

MIČANÍK, T., SEMERÁDOVÁ, S., SÝKORA, F., 2023. Změny dílčích parametrů jakosti povrchových vod v kontextu změny klimatu. In: TOLASZ, R., POLCAROVÁ, E. (Eds.), 2023. Sborník příspěvků z První konference projektu PERUN (TA ČR, SS02030040). Praha: ČHMÚ, 288–299, ISBN 978-80-7653-063-8. <https://doi.org/10.59984/978-80-7653-063-8.35>

Změny dílčích parametrů jakosti povrchových vod v kontextu změny klimatu

(Changes in partial parameters of surface water quality in the context of climate changes)

Tomáš Mičaník, VÚV T.G.M., v. v. i., tomas.micanik@vuv.cz
Silvie Semerádová, VÚV T.G.M., v. v. i., silvie.semeradova@vuv.cz
František Sýkora, VÚV T.G.M., v. v. i., frantisek.sykora@vuv.cz

Abstrakt: Změna klimatu je příčinou vyšší četnosti hydrologických extrémů, které ovlivňují jakost povrchových vod. V naší práci jsme se zaměřili na změny jakosti vody vlivem hydrologického sucha. Bylo zjištěno, že průtoky pod Q_{355} , které hydrologické sucho definují, jsou ve většině toků v posledních dvou dekádách četnější než v předchozích desetiletích. Ve vytipovaných profilech říční sítě, ve kterých je prováděno sledování jakosti povrchových vod, a které jsou zároveň situovány v blízkosti vodoměrných stanic, je prováděna statistická analýza změn jakosti vody. Z prvních předběžných výsledků vyplývá, že hydrologická situace má na výskyt řady polutantů v povrchových vodách významný vliv. Před formulováním konkrétních závěrů bude potřeba postupy dále rozpracovat a ověřit.

Souběžně s tím byly v roce 2023 vytipovány lokality, ve kterých probíhá terénní výzkum odbourávání nutrientů a organického znečištění v podélném profilu toku v rastru cca 1 až 2 km. Z prvních výsledků vyplývá, že pro tento výzkum jsou vhodné lokality Rakovnický potok pod Rakovníkem, Metuje pod Náchodem a Bílovka pod Bílovcem. Průběžné výsledky ze vzorkování v době hydrologického sucha v letním období potvrdily významný úbytek celkového dusíku, amoniakálního dusíku a organického znečištění. Naopak úbytek fosforu byl po prvním mísení povrchové a odpadní vody dále po proudu minimální.

Klíčová slova: hydrologické sucho – jakost vod – statistická analýza

Abstract: Climate change is causing a higher frequency of hydrological extremes that affect surface water quality. On changes in water quality due to hydrological drought we are focused in this article. Flows below Q_{355} , which define hydrological drought, were found to be more frequent in most streams in the last two decades than in previous decades. Statistical analysis of changes in water quality is carried out in selected profiles of the river network, in which surface water quality is monitored, and where near the gauging profile is situated. The first preliminary results show that the hydrological conditions impact significantly on abundance of many pollutants, the methods need further improvements and verification.

At the same time, in 2023, we selected the localities in which field research is managed to find out attenuation of nutrients and organic pollution in longitudinal profile of the river in a grid of approximately 1 to 2 km downstream. The first results show that Rakovnický stream under Rakovník, rivers Metuje under Náchodem and Bílovka pod Bílovec are suitable for this research. Interim results from sampling during the hydrological drought in summer confirmed

a significant decrease in total nitrogen, ammonia nitrogen and organic pollution. Conversely, the loss of phosphorus after first mixing waste and surface water was downstream minimal.

