

Kvalita vody Rakovnického potoka v obdobích nízkých průtoků

TOMÁŠ MIČANÍK, FRANTIŠEK SÝKORA, ALENA KRISTOVÁ, DAVID
CHRASTINA

Klíčová slova: kvalita vody – hydrologické sucho – nutrienty – léčiva

ABSTRAKT

Změna klimatu provázená v České republice nárůstem teploty vzduchu na celém území je příčinou vyšší četnosti hydrologických extrémů. K nim patří nejen bleskové povodně, ale rovněž období provázená hydrologickým suchem. V posledních letech jsme svědky zvyšování počtu dní s průtokem Q_{355} a nižším, který hydrologické sucho charakterizuje. Během nízkých průtoků se kvalita vody ve vodních tocích pod zdroji znečištění zhoršuje vlivem nižší ředící schopnosti. Na straně druhé směrem po proudu působí faktory, které k odbourávání znečištění mohou přispívat, jako jsou především vyšší teplota, delší a intenzivnější působení slunečního svitu a delší doba setrvání vody v korytě.

Pro studium kvality vody v době hydrologického sucha byl vybrán Rakovnický potok, který je často vystaven extrémům hydrologického sucha. Po jeho stranách se rozprostírá město Rakovník s více než 15 tisíci obyvateli, městská ČOV Rakovník je tak významným antropogenním zdrojem. Na vytipovaných 13 profilech v dolní části povodí Rakovnického potoka byl sledován koncentrační průběh sloučenin dusíku a fosforu, které jsou příčinou eutrofizace, a léčiv, jež se v komunálních odpadních vodách hojně vyskytují. Byla potvrzena rozdílná dynamika koncentrací sloučenin dusíku a fosforu ve studované oblasti v průběhu jara až podzimu za různých hydrologických podmínek. Bylo zjištěno, že hydrologické sucho v teplejším období roku přispívá k odbourávání sloučenin dusíku na rozdíl od sloučenin fosforu. Zároveň bylo zjištěno, která léčiva v toku přetrvávají a která jsou eliminována. Není však vyloučena tvorba jejich metabolitů.

ÚVOD

Rakovnický potok s plochou povodí 367,9 km² pramení na severozápadním úbočí Plavečského vrchu v extravilánu obce Drahouš v nadmořské výšce 577 m n. m. Vzápětí se směřování toku prudce mění ze západního na severovýchodní až východní, pod městem Rakovník v dolním úseku toku pak na jihovýchodní. Po 48,5 ř. km ústí do Berounky v jejím 62,3 ř. km. K významnějším přítokům v horní části povodí Rakovnického potoka patří Petrovický potok a Kolečovický potok. Nejvýznamnější je však Lišanský potok s délkou 19 ř. km, který do Rakovnického potoka ústí v jihovýchodní části intravilánu města Rakovník. V dolní části Rakovnického potoka pod Rakovníkem je významnějším přítokem pouze říčka Ryšava (9,1 ř. km).

Povodí Rakovnického potoka je součástí Rakovnické pahorkatiny a Křivoklátské vrchoviny. Elleder [1] označuje povodí Rakovnického potoka za oblast srážkového stínu. Dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek za období 1991 až 2020 ve srážkoměrné stanici Rakovník byl

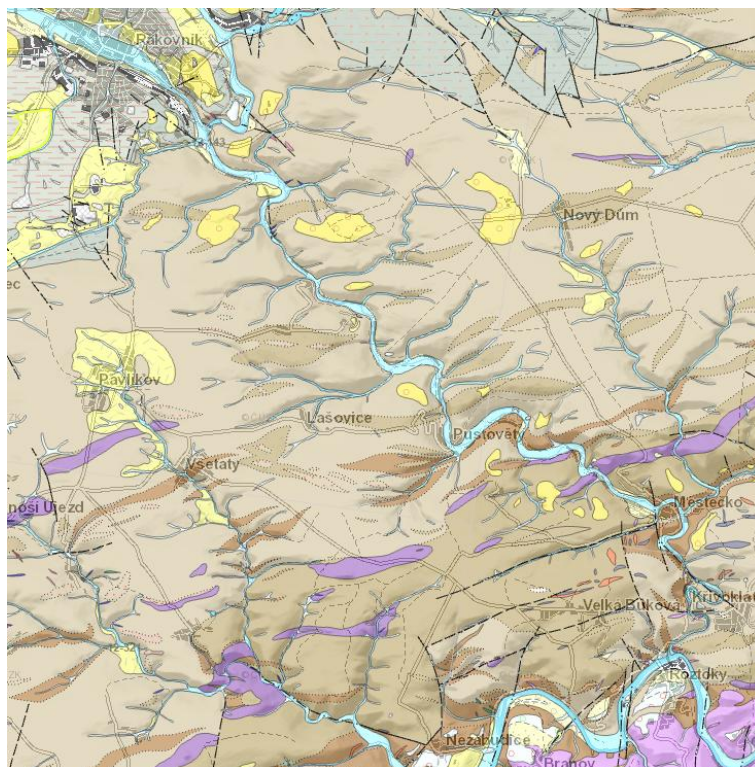
507,3 mm [2]. Dlouhodobý průměrný roční průtok Rakovnického potoka pod ústím Lišanského potoka v 17,69 ř. km činí $0,476 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (odpovídá vodnímu stavu 54 cm) [3]. V posledních deseti letech (2015 až 2025) se snížil na $0,321 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Hydrologické sucho nastává při poklesu hladiny v měrné stanici Rakovnický potok-Rakovník na 45 cm, což odpovídá průtoku $0,124 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ [4] (*obr. 1*).



Obr. 1. Rakovnický potok pod městem Rakovník
Fig. 1. Rakovnický stream below the town Rakovník

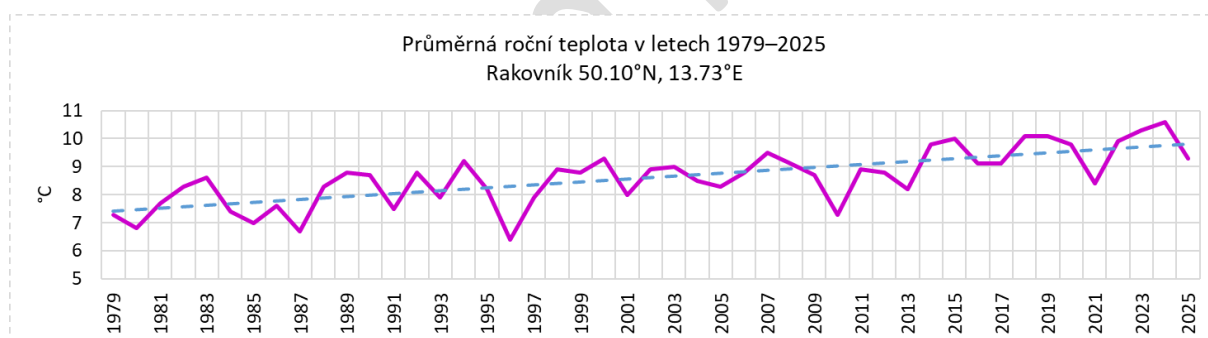
Území povodí Rakovnického potoka je z geologického hlediska velmi rozmanité. Výrazně se liší severozápadní část po město Rakovník a jihovýchodní část po ústí do Berounky. V prvně jmenované oblasti se střídají horniny kvartérního stáří se svahovými písčitojílovými až jílovými hlínami. Na západě se nachází masiv silikátových hornin tvořený staršími prvohorními vyvřelinami, žulami, občas rulami a dalšími horninami. Na severu vznikl křídový útvar, kde se nacházejí především jílovce, sliny, opuky a vápnité pískovce. Dolní úsek povodí Rakovnického potoka je geologicky zcela odlišný: krystalinikum a zvrásněné paleozoikum jsou zastoupeny drobou s jemným až středním zrnem, břidlicemi a prachovcem, místy s proplástkou hrubě zrnitých drob. Fluviální naplaveniny kopírují pouze vodní tok a jeho bezprostřední okolí (*obr. 2*).

Hydrologie Rakovnického potoka je ovlivňována nejen srážkovým stínem Krušných hor, ale rovněž změnami klimatických podmínek v posledních desetiletích. Ačkoli pokles ročních srážkových úhrnů není významný, mění se charakter srážek provázený delšími obdobími sucha a vyšší intenzitou srážek, pokud nastanou. Průtok v recipientech je tak po srážkách zvýšen jen krátkodobě. Výrazný vzestupný trend vykazuje průměrná roční teplota, jak je zřetelně vidět na *obr. 3*. Nárůst za období 1979 až 2025 činí $+2,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a až na výjimky je vzestup průměrné měsíční teploty v posledních 20 letech charakteristický pro většinu měsíců v roce. Vzestup teploty vzduchu je příčinou vyššího výparu a nižšího odtoku z povodí. Sestupný trend průměrného ročního odtoku vypočtený z průměrného denního průtoku ČHMÚ v limnigrafické stanici Rakovnický potok-Rakovník [7] situované pod městem Rakovník a pod přítokem Lišanského potoka za období 1981 až 2025 to dokazuje. Propad průměrného průtoku v měsíci srpnu je ještě výraznější (*obr. 4*). Počet dní s průtokem Q_{355} a nižším, charakterizujícím hydrologické sucho, po roce 2005 a zvláště pak po roce 2017 nabyl na četnosti (*obr. 5*).



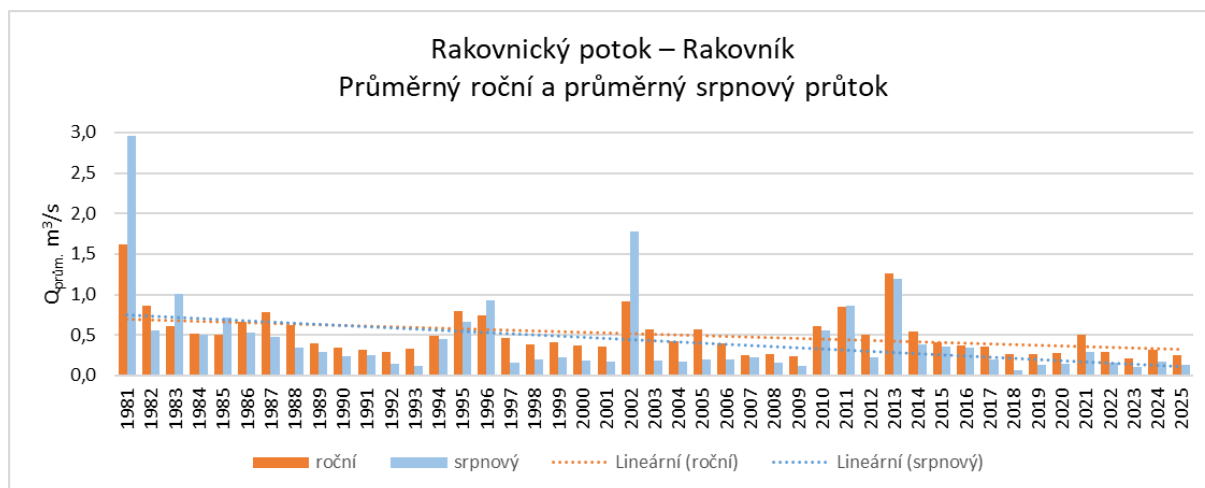
Obr. 2. Geovědní mapa dolní části povodí Rakovnického potoka 1 : 25 000 (zdroj: [5])

Fig. 2. Geoscience map of the lower part of the Rakovnický stream catchment area (source: [5])



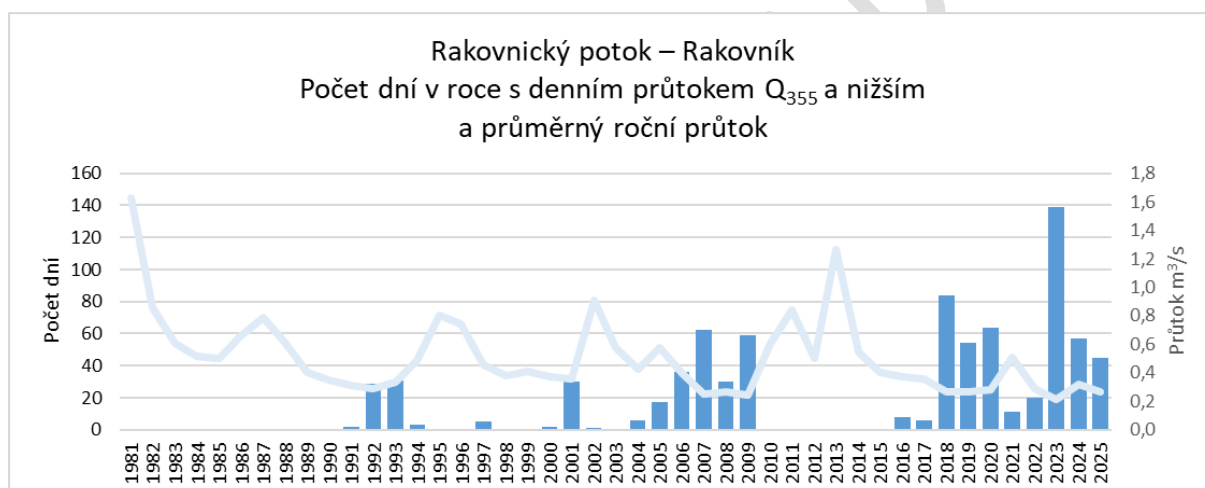
Obr. 3. Vývoj průměrné roční teploty vzduchu ve stanici Rakovník za období 1979 až 2025 (zdroj: [6])

