Fosfor v centru pozornosti

Daniel Fiala, Petr Fučík, Jakub Hruška, Pavel Rosendorf a Ondřej Simon

Klíčová slova
fosfor – bodové zdroje – plošné zdroje – eutrofizace – vodní hospodářství

Souhrn

Krátký a intenzivní seminář „Odnos fosforu z lesních a zemědělských povodí – pohledem různých časových a prostorových měřítek" se uskutečnil odpoledne 25. 4. 2013 ve VÚV TGM, v.v.i, v Praze. Hlavním motivem organizátorů bylo rozvinout do hloubky debatu o odnosu fosforu (P) v kontextu současného vývoje eutrofizace povrchových vod v ČR a managementu jeho zdrojů. Neméně podstatným cílem bylo sezvání odborníků ze širokého spektra zainteresovaných profesí a institucí, bez nichž se budování konsenzu stran priority opatření neobejde. Nezbytnou podmínkou pro úspěch odborné debaty je objektivní popis aktuální situace v ČR. Proto byli o vstupní přednášky požádáni tři experti, aby prezentovali velké datové sady, tj. statisticky reprezentativní soubory přímých měření. Tím položili pevný základ následující téměř dvouhodinové diskusi, která se díky pečlivě připravené struktuře rozvinula nad pěti stěžejními tématy. Aby se věcné debaty mohla i nadále účastnit širší odborná veřejnost, předkládáme souhrnně numerické hodnoty z příspěvků, klíčové teze a argumenty z následné diskuse.

◆

Seminář uvedl moderátor P. Rosendorf (VÚV TGM, v.v.i.) předestřením dvou základních perspektiv, ze kterých je třeba problematiku eutrofizace vod fosforem nahlížet. Jedním úhlem pohledu je globální akcelerace biogeochemického cyklu P, kterou lze ilustrovat autoritativní tezí Michela Meybecka: „V Západní Evropě a USA vzrostly koncentrace PO_4-P v řekách 10x–100x v porovnání s přirozeným stavem" [1], aktualizovanou o dvacet let později větou: „Antropogenní tlaky na říční ekosystémy akcelerovaly za posledních cca 50 let natolik, že jsou svojí velikostí rovnocenné vlivu Země. V případě N a P jej dokonce řádově převažují …mluvíme o Antropocénu" [2]. Dnes, když čteme o píku fosforu [3], vidíme, že těžiště debaty se přesouvá od argumentace ekologickými důsledky ke geopolitickým, resp. bezpečnostním důsledkům, kdy nedostatek fosforu může způsobit kolaps moderního „průmyslového" zemědělství. Pro nás, situaci v ČR i diskusi na semináři, je ale podstatnější první hledisko, reprezentované pohledem Rámcové vodní směrnice. Její implementací jsme se zavázali ke splnění environmentálních cílů, tj. zejména uvést do roku 2015 naše vodní útvary alespoň do „dobrého ekologického stavu" – **foto 1**.

Blok přednášek otevřelo představení panelistů a tři řečnické otázky: „**VÍME** spolehlivě, a zda vůbec, kam mířit nápravná opatření? **UMÍME** dosáhnout takové intenzity konkrétních opatření, abychom přivodili žádoucí změny? **ZKONTROLUJEME** spolehlivým monitoringem (pozitivní) dopady opatření, resp. rozlišíme je od (negativních) dopadů jiných tlaků?" Zvolené pořadí přednášek odpovídalo geografickému rozsahu datových sad, tedy od úrovně celé ČR až k jednomu rurálnímu povodí.

První proto vystoupil biogeochemik J. Hruška (ČGS). V příspěvku **„Faktory povodí řídící koncentrace fosforu v povrchových vodách"** prezentoval studii [4] založenou na jednorázovém odběru 5 764 filtrovaných vzorků odebraných ve vegetačních sezónách let 2007–2010. Z datasetu bylo k faktorové analýze vybráno 3 220 vzorků reprezentujících samostatná povodí o průměrné velikosti 2,31 km². Jejich chemické parametry byly korelovány s topografickými, klimatickými, geologickými a antropogenními charakteristikami povodí včetně land-use kategorií [5]. Z výsledků náročné statistické analýzy vyplynulo, že z vysvětlené variability chemických ukazatelů (55 %) závisí hlavní podíl (41 %) na komplexu interakcí faktorů povodí, což v podmínkách ČR představuje v podstatě jak výškový gradient, tak strukturu osídlení a land-use. Vysvětlená variabilita koncentrace celkového rozpuštěného fosforu (TDP) patřila mezi nejnižší z chemických ukazatelů, přičemž dominovala statistická závislost na výměře antropogenních ploch, tj. obecně na urbanizaci území. Na nadmořské výšce a s ní spojených faktorech potom závisela koncentrace TDP méně. Maximální koncentrace TDP ze všech vzorků dosáhla 4,7 mg/l (resp. 1,074 mg/l z výběru) a medián 0,031 mg/l (resp. 0,028 mg/l z výběru a po započtení ½ detekčního limitu pro 98 vzorků nalézajících se pod touto mezí). Na základě získaných dat J. Hruška shrnul, že nejvyšší koncentrace TDP fakticky souvisí s přítomností komunálního znečištění, byť statisticky by bylo třeba tento závěr detailněji kvantifikovat, tj. podložit další restrikcí či rozlišením vybraných povodí.

