

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/344906585>

# Hodnocení znečištění povrchových vod pomocí satelitních snímků [Assessment of surface water pollution using satellite images]

Article · May 2019

CITATION

1

READS

99

2 authors:



**Václav Nedbal**

University of South Bohemia in České Budějovice

32 PUBLICATIONS 225 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



**Jakub Brom**

University of South Bohemia in České Budějovice

87 PUBLICATIONS 731 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

# Hodnocení znečištění povrchových vod pomocí satelitních snímků

Václav Nedbal, Jakub Brom

## Abstrakt

Hodnocení znečištění povrchových vod řasami a sinicemi je důležitou součástí procesu nakládání s povrchovými vodami, ať už pro potřeby jejich úpravy pro výrobu pitné vody, nebo jiné způsoby užívání. Sběr vzorků a jejich laboratorní analýza jsou pro rozlehlé vodní nádrže či větší množství nádrží zdoluhavé a náročné. V této práci ukazujeme, jak lze posoudit znečištění povrchových vod fotosyntetizujícími organismy hodnocením jejich spektrálních vlastností. Spektrální vlastnosti povrchových vod s různou mírou znečištění řasami a sinicemi byly vyhodnoceny měřením terénním spektrometrem a byla laboratorně stanovena koncentrace chlorofylu-a. Byl tak definován vztah spektrálních vlastností vody a koncentrace chlorofylu-a. Zjištěný vztah byl použit k vyhodnocení koncentrace chlorofylu-a na různých vodních nádržích pomocí multispektrálních satelitních snímků. Výsledky ukázaly možnost definování velmi těsného vztahu laboratorně měřené koncentrace chlorofylu-a a vhodného spektrálního algoritmu. Spektrální metody tak mohou poskytnout poměrně přesné hodnocení znečištění vod řasami a sinicemi. Jsou perspektivní i pro jinak obtížně dosažitelné postižení plošné distribuce tohoto znečištění na rozlehlých vodních plochách.

## Klíčová slova

řasy a sinice – chlorofyl-a – spektrální vlastnosti vod – multispektrální satelitní snímky

## Úvod

Změny struktury a funkce krajiny přibližně v posledním půlstoletí způsobily vysoký přísun anorganických látek do povrchových vod. Vnos průmyslových hnojiv do půdy, změna organizace hospodaření na zemědělské půdě, změna způsobu rybářského hospodaření a vypouštění odpadních vod saturovaných čistícími prostředky způsobily nárůst eutrofizace povrchových vod [2]. Řada z těchto látek, především dusičnany a fosforečnany, jsou limitními látkami pro růst zelených řas, sinic a dalších fotosyntetizujících organismů ve vodním sloupci především stojatých vod [4]. Globální klimatická změna, která v našich podmínkách přináší snížení množství srážek a zvýšení průměrných teplot vzduchu [3, 6], pak pozitivně působí na růst fotosyntetizujících organismů v povrchových stojatých vodách a proces eutrofizace ještě dále zhoršuje. Rozvoj řas a sinic ve vodním sloupci má negativní dopad na řadu způsobů nakládání s vodou, závažným negativním faktorem je např. působení toxinů některých sinic [7]. V posledních desetiletích je patrný intenzivní nárůst znečištění především stojatých povrchových vod řasami a sinicemi. S prohlubováním globální změny klimatu se nárůst znečištění řasami a sinicemi v kritických epizodách vysokých letních teplot vzduchu netýká pouze menších mělkých vodních nádrží (rybníků), ale i velkých hlubokých vodárenských nádrží s přísně řízeným hospodařením s vodou. Míra znečištění v průběhu vegetační sezony značně kolísá, jeho prostorová distribuce je navíc velmi heterogenní. Vyhodnocení míry takového znečištění a sledování jeho plošného rozsahu přímými laboratorními rozbory mnoha odebraných vzorků je pak objemově i časově značně náročné. Přínosem jsou v takových případech možnosti kvantifikace znečištění a popisu jeho plošné distribuce prostředky dálkového průzkumu Země.

