

EMISE A IMISE - PRODUKCE NUTRIENTŮ Z BODOVÝCH ZDROJŮ ZNEČIŠTĚNÍ V POVODÍ VN ŠVIHOV

Daniel Fiala, Anna Kólová, Pavel Rosendorf, Lenka Smetanová, Lada Stejskalová, Miroslav Váňa

*Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Podbabská 2582/30, 160 00 Praha 6,
e-mail: daniel.fiala@vuv.cz*

Souhrn

Pro bilanční model produkce a transportu farmak povodím VN Švihov je stěžejní charakterizovat typickou obec a typický vodní tok. Pro přiblížení se k této úrovni používáme jako proxy parametr často a mnohem levněji analyzované živiny, resp. výpočet emisí N a P, včetně sledování jejich dalšího osudu v povodí. Poznatky získané na tomto poli lze s výhodou přímo použít při řešení problémů s eutrofizací vod. V příspěvku je popsán zejména úspěšný způsob podstatně zpřesňující bilanci malých zdrojů charakteristických výraznou variabilitou odnosu za rozdílných hydrologických a meteorologických okolností. Dále jsou zevrubně popsány základní retenční parametry malých toků pro jednotlivé živiny a na příkladu dvou typických obcí i detailní průběhy koncentrací během 24hodinových period přímo pod výústí kanalizace a po několika stech metrech toku.

Klíčová slova: komunální zdroje odpadních vod; eutrofizace; fosfor; farmaka; povodí VN Švihov; retence

Summary

For the model of pharmaceutical production and transport within the watershed of Švihov reservoir, it is crucial to characterize a typical village and a typical stream. To generalize upon this level, we use the nutrients (N, P) as a proxy parameter. They are analysed more frequently and at lower cost. The knowledge gained in this field can preferably be used directly in solving problems with utrophication. In particular, the article describes a successful method substantially refining the balance of small sources characterized by a significant variability of load in different circumstances. Furthermore, the basic retention parameters for individual nutrients are described and, on the example of two typical municipalities, detailed concentration course during 24-hour periods directly below the sewer production and after several hundred meters downstream.

Keywords: point-sources of pollution; eutrophication; phosphorus; PPCP; Švihov reservoir's basin; retention

Úvod

VN Švihov je největším zdrojem pitné vody v ČR. Povodí vodárenské nádrže můžeme vnímat nejen jako „výkladní skříň“, ale hlavně jako „pilotní projekt“ budoucího vývoje našeho vodního hospodářství. Správně povodí je z pochopitelných důvodů dlouhodobě věnována nadstandartní pozornost, a to jak po stránce finanční, tak po stránce organizační. Letním příkladem obou aspektů budiž dva recentní novinové články. První se týká vznikajícího stupně úpravy surové vody, tj. zprovozňování linky granulovaného aktivního uhlí (GAU) v hodnotě cca 1 mld. Kč na úpravně Želivka. Druhý článek oznamuje průběžné výsledky koncepčního plánování nových čistíren odpadních vod, tj. chystané prioritní stavby z pohledu cost/benefit v pěti vytipovaných obcích. Oba příklady zároveň ilustrují rozsah možných opatření na podélné „ose“ toku, resp. postihují škálu emisní a imisní situace, která nutně provází všechny úvahy o ochraně strategického vodního zdroje před následky znečištění z bodových a plošných zdrojů znečištění.

Dokumentovat současný stav nakládání s komunálními odpadními vodami (OV), pokud se omezíme na nejzávažnější typy znečištění plynoucí z bodových zdrojů, tedy na farmaka a nutrienty, lze pomocí několika souhrnných údajů. V roce 2016 jsme v rámci detailního průzkumu [1] všech 378 částí obcí

(340 obcí) evidovali 62 komunálních čistíren odpadních vod (ČOV), které obsluhují 70 % z celkového počtu 51 553 v povodí žijících obyvatel (ČSÚ 2011). Celkem 50 % obyvatel v povodí je nadstandardně napojeno na ČOV vybavenou srážením fosforu (15 ČOV). Na druhou stranu ale žije ve 260 obcích roztroušených po celé ploše povodí třetina lidí (29,2 %) nenapojených na ČOV. Jedná se přitom o sídla menší než 500 obyvatel. Nejmenší obcí vybavenou aktivační ČOV jsou Dolní Rápotice (38 obyvatel), nejmenší ČOV se srážením fosforu jsou Vojslavice (81 obyvatel). Obě obce leží přímo na břehu nádrže. Naopak Olešná (405 obyvatel) je největší obcí bez ČOV, nepočítáme-li bývalý, dnes značně zanesený a velmi průtočný, biologický rybník. I do budoucna se přitom předpokládá postupně se zvyšující životní úroveň, tj. jak občanská vybavenost, tak zdravotní péče, ale i vyšší komfort. Lze proto očekávat, že tyto parametry rozvoje přispějí jednak k vyšší produkci OV a živin, ale i k rozšíření spektra znečišťujících rizikových látek, zejména farmak.