Ve druhé přednášce **„Odnos fosforu z výhradně zemědělských mikropovodí"** popsal limnolog D. Fiala (VÚV TGM, v.v.i.) výsledky výzkumu probíhajícího v letech 2006–2009 postupně ve třech zmenšujících se prostorových měřítkách. Jádrem výzkumu bylo každoměsíční sledování 20 reprezentativních profilů rozprostřených po celé ČR v letech 2007–2009 s cílem charakterizovat sezónní průběh koncentrace a odnosu P. Výběr profilů byl založen na screeningovém odběru 162 jednorázových vzorků z předchozího léta 2006 [6], který proběhl na zemědělských mikropovodích (A = 2 km²) bez komunálního znečištění, s cílem zjistit charakteristické koncentrace pro hlavní půdní typy ČR. Konečně v posledním roce 2009 doplnili hierarchii sledování měsíčními odběry 11 profilů na jediném malém povodí Vintířovského potoka [7] s cílem rozlišit vliv různých podílů land-use za předpokladu stejných mikroklimatických podmínek. Tři „osy variability" měly za cíl popis dominantních trendů a faktorů, které odnos P na dané škále ovlivňují. Výsledky lze shrnout do jednoznačného závěru: odnos fosforu z výhradně zemědělských/plošných zdrojů znečištění nelze považovat za zásadní v drtivé většině plochy orné půdy v ČR a v periodách základního nebo vyrovnaného odtoku. Koncentrace rozpuštěného reaktivního fosforu (SRP) totiž jen vzácně přesáhly hranici 0,035 mg/l, kterou lze považovat za limit pro eutrofní stupeň znečištění. Medián screeningu TP_{2006} = 0,046 mg/l (resp. 0,024 mg/l SRP); medián dvaceti profilů $TP_{2007\text{-}9}$ = 0,043 mg/l (resp. 0,018 mg/l SRP). Konečně medián 11 profilů na Vintířovském potoce TP_{2009} = 0,034 mg/l (resp. 0,014 mg/l SRP), přitom nejvyšší koncentrace TP dvou profilů souvisely s odtokem partikulovaného P z rybníčku (0,39 ha). Hrubé odhady specifických odnosů P ze 20 povodí se v letech 2007–9 pohybovaly v rozmezí 0,77–22,4 kg/km².rok. V poslední části se autor věnoval úvaze (semikvantitativně podložené záchytem 20 vzorků v jedné intenzivní erozní epizodě a sadou 158 vzorků zachycených za tři roky pasivními lapači ve 20 profilech), nakolik je pro eutrofizaci rizikový fosfor odnášený během epizod erozních splachů. Podotkl, že často ohromná množství zřejmě působí na společenstva fytoplanktonu téměř opačně ve srovnání s fosforem emitovaným chronicky z plošných a násobně více z bodových zdrojů. Mimo jiné i proto, že podíl SRP/TP, který u 822 vzorků za tříletí činí 20-95 % (medián 48 %), dosáhl u uvedené epizody pouze 2,6 %.

Třetí přednášející, hydrolog P. Fučík (VÚMOP, v.v.i.), seznámil publikum v příspěvku **„Strategie monitoringu fosforu v drobných vodních tocích"** s výsledky monitoringu 11 profilů povodí Kopaninského potoka (7,1 km²). Zde, na 10 subpovodích a uzávěrovém profilu, jsou sledovány mechanismy tvorby odtoku a s ním spojený odnos živin (N a P) za pomocí pěti automatických vzorkovačů a 11 měrných přelivů,

