

Hodnocení vodního květu v nádržích pomocí dálkového průzkumu Země

Jakub Brom¹, Václav Nedbal¹, Petr Císař², Blanka Tesařová¹, Jan Kuntzman¹

¹ Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská a technologická, Studentská 1668, 370 05, České Budějovice, jbrom@fzt.jcu.cz

² Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybnářství a ochrany vod, Zátíší 728/II, 389 25, Vodňany, cisar@frov.jcu.cz

Abstrakt

Znečištění vodních nádrží fytoplanktonem v důsledku eutrofizace představuje značný problém v mnoha oblastech. Znečištění má vliv na biodiverzitu, snižuje technologickou jakost vody a zhoršuje možnosti rekreačního využití vodních nádrží. Negativní vliv zde mají především sinice, jejichž toxiny představují významné zdravotní riziko. Monitoring kvality vody v nádržích je zásadním nástrojem pro hodnocení dynamiky vývoje vodního květu v nádržích, ale představuje též zásadní nástroj pro možná opatření. Tradičně používanou metodou hodnocení stavu nádrží je odběr vzorků a následný laboratorní rozbor vody. Alternativní možností je využití dat dálkového průzkumu Země (DPZ), který umožňuje hodnotit některé ukazatele výskytu vodního květu a znečištění povrchových vod, např. koncentraci chlorofylu, fykocyaninu, nerozpuštěných látek apod. Možnosti DPZ pak rozšiřují moderní metody zpracování dat, jako např. metody umělé inteligence. Výhodou tohoto přístupu je možnost hodnocení velkého počtu nádrží v jeden okamžik, heterogenity sledovaných ukazatelů v rámci nádrže a možnost retrospektivního hodnocení s relativně vysokou přesností. Cílem příspěvku je ve stručnosti představit využití dálkového průzkumu Země pro hodnocení kvality vody ve vodních nádržích, jeho možnosti, výhody a omezení.

1. Úvod

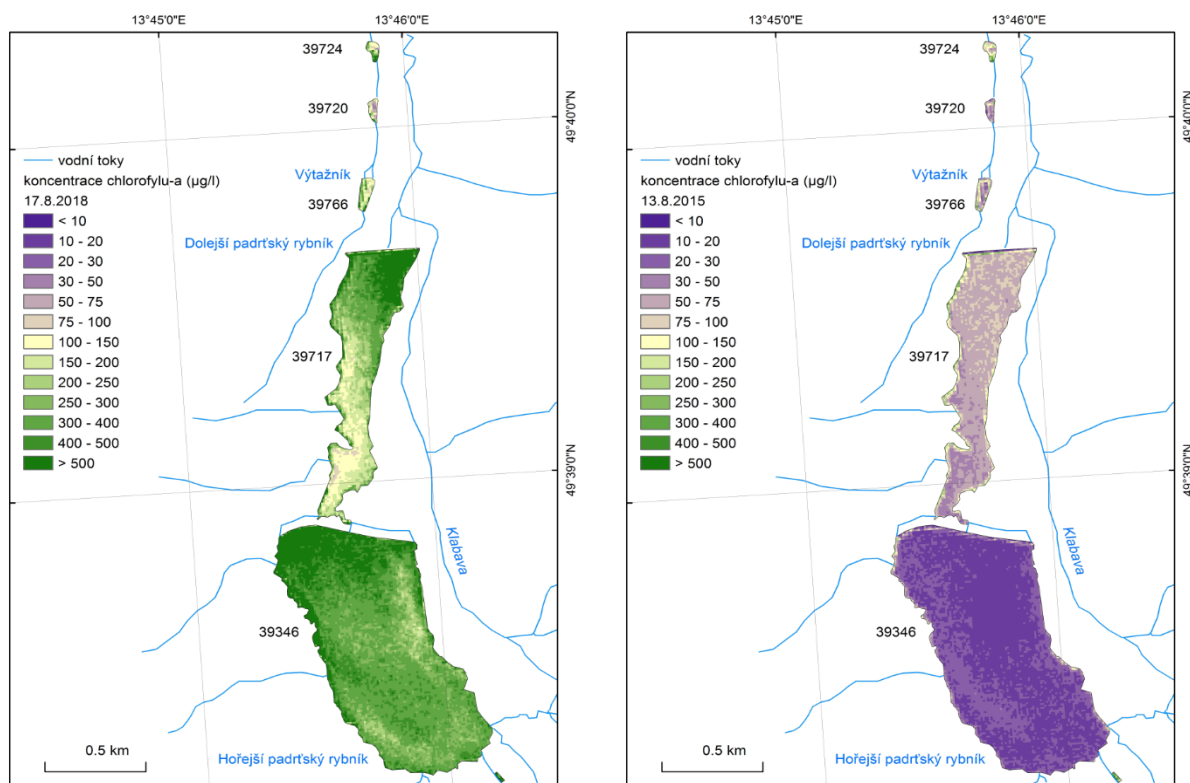
Vnitrozemské vodní nádrže, ať už se jedná o rybníky, přehradní nádrže nebo další vodní plochy trpí až na výjimky sníženou kvalitou vody, která se projevuje výskytem vodního květu. Důvodem je proces eutrofizace, který je výsledkem nadměrného zatížení vodních nádrží živinami. Eutrofizace s sebou přináší řadu, především negativních důsledků. Jmenovat můžeme hospodářské dopady s přímým ekonomickým efektem, jako je zhoršení technologických vlastností pro úpravu surové vody na pitnou nebo zhoršení hygienických vlastností vody, zejména pak při masivním výskytu toxických sinic. Neméně důležité jsou též dopady eutrofizace s nepřímým ekonomickým efektem, jako je vliv na biodiverzitu, např. v důsledku snížení průhlednosti vody (Amorim et Moura 2021), vnímání estetiky vodních ploch (Fish 1972, Bhagowati et al. 2020) apod.