Personalizovaná data o spotřebě léčiv a tím pádem o produkci účinných látek a jejich metabolitů do vodního prostředí nebudou z důvodu ochrany osobních údajů nikdy dosažitelná. Pro potřeby bilančního modelu farmak v povodí, který je specifickým cílem projektu, tedy musíme ustoupit na racionální míru zobecnění. I když odhlédneme od sezónních onemocnění, resp. sezónně extrémně nevyvážené spotřeby některých léčiv, a od věkových specifík některých obcí, resp. faktu, že malé obce bývají disproporčně osídleny seniorními starousedlíky, tak nám na cestě k realistickému modelu stále zbývá charakterizovat několik úrovní popisu. Na straně produkce farmak jsou nutná tři hlavní zobecnění. Prvním je „průměrný“ obyvatel, druhým je „průměrná“ obec a třetím je „průměrný“ den. Z tohoto důvodu jsme naše vzorkovací schémata navrhovali podle tří hlavních faktorů [2], a to: podle velikosti sídla, podle vodohospodářské infrastruktury a podle hydrologického období (vzorkováno 2017). Druhou úrovní popisu je osud látek ve vodních ekosystémech. Klíčovou roli, předpokládáme, hraje retence a transformace látek přímo v místě vypouštění OV [3]. Proto bylo součástí celého projektu i měření na potocích a rybnících bezprostředně pod obcemi (vzorkováno 2018 až 2019). Bezesporu stejné mechanismy, ale při řádově nižších koncentracích, budou působit také ve všeobecné hydrografické síti tekoucích a stojatých vod. Vybrané úseky větších toků a větší průtočné rybníky jsou předmětem řešení v letech 2019 až 2020 a nebudou zde popisovány.

Z důvodů finančních i softwarových jsme od začátku postupovali paralelně po dvou analytických liniích. Pro modelování léčiv chovajících se jako nekonzervativní látky používáme amoniakální dusík jako analog a pro konzervativní látky potom celkový fosfor. Detailní analýza těchto dvou proxy (TP a $\text{NH}_4\text{-N}$) nám má pomoci objasnit klíčové parametry produkce a chování farmak. Tyto poznatky jsou ovšem přímo použitelné při řešení problémů spojených s eutrofizací.

V tomto kontextu tedy probíhá náš výzkum zaměřený sice na humánní farmaka, ale nezbytně nutně zahrnující i problematiku fosforu a dusíku. Obecným cílem projektu je poskytnout věrohodná data o zdrojích a chování farmak a nutrientů, což je nezbytný základ jak pro bilanční model, tak pro další směřování ochranných opatření v povodí. Příspěvek navazuje na řadu předchozích článků [2,3,4] a zaměřuje se zejména na popis modelování 24hod. průběhu koncentrací TP a $\text{NH}_4\text{-N}$ na výstupu veřejné kanalizace (VK) a na další transformaci látek v přirozeném toku.

Metody

Při výzkumu emisí v reprezentativním výběru 19 sídel [2] jsme v roce 2017 dospěli k poznatku, že obce vybavené pouze jímko-septikovým systémem, resp. volnou výstí (VK), nelze manuálním postupem věrohodně charakterizovat ani při 24hodinovém pobytu v místě odběru. To se týká jak kvality, tak množství. Zkrátka jednotlivé píky odtoku, které hrají zásadní bilanční roli, jsou tak rychlé, že je nelze vzorkovat jinak než autosamplerem, resp. zachytit je dostatečně vysokou frekvencí sání. Dilem náhody bylo zkusmé měření konduktivity během ranního „probouzení“ v obci Mladé Bříště (26. 9. 2017). Tam jasně patrné píky konduktivity i při vyrovnaném průtoku ukázaly cestu ke zpřesnění metodiky.

