VODOHOSPODÁŘSKÉ TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

VTEI / 2023 / 1

4 / Dynamika vnosu pesticidů do vodárenských nádrží Vír I, Opatovice a Ludkovice

24 / Vliv výstavby jezu v lokalitě Abovce (Slovensko) na hladinu podzemních vod – případová studie z povodí Slané

60 / Rozhovor s Jaroslavem Pollertem, profesorem Fakulty stavební ČVUT a úspěšným československým reprezentantem v kanoistice

22. březen 2023 – Světový den vody (World Water Day)

V březnu si celý svět již tradičně připomene Světový den vody. Slaví se od roku 1993 a jeho téma se každoročně mění. Na 34. zasedání OSN o vodě se jeho členové a partneři dohodli, že tématem Světového dne vody 2023 a kampaně Světového dne toalet ve stejném roce bude „Urychlení změn". Připravovaná zpráva OSN o světovém vodním rozvoji se dále zaměří na partnerství a spolupráci s prozatímním názvem „Urychlování změn prostřednictvím partnerství a spolupráce".

Téma letošního Světového dne vody si bere za úkol zahájit diskuzi o aspektech a dopadu kampaní a obsahu, stejně jako o zaměření na přinášení „hlasů lidí" na konferenci OSN o vodě 2023. Byly rovněž zahájeny přípravy na kampaň Světového dne vody na téma „Co pro vás znamená urychlení změn?"

Způsobů, jak slavit Světový den vody, je mnoho – od uspořádání konferencí, besed, workshopů a charitativních akcí na jedné straně až po vlastní fyzické úsilí, např. čištění našich řek a jezer. Může se to zdát jako malý a bezvýznamný krok, ale námi produkované odpady jsou pro vodní prostředí velmi nebezpečné. Každý drobný potůček, který ve svém okolí vyčistíme, je základem většího potoka či jiné vodní plochy. Proto by se mohl veškerý nezvednutý odpad dostat do větších vodních toků, jezer a moří a stát se zásadním problémem pro jejich zvířecí obyvatele.

UN WATER
22 MARCH
WORLD WATER DAY

Dalším způsobem je třeba snaha snížit svou vodní stopu. Ačkoli se můžeme domnívat, že vodou neplýtváme, spotřeba vody v Evropě činí u dospělého člověka 120 litrů denně. Průměrná sprcha spotřebuje zhruba 65 litrů vody a jedno spláchnutí toalety neuvěřitelných 25 litrů. Tato spotřeba se však zdaleka netýká všech kontinentů. V této souvislosti je nutné zmínit, že více než miliarda obyvatel naší planety trpí nedostatkem pitné vody nebo k ní nemá přístup. Na vodu a její ochranu bychom tedy měli myslet častěji než jen v okamžiku, kdy máme žízeň či se sprchujeme.

Redakce VTEI

Foto: shutterstock.com

Obsah

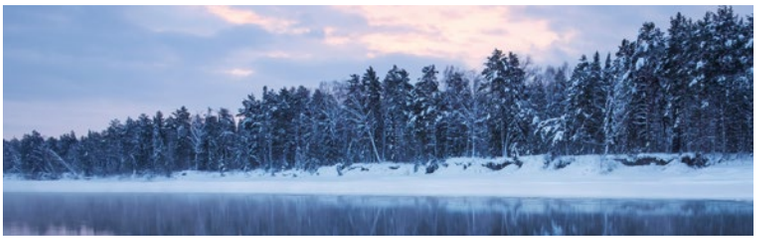
3 Úvod

4 Dynamika vnosu pesticidů do vodárenských nádrží Vír I, Opatovice a Ludkovice
Tomáš Mičaník, František Sýkora, David Chrastina, Danica Pospíchalová, Nikola Verlíková, Alena Kristová, Marek Hradil

24 Vliv výstavby jezu v lokalitě Abovce (Slovensko) na hladinu podzemních vod – případová studie z povodí Slané
Radoslav Kandrík, Jaroslav Vido, Róbert Chriašteľ

32 Potenciál chráněných území pro akumulaci povrchových vod pro zmírnění dopadů klimatické změny na zásobování pitnou vodou
Adam Vizina, Petr Vyskoč, Roman Kožín, Hana Nováková

42 Malá zdrojová povodí – jejich prostorové vymezení a klasifikace z hlediska rizika ohrožení rychlým odtokem
Petr Kavka, Lenka Weyskrabová, Luděk Strouhal, Jan-František Kubát, Jiří Cajthaml



52 Modelování dělení průtoků v nátokových galeriích
Jiří Procházka

59 Autoři

60 Rozhovor s Jaroslavem Pollertem, profesorem Fakulty stavební ČVUT a úspěšným československým reprezentantem v kanoistice
Josef Nistler

63 Historie šedé vodní stopy aneb citujme původce myšlenky
Libor Ansorge, Lada Stejskalová

65 Okružní vzorek 2022
Radka Čablová

Foto: 123rf.com

Vážení čtenáři,

vstupujeme do nového roku, a je tedy čas ohlédnout se za rokem minulým. Časopis VTEI prošel v roce 2022 řadou změn, z nichž tou nejzásadnější bylo rozhodnutí vydávat jej rovněž v anglické jazykové mutaci. Od roku 2022 jsou tedy všechny odborné i informativní články včetně rozhovorů s vybranými osobnostmi vodního hospodářství překládány do angličtiny a zveřejňovány na webu VTEI. Kromě kompletní on-line anglické verze časopisu byl web nově vybaven nástroji zajišťujícími zobrazení počtu citací a vyhledávání potenciálních plagiátů článků publikovaných ve VTEI.

V roce 2022 se rovněž podařilo navázat spolupráci s Národní knihovnou České republiky a zajistit přes službu „webarchiv" pravidelnou archivaci webových stránek VTEI. Současně naše instituce začala spolupracovat s jedním z největších českých vodohospodářských portálů Naše voda, jenž na svých webových stránkách zveřejnil řadu článků publikovaných ve VTEI.

Všechny tyto kroky zvýšily sledovanost našeho časopisu a dosah jednotlivých příspěvků oproti roku 2021 více než čtyřnásobně. Hlavním cílem těchto aktivit je však splnění podmínek vyžadovaných společností Elsevier pro zařazení VTEI do databáze Scopus, jež je největší abstraktovou a citační databází recenzované literatury na světě. Úspěšné zařazení našeho časopisu do této renomované citační databáze by nejen potvrdilo jeho odbornou úroveň, ale také zvýšilo atraktivitu VTEI pro domácí i zahraniční autory, a bylo by tak důstojným příspěvkem k oslavě 65. výročí jeho existence.

Závěrem můžeme shrnout, že v roce 2022 vyšlo ve VTEI celkem 48 článků – 29 recenzovaných a 19 informativních – a šest rozhovorů.

Po této nadějné bilanci bychom chtěli našemu časopisu i vám, jeho čtenářům, popřát hodně zdraví a osobních i pracovních úspěchů v roce 2023.

Redakce VTEI

Dynamika vnosu pesticidů do vodárenských nádrží Vír I, Opatovice a Ludkovice

TOMÁŠ MIČANÍK, FRANTIŠEK SÝKORA, DAVID CHRASTINA, DANICA POSPÍCHALOVÁ, NIKOLA VERLÍKOVÁ, ALENA KRISTOVÁ, MAREK HRADIL

Klíčová slova: povrchová voda — pasivní vzorkování — vodárenská nádrž — znečištění — pesticidy

ABSTRAKT

Pesticidy jsou stále významnou skupinou látek podílejících se na znečištění povrchových vod. Jejich zvýšený výskyt v síti vodních toků v zemědělské krajině je vázán především na srážkoodtokové poměry, druhy pěstovaných plodin a způsoby zemědělského obhospodařování. Pro podchycení těchto faktorů byly pro hodnocení zátěže těmito látkami ve zvolených povodích vodárenských nádrží ve správě Povodí Moravy, s. p., zvoleny pasivní vzorkovací techniky. Ty spočívají v kontinuální několikatýdenní expozici s postupným (integrativním) záchytem znečištění na vhodné sorbenty. V této práci byly zvoleny široce používané vzorkovače typu POCIS (a polar organic chemical integrative sampler) vhodné pro záchyt polárních organických látek. Byly aplikovány v osmi po sobě jdoucích vzorkovacích kampaních tak, aby byla pokryta celá vegetační sezona. Cílem bylo posoudit časoprostorovou dynamiku (v měsíčním kroku) vnosu vybraných pesticidů a jejich metabolitů do pěti vodárenských nádrží. Vzhledem k rozsahu získaných dat se příspěvek zaměřil na prezentaci výsledků přítoků do vodárenských nádrží Vír I, Opatovice a Ludkovice, které byly sledovány v roce 2021. Pokud byla publikována vzorkovací rychlost Rs, bylo možné provést přepočet znečištění zachyceného pasivním vzorkovačem na průměrnou koncentraci během expozice. Výzkumem bylo zjištěno, které přítoky do nádrží a jakými látkami byly v jednotlivých obdobích vegetační sezony zatíženy. Výsledky je možné konfrontovat s druhem pěstovaných plodin v daném roce.

ÚVOD

Zajištění kvalitní povrchové vody pro úpravu na vodu pitnou je jednou z prvořadých činností vodního managementu. Pro zpřesnění informací o antropogenních vlivech na vybrané vodárenské nádrže byly od května 2020 v rámci Programu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti životního prostředí – Prostředí pro život, Podprogramu 1 – Operativní výzkum ve veřejném zájmu zahájeny práce na projektu *„Studie vnosu pesticidů a dalších mikropolutantů do vodárenských nádrží v povodí Moravy a Dyje"*, s akronymem PESPOM. Jeho řešení je plánováno do roku 2023. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (VÚV TGM) je jediným řešitelem tohoto projektu. Aplikačním garantem projektu je odbor ochrany vod Ministerstva životního prostředí.

V Evropě je komerčně využíváno více než 150 000 chemických látek. Každoročně k nim přibývá dalších několik tisíc. Např. v roce 2015 to představovalo spotřebu 350 milionů tun chemikálií, z toho 63 % látek bylo klasifikováno jako nebezpečné pro lidské zdraví a 36 % jako nebezpečné pro životní prostředí [1]. Tyto látky se do životního prostředí dostávají nejen odpadními vodami z chemických výrob a dalších průmyslových odvětví, ale také z významné spotřeby obyvatelstvem prostřednictvím komunálních odpadních vod [2]. Účinné látky přípravků na ochranu rostlin se přímo do povrchových vod dostávají erozí při srážkoodtokových událostech.

Mnohé vodárenské nádrže v České republice jsou lokalizovány v antropogenně ovlivněných oblastech. Vysoká pozornost je dlouhodobě věnována povodí řeky Želivky s největší vodárenskou nádrží (VN) Švihov zásobující pitnou vodou přes jeden milion obyvatel. Dynamika vyplavování pesticidů do povrchových vod v povodí VN Švihov byla zkoumána více autory [např. 3–5].

Vodárenské nádrže v povodí řek Moravy a Dyje se rovněž nacházejí v oblastech s významným zemědělským hospodařením a v případě VN Vír I i průmyslovou činností. VN Vír I je největší z nich (*obr. 1*). Zprovozněna byla v roce 1957. Účelem je zajištění minimálních průtoků, vodárenský odběr, provozní odběr, výroba elektrické energie, protipovodňová ochrana a nadlepšení průtoků pro závlahy pod Brnem. Celkový objem nádrže činí 56,193 mil. m^3. Nejvýznamnějším přítokem je řeka Svratka. Důležitými přítoky Svratky jsou Fryšávka a Bílý potok. Celková plocha povodí nad nádrží činí 410,35 km^2. Teoretická doba zdržení vody ve VN Vír I je při průměrném dlouhodobém průtoku Svratky (3,7 m^3) 154 dní (5,14 měsíce), pokud uvažujeme objem nádrže 49,342 mil. m^3 po kótu přelivu, a 138 dní (4,59 měsíce) v případě objemu nádrže 44,056 mil. m^3 (zásobní hladina). V horní části povodí Bílého potoka se rozprostírá největší lidské sídlo – město Polička (8,7 tis. obyvatel). Z obcí bezprostředně souvisejících s vodní nádrží má vybudovanou komunální čistírnu odpadních vod (ČOV) obec Dalečín (0,66 tis. obyvatel) a výše po toku Svratky městys Jimramov (1,2 tis. obyvatel). K významným průmyslovým podnikům v oblasti patří Poličské strojírny, a. s., Masokombinát Polička, a. s., komunální ČOV Polička a ČOV Jimramov. Krajina Svratecké vrchoviny je z cca 55 % zalesněná a skrývá v sobě vysoký rekreační potenciál. V bezprostředním okolí nádrže probíhala v roce 2021 intenzivní těžba dřeva v důsledku rozsáhlé kůrovcové kalamity.

VN Opatovice (*obr. 2*) byla do provozu uvedena v roce 1972. Zásadním účelem je zajištění zdroje pitné vody pro obyvatelstvo. Celkový objem nádrže činí 10,634 mil. m^3. Hlavním přítokem je Malá Haná. Větší část povodí nad nádrží zaujímá zalesněná krajina Drahanské vrchoviny, na jihu částečně zasahující do vojenského újezdu Březina. Horní část povodí Malé Hané je typická intenzivní zemědělskou činností. Plocha povodí činí 43,87 km^2. Nejbližším lidským sídlem je obec Ruprechtov (0,6 tis. obyvatel) v horní části Ruprechtovského potoka. Objem vodní nádrže po kótu přelivu činí 7,84 mil. m^3. Při průměrném průtoku Malé Hané (0,160 $m^3.s^{-1}$) činí teoretická doba zdržení v nádrži 567 dní, tj. 18,9 měsíce.

VN Ludkovice (*obr. 3*) byla uvedena do provozu v roce 1968. Je nejmenší nádrží, která byla vybrána pro řešení v tomto projektu. Její celkový objem činí pouhých 0,69 mil. m^3. Hlavním účelem vodního díla je zajistit dostatek vody pro skupinový vodovod Luhačovice a minimální průtok v toku pod hrází, kterým je Ludkovický potok.

Obr. 1. VN Vír I
Fig. 1. Vír I water supply reservoir

Obr. 2. VN Opatovice
Fig. 2. Opatovice water supply reservoir

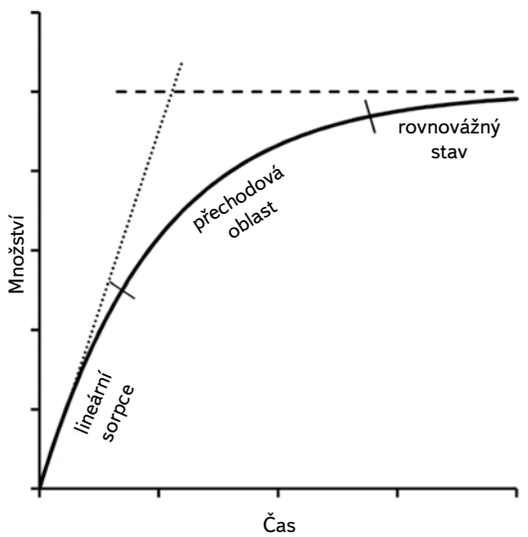
Obr. 3. VN Ludkovice
Fig. 3. Ludkovice water supply reservoir

Plocha povodí činí 13,1 km^2. Teoretická doba zdržení vody v nádrži je nejkratší: pokud uvažujeme objem nádrže po přepadovou hranu 0,498 mil. m^3, doba zdržení činí pouhých 62 dní při dlouhodobém průměrném denním průtoku Ludkovického potoka 0,096 m^3.s^{-1}. Bezprostředně nad nádrží se nachází část obce Ludkovice, nazývaná Pradlisko. V horní části povodí Ludkovického potoka se rozprostírá obec Provodov (0,78 tis. obyvatel). Čištěné odpadní vody z obce jsou převáděny mimo povodí Ludkovického potoka. Jeho délka nad VN Ludkovice činí cca 7 km. Povodí je z 60 % zalesněno, na zbývající ploše převládají louky, polnosti tvoří cca 10 % plochy povodí.

METODIKA

Dynamika znečištění vytipovaných přítoků do vodárenských nádrží byla zkoumána pomocí pasivních vzorkovačů. Jde o kontinuální záchyt znečišťujících látek po stanovenou dobu na vhodný typ vzorkovače podle druhu sledovaných látek. Tím je možno na rozdíl od bodového vzorkování podchytit náhodná znečištění (v případě pesticidů při srážkoodtokových epizodách) či velice nízké koncentrace látek, jež i při nízkém obsahu ve vodách vykazují nepříznivé účinky na vodní prostředí nebo jeho prostřednictvím na člověka. Doba expozice je volena tak, aby probíhala v lineární oblasti příjmu znečištění vzorkovačem (*obr. 4*).

V povrchových vodách činí obvykle tři týdny, vzhledem k vzorkování čistších vod byla zvolena expozice kolem čtyř týdnů. Rovněž Alvarez [7] potvrzuje, že typická doba expozice v lineární oblasti příjmu látky pasivním vzorkovačem POCIS nepřesahuje 28 dní, ačkoli pro některé jím testované látky byla linearita příjmu zachována i po 56denní expozici. Vzorkování probíhalo po celou dobu vegetační sezony od dubna do listopadu, celkem tedy v osmi vzorkovacích kampaních. Přesná data instalace a výměny pasivních vzorkovačů jsou uvedena v *tab. 1*.



Obr. 4. Obecný průběh záchytu znečištění pasivním vzorkovačem (membránou) v závislosti na době vzorkování [6]
Fig. 4. General curve of the pollution capture by passive sampler depending on the sampling time [6]

Vhodné lokality pro umístění vzorkovačů byly vytipovány společně s pracovníky podniku Povodí Moravy, s. p. Je potřeba volit taková místa, kde je zaručeno ponoření vzorkovače po celou dobu expozice a je minimalizována neoprávněná manipulace nebo jeho zcizení.

Tab. 1. Data instalace a deinstalace pasivních vzorkovačů ve vzorkovacích kampaních 2021
Tab. 1. The installation and removal terms of the passive samplers in sampling campaign 2021

Kampaň	Expozice	VN Vír I		VN Opatovice a Ludkovice	
		Instalace	Deinstalace	Instalace	Deinstalace
1	dubnová	30. 3. 2021	30. 4. 2021	31. 3. 2021	3. 5. 2021
2	květnová	30. 4. 2021	31. 5. 2021	3. 5. 2021	1. 6. 2021
3	červnová	31. 5. 2021	29. 6. 2021	1. 6. 2021	1. 7. 2021
4	červencová	29. 6. 2021	2. 8. 2021	1. 7. 2021	3. 8. 2021
5	srpnová	2. 8. 2021	2. 9. 2021	3. 8. 2021	3. 9. 2021
6	zářijová	2. 9. 2021	4. 10. 2021	3. 9. 2021	5. 10. 2021
7	říjnová	4. 10. 2021	3. 11. 2021	5. 10. 2021	4. 11. 2021
8	listopadová	3. 11. 2021	2. 12. 2021	4. 11. 2021	1. 12. 2021

Pro záchyt širokého spektra znečišťujících látek byly použity následující druhy pasivních vzorkovačů:

- POCIS-hlb pro záchyt širokého spektra polárních organických látek, výrobce: E&H services, a. s., Budějovická 618/53, 140 00 Praha 4 – Krč.
- POCIS-Glyphosate pro záchyt silně polárního glyfosátu a jeho metabolitu kyseliny aminomethylfosfonové (AMPA), výrobce: Affinisep, 10 Rue Richard Dufour, 76 770 Le Houlme, Francie.

Před mechanickým poškozením byly vzorkovače chráněny v nerezovém koši nebo chráničkou (*obr. 5*). Vzorkovače byly kotveny k břehovým porostům nerezovým lankem. Závěrným profilem byl nátok surové vody do úpravny vody nebo, pokud to nebylo možné, ve vodní nádrži v blízkosti odběrného objektu u hráze. Na hlavním přítoku a na odtoku z vodárenské nádrže byly vzorkovací koše opatřeny dataloggerem HOBO Pendant MX 2202 pro kontinuální záznam teploty a intenzity osvitu po celou dobu expozice.

Vzorkovače byly před použitím skladovány podle údajů daných výrobcem, po expozici byly transportovány do laboratoře při teplotě +2 až +4 °C a před jejich zpracováním uchovávány při teplotě -18 °C.

Obr. 5. Pasivní vzorkovač typu POCIS ve velkém koši (vlevo) a v chráničce (vpravo)
Fig. 5. Passive sampler POCIS in big canister (left) and in the casing (right)

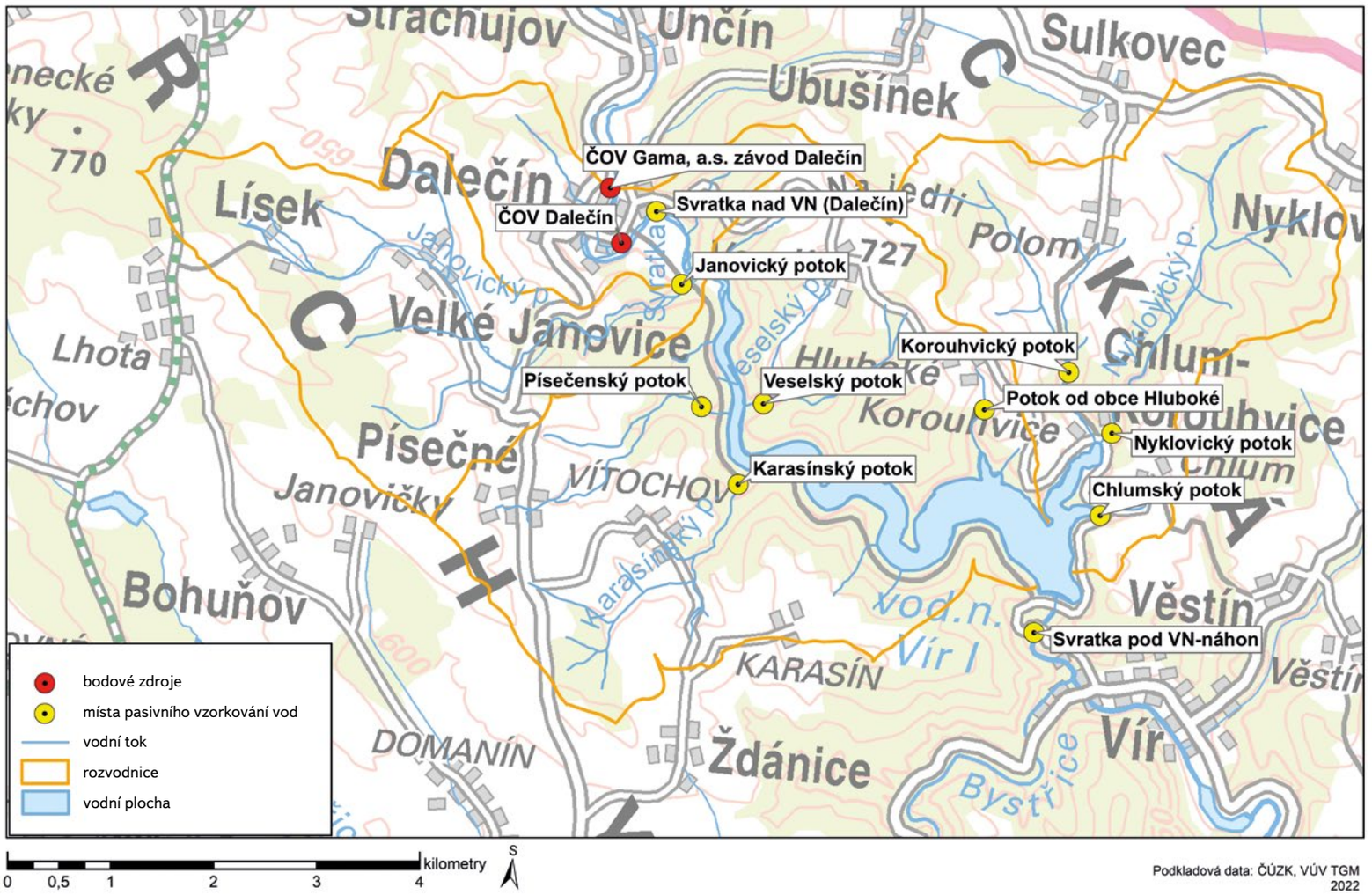
Spektrum ověřovaných látek zahrnovalo 36 účinných látek přípravků na ochranu rostlin a 14 metabolitů pesticidů (celkem 50 látek). Kritériem výběru pesticidů bylo zhodnocení výsledků monitoringu povrchových vod realizovaného správcem povodí za období 2017–2019 a významných spotřeb přípravků na ochranu rostlin evidovaných Ústředním kontrolním a zkušebním ústavem zemědělským (ÚKZÚZ) v dotčených okresech [8].

Exponované vzorkovače (ukázka na *obr. 6*) byly před jejich zpracováním po vyjmutí z mrazničky temperovány na laboratorní teplotu. Zůstávaly přitom stále uzavřené v původním obalu pro zamezení druhotné kontaminace z okolního prostředí. Následně byly vyjmuty z transportního obalu a opláchnuty deionizovanou vodou. V dalším kroku byly na aluminiové fólii rozebrány (uvolnění kovového okruží). Sorbent umístěný mezi PES membránami byl kvantitativně převeden deionizovanou vodou na SPE kolonky, vysušen pod vakuem a dusíkem a následně eluován potřebným objemem methanolu, jak to doporučuje Grabic [9]. Eluát byl zahuštěn na objem 1 ml a převeden k LC-MS/MS analýze. Pesticidy byly měřeny v kladném módu, metabolity pesticidů v negativním módu. K analýze byly využity sestavy Agilent 1290 Infinity II + Sciex X500R Q-TOF a Exion LC (Shimadzu) + Sciex Triple Quad™ 7500.

POCIS-Gly byl zpracováván podle postupu publikovaného Claudem [10]. Po převedení sorpční náplně deionizovanou vodou na fritu byl sorbent vysušen pod vakuem a dusíkem. Eluce byla prováděna 8 ml 0,1M kyseliny chlorovodíkové. Získaný extrakt byl zahuštěn pod proudem dusíku k suchu a doplněn směsí methanolu a vody v poměru 1 : 1. Stanovení glyfosátu a jeho metabolitu AMPA bylo prováděno metodou LC/MS/MS v negativním módu.

Výsledné koncentrace látek jsou vztaženy na 1 ml extraktu.

Obr. 6. Exponované vzorkovače POCIS
Fig. 6. Exposed passive samplers POCIS



Obr. 7. Místa pasivního vzorkování přítoků do VN Vír I v roce 2021
Fig. 7. Spots of passive sampling on the tributaries into Vír I water supply reservoir in 2021

VÝSLEDKY

Povodí vodárenské nádrže Vír I

Místa pasivního vzorkování přítoků do VN Vír I jsou zobrazena na *obr. 7*. Zahrnují levostranné a pravostranné drobné přítoky do VN, hlavní přítok Svratku a odtok z nádrže. Informace o druhu pěstovaných plodin a rozloze v zájmových povodích vznikla klasifikací multitemporálních snímků dálkového průzkumu Země (DPZ). Jejich zastoupení v povodí VN Vír I dokumentuje *tab. 2*. Převažuje nezemědělské využití. Z plodin jsou nejvíce zastoupeny obiloviny, v menší míře řepka a kukuřice. Intenzivní zemědělská činnost probíhá především v povodích levostranných přítoků Svratky, Bílého potoka a Černého potoka a jejich přítoků.

Z pesticidů a metabolitů pesticidů bylo v pasivních vzorkovačích potvrzeno 29 látek a DEET (N,N-diethyl-3-methylbenzamide), který je součástí repelentů proti komárům a klíšťatům. Nejvýznamněji byly zastoupeny kyselina 2,4-dichlorfenoxyoctová (2,4-D), atrazin, metazachlor, terbuthylazin a jejich metabolity, glyfosát včetně jeho metabolitu AMPA (kyselina aminomethylfosfonová). Souhrnné výsledky s uvedením maximální nalezené koncentrace pesticidů včetně jejich metabolitů z osmi vzorkovacích kampaní jsou uvedeny v *tab. 3*.

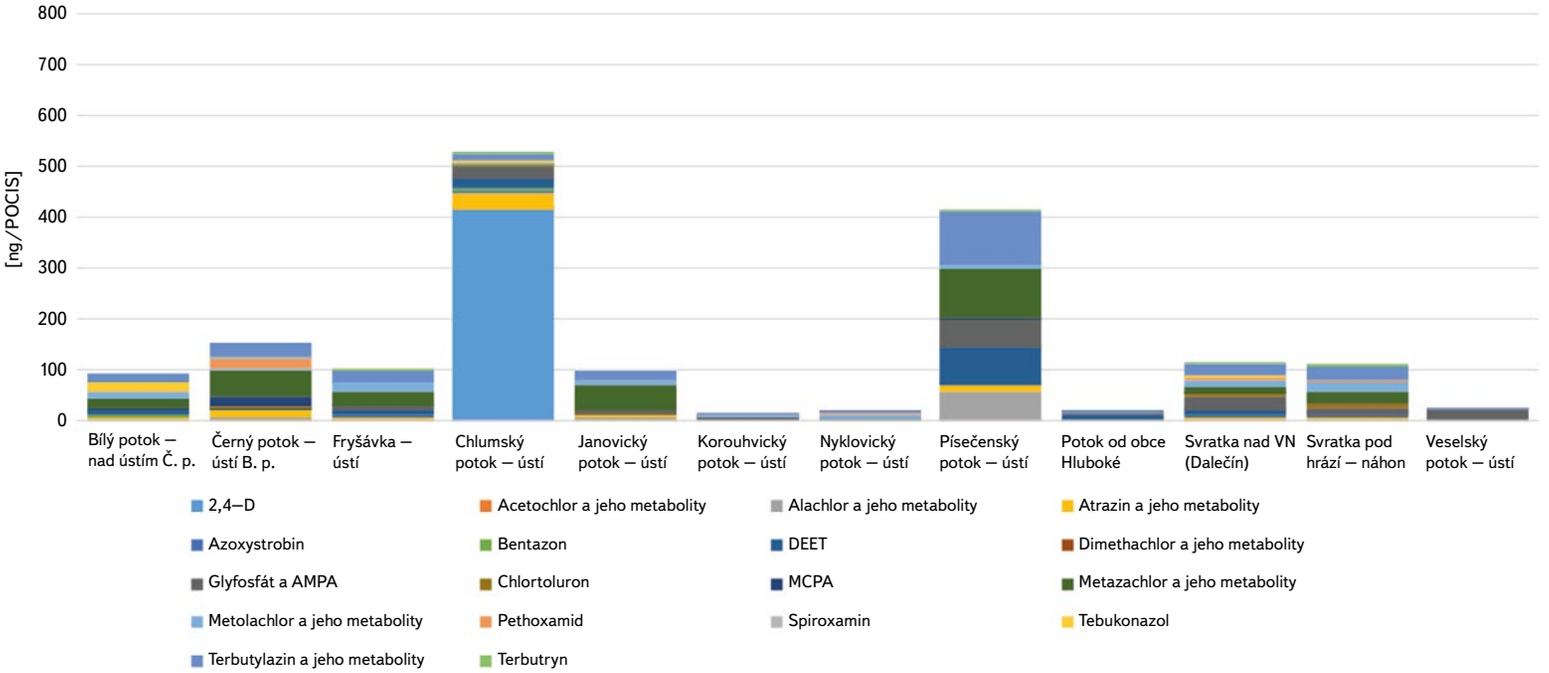
Tab. 2. Zastoupení pěstovaných plodin v povodí VN Vír I v roce 2021 dle DPZ
Tab. 2. Cultivated crops in the river basin above Vír I water supply in 2021 from the SSE

Způsob využití území	[m²]	[%]
nezemědělská plocha	257 527 500	63,0
řepka	11 126 875	2,7
ozimé obiloviny	16 793 125	4,1
jarní obiloviny	26 411 875	6,5
řepa	1 237 500	0,3
kukuřice	7 603 750	1,9
slunečnice	440 625	0,1
ozim sklizený na zeleno	822 500	0,2
brambory	110 000	< 0,1
ostatní plodiny	1 363 125	0,3
trvalé travní porosty	85 560 625	20,9

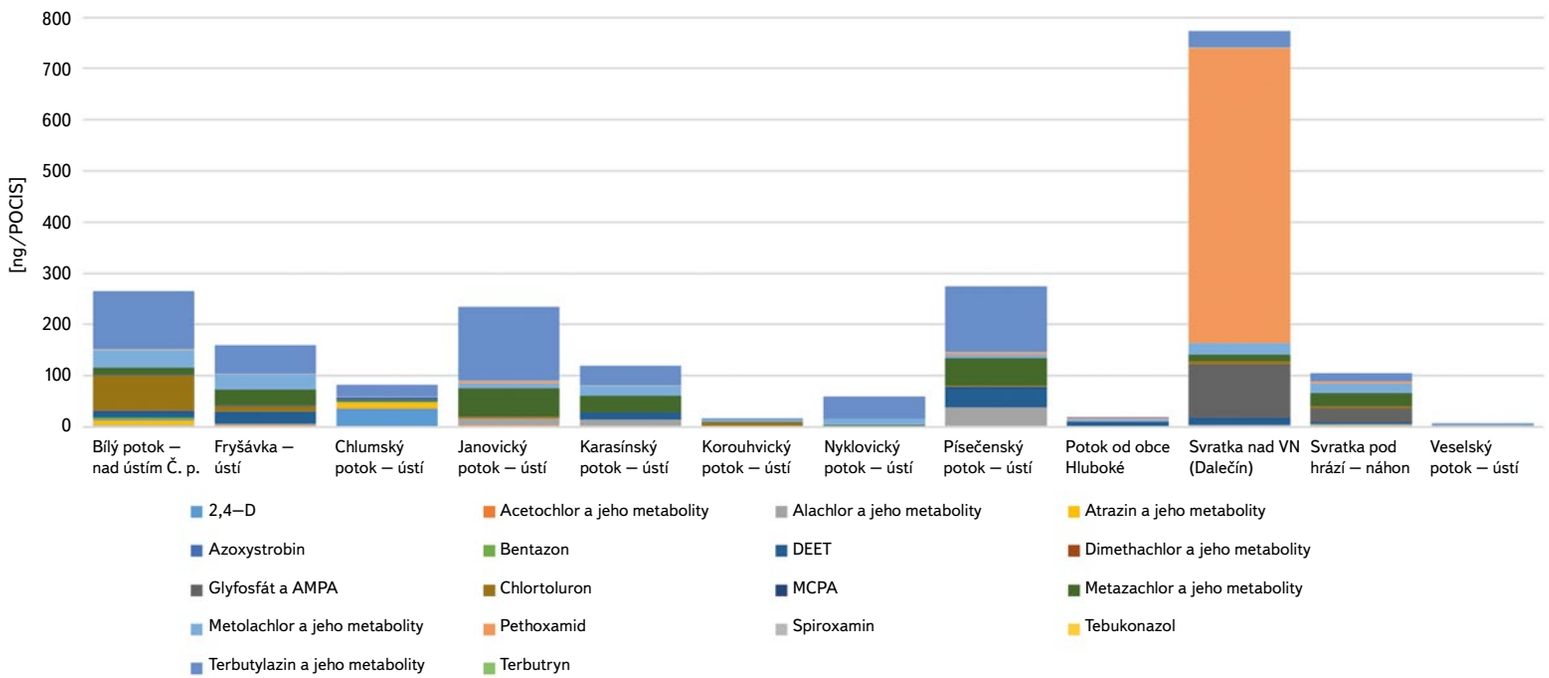
Zdroj: Český hydrometeorologický ústav

Tab. 3. Maximální zjištěné koncentrace pesticidů a jejich metabolitů pasivním vzorkováním na přítocích do VN Vír I v r. 2021 v ng/POCIS
Tab. 3. Maximal concentrations of pesticides and metabolites established by passive sampling on the tributaries into Vír I water supply reservoir in 2021 (in ng/POCIS)

	VN Vír												
Profil	**Bílý potok – nad ústím Černého potoka**	**Černý potok – ústí do Bílého potoka**	**Fryšávka – ústí**	**Chlumský potok – ústí**	**Janovický potok – ústí**	**Karasínský potok – ústí**	**Korouhvický potok – ústí**	**Nyklovický potok – ústí**	**Písečenský potok – ústí**	**Potok od obce Hluboké**	**Svratka nad VN (Dalečín)**	**Svratka pod hrází – náhon**	**Veselský potok – ústí**
2,4-D	4,06	1,17	0,52	415,42	1,52	0,42	0,00	0,39	1,97	0,27	0,53	1,92	0,00
Acetochlor a jeho metabolity	1,25	1,45	3,10	2,44	2,22	2,72	0,99	1,21	5,81	0,19	3,04	4,09	1,50
Alachlor a jeho metabolity	4,72	18,58	5,48	0,27	30,70	13,47	0,49	1,84	134,78	2,11	9,18	11,36	15,44
Atrazin a jeho metabolity	8,35	29,39	6,36	32,15	3,15	0,00	1,31	1,40	14,70	1,63	6,21	6,23	0,27
Azoxystrobin	2,70	1,60	1,20	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	1,20	1,30	4,90	0,00
Bentazon	5,11	3,84	0,00	4,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,08	1,19	3,31	0,07
DEET	27,00	15,00	24,00	19,00	1,20	14,00	3,10	0,00	70,00	8,10	23,00	3,60	1,20
Dimethachlor a jeho metabolity	1,10	0,29	0,22	0,02	3,04	0,42	0,00	0,26	1,66	0,00	1,24	1,86	0,00
Glyfosát a AMPA	–	–	16,60	57,00	10,66	57,40	3,20	5,33	107,38	28,00	103,90	30,50	28,24
Chlortoluron	67,94	3,91	11,14	3,71	3,19	0,00	7,33	0,00	4,00	0,00	6,13	36,01	0,00
MCPA	2,19	16,37	0,32	3,11	0,21	0,09	0,00	0,00	2,36	0,10	2,21	2,99	0,31
Metazachlor a jeho metabolity	23,67	49,78	37,72	0,50	80,58	32,61	0,80	8,94	105,54	0,60	39,56	82,34	1,34
Metolachlor a jeho metabolity	33,29	15,88	30,28	6,71	9,90	31,81	4,00	33,76	6,60	3,72	23,86	73,51	2,82
Pethoxamid	1,10	22,38	0,82	0,67	48,45	0,00	0,36	0,58	6,94	2,93	576,42	27,49	0,38
Spiroxamin	3,43	4,29	1,24	0,35	1,98	1,27	0,00	0,00	2,33	0,23	1,16	0,15	0,00
Tebukonazol	14,57	2,95	0,00	1,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71	1,46	0,00
Terbuthylazin a jeho metabolity	349,27	109,20	55,94	22,30	144,22	38,78	3,23	63,45	240,45	2,06	66,94	12 913,59	0,98
Terbutryn	0,00	0,00	3,50	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	1,00	2,50	2,00	0,00

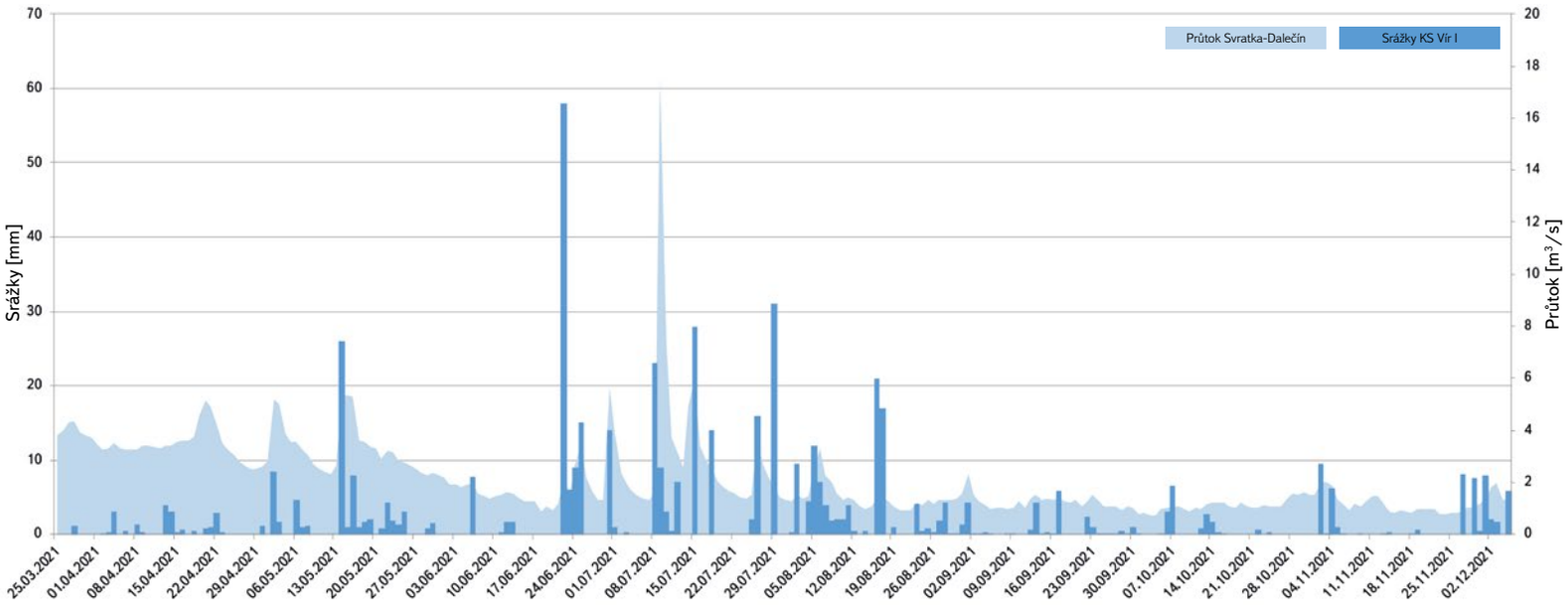


Obr. 8. Koncentrace pesticidů v povodí VN Vír I – 2. vzorkovací kampaň (květen 2021)
Fig. 8. Concentration of pesticide residues in the basin of Vír I water supply reservoir – 2nd sampling campaign (May 2021)



Obr. 9. Koncentrace pesticidů v povodí VN Vír I – 3. vzorkovací kampaň (červen 2021)
Fig. 9. Concentration of pesticide residues in the basin of Vír I water supply reservoir – 3rd sampling campaign (June 2021)

Nejvyšší koncentrace pesticidů byly na přítocích do nádrže nalezeny ve 2., 3. a 4. vzorkovací kampani (květen až červenec 2021) (*obr. 8* a *9*). K nejvíce znečištěným levostranným přítokům patřil Chlumský potok s vysokým obsahem kyseliny 2,4-dichlorfenoxyoctové (2,4-D) ve 2. vzorkovací kampani. Tento potok je nejkratším ze sledovaných přítoků do VN Vír I (pod 1 km délky) a vyvěrá z malého rybníku pod obcí Chlum. 2,4-D je chlororganický selektivní herbicid používaný na dvouděložné plevely a aplikovaný především na obiloviny, v menším množství na kukuřici a pícniny. Jeho značný výskyt v tomto drobném vodním toku může souviset se srážkoodtokovou epizodou, která nastala v oblasti 14. května 2021 s úhrnem srážek 26 mm (*obr. 10*). Šlo o první významnou jarní srážku. V povodí Chlumského potoka byly v roce 2021 pěstovány jarní obiloviny.



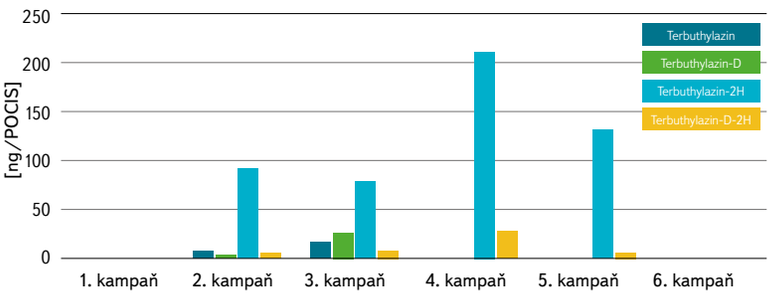
Obr. 10. Srážkoodtokové poměry v povodí VN Vír I v roce 2021
Fig. 10. Rainfall-runoff relationships in the basin of Vír I water supply reservoir in 2021

Z pravostranných přítoků pestrostí zachycených pesticidů dominoval Písečenský potok (délka 3,05 ř. km) pramenící na horním konci obce Písečné. Významně byl zastoupen terbuthylazin a jeho metabolity, metazachlor a jeho metabolity a metabolity alachloru. Terbuthylazin, který je používán k ošetření kukuřice, převažoval ve formě metabolitu terbuthylazin-2-hydroxy (*obr. 11*) s maximem ve 4. vzorkovací kampani (7/2021). Osevní plochy kukuřicí byly v lokalitě v roce 2021 velmi malé, a to v nejsvrchnější části povodí. „Mateřská" látka tak byla potvrzena jen v minimálním množství. Patrně jde o zátěž z minulých let nebo transformaci původní účinné látky během transportu do vodoteče půdním profilem z větší vzdálenosti.

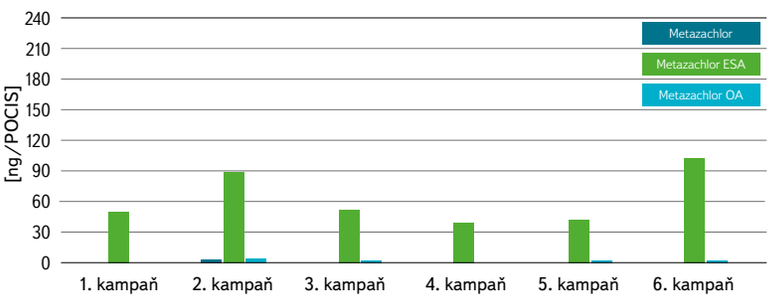
Metazachlor je používán na olejniny, jež v povodí Písečenského potoka nebyly v roce 2021 pěstovány. Pasivním vzorkováním byl potvrzen výhradně metabolit metazachlor ESA, a to již v první dubnové vzorkovací kampani (*obr. 12*). To ukazuje na jeho vyplavování z aplikací v předcházejících letech, dynamika koncentrací je odlišná a není tolik závislá na srážkoodtokových epizodách. Obdobná byla dynamika alachloru, jehož použití je od roku 2007 zakázáno a v povrchové vodě byl zastoupen výhradně metabolitem ESA s maximem v 6. vzorkovací kampani 9/2021).