Keywords: hydrological drought – water quality – statistical analysis

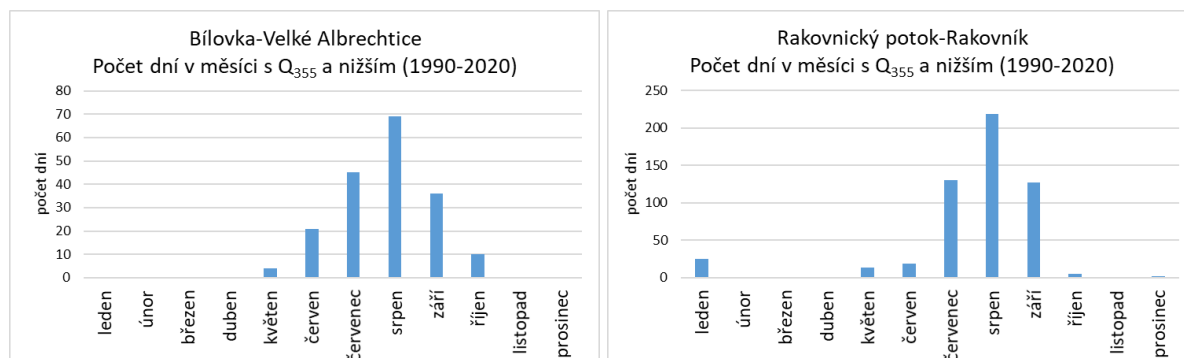
1. Úvod

Mění se klimatické podmínky ovlivňují nejen celkové množství a sezónní průběh množství povrchových a podzemních vod, ale také jejich kvalitativní charakteristiky. Z analýzy průměrných denních průtoků v profilech sledování hydrologického stavu v českých řekách vyplývá, že v posledních 10 až 20 letech se zvyšuje četnost dní s 355denním průtokem a nižším (Q_{355}). Jedná se o průtok, který je v dlouhodobém průměru dosažen či překročen po 355 dní v roce. Vyšší extremita počasí nevede pouze k vyšší vydatnosti srážek, které způsobují povodňové stavy na drobných i větších tocích, ale také k delším obdobím bez srážek doprovázeným nízkými průtoky v tocích. Ve vybraných vodoměrných stanicích byla provedena analýza průměrných denních průtoků za období 1990 až 2020, která potvrdila, že v poslední dekádě narůstá nejen počet let, ve kterých se stavy hydrologického sucha vyskytly, ale narůstá i počet dní v kalendářním roce s průtokem Q_{355} a nižším (obr. 1). Hydrologické sucho se vyskytuje převážně v letních měsících a počátkem podzimu (obr. 2). Se vzrůstem globální teploty vzduchu se zvyšuje rovněž výpar, který v konečném důsledku prohlubuje stavy hydrologického sucha. Přívalová srážka krátkodobě zvýší průtoky v tocích, ale z povodí rychle odtéče a průtoky se v letních měsících vzápětí opět dostávají do stavu hydrologického sucha.



Obr. 1 Počet dní v roce s průtokem Q_{355} a nižším v období 1990–2020.

Fig. 1 Number of days per year with a flow of Q_{355} and lower in the period 1990–2020.



Obr. 2 Počet dní v měsíci s průtokem Q_{355} a nižším v období 1990–2020.

Fig. 2 Number of days per month with a flow of Q_{355} and lower in the period 1990–2020.

Při nízkých průtocích je sice eliminován vliv plošných zdrojů znečištění, ale vlivem nižšího ředícího poměru se zvyšuje vliv bodového znečištění. Je tomu ale skutečně tak? V období významného hydrologického sucha roku 2015 se státní podnik Povodí Vltavy rozhodl zahustit pravidelný monitoring vodních toků (ve vybraných profilech) z měsíčního na 14denní. Ke zhoršení jakosti povrchových vod v antropogenně ovlivněných povodích v některých případech nedošlo. Je jisté, že eliminace znečištění v tocích je ovlivňována více faktory, z nichž některé mohou působit silněji v době hydrologického sucha než při vyšších hydrologických stavech. Tyto faktory můžeme v zásadě rozdělit na fyzikální, chemické a biologické. Z fyzikálního hlediska je důležitý poměr šířky k hloubce toku, protože souvisí s tím, jak velká část toku je v kontaktu se dnem toku, což je aktivní oblast pro zpracování živin. S poklesem hladiny plocha říčního dna „působí“ na menší objem vodního sloupce a zároveň se zvyšuje dotoková doba vlivem nižší průtokové rychlosti. Např. v profilu Metuje-Krčín bylo pomocí modelu CIT VÚV zjištěno, že při poklesu hladiny o 14 cm (z 34 na 20 cm) připadá na jednotku plochy říčního dna o 41 % menší objem vody a reakční doba se prodlouží o 30 %.

Slunečním zářením se vodní sloupec rychleji prohřeje a urychlují se biologické a fotodegradační procesy. V případě dusíku dochází v toku jak k nitrifikaci v oxických podmínkách, kdy je amoniakální dusík oxidován na dusičnany, tak současně i k denitrifikaci v oxických a anoxických podmínkách za redukce dusičnanů na plynný dusík N_2 , který uniká do atmosféry. Rozkladem organické hmoty se organický dusík transformuje na amoniakální dusík, který je pro nitrifikační bakterie snáze dostupný než kyslíkaté formy dusíku. (Sheibley et al. 2016). Přímý vstup dusíku do vody ze srážek je méně významný (Duff and Triska 2000). Významnější může být dotace dusíku do povrchových vod podzemními vodami. Rozpuštěná forma fosforu je snadno dostupná pro fytoplankton, makrofyta a bentické organismy. Snadno se váže na nerozpuštěné částice a ukládá do říčního sedimentu, odkud může být opět remobilizován do vodního sloupce v závislosti na hydrologických podmínkách a geomorfologické charakteristice říčního koryta (Sheibley et al. 2016).

Tento dílčí cíl projektu PERUN si dále klade za cíl zaměřit se na širší spektrum běžně sledovaných parametrů včetně prioritních a zvláště nebezpečných látek a pomocí jednoduchých a snadno aplikovatelných postupů vybrat parametry, které naznačují korelaci s kvantitativními údaji pro další, podrobnější zpracování a vyhodnocení jejich rizikovitosti v podmínkách klimatické změny.

2. Data

Pro statistickou analýzu dat jakosti povrchové vody na průtocích a párově mezi sebou byla použita data o jakosti povrchových vod v profilech sledování za období 2010–2021, v ojedinělých případech i starší poskytnutá státními podniky povodí Labe, Moravy, Odry a Vltavy a data průměrných denních průtoků ve vybraných hydrologických stanicích poskytnutá ČHMÚ situovaných v blízkosti vodoměrných stanic. Prvotní výběr zahrnoval 338 ukazatelů znečištění, jejich počet byl v další fázi řešení redukován s ohledem na nedostatečnou četnost měření nebo významný počet výsledků s hodnotami pod mezí stanovitelnosti. Hydrologická data byla převzata z on-line přístupných údajů Českého hydrometeorologického ústavu.

3. Metoda

Na základě dat z projektů dříve zpracovávaných ve VÚV TGM, v. v. i. a s využitím dostupných informací byl sestaven seznam parametrů pravidelně sledovaných v povrchových vodách. Pro výzkum v projektu PERUN bylo vytipováno 60 profilů pro sledování jakosti povrchových vod. Na základě analýzy říční sítě byly profilům sledování jakosti povrchových vod přiřazeny možné relevantní profily sledování množství vody (průtoky). Pro prvotní analýzy byly vybrány pouze ty jakostní profily, které leží přímo v místech profilů sledování množství vod. V dalším kroku

bude potřeba vyřešit jednotný způsob dopočtu chybějících dat o průtocích pro místa sledování jakosti vody, pokud se nenacházejí v blízkosti.