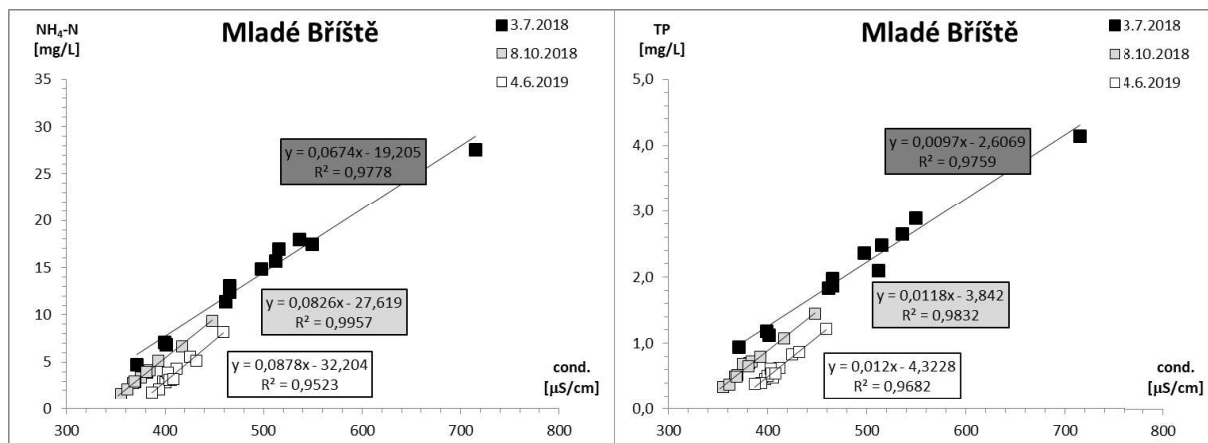
Od června 2018 do června 2019 byly ve třech kolech odebírány vzorky z deseti obcí ($5 \times \text{VK}$ a $5 \times \text{ČOV}$). Autosamplery chlazené ledem se 24 vzorkovnicemi v karuselu odebíraly v krátkém intervalu (15 sekund), tj. 4×100 až 200 ml na jednu láhev za hodinu po celých 24 hodin. Kde nebyl trvale umístěn

měrný profil (Thompson, Parshall), tak byl odtok z odpadní roury či potok přepažen deskou z voděodolné překližky s geometrickým přelivem (Thompson, Cipoletti). Průtok byl potom registrován ve velmi krátkém intervalu (1 sekunda) tlakovými sondami Levellogger Solinst® s korekcí na atmosférický tlak Barologger Solinst®. Po dobu odběrové periody byla rovněž registrována elektrická konduktivita (5 sekund) teplotně kompenzovanými sondami HACH a WTW. Během měřené periody bylo provedeno několik (až 8) přímých měření průtoku se synchronním měřením výšky paprsku měřítkem na přelivu. Po odběrech byly chlazené vzorky převezeny a bezprostředně analyzovány v akreditované laboratoři VÚV TGM, v.v.i. Dílčí vzorky (k analýze pouze 12 lichých lahví: cond., NH₄-N a TP) a rovným dílem (nejméně 50 ml) slité 24hod. směsné vzorky (cond., CHSK_{Cr}, NH₄-N, NO₃-N, SRP a TP). Ze směsných vzorků byly odlity tři paralelní (2× PE, 1× sklo) na analýzu farmak, které byly po zamrazení analyzovány v akreditované laboratoři Povodí Vltavy, státní podnik.

Výpočet modelové koncentrace m_{TP} a m_{NH_4-N} probíhal následujícím postupem. Z analyzovaných hodnot dílčích vzorků byly vypočteny lineární regresní rovnice (12 hodnot cond. vs. TP, popř. cond. vs. NH₄-N, viz obr. 1) a tyto byly přeneseny na automaticky zaregistrované hodnoty konduktivity (obr. 2). Modelovaná řada tak nemá pouze 12 nebo 24 hodnot podle dílčích vzorků, ale 288 hodnot přepočtených podle automaticky zaznamenané konduktivity. Tato modelová řada umožňuje nejpresnější výpočet denního odnosu (L_1), protože sumuje součiny 288 modelových hodnot koncentrace (m_c) a 288 hodnot příslušného průtoku (Q_i). Pro srovnání byly vypočteny také nejméně přesné, ale nejrobustnější hodnoty denního odnosu (L_2), a to násobením koncentrace N či P ve směsném vzorku (c_{mix}) a průměrným denním průtokem (Q_d) vypočteným jako aritmetický průměr 96 hodnot (Q_i) odpovídajících okamžikům sání. Třetím způsobem výpočtu denního odnosu (L_3) se střední citlivostí k extrémům byla metoda sumace 12 dílčích součinů koncentrace dílčích vzorků ($c_{parc.}$) a 12 dílčích průtoků ($Q_{parc.}$). Pro výpočet modelové koncentrace (m_{TP} , m_{NH_4-N}) byly hodnoty konduktivity naměřené v terénu samozřejmě korigovány podle specifického čidla, a to vztažením ke konduktivitě naměřené v laboratoři (25 °C). Stejně tak automaticky zaznamenané hodnoty výšky hladiny, resp. celé křivky, byly empiricky fitovány na kontrolní hodnoty změřené fyzicky *in situ*. Zaznamenaný byly také hodnoty atmosférického tlaku (p_{air}) a teploty ze všech čidel (vzduchu, vody z vodivostní elektrody a vody z tlakové sondy). Tyto hodnoty sloužily k eliminaci teplotního driftu tlakových sond. Vzhledem k tlakovým rázům proudící vody, nabalujícím se nečistotám a proměnlivosti teploty OV byly řady průtoku Q_i na VK ponechány i s rušivými oscilacemi, zatímco výsledné hodnoty Q_i na potocích byly zhlazeny 5minutovým klouzavým průměrem. Pro přepočet výšky hladiny na průtok byly použity empiricky zjištěné konzumpční křivky.