V profilu Svratka nad VN (Dalečín) bylo zachycené množství pesticidů většinou nižší než v drobných levostranných a pravostranných přítocích do nádrže. Zemědělské hospodaření je intenzivní zvláště v povodí Bílého potoka v jeho horní části kolem města Polička, tedy na samé horní hranici povodí Svratky. Vyšší koncentrace pesticidů v Bílém potoce jsou níže po proudu postupně naředěovány. Výjimkou byla 3. vzorkovací kampaň s potvrzeným vysokým obsahem pethoxamidu ve Svratce nad nádrží (*obr. 9*). Tento pesticid je používán k ošetřování kukuřice a olejnin samostatně nebo v kombinaci s terbuthylazinem (např. přípravek BALATON). Jeho vysoký záchyt v této vzorkovací kampani patrně souvisí s nejmohutnější srážkovou událostí 22. června 2022 (58 mm) (*obr. 10*) a splachem z lokalit mezi městysem Jimramov a obcí Strachujov jen několik kilometrů nad vzorkovacím profilem.

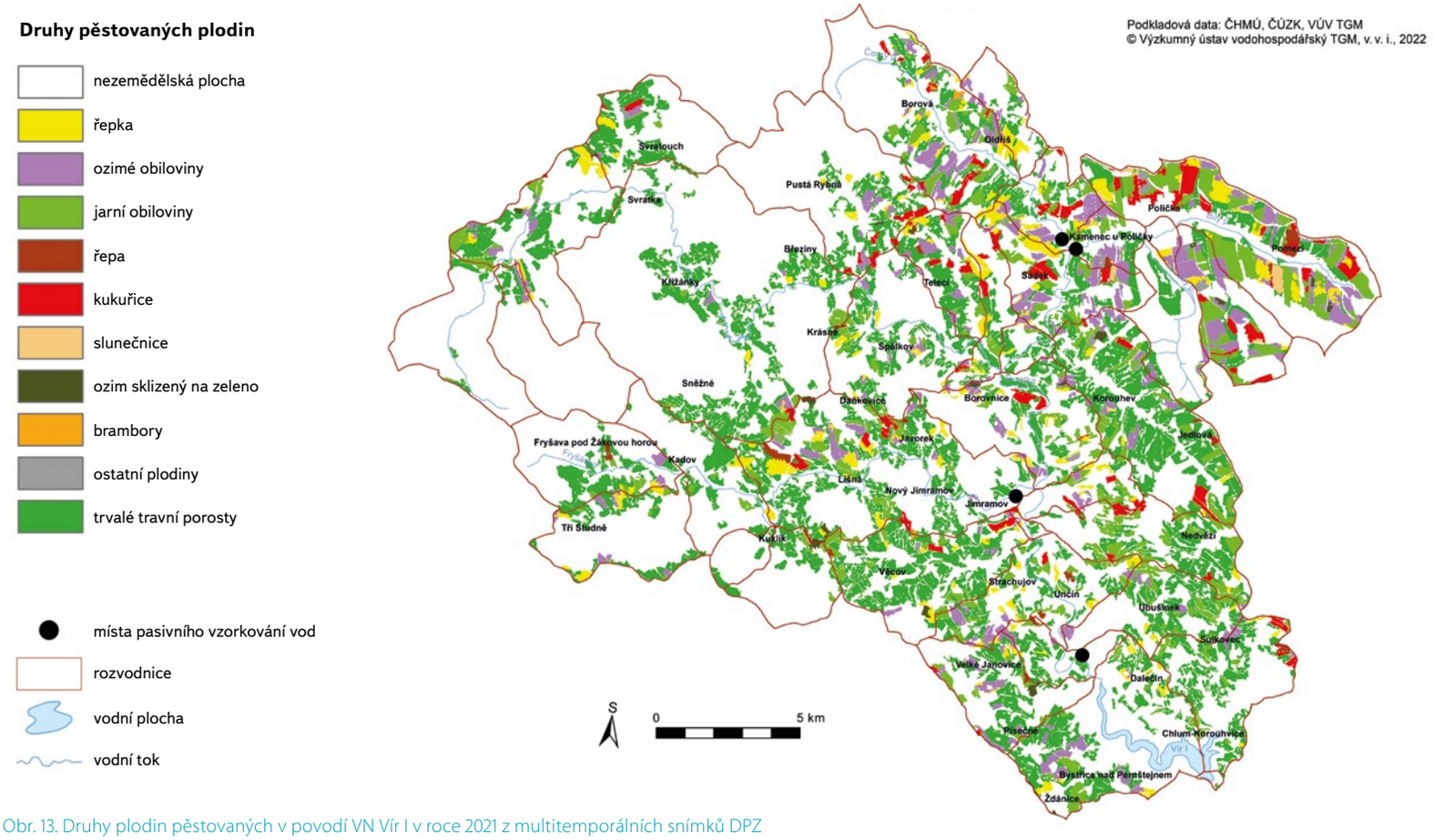
Intenzivní zemědělské hospodaření kolem Poličky s významným podílem obilovin, kukuřice a řepky (*obr. 13*) se projevilo v profilu Bílý potok – nad ústím Černého potoka především záchytem terbuthylazinu s převahou jeho metabolitů s postupným koncentračním nárůstem až do července 2021 ve 4. vzorkovací kampani (*obr. 14*) a chlorotoluronu s maximem ve 3. vzorkovací kampani (*obr. 15*).



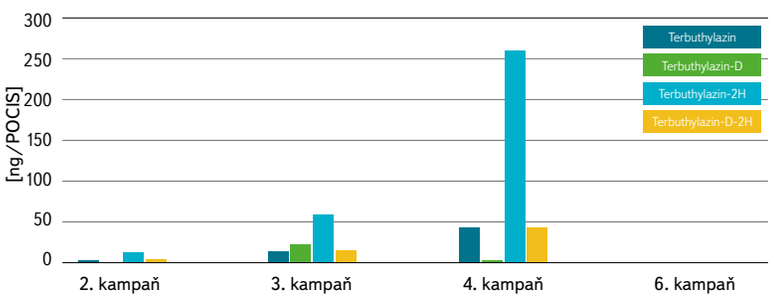
Obr. 11. Dynamika koncentrací terbuthylazinu a jeho metabolitů v ústí Písečenského potoka v roce 2021
Fig. 11. Terbuthylazine and metabolites concentration dynamics in the outfall of Písečenský stream in 2021



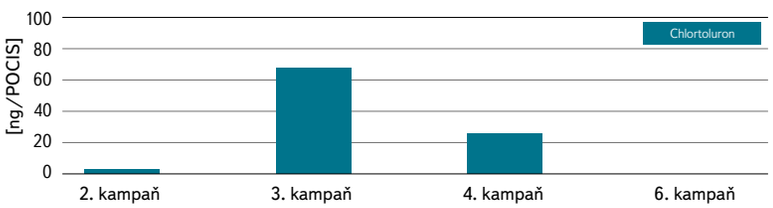
Obr. 12. Dynamika koncentrací metazachloru a jeho metabolitů v ústí Písečenského potoka v roce 2021
Fig. 12. Metazachlor and metabolites concentration dynamics in the outfall of Písečenský stream in 2021



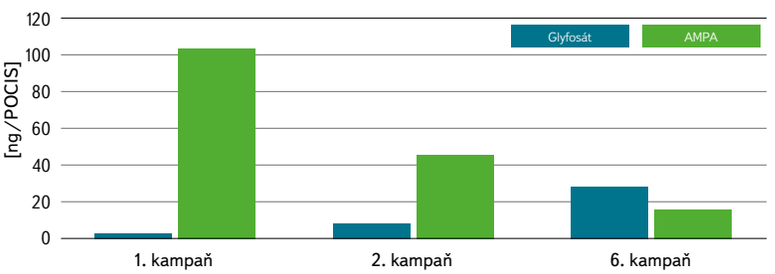
Obr. 13. Druhy plodin pěstovaných v povodí VN Vír I v roce 2021 z multitemporálních snímků DPZ
Fig. 13. Cultivated crops in the river basin above Vír I water supply in 2021 from the multitemporal shots of satellite survey of the Earth



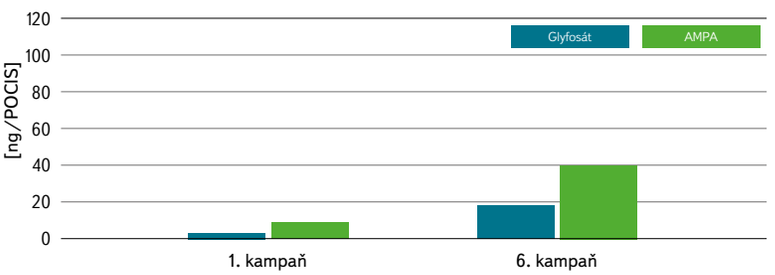
Obr. 14. Dynamika koncentrací terbuthylazinu a jeho metabolitů v Bílém potoce nad ústím Černého potoka v roce 2021
Fig. 14. Terbuthylazine and metabolites concentration dynamics in Bílý stream above the outfall of Černý stream in 2021



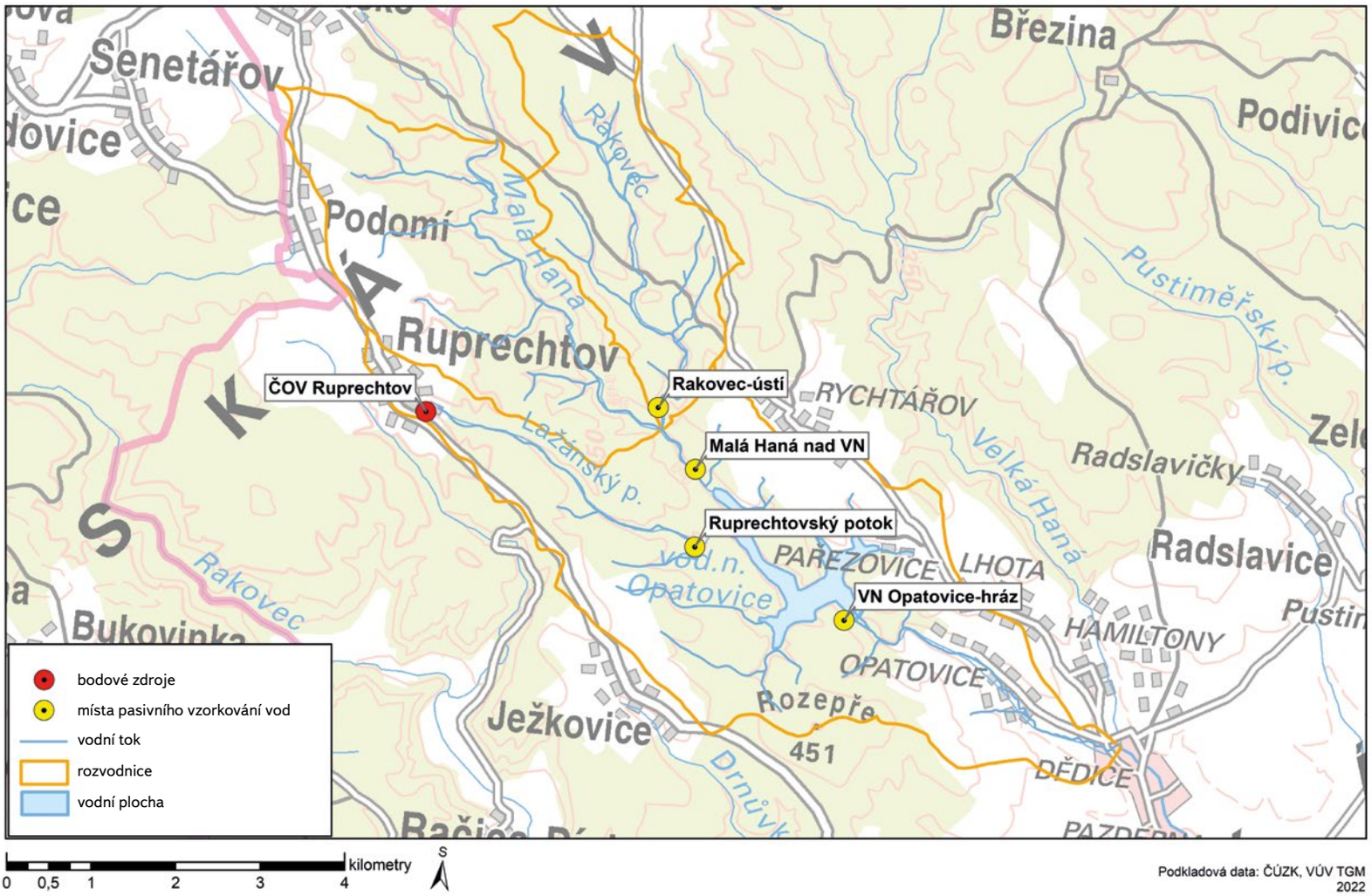
Obr. 15. Dynamika koncentrací chlortoluronu v Bílém potoce nad ústím Černého potoka v roce 2021
Fig. 15. Chlorotoluron concentration dynamics in Bílý stream above the outfall of Černý stream in 2021



Obr. 16. Dynamika koncentrací glyfosátu a AMPA v ústí Písečenského potoka v roce 2021
Fig. 16. Glyphosate and AMPA concentration dynamics in the outfall of Písečenský stream in 2021



Obr. 17. Dynamika koncentrací glyfosátu a AMPA v ústí Karasínského potoka v roce 2021
Fig. 17. Glyphosate and AMPA concentration dynamics in the outfall of Karasínský stream in 2021



Obr. 18. Místa pasivního vzorkování přítoků do VN Opatovice v roce 2021
Fig. 18. Spots of passive sampling on the tributaries into Opatovice water supply reservoir in 2021

Zajímavá je dynamika koncentrací glyfosátu a jeho metabolitu AMPA. Jeho použití je obvyklé především na začátku jara před setbou a na konci léta před setbou ozimých obilovin. Glyfosát je od 1. ledna 2019 zakázáno použít pro desikaci plodin, které slouží pro potravinářské účely [11]. Glyfosát se poměrně rychle transformuje na metabolit AMPA v závislosti na teplotě, vlhkosti a mikrobiálním oživení půdy. Kinetika transformace za různých podmínek jeho úbytek vymezuje v intervalu 1,5 až 53,5 dní pro DT50 a 8 až 280 dní pro DT90. Metabolit AMPA je stabilnější, jeho perzistence je 11 až 21× větší [12]. Vždy záleží na konkrétních podmínkách, a dokonce i druhu pěstovaných plodin [13]. Při nízkých teplotách (+5 °C) je transformace glyfosátu 8,3× pomalejší než při teplotě +30 °C.

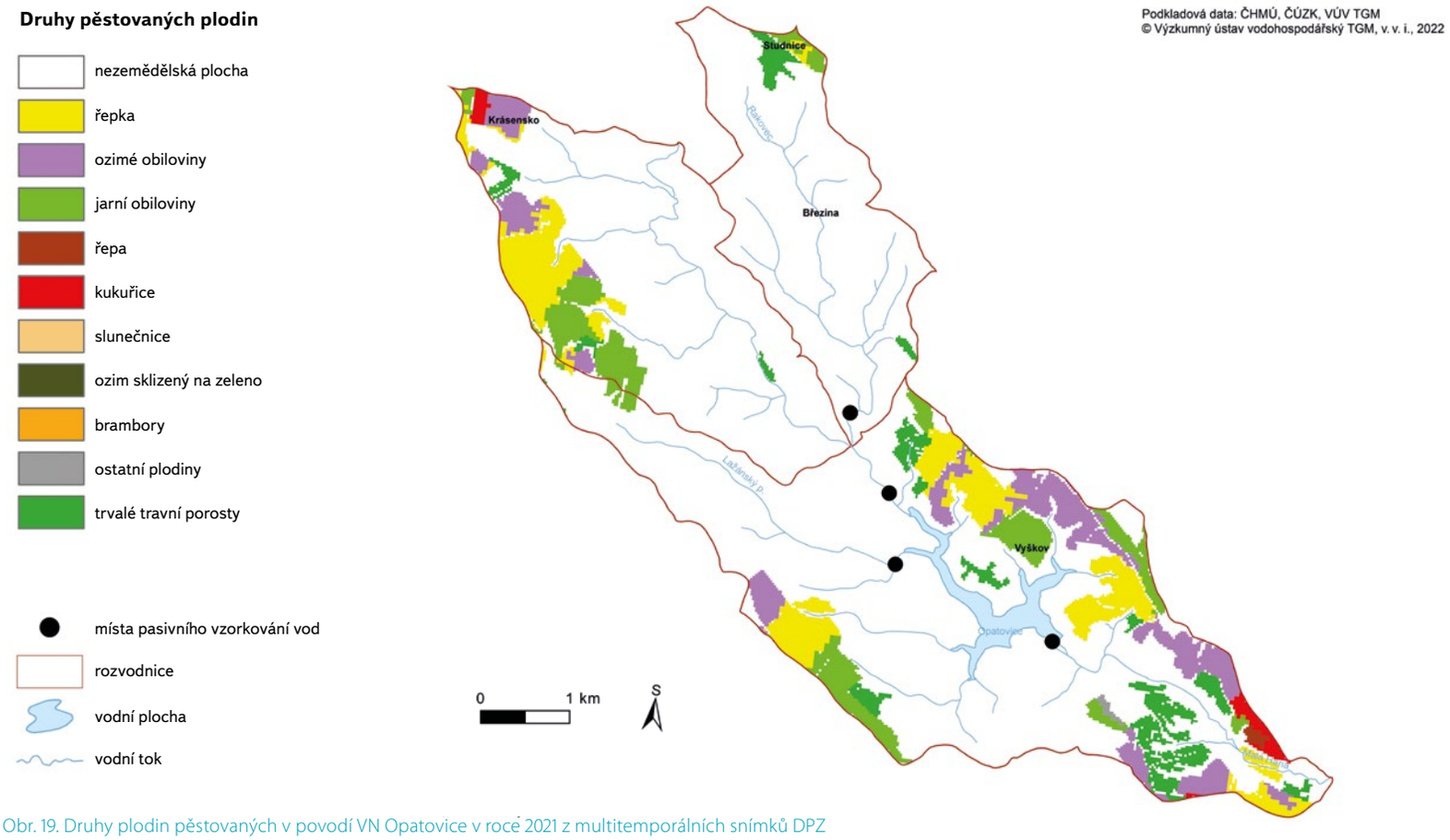
Dva rozdílné případy dynamiky koncentrací těchto dvou sloučenin lze vidět na *obr. 16* a *17*. V povodí Písečenského potoka byla maximální koncentrace metabolitu AMPA prokázána v 1. dubnové vzorkovací kampani, v zářijové 6. kampani byla zachycena převážně mateřská látka. V povodí Karasínského potoka byl glyfosát aplikován až před podzimní setbou.

Ve Svratce na přítoku do VN mírně převládal glyfosát nad metabolitem AMPA s maximem ve 3. vzorkovací kampani. Je zajímavé, že glyfosát se ve VN Vír I zcela netransformoval a byl potvrzen i na výtoku z vodárenské nádrže.

Povodí vodárenské nádrže Opatovice

Místa pasivního vzorkování přítoků do VN Opatovice jsou znázorněna na *obr. 18*. Vodárenská nádrž má pouze dva významné přítoky: Malá Haná a Ruprechtovský potok. Levostranným přítokem Malé Hané je potok Rakovec, zčásti zasahující do vojenského újezdu Březina. Drobné levostranné přítoky do VN o délce 300–400 m v katastrech obcí Rychtářov a Pařezovice nebyly do řešení projektu zahrnuty pro jejich minimální vodnost. Informace o druhu pěstovaných plodin a rozloze v zájmových povodích vznikla klasifikací multitemporálních snímků dálkového průzkumu Země (DPZ). Jejich zastoupení v povodí VN Opatovice zachycuje *obr. 19* a dokumentuje *tab. 4*. Nezemědělské využití tvoří 81 % plochy povodí. Přesto je zátěž vodní nádrže pesticidy značná. Z plodin jsou nejvíce zastoupeny obiloviny a řepka. Intenzivní zemědělská činnost probíhá v horních částech Ruprechtovského potoka, Malé Hané kolem obce Krásensko a na levostranné části nádrže kolem obcí Rychtářov a Pařezovice.

Z ověřovaných pesticidů a metabolitů bylo v pasivních vzorkovačích potvrzeno 27 látek a DEET (N,N-diethyl-3-methylbenzamide). Souhrnné výsledky s uvedením maximální nalezené koncentrace pesticidů včetně jejich metabolitů z osmi vzorkovacích kampaní jsou uvedeny v *tab. 5*. Dynamika koncentrací pesticidů ve srovnání s předchozí vodárenskou nádrží byla rozdílná. Nejvýznamněji byly zastoupeny metazachlor, metolachlor, terbuthylazin a jejich



Obr. 19. Druhy plodin pěstovaných v povodí VN Opatovice v roce 2021 z multitemporálních snímků DPZ
Fig. 19. Cultivated crops in the river basin above Opatovice water supply in 2021 from the multitemporal shots of satellite survey of the Earth

metabolity, glyfosát včetně jeho metabolitu AMPA a metabolity alachloru (*obr. 20–23*). V povodí Rakovce je zemědělská činnost vyvíjena jen v horní části kolem obce Studnice, pasivním vzorkováním bylo potvrzeno, že zastoupení pesticidů v tomto vodním toku je velice nízké. Hlavní zátěž nádrže pesticidy pochází z Malé Hané a Ruprechtovského potoka.

Tab. 4. Zastoupení pěstovaných plodin v povodí VN Opatovice v roce 2021 dle DPZ
Tab. 4. Cultivated crops in the river basin above Opatovice water supply in 2021 from the SSE

Způsob využití území	[m²]	[%]
nezemědělská plocha	27 038 125	77,5
řepka	2 543 125	7,3
ozimé obiloviny	1 986 250	5,7
jarní obiloviny	1 829 375	5,2
řepa	39 375	0,1
kukuřice	204 375	0,6
ostatní plodiny	31 250	0,1
trvalé travní porosty	1 225 625	3,5

Zdroj: Český hydrometeorologický ústav

V 1. dubnové vzorkovací kampani převládaly v obou výše jmenovaných přítocích glyfosát a zvláště metabolit AMPA, zátěž ostatními pesticidy se projevila minimálně. Ve 2. vzorkovací kampani již byly potvrzeny zvýšené a téměř rovnocenné koncentrace metolachloru, metazachloru a terbuthylazinu včetně jejich metabolitů v hlavním přítoku do nádrže.

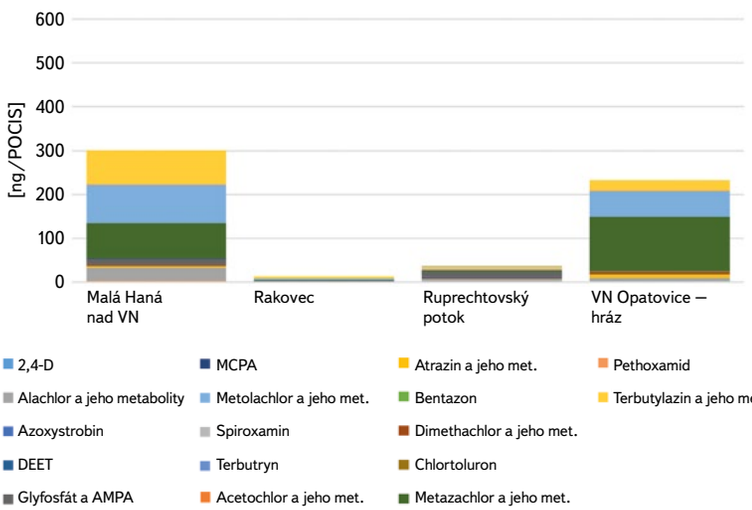
S-metolachlor aplikovaný na kukuřici byl na své cestě z horních partií povodí Malé Hané do nádrže zastoupen téměř výhradně ve formě jeho metabolitu ESA. Opakovaně se ve významných koncentracích vyskytoval i v dalších vzorkovacích kampaních. Poločas rozpadu S-metolachloru v půdě se pohybuje v rozmezí 23,6 až 40,1 dne v závislosti na teplotě a vlhkosti půdy [14]. Míra jeho zastoupení v povrchové vodě byla vysoká, ačkoli osevní plocha kukuřicí byla v povodí Hané v roce 2021 malá.

Stejnou dynamiku koncentrací s postupným vzrůstem až k 8. vzorkovací kampani vykazoval v Malé Hané metazachlor, rovněž výhradně zastoupený metabolitem ESA. Ten je používán k ošetřování olejnin, jež byly v tomto povodí v roce 2021 významnou pěstovanou plodinou. Poločas rozpadu mateřské sloučeniny je dle [15] ve vodním prostředí 19,3 dní, přičemž na degradaci se podílejí výhradně mikrobiální procesy. Vůči hydrolýze a fotolýze je metazachlor stabilní. Terbuthylazin, který je používán k ošetřování kukuřice, se v Malé Hané projevil pouze ve 2. vzorkovací kampani a v menší míře v 7. vzorkovací kampani, v obou případech jako terbuthylazin-2 hydroxy.

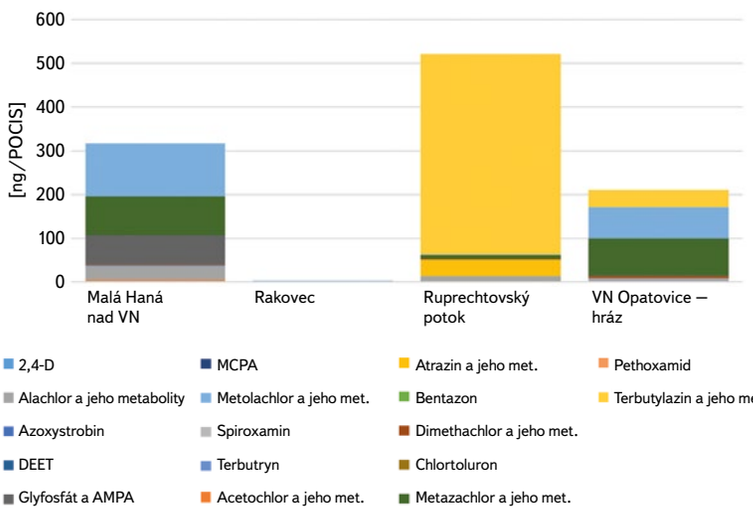
V Ruprechtovském potoce byl zachycen terbuthylazin-2 hydroxy až ve 4. a 5. vzorkovací kampani (červenec až srpen). V roce 2021 nebyla v jeho povodí kukuřice pěstována, tento pozdní nárůst jeho koncentrace ve vodním toku byl s velkou pravděpodobností zapříčiněn erozí v důsledku použití v předchozích letech intenzivními splachy při srážkových epizodách během léta nastupujících v 3. dekádě měsíce června (*obr. 24*). Srážkoodtoková událost začínající 22. června 2021 byla natolik enormní, že došlo k utržení a ztrátě pasivních vzorkovačů 3. vzorkovací kampaně, přestože byly fixovány ke kmeni stromu ocelovým lankem.

Tab. 5. Maximální zjištěné koncentrace pesticidů a jejich metabolitů pasivním vzorkováním na přítocích do VN Opatovice a VN Ludkovice v roce 2021 v ng/POCIS
Tab. 5. Maximal concentrations of pesticides and metabolites established by passive sampling on the tributaries into Opatovice and Ludkovice water supply reservoirs in 2021 (in ng/POCIS)

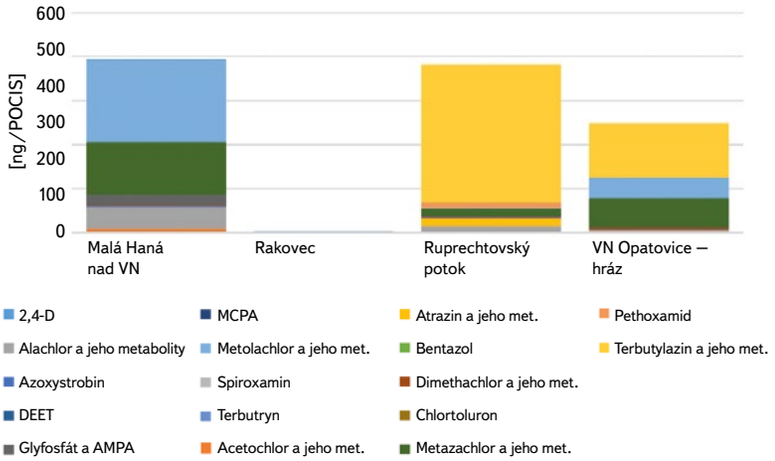
Profil	VN Opatovice				VN Ludkovice	
	Malá Haná nad VN	Rakovec	Ruprechtovský potok	VN Opatovice – hráz	Ludkovický potok nad VN	VN Ludkovice – hráz
2,4-D	1,42	0,46	1,28	1,61	3,39	4,00
Acetochlor a jeho metabolity	11,74	0,59	0,63	9,93	1,24	50,61
Alachlor a jeho metabolity	123,60	2,30	12,68	37,80	0,86	15,92
Atrazin a jeho metabolity	4,26	0,00	37,91	7,63	16,64	10,93
Azoxystrobin	1,70	0,00	1,40	0,00	1,00	0,00
Bentazon	0,18	0,00	0,00	1,03	0,13	0,07
DEET	0,00	0,00	3,60	0,00	19,00	20,00
Dimethachlor a jeho metabolity	4,74	0,00	0,93	18,76	0,12	3,44
Glyfosát a AMPA	71,61	4,60	145,90	10,47	155,10	14,62
Chlortoluron	0,61	0,00	0,00	1,99	–	–
MCPA	0,22	0,32	0,00	1,07	0,38	0,87
Metazachlor a jeho metabolity	138,02	0,76	18,46	426,70	1,46	27,72
Metolachlor a jeho metabolity	200,32	16,32	2,92	270,56	6,12	94,32
Pethoxamid	1,44	0,00	12,85	5,21	0,00	2,36
Spiroxamin	0,31	0,27	0,00	0,00	0,29	0,00
Terbuthylazin a jeho metabolity	77,28	4,31	456,36	123,23	21,12	15,61
Terbutryn	0,00	0,00	1,00	0,00	2,30	0,00



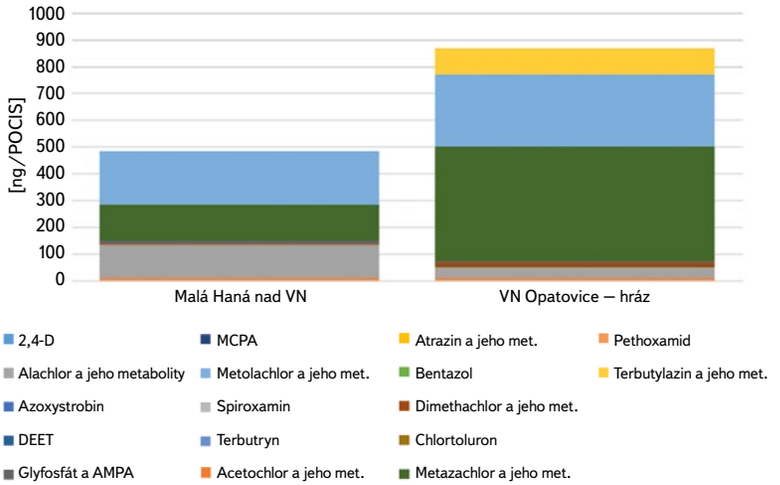
Obr. 20. Koncentrace pesticidů v povodí VN Opatovice – 2. vzorkovací kampaň (květen 2021)
Fig. 20. Concentration of pesticide residues in the basin of Opatovice water supply reservoir – 2nd sampling campaign (May 2021)



Obr. 21. Koncentrace pesticidů v povodí VN Opatovice – 4. vzorkovací kampaň (červenec 2021)
Fig. 21. Concentration of pesticide residues in the basin of Opatovice water supply reservoir – 4th sampling campaign (July 2021)



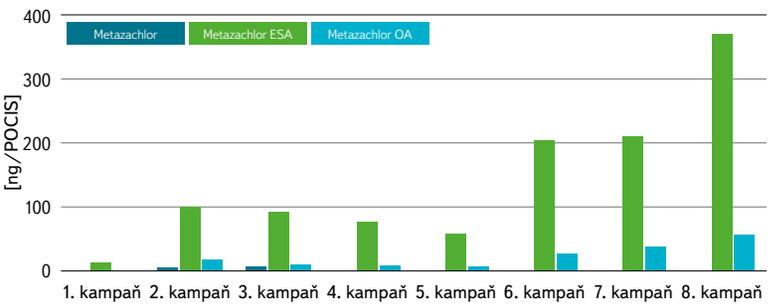
Obr. 22. Koncentrace pesticidů v povodí VN Opatovice – 5. vzorkovací kampaň (srpen 2021)
Fig. 22. Concentration of pesticide residues in the basin of Opatovice water supply reservoir – 5th sampling campaign (August 2021)



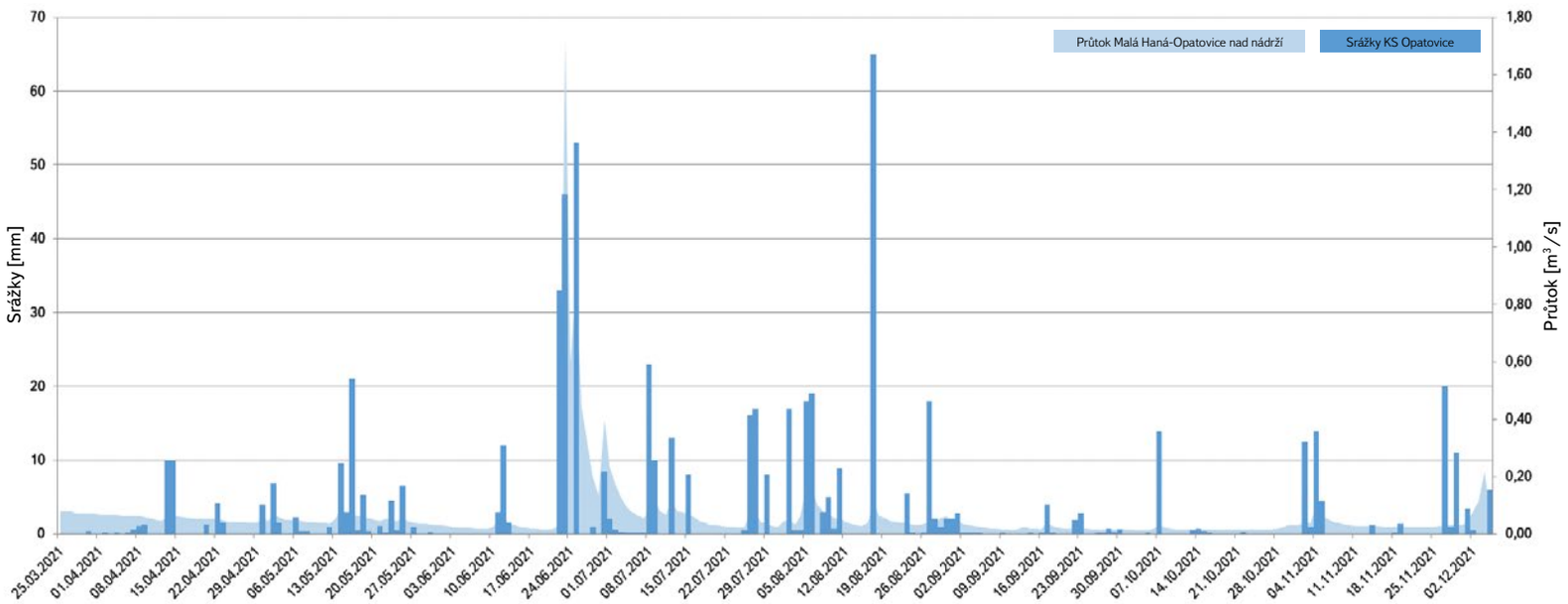
Obr. 23. Koncentrace pesticidů v povodí VN Opatovice – 8. vzorkovací kampaň (listopad 2021)
Fig. 23. Concentration of pesticide residues in the basin of Opatovice water supply reservoir – 8th sampling campaign (November 2021)

Z technických důvodů nebylo možné umístit pasivní vzorkovače do proudu surové vody na úpravně v obci Lhotka. Proto byly umístěny ve vodárenské nádrži v blízkosti odběrné věže se zanořením vzorkovačů do hloubky 3–4 m pod hladinou. Koncentrace pesticidů v tomto místě postupně narůstala od 6. vzorkovací kampaně (od 9/2021). Na *obr. 25* a *26* je vidět dynamika koncentrací dvou nejvýznamněji zastoupených metabolitů metazachloru a metolachloru. Koncentrace významně rostly v podzimních vzorkovacích kampaních.

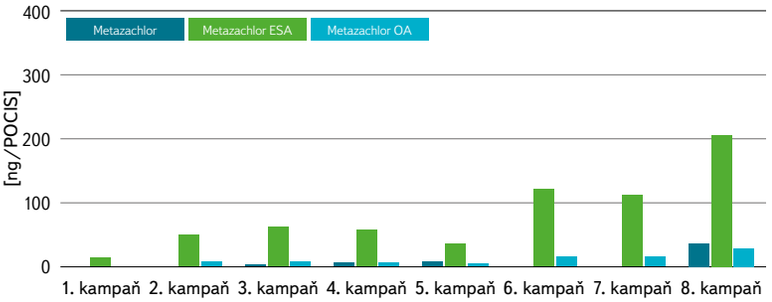
Zvýšené koncentrace glyfosátu a metabolitu AMPA na přítoku do VN Opatovice se v nádrži u hráze naopak během celé vzorkovací sezony prakticky neprojevily. Je však třeba mít na paměti, že teoretická doba zdržení vody v nádrži je přes 1,5 roku.



Obr. 25. Dynamika koncentrací metazachloru a jeho metabolitů na hrázi VN Opatovice v roce 2021
Fig. 25. Metazachlor and metabolites concentration dynamics at the dam of Opatovice water supply reservoir in 2021



Obr. 24. Srážkoodtokové poměry v povodí VN Opatovice v roce 2021
Fig. 24. Rainfall-runoff relationships in the basin of Opatovice water supply reservoir in 2021



Obr. 26. Dynamika koncentrací metolachloru a jeho metabolitů na hrázi VN Opatovice v roce 2021

Fig. 26. Metolachlor and metabolites concentration dynamics at the dam of Opatovice water supply reservoir in 2021

Povodí vodárenské nádrže Ludkovice

VN Ludkovice má jediný přítok – Ludkovický potok. Druhým vzorkovacím profilem byla nádrž v těsné blízkosti odběrného objektu u hráze (*obr. 27*). Informace o druhu pěstovaných plodin a rozloze v zájmových povodích vznikla klasifikací multitemporálních snímků dálkového průzkumu Země (DPZ). Jejich zastoupení v povodí VN ukazuje *obr. 28* a dokumentuje *tab. 6*. Nezemědělské využití tvoří 91,7 % plochy povodí. Z plodin byly v roce 2021 nejvíce zastoupeny ozimé obiloviny.

Tab. 6. Zastoupení pěstovaných plodin v povodí VN Ludkovice v roce 2021 dle DPZ
Tab. 6. Cultivated crops in the river basin above Ludkovice water supply in 2021 from the SSE

Způsob využití území	[m²]	[%]
nezemědělská plocha	9 164 375	68,8
řepka	87 500	0,7
ozimé obiloviny	578 750	4,3
jarní obiloviny	193 750	1,5
ozim sklizený na zeleno	246 875	1,9
trvalé travní porosty	3 043 750	22,9

Zdroj: Český hydrometeorologický ústav

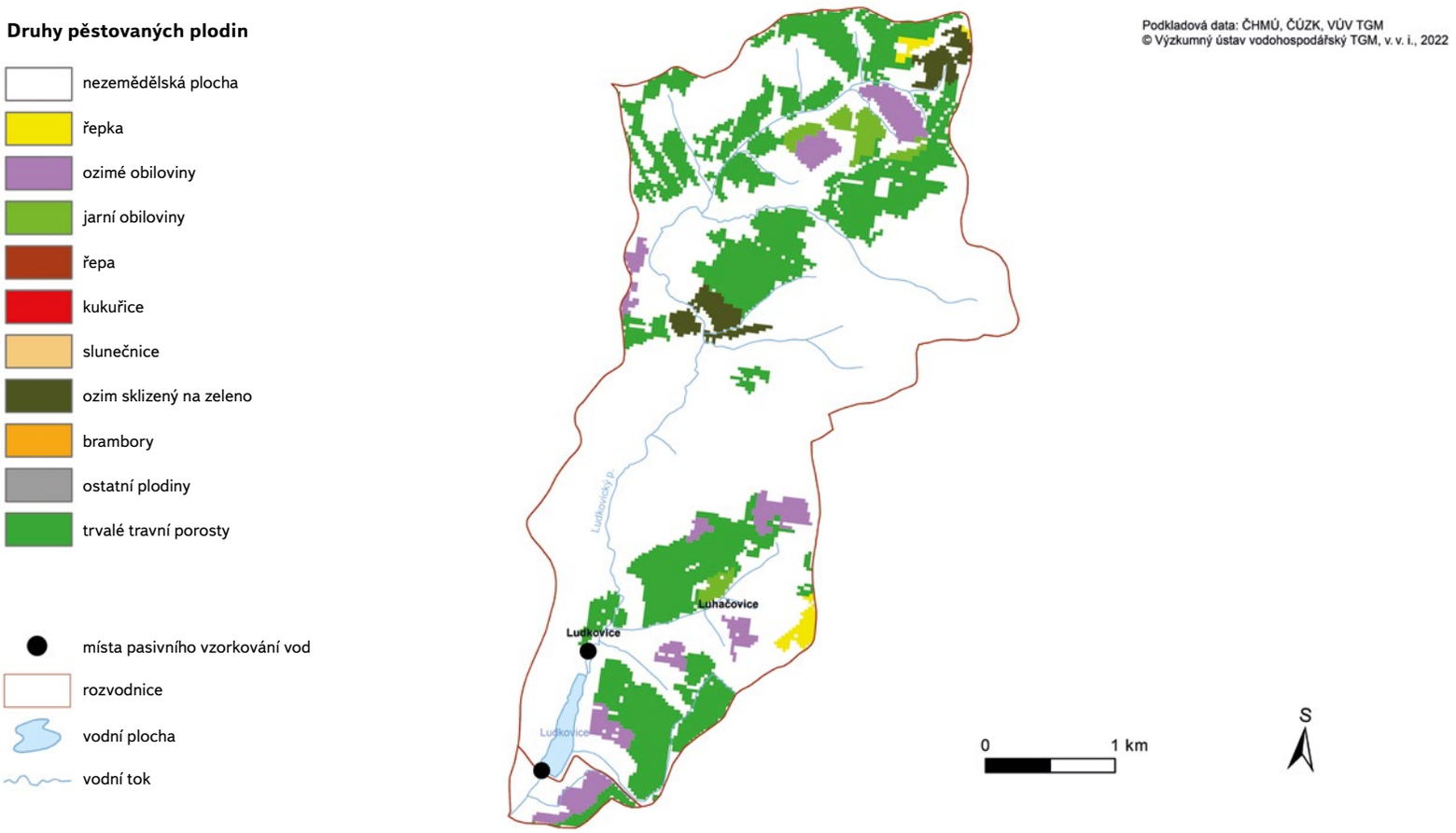
Z ověřovaných pesticidů a jejich metabolitů bylo v pasivních vzorkovačích potvrzeno 24 látek a DEET (N,N-diethyl-3-methylbenzamide). Naprostá většina z nich (vyjma glyfosátu) byla zjištěna jen v nízkých koncentracích, a to jak na přítoku, tak i na odtoku z nádrže, přestože i v tomto povodí se v letním období vyskytlo více významných srážkoodtokových událostí. Souhrnné výsledky s uvedením maximální nalezené koncentrace pesticidů včetně jejich metabolitů z osmi vzorkovacích kampaní jsou uvedeny v *tab. 5*. Dotace pesticidů do nádrže Ludkovickým potokem zůstala prakticky nezměněna od 2. do 4. vzorkovací kampaně (*obr. 29*). V počátečních vzorkovacích kampaních dominoval glyfosát, resp. jeho metabolit AMPA. Glyfosát jako mateřská sloučenina byl v Ludkovickém potoce potvrzen před setbou ozimých obilovin v 6. vzorkovací kampani a překvapivě i v poslední listopadové 8. vzorkovací kampani (*obr. 30*).

V nádrži u hráze byly zvýšené koncentrace pesticidů zjištěny pouze v 6. zářijové vzorkovací kampani (*obr. 31*). Nejhojněji byly zastoupeny metabolity metolachloru ESA a OA, bez přítomnosti mateřské látky. Metolachlor je používán k ošetření kukuřice. Ta však v daném roce nebyla v povodí pěstována. Zároveň byly v této kampani identifikovány významné koncentrace metabolitů acetochloru, jehož použití je již 10 let zakázáno. Pasivním vzorkovačem tak byly zachyceny metabolity původních látek z aplikací v předchozích letech patrně vlivem podzimní cirkulace v nádrži mezi epilimnionem a hypolimnionem.

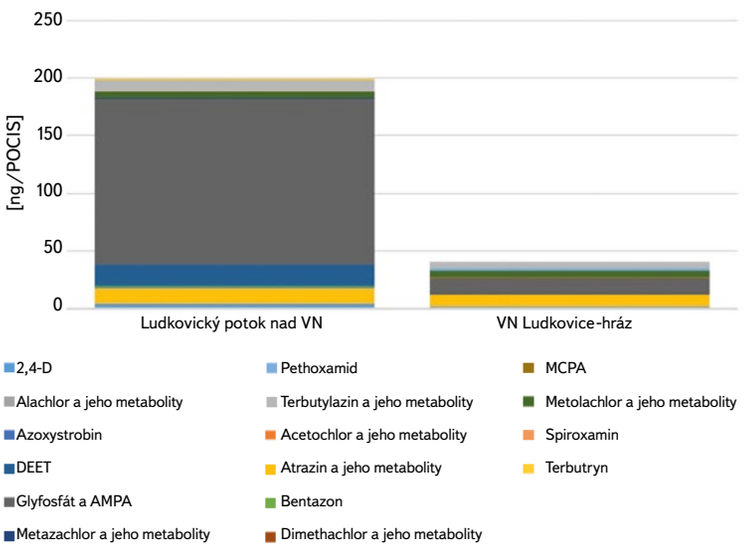
Třetím významným herbicidem identifikovaným v nádrži 6. vzorkovací kampaní byl metazachlor, resp. opět pouze jeho metabolity ESA a OA. Tento herbicid je používán k ošetření olejnin. Vzhledem k tomu, že na přítoku v Ludkovickém potoce nebyl metazachlor ani jeho metabolity pasivním vzorkováním v roce 2021 potvrzeny, půjde rovněž o záchyt znečištění z předchozích let pocházejících z hlubších vrstev vodního sloupce při jejich cirkulaci v nádrži.