Fig. 3. Mean yearly air temperature at the Rakovník station for the period 1979 to 2025 (source: [6])



Obr. 4. Průměrný roční průtok a průměrný srpnový průtok v Rakovnickém potoce za období 1981 až 2025

Fig. 4. Average annual flow and average August flow in the Rakovnický stream for the period 1981 to 2025



Obr. 5. Průměrný roční průtok a počet dní s průtokem Q_{355} a nižším za období 1981 až 2025

Fig. 5. Average annual flow and the number of days with a flow of Q_{355} or less for the period 1981 to 2025

Povodí Rakovnického potoka zahrnuje celkem čtyři útvary povrchových vod: BER_0740 Rakovnický potok od pramene po Kolečovický potok, BER_0750 Kolečovický potok, BER_0760 Lišanský potok a BER_0770 Rakovnický potok od toku Kolečovický potok po ústí do toku Berounka. Závěrný profil sledování kvality povrchových vod před ústím do Berounky PVL_1093 se nachází pod obcí Křivoklát. Útvar BER_0770 nedosahuje dobrého chemického stavu ani dobrého ekologického stavu. Důvodem nedosahování dobrého chemického stavu jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (fluoranthén a benzo(a)pyren) a pesticidy (cypermethrin). V případě všeobecných fyzikálně-chemických složek ekologického stavu jsou důvodem nedosahování dobrého stavu pH, dusičnany, celkový fosfor, fosforečnany, adsorbovatelné organicky vázané halogeny (AOX) a kyselina ethylendiamintetraoctová (EDTA) [8].

Nejvýznamnějším zdrojem bodového znečištění v povodí Rakovnického potoka je městská čistírna odpadních vod ČOV Rakovník o projektové kapacitě 26 000 EO. Čistírna zpracovává

splaškové odpadní vody z města Rakovník a několika přilehlých obcí (odhad 20 600 obyvatel) s podílem průmyslových odpadních vod. ČOV Rakovník provozovaná společností RAVOS, s. r. o., v současnosti pracuje na hranici své látkové a hydraulické kapacity. V předchozích letech byla připravena a v roce 2026 zahájena intenzifikace ČOV v celkovém předpokládaném finančním objemu přes 118 mil. Kč [9]. Druhým nejvýznamnějším bodovým zdrojem znečištění co do objemu vypouštěných odpadních vod je ČOV Krušovice, jež čistí odpadní vody z Královského pivovaru Krušovice a stejnojmenné obce. Obec se nachází v horní části povodí Lišanského potoka.

Z výše uvedeného vyplývá, že Rakovnický potok je významně antropogenně ovlivněným tokem s nevyhovující kvalitou povrchové vody. Znečištění, které se do něj dostává v době hydrologického sucha, je méně nařed'ováno, čímž by zákonitě měla být jakost vody v době hydrologického sucha ve většině parametrů horší než v době vyšších průtoků. V případě Rakovnického potoka lze v období hydrologického sucha často pozorovat, že průtok v recipientu nad Lišanským potokem a výpustí z ČOV Rakovník ztrácí svou kontinuitu (*obr. 6*). Faktor ředění odpadní vody z ČOV Rakovník při Q_{355} v recipientu činí pouhých 2,3. Během nízkých průtoků se především v letním období projevují vlivy, jež mohou přispívat k rychlejší transformaci působením samočisticích procesů znečištění, a tím částečně nebo zcela eliminovat nepříznivý dopad nízkého stupně ředění v recipientu. Těmito faktory jsou vyšší teplota, vyšší intenzita světla a delší doba jeho působení (fotodegradace), nižší rychlost proudění vody a s ní delší čas, po který substrát dna a široké spektrum organismů působí na vodní sloupec a v něm obsažené znečištění. Zda probíhá eliminace znečištění v Rakovnickém potoce i v době hydrologického sucha, bylo předmětem výzkumu, jehož výsledky přináší tento příspěvek.



Obr. 6. Rakovnický potok nad Lišanským potokem 14. srpna 2023

Fig. 6. Rakovnický stream above Lišanský stream 14 August 2023

METODIKA

Pro studium průběhu znečištění v podélném profilu vodního toku v době hydrologického sucha byl vybrán dolní úsek Rakovnického potoka od ČOV Rakovník po ústí do Berounky. Podmínkou výběru tohoto téměř 18kilometrového úseku bylo vypouštění odpadních vod z městské ČOV Rakovník provozované společností RAVOS, s. r. o. Původní ČOV s modernizovaným mechanickým stupněm čištění (česle, lapák písku, usazovací nádrže) byla v

rámci stavby „Rozšíření ČOV Rakovník – II. etapa“ doplněna o další biologický stupeň, který do té doby tvořila dvojice biologických filtrů (v současnosti mimo provoz) a dosazovacích nádrží. Vybudovaná dvojlinka aktivacních nádrží provzdušňovaných jemnobublinným aeračním systémem s předřazenou denitrifikací a nitrifikací čištěných odpadních vod byla v rámci další stavby „Intenzifikace ČOV Rakovník – III. stavba“ rozšířena o regenerační nádrž a bubnová mikrosíta terciárního čištění. Nízko zatížená aktivace ČOV Rakovník pracuje v režimu D-R-D-N, tedy regenerační nádrž s předřazenou denitrifikací (anoxický selektor), regenerační nádrž a dvě technologické linky tvořené denitrifikační a nitrifikační nádrží. Průměrné roční vypouštění odpadních vod je v rozmezí 51 až 55 l · s⁻¹ [10]. K odlehčení dochází za mechanickým předčištěním při maximálním množství přiváděných splaškových vod do biologické části linky 160 l · s⁻¹ a vyšším.

Směrem k ústí do Berounky se kolem Rakovnického potoka nachází několik menších obcí: Dolní Chlum, Pustověty, Městečko a Křivoklát. Obec Chlum včetně Dolního Chlumu a Ryšina zahrnuje přibližně 212 obyvatel. Odpadní vody jsou jímány do bezodtokých jímek s vyvážením na ČOV Pavlíkov mimo povodí Rakovnického potoka. Podle údajů Centrálního registru vodoprávní evidence je v obci Chlum 13 domovních čistíren odpadních vod (DČOV), všechny s vypouštěním do vod podzemních přes půdní vrstvy. V obci Pustověty (116 obyvatel) je od února 2026 budována obecní kanalizace včetně ČOV o kapacitě 150 EO (předpokládaný termín dokončení je jaro 2027). V obci jsou dvě domovní ČOV s vypouštěním do vod podzemních přes půdní vrstvy, ostatní nemovitosti disponují septiky s vyvážením. V obci Městečko (449 obyvatel) byla vybudována tlaková kanalizace od roku 2023 s vypouštěním na ČOV Křivoklát. V roce 2016 byly zahájeny práce na výstavbě kanalizace a ČOV v obci Křivoklát (674 obyvatel). ČOV Křivoklát byla vybudována na místě původní kořenové čistírny s projektovanou kapacitou 1 400 EO v horní části obce, odpadní vody jsou do ní přiváděny tlakovou kanalizací. Celkový objem vypouštěných odpadních vod v roce 2024 činil 15,5 tis. m³, což představuje v průměru 0,5 l · s⁻¹.

Rakovnický potok pod Rakovníkem protéká v hlubokém zářezu okolní krajiny zpočátku po hranici CHKO Křivoklátsko, od ústí Lašovického potoka je již plně jeho součástí. Z hydromorfologického hlediska je horní a střední část Rakovnického potoka silně degradována zemědělskou a průmyslovou činností s umělou stabilizací a napřímením koryta v Rakovnici. Dolní část pod Rakovníkem v CHKO Křivoklátsko si zachovává takřka přírodní ráz a dno s přírodním substrátem.

První vzorkovací profil P1 byl lokalizován cca 0,4 km pod ústím Lišanského potoka v místě odbočky na Hradcův Mlýn nad místem vypouštění z ČOV Rakovník. Profil může být částečně ovlivněn vypouštěním z ČOV Krušovice, která je od profilu P1 vzdálena cca 13,4 ř. km. Objem vypouštěných vod v roce 2025 činil 343 tis. m³ · r⁻¹ (v průměru 10,9 l · s⁻¹). Směrem k ústí do Berounky bylo vytipováno dalších 12 vzorkovacích profilů, z nich 10 na vlastním toku Rakovnického potoka a dva profily na přítocích. Jejich seznam je uveden v *tab.1*. Profil Rakovnický potok-Popelka nebyl od poloviny roku 2024 vzorkován z důvodu obtížné přístupnosti (brodem nad obcí Městečko).

Tab. 1. Profily vzorkování povrchové a odpadní vody v povodí Rakovnického potoka

Tab. 1. Surface water and wastewater sampling profiles in the Rakovnický stream catchment area

Označení profilu	Název profilu	Ř. km	Matrice
P1	Rakovnický p.-nad ČOV Rakovník	17,9	PV
P2	ČOV Rakovník-odtok	17,8	OV
P3	Rakovnický p.-Papírna	17,1	OV
P4	Rakovnický p.-Kohoutův Mlýn	16,0	PV
P5	Rakovnický p.-Dolní Chlum (nad)	14,5	PV
P6	Rakovnický p.-nad Lašovickým p.	12,2	PV
P7	Lašovický p.-ústí*	0,05	PV
P8	Rakovnický p.-nad obcí Pustověty	10,4	PV
P9	Rakovnický p.-Popelka	6,3	PV
P10	Rakovnický p.-nad obcí Městečko	5,6	PV
P11	Ryšava-ústí*	0,05	PV
P12	Rakovnický p.-nad obcí Křivoklát	3,2	PV
P13	Rakovnický p.-ústí	0,2	PV

PV = povrchová voda; OV = odpadní voda * zařazený od roku 2024

Tab. 2. Vzorkovací kampaně – Rakovnický potok

Tab. 2. Sampling campaigns – Rakovnický stream

Datum odběru	18.07.2023	14.08.2023	11.04.2024	07.08.2024	20.11.2024	19.08.2025	21.05.2026	14.07.2026
Průtok tok* [m ³ · s ⁻¹]	0,114	0,126	0,232	0,166	0,319	0,136	0,130	0,062
Průtok ČOV** [m ³ · s ⁻¹]	0,038	0,039	0,044	0,042	0,032	0,055	0,040	0,036
CHSK _{Cr}	x	x	x	x	x	x	x	x
N-NH ₄ ⁺	x	x	x	x	x	x	x	x
N-NO ₃ ⁻	x	x	x	x	x	x	x	x
N _{celk.}	x	x	x	x	x	x	x	x
P-PO ₄ ³⁻	x	x	x	x	x	x	x	x
P _{celk.}	x	x	x	x	x	x	x	x
P _{celk.} (filtrovaný)	x	x	x	x	x	x	x	x
NL ₁₀₅	x	x	x	x	x	x	x	x
Chlorofyl-a	-	-	-	-	-	-	-	x
Farmaka	-	-	-	-	-	-	-	x
Sediment (Fe, P _{celk.})	-	-	-	-	-	x (Fe)	-	x(P _{celk.})

* Průtok v době vzorkování z dat limnigrafické stanice ČHMÚ Rakovnický potok-Rakovník

