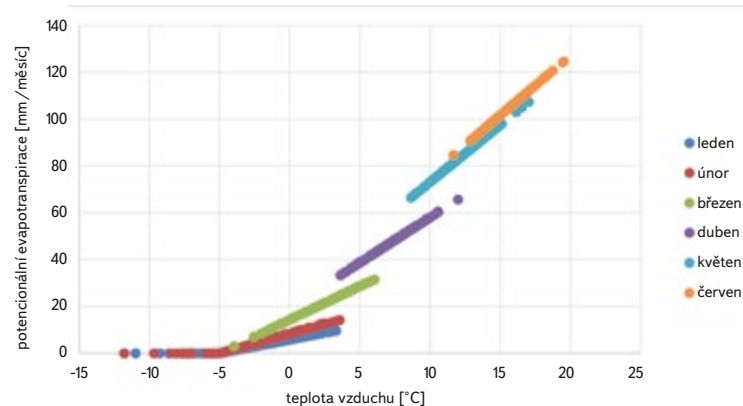
Tab. 4. Dlouhodobé průměry srážek a odtoků pro povodí Labe v Děčíně pro zimní a letní pololetí, veličiny kromě poměrů jsou v jednotkách [mm/pololetí]

| Pololetí     | Srážky P | Odtok R | R/P  | Potenciální evapotranspirace |       |       |
|--------------|----------|---------|------|------------------------------|-------|-------|
|              |          |         |      | PET                          | P-PET | PET/P |
| <b>zimní</b> | 259      | 102     | 0,39 | 91                           | 168   | 0,35  |
| <b>letní</b> | 410      | 72      | 0,18 | 478                          | - 68  | 1,17  |

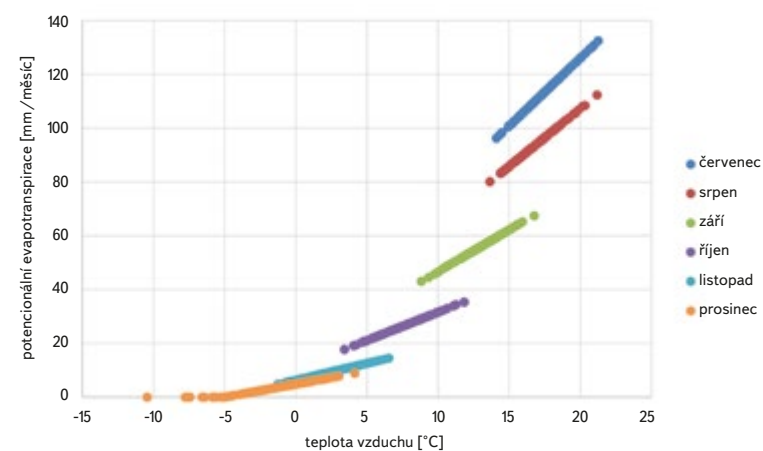
V zimním pololetí tvoří srážky 63 % srážek letních, ale potenciální evapotranspirace jen 19 % hodnoty letní. Srážky převažují nad potenciální evapotranspirací. Zimní odtok je 1,42krát větší než odtok letní.

Z hlediska předpokládaného dalšího oteplování je podstatné, že nejen velikost potenciální evapotranspirace, ale i gradient jejího zvětšování vlivem nárůstu teploty vzduchu je v zimních měsících podstatně menší než v měsících vegetačního období (obr. 9 a 10). Na nich zobrazené gradienty byly odvozeny

metodou výpočtu potenciální evapotranspirace podle [1]. Nejen z výsledků hydrologických pozorování, ale i z teoretického zdůvodnění je zřejmé, že letní odtoky budou při pokračujícím oteplování klesat podstatně více než odtoky zimní.



Obr. 9. Vztah mezi teplotou a potenciální evapotranspirací v jednotlivých měsících 1. pololetí



Obr. 10. Vztah mezi teplotou a potenciální evapotranspirací v jednotlivých měsících 2. pololetí

Pro odhad důsledků oteplování jsme posoudili, jak se na povodí Labe změnila bilanční veličiny v období 1991–2019 oproti odpovídajícím hodnotám z období 1961–1980. Rok 1980 je v průběhu dlouhodobého kolísání teplot vzduchu blízko počátku intenzivního vzestupu teplot. V tab. 5. jsou průměry bilančních veličin z obou období a jejich rozdíly (data 1991 až 2019 minus data 1961 až 1980). Srážky velmi mírně vzrostly v obou pololetích. V zimním pololetí velice

malý vzestup srážek převážil vliv zvětšené potenciální evapotranspirace a i při oteplení o 1,1 °C odtok nepatrně vzrostl.

Při vzestupu potenciální evapotranspirace o 33 mm v letním pololetí při zvýšení teploty o 1,2 °C se projevil pokles odtoku o 18,5 mm, tedy o 22,3 %. Když odhadneme účinek odpovídající zvýšení srážky o 11 mm podle odtokového koeficientu o hodnotě 0,18 . 11 = 2,0 mm, získáme odhad poklesu odtoku vlivem oteplení 18,5 + 2,0 = 20,5 mm/rok při zvýšení teploty o 1,2 °C. Při redukci na změnu teploty o 1 °C odhadneme gradient poklesu průměru odtoku v letním pololetí při oteplení o 1 °C 17 mm.