V druhém kroku byly z takto předvybraných dat vyřazeny ty profily a ukazatele, pro které existuje méně než 50 měření nebo je více než 90 % měření pod mezí stanovitelnosti. Pro prvotní analýzu tedy bylo vybráno 7 profilů (tab. 1) a 107 ukazatelů.

Tab. 1 Přehled říčních profilů pro statistické zhodnocení změn jakosti vody.

Tab. 1 Overview of river profiles for statistical evaluation of water quality changes.

HYSTA_ID	ARROW_ID	Název profilu	Název toku	Sledování od	Sledování do
101800	PLA_310	Předměřice	Jizera	31.01.2000	03.12.2019
161700	PVL_6800	Kojčice	Želivka	11.01.2010	09.12.2019
162600	PVL_3000	Senožaty (Jankovský mlýn)	Martinický potok (přítok Želivky)	11.01.2010	09.12.2019
166200	PVL_1066	Radonice	Blanice (př. Sázavy)	20.01.2010	04.12.2019
257000	POD_1161	Svinov	Odra	18.11.1980	27.11.2019
270200	POD_5210	ústí	Kocovský potok	16.01.2007	14.11.2019
271100	POD_3581	ústí-Karlovec	Černý potok	10.11.1980	14.11.2019

K měřeným údajům o koncentraci zájmového ukazatele byl přiřazen údaj o průměrném denním průtoku v době odběru. U vybraných profilů byl vyhodnocen trend průtoku v době odběru pro sledované období, které bylo v letech 2007 resp. 2010–2020, ve dvou případech 1980–2020. Tato jednoduchá analýza ukázala u šesti ze sedmi profilů sestupný trend. Pro každé datum sledování byl také vyhodnocen kvartil průtoku vzhledem k vybraným hodnotám (dnům měření jakosti) ve sledovaném období.

U vybraných látek a profilů byla data rozdělena do dvou skupin: (a) Tam kde bylo 10–90 % hodnot koncentrací pro daný profil pod mezí stanovitelnosti byl proveden „chí kvadrát“ test pro určení významné korelace mezi kvartilem množství a jakosti nabývajících jen dvou hodnot: pod mezí/nad mezí stanovitelnosti.

V případě profilů a ukazatelů, kde byly hodnoty koncentrace v 90 a více % nad mezí stanovitelnosti, byla měření pod mezí stanovitelnosti vypuštěna a byla provedena jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA) pro zjištění závislosti koncentrace na kvartilu průtoku.

V další části řešení tohoto dílčího cíle jsme se zaměřili na výzkum odbourávání znečištění v podélném profilu toku v době hydrologického sucha. Zaměřili jsme se na nutrienty: dusík celkový, dusík dusičnanový, dusík amoniakální, fosfor celkový, fosfor celkový filtrovaný, fosfor fosforečnanový, nerozpuštěné látky (při 105 °C) a organické znečištění charakterizované chemickou spotřebou kyslíku chromanovou metodou (CHSK_{Cr}). Byly vybrány úseky toků pod významným zdrojem znečištění, kde se v období hydrologického sucha předpokládá nízký faktor ředění. Zároveň se ve sledovaném úseku nevyskytují další významné zdroje bodového znečištění, aby bylo možno sledovat případnou atenuaci zájmových látek. Přehled lokalit je uveden v následující tab. 2. Pro výpočet ředícího faktoru bylo použito průměrné vypouštění odpadních vod vypočtené z celkového ročního objemu uvedeného ve vodohospodářské bilanci zpracované podle § 5 až 9 vyhlášky č. 431/2001 Sb., v platném znění, za rok 2021.

Tab. 2 Přehled a charakteristika lokalit pro studium eliminace znečištění v podélném profilu toku.

Tab. 2 List and characteristics of sites for the study of pollution elimination in the longitudinal profile of the river.

Název lokality	Říční km	$Q_{355} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Zdroj OV	$Q_{OV \text{ prům}} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Faktor ředění
Bílovka	0,3 až 5,3	0,018	ČOV Velké Albrechtice	0,020	0,9
Metuje	22,2 až 31,5	1,070	ČOV Náchod	0,126	8,5
Rakovnický potok	0,2 až 17,9	0,124	ČOV Rakovník	0,058	2,1
Valová	0,1 až 16,0	0,207	ČOV Prostějov	0,200	1,0

Záznamy srážek a průtoků ve výše uvedených lokalitách jsou zaznamenávány denně od 1. 6. 2023, průtoky v hodinovém kroku s výpočtem průměrného denního průtoky.

Řeka Bílovka v závěrečném úseku toku pod obcí Velké Albrechtice protéká zemědělsky obdělávanou rovinatou krajinou, v měřeném úseku převážkou částí v CHKO Poodří s travnatým porostem. Na posledním 2,3 km dlouhém úseku se rozděluje na dva toky, z nichž hlavní tok teče upraveným napřímeným korytem a vedlejší, průtokově slabší teče přirozeným meandrujícím korytem. Průměrná šířka toku činí 4 m, průměrný spád koryta $3 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{m}^{-1}$. Dno je štěrkové, v březních partiích na posledních 2 km před ústím do Odry s významnějším podílem jílovitého sedimentu.

