

VÚV
TGM



METODIKA PRO POSUZOVÁNÍ VLIVU ZDROJŮ ZNEČIŠTĚNÍ NA EUTROFIZACI VODNÍCH NÁDRŽÍ

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

**Pavel Rosendorf, Libor Ansorge, Tomáš Dostál, Vlastimil Zahrádka,
Josef Krása, Jiří Beránek**



**T A
Č R**

Praha 2015

VÚV
TGM



T A
Č R

Mgr. Pavel Rosendorf
Ing. Libor Ansorge
Doc. Dr. Ing. Tomáš Dostál
Ing. Vlastimil Zahrádka
Doc Ing. Josef Krása, Ph. D.
Ing. Jiří Beránek

Metodika pro posuzování vlivu zdrojů znečištění na eutrofizaci vodních nádrží

Vydal Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i.

Praha 2015

Autoři metodiky:

Mgr. Pavel Rosendorf¹ (50 %)
Ing. Libor Ansorge¹ (10 %)
Doc. Dr. Ing. Tomáš Dostál³ (10 %)
Ing. Vlastimil Zahrádka₂ (10 %)
Doc. Ing. Josef Krása, Ph. D.³ (10 %)
Ing. Jiří Beránek² (10 %)

¹ Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.

² Povodí Ohře, státní podnik

³ České vysoké učení technické v Praze

Lektorovali:

Ing. Dana Lídlová, Ministerstvo zemědělství, oddělení vodohospodářské politiky
Ing. Jan Potužák, Ph. D., Povodí Vltavy, státní podnik, Útvar vodohospodářských laboratoří

Poděkování:

Pracovníkům Povodí Ohře, státní podnik za zajišťování podkladů pro zpracování metodiky v pilotních povodích Stanovice a Nechanice, jmenovitě především Ing. Petru Lewimu za podklady k významnosti zdrojů znečištění a Emilu Janečkovi za podklady k odvození přirozených koncentrací fosforu; RNDr. Jitce Svobodové (VÚV TGM, v. v. i.) za zpracování podkladů k bodovým zdrojům znečištění a Ing. Petru Koudelkovi, Ph. D. (ČVUT v Praze) za zajišťování terénních průzkumů erozní ohroženosti povodí.

Certifikovaná metodika byla vytvořena v rámci projektu TA02020808 „Metody optimalizace návrhu opatření v povodí vodních nádrží vedoucích k účinnému snížení jejich eutrofizace“, řešeného s finanční podporou Technologické agentury České republiky v rámci programu na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje ALFA v letech 2012-2015.



Toto dílo podléhá licenci Creative Commons Uveďte původ 4.0 Mezinárodní.

Pro získání kopie plného znění licenčních podmínek navštivte

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> nebo požádejte písemně na adrese Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

Pro komerční užití díla je třeba uzavřít individuální licenční smlouvu

© Pavel Rosendorf, Libor Ansorge, Tomáš Dostál, Vlastimil Zahrádka, Josef Krása, Jiří Beránek, 2015

ISBN 978-80-87402-48-1 (brož.)

ISBN 978-80-87402-49-8 (on-line, pdf)

1 CÍL METODIKY	5
2 VLASTNÍ POPIS METODIKY	6
2.1 Obecný úvod do problematiky	6
2.2 Struktura metodiky.....	10
2.3 Stanovení referenčních hodnot koncentrací celkového a fosforečnanového fosforu pro povodí hodnocené nádrže a přítoky do nádrže.....	12
2.4 Identifikace a lokalizace všech antropogenních zdrojů fosforu v povodí hodnocené nádrže. 16	
2.4.1 Bodové zdroje městských odpadních vod.....	16
2.4.2 Bodové zdroje průmyslových odpadních vod	18
2.4.3 Mimoerozní vstupy fosforu ze zemědělství	19
2.4.4 Erozní smyv a transport fosforu v sedimentu.....	20
2.4.5 Rybářské hospodaření v povodí.....	21
2.4.6 Vstup fosforu atmosférickou depozicí	21
2.4.7 Ostatní vstupy	22
2.5 Popis zdrojů fosforu vybranými parametry pro určení jejich eutrofizačního potenciálu.	23
2.5.1 Odvození ročních vstupů celkového fosforu do vod (A).....	24
2.5.2 Odvození ročních vstupů fosforečnanového fosforu do vod (B).....	33
2.5.3 Zjištění vzdálenosti místa vstupu fosforu ze zdroje od hráze hodnocené nádrže (C)	35
2.5.4 Zjištění souhrnné teoretické doby zdržení vody v nádržích na tocích mezi zdrojem a vstupem do nádrže (D)	35
2.5.5 Charakterizace vstupu fosforu ze zdroje – sezónnost (E)	36
2.6 Postup výpočtu eutrofizačního potenciálu zdrojů fosforu a sestavení žebříčku významnosti zdrojů v hodnoceném povodí.....	37
2.7 Shrnutí výsledků postupu a vazba na opatření v povodí.....	39
2.8 Vazba metodiky na jiné metodické postupy a nástroje plánování v oblasti vod.	39
3 SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ“	41
4 POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY	42
5 EKONOMICKÉ ASPEKTY	43
6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	45
7 SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE	49
8 SEZNAM ZKRATEK.....	50
SOUHRN.....	51
SUMMARY	52

1 CÍL METODIKY

Eutrofizace vnitrozemských povrchových vod je fenomén, který se s různou intenzitou objevuje v diskusích o stavu vod celosvětově již od 50. let 20. století. Zhoršování jakosti vody a změny ekosystémů v řadě jezer a nádrží iniciovaly rozsáhlý výzkum, který potvrdil klíčovou roli fosforu při akceleraci tohoto procesu. S přijetím Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady z 23. října 2000, ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky (dále Rámcová vodní směrnice) se zvýšila důležitost komplexního hodnocení vodních ekosystémů a určení klíčových antropogenních vlivů, které působí proti dosažení dobrého stavu vod. Aby bylo možné přijímat efektivní opatření k ochraně povrchových vod před nepříznivými účinky eutrofizace, je nejprve nutné posoudit významnost jednotlivých antropogenních vstupů fosforu do vod.

Zaměření metodiky na rizika eutrofizace vodních nádrží vyplývá z vysoké citlivosti nádrží k eutrofizaci a také pro jejich časté využívání jako zdroje surové vody pro úpravu na vodu pitnou, případně pro účely rekreace, nebo ochrany přírody. V takových případech je dosažení dobrého nebo maximálního potenciálu vodních nádrží ve smyslu Rámcové vodní směrnice jednoznačnou prioritou.

Cílem předložené metodiky je poskytnout univerzální návod, jak v povodí libovolné vodní nádrže identifikovat všechny významné antropogenní zdroje fosforu a určit jejich eutrofizační potenciál. Eutrofizační potenciál je v této metodice definován jako indikátor, který umožňuje srovnávat různé typy zdrojů antropogenního fosforu v povodí s ohledem na emitované množství a formy fosforu, umístění v povodí hodnocené nádrže a sezónnost přísunu znečištění. Eutrofizační potenciál určuje celkovou významnost zdrojů a umožňuje sestavit hierarchizovaný seznam zdrojů pro následnou volbu a aplikaci vhodných opatření v povodí.

Vývoj metodiky byl podpořen finančními prostředky Technologické agentury České republiky (programu Alfa) v rámci projektu TA02020808 „Metody optimalizace návrhu opatření v povodí vodních nádrží vedoucí k účinnému snížení jejich eutrofizace“, řešeného ve spolupráci Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka (dále jen VÚV TGM), Povodí Ohře, státní podnik a Českého vysokého učení technického v Praze (dále jen ČVUT v Praze). Metodické postupy byly v rámci projektu ověřovány v pilotních povodích vodárenské nádrže Stanovice a vodní nádrže Nechranice a také při hodnocení vybraných antropogenních zdrojů fosforu na území České republiky pro plány dílčích povodí.

2 VLASTNÍ POPIS METODIKY

2.1 Obecný úvod do problematiky

Fosfor je prvkem, který se rozhodujícím způsobem podílí na eutrofizaci povrchových vnitrozemských vod (Harper, 1991). Především ve vodních nádržích jeho nadbytek výrazně ovlivňuje rozvoj autotrofních složek ekosystému – zejména fytoplanktonu (řas a sinic) a makrofyt. Nadbytečný přísun fosforu ze zdrojů v povodí vede v řadě nádrží na území České republiky k výraznému zhoršení jakosti vody a omezení využití nádrží pro pitné účely nebo rekreaci. Již léta se vedou spory o to, jaké zdroje fosforu v povodí jsou odpovědné za eutrofizaci našich nádrží a zájem se přelévá střídavě od komunálních zdrojů k zemědělství a zpět. Řada komplexních bilančních studií dokumentuje, že podle množství jsou hlavní vstupy celkového fosforu spojeny s erozním smyvem, ale jeho eutrofizační vliv je relativně nízký (např. Krása et al., 2011). Na systematické nadhodnocení eutrofizačního významu vstupů fosforu ze zemědělských zdrojů v řadě studií upozorňuje také nejnovější studie Withers et al. (2014). V posledních letech se v některých specifických oblastech pozornost zaměřila také na dříve opomíjené vstupy fosforu – např. z obhospodařovaných rybníků, které při intenzivním chovu ryb mohou představovat významný zdroj fosforu (např. Pechar et al., 2009; Duras et Potužák, 2012). I přes rozsáhlé investice do vodohospodářské infrastruktury řady obcí v posledních letech nadále zůstávají velmi významným zdrojem fosforu také městské odpadní vody.

Koncept hodnocení eutrofizace stojatých vod je založen na znalosti vztahu mezi koncentracemi fosforu a odpovídajícím rozvojem fytoplanktonu v nádržích (Vollenweider, 1968; Dillon et Rigler 1974). Pro odvození průměrné koncentrace fosforu v nádržích a jezerech se obvykle používá některý z empirických retenčních modelů, který ji odvozuje z koncentrací celkového fosforu na přítoku a teoretické doby zdržení (Larsen et Mercier, 1976; OECD, 1982; Hejzlar et al., 2006). Stále však mluvíme o koncentraci celkového fosforu, který zahrnuje všechny formy přítomné ve vodě v době odběru vzorku. Zahrnuje tedy jak formy anorganické rozpuštěné, fosfor partikulovaný (erozní částice, buňky řas a sinic apod.) tak i organický fosfor v různé míře uvolnitelný. Pro rozvoj řas a dalších autotrofních organismů je zcela zásadní zejména přítomnost rozpuštěných, snadno dostupných forem a to především ve vodních nádržích, kde řasy a sinice mohou jen velmi omezeně využívat fosfor ze sedimentů a dalších povrchů. Na důležitost snadno dostupného fosforu pro produkci ve vodních ekosystémech upozorňují Peters (1981) a především Reynolds et Davies (2001), kteří mluví o klíčové roli tzv. biologicky dostupného fosforu (BAP – bioavailable phosphorus). Ve vodních tocích a nádržích lze tuto formu fosforu ztotožnit s fosforem stanovovaným jako ortofosforečnaný (fosforečnanový fosfor) nebo rozpuštěný reaktivní fosfor (SRP – soluble reactive phosphorus). Dále jsou v metodice používány termíny **celkový fosfor** pro veškeré formy fosforu stanovené ve vzorku vody a **fosforečnanový fosfor** pro formy fosforu využitelné autotrofními organismy.

Lze tedy při porovnávání významnosti zdrojů pominout hodnocení celkového fosforu a zabývat se pouze hodnocením fosforečnanového fosforu?

Odpověď vyžaduje komplexnější pohled. Pokud bychom měli informace o emisích fosforečnanového fosforu pro všechny zdroje v povodí, byly by zřejmě údaje o množství celkového fosforu nadbytečné. Nepřímo to dokládá i běžně používaný postup hodnocení fosforu v tocích v řadě států Evropy (např. Spojené království, Irsko, Švédsko, Rakousko), kde namísto celkového fosforu je hodnocen pouze fosfor fosforečnanový (UK TAG, 2012). V případě nádrží však vyvstává problém v tom, že koncentrace fosforečnanového fosforu se již v přítokové části rychle snižují spotřebou

fytoplanktonem a ve volné vodě blíže k hrázi nádrže se vyskytuje ve snížených až velmi nízkých koncentracích, které neodpovídají celkovému obohacení systému živinami. Proto bývá fosfor v nádržích ve většině států, včetně výše jmenovaných, stanovován jako celkový fosfor, který zahrnuje i fosfor v planktonních vodních organismech. Situaci také komplikuje skutečnost, že fosfor přítomný v partikulích, které odtékají z vodní nádrže, může být vázán pevně nebo labilně. Zatímco fosfor obsažený v organismech (řasách, sinicích apod.) může být snadno uvolněn a dále využit pro syntézu nové biomasy, fosfor vázaný na půdní částice se může uvolnit jen za určitých specifických podmínek (anoxie, koncentrační gradient fosforu mezi částicí a vodou). Proto je důležité stanovit obě formy fosforu a případně je doplnit o další parametry, které nám pomohou určit charakter částic a biologickou dostupnost v nich vázaného fosforu.

Praktický problém spočívá také v tom, že i kdybychom chtěli používat pouze údaje pro fosforečnanový fosfor, pro řadu zdrojů znečištění máme informace o emisích jen za celkový fosfor, případně údaje o emisích fosforu zcela chybí. Navíc pokud bychom opustili stanovení celkového fosforu ve vodách, přišli bychom o důležitou informaci o stavu vodního prostředí včetně jeho zatížení např. sedimentem pocházejícím z eroze nebo odtékajícím při výlovu rybníků. V těchto vstupech převažuje zejména partikulovaný, biologicky obtížně dostupný fosfor.

Z výše uvedeného vyplývá, že stanovení celkového fosforu je sice důležité pro odhad celkového zatížení vodních ekosystémů, ale pro akutní eutrofizaci nádrží a její snížení je rozhodující ta část emisí fosforu z povodí, která je snadno dostupná autotrofním organismům. Pro hodnocení významu zdrojů je tedy podstatné, jaké formy fosforu a v jakém množství jsou jednotlivými zdroji emitovány.

Jaké jsou tedy reálné odtoky fosforečnanového (biologicky dostupného) fosforu z jednotlivých typů zdrojů a jsou mezi zdroji výraznější rozdíly?

Podíly fosforečnanového fosforu v odtoku z běžných bodových zdrojů městského typu dosahují obvykle velmi vysokých hodnot. Dobře to dokumentují například výsledky studií v povodí řek Kennet a Temže ve Spojeném království (Neal et al., 2005; Millier et Hooda, 2011). V různých velikostních kategoriích zdrojů zakončených čistírnami odpadních vod byly zjištěny vždy velmi vysoké podíly rozpuštěných forem fosforu ve vypouštění (80-95 %). Z uvedených studií je také zřejmé, že vysoký poměr odtoku rozpuštěného fosforu neovlivňuje příliš technologie čištění odpadních vod.

Zcela opačná je situace v případě přísunu rozpuštěného fosforu v erozním odtoku. Jak zjistili Sharpley et al. (1992), na konvenčně obhospodařovaných plochách se podíl rozpuštěného fosforu v erozním odtoku pohyboval v rozmezí 3,5-19,3 %. Zajímavým zjištěním, s ohledem na případná opatření je, že při používání ochranných protierozních způsobů obhospodařování půdy se podíl rozpuštěných forem na celkovém odtoku zvyšuje. Je to však dáno především tím, že dochází k omezení eroze a výraznému snížení transportu fosforu z pozemků, nikoli proto, že by se absolutně zvýšil odtok rozpuštěných forem. V podmínkách České republiky jsou exaktně zjištěné údaje o podílu forem fosforu v erozním odtoku velmi vzácné. Fiala et Rosendorf (2009) dokumentovali v roce 2007 podíly forem fosforu v erozní epizodě v povodí Lhotského potoka (okres Louny). Zjistili, že podíl rozpuštěného fosforu stanoveného jako ortofosforečnanů, nepřekročil během epizody 3 %.

Kromě erozních událostí přispívají zemědělské plochy k odtoku fosforu také v době běžných srážko-odtokových situací. Poměry mezi množstvím fosforečnanového fosforu a celkového fosforu v čistě zemědělských mikropovodích dokumentují studie, prováděné v pilotních povodích na území celé ČR (Fiala et Rosendorf, 2010, 2011). Z nich je zřejmé, že se fosforečnanový fosfor podílí na

odtoku celkového fosforu přibližně v rozmezí 30-75 %, přičemž nejčastěji se hodnota pohybuje kolem 50-55 %. Uvedená zjištění podporují i výsledky lokálních studií z povodí Želivky (Fučík et al., 2010) a z povodí vodní nádrže Orlík (Richtr et al., 2009). Zatímco v povodí Želivky byly zjištěny podobné poměry (35-60 %) jako ve studiích z celé ČR, v povodí nádrže Orlík byly zjištěny hodnoty mírně nižší (12-57 % na orných půdách a 21-56 % na travních porostech).

Dosud opomíjenými zdroji, které mohou významně ovlivňovat koncentrace fosforu ve vodách, jsou rybníky s chovem ryb. Jejich vliv na zvyšování koncentrací fosforu ve vodách je dvojitý. První souvisí s každoročním vývojem nádrže, který je spojen s intenzivním rozvojem řas, vyčerpáním kyslíku a dusičnanů nade dnem a zvýšeným uvolňováním fosforečnanového fosforu do vodního sloupce (např. Pechar et al., 2009; Duras et Potužák, 2012). Vysoký odtok fosforečnanového fosforu nastává obvykle v letním období a jeho podíl na celkovém fosforu se pohybuje v širokém rozmezí 10-80 %. Jiný charakter má odtok fosforu v době výlovu rybníků, kdy převážná část fosforu odchází ve formě partikulované (Mikšíková et al., 2012; Potužák et Duras, 2012). Podíl fosforečnanového fosforu je většinou nízký a nepřesahuje 5 % z celkového fosforu. Rybníky, stejně jako další vodní nádrže, mohou hrát v povodí i velmi pozitivní roli. Díky své retenční kapacitě mohou značnou část fosforu zachytit a uložit do sedimentů a při vhodném způsobu hospodaření nemusí představovat pro níže ležící toky a nádrže žádný zdroj zatížení (Duras et Potužák, 2012).

Pro úplnost je nutné zmínit také vstupy fosforu do vod atmosférickou depozicí, která bývá v některých studiích zanedbávána. Jak uvádějí Kopáček et al. (1997) celkové vstupy fosforu atmosférickou depozicí jsou obvykle nízké (15-100 $\mu\text{g/l}$ celkového fosforu) a podíl fosforečnanového fosforu se pohybuje kolem 50 %.