Z uvedených výsledků je zřejmé, že riziko poklesu průtoků vlivem oteplování je podstatně větší v letním pololetí, kdy se navíc teploty zvyšují více než v ročním průměru. Při pokračujícím oteplování bude ve stále větší míře ubývat odtoku v letním pololetí, prodlouží a prohloubí se hydrologická sucha a pro odběry vody i zachování ekologických průtoků bude třeba v letním pololetí využívat více vodu převedenou z pololetí zimního. To nelze zajistit jinak než pomocí zásobních nádrží. Je proto nezbytné posoudit, do jaké míry při předpokládané intenzitě oteplování postačí tuto funkci stávající nádrže zajistit. Vzhledem k dlouhé době potřebné pro vybudování nádrží, počínaje záměrem až po jejich fyzickou realizaci, je třeba tuto úlohu řešit v dostatečném předstihu.

Při předpokladu vzestupu teploty o 1 °C za 30 let a rovnoměrného poklesu odtoku s uvedeným gradientem 17 mm/1 °C by průměrný dlouhodobý letní odtok z povodí Labe v Děčíně na úrovni roku 2060 byl cca 30 mm. Pro srovnání minimální průměrný letní odtok dosud pozorovaný v jednotlivém roce (2018) za 169 let byl 22 mm.

Tab. 5. Charakteristiky hydrologické bilance povodí Labe v Děčíně – zimní a letní pololetí

| Pololetí                                   | Zimní     |           |        |            | Letní     |           |        |            |
|--------------------------------------------|-----------|-----------|--------|------------|-----------|-----------|--------|------------|
| Období                                     | 1961–1980 | 1991–2019 | rozdíl | rozdíl [%] | 1961–1980 | 1991–2019 | rozdíl | rozdíl [%] |
| Teplota [°C]                               | 1,1       | 2,2       | 1,1    |            | 13,2      | 14,4      | 1,2    |            |
| Srážky [mm/pololetí]                       | 251,7     | 260       | 8,3    | 3,3        | 406,3     | 417,3     | 11     | 2,7        |
| Odtok [mm/pololetí]                        | 112,3     | 114,6     | 2,3    | 2,0        | 82,9      | 64,4      | -18,5  | -22,3      |
| Potenciální evapotranspirace [mm/pololetí] | 89,4      | 102,3     | 12,9   | 14,4       | 462,2     | 495,5     | 33,3   | 7,2        |

Literatura

[1] OUDIN, L., LAETITIA, M., HOCINE, B., PIERRE, R. Estimating Potential Evapotranspiration without Continuous Daily Data: Possible Errors and Impact on Water Balance Simulations. *Hydrological Sciences Journal*. 2010, 55(2), s. 209. Dostupné z: doi: 10.1080/02626660903546118

[2] PELÁKOVÁ, M. a kol. *Město a voda*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2020. 45 s. ISBN 978-80-87402-82-5.

[3] TOLASZ, R. *Atlas podnebí Česka*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007. ISBN 978-80-86690-26-1.

Autoři

Ing. Ladislav Kašpárek, CSc.  
✉ ladislav.kasperek@vuv.cz

Ing. Martina Peláková  
✉ martina.pelakova@vuv.cz

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha





# Autoři VTEI

## Ing. Adam Beran, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i.

✉ [adam.beran@vuv.cz](mailto:adam.beran@vuv.cz)

[www.vuv.cz](http://www.vuv.cz)



Ing. Adam Beran, Ph.D., je hydrolog specializující se na dopady klimatické změny na hydrologický režim a možnosti adaptování. Ve VÚV TGM, v. v. i., působí od roku 2010, v roce 2019 ukončil doktorský studijní program Environmentální modelování na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze. Je hlavním řešitelem projektů na témata změny hydrologické bilance vlivem klimatické změny, adaptační opatření, sucho, výpar a související problematiku.

## Ing. Ladislav Kašpárek, CSc.

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ [ladislav.kasperek@vuv.cz](mailto:ladislav.kasperek@vuv.cz)

[www.vuv.cz](http://www.vuv.cz)



Ing. Ladislav Kašpárek v oboru hydrologie působil od roku 1968 v Českém hydrometeorologickém ústavu. Zaměřoval se zejména na odbornou práci v oblasti vývoje metod hodnocení hydrologických jevů, včetně těch extrémních, a na vývoj hydrologických bilančních modelů. Od roku 1987 pracuje ve VÚV TGM, v. v. i. V posledních letech se zabýval posouzením reálných změn srážek a průtoků vlivem probíhajícího oteplování, projekcemi hydrologických dat pro vodohospodářská opatření po ukončení povrchové těžby uhlí, metodami výpočtu velikosti přírodních zdrojů podzemních vod a možností extrapolace průtokových řad ve staletích, pro která existují rekonstruované odhady srážek a teplot vzduchu.