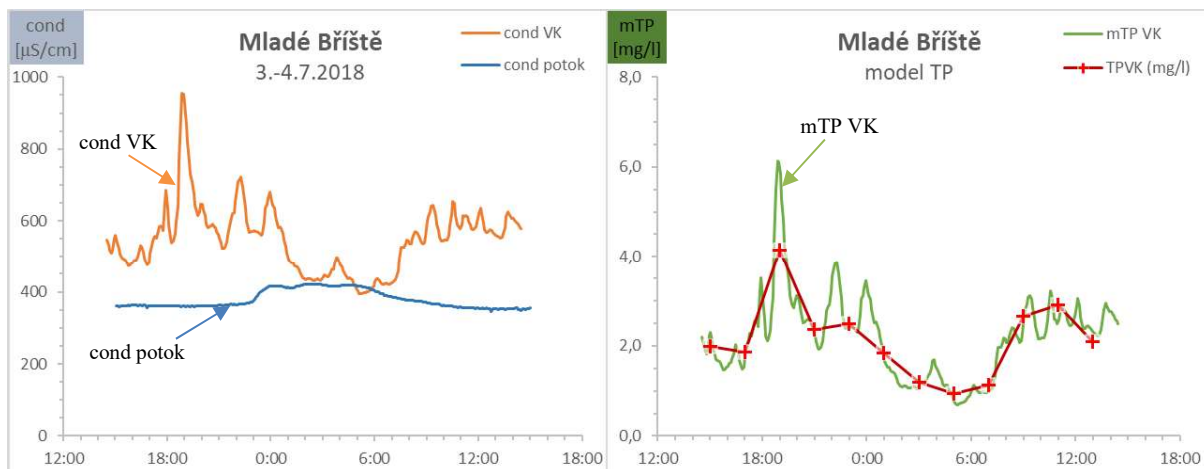
Výsledky a diskuse

Každá mince má dvě strany. Zatímco výsledky z manuálně provedených odběrů v roce 2017 bylo možné vyhodnotit prakticky cestou autem do laboratoře a nejdéle jeden den trvaly chemické analýzy, byla situace v následující fázi přesně opačná. Velké množství naměřených dat si vyžádalo speciální postupy zpracování a násobného křížového porovnávání a ověřování. Cenou za přesnost je čas. Nicméně vysoké finanční náklady na chemickou analýzu farmak takový postup opravňují, ne-li vynucují.



Obr. 1: Lineární regrese konduktivity a NH₄-N (vlevo), popř. TP (vpravo) dílčích vzorků odebraných v obci Mladé Bříštle ve třech termínech na výstupu VK. Na jejich základě byly modelovány koncentrace N a P.