Kromě všech antropogenních vstupů fosforu v povodí je nutné při úvahách o eutrofizaci vodních nádrží zohlednit také přirozené vstupy fosforu v celém povodí. Jak ukazují příklady některých geologicky pestrých povodí, mohou se pozadřové koncentrace fosforu značně lišit a mohou výrazně ovlivnit cílovou koncentraci v hodnocené nádrži

Kromě celkového množství emitovaného fosforečnanového fosforu ze zdrojů, určuje jejich význam pro eutrofizaci posuzované vodní nádrže i míra retence fosforu v říční síti. Ta je dána zejména retencí v říčních korytech a také transformací a ukládáním fosforu do sedimentů ve významných vodních nádržích. Je tedy zřejmé, že čím je zdroj fosforu více vzdálen od posuzované nádrže a čím více retenčních prvků je přítomno na průtokové cestě od místa vstupu znečištění, tím se jeho význam snižuje. Pro určení míry retence fosforu v nádržích lze využít některý z empirických modelů, pro určení retence fosforu v tocích jsou obvykle užívány fyzikálně založené modely řízené specifickými rovnicemi (např. Reddy et al., 1999). Schopnost zadržení fosforu v nádržích roste s délkou teoretické doby zdržení, v tocích lze očekávat nejvyšší zadržování fosforu v malých tocích s vysokým specifickým omočeným povrchem. S rostoucí velikostí toků se bude míra retence snižovat.

Dále popsaná metodika je založena na předpokladu, že pokud převedeme informaci o emisích fosforu z jednotlivých zdrojů na vhodný společný jmenovatel, budeme moci porovnávat přímo jejich význam z pohledu hodnoceného vodního útvaru, v tomto případě vodní nádrže, a přiblížíme se tak k objektivnějšímu posouzení významu zdrojů a efektivnímu návrhu opatření. Vzhledem k popsané rozmanitosti zdrojů fosforu je vhodné každý z nich charakterizovat souhrnným parametrem, který v sobě zahrne nejen absolutní emitované množství fosforu, ale i jeho formu, umístění v povodí, míru retence v povodí a charakter přísunu během roku. Tento parametr musí být odvozen tak, aby dovolil porovnání významu rozdílných zdrojů fosforu a umožnil sestavit žebříček zdrojů podle jejich

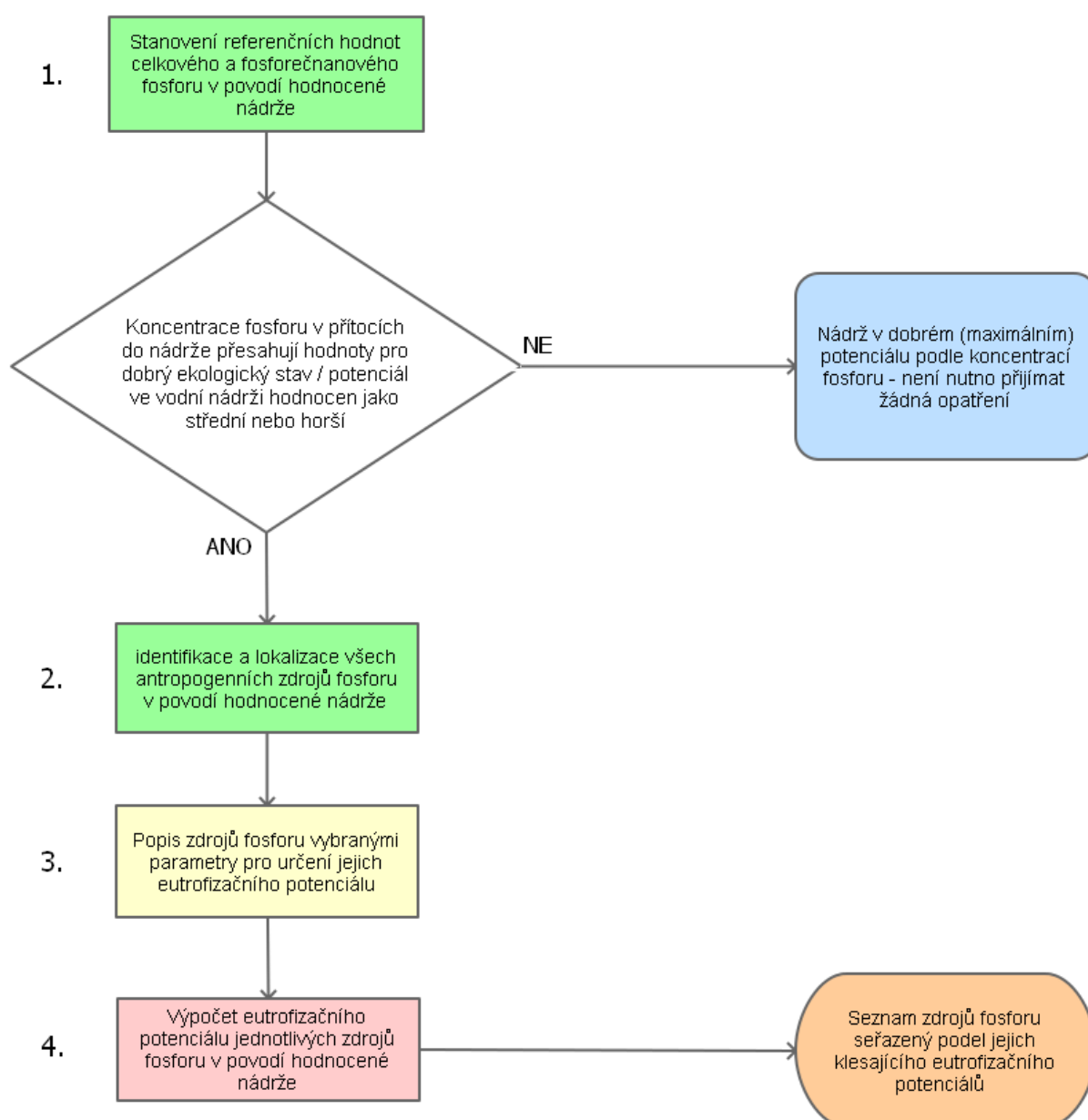
klesajícího podílu na eutrofizaci nádrže. Tento parametr označujeme v metodice jako eutrofizační potenciál.

2.2 Struktura metodiky

Metodika je strukturována do čtyř samostatných navazujících bloků, které lze charakterizovat takto:

1. Stanovení referenčních hodnot koncentrací celkového a fosforečnanového fosforu pro povodí hodnocené nádrže a přítoky do nádrže.
2. Identifikace a lokalizace všech antropogenních zdrojů fosforu v povodí hodnocené nádrže.
3. Popis zdrojů fosforu vybranými parametry pro určení jejich eutrofizačního potenciálu.
4. Výpočet eutrofizačního potenciálu jednotlivých zdrojů fosforu a sestavení hierarchizovaného žebříčku významnosti zdrojů v povodí.

Postup hodnocení v metodice je schematicky znázorněn na Obr. 1.



Obr. 1 Základní schéma metodiky pro posuzování vlivu zdrojů znečištění na eutrofizaci vodních nádrží.

První blok metodického postupu popisuje způsob, jak odvodit cílové hodnoty koncentrací fosforu v přítocích do nádrže a v samotné nádrži. Tento krok je důležitý zejména v oblastech, kde se přirozeně vyskytují zvýšené koncentrace fosforu v povrchových vodách nebo kde je velká variabilita přírodních podmínek. V takových případech není možné použít schválené metodické postupy pro hodnocení ekologického stavu útvarů kategorie řeka a jezero (Rosendorf et al., 2011; Borovec et al., 2013), ale je třeba postupovat v souladu s touto metodikou.

Druhý blok metodického postupu se zabývá inventarizací všech antropogenních zdrojů fosforu v povodí nad hodnocenou nádrží a popisuje potřebné informace a zdroje dat, které jsou důležité pro jejich identifikaci. Současně popisuje způsoby, jak lokalizovat jednotlivé typy vstupů fosforu na struktuře říční sítě.

Třetí blok metodického postupu popisuje, jakým způsobem mají být odvozeny charakteristiky jednotlivých zdrojů fosforu v povodí, které umožní určit jejich eutrofizační potenciál ve vztahu k hodnocené nádrži a také jakým způsobem získat nebo doplnit potřebná nebo chybějící data.

Poslední, **čtvrtý blok** metodického postupu popisuje způsob výpočtu eutrofizačního potenciálu jednotlivých zdrojů fosforu v povodí a tvorbu výsledného seznamu zdrojů, seřazeného sestupně podle klesajícího eutrofizačního potenciálu ve vztahu k hodnocené nádrži.

Ve schématu na Obr. 1 je zařazen po prvním bloku rozhodovací krok, který určuje podle přírodních podmínek v povodí a stavu hodnocené nádrže, zda se nádrž nachází v dobrém nebo maximálním ekologickém potenciálu podle koncentrací fosforu. V případě kladného hodnocení není nutné přijímat žádná opatření ke snížení vnosu fosforu do nádrže a postup hodnocení podle metodiky v tomto místě končí.

Podrobný popis postupů, zahrnutých do jednotlivých bloků metodiky, je uveden v kapitolách 2.3 až 2.6.

2.3 Stanovení referenčních hodnot koncentrací celkového a fosforečnanového fosforu pro povodí hodnocené nádrže a přítoky do nádrže.

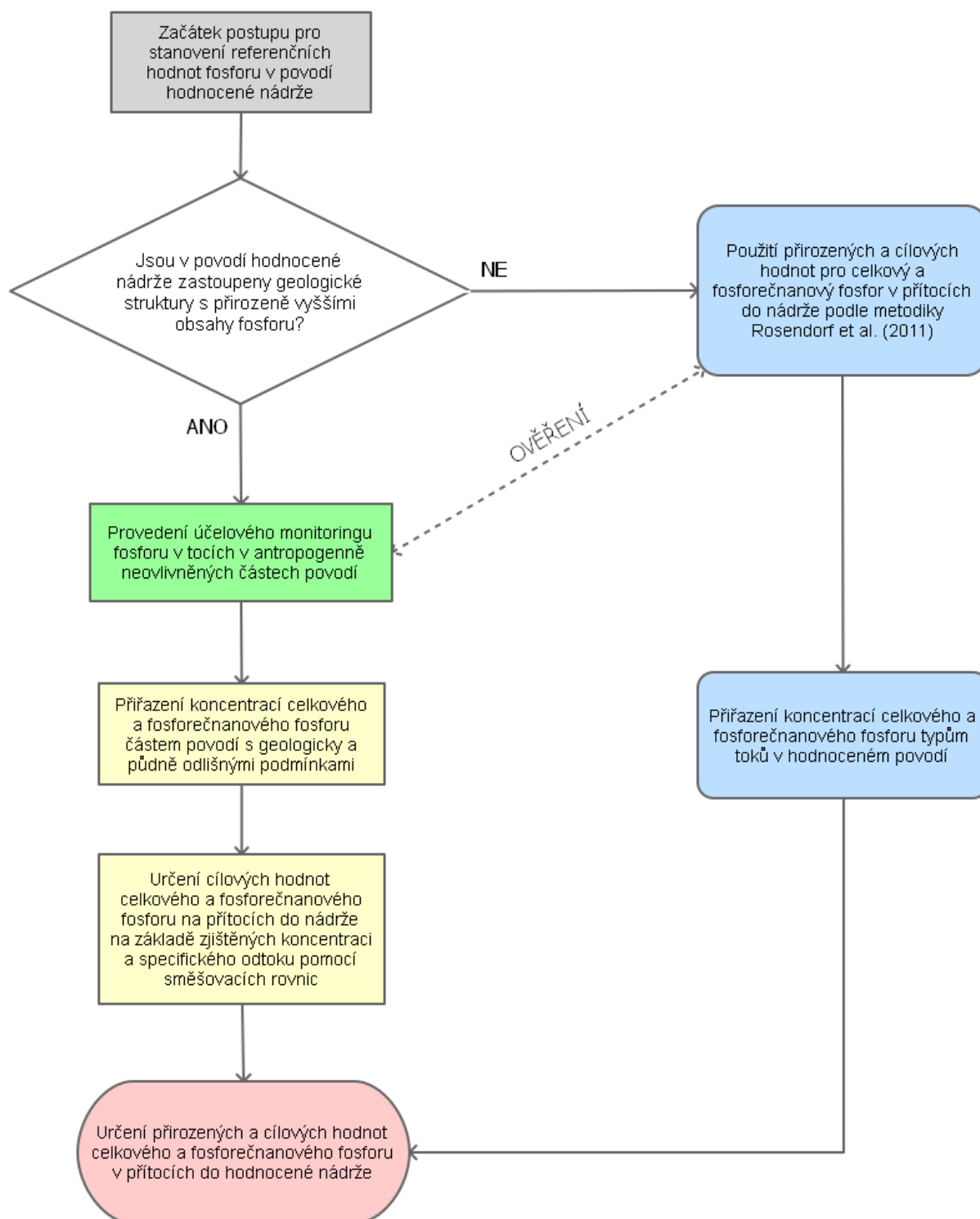
Předkládaná metodika je určena k tomu, aby označila v povodí hodnocené nádrže antropogenní zdroje fosforu, které rozhodující měrou ovlivňují eutrofizaci cílové nádrže a brání dosažení dobrého ekologického potenciálu podle koncentrace fosforu. Prvním a zcela logickým krokem metodického postupu je proto určení cílového stavu hodnocené nádrže podle koncentrací fosforu a jeho srovnání se stavem současným.

V současné době je pro tyto účely zpracována Metodika pro hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů – kategorie jezero (Borovec et al., 2013), která pro všechny nádrže vymezené jako samostatné vodní útvary definuje cílový stav z pohledu koncentrace celkového fosforu u hráze v kategoriích velmi dobrého a dobrého ekologického potenciálu. Způsob stanovení cílových hodnot pro celkový fosfor je založen na empiricky zjištěné závislosti retence fosforu v hodnocené nádrži na teoretické době zdržení. Koncept vychází z dříve publikovaných výsledků modelování retence fosforu v různých typech nádrží a jezer publikovaný Hejzlarem et al. (2006).

Metodika pro hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů – kategorie jezero (Borovec et al., 2013) využívá k odvození cílových koncentrací fosforu v nádržích koncentrace fosforu vstupujícího přítoky do nádrže. Metodika pracuje s předpokladem, že dobrý ekologický potenciál nádrže pro fosfor je možné dosáhnout pouze v případě, že bude současně dosažen dobrý ekologický stav pro fosfor na přítocích do nádrže. Aby byl postup odvození cílových koncentrací fosforu v nádrži konzistentní i s hodnocením stavu ve vodních útvarech kategorie řeka, využívá metodika typově specifických koncentrací celkového fosforu pro útvary tekoucích vod, které jsou uvedeny v Metodice hodnocení všeobecných fyzikálně-chemických složek ekologického stavu útvarů povrchových vod tekoucích (Rosendorf et al., 2011).

Metodika hodnocení všeobecných fyzikálně-chemických složek ekologického stavu útvarů povrchových vod tekoucích (Rosendorf et al., 2011) obsahuje typově specifické hodnoty koncentrací celkového a fosforečnanového fosforu pro hranice mezi velmi dobrým a dobrým ekologickým stavem a mezi dobrým a středním stavem. Tato metodika vychází z platné typologie povrchových vod, definované vyhláškou Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zemědělství č. 49/2011 Sb., o vymezení útvarů povrchových vod. Typologické charakteristiky určené touto vyhláškou však neumožňovaly provést detailnější rozčlenění vodních útvarů podle přirozených koncentrací celkového fosforu v různých částech České republiky. Bylo proto nutné provést určitá zjednodušení v nastavení cílových hodnot podle převažujících přirozených podmínek. Toto zjednodušení však mělo v některých specifických územích za následek, že cílové hodnoty pro celkový a fosforečnanový fosfor jsou nastaveny velice přísně a nemusejí odpovídat přirozeným podmínkám v hodnocených povodích. Je to zejména případ povodí vodních útvarů, ve kterých se nacházejí rozsáhlé geologické struktury přirozeně bohatší na fosfor (zejména všechny typy vyvřelin a část metamorfovaných hornin) a kde cílové hodnoty uváděné v metodice pro příslušné typy útvarů neodpovídají přirozeným podmínkám.

Z tohoto důvodu je v předkládané metodice navržen postup, který umožňuje využít jak typově specifické koncentrace fosforu z metodiky Rosendorf et al. (2011), tak i alternativní postup, který na základě cíleného monitoringu neovlivněných částí povodí hodnocené nádrže upraví cílové hodnoty v souladu s geologickými a půdními charakteristikami posuzovaného území (viz schéma na Obr. 2).



Obr. 2 Schéma postupu určení pozadových a cílových hodnot koncentrací fosforu v přítocích do hodnocené nádrže.

V případě využití obecného postupu podle metodiky Rosendorf et al. (2011) jsou přítoku/přítokům do nádrže přiřazeny cílové hodnoty celkového a fosforečnanového fosforu podle typu útvaru definovaného ve vyhlášce č. 49/2011 Sb., o vymezení útvarů povrchových vod (viz pravá strana schématu na Obr. 2).

V případě, že povodí hodnocené nádrže vykazuje vyšší zastoupení vyvřelých nebo jiných hornin přirozeně bohatších na fosfor nebo je povodí výrazně heterogenní z pohledu geologických a půdních

podmínek, je vhodné provést doplňkový monitoring (viz levá strana schématu na Obr. 2). Monitoring musí být proveden ve vybraných antropogenně neovlivněných částech povodí s cílem získat informace o přirozených obsazích fosforu ve vodách. Optimální je provést nejméně roční monitoring s frekvencí odběru vzorků 1x za měsíc. V případě nutnosti je možné použít i jednorázová měření ve větším počtu monitorovacích profilů, reprezentujících zastoupené geologické typy. Získaná data by měla být vyhodnocena a střední hodnoty (mediány) by měly být přiřazeny jednotlivým geologickým typům v území. Pozornost je třeba věnovat reprezentativnosti hydrologických podmínek na tocích v době vzorkování.