Řeka Metuje je vzorkována od městské ČOV Náchod (místí část Bražec) po počátek Nového Města nad Metují v délce 9,3 km. Průměrná šířka toku činí 13 m, průměrný spád koryta $3,7 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{m}^{-1}$. V celém úseku se koryto řeky nachází v zářezu 70 až 150 m hlubokém se strmým sklonem po obou březích. Dno je štěrkové, v období vzorkování prakticky v celém úseku se silným rozvojem řas. V polovině vzorkovaného úseku (27,3 ř. km) do Metuje vtéká levostranný přítok Olešenka.

Rakovnický potok pod Rakovníkem po ústí do Berounky protéká CHKO Křivoklátsko nebo po jeho hranici v krajinném zářezu hlubokém 70 až 100 m. Převážná část levobřežní krajiny je pokryta lesním porostem. Šířka toku činí 3 až 7 m, v průměru 5 m. Průměrný spád koryta je $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{m}^{-1}$. Substrát dna je zpočátku bahnitý s kamennými bloky, postupně se měnící na štěrkový, v samém závěru kamenitý.

Řeka Valová pod Prostějovem protéká rovinatou krajinou zemědělsky intenzívně obhospodařovanou v upraveném korytě o šířce 4 až 6 m, v průměru 5,8 m. Průměrný spád koryta činí $0,94 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{m}^{-1}$.

Profily pro odběry vzorků od zdroje znečištění jsou od sebe vzdáleny s ohledem na přístupnost ve vzdálenosti 1 až 3 km. V období srpen až září 2023 proběhly dvě vzorkovací kampaně na Rakovnickém potoce a po jedné vzorkovací kampani na ostatních lokalitách. Vzorky byly odebírány do skleněných nebo plastových (PP) vzorkovnic a během transportu a skladování před analýzou chlazeny při teplotě +2 až +4 °C.

Vzorkování, které na lokalitách proběhlo během měsíce srpna a září 2023, je shrnuto v tab. 3. Další vzorkovací kampaně budou následovat rovněž za normálního hydrologického režimu při průměrných průtocích v chladné polovině roku a výsledky budou následně vyhodnoceny.

Tab. 3 Datum a hydrologické podmínky vzorkování vod na lokalitách

Tab. 3 Date and hydrological conditions of water sampling at the locations

Název lokality	Datum	$Q_{akt} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Zdroj OV	$Q_{OV \text{ akt}} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$	Faktor ředění
Bílovka	25. 8. 2023	0,113	ČOV Velké Albrechtice	0,0074	15,2
Metuje	13. 9. 2023	1,600	ČOV Náchod	0,118	13,6
Rakovnický potok	18. 7. 2023	0,116	ČOV Rakovník	0,038	3,1
Rakovnický potok	14. 8. 2023	0,116	ČOV Rakovník	0,059	2,0
Valová	21. 8. 2023	0,327	ČOV Prostějov	0,220	1,5

4. Výsledky

Na základě provedení „chí kvadrát“ testu byly vybrané ukazatele znečištění rozděleny do tří kategorií:

1. tam kde neexistuje korelace mezi kvantilem průtoku a podílem měření pod mezí detekce,
2. tam kde výše uvedená korelace existuje
3. a tam kde je tato korelace patrná jen u některých profilů.

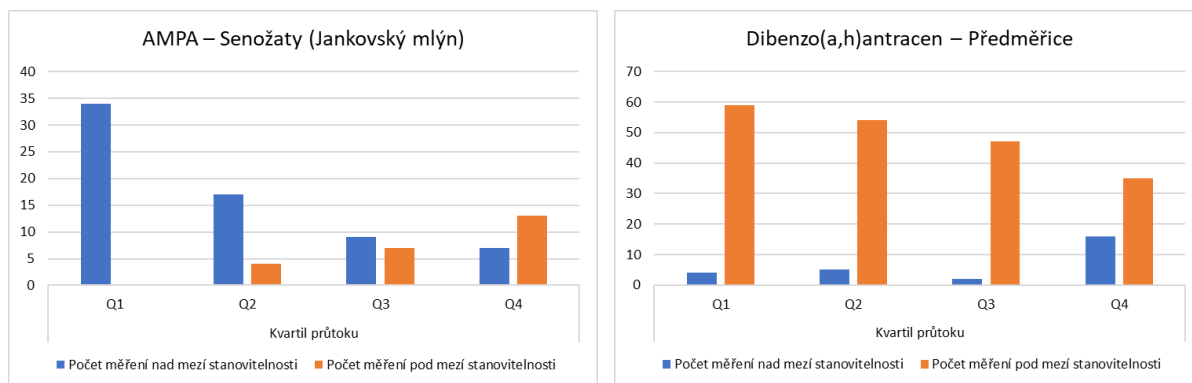
Tabulka 4 uvádí přehled těch ukazatelů, které byly sledovány ve dvou a více profilech.

Tab. 4 Rozdělení ukazatelů podle zjištěné závislosti kvalitativních a kvantitativních charakteristik.

Tab. 4 Distribution of indicators according to the established dependence of qualitative and quantitative characteristics.