## Mgr. Jiří Prinz

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ [jiri.prinz@vuv.cz](mailto:jiri.prinz@vuv.cz)

[www.vuv.cz](http://www.vuv.cz)



Mgr. Jiří Prinz je zaměstnancem oddělení hydrogeologie ve VÚV TGM, v. v. i., od roku 2023. V roce 1997 ukončil magisterské studium na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy v Praze, obor hydrogeologie. Profesně se zabývá širokým spektrem problémů spojených s využíváním a ochranou podzemních vod. V současnosti se podílí jako spolupracovník na probíhajících projektech oddělení hydrogeologie.

## Ing. Petr Sklenář, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ [petr.sklenar@vuv.cz](mailto:petr.sklenar@vuv.cz)

[www.vuv.cz](http://www.vuv.cz)



Ing. Petr Sklenář, Ph.D., je zaměstnancem VÚV TGM, v. v. i., od roku 2022 a od roku 2023 je vedoucím oddělení hydrauliky. V roce 1992 ukončil inženýrské studium na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického v Praze, obor Vodní hospodářství a vodní stavby, a v roce 2004 na stejné fakultě a ve stejném oboru úspěšně dokončil doktorský studijní program. Na Fakultě stavební ČVUT pracuje od roku 1993 na Katedře hydrauliky a hydrologie. Profesně se zabývá problematikou říční hydrauliky, morfologie koryt a protipovodňových opatření. V průběhu svého působení na ČVUT se zúčastnil několika střednědobých a krátkodobých pobytů a kurzů, zejména na zahraničních univerzitách a výzkumných pracovištích v UK a Portugalsku (University of Hertfordshire, HR Wallingford, Universidade do Porto, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Laboratório Nacional de Engenharia Civil) a působil v odborné sekci IAHR fluvial hydraulics. Jako hlavní řešitel nebo člen řešitelského týmu se podílel či podílel na obou pracovištích na řešení několika výzkumných projektů v souvisejících oblastech.

## Ing. Adam Vizina, Ph.D.

VÚV TGM, v. v. i., Praha

✉ [adam.vizina@vuv.cz](mailto:adam.vizina@vuv.cz)

[www.vuv.cz](http://www.vuv.cz)



Ing. Adam Vizina, Ph.D., je zaměstnancem oddělení hydrologie ve VÚV TGM, v. v. i., od roku 2007. V roce 2014 ukončil doktorský studijní program Environmentální modelování na Fakultě životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze. Zabývá se hodnocením hydrologické bilance pro současné a výhledové podmínky, hodnocením hydrologických extrémů a hydrologickým modelováním. Je hlavním řešitelem několika výzkumných i soukromých projektů.



# Rozhovor s RNDr. Radimem Tolaszem, Ph.D., klimatologem Českého hydrometeorologického ústavu

Jediný člověk dnes změnou svého chování nedokáže rychle zmírnit aktuální dopady klimatické změny, jimž čelí celý svět. Nicméně podpora a šíření vzdělanosti je jedním z hlavních klíčů pro rozhybání pozitivních změn u významné části populace. Další kroky pro zmírnění dopadů klimatické změny či například první vlastní zkušenosti po roce 1980 popisuje v rozhovoru pro VTEI český zástupce v Mezivládním panelu pro klimatickou změnu (IPCC), klimatolog RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., z Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ).

**Pane doktore, klimatologii, meteorologii a hydrologii se zabýváte dlouhodobě. Vzpomenete si na okamžik, kdy jste si řekl, že tento obor bude vaší „láskou na celý život“?**

Asi ne, protože já jsem byl na počátku své odborné „kariéry“ rozkročený hodně široce. Studoval jsem fyzickou geografii a v diplomové práci jsem analyzoval režim plavenin v povodí Odry. Po nástupu na pobočku ČHMÚ v Ostravě jsem se podrobně věnoval tzv. katastru vodnosti za období 1931 až 1980 a až zde jsem se v podstatě přes srážky dostal ke klimatologii. Vzpomínám si úplně jasně, jak nám v katastru podivně vycházely odtokové poměry na Čeladence, což je malé povodí v Moravskoslezských Beskydech mezi Smrkem a Kněhyní, značně ovlivněné návětrnými srážkovými efekty. Asi tady jsem si uvědomil, jak výrazně ovlivňuje klima ostatní části fyzikogeografické sféry. A když se dnes ohlédnu, vlastně jsem v praxi zažil klimatologii s tužkou, papírem a kalkulačkou, poté jsem „psal“ programy ve Fortranu na děrné štítky, které jsem odvážel do výpočetního centra, abych si za dva dny zašel pro výsledek „chyba na řádku 154“. Byla to zajímavá doba ve srovnání s dneškem, kdy nám modeláři nachystají megabajty dat, nad nimiž si během pár hodin pustíme několik zpracování v programovacím jazyce R. Kde se v té době zrodilo mé zaujetí pro klimatologii, fakt nevím.