Na základě získaných charakteristických koncentrací fosforu a specifického odtoku podle Horský et al. (1970) v jednotlivých částech povodí mohou být odvozeny cílové koncentrace celkového a fosforečnanového fosforu v přítocích do nádrže, charakterizující velmi dobrý a dobrý ekologický stav. Odvození je provedeno s použitím jednoduché směšovací rovnice, do které jsou dosazeny koncentrace fosforu a průtoky v různých částech povodí. V případě rozsáhlejších povodí s heterogenními geologickými podmínkami je pro výpočet cílových koncentrací v přítocích do nádrže výhodné použít jednoduchý simulační model založený na struktuře říční sítě (např. CE-QUAL-W2 – Portland State University; MIKE11 – DHI; VSTOOLS – VÚV TGM, v.v.i.). Pokud v hodnoceném povodí nejsou k dispozici údaje o specifickém odtoku a takové povodí lze považovat hydrologicky za homogenní, je možné provést přepočty přes poměrné zastoupení ploch geologických typů s charakteristickými koncentracemi fosforu. Takovou analýzu lze provést s použitím GIS nástrojů.

I v případě použití jednodušší metody přiřazení cílových koncentrací fosforu podle metodiky Rosendorf et al. (2011) je vhodné alespoň orientační odběr vzorků pro určení přirozených koncentrací fosforu ve vybraných neovlivněných částech povodí. V případě, že se výsledky výrazněji liší od tabelovaných hodnot, musí být aplikován alternativní postup pro odvození přítokových koncentrací fosforu, popsany výše.

Poté co jsou odvozeny přirozené koncentrace fosforu v přítocích do nádrže, je potřeba stanovit cílové hodnoty koncentrací celkového a fosforečnanového fosforu, které reprezentují hranice mezi dobrým a středním ekologickým stavem. V souladu s poměry, které jsou nastaveny pro hodnoty celkového a fosforečnanového fosforu pro velmi dobrý a dobrý stav v metodice Rosendorf et al. (2011), je doporučeno zjištěnou hodnotu přirozené koncentrace násobit takto:

- pro celkový fosfor – koeficientem 1,5
- pro fosforečnanový fosfor – koeficientem 1,8

Posledním krokem v této části hodnocení je odvození cílových koncentrací fosforu pro hodnocenou nádrž. V případě, že je použit obecný postup přiřazení koncentrací fosforu v přítocích podle metodiky Rosendorf et al. (2011), použijí se přímo typově specifické hodnoty podle metodiky Borovec et al. (2013). Pokud je použit alternativní postup, je nutné na základě teoretické doby zdržení konkrétní nádrže odvodit cílovou koncentraci celkového fosforu z přítokových koncentrací podle závislosti uvedené v následující rovnici (Hejzlar et al., 2006):

$$P = P_i \cdot \left(1 - \frac{1,84\sqrt{\tau}}{1 + 1,84\sqrt{\tau}} \right) \quad [1]$$

kde

P je průměrná roční koncentrace celkového fosforu u hráze nádrže (v mg/l)

- P_i je objemově vážená koncentrace celkového fosforu na přítoku do nádrže (v mg/l)
 τ teoretická doba zdržení (rok)

Hodnoty odvozené jedním z výše uvedených postupů jsou poté srovnány s hodnotami zjištěnými monitoringem v nádrži. V případě, že monitorované hodnoty jsou shodné nebo nižší než odvozené cílové koncentrace, lze nádrž hodnotit dobrým, případně maximálním ekologickým potenciálem a v povodí není nutno přijímat žádná opatření. V opačném případě se postupuje k dalšímu kroku metodiky, kterým je identifikace a lokalizace všech antropogenních zdrojů fosforu v povodí.

V některých případech může dojít k tomu, že hodnocení koncentrací fosforu v přítocích vykazuje parametry dobrého nebo velmi dobrého stavu a samotný ekologický potenciál nádrže podle fosforu je hodnocen jako střední nebo horší. V takovém případě je nutné hledat problematické vstupy fosforu přímo v samotné nádrži (rybářské hospodaření) nebo v aktivitách lokalizovaných v blízkosti břehů nádrže mimo samotné přítoky (např. rekreační objekty). V tomto případě není nutné dále hodnotit veškeré zdroje v povodí nádrže, ale je třeba se zaměřit pouze na vlastní nádrž a aktivity v nádrži a v jejím nejbližším okolí (podél břehové linie).

Vhodné je rovněž posoudit, zda k výraznějšímu vstupu fosforu do nádrže nedochází během významných odtokových událostí (zvýšených odtoků), které nejsou zachyceny standardním monitoringem přítoků. V takovém případě je účelné provést kontinuální monitoring přítoku/přítoků do nádrže a posoudit možný vliv erozních procesů v povodí. Tento krok je však vzhledem k jeho náročnosti obtížné zavést do systematického hodnocení.

2.4 Identifikace a lokalizace všech antropogenních zdrojů fosforu v povodí hodnocené nádrže.

Tento krok je spolu s následujícím krokem metodiky zcela zásadní, protože určuje hlavní zdroje znečištění vod fosforem v povodí a vymezuje tak i okruh zdrojů, na které mají být uplatňována případná opatření k eliminaci emisí fosforu.

Pro přehlednost je vhodné v tomto kroku rozdělit zdroje fosforu v povodí do skupin podle typů takto:

- Bodové zdroje městských odpadních vod
- Bodové zdroje průmyslových odpadních vod
- Mimoerozní vstupy fosforu ze zemědělství
- Erozní smyv a transport fosforu se sedimentem
- Rybářské hospodaření v povodí
- Vstup fosforu atmosférickou depozicí
- Ostatní vstupy

V kapitolách 2.4.1 až 2.4.7 je popsáno, jak jednotlivé typy zdrojů inventarizovat a lokalizovat s ohledem na rizika vstupu fosforu do vod v povodí hodnocené nádrže. Obecně se doporučuje lokalizovat jednotlivé zdroje znečištění (vstupy fosforu) průmětem na říční síť v místě vstupu. V případě, že to není možné (plošné vstupy), doporučujeme jako minimální podrobnost použít povodí IV. řádu a uzávěrový profil příslušného hrubého úseku podle DIBAVOD.

2.4.1 Bodové zdroje městských odpadních vod

Tento typ antropogenního znečištění představuje v řadě povodí velmi významný zdroj fosforu, který se dostává do povrchových vod. Z pohledu identifikace všech potenciálních zdrojů je vhodné vycházet z veřejně dostupných údajů Českého statistického úřadu (ČSÚ), který eviduje obyvatelstvo na území ČR až do podrobnosti částí obcí. Tento údaj představuje základní informaci o plošném rozmístění potenciálních zdrojů komunálního znečištění ve studovaném území. ČSÚ poskytuje informace včetně geografické lokalizace centroidu části obce a počtu trvale hlášených a obvykle bydlících obyvatel (aktuálně jsou dostupné údaje ze sčítání obyvatel z roku 2011).

Ke zpřesnění lokalizace potenciálních zdrojů fosforu v povodí z bodových zdrojů městského typu mohou sloužit i další podrobnější data:

- ZABAGED® – Základní báze geografických dat – tematické vrstvy zástavby, dalších antropogenně ovlivněných ploch a lokalizace objektů jako jsou ČOV - mohou sloužit pro zpřesnění lokalizace případného vypouštění odpadních vod. Data spravuje Český úřad zeměměřický a katastrální (ČÚZK).

Kromě lokalizace potenciálního zdroje znečištění je v dalším kroku důležité získat informace o přímém vypouštění vyčištěných nebo nečištěných odpadních vod ze zdroje do říční sítě v zájmovém území. K tomuto účelu je možné použít několik evidencí, které shromažďují informace o způsobu nakládání s odpadními vodami v obcích na území České republiky. Mezi evidence, které by měly být pro lokalizaci zdrojů využity, patří zejména:

- Evidence vypouštění vod pro potřeby sestavení vodní bilance (§ 22 zákona č. 254/2001 Sb. a vyhláška č. 431/2004 Sb., vyhláška č. 391/2004 Sb.). Evidence obsahuje údaje o lokalizaci vypouštění čištěných i nečištěných odpadních vod podléhajících evidenci. Evidenci spravují státní podniky Povodí.
- Majetková a provozní evidence vodovodů a kanalizací: část kanalizace a ČOV (§ 5 zákona č. 274/2001 Sb., a vyhláška č. 428/2001 Sb.) – údaje o kanalizacích a čistírnách odpadních vod evidovaných podle příslušného zákona; evidence zahrnuje více vypouštění než předchozí; zčásti propojena přes identifikátory na evidenci pro potřeby vodní bilance. Evidenci spravuje Ministerstvo zemědělství ČR (MZe).
- Integrovaný registr znečištění: přenosy látek v odpadních vodách a úniky látek do vody (§ 3 zákona č. 25/2008 Sb., a nařízení vlády 450/2011 Sb.) - obsahuje údaje o převážně velkých zdrojích znečištění a z velké části se překrývá s evidencí pro sestavení vodní bilance. Evidenci spravuje Ministerstvo životního prostředí (MŽP).
- Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností (ISPOP): údaje evidované podle § 38 odst. 4 vodního zákona č. 254/2001 Sb., v platném znění, předávané znečišťovatelem vodoprávnímu úřadu, správci povodí a pověřenému odbornému subjektu. Evidence obsahuje lokalizaci místa vypouštění, vypouštěné množství a údaje o znečištění. Evidenci spravuje CENIA, česká informační agentura životního prostředí.
- Plán rozvoje vodovodů a kanalizací kraje – PRVKÚK (§ 4 zákona č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích) – obsahuje podrobné údaje o způsobu nakládání s odpadními vodami v částech obcí; údaje lze využít pro určení případného místa vypouštění nebo způsobu likvidace odpadních vod v obci nebo její části. Vzhledem k proměnlivé kvalitě zpracování plánů v různých částech ČR se doporučuje údaje ověřit podrobným šetřením v zájmovém území. Zejména je potřeba věnovat pozornost obcím, kde není uváděna jednotná nebo oddílná kanalizace, ale pouze dešťová kanalizace. V řadě případů dešťová kanalizace slouží k odvádění přeplavků ze septiků nebo nečištěných odpadních vod přímo do recipientu. V případě akumulace odpadních vod v bezodtokých jímkách je vhodné ověřit, jestli v obci není vybudována dešťová kanalizace a nedochází k úniku odpadních vod prostřednictvím kanalizace do recipientu. Evidenci spravuje a aktualizuje místně příslušný krajský úřad.

Pro zdroje, které mají v evidencích lokalizováno jedno nebo i více přímých vypouštění do vodních toků nebo nádrží, je vhodné v databázi zdrojů provést lokalizaci vypouštění pomocí souřadnic X, Y (v systému S-JTSK) a uvést i kód úseku toku a jeho název. Pro přesnou lokalizaci na úsecích toků lze použít volně dostupná data úsekového říčního modelu z evidence DIBAVOD (VÚV TGM, v.v.i. - <http://www.dibavod.cz/17/geodatabaze-dibavod.html>) nebo jiný vhodný mapový podklad se strukturou říční sítě (např. CEVT – Centrální evidence vodních toků, MZe).

Pro komunální zdroje, u kterých není uvedeno specifické místo vypouštění do vodního toku nebo nádrže, ale z charakteru nakládání s odpadními vodami je zřejmé, že může ke znečištění vod docházet (např. je v PRVKÚK uvedeno, že odpadní vody jsou zneškodňovány v septicích s volným přepadem do příkopů nebo do terénu), je vhodné lokalizovat případné místo vypouštění do toku průmětem od zdroje po spádnicí k nejbližšímu trvalému vodnímu toku. V tomto případě musí být v databázi k místu vypouštění kromě souřadnic, kódu úseku toku a jeho názvu uvedena i vzdálenost místa zdroje znečištění a potenciálního místa vypouštění do toku. Na tyto zdroje mohou být v dalším

kroku hodnocení uplatněny odlišné způsoby redukce znečištění před vstupem do toku než na přímá vypouštění.

V případě, že část obce charakterem nakládání s vodami prokazatelně neovlivňuje jakost vod v tocích, zůstává v databázi zařazena, ale do dalšího hodnocení nevstupuje. Evidována je pouze pro případ, že by v budoucnu došlo ke změně nakládání s odpadními vodami v obci a tento zdroj se podílel na zatížení toků v hodnoceném povodí. Podobným způsobem je nakládáno také se zdroji, kde odpadní vody jsou převáděny mimo hodnocené povodí (tlaková kanalizace, čerpáním do kanalizace jiné obce nebo svozem na ČOV mimo povodí).

2.4.2 Bodové zdroje průmyslových odpadních vod

Tento typ zdrojů může v některých případech představovat významné zatížení vodních toků sloučeninami fosforu. Týká se to však jen omezeného okruhu průmyslových činností, jako je například potravinářská výroba, zpracování zemědělských produktů, výroba hnojiv. Naopak v případě některých průmyslových provozů (např. doly, lomy) a vypouštění z nich se mohou koncentrace fosforu pohybovat velice nízko a odpovídají jen mírně znečištěným vodám, běžně přítomným v řadě vodních toků.

Pro inventarizaci a lokalizaci tohoto typu zdrojů lze využít následující evidence a datové zdroje:

- Evidence vypouštění vod pro potřeby sestavení vodní bilance (§ 22 zákona č. 254/2001 Sb. a vyhláška č. 431/2004 Sb., vyhláška č. 391/2004 Sb.) – údaje o lokalizaci vypouštění čistěných i nečistěných odpadních vod podléhajících evidenci. Evidenci spravují státní podniky Povodí
- Integrovaný registr znečištění: přenosy látek v odpadních vodách a úniky látek do vody (§ 3 zákona č. 25/2008 Sb., a nařízení vlády 450/2011 Sb.) - obsahuje údaje o převážně velkých zdrojích znečištění a z velké části se překrývá s evidencí pro sestavení vodní bilance. Evidenci spravuje MŽP.
- Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností (ISPOP): údaje evidované podle § 38 odst. 4 vodního zákona č. 254/2001 Sb., v platném znění, předávané znečišťovatelem vodoprávnímu úřadu, správci povodí a pověřenému odbornému subjektu. Evidence obsahuje lokalizaci místa vypouštění, vypouštěné množství a údaje o znečištění. Evidenci spravuje CENIA, česká informační agentura životního prostředí.
- ZABAGED® – Základní báze geografických dat – tematické vrstvy zástavby průmyslového charakteru, dalších antropogenně ovlivněných ploch a specifické vrstvy s lokalizací např. ČOV a dalších objektů mohou sloužit pro zpřesnění lokalizace případného vypouštění. Data spravuje ČÚZK.

Pro průmyslové zdroje, které mají v evidencích lokalizováno přímé vypouštění do konkrétního vodního toku nebo nádrže, je vhodné v databázi zdrojů provést lokalizaci pomocí souřadnic X, Y (v systému S-JTSK) a uvést i kód úseku toku a jeho název. Pro lokalizaci na úsecích toků lze použít volně dostupná data DIBAVOD (VÚV TGM, v.v.i.) nebo jiný vhodný mapový podklad se strukturou říční sítě (např. CEVT – Centrální evidence vodních toků, MZe).

U průmyslových zdrojů znečištění nelze až na výjimky očekávat nepřímé vypouštění fosforu do vod jako v případě komunálních zdrojů. V případě že průmyslový podnik nemá přímé vypouštění do

toků, bývá obvykle napojen na veřejnou kanalizaci a odpadní vody jsou pak součástí evidovaného vypouštění městských odpadních vod.

2.4.3 Mimoerozní vstupy fosforu ze zemědělství

Z pohledu celkových emisí fosforu v povodí představuje mimoerozní odtok fosforu ze zemědělských ploch spíše méně významný vstup na většině území ČR. Běžně se průměrné koncentrace celkového fosforu pohybují v rozmezí 0,02-0,06 mg/l. Výjimku mohou představovat některé oblasti s nivními nebo illimerizovanými půdami, ze kterých odtékají relativně vysoké koncentrace celkového fosforu, přesahující 0,1-0,15 mg/l.

Vzhledem k plošnému charakteru tohoto typu zdroje je obtížné jeho vstup v povodí definovat konkrétním místem vstupu do říční sítě. Jedná se o fosfor, který se do toků dostává jednak podpovrchovým odtokem, jednak odtokem z drenáží na zemědělské půdě. Nejprve je proto nutné určit rozsah zemědělských ploch v posuzované části povodí. K tomuto účelu mohou být využita data, která charakterizují využití území v hodnoceném povodí. Jedná se o následující databáze a evidence:

- ZABAGED® – Základní báze geografických dat – tematické vrstvy využití území – typy reprezentující zemědělské využití pozemků (orná půda, vinice, chmelnice, sady a zahrady, trvalé travní porosty). Data spravuje ČÚZK.
- Integrovaný informační systém evidence půdy dle uživatelských vztahů (LPIS) – umožňuje zpřesnit aktuální způsob využití evidovaných zemědělských pozemků. Databázi spravuje MZe.

Jednou z možností projekce zemědělsky využívaných pozemků určených v předchozím kroku na říční síť je jejich přiřazení úsekům toků (resp. vybranému profilu na úseku toku). Podle rozsahu hodnoceného povodí se podrobnost informací o vstupech může lišit. V případě rozsáhlých povodí je vhodné kvantifikovat vstupy na úseky toků v hrubém členění podle DIBAVOD, kterým plošně odpovídají povodí IV. řádu. K úseku v hrubém členění jsou přiřazeny plochy zemědělských půd nacházející se v příslušném povodí IV. řádu.

U nádrží s velmi malým povodím, s rozmanitými půdními podmínkami nebo s podrobnými daty o emisích z ploch lze údaje o vstupu lokalizovat podrobněji na menší přítoky a jejich povodí. Pro tyto účely je možné použít říční síť v jemném členění podle DIBAVOD nebo CEVT a vstupy vztáhnout k vybraným úsekům toků. Vzhledem k tomu, že k těmto jemným úsekům toků nejsou k dispozici odpovídající povodí, je potřeba k hodnoceným úsekům toků odvodit metodami GIS příslušná povodí z podrobného modelu terénu a teprve k těmto povodím přiřadit odpovídající plochy zemědělských půd.

Volba podrobnosti inventarizace vstupů je závislá i na dostatku dat o vstupech fosforu ze zemědělských ploch v hodnocené oblasti. V případě, že taková data jsou k dispozici, doporučuje se provést i podrobnější lokalizaci vstupů. Pokud jsou k dispozici jen charakteristické koncentrace vztahované např. k půdním typům, je vhodné lokalizovat vstupy fosforu jen k hrubým úsekům říční sítě a povodím IV. řádu.

Pro odvození povodí k úsekům toků v jemném členění je možné využít následující datové zdroje a geografické vrstvy:

- DIBAVOD - vrstva úseků toků v hrubém a jemném členění. Evidenci spravuje VÚV TGM, v.v.i.
- ZABAGED® - model terénu odvozený z vrstevnic. Data spravuje ČÚZK.
- Digitální model terénu ČR. Pořizovatel dat GEODIS BRNO, spol. s r.o.
- DIBAVOD - vrstva hydrologických povodí IV. řádu. Evidenci spravuje ČHMÚ a VÚV TGM, v.v.i.

