

DENNÍ ODNOSY ŽIVIN Z OBCÍ PRIZMATEM JEJICH VELIKOSTI A VODOHOSPODÁŘSKÉ INFRASTRUKTURY

Daniel Fiala, Pavel Rosendorf, Jiří Kučera, Miroslav Váňa, Lada Stejskalová, Lenka Matoušová

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Podbabská 30, Praha 6, 160 62

e-mail: daniel.fiala@vuv.cz

Souhrn

Matematické modely kvality vody v tocích i nádržích jsou závislé na věrohodnosti vstupních dat. Tento triviální předpoklad platí jak pro odnos živin (N, P) způsobujících eutrofizaci, tak pro emise a transport xenobiotik (PPCP) ohrožujících kvalitu zdrojů pitné vody. Na příkladu reprezentativního výběru dvaceti obcí v povodí vodárenské nádrže (VN) Švihov zde předběžně ilustrujeme dopady variability odtoku odpadních vod a koncentrací amoniakálního dusíku na sumární ukazatele vypouštěného denního znečištění (C, N P). Díky statistické reprezentativnosti budou tyto proxy ukazatele sloužit k zevšeobecnění parametrů týkajících se xenobiotik a jejich reziduí, jejichž přímé analýzy jsou jinak nesmírně náročné jak po finanční, tak analytické stránce. Obce byly vybrány jak s ohledem na velikost (15 000 – 60 obyvatel), tak vodohospodářskou infrastrukturou (volné výusti na jednotné kanalizaci nebo různé typy ČOV), ale i přítomností potenciálních hotspots. Sledování obcí jsme prováděli ve 24h periodách opakovaných třikrát během roku, abychom podchytili vliv rozdílných hydrologických podmínek.

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

Summary

Article describes few uncertainties linked to estimation of daily load of specific pollutants produced from small point sources. Direct analyses of PPCP are expensive and demand. Thus we recommend fast and cheap analyses of ammonium-nitrate or phosphorus, as proxy in specifying several characteristics of their emission. Through the statistically representative selection of twenty municipalities we show relevant examples of fast and unpredictable peaks in flow or concentration. Finally, we discuss their impact on the pollutant load and solutions how to tackle them.

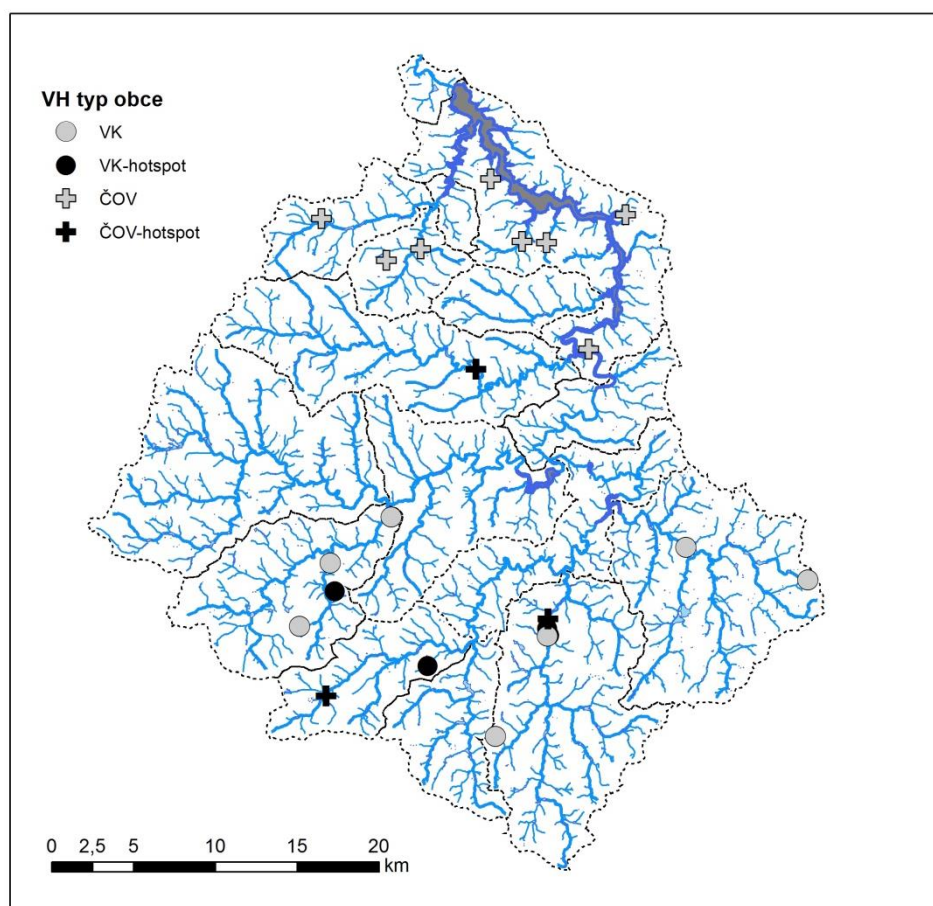
Keywords: point-sources of pollution; eutrophication; phosphorus; PPCP, Švihov reservoir's basin; modelling