** Průtok v době vzorkování na odtoku z ČOV Rakovník

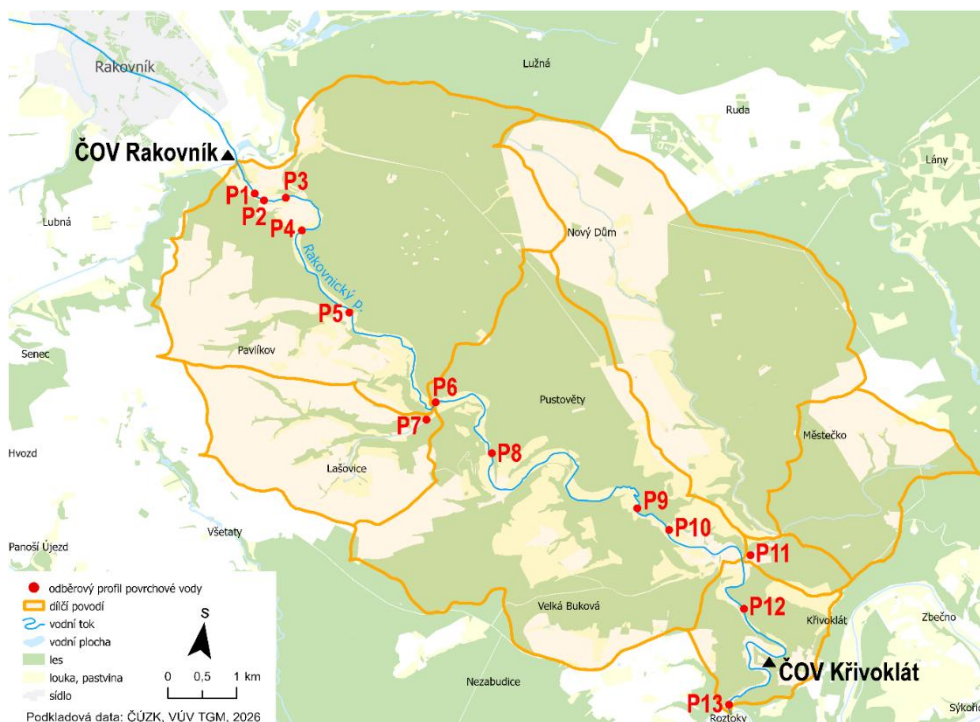
Vzorkování vod probíhalo při průtocích blízkých hydrologickému suchu, ale rovněž za standardních hydrologických podmínek v různých obdobích roku (jaro až podzim). Vzorky vody byly odebírány tak, aby při odběru nedocházelo ke zviření sedimentu. V denním kroku

byla v období od června 2023 do října 2026 zaznamenávána hydrologická data z limnigrafické stanice Rakovnický potok-Rakovník a srážkoměrná data ze stanic Rakovník a Heřmanov. Ve dvou vzorkovacích kampaních (21. května 2026 a 14. července 2026) v období hydrologického sucha proběhlo hydrometrování ve vybraných profilech pomocí zařízení FlowTracker 2.

Přímo v terénu byly během vzorkování měřeny parametry: teplota vzduchu, teplota vody, elektrická vodivost, pH a rozpuštěný kyslík. Vzorky vody byly odebírány do PE vzorkovnic, pro organickou stopovou analýzu do skleněných vzorkovnic a během transportu byly chlazeny. Analyzovány byly nutrienty: dusík celkový, dusík dusičnanový, dusík amoniakální, fosfor celkový, fosfor celkový filtrovaný, fosfor fosforečnanový a nerozpuštěné látky (při 105 °C). Analýzy základních parametrů proběhly podle standardních operačních postupů. V jedné vzorkovací kampani byla analyzována vybraná léčiva pomocí techniky LC/MS/MS. Vzorky byly před extrakcí zfiltrovány filtrem ze skleněných vláken o porozitě 1,2 µm. pH vzorků bylo upraveno na hodnotu 7,0. Ke 200 ml vzorku bylo přidáno 20 µl směsi interních standardů o koncentraci 1 ng/µl a vzorky byly extrahovány pomocí SPE kolonek Oasis HLB 6cc 200 mg (Waters). Analyty byly z kolonky eluovány 8 ml methanolu, extrakty byly odpařeny na 0,5 ml a převedeny do vialek k analýze.

Vzorky byly analyzovány na kapalinovém chromatografu Agilent 1290 Infinity II a hmotnostním spektrometru SCIEX X500R Q-TOF pomocí ionizace elektrosprejem v pozitivním i negativním módu. Separace probíhala na chromatografické koloně Synergi Fusion-RP 2,5 µm, 50 x 2,0 mm (Phenomenex) s mobilní fází A (0,1% kyselina mravenčí ve vodě) a mobilní fází B (0,1% kyselina mravenčí v methanolu) při průtoku 0,2 ml/min. Nástřik vzorku byl 10 µl. Pro každý analyt byly vybrány dva charakteristické MRM přechody. Ke kvantifikaci byl vybrán nejintenzivnější produktový ion.

Jednorázově byly ve vytipovaných profilech odebrány vzorky říčního sedimentu pro stanovení obsahu železa a fosforu. Vzorky byly odebírány do hloubky max. 5 cm ve zklidněných partiích toku, kde dochází k přirozené kumulaci jemnějších částic převážně štěrkového dna. Vzorky byly nejprve lyofilizovány a po homogenizaci bez sítování zmineralizovány za účelem převedení sledovaných prvků do roztoku. Obsah železa byl stanoven pomocí hmotnostního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS). Obsah fosforu byl stanoven spektrofotometricky pomocí kyvetových testů HACH. Získané výsledky byly přepočítány na koncentraci v sušině v mg · kg⁻¹.



Obr. 7. Vzorkovací profily povrchové a odpadní vody v dolní části povodí Rakovnického potoka

Fig. 7. Surface water and wastewater sampling profiles in the lower part of the Rakovnický stream catchment area

VÝSLEDKY

Sloučeniny dusíku

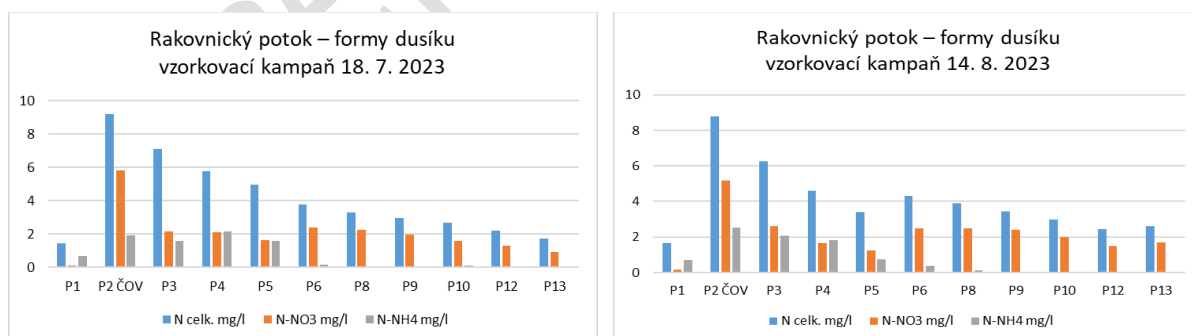
Dusík se v odpadních a povrchových vodách vyskytuje v několika formách, koncentračně nejvýznamnější jsou dusičnanový a amoniakální dusík, které nejvíce přispívají k problémům s jakostí vody. Je také přítomný ve složitých organických sloučeninách, např. aminokyselinách, a v organické hmotě včetně detritu [11]. Méně významným zdrojem dusíku je atmosférická depozice a fixace plynného dusíku ze vzduchu (N_2) na biologicky dostupné formy [12]. V případě dusíku dochází v toku jak k nitrifikaci v oxických podmínkách, kdy je amoniakální dusík oxidován na dusičnany, tak k denitrifikaci za redukce dusičnanů na plynný dusík N_2 , který z vodního sloupce uniká do atmosféry. Mikrobiální denitrifikace představuje způsob, jak potlačit škodlivé účinky eutrofizace, protože odstraňuje reaktivní dusík z vodního prostředí [13]. Rozkladem organické hmoty se organický dusík transformuje na amoniakální dusík, jenž je pro nitrifikační bakterie snáze dostupný než kyslíkaté formy dusíku, které musejí být na amoniak nejprve transformovány, což je energeticky náročný proces [14]. Dusík je významně přítomný v odpadních vodách z komunálních a průmyslových zdrojů, nezanedbatelný je rovněž vnos z difúzních zdrojů a plošného znečištění v zemědělsky obhospodařované krajině [15]. Vnos ze zemědělské činnosti je realizován splachem ze zemského povrchu a základním odtokem podzemními vodami.

Městská ČOV Rakovník podle údajů ze státní bilance v období 2022 až 2024 čistila anorganické sloučeniny dusíku s účinností 83 až 87 %, amoniakální dusík s účinností 92 až 95

%; průměrná roční koncentrace na odtoku ČOV činila 7,8 až 8,7 mg · l⁻¹ N_{anorg.} a 2,5 až 4,9 mg · l⁻¹ N-NH₄⁺. V celkem osmi vzorkovacích kampaních provedených na jaře (2), v létě (5) a na podzim (1) v období 2023 až 2026 z bodových odběrů vzorků odtoku z ČOV Rakovník vyplývá následující:

- Anorganické formy dusíku (bez dusitanů) byly v jarním a podzimním období nižší než průměrné roční koncentrace N_{anorg.} dle hodnot uvedených ve státní bilanci 2022 až 2024. Průtoky v recipientu v době vzorkování činily 1,9 a 2,6 Q₃₅₅.
- V letním období suma koncentrace dusičnanového a amoniakálního dusíku korespondovala s průměrnými ročními koncentracemi N_{anorg.} dle hodnot uvedených ve státní bilanci. Průtoky v recipientu se v době vzorkování pohybovaly kolem hodnoty Q₃₅₅ a níže.
- Ve dvou případech byly na odtoku z ČOV Rakovník zjištěny vysoké koncentrace amoniakálního dusíku: 12,6 mg · l⁻¹ (14. července 2026) a 40,8 mg · l⁻¹ (21. května 2026) a nízké koncentrace dusičnanového dusíku 1,7, resp. 0,4 mg · l⁻¹. Na vysoké koncentrace amoniakálního dusíku v odtoku měla vliv rekonstrukce dmýhárný v rámci realizované rekonstrukce ČOV.

Průběh znečištění dusíkem v Rakovnickém potoce pod ČOV Rakovník byl v letním období v době nízkých průtoků při správné funkci čistírny vesměs charakteristický pozvolným poklesem koncentrace amoniakálního a dusičnanového dusíku (*obr. 8*). V toku tak probíhal proces denitrifikace. Amonné ionty jsou v oxických podmínkách postupně oxidovány na dusičnany. Během tohoto procesu koncentrace dusičnanů v podélném profilu roste, pokud rychlost oxidace amonných iontů probíhá rychleji než procesy eliminace dusičnanů denitrifikací. Koncentrace celkového dusíku a dusičnanového dusíku nad ČOV Rakovník byla nízká do 2 mg · l⁻¹, na jaře a na podzim zvýšená do 4 mg · l⁻¹ (profil P1). V letním období při průtocích kolem Q₃₅₅ byl v profilu P1 zaznamenán rovněž amoniakální dusík. Ten může vznikat za anoxických podmínek mikrobiálním rozkladem organických dusíkatých látek [16]. Ostatní formy dusíku tvořily 15 až 20 % celkového dusíku. Nárůst koncentrace dusičnanového dusíku mezi profily P5 a P6 může být zapříčiněn oxidací amonných iontů, vyloučen není ani vnos ze zemědělství.

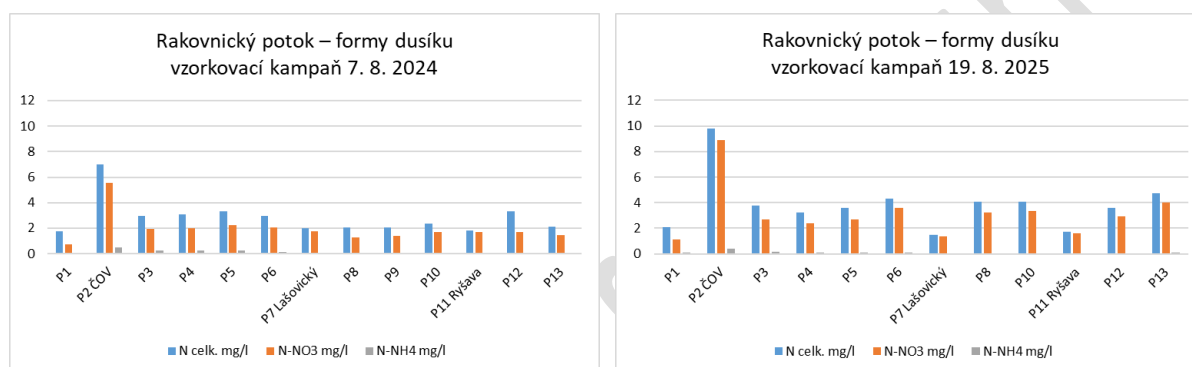


Obr. 8. Koncentrace forem dusíku v Rakovnickém potoce a na odtoku z ČOV Rakovník ve vzorkovacích kampaních 18. července 2023 (Q_{rec.} = 0,9 Q₃₅₅) a 14. srpna 2023 (Q_{rec.} = 1,0 Q₃₅₅)

Fig. 8. Concentrations of nitrogen compounds in the Rakovnický stream and at the outfall of the Rakovník Wastewater Treatment Plant during sampling campaigns 18 July 2023 (Q_{rec.} = 0,9 Q₃₅₅) and 14 August 2023 (Q_{rec.} = 1,0 Q₃₅₅)

Od roku 2024 byly do vzorkování zařazeny přítoky Rakovnického potoka Lašovický potok a Ryšava. Jejich průtoky v době hydrologického sucha činily 1 až $2 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$, resp. $7 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Zatížení těchto přítoků sloučeninami dusíku bylo nižší než v Rakovnickém potoce.