**O možné změně klimatu se začalo mluvit již v sedmdesátých letech minulého století. Vybatvíte si vaše první uvědomění si tohoto fenoménu?**

Poprvé jsme o tom diskutovali na gymnáziu v Havířově ve výuce zeměpisu někdy kolem roku 1980. Bylo to však jen informativně zaměřené na skleníkový efekt a nepříliš analytické. Ale utkvělo mi to, a když jsme o pár let později v rámci výuky klimatologie na Přírodovědecké fakultě v Brně téma změny klimatu probírali podrobněji, měl jsem na čem stavět. Z dnešního pohledu to však nebyly informace příliš přesné a podrobné, za těch skoro čtyřicet let udělala klimatologie obrovský krok kupředu. Dalo by se to zjednodušit tak, že šlo jen o odhady chování atmosféry na základě fyzikálních zákonů. Dnes už víme hodně o zpětných vazbách, o kombinaci přirozené variability klimatu a antropogenních vlivů a umíme tyto jevy modelovat, což nám přináší i pravděpodobnostní odhady chování atmosféry v blízké budoucnosti. Klimatologie se tak ve svých projekcích a odhadech dostala časově i v přesnosti mezi meteorologii a její předpověď počasí a geologické odhady příchodu další doby ledové.

**Dochází v současnosti právě k těm projevům klimatické změny, jež byly predikovány před dvaceti až třiceti lety, nebo vás některé překvapily?**

Dnes už máme potvrzeno, že klimatické projekce z osmdesátých let minulého století byly na několik desetiletí dopředu docela přesné. První zpráva IPCC

odhadovala v roce 1990 vzestup globální teploty o 1 °C do roku 2025, a to bude minimálně splněno. V té době se málo zdůrazňovalo, že růst teploty bude vyšší na pevninách a ještě vyšší například ve střední Evropě, s kontinentálním klimatem docela vzdáleným od moří a oceánů. A můžeme být tedy překvapeni, že u nás je růst teploty oproti globálním hodnotám téměř dvojnásobný. Navíc ještě dnes si málo uvědomujeme, že pro člověka není problém ani tak v průměrech, jako spíše v extrémech. Dlouhé horké vlny s teplotami nad 30 °C jsme si před padesáti lety v České republice neuměli asi ani představit – a nyní jsou každoroční realitou. Zároveň jsme často zdůrazňovali, že u nás neočekáváme dlouhodobý pokles srážek, což platí dodnes, ale přesto nám v krajině chybí voda stále častěji. Proč? Protože při vyšší teplotě je vyšší výpar. I to mnoho lidí překvapuje, jelikož si neuvědomují základní rozdíl mezi vodní párou a oblačností v atmosféře. Voda, která chybí v naší krajině, se při vyšší teplotě atmosféry udržuje ve formě vodní páry, a nezvyšuje tak srážkový potenciál. Dnešní horní odhad průměrné teploty v roce 2050 v České republice je na úrovni 10 °C s odhadovanou chybou ± 0,3 °C a my nemáme důvod těmto modelovým výstupům nevěřit. Jen si to dejme do souvislosti s průměrnou teplotou v Česku za normálové období 1991 až 2020, která je 8,3 °C. Za necelých třicet let by mohlo být u nás v průměru o další 2 °C tepleji. Jak asi budou vypadat letní vedra?

A možná bych k tomu doplnil, že se v posledních letech v Evropě, ale i u nás, zvýšila pravděpodobnost tzv. požárního počasí. Je to logické a odpovídá to předchozím informacím a v realitě to můžeme i přímo pozorovat. Velký požár loni v Českém Švýcarsku nebyl mimořádný tím, že se vyskytl, ale svým rozsahem a délkou trvání, která byla ovlivněna právě parametry požárního počasí. Loňské přírodní požáry v severní Evropě už jsou úplná mimořádnost, v těchto oblastech se nic takového nestávalo. A letošní průběh letní sezony ve Středomoří je rovněž z pohledu rozsahu a délky trvání přírodních požárů naprosto mimořádný a zcela jistě souvisí se změnami, jež v klimatickém systému probíhají.

**Je možné, že se z nějakého důvodu, například útlumem Golského proudu, klimatická změna v České republice či v Evropě zastaví, případně se „otočí“ její průběh a začne se ochlazovat?**

Možné to samozřejmě je. Kolísání vydatnosti a teploty Golského proudu je normální stav, některé odhady oceánologů ale říkají, že Golský proud se bude v následujících staletích zpomalovat. Zůstává však otázkou, jak taková postupná změna může změnit celý systém oceánské proudění. Golský proud není v oceánu izolovaným prvkem a v přírodě vždy vše souvisí se vším. A to platí i pro oceán. Raději bych na to při řešení změny klimatu nespolehal.