Úvod

Předkládaný článek je jedním z prvních výstupů probíhajícího projektu „Ochrana kritické infrastruktury - vodního zdroje Želivka - před účinky PPCP a pesticidů v podmínkách dlouhodobého sucha“. Omezení emise a transportu xenobiotik od zdrojů do nádrže, resp. jejich negativní vliv na strategický zdroj pitné vody, je tedy hlavním motivem a rámcem probíhajících prací. Stěžejním výstupem projektu bude matematický model povodí popisující produkci a osud vybraných látek ve vodním prostředí. Model bude přinejmenším na bilanční bázi sloužit jako jeden z nástrojů ke snížení jejich rizika, tedy k omezení kontaminace surové, resp. pitné vody. Pro modelování chování těchto látek v hydrosféře (souhrnně jsou označovány jako PPCPs - *Pharmaceuticals and personal care products*) jsou nezbytné adekvátní odhady vstupních parametrů: produkce vybraných účinných látek jedním „statistickým“ člověkem, vztah mezi velikostí sídla a celkovou produkcí PPCP, vliv typu vodohospodářské infrastruktury na rozpad mateřských látek a přítomnost zdravotních a sociálních zařízení, v nichž spotřeba a produkce těchto látek může být násobně vyšší. V tomto ohledu je nutné si uvědomit i společenský rámec tohoto druhu znečištění. Sám o sobě je nebezpečný jak prudký nárůst spotřeby léčiv ve společnosti obecně, tak stále četnější přímé dopady na zdraví pacientů způsobené nežádoucími účinky léčiv. Negativní dopady na vodní ekosystémy a životní prostředí člověka jsou proto druhořadé jen zdánlivě. Nicméně cílem tohoto příspěvku je upozornit na nejpodstatnější změny v koncentracích a průtocích, které zásadně ovlivňují jak bilancování vstupů, tak odhad a modelování transformačních procesů, které se týkají jak měřených proxy látek, tak i cílových xenobiotik.

Metody a lokality

Reprezentativní soubor lokalit, které budou sloužit k charakterizaci zdrojů PPCP, byl vybrán na základě detailních znalostí všech obcí v povodí vodárenské nádrže (VN) Švihov [1]. Hlavními parametry určujícími výběr dané obce byla její velikost, stávající vodohospodářská infrastruktura (veřejná kanalizace - VK nebo čistírna odpadních vod - ČOV) a ne/přítomnost sociálních nebo zdravotních zařízení. Lokality byly vybrány zároveň s ohledem na budoucí pokračování projektu, který se posune k měření a charakterizaci transportu cílových látek povodím. Celkem jsme v roce 2017 vzorkovali odpadní vody (OV) na 33 profilech kanalizační sítě ve dvaceti obcích (tab. 1 a obr.1). V potaz byly vzaty rovněž hydrografické souvislosti (podchyceny jsou jak pramenné oblasti daleko nad nádrží, tak i oblast přimykající se k nádrží) a dostupnost. Tři odběrové kampaně byly naplánovány tak, aby postihly odtoky OV během obvyklého sezónního rozsahu hydrologického cyklu (vlhké jaro, teplé suché léto a suchý studený podzim). Snažili jsme se vyvarovat dnům s odtokem výrazně ovlivněným (predikovanými) srážkami. Důležitým cílem bylo podchytit očekávanou ranní a odpolední, resp. večerní špičku a zejména u malých obcí i krátkodobé vlny. Tyto několikaminutové epizody by logicky mohly významně ovlivnit následně zprůměrovaný odnos polutantů. Vytvoření směsných vzorků se řídilo dostupností dat o průtoku.