Abychom pochopili dynamiku jednotlivých nádrží a jejich soustav v rámci povodí, je nutné provádět monitoring kvality vody. Tradičně je monitoring prováděn odběrem vzorků vody z nádrží s následnou standardizovanou laboratorní analýzou. Tento přístup má řadu výhod, ale též některé nevýhody. Výhodou je samozřejmě přesnost stanovení sledovaných vlastností vody a značná flexibilita možnosti odběru vzorků, na druhou stranu bodový odběr vzorku nereflktuje plošnou distribuci vlastností vody v nádrži, vždy budeme znát pouze vlastnosti vody v daném místě odběru. Navíc je limitované množství vzorků, které lze v daném čase v laboratoři zpracovat, a významnou roli hraje též finanční hledisko. Dálkový průzkum Země (DPZ) do určité míry eliminuje tento nedostatek díky své "prostorovosti". Družicový snímek zachycuje obraz zájmového území, který poskytuje informaci o jeho spektrálním projevu. Spektrální projev můžeme chápat jako "barevnost" povrchu i v těch částech elektromagnetického spektra, která jsou pro lidské oko neviditelná. Zpracováním obrazových spektrálních dat můžeme získat velmi cenné informace o površích, které snímek zachycuje, včetně vodních ploch. V případě vody lze stanovit ukazatele, které se projevují "barevně", tedy změnou vlastností elektromagnetického záření, které se od vody v nádrži odráží. Jedná se typicky o obsah fotosyntetických pigmentů (chlorofyl, fykobiliny, karotenoidy), obsah nerozpuštěných látek, případně průhlednost vody, teplotu vody a další ukazatele. Pomocí DPZ je též možné hodnotit např. plochu a stav litorálních porostů nebo výskyt makrofytní

vegetace. Nepochybně významným kladem dat DPZ je možnost jejich hodnocení zpětně, díky archivaci dat. Můžeme tak hodnotit změny téměř jakékoli dostatečně velké vodní nádrže kdekoli na Zemi až několik desítek let zpět. Dálkový průzkum Země nabízí možnosti hodnocení vodních nádrží a kvality vody, které využijí např. vodohospodáři, správci vodních nádrží, chovatelé ryb a dalších vodních organismů, orgány ochrany přírody, odborné organizace ochrany přírody, posuzovatelé a zpracovatelé odborných posudků, orgány ochrany veřejného zdraví, vědecko-výzkumná sféra, ale i pracovníci v oblasti vzdělávání.