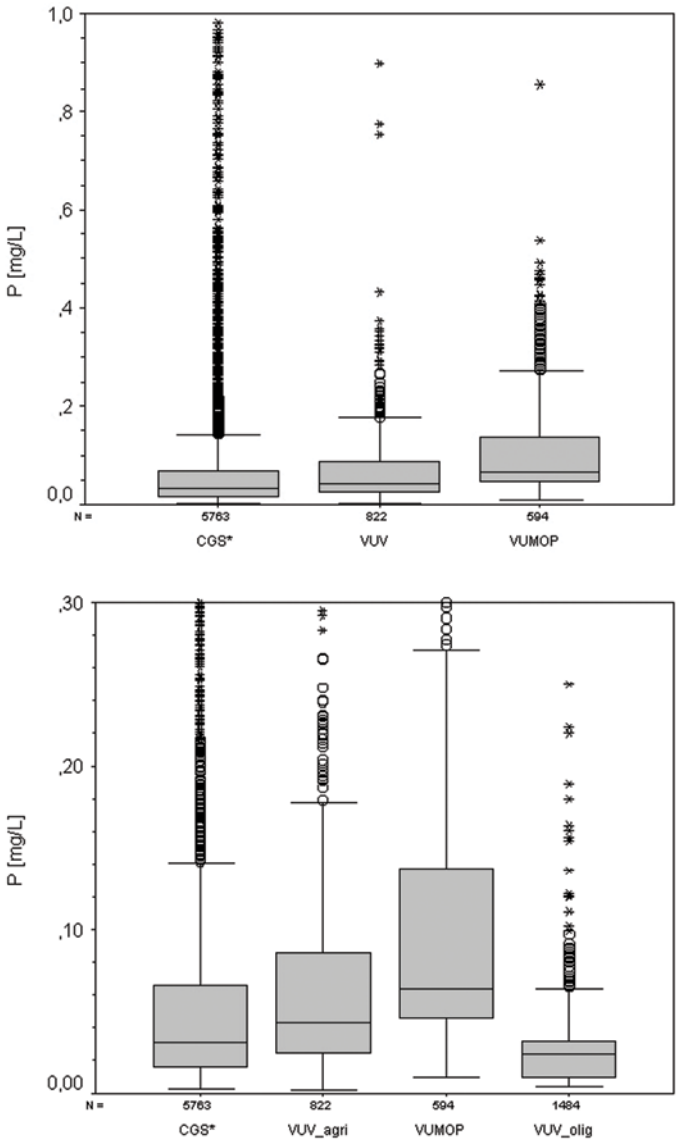
Foto 1. Na čem záleží? (vltavské rameno Orlické nádrže fotografované z Podolského mostu)

Tab. 1. Relativní (%) rozložení odebraných vzorků v jednotlivých datových sadách podle intervalů koncentrací fosforu (mg/l)

[mg/l]	TDP_CGS	TP_VUV_ag	TP_VUMOP	TP_VUV_oli
0,000–0,025	41,2	27,4	3,4	57,6
0,025–0,050	26,1	29,0	26,9	35,2
0,050–0,150	22,1	35,9	46,3	6,5
0,150–0,500	7,5	7,2	22,9	0,7
0,500–1,000	1,9	0,4	0,3	0,0
1,000–100,0	1,2	0,2	0,2	0,0
n	5763	822	594	1484
mean±SD	0,086±0,003	0,070±0,004	0,113±0,005	0,027±0,023
median	0,031	0,043	0,064	0,023
max	4,723	1,82	1,418	0,403

čímž lze rozlišit dynamiku jednotlivých složek odtoku a koncentrace látek N a P v nich [8]. Vzorkovače byly umístěny na výústích odvodnění (P6, P33 a P53), na profilu pod rybníkem (P52) a na uzávěrový profil (T7U). Z výsledků různých variant sledování celkového fosforu (TP) plyne, že mezi koncentracemi ze 14denního (14d) a 1–2denního (1–2d) vzorkování nebyl podstatný rozdíl. Při zahrnutí epizodního vzorkování však medián a ještě více aritmetický průměr vzrůstá (až 3x). Rozdíly mezi metodami odhadu látkových toků byly výraznější při výpočtech měsíčních specifických odnosů. Odnosy založené pouze na bodových (14d) či slévaných (1–2d) vzorcích dosahovaly v průměru polovičních hodnot, ať se počítal průtok jakoukoli metodou. Výsledky dokumentují důležitost period, kdy se významněji zapojuje rychlá složka odtoku zahrnující povrchový a hypodermický odtok. Podíl SRP/TP se přitom během nich v průměru nezměnil (33–65 %). Z pěti subpovodí sledovaných kontinuálně dosahovaly koncentrace P nejvyšších hodnot právě u profilu P33, neovlivněném bodovými zdroji. Nepodařilo se prokázat, nakolik tento rozdíl plyne ze zvýšených hodnot přístupného P v půdě nebo z vysokého (60%) podílu rychlé složky odtoku. Odhadovaný specifický odnos se na 10 profilech sledovaných v letech 2009–2011 (březen–říjen) pohyboval v průměru v rozmezí 0,96–13,1 kg/km^2.rok. Jedenáctý profil (P21) však dosahoval trojnásobku (43 kg/km^2.rok). Podíl monitorovaných nebodových zdrojů byl v jednotlivých sledovaných měsících značně rozkolísaný (TP 17,3–44,5 a SRP 10,5–47,1 %) a v průměru tvořil cca ¼ celkového odnosu TP i SRP. Při srovnání všech jedenácti profilů (tedy na základě 14d vzorků) jediný profil (právě P21) převyšoval svým mediánem SRP hranici 0,035 mg/l, zato však markantně (0,120 mg/l). Koncentrace TP byly zhruba dvojnásobné, ale rozdíly mezi profily obdobné (medián TP_{P21} = 0,188 mg/l, u ostatních profilů 0,050–0,060 mg/l). A příčina? Obec Útěchovičky, resp. jejích 76 stálých obyvatel a 24 rekreantů. Autor shrnul, že rozložení nebodových zdrojů v prostoru i čase je řízeno dynamikou srážko-odtokového procesu (původ vody, doba zdržení a její cesty odtoku) ve vazbě na geomorfologii, způsob využití území, půdní podmínky a přítomnost a stav zemědělského odvodnění. Pro vnos P do vod z nebodových zdrojů (zemědělské půdy vč. odvodňovacích systémů) jsou podstatné také erozi nevyvolávající odtoky, v průměru cca Q_{M25-35}.