Obr. 1. Vzorkované obce v povodí VN Švihov při rozlišení typu vodohospodářské infrastruktury (VK - veřejná kanalizace; ČOV – čistírna odpadních vod) a ne/přítomnosti potenciálního zdroje farmak (hotspot)

Na volných výústích VK byl měřen okamžitý průtok přímou metodou při odběru vzorku (Q_i). Vzorky byly v laboratoři slévány proporčně podle Q . Na čistírnách jsme získávali informace o průtoku od provozovatele a podle jejich povahy (surová data, vytištěný graf nebo denní suma) jsme obvykle vzorek na přítoku slévali proporčně podle průtoku a na odtoku podle rovnoměrných časových intervalů. Po návratu do akreditované laboratoře VÚV T.G.M. byly dílčí vzorky analyzovány na amoniakální dusík ($\text{NH}_4\text{-N}$) a směsné vzorky také v dalších parametrech: CHSK_C , $\text{NO}_3\text{-N}$, celkový fosfor (TP) a rozpuštěný reaktivní fosfor (SRP). Ve směsných vzorcích byla rovněž analyzována

vybraná farmaka, ale s ohledem na časovou náročnost analýz nejsou jejich kompletní výsledky ještě k dispozici, a proto zde nebudou vůbec hodnocena. Během vzorkování a transportu byly vzorky udržovány v chladu a tmě, jejich teplota byla kontrolována.

V jeden odběrový den byly odebrány vzorky zpravidla ve třech obcích, tj. tři sady vzorků manuálně (volná výúst' VK) nebo šest sad autosamplery (přítok a odtok z ČOV). Odběry začínaly dopoledne a končily po 24 hodinách tak, aby souvislá ranní špička nebyla zasažena případnou změnou odtokových podmínek. V obcích s jednotnou VK zakončenou pouze volnou výústí, jsme odběry prováděli manuálně. Prosté bodové vzorky zde byly rozlišeny na „kosterní“ (12) odebírané po dvouhodinových intervalech. Vzorky „mimořádné“ byly odebírány v mezičasech podle potřeby, zpravidla při náhodném zachycení krátké odtokové vlny, dočasném zvýšení průtoku nebo při zpozorování mimořádných odnosů výrazně znečištěných OV. V obcích s ČOV byly vzorky na přítoku a na odtoku odebírány přenosnými autosamplery (ISCO a SIGMA) s karuselem na 24 lahví (1 000 ml nebo 500 ml). Během hodinového intervalu byly odebrány 2 až 4 díly vždy do jedné lahve (o objemu 150 až 250 ml). V laboratoři byly po vizuální kontrole dvě lahve ze sudé a liché hodiny smíseny rovným dílem do 12 dílčích a neprodleně analyzovaných vzorků. Pouze v případech poruchy, výpadku nebo bezodtoké periody (SBR) probíhalo slévání jinak, ale vždy s maximální snahou o vytvoření reprezentativního směšného vzorku. Odběry vzorků OV proběhly během 23 odběrových dnů (Po-Čt), a to od 15. 5. do 13. 12. 2017. Celkem bylo odebráno 1318 vzorků OV, z toho 1211 vzorků dílčích a 107 vzorků sléváných. Vzhledem k častějším podzimním deštům musel být harmonogram opakovaně prodloužen. Intenzivní přívaly během října významně rozkolísaly technologie ČOV v několika menších obcích (došlo až k vyplavení kalu z AN) a jejich vzorkování muselo být podstatně odloženo. Ve dvou případech jsme museli pro vážné výpadky v sání OV odběry v daných obcích zcela opakovat.