V tomto článku ukazujeme možnosti vyhodnocení znečištění povrchových stojatých vod fotosyntetizujícími organismy metodami měření spektrálních vlastností znečištěné vody bodovými měřeními na její hladině a následně pomocí multispektrálních satelitních snímků.

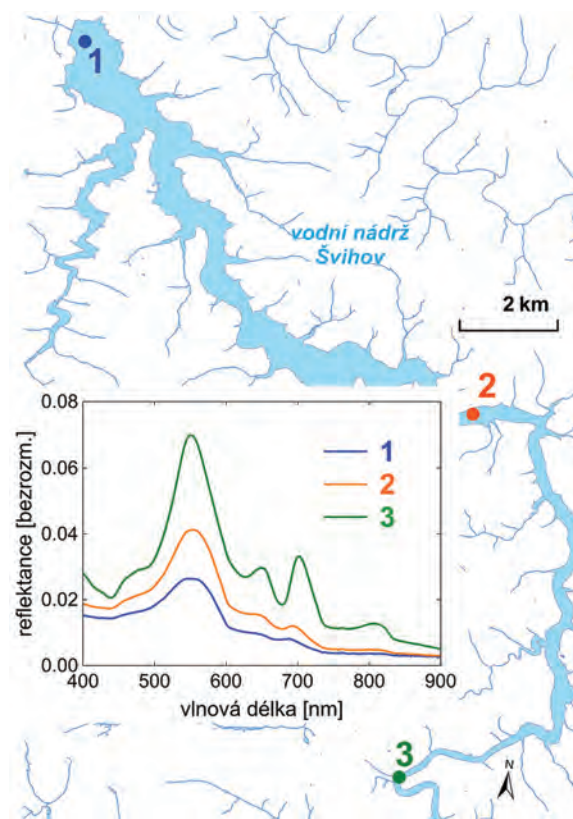
## Principy hodnocení spektrálních vlastností vody znečištěné řasami a sinicemi

Povrch vody absorbuje nebo naopak odráží sluneční záření různé vlnové délky specificky podle toho, jaké látky jsou v horních vrstvách

vodního sloupce přítomny. Ve velmi čisté vodě je značná část dopadajícího slunečního záření v celém svém spektru pohlcena. Je-li voda znečištěna organismy, které typicky obsahují zelené barvivo chlorofyl, roste intenzita odrazu slunečního záření v oblasti viditelného zeleného záření kolem 560 nm vlnové délky, a naopak tato jeho spektrální odrazivost (reflektance) klesá v oblasti viditelného červeného záření kolem 660 nm vlnové délky, pro které má chlorofyl maximální absorpční schopnost. Přítomnost buněk organismů při hladině vody také způsobuje zvýšení odrazivosti od jejich buněčné struktury v oblasti blízkého infračerveného záření kolem 710 nm vlnové délky (obr. 1). Na základě různé odrazivosti a absorpce slunečního záření různých vlnových délek tak lze odhadovat míru znečištění vody fotosyntetizujícími organismy. Při znalosti vztahu koncentrace chlorofylu a spektrálních vlastností jím znečištěné vody tak lze přímo kvantifikovat míru znečištění řasami a sinicemi pouze na základě spektrálních dat.