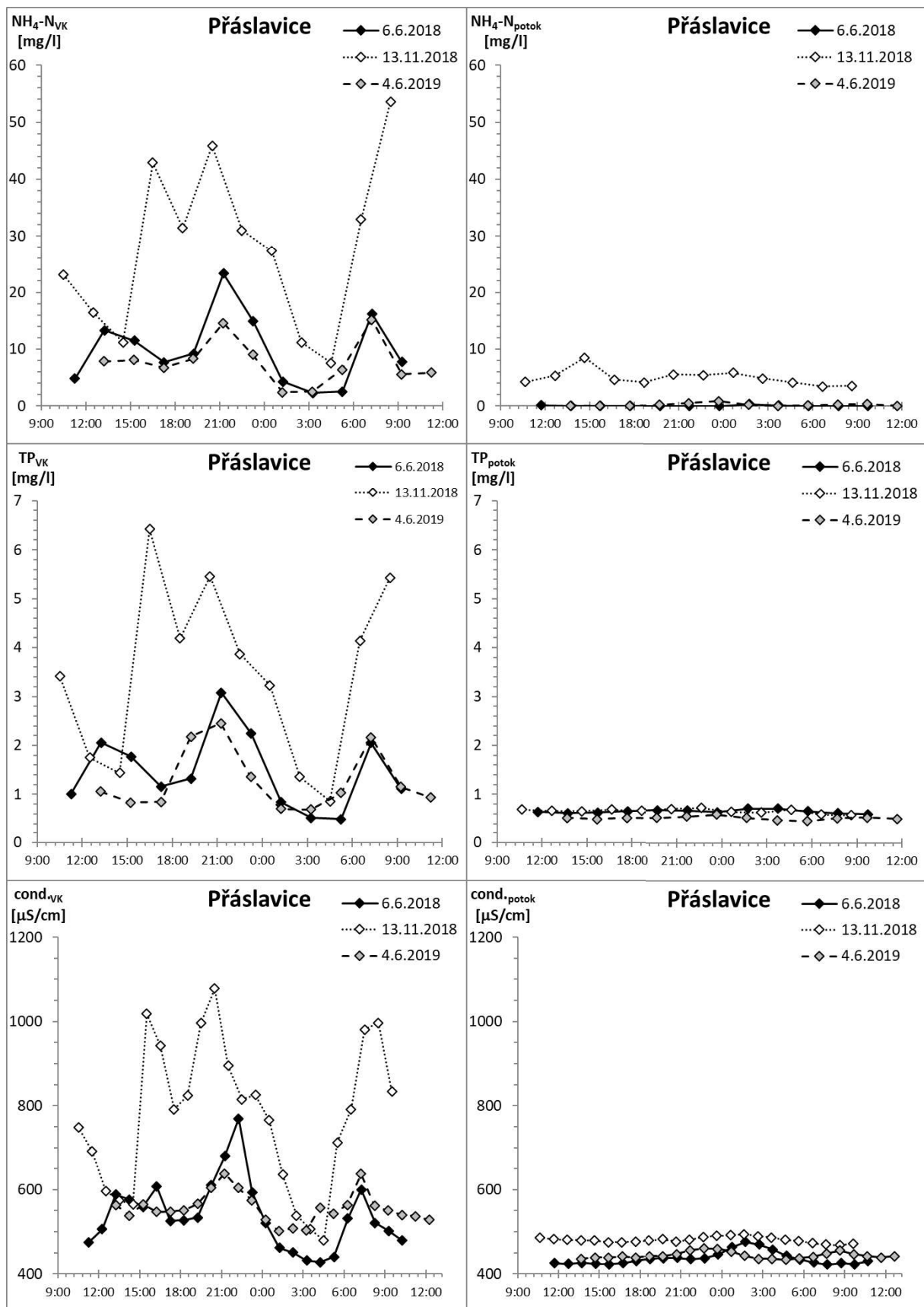
Uvedeme zde také několik podstatných zkušeností k použití tlakových sond. Při instalaci tlakových čidel je třeba mít na paměti, že teplotní ustálení ocelových sond trvá i ve vodě cca 15 minut, ale na vzduchu rozhodně 30 minut. Seběmenší chvění hladiny tekoucí vody znamená tlakové rázy na membránu, a tedy chyby v měření. V technickém listu popsána limitní vzdálenost umístění společného barologgeru pro dva souběžně měřené profily je 30 km. Při přechodu tlakové fronty může prostá změna tlaku vzduchu o 1,7 % způsobit odchylku přepočtenou na hladinu až 20 cm vodního sloupce! Kritickou chybou se v našem případě ukázala nepřesnost měření, resp. korekce způsobená teplotním driftem kompenzačního barologgeru. Ten je způsoben náhlými změnami teploty vzduchu, resp. těla barologgeru. Tuto systémovou chybu čítající v přepočtu jednotky mm až 5 cm (!) musíme ještě složitě zkontrolovat, proto nyní ještě nelze hodnoty průtoků považovat za definitivní!