Syntézou výsledků tří datových sad (**obr. 1a**, **tab. 1**) zakončil moderátor přednáškovou část. Jsme si na tomto místě vědomi limitů uvedeného srovnání (nestanovení TP ani SRP v případě ČGS, nezahrnutí erozních vzorků do statistik VÚV TGM, v.v.i. a absence automatického vzorkování během zimy v případě VÚMOP, v.v.i.), které mj. plyne z diametrálně rozdílných účelů vzniku datových sad. Pokusíme se přesto shrnout, co syntéza ukazuje. Nad jakoukoli pochybnost vyzdvihuje nepoměr mezi nejmenšími bodovými zdroji (často zahrnovanými pod nejasný pojem difuzní znečištění) a plošnými zdroji znečištění P. Výrazně zpřesňuje celkový obraz o příčinách odnosu P z jednotlivých zdrojů, byť k jejich synchronní kvantifikaci bude zapotřebí koordinovaný přístup. A v neposlední řadě ukazuje na nezbytnost doplnění standardního monitoringu o sledování reprezentativních povodí s výhradně plošnými zdroji včetně jejich adekvátní instrumentace, tj. instalace automatických vzorkovačů. Přes numerickou (!) shodu ve specifickém odnosu (VÚMOP = 0,96–13,1 kg/km^2.rok vs. VÚV = 0,77–22,4 kg/km^2.rok) nelze opomenout, že v případě profilů na Kopaninském potoce nebylo autosamplery podchyceno jediné subpovodí s bezprostředním výskytem erozních splachů, resp. jejich přímým měřením. Přesto epizodní monitoring ukazuje, a nade vší pochybnost pouze on, kdy a jakými mechanismy dochází k periodám vysokého transportu P z povodí.



Obr. 1. Srovnání koncentrace fosforu tří datových sad ČGS – VÚV – VÚMOP (1a – nahoře) a sady oligotrofních vod z povodí Blanice VÚV_olig (1b – dole), různá měřítka!
***pozn.: u ČGS je stanoven celkový rozpuštěný fosfor (TDP), u ostatních celkový fosfor (TP)**

Zrekapitulujme nyní klíčové argumenty **panelové diskuse** rozdělené do šesti bloků:

1) Jsou legislativní limity pro fosfor ve vodách ČR v souladu s obecnou definicí eutrofizace vod (OECD) a s pohledem na dobrý stav vod podle WFD? Jaké je srovnání se státy EU?
2) Známe přirozené koncentrace fosforu ve vodách ČR?
3) Stačí, aby vodní útvary plnily dobrý ekologický stav z pohledu fosforu všude, nebo je někde nutné vyžadovat přísnější podmínky?
4) Jaké zdroje fosforu jsou klíčové pro eutrofizaci povrchových vod? Jsou všechny formy fosforu stejně důležité?
5) Podchycuje současný standardní monitoring všechny zdroje fosforu, nebo nám něco uniká?
6) Stav vod z pohledu koncentrací fosforu se dlouhodobě zlepšuje. Existují rizika, která mohou zvrátit tento trend?

Ad 1) **legislativní limity**: P. Rosendorf upozornil na setrvalé změkčování imisních standardů pro celkový fosfor v České republice (NV 61/2003 Sb.: c_{95} = 0,15 mg/l; NV 229/2007 Sb.: c_{90} = 0,2 mg/l; NV 23/2011 Sb.: celoroční průměr = 0,15 mg/l) a podtrhl jejich odtrženost od přirozených koncentrací – OECD Management Model [9], fundamentální hranice eutrofní vody 0,035 mg/l BAP [10] a typově specifických cílových hodnot pro dosažení dobrého ekologického stavu vodních útvarů podle Rámcové vodní směrnice.

Ad 2) **přirozené koncentrace P**: P. Rosendorf shrnul z dostupných zdrojů v EU platné cílové hodnoty v povrchových vodách pro velmi dobrý a dobrý ekologický stav. Ze srovnání je zřejmé, že variabilita

v rámci Evropské unie je velká a přísnější limity aplikují převážně státy, které tradičně přikládají velký důraz ochraně životního prostředí (Spojené království, Irsko, Rakousko, Švédsko a člen EHP Norsko). Česká republika se zařadila mezi tyto státy na začátku roku 2013, kdy byla Ministerstvem životního prostředí akceptována Metodika hodnocení všeobecných fyzikálně-chemických složek ekologického stavu útvarů povrchových vod tekoucích [11]. I když metodika obsahuje typově specifické hodnoty pro velmi dobrý a dobrý ekologický stav, nepostihuje zcela velkou variabilitu podmínek v ČR a k lokálnímu zpřesnění by jistě přispěla společná analýza dat prezentovaných J. Hruškou a průběžně shromažďovaných ve VÚV TGM, v.v.i.