Tab. 1. Základní parametry sledovaných obcí: počet odběrových profilů; přítomnost potenciálního zdroje farmak (hotspots = 6); počet obvykle bydlících obyvatel (SBDL 2011) napojených na kanalizaci, kromě Proseče-Obořiště (napojena část obce) a Pelhřimova (napojeno více obcí); typ vodohospodářské infrastruktury; specifikace technologie ČOV (MB – mechanicko-biologická ČOV; SBR reaktor; srážení fosforu; BR – biologický rybník, kořenová ČOV)

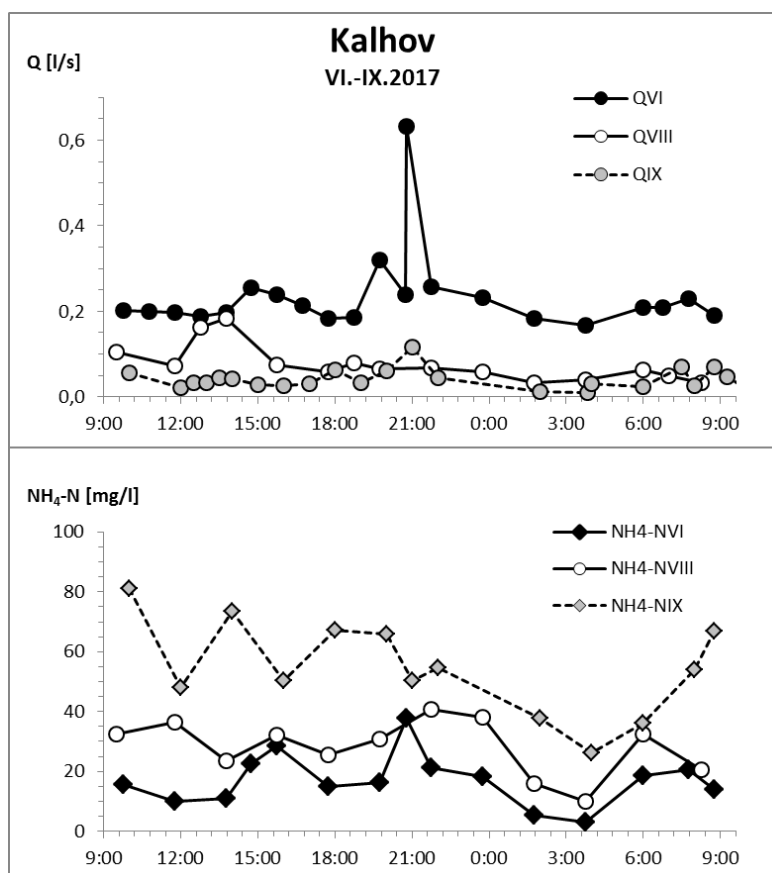
obec	profilů	hots	obyv.	VHI	typ
Pelhřimov	5	461	15410*	ČOV	MB terciární+2BR
Čechtice	2		962	ČOV	MB+srážení+3BR
Dolní Kralovice	2		633	ČOV	MB+srážení
Kožlí	2		510	ČOV	MB oběhová aktivace+BR
Křivsoudov	2		387	ČOV	SBR
Lidmaň	2	97	222	ČOV	MB
Bernartice	2		210	ČOV	MB oběhová aktivace
Onšov	2	50	202	ČOV	KČOV
Tomice	2		136	ČOV	MB+srážení
Chmelná	2		126	ČOV	KČOV
Vojslavice	2		81	ČOV	MB+srážení
Proseč-Obořiště	1	70	187*	VK	jednotná VK
Libkova Voda	1		223	VK	jednotná VK
Kámen	1		219	VK	jednotná VK
Mladé Bříště	1		169	VK	jednotná VK
Pošná	1		147	VK	jednotná VK
Kalhov	1		128	VK	jednotná VK (+BR)
Proseč	1	85	93	VK	ČOV**+jednotná VK
Přáslavice	1		65	VK	jednotná VK

Výsledky a diskuse

Zobecnitelné studie stran emisí PPCP se v ČR omezují spíše na prosté poměrové studium průchodu farmak skrze technologii ČOV ve větší aglomeraci [2] a dále na hlavní vzorkovací profily [3], což jsou v případě VN Švihov zejména přítoky nádrže důležité pro bilanci, ale nepodstatné pro modelování.