2. Vhodné systémy pro sledování vodních nádrží

V současné době existuje celá řada satelitních systémů, které umožňují systematicky sledovat rozsáhlá území a ukazatele kvality vody. Jmenovat lze multispektrální systémy, tedy systémy s několika spektrálními pásy, jako je např. MODIS, MERIS, Landsat, Sentinel, WorldView a další. Například satelitní systémy MODIS, MERIS a Sentinel 3 jsou využívány pro sledování velkých vodních nádrží a mořských oblastí, kde umožňují hodnotit obsah chlorofylu-a (https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/atbd/chlor_a/) a fykocyaninu (viz např. <https://www.epa.gov/water-research/cyanobacteria-assessment-network-cyan>, <https://cyanoalert.com> apod.). Jejich použití je nicméně pro území České republiky nevhodné z důvodu příliš malého prostorového rozlišení (stovky m). Vhodnějšími systémy jsou družice Sentinel 2 a družice systému Landsat. Data družic Sentinel 2 s rozlišením 10 x 10 m ve viditelné části spektra, respektive 20 x 20 m v infračervené části spektra, jsou k dispozici od roku 2014, data z družic Landsat dokonce od roku 1982 (Landsat 4 TM). Ta mají prostorové rozlišení 30 x 30 m. V případě družice Landsat je snímkaný pás široký přibližně 180 km, v případě družice Sentinel 2 dokonce 290 km. Data z družic Sentinel 2 a Landsat umožňují sledování např. obsahu chlorofylu-a, obsahu nerozpuštěných látek apod. Zásadní výhodou těchto systémů je systematické snímkování zemského povrchu. Data jsou k dispozici zpětně od doby zprovoznění daného systému a v případě jmenovaných systémů jsou k dispozici bezplatně. Ukázka prostorové distribuce odhadu koncentrace chlorofylu-a ze snímků družice Sentinel 2 je uvedena na obrázku 1.



Obr. 1. Ukázka prostorové distribuce odhadnuté koncentrace chlorofylu-a na příkladu Padrtských rybníků ve dvou různých termínech (13. 8. 2015 vlevo a 17. 8. 2018 vpravo). Snímky ukazují rozdíl nejenom mezi jednotlivými termíny, ale je zde též patrná prostorová distribuce chlorofylu-a v prostoru jednotlivých nádrží.

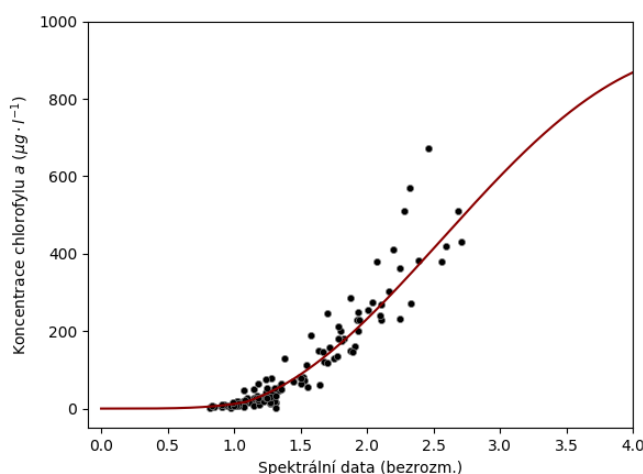
Vedle multispektrálních satelitních systémů lze pro hodnocení stavu vodních nádrží a kvality jejich vod použít též tzv. hyperspektrální systémy, které mají velmi podrobné spektrální rozlišení, tzn., že snímky obsahují velké množství spektrálních pásem. Takovým systémem může být např. satelit PRISMA (<https://www.asi.it/en/earth-science/prisma/>) nebo EnMAP (<https://www.enmap.org/>), často jsou používány též letecké hyperspektrální senzory. Hyperspektrální systémy umožňují na jednu stranu mnohem detailnější analýzu dat, na druhou stranu je zpracování dat, vzhledem k jejich objemu komplikovanější. Navíc jsou tato data poskytována pouze na objednávku a často za úplatu. Význam hyperspektrálních systémů je tedy stále spíše otázkou výzkumných aktivit a specializovaných sledování.