Obr. 27. Místa pasivního vzorkování v povodí VN Ludkovice v roce 2021

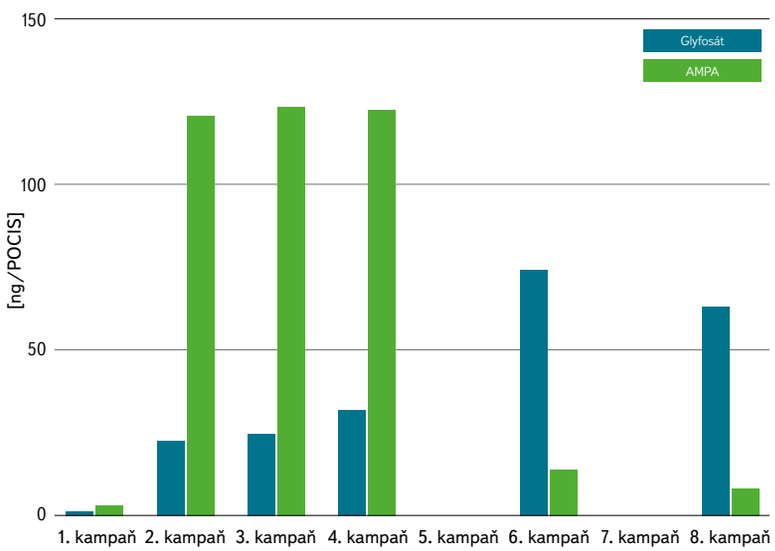
Fig. 27. Spots of passive sampling on the tributaries into Ludkovice water supply reservoir in 2021



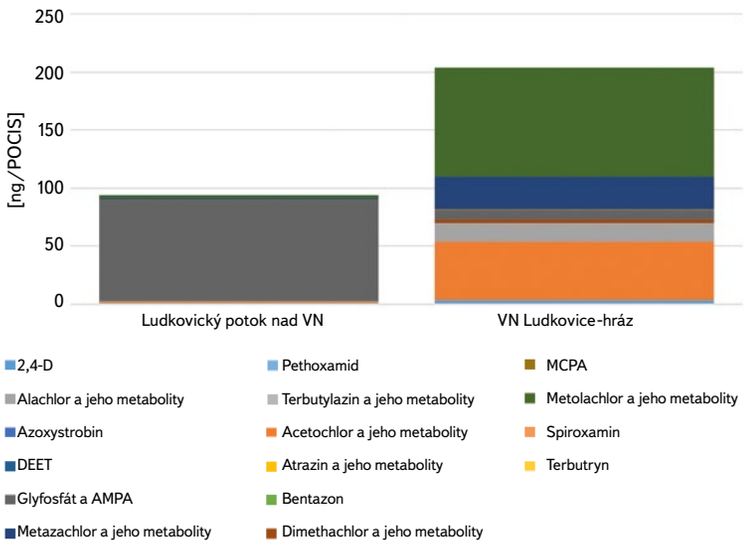
Obr. 28. Druhy plodin pěstovaných v povodí VN Ludkovice v roce 2021 z multitemporálních snímků DPZ
Fig. 28. Cultivated crops in the river basin above Ludkovice water supply in 2021 from the multitemporal shots of satellite survey of the Earth



Obr. 29. Koncentrace pesticidů v povodí VN Ludkovice – 2. vzorkovací kampaň (květen 2021)
Fig. 29. Concentration of pesticide residues in the basin of Ludkovice water supply reservoir – 2nd sampling campaign (May 2021)



Obr. 30. Dynamika koncentrací glyfosátu a metabolitu AMPA v Ludkovickém potoce nad VN v roce 2021
Fig. 30. Glyphosate and AMPA concentration dynamics in the outfall of Ludkovický stream above Ludkovice water supply reservoir in 2021



Obr. 31. Koncentrace pesticidů v povodí VN Ludkovice – 6. vzorkovací kampaň (září 2021)
Fig. 31. Concentration of pesticide residues in the basin of Ludkovice water supply reservoir – 6th sampling campaign (September 2021)

Přepočet na průměrnou koncentraci ve vodním toku

Množství pesticidů zachycených pasivním vzorkovačem POCIS je možné přepočítat na průměrnou koncentraci během doby expozice (C_{TWA}), pokud je pro danou látku a typ pasivního vzorkovače známá vzorkovací rychlost Rs. V případě vzorkovačů POCIS pro polární organické látky platí pro přepočet následující vztah [16]:

$$C_{TWA} = \frac{N_t}{(R_s \cdot t)} \qquad (1)$$

kde N_t je množství zachycené látky vzorkovačem v ng,
R_s vzorkovací rychlost v $l.den^{-1}$
t doba expozice vzorkovače ve dnech

Výsledná koncentrace C_{TWA} je vyjádřena v $ng.l^{-1}$.

Vzorkovací rychlost se zjišťuje kalibračními testy, nejčastěji v laboratorních podmínkách. Pro naše výpočty C_{TWA} jsme použili metodickou práci Grabice a kol. [16]. Její velkou předností je to, že kalibrace vzorkovačů POCIS byly realizovány v terénních podmínkách na českých řekách v jarní a podzimní sezoně. S využitím vztahu (1) bylo možno vypočítat C_{TWA} a se znalostí hodinových průtoků na hlavním přítoku do vodárenské nádrže látkovou bilanci znečištění pro vybrané pesticidy za celé období pasivního vzorkování součtem dílčích bilancí z každé vzorkovací kampaně. Výsledky jsou uvedeny v *tab. 7*.

Z celkové bilance pesticidů a celkového objemu vody, která daným profilem protekla za dobu aplikace pasivních vzorkovačů, byla vypočtena průměrná koncentrace C_{TWA} pro sumu pesticidů. Přesnost výpočtu průměrné koncentrace ve vodním toku je dána přesností odvození vzorkovací rychlosti Rs na pasivní vzorkovač. Proto nelze v případě na C_{TWA} ∑ PES nahlížet jako na skutečnou sumární koncentraci pesticidů ve vodním toku, protože některé hodnoty Rs jsou použitelné dle práce Grabice [16] jen s nižší mírou spolehlivosti, jak je uvedeno v *tab. 7* a vysvětlivkách pod ní. To platí především pro metazachlor ESA, bentazon, DEET a alachlor ESA, jež byly bilančně nejvýznamnější. Umožňuje nám to ale srovnat míru zátěže pesticidy mezi vodárenskými nádržemi navzájem. Z výsledků vyplývá, že VN Opatovice je pesticidy zatížena nejvíce.

DISKUZE A ZÁVĚR

Na devíti přítocích do VN Vír I, třech přítocích do VN Opatovice a na přítoku do VN Ludkovice byla pasivním vzorkováním sledována dynamika koncentrací 36 účinných látek přípravků na ochranu rostlin a 14 metabolitů pesticidů v měsíčním kroku po celou dobu vegetační sezony. V povodí VN Vír I byly do pasivního vzorkování zahrnuty rovněž významné přítoky řeky Svratky: Fryšávka, Bílý potok a Černý potok. U všech tří vodárenských nádrží byl takto sledován rovněž odtok z nádrže. Ve spojení s hydrologickými a klimatickými poměry a skladbou pěstovaných plodin v daných lokalitách bylo možno výsledky interpretovat.

V povodí VN Vír I bylo v pasivních vzorkovačích potvrzeno celkem 29 látek. Koncentrace pesticidů měla stoupající trend od 2. ke 4. vzorkovací kampani. Aplikace přípravků na ochranu rostlin je v tomto období nejvíce relevantní. K tomu se v oblasti od konce června do druhé poloviny července plně projevily vydatné přívalové srážky. Zastoupení mateřských látek přípravků na ochranu rostlin bylo spíše minoritní, převládaly metabolity ESA, v případě terbuthylazinu jako účinné látky to byl metabolit terbuthylazin-2-hydroxy. Z levostranných přítoků VN Vír I byl významně znečištěn bezejmenný potok od obce Chlum (v této práci nazýván jako Chlumský p.) 2,4-dichlorfenoxyoctovou kyselinou používanou k ošetřování obilovin. Největší erozní splach se projevil v blízkém Nyklovickém potoce, avšak s menší negativní odezvou na jakost vody než v Chlumském potoce.

Naopak Korouhvický potok, potok od obce Hluboké a Veselský potok byly pesticidy zatíženy minimálně. Z pravostranných přítoků byly pesticidy významně zastoupeny v Janovickém a především Písečenském potoce, ve kterém byly koncentrace nad 100 ng/POCIS potvrzeny u tří látek. Náležel k nim i metabolit alachlor ESA. Alachlor byl používán dlouhodobě od roku 1975, ale od roku 2006 je jeho použití zakázáno. V Písečenském potoce byl jeho výskyt největší ze všech ověřovaných lokalit. Stále se tedy projevuje zátěž způsobená jeho dřívějším použitím.

Intenzivní zemědělské hospodaření s různorodou skladbou pěstovaných plodin se negativně projevilo i na jakosti vod Bílého potoka pod Poličkou. V hlavním přítoku do VN, ve Svratce, byly zaznamenány koncentrace pesticidů většinou nižší než v ostatních drobných přítocích, patrně vlivem naředění zátěže z horních částí povodí. Výjimkou byla 3. vzorkovací kampaň s potvrzeným vysokým obsahem pethoxamidu, který se používá k ošetřování kukuřice. Dynamika koncentrací na odtoku z VN Vír I byla odlišná. Koncentrace jednotlivých pesticidů postupně mírně narůstala. Významný koncentrační nástup se projevil až v 6. a 7. vzorkovací kampani. Nejvýznamněji byl zastoupen terbuthylazin-2-hydroxy. Na dynamice koncentrací glyfosátu a metabolitu AMPA se dalo odhadnout, kde byl glyfosát použit před jarním osevem a kde před podzimním osevem (případně v obou obdobích).

Výsledky zatížení drobných levostranných a pravostranných přítoků do VN Vír I jsou cenné, protože jejich monitorování není v těchto tocích správcem povodí realizováno.

Vodárenská nádrž Opatovice se od ostatních sledovaných nádrží odlišuje dlouhou teoretickou dobou zdržení vody v nádrži (téměř 19 měsíců). Rakovec, levostranný přítok Malé Hané, je zatížen pesticidy minimálně, protože k zemědělskému využívání půdy dochází pouze v samé horní části jeho povodí. Opakem jsou ostatní dva nejvýznamnější přítoky do nádrže: Malá Haná a Ruprechtovský potok. Míra jejich zatížení pesticidy byla přibližně stejná, ale lišila se jak dynamikou, tak skladbou znečištění. Významnějším zdrojem byla Malá Haná, a to svou vodností i stálou přítomností širší škály pesticidů. Zastoupeny byly výhradně metabolity mateřských látek. Koncentrace metazachloru ESA a metolachloru ESA ve vzorkovačích postupně stoupala od 1. do 6. vzorkovací kampaně a rovněž v poslední 8. kampani (listopad) byla významná. To je hodně překvapující, protože v roce 2021 byla kukuřice pěstována na velice malé rozloze v povodí. Tím, že šlo o pozvolný vzestup koncentrací (na rozdíl od povodí VN Vír I, kde byl nástup koncentrací rychlejší s maximem ve 4. vzorkovací kampani), se dá usuzovat na postupné vyplavování metabolizujících mateřských látek pocházejících z aplikací v předchozích letech.

Tab. 7. Výsledky přepočtu koncentrací z pasivních vzorkovačů na látkovou bilanci pesticidů hlavním přítokem do nádrže
Tab. 7. Results of the recalculation of the concentrations from passive samplers on the pesticide load by the main tributary into the water supply reservoir

Profil	Rs	Spolehlivost určení vzorkovací rychlosti Rs		Svratka – Dalečín nad VN Vír I	Malá Haná nad VN Opatovice	Ludkovický potok nad VN Ludkovice
Jednotka	**[l.den^{-1}]**	**Jaro**	**Podzim**	**[kg]**	**[kg]**	**[kg]**
2,4-D	0,0196			16,389	0,791	3,173
Acetochlor ESA	0,032			41,240	4,170	0,648
Alachlor ESA	0,032			136,983	34,797	0,358
Alachlor OA	0,031			0,348	0,062	0,020
Atrazin-desethyl	0,090			6,021	0,000	0,000
Azoxystrobin	0,060			9,650	0,267	0,335
Bentazon	0,003			192,140	0,648	0,518
DEET	0,046	x		240,012	0,000	8,126
Dimethachlor ESA	0,017			25,627	3,965	0,014
Chlortoluron	0,169			14,082	0,015	0,000
MCPA	0,015			43,650	0,135	0,554
Metazachlor ESA	0,016			966,795	136,646	0,955
Metazachlor OA	0,023			35,662	2,936	0,218
Metolachlor	0,159			34,198	0,095	1,372
Metolachlor OA	0,036			24,948	2,155	0,162
Tebukonazol	0,067			3,029	0,000	0,000
Terbuthylazin	0,149			62,006	0,089	0,572
Terbuthylazin-2-hydroxy	0,184			87,368	1,834	1,518
Terbuthylazin-desethyl	0,185			7,750	0,000	0,272
Terbuthylazin-desethyl-2-hydroxy	0,165			27,911	0,065	0,742
Celková bilance				1 975,81	188,67	19,56
Objem vody hlavního přítoku	**[m^3] za 8 kampaní**			44 186 938	1 273 724	1 529 699
Průměrná koncentrace C_{TWA} ∑ pesticidů	**[µg.l^{-1}]**			44,7	148,1	12,8

Rs použitelné pro robustní odhad koncentrací látek ve vodě

Rs použitelné, ale s nižší mírou spolehlivosti

Rs nelze použít pro kvantitativní vyhodnocení

Koncentrace ve vodě, data z bodových vzorků pod mezí stanovitelnosti, Rs nebylo možno ověřit

Koncentrace pesticidů v nádrži v blízkosti odběrného objektu u hráze vykazovaly do 5. vzorkovací kampaně podobnou koncentrační úroveň, od 6. kampaně pak významný nárůst až k 8. vzorkovací kampani (vyšší než na přítoku Malá Haná). Pesticidy převažující v metabolizované formě jsou v nádrži patrně kumulovány.

Znečištění Ruprechtovského potoka pesticidy bylo jiného rázu. Ve zvýšených koncentracích se projevilo znečištění metabolity atrazinu a terbuthylazinu pouze ve 4. a 5. vzorkovací kampani. Glyfosát koncentračně „vyskočil" v 1. a 6. vzorkovací kampani (aplikace před jarním i podzimním osevem). Pasivní vzorkovače 3. kampaně byly vlivem enormních srážek a průtoku 22. až 25. června 2021 utrženy, čímž nebylo možno tuto kampaň vyhodnotit.

Míra zátěže pesticidy z provedené bilance vztažené na jednotku přítoku vychází v případě VN Opatovice nejvyšší. Pokud tedy bude rozhodnuto realizovat opatření pro zlepšení, právě u této nádrže to má největší prioritu.

Vodárenská nádrž Ludkovice je nejmenší z posuzovaných nádrží s jediným přítokem. Celková zátěž pesticidy je nejnižší. Na přítoku do nádrže dominovaly koncentrace glyfosátu a metabolitu AMPA s maximem ve 2. a 4. vzorkovací kampani (nad 100 ng/POCIS). Na odtoku z nádrže se tato dynamika na vstupu do VN nijak výrazně neprojevila. Významná koncentrační zátěž na odtoku však byla zaznamenána u 6. vzorkovací kampaně metabolity více druhů pesticidů (acetochlor ESA, alachlor ESA, metazachlor ESA+OA, metolachlor ESA+OA), která může souviset s cirkulací v nádrži mezi epilimnionem a hypolimnionem na začátku podzimu.

Množství získaných výsledků a dat neumožnilo v rozsahu tohoto článku poskytnout vyčerpávající informace, v textu jsou prezentovány ty nejvýznamnější. V další fázi řešení budou získané výsledky konzultovány se správcem povodí a porovnány s informacemi o aplikaci přípravků na ochranu rostlin v daných územích, pokud budou k dispozici. Výstupy projektu (především druhu N_{map}) napomohou správci povodí k identifikaci a zhodnocení rizik znečištění vodního prostředí a pro následnou specifikaci nebo kontrolu opatření ke zvýšení ochrany vodních zdrojů z hlediska kvality vody.

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován v rámci projektu „Studie vnosu pesticidů a dalších mikropolutantů do vodárenských nádrží v povodí Moravy a Dyje", č. SS01010248. Poděkování patří také pracovníkům Povodí Moravy, s. p., za poskytnutí dat a spolupráci při výběru vhodných lokalit.

Literatura

[1] *Chemicals for a Sustainable Future. Report of the EEA Scientific Committee Seminar, Copenhagen, 17 May 2017. Publications Office of the European Union*. Luxembourg: European Environment Agency, 2018. 44 s. ISSN 1725-8449.

[2] *Chemicals: Challenges for the Water Environment. Environment Agency, October 2021*, s. 38.

[3] LIŠKA, M., SOUKUPOVÁ, K., DOBIÁŠ, J., METELKOVÁ, A., GOLDBACH, J., KVÍTEK, T. Jakost vody ve vodárenské nádrži Švihov na Želivce a jejím povodí se zaměřením na specifické organické látky. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2016, 58(3), s. 4–10. ISSN 0322-8916.

[4] DOBIÁŠ, J., KOŽELUH, M., ZAJÍČEK, A., FUČÍK, P., LIŠKA, M. Dynamika vyplavování pesticidních látek v povodí Čechtického potoka. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2018, 60(4), s. 10–16. ISSN 0322-8916.

[5] MIČANÍK, T., SÝKORA F., CHRASTINA, D., CIELECKÁ, N., KUCHARCZYKOVÁ, V., KRISTOVÁ, A., OCELKA, T., OCEÁNSKÝ, J. Časoprostorová dynamika vnosu organických látek do vodárenské nádrže Švihov. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2020, 62(2), s. 8–16. ISSN 0322-8916.

[6] SMEDES, F., BOOIJ, K. Guideline for Passive Sampling of Hydrophobic Contaminants in Water Using Silicone Rubber Sampler. *ICES Techniques in Marine Environmental Sciences*. 2012, 52, s. 24.

[7] ALVAREZ, D. A., PETTY, J. D., HUCKINS, J. N., JONES-LEPP, T. L., GETTING, D. T., GODDARD, J. P., MANAHAN, S. E. Development of a Passive, *in situ*, Integrative Sampler for Hydrophilic Organic Contaminants in Aquatic Environments. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2004, 23, s. 1640–1648.

[8] *Spotřeba účinných látek obsažených v přípravcích na ochranu rostlin v jednotlivých krajích a okresech*. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/pripravky-na-or/ucinne-latky-v-por-statistika-spotreba/spotreba-pripravku-na-or/spotreba-por-kraje-okresy/

[9] GRABIC, R., GRABICOVÁ, K., FEDOROVA, G., GOLOVKO, O., RANDÁK, T. *Metodika sledování kontaminace povrchových vod organickými cizorodými látkami pomocí pasivních vzorkovačů*. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2015, s. 36. ISBN 978-80-7514-031-9.

[10] CLAUDE, B., BERHO, C., BAYOUDH, S., AMALRIC, L., COISY, E., NEHMÉ, R., MORIN, P. Preliminary Recovery Study of a Commercial Molecularly Imprinted Polymer for the Extraction of Glyphosate and AMPA in Different Environmental Waters Using MS. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017, 24(13), s. 12293–12300.

[11] *Pravidla pro užívání glyfosátu jsou připravená, před sklizní ho nebude možné použít na řepku ani obiloviny*. Tisková zpráva Ministerstva zemědělství, 19. listopad 2018. Dostupné z: https://eagri.cz/public/web/mze/tiskovy-servis/tiskove-zpravy/x2018_pravidla-pro-uzivani-glyfosatu-jsou.html

[12] BENTO, C. P. M., YANG, X., GORT, G., XUE, S., DAM, R., ZOMER, P., MOL, H. G. J., RITSEMA, C. J., GEISSEN, V. Persistence of Glyphosate and Aminomethylphosphonic Acid in Loess Soil under Different Combinations of Temperature, Soil Moisture and Light/Darkness. *Science of the Total Environment*. 2016, 572, s. 301–311.

[13] BENTO, C. P. M., HOEVEN, S., YANG, X., RIKSEN, M. J. P. M., MOL, H. G. J., RITSEMA, C. J., GEISSEN, V. Dynamics of Glyphosate and AMPA in the Soil Surface Layer of Glyphosate-Resistant Crop Cultivations in the Loess Pampas of Argentina. *Environmental Pollution*. 2019. 244, s. 323–331.

[14] LONG, Y. H., LI, R. T., WU, X. M. Degradation of S-Metolachlor in Soil as Affected by Environmental Factors. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2014, 14(1). Dostupné z: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-95162014000100015

[15] VONK, V. J., SMIT, C. E., JONG, F. M. W. *Environmental Risk Limits for Metazachlor in Water – A Proposal for Water Quality Standards in Accordance with the Water Framework Directive*. RIVM Letter Report 601714024/2013, 2013. 59 s.

[16] GRABIC, R., VRANA, B., FEDOROVA, G., ŠVECOVÁ, H., URÍK, J., ČERVENÝ, D., GOLOVKO, O., GRABICOVÁ, K., ŠANDOVÁ, M., TUREK, J., RANDÁK, T. *Využití pasivních vzorkovačů POCIS pro monitoring farmak a pesticidů v povrchových vodách*. Vodňany: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, 2018, s. 50. ISBN 978-80-7514-067-8.

Autoři

Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.[1]
✉ tomas.micanik@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5867-0985

Ing. František Sýkora[1]
✉ frantisek.sykora@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-1003-0935

Mgr. David Chrastina[1]
✉ david.chrastina@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-9945-3100

Ing. Danica Pospíchalová[2]
✉ danica.pospichalova@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5803-3302

Ing. Nikola Verlíková[1]
✉ nikola.verlikova@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-4323-3579

Ing. Alena Kristová[1]
✉ alena.kristova@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-7247-1640

Mgr. Marek Hradil[1]
✉ marek.hradil@vuv.cz
ORCID: 0000-0001-5856-2784

[1] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Ostrava
[2] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022.11.003

DYNAMICS OF MICROPOLLUTANT LOADS INTO WATER SUPPLY RESERVOIRS VÍR I, OPATOVICE AND LUDKOVICE USING PASSIVE SAMPLERS

MIČANÍK, T.[1]; SÝKORA, F.[1]; CHRASTINA, D.[1]; POSPÍCHALOVÁ, D.[2]; VERLÍKOVÁ, N.[1]; KRISTOVÁ, A.[1]; HRADIL M.[1]

[1] T. G. Masaryk Water Research Institute, Ostrava
[2] T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

Keywords: surface water — passive sampling — water supply reservoir — pollution — pesicited

Pesticides are still an important group of substances involved in surface water pollution. Their increased occurrence in the watercourses in the agricultural landscape is mainly linked to rainfall-runoff conditions, types of cultivated crops and methods of agricultural management. In order to capture these factors, passive sampling techniques were chosen for the assessment of the burden of these substances in the selected catchments of water supply reservoirs in the administration of the Povodí Moravy state enterprise. These techniques consist of continuous exposure of several weeks with gradual (integrative) capture of pollution on suitable sorbents. The POCIS type (a polar organic chemical integrative sampler), widely used samplers of suitable for capturing polar organic substances were chosen in this work. They were applied in eight consecutive sampling campaigns to cover the entire growing season. The aim was to assess the spatio-temporal dynamics (in monthly steps) of selected pesticides and their metabolites into five water supply reservoirs. Due to the scope of the obtained data, this article is focused on the presentation of the results water supply reservoirs Vír I, Opatovice and Ludkovice tributaries, which were monitored in 2021. If the sampling rate Rs was published, it was possible to recalculate the pollution captured by the passive sampler to the average concentration during the exposure. It was found out which tributaries into the reservoirs were loaded in the periods of the growing season by these hazardous substances. The results can be compared with the type of crops grown in a given year.

Foto: 123rf.com

Vliv výstavby jezu v lokalitě Abovce (Slovensko) na hladinu podzemních vod – případová studie z povodí Slané

RADOSLAV KANDRÍK, JAROSLAV VIDO, RÓBERT CHRIAŠTEĽ

Klíčová slova: jez – hladina podzemní vody – GIS – stavba jezu

ABSTRAKT

Výstavba jezů na řekách ovlivňuje dynamiku hladiny podzemních vod. Jez vybudovaný na řece Slaná v roce 2010 mezi obcemi Abovce a Chanava přinesl možnost studovat tento vliv díky již existujícím monitorovacím vrtům podzemních vod Slovenského hydrometeorologického ústavu. Pro ověření vlivu vybudovaného jezu na dynamiku podzemních vod v této oblasti byly použity záznamy týdenních dat za období 1986–2018. Dále bylo provedeno prostorové vymezení ovlivněných území pomocí geografických informačních systémů a byly použity techniky prostorové interpolace. Výsledky ukázaly, že bezprostředně po vybudování jezu hladina podzemních vod výrazně stoupla.

ÚVOD

Výstavba jezů a dalších přehrazení vodních toků je vzhledem k účinnosti vodního hydroenergetického potenciálu ve světě běžnou praxí. V první dekádě 21. století bylo postaveno několik malých vodních elektráren prakticky na všech hlavních slovenských povodích (Váh, Slaná, Orava, Poprad, Nitra, Hron, Hornád) [1]. Podnětem byla změna energetického mixu Slovenské republiky z převážně uhlíkových na obnovitelné zdroje [2]. Ostatní environmentální i hydrologické aspekty navrhovaného energetického řešení však nebyly ve fázi krajinného plánování dostatečně zohledněny [3]. Tento fakt byl prokázán v aktualizovaném strategickém dokumentu Ministerstva životního prostředí Slovenské republiky sníženým počtem říčních profilů, které by mohly být potenciálně využity pro budoucí říční jezy [4].

Pokud by však měl být proces plánování budoucích říčních jezů přijatelný z hlediska životního prostředí, je nutné založit schvalovací proces na vědeckých souborech dat a na informacích, které jsou veřejně prezentovány.

Příspěvek se zabývá dynamikou podzemních vod v povodí Slané ovlivněné říčním jezem vybudovaným v roce 2010 u obce Abovce (jihovýchodní Slovensko). Vzhledem k tomu, že Slovenský hydrometeorologický ústav nepřetržitě zaznamenává hladiny podzemních vod před a po výstavbě jezu devíti monitorovacími vrty, je článek vhodným příspěvkem umožňujícím nahlédnout do dynamiky podzemních vod ovlivněné výstavbou jezu.

Obecným cílem této studie bylo popsat a kvantifikovat vliv vybudovaného jezu na hladinu podzemní vody pomocí přímo naměřených dat z monitorovacích vrtů podzemních vod. Specifickými dílčími cíli jsou:

1) odhadnout vliv stavby jezu na hladinu podzemních vod nejbližších monitorovacích vrtů,

2) určit prostorový vliv stavby jezu na hladinu podzemních vod v kvartérním útvaru podzemní vody řeky Slaná (SK1001100P).

MATERIÁLY A METODIKA

Tato studie byla provedena v povodí řeky Slaná na Slovensku. Řeka se nachází v jižní části středního Slovenska a pramení ve Stolických vrších. Slaná je středohorská řeka s dešťovo-sněhovým režimem odtoku. Jez vybudovaný v roce 2010 na řece Slaná se nachází mezi obcemi Abovce a Chanava, 10 km jižně od města Tornaľa (*obr. 1*) na říčním kilometru 4,7. Má maximální využitelný spád 3,2 m a zachycuje povodí o rozloze 1 821 km^2. Účel jezu je hydroenergetický s instalovaným výkonem 0,5 MW.

Podzemní voda pod jezem patří do útvaru podzemní vody SK1001100P (*obr. 2*). Je charakterizována jako tvorba mezikrystalové zvodně aluviálních sedimentů řeky Slané a jejích přítoků. Vybraná část vodního útvaru SK1001100P má rozlohu 81,5 km^2. Vodní kolektor je tvořen převážně fluviálními sedimenty s některými dalšími sedimenty daleko výše proti proudu, především z aluviálních a terasových štěrků, písčitých štěrků, písků a proluviálních sedimentů, které se vyznačují vysokými průtoky [5, 6]. Slovenský hydrometeorologický ústav provozuje v dotčeném útvaru podzemních vod státní pozorovací síť, z níž jsme pro tuto studii vybrali devět monitorovacích vrtů (*obr. 2*). Tyto monitorovací vrty jsou uvedeny v *tab. 1*.

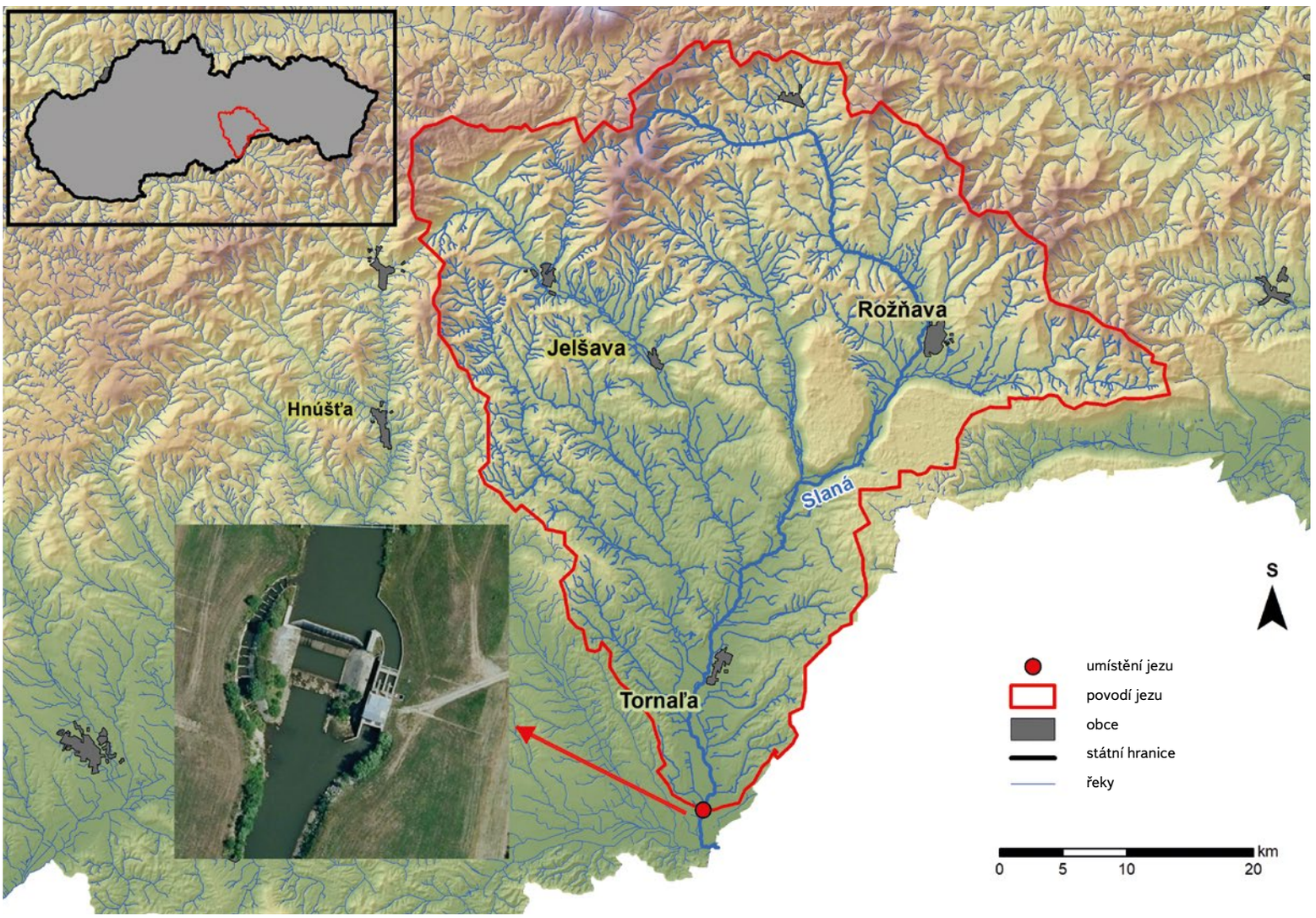
Byly použity datové sady nadmořské výšky hladiny podzemní vody s týdenním měřením a vyhodnoceno pět časových období. Celé časové období použité ve studii trvalo od roku 1986 do roku 2018 a obsahuje 1 670 týdenních záznamů. Dlouhé období před stavbou jezu (1986–2009, 1 200 týdenních záznamů) je ve studii označeno jako „Před 2", kratší období před stavbou jezu (2002–2009, 417 týdenních záznamů) jako „Před 1", stejné časové období po výstavbě jezu (2011–2018, 418 týdenních záznamů) je ve studii pojmenováno jako „Po 1" a kombinace období (2002–2018, 887 týdenních záznamů) je pojmenována „Před 1 + Po 1".

Údaje jsou uspořádány do hydrologických let (listopad až říjen), nikoli do let kalendářních. Soubor dat byl nejprve testován na normální distribuci pomocí Shapirova-Wilkova testu [7], poté byla porovnána časová období. Údaje o ročním mediánu byly testovány na přítomnost a směr trendů Mannovým-Kendallovým testem [8] a homogenita dat Pettittovým testem [9], Standardním testem normální homogenity (Standard normal homogeneity test, SNHT) [10] a Buishandovým testem [11] s hladinou významnosti 0,05 a hladinou spolehlivosti 95 %.

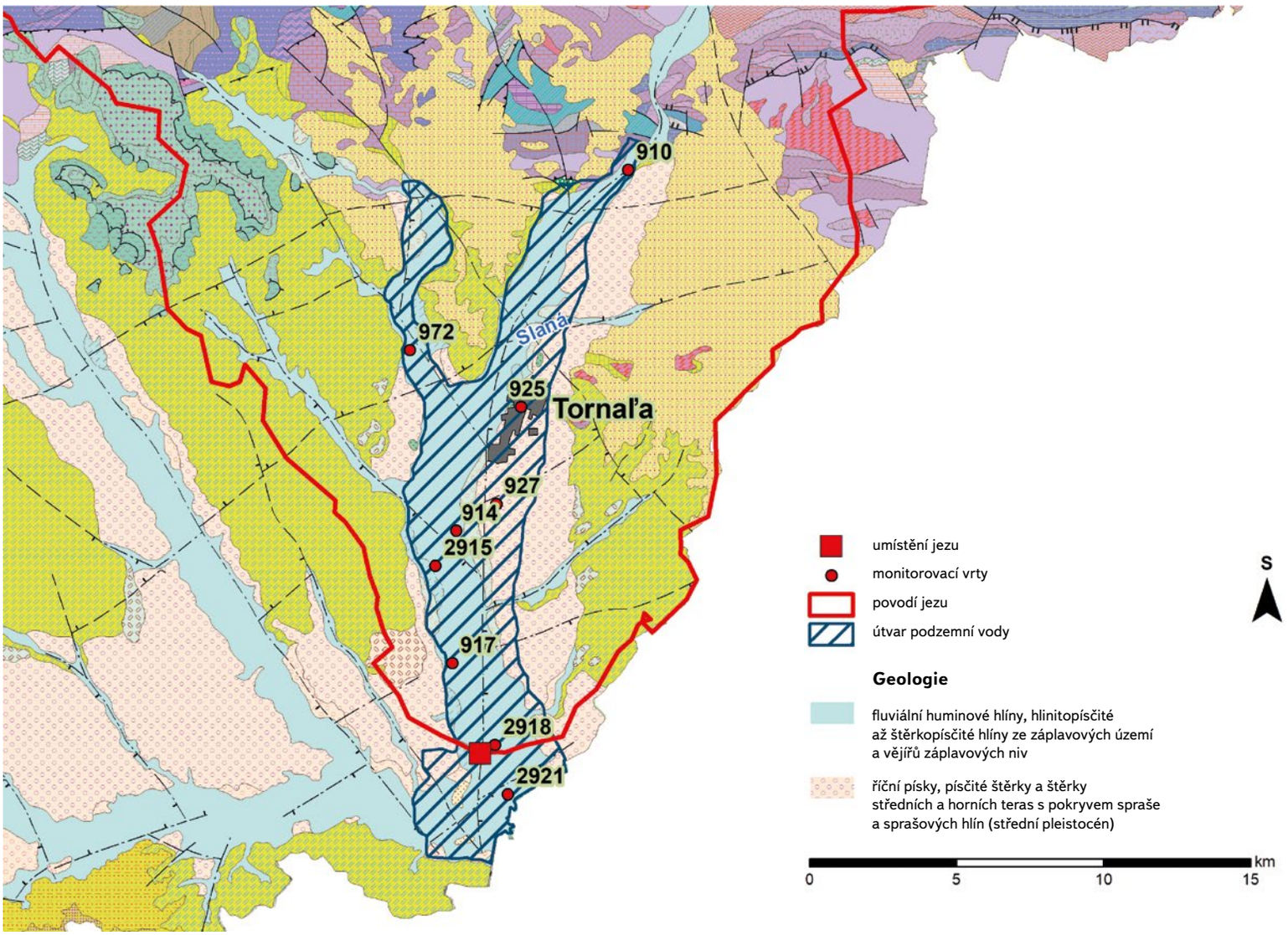
Pro interpolaci rozdílu hodnot mediánu hladiny podzemních vod pro časová období 1986–2009 a 2011–2018 byla použita metoda GIS prostorové interpolace SPLINE (*obr. 5*).

Tab. 1. Lokalizace monitorovacích vrtů (objektů) použitých ve studii
Tab. 1. Localization of the monitoring wells (objects) used in the study

Název objektu	Abovce	Lenartovce	Chanava	Rumince	Včelince	Včelince	Čoltovo	Tornaľa	Žiar
Číslo objektu	2918	2921	917	2915	914	927	910	925	972
Terénní nadmořská výška objektu [m n. m.]	155,94	154,36	160,35	166,2	167,5	178,1	194,65	182,97	178,78
Hloubka vrtu [m]	9,98	6,8	13,05	13,02	7,8	7,5	9,57	13,56	7
Z. délka (λ) °E	20,32403	20,33134	20,30224	20,29197	20,30062	20,31809	20,36965	20,32683	20,27446
Z. šířka (φ) °N	48,31633	48,3015	48,34055	48,37002	48,38105	48,38992	48,49428	48,41999	48,43534



Obr. 1. Lokalizace studovaného povodí a jezu u Abovců; obrázek vlevo nahoře znázorňuje lokalizaci povodí v rámci Slovenské republiky
Fig. 1. Localization of the studied watershed and weir near Abovce village; the Upper left figure depicts watershed localization within the Slovak Republic



Obr. 2. Vybraná část kvartérního útvaru podzemní vody (GWB) řeky Slané (SK1001100P); GWB se skládá z fluviálních sedimentů (88 %), ostatních nečleněných sedimentů a hornin (7 %), chemických sedimentů (2 %) a eolických sedimentů (3 %) [6]; měřicí objekty (vrty) jsou označeny červeným bodem a číslem objektu podle databáze Slovenského hydrometeorologického ústavu

Fig. 2. Quaternary groundwater body (GWB) of the Slaná river (SK1001100P); GWB consists of fluvial sediments (88 %) and other unconsolidated sediments and rocks (7 %), chemical sediments (2 %) and aeolian sediments (3 %) [6]; measuring objects (wells) are marked with a red dot and object number according to the Slovak hydrometeorological institute database

VÝSLEDKY

Změny hladiny podzemní vody po výstavbě jezu u obce Abovce

Podrobné změny hladiny podzemní vody byly studovány na dvou monitorovacích vrtech (2918 – Abovce, 917 – Chanava) nejblíže jezu v Abovcích. Jelikož se však monitorovací vrt 2918 – Abovce nachází pouze 416 metrů nad zvýšeným jezem, uvádíme podrobnou statistiku hladiny podzemní vody na tomto monitorovacím místě v *tab. 2*.

Při aplikaci hodnot mediánu a časově shodných sedmiletých intervalů („Před 1" a „Po 1") je patrné zvýšení hladiny podzemní vody až na 1,08 m. Výrazný nárůst byl zaznamenán také u maximálních a minimálních hladin podzemních vod. *Tab. 3* uvádí všechny hodnocené objekty a vypočítaný rozdíl mezi časovými obdobími „Před 1" a „Po 1". Z hodnocení rozdílu vodních hladin je zřejmé, že výstavba jezu ovlivnila nejbližší monitorovací vrty. Nejvíce jsou postiženy objekty 2918 – Abovce a 917 – Chanava. Jejich vzdálenost od jezu je 416 metrů u objektu 2918 – Abovce a 3 036 metrů u objektu 917 – Chanava.

Na *obr. 3* a *4* jsou všechny týdenní průměrné údaje o hladině podzemní vody naměřené v nejvíce postižených objektech. Vliv říčního jezu na hladinu je patrný na obou stanicích. Červená čára na *obr. 3* a *4* znázorňuje dynamiku nárůstu hladiny v roce 2010, kdy byla dokončena výstavba jezu. Je zřejmé, že hladina podzemní vody stoupla ihned po výstavbě jezu a zůstala vyšší ve srovnání s referenčním obdobím 1986–2009 v obou monitorovacích vrtech.

Výsledky údajů o hladině podzemních vod podrobených analýze trendů jsou uvedeny v *tab. 4*. V období „Před 1 + Po 1" je hodnocen statisticky významný vzestupný trend u objektů 2918 – Abovce a 917 – Chanava. Při individuálním hodnocení časových úseků „Před 1" a „Po 1" však nebyl zjištěn statisticky významný trend.