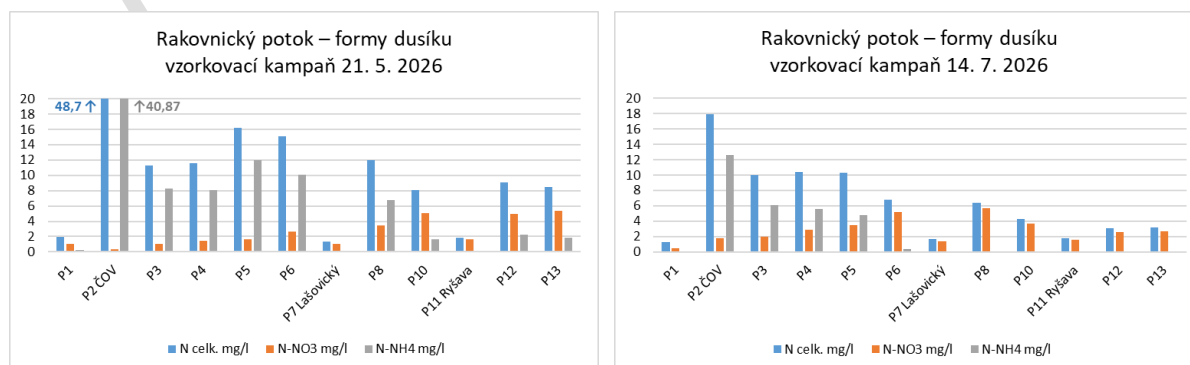
Odlisný průběh znečištění byl pozorován při mírně zvýšených průtocích Rakovnického potoka nad Q_{355} , kdy úbytek celkového dusíku nebyl významný nebo jeho koncentrace v podélném profilu mírně rostla, ačkoli vzorkovací kampaně proběhly opět v letních měsících při teplotně podobných podmínkách (obr. 9). Koncentrace dusičnanového dusíku v podélném profilu toku klesala jen mírně nebo i rostla. Oběma vzorkovacím kampaním předcházely významnější srážky, jež se vyskytly tři dny předtím a činily 22,3 mm, resp. 7,9 mm. Příčinou stagnace poklesu koncentrací mohl být splach dusičnanů z plošných zdrojů do recipientu. Nebyl zaznamenán vzrůst koncentrace amonných iontů, které by indikovaly vnos nečištěných splaškových vod do recipientu.



Obr. 9. Koncentrace forem dusíku v Rakovnickém potoce a na odtoku z ČOV Rakovník ve vzorkovacích kampaních 7. srpna 2024 ($Q_{\text{rec.}} = 1,3 Q_{355}$) a 19. srpna 2025 ($Q_{\text{rec.}} = 1,1 Q_{355}$)

Fig. 9. Concentrations of nitrogen compounds in the Rakovnický stream and at the outfall of the Rakovník Wastewater Treatment Plant during sampling campaigns 7 August 2024 ($Q_{\text{rec.}} = 1,3 Q_{355}$) and 19 August 2025 ($Q_{\text{rec.}} = 1,1 Q_{355}$)

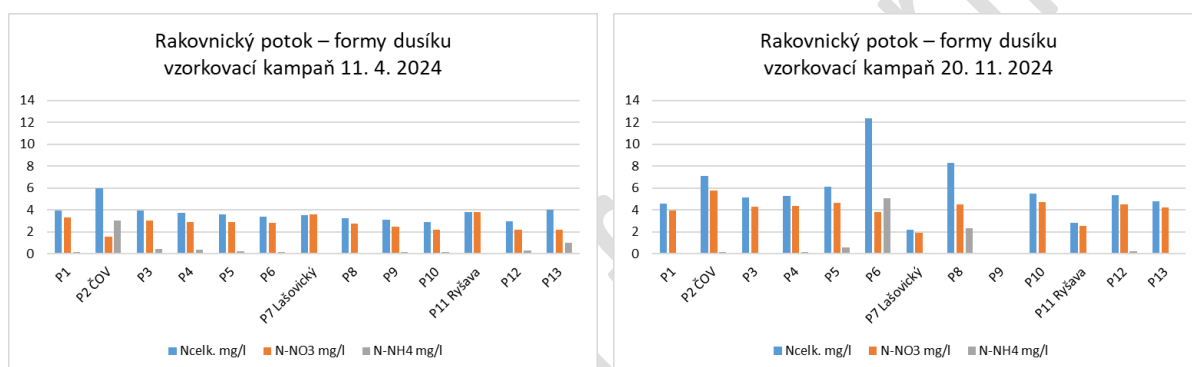
Ve dvou vzorkovacích kampaních byly z důvodu rekonstrukce dmýchárny zjištěny vysoké koncentrace amonných iontů na odtoku z ČOV Rakovník (obr. 10). Obě kampaně následovaly po dvou týdnech bez významných srážek. V květnu 2026 na rozdíl od červencové kampaně 2026 nedošlo v recipientu k úplné oxidaci amonných iontů, jejich koncentrace v reprezentativním profilu Rakovnický potok-Křivoklát činila $1,88 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Koncentrace rozpuštěného kyslíku v profilech P3 až P5 byla snížena a pohybovala se v obou vzorkovacích kampaních v intervalu 40 až 60 %.



Obr. 10. Koncentrace forem dusíku v Rakovnickém potoce a na odtoku z ČOV Rakovník ve vzorkovacích kampaních 21. května 2026 ($Q_{\text{rec.}} = 1,0 Q_{355}$) a 14. července 2026 ($Q_{\text{rec.}} = 0,6 Q_{355}$)

Fig. 10. Concentrations of nitrogen compounds in the Rakovnický stream and at the outfall of the Rakovník Wastewater Treatment Plant during sampling campaigns 21 May 2026 ($Q_{\text{rec.}} = 1,0 Q_{355}$) and 14 July 2026 ($Q_{\text{rec.}} = 0,6 Q_{355}$)

Mimo letní sezonu byly provedeny vzorkovací kampaně na jaře 11. dubna 2024 a na podzim 20. listopadu 2024 při vyšších průtocích. Koncentrace dusičnanového dusíku byly vyšší než v letním období, a to i nad vypouštěním odpadních vod z ČOV Rakovník v profilu P1. Jednoznačně to poukazuje na plošný původ znečištění. Vyšší koncentrace dusičnanů byly potvrzeny i v přítocích – Lašovickém potoce a v Ryšavě – v jarní vzorkovací kampani (obr. 11). Eliminace dusičnanů nebyla zaznamenána, proces denitrifikace toku vlivem nízké teploty vody neprobíhal nebo byl nevýrazný (10 °C, resp. 13 °C).



Obr. 11. Koncentrace forem dusíku v Rakovnickém potoce a na odtoku z ČOV Rakovník ve vzorkovacích kampaních 11. dubna 2024 ($Q_{\text{rec.}} = 1,9 Q_{355}$) and 20. listopadu 2024 ($Q_{\text{rec.}} = 2,6 Q_{355}$)

Fig. 11. Concentrations of nitrogen compounds in the Rakovnický stream and at the outfall of the Rakovník Wastewater Treatment Plant during sampling campaigns 11 April 2024 ($Q_{\text{rec.}} = 1,9 Q_{355}$) and 20 November 2024 ($Q_{\text{rec.}} = 2,6 Q_{355}$)

Sloučeniny fosforu

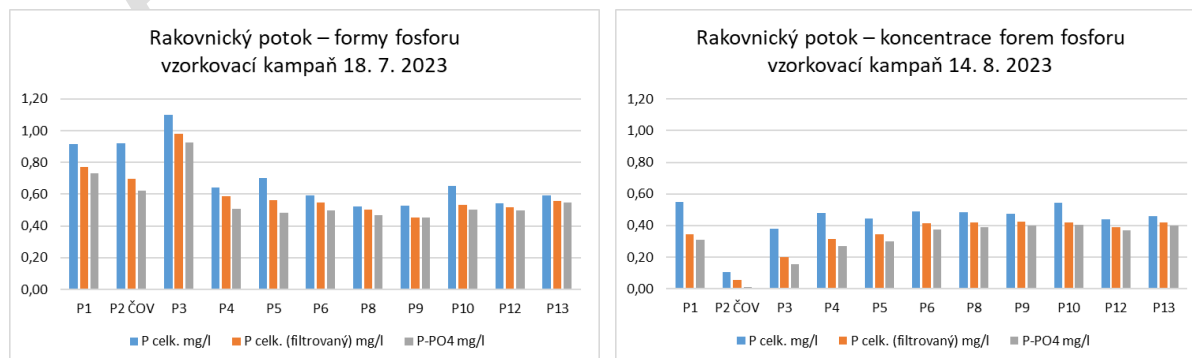
Sloučeniny fosforu, zvláště pak jeho rozpuštěné formy, jsou významným faktorem rozvoje eutrofizace povrchových vod. Nejvýznamnějším zdrojem fosforu jsou odpadní vody z bodových zdrojů znečištění, a to jak komunálních, tak vybraných sektorů průmyslu. Rozpuštěná forma fosforu je snadno dostupná pro fytoplankton, makrofyta i bentické nárosty. Snadno se také váže na nerozpuštěné částice a ukládá se do říčního sedimentu, odkud může být opět remobilizován do vodního sloupce v závislosti na hydrologických podmínkách a geomorfologické charakteristice říčního koryta [14]. Atmosférická depozice fosforu je nižší než depozice dusíku [16] a má jiný charakter, fosfor je vázán na prachové částice. Plošným zdrojem fosforu je zejména erozní smyv v zemědělsky obhospodařované krajině. Většina fosforu v půdách je nerozpustná, adsorbovaná na nabitě částice, zvláště jíly, takže erozní fosfor je pro rozvoj eutrofizace hůře dostupný [17]. Rozpuštěný fosfor je z vodního sloupce přijímán řasami a mikroorganismy, makrofyta a bentické řasy jej získávají rovněž z intersticiální vody říčního sedimentu a břehových partií. Buněčnou lýzou se organický fosfor znovu uvolňuje do vodního sloupce a mineralizací pomocí bakterií se transformuje na ortofosforečnany. Exkrecí vodních

organismů, rozkladem organismů a detritu se fosfor znovu dostává do vodního sloupce a říčního sedimentu [18]. Vytváří se tak cyklus fosforu ve vodním prostředí.

Městská ČOV Rakovník podle údajů ze státní bilance v období 2022 až 2024 eliminovala fosfor s účinností 89 %; průměrná roční koncentrace celkového fosforu činila na odtoku z ČOV 0,78 až 0,80 mg · l⁻¹ P_{Celk.}. V rámci technologie čištění odpadních vod je realizováno srážení fosforu síranem železitým. Koncentrace fosforu na odtoku je provozovatelem ČOV sledována diskontinuálně rozbořem v laboratoři. To v současnosti neumožňuje optimalizovat proces dávkování srážedla při změně kvality a množství odpadních vod, což by se mělo změnit plánovanou intenzifikací ČOV. V současné době koncentrace fosforu na odtoku tak s velkou pravděpodobností značně kolísají (*obr. 12*). V odpadní vodě převládá rozpuštěná forma fosforu. Na rozdíl od dusíku byly v době hydrologického sucha zjištěny vysoké koncentrace fosforu již nad vypouštěním odpadních vod z ČOV Rakovník v profilu P1.