Zajímavou možností prostorového sledování vodních nádrží a jejich vlastností je využití leteckého snímkování a bezpilotní techniky (UAV). Výhodou těchto přístupů je relativně velká flexibilita použití a velmi vysoké prostorové rozlišení. Letecké i bezpilotní snímkování nachází uplatnění především ve specifických úlohách, jako je velmi podrobné mapování a nebo opakované snímkování v krátkých časových intervalech.

3. Příprava a zpracování prostorových dat

Použití dat DPZ pro sledování vodních nádrží má svá specifika, která vycházejí z vlastností vody a její schopnosti absorbovat elektromagnetické záření. Obecně má voda značnou schopnost absorpce záření a v oblasti infračerveného záření dokonce pohlcuje téměř všechnu energii. Chová se tedy téměř jako absolutně černé těleso. Větší schopnost odrazu elektromagnetického záření je v modré oblasti spektra, nicméně za většinu odrazu záření od vodní plochy jsou zodpovědné nerozpuštěné a barevně aktivní látky, které jsou ve vodě rozpuštěné. Aby bylo možné data DPZ použít pro odhad vlastností vody, je potřeba odstranit prostorové nepřesnosti, šумы a chyby, které ovlivňují kvalitu radiometrické informace uložené ve snímku. Korekci geometrických nepřesností provádí zpravidla poskytovatel dat, radiometrické korekce jsou následně řešeny pomocí specializovaných algoritmů. Pro družice Sentinel 2 a Landsat lze použít např. algoritmus ACOLITE (Vanhellemont et Ruddick 2018) pro vnitrozemské vody a pro mořské oblasti algoritmus C2RCC (Schiller et Doerffer 1999, Brockmann et al. 2016, Soriano-González et al. 2022).

V případě systémů MODIS a MERIS jsou např. vrstvy obsahu chlorofylu-*a* nebo fykocyaninu poskytovány už vypočtené přímo poskytovatelem dat, v případě odhadu chlorofylu-*a* ze snímků Sentinel 2 lze pro území ČR použít náš systém RemoteGuard (www.remotewaterquality.com) vyvíjený na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích, který dále zlepšujeme a rozšiřujeme.



Obr. 2. Ukázka vztahu mezi měřenými hodnotami chlorofylu-*a* a spektrální informací získanou z družice Sentinel 2. V grafu je vyznačen nelineární vztah modelovaný pomocí metody strojového učení Support Vector Regression (SVR).

V rámci přípravy dat je potřeba ještě zmínit problematiku vlivu oblačnosti, která způsobuje řadu problémů. Vliv oblačnosti lze řešit v podstatě pouze odstraněním části snímku, na kterém se oblačnost, případně stíny oblačnosti, vyskytuje. Výsledkem je ztráta dat (viz dále).

Odhad vlastností vody v nádržích pomocí dat DPZ má, vedle výběru vhodného systému a kvalitního předzpracování dat, ještě podmínku použití vhodného modelu pro odhad daného parametru a jeho kvalitní natrénování. Přístup k výpočtu sledovaných ukazatelů kvality vody může být založen na různých postupech. Tradiční přístupy vycházejí z poznání spektrometrických vlastností jednotlivých sledovaných látek a využívají pro výpočet relativně jednoduché přístupy, jako je lineární regresní analýza apod. Např. obsah chlorofylu-*a* velmi úzce koreluje s poměrem spektrální odrazivosti o vlnových délkách 709 a 665 nm. Vztah mezi koncentrací chlorofylu-*a* a spektrálním poměrem lze jednoduše popsat mocninovou transformací (Nedbal et Brom 2019). V současné době se stále více uplatňují moderní přístupy založené na metodách umělé inteligence, respektive strojového učení (např. Support Vector Machine, Random Forest, Celulární automaty, Neurální sítě apod.) nebo tzv. hlubokého učení (Deep Learning). Výhodou těchto přístupů je bezpochyby jejich nelinearita, a tedy mnohdy lepší schopnost postihnout variabilitu v datech oproti parametrickým metodám. Ukázka vztahu mezi měřeními hodnotami chlorofylu-*a* a spektrálními daty modelovaného pomocí metody strojového učení Support Vector Regression (SVR) je uvedena na obrázku 2.