Kategorie 1 – nezávislé	Počet profilů	Kategorie 2 – potenciálně závislé	Počet profilů	Kategorie 3	nezávislé	závislé
metolachlor	5	dibenzo(a,h)antracen	4	antracen	1	5
měď po filtraci	4	atrazin desethyl	3	benzo(k)fluoranthén	1	4
olovo	4	fluoren	2	indeno(1,2,3-cd)pyren	1	4
di(2-ethylhexyl)ftalát (DEHP)	3	chrysen	2	benzo(a)antracen	1	3
kadmium	3	vanad	2	benzo(ghi)perylene	2	3
kyanidy celkové	3	metazachlor ESA	2	benzo(a)pyren	3	2
metazachlor	3	metazachlor OA	1	bisfenol A	3	1
benzo(b)fluoranthén	2	karbamazepin	1	metolachlor OA	1	2
chlorofyl (ethanolem)	2	AMPA	1	glyfosát	1	2
nonylfenoly	2					
tonalid	2					

Výsledek testu ukazuje, že u řady ukazatelů, kde vysoký podíl měření pod mezí stanovitelnosti znemožňuje podrobnější vyhodnocení, je při velmi nízkém nebo velmi vysokém průtoku vyšší pravděpodobnost, že sledovaná hodnota bude nad mezí stanovitelnosti tj. vyšší. Příkladem může být metabolit glyfosátu – AMPA v profilu Senožaty (obr. 3), kde při průtoku do úrovně prvního kvartilu (čtvrtina měření při nejnižším průtoku) není žádné z 34 měření pod mezí stanovitelnosti, zatímco ve čtvrtině měření s nejvyššími průtoky je z 20 měření 13 pod mezí stanovitelnosti.



Obr. 3 Výsledek „chi kvadrát“ testu mezi průtokem a koncentrací ukazatelů AMPA a dibenzo(a,h)anthracen.

Fig. 3 Chi-square test result between flow rate and concentration of AMPA and dibenzo(a,h)anthracene.

Naopak látky ze skupiny polycyklických aromatických uhlovodíků vykazují podobně silnou korelaci mezi kvantilem průtoku a podílem měření pod mezí stanovitelnosti, ale s opačným znaménkem. Příkladem může být dibenzo(a,h)anthracen v profilu Předměřice: při nejvyšších průtocích (kvartil průtoku Q4) dosahuje měřitelných hodnot 16 měření z 51, při nízkých průtocích (Q₁) jsou jen 4 měření z 63.

Data s malým podílem hodnot pod mezí stanovitelnosti

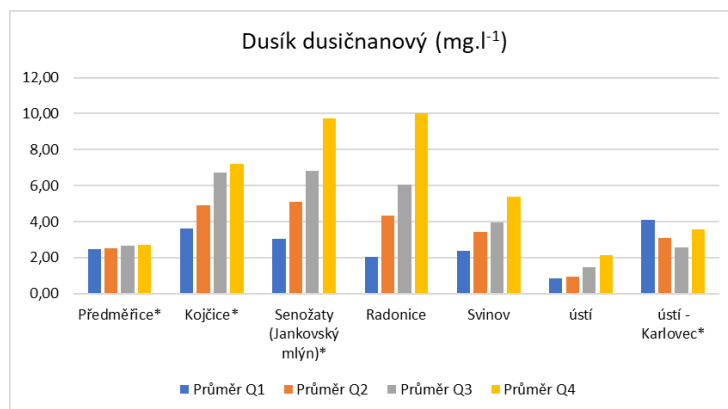
V případě analýzy ANOVA nebyly výsledky jednoznačné, ale lišily v jednotlivých profilech. Následující grafy ilustrují postup u ukazatelů a profilů, kde počet hodnot nad mezí stanovitelnosti přesáhl 90 % měření. Pro každý kvartil průtoku Q₁ až Q₄ je uvedena střední hodnota (průměr) koncentrace a kritérium „p“ podle analýzy ANOVA, kde hodnota menší než 0,05 ukazuje na závislost. Ukazuje se, jak se hodnota mění s narůstajícím průtokem, ne vždy jde ale o souvislost statisticky průkaznou. Zde je ovšem také třeba zvážit vhodnost statistické metody a případně zvolit jinou metodu. Podrobnější analýza by měla zahrnovat odstranění sezónnosti jak v jakostních, tak v množství charakteristikách a zohlednit také dlouhodobý trend, jak ho popisuje např. Prchalová (Prchalová et al. 2023).

Následující grafy zobrazují výsledky pro některé z běžných ukazatelů. Zatímco koncentrace dusičnanového dusíku s rostoucím průtokem mírně rostou (obr. 4), koncentrace fosforečnanového fosforu klesají (obr. 5), ne vždy je ale souvislost dostatečně prokázána.

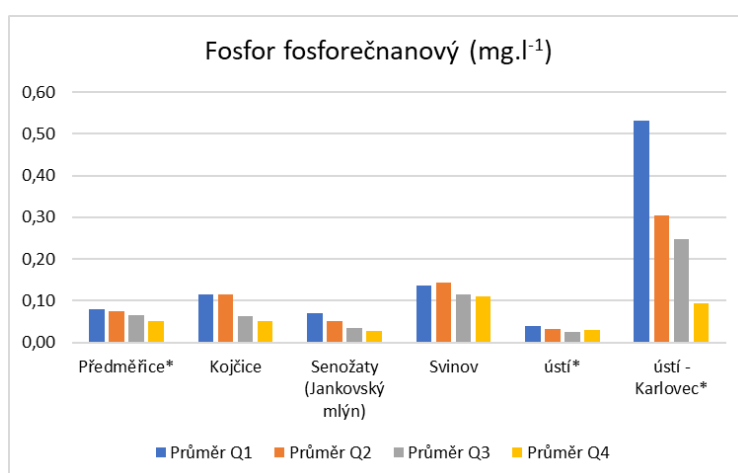
Také v případě polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) je patrné, že průměrná koncentrace s průtokem téměř vždy roste a většinou jde o statisticky prokázanou závislost (obr. 6).

Na obr. 7 jsou uvedeny příklady dvou metabolitů pesticidů, které vykazují opačné charakteristiky: AMPA, metabolit glyfosátu, se vyznačuje vyššími koncentracemi při nižším průtokem, v jiném profilu pak stejná látka vykazovala větší počet hodnot pod mezí stanovitelnosti při vyšších průtocích. Naopak u metazachloru ESA průměrná koncentrace s rostoucím průtokem stoupá, ačkoli ne vždy je tato souvislost statisticky průkazná.