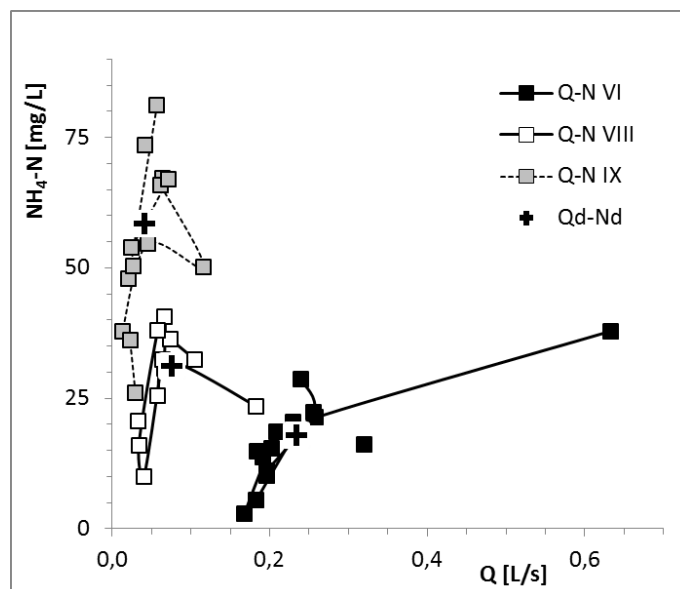
V této fázi projektu jsme se věnovali podchycení zdrojů, resp. celému spektru obcí (od 60 obyvatel až do Pelhřimova), abychom mohli postulovat obecnější závislost mezi velikostí sídla a emitovaným množstvím polutantů. U malých obcí jsme přitom narazili na několik podstatných okolností, které do značné míry určí věrohodnost výsledného modelu [4].

Prvním specifickým u těch nejmenších obcí je výrazná rozkolísanost odtoku OV z kanalizace volnou výustí. Tato skutečnost vyplývá z napojení neznámého počtu septiků nebo méně spolehlivých jímek na síť VK. Obrazně řečeno, vypuštění jedné vany nebo synchronizované spláchnutí může během krátké doby vytlačit do odtoku neobvykle vysoký podíl denního odnosu. Ranní špička, kdy několik obyvatel vstává na stejný autobus, je reálným příkladem. Protože z bezpečnostních důvodů není na mnoha takových lokalitách možné zanechat autosampler bez dozoru, manuální vzorkování je tak první a často bohužel i poslední reálně proveditelnou odběrovou metodou. Krátký pík (obr. 2) může jednoduše snadno ujít pozornosti vzorkaře, ale může být navíc efektivně maskován různým a během sezóny proměnlivým podílem odtoku balastních nebo povrchových vod. Proto je nezbytné zacílit opakované bilanční odběry do hydrologicky odlišných fází roku. Právní předpisy a vodoprávní povolení se u obcí této velikosti navíc spokojí se dvouhodinovým slévaným vzorkem. Pravděpodobnost záchytu se tím dramaticky snižuje a výsledkem je hrubé podhodnocení emisí. Nezbytné je tedy 24h sledování, pokud možno opakované během sezónního cyklu, aby se podařilo věrohodně eliminovat podíl balastních vod (obr. 3).