## Materiály a metody

Pro definování vztahu mezi fyzickou koncentrací chlorofylu-a a spektrálními vlastnostmi znečištěných povrchových vod byly měřeny hodnoty spektrálních reflektancí v místech odběru vzorků povrchových vod, ve kterých byla koncentrace chlorofylu-a laboratorně stanovena. Spektrální reflektance byly bodově měřeny terénním spektrometrem ASD FieldSpec 4 se spektrálním rozlišením 2 nm a rozsahem 400 až 2 500 nm. Koncentrace chlorofylu-a ve vzorcích byla stanovena laboratorně spektrometrem s využitím principu maximální absorpce záření o vlnové délce 664 nm pro chlorofyl-a. Celkem bylo v roce 2018 v části vegetační sezony s nejvyššími teplotami vzduchu (v průběhu měsíce srpna) analyzováno a spektrálně proměřeno 72 vzorků vody z vodních nádrží se značně rozdílným stupněm znečištění fotosyntetizujícími organismy. Pro postižení širokého rozsahu koncentrací chlorofylu-a ve zkoumaných povrchových vodách byly do vzorkování zařazeny jak údolní nádrže pro vodárenské, případně jiné využití, tak rybníky (tab. 1). U údolních nádrží byly odebrány vzorky a provedeno měření vždy pro co největší část nádrže, od hráze po začátek vzduť. U rybníků byl většinou odebrán jeden vzorek ze střední části nádrže a byly voleny rybníky chlorofylovým znečištěním různě zasažené.



Obr. 1. Spektrální odrazivost (reflektance) vody ve vodní nádrži Švihov ze dne 22. 8. 2018. Reflektance v oblasti zeleného záření (chlorofyl) a blízkého infračerveného záření (buněčná struktura) roste se zvyšující se kontaminací vody řasami a sinicemi od málo znečištěné vody u hráze (modrá křivka pro bod 1) po značně znečištěnou vodu u počátku vzduť vodní nádrže (zelená křivka pro bod 3)

**Tab. 1. Data odběrů vzorků a spektrálních měření a jejich počty na vodních nádržích v průběhu srpna 2018**

| Datum  | Místa odběrů a měření                       | Počet vzorků |
|--------|---|--------------|
| 7. 8.  | v.n. Římov                                  | 19           |
| 13. 8. | rybníky a jiné vodní nádrže třeboňské pánve | 10           |
| 17. 8. | v.n. České Údolí                            | 4            |
| 17. 8. | v.n. Hracholusky                            | 17           |
| 22. 8. | v.n. Švihov                                 | 11           |
| 29. 8. | rybníky a jiné vodní nádrže třeboňské pánve | 11           |

Na základě získaných dat byl definován vztah mezi koncentrací chlorofylu-a v odebraných vzorcích povrchových vod a jejich spektrálními vlastnostmi. Tyto spektrální vlastnosti reprezentuje spektrální algoritmus, využívající vlnových délek odraženého slunečního záření pro maximum reflektance buněčné struktury v oblasti blízkého infračerveného záření o 709 nm vlnové délky a pro maximum absorpce chlorofylu-a v oblasti červeného viditelného záření o 665 nm vlnové délky [5].

Takto definovaný vztah ve formě matematické funkce byl použit pro plošné odvození hodnot koncentrace chlorofylu-a ze satelitních snímků družic SENTINEL 2. Multispektrální satelitní snímky družic SENTINEL 2 Evropské vesmírné agentury ESA disponují mimo jiné právě pásmy pro detekci spektrální reflektance v oblasti viditelného červeného a blízkého infračerveného záření s vhodným prostorovým rozlišením (20 m/pixel), které již umožňuje dobře postihnout plochu většiny vodních nádrží.