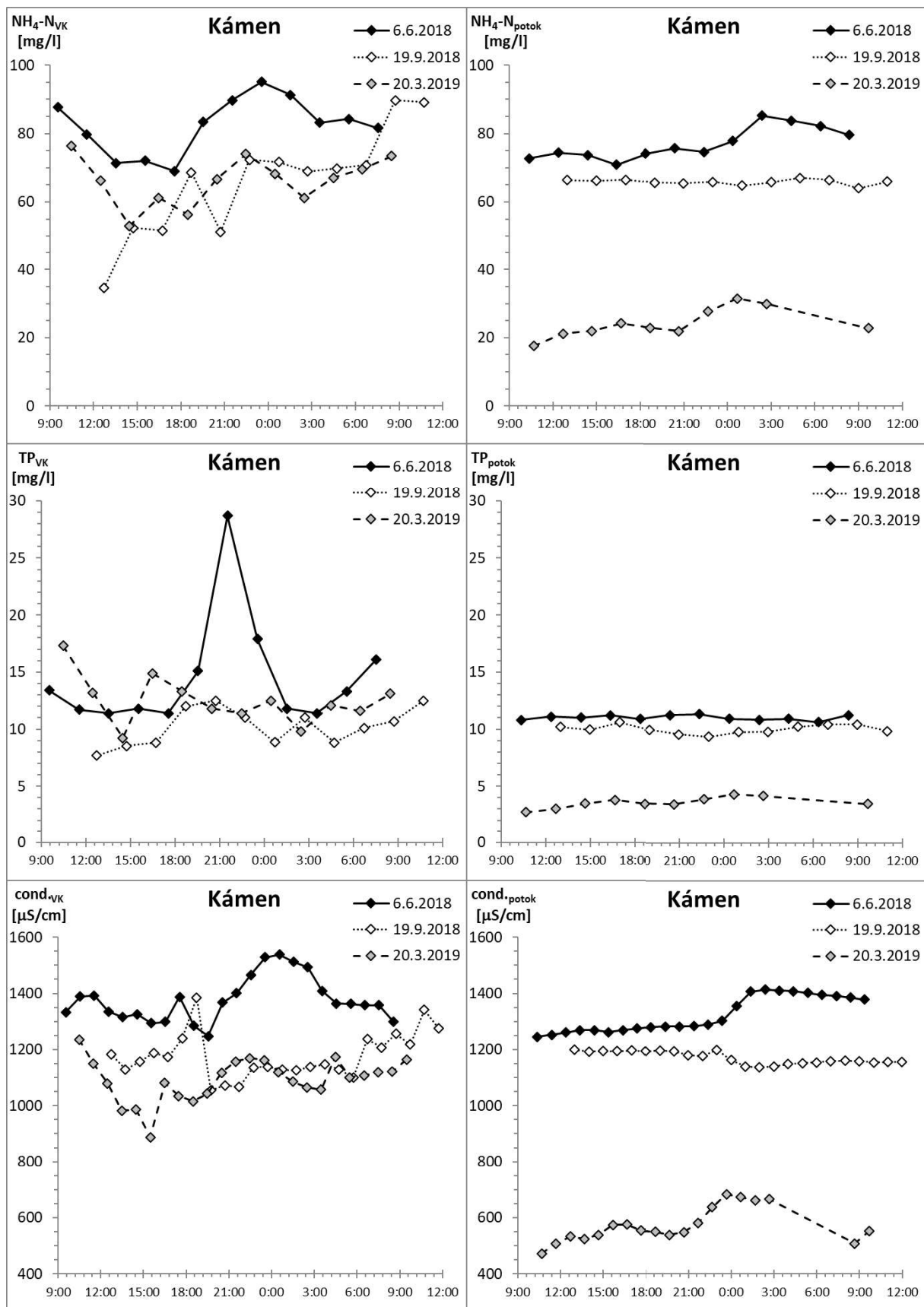
Obr. 2: Porovnání denního průběhu konduktivity (vlevo, 288 naměřených hodnot) na výstupu VK s profilem ležícím 330 m níže. Modelová koncentrace mTP_{VK} zkonstruovaná podle lineární regrese (cond. vs. TP: $mTP = 0,0097 \cdot cond. - 2,6069$; $R^2 = 0,9759$) a její porovnání s koncentrací TP_{VK} ze 12 dílčích vzorků (křivka s body) během vzorkování 3. - 4. 7. 2018 v obci Mladé Bříštle (vpravo).

Tab. 1: Redukce jednotlivých parametrů na potoce oproti VK [100 %], hodnoceno dle míchaných vzorků. Tři odběrové dny (slabě) a jejich průměr (tučně); n.a. = neanalyzáno

[%]	cond.	CHSK _{Cr}	NH ₄ -N	NO ₃ -N	SRP	TP	L _{TP1}	L _{TP2}	Q _{d1}	Q _{d96}
Přáslavice	84	18	1	98	53	42	n.a.	36	86	87
	62	15	14	50	23	17	364	n.a.	n.a.	n.a.
	80	16	4	88	60	37	49	36	99	99
	75	16	6	79	46	32	206	36	92	93
Pošná	67	22	26	308	57	48	96	n.a.	n.a.	n.a.
	84	20	21	418	69	54	n.a.	57	104	105
	113	63	55	128	89	83	153	84	100	101
	88	35	34	285	72	62	125	71	102	103
Proseč	55	5	0	230	38	20	27	22	112	111
	50	5	1	251	58	20	597	52	235	260
	100	79	23	127	105	60	171	94	155	157
	68	30	12	203	67	33	265	56	168	176
Mladé Bříště	80	21	11	1 063	71	48	58	n.a.	n.a.	n.a.
	99	51	27	376	123	69	381	106	152	153
	95	75	14	186	103	84	93	61	73	72
	92	49	17	541	99	67	178	83	112	113
Kámen	100	19	91	58	100	71	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	100	41	84	98	123	102	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	52	18	36	137	44	31	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	84	26	70	98	89	68	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.