Tab. 2. Statistická charakteristika hladiny podzemní vody pro měřicí objekt 2918 – Abovce; hodnoty jsou v nadmořské výšce hladiny podzemní vody v metrech nad mořem [m n. m.]; období „Před 2" představuje celé dostupné období sledování hladiny podzemní vody před stavbou jezu, „Před 1" označuje 7 let dlouhé období před výstavbou jezu, stejně jako „Po 1" představuje stejně dlouhé období po výstavbě jezu, „Před 1 + Po 1" označuje období 7 let před a 7 let po stavbě jezu

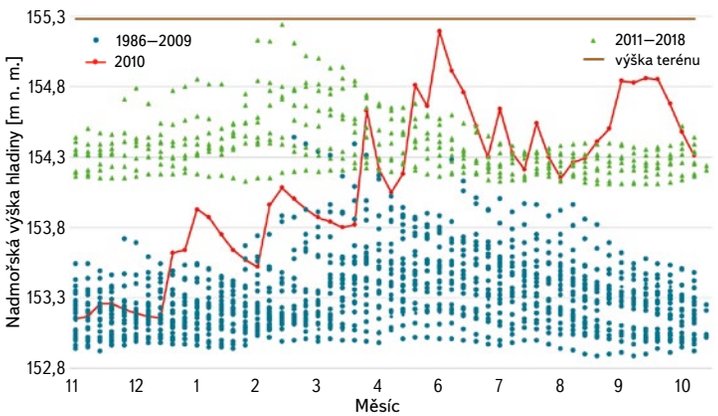
Tab. 2. Statistical characteristics of groundwater levels for measuring object 2918 – Abovce; values are in groundwater level elevation in meters above sea level [m a.s.l.]; period "Before 2" represents the whole available monitoring period of groundwater level previous to weir construction, "Before 1" represents 7 year long period previous to weir construction, as well as "After 1" represents the same long period after the weir construction; "Before 1+After 1" represents a period of 7 years before and 7 years after the weir construction

Období	Celé pozorování (1986–2018)	„Před 2" (1986–2009)	„Před 1" (2002–2009)	„Po 1" (2011–2018)	„Před 1 + Po 1" (2002–2018)
Počet týdenních záznamů	**1 670**	**1 200**	**417**	**418**	**887**
Aritmetický průměr	153,60	153,31	153,30	154,38	153,86
Medián	**153,40**	**153,26**	**153,25**	**154,33**	**154,11**
Max.	155,24	154,44	154,28	155,24	155,24
Min.	152,89	152,89	152,94	154,11	152,94
Standardní odchylka	0,533	0,252	0,237	0,198	0,580
25. percentil	153,18	153,13	153,13	154,24	153,26
75. percentil	154,16	153,44	153,44	154,45	154,33
Mezikvartilní rozsah	0,98	0,31	0,31	0,21	1,07

Tab. 3. Přehled rozdílů mediánu, maxima a minima mezi časovými obdobími „Před 1" (2002–2009) a „Po 1" (2011–2018) pro všechny měřicí objekty použité ve studii (zobrazeno na obr. 2); hodnoty v rozdílu hladin podzemní vody jsou v metrech

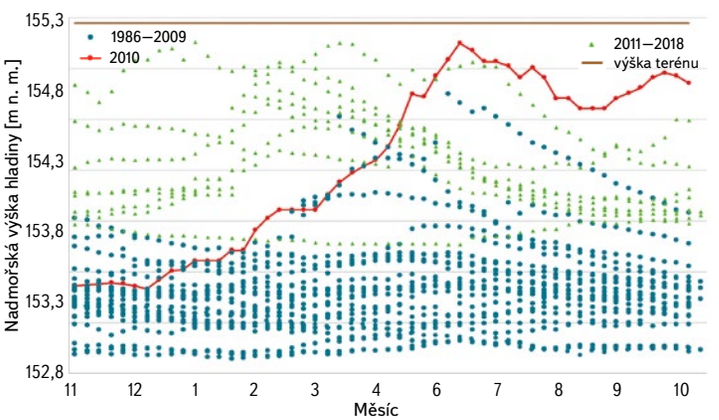
Tab. 3. Overview of difference in median, max, and min between time periods "Before 1" (2002–2009) and "After 1" (2011–2018) for all measuring objects used in the study (depicted in Fig. 2); values are in groundwater level difference in meters

Název a číslo objektu	Abovce 2918	Lenartovce 2921	Chanava 917	Rumince 2915	Včelince 914	Včelince 927	Čoltovo 910	Tornaľa 925	Žiar 972
Medián	**1,08**	**0,37**	**1,18**	**0,40**	**-0,04**	**0,07**	**0,05**	**0,16**	**0,27**
Max.	0,96	0,17	0,51	0,93	0,09	-0,24	0,11	0,35	0,11
Min.	1,17	0,21	0,90	0,11	-0,18	0,22	-0,13	0,14	0,15



Obr. 3. Rozdíl týdenních záznamů hladin podzemní vody v období „Před 2" (období 1986–2009 před výstavbou jezu) a „Po 1" (období 2011–2018 po výstavbě jezu) na měřicím objektu 2918 – Abovce (vzdálenost jezu 416 m); červená tečkovaná čára znázorňuje zvýšení hladiny podzemní vody v roce 2010, kdy byl jez dokončen, hnědá čára ve výšce 155,3 m n. m. představuje výšku terénu

Fig. 3. Difference of the weekly records of the groundwater levels in the period "Before 2" (period 1986–2009 before the construction of the weir) and "After 1" (period 2011–2018 after the construction of the weir) on the measuring object 2918 – Abovce (distance 416 m of the weir); the red dotted line depicts the increase of the groundwater level in 2010 when the weir was accomplished; brown line at 155.3 m a.s.l. represents ground



Obr. 4. Rozdíl týdenních záznamů hladin podzemních vod v období „Před 2" (období 1986–2009 před výstavbou jezu) a „Po 1" (období 2011–2018 po výstavbě jezu) na měřicím objektu 917 – Chanava (vzdálenost jezu 3 036 m); červená tečkovaná čára znázorňuje zvýšení hladiny podzemní vody v roce 2010, kdy byl jez dokončen, hnědá čára ve výšce 160,5 m n. m. představuje výšku terénu

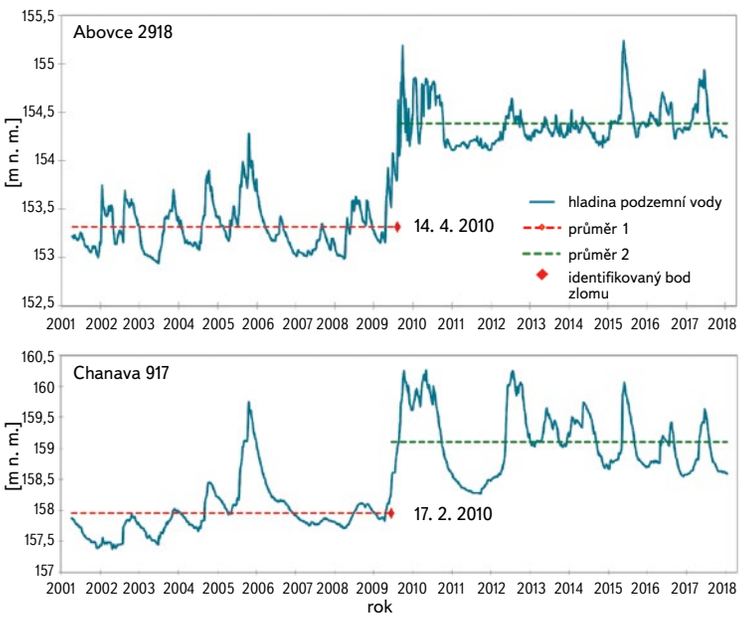
Fig. 4. Difference of the weekly records of the groundwater levels in the period "Before 2" (period 1986–2009 before the construction of the weir) and "After 1" (period 2011–2018 after the construction of the weir) on the measuring object 917 – Chanava (distance 3 036 m of the weir); the red dotted line depicts the increase of the groundwater level in 2010 when the weir was accomplished; brown line at 160.5 m a.s.l. represents ground

Tab. 4. Přehled výsledků Mannova-Kendallova testu analýzy trendů
Tab. 4. Overview of Mann-Kendall trend test analysis results

Období	Abovce 2918	Chanava 917
„Před 1“ (2002–2009)	S = 8,0 Standrz. S = 0,249 Senův sklon = 0,00938 **Výsledek: Žádný trend**	S = 13,0 Standrz. S = 1,496 Senův sklon = 0,0743 **Výsledek: Žádný trend**
„Po 1“ (2011–2018)	S = 4,0 Standrz. S = 0,371 Senův sklon = 0,0137 **Výsledek: Žádný trend**	S = -14,0 Standrz. S = -1,608 Senův sklon = -0,117 **Výsledek: Žádný trend**
„Před 1 + Po 1“ (2002–2018)	S = 87,0 Standrz. S = 3,546 Senův sklon = 0,0861 **Výsledek: Vzestupný trend**	S = 69,0 Standrz. S = 2,803 Senův sklon = 0,0866 **Výsledek: Vzestupný trend**

Následně byl v případě časového období „Před 1 + Po 1“ proveden také test homogenity dat. Byly použity Pettittův test, Standardní test normální homogenity a Buishandův test. Všechny testy identifikovaly zlomový bod na začátku roku 2010, kdy byl uveden do provozu jez v Abovcích (*tab. 5*).

Tentýž obrázek poskytuje graf s identifikovaným bodem zlomu jako výsledek Pettittova testu, *obr. 5*. Změna průměrných hodnot hladiny podzemní vody je jasně viditelná spolu s identifikovaným bodem zlomu.



Obr. 5. Detekce Pettittova bodu změny pro nadmořské výšky podzemní vody v časovém období „Před 1 + Po 1“ na měřicím objektu 2918 – Abovce a objektu 917 – Chanava
Fig. 5. Pettitt change point detection for groundwater elevation levels in time period “Before 1 + After” on the measuring object 2918 – Abovce and object 917 – Chanava

Vliv prostorového rozsahu jezu Abovce na hladinu podzemní vody v kvartérním útvaru podzemní vody řeky Slané

Z obr. 6 je jasně patrné, že největší rozdíl nadmořské výšky podzemní vody se nachází přímo u vybudovaného jezu a u monitorovacích vrtů. Změna hladiny podzemní vody v kvartérním vodním útvaru se pohybuje od 0,21 m u monitorovacího vrtu Rumince (2915) do 1,08 m v okolí vybudovaného jezu (monitorovací vrt 2918 Abovce). Poměrně vysoké zvýšení hladiny podzemní vody bylo pozorováno také na monitorovacím vrtu 917 Chanava ve vzdálenosti 3 036 m od jezu Abovce. Z prostorového hlediska říční jez Abovce zvýšil hladiny podzemních vod až o 1,3 m na ploše 15,25 km^2 a o 0,21 m na 0,4 m na ploše 38 km^2. Jez řeky Abovce tak ovlivnil téměř 26 % plochy vodního útvaru SK1001100P (zvýšení hladiny podzemních vod o více než 0,21 m). Nárůst hladin podzemních vod o více než 1,1 až 1,3 m byl zaznamenán na 11 % plochy vodního útvaru.

DISKUZE A ZÁVĚR

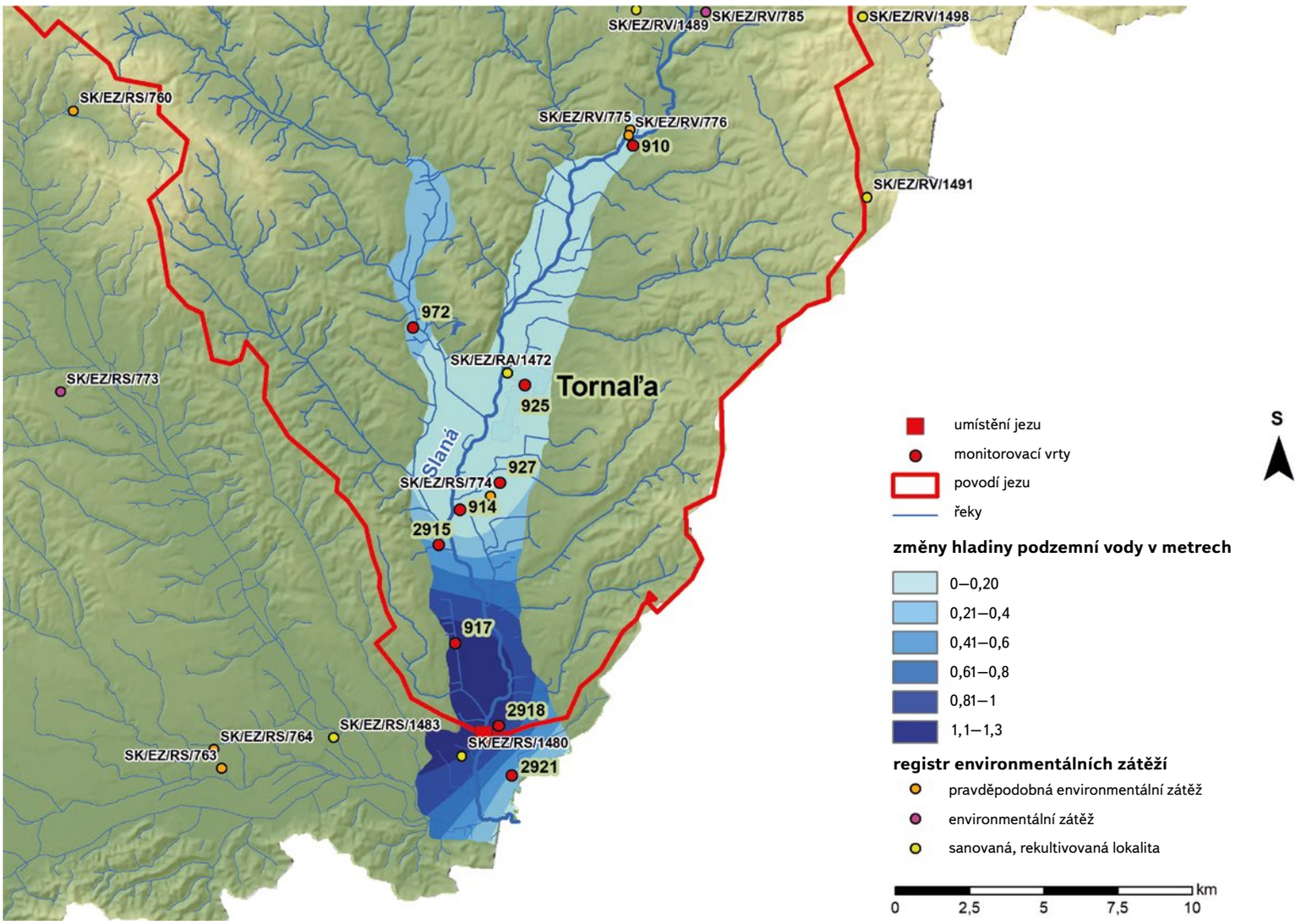
Vzestup hladiny podzemní vody byl očekávaným důsledkem výstavby říčního jezu na řece Slané. Rychlost nárůstu hladiny podzemní vody (až 1,08 m v blízkosti vybudovaného jezu) je způsobena vzestupem hladiny řeky Slané, která je v přímé hydraulické vazbě s podzemní vodou v kvartérní zvodni [6].

Kvartérní sedimenty jsou však náchylné k antropogenní kontaminaci a znečištění [12]. Na základě výsledků prezentovaných v této práci je evidentní, že výstavba i relativně malého jezu má regionálně významný vliv na hladinu podzemní vody. Záleží samozřejmě na konfiguraci terénu, geologickém podloží a vlastnostech samotné konstrukce jezu [13]. Nicméně v souvislosti s rostoucím rizikem sucha ve studované oblasti [14] lze zvýšení hladiny podzemní vody v důsledku výstavby jezu Abovce označit za potenciálně přínosné pro zemědělství.

Na druhou stranu nesmíme opomíjet problematiku potenciálního znečištění podzemních vod průmyslovou činností a zemědělskými hnojivy [15]. Rizikem může být též vyplavování toxických látek z nelegálních a historicky zapomenutých skládek [12, 16, 17]. V minulosti byly takové látky často zakopány v jámách v blízkosti farem nebo obcí a nebyly o nich vedeny žádné záznamy [18]. Tato obava je na místě, neboť velikost území, na kterém se hladina podzemní vody zvýšila o více než 1 m, je 15,25 km^2 a zahrnuje katastrální území čtyř obcí. Porovnáním oblasti zvýšené hladiny podzemní vody s Informačním systémem ekologických zátěží [19] je v nejvíce zasažené oblasti pouze jedna potenciálně riziková lokalita evidovaná jako bývalá čerpací stanice. Nachází se však v registru C, obsahujícím záznamy sanovaných a rekultivovaných lokalit, jež nepředstavují žádné nebezpečí. Dalším nebezpečím je zvýšená hladina podzemní vody sahající do hloubky cca 1 m pod povrchem (u obcí Chanava a Abovce), snadno dosažitelná během stavební činnosti, při níž se toxické látky mohou vyplavovat do podzemních vod [20]. Rovněž může nastat riziko kontaminace podzemních vod ropnými produkty při haváriích stavebních strojů a technologií [21]. Výše uvedené aspekty by měly místní a regionální orgány zohlednit v procesu povolování nových stavebních činností. Příspěvek ukázal nejen významný vliv stavby říčního jezu na výšku hladiny v kvartérním útvaru podzemní vody řeky Slané (SK1001100P), ale i na možná rizika, jimž by měla být v budoucnu věnována pozornost.

Tab. 5. Výsledky testu homogenity
Tab. 5. Results of homogeneity test

Abovce 2918			p = < 0,0001 alpha = 0,05	Chanava 917		
Pettittův test	**Standardní test normální homogenity**	**Buishandův test**		**Pettittův test**	**Standardní test normální homogenity**	**Buishandův test**
K = 196359 čas = 14. 4. 2010	T0 = 750 čas = 17. 2. 2010	Q = 407,937 čas = 17. 2. 2010		K = 179993 čas = 17. 2. 2010	T0 = 529,096 čas = 17. 2. 2010	Q = 342,64 čas = 24. 2. 2010



Obr. 6. Rozdíl hladin podzemních vod za časová období 1986–2009 („Před 2" – před výstavbou) a 2011–2018 („Po 1" – po výstavbě) ve kvartérním vodním útvaru řeky Slaná
Fig. 6. The difference of groundwater levels for time periods 1986–2009 ("Before 2" – before the construction) and 2011–2018 ("After 1" – after the construction) in the quaternary waterbody of the Slaná river

Poděkování

Tento výzkum byl financován Vědeckou grantovou agenturou Ministerstva školství, vědy, výzkumu a sportu Slovenské republiky a Agenturou na podporu výzkumu a vývoje v rámci projektů VEGA č. 1/0392/22 „Zraniteľnosť vybraných prírodne a antropogénne narušených ekosystémov vo vzťahu k prebiehajúcej zmene klímy" a APVV-21-0224 „Dynamika biometeorologických a ekohydrologických tokov vo vybraných lesných ekosystémoch ovplyvnených rôznymi disturbančnými faktormi".

Literatura

[1] Ministerstvo životného prostredia SR. *Vodný plán Slovenska*. Bratislava, Slovensko: Ministerstvo životného prostredia SR, 2011. 140 s.

[2] Vláda Slovenskej republiky. *Koncepcia využívania obnoviteľných zdrojov v SR*. Bratislava, Slovensko: Vláda Slovenskej republiky, 2003. 40 s.

[3] Kancelária verejného ochrancu práv Slovenské republiky. *Správa o ochrane práva na životné prostredia postupom orgánov verejnej správy pri povoľovaní výstavby malých vodných elektrární*. Bratislava, Slovensko: Kancelária verejného ochrancu práv Slovenské republiky, 2016. 39 s.

[4] Slovenská agentúra životného prostredia. *Koncepcia vodnej politiky na roky 2021–2030 s výhľadom do roku 2050*. Banská Bystrica, Slovensko: Slovenská agentúra životného prostredia, 2021. 166 s.

[5] KULLMAN, E., PETRÁŠ, I. Výtokové pomery prameňov a ich vzťah k horninovému prostrediu. *Zborník prác HMÚ*. Bratislava: Alfa, 1979. 308 s.

[6] MIKLÓS, L. *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR, 2002. 344 s.

[7] SHAPIRO, S. S., FRANCIA, R. S. An Approximate Analysis of Variance Test for Normality. *Journal of the American Statistical Association*. 1972, 67(337), s. 215–216.

[8] Mann, H. B. Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*. 1945, 13, s. 245–259.

[9] RYBSKI, D., NEUMANN, J. A Review on the Pettitt Test Pettitt-Test. In: KROPP, J., SCHELLNHUBER, H. J. (eds.). *Extremis: Disruptive Events and Trends in Climate and Hydrology*. Springer, 2011, s. 202–213. Dostupné z: doi: 10.1007/978-3-642-14863-7_10

[10] TORETI, A., KUGLITSCH, F. G., XOPLAKI, E., DELLA MARTA, P., AGUILAR, E., PROHOM, M., LUTERBACHER, J. A Note on the Use of the Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) to Detect Inhomogeneities in Climatic Time Series. *International Journal of Climatology*. 2011, 31, s. 630–632. Dostupné z: doi: 10.1002/joc.2088

[11] JAISWAL, R. K., LOHANI, A. K., TIWARI, H. L. Statistical Analysis for Change Detection and Trend Assessment in Climatological Parameters. *Environmental Processes*. 2015, 2, s. 729–749.

[12] LACHKÁ, L., HILLER, E., ĎURŽA, O. Contents of Potentially Toxic Metals and Magnetic Susceptibility of Soils along a Rural–Urban–Rural Gradient in Bratislava City (Slovakia). *Acta Environmentalica Universitatis Comenianae*. 2016, 24(1), s. 25–37.

[13] PARIMALARENGANAYAKI, S., ELANGO, L. Assessment of Effect of Recharge from a Check Dam as a Method of Managed Aquifer Recharge by Hydrogeological Investigations. *Environmental Earth Sciences*. 2015, 73(9), s. 5349–5361.

[14] ZELEŇÁKOVÁ, M., PURCZ, P., BLIŠŤAN, P., VRANAYOVÁ, Z., HLAVATÁ, H., DIACONU, D. C., PORTELA, M. M. Trends in Precipitation and Temperatures in Eastern Slovakia (1962–2014). *Water*. 2018, 10, 727. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/w10060727

[15] LI, Y., BAI, G., ZOU, X., QU, J., WANG, L. Nitrogen Migration and Transformation Mechanism in the Groundwater Level Fluctuation Zone of Typical Medium. *Water*. 2021, 13, 3626. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/w13243626

[16] GUNEY, M., AKIMZHANOVA, Z., KUMISBEK, A., KISMELYEVA, S., GUNEY, A., KARACA, F., INGLEZAKIS, V. Assessment of Distribution of Potentially Toxic Elements in Different Environmental Media Impacted by a Former Chlor-Alkali Plant. *Sustainability*. 2021, 13, 13829. Dostupné z: https://doi.org/10.3390/su132413829

[17] DANIELOVIČ, I., HECL, J., DANILOVIČ, M. Soil Contamination by PCBs on a Regional Scale: The Case of Strážske, Slovakia. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2014, 23(5), s. 1547–1554.

[18] MICHAELI, E., BOLTIŽIAR, M. Vybrané lokality environmentálnych záťaží v Slovenskej republike. *Geographia Cassoviensis. Ústav geografie*. 2010, 4(2), s. 114–119.

[19] SLOVAK ENVIRONMENTAL AGENCY. *Informačný systém environmentálnych záťaží (Information System of Environmental Loads)* [on-line] [vid. 12. listopad 2022]. Dostupné z: https://envirozataze.enviroportal.sk/PriestoroveUdaje.aspx

[20] THAYUMANAVAN, P., NELSON, P. O., AZIZIAN, M., WILLIAMSON, K. J., LUNDY, J. R. Environmental Impact of Construction and Repair Materials on Surface Water and Groundwater: Detailed Evaluation of Waste-Amended Highway Materials. *Transportation Research Record*. 2001, 1743(1), s. 25–32.

[21] ANDRIĆ, J. M., WANG, J., MAHAMADU, A. M., ZHONG, R. Understanding Environmental Incidents on Construction Sites in Australia: The Causal Factors, Environmental Impact, and Their Relations. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2019, 25(7), s. 617–630.

Autoři

Ing. Radoslav Kandrík, Ph.D.[1]
✉ radoslav.kandrik@shmu.sk
ORCID: 0000-0001-6691-0494

Doc. Jaroslav Vido, Ph.D.[2]
✉ vido@tuzvo.sk
ORCID: 0000-0002-5581-2749

Mgr. Róbert Chriašteľ[1]
✉ robert.chriastel@shmu.sk

[1] Slovenský hydrometeorologický ústav, Odbor podzemnej vody, Banská Bystrica
[2] Katedra prírodného prostredia, Lesnícka fakulta, Technická univerzita, Zvolen

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022.11.005

IMPACT OF WEIR CONSTRUCTION AT LOCALITY ABOVCE (SLOVAKIA) ON GROUNDWATER LEVELS – A CASE STUDY FROM SLANÁ RIVER BASIN

KANDRÍK, R.[1]; VIDO, J.[2]; CHRIAŠTEĽ, R.[1]

[1] Slovak Hydrometeorological Institute, Groundwater Department, Banská Bystrica
[2] Department of Natural Environment, Faculty of Forestry, Technical University in Zvolen

Keywords: weir – groundwater table – GIS – weir construction

In the last decade, the construction of small hydropower plants and weirs was a common solution to the need to change the energy mix in Slovakia. However, the environmental consequences of this construction and the consequences of changing the dynamics of groundwater levels have not been the subject of thorough research. In terms of transparency and objectification of the permitting process, this information would provide a data base for assessing the trade-off between energy-economic benefits and potential environmental risks of these water structures and technological solutions in a specific area. Therefore, the presented contribution aimed to objectively and independently describe the course and change of groundwater dynamics before and after the construction of a weir on the Slaná river, built in 2010 near the village of Abovce (Rimavská Sobota district). The results showed a significant change in the height of the groundwater level practically immediately after the construction of the water structure (the year 2010), in the range from +1.1 m to +1.3 m in an area of 15.25 km^2 (11 % of the water body area SK1001100P) and up to 38 km^2 in the range of water level rise above +0.21 m (26 % of the mentioned water body). The results showed that a relatively small water structure has a relatively fundamental influence on the level of the groundwater level in a large area, which, if these facts are not included in the assessment of the EIA and the construction permit, can lead to a potential increase in the scale and impact of industrial accidents related to the possible threat of underground water.

Foto: 123rf.com

Potenciál chráněných území pro akumulaci povrchových vod pro zmírnění dopadů klimatické změny na zásobování pitnou vodou

ADAM VIZINA, PETR VYSKOČ, ROMAN KOŽÍN, HANA NOVÁKOVÁ

Klíčová slova: vodní zdroje — nedostatek vody — zásobování pitnou vodou — vodní bilance — klimatická změna — adaptace

ABSTRAKT

V České republice jsou prostřednictvím *Generelu území chráněných pro akumulaci povrchových vod* vymezeny plochy morfologicky, geologicky a hydrologicky vhodné pro akumulaci povrchových vod pro zmírnění nepříznivých účinků povodní a sucha. V souvislosti se změnou klimatu tyto lokality vytvářejí potenciál pro možná adaptační opatření. Článek popisuje vyhodnocení potenciálu vybraných lokalit určených k zajištění vodárenských odběrů v podmínkách klimatické změny pomocí postupů hydrologické a vodohospodářské bilance.

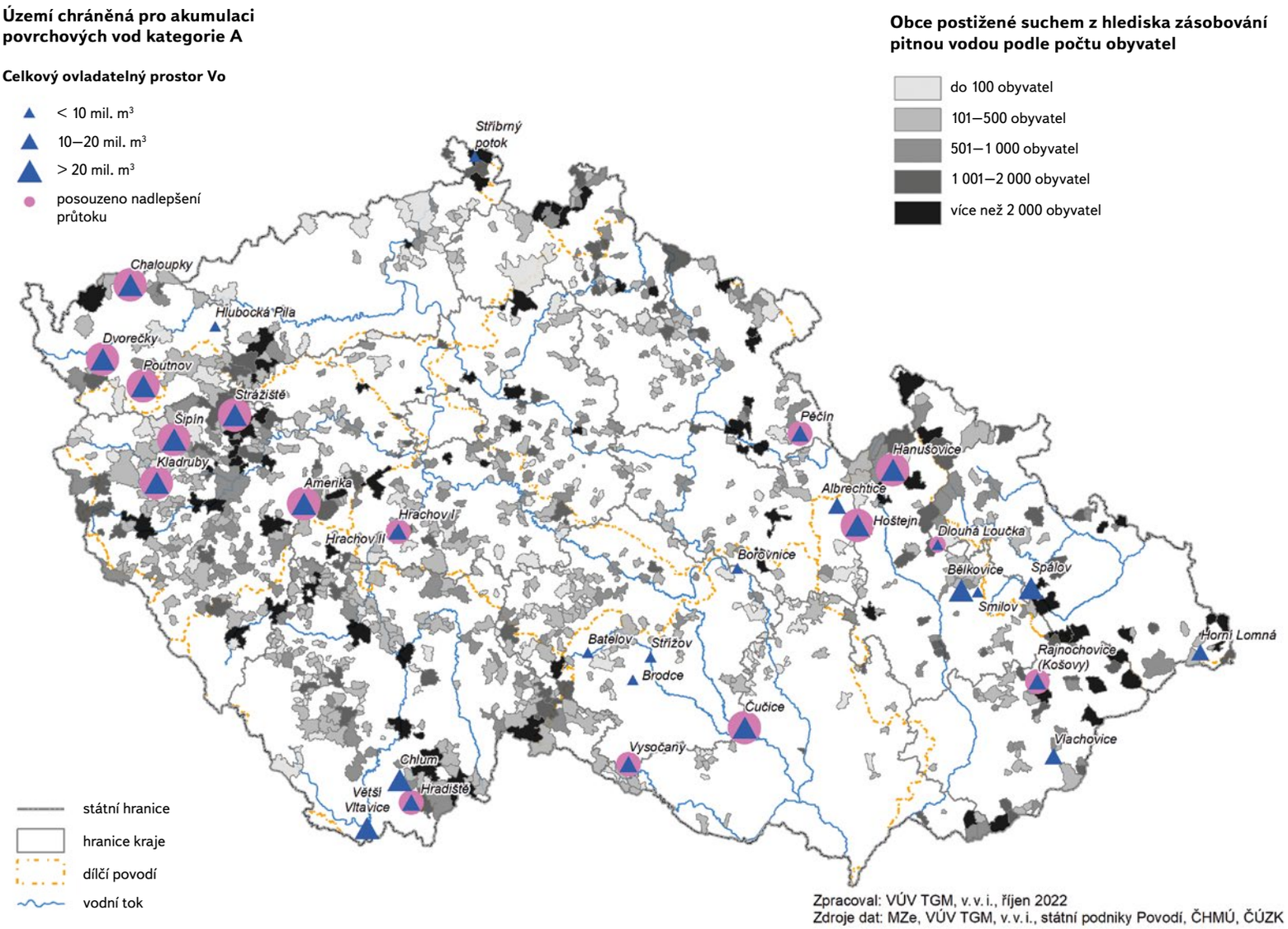
ÚVOD

Česká republika (ČR) má tradici v plánování vodních zdrojů. *Státní plán Československé republiky* (1954) byl prvním uceleným výčtem možností vodohospodářského využití vodních zdrojů na našem území. Stal se také podkladem pro územní plánování. V roce 1975 následuje vydání *Směrného vodohospodářského plánu* (SVP), kde byla věnována zvýšená pozornost analýze, dokumentaci stavu a možnosti využití vodních zdrojů. Nově byly zpracovány nárokované potřeby vody a jejich výhled na příštích 30 let. Celkem bylo v rámci SVP vytipováno 581 potenciálních přehradních profilů vhodných pro výstavbu vodních nádrží, z čehož bylo podrobněji zdokumentováno 286 lokalit vhodných pro tuto výstavbu. V roce 1988 následuje *Publikace SVP*, která aktualizovala údaje o lokalitách. Kvůli omezení nároků na zábor zemědělské půdy došlo ke zrušení územního hájení u 253 lokalit, a 97 lokalit bylo dokonce zcela vyřazeno. V roce 1995 byl vypracován další SVP, v němž bylo potřeba zohlednit novou společensko-politickou situaci a zavedení environmentálních přístupů ve vodním hospodářství. Počet územně hájených lokalit se zúžil na pouhých 35. V roce 2007 vzniká *Plán hlavních povodí ČR*, který sloužil jako dlouhodobá koncepce v oblasti plánování vod. Jedním z jeho cílů byla aktualizace stávajícího rozsahu lokalit výhledových nádrží a jejich územní hájení. Aktualizovaný seznam čítal 186 lokalit, nicméně kvůli odporu veřejnosti a zájmům ochrany přírody a krajiny se plán nepodařilo schválit. Proto v roce 2011 dochází k vypracování dokumentu *Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod* (dále Generel LAPV). Generel LAPV byl zpracován v návaznosti na územně hájené lokality v SVP 1988. U jednotlivých lokalit byly posouzeny majetkoprávní, socioekonomické a environmentální aspekty a Generel LAPV ve své finální podobě nakonec obsahuje 65 hájených lokalit. V roce 2020 dochází k další a zatím poslední aktualizaci Generelu LAPV. Potřeba jeho aktualizace je obsažena v „Koncepci ochrany před následky sucha pro území České republiky", kterou vláda schválila v roce 2017 a rovněž vyplynula z jednání Národní koalice pro boj se suchem v květnu 2019. Koncepce i Národní koalice vznikly jako reakce na dlouhodobé sucho v letech 2014–2019. V rámci aktualizace dochází k rozšíření Generelu LAPV o dalších 21 lokalit. Generel LAPV 2020 [1] tedy eviduje celkem 86 lokalit. Z nich 31 je zařazeno do kategorie A, tj. mezi lokality potenciálně určené pro vodárenské nádrže.

V ČR i ve světě je věnována značná pozornost návrhům adaptačních opatření, která by měla zmírnit dopady změny klimatu. Jedním z takových opatření je dlouhodobě udržitelné hospodaření s vodními zdroji. Je potřeba zmínit, že adaptační opatření mají být komplexní a navzájem se doplňující. Nicméně z dosavadních studií [2–5] vyplývá, že v případě zajištění spolehlivých dodávek vody pro průmysl a obyvatelstvo je jedním z vhodných opatření využití vodních nádrží. Případné nádrže je však potřeba prověřit v kontextu změny klimatu. Zejména zvyšující se teplota vzduchu ovlivňuje výpar z volné hladiny a celkovou evapotranspiraci v krajině, a jak se ukázalo např. v [5], nádrže ve zranitelných lokalitách mohou mít výhledově problém plnit dodávky s požadovanou zabezpečeností. Generel LAPV 2020 obsahuje pouze základní údaje o možném (potenciálním) objemu nádrží. Vzhledem k probíhající změně klimatu je potřeba prověřit základní vodohospodářskou funkci případných nádrží na LAPV, a sice zda by tyto případné nádrže byly schopny kompenzovat negativní změny v příslušných povodích. Podobnou problematikou se již zabýval [6, 7], nicméně výsledky neobsahují významnou periodu sucha 2014–2019. Proto bylo v rámci projektu *„Vodohospodářské a vodárenské soustavy a preventivní opatření ke snížení rizik při zásobování pitnou vodou"* vybráno 17 možných vodních nádrží z LAPV kategorie A a provedeno jejich posouzení s využitím nových dat do roku 2020 a nových scénářů klimatické změny. Řešení navazuje na dílčí výstupy uvedeného projektu, zejména vyhodnocení zabezpečení odběrů vody ze stávajících vodárenských nádrží [5] a bilance zdrojů a potřeb podzemní vody pro pitné účely [8].

METODIKA A MATERIÁL

Posouzení možných dopadů klimatické změny na zajištění vodárenských odběrů vodními nádržemi vychází z metodiky [9]. Při řešení jsou aplikovány v metodice uvedené postupy zpracování hydrologické a vodohospodářské bilance, včetně simulačního modelování zásobní funkce vodohospodářských soustav. Posouzení bylo zpracováno k výhledovému období roku 2050, modelování hydrologické bilance bylo provedeno rovněž pro období k roku 2035 a 2085.



Obr. 1. Území chráněná pro akumulaci povrchových vod kategorie A a obce postižené suchem z hlediska zásobování pitnou vodou; polygony zobrazují hranice obcí a počet suchem dotčených obyvatel

Fig. 1. Areas protected for surface water storage category A and municipalities affected by drought in terms of drinking water supply; polygons represent municipalities and population affected by drought

Výběr hodnocených lokalit byl s ohledem na řešení problematiky zásobování pitnou vodou omezen na LAPV kategorie A. Z celkem 31 LAPV evidovaných v této kategorii bylo pro řešení vybráno 17 lokalit. Výběr vycházel z umístění těchto lokalit v blízkosti potenciálně problémových oblastí. Výběr ilustrují *obr. 1–3*. Vybrané a posuzované lokality jsou zde podbarveny fialově. *Obr. 1* znázorňuje polohu LAPV kategorie A vzhledem k obcím, ve kterých byly v rámci zpracovávání Plánů rozvoje vodovodů a kanalizací území ČR [10] identifikovány obce postižené v roce 2015 suchem z hlediska zásobování pitnou vodou (v drtivé většině jde o problémy v zásobování podzemní vodou). *Obr. 2* ilustruje umístění LAPV vzhledem k zajištění současných požadavků na vodárenské odběry vodními nádržemi v podmínkách klimatické změny [5]. Pro snadnější orientaci jsou odběry podle dosažené zabezpečenosti dle trvání rozděleny do čtyř skupin a označeny pomocí barevné škály, a to následujícím způsobem:

a) modře jsou označeny odběry vody s bezporuchovou (tj. pt = 99,9) zabezpečeností současných i povolených odběrů ve všech hodnocených scénářích,

b) zeleně jsou označeny středně rizikové odběry s bezporuchovou zabezpečeností pouze současných odběrů ve všech hodnocených scénářích,

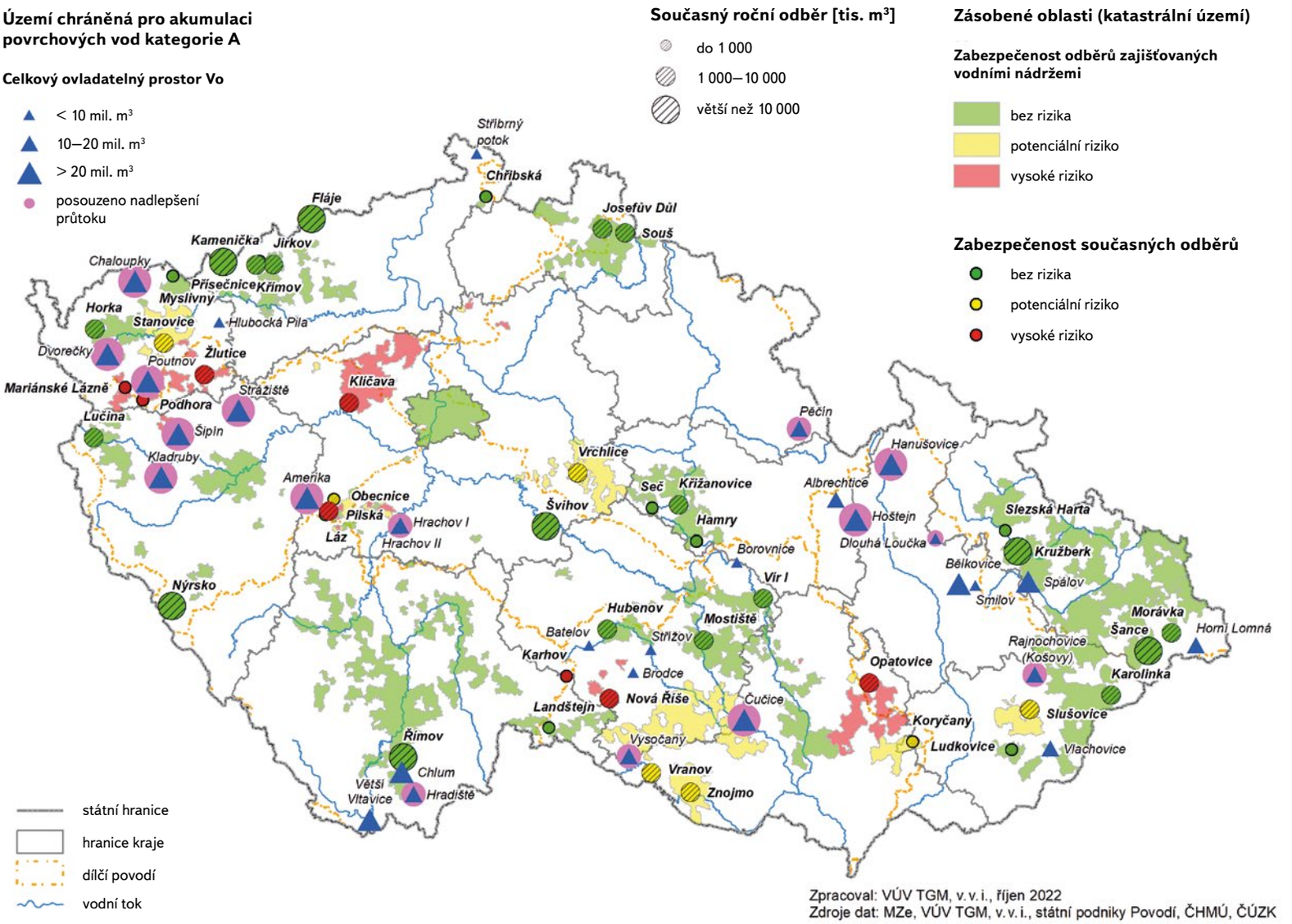
c) žlutě jsou označeny odběry s bezporuchovou zabezpečeností současných odběrů pouze v příznivějším scénáři dopadu klimatické změny HadGEM2,

d) červeně jako vysoce rizikové jsou označeny odběry, kde bezporuchová zabezpečenost není dosažena ani v jednom ze scénářů dopadu klimatické změny.

Obr. 3 ilustruje umístění LAPV vzhledem k územím – tzv. pracovním jednotkám útvarů podzemní vody –, jež jsou v současných podmínkách nebo v podmínkách klimatické změny vyhodnocena jako (potenciálně) riziková z hlediska bilance dostupných zdrojů a odběrů podzemní vody [8]. Vybrané LAPV a jejich charakteristiky jsou uvedeny v *tab. 1*.

Současné klimatické podmínky

Pro samotné hodnocení současných podmínek byla využita klimatická data za období 1961–2020, a to časové řady teplot vzduchu a srážkových úhrnů. V tomto období lze pozorovat výrazný nárůst teplot, především v posledních letech.



Obr. 2. Území chráněná pro akumulaci povrchových vod kategorie A a zabezpečenost vodárenských odběrů vodními nádržemi
Fig. 2. Areas protected for category A surface water storage and reliability of water abstractions by reservoirs

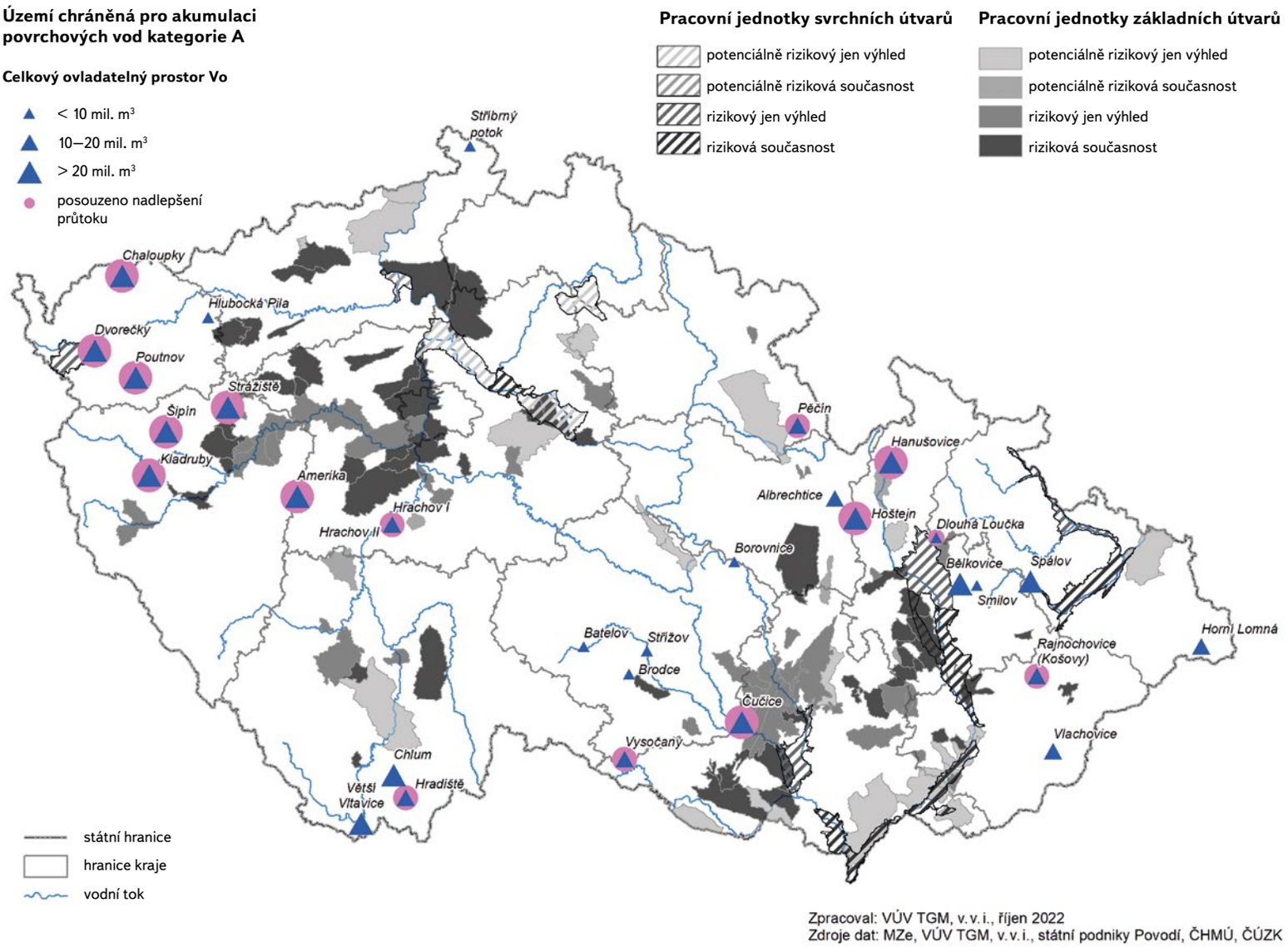
Tento nárůst dosahuje vysoké statistické významnosti. Zvyšující se teplota má vliv na velikost potenciální evapotranspirace, a pokud je k dispozici voda v půdním profilu, tak samozřejmě i na aktuální výpar. Snížená dostupnost srážkových úhrnů byla především v obdobích 1969–1974, 1989–1994 a 2014–2017. Při vyhodnocení ročních srážkových úhrnů nelze vysledovat trend, který by byl statisticky významný. Obdobné je to také u odtoků, kde z dlouhodobého hlediska u průměrných ročních odtoků (průměrných za celé území ČR) nelze najít statisticky významný trend. V posledních letech lze však pozorovat výrazný pokles odtoků v letních a jarních měsících a nárůst v měsíci lednu, což je dáno především kapalnými srážkami a táním sněhu v důsledku zvýšení teplot.

Scénáře změny klimatu ve vodním hospodářství

Pro tvorbu scénářů změny klimatu v kontextu odhadu změn hydrologické bilance se v ČR standardně využívá tzv. přírůstková metoda, zejména pro studie v měsíčním kroku. Tato metoda spočívá v transformaci pozorovaných dat tak, aby změny transformovaných veličin odpovídaly změnám odvozeným ze simulací klimatických modelů. V měsíčním kroku se běžně uvažují změny průměrných měsíčních úhrnů srážek a průměrné měsíční teploty. V denním kroku je nutné uvažovat i změny variability veličin. Pro tvorbu scénářů změny klimatu byla proto využita pokročilá přírůstková metoda ADC (Advanced Delta Change). Podstatou přírůstkové metody je transformace pozorovaných dat způsobem, jenž zaručí, že změny mezi transformovanou a původní řadou jsou totožné jako změny odvozené z regionálního klimatického modelu. U srážek a teploty (zejména v denním kroku) je žádoucí, aby uvažované transformace zohledňovaly změny jak v průměru, tak ve variabilitě. Zjednodušeně to znamená, že extrémy se mohou měnit jinak než průměr. Při odvození změn srážek z klimatického modelu metoda ADC uvažuje i systematické chyby simulace. Jelikož teplota je transformována lineárně, nemá systematická chyba na výslednou transformaci teploty vliv [11].

Zvolenou metodou byly transformovány vybrané [12] *Globální cirkulační modely* (GCM) pro dílčí povodí, a to:

- NorESM1-M +
- MPI-ESM-LR + HadGEM2-ES +
- GISS-E2-H + MRI-ESM1 +
- CanESM2 + GFDL-CM3



Obr. 3. Území chráněná pro akumulaci povrchových vod kategorie A a bilančně rizikové pracovní jednotky útvarů podzemní vody
Fig. 3. Areas protected for the accumulation of surface water category A and balance risk working units of groundwater bodies

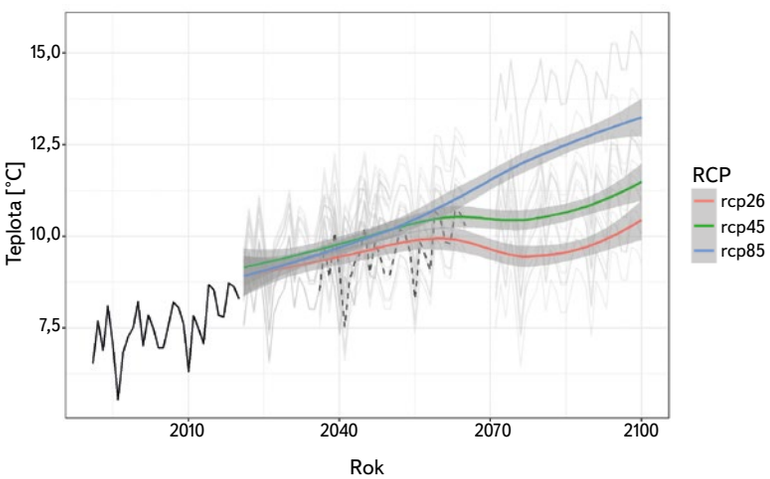
První model (NorESM1-M) představuje střed souboru všech GCM. Modely MPI-ESM-LR + HadGEM2-ES vystupují jako řídící GCM pro několik Euro-CORDEX RCM simulací. To ostatně nakonec platí i pro vybraný střední model, který rovněž řídí jeden z Euro-CORDEX RCMs. Modely GISS-E2-H + MRI-ESM1 zajistí splnění podmínky na pokrytí mezimodelové variability a modely CanESM2 + GFDL-CM3 umožní splnit poslední uvedenou podmínku výběru. Tyto klimatické modely byly dále testovány pro možnosti využití ve vodním hospodářství především pomocí modelování hydrologické bilance modelem BILAN, a to i pro historické běhy (simulace na již pozorovaném období). Testovány byly také vybrané modely RCM. Pro samotné hodnocení byl vybrán model HadGEM2-ES, na který odkazují studie [13], doporučující střední scénář dopadů klimatické změny ve vodním hospodářství. Vývoj teploty pro jednotlivé vybrané klimatické modely GCM je uveden na *obr. 4*, kde silná černá čára popisuje vývoj průměrných ročních teplot pro povodí řešených lokalit na základě pozorování, šedá prostřednictvím jednotlivých simulací GCM (analogicky roční průměr pro všechny lokality) a následné sumarizace na základě emisních scénářů RCP. Je zřejmé, že nárůst teploty je dán především právě volbou emisního scénáře, který udává okrajové podmínky jednotlivých simulací GCM. Rozdílné je to však u srážkových úhrnů, jež jsou znázorněny na *obr. 5*. V rámci simulací jsou významné rozdíly i v rozložení změn v průběhu roku. Většina simulací predikuje nárůst srážkových úhrnů pro ČR, což může být dáno polohou státu. Tento jev a věrohodnost výše uvedených simulací pro ČR jsou velmi diskutovány v rámci odborné obce. Upřesnění by měly poskytnout výstupy z projektů TA ČR *„PERUN"* a *„Centrum Voda"*, kde se tento jev zkoumá.