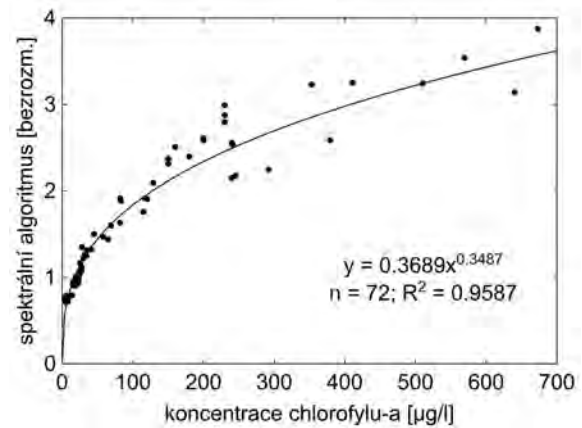
## Výsledky

Naměřené koncentrace chlorofylu-a v povrchových vodách sledovaných nádrží se ve sledovaném období značně lišily. Zahrnovaly koncentrace chlorofylu-a od kategorie oligotrofie až po silně hypertrofní vody [1]. Nejnižší hodnota, odpovídající kategorii hraniční oligotrofie (2,8  $\mu\text{g/l}$ ), byla zjištěna v blízkosti hráze v.n. Švihov. Vyšší hodnoty kategorie mezotrofie byly zjištěny ve vodách Horusické pískovny, či ve střední části v.n. Švihov (5–6  $\mu\text{g/l}$ ). Eutrofní stav vod byl zjištěn u dolní a střední části v.n. Římov (20–30  $\mu\text{g/l}$ ), dolní části v.n. Hracholusky (15–30  $\mu\text{g/l}$ ), horní části v.n. Švihov (18–28  $\mu\text{g/l}$ ) a u některých pískoven třeboňské pánve (8–14  $\mu\text{g/l}$ ). Kategorii slabé hypertrofie odpovídaly vody horního úseku v.n. Římov (35–240  $\mu\text{g/l}$ ), střední a horní části v.n. Hracholusky (45–200  $\mu\text{g/l}$ ), v.n. České Údolí (230–240  $\mu\text{g/l}$ ) a části rybníků třeboňské pánve (65–411  $\mu\text{g/l}$ ). Ve zbylé části rybníků třeboňské pánve byly zjištěny silně hypertrofní vody (510–703  $\mu\text{g/l}$ ), s nejvyšší hodnotou na rybníku Potěšil.

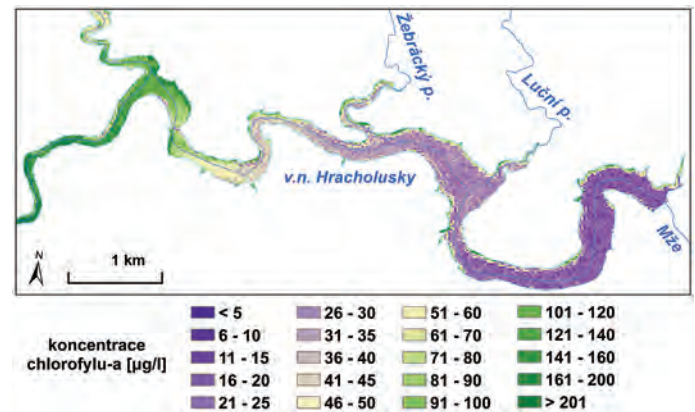
Velký rozsah naměřených hodnot koncentrací chlorofylu-a umožnil sestavit funkci závislosti spektrálního algoritmu na koncentraci chlorofylu-a pro prakticky všechny případy míry eutrofie, které mohou v našich podmínkách běžně nastat (obr. 2). Regresní mocninná funkce, použitá k převodu spektrálních dat ze satelitních snímků na koncentrace chlorofylu-a, vysvětluje závislost s velmi vysokou korelací ( $R^2 = 0,9587$ ).

Výsledné satelitní mapy koncentrací chlorofylu-a v údolních vodních nádržích Švihov, Římov a Hracholusky ukázaly v rámci dané nádrže vždy značnou plošnou diverzitu zjištěných hodnot. U všech se projevuje trend gradientu koncentrací chlorofylu od nižších eutrofních (v případě v.n. Švihov oligo-mezotrofních) hodnot v dolních částech nádrží po slabě hypertrofní (v případě v.n. Švihov eutrofní) hodnoty v horních částech (obr. 3). Vysoké koncentrace chlorofylu v horních částech průtočných nádrží jsou způsobeny známým jevem, kdy povrchové vody vodního toku, přinášející značné množství anorganických látek (živin) na začátku vzduť vodní nádrže zpomalí svůj pohyb a v ještě mělké části vodní nádrže dojde prohrátím vodního sloupce k vytvoření vhodných podmínek pro masivní rozvoj fotosyntetizujících organismů. Na satelitních datech lze též pozorovat míru příchodního chlorofylového znečištění různými přítoky, či jeho různou distribuci ve středních a příbřežních částech nádrží.