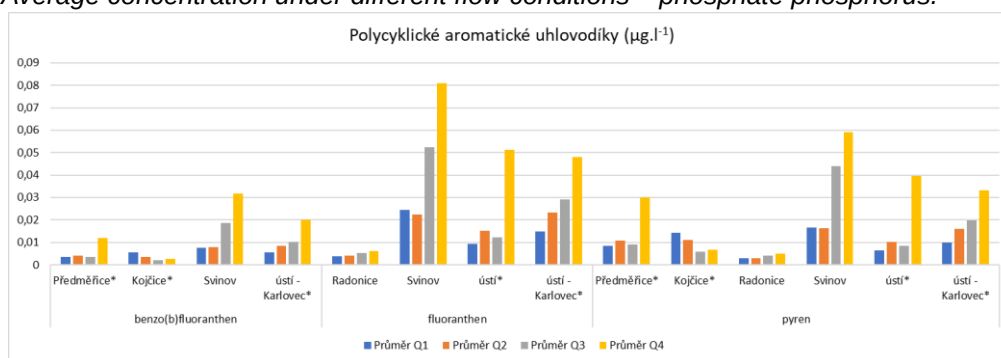
Obr. 8 ukazuje příklady dvou léčiv, jejichž koncentrace se s rostoucím průtokem spíše snižuje, jak odpovídá předpokladu, že tyto látky se do povrchových vod dostávají z komunálních ČOV v relativně konstantním množství a s rostoucím průtokem tedy jejich koncentrace klesá.



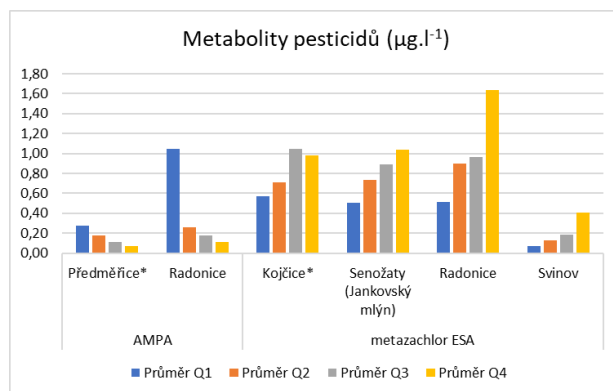
Obr. 4 Průměrná koncentrace za různých průtokových stavů – dusík dusičnanový.
Fig. 4 Average concentration under different flow conditions – nitrate nitrogen.



Obr. 5 Průměrná koncentrace za různých průtokových stavů – fosfor fosforečnanový.
Fig. 5 Average concentration under different flow conditions – phosphate phosphorus.

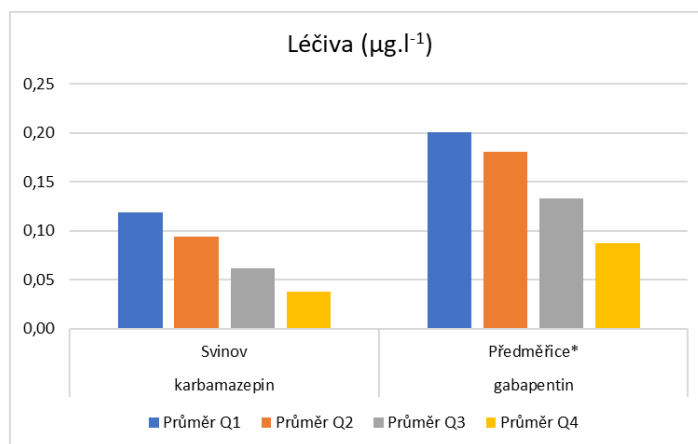


Obr. 6 Průměrná koncentrace za různých průtokových stavů – vybrané polycyklické aromatické uhlovodíky.
Fig. 6 Average concentration under different flow conditions – selected polycyclic aromatic hydrocarbons.



Obr. 7 Průměrná koncentrace za různých průtokových stavů – vybrané metabolity pesticidů.

Fig. 7 Average concentration under different flow conditions – selected metabolites of pesticides.



Obr. 8 Průměrná koncentrace za různých průtokových stavů – vybraná léčiva.