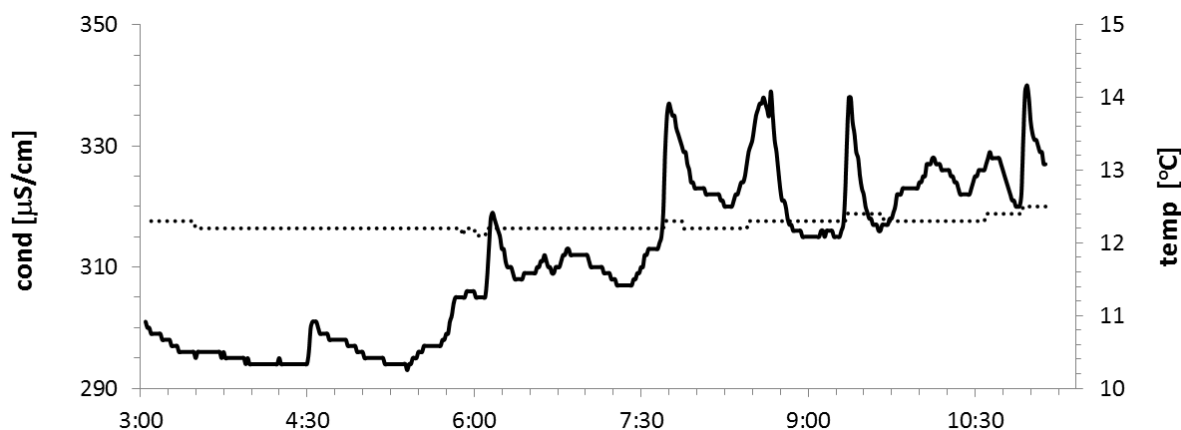
Obr. 2. Denní průběh průtoku (nahore) a koncentrace amoniakálního dusíku (dole) na výusti VK v obci Kalhov (128 obyvj.). Vzorky byly odebrány 5. až 6. 6., 1. až 2. 8., a 25. až 26. 9. 2017

Jistou možností, jak ekonomicky snesitelným způsobem zpřesnit výpočet denní bilance tkví ve vícenásobném stanovení finančně a metodicky triviálního parametru (zde $\text{NH}_4\text{-N}$).



Obr. 3. Závislost koncentrace $\text{NH}_4\text{-N}$ na průtoku ve vzorcích odebraných na výstupu VK v obci Kalhov (128 obyv.). Prosté vzorky ze tří 24h period se podstatně liší celkovou hydrologickou situací, směsné denní vzorky dokládají silný vliv ředění balastní vodou

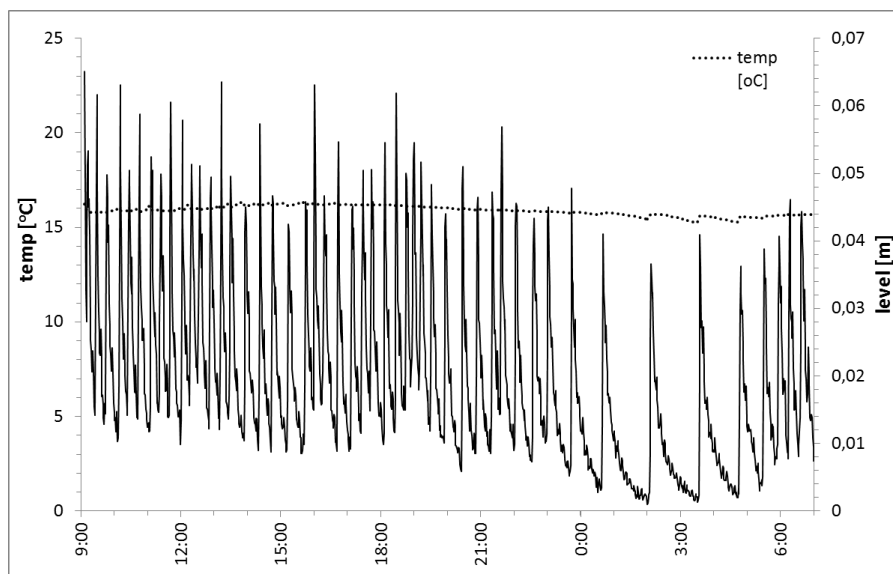
Posledním námi testovaným způsobem je kontinuální měření fyzikální veličiny, která solidně reprezentuje proměnlivost znečištění v odtékající vodě (obr. 4) a její následné začlenění do výsledné analýzy.