Pro hodnocení vodohospodářské bilance byly vybrány scénáře:

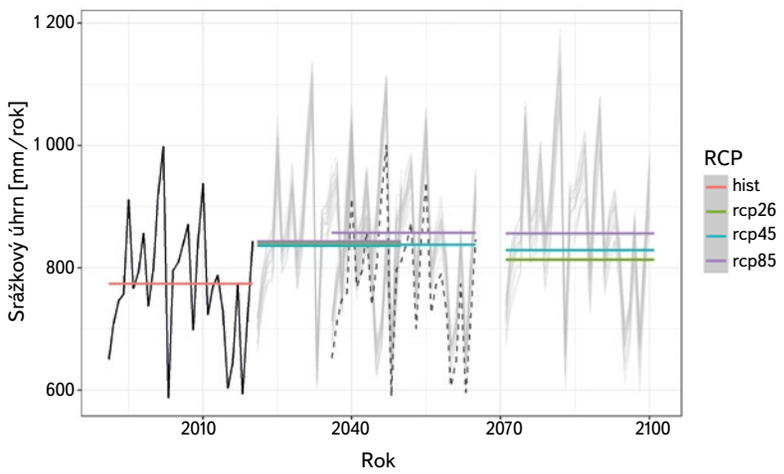
- **0** – označující současné podmínky,
- **2** – současné klima oteplené + 2 °C, tento scénář reflektuje průměrné oteplení pro ČR cca k roku 2050 a využívá nezměněné srážkové úhrny, tzn. simuluje charakter změn v hydrologickém režimu, pokud by se klima pouze oteplilo,
- **HadGEM2** – klima založené na výstupech globálního klimatického modelu HadGEM2-ES a emisního scénáře RCPRCP4.5.

Tab. 1. Vybrané lokality a jejich základní charakteristiky
Tab. 1. Selected sites and their basic characteristics

LAPV	Vodní tok	Plocha povodí [km²]	Celkový ovladatelný prostor Vo [mil. m³]	DBC ANLGN	Vodní tok ANLGN	Plocha ANLGN [km²]	Období kalibrace	KGE
Amerika	Klabava	69,7	30,9	187500	Klabava	158,45	2002–2011	0,68
Čučice	Oslava	791	53	474000	Oslava	861,03	1961–2011	0,61
Dlouhá Loučka	Huntava	27	5,2	362000	Loučka	80,8	1961–2011	0,71
Dvorečky	Libava	45	30,75	206800	Libava	68,22	1961–1988	0,76
Hanušovice	Morava	217,2	135	345000	Morava	349,9	1961–2011	0,81
Hoštejn	Březná	126,5	166	353000	Březná	130,03	1961–2011	0,74
Hradiště	Černá	125,3	13	112500	Černá	133,24	1971–2011	0,65
Hrachov I	Brzina	132,6	10,5	153800	Brzina	133,24	1984–2011	0,73
Hrachov II	Brzina	115,5	6	153800	Brzina	133,24	1984–2011	0,73
Chaloupky	Rolava	20,1	36,5	209100	Rolava	20,1	1967–2011	0,69
Kladruby	Úhlavka	277,3	27,26	173000	Úhlavka	296,59	1961–2011	0,67
Pěčín	Zdobnice	72,2	17,1	027000	Zdobnice	84,3	1961–2011	0,76
Poutnov	Teplá	91,4	28,1	210900	Teplá	256,12	1961–2011	0,58
Rajnochovice (Košovy)	Juhyně	19,3	11,2	387500	Juhyně	20,24	1978–2011	0,78
Strážiště	Střela	629,8	78,01	190000	Střela	775,02	1961–2011	0,64
Šipín	Úterský potok	173,6	39,7	175000	Úterský potok	297,45	1961–2011	0,66
Vysočany	Želetavka	369,4	17,8	432000	Želetavka	367,69	1961–2011	0,69



Obr. 4. Teploty vzduchu na základě pozorování a dle jednotlivých GCM a emisních scénářů RCP (šedé linie popisují simulace jednotlivých klimatických modelů, barevné linie následně průměr simulací pro zvolený emisní scénář)
Fig. 4. Air temperatures according to observations, individual GCM and emission scenarios RCP (grey lines describe the simulations of individual climate models, coloured lines the mean of simulations for the selected emission scenario)



Obr. 5. Srážkové úhrny na základě pozorování a dle jednotlivých GCM a emisních scénářů RCP (šedé linie popisují simulace jednotlivých klimatických modelů, barevné linie následně průměr simulací pro zvolený emisní scénář)
Fig. 5. Precipitation according to observations, individual GCM and emission scenarios RCP (grey lines describe the simulations of individual climate models, coloured lines the mean of simulations for the selected emission scenario)

Modelování hydrologické bilance

K modelování hydrologické bilance byl použit konceptuální model BILAN, který je vyvíjen více než 15 let v oddělení hydrologie VÚV TGM. Model počítá v denním či měsíčním časovém kroku chronologickou hydrologickou bilanci povodí či území. Vyjadřuje základní bilanční vztahy na povrchu povodí, v zóně aerace, do níž je zahrnut i vegetační kryt povodí, a v zóně podzemní vody. Jako ukazatel bilance energie, která hydrologickou bilanci významně ovlivňuje, je použita teplota vzduchu. Výpočtem se modeluje potenciální evapotranspirace, územní výpar, infiltrace do zóny aerace, průsak touto zónou, zásoba vody ve sněhu, zásoba vody v půdě a zásoba podzemní vody. Odtok je modelován jako součet tří složek: dvě složky přímého odtoku (zahrnující i hypodermický odtok) a základní odtok [14–16]. Pro modelování hydrologické bilance byla použita měsíční verze modelu, jež je řízena osmi parametry. Model využívá lineárních a nelineárních nádrží, pomocí nichž se srážky transformují na odtok. Hlavní vstupy modelu tvoří srážky a teplota vzduchu (pro kalibraci také měřený odtok), výstupem je modelovaný odtok z povodí a ostatní složky hydrologické bilance.

Aby bylo možno posoudit vliv klimatické změny na budoucí výhledy, je třeba mít pro profily LAPV sestavený a nakalibrovaný hydrologický model, který umožní provádění variantních výpočtů podle scénářů změny klimatu. Jelikož pro povodí LAPV zpravidla neexistuje přímé pozorování průtoků, je třeba využít hydrologické analogie. Model BILAN se nakalibruje na analogon, jenž se s původním povodím překrývá, a výsledné parametry se tzv. přenesou na povodí LAPV. S využitím těchto parametrů a nových srážek a teplot, které jsou interpolovány přesně na povodí LAPV, je pak možno simulovat odtoky přímo pro profil potenciální nádrže. Obdobným postupem dochází k simulaci ovlivněných odtoků dle scénářů změny klimatu. Vstupy jsou v tomto případě tvořeny ovlivněnými srážkami a teplotami podle scénářů klimatické změny a již známými parametry modelu z předchozí kalibrace.

Kalibrace modelu byla prováděna na měsíčních datech získaných interpolací z pravidelného rastru (25 × 25 km) srážek a teplot pro ČR [18]. Období využité ke kalibraci modelu na analogonu je uvedené v *tab. 1*, kromě LAPV Amerika dosahovala kalibrační perioda více než 20 let. Při kalibraci modelu byl kladen důraz na věrnější simulaci odtoků v oblasti nižších kvantilů. Míra shody pozorovaného a modelovaného odtoku byla sledována metrikou Kling-Gupta [19], jejíž hodnoty jsou uvedeny v *tab. 1*. Obecně se dá říci, že čím je hodnota blíže k 1, tím je shoda modelovaného a pozorovaného odtoku větší.

Hydrologické modelování změn klimatu

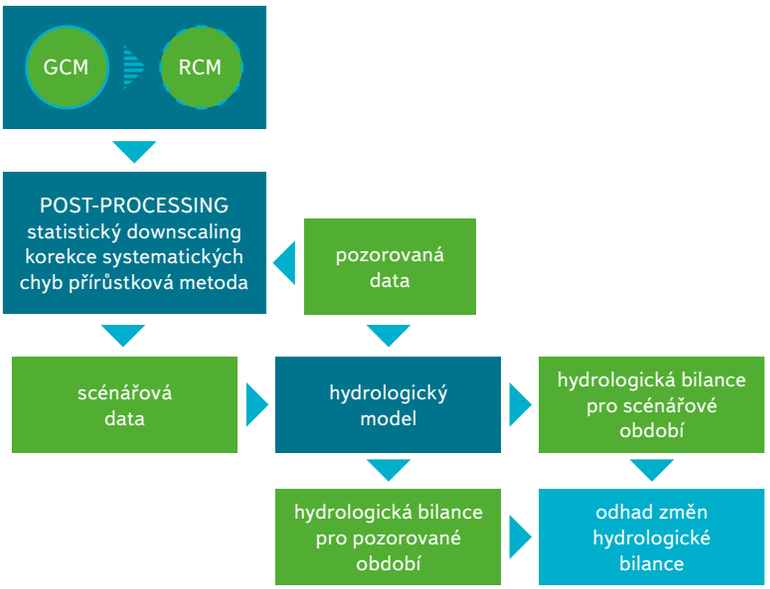
Postup modelování dopadu změny klimatu na hydrologický režim (*obr. 6*) lze stručně shrnout následovně:

1. Zvolený hydrologický model je pro vybrané povodí nakalibrován pomocí pozorovaných dat. Hydrologický model by měl být fyzikálně založen, aby bylo zaručeno, že i pro nepozorované podmínky bude poskytovat fyzikálně přijatelné výsledky.

2. Vstupní veličiny z globálního, popřípadě vnořeného regionálního klimatického modelu jsou převedeny na scénářové řady pro jednotlivá povodí, a to:
   (a.i.1.a) statistickým downscalingem,
   (a.i.1.b) „postprocessingem" výstupu klimatického modelu,
   tj. využitím přírůstkové metody či korekce systematických chyb.
   Často je nutné pomocí prostorové interpolace vztáhnout data z výpočetních buněk klimatického modelu k těžišti daného povodí. Pro korektní využití všech metod (a–b) je nezbytné mít k dispozici pozorovaná data.

3. Pomocí nakalibrovaného hydrologického modelu a scénářových řad je provedena simulace hydrologické bilance pro scénářové období.

4. Modelované průtoky pro současnost a výhledová období jsou korigována v jednotlivých měsících pomocí kvantilové metody [17].



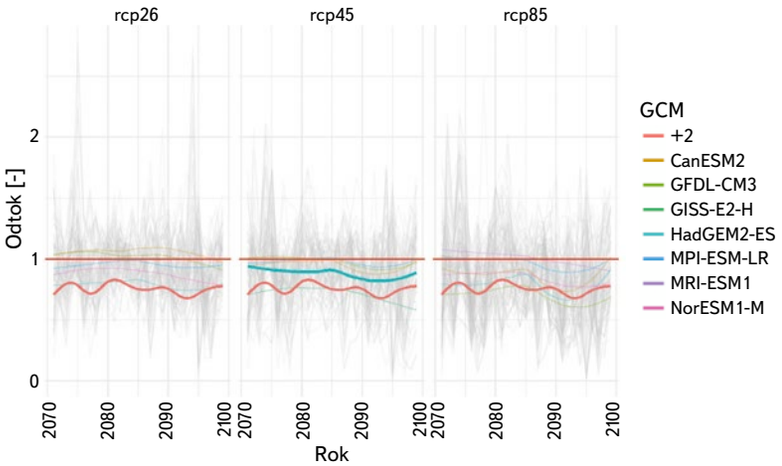
Obr. 6. Schéma hydrologického modelování dopadů změny klimatu
Fig. 6. Scheme of hydrological modeling of climate change impacts

Vodohospodářská bilance

Potenciální objem vody, který mohou vybrané lokality s danou zabezpečeností pro odběr vody či minimální průtok poskytovat, byl vyhodnocen pomocí simulačního modelu zásobní funkce vodohospodářské soustavy [20]. Simulace byla zpracována v měsíčním kroku v celkové délce 39 let (tj. 468 měsíců) pro časové řady neovlivněných průměrných měsíčních průtoků a výparu. Časové řady byly zpracovány výše uvedeným postupem modelování hydrologické bilance. Vyhodnoceny byly varianty reprezentující jak současné hydrologické podmínky (scénář „0"), tak scénáře dopadu klimatické změny: scénář HadGEM2 k referenčnímu roku 2050 a scénář oteplení o 2 °C (scénář „2"). Jako zásobní prostor byl uvažován celkový ovladatelný objem vodní nádrže uvedený v Generelu LAPV [1]. V tomto ohledu je nutné považovat výsledné hodnoty zabezpečených odběrů (resp. nadlepšených průtoků) za teoretické. I přes tuto skutečnost však výsledky dávají představu o možném dopadu scénářů klimatické změny na potenciální kapacitu posuzovaných lokalit. Kromě objemu vody, resp. nadlepšeného průtoku, jež mohou lokality s danou zabezpečeností zajistit, byly vyhodnoceny i další charakteristiky (viz dále).

VÝSLEDKY A DISKUZE

Výsledkem výše popsaného postupu řešení byla kvantifikace možných dopadů klimatické změny na hydrologické charakteristiky (průtoky a výpar z vodní hladiny a evapotranspirace krajiny) a následné vyhodnocení zabezpečenosti vodárenských odběrů zajišťovaných vodními nádržemi v těchto podmínkách. Na *obr. 7* jsou uvedeny změny přirozených odtoků (scénář/současnost) pro jednotlivé simulace a emisní scénáře, v tomto případě pro období 2071–2100. Šedé linie jsou dílčí simulace pro dané lokality, barevné linie sumarizace pro jednotlivé klimatické

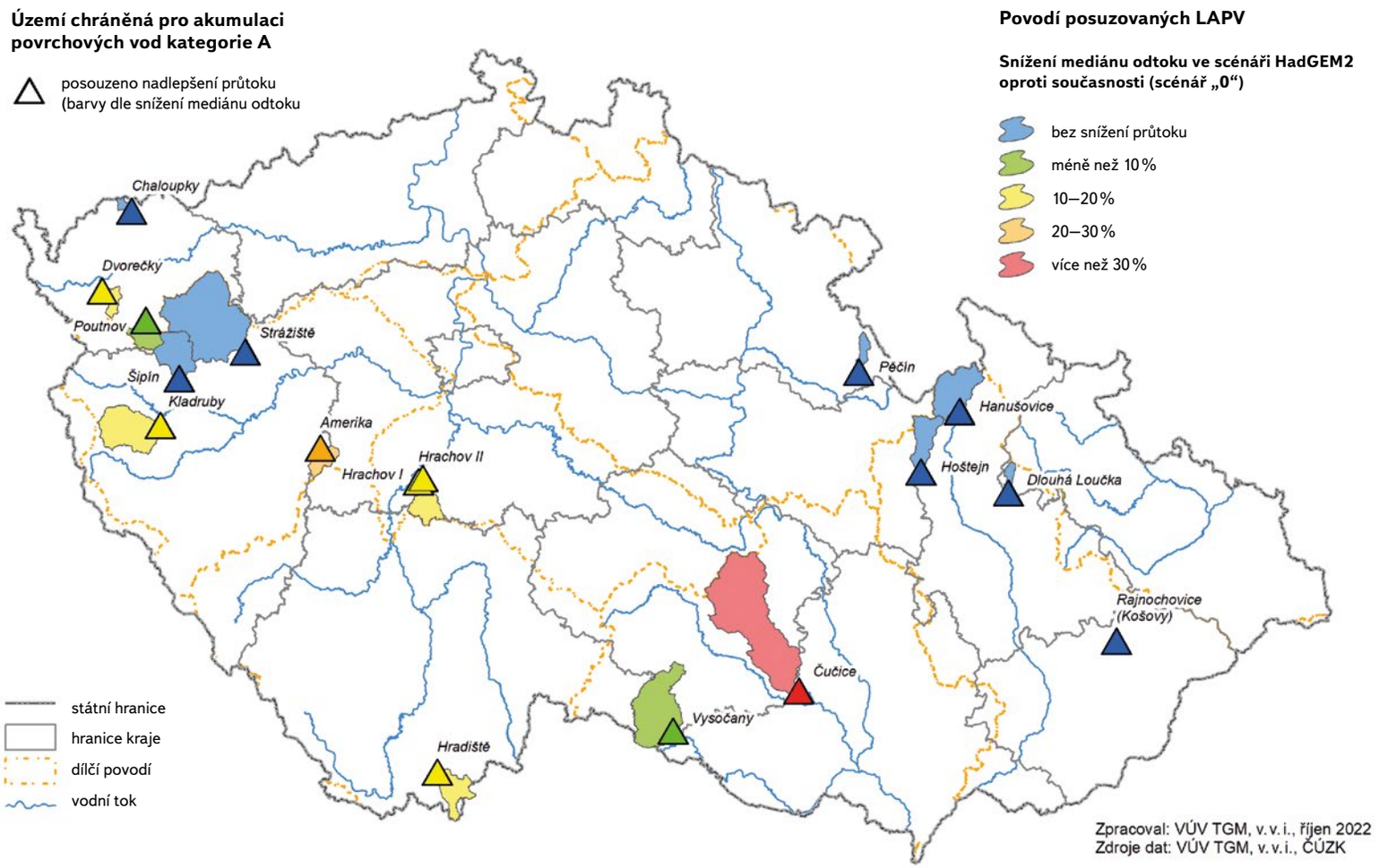


Obr. 7. Snížení odtoku z povodí potenciálních vodárenských nádrží (rcp26, rcp45 a rcp85 označují skupiny emisních scénářů, šedé linie popisují simulace jednotlivých klimatických modelů, silná červená linie scénář s oteplením +2 °C a tyrkysová vybraný scénář HadGEM2)

Fig. 7. Reduction of runoff from the catchment area of potential water reservoirs (rcp26, rcp45 and rcp85 indicate groups of emission scenarios, the grey lines describe the individual climate model simulations, the thick red line the +2 °C warming scenario and the thick turquoise line the selected HadGEM2 scenario)

modely, přičemž zvýrazněné linie (simulace) byly dále použity pro vodohospodářské vyhodnocení. Lze pozorovat významnou variabilitu změn, jež jsou dány především vstupními klimatickými daty a nejistotami v simulacích hydrologického modelu. Ten je kalibrován na základě dostupných vstupních dat, přičemž samotnými kalibračními strategiemi se zabývá celá řada studií a výzkumů. Snížení odtoku z povodí posuzovaných lokalit v důsledku klimatické změny ilustruje pro scénář HadGEM2 k referenčnímu roku 2050 rovněž *obr. 8.*

Pomocí simulace zásobní funkce vodohospodářských soustav byl pro jednotlivé LAPV a scénáře vyhodnocen rovnoměrný nadlepšený průtok Q_n při zabezpečenosti podle trvání p_t = 99,5 % [21]. Výsledky jsou uvedeny v *tab. 2.* Využití kapacity LAPV (resp. vyhodnoceného nadlepšeného průtoku Q_n) pro odběr vody je limitováno potřebou zachování hodnot minimálních zůstatkových průtoků (MZP) pod vodními nádržemi. Orientační hodnota MZP byla vypočtena podle rovnice (1), kde Q_{10} představuje 90% kvantil z průměrných měsíčních průtoků. Rovnice byla odvozena z analýzy vztahu MZP vypočteného z denních průtoků a příslušného kvantilu průtoků měsíčních pro většinu vodoměrných stanic v ČR. Jako doplňující charakteristiky jsou v *tab. 2* dále uvedeny hodnoty dlouhodobého průměrného průtoku Q_a, (který je zde vypočítán jako aritmetický průměr z řady modelovaných průměrných měsíčních průtoků), koeficient nadlepšení α vypočítaný podle rovnice (2), koeficient variace ročních průměrných průtoků Cv a standardizovaný přítok m vypočítaný podle rovnice (3). Podle [22] mají nádrže s m ≥ 1 nebo m ≥ Cv sezonní charakter řízení, v opačném případě víceletý charakter řízení.



Obr. 8. Snížení odtoku z povodí potenciálních vodárenských nádrží pro scénář HadGEM2

Fig. 8. Reduction of runoff from the catchment area of potential water reservoirs in the HadGEM2 scenario

Tab. 2. Potenciál nadlepšení průtoku
Tab. 2. Potential for flow enhancement

Lokalita Vodní tok	Scénář	Q_a [m³.s⁻¹]	Q_n při p_t = 99,5 [m³.s⁻¹]	MZP [m³.s⁻¹]	α	Cv	m
Amerika Klabava	0	0,592	0,479	0,065	0,81	0,41	0,46
	2	0,479	0,375	0,041	0,78	0,46	0,47
	HadGEM2	0,519	0,396	0,045	0,76	0,43	0,55
Čučice Oslava	0	2,872	1,389	0,249	0,48	0,48	1,07
	2	1,984	0,894	0,108	0,45	0,55	1
	HadGEM2	2,362	0,875	0,126	0,37	0,55	1,13
Dlouhá Loučka Huntava	0	0,271	0,211	0,05	0,78	0,23	0,97
	2	0,241	0,183	0,038	0,76	0,24	1,01
	HadGEM2	0,273	0,196	0,04	0,72	0,23	1,21
Dvorečky Libava	0	0,494	0,438	0,062	0,89	0,29	0,4
	2	0,419	0,371	0,043	0,89	0,32	0,36
	HadGEM2	0,45	0,381	0,044	0,85	0,35	0,45
Hanušovice Morava	0	3,729	3,463	1,087	0,93	0,21	0,35
	2	3,393	3,166	0,918	0,93	0,22	0,31
	HadGEM2	3,852	3,425	0,918	0,89	0,22	0,51
Hoštejn Březná	0	1,569	1,522	0,238	0,97	0,23	0,13
	2	1,425	1,377	0,185	0,97	0,25	0,13
	HadGEM2	1,684	1,579	0,189	0,94	0,25	0,25
Hradiště Černá	0	1,448	0,875	0,423	0,6	0,32	1,23
	2	1,204	0,651	0,291	0,54	0,37	1,23
	HadGEM2	1,223	0,704	0,273	0,58	0,34	1,25
Hrachov I[1] Hrachov II Brzina	0	0,459	0,352	0,037	0,77	0,47	0,5
	2	0,328	0,247	0,023	0,75	0,58	0,43
	HadGEM2	0,395	0,285	0,025	0,72	0,52	0,54
Chaloupky Rolava	0	0,385	0,352	0,101	0,91	0,22	0,39
	2	0,347	0,32	0,071	0,92	0,23	0,35
	HadGEM2	0,376	0,346	0,071	0,92	0,24	0,33
Kladruby Úhlavka	0	1,345	0,866	0,191	0,64	0,36	1
	2	1,097	0,584	0,126	0,53	0,42	1,1
	HadGEM2	1,302	0,723	0,152	0,56	0,42	1,06
Pěčín Zdobnice	0	0,817	0,693	0,227	0,85	0,23	0,67
	2	0,744	0,647	0,171	0,87	0,25	0,53
	HadGEM2	0,781	0,618	0,137	0,79	0,25	0,84
Poutnov Teplá	0	0,703	0,594	0,104	0,84	0,28	0,55
	2	0,578	0,487	0,068	0,84	0,33	0,48
	HadGEM2	0,634	0,487	0,086	0,77	0,34	0,69
Rajnochovice (Košovy) Juhyně	0	0,239	0,202	0,047	0,84	0,29	0,54
	2	0,211	0,171	0,035	0,81	0,3	0,62
	HadGEM2	0,253	0,198	0,037	0,78	0,29	0,74
Strážiště Střela	0	2,899	2,188	0,527	0,75	0,33	0,75
	2	2,379	1,697	0,402	0,71	0,38	0,76
	HadGEM2	2,84	2,036	0,472	0,72	0,36	0,79
Šipín Úterský potok	0	0,905	0,784	0,107	0,87	0,34	0,4
	2	0,748	0,622	0,074	0,83	0,38	0,44
	HadGEM2	0,971	0,772	0,106	0,8	0,35	0,59
Vysočany[2] Želetavka	0	1,212	0,250	0,205	–	0,45	–
	2	0,927	0,200	0,147	–	0,49	–
	HadGEM2	1,168	0,200	0,219	–	0,47	–

[1] Řešeno jako soustava Hrachov I – Hrachov II.

[2] Řešeno jako soustava Vysočany – Vranov – Znojmo. Hodnota Q_n představuje přidaný potenciál nadlepšení ke stávající soustavě Vranov – Znojmo.

$$MZP = 0{,}73 * Q_{10} \quad (1)$$

$$a = \frac{Q_n}{Q_a} \quad (2)$$

$$m = \frac{(1- a)}{Cv} \quad (3)$$

Z výsledků je porovnáním hodnot nadlepšení průtoku Q_n u scénářů klimatické změny a současných podmínek (scénář „0“) vyhodnoceno výraznější snížení potenciálu LAPV k zajištění odběrů vody zejména u lokalit Čučice (přes 30 % u obou scénářů), Kladruby, Hradiště, Hrachov I a Hrachov II. Naopak poměrně nízké snížení (do 10 %) potenciálu k zajištění odběrů vody bylo vyhodnoceno u lokalit Hoštejn, Hanušovice, Chaloupky a Pěčín.

Lokalita Vysočany byla vzhledem ke své poloze na přítoku Želetavky do vodní nádrže Vranov posouzena v soustavě vodních nádrží Vysočany – Vranov – Znojmo. Hodnoty Q_n v *tab. 2* proto pro tuto lokalitu uvádějí přidaný potenciál nadlepšení ke stávající soustavě Vranov – Znojmo. Vzhledem k celkové kapacitě vodní nádrže Vranov (v současných podmínkách nadlepšení při p_τ = 99,5 % přesahuje 4 $m^3.s^{-1}$) je přidaný efekt lokality Vysočany poměrně nízký. Vodní nádrž Vranov je víceúčelová a současné vodárenské odběry ze soustavy Vranov – Znojmo tvoří menší podíl z celkových požadavků kladených na její zásobní funkci. Jako soustava byly rovněž řešeny vodní nádrže Hrachov I a Hrachov II na Brzině.

V rámci vodohospodářského řešení nádrží byl jako zásobní prostor uvažován celý potenciální objem nádrže uvedený v Generelu LAPV [1]. V tomto ohledu je nutné brát výsledné hodnoty zabezpečených odběrů (resp. nadlepšených průtoků) za teoretické. Nebyl uvažován např. objem stálého nadržení, jehož hodnoty nejsou v současnosti k dispozici. Nadlepšené průtoky tak budou reálně nižší. Avšak i přes tuto skutečnost dávají výsledky dobrou představu o možném dopadu scénářů klimatické změny na potenciální kapacitu posuzovaných lokalit.

ZÁVĚR

Cílem výše popsaného řešení bylo vyhodnotit možné dopady klimatické změny na kapacity území chráněných pro akumulaci povrchových vod (LAPV). S ohledem na značné nejistoty v predikci scénářů klimatické změny bylo zvoleno variantní řešení: posouzen byl scénář klimatické změny HadGEM2 k referenčnímu roku 2050 a (méně příznivý) scénář oteplení současného klimatu o 2 °C. Vyhodnocení bylo zpracováno pro 17 lokalit uvažovaných k zajištění vodárenských odběrů a nacházejících se z hlediska zásobování pitnou vodou v blízkosti potenciálně problémových oblastí. Při posouzení kapacit LAPV byly aplikovány postupy modelování hydrologické a vodohospodářské bilance. Výsledky řešení jsou uvedeny v *tab. 2* výše. Výraznější snížení kapacity k zajištění odběrů vody v důsledku klimatické změny bylo vyhodnoceno zejména u lokalit Čučice, Kladruby, Hradiště, Hrachov I a Hrachov II. Naopak poměrně nízké snížení kapacity bylo zjištěno u lokalit Hoštejn, Hanušovice, Chaloupky a Pěčín. S výjimkou lokalit Čučice a Kladruby nepřesáhlo snížení kapacity oproti současným podmínkám u žádné lokality 30 %. Výsledky v podobě variantních scénářů tedy upozorňují na možné snížení nadlepšeného odtoku a zvýšení koeficientu variace, který je ukazatelem rozkolísanosti hydrologického režimu. Pro rozhodnutí, zda by daná nádrž deficitnímu regionu mohla pomoci, je zapotřebí detailnější studie oblasti, včetně případných převodů vody, výhledových potřeb vody apod.

Poděkování

Článek vznikl na základě výzkumu prováděného v rámci projektu VI20192022159 „Vodohospodářské a vodárenské soustavy a preventivní opatření ke snížení rizik při zásobování pitnou vodou“ programu BV III/1-VS, který financuje Ministerstvo vnitra ČR.

Literatura

[1] MZe a MŽP. *Generel území chráněných pro akumulaci povrchových vod a základní zásady využití těchto území*. Praha, srpen 2020.

[2] HANEL, M., KAŠPÁREK, L., MRKVIČKOVÁ, M. a kol. *Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 2011. 108 s.

[3] HORÁČEK, S. a kol. *Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulační schopnosti v povodí Rakovnického potoka (pilotní projekt)*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 2012. 150 s.

[4] BERAN, A., HANEL, M., NESLÁDKOVÁ, M., VIZINA, A., VYSKOČ, P., KOŽÍN. R. Climate Change Impacts on Water Balance in Western Bohemia and Options for Adaptation. *Water Supply*. 1 February 2019, 19(1), s. 323–335. Dostupné z: doi: https://doi.org/10.2166/ws.2018.080

[5] VIZINA, A., VYSKOČ, P., PELÁKOVÁ, M., BERAN, A., KOŽÍN, R., PICEK, J. Zabezpečenost odběrů vody z vodárenských nádrží v podmínkách klimatické změny. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2021, 63(3), s. 4–18. ISSN 0322-8916.

[6] 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. ISSN 0322-8916.

[7] HANEL, M., KAŠPÁREK, L., PELÁKOVÁ, M., BERAN, A., VIZINA, A. *Evaluation of Changes in Deficit Volumes: Support for Protection of Localities Suitable for Construction of Reservoirs. Considering Hydrological Change in Reservoir Planning and Management*, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly. 2013.

[8] PRCHALOVÁ, H., VYSKOČ, P., VIZINA, A., NOVÁKOVÁ, H. Bilance zdrojů podzemní vody a potřeb pro pitné účely v podmínkách klimatické změny. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2022, 64(5), s. 22–31. ISSN 0322-8916.

[9] BERAN, A. a kol. *Metodika pro navrhování adaptačních opatření k eliminaci dopadů nedostatku vody*. Praha: VÚV TGM, v. v. i., 2019. Certifikovaná metodika MZe. ISBN 978-80-87402-70-2.

[10] *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací území České republiky. Revize funkčnosti propojení a zajištění potenciálních možností nových propojení vodárenských soustav v období sucha. A.1.1. Zprávy jednotlivých krajů (2. etapa). Revize 1*. Zpracoval Sweco Hydroprojekt a. s. pro Ministerstvo zemědělství, 12/2020.

[11] HANEL, M., VIZINA, A., MARTÍNKOVÁ, M., FENDEKOVÁ, M. *Changes of Drought Characteristics in Small Czech and Slovakian Catchments Projected by the CMIP5 GCM Ensemble*. 2014.

[12] ŠTĚPÁNEK, P. a kol. *Očekávané klimatické podmínky v České republice*. 2019. Vydáno v rámci projektu: *„SustES – Adaptační strategie pro udržitelnost ekosystémových služeb a potravinové bezpečnosti v nepříznivých přírodních podmínkách“* (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000797)“. ISBN. 978-8-87902-28-8.

[13] VIZINA, A., HANEL, M. a kol. *Střední scénář klimatické změny pro vodní hospodářství v České republice. Zprávy pro státní podniky povodí*. Praha: VÚV TGM, v. v. i., 2019.

[14] TALLAKSEN, L. M., VAN LANEN, H. A. (eds.). *Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. 2004.

[15] VIZINA, A., HORÁČEK, S., HANEL, M. Recent Developments of the BILAN Model. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2015, 57(4–5), s. 7–10.

[16] 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.

[17] GUDMUNDSSON, L., BREMNES, J. B., HAUGEN, J. E., ENGEN-SKAUGEN, T. Downscaling RCM Precipitation to the Station Scale Using Statistical Transformations – A Comparison of Methods. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2012, 16(9), s. 3383–3390.

[18] ŠTĚPÁNEK, P., ZAHRADNÍČEK, P., HUTH, R. Interpolation Techniques Used for Data Quality Control and Calculation of Technical Series: An Example of a Central European Daily Time Series. *IDŐJÁRÁS – Quaterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*. 2011, 115(1–2), s. 87–98.

[19] KLING, H., FUCHS, M., PAULIN, M. Runoff Conditions in the Upper Danube Basin under an Ensemble of Climate Change Scenarios. *Journal of Hydrology*. 2012, 424, s. 264–277. Dostupné z: doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.01.01

[20] PICEK, J., VYSKOČ, P., ZEMAN, V. *Simulační model množství povrchových vod: zásobní funkce vodohospodářské soustavy*. Praha: VÚV TGM, v. v. i., 2008.

[21] ČSN 75 2405. 2004. *Vodohospodářská řešení vodních nádrží*.

[22] VOGEL, R. M., BOLOGNESE, R. A. Storage-Reliability-Resilience-Yield Relations for Over-Year Water Supply Systems. *Water Resources Research*. 1995, 31, s. 645–654.

Autoři

Ing. Adam Vizina, Ph.D.
✉ adam.vizina@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-4683-9624

Ing. Petr Vyskoč
✉ petr.vyskoc@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5006-5414

Ing. Roman Kožín
✉ roman.kozin@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5773-6567

Ing. Hana Nováková, Ph.D.
hana.novakova@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-5946-4796

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022.11.004

POTENTIAL OF PROTECTED AREAS FOR SURFACE WATER STORAGE TO MITIGATE THE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON DRINKING WATER SUPPLY

VIZINA, A.; VYSKOČ, P.; KOŽÍN, R.; NOVÁKOVÁ, H.

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

Keywords: water resources — water scarcity — drinking water supply — water balance — climate change — adaptation

In the Czech Republic, areas morphologically, geologically and hydrologically suitable for surface water accumulation to mitigate the adverse effects of floods and droughts are defined through the General Plan of Areas Protected for Surface Water Accumulation. In the context of climate change, these sites create potential for possible adaptation measures. The paper assesses the potential of selected sites for water supply under climate change conditions by means of hydrological and water balance modelling.

Malá zdrojová povodí — jejich prostorové vymezení a klasifikace z hlediska rizika ohrožení rychlým odtokem

PETR KAVKA, LENKA WEYSKRABOVÁ, LUDĚK STROUHAL, JAN-FRANTIŠEK KUBÁT, JIŘÍ CAJTHAML

Klíčová slova: hydrologická odezva — malá zdrojová povodí — povodí prvního řádu — rychlý odtok — monitoring erozních událostí

ABSTRAKT

Tento příspěvek představuje plošné vymezení malých horních zdrojových povodí do velikosti 5 km^2 na území ČR. Cílem bylo nejen představit vymezení těchto povodí, ale také jejich kategorizaci z hlediska charakteristik ovlivňujících formování rychlého odtoku. Rychlý odtok způsobený přívalovými srážkami je dynamický proces epizodního charakteru a zásadní dopad má právě v malých povodích. Vymezení malých zdrojových povodí, kde probíhají výše zmíněné procesy, tak může doplnit standardní hierarchickou klasifikaci povodí v ČR. Tato povodí tvoří 80 % území ČR.

Vymezená povodí byla dále klasifikována na základě sady jejich charakteristik z hlediska rizika rychlého odtoku. Klasifikace těchto povodí byla vytvořena pomocí clustrové analýzy. Do té vstupují charakteristiky povodí, které ovlivňují hydrologickou odezvu. Zejména jde o srážková data, hydromorfologické charakteristiky příslušného povodí, využití území a hydrologické vlastnosti půd. Jedním z negativních dopadů rychlého odtoku je eroze. Jako indikátor stavu konkrétní oblasti z hlediska výskytu rychlého odtoku může být využit nepřímo monitoring eroze (https://me.vumop.cz/). V rámci této iniciativy, která v roce 2022 završila 10 let svého působení, jsou zaznamenávány erozní události. Databáze obsahuje přes 2 000 záznamů. Evidence v rámci ČR je ale nesourodá, což je dáno zapojením poboček Státního pozemkového úřadu (SPÚ). Nicméně jde o poměrně rozsáhlou evidenci projevů eroze.

ÚVOD

Povodí v ČR jsou standardně členěna do čtyř úrovní. Nejmenší z nich, povodí IV. řádu, jsou však z hlediska velikostí značně rozdílná – od povodí o velikosti přesahující 20 km^2 až po doplňková povodí s plochou menší než 1 km^2. Povodí IV. řádu byla kategorizována z hlediska jejich potenciální hydrologické odezvy podle metody popsané v [1]. Kategorizace povodí IV. řádu z hlediska hydrologické odezvy je ovlivněna právě rozdílnou velikostí plochy. Dalším faktorem je kombinace zdrojových (horních) a průtočných povodí.

Horní – neprůtočná povodí tvoří specifickou skupinu povodí, někdy bývají nazývána „first order catchments" [2], jindy jsou tato povodí označována jako zdrojová. Tato povodí tvoří základ hydrografické sítě a jsou primárními plochami pro zachycení nebo snížení povodňových škod. Zároveň tato horní povodí zajišťují často rozmanité ekosystémové služby územím pod nimi [3]. Bývají velmi citlivá na změny a patří k nejrychleji se rozvíjejícím částem krajiny. Z těchto důvodů je plánování a management v rámci těchto území komplexním úkolem [4]. Podobnostmi povodí, charakteristikami a odezvou se v minulosti zabývala z různého pohledu celá řada autorů. Např. [5] jsou motivováni ke klasifikaci povodí spíše ohledem na dlouhodobé procesy v povodích. Na podobném principu jsou atributy povodí definovány, klasifikovány a sdíleny v rámci CAMELS [6] a další. K povodím jsou vytvářeny datové sady popisující v měřítku povodí šest hlavních skupin atributů – topografie, klima, hydrologické charakteristiky, pokryv a půdní a geologická data.

Verifikačních dat hydrologické odezvy je na území ČR relativně málo. ČHMÚ provozuje necelých 20 pozorovacích profilů na malých povodích do 10 km^2. Navíc byl vznik většiny těchto povodí motivován monitoringem vod v povodích vodárenských nádrží, a jde tak převážně o lesní povodí. Geochemickým monitoringem 14 malých lesních povodí se zabývá projekt GEOMON [7]. Je zaměřen primárně na látkové složení srážek, půdy a odtoku, ale zároveň zaznamenává i úhrny srážek a hodnoty průtoků v závěrových profilech. Monitorovaná povodí GEOMON se někde překrývají s povodími provozovanými ČHMÚ. Na zemědělské půdě je počet pozorovaných povodí provozovaných profesně zaměřenou organizací nesrovnatelně menší a časové řady dat jsou také významně kratší.

Prakticky jediným nástrojem, jak navrhovat objekty na malých vodních tocích a úpravy v ploše povodí, jsou hydrologické modely. Nejčastěji jsou založené na empiricky odvozené metodě SCS-CN [8], která je neustále vyvíjena a testována. Z posledních prací např. [9, 10]. Citlivostí metody na dostupná data pro území ČR se zabýval Strouhal [11, 12]. Standardně jsou návrhová data poskytována podle ČSN 75 1400.2014. *Hydrologické údaje povrchových vod*. V nejnižší třídě, kam spadají malá povodí, jsou data odvozována rovněž pomocí modelu, jehož základem je metoda SCS-CN. Vedle tohoto předpisu pak TNV 75 2102 – *Úprava potoků z roku 2010* uvádí, že modelování je možné použít pro návrhy úprav malých vodních toků v povodích do 5 km^2. Hranice 5 km^2 byla převzata pro odvození horních povodí, jež představuje tento příspěvek. Pro podrobnější popis odtokové odezvy je možné využít i fyzikálně založené modely, jako jsou SMODERP [13] nebo EROSION 3D [14].

Specifikem malých povodí je rychlost jejich hydrologické odezvy. Rychlost odezvy na příčinné srážky a s tím spojená rizika jsou ovlivněna řadou parametrů. Největší ohrožení z hlediska průtoků a návazných rizik na těchto povodích představují přívalové srážky. Pro území ČR se rozložením srážek zabýval v poslední době Kašpar [15]. Nejčastěji využívaným nástrojem pro popis srážek jsou křivky IDF (Intensity-Duration-Frequency curves), které popisují vztah intenzity deště, jeho délky a doby opakování [16]. V celosvětovém měřítku se rozložením změněných statistických atributů deště věnuje např. Courty [17]. V lokálním měřítku malých povodí významně ovlivňuje hydrologickou odpověď kromě intenzity srážkové události i její tvar [18, 19].

Mezi další významné parametry, jež ovlivňují odtokovou odezvu jednotlivých povodí, řadíme vlastnosti půd, půdního pokryvu a také morfologické charakteristiky. Svou roli mají i vlastnosti hydrografické sítě popsané množstvím koeficientů. Charakter terénu – morfologie – ovlivňuje především tvar odtokové vlny, a tím i celkovou reakci povodí na zvýšený odtok včetně eroze půdy. Parametrů pro popis morfologie povodí je celá řada, nejčastěji uváděnými hodnotami jsou průměrný sklon, délka svahu či topografický index [20].

Jedním z negativních dopadů povrchové složky rychlého odtoku je eroze. V měřítku zdrojových ploch od velikosti 0,3 km^2 do 10 km^2 jsou určeny tzv. kritické body, které jsou definovány jako místa vstupu drah soustředěného odtoku do intravilánu obcí [21]. Kritické body jsou určeny na DMR odvozeném z vrstevnicového modelu ZABAGED a míra rizika je stanovena na základě poměru orné půdy, průměrného sklonu a za použití CORINE Land Cover. Jiný přístup ohrožení nejen intravilánu, ale i dalších prvků kritické infrastruktury byl hodnocen v rámci projektu VG20122015092 – *„Erozní smyv – zvýšené riziko ohrožení obyvatel a jakosti vody v souvislosti s očekávanou změnou klimatu"* řešeného v letech 2012 a 2015. Výsledná mapa bodů je dostupná na https://heis.vuv.cz. V obou případech jde o určitý pohled na rizikovost bodů, jež vychází z charakteristik přispívajících malých zdrojových povodí, nicméně se stále jedná o modelové situace. Dalším pohledem tak může být evidovaný výskyt erozní události, který je součástí monitoringu eroze [22] a mapového portálu (https://me.vumop.cz/). V rámci této iniciativy, jež v roce 2022 završila 10 let svého působení, jsou zaznamenávány erozní události. Databáze obsahuje přes 2 000 záznamů. Evidence v rámci ČR je sice prostorově nesourodá, což je dáno zapojením poboček Státního pozemkového úřadu, nicméně jde o poměrně rozsáhlou evidenci projevů eroze.

METODIKA ODVOZENÍ HRANIC POVODÍ A JEJICH KLASIFIKACE

Malá zdrojová povodí – SHC (Small Headwater Catchments) [23] jsou tzv. neprůtočná povodí, která nemají žádné přítoky, a odpovídají tak definici „first order catchments" [2]. Této vlastnosti bylo využito při odvození jejich hranic na celém území ČR na základě dat DMR 4G v rozlišení 5 × 5 m [24], vodních toků a vodních nádrží. K takto vymezeným plochám povodí byly následně určeny parametry, jež ovlivňují hydrologickou odezvu zejména s ohledem na možné riziko vzniku odtoků z krátkodobých extrémních srážek.

Definice hranic povodí

SHC podle [23] jsou nejen povodí pouze o velikosti 5 km^2, ale i všechna menší povodí. Znamená to například, že dvě povodí o velikosti 3 km^2 po soutoku sice již přesahují 5 km^2, ale samostatně jde o dvě povodí, která spadají do SHC. Pro vymezení SHC bylo zvoleno šest velikostních kategorií uvedených v *tab. 1*. Povodí byla odvozena pro všechny tyto třídy, což dále umožňuje jejich vzájemné porovnání.

Tab. 1. Kategorie SHC (pro každou kategorii byl zvolen rozsah velikosti ploch)
Tab. 1. SHC categories (a range of area sizes was chosen for each category)

Kategorie	Od km^2	Do km^2
005	0,3	0,7
010	0,7	1,3
020	1,7	2,3
030	2,7	3,3
040	3,5	4,5
050	4,5	5,5

Plochy menší než kategorie 005 již lze považovat za elementární odtokové plochy a nejsou hodnoceny jako samostatná povodí. Spodní hranice 0,3 km^2 zároveň odpovídá spodnímu limitu odvození kritických bodů [21].