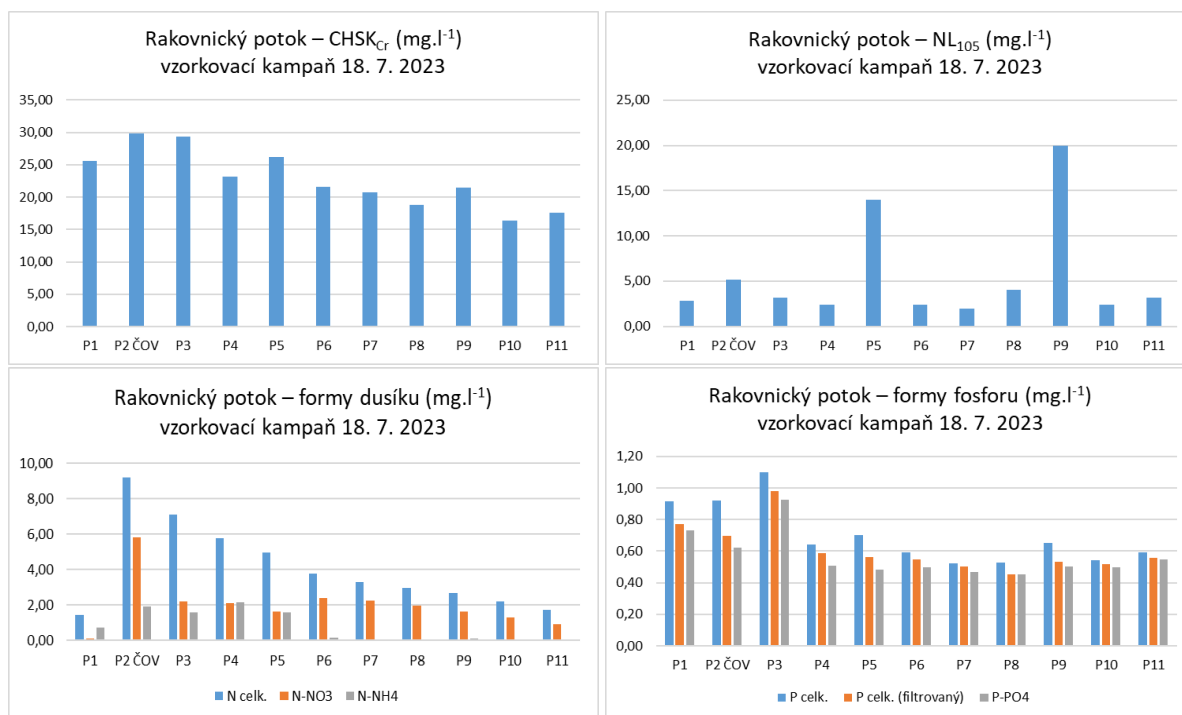
Fig. 8 Average concentration under different flow conditions – selected pharmaceuticals.

Přejdeme k výsledkům zkoumání možné atenuace znečištění v podélném profilu toku na vybraných lokalitách. Nejprve je potřeba stručně zmínit hydrologickou situaci v období od června do září tohoto roku. Stav hydrologického sucha, který se již udržel po celý den nebo jeho převážnou část, nastal na Rakovnickém potoce (Rakovnický potok-Rakovník) a v Bílovce (Bílovka-V. Albrechtice) na počátku července 2023 a udržel se po dobu dvou týdnů (Bílovka) a tří týdnů (Rakovnický p.). Poté nastoupilo srážkově bohaté období, které přetrvalo až do konce 1. týdne měsíce srpna. Hydrologické sucho se obnovilo nejdříve v povodí Rakovnického potoka 13. 8. a s částečným přerušením na konci srpna pokračovalo až do konce měsíce září 2023. V Bílovce k obnovení hydrologického sucha do konce září 2023 nedošlo.

Hydrologická situace řeky Valová (též nazývané jako Romže) hodnocená podle vodoměrné v profilu Polkovice je ovlivněna vypouštěním z přehrady Plumlov situované nad městem Prostějov. Průměrný denní průtok v období červen až září 2023 neklesl pod hranici hydrologického sucha, významněji během dne k poklesu pod tuto hranici docházelo v druhé polovině června a července. Metuje si po celé léto udržela dostatečný průtok a ke krátkodobým poklesům pod hranici Q_{355} docházelo až od druhé dekády září 2023.

V tomto příspěvku prezentujeme výsledky vzorkování Rakovnického potoka, který se sledovaných lokalit patřil k hydrologicky nejsušším. Rakovnický potok je silně organicky znečištěn už nad ČOV Rakovník (profil P1 graf $CHSK_{Cr}$ na obr. 9). Pod vypouštěním z této čistírny odpadních vod se jakost vody v Rakovnickém potoce dále zhoršila, směrem po proudu až k ústí do Berounky se ale postupně zlepšovala. K mírnému vzestupu koncentrace $CHSK_{Cr}$ došlo v profilech P5 a P9 vlivem vyšší koncentrace nerozpuštěných látek ve vzorku. Potvrdila

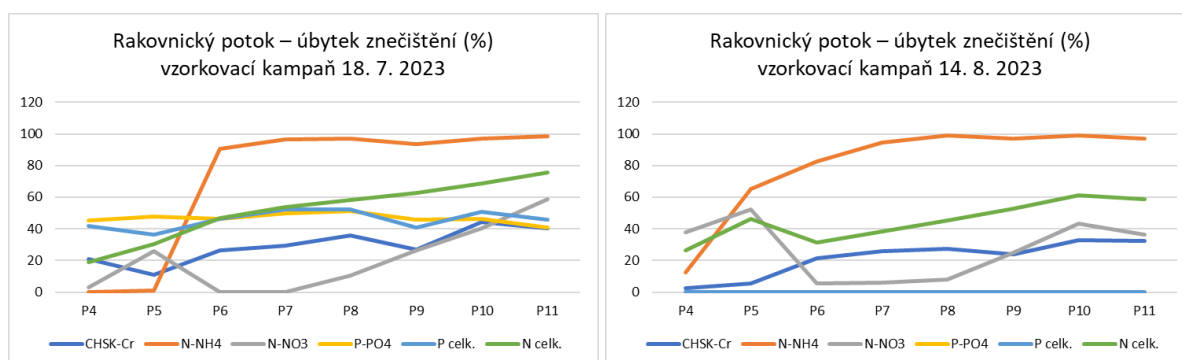
se rychlá oxidace amoniakálního dusíku již několik kilometrů pod vypouštěním z ČOV Rakovník a významný úbytek celkového dusíku. Fosfor se choval odlišně. Přepládal v rozpuštěné formě (koncentrace fosforečnanového fosforu a rozpuštěného fosforu byla velmi podobná). Zatížení Rakovnického potoka fosforem je značné už nad ČOV Rakovník a v profilu pod vypouštěním z této čistírny dále vzrostlo. Po významné atenuaci v profilu P4 se ale jeho koncentrace dále po proudu až k ústí do Berounky prakticky nezměnila, v závěrečném profilu pod obcí Křivoklát dokonce mírně vzrostla. Růst koncentrace fosforu se potvrdil také v profilech se zvýšenou koncentrací nerozpuštěných látek (dochází deponování fosforu v dnovém sedimentu).