Obr. 3: Denní průběh koncentrace $\text{NH}_4\text{-N}$ (nahore), TP (uprostřed) a konduktivity (dole) na výsti VK (vlevo) a na profilu 230 m níže po toku (vpravo) ve třech odběrových dnech 2018 až 2019 v obci Přáslavice



Obr. 4: Denní průběh koncentrace $\text{NH}_4\text{-N}$ (nahore), TP (uprostřed) a konduktivity (dole) na výsti VK (vlevo) a na profilu 410 m níže po potoce (vpravo) ve třech odběrových dnech 2018 až 2019 v obci Kámen

Z přehledných výsledků (tab. 1) je patrný výrazný pokles většiny parametrů. Zatímco konduktivita klesá v průměru pouze o 10 až 30 %, tak $CHSK_{Cr}$ o 50 až 85 %. Nejrazantnější pokles nastal u amoniakálního dusíku (95 % v Přáslavicích), přitom v obci Kámen pouze o 30 %. Jediným parametrem, který po proudu vzrostl a v některých místech a odběrech i násobně, je dusičnanový dusík. To jen potvrzuje intenzivní nitrifikaci. Z pohledu fosforu je podstatné, že většinou významně klesla koncentrace celkového fosforu, ale varovným signálem nasycení fosfáty je stagnace nebo dokonce slabý nárůst ve čtvrtině případů. Denní odnosy, nakolik lze hodnotit nejisté výsledky Q, směrem po proudu vzrostly, ale patrný je přitom rozdíl mezi výpočtovými metodami. I přes redukci látek tedy převládá zvýšení průtoku, což je za normálních okolností geografická nutnost.

Při výpočtech denních odnosů (tab. 1) nesmíme zapomenout na roli násobení velkých čísel. Obvykle uvažujeme v pojmech okamžité koncentrace (mg/l) a okamžitého průtoku (l/s). V laboratoři provedené chemické analýzy mají často chybu menší než 5 %, ale sebelepší měření průtoku v terénu má snadno chybu 10 %. Musíme mít proto stále na paměti, že odchylka 0,1 l/s, tj. nepostřehnutelný rozdíl u takto malých zdrojů, činí za jeden den celkový rozdíl 8,46 m³. Stejně tak je třeba pravidelně ověřovat i kalibrovaná čidla (cizí) na ČOV kontrolními měřeními (vlastními)! Je s podivem, jak někteří provozovatelé věnují malou péči tomuto počítadlu.

Nejpodstatnějším důsledkem opakovaně zachycených, a tedy charakteristických krátkých, ale koncentrovaných píků OV v kanalizační síti malých sídel je případná konstrukce budoucích ČOV. Jakmile malá ČOV nemá dostatečnou retenční kapacitu před aktivací nádrží k vyrovnávání hydraulického zatížení nebo nemá této sporadické nárazovitosti přizpůsobenou technologii čištění (frekvence a intenzita čerpání vratného kalu, vysoce zatěžovaný kal, vyhánění OV v čerpací jímce apod.), je i nová ČOV nakrásně vyzdobená i srážením P odsouzena k finančně nákladnému provozu a značným propadům v kvalitě vody na odtoku. Bohužel mnoho případů takto provozovaných ČOV vyjeví své smutné tajemství až poté, co se do odtoku instaluje měrný přeliv působící jako norná stěna celý den zachytávající vločky kalu, jinak unikající skrze dosazovací nádrž! Jako vždy záleží na projektantovi.

Detailní průběhy 24hod. koncentrací TP a NH₄-N ať získaných modelováním (zde 288 hodnot) nebo analýzou dílčích vzorků (zde 12 hodnot) nám poskytují vzhled do vnitřní struktury resp. povahy sledovaných veličin (obr. 3 a 4). Jako první se ozřejmí nesmyslnost, resp. nevyváženost požadavku legislativních a technických norem na vzorkování. U takto malých obcí je v drtivé většině případů požadován dvouhodinový slévaný vzorek. Z uvedených výsledků je i prostým okem patrné, že tento praktický nárok nemá oporu v povaze vzorkované vody. Prakticky žádná firma nevzorkuje tento typ obcí mimo obvyklou pracovní dobu, takže s vysokou pravděpodobností nezachytí večerní pík (po 20. hodině) a pravděpodobně ani ranní (kolem 8. hodiny). Stejně tak nebývá měřen ani okamžitý průtok, který silně závisí na poměru balastních vod, a tedy na období v rámci roku, času od poslední srážky apod.

V neposlední řadě je důležité zachycení rozdílů v retenci mezi relativně přirozenými koryty potoků (např. Přáslavice obr. 3) a napřímeným, zahluobeným a zpevněným korytem HMZ pod obcí Kámen (obr. 4). Důležitým znakem celkového rozsahu retence je široká škála zaznamenaných teplot a průtoků, jakožto vnějších veličin určujících dynamiku jednotlivých dějů.

Závěry

V malých obcích s velkými hydraulickými rázy na jednotné VK, a to bez ohledu na přítomnost či absenci koncové ČOV (!), v obcích s významným a během roku se měnícím podílem balastních vod, v sídlech s podezřením na sporadicky vyvážené septiky, či jímky načerno napojené na VK, všude tam je kombinace zde použitých metod, tj. častého vzorkování řádově znásobeného automatickou registrací konduktivity a doplněné o souběžnou automatickou registraci výšky hladiny, resp. průtoku, zásadním krokem k evidenci nepravostí, potažmo vede ke zpřesnění produkce jak OV (TP a NH₄-N), tak na ně vázaných farmak [3].