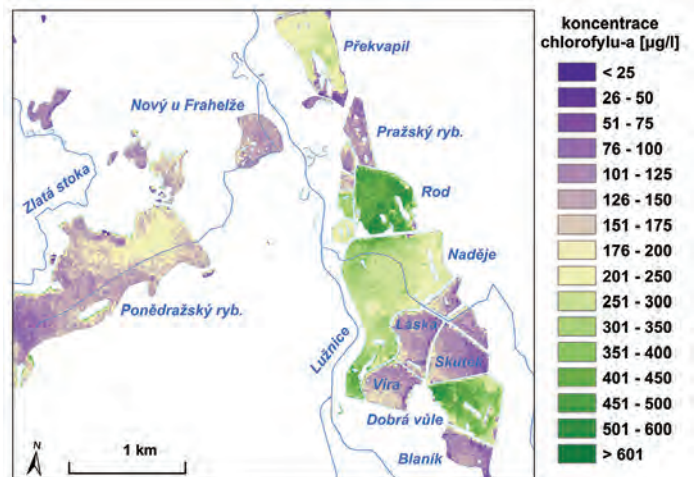
Povrchové vody rybníků často v letních epizodách vysokých teplot vzduchu vykazují kvůli své malé hloubce velmi vysoké hodnoty koncentrace chlorofylu, odpovídající často kategorii až velmi silné hypertrofie. Přesto se od sebe i v tomto pohledu často značně odlišují. Na ukázce satelitních dat z území Nadějské rybníční soustavy (obr. 4) lze pozorovat, jak velký vliv má odlišný způsob rybářského hospodaření, velikost rybí obsádky, míra a způsob příkrmování a odlišný charakter sedimentu dna rybníků na velmi rozdílnou distribuci chlorofylového



**Obr. 2. Vztah spektrálního algoritmu a koncentrace chlorofylu-a v povrchových vodách vodních nádrží v průběhu srpna 2018**



**Obr. 3. Plošná distribuce chlorofylu-a ve vodní nádrži Hracholusky dne 17. 8. 2018**



**Obr. 4. Plošná distribuce chlorofylu-a v některých rybnících třeboňské pánve dne 12. 8. 2018**

znečištění v jinak blízkých a hydrologicky značně propojených vodních nádržích. Na relativně malém prostoru tak lze nalézt povrchové vody ve stadiu eutrofie (horní část rybníku Přebkavpil s hodnotami kolem 20  $\mu\text{g/l}$  chlorofylu-a) až po silně hypertrofní vody (značná část rybníku Rod s hodnotami přes 600  $\mu\text{g/l}$  chlorofylu-a). Podobně jako v případě údolních nádrží i u rybníčních nádrží satelitní data dobře ukazují rozdíly v plošné distribuci chlorofylového znečištění v podrobnosti, která by byla jinak dosažitelná jen za cenu náročného odběru a laboratorního zpracování značného množství vzorků vody.

## Závěr

Trofické úrovně povrchových vod nejsou hodnoceny pouze kritériem obsahu chlorofylu, ale i dalšími hydrochemickými parametry (koncentrace fosforečnanů, průhlednost) [1]. Nicméně koncentrace chlo-