**Jsou podle vás na světě místa, jež se promění vlivem klimatické změny z obývaných na neobyvatelná?**

Některé klimatické modely projektují například pro Arabský poloostrov v druhé polovině století v některých letních dnech takovou kombinaci vysoké teploty nad 50 °C a vlhkosti nad 70 %, která bude pro člověka zcela nevhodná a oblast bude ve venkovním prostředí neobyvatelná. Lidé se budou muset uchýlit do klimatizovaných prostor a vůbec nevycházet. Pro některé nákupní

fanoušky to pravděpodobně nebude žádná změna, ale je třeba se na takovou situaci připravovat. Ovšem ne každý žije v rozvinuté a bohaté části tohoto regionu.

### **VÚV TGM spolupracuje s ČHMÚ na vašem projektu „PERUN“, jenž je velmi ambiciózní. Dokážete říct, na které výstupy se nejvíce těšíte?**

My teď aktuálně v projektu „PERUN“ analyzujeme první dostupný klimatický scénář, který jsme připravili na základě pesimistického emisního scénáře SSP5-8.5. Díváme se na data, o nichž si myslíme a doufáme, že nebudou v průměru dosažena. Máme před sebou horní limit možného vývoje charakteristik našeho klimatu do roku 2100. Málokdo si uvědomuje, že rok 2100 už není tak vzdálený – dnešní malé děti se ho dožijí. I proto jsem rád, že tato scénářová data budou postupně analyzovat další kolegové, aby zjistili, co vše by se mohlo stát v naší krajině, v lesích, řekách, ale i v podzemních vodách. Ve spojení s druhým, pravděpodobnějším scénářem podle SSP2-4.5 předáme státní správě, politikům i veřejnosti informaci, kterou já osobně považuji za důležitou – jaké bude u nás podnebí za deset, dvacet nebo padesát let. Na jaké podmínky se naše zemědělství, energetika, zásobování pitnou vodou, stavebnictví, turismus a další oblasti musejí připravit. A já se nejvíce těším na to, až budou někteří řešitelé projektu „PERUN“ za těch deset nebo dvacet let hodnotit, zda tyto naše prognózy bral někdo vůbec v úvahu.

### **Jste pravidelným účastníkem zahraničních konferencí. Máte jistě srovnání s podobnými zahraničními projekty. Jak si v této oblasti stojí Česká republika? A je možné výstupy těchto projektů propojovat?**

Nejenže je to možné, ale zcela běžně se to děje. Projektu „PERUN“ je někdy vyčítáno, že jde o národní projekt, uzavřený v hranicích Česka. Není tomu tak. Naši modelaři jsou součástí světové komunity, experti na scénáře klimatu běžně diskutují o možnostech jejich využití a zařazení mezi ostatní evropské výsledky a hydrologové v okolních zemích netrpělivě očekávají, kolik vody jim v našich scénářích pošleme. Hodně samozřejmě záleží na tom, jak se nám bude dařit dostávat výsledky projektu „PERUN“ do špičkových recenzovaných časopisů. Nejde o množství, ale o kvalitu. V této souvislosti je dobré připomenout, že začíná sedmý hodnotící cyklus IPCC, a je tedy ten správný okamžik pokusit se naše výsledky do nových zpráv IPCC dostat.

### **Dokážete vyjmenovat pět věcí, jež každý z nás může udělat pro zmírnění dopadů klimatické změny? Začněte tím nejvýznamnějším, prosím.**

Pro zmírnění aktuálních dopadů toho jednotlivec mnoho udělat nemůže. V horkých dnech by měl změnit svůj denní režim, pokud je to možné, v suchých obdobích by neměl plýtvat vodou, v průběhu vichřice by se neměl procházet v lese a za povodní splouvat řeky. Ale každý jednotlivec má sílu zmírnit dopady změny klimatu v budoucnosti. Nejdůležitější je volit si takovou politickou reprezentaci, která bude naslouchat vědě a prosazovat klimatická opatření. Dále by u nás mohl a měl každý člověk snížit svou vlastní spotřebu, což se promítne do tolik potřebné nižší spotřeby surovin a energií. Ze třetí považuji za důležité podporovat a šířit vzdělání, protože jen vzdělaní lidé chápou nutnost realizace opatření, jež před nás klimatická změna staví. Je to těžké, ale za čtvrté se snažme o to, aby všude rozhodovali kompetentní lidé – o energetice energetici, o lesích lesníci, o dopravě dopraváci, o vodě vodohospodáři a podobně, ale vždy s nadhledem a hlavně v souvislostech. Kdyby tato čtyři přání fungovala, pak páté už nepotřebujeme.