Vysoké a pravidelně zachycované koncentrace N a P ukazují obecný jev. Ano, pouhým okem viditelné hrubé nečistoty či fekálie leckde volně plující kolem čidel nad veškerou pochybnost dokazují, že

na systém povoleného nakládání s OV jsou napojeni lidé a zákonitě, byť ojediněle, i lidé velmi neřádní. Zcela chybnou reakcí na zjištěné vysoké koncentrace živin ve vodách malých obcí s Povolením vypouštění OV do povrchových vod by bylo, podle našeho názoru, další zvýšení plošné restrikce. Septiky mají své místo mezi technologiemi čištění OV. Musejí být pouze řádně provozovány, tedy kontrolovány. Ostatně jako všechny druhy a typy technologií intenzivního či extenzivního čištění OV. Je smutné, když několik neřádných provozovatelů strhne většinu k sankcím. Plošný přechod od septiků k DČOV nebo malým ČOV by jistě přinesl vysoké náklady obcím, resp. znečišťovatelům, ale nezaručí vyšší kvalitu vod.

Přirozená koryta i nejmenších potoků bezprostředně pod obcemi zachytávají (dočasně) a umožňují transformaci (částečně) velkého množství jinak neregistrovaného znečištění. Na tuto ekosystémovou službu nesmíme hřešit, ale měli bychom ji umět s velkým benefitem využít, například podporou revitalizací toků v intravilánech obcí. Přirozené koryto v kombinaci s nedalekým rybníčkem by mohlo v mnoha ohledech efektivně pomoci k výraznému zlepšení ekologického stavu našich vod.

Sice už delší dobu víme, že fosfor, klíčová živina fytoplanktonu a všeho živého a tedy řídicí faktor eutrofizace, pochází majoritně z komunálních OV, ale postupně a na několika frontách zároveň zjišťujeme, jak moc velký podíl fosforu z komunálních zdrojů uniká či ještě uniká naší pozornosti. Odlehčené OV, měsíční tedy nízká frekvence vzorkování, resp. od zdroje příliš vzdálený odběr v čase i prostoru, zanedbané biologické rybníky či stabilizační nádrže. Příčina? Rychlá sorpce PO_4-P na minerální částice, a tedy i účinná sedimentace v první „louži“, velmi efektivní inkorporace fosforu do biofilmu, a tedy jeho dočasná retence v toku hned pod výustí OV. To vše čeká na stržení první bouřkou, abychom pak ojediněle, např. v rámci omezeného výzkumu pouhým náhodným odběrem, chybně interpretovali partikulovaný fosfor jako fosfor erozního původu.

Poděkování

Příspěvek byl podpořen z projektu MV ČR VI20172020097 „Ochrana kritické infrastruktury - vodního zdroje Želivka - před účinky PPCP a pesticidů v podmínkách dlouhodobého sucha“. Janu Hlomovi (VÚV TGM, v.v.i.) děkujeme za poskytnutí konzumpční křivky pro Thompsonův přeliv. Zvláště děkujeme obsluze sledovaných čistíren za poskytnuté zázemí a soukromým zemědělcům a místním samosprávám za povolení vstupu na pozemek. V neposlední řadě děkujeme za osobní nasazení personálu našich laboratoří.

Literatura

- [1] FIALA D., ROSENDORF P. (2017): Role malých obcí v koloběhu fosforu a jejich význam při eutrofizaci vod v povodí VN Švihov.- In: Říhová Ambrožová J., Pecinová A. (eds.) Vodárenská biologie 2017, Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o., Chrudim, pp. 93–102.
- [2] FIALA D., KUČERA J., MATOUŠOVÁ L., ROSENDORF P., STEJSKALOVÁ L., VÁŇA M. (2018): Denní odnosy živin z obcí prizmatem jejich velikosti a vodohospodářské infrastruktury. In: Říhová Ambrožová J., Pecinová A. (eds.) Vodárenská biologie 2018, Praha, Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o. Chrudim, s. 172–178.
- [3] FIALA D., ROSENDORF P., KUČERA J., VÁŇA M., STEJSKALOVÁ L., MATOUŠOVÁ L. (2019): Variabilita koncentrací makronutrientů v typových obcích povodí VN Švihov a jejich transformace ve vodních ekosystémech.- In: Říhová Ambrožová J., Pecinová A. (eds.) Vodárenská biologie 2019, Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o. Chrudim, s. 124–133.
- [4] FIALA D., KÓLOVÁ A., MATOUŠOVÁ L., ROSENDORF P., STEJSKALOVÁ L., VÁŇA M. (2019): Emise dusíku a fosforu v závislosti na velikosti obce, typu vodohospodářské infrastruktury a průtoku.- In: Kosour, D. a kol. (eds.) Vodní nádrže 2019, Povodí Moravy, státní podnik, Brno, s.80–84.