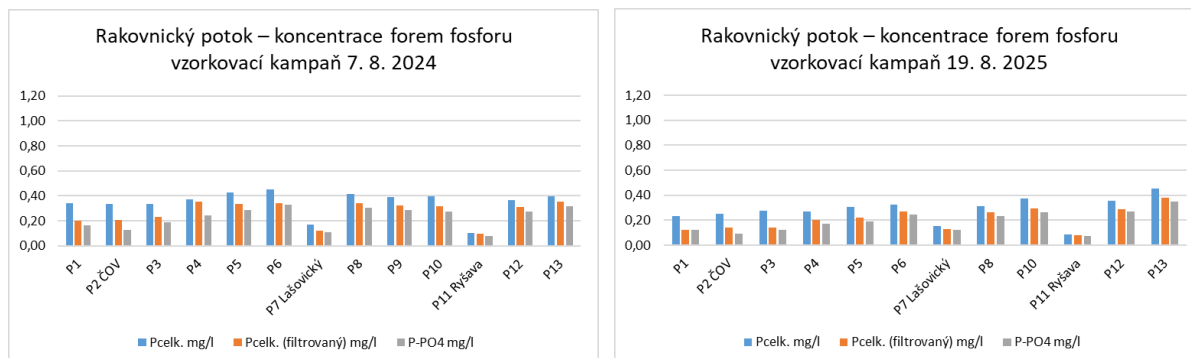
Při vyšších průtocích v recipientu se v případě sloučenin fosforu příznivěji uplatnil faktor ředění odpadních vod a jejich koncentrace v povrchové vodě se snížila (*obr. 13 a 14*). Přesto koncentrace celkového fosforu a fosforečnanů i při normálních průtocích v závěrném profilu Rakovnický potok-Rakovník vysoce překračují typově specifické hodnoty mezi dobrým a středním stavem ekologického stavu (typ 1-2-1-2) pro tento vodní útvar. Na rozdíl od sloučenin dusíku nedochází k postupné atenuaci znečištění sloučeninami fosforu, většinou jejich koncentrace směrem po proudu roste, patrný je často i mírný vliv ČOV Křivoklát, ačkoli ČOV je situována nad obcí 1,85 km nad reprezentativním profilem pro hodnocení stavu vodního útvaru. Ani při nízkých koncentracích fosforu na odtoku z ČOV Rakovník (*obr. 12 vpravo*) není situace v toku příznivá, protože koncentrace fosforu jsou v Rakovnickém potoce vysoké již nad tímto zdrojem znečištění. Graf na *obr. 14 vpravo* zachycuje průběh znečištění Rakovnického potoka, kdy v čase cca 01 až 03 hodin 20. listopadu 2024 došlo vlivem srážek k obtokování ČOV Rakovník. Vlna znečištění se v době vzorkování projevila v profilu P6, kdy koncentrace CHSK_{Cr} se mezi profily P5 a P6 skokově zvýšila z 19,5 na 110 mg · l⁻¹. Zároveň došlo ke zvýšení koncentrací sloučenin dusíku a fosforu.

Koncentrace chlorofylu-a v toku značně kolísají. K jeho rozvoji dochází pouze v partiích pomalého proudění vody a větší hloubky toku. Jeho stanovení bylo provedeno v době hydrologického sucha v letním období. Zvýšené koncentrace chlorofylu-a byly nad ČOV Rakovník a v úseku od Dolního Chlumu po ústí Lašovického potoka. Tok lze z hlediska koncentrací chlorofylu-a označit za eutrofní. Kyslíkové poměry částečně korelují s koncentracemi chlorofylu-a, nad a pod ČOV Rakovník je nasycení sniženo, nad závěrným profilem vodního útvaru BER_0770 již odpovídají dobrému ekologickému stavu (*obr. 15*).



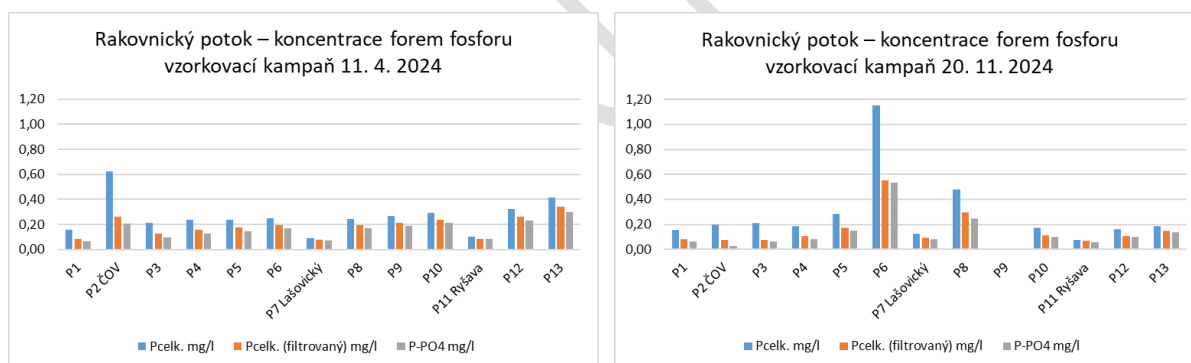
Obr. 12. Koncentrace forem fosforu v Rakovnickém potoce a na odtoku z ČOV Rakovník ve vzorkovacích kampaních 18. července 2023 ($Q_{\text{rec.}} = 0,9 Q_{355}$) a 14. srpna 2023 ($Q_{\text{rec.}} = 1,0 Q_{355}$)

Fig. 12. Concentrations of phosphorus compounds in the Rakovnický stream and at the outfall of the Rakovník Wastewater Treatment Plant during sampling campaigns 18 July 2023 ($Q_{\text{rec.}} = 0,9 Q_{355}$) and 14 August 2023 ($Q_{\text{rec.}} = 1,0 Q_{355}$)



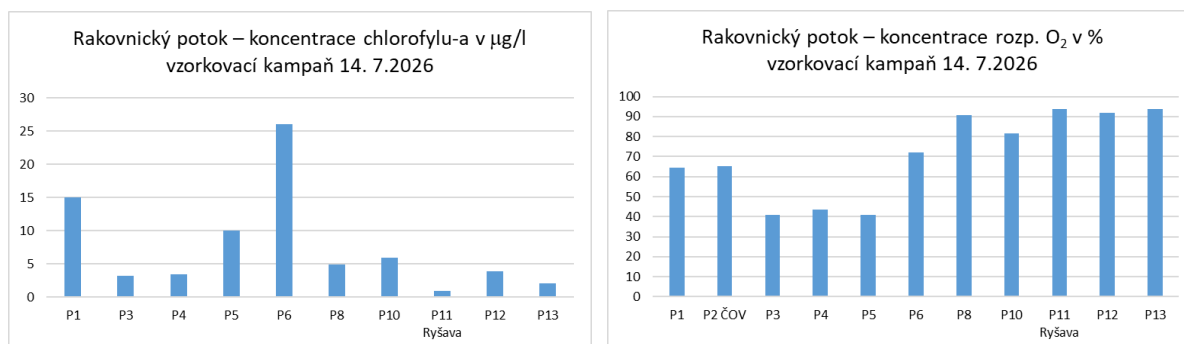
Obr. 13. Koncentrace forem fosforu v Rakovnickém potoce a na odtoku z ČOV Rakovník ve vzorkovacích kampaních 7. srpna 2024 ($Q_{\text{rec.}} = 1,3 Q_{355}$) a 19. srpna 2025 ($Q_{\text{rec.}} = 1,1 Q_{355}$)

Fig. 13. Concentrations of phosphorus compounds in the Rakovnický stream and at the outfall of the Rakovník Wastewater Treatment Plant during sampling campaigns 7 August 2024 ($Q_{\text{rec.}} = 1,3 Q_{355}$) and 19 August 2025 ($Q_{\text{rec.}} = 1,1 Q_{355}$)



Obr. 14. Koncentrace forem fosforu v Rakovnickém potoce a na odtoku z ČOV Rakovník ve vzorkovacích kampaních 11. dubna 2024 ($Q_{\text{rec.}} = 1,9 Q_{355}$) and 20. listopadu 2024 ($Q_{\text{rec.}} = 2,6 Q_{355}$)

Fig. 14. Concentrations of phosphorus compounds in the Rakovnický stream and at the outfall of the Rakovník Wastewater Treatment Plant during sampling campaigns 11 April 2024 ($Q_{\text{rec.}} = 1,9 Q_{355}$) and 20 November 2024 ($Q_{\text{rec.}} = 2,6 Q_{355}$)

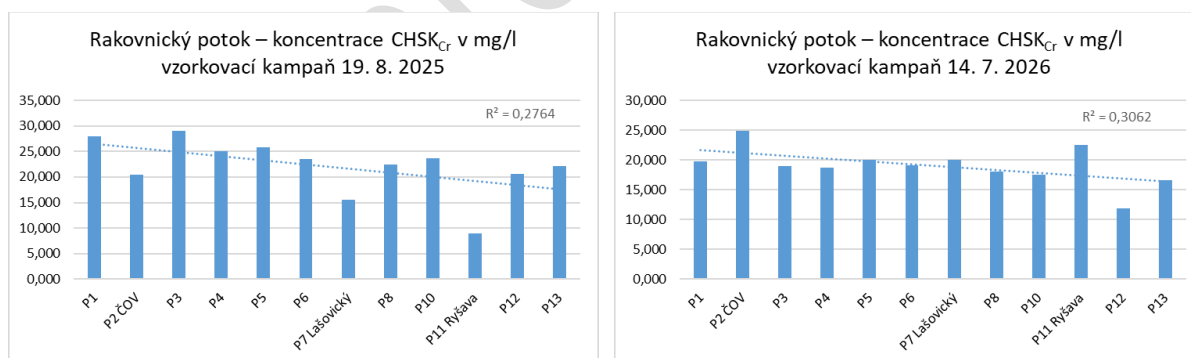


Obr. 15. Koncentrace chlorofylu-a a rozpuštěného kyslíku v Rakovnickém potoce a na odtoku z ČOV Rakovník ve vzorkovací kampani 14. července 2026 ($Q_{\text{rec.}} = 0,6 Q_{355}$)

Fig. 15. Concentrations of chlorophyll-a and dissolved oxygen in the Rakovnický stream and at the outfall of the Rakovník Wastewater Treatment Plant during sampling campaign 14 July 2026 ($Q_{\text{rec.}} = 0,6 Q_{355}$)

Organické znečištění

Organické znečištění bylo sledováno pomocí chemické spotřeby kyslíku dichromanovou metodou (CHSK_{Cr}). Dichroman draselný je silným oxidačním činidlem, které dokáže zoxidovat i organické látky, jež jsou těžce rozložitelné přirozenými biologickými procesy. Míra znečištění Rakovnického potoka organickými látkami nad ČOV Rakovník je přibližně shodná, jako je jejich obsah ve vyčištěné odpadní vodě z této čistírny. Směrem po proudu až k ústí do Berounky dochází k mírnému poklesu koncentrace CHSK_{Cr} (obr. 16). To je důkazem, že v recipientu dochází k asimilaci organického uhlíku do mikrobiální biomasy, jeho spotřebě v rozpuštěné formě (DOC) k růstu bakteriálních společenstev a remineralizaci až k tvorbě CO_2 [16]. Míra atenuace organického znečištění ve studovaném úseku vodního toku byla prakticky totožná v době hydrologického sucha i při normálních průtokových stavech v době vegetační sezony.