Obr. 4. Průběh specifické vodivosti (plná čára) a teploty (přerušovaná čára) potoční vody, zachycené během ranní špičky odtoku odpadních vod z volné výstupu veřejné kanalizace. Průtok se přitom po celou dobu sledování prakticky nezměnil ($Q_i = 1,85 \text{ L/s}$ v 6:30 a $1,86 \text{ L/s}$ v 10:20 LSEČ, obec Mladé Bříště má 169 obyv.)

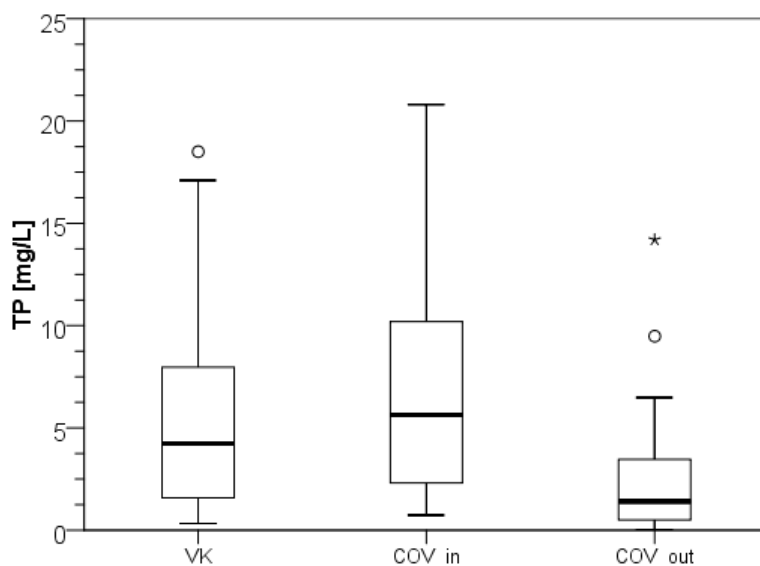
Dalším problematickým jevem týkajícím se tentokrát menších čistíren je vysoká variabilita na odtoku. Na příkladu mechanicko-biologické ČOV v malé obci (obr. 5) je možné demonstrovat, nakolik může i nasazení autosampleru „ignorovat“ závislost Q-c nezbytnou pro adekvátní výpočet odnosu. Teprve minutové intervaly měření výšky hladiny tlakovým čidlem nám prozradily, jak rychlým změnám podléhá odtok z ČOV i tam, kde bychom čekali spolehlivý efekt delší doby zdržení díky velkému objemu akivační (AN), resp. dosazovací nádrže (DN). V tomto konkrétním případě byla bohužel zároveň naprogramována nedostatečná aerace AN, takže koncentrace amoniakálního dusíku se na odtoku nelišila příliš od přítokové, ale navíc docházelo k podstatnému úniku kalu. Překvapivě i tento unikající kal odcházel do DN velmi nevyrovnaně, takže celková bilance se od průměru podstatně lišila. Naštěstí zde díky zabezpečené přítomnosti automatického vzorkovače existuje poměrně snadné

řešení, nastavit co nejkratší frekvenci sání vzorku. V našem případě jsme se sjednotili na 15min intervalech, takže za 24 hodin je odebráno celkem 96 dílů vody.



Obr. 5. Změny výšky hladiny na Thomsonově přelivu, resp. odtoku z ČOV Lidmaň (222 obyv.) závisí na souběhu cyklů přečerpání OV na přítoku (podzemní jímka s konstantním objemem) a intervalového odčerpávání přebytečného kalu z dosazovací nádrže