2.4.4 Erozní smyv a transport fosforu v sedimentu

Eroze půdy a následný transport erodovaného sedimentu do vodních toků je jedním z kvantitativně největších zdrojů celkového fosforu v povodí. Na rozdíl od většiny ostatních zdrojů je ale vstup erozního fosforu přísně epizodním procesem a dochází k němu téměř výhradně v návaznosti na výrazné srážko-odtokové epizody, případně na intenzivní tání sněhu.

Z tohoto důvodu je podstatné pro účely metodiky nejprve určit plochy, které mohou být postiženy erozí, a sediment z nich může být dále transportován do říční sítě.

Podobně jako v případě mimoerozního odtoku fosforu ze zemědělských ploch mohou být k tomuto účelu využita data, která charakterizují využití území v hodnoceném povodí. Jedná se o následující databáze a evidence:

- ZABAGED® – Základní báze geografických dat – tematické vrstvy využití území – typy reprezentující zemědělské využití pozemků (orná půda, vinice, chmelnice, sady a zahrady, trvalé travní porosty). Data spravuje ČÚZK.
- Integrovaný informační systém evidence půdy dle uživatelských vztahů (LPIS) – umožňuje zpřesnit aktuální způsob využití evidovaných zemědělských pozemků. Databázi spravuje MZe.

O dalším osudu erodovaných částic na pozemku a o jejich výsledném transportu až do nejbližšího vodního toku nebo nádrže rozhoduje celková organizace hodnoceného pozemku nebo dílčího povodí, zejména pak zastoupení retenčních prvků a struktur, které omezují nebo naopak urychlují další transport do toků. V případě rozsáhlejších povodí lze za místo vstupu erodovaného materiálu do toků považovat vhodně zvolené místo na úseku toku, který reprezentuje povodí IV. řádu (např. uzávěrový profil nebo profil ve středu úseku). Tento způsob lokalizace vstupu erozních splavenin do toků odpovídá celistvému přístupu stanovení hodnoty poměru odnosu podle Williamse (1977) v rámci zvolené prostorové jednotky. Volba vstupního profilu by měla zohlednit také případné retenční prvky na úseku toku, jako jsou vodní nádrže, které mohou výrazně ovlivnit další transport fosforu říční sítí. V takovém případě je vhodné povodí rozdělit a vstup kvantifikovat ke všem částem zvlášť.

V případě malých povodí nebo povodí s heterogenními podmínkami (do cca 100 km²) je vhodné odvodit reálná místa vstupů z mezipovodí do všech dílčích úseků říční sítě DIBAVOD v jemném členění s použitím některého ze simulačních modelů, který uplatňuje distributivní přístup při erozi a transportu sedimentu (např. model WATEM/SEDEM (Van Rompaey et al., 2000). Takový přístup umožňuje zohlednit specifické podmínky každého povodí či jeho části a reálněji odvodit i celkové množství erozního materiálu transportovaného do toků. Detailně jsou možnosti simulací eroze a transportu erozního sedimentu v povodích popsány například v práci Krásy (2010).

Aplikace detailního přístupu je vhodná také s ohledem na návrhy případných opatření. Podrobné modely umožňují adresovat dlouhodobý průměrný odnos až do úrovně podrobnosti skupin bloků databáze LPIS příslušných k dílčím úsekům říční sítě. Základní evidenční jednotkou LPIS je farmářský blok, který představuje souvislou plochu zemědělské půdy s jednou kulturou užívanou jedním farmářem. Tato databáze je navíc pravidelně aktualizovaná a slouží mimo jiné také k dalším účelům spojeným s ochranou půdy a vody (např. pro Nitrátovou směrnici – SR 91/676/EHS).

2.4.5 Rybářské hospodaření v povodí

V některých povodích může tvořit významnou část vstupů fosforu rybářské hospodaření v rybnících a dalších nádržích. Intenzivně obhospodařované rybníky mohou vlivem vnosu krmiv a hnojení emitovat zejména v letním období značná množství fosforu s výrazným podílem rozpuštěných forem. Pro tento vstup fosforu neexistuje na území ČR systematický monitoring. V některých povodích s rozsáhlými rybníčními soustavami již byly provedeny výpočty bilancí na vybraných velkých rybnících, které dokumentovaly významné emise i jejich rozložení v průběhu roku (Pechar et al., 2009; Potužák et al., 2010; Duras et Potužák, 2012). Vliv emisí fosforu z rybníků se může projevit také při výloveh, kdy dochází k výraznému transportu usazených sedimentů, v kterých výrazně dominují nerozpuštěné formy fosforu. Tento vliv je jednorázový, vázaný pouze na období několika dnů během výlovu (např. Mikšíková et al., 2012) a zcela zásadně bude záležet na typu nádrže, způsobu výlovu a jeho celkové organizaci.

Pro lokalizaci rybářsky využívaných rybníků v povodí hodnocené nádrže je vhodné využít následující evidence:

- DIBAVOD - vrstva vodních nádrží. Evidenci spravuje VÚV TGM, v.v.i.
- generel rybníků a nádrží (MZe, Hydroprojekt, a.s.)

V dalším kroku je potřeba ze souboru všech nádrží v hodnoceném povodí vybrat pouze takové, ve kterých je provozován chov ryb. Pro tyto účely lze využít výše zmíněný generel rybníků a nádrží. Materiál však není kompletní a zcela spolehlivý. Vždy je vhodné současně získat aktuální informace o chovu ryb od místně příslušných rybářských společností a místních organizací Českého rybářského svazu nebo Moravského rybářského svazu. V povodí se také mohou nacházet sportovní rybářské revíry, ve kterých může být významným vstupem fosforu pravidelné zakrmování. I takové lokality (rybníky, případně úseky toků) by měly být po konzultacích s rybářskými svazy zahrnuty do hodnocení.

Místo potenciálního vstupu fosforu z rybníku do říční sítě lze lokalizovat jednoduše místem odtoku vody z rybníka. V případě využití geografických dat je místem vstupu fosforu průnik osy toku s břehovou čarou rybníka v místě hráze.

V případě řešení ve větších oblastech (povodích) je možno i tento typ znečištění agregovat do úrovně povodí IV.řádu. V tom případě jsou souhrnné údaje, generalizované pro všechny rybochovné nádrže v daném dílčím povodí, vztaženy k uzávěrovému profilu.

2.4.6 Vstup fosforu atmosférickou depozicí

Vstup fosforu atmosférickou depozicí je v řadě studií považován za marginální a obvykle bývá vztažen pouze na plochu volné hladiny hodnocené nádrže nebo některých významnějších nádrží

v povodí. Pro lokalizaci vstupu fosforu atmosférickou depozicí je proto nutné mít k dispozici pouze předmětné plochy vodních nádrží. Zdrojem dat pro jejich lokalizaci v povodí je geografická vrstva vodních nádrží DIBAVOD (evidenci spravuje VÚV TGM, v.v.i.).

Pro účely vstupu fosforu prostřednictvím atmosférické depozice je doporučeno uvažovat pouze nádrže v povodí s plochou hladiny větší než 5 hektarů. Depozice fosforu musí být kvantifikována také v samotné cílové nádrži, která je předmětem hodnocení.

2.4.7 Ostatní vstupy

Za ostatní zdroje fosforu lze považovat takové vstupy, které nejsou zcela běžné ve všech povodích nebo které nelze jednoznačně přiřadit do některé z předchozích kategorií.

Mezi specifické potenciální zdroje fosforu v povodí můžeme zařadit různé roztroušené rekreační objekty nebo chatové osady, umístěné často podél vodních toků nebo v okolí nádrží. Na rozdíl od běžné městské a vesnické zástavby nejsou trvale obývány a také zneškodňování odpadních vod je v nich řešeno individuálně. V poslední době dochází v řadě rekreačních oblastí ke zvýšení počtu trvale obývaných objektů a k přestavbám včetně vybavení objektů vyspělejšími systémy likvidace odpadních vod.

Mezi specifické zdroje znečištění můžeme zařadit také farmy s vodními ptáky, které jsou obvykle lokalizovány v blízkosti rybníků a k zatížení vodního prostředí fosforem z exkrementů dochází přímo v rybníce.

Mezi méně obvyklé zdroje fosforu patří také různé typy klecových akvakultur, které jsou provozovány přímo ve vodních nádržích. Tím, že k chovu a dokrmování ryb dochází přímo ve vodní nádrži a případné přebytky fosforu mohou být přímým zdrojem pro eutrofizaci nádrže, nelze takové zdroje opomenout. Tento typ zdroje může být jedním z důvodů nesouladu hodnocení stavu na přítocích a v samotné nádrži.

V případě všech ostatních zdrojů, které nebyly zařazeny do kategorií v kapitolách 2.4.1 až 2.4.6, je doporučeno provést přímou identifikaci a lokalizaci v povodí terénním průzkumem a v případě potřeby monitoringem kvantifikovat emitované množství fosforu v obou hodnocených formách.

2.5 Popis zdrojů fosforu vybranými parametry pro určení jejich eutrofizačního potenciálu.

Každý identifikovaný zdroj fosforu v povodí, jehož emise zcela nebo zčásti končí v říční síti hodnoceného povodí, by měl být charakterizován sadou parametrů, které umožní určit v následujícím kroku metodiky jeho eutrofizační potenciál ve vztahu k hodnocené nádrži.

Základní a doplňkové charakteristiky zdroje jsou uvedeny v následujícím seznamu:

- A** měřené nebo odvozené roční vstupy celkového fosforu do vod (v kg/rok)
- B** měřené nebo odvozené roční vstupy fosforečnanového fosforu do vod (v kg/rok)
- C** vzdálenost místa vstupu fosforu ze zdroje od hráze hodnocené nádrže (v kilometrech)
- D** souhrnná teoretická doba zdržení vody v nádržích na toku mezi zdrojem a vstupem do nádrže (v letech)
- E** charakter vstupu fosforu ze zdroje - sezónnost (kategorizace: celoroční, epizodní apod.) – doplňková charakteristika

Charakteristika A je základní charakteristikou zdroje, která je evidována ve většině dostupných databází (zejména v případě bodových zdrojů). Pro výpočty eutrofizačního potenciálu však není použita a slouží pouze pro odvození příslušného podílu rozpuštěného fosforu emitovaného zdrojem.

Charakteristika B je základní charakteristika zdroje pro určení eutrofizačního potenciálu. Její vyplnění z přímo měřených dat nebo odvozením některým z postupů uvedených v metodice je základní podmínkou hodnocení.

Charakteristika C je popisnou charakteristikou, která ve výpočtu figuruje při určení retence rozpuštěného fosforu v říční síti mezi zdrojem a hrází nádrže. Hráz nádrže jako místo, ke kterému je vztažena celková vzdálenost, je použita z toho důvodu, aby mohly být hodnoceny i zdroje, nacházející se podél břehové čáry nádrže a nikoli jen na přítocích.

Charakteristika D je obdobou předchozí charakteristiky C. Ovlivňuje retenci rozpuštěného fosforu v nádržích na toku mezi zdrojem a vzdutím hodnocené nádrže. Tato charakteristika určuje souhrnnou teoretickou dobu zdržení v takových nádržích. Je nutné nejprve odvodit dílčí teoretické doby zdržení v jednotlivých nádržích a poté provést sumaci pro celý úsek mezi zdrojem a vzdutím cílové nádrže.

Charakteristika E je doplňkovou charakteristikou, která nevstupuje přímo do výpočtu eutrofizačního potenciálu zdrojů, ale mění váhu zdroje v případě, že teoretická doba zdržení hodnocené nádrže je kratší než 3 měsíce.

Charakteristiky zdroje (A, B, E) jsou univerzální a mohou být použity i při hodnocení stejných zdrojů ve vztahu k jiné nádrži v povodí. Charakteristiky (C, D) je nutné odvodit nově pro jiné hodnocené povodí, protože charakterizují retenční a transformační prvky mezi zdrojem a hodnocenou nádrží a jsou tudíž specifické vždy pro určitou vodní nádrž.

2.5.1 Odvození ročních vstupů celkového fosforu do vod (A)

Tato charakteristika nevstupuje přímo do výpočtu eutrofizačního potenciálu jednotlivých zdrojů, ale slouží ve většině případů jako pomocná charakteristika pro odvození množství rozpuštěného fosforu emitovaného zdrojem. Většina evidencí a datových zdrojů obsahuje právě jen údaje o emisích celkového fosforu, jen výjimečně jsou k dispozici také údaje o množství fosforečnanového fosforu.

Bodové zdroje městských odpadních vod

Nejvhodnějším zdrojem informací o emisích celkového fosforu z bodových zdrojů městského a venkovského typu jsou podrobná data z monitoringu odpadních vod vypouštěných do recipientu. Jejich monitoring obvykle zajišťuje společnost, která je provozovatelem veřejné kanalizace nebo čistírny odpadních vod. Pro velké zdroje jsou tato data evidována prostřednictvím Integrovaného systému plnění ohlašovacích povinností (ISPOP), který provozuje CENIA.

V případě, že nejsou k dispozici podrobná data o vypouštění celkového fosforu v průběhu roku, lze pro většinu velkých zdrojů získat hodnoty průměrných ročních koncentrací celkového fosforu z evidence vypouštění vod pro potřeby sestavení vodní bilance (§ 22 zákona č. 254/2001 Sb. a vyhláška č. 431/2004 Sb.). Na základě průměrné roční koncentrace a ročního vypouštěného množství vody lze odvodit roční vypouštěné množství celkového fosforu. V případě, že se v části obce nachází veřejná kanalizace s koncovou ČOV, pro kterou nejsou k dispozici údaje v žádné z evidencí, je nezbytné získat údaje o vypouštěném množství fosforu na základě cíleného monitoringu v místě vypouštění.

Specifická je problematika odlehčení odpadních vod v době zvýšených průtoků. Vstup odpadních vod a s nimi i fosforu do říční sítě může v některých případech (špatně projektované odlehčení, zanedbaná kanalizační síť) představovat významný podíl na zatížení vod v povodí. Nepříznivé je také to, že odlehčené vody nepodléhají čištění a odtékající koncentrace fosforu jsou vyšší než v odtoku z ČOV. Při podezření na zvýšené odtoky odlehčených vod je vhodné provést terénní průzkum a monitorovat koncentrace celkového a fosforečnanového fosforu za běžných i zvýšených průtoků v kanalizaci. Informace o funkci odlehčovacích komor lze také získat od provozovatele veřejné kanalizace.

V případě, že v evidencích nejsou uvedeny údaje o množství nebo koncentracích vypouštěného znečištění, je možné vypouštěné množství celkového fosforu odvodit na základě charakteristických hodnot produkce celkového fosforu vztažených na jednoho obyvatele a způsobu zneškodňování odpadních vod. Z nejnovějších studií vyplývá, že průměrná produkce celkového fosforu v odpadních vodách na obyvatele je 1,75 g/den (Hejzlar 2010, Krása et al., 2013).

Podle způsobu nakládání s odpadními vodami v části obce je nutné stanovit množství fosforu, které se dostane do recipientu. Toto množství je závislé na počtu obyvatel využívajících různé způsoby nakládání s odpadními vodami a také na přítomnosti nebo absenci některého typu kanalizace odvádějící nečištěné nebo částečně vyčištěné odpadní vody do recipientu. V tabulce (Tab. 1) jsou uvedeny koeficienty zbytkového znečištění pro různé typy zneškodňování odpadních vod. Hodnota 0 znamená, že veškeré znečištění fosforem je zachyceno v obci, zatímco hodnota 1 znamená, že veškeré produkované znečištění odeče z území obce.

Tab. 1 Koeficienty zbytkového znečištění pro typy zneškodňování odpadních vod v obcích bez kanalizace zakončené centrální ČOV (částečně použity údaje podle Hejzlar 2010 a Krása et al., 2013 - upraveno)

Typ zneškodňování odpadních vod	Přítomna kanalizace nebo přímé vypouštění do recipientu	Koeficient zbytkového znečištění
Bezodtoké jímky	NE	0
Septiky	NE	0,1
Bezodtoké jímky	ANO	0,3
Septiky	ANO	0,6
Domovní ČOV (DČOV)	ANO	0,6
Přímé vypouštění bez čištění	ANO	1

K výpočtu množství celkového fosforu na odtoku z obce lze použít obecnou rovnici [2], která zahrne všechny přítomné způsoby zneškodňování vod v obci s výjimkou oddílné kanalizace zakončené centrální čistírnou odpadních vod:

$$P_{OBC} = \sum_{i=1}^N (P_i \cdot N_i \cdot k_i) \quad [2]$$

kde

P_{OBC} je množství celkového fosforu odtékající z části obce

P_i je specifická produkce celkového fosforu na obyvatele za den (doporučeno používat hodnotu 1,75 g/den)

N_i je počet obyvatel využívajících specifický typ zneškodňování odpadních vod

k_i je koeficient zbytkového znečištění pro specifický typ zneškodňování odpadních vod

V případě částí obcí, kde nejsou odpadní vody zaústěny do kanalizace (jednotné, dešťové) nebo přímo do recipientu, je nutné vypouštěné znečištění dále redukovat v závislosti na vzdálenosti od nejbližšího vodního toku nebo nádrže napojené na říční síť. Pro tyto účely lze použít součinitele přestupu fosforu do říční sítě uvedené v metodice Krása et al. (2013) v kapitole 4.2. V případě, že vypusti septiků, přepady z DČOV nebo přímé vypouštění odpadních vod je zaústěno do příkopu nebo vsakováno do terénu a ve vzdálenosti do 0,5 km se nenachází žádný trvalý tok, lze předpokládat, že znečištění bude zcela eliminováno a do říční sítě nebude vstupovat. V případě, že bude vzdálenost míst vypouštění menší než 0,5 km, bude koeficient přestupu závislý na řádu toku podle Strahlera a bude se pohybovat v rozmezí od 0,2 pro toky 1. řádu po 0,5 pro toky 2. a vyššího řádu. Při pochybnostech je možné ověřit míru ovlivnění recipientu terénním průzkumem obce a v případě významnějších vypouštění i cíleným monitoringem fosforu.

U obcí, kde se vyskytuje jak oddílná nebo jednotná kanalizace s koncovou ČOV, tak i individuální vypouštění odpadních vod do dešťové kanalizace nebo recipientu, je vhodné evidovat oba rozdílné typy vypouštění samostatně.