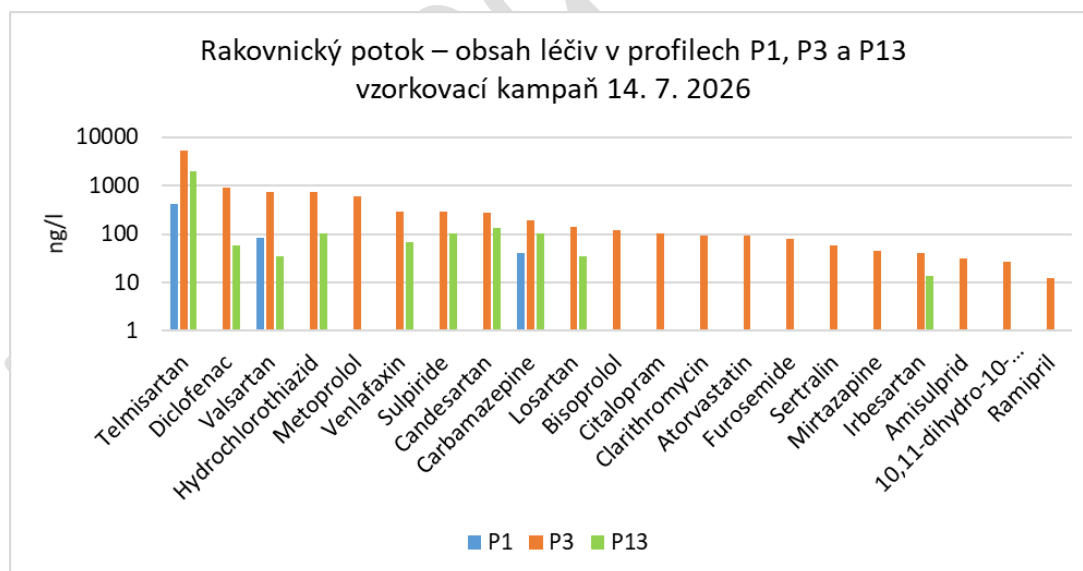


Obr. 16. Koncentrace chemické spotřeby kyslíku v Rakovnickém potoce a na odtoku z ČOV Rakovník ve vzorkovacích kampaních 19. srpna 2025 ($Q_{\text{rec.}} = 1,1 Q_{355}$) a 14. července 2026 ($Q_{\text{rec.}} = 0,6 Q_{355}$)

Fig. 16. Concentrations of chemical oxygen demand in the Rakovnický stream and at the outfall of the Rakovník Wastewater Treatment Plant during sampling campaigns 19 August 2025 ($Q_{\text{rec.}} = 1,1 Q_{355}$) and 14 July 2026 ($Q_{\text{rec.}} = 0,6 Q_{355}$)

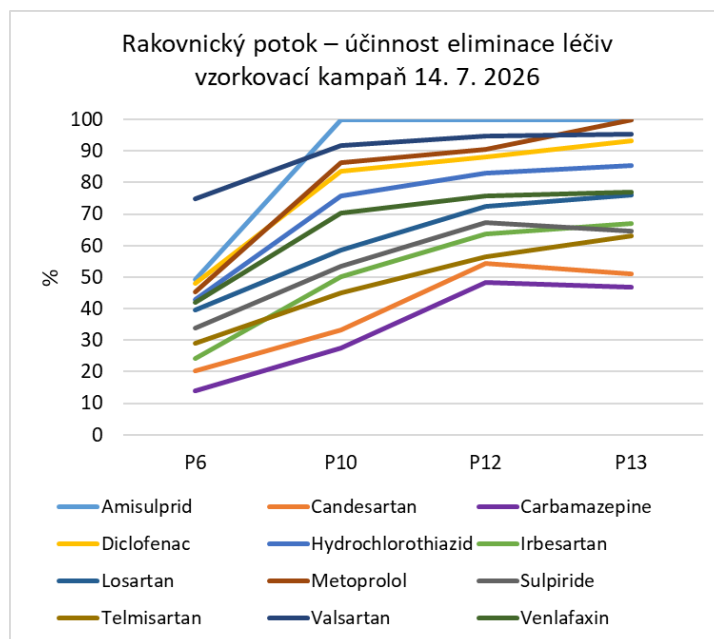
Léčiva

Městské odpadní vody jsou i po procesu čištění významným zdrojem léčiv a jejich transformačních produktů. Míra jejich eliminace v technologii čištění závisí na složitosti organických molekul a jejich fyzikálně-chemických vlastnostech. V dolní části Rakovnického potoka bylo vybráno šest profilů pro ověření obsahu léčiv v době hydrologického sucha. Analyzováno bylo celkem 33 léčiv, z nichž 12 bylo pod mezí stanovitelnosti ve všech profilech sledování. Na *obr. 17* jsou znázorněny výsledky z profilu nad ČOV Rakovník (P1), pod ČOV Rakovník (P3) a v reprezentativním závěrném profilu nad ústím do Berounky (P13). Z grafu je patrné, že některá léčiva se v povrchové vodě nacházejí již nad ČOV Rakovník. Jedná se o látky telmisartan, valsartan a karbamazepin, jež mají schopnost ve vodním prostředí přetrvávat. V povodí Lišanského potoka, Kolečovického potoka a Rakovnického potoka nad Rakovníkem se nachází několik obecních ČOV, z nichž největší objemem vypouštěných odpadních vod připadá na ČOV Lužná ($97,1 \text{ tis. m}^3 \cdot \text{r}^{-1}$, 2024). Nejvyšší zátěž léčivy je pod výpustí ČOV Rakovník ($1\,712 \text{ tis. m}^3 \cdot \text{r}^{-1}$, 2024). V koncentraci nad $100 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ v profilu P3 byl potvrzen telmisartan (antihypertenzivum), diklofenak (nesteroidní protizánětlivý lék), valsartan (antihypertenzivum), hydrochlorthiazid (diuretikum), metoprolol (antihypertenzivum), venlafaxin (antidepresivum), sulpirid (psychofarmakum), kandesartan (antihypertenzivum), karbamazepin (antiepileptikum), losartan (antihypertenzivum) a bisoprolol (beta-blokátor). Celkem 30 % léčiv z pozitivních nálezů v profilu P3 bylo potvrzeno rovněž v závěrném profilu Rakovnického potoka. Z výsledků je patrné, že ze skupiny analyzovaných léčiv patří karbamazepin a kandesartan k nejhůře eliminovatelným, přičemž eliminací se rozumí jakýkoli úbytek látky ve vodním sloupci, který může být způsoben degrabilitou mateřské látky (zpravidla za vzniku metabolitů), sorpcí na jemné částice říčního sedimentu nebo přestupem do vodních organismů. Úbytek vybraných léčiv v dolním úseku Rakovnického potoka zobrazuje *obr. 18*.



Obr. 17. Léčiva ve vybraných profilech Rakovnického potoka ve vzorkovací kampani 14. července 2026 ($Q_{\text{rec.}} = 0,6 Q_{355}$)

Fig. 17. Pharmaceuticals in selected profiles of Rakovnický stream in sampling campaign 14 July 2026 ($Q_{\text{rec.}} = 0,6 Q_{355}$)



Obr. 18. Účinnost eliminace léčiv ve vybraných profilech Rakovnického potoka ve vzorkovací kampani 14. července 2026 ($Q_{\text{rec.}} = 0,6 Q_{355}$)

Fig. 18. Efficacy of pharmaceutical elimination in selected profiles of Rakovnický stream in sampling campaign 14 July 2026 ($Q_{\text{rec.}} = 0,6 Q_{355}$)

Aby se v době hydrologického sucha vyloučil případný vliv základního odtoku na pokles znečištění v Rakovnickém potoce, bylo v profilech P1, P5, P10 a P13 provedeno hydrometrování. Průtoky zjištěné 14. července 2026 $0,009 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (P1), $0,035 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (P5), $0,054 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (P8), $0,075 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (P10) a $0,067 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (P13) odpovídají spíše dennímu průběhu kolísání průtoků vypouštěných odpadních vod z ČOV Rakovník ($0,018$ až $0,050 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

DISKUZE

Pro procesy přeměny a eliminace nutrientů ve vodním prostředí potoků a řek existuje celá řada odborných studií. Procesy jsou obecně dobře popsány. Z dosažených výsledků kvality povrchové vody na dolním úseku Rakovnického potoka pod ČOV Rakovník vyplývá rozdílné chování sloučenin dusíku a sloučenin fosforu v podélném profilu vodního toku. Za vhodných teplotních podmínek, které jsou v teplejší polovině roku splněny, probíhá ve vodním sloupci za oxických podmínek oxidace amoniakálního dusíku na dusičnany a v intersticiální vodě říčního sedimentu denitrifikace provázená až vznikem plynného N_2 unikajícího do atmosféry. Zároveň dochází k asimilaci rozpuštěného dusíku do bakteriálních populací a bentických organismů. Koncentrace sloučenin dusíku v podélném profilu vodního toku tak klesá. To se potvrdilo i na jiných námi studovaných lokalitách (např. Sitka pod ČOV Šternberk). V chladném období roku je proces denitrifikace značně zpomalen nebo zastaven, jak dokládá graf na *obr. 19* (na ose x jsou vzorkovací profily na Rakovnickém potoce P3 až P13 zobrazeny v jejich vzdálenostech od místa vypouštění ČOV Rakovník). Při vyšších průtocích je pokles obsahu sloučenin dusíku v toku snížen nebo eliminován jeho vyšším vnosem z plošných zdrojů, ačkoli denitrifikace za příznivých teplotních podmínek probíhá. Potvrzují to rovněž data monitorování Povodí Vltavy, státní podnik, v profilu Rakovnický potok-Křivoklát za období 2010 až 2024, kdy byla

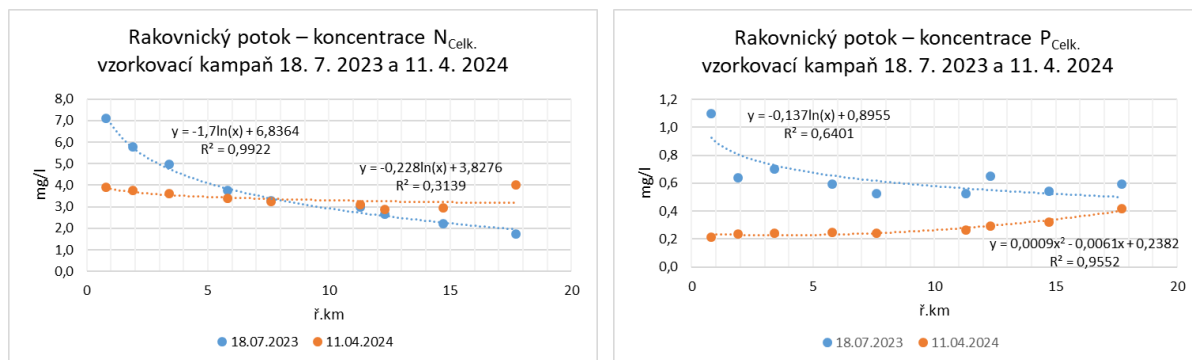
vynesena závislost koncentrace dusičnanového dusíku na průtoku (*obr. 20*). Pro dusičnany je typická sezonní dynamika s maximem koncentrací v jarních měsících před vegetační sezonou při zvýšených průtocích zvláště v povodích s významným zemědělským hospodařením [19], což potvrzuje *obr. 21*.

Sloučeniny fosforu vykazují v recipientu odlišný model chování. Eliminace v podélném profilu dolního toku Rakovnického potoka je minimální, přechodná nebo prakticky neexistuje. Jeho koncentrace směrem k ústí často spíše roste. Převládá v rozpuštěné formě fosforečnanů, které jsou nejsnáze dostupné pro projevy eutrofizace. V době hydrologického sucha fosforečnany tvoří v toku 50 až 90 % celkového fosforu, v průměru 70 až 80 %, v době průtoků nad Q_{355} a pod Q_a je podíl fosforečnanů v toku mírně nižší (o cca 10 %). Podíl fosforečnanů ve vyčištěné odpadní vodě z ČOV Rakovník závisí na hydraulickém zatížení čistírny a účinnosti srážení v dosazovacích nádržích; ve vzorcích z bodových odběrů realizovaných během vzorkovacích kampaní činil 13 až 72 % (průměr 36 %, $n = 8$).

Fosfor v závislosti na průtoku má odlišný průběh koncentrací ve vodním toku oproti dusíku (*obr. 20*). Nejvyšší koncentrace byly potvrzeny při nízkých průtocích. ČOV Rakovník je dominantním zdrojem fosforu, v době hydrologického sucha je ředící faktor odpadní a povrchové vody 2,3 a nižší. Pro projevy eutrofizace stačí velice nízké koncentrace dostupného fosforu 10 až 35 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Z dlouhodobého sledování kvality vody správcem povodí vyplývá, že Rakovnický potok je v reprezentativním profilu PVL_1093 hypertrofní (koncentrace $P_{\text{celk.}}$ nad 100 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$). Fosfor pro tvorbu biomasy se tak spotřebovává jen z malé části, většina zůstává ve vodním prostředí v rozpuštěné a vázané formě. Fosfor se v říčních sedimentech může za vhodných podmínek vázat (oxické poměry, neutrální až kyselé pH) na železo především adsorpcí na hydroxidy a oxidy železa (Fe^{3+}). Sediment tak slouží jako zásobárna fosforu, který vázan na hydroxidy a oxidy kovů železa (Fe^{3+}) je v anoxických podmínkách ($\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$) uvolňován zpět do vodního sloupce v jeho dostupné (rozpuštěné) formě [20]. Tato dynamická vazba mezi železem a fosforem může za vhodného stechiometrického poměru Fe : P, tedy za dostatku Fe v sedimentech, určovat, zda říční koryto fosfor zadržuje nebo uvolňuje do vody [21]. V podélném profilu vodního toku se během transportu fosfor spotřebovává a následně uvolňuje, koncentrace po proudu se popisuje jako spirální látkový oběh [16].