### **Když už jsme u vlivu a možností každého z nás, na vašich osobních webových stránkách jste se před třemi lety rozhodl sepsat tzv. „Klimatické desatero jednotlivce“, kde se snažíte shrnout naše možnosti, jak**

### **reagovat na probíhající změnu klimatu. Ve výčtu „desatera“ chybí doplnit ještě dva body. Už víte, které to budou?**

Nevím, myslím si, že zmíněné „desatero v osmi bodech“ je docela pěkné shrnutí možností, které každý z nás jako jednotlivec má k dispozici, aby ovlivnil budoucí změnu klimatu. Málo si uvědomujeme, že klimatický systém má velkou setrvačnost, že všechny naše aktivity se v něm shromažďují po desetiletí a teprve poté se začnou nějak projevovat. Proto vidíme nesoulad mezi růstem emisí skleníkových plynů a růstem teploty, proto mohou koncentrace skleníkových plynů plynule narůstat, ale globální teplota atmosféry kolísá. V těchto úvahách nesmíme zapomínat na vliv oceánů, které se také oteplují, a velkých lesních celků, například tropických deštných oblastí, jež mohou naopak skleníkové plyny pohlcovat více či méně v závislosti na jejich rozloze a kvalitě. To vše jsou důvody, proč musíme změnit své chování hned, aby další generace měly méně problémů.

*Děkujeme vám za rozhovor.*

**Ing. Adam Beran, Ph.D.**  
**Ing. Adam Vizina, Ph.D.**

### **RNDr. Radim Tolasz, Ph.D.**

RNDr. Radim Tolasz, Ph.D., narozen 19. března 1964 ve Frýdku-Místku, pracuje od roku 1986 v Českém hydrometeorologickém ústavu (ČHMÚ) jako klimatolog, v letech 2003–2011 byl náměstkem ředitele. Je expertem Světové meteorologické organizace (WMO) pro klimatologické databáze a výměnu dat o klimatu. Též je spoluautorem české klimatologické aplikace CLIDATA, která je v ČHMÚ používána od roku 2000. Ve spolupráci s WMO je tato aplikace využívána ve více než 30 meteorologických službách po celém světě (Estonsko, Lotyšsko, Litva, Černá Hora, Srbsko, Tanzanie, Etiopie, Gruzie, Ghana, Namibie, Nigérie, Dominikánská republika, Trinidad, Tobago a další). Od roku 2014 zastupuje Českou republiku v Mezivládním panelu pro změnu klimatu (IPCC). Je autorem či spoluautorem mnoha vědeckých článků a publikací a od roku 2012 i šéfredaktorem českých *Meteorologických zpráv* a členem redakční rady slovenského *Meteorologického časopisu*.





# „Centrum Voda“



Výzkumný projekt Technologické agentury ČR SS02030027 „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu“, jehož garantem je Ministerstvo životního prostředí, se snaží odpovědět na otázku, zda budeme mít i nadále dostatek kvalitní vody. Klimatická změna a s ní spojené sucho i chování a požadavky člověka vodu ohrožují a pro nejbližší budoucnost je třeba hledat řešení a východiska.

## VODA PRO LIDI (PRACOVNÍ BALÍČEK WP3)

Odbor hydrauliky, hydrologie a hydrogeologie VÚV TGM je hlavním řešitelem pracovního balíčku nazvaného „Voda pro lidi“. Na výzkumu spolupracuje s Českým hydrometeorologickým ústavem, Ústavem výzkumu globální změny AV ČR, Fakultou životního prostředí České zemědělské univerzity v Praze a Fakultou stavební Českého vysokého učení technického.

Cílem je nalezení vhodných opatření pro zachování vodních zdrojů pro zásobování pitnou vodou v oblastech, kde již dochází nebo by mohlo v budoucnosti dojít k jejímu nedostatku. Posuzována jsou tato hlavní opatření:

### Převody vody z míst, kde je jí přebytek, do míst, kde se jí nedostává

Při řešení této problematiky se převodem vody myslí technická infrastruktura, která zajišťuje přivedení vody z místa, kde je jí dostatek, do místa, kde se jí nedostává (při hydrologickém suchu), nebo odvedení části povodňového odtoku do vodního toku či vodní nádrže, kde neškodí.

### Umělá infiltrace – řízené zasakování povrchových vod do podzemí

Cílem řešení je metodická, technická a odborná příprava konkrétních území pro technologie umělé infiltrace. První etapa v letech 2021–2023 posoudí konkrétní potenciál metod řízené dotace. Toto hodnocení bude probíhat na platformě hydrologických povodí zahrnující deficitní oblasti a jejich okolí s ohledem na lokality pro akumulaci povrchových vod (LAPV) a další navrhovaná adaptační opatření v jiných dílčích cílech. Výsledkem první etapy prací bude vymezení těch území, kde může nastat zlepšení vodních poměrů vlivem aplikace metod umělé infiltrace. Druhá etapa prací v letech 2024–2026 se zaměří na konkrétní technické řešení v několika nejpotřebnějších a nejvhodnějších pilotních lokalitách, na nichž proběhnou expertní hodnotící činnosti za účelem navržení konkrétních technologií.

### Ochrana vzácných zdrojů podzemních vod, například úpravou hospodaření v jejich ochranných pásmech a dalších chráněných územích

Cílem řešení je stanovit moderní zásady komplexní ochrany vodních zdrojů v době klimatických a antropogenních změn ovlivňujících vodní režim a vodní zdroje i návrhy a doporučení pro potřebné změny v naplni a funkcích chráněných území podle vodního zákona.