Bodové zdroje průmyslových odpadních vod

Emise celkového fosforu z průmyslových bodových zdrojů představují ve srovnání s městskými odpadními vodami relativně malý vnos znečištění ve většině povodí. Vypouštění z řady průmyslových provozů navíc není přímé, ale je napojeno na veřejnou kanalizaci a některou z městských čistíren odpadních vod.

Z tohoto důvodu je vhodné v případě průmyslových zdrojů celkového fosforu vycházet z celostátních evidencí, které shromažďují údaje o vypouštěném množství fosforu, případně o množství vypouštěné odpadní vody a průměrných ročních koncentracích celkového fosforu v odpadní vodě. Údaje lze získat z následujících evidencí:

- Evidence vypouštění vod pro potřeby sestavení vodní bilance. Evidenci spravují státní podniky Povodí.
- Majetková a provozní evidence vodovodů a kanalizací: část kanalizace a ČOV. Evidenci spravuje Ministerstvo zemědělství ČR.
- Integrovaný registr znečištění: přenosy látek v odpadních vodách a úniky látek do vody. Evidenci spravuje Ministerstvo životního prostředí.
- Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností (ISPOP). Evidenci spravuje CENIA, česká informační agentura životního prostředí.

Pokud evidence neobsahují údaje o produkci celkového fosforu, je nutné získat příslušná data přímo od provozovatele nebo zajistit data monitoringem v místě vypouštění odpadních vod do recipientu. Monitoring vypouštěných odpadních vod lze doporučit také v případě, že data získaná z evidencí jsou příliš nízká s ohledem na typ provozu a použité technologie čištění odpadních vod.

Mimoerozní vstupy fosforu ze zemědělství

Pro určení vstupu celkového fosforu ze zemědělských ploch za běžných srážko-odtokových situací je možné použít charakteristické koncentrace odtoku celkového fosforu vztažené k půdním typům, jak jsou uvedeny v metodice Krása et al. (2013) nebo metodice Vyskoč et al. (2014). Průměrné roční koncentrace celkového fosforu pro půdní typy zastoupené na území ČR podle půdní mapy v měřítku 1:200 000 (Němeček et al., 1996) jsou uvedeny v Tab. 2.

V případě, že hodnocené povodí je velmi geologicky a půdně heterogenní nebo existují informace o výrazně zvýšených hodnotách dostupného fosforu dle Mehlicha (např. z databáze agrochemického zkoušení zemědělských půd Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského - ÚKZÚZ) na větším počtu zemědělských pozemků, je doporučeno provést účelový monitoring čistě zemědělských povodí a na základě analýzy získaných dat upravit charakteristické koncentrace pro jednotlivé půdní typy nebo vztáhnout zjištěná měření přímo ke konkrétním pozemkům.

Pro odvození vstupů celkového fosforu ze zemědělských půd v konkrétní části povodí je nutné v rámci zemědělských pozemků zjistit zastoupení půdních typů s použitím geografické vrstvy půdních typů (podle Němeček et al., 1996). Takto odvozeným dílčím jednotkám se přiřadí charakteristické koncentrace celkového fosforu podle Tab. 2. Roční odtok fosforu se následně vypočítá jako součin vážené koncentrace celkového fosforu (podle plochy půdních typů) v příslušném povodí a ročního specifického odtoku v povodí nebo jeho části. Vstup celkového fosforu je vztažen k uzávěrovému profilu povodí IV. řádu nebo k profilu reprezentujícímu úsek toku v jemném členění.

Vzhledem k tomu, že mimoerozní odtok z pozemků probíhá současně i s přirozeným odtokem fosforu z plochy (přirozené pozadí) a data použitá pro výpočet odtoku jsou odvozována z dat monitoringu, je vhodné provést ve výsledku odečtení vstupů fosforu z přirozeného pozadí v ploše zastoupených zemědělských půd. Pro odvození pozadových koncentrací celkového fosforu v povodí lze využít postupy popsané v kapitole 2.3 této metodiky. V oblastech s malou intenzitou hospodaření

na zemědělských půdách se může stát, že celkový odtok fosforu ze zemědělských půd po odečtení vstupů z přirozeného pozadí bude velmi nízký nebo nulový.

Tab. 2 Charakteristické koncentrace celkového fosforu v odtoku ze zemědělských půd podle půdních typů (převzato z metodiky Vyskoč et al., 2014)

Kód	Klasifikace půd dle MKSP	Klasifikace půd dle FAO	Koncentrace celkového fosforu (mg/l)
1	2	3	4
1	Litozem (typická)	Lithosol (Eutric, Dystric, Calcaric)	0,03
3	Ranker (bez rozlišení subtypu)	Ranker	0,03
4	Rendzina (typická)	Rendzina	0,04
6	Rendzina kambizemní	Cambic Rendzina	0,04
8	Pararendzina (typická)	Calcaric Regosol	0,04
9	Pararendzina kambizemní	Calcaric Regosol	0,04
10	Pararendzina pseudoglejová	Calcaro-gleyic Regosol	0,04
12	Smonica (typická)	Pellic Vertisol, Calcaropellic Vertisol	0,05
13	Černozem (typická)	Haplic Chernozem	0,05
14	Černozem arenická	Haplic Chernozem	0,05
15	Černozem pelická	Verti-haplic Chernozem, Verti-haplic Phaeozem	0,05
16	Černozem hnědozemní	Luvi-haplic Chernozem	0,05
17	Černozem černicová	Haplic Phaeozem	0,05
18	Černice (typická)	Fluvi-gleyic Phaeozem	0,05
19	Černice arenická	Fluvi-gleyic Phaeozem	0,05
20	Černice pelická	Fluvi-gleyic Phaeozem	0,05
21	Černice glejová	Fluvi-mollic Gleysol	0,05
23	Šedozem (typická)	Orthic Greyzem	0,05
24	Šedozem hnědozemní	Orthic Greyzem, Luvic Chernozem	0,05
25	Hnědozem (typická)	Orthic Luvisol	0,045
27	Hnědozem luvizemní	Luvisol	0,04
28	Hnědozem pseudoglejová	Stagno-gleyic Luvisol	0,04
29	Luvizem (typická)	Albic Luvisol	0,09
30	Luvizem arenická	Albic Arenosol	0,09
31	Luvizem pseudoglejová	Albo-gleyic Luvisol	0,09
32	Kambizem (typická)	Eutric Cambisol	0,06
33	Kambizem arenická	Cambic Arenosol	0,04
34	Kambizem pelická	Vertic Cambisol	0,04
35	Kambizem eutrofní	Mollic Cambisol, Eutric Cambisol	0,08
36	Kambizem luvizemní	Luvic Cambisol	0,06
37	Kambizem pseudoglejová	Stagno-gleyic Cambisol	0,04
40	Kambizem (typická) varieta kyselá	Dystric Cambisol	0,04
41	Kambizem arenická varieta kyselá	Areno-dystric Cambisol	0,04
43	Kambizem pseudoglejová varieta kyselá	Stagno-gleyic Cambisol	0,04
44	Kambizem dystrická	Dystric Cambisol	0,035
45	Kambizem arenická varieta silně kyselá	Areno-dystric Cambisol	0,04
47	Pozdol (typický)	Ferro-humic Podzol	0,02
48	Pozdol arenický	Ferro-orthic Podzol, Lepto-orthic Podzol	0,02
49	Pozdol kambizemní	Spodo-dystric Cambisol	0,02
52	Pseudoglej primární	Dystric Planosol	0,045
53	Pseudoglej luvizemní	Plano-gleyic Luvisol	0,045
55	Pseudoglej organozemní	Histo-humic Planosol	0,04
56	Glej (typický)	Eutric Gleysol	0,12
58	Glej organozemní	Histo-humic Gleysol	0,12
59	Organozem (bez rozlišení subtypu)	Eutric Histosol, Dystric Histosol	0,035

Kód	Klasifikace půd dle MKSP	Klasifikace půd dle FAO	Koncentrace celkového fosforu (mg/l)
1	2	3	4
60	Fluvizem (typická)	Eutric Fluvisol	0,12
62	Fluvizem arenická	Areno-Eutric Fluvisol	0,12
65	Fluvizem glejová	Gleyic Fluvisol	0,08
66	Kultizem (bez rozlišení typu)	-	0,04

Vysvětlivky:

- sl. 1 Kód půdního typu v Digitální mapě půd 1:200 000 (podle Němeček et al., 1996)
- sl. 2 Půdní typ podle morfogenetické klasifikace půdních typů (1991)
- sl. 3 Půdní typ podle klasifikace FAO (1970)
- sl. 4 Charakteristické koncentrace celkového fosforu v odtoku ze zemědělských půd podle Krása et al. (2013)

Erozní smyv a transport fosforu v sedimentu

Výpočet množství celkového fosforu transportovaného ze zemědělských pozemků při erozně účinných srážkách představuje složitou úlohu, která zahrnuje jak proces eroze půdy na pozemcích, jeho transport do hydrografické sítě i následně hydrografickou sítí, tak i dílčí procesy, které ovlivňují množství a poměr forem fosforu transportovaného do říční sítě.

O množství celkového fosforu, který může být během erozních událostí uvolněn z pozemku a dále transportován, rozhoduje obsah celkového fosforu v půdě a současně i velikost ztráty půdy, která určuje nejen celkové množství erodovaných částic, ale také poměr v jakém dojde k obohacení transportovaného sedimentu fosforem. Během erozního procesu totiž dochází k selektivnímu vymývání jemnějších půdních částic, které vzhledem k velkému specifickému povrchu obsahují větší podíl sorbovaného fosforu.

Pro odhad množství celkového fosforu transportovaného sedimentem z pozemků je možné použít tradiční způsob, založený na určení obsahu fosforu v půdě, modelování eroze, určení poměru obohacení transportovaného sedimentu fosforem a snížení množství transportovaného sedimentu i fosforu na základě poměru odnosu. Podrobně je tento způsob odhadu erozního odtoku fosforu popsán v metodice Krása et al. (2013).

Pro určení obsahu celkového fosforu v zemědělských půdách, které podléhají erozi, lze využít souhrnné údaje publikované v práci Beneše (1993). Ten na základě analýzy velkého množství půdních vzorků odvodil charakteristické obsahy celkového fosforu v závislosti na typech hornin a nejčastěji asociovaných půdních typech. Z výsledků vyplývá, že výrazně vyšší obsahy celkového fosforu v půdách lze očekávat v oblastech s vyvrělými horninami a také v některých oblastech s metamorfovanými horninami (např. ortoruly, svory). Naopak převážně nízké obsahy celkového fosforu lze očekávat v oblastech se sedimentárními horninami. Charakteristické obsahy celkového fosforu v půdách ve svrchním půdním horizontu a v průměru za celý půdní profil uvádí převzatá a upravená tabulka (Tab. 3).

Tab. 3 Obsahy celkového fosforu v půdách na různých matečných horninách podle Beneše (1993) – upraveno a doplněno o půdní typy podle MKSP.

matečná hornina		půdní typ podle Beneše (1996)	půdní typy podle MKSP	obsah fosforu v půdě (mg/kg)	
				svrchní horizont	průměr
vyvěřiliny	kyselé	hnědá půda kyselá hnědá půda nasycená hnědá půda podzolovaná hnědá půda slabě oglejená	kambizem (typická) varieta kyselá kambizem dystrická kambizem eutrofní podzol kambizemní kambizem pseudoglejová	1650	1440
	neutrální	hnědá půda nasycená	kambizem eutrofní	3470	3220
	bazické	hnědá půda nasycená hnědá půda slabě oglejená	kambizem eutrofní kambizem pseudoglejová	2450	2710
metamorfované horniny	pararuly	hnědá půda kyselá hnědá půda nasycená hnědá půda podzolovaná hnědá půda slabě oglejená	kambizem (typická) varieta kyselá kambizem dystrická kambizem eutrofní podzol kambizemní kambizem pseudoglejová	950	1100
	ortoruly	hnědá půda kyselá hnědá půda podzolovaná podzolovaná půda	kambizem (typická) varieta kyselá kambizem dystrická podzol kambizemní podzol (typický)	1320	840
	granulity	hnědá půda kyselá	kambizem (typická) varieta kyselá kambizem dystrická	600	460
	svory	hnědá půda kyselá	kambizem (typická) varieta kyselá kambizem dystrická	1270	680
	fylity	hnědá půda	kambizem (typická)	600	460
	svahoviny na pararulách	Illimerizovaná půda oglejená půda glejová půda	luvizem (typická) pseudoglej primární glej (typický)	1500	900
sedimentární horniny	písky	hnědá půda podzolovaná půda	kambizem (typická) podzol (typický)	330	200
	permské slepence a pískovce	hnědá půda	kambizem (typická)	450	310
	křídové pískovce	hnědá půda hnědá půda illimerizovaná	kambizem (typická) kambizem luvizemní	400	110
	opuky	hnědá půda rendzina	kambizem (typická) rendzina kambizemní	350	360
	nevápnité nivní sedimenty	nivní půda	fluvizem (typická)	520	430
	nevápnité nivní sedimenty	nivní půda glejová glejová půda	fluvizem glejová glej (typický)	730	600
	spraše	černozem černozem karbonátová černozem degradovaná	černozem (typická) černice (typická) černozem hnědozemní	330	220
	spraše	černozem smonica hnědozem	smonica (typická) hnědozem (typická)	250	210
	sprašové hlíny	hnědozem hnědozem illimerizovaná	hnědozem (typická) hnědozem luvizemní		180
	sprašové hlíny	Illimerizovaná půda Illimerizovaná půda oglejená	luvizem (typická) luvizem pseudoglejová	340	500
	permské jílovce	hnědá půda	kambizem (typická)	550	490
	křídové slíny	rendzina oglejená půda černozem karbonátová černozem smonica	rendzina kambizemní pseudoglej primární černice (typická) smonica (typická)	620	340
	neogenní slíny	oglejená půda hnědozem černozem smonica	pseudoglej primární hnědozem (typická) smonica (typická)	950	810

matečná hornina	půdní typ podle Beneše (1996)	půdní typy podle MKSP	obsah fosforu v půdě (mg/kg)	
			svrchní horizont	průměr
paleogenní jílovce	oglejená půda hnědá půda slabě oglejená	pseudoglej primární kambizem pseudoglejová	850	720
svahoviny na algonkických břidlicích	hnědá půda hnědozem Illimerizovaná půda Illimerizovaná půda oglejená	kambizem (typická) hnědozem (typická) luzizem (typická) luzizem pseudoglejová	400	420

Pro určení obsahu celkového fosforu v půdách v hodnoceném povodí mohou být využity údaje o horninách a půdních typech z následujících databází:

- Digitální mapa hlavních půdních jednotek BPEJ. Evidenci spravuje VÚMOP, v.v.i.
- Digitální mapa půdních typů v měřítku 1:200 000 (Němeček et al., 1996). Data spravuje ČZU.
- Geologická mapa České republiky 1:50 000 (GEOČR50). Data spravuje Česká geologická služba
- Geologická mapa České republiky 1:500 000. Data spravuje Česká geologická služba

Vždy je vhodné využít podrobná data – tedy v případě půdních typů mapu hlavních půdních jednotek BPEJ a v případě hornin mapu GEOČR50. V obou případech se jedná o mapová díla, jejichž využití ve formě geografických vrstev je zpoplatněno. V případě, že konkrétní analýza nebo projekt neumožňují nákup těchto dat, lze využít méně podrobná data půdních i geologických map, uvedená v přehledu.

Pro přiřazení obsahů celkového fosforu v půdách podle Tab. 3 je nutné nejprve provést geografickou analýzu (průnik) půdní a geologické mapy a podle výsledné kombinace hornina-půdní typ přiřadit příslušnou hodnotu. V případě, že hodnota pro určitou kombinaci není uvedena v tabulce, použije se primárně příslušnost ke geologickému typu.

Alternativně lze také využít případná přímá měření obsahu celkového fosforu v půdách, která jsou k dispozici v ÚKZÚZ pro několik desítek lokalit na území celé ČR (na rozdíl od plošného stanovení přístupného fosforu dle Mehlicha pro každý pozemek), nebo provést přímé stanovení obsahu celkového fosforu v půdních vzorcích, odebraných v hodnoceném povodí. Takové stanovení je účelné provést především tam, kde lze očekávat vysoké hodnoty dostupného fosforu dle Mehlicha např z databáze AZPP nebo kde jsou přítomny neobvyklé kombinace matečných hornin a půdních typů.

Dalším krokem postupu je odvození průměrné roční ztráty půdy pro konkrétní povodí nebo půdní blok (LPIS). V současné době jsou k tomuto účelu využívány modely založené na principu Univerzální rovnice ztráty půdy (USLE) podle Wischmeier et Smith (1978). Způsob aplikace metody USLE a odvození vstupních parametrů klasickými postupy v podmínkách České republiky popisuje certifikovaná metodika Janeček et al. (2012). Použití metody USLE pro velká povodí a prostředky GIS popisuje certifikovaná metodika Dostál et al. (2013).

Obsah celkového fosforu uvolněného erozí na pozemcích a transportovaného dále do nejbližších toků lze odvodit na základě mapy obsahu celkového fosforu v půdách, mapy průměrné roční ztráty půdy a poměru obohacení erodované půdy fosforem. Pro výpočet poměru obohacení lze

využít rovnici, kterou odvodil Sharpley (1985) a která popisuje negativní závislost mezi erozním smyvem a poměrem obohacení:

$$\ln(ER) = 1,21 - 0,16 \cdot \ln(G) \quad [3]$$

kde

ER je poměr obohacení

G je průměrná roční ztráta půdy v kg/ha za rok

Posledním krokem postupu je výpočet ztrát fosforu vlivem zadržení části erodovaného a transportovaného materiálu přímo na pozemcích nebo při transportu v povodí v depresích, vlivem retenčních prvků apod. K tomuto účelu je obvykle používán tzv. poměr odnosu splavenin (sediment delivery ratio – SDR), který určuje, jaký podíl splavenin je transportován mimo vymezené povodí. Běžně je k tomuto účelu používána rovnice podle Williamse (1978). Její nevýhodou je, že uplatňuje celistvý přístup na hodnocené povodí a nerespektuje specifické rozmístění retenčních prvků ve vztahu k transportovaným splaveninám. Výhodnější je proto použít některý ze simulačních modelů, který uplatňuje distributivní přístup a je schopen odvodit jak transportované množství, tak i místo nebo úsek vstupu do říční sítě (např. WATEM/SEDEM nebo fyzikálně založený a epizodní EROSION3D).