Pro vymezení SHC bylo využito tří datových zdrojů – digitálního modelu terénu, os vodních toků a vodních nádrží. Hlavním vstupem pro určení SHC byl DMR 4G v rozlišení 5 × 5 m. Jelikož v některých místech osy vodních toků kvůli lidským zásahům a změnám v krajině neodpovídají odtokovým liniím generovaným na samotném modelu terénu, jsou do řešení zahrnuty aktuální osy vodních toků, jež jsou součástí ZABAGED®. Ty vycházejí z měření podrobných měřítek a odrážejí současný stav vodní sítě. Z hlediska směřování odtoků jsou tyto linie při vytváření SHC brány jako přesnější než směrování odtoku na základě DMR. Při odvozování povodí je třeba tyto osy vodních toků zahrnout do řešení. Osy vodních toků byly promítnuty do DMR. Hodnota pixelů modelu terénu, kterými prochází osa vodního toku, byla snížena tak, aby výsledné směřování odtoku odpovídalo osám současných vodních toků. Na takto upraveném modelu terénu byla v následujícím kroku odstraněna případná bezodtoká místa a vytvořena vrstva směrování odtoku. Ke směrování odtoku byl využit nástroj jednosměrného směrování odtoku (D8). Ze směrů odtoku pak byla odvozena akumulace v každém pixelu.

Pro každou kategorii povodí (viz *tab. 1*) byla vrstva akumulace překlasifikována tak, aby hodnoty plochy akumulace mimo hranice skupiny měly hodnotu NoData value a hodnoty plochy akumulace odpovídající dané kategorii pak hodnotu 1. V případech, kdy takto klasifikované odtokové linie končí anebo se protínají s vodními nádržemi, byly odtokové linie zkráceny do bodu křížení odtokové linie s vodní nádrží. V těchto případech se tedy uvažují povodí na vstupu do vodních nádrží. Pro upravené linie v jednotlivých kategoriích byly určeny koncové body těchto linií, jež tvoří závěrový profil povodí. K těmto bodům byla na základě výše odvozeného směřování odtoku odvozena hranice povodí se zohledněním os vodních toků.

Charakteristiky malých povodí

Hydrologická odezva z SHC je dána jeho morfologickými charakteristikami, vlastnostmi půdy, využitím území a příčinnými srážkami. Lze předpokládat, že hydrologická odezva podobných povodí bude podobná. Proto pro výše uvedené kategorie SHC byly odvozeny parametry pro jejich klasifikaci z hlediska možné hydrologické odezvy.

Morfologické charakteristiky byly určeny na základě modelu terénu a vodních toků. Zejména jde o charakteristiky nadmořské výšky, sklonů a délky odtokových drah, dále pak o několik tvarových koeficientů.

Střední šířka povodí

$$b = \frac{A}{L} \qquad (1)$$

kde A je plocha [m^2]
L maximální délka odtokové dráhy [m]

Tvar povodí

$$a = \frac{A}{L^2} \qquad (2)$$

kde A je plocha povodí [m^2]
L maximální délka odtokové dráhy [m]

Tvarový koeficient podle Gravelia [25]

$$gra = \frac{o}{2\sqrt{A \cdot \pi}} \qquad (3)$$

kde O je obvod [m]
A plocha [m^2]

Všechny tři tvarové koeficienty popisují tvar povodí. V případě Graveliova koeficientu jde o porovnání tvaru povodí ke kruhu. Střední šířka a tvarový koeficient povodí určuje, do jaké míry se vzdaluje tvar povodí od čtverce, resp. jeho mocniny.

Standardním popisem je parametr hustoty vodní sítě. Tento parametr určuje poměr celkové délky vodních toků k ploše povodí.

$$SND = \frac{\Sigma L_T}{A} \qquad (4)$$

kde L_T je délka vodního toku [m]
A plocha [m²]

Mezi parametry, které jsou ovlivněny morfologií a ovlivňují průběh odtoku, patří doba zdržení (T_{lag}). Hodnota T_{lag} je využívána pro popis jednotkového hydrogramu podle metody SCS-CN [26]. T_{lag} je pak vypočtena pomocí [27].

$$T_{lag} = L^{0,8} \cdot \frac{(S+1)^{0,7}}{1900 \cdot \sqrt{Y}} \qquad (5)$$

kde T_{lag} je doba zpoždění [hod]
L délka nejdelší odtokové dráhy [stopa]
Y průměrný sklon povodí [%]
S max. potenciální retence [palec]

Potenciál objemu přímého odtoku daného povodí lze popsat průměrnou hodnotou CN. CN v sobě integruje informaci o vlastnostech povrchu a o infiltračních vlastnostech půd. Ve zde uvedeném příkladu jsou hodnoty CN převzaty z odvození v rámci *Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v ČR* [28].

Poslední skupinou parametrů jsou srážková data. Protože na malých zdrojových povodích jsou dominantním zdrojem odtoku krátkodobé srážky, byly vybrány šestihodinové návrhové úhrny odvozené ze srážkových radarů v prostorovém rozlišení 1 × 1 km [19, 15]. Tato data jsou dostupná na rain.fsv.cvut.cz.

Přehled sledovaných parametrů obsahuje *tab. 2*. Jde o hodnoty popisující střední hodnotu, rozptyl nebo minimální či maximální hodnotu podle typu parametru.

Tab. 2. Seznam parametrů, které vstupují do clusterové analýzy SHC. Parametry 1–16 jsou odvozeny z DMR, případně v kombinaci s osami vodních toků s tím, že průměrný sklon povodí byl určen na vrstvě původního DMR před zahloubením vodních toků. Parametry 20–24 podle rovnic (1–4)

Tab. 2. List of parameters that enter the SHC cluster analysis. Parameters 1–16 were derived from DMR and vector lines of water courses, catchment slope was derived using unconditioned DMR. Parameters 20–24 derived according to Eq. (1–4)

1	P	Obvod
2	A	Plocha
3	E_M	Elevation mean – průměrná nadmořská výška povodí
4	E_{STD}	Elevation STD – odchylka nadmořské výšky, popisuje rovinatost povodí
5	Fa_M	Průměrná akumulace
6	Fa_{STD}	Fl_acc_STD – odchylka akumulace odtoku
7	Fl_X	Fl_len_max – maximální délka odtokové dráhy
8	Fl_M	Fl_len_mean – průměrná délka odtokové dráhy
9	Fl_{STD}	Fl_len_STD – směrodatná odchylka délky odtokové dráhy
10	Fs_X	Fl_len_noStream_max – maximální délka odtokové dráhy plošného odtoku
11	Fs_M	Fl_len_noStream_mean – průměrná délka odtokové dráhy plošného odtoku
12	FS_{STD}	Fl_len_noStream_STD – směrodatná odchylka odtokové dráhy plošného odtoku
13	SI_M	Slope_mean – průměrný sklon
14	SI_{STD}	Slope_STD – směrodatná odchylka
15	S_M	Slope_stream_mean – průměrný sklon vodních toků
16	S_{STD}	Slope_stream_STD – odchylka sklonu vodních toků
17	L_T	Total stream length – celková délka vodních toků
18	CN_M	Průměrné CN povodí
19	CN_{STD}	CN_STD – směrodatná odchylka
20	b_M	Střední šířka povodí
21	α	Tvarový koeficient alfa
22	gra	Graveliův koeficient – tvarový koeficient
23	SND	Hustota říční sítě
24	T_{lag}	Doba zpoždění
25–28	P_{xx}	Šestihodinové návrhové srážky s dobou opakování 2, 10, 20 a 100 let

Celkově jde o 28 parametrů, jež byly následně testovány ve všech velikostních kategoriích z hlediska vzájemné závislosti pomocí regresní analýzy. Cílem bylo získat sadu nezávislých parametrů a podle jejich podobnosti roztřídit povodí do skupin pomocí shlukové analýzy.

Vymezení malých povodí, přiřazení a výpočet charakteristik z DMR, CSC-CN povodí bylo zpracováno v prostředích ESRI (ArcGIS a ArcGIS Pro), následné statistické analýzy byly řešeny v prostředí R. Pro řešení byly využity nástroje popisné statistiky a regresní analýzy. Clustrová analýza byla provedena pomocí metody K-mean. Jednotlivé clustery byly následně agregovány z hlediska relativní rizikovosti klíčových parametrů ke vzniku rychlé složky odtoku do pěti tříd rizika. Verifikace byla provedena pomocí evidovaných erozních událostí. Cílem bylo sledovat, zda se klasifikace povodí z hlediska rizika shoduje s lokalizací erozních událostí.

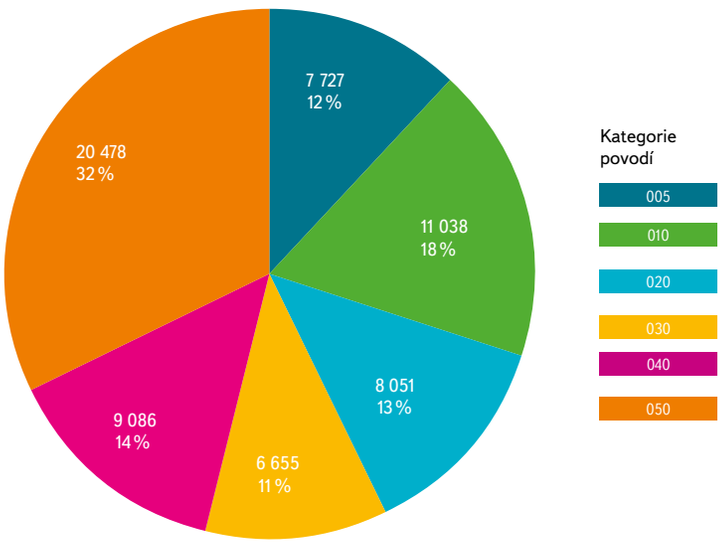
VÝSLEDKY

Vymezení SHC

Základní údaje o SHC odvozené podle výše popsané metodiky jsou uvedeny v *tab. 3.* Jelikož kategorie SHC jsou odvozovány vždy samostatně, výsledná povodí se mezi kategoriemi překrývají – menší výsledné povodí může být součástí většího v nadřazených kategoriích. Vedle popsaných kategorií proto byla vytvořena skupina povodí, v níž jsou zachována pouze největší povodí. Vzájemně vnořená povodí byla eliminována. Jsou tak zachována povodí menší než 5 km² na sledovaném území ČR. Takto vzniklá skupina povodí je označena dále jako „Set of Largest Catchments" – „SoLC" a je také uvedena v *tab. 3.* Pro přehlednost je doplněno, jak velké zastoupení mají jednotlivé velikostní kategorie ve výsledné skupině SoLC, tabulka obsahuje údaje o počtu prvků dané kategorie, které jsou její součástí. Zastoupení ploch jednotlivých kategorií povodí ve skupině SoLC je znázorněno na *obr. 1.*

Tab. 3. Počet povodí a celkové plochy povodí v jednotlivých kategoriích. Pro jednotlivé kategorie (1. sloupec) je uveden počet prvků (2. sloupec) a celková plocha dané třídy (3. sloupec). Ve 4. a 5. sloupci je uvedeno zastoupení prvků dané třídy ve třídě SoLC a procentní vyjádření
Tab. 3. Number and the total area of catchments in each category. For individual categories (1st column) the number of elements (2nd column) and the total area of the given class (3rd column) are given. The 4th and 5th columns show the representation of the elements of the given class in the SoLC class and the per-centage expression

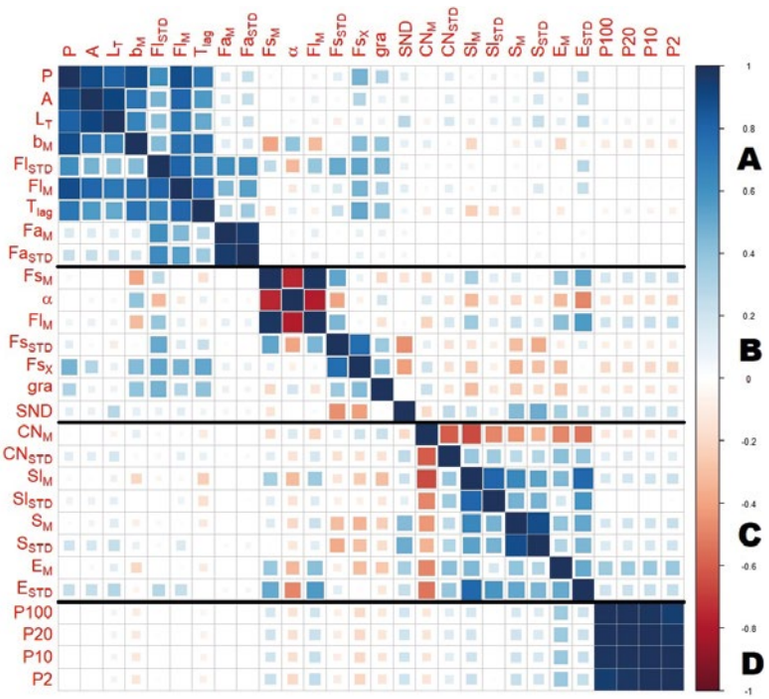
			Zastoupení prvků v SoLC	
Kategorie	**Počet prvků**	**Celková plocha [km²]**	**Počet**	**[%] prvků ve třídě SoLC**
005	72 621	37 632	16 894	23
010	31 287	33 046	10 907	35
020	11 560	24 179	3 938	34
030	6 530	20 289	2 187	33
040	5 431	22 610	2 271	42
050	3 957	20 479	3 957	100
SoLC	40 154	63 031		



Obr. 1. Zastoupení ploch jednotlivých kategorií povodí v SoLC
Fig. 1. Sumary of the area of the catchments in SoLC categories

Výběr parametrů

Pro jednotlivá povodí ve všech velikostních kategoriích byly odvozeny parametry podle *tab. 2*. Pro potřeby clusterové analýzy jsou v prvním kroku hledány reprezentativní a nezávislé parametry. Závislé parametry je nutné vyřadit. Hledání míry shody mezi sledovanými parametry bylo provedeno jak pro jednotlivé kategorie (včetně SoLC), tak pro všechna povodí dohromady. Z hlediska skupin závislých parametrů se jednotlivé kategorie vzájemně neliší. Platí tedy, že vazby mezi sledovanými parametry jsou pro všechny velikostní kategorie podobné. Vizuálně upravená shoda parametrů vypočtená pomocí Pearsonova korelačního koeficientu je na *obr. 2*.



Obr. 2. Vizualizace korelačních koeficientů mezi jednotlivými parametry pro všechna povodí nezávisle na velikostní kategorii. Červená barva značí negativní vazbu, modrá barva pozitivní. Čím je vazba mezi dvěma parametry silnější, tím je symbol tmavší a větší. Podobné parametry jsou seskupeny tak, aby bylo možné vizualizovat skupiny podobných parametrů A až D [29]
Fig. 2. Visualization of the correlation between individual parameters for all catchments regardless of size category. A negative correlation is shown in red, and a positive correlation is shown in blue. The stronger the bond between two parameters, the darker and larger the symbol. Similar parameters are grouped together to visualize groups of similar parameters A to D [29]

Ze skupin prvků seskupených podle jejich vzájemné závislosti bylo zvoleno pět parametrů, které lze považovat za nezávislé a dostatečně reprezentující. Vhodné reprezentující parametry byly zvoleny pomocí analýzy hlavních komponent (PCA), a to:

- *Šestihodinové návrhové srážky s dobou opakování 20 let* (P_{20}) – parametr zastupující skupinu D. Mezi jednotlivými hodnotami šestihodinových srážek je vzhledem k odvození těchto dat značná korelace.
- *Průměrné CN povodí* (CN_M) – parametr reprezentuje skupinu C o několika dalších parametrech. Hodnota CN vykazuje shodu jak se sklonitostí, tak s nadmořskou výškou.
- *Doba zpoždění* (T_{lag}) – tento parametr charakterizuje skupinu A. Ovlivňuje tvar odtokového hydrogramu, a tím i velikost kulminačního průtoku.
- *Hustota říční sítě* (SND) – je parametrem, který reprezentuje podíl délky všech vodních toků v povodí a plochy povodí. Společně s *tvarovým koeficientem alfa* (α) v sobě zahrnují jak charakteristiku délky odtokových drah, tak tvar povodí. Tyto dva parametry společně reprezentují skupinu B.

Parametry hustota říční sítě (SND) a tvarový koeficient alfa (α) společně korelují s parametrem směrodatné odchylky odtokové dráhy plošného odtoku (FS_{STD}). SND je také ve vazbě na charakteristiky sklonu a parametr α ve vazbě na nadmořskou výšku. SND zároveň přímo popisuje charakteristiku sítě vodních toků. Z tohoto důvodu byly využity tyto dva parametry.

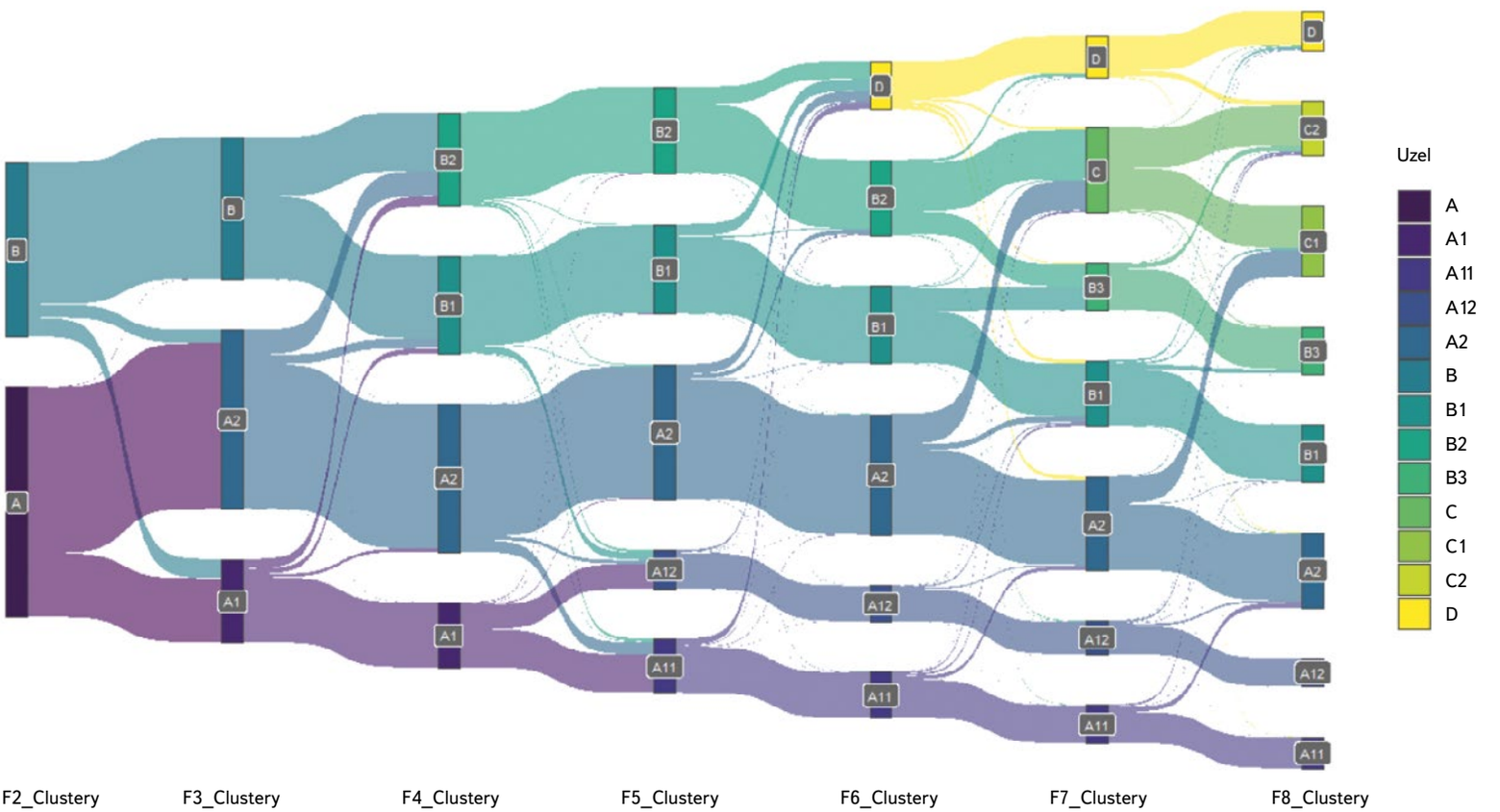
Rozdělení parametrů

Pro klasifikaci povodí do skupin z hlediska potenciální odezvy je důležité porovnat rozdělení parametrů klasifikace mezi jednotlivými kategoriemi povodí. V případě, že by zvolené klasifikační parametry měly pro jednotlivé skupiny povodí rozdílné rozdělení, znamenalo by to, že různé velikostní kategorie mají rozdílný charakter hydrologické reakce na srážky. Cílem bylo porovnání rozdílů mezi jednotlivými velikostními kategoriemi. Touto problematikou se podrobněji zabývá článek [29].

Vzhledem k tomu, že rozdíly rozdělení parametrů mezi kategoriemi nejsou významné a neliší se od SoLC, byla shluková analýza provedena pouze na skupině SoLC, v níž jsou zastoupeny všechny velikostní kategorie alespoň 20 %. Shluková analýza pomocí metody K mean byla provedena v prostředí R, a to v rozsahu clusterů od dvou do osmi s nastavením 25 úvodních tréninkových bodů. Každé povodí v SoLC bylo zařazeno při každém vytváření clusterů do skupiny podle vybraných pěti parametrů. Vznik jednotlivých skupin povodí je popsán na *obr. 3*. Skupiny jsou označeny písmeny. Pokud nějaká skupina vznikne pouze oddělením z dříve vzniklé skupiny, je přidáváno číselné označení.

Skupiny vznikající při postupném vytváření clusterů je možné charakterizovat následujícím popisem. Geografické vytváření shluků je pak zobrazeno na *obr. 4*.

- 2 Clustery – Při vytváření prvních dvou clusterů vzniká skupina A, která je charakterizována spíše vyšším CN_M s nižším objemem srážek P_{20}. Skupina B je charakterizována vyššími srážkami P_{20} a větší hodnotou CN_M (*obr. 4a*).
- 3 Clustery – Skupina A se dělí především z hlediska tvarových charakteristik povodí, z hlediska hustoty říční sítě (SND) a z hlediska doby zpoždění (T_{lag}) (*obr. 4b*).
- 4 Clustery – Ze skupiny B se odděluje skupina B1, která je charakteristická nižšími srážkami P_{20} při zachování nižší hodnoty CN_M, a skupina B2 s vyššími srážkovými úhrny P_{20} a zároveň vyšší hodnotou CN_M (*obr. 4c*).
- 5 Clusterů – Skupina A1 se dělí dominantně na základě doby zpoždění. Vzniklá skupina A12 je charakterizována významnou dobou zpoždění (T_{lag}), zatímco u skupiny A11 jsou zachovány spíše původní charakteristiky skupiny A1. Takto definované skupiny A11 a A12 jsou pak zachovány i po rozdělení povodí na více clusterů (*obr. 4d*).
- 6 Clusterů – Vzniká zcela nová skupina D, která je charakterizována relativně vysokou SND a zároveň relativně nízkými srážkovými úhrny P_{20} při zachování relativně vysoké hodnoty CN_M. Takto vytvořená skupina D zůstává i po rozdělení povodí na více clusterů (*obr. 4e*).

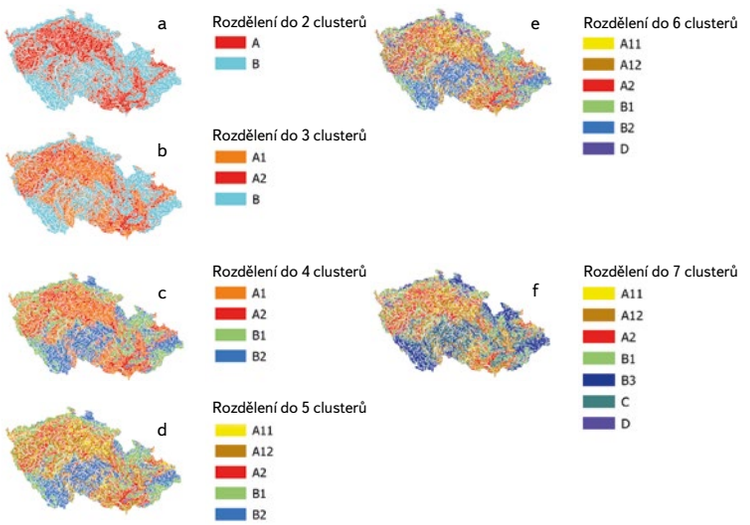


Obr. 3. Sankeyův diagram vývoje skupin pro různé počty clusterů pro SoLC. Počet prvků v dané skupině odpovídá šíři pásu. Diagram zároveň zobrazuje, jak se jednotlivá povodí přeskupují dle počtu clusterů. Základní dělení je patrné již při tvorbě dvou clusterů (A, B). Od počtu clusterů šest dochází k vývoji skupin, které vznikají kombinací základního dělení na A, B a podskupiny. Při šesti vzniká skupina D, jež je kombinací všech dříve vzniklých skupin. Při počtu clusterů 7 a 8 pak vznikají skupiny C, které jsou kombinací části skupiny A2 a B2 [29]

Fig. 3. The Sankey diagram shows the evolution and regrouping of SoLC classes with increasing number of clusters. The number of elements in a given group corresponds to a belt. At the same time, the diagram shows how individual watersheds are oversubscribed according to the number of clusters. The basic division is already visible in the formation of two clusters (A, B). From the number of clusters six to the development of groups that are created by combining the basic division into A, B and subgroups. At six, group D is formed, which is a combination of all previously formed groups. With the number of clusters 7 and 8, groups C are created, which are a combination of parts of groups A2 and B2 [29]

— 7 Clusterů – Skupina B2, která je charakterizována relativně vysokými srážkami P_{20}, je značně rozdělena. Společně s částí povodí ze skupiny A2 vytváří novou skupinu C, jež je charakteristická relativně vyššími srážkovými úhrny a zároveň vyššími hodnotami CN_M. Část povodí z původní skupiny B2 a část povodí ze skupiny B1 vytváří skupinu B3, která si zachovává podobné parametry jako původní skupina B2. Počet povodí z původní skupiny B2 je natolik malý, že je skupina pojmenována nově jako B3 (*obr. 4f*).
— 8 Clusterů – Dochází k přerozdělení v rámci nově vzniklé skupiny C na skupiny C1 a C2. Nově vzniklá skupina C1 je tvořena navíc částí povodí skupiny A2 a je charakterizována stejně jako původní skupina C vyššími hodnotami P_{20} i CN_M. Od skupiny C2 se pak odlišuje rozdílem v parametrech SND a (α), toto rozdělení již nepřináší do klasifikace povodí novou informaci.

Postupně vznikající skupiny povodí jsou charakterizovány středními hodnotami pěti výše uvedených parametrů. Podrobněji se parametry a shlukovou analýzou zabývá článek [29].



Obr. 4. Geografické zobrazení vývoje skupin při vytváření clusterů od dvou (a) po sedm (f)
Fig. 4. Geographical representation of group evolution when forming clusters from two (a) to seven (f)

Vytvořené clustery povodí jsou dále zatříděny podle možného rizika vzniku rychlého odtoku. Z hlediska vlivu na riziko spojené se vznikem rychlého odtoku pro jednotlivé parametry platí:
— SND – Čím vyšší hodnota, tím je stálá vodní síť hustší, přičemž případný odtok se bude spíše koncentrovat do těchto drah, kde se odtok očekává. Větší hodnota tedy znamená nižší míru rizika.
— T_{lag} – Čím větší doba zdržení, tím lze předpokládat nižší kulminační průtoky.
— α – Čím je povodí tvarově složitější, tím víc dochází k prodloužení odtokových drah, a tím i ke snížení kulminace.
— CN_M – Čím je průměrná hodnota CN menší, tím dochází v povodí k větší míře retence a možné riziko ohrožení je menší.
— P_{20} – Čím jsou větší srážky, tím je vyšší riziko možné odtokové odezvy.

Pro jednotlivé parametry byla vypočtena průměrná hodnota v kategorii SoLC, která je brána jako střední riziko. Míra rizika byla pro jednotlivé parametry určena relativně k této průměrné hodnotě daného parametru. Pro každou hodnotu parametru odpovídající těžišti jednotlivých clusterů pak byl stanoven podíl s touto průměrnou hodnotou, čímž byla určena rizikovost každého parametru v daném clusteru. Za rizikové jsou uvažovány ty kombinace pěti parametrů, kde převažuje negativní hodnocení a naopak. Míra celkového rizika je rozdělena do pěti kategorií nízkého až vysokého rizika podle následujícího popisu:
— Nízké riziko – kombinace parametrů možné odtokové odezvy předpokládá malé riziko z hlediska ovlivnění povodí rychlým odtokem. Tyto oblasti se z hlediska rychlé odezvy zdají být bezproblémové a nutnost opatření v těchto oblastech se nepředpokládá.
— Menší riziko – kombinace parametrů možné odtokové odezvy předpokládá spíše malé riziko z hlediska ovlivnění povodí rychlým odtokem. Tyto oblasti jsou z hlediska rychlé odezvy bezproblémové a nutnost opatření v těchto oblastech se nepředpokládá.
— Střední riziko – kombinace parametrů možné odtokové odezvy je průměrné a předpokládá se střední míra rizika z hlediska ovlivnění povodí rychlým odtokem.
— Zvýšené riziko – kombinace parametrů možné odtokové odezvy předpokládá spíše větší míru rizika z hlediska ovlivnění povodí rychlým odtokem.
— Vysoké riziko – kombinace parametrů možné odtokové odezvy předpokládá velké riziko z hlediska ovlivnění povodí rychlým odtokem. V těchto oblastech by měl být proveden podrobnější průzkum a sledování možných negativních dopadů rizika způsobených rychlým odtokem.

Hodnoty parametrů pro určení míry rizika jsou uvedeny v *tab. 4.*

Tab. 4. Hodnoty parametrů pro vyjádření míry rizika vzhledem k průměrné hodnotě příslušných parametrů
Tab. 4. Individual parameters used to express the degree of risk in relation to the mean values of the parameters

Riziko	Nízké	Menší	Střední	Zvýšené	Vysoké
Koeficient rizika	< 0,85	< 0,95	< 1,05	< 1,15	> 1,15
SND	1,19	1,09	1,03	0,98	0,88
T_{lag}	3,75	3,43	3,26	3,10	2,77
α	4,29	3,92	3,73	3,55	3,17
CN_M	58,5	65,4	68,9	72,3	79,2
P_{20}	42,8	47,8	50,3	52,8	57,8

Zařazení skupin povodí clustrové analýzy podle míry rizika je uvedeno v *tab. 5*, kam jsou zahrnuty skupiny od počtu clusterů 2–8.

Geografické vyjádření míry rizika je pak znázorněno na *obr. 5.* Skupiny A2 a C společně tvoří skupinu s vysokým rizikem, skupin A11, B1, B3 se týká střední riziko a A12 a D patří do skupiny s menším rizikem.

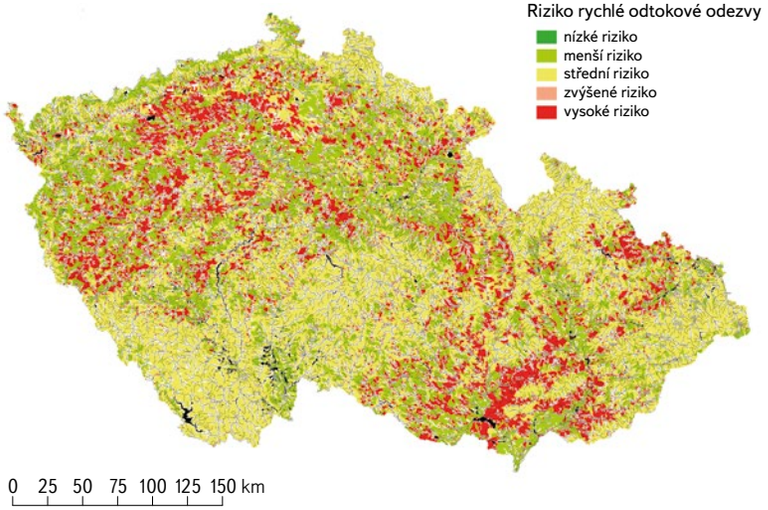
Zatřídění malých povodí z hlediska rizika rychlého odtoku je vyjádřeno relativně mezi jednotlivými parametry. Určitým validačním kritériem výsledků může být porovnání zatřídění dle míry rizika se zaznamenanými erozními událostmi v *Monitoringu eroze zemědělské půdy*. Kontinuálně probíhá monitoring od roku 2012 a ke konci roku 2021 bylo evidováno již přes 2 200 erozních událostí [30].

Protnutí dotčených pozemků uvedených v monitoringu s hranicemi definovaných malých povodí je znázorněno na *obr. 6.* Pro přiřazení události k příslušnému povodí bylo bráno těžiště polygonu vymezujícího zaznamenanou událost.

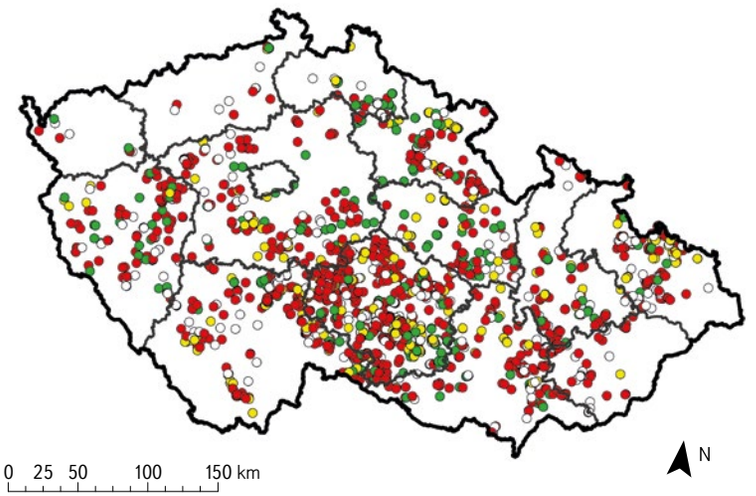
Z celkového počtu 2 220 evidovaných událostí do roku 2021 jich byla polovina v povodích s vysokým rizikem. Většina zaznamenaných erozních událostí je evidována na Vysočině a na jižní Moravě. V ostatních regionech, kde nejsou erozní události evidovány, jde spíše o úplnost databáze erozních událostí než o části ČR bez výskytu událostí.

Tab. 5. Zařazení skupin povodí při clustrové analýze podle míry rizika
Tab. 5. Development of the risk classification of catchment groups produced by cluster analysis

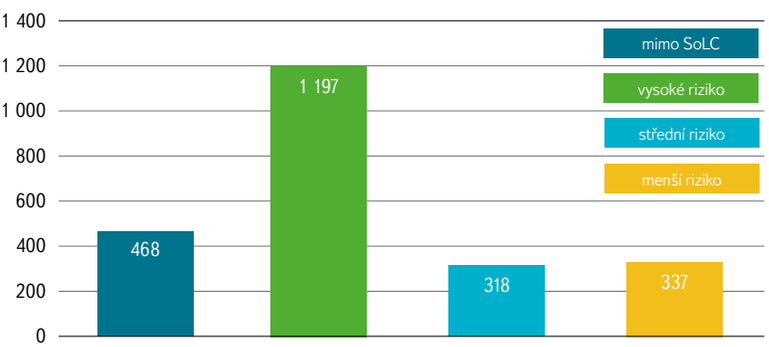
Počet clusterů		Relativní riziko jednotlivých parametrů					Průměr	Riziko
		SND	T_{lag}	α	CN_M	P_{20}		
2	A	1,68	1,07	0,92	1,09	0,95	1,14	zvýšené
	B	0,65	0,92	1,14	0,88	1,07	0,93	menší
3	A1	0,90	0,67	0,68	1,05	0,95	0,85	nízké
	A2	1,93	1,30	1,09	1,09	0,96	1,27	vysoké
	B	0,65	0,99	1,20	0,86	1,08	0,96	střední
4	A1	1,02	0,65	0,65	1,06	0,94	0,86	menší
	A2	2,31	1,29	1,09	1,10	0,93	1,35	vysoké
	B1	0,79	0,94	1,19	0,78	0,99	0,94	menší
	B2	0,61	1,11	1,07	1,03	1,16	0,99	střední
5	A11	1,14	1,06	0,60	1,09	0,94	0,97	střední
	A12	0,97	0,46	0,91	1,00	0,94	0,86	menší
	A2	2,31	1,30	1,15	1,10	0,94	1,36	vysoké
	B1	0,79	1,02	1,20	0,78	0,99	0,96	střední
	B2	0,60	1,12	1,08	1,02	1,16	1,00	střední
6	A11	1,56	1,05	0,59	1,08	0,95	1,05	střední
	A12	1,03	0,45	0,91	1,00	0,94	0,87	menší
	A2	2,92	1,30	1,14	1,10	0,93	1,48	vysoké
	B1	0,89	1,00	1,22	0,76	1,01	0,98	střední
	B2	0,79	1,11	1,10	1,02	1,19	1,04	střední
	D	0,41	1,15	0,99	1,02	0,95	0,91	menší
7	A11	1,48	1,02	0,57	1,09	0,95	1,02	střední
	A12	1,00	0,45	0,90	1,01	0,96	0,86	menší
	A2	2,59	1,23	1,10	1,11	0,89	1,38	vysoké
	B1	1,10	1,04	1,10	0,79	0,93	0,99	střední
	B3	0,63	0,95	1,37	0,81	1,19	0,99	střední
	C	1,24	1,27	1,10	1,09	1,11	1,16	vysoké
	D	0,39	1,15	0,95	1,03	0,98	0,90	menší
8	A11	1,43	1,01	0,55	1,09	0,96	1,01	střední
	A12	1,03	0,43	0,90	1,00	0,95	0,86	menší
	A2	2,11	1,13	0,98	1,11	0,86	1,24	vysoké
	B1	1,18	1,03	1,07	0,78	0,92	1,00	střední
	B3	0,67	0,96	1,44	0,79	1,17	1,01	střední
	C1	2,83	1,43	1,32	1,10	1,04	1,54	vysoké
	C2	0,74	1,06	0,93	1,08	1,16	0,99	střední
	D	0,39	1,16	1,01	1,00	0,95	0,90	menší



Obr. 5. Rozčlenění plochy ČR podle identifikované míry rizika v případě rozdělení povodí do sedmi clusterů
Fig. 5. Distribution of the area of the Czech Republic according to the identified level of risk in the case of dividing the basin into seven clusters



Obr. 6. Zaznamenané erozní události s vyznačenou mírou rizika příslušného SoLC (vysoké riziko červeně, střední riziko – žlutě, menší riziko – zeleně, události mimo SoLC – bíle)
Fig. 6. Recorded erosion events with the risk level of the respective SoLC indicated (high risk in red, medium risk in yellow, reduced risk in green, events outside the SoLC in white)



Obr. 7. Počet zaznamenaných erozních událostí v monitoringu zatříděných podle rizika SoLC
Fig. 7. Number of recorded erosion events in monitoring classified by SoLC risk

DISKUZE

Klasifikace povodí se častěji používá v rámci experimentální hydrologie. V rozšiřující se databázi CAMELS jsou povodí rovněž klasifikována. V těchto případech je seznam parametrů větší. Na rozdíl od zde prezentovaného výběru parametrů je rozšířen o hydrologické údaje dlouhodobých bilancí a parametrů, jež ovlivňují spíše dlouhodobé odtoky a další složky bilance [6]. Ve většině případů jde také o větší povodí. Dlouhodobé řady pozorování na malých povodích jsou významně méně časté než na větších povodích. Zde představená malá povodí přinášejí do klasického členění informaci o horních neprůtočných povodích. Zároveň jsou tato horní povodí klasifikována podle klíčových charakteristik ovlivňujících rychlou složku odtoku.

Pro vytváření hranic povodí a jejich vlastností byla použita vstupní data s různým prostorovým rozlišením. Vymezení hranic povodí bylo vytvořeno na základě modelu terénu v rozlišení 5 × 5 m, který je dostatečně podrobný i pro vymezení malých povodí v uvažované velikostní kategorii 005. Na základě modelu terénu pak byly odvozeny další morfologické charakteristiky ve stejném rozlišení. Při použití metody D8 v nižším rozlišení by mohlo dojít k ovlivnění vytváření hranic povodí, především u nejmenší kategorie.

Parametry, které vstupují do clustrové analýzy, se z hlediska rozdělení hodnot mezi kategoriemi významně neliší. Menší povodí jsou zároveň součástí větších povodí a společně vytvářejí SoLC, kde je zastoupeno alespoň 20 % počtu povodí z každé kategorie. Celková plocha horních povodí obsažených v SoLC je 63 000 km^2, což tvoří cca 80 % plochy ČR (78 000 km^2).

Z uvažovaných 28 parametrů je vzájemně korelováno několik. První skupinou (A, viz *obr. 2*) vzájemně korelujících parametrů jsou geometrické parametry povodí (velikost, plocha, délka odtokové dráhy, akumulace odtoku) s T_{lag}. Tvarové koeficienty (skupina B) jsou provázané ve vzájemné korelaci se SND a délkou odtokových drah mimo vodní tok. Z této skupiny jsou nejméně vzájemně provázané parametry SND a α. Další významnou skupinou (C) jsou vzájemně korelující parametry popisující sklonové poměry povodí, sklony vodních toků, nadmořskou výšku ve vazbě na využití území a půdní charakteristiky CN_M. Tato vazba odpovídá využití území v horských, většinou sklonitějších oblastech, jež jsou převážně zalesněná. Samostatnou skupinou parametrů jsou pak srážky (D), které mají vzájemně silnou vazbu. S ostatními parametry významnou vazbu nevykazují.

V malých zdrojových povodích jsou klíčovými z hlediska odezvy a případně z hlediska rizika zvýšených průtoků především krátkodobé deště. Vznik povodně a možného ohrožení je kombinací aktuálních podmínek povodí a průběhu příčinných srážek. Zejména krátkodobé přívalové deště jsou obtížně předpověditelné. Nicméně platí, že dvě rozdílně zatříděná povodí, která budou mít stejný počáteční stav a budou zatížena shodnými srážkami, budou mít rozdílnou reakci na příčinné srážky. Zatřídění povodí podle parametrů má praktický dopad na možnou prioritizaci z hlediska realizace opatření.

Následná shluková analýza povodí z hlediska jejich hydrologické odezvy ukazuje, že podle vybraných parametrů existuje základní rozdělení povodí do dvou skupin, v nichž se postupně oddělují kategorie A2 a B2, které spadají svými parametry do skupiny s rizikem ohrožení zvýšeným odtokem z přívalových dešťů. Především z těchto dvou skupin se pak odděluje riziková skupina C. Samostatně vytvořená skupina D vzniká z dříve vytvořených skupin A a B a vydělují se v ní povodí s nejnižším rizikem z hlediska ohroženosti. Vytvoření dvou clusterů C1 a C2 ze skupiny C a částečně ze skupiny A2 při celkovém počtu clusterů osm již nepřináší nové informace z hlediska možné ohroženosti. Pro klasifikaci SHC z hlediska jejich potenciálního ohrožení je proto vhodné zatřídění do sedmi clusterů.

Shlukům malých povodí byla přiřazena hodnota míry rizika v pětistupňové škále. Při rozdělení do sedmi clusterů je nejnižší riziko ve skupině A12. Spolu s D spadá do kategorie „menšího rizika", nicméně je na hranici hodnot pro zařazení do kategorie „nízké". Střední riziko mají skupiny A11, B1 a B3. Vysoké riziko A2 a C, kde u A2 je riziko nejvyšší ze všech skupin a C je na hranici pro zařazení do skupiny „zvýšené riziko".

Určitou validaci výsledného rizika lze provést porovnáním umístění skutečných pozorovaných erozních událostí a hranic výsledných SHC. Výsledek ukazuje, že více než polovina zaznamenaných událostí je ve třídě s vysokou mírou rizika. Necelých 15 % je ve třídách středního a menšího rizika a 20 % zaznamenaných událostí je na pozemcích mimo SoLC, tedy v mezipovodích.

ZÁVĚR

Představené odvození a následná klasifikace SHC (Small Headwater Catchments – malých zdrojových povodí) z pohledu míry ohroženosti přinášejí pohled na jejich pravděpodobnou hydrologickou odpověď. Lze říci, že do počtu pěti clusterů je zachováno primární rozdělení do dvou skupin A a B, které vznikají již při vytváření prvních dvou clusterů. V obou se postupně tvoří dvě skupiny, jež jsou spíše rizikové. Za dostatečně vysvětlující klasifikaci SHC můžeme považovat sedm clusterů, kdy vznikne jak skupina velmi málo ohrožená (D), a to z prvků skupin A i B, tak skupina C – velmi ohrožená vymezením ze skupin A2 a B2. Při sedmi clusterech z plochy ČR je tímto přístupem hodnoceno 28,5 % plochy jako rizikové, 29,4 % plochy se středním rizikem, 22 % je s podprůměrným rizikem, 20 % plochy území ČR pak není hodnoceno – nespadá do kategorie SHC.

V ČR pokrývají zdrojová povodí významnou část území. Při zvolené hranici do 5 km^2 tvoří SoLC (Set of Largest Catchments – skupina největších povodí) cca 80 % území ČR. SHC jsou prostorem pro primární akumulaci srážkových vod. Zároveň jsou tato povodí nejvíce zasažena rychlým odtokem, což následně snižuje dostupnost vody v jejich ploše. Klasifikace malých zdrojových povodí z hlediska potenciálu ohrožení přívalovými dešti je jedním z možných pohledů. Dalším využitím prostorového vymezení těchto povodí může být následná klasifikace např. z pohledu dostupnosti vody pro závlahy či z pohledu aplikace dalších adaptačních opatření na očekávanou změnu klimatu.

V rámci ČR je možné považovat za výrazněji ohrožené oblasti zemědělsky využívané části jižní Moravy, západní část Českomoravské vrchoviny a severozápad Čech. V těchto oblastech je také typické střídání povodí s vysokým rizikem a menším rizikem. Oblast jižní Moravy a západních Čech je typická zemědělsky využívaná krajina. Oblasti se středním ohrožením jsou převážně horské (Šumava, Krkonoše, Jizerské hory, Jeseníky), které jsou charakteristické zvýšenými srážkovými úhrny, jejichž dopad je snižován zvýšeným zalesněním. V této skupině jsou rovněž Beskydy a severní Morava. Krušné hory spadají do oblasti s menším rizikem, což je dáno menšími srážkovými úhrny. Mezi oblasti s menším rizikem patří podhorské oblasti s výjimkou Podorlicka a jihozápadního Plzeňska, jež spadají do oblastí se zvýšeným rizikem. Největší oblastí povodí s menším rizikem je Polabská nížina, částečně Třeboňsko a dále pahorkatiny Brd a západních Čech.