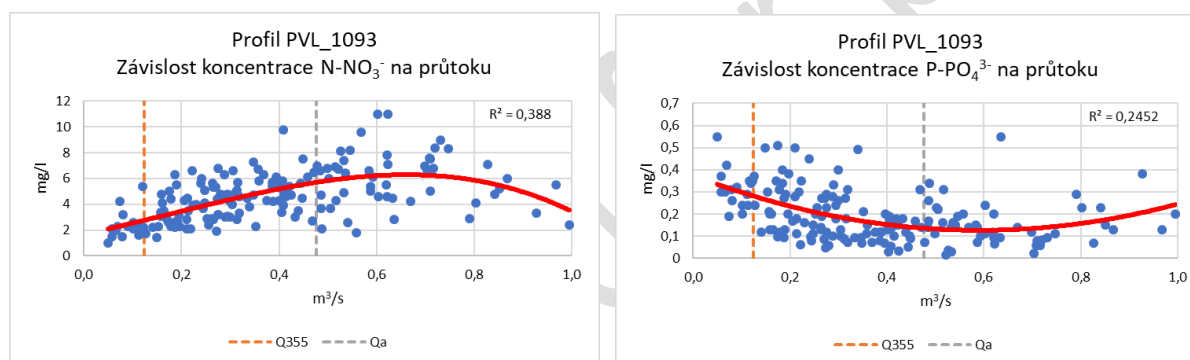
Obsah železa v sedimentech Rakovnického potoka (profily P5 a P10) odebraný v roce 2025 činil 12 800 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, resp. 14 100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (obvyklý obsah železa v říčních sedimentech činí 20 000 až 50 000 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). V roce 2026 bylo provedeno rovněž stanovení fosforu v říčním sedimentu v šesti profilech Rakovnického potoka (P1, P3, P5, P8, P10 a P12). Koncentrace se pohybovaly v rozmezí 138 až 557 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, průměr na dolních třech profilech byl 2,3x vyšší než na horních třech profilech. Obvyklý obsah fosforu v neovlivněných říčních sedimentech se uvádí v rozmezí 100 až 500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ suché váhy [22], v lokalitách dotčených vypouštěním odpadních vod může být násobně vyšší. Rakovnický potok je charakteristický šterkovým korytem s občasnými místy zklidnění dynamiky toku, pouze tam jsou vytvářeny podmínky pro ukládání jemné frakce říčního sedimentu. Lze konstatovat, že obsah železa v sedimentech Rakovnického potoka je nízký a koncentrace zejména rozpuštěných sloučenin jsou trvale velmi vysoké. Železo v sedimentech nemá žádný nebo jen malý potenciál účinně zasahovat do koloběhu fosforu, což dokládají získané výsledky monitorování kvality vody v podélném profilu vodního toku.

Nižší obsah rozpuštěného kyslíku byl typický v navazujících třech vzorkovacích profilech pod výpustí ČOV Rakovník (obr. 15).



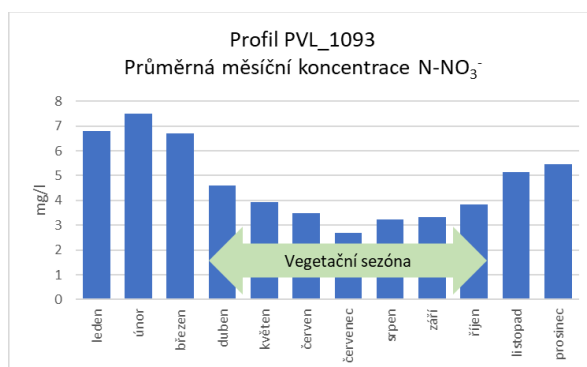
Obr. 19. Koncentrace celkového dusíku a celkového fosforu v Rakovnickém potoce ve vzorkovacích kampaních 18. července 2023 ($Q_{\text{rec.}} = 0,9 Q_{355}$) a 11. dubna 2024 ($Q_{\text{rec.}} = 1,9 Q_{355}$)

Fig. 19. Concentrations of total nitrogen and total phosphorus in the Rakovnický stream in sampling campaigns 18 July 2023 11 ($Q_{\text{rec.}} = 0,9 Q_{355}$) and April 2024 ($Q_{\text{rec.}} = 1,9 Q_{355}$)



Obr. 20. Závislost koncentrace dusičnanů a fosforečnanů na průtoku v profilu Rakovnický potok-Křivoklát za období 2010 až 2024 (zdroj: Povodí Vltavy, státní podnik)

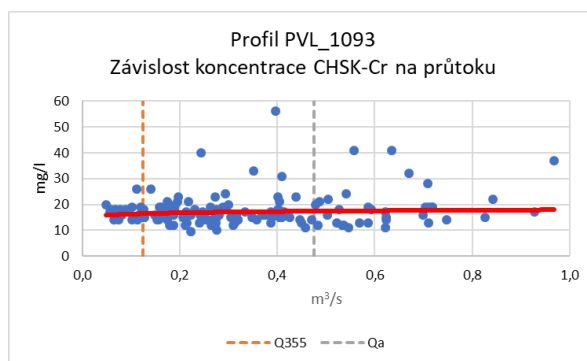
Fig. 20. The relationship between nitrate and phosphate concentrations and flow rate in the river site Rakovnický stream-Křivoklát for the period 2010 to 2024 (source: Povodí Vltavy, state enterprise)



Obr. 21. Sezonní dynamika dusičnanů v průběhu kalendářního roku v profilu Rakovnický potok-Křivoklát z měsíčních průměrů za období 2010 až 2024 (zdroj: Povodí Vltavy, státní podnik)

Fig. 21. Seasonal nitrate dynamics over the calendar year in the river site the Rakovnický potok-Křivoklát based on monthly average values for the period 2010 to 2024 (source: Povodí Vltavy, state enterprise)

Organické znečištění bylo z praktického hlediska sledováno pouze parametrem chemická spotřeba kyslíku dichromanem (CHSK_{Cr}). V podélném profilu dolního toku Rakovnického potoka je patrná jeho mírná atenuace, v závěru podpořena přítokem málo znečištěné Rusavy. Z dlouhodobých dat monitorování kvality vody Povodím Vltavy, státní podnik, není zřejmá závislost koncentrace CHSK_{Cr} na průtoku (obr. 22).



Obr. 22. Závislost koncentrace CHSK_{Cr} na průtoku v profilu Rakovnický potok-Křivoklát za období 2010 až 2024 (zdroj: Povodí Vltavy, státní podnik)

Fig. 22. The relationship between COD concentrations and flow rate in the river site Rakovnický stream-Křivoklát for the period 2010 to 2024 (source: Povodí Vltavy, state enterprise)

Osud léčiv ve vodních tocích je ovlivněn jejich hydrofilitou/lipofilitou a schopností bio/fytodegradace. Karbamazepin a oxkarbamazepin vykazují ve vodním prostředí nízkou biodegradabilitu, hydrolýza a biodegradace nejsou významné a jsou rezistentní rovněž k fotodegradaci slunečním zářením [23]. Proto ve vodním prostředí přetrvávají. Obtížně degradovatelný je rovněž kandesartan [24]. Vůči aerobní i anaerobní biotransformaci je odolný diklofenak [25]. Jeho úbytek ve vodním prostředí souvisí spíše s jeho schopností kumulovat se ve vodních organismech všech trofických úrovní [26]. Snadno degradovatelné v oxických podmínkách jsou bisoprolol [25] a metoprolol, avšak za vzniku transformačních produktů, jako jsou metoprololová kyselina, hydroxymetoprolol a desmethylemetoprolol [27]. Pokud tedy nebyla některá léčiva v závěrném profilu Rakovnického potoka zjištěna, neznamená to, že nejsou přítomny metabolity mateřských látek. Zde je pole pro další systematický výzkum.

ZÁVĚR

Rakovnický potok (útvár povrchové vody BER_0770) je dlouhodobě v nevyhovujícím chemickém a ekologickém stavu. Podle výsledků situačního a provozního monitoringu z období 2016 až 2018 jsou příčinou nedosahování dobrého chemického stavu polycyklické aromatické uhlovodíky a cypermethrin a z fyzikálně-chemických složek ekologického stavu celkový fosfor, fosforečnany, dusičnany, pH, adsorbovatelné organicky vázané halogeny (AOX) a kyselina ethylendiamintetraoctová (EDTA). Příčinou tohoto stavu jsou plošné a především bodové zdroje znečištění, kdy největším je ČOV Rakovník, v kombinaci s malou vodností toku po většinu období roku. Účelem představené práce bylo ověřit, jakým způsobem

se dolní tok Rakovnického potoka se znečištěním vyrovnává v době hydrologického sucha. Vybrány byly ukazatele způsobující eutrofizaci a léčiva.

Ze získaných výsledků vyplývá, že v době hydrologického sucha v teplejší polovině roku není problém plnit typově specifické hodnoty pro zařazení tohoto vodního útvaru do dobrého ekologického stavu (DES) v ukazateli dusičnanový dusík. To potvrzují i výsledky dlouhodobého monitoringu správce povodí. Z dat období 2010 až 2024 pro tento typ vodního útvaru 1-2-1-2 byla plněna hodnota mediánu ($3,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) do průtoku $2,8 Q_{355}$. Typově specifická maximální hodnota ($5,6 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) byla plněna pouze do průtoku $1,5 Q_{355}$. Při vyšších průtocích se uplatňuje vnos dusičnanů z plošných zdrojů. DES není plněn také kvůli vysokým hodnotám dusičnanů mimo vegetační období.

Úsek vodního toku od ČOV Rakovník po ústí do Berounky v délce nad 17 km je dostatečně dlouhý na to, aby došlo k oxidaci amoniakálního dusíku na dusičnany. Mezní typově specifická hodnota – medián pro DES ($0,15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) je v reprezentativním profilu vodního útvaru BER_0770 splněna. Občasné vyšší hodnoty nad $0,1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ se vyskytují v průběhu celého roku a nejspíše souvisejí s účinností technologie čištění odpadních vod na ČOV Rakovník nebo s obtokováním ČOV při hydraulickém přetížení aktivace (nad $160 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$).

Celkový fosfor a ortofosforečnany jsou častou příčinou nedosahování dobrého ekologického stavu útvaru BER_0770, a to jak v mediánu ($0,035 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$), tak v maximu ($0,05 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Jejich koncentrace v podélném profilu vodního toku pod ČOV Rakovník se ve většině případů postupně zvyšuje. Nejvyšší koncentrace jsou dosahovány v době nízkých průtoků. Sloučeniny fosforu jsou pravděpodobně částečně eliminovány, ale do vodního prostředí jsou opětovně remobilizovány ze zasažených složek vodního prostředí.

Koncentrace organického znečištění charakterizovaného chemickou spotřebou kyslíku (CHSK_{Cr}) má v podélném profilu vodního toku mírně klesající trend. V ukazateli BSK_5 není příčinou nedosahování dobrého ekologického stavu vod.

Zatížení Rakovnického potoka léčivy je významné. Míra jejich atenuace se liší u jednotlivých látek podle jejich fyzikálně-chemických vlastností. Nově přijatá směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2026/805 [28] specifikuje normy environmentální kvality pro některé léčivé přípravky. Je předpoklad, že v případě karbamazepinu a klarithromycinu bude tato norma plněna, nikoli však v případě diklofenaku. Ibuprofen nebyl stanovován. Předmětem dalšího výzkumu by měly být rovněž rozkladné produkty léčiv a sledování účinků antimikrobní rezistence.

Pro zlepšení současného stavu v povodí Rakovnického potoka byla zahájena příprava intenzifikace ČOV Rakovník. Výsledky technické zprávy, která řešila zkapacitnění ČOV na úroveň zadaného výhledového zatížení 42 000 EO, ukazují na nutnost rozšíření kapacity ČOV řadou stavebních a technologických úprav. Koncepce intenzifikace ČOV spočívá v navýšení objemů biologických reaktorů dostavbou třetí biologické D-N linky o stejných parametrech, jako vykazují linky stávající. Zároveň se připravuje záměr realizace převodu vody do Rakovnického potoka z povodí Ohře, aby tak došlo ke zlepšení hydrologických podmínek navýšením průtoku [29]. Vláda již schválila druhou etapu majetkoprávního vypořádání přivaděčů vody v rámci řešení sucha na Rakovnicku [30]. Do budoucna bude potřeba zhodnotit, zda výše uvedená opatření budou mít pozitivní vliv na snížení znečištění Rakovnického potoka, zvláště v případě sloučenin dusíku, fosforu, polycyklických aromatických uhlovodíků a

některých specifických znečišťujících látek včetně léčiv a pesticidů. Zůstane vliv odlehčení jednotné kanalizační sítě města Rakovník na kvalitu vody Rakovnického potoka.