### Změna manipulace či navýšení zásobního prostoru ve stávajících vodních nebo suchých nádržích a modelování kvality vody na vodárenských nádržích

Cílem je posoudit možnosti výhledových změn manipulačních řádů stávajících vodních nádrží s ohledem na výsledky simulací klimatických modelů s horizontem 2100. Jedním z relevantních nástrojů pro návrh změn ve využívání

víceúčelových vodních nádrží a pro úpravy manipulačních řádů nebo přerozdělení mezi zásobním a retenčním prostorem v nádrži budou výstupy z matematického modelování vývoje kvality vody ve vazbě na způsoby manipulací v nádržích. Další částí cíle je návrh změn ve využívání ochranného prostoru suchých nádrží, zejména vyčleněním dostatečného prostoru stálého nadržení, případně zásobního prostoru tak, aby tyto nádrže plnily víceúčelové funkce a nebyl při tom nijak omezen jejich prvotní účel. K takovým funkcím lze řadit např. požadavek na zajištění minimálních zůstatkových průtoků a dále ekologický nebo mikroklimatický účinek.

### Výstavba a obnova malých vodních nádrží

Cílem je metodické posouzení vhodnosti výstavby malých vodních nádrží (MVN) s ohledem na jejich funkci za současných a výhledových hydrologických extrémů (sucho, povodně). V rámci řešení budou rovněž posouzeny retenční schopnosti MVN a zároveň možnosti dodržování minimálních zůstatkových průtoků. MVN budou rovněž posouzeny z hlediska celkové hydrologické bilance, zlepšení mikroklimatu a z pohledu infiltračního potenciálu.

### Podpora přirozené retence vody v krajině zaváděním technických a přírodě blízkých adaptačních opatření

Cílem je zvolit vhodný metodický postup pro navrhování adaptačních opatření podporujících přirozenou infiltrační prostřednictvím retence vody v krajině. Návrhy způsobů retence by měly přispět k prodloužení doby trvání zvýšených a průměrných průtoků, ke zmenšení okamžitých povodňových stavů, k zajištění vyšší infiltrace do podzemních vod, snížení eroze půdy a splachů chemických látek, zlepšení jakosti vod, zlepšení zabezpečení zdrojů povrchové i podzemní vody a přispět k ochraně vodních a na vodu vázaných ekosystémů.

### Možnosti výstavby nových vodních nádrží pro akumulaci povrchových vod (LAPV)

Posuzovány budou lokality uvedené v Generelu LAPV, zejména ty v deficitních oblastech, a přilehlé lokality, jež mohou deficitní oblasti příznivě ovlivnit. Při řešení bude zohledněn význam jednotlivých LAPV vzhledem k předpokládaným odběrům a nadlepením průtoků, bude posouzena míra zabezpečení, odolnosti a zranitelnosti plánovaných nádrží. Výpočty budou provedeny pro stávající podmínky i podmínky na základě scénářů změny klimatu. Rámcově bude také hodnocen případný vliv nádrže na kvantitu a kvalitu podzemních vod, na místní ekosystémy a také na změnu socioekonomických aspektů lokalit.

Pro deficitní oblasti z hlediska dostupnosti vody v České republice budou navrženy takové kombinace výše zmíněných opatření, jež budou – při minimalizaci negativních dopadů na okolí – co nejefektivněji vodu do krajiny navracet.

Hlavní výsledky celého balíčku WP3 jsou směřovány na konec roku 2026. Nyní, v průběhu řešení, je možné uvést prvky novosti v řešení dílčích cílů balíčku WP3. Z těch hlavních lze, pokud jde o umělou infiltrační, vybrat komplexní aplikaci metod vsakování povrchových a srážkových vod (břehová, umělá i plošná infiltrace) za nejrůznější účelem. Indukované zdroje jsou schopny přispívat k celkovému zlepšení vodního režimu krajiny, včetně řešení povodňových průtoků, udržení minimálních průtoků v tocích v době sucha nebo podpory individuálních i veřejných vodovodních systémů, a v neposlední řadě mohou podpořit chráněná území vázaná na vodu (mokřady, prameny apod.).

U problematiky změny manipulace či navýšení zásobního prostoru stávajících vodních či suchých nádrží řešení přináší inovativní přístup v rámci způsobů řízení manipulace a vyčleňování potřebných částí zásobního prostoru ve

VN. Rovněž modelování kvality s plnou hydrodynamikou nádrže umožní lépe zachytit předpokládané změny v důsledku očekávané změny klimatu. Dále jde o uplatnění komplexního přístupu řešení problematiky stávajících či plánovaných MVN v deficitních oblastech, respektive v celé České republice, za současných a výhledových klimatických podmínek. V rámci řešení bude posouzeno fungování za minimálních i povodňových průtoků.