rofyly-a je vhodným ukazatelem pro výše popsanou možnost jejího výpočtu ze satelitních spektrálních dat. Mezi výrazné výhody metody spektrálního hodnocení obsahu chlorofylu v povrchových vodách patří postižení velkého plošného rozsahu vodních nádrží a rozdílných koncentrací v jejich jednotlivých částech. K širší použitelnosti této metody přispívá i dosažitelnost spektrálních dat ve formě satelitních snímků, které jsou v případě družic SENTINEL 2 dostupné bezúplatně, s krátkým časovým odstupem od jejich nasnímání (v řádu jednotek dnů) a v dobré časové frekvenci (2–3 dny). Určitým omezením může být nepoužitelnost satelitních snímků v případě přítomnosti oblačnosti, či potřeby častějšího snímání nebo vyššího prostorového rozlišení než 20 m/pixel, které snímky družic SENTINEL mají. Na druhou stranu pro metodu spektrálního hodnocení koncentrace chlorofylu v povrchových vodách lze použít i data z multispektrálních kamer, umístěných v letadle, či v současné době už běžně na dronech. Tyto soudobé a již téměř rutinní a dostupné letecké technologie použití popsané metody značně rozšiřují a všechna výše uvedená omezení satelitní technologie řeší. Na základě současného výzkumu spektrálního projevu různě znečištěných povrchových vod se do budoucna ukazuje spektrální metoda hodnocení kvality vod jako velmi perspektivní i pro zjišťování koncentrace řady jiných znečišťujících látek.

**Poděkování:** Výzkum spektrálních vlastností povrchových vod pro identifikaci jejich znečištění řasami a sinicemi byl podpořen projektem Technologické agentury České republiky TA ČR Gama TG03010027 Posílení aktivit proof-of-concept na Jihočeské univerzitě. Autoři děkují Mgr. Blance Tesařové, RNDr. Jindřichu Durasovi, Ph.D., Ing. Janu Potužákovi, Ph.D., Ing. Michalu Marcelovi, Ing. Aleši Váchovi a Ing. Martinu Musilovi, Ph.D., za pomoc s odběry a zpracováním části vzorků povrchových vod a Ing. Kateřině Křovákové za anglický překlad.

## Literatura/References

- [1] Hartman, P.; Příkryl, I.; Štědranský, E. (1998). Hydrobiologie. Informatorium, Praha. ISBN 80-86073-27-0.
- [2] Kvítek, T. (ed.) a kol. (2017). Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce. Povodí Vltavy, s.p., Praha. ISBN 978-80-270-2488-9.
- [3] Marek, M.V. a kol. (2011). Uhlík v ekosystémech ČR v měnícím se klimatu. Academia, Praha. ISBN 978-80-200-1876-2.
- [4] Pouličková, A. (2011). Základy ekologie sinic a řas. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc. ISBN 978-80-244-2751-5.
- [5] Randolph, K.; Wilson, J.; Tedesco, L.; Li, L.; Pascual, D. L.; Soyeux, E. (2008). Hyperspectral remote sensing of cyanobacteria in turbid productive water using optically active pigments, chlorophyll a and phycocyanin. Remote Sensing of Environment, 112, 4009–4019.
- [6] Tolasz, R. (ed.) a kol. (2007). Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Praha. ISBN 978-80-86690-26-1.
- [7] Velišek, J.; Svobodová, Z.; Blahová, J.; Máchová, J.; Stará, A.; Dobšíková, R.; Šířoká, Z.; Modrá, H.; Valentová, O.; Randák, T.; Štěpánová, S.; Kroupová, H. K.; Maršálek, P.; Grabic, R.; Zusková, E.; Bartošková, M.; Stancová, V. (2014). Vodní toxikologie pro rybáře. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Vodňany. ISBN 978-80-87437-89-6.

**Ing. Václav Nedbal, Ph.D. (autor pro korespondenci)**

**doc. Ing. Jakub Brom, Ph.D.\***

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

**Fakulta zemědělská**

**Studentská 1668**

**370 05 České Budějovice**

**jbrom@zf.jcu.cz**

Tento článek byl recenzován a je otevřen k diskusi do 30. června 2019. Rozsah diskusního příspěvku je omezen na 2 normostrany A4, a to včetně tabulek a obrázků. Příspěvky pošlete na e-mail [stransky@vodnihospodarstvi.cz](mailto:stransky@vodnihospodarstvi.cz).