Výsledkem celého výpočtu je průměrné roční množství celkového fosforu v kg vstupující do říční sítě v rámci dílčího povodí nebo v rámci konkrétního úseku toku v jemném členění.

Rybářské hospodaření v povodí

Vhodným způsobem, jak odvodit vstup celkového fosforu z rybářského hospodaření v konkrétní vodní nádrži (rybníce) je kvantifikace bilančního rozdílu (salda), postupem, který je uveden v metodice Krása et al. (2013). Zde je bilanční rozdíl odvozen na základě množství fosforu v použitých krmivech a hnojivech a v násadě ryb, od kterých se odečítá množství fosforu ve vylovených rybách.

Alternativní metodou, kterou je možné odvodit vliv rybářského hospodaření, je podrobný bilanční monitoring přítoku/přítoků a odtoku z rybníka. Na základě pravidelného monitoringu koncentrací forem fosforu a měření průtoků lze odvodit, zda rybník přispívá k zatížení níže ležících toků nebo působí jako retenční prvek, který snižuje celkové koncentrace fosforu v říční síti. Aby bylo možné současně eliminovat vliv přirozené retence fosforu, který přitéká z povodí do nádrže, je nutné kvantifikovat, jaká část tohoto fosforu se v rybníce zadrží pomocí klasického Vollenweiderova modelu modifikovaného pro vodní nádrže Hejzlarem et al. (2006). Vypočtené množství je nutné odečíst od celkového vstupu do nádrže.

Při posuzování celkové retence fosforu je důležité mít informace o způsobu vypouštění vody z nádrže. Zejména ve stratifikovaných nádržích, kde dochází v letním období k uvolňování fosforu ze sedimentů v anaerobních podmínkách, může odpouštění vody základovými výpustmi snižovat retenční účinnost nádrže. Současně je vhodné retenci rybníků posuzovat i s ohledem na systém hospodaření, který je spojen s napouštěním, chovem a výlovem ryb. Např. v případě dvouhorkového hospodaření (dvouletý cyklus) je vhodné posuzovat bilanci fosforu za celé dva roky, nikoliv pro každý rok zvlášť.

Specifický vstup fosforu z rybníků do říční sítě je spojen s obdobím výlovu, kdy dochází k odtoku velkého množství fosforu převážně v partikulované formě. Tento vstup lze kvantifikovat prakticky jen přímým monitoringem během samotného výlovu. Hodnoty koncentrací celkového fosforu v odtoku během výlovu rybníků se pohybují obvykle v jednotkách až desítkách mg/l. (Mikšíkové et al., 2012; a Potužák et Duras, 2012). Maximální zjištěné hodnoty dokonce dosáhly 127 mg/l

Vstup fosforu atmosférickou depozicí

Pro kvantifikaci vstupu celkového fosforu atmosférickou depozicí na volné ploše (metoda „bulk“) lze využít nečetné studie z území ČR nebo některých sousedních států. Dlouhodobé studie pocházejí z povodí Vltavy, z nádrží Slapy a Římov (Kopáček et al., 1997). Zajímavé výsledky poskytuje také dlouhodobá studie z lesních porostů na území Spolkové republiky Německo (Ilg et al., 2009). V případě obou studií se průměrné hodnoty atmosférické depozice fosforu pohybují na podobné úrovni v rozmezí 0,12-0,31 kg/ha za rok, resp. 0,1-0,5 kg/ha za rok. V jednotlivých projektech Labe, Odry a Moravy řešených ve VÚV TGM v 90. letech byly zjištěny roční úhrny atmosférické depozice v rozmezí od 0,23 do 0,9 kg/ha s tím, že nejnižší obsahy byly zjištěny pro povodí Labe a nejvyšší pro povodí Odry.

Pokud přímo v hodnoceném povodí nejsou k dispozici přímá měření depozice celkového fosforu, doporučuje se používat jednu hodnotu pro všechny hodnocené nádrže v povodí ve výši 0,25 kg/ha za rok.

Ostatní vstupy

Pro všechny ostatní vstupy neuvedené v předchozích kapitolách je vhodné odvodit vstup celkového fosforu do říční sítě nebo nádrží v hodnoceném povodí na základě terénního průzkumu a monitoringu míst emisí nebo bilančního monitoringu nad a pod místem předpokládaného vstupu znečištění do toků a nádrží. Pokud nelze takový monitoring provést, doporučuje se použít některou z metod uvedených v předchozích kapitolách (podle podobnosti charakteru emisí ze zdroje).

2.5.2 Odvození ročních vstupů fosforečnanového fosforu do vod (B)

Vstup fosforečnanového fosforu z jednotlivých zdrojů je použit v této metodice jako míra eutrofizačně účinné formy fosforu. Nahrazuje zde biologicky dostupný fosfor (BAP), který jako zásadní pro eutrofizaci vod a rozvoj řas a sinic popisují Reynolds et Davies (2001). Roční vstup fosforečnanového fosforu je hlavním vstupem do rovnice, která odvozuje pro každý jednotlivý zdroj jeho eutrofizační potenciál ve vztahu k hodnocené nádrži.

Bodové zdroje městských odpadních vod

Pro bodové zdroje městského a venkovského charakteru je optimální, pokud existují přímá měření koncentrací fosforečnanového fosforu, který vstupuje v místě vypouštění do říční sítě. Obvykle jsou však taková data dostupná pouze pro velké zdroje. Proto je nutné najít pro zbylá vypouštění vhodné koeficienty, kterými se množství fosforečnanového fosforu vypočítá z emisí celkového fosforu. Podle způsobu zneškodňování odpadních vod se obvykle podíl rozpuštěných forem fosforu pohybuje v rozmezí 80-90 % (např. Neal et al., 2005; Millier et Hooda, 2011). Doporučujeme proto v případě nemonitorovaných zdrojů odvodit vstup fosforečnanového fosforu z emisí celkového fosforu násobením koeficientem 0,9.

Pokud panují pochybnosti o výši podílu fosforečnanového fosforu ve vypouštění, může být proveden jednorázový monitoring vypouštěných odpadních vod pro stanovení forem fosforu. Takový monitoring by měl být proveden za ustálených podmínek a v době, kdy vypouštění vod není ovlivněno srážkami a odlehčením nebo nefunkčností čistírny odpadních vod.

Bodové zdroje průmyslových odpadních vod

Pro průmyslové zdroje znečištění mohou být pro odvození podílu fosforečnanového fosforu použity stejné postupy jako v případě městských odpadních vod (koeficient 0,9). Vzhledem k menšímu množství potenciálních zdrojů v povodí se ale doporučuje provést cílený monitoring odpadních vod a podíly rozpuštěného fosforu určit pro každý jednotlivý zdroj individuálně.

Mimoerozní vstupy fosforu ze zemědělství

Množství rozpuštěného fosforu v odtoku ze zemědělských půd za běžných srážko-odtokových situací je relativně proměnlivé a pohybuje se obvykle v rozmezí 30-70 % z celkového fosforu. Mohou ho ovlivnit procesy v korytě spojené s rozvojem nárostových řas, vnos sedimentu při mírném zvýšení průtoků, procesy v drenážních systémech apod. Pro účely této metodiky doporučujeme používat pro odvození podílu fosforečnanového fosforu na celkovém odtoku fosforu ze zemědělských ploch koeficient 0,6.

V případě hodnocení malého povodí cílové nádrže lze provést cílený monitoring čistě zemědělských povodí a odpovídající vstupy rozpuštěného fosforu odvodit měřením průtoku a koncentrací. Vzhledem k relativně malému eutrofizačnímu potenciálu tohoto typu zdroje doporučujeme provádět monitoring jen v případě podezření na zvýšené vstupy fosforu ze zemědělských ploch.

Erozní smyv a transport fosforu v sedimentu

Podíl rozpuštěných forem fosforu v erozním smyvu a transportovaném sedimentu bývá již z podstaty velmi nízký. Literární údaje obvykle udávají rozmezí 1-25 % z celkového fosforu (např.

Sharpley et al., 1992). Z nečetných přímých měření obsahu fosforu v erozním smyvu na zemědělských pozemcích nebo v tocích na území České republiky vyplývá, že skutečný podíl rozpuštěných forem fosforu při erozních epizodách bude malý a bude dosahovat nejvýše 1-5 % z celkového transportovaného fosforu (např. Fiala et Rosendorf, 2009; Janotová, nepubl.). Pro potřeby této metodiky proto doporučujeme použít pro odvození podílu fosforečnanového fosforu z celkového fosforu transportovaného erozí koeficient 0,03.

Alternativní přístup přímého určení emisí rozpuštěného fosforu z erozního materiálu představuje metoda odvozená v rámci výzkumného projektu NAZV QI102A265. Metoda vychází ze schopnosti půdních částic vázat, případně uvolňovat rozpuštěný fosfor v závislosti na koncentračním gradientu ve vodním prostředí, do kterého se půdní částice dostane. Současně také počítá s tím, že o potenciálu uvolnění rozpuštěného fosforu z erozní částice rozhoduje obsah přístupného fosforu v půdách (odvozená metodou Mehlich 3), který se mění v závislosti na způsobu hospodaření a hnojení pozemků. Způsob výpočtu včetně rovnic a koeficientů je uveden v certifikované metodice Krása et al. (2013). Pro aplikaci metody je nutné mít k dispozici:

- výsledky hodnocení ztráty půdy
- obsahy přístupného fosforu v půdách (dle Mehlich 3). Data spravuje ÚKZÚZ
- koncentrace fosforečnanového fosforu v recipientu

Metoda dosud nebyla testována v terénních podmínkách, nicméně její potenciál spočívá v tom, že umožňuje stanovit, zda při transportu erozního sedimentu do toků z pozemků různě zásobených fosforem bude docházet k uvolňování rozpuštěného fosforu do roztoku nebo bude naopak docházet k sorpci fosforu na půdní částice transportované odtokem. Vliv erozního smyvu na eutrofizaci koncové nádrže tak může být jak negativní, tak pozitivní.

V případě erozního fosforu je v této metodice řeč pouze o eutrofizačně účinném fosforu, transportovaném v rozpuštěné podobě. Fosfor partikulovaný, který představuje dominantní podíl celkového fosforu transportovaného hydrografickou sítí během erozních událostí a který je z velké části deponován ve vodních nádržích, se může za určitých podmínek stát druhutným zdrojem eutrofizace. Případný vliv sedimentů na vnitřní cyklus fosforu v nádrži lze eliminovat specifickými technickými zásahy v nádržích (aplikace chemických látek do vodního sloupce nebo na sedimenty, aerace apod.) nebo vhodnou biomanipulací nádrže.

Rybářské hospodaření v povodí

Podíl rozpuštěných forem fosforu na odtoku z rybářsky obhospodařovaných nádrží je velmi proměnlivý a silně závisí na způsobu a intenzitě hospodaření a způsobu zatížení z povodí. Z prováděných podrobných studií na různých typech rybníků v jižních Čechách (Duras et Potužák, 2012) vyplývá, že podíl rozpuštěného fosforu se může pohybovat v širokém rozmezí od 10-80 %. Vzhledem k velmi širokému rozpětí podílu rozpuštěného fosforu ku celkovému, je doporučeno určit podíl monitorováním odtoku z konkrétní nádrže (rybníka) v různých obdobích roku.

V případě velkých a významných rybníků nebo jejich soustav doporučujeme provádět přímý monitoring rozpuštěných forem fosforu během celého roku a výslednou hodnotu použít pro výpočet jejich eutrofizačního potenciálu.

Určitou nejistotu v určení vlivu obhospodařovaných rybníků představuje odtok částicového fosforu, který je vázán v biomase fytoplanktonu. Tento zdroj fosforu je relativně snadno uvolnitelný a může kromě samotného fosforečnanového fosforu negativně ovlivnit eutrofizaci cílové nádrže.

Vstup fosforu atmosférickou depozicí

Obvyklý podíl rozpuštěných forem fosforu na množství celkového fosforu se v monitorovaných datech atmosférické depozice pohybuje kolem 50 % (Kopáček et al., 1997). Pro účely této metodiky proto doporučujeme používat pro odvození množství fosforečnanového fosforu, který vstupuje na hladinu hodnocených nádrží koeficient 0,5.

Ostatní vstupy

Způsob odvození podílu eutrofizačně účinného fosforu v případě ostatních zdrojů je závislý na typu konkrétního zdroje. Lze využít buď některý z koeficientů uvedených v předchozích kapitolách, nebo zjistit množství eutrofizační účinného fosforu přímým monitoringem zdroje.

2.5.3 Zjištění vzdálenosti místa vstupu fosforu ze zdroje od hráze hodnocené nádrže (C)

Význam této charakteristiky při určení eutrofizačního potenciálu konkrétního zdroje spočívá v zahrnutí retenčních a transformačních procesů, ke kterým dochází v říční síti mezi místem vstupu znečištění do toku a hrází cílové nádrže.

Nejprve je nutné zjistit celkovou vzdálenost od místa vstupu fosforu ze zdroje znečištění k hrázi hodnocené nádrže. K tomuto účelu je vhodné použít geografickou vrstvu říční sítě (např. DIBAVOD, CEVT) a pomocí geografické analýzy odečíst celkovou délku hodnoceného úseku v kilometrech.

Vzhledem k tomu, že retence fosforu se může výrazně lišit v závislosti na velikosti toku, je potřeba současně určit dílčí délky toků, které reprezentují různé řády podle Strahlera. Údaj o délce toků příslušných řádů je v dalším kroku metodiky použit pro výpočet váženého retenčního koeficientu rozpuštěného fosforu v tocích. Odvození řádu toků podle Strahlera je možné provést s vrstvou říční sítě DIBAVOD v jemném členění s použitím GIS. Při tvorbě vrstvy je nutné odvodit předem řády toků v oblastech, kde významná část povodí leží mimo území ČR a pro takové povodí není k dispozici odpovídající struktura říční sítě. Ve výchozí vrstvě musejí být také eliminovány struktury, které neodpovídají přirozené říční síti (kanály, drenáže, lesní odvodnění), aby nedocházelo k chybám v odvození řádu.

2.5.4 Zjištění souhrnné teoretické doby zdržení vody v nádržích na tocích mezi zdrojem a vstupem do nádrže (D)

Průtočné vodní nádrže na říční síti představují ve všech povodích významný transformační a retenční prvek, který je schopen odstranit významnou část fosforu z přitékající vody. Míra odstranění fosforu v konkrétní nádrži je závislá na objemu nádrže a průměrném průtoku. Tyto dvě veličiny charakterizují každou nádrž teoretickou dobou zdržení. Teoretická doba zdržení je používána ve většině empirických modelů, které popisují schopnost retence fosforu v různých typech nádrží a jezer (např. Larsen et Mercier, 1976; OECD, 1982; Hejzlar et al., 2006).

V této metodice je souhrnná teoretická doba zdržení používána pro výpočet celkové retence fosforečnanového fosforu v průtočných nádržích, lokalizovaných na průtokové cestě mezi zdrojem fosforu v povodí a vzdutím hodnocené nádrže.

Pro odvození teoretické doby zdržení v každé nádrži je nutné znát její celkový objem a také průměrný roční průtok. V případě velkých vodních nádrží a některých rybníků jsou tyto charakteristiky dostupné v databázích státních podniků Povodí. Pro ostatní nádrže a rybníky je potřeba tyto charakteristiky odvodit. Objem nádrže je možné vypočítat jako součin celkové plochy a průměrné hloubky. Průměrný průtok v místě nádrže lze odvodit pomocí analogie k některé z vodoměrných stanic. Pokud to není možné (příliš vzdálený profil, malý přítok apod.), lze využít hodnoty specifického odtoku v hodnoceném povodí a plochy povodí odvozené k profilu hráze nádrže. Rámcovou správnost výpočtu průtoku je vhodné ověřit terénním měřením na přítoku do nádrží.

2.5.5 Charakterizace vstupu fosforu ze zdroje – sezónnost (E)

Mezi významné charakteristiky jednotlivých zdrojů fosforu v povodí patří také rozdělení množství emisí v průběhu roku. Některé zdroje jsou charakteristické vyrovnanými emisemi během celého roku (např. bodové zdroje městských odpadních vod), jiné zdroje jsou naopak typické epizodním odtokem nebo výrazným vrcholem odtoku v určitém období roku (např. transport erozních splavenin).

Z pohledu eutrofizace cílových nádrží je důležité v jakém období se eutrofizačně účinný fosfor dostane ze zdroje do nádrže. V případě, že přitéká v době vegetační sezóny, může být okamžitě využit pro tvorbu biomasy řas a sinic (nebo obecně autotrofních organismů). V opačném případě může bez většího efektu projít nádrží a jeho eutrofizační účinek se neprojeví.

U nádrží s dlouhou nebo velmi dlouhou dobou zdržení ($> \frac{1}{2}$ roku) se uplatní všechny typy vstupů, bez ohledu na jejich sezónnost. Se zkracující se dobou zdržení nádrží může být potlačen význam zdrojů, které jsou emitovány významněji pouze v mimovegetačním období. Příkladem takových zdrojů je mimoerozní odtok ze zemědělských ploch, který může v extrémních případech suchých období v létě zcela vymizet. Pro nádrže, které mají dobu zdržení kratší než 3 měsíce, se doporučuje snížit množství rozpuštěného fosforu emitovaného z tohoto typu vstupů na polovinu. Obdobným způsobem lze snížit význam i některých bodových zdrojů, které z nějakého důvodu nevypouštějí odpadní vody v letním období.

2.6 Postup výpočtu eutrofizačního potenciálu zdrojů fosforu a sestavení žebříčku významnosti zdrojů v hodnoceném povodí.

V posledním kroku metodiky je proveden výpočet eutrofizačního potenciálu každého jednotlivě evidovaného zdroje podle charakteristik získaných v předchozím kroku.

Výpočet eutrofizačního potenciálu zdroje je proveden podle následující rovnice [4]:

$$Epot_x = B_x \cdot e^{(-a_x \cdot C_x)} \cdot f(D_x) \quad [4]$$

kde

$Epot_x$ je eutrofizační potenciál x-tého zdroje vyjádřený zbytkovým vstupem rozpuštěného fosforu do hodnocené nádrže v kg,

B_x je roční emitované množství rozpuštěného fosforu vstupujícího do říční sítě ze zdroje v kg,

a_x je koeficient retence fosforu v tocích v km^{-1} , vážený podle délky řádu toků mezi zdrojem a hrází hodnocené nádrže (doporučené koeficienty pro řády toků podle Strahlera jsou uvedeny v Tab. 4),

C_x je vzdálenost zdroje od hráze nádrže v říční síti v kilometrech,

D_x je souhrnná teoretická doba zdržení v nádržích na tocích mezi zdrojem a vzdutím nádrže,

$f(D_x)$ závislost retence rozpuštěného fosforu v nádržích na toku mezi zdrojem a vzdutím hodnocené nádrže na souhrnné teoretické době zdržení (D_x).