Ad 3) **dostatečnost dobrého stavu**: O. Simon (VÚV TGM, v.v.i.) uvedl perlorodku říční jako příklad chráněného druhu, který ani při dosažení hodnot dobrého ekologického stavu nedosáhne podmínek vhodných pro rozvoj. Mechanismus účinku ilustroval na základě historických nálezů a dlouhodobého monitoringu v povodí Blanice (1484 vzorků). V oligotrofních vodách (TP pod 0,015 mg/l) prosperují juvenilní perlorodky hluboko ve dně v prokysličeném hyporeálu a takový stav lze označit za „velmi dobrý“. V podmínkách s vyšší trofií (TP nad 0,035 mg/l) se ale v hyporeálu postupně vyčerpá kyslík, až přežijí jen dospělí mlži v koloniích na povrchu, přičemž množství ryb vč. hostitelských druhů se v „úživnějším“ toku může naopak zvýšit. V eutrofizovaných tocích se zakolmatovaným hyporeálem je podstatně snížena transformace a retence P. Podotkl také, že jím uvedená data z lučně-lesních šumavských povodí (**obr. 1b, tab. 1**) názorně ilustrují problematiku pozaďových koncentrací, resp. výrazné snížení jejich hodnot, pokud by soubor dat ČGS byl „očištěn“ od povodí s komunálními zdroji. D. Fiala v této souvislosti upozornil na riziko přesmyknutí „regime shift“ celého ekosystému [12], kdy po dlouhé fázi kumulace P může rychle dojít k jeho uvolňování z hyporeálu vlivem vzniklé anoxie. Tato hystereze může samozřejmě maskovat snižující se produkci P ze zdrojů v povodí a velmi dobrý stav de facto oddálit.

Ad 4) **klíčové zdroje a formy P**: Dle očekávání se k centrálnímu bodu, který v současnosti zaměstnává nejeden expertní tým, rozhořela dlouhá, ale věcná debata. Netýkala se pouze typicky „problematicky kvantifikovatelných zdrojů P“, eroze a rybničního hospodaření, ale překvapivě všech typů zdrojů, když na konkrétních kauzách poukázala na podstatné nejistoty. První přišla na řadu eroze. Na jedné straně máme ČR pokrytu stále se zpřesňující mapou potenciální erozní ohroženosti, ale na druhé straně nám chybí síť několika typických mikropovodí, jejichž dlouhodobé řady by sloužily ke kontinuální verifikaci modelů a hlavně poskytovaly průběžně hodnoty ročních odnosů, včetně zřídkavých, ale o to větších erozních epizod (viz červen 2013). Z debaty dále vyplynulo, že eroze půdy s sebou jistě nese více negativních důsledků, včetně jistého podílu na eutrofizaci. Ale primárním důsledkem je ztráta úrodnosti a pufrační kapacity půd (P. Novák, VÚMOP, v.v.i. upozornil, že jde o ztráty zřejmě netušených rozsahů). Zhoršené fyzikálně-chemické charakteristiky půdy (snížení retence vody, infiltrační kapacity, sorpční schopnosti, acidifikace aj.), snížení obsahu organického uhlíku, vyplavování fosforu a dusíku spolu s rezidui herbicidů a pesticidů z půd mají rovněž dalekosáhlé důsledky (od akcelerace povodní a sucha, skleníkového efektu a eutrofizace vod až po ztrátu biodiverzity). Tyto jsou ale sekundární, s poklesem úrodnosti více či méně spřažené. Úspěšné vyřešení primární příčiny v takto komplexním řetězci důsledků přinese multiplikační efekt. Proto je třeba erozi řešit na primární rovině, tj. jako problém ztráty úrodnosti a dalších žádoucích vlastností zemědělských půd.

J. Potužák (Povodí Vltavy, s. p.) navázal poukazem na zásadní vliv povodňových přísunů P do bilance rybníků a zmínil nedoceněný význam retenční kapacity rybníků jakožto ekosystémové služby par excellence. Ve vystoupení uvedl, že konkrétní příčiny rozdílů mezi retencí potenciální a skutečnou jsou dány jak rozdílným hospodařením, tak hydrologickými poměry jednotlivých roků. Tvrzení zakládá na důkladné bilanci deseti nejvýznamnějších jihočeských rybníků s dobou zdržení od 17 do 465 dnů a různým stupněm trofie [13]. Podotkl, že retence fosforu není u rybníků vůbec ceněna a praktická možnost zůstává proto často nevyužita. Vzhledem k rozloze rybníků jde o významný potenciál zlepšení kvality vod.