Odvozené hranice malých povodí jsou dostupné formou webové služby na portálu rain.fsv.cvut.cz.

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory projektu Ministerstva zemědělství „Předchozí nasycenost a návrhové srážkové intenzity jako faktory odtokové odezvy na malých povodích" (QK1910029) a Technologické agentury ČR „Využití dat dálkového průzkumu Země pro posouzení negativních dopadů přívalových srážek" (SS1020366).

Literatura

[1] STROUHAL, L., KAVKA, P., WEYSKRABOVÁ, L., PAVEL, M. Classification of Small Watersheds in Czech Republic for Hydrological Modelling. *The International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM (Survey, Geology, Ecology and Management)*. 2017, 17(31), s. 121–128. Dostupné z: doi: 10.5593/SGEM2017/31/S12.016

[2] STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Eos Transactions American Geophysical Union*. 1957, 38(6), s. 913–920. Dostupné z: doi: 10.1029/TR038I006P00913

[3] GUMBO, A. D., KAPANGAZIWIRI, E., CHIKOORE, H., PIENAAR, H. Assessing Water Resources Availability in Headwater Sub-Catchments of Pungwe River Basin in a Changing Climate. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 2021, 35, 100827. Dostupné z: doi: 10.1016/j.ejrh.2021.100827

[4] KŘEČEK, J., HAIGH, M. J. Reviewing the Contexts of Headwater Control. *Environmental Reconstruction in Headwater Areas*. 2000, s. 9–24. Dostupné z: doi: 10.1007/978-94-011-4134-5_2

[5] WAGENER, T., SIVAPALAN, M., TROCH, P., WOODS, R. Catchment Classification and Hydrologic Similarity," *Geography Compass*. 2007, 1(4), s. 901–931. Dostupné z: doi: 10.1111/J.1749-8198.2007.00039.X

[6] ADDOR, N., NEWMAN, A. J., MIZUKAMI, N., CLARK, M. P. The CAMELS Data Set: Catchment Attributes and Meteorology for Large-Sample Studies. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2017, 21(10), s. 5293–5313. Dostupné z: doi: 10.5194/HESS-21-5293-2017

[7] OULEHLE, F. a kol. The GEOMON Network of Czech Catchments Provides Long-Term Insights into Altered Forest Biogeochemistry: From Acid Atmospheric Deposition to Climate Change. *Hydrological Processes*. 2021, 35(5), e14204. Dostupné z: doi: 10.1002/HYP.14204

[8] MISHRA, S. K., SINGH, V. P. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS CN) Methodology*, vol. 42. Dordrecht: Springer Netherlands, 2003. Dostupné z: doi: 10.1007/978-94-017-0147-1

[9] CALETKA, M., MICHALKOVÁ, M. Š., KARÁSEK, P., FUČÍK, P. Improvement of SCS-CN Initial Abstraction Coefficient in the Czech Republic: A Study of Five Catchments. *Water*. 2020, 12(7), s. 1964. Dostupné z: doi: 10.3390/W12071964

[10] SOULIS, K. X. Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Method: Current Applications, Remaining Challenges, and Future Perspectives. *Water*. 2021, 13(2), s. 192. Dostupné z: doi: 10.3390/W13020192

[11] STROUHAL, L., KAVKA, P. Hydrologické skupiny půd – metodiky a datové podklady (1. část). *Vodní hospodářství*. 2022, 72(6), s. 4–10 [on-line]. Dostupné z: https://vodnihospodarstvi.cz/

[12] STROUHAL, L., KAVKA, P. Hydrologické skupiny půd – rozevřené nůžky hydrologických výpočtů (2. část). *Vodní hospodářství*. 2022, 72(9), s. 7–12 [on-line]. Dostupné z: https://vodnihospodarstvi.cz

[13] KAVKA, P., JEŘÁBEK, J., LANDA, M. SMODERP2D-Sheet and Rill Runoff Routine Validation at Three Scale Levels. *Water*. 2022, 14(3), s. 327. Dostupné z: doi: 10.3390/W14030327

[14] von WERNER, M. *Erosion-3D User manual. Ver. 3.1.1*. Berlin, 2006.

[15] KAŠPAR, M., BLIŽŇÁK, V., HULEC, F., MÜLLER, M. High-Resolution Spatial Analysis of the Variability in the Subdaily Rainfall Time Structure. *Atmospheric Research*. 2021, 248, 105202. Dostupné z: doi: 10.1016/j.atmosres.2020.105202

[16] CHEN, C. L. Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formulas. *Journal of Hydraulic Engineering*. 1983, 109(12), s. 1603–1621. Dostupné z: doi: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1983)109:12(1603)

[17] COURTY, L. G., WILBY, R. L., HILLIER, J. K., SLATER, L. J. Intensity-Duration-Frequency Curves at the Global Scale. *Environmental Research Letters*. 2019, 14(8), 084045. Dostupné z: doi: 10.1088/1748-9326/ab370a.

[18] MÜLLER, M., BLIŽŇÁK, V., KAŠPAR, M. Analysis of Rainfall Time Structures on a Scale of Hours. *Atmospheric Research*. 2018, 211, s. 38–51. Dostupné z: doi: 10.1016/j.atmosres.2018.04.015

[19] BLIŽŇÁK, V., KAŠPAR, M., MÜLLER, M. Radar-Based Summer Precipitation Climatology of the Czech Republic. *International Journal Climatology*. 2018, 38(2), s. 677–691. Dostupné z: doi: 10.1002/joc.5202

[20] BEVEN, K., HEATHWAITE, L., HAYGARTH, P., WALLING, D., BRAZIER, R., WITHERS, P. On the Concept of Delivery of Sediment and Nutrients to Stream Channels. *Hydrological Processes*. 2005, 19(2), s. 551–556. Dostupné z: doi: 10.1002/hyp.5796

[21] DRBAL, K., DUMBROVSKÝ, M. *Metodický návod pro identifikaci KB. Ministerstvo životního prostředí ČR* (vid. 20. říjen 2022). Praha: MZE, 2009. Dostupné z: http://www.povis.cz/mzp/KB_metodicky_navod_identifikace.pdf

[22] ŽÍŽALA, D., KAPIČKA, J., NOVOTNÝ, I. Monitoring Soil Erosion of Agricultural Land in Czech Rebublic and Data Assessment of Erosion Events from Spatial Database. In: *Proceedings from International Conference Soil – The Non-Renewable Environmental Resource*, 2016, s. 354–370.

[23] SEDLÁK, K. *TNV – úpravy potoků*. 2010 [on-line]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/104408/TNV_75_2102.pdf

[24] GRAVELIUS, H. *Compendium of Hydrology*. 1914.

[25] MISHRA, S. K., SINGH, V. P. SCS-CN Method. In: *Soil Conservation Service Curve Number (SCN-CN) Methology*. Springer-Science+Business Media, B. V., 2003, s. 84–146. Dostupné z: doi: 10.1007/978-94-017-0147-1_2

[26] TE CHOW, V. a kol. *Applied Hydrology*, 1988.

[27] DRBAL, K. Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 2016, 58(6), s. 4. Dostupné z: doi: 10.46555/VTEI.2016.05.001

[28] KAVKA, P. Spatial Delimitation of Small Headwater Catchments and their Classification in Terms of Runoff Risks. *Water*. 2021, 13(23), 3458. Dostupné z: doi: 10.3390/W13233458

[29] KAPIČKA, J., DANIEL, Ž., LANG, J., NOVOTNÝ, I. *Monitoring eroze zemědělske půdy – Závěrečná zpráva*, Praha, 2021.

[30] *Categorisation of Small Source Catchments* [vid. 2. listopad 2022]. Dostupné z: https://rain1.fsv.cvut.cz/?PROJECT=rain/small_catchment/webapp

Autoři

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

Ing. Lenka Weyskrabová, Ph.D.[1]
✉ lenka.weyskrabova@fsv.cvut.cz
ORCID: 0000-0002-7735-3192

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

Ing. Jan-František Kubát[1]
✉ jan-frantisek.kubat@fsv.cvut.cz
ORCID: 0000-0001-9160-3277

Prof. Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.[3]
✉ jiri.cajthaml@fsv.cvut.cz
ORCID: 0000-0002-0325-8408

[1] ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Praha
[2] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha
[3] ČVUT, Fakulta stavební, Katedra geomatiky, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022.11.001

SMALL HEADWATER CATCHMENTS — SPATIAL DELIMITATION AND THEIR CLASSIFICATION IN TERMS OF RUNOFF RISKS

KAVKA, P.[1]; WEYSKRABOVÁ, L.[1]; STROUHAL, L.[1,2]; KUBÁT, J.-F.[1]; CAJTHAML, J.[3]

[1] CTU – Faculty of Civil Engineering, Department of Landscape Water Conservation, Prague
[2] T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague
[3] CTU – Faculty of Civil Engineering, Department of Geomatics, Prague

Keywords: hydrologic response — small headwater catchment — first order catchment — direct runoff — erosion event monitoring

The article presents an aerial delineation of small headwater catchments up to 5 km^2 on the territory of the Czech Republic. These catchments were categorised in terms of the characteristics affecting the formation of direct runoff. Runoff generated by intense, short precipitation events that are often convective in nature may be very dynamic and plays a key role in the field of flood protection. The overall area of the catchments sizing up to 5 km^2 covers 80 %

of the territory of the Czech Republic. A new database of these small headwater catchments can serve as a complement to the standard hierarchical classification of catchments currently in use by the hydrological community.

The delimited catchments were classified according to a number of characteristics related to the risk of rapid surface runoff. A cluster analysis was performed in order to classify these catchments into the risk classes. The catchment characteristics that influence the hydrological response were included in the analysis, such as six-hour rainfall totals (rain.fsv.cvut.cz), the hydro-morphological characteristics (derived from DMR4G), the land cover and the soils' hydrological characteristics.

No observed runoff data were available to verify the classification credibility. However, since the soil erosion is one of the common impacts of rapid runoff. The soil erosion monitoring database (https://me.vumop.cz) contains more than two thousand records for the Czech Republic territory. These data were used to compare the occurrence of erosion events in relation to watershed categorization. More than half of the identified events occur in the risk group. Quarter of the identified events are out of SoLC.

Foto: 123rf.com

Modelování dělení průtoků v nátokových galeriích

JIŘÍ PROCHÁZKA

Klíčová slova: dělení průtoků — CFD — Flow 3D — nátokové galerie

ABSTRAKT

Hlavním cílem práce byla optimalizace objektů sloužící k rozdělení průtoků v nátokových galeriích, které se využívají nejen v úpravnách vod, ale i v čistírnách odpadních vod (ČOV). Působením v oblasti problematiky ČOV se zjistilo, že se v České republice a ani ve světě nevyskytují optimalizované objekty pro rovnoměrné rozdělení průtoků na libovolné množství nátokových větví do nádrží o stejném průtoku. V současné době jsou ve většině neregulovaných objektů mezi jednotlivými nátokovými větvemi k nádržím značné rozdíly. U regulovaných objektů je nutné výtokové otvory regulovat při každé změně průtoku a u změn množství nátoků do nádrží (např. z důvodu odstavení nádrže) manuálně doupravit každý výtokový otvor (např. pomocí stavítka) tak, aby všechny nátoky do nádrží měly stejný průtok. V modernějších případech je stavítko osazeno elektromotorkem pro změnu polohy a sondou snímající výšku hladiny. Centrální jednotka následně dopočítává průtok v jednotlivých nátocích do nádrží a upravuje polohu stavítek tak, aby bylo všude dosaženo stejných průtoků. Cílem výzkumu bylo optimalizovat rozdělovací objekt tak, aby nátoky do nádrží dosahovaly u průtoku podobných hodnot jak při změně přítoku na rozdělovací objekt, tak i při změně množství nátokových větví do nádrží, a to bez významné regulace na rozdělovacím objektu. Aby byl výzkum snadno aplikovatelný na co největší množství rozdělovacích objektů, byly k řešení problematiky vybrány nejčastěji používané objekty pro dělení průtoků (kašnový přeliv, žlab s výtokovými otvory osazenými stavítkem a sondou pro monitoring výšky hladiny a další). Na vybraných objektech různých variant a tvarů byly simulovány různé průtokové stavy, po jejichž analýze byly objekty optimalizovány tak, aby bylo dosaženo co nejpodobnějších průtoků na nátocích do jednotlivých nádrží.

ÚVOD

Tento článek představuje CFD (Computational Fluid Dynamics) model vybraného objektu rozdělující průtoky na ČOV. Tento objekt byl vybrán, protože patří k nejpoužívanějším na ČOV. Objekt rozděluje průtok z provzdušňovacích nádrží do čtyř nádrží. Pozorování během provozu ukázala, že průtok není rozdělen rovnoměrně – mezi nátoky do jednotlivých nádrží jsou značné rozdíly.

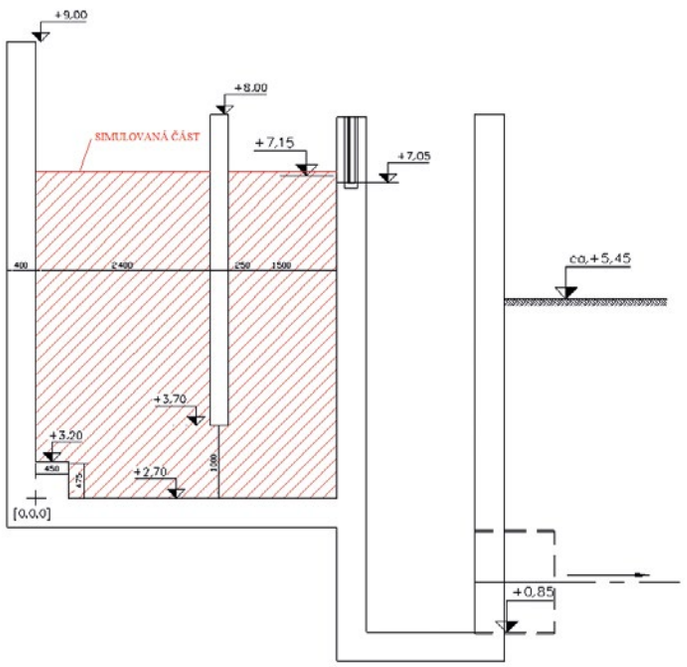
Na modelu bylo simulováno jednofázové proudění s čistou vodou. Vzduchové bubliny ani vločky kalu nebyly zahrnuty. Analýza citlivosti ukázala určitý vliv charakteristik turbulence na přítoku na konečné výsledky. Vzhledem k tomu, že přítok pochází přímo z provzdušňovací nádrže s jemnobublinnou aerací, je určení turbulence velmi obtížné. Všechny výsledky pocházejí z nekalibrovaného modelu.

Jelikož průtoky, které se mají simulovat, nebyly výslovně specifikovány, byly zvoleny tyto průtoky:

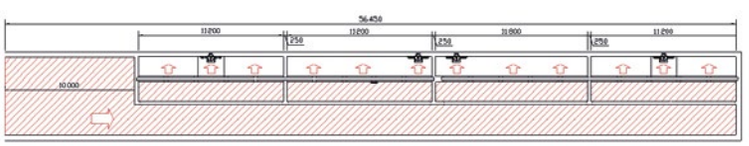
Tab. 1. Simulované průtoky
Tab. 1. Simulated flows

Popis	$0{,}75*Q_{24}$	Q_{24}	$0{,}5*Q_{max}$	Q_{max}
Průtok [l/s]	377,2	565,8	3 000	6 000

Geometrie modelu byla nastavena podle dostupných výkresů nejvyužívanějších objektů na ČOV. Byla simulována 10 m dlouhá část provzdušňovací nádrže spolu s konstrukcí rozdělující proudění. To proto, aby bylo dosaženo plně rozvinutého proudového pole na začátku struktury rozdělující proudění [1].



Obr. 1. CFD model – příčný řez – simulovaná část vyznačena červeně
Fig. 1. CFD model – cross section – simulated part marked in red



Obr. 2. CFD model – půdorys – simulovaná část vyznačena červeně
Fig. 2. CFD model – floor plan – simulated part marked in red

METODIKA

Před každou simulací je důležité obecně pochopit, jak konstrukce funguje, a stanovit zde probíhající nejdůležitější jevy. Objekty rozdělující proudění jsou obvykle založeny na výtokových otvorech. Přepadová rychlost výtokového otvoru je dána hydraulickým převýšením před ním. Mají-li tedy otvory stejné délky stejnou přelivnou výšku, musí být průtok stejný. I malá změna výšky hladiny však způsobuje velké rozdíly mezi průtoky.

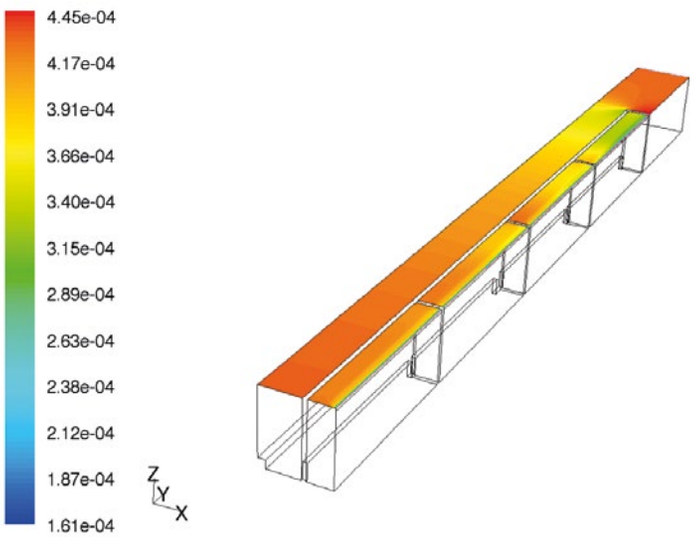
To je problém tohoto objektu. Koryto, které rozvádí průtok do čtyř výtokových otvorů, je poměrně dlouhé a vytvoří se podél něj linie zpětného vzdutí. Hladina vody v objektu tedy nebude konstantní. Otvory na dně, jež odvádějí vodu do zdrží, jsou poměrně velké, a proto nepřispívají k rovnoměrnému rozdělení průtoku.

Průběh hladiny v objektu

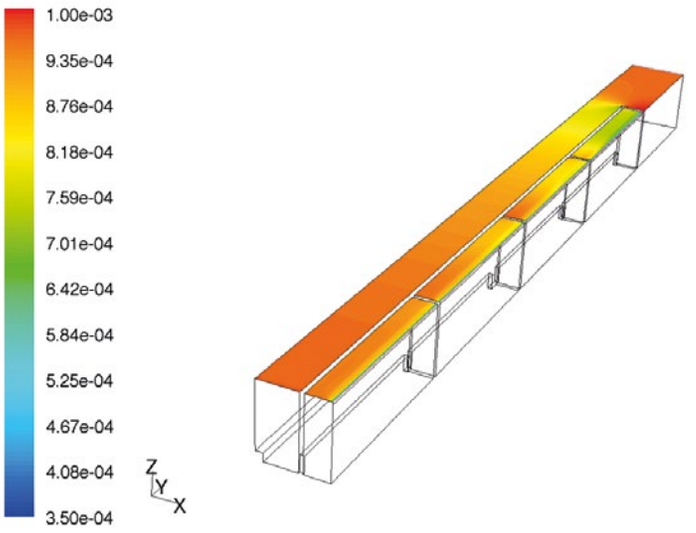
Byly provedeny čtyři různé simulace rozdělovacího objektu s různými průtoky. Výsledky ukazují, že výše uvedené úvahy jsou správné. Na začátku koryta dochází k poklesu hladiny vody. Jak voda proudí z provzdušňovací nádrže do úzkého koryta rozdělovacího objektu, zvyšuje se rychlostní převýšení, a proto musí hladina vody klesat. Dále podél koryta část vody protéká bočními otvory do nádrží, rychlost proudění se snižuje a hladina vody se zvyšuje [2].

Model to ukazuje při všech průtocích. Při nízkých průtocích (377 a 566 l/s) je rozdíl tak malý, že tento efekt je pouze teoretický a ve skutečnosti je významnější rozdíl v hladině vody způsobený jinými faktory (vlny, vítr). Při vysokých průtocích (3 000 a 6 000 l/s) je však tento efekt poměrně významný. To ilustrují následující obrázky (*obr. 3–7*). Barevná škála ukazuje rozdíl mezi aproximací konstantní hladiny a simulovanou hladinou vody v metrech.

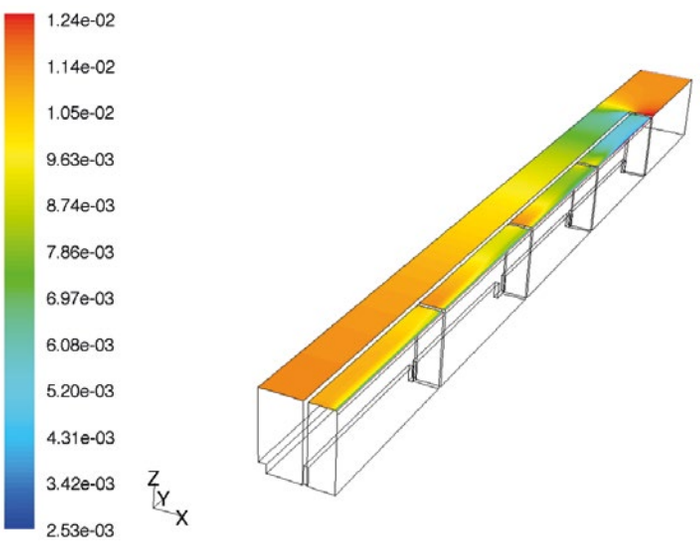
Všechny popsané efekty jsou ještě lépe vidět na *obr. 7*. Výška hladiny vody je zde vyjádřena v metrech.



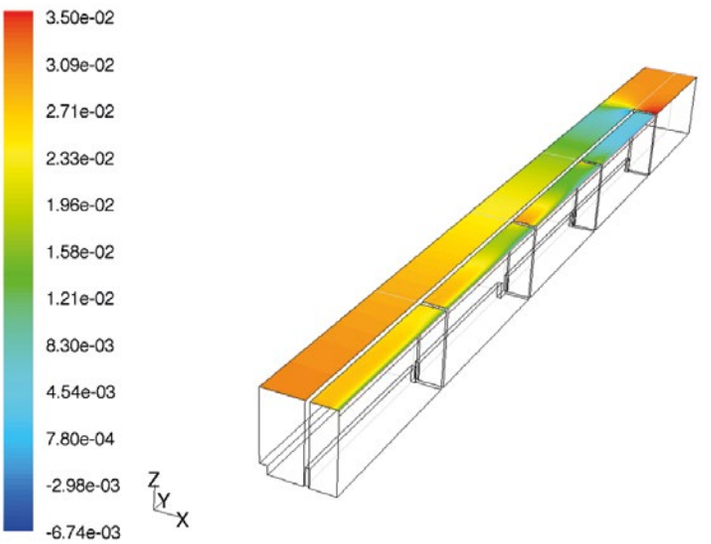
Obr. 3. Simulovaný rozdíl hladin Q = 377 l/s
Fig. 3. Simulated water level difference Q = 377 l/s



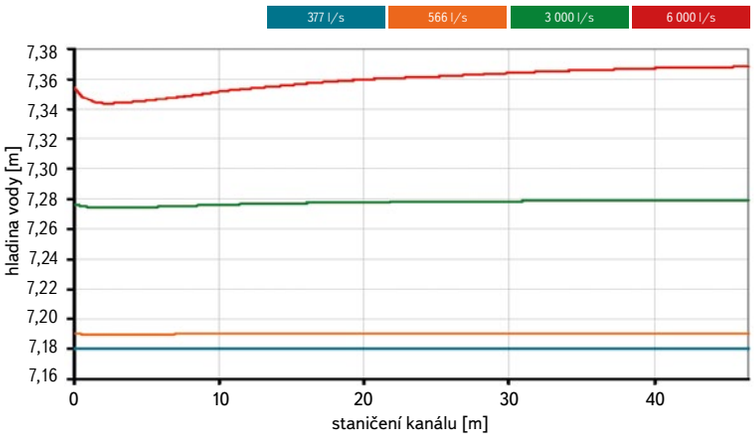
Obr. 4. Simulovaný rozdíl hladin Q = 566 l/s
Fig. 4. Simulated water level difference Q = 566 l/s



Obr. 5. Simulovaný rozdíl hladin Q = 3 000 l/s
Fig. 5. Simulated water level difference Q = 3 000 l/s



Obr. 6. Simulovaný rozdíl hladin Q = 6 000 l/s
Fig. 6. Simulated water level difference Q = 6 000 l/s



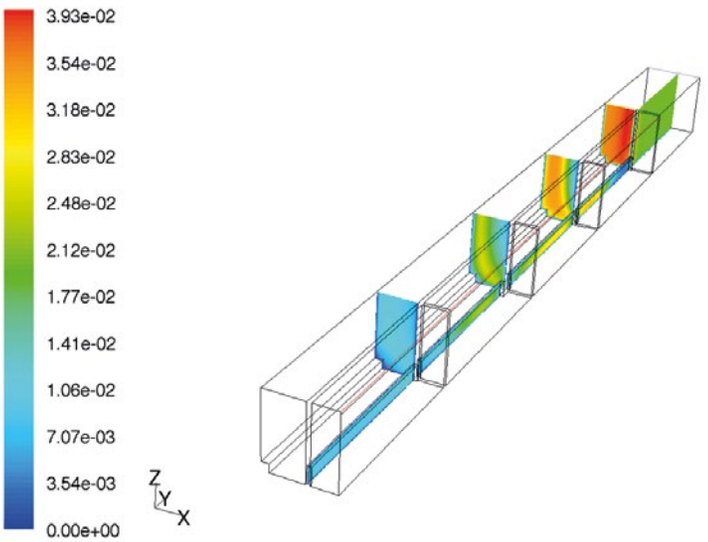
Obr. 7. Simulovaná hladina vody v průtočném rozdělovacím objektu
Fig. 7. Simulated water level in the flow distribution object

VÝSLEDKY

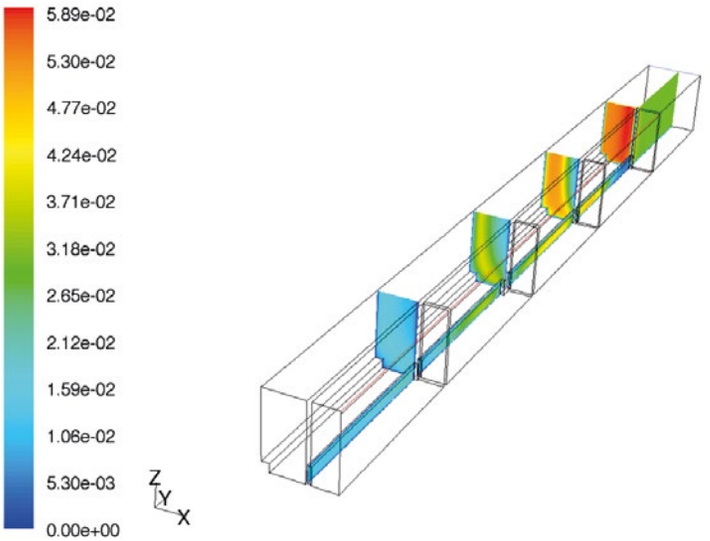
Následující obrázky ukazují obrysy simulovaných rychlostí proudění v příčných řezech koryta a v otvorech, což může poskytnout určitou představu o obecném průběhu proudění.

Na začátku koryta dochází k poměrně výraznému zúžení proudění. Znamená to, že první polovina prvního otvoru není hydraulicky plně využita. To je opět důležitější za podmínek vysokého průtoku. Tento efekt by mohl být ve skutečnosti méně významný než v modelu, protože v provzdušňovací nádrži je vysoká turbulence, již je v modelu obtížné posoudit.

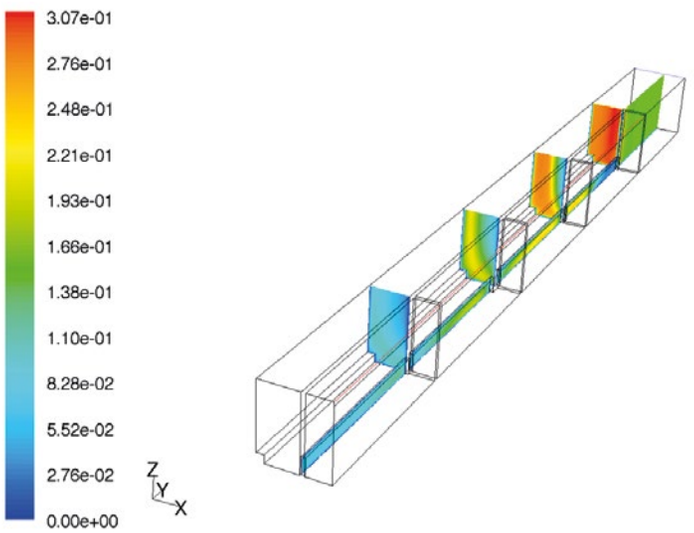
Barvy znázorňují celkovou velikost rychlosti. Proto je rychlost v posledním otvoru nejnižší. Složka „y" rychlosti je v prvních třech otvorech poměrně významná [3].



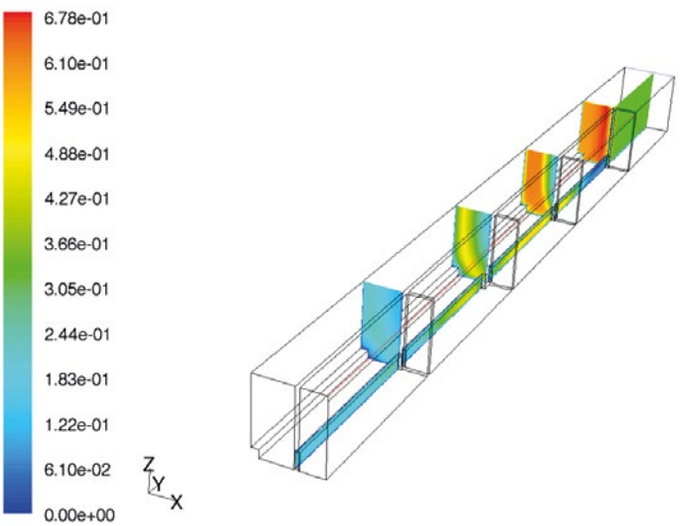
Obr. 8. Obrysy velikosti rychlosti proudění Q = 377 l/s
Fig. 8. Flow velocity contours Q = 377 l/s



Obr. 9. Obrysy velikosti rychlosti proudění Q = 566 l/s
Fig. 9. Flow velocity contours Q = 566 l/s



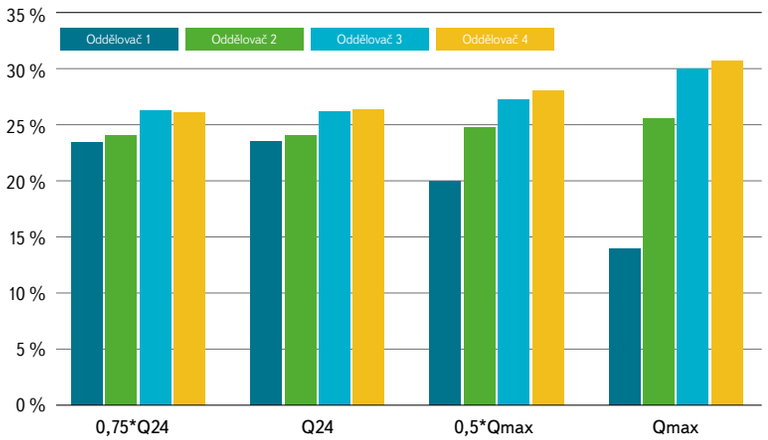
Obr. 10. Obrysy velikosti rychlosti proudění Q = 3 000 l/s
Fig. 10. Flow velocity contours Q = 3 000 l/s



Obr. 11. Obrysy velikosti rychlosti proudění Q = 6 000 l/s
Fig. 11. Flow velocity contours Q = 6 000 l/s

Rozdělení průtoků

Následující tabulka a diagram ukazují rozložení průtoku při různých podmínkách proudění. Protože nebyly k dispozici žádné naměřené údaje, nešlo model kalibrovat. Citlivost průtoků na výšku přepadu byla upravena pouze podle teoretické křivky průtoku. Předběžné výsledky ukázaly podobné rozložení průtoku za všech průtokových podmínek, ale vyšlo najevo, že za nízkých průtoků jsou přepady příliš citlivé na výšku přepadu. Konečné výsledky po odpovídající úpravě této citlivosti jsou uvedeny v *tab. 2*.



Obr. 12. Rozdělení průtoků
Fig. 12. Flow distribution

Výsledky ukazují, že rozdělení průtoků je při nízkých hodnotách rozloženo poměrně rovnoměrně, avšak se zvyšujícím se průtokem nerovnoměrnost rozložení vzrůstá, což je způsobeno výše popsanými rozdíly v hladině vody [4].

DISKUZE

Jelikož výsledky ukázaly, že rozložení průtoku není závislé na samotném průtoku, bylo navrženo vyřešit problém úpravou délek přepadů.

Zavedení přepážek napříč korytem se také nejeví jako dobrý nápad. Koryto je samo o sobě poměrně úzké a zavedení jakýchkoli větších překážek v něm by snížilo jeho hydraulickou kapacitu a problém spíše zhoršilo.

Nejlepším řešením je zřejmě úprava velikosti otvorů na dně koryta pro rozdělení průtoku. Menší otvory na konci koryta způsobí hydraulickou ztrátu, která bude kompenzovat vyšší hladinu vody při vysokých průtocích. Za nízkých průtoků bude hydraulická ztráta malá a rozdělení průtoku nebude ovlivněno.

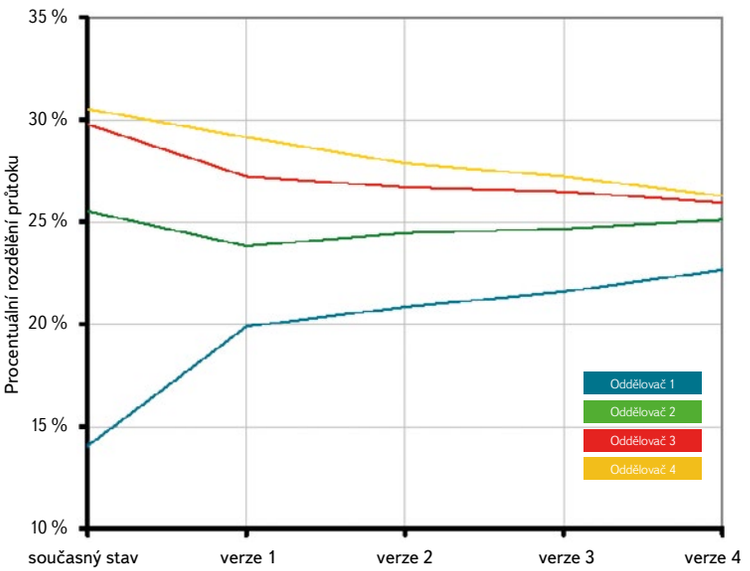
Nastavení velikosti spodních otvorů

Bylo provedeno několik simulací s cílem najít nejlepší možnou kombinaci velikostí otvorů. Optimalizace vycházela z maximálního průtoku (6 000 l/s) a pro potvrzení dobré funkce konstrukce při nízkém průtoku byl použit průtok 566 l/s.

Simulace byly prováděny iteračně. Nejprve byla velikost otvorů zmenšena na polovinu původní velikosti. Původní otvory byly velmi velké (rychlost 0,136 m/s při maximálním průtoku), a i když se jejich velikost zmenšila na polovinu, nezpůsobovaly velké energetické ztráty. Bylo simulováno proudění takto upravenou konstrukcí a získány průtoky do jednotlivých nádrží.

Proces optimalizace

Následující tabulky a grafy ukazují výsledky simulací výše uvedených verzí a ilustrují iterační proces.



Obr. 13. Ukázka iteračního procesu
Fig. 13. Example of iterative process

Navrhované zlepšení

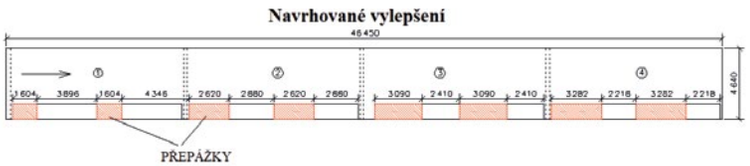
Navrhované zlepšení je znázorněno na následujícím nákresu (*obr. 14*). Červeně šrafované oblasti znázorňují umístění plechů, které uzavírají části otvorů. Při simulacích byly tyto přepážky umístěny na straně kanálu a byly zarovnány se stěnou kanálu.

Tab. 2. Rozdělení průtoků
Tab. 2. Flow distribution

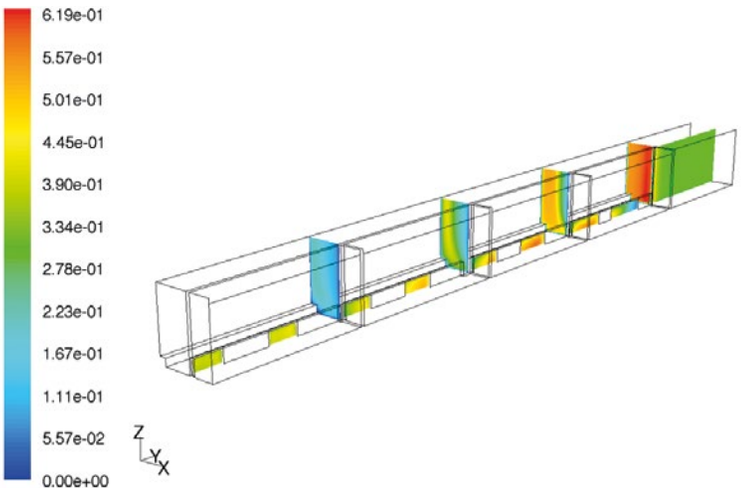
	$0{,}75*Q_{24}$		Q_{24}		$0{,}5*Q_{max}$		Q_{max}	
Nátok [l/s]	377,2		565,8		3 000		6 000	
Oddělovač 1	88,2	23,40 %	133,2	23,50 %	601,5	20,00 %	845,3	14,10 %
Oddělovač 2	90,6	24,00 %	136	24,00 %	742,1	24,70 %	1 530,5	25,50 %
Oddělovač 3	99,4	26,40 %	148,3	26,20 %	816,8	27,20 %	1 789,7	19,80 %
Oddělovač 4	98,9	26,20 %	148,8	26,30 %	839,9	28,00 %	1 835,4	30,60 %

Tab. 3. Porovnání různých fází iteračního procesu (Q_{max})
Tab. 3. Comparison of the different phases of the iterative process (Q_{max})

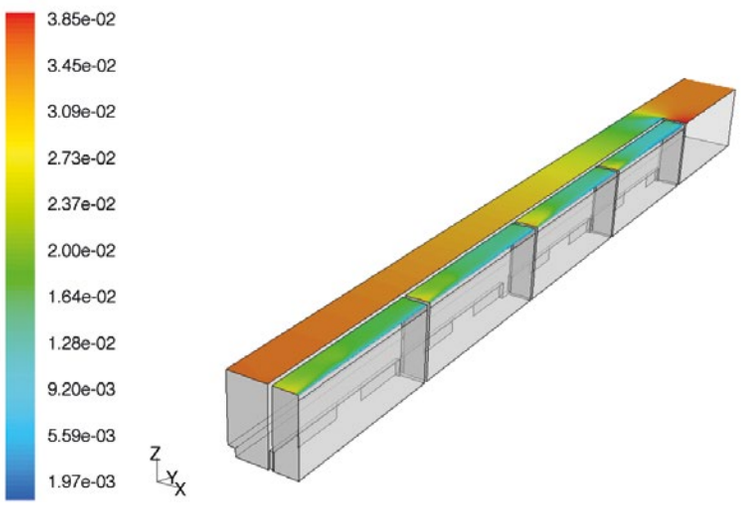
	Nátok [l/s]		Současný stav	Verze			
				1	2	3	4
Qmax	6 000	Oddělovač 1	14,10 %	19,90 %	20,90 %	21,60 %	22,60 %
		Oddělovač 2	25,50 %	23,80 %	24,50 %	24,70 %	25,10 %
		Oddělovač 3	29,80 %	27,20 %	26,70 %	26,40 %	26,00 %
		Oddělovač 4	30,60 %	29,10 %	27,90 %	27,20 %	26,30 %



Obr. 14. Konečné rozměry navrhovaných otvorů
Fig. 14. Final dimensions of the proposed openings



Obr. 15. Obrysy rychlostí průběhu proudění Q = 6 000 l/s
Fig. 15. Velocity contours of the flow pattern Q = 6 000 l/s



Obr. 16. Hladina vody v rozdělovacím objektu
Fig. 16. The water level in the distribution object

Princip funkce

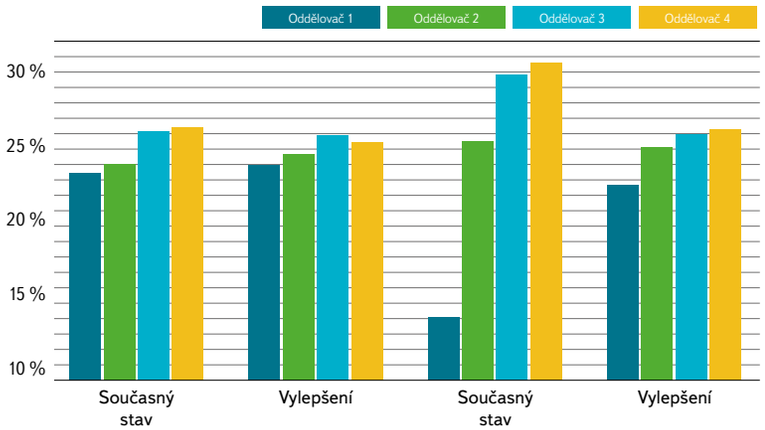
Obr. 16 znázorňuje funkci přepážek ve spodních otvorech. Přestože hladina vody podél koryta stoupá, hladiny vody v klidových komorách jsou téměř vyrovnané. Rozdíl mezi hladinami vody v korytě a v klidové komoře je způsoben hydraulickými ztrátami způsobenými přepážkami. Barvy na obrázku znázorňují rozdíl mezi aproximovanou konstantní hladinou vody a vypočtenou hladinou.

ZÁVĚR

Následující tabulka a diagram ukazují srovnání výsledků simulace pro současný stav a konečné navrhované zlepšení. Pro zlepšení byl zatím simulován pouze maximální průtok (Q_{max}) a průměrný denní průtok (Q_{24}). Z výsledkové tabulky je patrné, že navrhovaný stav rozdělovacího objektu splňuje podmínky pro rovnoměrné rozdělení průtoků, a cíle výzkumu tak byly naplněny. Vzhledem k tomu, že vybraný rozdělovací objekt je běžně používán v terénu, je možné výsledky výzkumu snadno aplikovat v praxi, a to na větším množství ČOV.

Tab. 4. Srovnání současného stavu a navrhovaného zlepšení
Tab. 4. Comparison of the current situation and proposed improvements

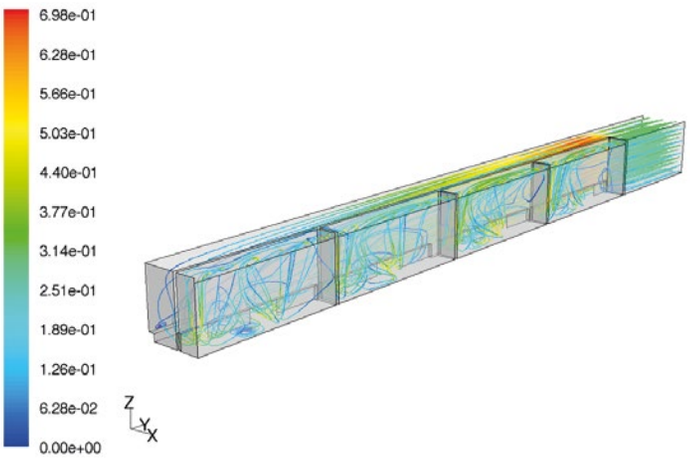
			Oddělovač 1	Oddělovač 2	Oddělovač 3	Oddělovač 4
Q_{24}	566 l/s	Současný stav	133,0	135,8	148,3	148,9
			23,50 %	24,00 %	26,20 %	26,30 %
		Navrhovaný stav	135,5	139,9	146,5	144,0
			23,90 %	24,70 %	25,90 %	25,40 %
Q_{max}	6 000 l/s	Současný stav	845,3	1 530,5	1 789,7	1 834,4
			14,10 %	25,50 %	29,80 %	30,60 %
		Navrhovaný stav	1 358,7	1 507,1	1 558,1	1 576,1
			22,60 %	25,10 %	26,00 %	26,30 %



Obr. 17. Srovnání současného stavu a navrhovaného zlepšení
Fig. 17. Comparison of the current situation and proposed improvements

Další možná zlepšení

Toto vylepšení ukazuje, že je možné problém nerovnoměrného rozdělení průtoků omezit zavedením přepážek do otvorů, jejichž montáž je rychlá, jednoduchá a bez nutnosti stavebních úprav objektů. Další pozornost v případném navazujícím výzkumu by měla být věnována tvaru přepážek. Nelze totiž vyloučit, že některé sedimenty by se mohly hromadit v klidových zónách za těmito přepážkami a zejména v rozích (*obr. 18*), což by do budoucna mohlo způsobit problém se zanášením nátokových větví do nádrží sedimentem. Zanesením sedimentem pak bude s velkou pravděpodobností ovlivněna hydraulika rozdělovacího objektu tak, že dojde k opětovnému nerovnoměrnému rozdělení průtoků.



Obr. 18. Sediment se bude pravděpodobně hromadit v mrtvých zónách v rozích
Fig. 18. Sediment is likely to accumulate in dead zones in the corners

Poděkování

Tento článek byl podpořen grantem 3600.54.10/2021 „3D modelování vybraných variant dělení průtoků v nátokových galeriích".