Koeficient retence fosforu v tocích je možné odvodit podle zastoupení délek řádů toků podle Strahlera mezi zdrojem a hrází hodnocené nádrže. Navržené koeficienty jsou uvedeny v Tab. 4. Retence fosforu se mohou významně lišit také podle charakteru toku a jeho morfologie. V napřímených, dlážděných nebo jinak upravených korytech budou retence nižší než v přirozených úsecích s velkým specifickým povrchem. Doporučuje se proto navržené koeficienty v umělých korytech snížit (použitím koeficientů řádu podle Strahlera o 1-2 vyšších). V případě, že v povodí hodnocené nádrže byly zjištěny přímým měřením specifické retence fosforu v některých typech toků, je možné část nebo všechny tabelované koeficienty nahradit. Vzhledem k velmi omezeným zdrojům informací, ze kterých by bylo možné použít pro odvození retenčních koeficientů v tocích, je pravděpodobné, že uvedené retenční koeficienty mohou být průběžně revidovány.

Tab. 4 Koeficienty retence rozpuštěného fosforu v říční síti podle řádu toků dle Strahlera.

Řád toku podle Strahlera	Retenční koeficient (v km^{-1})
1	0,05
2	0,04
3	0,02
4	0,01
5	0,005
6	0,003
7	0,002
8	0,001
9	0,001

Pro odvození retence fosforu v povodí vlivem nádrží je použita publikovaná závislost retence fosforu v nádržích odvozená Hejzlarem et al. (2006) a upravená pro použití v rovnici výpočtu eutrofizačního potenciálu. Závislost má tvar:

$$f(D_x) = 1 - \left(\frac{1,84\sqrt{D_x}}{1 + 1,84\sqrt{D_x}} \right) \quad [5]$$

kde

D_x je souhrnná teoretická doba zdržení v nádržích na tocích mezi zdrojem a vzdutím nádrže

Použití závislosti z rovnice [5] pro retenci fosforečnanového fosforu je komplikované tím, že ve vegetační sezóně bývá většina fosforečnanového fosforu vázána do biomasy řas a sinic a reálně zjištěná retence tak může být výrazně vyšší než by odpovídalo výpočtu. V biomase vázaný fosfor je však snadno uvolnitelný a představuje reálný zdroj eutrofizačně účinného fosforu. Aby bylo možné posoudit, jestli fosfor odtékající v partikulované formě z nádrže nebo rybníka je eutrofizačně účinný, bylo by vhodné stanovit ve vzorcích koncentrace chlorofylu-a, případně ztrátu žiháním. Pokud by v odtoku z nádrže byly zjišťovány kromě nízkých koncentrací fosforečnanového fosforu i nízké obsahy fosforu vázaného v biomase řas a sinic, musela by být pro konkrétní nádrž odvozena specifická retence bez použití rovnice [5].

Výsledkem celého metodického postupu v hodnoceném povodí je po provedených výpočtech hierarchizovaný žebříček zdrojů sestavený sestupně podle zbytkového vstupu rozpuštěného fosforu (v kg) do nádrže. Tento výstup představuje řazení zdrojů podle klesajícího významu vnosu eutrofizačně účinného fosforu do hodnocené nádrže a lze ho dále používat pro návrhy vhodných opatření.

2.7 Shrnutí výsledků postupu a vazba na opatření v povodí

Vytvořený žebříček významnosti antropogenních zdrojů fosforu v povodí představuje výsledek normalizace různých vstupů v povodí s ohledem na emise eutrofizačně účinných forem fosforu a polohu v hodnoceném povodí. Každý výsledný seznam zdrojů, vytvořený postupem podle této metodiky, je specifický pro hodnocenou nádrž a povodí.

Čím výše v seznamu je uveden konkrétní zdroj, tím roste jeho absolutní význam pro eutrofizaci hodnocené nádrže a takový zdroj se stává vhodným kandidátem pro návrh opatření ke snížení vstupu eutrofizační účinného fosforu.

Pro reálné navržení vhodných opatření je nutné posoudit každý zdroj s ohledem na možnosti snížení vstupu rozpuštěných forem fosforu. Mohou nastat situace, kdy vysoko v seznamu bude zdroj, který již v současné době plní velmi přísné požadavky na emise fosforu, ale vzhledem k vysokým celkovým emisím je jeho význam pro cílovou nádrž velký. V takovém případě je vhodné v celém seznamu nalézt takové zdroje, jejichž potenciál ke snižování emisí fosforu není vyčerpán a umožní snížení vstupů na úkor výše uvedeného zdroje.

Samozřejmě je nutné výsledný seznam posoudit i s ohledem na efektivitu a realizovatelnost případných opatření a podle této návazné analýzy přeskupit pořadí zdrojů a změnit jejich prioritu. Tato návazná analýza již není předmětem zpracované metodiky. Takovou analýzu bude možné provádět s pomocí samostatného výstupu projektu TA02020808, kterým je vyvíjený softwarový nástroj pro podporu rozhodování (DSS) pro výběr opatření ke snížení vstupu fosforu do vod v povodí hodnocených nádrží.

2.8 Vazba metodiky na jiné metodické postupy a nástroje plánování v oblasti vod.

Popsaná metodika pro posuzování vlivu zdrojů znečištění na eutrofizaci vodních nádrží v některých svých dílčích krocích navazuje na dříve publikované a schválené metodické postupy, související s hodnocením stavu povrchových vod v České republice.

Pro odvození cílových koncentrací fosforu v přítocích do hodnocené nádrže je využívána Metodika hodnocení všeobecných fyzikálně-chemických složek ekologického stavu útvarů povrchových vod tekoucích (Rosendorf et al., 2011) schválená Ministerstvem životního prostředí pro hodnocení stavu vod.

Pro odvození cílového stavu nádrže je v rozhodovacím kroku mezi prvním a druhým blokem metodiky využit princip odvození cílových koncentrací hodnocené nádrže podle Metodiky pro hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů – kategorie jezero (Borovec et al., 2013). I tato metodika je určena pro hodnocení, tentokrát potenciálu vod ve smyslu Rámcové vodní směrnice.

Při určování vstupu fosforu ze zemědělských ploch ve formě mimoerozního odtoku fosforu a ve formě eroze a transportu sedimentu, jsou v metodice používány některé dílčí postupy a hodnocení podle certifikované metodiky Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy (Krása et al., 2013).

Metodika využívá některé obecné postupy pro kvantifikaci zdrojů fosforu a posouzení významnosti vlivů, uvedené v certifikované Metodice hodnocení dopadu emisí na vodní prostředí (Vyskoč et al., 2014).

3 SROVNÁNÍ „NOVOSTI POSTUPŮ“

Metodika pro posuzování vlivu zdrojů znečištění na eutrofizaci vodních nádrží vychází z řady dříve publikovaných a metodicky popsaných postupů, které byly zapracovány do metodik, které se zabývaly obecně problematikou emisí (Vyskoč et al., 2014), dílčími postupy kvantifikace vstupů fosforu do vod (Krása et al., 2013) a problematikou hodnocení ekologického stavu ve vodních útvech kategorie řeka nebo jezero (Rosendorf et al., 2011; Borovec et al., 2013).

Tato metodika dílčí postupy rozpracované ve výše zmíněných dokumentech propojuje do uceleného postupu, který umožňuje společně posoudit rozdílné zdroje znečištění a umožňuje jejich význam relativizovat a převést na společně posuzovaný základ, kterým je jejich eutrofizační potenciál. Právě tento přístup je inovativní vzhledem k dříve uplatňovaným postupům hodnocení eutrofizace nádrží a toků. Dosud byly všechny zdroje srovnávány podle celkových emisí fosforu a jejich skutečný potenciál pro eutrofizaci nádrží byl zanedbáván. Mohlo se tak stávat, že byly přeceňovány zdroje fosforu, které byly významné z pohledu celkového množství emisí, ale jejichž potenciál k eutrofizaci nádrží nebo toků byl malý. Tento významný posun v nazírání na jednotlivé zdroje umožní efektivněji uplatňovat opatření ke snížení vnosu eutrofizační účinných forem fosforu a může se stát podkladem i pro legislativní změny vedoucí k omezování nejvýznamnějších typů a kategorií zdrojů na území celé České republiky.

Metodika je současně koncipována tak, aby umožnila efektivní využívání existujících dat a evidencí, stejně jako aplikaci alternativních postupů a cíleného sběru dat o zdrojích, pokud je to účelné. Budoucí efektivní využívání této metodiky může vytvořit tlak na zkvalitnění sběru dat pro celostátní evidence o zdrojích znečištění a umožní tak jejich další využití při plánování v oblasti vod.

Nové principy a postupy definované v metodice mohou vést, díky snadnějšímu návrhu opatření a efektivnějšímu využívání finančních prostředků z národních i evropských zdrojů, k rychlejšímu zlepšování stavu vod a tím k naplnění základních principů Rámcové vodní směrnice.

4 POPIS UPLATNĚNÍ CERTIFIKOVANÉ METODIKY

Požadavky na ochranu vod v členských státech Evropské unie určuje, kromě některých starších směrnic, především Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady z 23. října 2000 ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. Článek 4 této směrnice mimo jiné definuje environmentální cíle, kterých má být při ochraně vod dosaženo. Jako jeden z environmentálních cílů stanovuje dosažení dobrého ekologického potenciálu silně ovlivněných vodních útvarů. Mezi významné silně ovlivněné útvary, vymezené na území České republiky, patří řada vodních nádrží, které jsou využívány zejména pro vodárenské, rekreační, energetické a další účely. Článek 5 Rámcové směrnice vyžaduje, aby pro každou oblast povodí byly zhodnoceny dopady lidské činnosti na stav povrchových a podzemních vod, včetně identifikace významných bodových a plošných zdrojů znečištění. Do české legislativy byly požadavky Rámcové vodní směrnice transponovány Zákonem č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů a jeho prováděcími předpisy. V souvislosti s hodnocením ekologického potenciálu a hodnocením významných antropogenních vlivů je to zejména vyhláška č. 24/2011 Sb., o plánech povodí a plánech pro zvládnutí povodňových rizik.

Hlavním nástrojem pro postupné plnění cílů Rámcové vodní směrnice je plánování v oblastech povodí, které probíhá v šestiletých cyklech. Úvodní etapa každého plánovacího cyklu zahrnuje analýzu charakteristik oblastí povodí, včetně určení environmentálních cílů, kterých má být dosaženo, identifikaci antropogenních vlivů na stav vod a určení rizikových lokalit (vodních útvarů), kde dosažení stanovených cílů může být ohroženo. V další etapě jsou pro problémové vodní útvary navržena a realizována příslušná opatření, případně připuštěny a odůvodněny výjimky tam, kde tyto cíle, např. ze socio-ekonomického hlediska nelze dosáhnout. Na konci plánovacího cyklu je dosažení stanovených environmentálních cílů vyhodnoceno.

Současný stav eutrofizace řady vodních nádrží na území České republiky v souladu s principy hodnocení podle Rámcové vodní směrnice odpovídá střednímu nebo horšímu potenciálu a je zřejmé, že bez efektivních a účelně zaměřených opatření nebude možné dobrého potenciálu v nejbližším období dosáhnout. Pro efektivní návrhy opatření je ale nejprve potřeba identifikovat rozhodující zdroje, které prokazatelně mají největší negativní vliv na současný stav nádrží. Zde spatřujeme významnou roli uplatnění předložené metodiky. Její důraz na hodnocení eutrofizačního potenciálu jednotlivých zdrojů fosforu v povodí umožňuje porovnávat typově nesourodé zdroje a označit ty, které se na výsledném zatížení cílové nádrže podílejí rozhodujícím způsobem. Lze očekávat, že postupy specifikované v metodice budou uplatňovány průběžně v plánech dílčích povodí v ČR nebo při navrhování a posuzování projektů, týkajících se ochrany vodních nádrží. Plně se v procesu plánování principy metodiky uplatní zejména při přípravě třetího šestiletého cyklu na období 2022-2027.

Metodika je primárně určena zpracovatelům plánů povodí, tedy především státním podnikům Povodí a jejich subdodavatelům, kteří se podílejí na sestavení plánů. Metodika najde obecnější uplatnění i při hodnocení antropogenních vlivů na eutrofizaci nádrží a toků, při hodnocení koupacích vod, jako podklad pro povolování vypouštění nebo při stanovování požadavků na jakost vypouštěných odpadních vod na vodoprávních úřadech. Lze očekávat, že v případě plošného uplatnění metodiky může být otevřena diskuse o nedostatečnosti současných emisních standardů ve vztahu k ochraně vod a eutrofizaci vodního prostředí.

5 EKONOMICKÉ ASPEKTY

Řešení problémů v oblasti vodního hospodářství vyžaduje uplatňování mezioborového přístupu zahrnujícího i ekonomické aspekty. Základním předpokladem pro aplikaci opatření ve vodním hospodářství je jejich ekonomická efektivnost.

S přijetím a s budoucí aplikací metodiky jsou spojeny určité náklady, které souvisejí zejména s:

- náklady na aplikaci metodiky v dílčích povodích,
- náklady na naplnění vstupních dat a doplňování a účelové zjišťování neměřených a nevidovaných dat,
- náklady na aktualizaci hodnocení významnosti zdrojů na začátku nového šestiletého cyklu plánování.

Celkové náklady se (za předpokladu aplikace metodiky ve 3. cyklu plánování) předpokládají při cenové úrovni roku 2014 ve výši 5 mil. Kč.

Hlavním očekávaným ekonomickým přínosem uplatněné metodiky bude pravděpodobně snížení celkových nákladů na neefektivní opatření, která v některých oblastech mohla mít dokonce opačný efekt na eutrofizaci vodního prostředí. Důležitými vedlejšími přínosy uplatnění metody se může stát celkové snížení zátěže vodních nádrží fosforem doprovázené zlepšením stavu koupacích vod s pozitivním efektem na zdravotní rizika spojená s výskytem sinic. Značný potenciál má metodika také v oblasti vzdělávání a při indukování nových výzkumných aktivit a uplatnění nových nebo zlepšených technologií.

Snížení nákladů

– při uplatnění efektivních opatření v povodí vybraných vodárenských nádrží dojde ke zlepšení stavu vod a tím se mohou mírně snížit i náklady na úpravu surové vody resp. se může zlepšit její dostupnost ve zdrojích, které jsou na hranici přijatelnosti z hlediska kvality.

– uplatněním principů metodiky při přípravě plánů dílčích povodí na území ČR dojde k cílenému výběru hlavních zdrojů znečištění v povodí vodních nádrží a tím i k zefektivnění výběru vhodných opatření. Současně se výrazně omezí investice do oblastí a částí povodí, kde by aplikace opatření byla neefektivní a nadbytečná. Lze rámcově odhadnout, že díky lepšímu zacílení opatření na rozhodující zdroje fosforu v povodí se mohou snížit náklady na neefektivní opatření nejméně o 20 %.

Nová pracovní místa

– při rutinním používání metodiky při hodnocení vybraných povodí pro správce povodí nebo vodárenské společnosti, lze na straně tvůrců výsledků očekávat vytvoření 1-2 pracovních míst pro specialisty na zpracování dat a provádění geografických analýz.

Přínos pro životní prostředí

– uplatnění principů metodiky může vést k výraznému poklesu zatížení všech typů nádrží a toků v jejich povodí reaktivními formami fosforu a postupné oligotrofizaci vod s vedlejším pozitivním efektem na další, zejména biologické složky vodního ekosystému. Pozitivní efekt na snížení zatížení vodních nádrží se může projevit až ve třetině všech nádrží, které jsou v současné době hodnoceny

středním nebo horším potenciálem a také v souvisejících vodních útvarech kategorie řeka, které leží v povodí těchto nádrží.

Přínos pro zdraví lidí

– uplatněním metodiky a postupným uplatňováním účinných opatření dojde v některých vodárenských nádržích ke zlepšení stavu vody a budou tak snížena zdravotní rizika spojená se spotřebou obtížně upravitelných vod. Míru zlepšení ve vodárenských nádržích lze očekávat na úrovni poklesu znečištění o 15-20 %. K podobnému zlepšení může dojít díky snížení eutrofizace vodních nádrží využívaných ke koupání osob, kde by mohlo dojít k omezení rizik spojená s alergickými reakcemi, působenými některými druhy vodních květů sinic.

Přínos výzkumný

– s postupným uplatňováním certifikované metodiky v praxi lze očekávat shromažďování dalších poznatků o chování jednotlivých typů zdrojů znečištění ve vztahu k recipientu a také reakce systému na změny zatížení vodního prostředí. Je pravděpodobné, že v průběhu uplatňování metodiky mohou být získávány původní vědecké poznatky o retenci fosforu v říční síti a v nádržích.

Přínos pro vzdělávání

– nově získané poznatky jak při vývoji metodiky, tak zejména při jejím plném využití v praxi zajistí odbornou osvětu v problematice příčin eutrofizace vod a hodnocení významnosti jednotlivých zdrojů znečištění mezi odbornou vodohospodářskou veřejností. Je také možné předpokládat, že principy uplatňované v metodice budou zařazeny do studijních textů a přednášek spoluřešitele projektu ČVUT v Praze a metodické postupy budou uplatňovány při řešení bakalářských, magisterských a doktorských prací.