Na vodohospodářskou bilanční studii rybníků navázal L. Pechar (ENKI, o. p. s.), když v krátkém vystoupení shrnul současný stav jihočeského rybníkářství detailním vhledem do hydrochemických souvislostí v potravním řetězci. Na základě více než dvou tisíc (!) vzorků z rybníků odebraných od 50. let do současnosti dokumentoval stávající paradox, kdy neexistuje očekávatelná závislost „více živin = vyšší produkce ryb“. Po výrazném zvýšení od 30. do 70. let 20. století se produkce dostala na vrchol kolem 500 kg/ha, kde ale dodnes stagnuje. Protože intenzita krmení již nemá na koncentraci P ve vodě statisticky významný vliv, nedá se další zvýšení očekávat. Z toho ale naopak také plyne, že snížení krmných a hnojivých dávek by díky vysoké zásobě P v rybnících a mnohde významnému přísunu P z povodí nemuselo tuto vysokou produkci významně snížit, ale jistě by zvýšilo reálnou retenci uvedenou J. Potužákem. U malých rybníků upozornil na ambivalentní efekt: v „čistém“ povodí (např. Fialou prezentovaný Vintířovský p.) mohou být kultivátorem řas, zatímco „pod vesnicí“ spolehlivě zachytí velkou část znečištění (např. Fučíkem prezentované Útěchovičky).

V dalším příspěvku navázal T. Just (AOPK) na uvedenou „odlehlost“ zaznamenaných koncentrací pod obcí Útěchovičky (76 obyv., tč. pouze dešťová kanalizace, splašková výhledově po r. 2015; údaje dle PRVK Vysočina) a zdůraznil dávno známý fakt, že odkanalizováním malé obce a výstavbou ČOV s nedostatečnou technologií či provozem, tedy podle stávající legislativy (sic), se situace v recipientu jednoznačně zhorší [14]. Průzkumem většiny obcí v povodí VD Švihov „po vlastní ose“ v ½ 90. let doložil, že výstavbou kanalizace s ČOV dochází ke svedení většího objemu odpadních vod patřičně obohacených fosforem, nadto v eutrofizačně nejúčinnější formě (SRP). Podotkl, že očekávaný pokles dotací z EU by v tomto ohledu mohl paradoxně znamenat útlum negativního trendu. D. Kosour (Povodí Moravy, s. p.) upozornil, že vyhovět stávající legislativě v kategorii do 2000 EO je primitivní, protože v této velikosti nejsou limity pro TP vůbec stanoveny a emise tedy měřeny, popř. evidovány. Domnívá se ale, že správnou cestou není plošné zpřísnění limitů, včetně BAT, ale selektivní přístup uplatněný v potřebném povodí, např. v povodí VD Lipno [15]. D. Fiala podotkl, že s pojmem „Best Available Technology“ je třeba dnes spojovat např. město Syracuse NY, USA (663 tis. obyv.), kdy kvůli jednomu z nejznečištěnějších jezer (Onondaga Lake odpovídá typově našim Slapům, včetně TRT) uvedli do provozu ČOV s koncovou průměrnou koncentrací 0,020 mg/l P celkového a tuto mez v roce 2012 splnili, protože limit 0,12 mg/l splněný k roku 2006 se ukázal biologicky nedostačující [16].

Ad 5) **současný monitoring**: Celou debatu přenesl k poslednímu bodu J. Duras (Povodí Vltavy, s.p.), řečnicky se tázající: „Shodneme-li se na faktu, že bodové zdroje jsou i přes očekávání spojená s implementací směrnice 91/271/EHS stále nejzávažnější, a to jak naměřenými koncentracemi, tak odhadovaným množstvím, neměli bychom logicky věnovat největší pozornost největším bodovým zdrojům?“ Poté na recentních příkladech číselně doložil propastný rozdíl reálných emisí oproti „úředním výkazům“ (dle Vyhl. 431/2001 Sb.). Monitoring cílený na vybraný (významný!) bodový zdroj v povodí řešené nádrže začasto zjistil až násobně vyšší koncentrace, resp. odnosy P oproti deklarovaným hodnotám. Příkladem nade vše je Pelhřimov (cca 16 tis. obyv.), který hlásil za rok 2011 do VH Bilance 1,56 t P, bilančním monitoringem bylo ale zjištěno 6,01 t P. Pro relace dodejme, že v roce 2011 činil celkový vnos P do VD Švihov 11,22 tun. Procenta nechť si ctěný čtenář doplní sám. Jako další příklady „odhalení“ následovaly ČOV Lesná, Toužim a Blatná, kdy únik kalu, špatné odlehčení nebo možná optimalizace údajů (?) znamenaly desítky kg až tunu P navíc. Kauza ČOV Třeboň a RAB je se svými 8–10 t P nad vykázané vypouštění trpkou ironií slova „odlehčování“. Víra ve výkazy má ale závažné konsekvence. Na těchto záznamech totiž závisí bilanční studie, resp. další vodohospodářské rozhodování, které tak může stát na chybném poměru bodové vs. plošné zdroje P. Na druhou stranu takové zjištění skýtá naději, že řádným ošetřením jednoho zdroje lze vyřešit až ½ znečištění v inkriminovaném povodí! D. Fiala ironicky poznamenal, že difuznost se zjevně netýká povahy zdrojů, ale povahy informací, které o nich máme. Potvrdil nutnost banálního srovnávání „nad a pod“ a varoval před bilančním dopočítáváním „do 100 %“ v situaci, kdy tento úhrn jen hrubě odhadujeme. I. Kabelková (ČVUT) vyzdvihla v této souvislosti naléhavost decentralizovaného hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaných územích, včetně precizace modelů. A. Kult (VÚV TGM, v.v.i.) stroze uvedl, že zmíněné kauzy bohužel „dobře“ potvrzují odhady „cifršpiónské práce“, ukazující, že v Bilanci je zachycena v lepším případě pouze ½ P vypouštěného z komunálních zdrojů [17]. Dodal, že nevidí do budoucna jiné řešení, než zavedení poplatků za vypuštěný fosfor, a vyzdvihl potřebu socioekonomických studií na toto téma.