Literatura

[1] HAVLÍK, V. a kol. *Matematické modelování neustáleného proudění. Ediční středisko ČVUT*. Praha: ČVUT, 1992. 223 s. ISBN 80-01-00764-2.

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

[3] KOLÁŘ, V. a kol. *Hydraulika*. Praha: STNL, 1983.

[4] MATTAS, D. *Výpočet průtoku v otevřených korytech*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., 2014. ISBN 978-80-87402-27-6.

[5] ČSN EN 16323 (750162). *Slovník technických termínů v oblasti odpadních vod.*

Autor

Ing. Jiří Procházka, Ph.D.
✉ jiri.prochazka@vuv.cz
ORCID: 0000-0002-3444-2347

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Příspěvek prošel lektorským řízením.

DOI: 10.46555/VTEI.2022.11.002

MODELLING FLOW SEPARATION IN INFLOW GALLERIES

PROCHÁZKA, J.

T. G. Masaryk Water Research Institute, Prague

Keywords: flow separation — CFD — Flow 3D — flow galleries

The main objective of the work was to optimize the objects used to distribute the flows in the inflow galleries, which are used not only in water treatment plants, but also in wastewater treatment plants. By working in the field of WWTP problems, it was found that there are no optimized objects in the Czech Republic or in the world for uniform distribution of flows to any number of inflow branches into tanks of the same flow rate. Currently, in most unregulated facilities, there are significant differences between the various inflow branches to the reservoirs. In regulated facilities, the outlets must be regulated at each change in flow rate and, for changes in the number of inflows to the tanks (e.g., due to tank shutdown), each outlet must be manually adjusted (e.g., using a sluice gate) so that all inflows to the tanks have the same flow rate. In more modern cases, the sluice is equipped with an electric motor for changing the position and a probe sensing the level. The central unit then calculates the flow rate in the individual tank inflows and adjusts the position of the sluice gates so that the same flow rate is achieved everywhere. The objective of the research was to optimize the distributing object so that the inflows to the reservoirs reach similar values for the flow rate when both the inflow to the distributing object and the number of inflow branches to the reservoirs are changed, without significant regulation at the distributing object. In order to make the research easily applicable to as many distribution objects as possible, the most commonly used flow splitting objects (fountain spillway, flume with outlets fitted with a sluice gate and probe for level monitoring, etc.) were selected to address the issue. Different flow conditions were simulated on the selected objects (in different variants and shapes), after the analysis of which the objects were optimized in order to achieve the most similar flows at the inflows to the individual reservoirs.

Foto: 123rf.com

Autoři VTEI

Ing. Radoslav Kandrík, Ph.D.

Slovenský hydrometeorologický ústav,
Odbor podzemní vody, Banská Bystrica

✉ radoslav.kandrik@shmu.sk
www.shmu.sk

Ing. Radoslav Kandrík, Ph.D., vystudoval Fakultu ekologie a environmentalistiky – obor Aplikovaná ekologie na Technické univerzitě ve Zvolenu. Doktorandské studium absolvoval na téže univerzitě, kde se věnoval stanovení kritických zátěží imisí pro lesní ekosystémy. V letech 2014–2016 působil na Katedře přírodního prostředí, kde se zabýval měřicí technikou, prací v terénu a GIS podporou. Od roku 2018 je zaměstnancem Slovenského hydrometeorologického ústavu jako hydrolog pro podzemní vody.

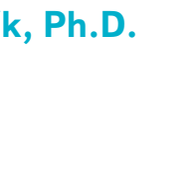
Ing. Petr Kavka, Ph.D.

ČVUT, Praha

✉ petr.kavka@fsv.cvut.cz
www.fsv.cvut.cz

Ing. Petr Kavka, Ph.D., se stal zaměstnancem Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulty stavební, ČVUT v Praze v roce 2009 po ukončení doktorského studia na stejnojmenné katedře. V letech 2007 až 2008 se zúčastnil jako civilní expert Ministerstva zahraničí mise Provinčního rekonstrukčního týmu v Afghánské provincii Lógar. V současnosti se věnuje výzkumu povrchových procesů z extrémních srážkových událostí a jejich dopadu na krajinu či dopravní infrastrukturu. V rámci experimentálního výzkumu se zabývá povrchovým odtokem a erozí pomocí dešťových simulátorů a bezpilotních prostředků i hydrologií v měřítku malých povodí. Rovněž se věnuje vývoji matematického modelu SMODERP pro popis těchto procesů se zacílením na aplikaci pro inženýrskou praxi a odvozování návrhových dat pro hydrologické modelování.

Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.

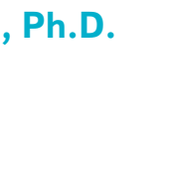


VÚV TGM, v. v. i., Ostrava

✉ tomas.micanik@vuv.cz
www.vuv.cz

Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D., vystudoval Vysokou školu chemicko-technologickou v Pardubicích, obor makromolekulární látky. Do ostravské pobočky VÚV TGM, v. v. i., nastoupil v roce 1993 jako pracovník hydrochemické laboratoře (organická stopová analýza) a řešitel výzkumných projektů. Od roku 1997 je vedoucím oddělení ochrany jakosti vod. Zaměřuje se na problematiku nebezpečných látek v hydrosféře, metodickou a legislativní činnost pro tvorbu vodní politiky. V období 2003–2008 byl členem pracovních skupin Mezinárodní komise pro ochranu Odry před znečištěním se sídlem ve Wroclawi (Monitoring – fyzikálně-chemické aspekty, River basin management plan). Je řešitelem výzkumných projektů zaměřených na zjišťování a hodnocení emisí emergentních polutantů do vodního prostředí a podílí se na přípravě metodických postupů v oblasti hodnocení stavu vod a na přípravě prováděcích právních předpisů a norem. V rámci expertní činnosti se věnuje posuzování vlivu vypouštění odpadních vod na kvalitu a stav povrchových vod včetně problematiky určení mísicí zóny.

Ing. Jiří Procházka, Ph.D.

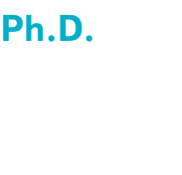


VÚV TGM v. v. i., Praha

✉ jiri.prochazka@vuv.cz
www.vuv.cz

Ing. Jiří Procházka, Ph.D., vystudoval doktorský program Vodní hospodářství a vodní stavby na Katedře zdravotního a ekologického inženýrství, Fakulty stavební, ČVUT v Praze. Disertační práci obhájil v roce 2021. Od roku 2020 je zaměstnancem VÚV TGM, v. v. i., jako výzkumný pracovník v Oddělení hydrauliky. Specializuje se na problematiku čistíren odpadních vod a na vývoj umělých slalomových drah.

Ing. Adam Vizina, Ph.D.



VÚV TGM v. v. i., Praha

✉ adam.vizina@vuv.cz
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 komerčních projektů.

Jaroslav Pollert st. Olympijské hry Barcelona 1992, vedoucí výpravy kanoistů

Rozhovor s Jaroslavem Pollertem, profesorem Fakulty stavební ČVUT a úspěšným československým reprezentantem v kanoistice

Pamatujete si moment, kdy vás poprvé voda oslovila natolik, že jste se rozhodl věnovat jí svůj profesní i soukromý život?

Vámi položená otázka je docela těžká. Říci, že motivem bylo stavění „přehrad" v potůčcích po dešti, by bylo asi nepravdivé. Můj zájem o obor nastal zhruba v okamžiku, kdy mě o pět let starší bratr v roce 1957 vzal do loděnice na soutoku Vltavy a pražské Čertovky. Pohled z loděnice na řeku až k Vyšehradu byl úchvatný. Stejně jako první sjezd dolní Sázavy v létě 1957 s bratrem na deblkánoi při menší povodni, kdy i nádrž Vranské přehrady proudila, takže jsme stihli za jeden den dojet z Krhanic až do malostranské loděnice. Dělal jsem poměrně rychlé pokroky v technické i závodní zdatnosti ve vodním slalomu, a tak jsem již v roce 1959 vyhrál dorostenecké mistrovství Československa jak na singlkánoi, tak i na kajaku. Praktické znalosti proudění vody mně asi dopomohly k tomu, že jsem po maturitě na jedenáctileté střední škole kývl rodičům jít na nástavbový kurz na průmyslovou školu, obor vodohospodářský v Dušní ulici. Rodiče to se mnou neměli lehké. Když jsem končil průmyslovou školu, vzdoroval jsem a nechtěl jsem jít na vysokou. Být opravářem televizí v té době bylo finančně výhodnější než být inženýrem. Ale strach z dvouleté vojenské služby

Všechny začátky jsou těžké – divoká voda byla silnější, Staroměstský jez, Praha 1959

První zlatá z Mistrovství světa, Drážďany 1961

a také kamarádi, téměř všichni vysokoškoláci, to vše změnilo můj pohled na život, takže jsem si podal přihlášku na ČVUT – vodní stavby a vodní hospodářství. Zpětně mohu říci, že střední školu jsem prolézal jen tak tak. Ale vysokou ukončit v termínu už nebyl velký problém, i když vše bylo spojeno i s vrcholovým sportem.

Za sebou máte celou řadu sportovních úspěchů. Kterého z nich si ceníte nejvíce?

Sport mě naučil jednu důležitou věc: umět přijímat vítězství, ale i porážky, a těch je v životě mnohem více. To se přeneslo i do profesního života, protože například ne každá žádost o nový projekt nebo grant vyjde. Ty „zbytečně" popsané strany jsou prohra. Ale pak přijde přijetí projektu – a to je vítězství. Ovšem otázka zní: sportovní úspěchy. Samozřejmě všechny tři zlaté medaile z Mistrovství světa ve vodním slalomu – 1961 (Drážďany, Německo), 1965 (Spittal, Rakousko) a 1973 (Muotathal, Švýcarsko). Má aktivní sportovní kariéra skončila v roce 1974, kdy můj partner z deblkánoe emigroval do Švýcarska, a nepřímo tím nastartoval moji odbornou kariéru. Ten poslední světový titul byl pro mě asi největším sportovním úspěchem. Po roce 1989 jsem byl naší sportovní vodáckou veřejností zvolen předsedou československé a později české kanoistiky. Současně jsem byl vtažen i do olympijského hnutí, kde jsem od roku 1990 členem exekutivy národního olympijského výboru.

V roce 1992 jsem byl zvolen do Výkonného výboru Mezinárodní kanoistické federace (ICF) a na podzim 1996 pak předsedou sekce světového vodního slalomu. V průběhu volebního kongresu ICF 1996 přišla zpráva o vyřazení vodního slalomu z programu olympijských her v Sydney v roce 2000. Jako předseda jsem nemohl dopustit tento černý scénář. Společně s přáteli jsme připravili celosvětovou kampaň na záchranu a také návrh na změnu projektu dráhy. K vyřazení totiž došlo z finančních důvodů. Původní projekt stál 13,5 milionů australských dolarů, ale asi i mým přičiněním jakožto odborníka pro vodní stavby cena klesla na 6,5 milionů australských dolarů a z toho jsme ještě pro Austrálii cenu snížili příspěvky od národních kanoistických federací na 3 miliony. V rámci kampaně jsem se poprvé seznámil s pojmem internet a e-mail. Právě v roce 1996 ČVUT přes CESNET získalo první připojení z Lince a já jsem rychle přemluvil vedoucího výpočetního střediska, že ho potřebuji. Bylo to první připojení mimo výpočetní centrum. Odtud jsem posílal různým přátelům rukopisy dopisů pro státníky – Jacquesa Chiraca, Al Gora, ale i pro prezidenta Václava Havla. Rád na to vzpomínám. Je to pro mě stále, jako kdybych získal zlatou olympijskou medaili. V dnešní době nemít olympijský kredit žel znamená „sportovní živoření".

Jezdíte ještě vodu?

Zase těžká otázka. Občas se svezu na turistické kánoi, ale jen na klidné nebo mírně proudící vodě. V minulém roce na konci srpna jsem se rozhodl, že ve svých 79 letech musím ještě alespoň jednou cítit opravdovou divokou vodu. Po skončení mých povinností spojených s funkcí místopředsedy evropské kanoistické asociace ve Slovinsku jsem se rozhodl zažít sjezd překrásné horské řeky Soča. Vodní stav byl po několikadenních deštích dost vysoký, a tak vlny, válce měly svoji sílu. I na raftu jsem zjistil, že návyky z mládí, kam se vyklonit, jak zabrat a číst vodu ve mně zůstaly. Moc mě to vnitřně potěšilo.

Na fakultě se mimo jiné zabýváte navrhováním nových kanálů pro vodní slalom. Kolik kanálů jste již navrhli? Na který z nich jste nejvíce pyšný a který byl nejzajímavěji řešený?

Mým hlavním odborným zaměřením je tematika spojená s hydraulikou ve zdravotním inženýrství, zejména s prouděním disperzních soustav, za něž jsem byl v roce 2017 nominován na státní vyznamenání Za zásluhy o stát v oblasti vědy. Pokud jde o vodní slalom, první fyzikální model pro návrh dráhy byla pražská Troja v roce 1978. Pak následovaly návrhy českých drah (Trnávka, Roudnice, Brandýs nad Labem) a expertní posudky a doporučení pro zahraničí – Nottingham (Anglie), Tres Coroas (Brazílie), Idaho Falls (USA) a další.

Olympijské hry 2000 v Sydney, Jaroslav Pollert st. – návrh a realizace umělé dráhy pro vodní slalom, stadionové uspořádání

Samozřejmě nejvýznamnější návrhy drah se stoprocentní realizací byly pro olympijské hry v Sydney v roce 2000. Na tento projekt, který získal Cenu australské inženýrské komory, jsem osobně nejvíce pyšný, neboť zahrnoval netradiční stadionové uspořádání, kde divák vidí závodníka prakticky od startu až do cíle.

Následovaly další velké návrhové projekty pro Auckland na Novém Zélandu (2013), Rio de Janeiro (2014, pro olympijské hry v roce 2016) a pro Tokio (2017, pro olympijské hry v roce 2020, 2021), kde hlavní zodpovědnou osobou byl můj syn, který do návrhů vnesl celou řadu inovativních prvků.

Pokud se vrátíme zpět k vaší hlavní specializaci, jak vy osobně vidíte zájem studentů o studijní obory vodního hospodářství?

V poslední době se zdá, že zájem o studium oboru nepatrně stoupá. Ale ze statistik zatím není možné zjistit, je-li to opravdu způsobeno zájmem nebo demografickou křivkou, která je ovlivněna efektem tzv. „Husákových dětí". Třeba je to také sekundární vliv celosvětového zájmu spojeného se změnami klimatu, jež přinášejí problémy se suchem i povodněmi.

Můžete porovnat rozvoj studijních oborů vodního hospodářství v České republice se zahraničím?

Myslím, že celkově je úroveň jednotlivých předmětů, které jsou obsaženy v základním programu výuky oboru Vodní stavby a vodní hospodářství, stále na dobré úrovni. Více zkušeností a možnost srovnání mám v doktorandském studiu. Zde je zájem o studium a vědecký výzkum studentů, hlavně evropských, a to zejména z jižní části Evropy, poměrně velký. Nevím proč, ale bakalářských nebo magisterských studentů je velmi málo, i když dnes je možné absolvovat i na ČVUT výuku v angličtině. Finanční důvody to nejsou. Programy Erasmus plně zajišťují pobyt. Žel podílí se na tom i malý zájem našich bakalářských, magisterských a někdy i doktorandských studentů z oboru odjet na delší dobu do zahraničí. Více výjezdů a zpětná vazba od studentů by napomohly ke zvyšování kvality naší výuky i zvýšení prestiže celého studijního oboru v České republice.

Co by přispělo k zatraktivnění oboru vodní hospodářství?

To je moc těžká otázka. Ti, kteří vodnímu hospodářství propadli, jsou plně poznamenáni spojením „přírodního živlu" vody a přírody. Ty není třeba o atraktivitě přesvědčovat. Otázka se týká oboru, který je součástí výuky na Fakultě stavební ČVUT. Domnívám se, že pro mládež odcházející ze středních škol, ale i jejich rodiče je možná nešťastné, že obor je na začátku studia nespecializován a je součástí programu Stavební inženýrství. Pod tímto názvem mnoho uchazečů vidí čistou stavařinu, přičemž k vyšší specializaci dojde až ve třetím roce studia. Tam při čtení materiálů o fakultě často uchazeči ani jejich rodiče nedojdou. Je to možná můj subjektivní dojem, ale při dnech otevřených dveří jsem několikrát výše uvedené otázky zodpovídal. „A budu/budou se studenti učit něco o vodě, když se to jmenuje Stavební inženýrství?"

Téma „voda" je mezi odborníky i laickou veřejností hojně diskutováno. Pomáhá vodě, že o ní mluví stále více lidí? Respektive co v této diskuzi nejvíce postrádáte?

Je pravda, že voda coby základ života je lidmi vnímána jako něco běžného. Proto také „skoro každý" rozumí problémům s ní spojeným. Rád to doplním i vlastní zkušeností s návrhy umělých drah pro vodní slalom. Často slyším: „Vždyť já jsem jezdil na vodě, tak přece vím, jak návrh udělat." Ale těmto osobám scházejí technické znalosti a výsledek, tedy návrh, je „paskvilem" a musí se složitě předělat. Ale žel jsou tyto osoby často blíže k finančním zdrojům než opravdový odborník.

Je až nemravné říkat, že hlavní problémy s vodou začnou lidé chápat v širším měřítku až po určitých velkých katastrofách, jako jsou povodně nebo velké ekologické nepříjemnosti spojené s vodou, například při otravě ryb v Bečvě. Také je špatné, že obecně technické problémy spojené nejen s vodou nejsou v médiích moc diskutovány. Možnou příčinou může být i velmi úzká skupina pracovníků v médiích, kteří jsou schopni fundovaně klást otázky a dále je rozpracovat pro laiky. Naštěstí je v České televizi Daniel Stach, který je schopen někdy až moc odborné výklady přetlumočit do formy srozumitelné pro laickou veřejnost.

Děkuji za čas, který jste našemu rozhovoru věnoval.

Ing. Josef Nistler

Prof. Ing. Jaroslav Pollert, DrSc.

Prof. Ing. Jaroslav Pollert, DrSc., narozen 16. srpna 1943, působí od roku 1968 na Fakultě stavební ČVUT, kde se věnuje zejména experimentálnímu výzkumu týkajícímu se hydrodynamiky disperzních soustav. Je autorem nebo spoluautorem 112 odborných publikací a přednáší na odborných domácích i zahraničních konferencích. Působí rov-něž jako člen mezinárodních vědeckých výborů prestižních světových konferencí a koordinátor či vedoucí pracovník mezinárodních projektů a programů, např. pro Agency for International Development, „Reducing Energy Costs in District Heating Systems" či „Assessing Infiltration and Exfiltration on the Performance of Urban Sewer Systems" v rámci 5. rámcového programu EU pro rozvoj vědy a technologií.

Mimo profesní působení na Fakultě stavební ČVUT je prof. Jaroslav Pollert bývalým československým reprezentantem v kanoistice a mistrem světa ve slalomu na divoké vodě. Na mistrovství světa získal tři zlaté medaile v závodech hlídek v letech 1961 a 1965 a v roce 1973 v závodě deblkánoí s Jiřím Krejzou v hlídkách přidal ještě stříbro. Po skončení kariéry se stal sportovním funkcionářem. Od roku 1990 do roku 1992 byl předsedou Československého svazu kanoistiky a v letech 2006–2014 předsedou Českého svazu kanoistiky. Od roku 1990 je nepřetržitě členem výkonného výboru Československého a následně Českého olympijského výboru. V roce 2015 se stal místopředsedou Evropské kanoistické asociace a o čtyři roky později pozici obhájil. Spolu se svým synem Jaroslavem se podílel na navrhování nových kanálů pro vodní slalom, mj. pro Letní olympijské hry v Rio de Janeiru 2016 a 2020 v Tokiu.

Historie šedé vodní stopy aneb citujme původce myšlenky

Vodní stopa byla představena v roce 2002 [1] a rychle se stala populárním nástrojem pro hodnocení antropogenních vlivů spojených s lidskou činností. Základním metodickým dokumentem, který popisuje metodologii vodní stopy, je *Water Footprint Assessment Manual* z roku 2011 [2]. Vodní stopa se skládá ze tří složek, podle zdroje a typu užívání vody:

1) modrá vodní stopa reprezentuje spotřebu vody z vodních zdrojů, tj. odebranou z řek, jezer a vodonosných vrstev,

2) zelená vodní stopa reprezentuje spotřebu vody, která pochází ze srážek a je uložena na povrchu půdy nebo rostlin či jako půdní vlhkost, a je spotřebována zejména evapotranspirací,

3) šedá vodní stopa reprezentuje množství vody potřebné k asimilaci antropogenního znečištění na základě přirozené koncentrace pozadí a stávajících environmentálních norem kvality vody.

Šedá vodní stopa se počítá tak, že množství vypouštěné znečišťující látky L [hmotnost/čas] se vydělí tzv. asimilační kapacitou přijímacího vodního útvaru, tj. rozdílem mezi normou kvality okolní vody pro znečišťující látku (maximální přijatelnou koncentrací) C_{max} [hmotnost/objem] a přirozenou koncentrací znečišťující látky v přijímajícím vodním útvaru C_{nat} [hmotnost/objem]. Šedá vodní stopa tak není vázána na množství vody v přijímacím vodním útvaru, ale jde o teoretické množství vody, které je potřeba k „naředění" znečištění vypouštěného v odpadních vodách. Jinými slovy, šedá vodní stopa je součtem objemu znečištěných odpadních vod vypouštěných do vodního toku a dodatečného množství vody, jež je potřeba k naředění znečišťující látky na přijatelnou koncentraci v toku [3]. Je s podivem, že přesto řada autorů do šedé vodní stopy nezahrnuje vypouštěné množství odpadních vod, což lze považovat za chybu [4]. Za stejnou chybu lze ale označit i případy, kdy je do šedé vodní stopy zahrnována jen odpadní voda (žel i takové případy se najdou a úmyslně zde necitujeme tato díla).

Při představení konceptu vodní stopy v roce 2002 byla uvedena jen modrá a zelená vodní stopa. Šedá vodní stopa se stala jeho součástí až o několik let později. Přesto se setkáváme s případy, kdy je u definice šedé vodní stopy citován dokument, který její definici neobsahuje, někdy se dokonce o šedé vodní stopě ani nezmiňuje. Správnost referencí je přitom jedním z pilířů vědeckého publikování, protože dobře zpracovaný argument je založen na existujících vědeckých poznatcích v dané oblasti, je doložen důležitými předpoklady, technickými informacemi a názory s přesnou identifikací, tj. citováním zdrojového materiálu [5].

Otázka znečištění vody v kontextu vodní stopy byla poprvé řešena ve studii vodní stopy bavlny z roku 2005 [6], která byla následně publikována formou článku v časopise *Ecological Economics* v roce 2006 [7]. Studie z roku 2005 [6] ani navazující článek [7] neobsahují pojem šedé vodní stopy, ale myšlenku, že dopad znečištění vody lze vyjádřit přepočtem objemu emitovaných chemických látek na objem ředění potřebný k asimilaci znečištění. Pojem šedá vodní stopa se objevuje až o rok později, tj. v roce 2007, v článku autorů Hoekstry a Chapagaina [8]. Podle informací připojených k článku [8] byl revidovaný rukopis tohoto článku předán redakci v únoru 2007. To je vcelku zajímavý fakt, protože jak *Water Footprint Assessment Manual* [2, s. 31], tak i sám Hoekstra [9] uvádí, že všechny tři složky vodní stopy byly v jednom uceleném rámci představeny až v knize z roku 2008 [10]. Pravděpodobně je tomu tak proto, že kniha umožňuje podstatně detailnější popis vazeb mezi jednotlivými složkami vodní stopy. Metodické otázky šedé vodní stopy pak byly rozpracovány pracovní skupinou *Water Footprint Network,* jejíž práce vyústila v řadu zpřesnění, včetně zohlednění kvality odebírané vody, a víceúrovňový přístup, aby bylo možné rozlišit různou podrobnost při posuzování šedé vodní stopy difúzního znečištění. Práce této skupiny se promítly do *Water Footprint Assessment Manual* [2].

V souvislosti s šedou vodní stopou je třeba zmínit ještě dva důležité dokumenty. Předchůdcem *Water Footprint Assessment Manual* [2] byl v roce 2009 vydaný pracovní „živý" report s názvem *Water Footprint Manual: State of the Art 2009* [11]. Ačkoli tento dokument předpokládal každoroční aktualizaci, již zmíněný *Water Footprint Assessment Manual* [2] následoval až v roce 2011 a další aktualizace už neproběhly.

Water Footprint Assessment Manual [2] doporučuje (na základě výše zmíněných výstupů pracovní skupiny) třístupňový přístup k odhadu zátěže difúzního znečištění vstupujícího do vodního útvaru. V roce 2013 vydala *Water Footprint Network*, která zaštiťuje vývoj metodiky vodní stopy, metodickou příručku k používání 1. stupně k odhadu zátěže difúzního znečištění vstupujícího do vodního útvaru [12].

Ať tak či onak, původ myšlenky šedé vodní stopy je v literatuře dobře zdokumentovaný. Není proto žádný důvod ve vztahu k definici šedé vodní stopy citovat jiné články než ty, jež se šedou vodní stopou zabývaly první [6–8, 10]. Pochopitelnou alternativou k těmto článkům je *Water Footprint Assessment Manual* [2], který je základním metodickým rámcem celé metodologie vodní stopy, případně navazující metodika pro aplikace Tier 1 [12].

Literatura

[1] HOEKSTRA, A. Y., HUNG, P. Q. *Virtual Water Trade – A Quantification of Virtual Water Flows between Nations in Relation to International Crop Trade. 12.* Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2002. Value of Water Research Report Series. Dostupné z: https://waterfootprint.org/media/downloads/Report11_1.pdf

[2] HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A. K., ALDAYA, M. M., MEKONNEN, M. M. *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. London, Washington, DC: Earthscan, 2011. ISBN 978-1-84971-279-8.

[3] CHIU, Y.-W., WU, M. The Water Footprint of Biofuel Produced from Forest Wood Residue Via a Mixed Alcohol Gasification Process. *Environmental Research Letters*. 2013, 8(3), 035015. ISSN 1748-9326. Dostupné z: doi: 10.1088/1748-9326/8/3/035015

[4] ANSORGE, L. Incorrect Method for Calculation of Grey Water Footprint in Several Articles. *Science of the Total Environment*. 2022, 824, 152048. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.152048

[5] TODD, P. A., YEO, D. C. J., LI, D., LADLE, R. J. Citing Practices in Ecology: Can We Believe Our Own Words? *Oikos*. 2007, 116(9), s. 1 599–1 601. ISSN 1600-0706. Dostupné z: doi: 10.1111/j.0030-1299.2007.15992.x

[6] CHAPAGAIN, A. K., HOEKSTRA, A. Y., SAVENIJE, H. H. G., GAUTAM, R. *The Water Footprint of Cotton Consumption*. Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2005. Value of Water Research Report Series, 18. Dostupné z: https://waterfootprint.org/media/downloads/Report18_1.pdf

[7] CHAPAGAIN, A. K., HOEKSTRA, A. Y., SAVENIJE, H. H. G., GAUTAM, R. The Water Footprint of Cotton Consumption: An Assessment of the Impact of Worldwide Consumption of Cotton Products on the Water Resources in the Cotton Producing Countries. *Ecological Economics*. 2006, 60(1), s. 186–203. ISSN 0921-8009. Dostupné z: doi: 10.1016/j.ecolecon.2005.11.027

[8] HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A. K. The Water Footprints of Morocco and the Netherlands: Global Water Use as a Result of Domestic Consumption of Agricultural Commodities. *Ecological Economics*. 2007, 64(1), s. 143–151. ISSN 0921-8009. Dostupné z: doi: 10.1016/j.ecolecon.2007.02.023

[9] HOEKSTRA, A. Y. Water Footprint Assessment: Evolvement of a New Research Field. *Water Resources Management*. 2017, 31(10), s. 3 061–3 081. ISSN 0920-4741, 1573-1650. Dostupné z: doi: 10.1007/s11269-017-1618-5

[10] HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A. K. *Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources*. Malden, MA: Blackwell Pub, 2008. ISBN 978-1-4051-6335-4.

[11] HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A. K., ALDAYA, M. M., MEKONNEN, M. M. *Water Footprint Manual: State of the Art 2009*. Enschede, the Netherlands: Water Footprint Network, 2009.

[12] FRANKE, N. A., BOYACIOGLU, H., HOEKSTRA, A. Y. *The Grey Water Footprint Accounting: Tier 1 Supporting Guidelines*. Delft, the Netherlands: UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2013. Water Research Report Series, 65. Dostupné z: http://waterfootprint.org/media/downloads/Report65-GreyWaterFootprint-Guidelines.pdf

Autoři

Ing. Libor Ansorge, Ph.D.
✉ libor.ansorge@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-3963-8290

Mgr. Lada Stejskalová
✉ lada.stejskalova@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-2271-7574

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Foto: 123rf.com

Okružní vzorek 2022

Okružní vzorek neboli okružák je vzorek, který umožňuje zejména laboratořím porovnávat své odborné dovednosti mezi sebou. Oficiálně jde o zkoušení způsobilosti laboratoří, jež probíhá pod záštitou Střediska pro posuzování způsobilosti laboratoří (ASLAB), a to v oblasti, na kterou se daná laboratoř zaměřuje (hydrobiologická, mikrobiologická, chemická či radiochemická). Vyhovující laboratoř následně získá osvědčení.

Poslední multiparametrický okružní vzorek v oblasti hydrobiologie byl na VÚV TGM v Praze pod záštitou ASLABu připraven panem RNDr. Ladislavem Havlem, CSc., a paní RNDr. Blankou Desortovou, CSc., v roce 2019.

Příležitost připravit okružní vzorek pro rok 2022 mi byla nabídnuta na Určovacím kurzu klanonožců, který každoročně na jaře pořádá skupina zooplanktonářů České limnologické společnosti (Limnospol). Vzhledem k velkému zájmu o vzorek z řad specialistů na zooplankton z vodohospodářských laboratoří státních podniků Povodí nebylo nad čím váhat a spolu s katedrou Ekologie – Hydrobiologie UK v Praze a Limnospolem započaly přípravy. Nejprve jsem vše konzultovala s paní Ing. Hanou Kohoutovou z ASLABu. Jelikož mělo jít o vzorek zaměřený výhradně na kvalitativní stanovení zooplanktonu, dohodly jsme se na vyhodnocení okružního vzorku mimo systém ASLAB. Přípravě samotných vzorků pak předcházela konzultace s paní RNDr. Blankou Desortovou, CSc., jež má s takovými vzorky bohaté zkušenosti. Do vzorků bylo potřeba vybrat takové druhy, které byly zastoupeny velkým počtem jedinců. Zároveň bylo nutné tyto druhy oddělit od zbytku původního vzorku, v němž se nacházely, aby výsledný okružní vzorek byl co nejčistší a účastníkům bylo na první pohled jasné, jaké druhy mají determinovat. Součástí přípravy se pro mě stala i tvorba „reklamní" samolepky „Okružák 2022", jejímž vylepením na laboratoř či kancelář mohli účastníci dát najevo své zapojení do testování okružního vzorku. Jakmile byly vzorky připraveny, jeden z nich putoval k RNDr. Martinu Černému, Ph.D., na katedru Ekologie – Hydrobiologie, kde byla má práce zkontrolována, a následně jsem s finanční podporou Limnospolu (hospodář RNDr. Michal Šorf, Ph.D.) mohla všem účastníkům poslat vzorek i samolepku. Sedm vzorků cestovalo do vodohospodářských laboratoří státních podniků Povodí Vltavy, Labe, Ohře, Moravy a Odry, další na Mendelovu univerzitu v Brně. Celá příprava mi trvala asi měsíc. Účastníci svůj vzorek obdrželi 20. července 2022 a termín odevzdání výsledků byl stanoven na 30. září 2022.

Každý vzorek v sobě skrýval 11 druhů, jež tvořili zástupci buchanek (*Cyclopoida*), vznášivek (*Calanoida*), perlooček (*Cladocera*) a vířníků (*Rotifera*). Výsledné vyhodnocení bylo velmi pestré. Pouze jedna laboratoř určila všechny druhy naprosto správně. Tři laboratoře dosáhly 91 %, jedna 82 %, zatímco dalším třem se letos tolik nedařilo a dosáhly úspěšnosti 64 a 55 %.

Ráda bych na závěr poděkovala všem, kteří mi důvěřovali a pomohli mi uskutečnit letošní „Okružák"; zároveň se těším na hojnou účast v roce 2025.

Hrotnatka rybniční (*Daphnia pulicaria*)

Buchanka černá (*Macrocyclops fuscus*)

Autor

Mgr. Radka Čablová
✉ radka.cablova@vuv.cz
ORCID: 0000-0003-4836-747X

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha

Obsah časopisu VTEI — ročník 2022

1

4 Automatické vymezení povodí na území Česka v ArcGIS Pro
(Vít Šťovíček)

10 Nulová izochiona v rámci geomorfologických oblastí Česka: její určení ze snímků MODIS a její dynamika
(Libor Ducháček, Ondřej Ledvinka)

25 Možnosti využití spektroskopie pro hodnocení vlastností lesních půd
(Josef Kratina, Václava Maťašovská)

32 Praktické příklady využití GIS v hydrologii v ČHMÚ
(Petr Šercl, Radovan Tyl, Pavel Kukla, Martin Pecha)

42 Rozhovor s Ing. Lucií Orlíkovou, Ph.D., odbornou asistentkou Katedry geoinformatiky na Vysoké škole báňské — Technické univerzitě v Ostravě
(Václava Maťašovská)

44 Mezinárodní komise IAHS pro dálkový průzkum Země
(Ondřej Ledvinka)

47 GIS a kartografie ve VÚV TGM
(Tomáš Fojtík, Lucie Jašíková, Jindra Kurfiřtová, Marcela Makovcová, Václava Maťašovská, Pavel Mayer, Hana Nováková, Judita Zavřelová, Aleš Zbořil)

2

Využití monitoringu viru SARS-CoV-2 v odpadních vodách z ČOV různých kategorií pro sledování vývoje epidemické situace v ČR **4**
(Hana Zvěřinová Mlejnková, Lucia Gharwalová, Kateřina Sovová, Petra Vašíčková, Jakub Hrdý, Magdaléna Krásna, Věra Očenášková, Vladimír Bencko, Milan Tuček, Milena Bušová, Eva Juranová)

Detekcia výmoľovej erózie metódou globálnych navigačných satelitných systémov v lokalite Myjava — Turá Lúka **10**
(Michaela Danáčová, Milica Aleksić, Matúš Tomaščík, Anna Liová, Roman Výleta)

Změny srážek a odtoků na povodích v ČR v období intenzivního oteplování **17**
(Ladislav Kašpárek, Roman Kožín)

Výskyt pesticidních látek v řece Punkvě **29**
(Taťána Halešová, Jana Konečná, Marta Václavíková, Petr Karásek, Eva Nováková)

Sledování změn ve vývoji krajiny na severovýchodním okraji Hřebenů se zaměřením na mokřady **34**
(Pavel Richter, Renáta Sztymonová)

Porovnání hydrologických charakteristik *M*-denních průtoků referenčního období 1981—2010 a uvažovaného referenčního období 1991—2020 **43**
(Pavel Kukla)

Rozhovor s Ing. Bc. Annou Hubáčkovou, ministryní životního prostředí **50**
(Josef Nistler)

Bilanční hodnocení vybraných ukazatelů kvality vody na přítocích do vodní nádrže Vranov **52**
(Petra Oppeltová, Ondřej Ulrich, Jana Svobodová Navrátilová)

Projekt AdaptaN II aneb od slov k činům **56**
(Pavla Štěpánková, Karel Drbal)

3

4 Vliv Prahy na jakost vody ve Vltavě a v českém Labi
(Josef K. Fuksa, Lenka Smetanová Matoušová)

15 Retrospektivní pohled na šumperský vodovod od šedesátých let 20. století do současnosti
(Aleš Létal, Renata Pavelková, Jindřich Frajer)

25 Vplyv klimatickej zmeny na odtok a vývoj zloženia lesov v budúcich desaťročiach vo vybranom povodí na Slovensku
(Peter Rončák, Justína Vitková, Peter Šurda)

31 Povodí Výrovky jako vhodné území pro sledování a porovnávání hydrologických a krajinných charakteristik
(Pavel Richter, Pavel Eckhardt, Josef Kratina, Václava Maťašovská, Silvie Semerádová)

40 Rozhovor s Petrem Havlem, zakladatelem webového portálu Naše voda
(Zuzana Řehořová)

42 BÍLINA – Příběh fialové řeky
(Ibra Ibrahimovič)

48 SMART WATER
(Zuzana Boukalová)

4

Bakterie z čeledi *Enterobacteriaceae* v recyklovaných vodách
(Dana Baudišová) 4

Přívozy na starých topografických mapách
(Marek Havlíček) 11

Atmosférická depozice jako možný zdroj znečištění povrchových vod
(Silvie Semerádová) 20

Problematika potravinových odpadů ve vztahu k povinnému vykazování jeho produkce pro potřeby směrnice o odpadech
(Dagmar Vološinová) 32

Přehledový příspěvek o metodice rychlotestů v malých kolonkách
(Anna Kólová) 41

Citační analýza časopisu VTEI
(Libor Ansorge) 47

Rozhovor s Dr. Yelizavetou Chernysh, novou ukrajinskou vědeckou pracovnicí ve VÚV TGM
(Redakce VTEI) 57

Posouzení rizik jako komplexní přístup k ochraně zdrojů pitné vody
(Lucie Jašíková) 59

5

4 Odhad přírodních zdrojů podzemní vody v hydrogeologických rajonech v České republice
(Ladislav Kašpárek, Roman Kožín, Josef V. Datel, Martina Peláková)

15 Vliv revitalizace Teplice na odtok z povodí — předběžné výsledky
(Adam Beran)

22 Bilance zdrojů podzemní vody a potřeb pro pitné účely v podmínkách klimatické změny
(Hana Prchalová, Petr Vyskoč, Adam Vizina, Hana Nováková)

33 Posouzení možnosti změny užívání suchých nádrží
(Pavel Balvín, Petr Smrž, Jiří Švancara, Veronika Táboříková, Marcela Makovcová)

39 Měření celoročních srážek radarovým srážkoměrem v náročných horských podmínkách
(Martin Vokoun, Vojtěch Moravec)

48 Rozhovor s Ing. Miroslavem Olmerem, jedním ze zakladatelů rajonizace podzemních vod v České republice
(Anna Hrabánková)

52 Aktuální verze modelu BILAN
(Petr Pavlík, Adam Vizina)

55 Pozvánka na putovní výstavu
Historické vodohospodářské objekty, jejich hodnota, funkce a význam pro současnou dobu

56 Pozvánka na putovní výstavu
Závlahy — znovuobjevované dědictví, jejich dokumentace a popularizace

6

Představení některých výsledků výzkumného projektu mapující vývoj staveb věžových vodojemů na území České republiky 4
(Robert Kořínek, Michal Horáček)

Závlahy — znovuobjevované dědictví, jejich dokumentace, popularizace a ochrana na příkladu historických lučních závlah 16
(Miloš Rozkošný, Miriam Dzuráková, Radek Bachan, David Honek, Zbyněk Sviták, Hana Hudcová, Martin Caletka, Aleš Vyskočil)

K otázce autenticity vodohospodářských objektů 25
(Michaela Ryšková)

Rybí obsádky vodních prvků památkově chráněných areálů 32
(Miloš Rozkošný, Zdeněk Adámek, Lenka Křesadlová)

Budování velkých vodních děl v kontextu idejí a ideologií 44
(Sixtus Bolom-Kotari, Milena Forejtníková)

Dvojrozhovor s Ing. arch. Evou Dvořákovou a Ing. arch. Terezou Bartošíkovou, Ph.D. 52
(Miriam Dzuráková, Robert Kořínek)

Využívání a popularizace historických a současných vodohospodářských zdrojů informací pro rozvoj environmentálně příznivé společnosti 57
(Hana Zvěřinová Mlejnková)

Banskoštiavnická vodohospodárska sústava — významná technická pamiatka UNESCO 62
(Michal Červeň)

VTEI/2023/1

Od roku 1959

VODOHOSPODÁŘSKÉ
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

WATER MANAGEMENT
TECHNICAL AND ECONOMICAL INFORMATION

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

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, PhD., doc. Dr. Ing. Pavel Fošumpaur,
doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D., Mgr. Róbert Chriašteľ, Mgr. Vít Kodeš, Ph.D.,
Ing. Jiří Kučera, Ing. Martin Pavel, Ing. Jana Poórová, Ph.D., Mgr. Hana Sezimová, Ph.D.,
Dr. Ing. Antonín Tůma, Mgr. Lukáš Záruba, Ing. Marcela Zrubková, Ph.D.

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

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

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

Zdroje fotografií tohoto čísla:
VÚV TGM, shutterstock.com, 123RF.com, Mgr. Marek Havlíček, Ph.D.

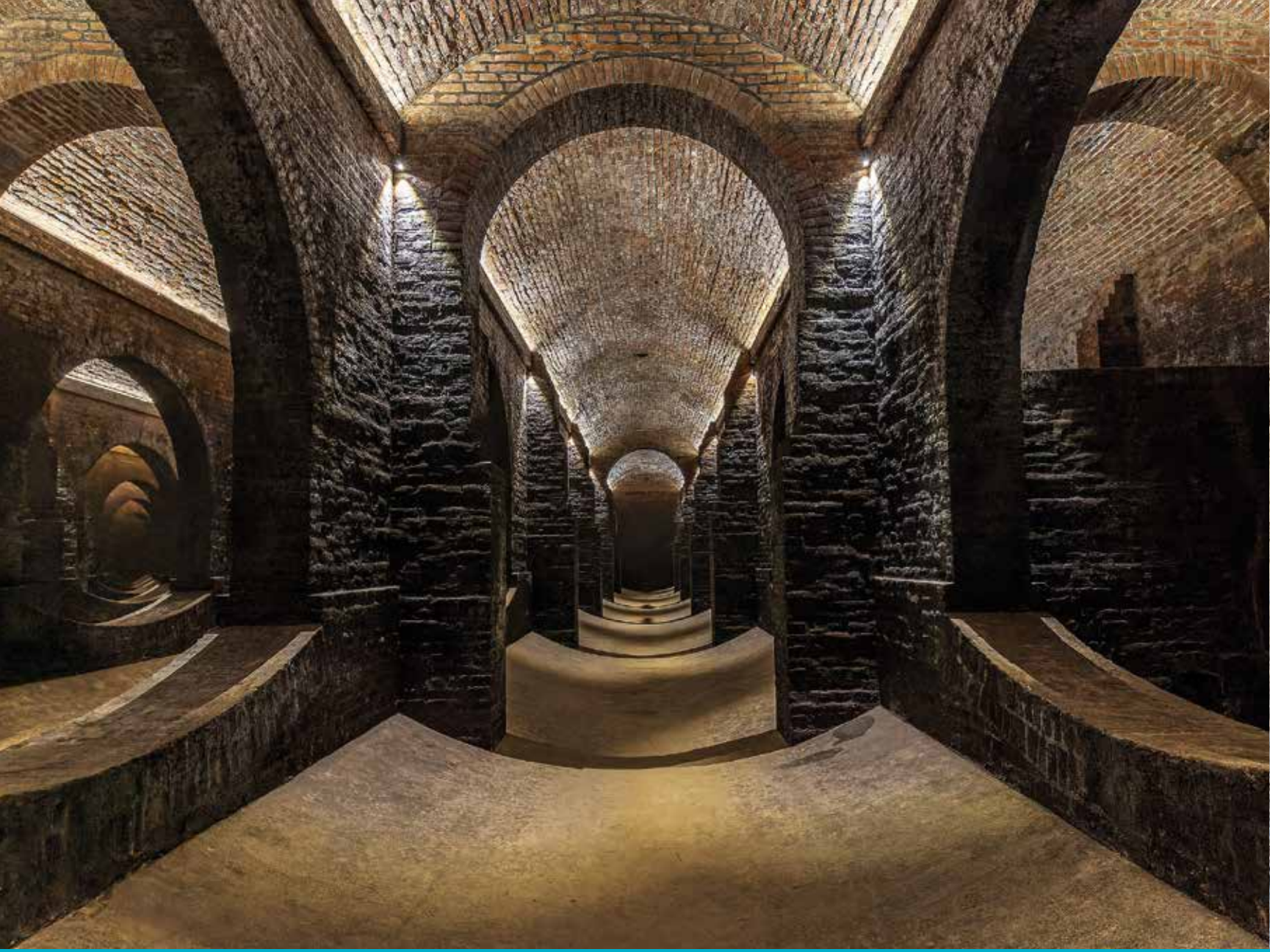
Grafická úprava, sazba, tisk:
ABALON s. r. o., www.abalon.cz

Náklad 700 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 dubnu.
Pokyny autorům časopisu jsou uvedeny na www.vtei.cz

CC BY-NC 4.0

ISSN 0322-8916
ISSN 1805-6555 (on-line)
MK ČR E 6365



VODOJEMY NA ŽLUTÉM KOPCI V BRNĚ

Komplex sestává ze dvou cihlových vodojemů z poslední třetiny 19. století a betonového dvoukomorového vodojemu z počátku druhé dekády 20. století. Představuje cenný doklad technického řešení zásobování vodou města Brna v 19. a 20. století. Nejstarší ze tří vodojemů (na fotografii) byl realizován dle projektu londýnského stavitele Thomase Docwryho v letech 1868–1874. Jeho nosný systém tvoří deset mohutných cihlových zdí odlehčených tzv. tlamovými okny, jimiž se přelévala voda mezi jednotlivými prostory. Stavba kromě betonové podlahy nebyla nikdy opravována, materiál je autentický z doby vzniku vodojemu.

Podzemní nádrže jsou zastropeny systémem valených a křížových kleneb nesených pilíři, což nemá v českých zemích obdoby. Činnost vodojemů byla ukončena v roce 1997, kdy byly odpojeny od vodovodní sítě. Památkově chráněny jsou od roku 2019. Podobně velkolepě navržené podzemní prostory vodojemů se nacházejí např. v Londýně, Kodani nebo Budapešti.

Text dodala Ing. Miriam Dzuráková, fotografii Mgr. Marek Havlíček, Ph.D.

VÝZKUMNÝ ÚSTAV
VODOHOSPODÁŘSKÝ
T. G. MASARYKA
veřejná výzkumná instituce

VTEI.cz