Zvýšení efektivity čištění odpadních vod

– zacílení metodiky na rozhodující zdroje fosforu v povodí (zejména bodové zdroje s vysokým podílem emitovaných eutrofizační účinných forem fosforu) povedou k uplatňování efektivnějších způsobů jejich odstraňování na většině čistíren odpadních vod.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Beneš, J. (1993): Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. I. díl. Ministerstvo zemědělství, Agrospoj. 88 str.
- Borovec, J., Hejzlar, J., Znachor, P., Nedoma, J., Čtvrtlíková, M., Blabolil, P., Říha, M., Kubečka, J., Ricard, D. (2013): Metodika pro hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů – kategorie jezero. Dílčí zpráva projektu SFŽP. České Budějovice: Biologické centrum AVČR, v. v. i., srpen 2013. 31 s.
- Dillon, P. J., Rigler, F. H. (1974): The phosphorus-chlorophyll relationship in lakes. *Limnology and Oceanography*, 19 (5): 767–773.
- Dostál, T a kol. (2013): Využití dat a nástrojů GIS a simulačních modelů k navrhování TPEO, VÚMOP, v.v. i., Praha
- Duras, J., Potužák, J. (2012): Látková bilance fosforu v produkčních a rekreačních rybnících. 2012. *Vodní hospodářství*. 6: 210-216.
- Fiala, D., Rosendorf, P. (2009): Plošné zdroje fosforu v povodí VN Orlík. In Očásková I. Revitalizace Orlické nádrže 2009. Písek, 6.10.2009. Písek: Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, s. 75-86. ISBN 978-80-87278-29-1.
- Fiala, D., Rosendorf, P. (2010): Plošné zdroje fosforu v povodí VN Orlík a její eutrofizace. *Vodní hospodářství*, s. 199-202.
- Fiala, D., Rosendorf, P. (2011): Variabilita odnosu fosforu ze zemědělské půdy v měřítku mikropovodí. *Vodní hospodářství*, VTEI 6/2011, s. 27-31.
- Fučík, P.; Kaplická, M.; Zajíček, A.; Kvítek, T. (2010): Vyhodnocení monitoringu jakosti vod v malém zemědělsko–lesním povodí: diskrétní a kontinuální přístup. *Vodní hospodářství*, 8/2010, s. 213-217.
- Harper, D. (1991): *Eutrophication of Freshwaters*, 1991, Chapman and Hall, London
- Hejzlar, J. (2010): Metodika bilanční analýzy zdrojů živin v povodí. Biologické centrum AV ČR, Hydrobiologický ústav. České Budějovice. 11 s.
- Hejzlar, J., Šámalová, K., Boers, P., Kronvang, B. (2006): Modelling phosphorus retention in lakes and reservoirs. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, 6: 487–494.
- Horský, L. et al. (1970): Hydrologické poměry Československé socialistické republiky, díl III. Praha: Hydrometeorologický ústav.
- Ilg K., Wellbrock N., Lux W. (2009): Phosphorus supply and cycling at long-term forest monitoring sites in Germany. *European Journal of Forest Research*, 128: 483-492.
- Janeček, M. a kol. (2012): Ochrana zemědělské půdy před erozí. Certifikovaná metodika, ČZÚ v Praze; Praha. 2012
- Kopáček, J., Procházková, L., Hejzlar, J., Blažka, P. (1997): Trends and seasonal patterns of bulk deposition of nutrients in the Czech Republic. *Atmospheric Environment*, 31(6): 797-808.

- Kráska, J. (2010): Empirické modely vodní eroze v ČR - nástroje, data, možnosti a rizika výpočtů. Habilitační práce, ČVUT v Praze, Fakulta stavební.
- Kráska, J., Rosendorf, P., Hejzlar, J., Borovec, J., Dostál, T., David, V., Janotová, B., Bauer, M., Devátý, J., Strouhal, L., Vrána, K., Aansorge, L., Fiala, D., Duras, J. (2013): Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy. Certifikovaná metodika. ČVUT v Praze, VÚV TGM, v.v.i., Biologické centrum AVČR, Povodí Vltavy, státní podnik. 55 pp.
- Kráska, J., Rosendorf, P., Hejzlar, J., Duras, J., Dostál, T., Dvořáková, T., David, V., Koudelka, P., Janotová, B., Bauer, M., Devátý, J., Mikšíková, K., Kavka, P., Strouhal, L., Vrána, K., Aansorge, L., Fiala, D., Borovec, J. (2011): Určení podílu erozního fosforu na eutrofizaci ohrožených útvarů stojatých povrchových vod. Dílčí zpráva projektu NAZV ev. č. QJ102265 za rok 2011. ČVUT v Praze, 2011, 81 s.
- Larsen, D. P., Mercier, H. T. (1976): Phosphorus retention capacity in lakes. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1976, 33: 1742–1750.
- Mikšíková, K., Dostál, T., Vrána, K., Rosendorf, P. (2012): Transport sedimentu a fosforu při výlovu malých vodních nádrží. *Vodní hospodářství*. 6: 203-209.
- Millier, H. K. G. R., Hooda, P. S. (2011): Phosphorus species and fractionation – Why sewage derived phosphorus is a problem. *Journal of Environmental Management*. 92: 1210-1214.
- Neal, C., Jarvie, H. P., Neal, M., Love, A. J., Hill, L., Wicham, H. (2005): Water quality of treated sewage effluent in a rural area of the upper Thames Basin, southern England, and the impacts of such effluents on riverine phosphorus concentrations. 2005. *Journal of Hydrology*. 304: 103-117.
- Němeček et al. (1996): Digitální mapa půd v měřítku 1:200 000. Praha, Katedra pedologie a geologie, Česká zemědělská univerzita.
- OECD (1982): Eutrophication of Waters – Monitoring, Assessment and Control. Final report. OECD Cooperative Programme on Monitoring of Inland Waters. Vollenweider, R. A. and Kerekes, J (eds.). Organisation for Economic Development and Co-operation. Paris. 332 s.
- Pechar L., Chmelová, I., Potužák, J., Šulcová, J. (2009): Dynamika dusíku a fosforu v eutrofních rybnících. In: Sborník příspěvků Konference Revitalizace Orlické nádrže. 6.-7. října 2009. Písek.
- Peters, R. H. (1981): Phosphorus availability in Lake Memphremagog and its tributaries. *Limnol. Oceanogr.*, 26(6): 1150-1161.
- Reddy, K. R., Kadlec, R. H., Flaig, E., Gale, P. M. (1999): Phosphorus Retention in Streams and Wetlands: A Review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 29:1, 83-146,
- Reynolds, C. and Davies, P. (2001): Sources and bioavailability of phosphorus fractions in freshwaters: a British perspective. *Biological Reviews*, 76(1): 27-64.
- Richtr J., Hejzlar J., Semančíková E. Koncentrace a formy fosforu v odtoku z malých zemědělských povodí v povodí nádrže Orlick. In Očásková I. Revitalizace Orlické nádrže 2009. Písek,

6.10.2009. Písek: Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, 2009, s. 65-74.

Rosendorf, P., Tušil, P., Durčák, M., Svobodová, J., Beránková, T. a Vyskoč, P. (2011): Metodika hodnocení všeobecných fyzikálně-chemických složek ekologického stavu útvarů povrchových vod tekoucích. 2011. Závěrečná zpráva dílčí části projektu SFŽP č. 02671012 (MŽP). VÚV TGM, v.v.i., 20 s. (certifikováno MŽP 2014).

Sharpley, A. N., Smith, S.J., Jones, O.R., Berg, W. A., Coleman, G. A. (1992): The Transport of Bioavailable Phosphorus in Agricultural Runoff. 1992. Journal of Environmental Quality. 21: 30-35.

Sharpley, A.N. (1985): The selective erosion of plant nutrients in runoff Soil Sci. Soc. Am. J. 49:1527-1534.

UK TAG (2012): A revised approach to setting Water Framework Directive phosphorus standards. UK Technical Advisory Group on the WFD. 35 pp.

Van Rompaey A.J.J., Verstraeten G., Van Oost K., Govers G., Poesen J. (2000): Modelling MEAN Annual Sediment Yield Using a Distributed Approach, KU Leuven, Belgium.

Vollenweider, R. A. (1968): Scientific fundamentals of the eutrofication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrofication. OECD, Paris, 1968, 159 p.

Vyskoč, P., Prchalová, H., Mičaník, T., Rosendorf, P., Kristová, A., Svobodová, J., Kodeš, V. (2014): Metodika hodnocení dopadu emisí na vodní prostředí. Certifikovaná metodika, VÚV TGM, v.v.i. 173 pp.

Water Framework Directive (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal No L 327, 22.12.2000. European Union, pp. 73.

Williams, J. R.(1977): Sediment delivery ratios determined with sediment and runoff models. IAHS Publ, 122, 168-179.

Wischmeier, W. H., Smith, D. D. (1978): Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. Agr.handbook no. 537. Us dept.of agriculture, Washington.

Withers, P.J.A., Neal, C., Jarvie, H.P., Doody, D.G. (2014): Agriculture and Eutrophication: Where Do We Go from Here? Sustainability, 6(9): 5853-5875.

Zákony, nařízení vlády a vyhlášky

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů

Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění pozdějších předpisů.

- Zákon č. 25/2008 Sb., o integrovaném registru znečišťování životního prostředí a integrovaném systému plnění ohlašovacích povinností v oblasti životního prostředí a o změně některých zákonů.
- Vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění vyhlášky č. 146/2004 Sb. a vyhlášky č. 515/2006 Sb.
- Vyhláška č. 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci.
- Vyhláška č. 391/2004 Sb., o rozsahu údajů v evidencích stavu povrchových a podzemních vod a o způsobu zpracování, ukládání a předávání těchto údajů do informačních systémů veřejné správy
- Vyhláška č. 24/2011 Sb., o plánech povodí a plánech pro zvládání povodňových rizik.
- Vyhláška č. 49/2011 Sb., o vymezení útvarů povrchových vod.
- Vyhláška č. 252/2013 Sb., o rozsahu údajů v evidencích stavu povrchových a podzemních vod a o způsobu zpracování, ukládání a předávání těchto údajů do informačních systémů veřejné správy.
- Nařízení vlády č. 450/2011 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 145/2008 Sb., kterým se stanoví seznam znečišťujících látek a prahových hodnot a údaje požadované pro ohlašování do integrovaného registru znečišťování životního prostředí

7 SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

- Borovec, J., Hejzlar, J., Znachor, P., Nedoma, J., Čtvrtlíková, M., Blabolil, P., Říha, M., Kubečka, J., Ricard, D. (2013): Metodika pro hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů – kategorie jezero. Dílčí zpráva projektu SFŽP. České Budějovice: Biologické centrum AVČR, v. v. i., srpen 2013. 31 s.
- Kráska, J., Rosendorf, P., Hejzlar, J., Borovec, J., Dostál, T., David, V., Janotová, B., Bauer, M., Devátý, J., Strouhal, L., Vrána, K., Aansorge, L., Fiala, D., Duras, J. (2013): Hodnocení ohroženosti vodních nádrží sedimentem a eutrofizací podmíněnou erozí zemědělské půdy. Certifikovaná metodika. ČVUT v Praze, VÚV TGM, v.v.i., Biologické centrum AVČR, Povodí Vltavy, státní podnik. 55 pp. – projekt NAZV č. QI102A265.
- Rosendorf, P., Tušil, P., Durčák, M., Svobodová, J., Beránková, T. a Vyskoč, P. (2011): Metodika hodnocení všeobecných fyzikálně-chemických složek ekologického stavu útvarů povrchových vod tekoucích. 2011. Závěrečná zpráva dílčí části projektu SFŽP č. 02671012 (MŽP). VÚV TGM, v.v.i., 20 s. (certifikováno MŽP 2014) – projekt SFŽP č. 02671012.
- Vyskoč, P., Prchalová, H., Mičaník, T., Rosendorf, P., Kristová, A. a Svobodová, J. (2014): Postupy hodnocení významnosti zdrojů a cest emisí znečišťujících látek do vody. In Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, roč. 56, č. 1, s. 2-7. ISSN 0322-8916 – projekt KUS č. QJ1220346.
- Vyskoč, P., Prchalová, H., Mičaník, T., Rosendorf, P., Kristová, A., Svobodová, J., Kodeš, V. (2014): Metodika hodnocení dopadu emisí na vodní prostředí. Certifikovaná metodika, VÚV TGM, v.v.i. 173 pp – projekt KUS č. QJ1220346.
- Vyskoč, P., Prchalová, H., Rosendorf, P., Kristová, A. a kol. (2014): Metodické postupy pro hodnocení významnosti jednotlivých typů zdrojů znečištění s ohledem na aplikaci imisně-emisního přístupu v oblasti ochrany vod. Certifikovaná metodika. Ministerstvo životního prostředí ČR, Vršovická 65, 100 10 Praha 10, 25.4.2014 – výzkumný záměr MŽP č. MZP0002071101.

8 SEZNAM ZKRATEK

AZZP	Agrochemické zkoušení zemědělských půd
BPEJ	bonitovaná půdně ekologická jednotka
CENIA	Česká informační agentura životního prostředí
CEVT	centrální evidence vodních toků
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČOV	čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
ČSÚ	Český statistický úřad
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
DČOV	domovní čistírna odpadních vod
DIBAVOD	digitální báze vodohospodářských dat
ER	poměr obohacení (z angl. Enrichment Ratio)
ES	Evropské společenství
FAO	Organizace pro výživu a zemědělství (z angl. Food and Agriculture Organization)
G	ztráta půdy
ISPOP	Integrovaný systém plnění ohlašovacích povinností
LPIS	Registr půdy – geografický informační systém
MKSP	morfogenetická klasifikace půdních typů
Mze	Ministerstvo zemědělství
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
NAZV	Národní agentura pro zemědělský výzkum
PRVKÚK	Plán rozvoje vodovodů a kanalizací kraje
Sb.	Sbírka zákonů
SDR	poměr odnosu sedimentu (z angl. Sediment Delivery Ratio)
ÚKZÚZ	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
USLE	univerzální rovnice ztráty půdy (z angl. Universal Soil Loss Equation)
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy
VÚV TGM	Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka
ZABAGED	Základní báze geografických dat

Metodika pro posuzování vlivu zdrojů znečištění na eutrofizaci vodních nádrží si klade za cíl poskytnout univerzální návod, jak v povodí libovolné vodní nádrže identifikovat všechny významné antropogenní zdroje fosforu a určit jejich eutrofizační potenciál. Eutrofizační potenciál je v této metodice definován jako indikátor, který umožňuje srovnávat různé typy zdrojů antropogenního fosforu v povodí s ohledem na emitované množství a formy fosforu, umístění v povodí hodnocené nádrže a sezónnost přísunu znečištění. Eutrofizační potenciál určuje celkovou významnost zdrojů a umožňuje sestavit hierarchizovaný seznam zdrojů pro následnou volbu a aplikaci vhodných opatření v povodí.

Metodika je strukturována do čtyř navazujících částí, které popisují logický postup stanovení významnosti zdrojů fosforu v zájmovém území. První část metodického postupu popisuje způsob, jak odvodit cílové hodnoty koncentrací fosforu v přítocích posuzované vodní nádrže a výsledné koncentrace v samotné nádrži. Tento krok je důležitý zejména v oblastech, kde se přirozeně vyskytují zvýšené koncentrace fosforu v povrchových vodách nebo kde je velká variabilita přírodních podmínek. Druhá část metodického postupu popisuje způsob inventarizace všech antropogenních zdrojů fosforu v zájmovém povodí nad hodnocenou nádrží a popisuje potřebné informace a zdroje dat, které jsou důležité pro jejich identifikaci. Třetí část metodického postupu popisuje, jakým způsobem mají být odvozeny charakteristiky jednotlivých zdrojů fosforu v povodí, které umožní určit jejich eutrofizační potenciál ve vztahu k hodnocené nádrži a také jakým způsobem získat nebo doplnit potřebná nebo chybějící data. Poslední, čtvrtá část metodického postupu popisuje způsob výpočtu eutrofizačního potenciálu jednotlivých zdrojů fosforu v povodí a tvorbu výsledného seznamu zdrojů, seřazeného sestupně podle klesajícího eutrofizačního potenciálu ve vztahu k hodnocené nádrži.

SUMMARY

The objective of the Methodology for assessment of pollution sources influence on water reservoirs eutrophication is to provide a universal guide to identify all significant anthropogenic sources of phosphorus in the basin of any water reservoir and determine their potential for eutrophication. Eutrophication potential in this methodology is defined as an indicator that allows to compare different types of anthropogenic sources of phosphorus in the watershed with respect to the emitted amount and forms of phosphorus, its placement in river basin and seasonality rated to emitted pollution. Eutrophication potential is able to determine the overall significance of the pollution sources and can build a hierarchy list of sources for subsequent selection and application of appropriate measures in the river basin.

The methodology is structured into four related parts, which describe the logical process of determining the significance of phosphorus sources in the area of interest. The first part of the methodology describes how to derive the target values of phosphorus concentrations in the tributaries of the water reservoir assessed and the resulting concentrations in the reservoir itself. This step is particularly important in areas where elevated phosphorus concentrations naturally occur in surface waters or where there is a large variability in natural conditions. The second part of the methodology describes the inventory method of all anthropogenic phosphorus sources in the river basin above the rated water reservoir and describes the necessary information and data sources that are important for their identification. The third part of the methodology describes how the each phosphorus source characteristics in the river basin should be derived to enable their eutrophication potential to be determined in relation to the water reservoir assessed. And also describes how to obtain or supplement the necessary or missing data. The last, fourth part of the methodology describes the method of calculating the eutrophication potential of the individual phosphorus sources in the catchment area and the generation of the resulting list of resources, sorted downwards according to the decreasing eutrophication potential in relation to the assessed water reservoir.



Ministerstvo zemědělství
Těšnov 17, 117 05 Praha 1

v y d á v á

OSVĚDČENÍ

(14823/2015-MZE-15100)

o uznání uplatněné certifikované metodiky
v souladu s podmínkami „Metodiky hodnocení výsledků výzkumných organizací
a hodnocení výsledků ukončených programů (platná pro léta 2013 až 2015)“

Metodika pro posuzování vlivu zdrojů znečištění na eutrofizaci vodních nádrží

Pavel Rosendorf, Libor Ansoerge, Tomáš Dostál,
Vlastimil Zahrádka, Josef Krása, Jiří Beránek

Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i.
Povodí Ohře, státní podnik
České vysoké učení technické v Praze

Vypracované v rámci výzkumného projektu
TA02020808 Metody optimalizace návrhu opatření v povodí vodních nádrží
vedoucí k účinnému snížení jejich eutrofizace

V Praze dne: 26.2.2015

Razítko odborného orgánu státní správy:



Jméno a funkce zástupce odborného útvaru státní správy: **RNDr. Pavel Punčochář, CSc.**
vrchní ředitel sekce vodního
hospodářství,
Ministerstvo zemědělství

Podpis zástupce odborného útvaru státní správy:


.....

Vydal Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., v roce 2015

Ředitel: Mgr. Mark Rieder

Metodika pro posuzování vlivu zdrojů znečištění na eutrofizaci vodních nádrží

Pavel Rosendorf, Libor Ansorge, Tomáš Dostál, Vlastimil Zahrádka, Josef Krása,
Jiří Beránek

Vydání první – Počet stran 54 – Náklad 25 výtisků – Návrh obálky ABALON s.r.o.
– Tisk VÚV TGM, v. v. i.

ISBN 978-80-87402-48-1 (brož.)

ISBN 978-80-87402-49-8 (on-line, pdf)