Ad 6) **budoucí rizikové tlaky**: Poslední bod vzhledem k odjezdu večerních rychlíků skončil výčtem: rozsáhlé aplikace digestátu, masivní rozšiřování plochy oseté energetickými plodinami (řepka, kukuřice), globální volatilita zemědělského sektoru obecně, pokračující změna klimatu, resp. vyšší frekvence hydrologických extrémů, ale i výstavba technologicky zastaralých VH systémů v satelitních městečkách. Tušíme obrysy, provádějí se první pilotní studie, ale od intuice do kvantifikace je velmi dlouhá cesta.

Jak lze proběhnuvší seminář shrnout? Třeba odpovědí na tři úvodní otázky: ZNÁME – UMÍME – ZKONTROLUJEME?

Na obecné rovině se jistě shodneme, že nejpodstatnější je eliminovat znečištění přímo u zdroje. Seminář ukázal, že prioritou jsou jednoznačně komunální zdroje. Koncept kontinuálního transportu fosforu [18] nám ale otevírá hlubší systémovou perspektivu jak hierarchizovat i další nápravná opatření. Na druhé úrovni je to zpomalování odnosu P v jakékoli fázi jeho transportu (bariérový přístup) a až na třetí úrovni je to znepřístupňování P v místě nežádoucí realizace (nejčastěji vodní nádrž postižená vodním květem sinic). Koncept nám souběžně umožňuje racionalizovat monitoring (statisticky reprezentativním výběrem a adekvátní technikou sledovat jednotlivé typy zdrojů a precizně pak bilanční profil, např. vtok do přehrady, hraniční profil apod.). Díky těmto výsledkům pak lze realisticky hodnotit stav, tj. efekty jak přijatých opatření, tak souběžně působících (maskujících) tlaků. Poučení si můžeme vzít ze znalosti sukcese přirozených ekosystémů, jak ji koncem 80. let popsal oceánograf Eric Schneider [19]. Všiml si, že organismy využívající k životu prakticky jakékoli gradienty postupně: i) zvyšují počet cyklů, ii) prodlužují stávající řetězce, resp. tvoří stále komplexnější sítě a iii) prolongují dobu obratu hmoty v systému. To vše ve výsledku omezuje „únik" hmoty a využitelné energie z ekosystému. Hledat ekonomicky funkční modely retence, zpomalování, recyklace a znovuužití fosforu, strategické suroviny 21. století, patří k povinnostem doby. Z područí gravitace ani druhého termodynamického zákona se ale hned tak nedostaneme.

Prostřednictvím semináře se podařilo širokému publiku představit tři méně známé datové sady a na faktickém základě rozvinout fundovanou debatu o stávajícím stavu a výhledech eutrofizace fosforem. Diskuse ozřejmila hranice mezi zdroji a procesy, které spolehlivě (numericky) známe, těmi nejistými a zcela neznámými. Pobídla k promýšlení vhodnějších míst a způsobů vzorkování, upozornila na rozdíly v „limitech" vhodných pro organismy a naše vody obecně. Podnítila k propojování dat a databází a v neposlední řadě poskytla perspektivu vzdálenější historie díky komentářům přítomných nestorů. Semináře, který podpořil Mezinárodní rok vodní spolupráce (UN Waters 2013), se zúčastnila bezmála stovka odborníků z téměř 30 institucí. Pořadatelé děkují přednášejícím, diskutujícím a účastníkům za plodné odpoledne a těší se na posun diskuse ať prostřednictvím Vodního Hospodářství nebo účastí na brněnské konferenci Vodní nádrže 2013 ve dnech 25.–26. září.

Autoři děkují účastníkům semináře za podnětnou diskusi a dvěma recenzentům za připomínky k rukopisu. Datové sady vznikly za podpory projektů EHP CZ0051 (J.H.), MŽP0002071101 (D.F.) a MZE0002704902 (P.F.). Článek byl vypracován s podporou grantu NAZVQI102265.

Literatura

[1] Meybeck, M. (1982): Carbon, nitrogen, and phosphorus transport by world rivers.- Am. J. Sci. 282(4): 401-450.

[2] Meybeck,M. (2003): Global analysis of river systems: from Earth system controls to Anthropocene syndromes.- Phil. Trans. Royal Soc. B: Biol. Sci. 358(1440): 1935-1955.

[3] Cordell, D.; Rosemarin, A.; Schröder, J. J., and Smit,A. L. (2011): Towards global phosphorus security: A systems framework for phosphorus recovery and reuse options.- Chemosphere 84(6): 747-758.