Obr. 9 Koncentrace látek v Rakovnickém potoce pod Rakovníkem až k ústí do Berounky.

Fig. 9 Concentration of substances in the Rakovnický stream below Rakovník up to the mouth to Berounka.

Srovnání úbytku znečištění v Rakovnickém potoce obou vzorkovacích kampaní zobrazuje obr. 10.



Obr. 10 Úbytek znečištění v Rakovnickém potoce pod Rakovníkem až k ústí do Berounky.

Fig. 10 Pollution attenuation in the Rakovnický stream below Rakovník up to the mouth to Berounka.

Úbytek znečištění ve sledovaných parametrech byl u obou vzorkovacích kampaní v době hydrologického sucha obdobný, v 1. vzorkovací kampani realizované 18. 7. 2023 byl vyšší než ve 2. vzorkovací kampani 14. 8. 2023, kdy odpadní voda z ČOV Rakovník vykazovala nižší úroveň znečištění. Celkový úbytek od profilu P3 (pod ČOV Rakovník) k profilu P11 (ústí)

dosahoval v obou vzorkovacích kampaních v případě CHSK_{Cr} 40,1 % resp. 36,2 %; N_{celk} 75,7 % resp. 58,8 %; N-NH_4^+ 98,8 % resp. 97,3 %; N-NO_3^- 58,6 % resp. 36,1 %. Odlišná situace nastala u celkového fosforu, kdy se v 2. vzorkovací kampani úbytek nedal vyhodnotit. To bylo způsobeno tím, že jeho koncentrace v odpadní vodě ČOV Rakovník byla významně nižší než v toku nad tímto zdrojem a díky nízkému faktoru ředění došlo pod čistírnou odpadních vod k nadlepšení, které ale bylo přechodné a v dalším úseku toku po proudu se obdobně jako v 1. vzorkovací kampani koncentrace fosforu zvýšila. Celkový úbytek od profilu P3 (pod ČOV Rakovník) k profilu P11 (ústí) v 1. vzorkovací kampani u P_{celk} činil 46 % a P-PO_4^{3-} 40,9 % s tím, že tato atenuace byla dosažena v profilu P4 a dále již po proudu nepokračovala.

5. Závěr

Všechny provedené statistické testy mají charakter předběžných vyhodnocení. Pro vyšší hodnověrnost výsledků bude potřeba provést detailnější analýzu datových sad, očistit data od sezónních výkyvů a dlouhodobých trendů jak v kvalitativních, tak v kvantitativních charakteristikách. Při rozšíření datové základny o další profily říční sítě bude potřeba vyřešit postup zpřesnění průtoků v případech, kdy se místa sledování jakosti povrchových vod nekryjí s místy sledování průtoku. Přesto i takto zjednodušený postup poskytuje určité výsledky závislosti koncentrace na průtoku a ukazuje další možné směry výzkumu. U některých skupin látek lze vysledovat podobné vzorce „chování“ s ohledem na hydrologickou situaci. Z praktického hlediska lze výsledky využít k plánování monitorovacích kampaní, případně k vytipování látek a skupin látek, které se vyskytují ojediněle, ale jejich význam by při častějších a déle trvajících epizodách hydrologického sucha mohl vzrůstat.

První průběžné výsledky úbytku znečištění v podélném profilu toku potvrdily vhodnost tří lokalit ze čtyř původně vybraných pro tento výzkum. Významný úbytek byl potvrzen v případě amoniakálního dusíku, celkového dusíku a organického znečištění charakterizovaného ukazatelem CHSK_{Cr} . Koncentrace fosforu je v toku po vyrovnání jeho koncentrace pod zdrojem znečištění (na konci mísící zóny) prakticky stabilní a je velice citlivá na obsah nerozpuštěných látek. Převládá v rozpuštěné formě. V dalším řešení bude výzkum pokračovat srovnáním v chladném období roku a za různých hydrologických podmínek.

Poděkování

Článek vznikl za podpory projektu PERUN – Predikce, hodnocení a výzkum citlivosti vybraných systémů, vlivu sucha a změny klimatu v Česku, (reg. č. SS02030040), financovaného Technologickou agenturou ČR v rámci programu Prostředí pro život.

Děkujeme podnikům povodí Labe, Moravy, Odry a Vltavy za poskytnutí dat o sledované jakosti povrchové vody.

Dále děkujeme Českému hydrometeorologickému ústavu za poskytnutí údajů o průtocích ve sledovaném období.

Literatura

DUFF, J. H., AND TRISKA, F. J., 2000. Nitrogen biogeochemistry and surface-subsurface exchange in streams in Jones, J. B., Mulholland, P. J., eds.. Streams and ground waters: San Diego, Academic Press, 197–220.

PRCHALOVÁ, H., RICHTER, P., VYSKOČ, P., PICEK, J., DUBSKÁ, M., KOZLOVÁ, M., 2023. Hodnocení trendů v koncentracích chemických a fyzikálně-chemických ukazatelů stavu povrchových vod. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, **65**, 3, 4–16, ISSN 0322-8916. <https://doi.org/10.46555/VTEI.2023.03.002>

SHEIBLEY, W. R., KONRAD, P. K., BLACK, R. W., 2016. US Geological Survey: Nutrient Attenuation in Rivers and Streams, Puget Sound Basin, Washington. *Survey Scientific Investigations Report* 2015–5074, Version 1.1, February 2016, 70 pp.