Metody strojového učení do určité míry umožňují eliminovat potřebu biologických a fyzikálních znalostí daného systému. Modely hledají nejlepší shodu v použitých datech vůči tzv. trénovacím datům, aniž by zpracovatel dat znal podrobnosti o jednotlivých vztazích v datech. Použitý model tak může fungovat jako černá skříňka. Nevýhodou takového přístupu je někdy tendence zpracovatele k použití velkého množství vstupních parametrů a následně neúměrného zvýšení míry volnosti modelu. Takový model vyžaduje značné množství trénovacích dat a snadno může dojít k jeho přetrénování, což znamená, že model velmi silně koresponduje s trénovacími daty, ale lze jej velmi obtížně zobecnit na jiné situace.

Otázka trénovacích dat je pro použití odhadních modelů naprosto zásadní. Jedná se o data získaná přímou cestou, tedy například stanovením v laboratoři. Data jsou v odhadním modelu použita jako nezávislá proměnná a model, založený na použití spektrálních dat DPZ, hledá nejlepší vztah k datům. Pomocí přímo měřených dat je následně provedena validace modelu. V reálných podmínkách je získání vhodného trénovacího a validačního datasetu poměrně obtížné, protože je potřeba zároveň provádět měření spektrální odrazivosti vody, které je, vedle potřeby přístrojového vybavení, limitováno též počasím. Obecně platí, že čím komplikovanější model použijeme, tím větší množství dat pro natrénování a validaci modelu potřebujeme.

4. Omezení použití DPZ pro hodnocení povrchových vod

Použití dat dálkového průzkumu Země pro účely hodnocení kvality povrchových vod má, vedle řady výhod uvedených výše, i některé nevýhody, které komplikují a omezují jejich využití.

Jedním ze zásadních nedostatků využití metod DPZ je možnost zjišťování pouze omezeného počtu vlastností povrchových vod. DPZ umožňuje hodnotit pouze ukazatele, které mají optickou odezvu, tedy dokáží měnit vlastnosti odraženého elektromagnetického záření, zjednodušeně řečeno “barevnost”. DPZ lze tedy použít pouze pro některé aplikace, případně je potřeba další parametry změřit *in situ* nebo v laboratoři. Schopnost hodnotit některé vlastnosti povrchových vod je limitována radiometrickým rozlišením použitých přístrojů. Např. družicové systémy Sentinel 2 a Landsat nedisponují spektrálními pásy potřebnými pro stanovení obsahu sinicových pigmentů (zejm. fykocyaninu). Určitým řešením se zde jeví výpočet tzv. virtuálního pásma v oranžové části spektra (Kumar et al. 2019), nicméně tento přístup není ideální. Možnosti použití družicových systémů s potřebným spektrálním rozlišením je zde potom limitované buď omezenou dostupností dat (v případě hyperspektrálních systémů) nebo prostorovým rozlišením dat (MERIS, MODIS).

Významným omezením využití DPZ je závislost získávání dat (snímkování) na počasí. Data používaná pro hodnocení povrchových vod jsou velmi citlivá na atmosférické podmínky a zásadně limitovaná oblačností. Důvodem je neprostupnost oblačnosti pro záření odražené od povrchu, tedy neprůhlednost oblačnosti. Problém vlivu oblačnosti je významný především v humidních oblastech a může mít sezónní charakter. Např. na území České republiky je problematický výskyt oblačnosti ve vegetačním období zpravidla v období od května do konce července. Přestože je naše území systémem Sentinel 2 snímkováno zhruba dvakrát až třikrát týdně a systémem Landsat jednou týdně (v současné době jednou za osm dnů), může být pro sledované sezónní období k dispozici pouze několik málo použitelných snímků. V oblasti rovníkové Afriky je pak velmi obtížné získat použitelné snímky po většinu roku. V případě družicových systémů nebo leteckého snímkování, kde je potřeba objednávat snímkování v určitém období dopředu se omezení vlivem oblačnosti ještě umocňuje. Jedná se především o hyperspektrální družicové systémy, např. PRISMA nebo nově EnMAP. Omezení dostupnosti dat mají zásadní vliv na flexibilitu použití DPZ.