Pokračující výzkum podpory přirozené infiltrace rozšiřuje dosavadní znalosti v níže zmíněných oblastech:

- Hodnocení přírodních blízkých opatření v ploše povodí a jejich efektivity – lokalita Amálie (malé povrchové retence, změna využití pozemků, změny vlastností půd, opatření na drenážích).
- Hospodaření se srážkovými vodami, hodnocení rizik a potenciálu integrovaného řešení srážkooodtokových poměrů a podpory retence v systémech zemědělské krajiny a intravilánu – lokalita Vrchlice.
- Modelování volby vhodných adaptačních opatření na zemědělských plochách (lesní pozemky) pro specifické půdní a fyzikální charakteristiky, posouzení dopadů na vodní zdroje – využití simulačního nástroje z projektu na povodí Dyje.
- Modelování odtoků na malých povodích se zohledněním změn ve využití území (metoda CN křivek).
- Modelování hydrologické a vodní bilance na povodí se změnami podmínkami vlivem zavedení adaptačních opatření na vodních tocích a v nivách – využití monitoringu přírodních blízkých opatření (projekt „Sucho“).

Doba řešení: 2021–2026

## Autoři

**Ing. Anna Hrabánková**

✉ [anna.hrabankova@vuv.cz](mailto:anna.hrabankova@vuv.cz)

**RNDr. Josef Vojtěch Datel, Ph.D.**

✉ [josef.datel@vuv.cz](mailto:josef.datel@vuv.cz)

**Ing. Adam Beran, Ph.D.**

✉ [adam.beran@vuv.cz](mailto:adam.beran@vuv.cz)

**Ing. Petr Sklenář**

✉ [petr.sklenar@vuv.cz](mailto:petr.sklenar@vuv.cz)

**Ing. Roman Kožín**

✉ [roman.kozin@vuv.cz](mailto:roman.kozin@vuv.cz)

**Ing. Vojtěch Moravec, Ph.D.**

✉ [vojtech.moravec@vuv.cz](mailto:vojtech.moravec@vuv.cz)

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Financováno:



Garant:

Ministerstvo životního prostředí

Řešitelský tým:





# VTEI/2023/5

*Od roku 1959*

VODOHOSPODÁŘSKÉ  
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE  
WATER MANAGEMENT  
TECHNICAL AND ECONOMICAL INFORMATION

Odborný dvoutměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství.  
Je uveden v Seznamu recenzovaných neimpaktovaných periodik vydávaných v ČR.

**Ročník 65**



VTEI.cz

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

**Redakční rada:**

RNDr. Jan Daňhelka, Ph.D., doc. Ing. Michaela Danáčová, Ph.D., doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur,  
doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D., Mgr. Róbert Chriateľ, Mgr. Vít Kodeš, Ph.D.,  
Ing. Jiří Kučera, PharmD. Markéta Marvanová, Ph.D., BCGP, BCPP, FASCP,  
Ing. Martin Pavel, Ing. Jana Poárová, Ph.D., 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 Vosíka

**Šéfredaktor:**

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

**Odborné redaktorky:**

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

**Zdroje fotografií tohoto čísla:**

VÚV TGM, 123RF.com, RNDr. Tomáš Hrdinka, Ph.D., doc. RNDr. Jan Unucka, Ph.D.,  
Viktor Mácha

**Grafická úprava, sazba, tisk:**

ABALON s.r.o., [www.abalon.cz](http://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](http://www.vtei.cz)

CC BY-NC 4.0

ISSN 0322-8916

ISSN 1805-6555 (on-line)

MK ČR E 6365



## VODNÍ DÍLO FLÁJE

Vodní dílo Fláje se nachází na Flájském potoce u Českého Jiřetína. Přehrada byla postavena v letech 1951–1963 jako součást vodohospodářské soustavy pro zásobování severočeské hnědouhelné pánve pitnou vodou. Je jedinou betonovou tížnou pilířovou přehradou v České republice. Skládá se z 19 pilířů typu Noetzli a 15 tížných bloků. Řešení vychází ze vzoru pilířové přehrady Lucendro ve Švýcarsku postavené v roce 1947. Vzdálenost mezi osami jednotlivých pilířů je 13 m. Na vzdušní straně je mezi pilíři třímetrová mezera, zakrytá deskami o tloušťce 1 m. Mezi pilíři tak vznikají mohutné dutiny, jež působí monumentálně (viz foto). Hráz je vysoká 55,5 m nad základem, s délkou v koruně hráze 459 m. Celkový objem nádrže představuje 23,1 mil. m<sup>3</sup>.

Fláje jsou vodárenskou nádrží s protipovodňovou funkcí a s energetickým využitím vodárenských odběrů špičkovou vodní elektrárnou Meziboří. Zajímavostí je, že ve vzdálenosti necelých 8 km po toku je na saském území umístěna další velká přehrada Rauschenbach, vybudovaná v letech 1960–1968.

Vodní dílo Fláje významně utváří identitu místa a jako jediný zástupce pilířových přehrad u nás má výraznou typologickou hodnotu. Od roku 1987 je přehrada památkově chráněna. Státní podnik Povodí Ohře od roku 2019 provozuje prohlídky útrob hráze pro veřejnost.

*Text dodaly Ing. Miriam Dzuráková a Ing. Radka Račoch, fotografii Viktor Mácha.*

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

veřejná výzkumná instituce

**VTEI.cz**