Posledním zdrojem značné nejistoty a tedy místem hodného úsilí, je celkový charakter obce, resp. jeho vztah k emitovanému znečištění. Při porovnání všech vzorkovaných profilů rozdělených podle typu infrastruktury (obr. 6) můžeme příspěvek uzavřít kvalitativním hodnocením celého souboru. Ze závislosti koncentrace fosforu na VH infrastruktuře dané obce, tedy srovnáním všech směsných vzorků, vyplývá, že rozdíl mezi OV pronikajícími volnými výustěmi přímo do potoků a řek a těmi, které jsou za úplatu zachytávány technologií ČOV není příliš markantní ($TP_{\text{median}} = 4,2$ vs. $5,6$ mg/l). Stejně tak mediánová koncentrace TP na odtoku z ČOV ($1,4$ mg/l) se zdá být uspokojivá, ale pouze do té chvíle, než pozornost soustředíme na 12 z 35 vzorků, které převyšují koncentraci 2 mg/l (7 z 10 provozů alespoň jedenkrát).



Obr. 6. Závislost koncentrace celkového fosforu (TP) na typu VH infrastruktury (VK – veřejná kanalizace, ČOV_in – přítok na ČOV, ČOV_out – odtok z ČOV)

Podle některých prací jsou septiky pouze oddalováním problému efektivního zneškodnění OV [5] a zejména eutrofizačně a strategicky klíčového fosforu. Podle našich zkušeností by se stejným pesimismem platilo i analogické tvrzení pro čistírny odpadních vod, které jsou naopak přeceňované [6]. Mnohde je ale postačující postavit do cesty uvolňovanému znečištění odborný nebo instituční „zájem“, chcete-li kulturu, a situace je napravitelná i bez vysokých nákladů.

Kvantifikace denního odnosu a jeho závislost na velikosti sídla budou předmětem dalšího zpracování výsledků, neboť zahrnutí odtoků bylo nad rámec časových možností tohoto příspěvku.

Závěry

V dalších etapách projektu budeme rozvíjet jak bilanční složky modelu, tak i jeho transformační parametry. Budeme prohlubovat popis emise xenobiotik z bodových zdrojů zobecňováním naměřených dat a to v závislosti na klíčových charakteristikách sídla. Zaměříme se dále na charakterizaci procesů metabolizace účinných látek a konečně na jejich transport tekoucími a stojatými úseky hydrografické sítě. S ohledem na vysoké náklady a náročnost chemických analýz cílových látek (PPCP) budeme i nadále základní procesy souběžně schematizovat pomocí detailního měření a modelování látek konzervativních (např. fosfor) a nekonzervativních (např. anorganické sloučeniny dusíku). Vedlejším efektem celého projektu tak bude i prohloubení poznatků o současné eutrofizaci našich vod.

Poděkování: Příspěvek byl zpracován za finanční podpory projektu MV ČR VI20172020097 „Ochrana kritické infrastruktury - vodního zdroje Želivka - před účinky PPCP a pesticidů v podmínkách dlouhodobého sucha“.

Použitá literatura

- [1] Fiala, D. a Rosendorf, P. (2017): Role malých obcí v koloběhu fosforu a jejich význam při eutrofizaci vod v povodí VN Švihov. In: Vodárenská biologie 2017, Říhová Ambrožová, J. a Pecinová, A. (Eds.) Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r. o., Chrudim, 93-102.
- [2] Fuksa, J.K. a Šťastný, V. (2016): Dopady odpadních vod na jakost povrchových vod v době sucha. In: Činnosti k podpoře výkonu státní správy v problematice SUCHO v roce 2016 - úkolový list 31, VUV TGM, Praha. p. 44.
- [3] Liška, M., et al., (2016): Jakost vody ve vodárenské nádrži Švihov na Želivce a jejím povodí se zaměřením na specifické organické látky. VTEI, 58(3): p. 4-11.
- [4] Fiala, D. (2015): Detailní monitoring odnosu fosforu do VD Vranov. In: Vodní nádrže 2015, Kosour, D. (ed.), Brno, Povodí Moravy, s.p., 68-72.
- [5] Withers, P.J.A., et al. (2014): Do septic tank systems pose a hidden threat to water quality? *Frontiers in Ecology and the Environment*. 12(2): p. 123-130.
- [6] Hejzlar, J. (2010): Metodika bilanční analýzy zdrojů živin v povodí. České Budějovice. p. 11.