Omezením DPZ pro kvantitativní odhady kvality vody je použití výpočetních algoritmů a modelů pro předzpracování dat a pro výpočet vlastních ukazatelů. Problémem předzpracování dat je zejména odstranění vlivu atmosféry z dat. Atmosféra sama o sobě je komplexní prostředí s velkou prostorovou variabilitou, kterou musí použité modely reflektovat. V případě povrchových vod je tento požadavek ještě významnější, s ohledem na malou odrazivost vodních ploch. V současnosti používané algoritmy pro atmosférické korekce do výpočtu zahrnují celou řadu proměnných, které mohou být obtížně získatelné a znesnadňují tak přípravu dat.

Výpočet sledovaných veličin na základě spektrálních dat DPZ, a kvalitu výstupu ovlivňuje řada faktorů. Vedle spektrálního rozlišení použitého systému je významná otázka použitého odhadního modelu. V současné době existuje celá řada různých pokročilých parametrických a nelineárních metod, které umožňují využívat komplexní data, nicméně každá metoda má své limity. Zásadním limitem pro všechny metody je nicméně příprava kvalitních trénovacích dat. Bez nadsázky lze říct, že se jedná o nejnáročnější a nejnákladnější část systému odhadu vlastností povrchových vod pomocí DPZ.

Dalším okruhem otázek je komplexita systému vodní nádrže z pohledu radiometrických vlastností. Jedná se např. o projev určité sledované veličiny, který může být maskován jinou vlastností vody nebo je vlastní spektrální projev příliš komplexní, např. obsah nerozpuštěných látek, tvorba povlaků sraženin, rozpad buněk sinic a řas apod. Významnou roli mohou hrát nestandardní environmentální podmínky a další vlivy, jako je výskyt vln, odlesků, případně se do snímků promítá vliv dna nádrže v důsledku velké průhlednosti vodního sloupce.

Významnou otázkou zůstává též problematika průniku elektromagnetického záření sloupcem vody, a tedy otázka jakou část nádrže měříme a jak reprezentativní jsou data pro sledovanou nádrž. V podstatě lze předpokládat, že spektrální informace vzniká odrazem záření v eufotické vrstvě vodní nádrže a objem informace klesá s hloubkou. Z praktického hlediska můžeme hovořit o svrchní nebo hladinové vrstvě. Vlastní zobecnění získané informace na celý vertikální profil nádrže bude záviset na promíchání vody v nádrži. Lze předpokládat, že jednodušší situace bude u mělkých rybníků, komplikovanější u přehradních nádrží. Výstupy získané z dat DPZ je tudíž potřeba vždy hodnotit v kontextu vlastností dané vodní nádrže. Problematika radiometrických vlastností vody v nádržích v závislosti na environmentálních podmínkách, jejich komplexitě a dynamice je nedostatečně prozkoumaná a do budoucna bude vyžadovat další pozornost.

Poslední problém použití dat DPZ pro hodnocení kvality vody v povrchových vodách, který zmíníme, je nedůvěra uživatelů. Využití dat DPZ pro hodnocení kvality vody ve vodních nádržích je relativně nové a pro mnoho potenciálních uživatelů obtížně uchopitelné. Na jednu stranu může panovat obava z přesnosti (někdy oprávněně, viz výše), na stranu druhou pak může hrát roli malá zkušenost s hodnocením prostorových dat a použití GIS. Významná může být též malá ochota přijímat nové alternativní technologie apod.

5. Závěr

Dálkový průzkum Země představuje cenný zdroj dat, který může být do určité míry alternativou tradičních metod, ale zejména je zdrojem informací, které mohou vhodně doplnit tradičně získaná data. Zásadními výhodami DPZ je schopnost zachycení prostoru vodní nádrže, možnost hodnotit značné množství vodních nádrží v jednom čase a možnost retrospektivního hodnocení vodních nádrží. S rozvojem techniky, výpočetních metod, zejména metod umělé inteligence a automatizace, a se zlepšující se možností rychlého přístupu k datům tak DPZ nabývá na stále větším významu. Důležitou roli zde hraje též zlepšující se povědomí odborné veřejnosti o možnostech využití dat DPZ v oblasti hodnocení kvality povrchových vod, ale i v dalších oblastech praxe.