Další výzkum v povodí Rakovnického potoka by měl být směřován na bilanci znečištění v jeho jednotlivých parametrech, což předpokládá použití podrobnějších způsobů monitorování kvality povrchových a odpadních vod.

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 společnosti RAVOS, s. r. o., za spolupráci a umožnění odběru odpadních vod ČOV Rakovník a podniku Povodí Vltavy, státní podnik, za poskytnutí dat monitorování jakosti povrchových vod v profilu PVL_1093 Rakovnický potok-Křivoklát za období 2010 až 2024.

Literatura

- [1] ELLEDER, L., KAŠPÁREK, L., ŠÍROVÁ, J., DRAGOUN, Z., KAŠPÁREK, J. *Historické povodně na Rakovnickém potoce*. Výzkumný ústav vodohospodářský, T. G. Masaryka, v. v. i., Praha 2024, ISBN: 978-80-88484-09-7, str. 10.
- [2] Data z meteorologické stanice Rakovník, historická data. Český hydrometeorologický ústav [on-line] [citováno 2026-08-05] Dostupné z: <https://www.chmi.cz/w/12rako01-rakovnik?zalozka=historicke&c=50.0992%2C13.7387%2C11.0000&l=kraje%2Csrazky%2CZTM>
- [3] Evidenční list hlásného profilu č. 20042094. Český hydrometeorologický ústav [on-line] [citováno 2026-08-03] Dostupné z: <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download?seq=20042094>
- [4] Data ze stanice povrchových vod Rakovník. Český hydrometeorologický ústav [on-line] [citováno 2026-08-06] Dostupné z: <https://www.chmi.cz/namerena-data/merici-stanice/povrchove-vody/20042094-rakovnik?c=50.0893,13.7555,14.0000&l=kraje,vse,ZTM>
- [5] Geovědní mapa dolní části povodí Rakovnického potoka 1 : 25 000. Český geologický ústav [on-line] [citováno 2026-08-03] Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr25/?extent=-820584.8626%2C-1086701.1283%2C-721052.2235%2C-1022116.9271%2C102067>
- [6] Změna klimatu Rakovník. Meteoblue [on-line] [citováno 2026-08-05] Dostupné z: https://www.meteoblue.com/cs/climate-change/rakovn%c3%adk_%c4%8cesko_3067051?month=12
- [7] Vodoměrná stanice: 191800 – Rakovník, časové řady. Český hydrometeorologický ústav [on-line] [citováno 2026-08-03] Dostupné z: https://isvs.chmi.cz/ords/f?p=11002:2:106603943778793:::P2_SEQ:213

- [8] List hodnocení útvarů povrchových vod BER_0770 Rakovnický potok od toku Kolečovický potok po ústí do toku Berounka. Povodí Vltavy, státní podnik, III. plánovací cyklus 2021–2027, Seznam listů hodnocení útvarů povrchových vod se schválenými opatřeními z 3. cyklu plánování v oblasti vod. [on-line] [citováno 2026-08-05] Dostupné z: https://www.pvl.cz/portal/pdp/LH/LH_UPOV.htm
- [9] Intenzifikace ČOV Rakovník. [on-line] [citováno 2026-08-05] Dostupné z: <https://www.mesto-rakovnik.cz/seniori/aktualne/aktuality/intenzifikace-cov-rakovnik-978cs.html>
- [10] Informační systém veřejné správy ISVS – VODA, Vypouštění odpadních vod, 2022 až 2024. Provozovatel portálu: Ministerstvo zemědělství ČR a Ministerstvo životního prostředí ČR.
- [11] RABALAIS, N. N., TURNER, R. E., JUSTIC, D., DORTCH, Q., WISSEMAN, W. J., Jr., SEN GUPTA, B. K. (1996) Nutrient changes in the Mississippi River and system responses on the adjacent continental shelf: *Estuaries*, v. 19, p. 386–407. Dostupné z: <https://doi.org/10.2307/1352458>
- [12] VITOUSEK, P. M., ABER, J. D., HOWARTH, R. W., LIKENS, G. E., MATSON, P. A., SCHINDLER, D. W., SCHLESINGER, W. H., TILMAN, D. G. (1997) Human alteration of the global nitrogen cycle – Sources and consequences: *Ecological Applications*, v. 7, p. 737–750. Dostupné z: [https://doi.org/10.1890/10510761\(1997\)007\[0737:HAOTGN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/10510761(1997)007[0737:HAOTGN]2.0.CO;2)
- [13] SEITZINGER, S., HARRISON, J. A., BÖHLKE, J. K., BOUWMAN, A. F., LOWRANCE, R., PETERSON, B., TOBIAS, C., VAN DRECHT, G. (2006) Denitrification across landscapes and waterscapes: A synthesis. *Ecological Applications*, 16 (6), 2064–2090. Dostupné z: [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[2064:dalawa\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[2064:dalawa]2.0.co;2)
- [14] SHEIBLEY, W. R., KONRAD, P. K., BLACK, R. W. (2016) U.S. Geological Survey: Nutrient Attenuation in Rivers and Streams, Puget Sound Basin, Washington. Survey Scientific Investigations Report 2015–5074, Version 1.1, February 2016, 67 pp. Dostupné z: <https://doi.org/10.3133/sir20155074>
- [15] GARCÍA, J. (2021): Ecological engineering practice as a global strategy to prevent eutrophication and microalgae blooms. *Ecological Engineering*, Volume 161, March 2021, 106152. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106152>
- [16] ALLAN, J. D., CASTILLO, M. M., CAPPS, K. A. (2021) *Stream Ecology, Structure and Function of Running Water*, Third edition, Springer 2021. ISBN 978-3-030-61288-7, 485 pp. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-61286-3>
- [17] HENDRICKS, S. P., WHITE, D. S. (2000): Stream and groundwater influences on phosphorus biogeochemistry, in Jones, J. B., and Mulholland, P. J., eds., *Streams and ground waters*: San Diego, Academic Press, p. 221–235. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-012389845-6/50010-7>

- [18] MAINSTONE, C. P., PARR, W. (2002) Phosphorus in rivers-ecology and management. *Sci Total Environ*, 282–283: 25–47. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00937-8](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00937-8)
- [19] EXNER-KITTRIDGE, M., STRAUSS, P., BLÖSCHL, G., EDER, A., SARACEVIC, E., ZESSNER, M. (2016) The seasonal dynamics of the stream sources and input flow paths of water and nitrogen of an Austrian headwater agricultural catchment. *Science of the Total Environment* 542 (2016), p. 935–945. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.151>
- [20] JAN, J., BOROVEC, J., PETRÁŠ, D., OSAFO, N., TOMKOVÁ, I., HUBÁČEK, T. (2018) Vliv dostupnosti kyslíku a dusičnanů na cyklus fosforu v sedimentu – příklad nádrže Vranov. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 2018, roč. 60, č. 3, str. 18–25, ISSN 0322-8916. Dostupné z: <https://doi.org/10.46555/VTEL2018.03.003>
- [21] TAO, Y., MA, S., CAO, M., LI, J., WANG, F., GAO, Z., XU, Q., GUO, J., SUN, K., WANG, F. (2025) Recent advances on iron bound phosphorus in wetland sediments: characteristics, influencing factors, interactions with organic matter and emerging contaminants, *Environmental Pollution*, Volume 383, October 2025. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126826>
- [22] YANG, L. Y., JIAO, S. L., WANG, L., JIU, Y., YANG, M., FENG, Y. L., LI, J., WEI, Z. X. (2024) Characteristics and Release Risk of Phosphorus from Sediments in a Karst Canyon Reservoir, China. *Applied Sciences*, Volume 14, Issue 6, 2482. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/app14062482>
- [23] KUNKEL, U., RADKE, M. (2012) Fate of pharmaceuticals in rivers: Deriving a benchmark dataset at favorable attenuation conditions. *Water Research* 46 (17): p. 5 551–5 565. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.07.033>
- [24] MARTINS, T., MUÑOZ-SIERRA, J. D., NIEUWLANDS, J. A., FERREIRA, M. L., AMARAL, L. (2024) Micropollutant biotransformation under different redox conditions in PhoRedox conventional activated sludge systems. *Environmental Technology & Innovation* 35(7):103639. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103639>
- [25] LAHTI, M., OIKARI, A. (2011) Microbial transformation of pharmaceuticals naproxen, bisoprolol, and diclofenac in aerobic and anaerobic environments. *Arch Environ Contam Toxicol*. 2011 Aug;61(2):202–10. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00244-010-9622-2>
- [26] WOJCIESZYŃSKA, D., ŁAGODA, K., GUZIK, U. (2023) Diclofenac Biodegradation by Microorganisms and with Immobilised Systems – A Review. *Catalysts* 2023, 13(2), 412. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/catal13020412>
- [27] RUBIROLA, A., LLORCA, M., RODRIGUEZ-MOZAZ, S., CASAS, N., RODRIGUEZ-RODA, I., BARCELÓ, D., BUTTIGLIERI, G. (2014) Characterization of metoprolol biodegradation and its transformation products generated in activated sludge batch experiments and in full scale WWTPs. *Water Research*, Volume 63, 2014, p. 21–32. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.05.031>
- [28] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2026/805, kterou se mění směrnice 2000/60/ES, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky,

směrnice 2006/118/ES o ochraně podzemních vod před znečištěním a zhoršováním stavu a směrnice 2008/105/ES o normách environmentální kvality v oblasti vodní politiky.

- [29] Povodí Ohře, státní podnik: *Ke stavbě přivaděčů do Rakovnického potoka nyní zpracováváme podklady k závěru zjišťovacího řízení*. Publikováno 9. 9. 2025. Dostupné z: <https://ohre.cz/ke-stavbe-privadecu-vody-do-rakovnickeho-potoka-nyni-zpracovavame-podklady-k-zaveru-zjistovaciho-rizeni/d-12426>
- [30] BÍLÝ, V. *Vláda schválila druhou etapu majetkoprávního vypořádání přivaděčů vody v rámci řešení sucha na Rakovnicku. Ministerstvo na ni vydá 133 milionů korun*. Ministerstvo zemědělství, zpráva tiskového mluvčího ze dne 5. 11. 2021. Dostupné z: <https://mze.gov.cz/public/portal/mze/tiskovy-servis/tiskove-zpravy/vlada-schvalila-druhou-etapu>

Autoři

Ing. Tomáš Mičaník, Ph.D.

tomas.micanik@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-5867-0985

Ing. František Sýkora

frantisek.sykora@vuv.cz

ORCID: 0000-0003-1003-0935

Ing. Alena Kristová

alena.kristova@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-7247-1640

Mgr. David Chrastina

david.chrastina@vuv.cz

ORCID: 0000-0002-9945-3100

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

Příspěvek prošel recenzním řízením.

WATER QUALITY IN THE RAKOVNICKÝ STREAM DURING PERIODS OF LOW RIVERFLOW

MIČANÍK, T.; SÝKORA, F.; KRISTOVÁ, A.; CHRASTINA, D.

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

Keywords: water quality – hydrological drought – nutrients – pharmaceuticals

Climate change, accompanied in the Czech Republic by a rise in air temperature across the whole of its territory, is causing an increase in the frequency of hydrological extremes. These include not only flash floods, but also periods characterised by hydrological drought. In recent years, we have witnessed an increase in the number of days with a flow rate of Q_{355} or lower, which characterises hydrological drought. During periods of low flow, water quality in watercourses downstream of pollution sources deteriorates due to reduced dilution capacity. On the other hand, there are factors that may contribute to the breakdown of pollution, such as, in particular, higher temperatures, longer and more intense exposure to sunlight, and a longer retention time of water in the riverbed.

The Rakovnický stream, which is frequently exposed to extreme hydrological drought conditions, was selected for the study of water quality during periods of hydrological drought. The town of Rakovník, with a population of over 15,000, lies on either side of the stream; the Rakovník municipal wastewater treatment plant is therefore a significant anthropogenic source. At 13 selected profiles in the lower reaches of the Rakovnický stream catchment, the concentration trends of nitrogen and phosphorus compounds – which cause eutrophication – and of pharmaceuticals, which are abundant in municipal wastewater, were monitored. Differences in the dynamics of nitrogen and phosphorus compound concentrations in the study area from spring to autumn under various hydrological conditions were confirmed. It was found that hydrological drought during the warmer months of the year contributes to the degradation of nitrogen compounds, in contrast to phosphorus compounds. At the same time, it was determined which pharmaceuticals persist in the watercourse and which are eliminated; however, the formation of their metabolites cannot be ruled out.