[4] Majer, V.; Hruška, J.; Zoulková,V. *et al.* (2012): Atlas chemismu povrchových vod České republiky, stav v letech 1984-1996 a 2007-2010.- ČGS, Praha.

[5] Chuman, T.; Hruška, J.; Oulehle, F. *et al.* (2013): Does stream water chemistry reflect watershed characteristics?- Environ. Monit. Assess. 185(7): 5683-5701.

[6] Fiala, D. a Rosendorf, P. (2010): Plošné zdroje fosforu v povodí VN Orlík a její eutrofizace.- Vodní hospodářství 60(7): 199-202.

[7] Fiala, D. a Rosendorf, P. (2011): Variabilita odnosu fosforu ze zemědělské půdy v měřítku mikropovodí.- VTEI 53(6): 27-31, příloha Vodního hospodářství 12/2011.

[8] Fučík, P.; Kvítek, T.; Hejduk, T. a Peterková, J. (2012): Příspěvek k vyčíslení podílů zdrojů znečištění vod ze sledovaných profilů v malém odvodněném zemědělsko-lesním povodí.- Vodní hospodářství 62(8): 257-264.

[9] Vollenweider, R. A. and Kerekes, J. (1982): Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control.- OECD, Paris.

[10] Reynolds, C. S. and Davies, P. S. (2001): Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwaters: a British perspective.- Biol. Rev. 76(1): 27-64.

[11] Rosendorf, P.; Tušil, P.; Durčák, J. *et al.* (2011): Metodika hodnocení všeobecných fyzikálně-chemických složek ekologického stavu útvarů povrchových vod tekoucích.- SFŽP č.02671012 MŽP, Praha, pp. 20.

[12] Carpenter, S. R. (2005): Eutrophication of aquatic ecosystems: Bistability and soil phosphorus.- PNAS 102(29): 10002-10005.

[13] Duras, J. a Potužák, J. (2012): Látková bilance fosforu v produkčních a rekreačních rybnících.- Vodní hospodářství 62(6): 210-216.

[14] Just, T.; Fuchs, P. a Písařová, M. (1999): Odpadní vody v malých obcích.- VÚV TGM, Praha, pp. 122.

[15] Stara, J. (2010): Provoz ČOV se zvýšeným odstraňováním fosforu - zkušenosti z lipenské přehrady.- In: Revitalizace Orlické nádrže 2010 (Borovec, J. a Očásková, I., eds), BC AVČR, pp. 155-159.

[16] Effler, S. W.; Auer, M. T.; Peng, F. *et al.* (2012): Factors Diminishing the Effectiveness of Phosphorus Loading from Municipal Effluent: Critical Information for TMDL Analyses.- Water Envi. Res. 84(3): 254-264.

[17] Kult, A. (2011): Vypouštěné znečištění do vod povrchových - způsoby jeho zjišťování a vykazování podle platných právních předpisů a statistických programů.- VTEI 53(2): 14-19, příloha Vodního hospodářství 4/2011.

[18] Haygarth, P. M.; Condron, L. M.; Heathwaite, A. L. *et al.* (2005): The phosphorus transfer continuum: Linking source to impact with an interdisciplinary and multi-scaled approach.- Science of The Total Environment 344(1-3): 5-14.

[19] Schneider, E. D. (1988): Thermodynamics, information, and evolution: new perspectives on physical and biological evolution.- In: Entropy, Information, and Evolution: New Perspectives on Physical and Biological Evolution, Weber, B. H. *et al.*, eds., pp. 108-138, MIT Press, Boston, USA.

Mgr. Daniel Fiala (autor pro korespondenci)
Mgr. Pavel Rosendorf
Mgr. Ondřej Simon
Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.
Podbabská 30
160 62 Praha 6
tel.: 220 197 348
e-mail: fiala@vuv.cz

Ing. Petr Fučík, Ph.D.
Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Žabovřeská 250
156 27 Praha 5

doc. RNDr. Jakub Hruška, Ph.D.
Česká geologická služba
Klárov 3
118 21 Praha 1

Focused on the phosphorus and eutrophication (Fiala, D.; Fučík, P.; Hruška, J.; Rosendorf, P.; Simon, O.)

Key words
phoshorus – point sources – non-point sources – eutrophication – water sources management

Intensive workshop „Phosphorus transport from forested and agricultural watersheds – in view of different scales", was held in T. G. Masaryk Water Research Institute, PRI in Prague on April 25, 2013. Organizers wished to unfold deep discussion on phosphorus apportionment and appropriate sources management at present stage of eutrophication in the Czech Republic. Collateral reason was to invite prominent experts from whole spectrum of fields and institutions, without them any consensus is hard to achieve. Three core lectures presenting important datasets described *status quo* and grounded rigorous follow-up discussion. In order to wider audience should further participate, we summarize here main conclusions with quantified values, important statements and key arguments from the whole workshop.

Tento článek byl recenzován a je otevřen k diskusi do 31. října 2013. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků.
Příspěvky posílejte na e-mail stransky@vodnihospodarstvi.cz.