Využití dat dálkového průzkumu Země má před sebou nepochybně řadu dalších výzev, ať už je to pochopení a lepší uchopení informací o vertikální distribuci vlastností vody v nádržích, tak i vlastní technická stránka zpracování a analýzy dat. Neustále dochází ke zlepšování stávajících a vývoji nových technologií a technik výpočtu. Kombinace DPZ a metod umělé inteligence se jeví jako velmi efektivní spojení, které může přinést řadu nových informací o (nejenom) vodních nádržích. Do budoucna bude důležitá též otázka co nejrychlejší dostupnosti dat a vytvoření předpovědních modelů, které dokáží odhadnout stav vodních nádrží v řádu dnů. “Real-time” data a krátkodobé předpovědi si jistě najdou své uživatele.

Poděkování

Práce byla finančně podpořena z prostředků Technologické Agentury České Republiky projektem TA ČR Prostředí pro život SS03010277 Systém pro monitoring sinic ve vodních nádržích s využitím metod dálkového průzkumu Země a umělé inteligence.

Literatura:

- AMORIM, Cihelio Alves a Ariadne do Nascimento MOURA, 2021. Ecological impacts of freshwater algal blooms on water quality, plankton biodiversity, structure, and ecosystem functioning. *Science of The Total Environment* [online]. **758**, 143605. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:[10.1016/j.scitotenv.2020.143605](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143605)
- BHAGOWATI, Biswajit, Bishal TALUKDAR a Kamal Uddin AHAMAD, 2020. Lake Eutrophication: Causes, Concerns and Remedial Measures. In: Manish KUMAR, Daniel D. SNOW a Ryo HONDA, ed. *Emerging Issues in the Water Environment during Anthropocene* [online]. Singapore: Springer Singapore, s. 211–222 [vid. 2022-08-02]. ISBN 978-981-329-770-8. Dostupné z: doi:[10.1007/978-981-32-9771-5_12](https://doi.org/10.1007/978-981-32-9771-5_12)
- BROCKMANN, Carsten, Roland DOERFFER, Marco PETERS, Kerstin STELZER, Sabine EMBACHER a Ana RUESCAS, 2016. Evolution of the C2RCC neural network for Sentinel 2 and 3 for the retrieval of ocean colour products in normal and extreme optically complex waters. In: L. OUWEHAND, ed. *Living Planet Symposium: Living Planet Symposium*. s. 54. ISBN 978-92-9221-305-3.
- FISH, GR, 1972. Aesthetics of pollution: eutrophication. *Man and his Environment; the Effects Of Pollution On Man*. 166–172.
- KUMAR, Abhishek, Deepak R. MISHRA a Nirav ILANGO, 2020. Landsat 8 Virtual Orange Band for Mapping Cyanobacterial Blooms. *Remote Sensing* [online]. **12**(5), 868. Dostupné z: doi:[10.3390/rs12050868](https://doi.org/10.3390/rs12050868)
- NEDBAL, Václav a Jakub BROM, 2019. Hodnocení znečištění povrchových vod pomocí satelitních snímků. *Vodní hospodářství*. **2019**(5), 6–8.
- SCHILLER, Helmut a Roland DOERFFER, 1999. Neural network for emulation of an inverse model operational derivation of Case II water properties from MERIS data. *International Journal of Remote Sensing* [online]. **20**(9), 1735–1746. ISSN 0143-1161, 1366-5901. Dostupné z: doi:[10.1080/014311699212443](https://doi.org/10.1080/014311699212443)
- SORIANO-GONZÁLEZ, Jesús, Esther Patricia URREGO, Xavier SÒRIA-PERPINYÀ, Eduard ANGELATS, Carles ALCARAZ, Jesús DELEGIDO, Antonio RUÍZ-VERDÚ, Carolina TENJO, Eduardo VICENTE a José MORENO, 2022. Towards the Combination of C2RCC Processors for Improving Water Quality Retrieval in Inland and Coastal Areas. *Remote Sensing* [online]. **14**(5), 1124. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:[10.3390/rs14051124](https://doi.org/10.3390/rs14051124)
- VANHELLEMONT, Quinten a Kevin RUDDICK, 2018. Atmospheric correction of metre-scale optical satellite data for inland and coastal water applications. *Remote Sensing of Environment* [online]. **216**, 586–597. ISSN 00344257. Dostupné z: doi:[10.1016/j.rse.2018.07.015](https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.07.015)

Klíčová slova: kvalita vody, dálkový průzkum Země, umělá inteligence, vodní nádrže