

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA PROSTOROVÝCH VĚD



Kvalita povrchových vod z dat Sentinel-2 pro vybrané
lokality

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: Vít Češka

Vedoucí práce: doc. Mgr. Jan Kropáček, Ph.D.

2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vít Češka

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

Kvalita povrchových vod z dat Sentinel-2 pro vybrané lokality

Název anglicky

Inland water quality from Sentinel-2 data for selected sites

Cíle práce

Cílem práce je analýza kvality povrchových vod v evropských podmínkách za použití multispektrální analýzy dat dálkového průzkumu Země (DPZ). Budou vybrány dvě vhodné lokality a bude provedena analýza kvality povrchových vod pomocí dat Sentinel-2. Pro posouzení lokalit budou použita také dostupná meteorologická data. Obě lokality budou porovnány a rozdíly budou diskutovány.

Metodika

Budou použita data ze skeneru MSI na družici Sentinel-2. Bude provedena rešerše ukazatelů kvality vod, a vhodných metod DPZ. V druhé části práce bude porovnána kvalita povrchových vod okolí dvou zvolených měst v Evropě s podobnou velikostí v období dostupnosti dat od roku 2015. Výsledkem práce bude zhodnocení a kvality vody na obou zkoumaných územích. Časová variabilita ukazatelů kvality vody bude porovnána s meteorologickými daty a bude hledána příčinná souvislost.

Doporučený rozsah práce

60

Klíčová slova

povrchové vody, dálkový průzkum Země, Sentinel-2, znečištění, multispektrální analýza

Doporučené zdroje informací

- Gholizadeh, Mohammad, Assefa Melesse, and Lakshmi Reddi. "A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques." *Sensors* 16.8 (2016): 1298.
- Jing-Han Wang, Cheng Yang, Lv-Qi-Shu He, Guo-Hua Dao, Jing-Song Du, Ya-Ping Han, Guang-Xue Wu, Qian-Yuan Wu, Hong-Ying Hu, 2019: Meteorological factors and water quality changes of Plateau Lake Dianchi in China (1990–2015) and their joint influences on cyanobacterial blooms. *Science of The Total Environment*, Volume 665. P. 406-418.
- RNDr. Jakub Langhammer, Ph.D., 2002-09: Kvalita povrchových vod a jejich ochrana. Univerzity Karlova, Přírodovědecká fakulta Katedra fyzické geografie a geoekologie, 225.
- Schowengerdt A. R., 2006: Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing, Publisher: Elsevier Science, ISBN 9780080480589
- Toming, K., Kutser, T., Laas, A., Sepp, M., Paavel, B., & Nõges, T. (2016). First experiences in mapping lake water quality parameters with Sentinel-2 MSI imagery. *Remote Sensing*, 8(8), 640.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Mgr. Jan Kropáček, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra prostorových věd

Elektronicky schváleno dne 21. 2. 2021

doc. Ing. Petra Šimová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 01. 03. 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Kvalita povrchových vod z dat Sentinel-2 pro vybrané lokality vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 15.3.2021

Vít Češka

Poděkování

Touto cestou bych chtěl moc poděkovat vedoucímu této bakalářské práce doc. Mgr. Janu Kropáčkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky, velkou trpělivost a čas strávený při konzultacích a státnímu podniku Povodí Vltavy za poskytnutá data do mého výzkumu. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za velkou podporu v průběhu celého studia.

V Praze dne 15.3.2021

Vít Češka

Abstrakt

Kvůli nedostatku přísunu čisté vody některým státům na světě se jedná o jeden ze současných celosvětových problémů, na její kvalitě jsou závislé celé ekosystémy i člověk. Nadměrné množství některých látek přispívá k eutrofizaci vod, což může mít za následek snížení celkového ekologického stavu. Proto neustále dochází k novým studiím a rozborům povrchových a podzemních vod ve snaze najít nejlepší metody a řešení problémů s kvalitou vody. Za pomoci družice Sentinel-2 lze monitorovat kvalitu povrchových vod. Bakalářská práce se zabývá analýzou kvality povrchových vod v evropských podmínkách za použití multispektrální analýzy dat dálkového průzkumu Země (DPZ). Za cíle si klade zhodnocení kvality vody na dvou vybraných evropských územích z pohledu koncentrace chlorofylu-a ve vodě a porovnání časové variability ukazatelů kvality vody s meteorologickými daty a nalezení příčinné souvislosti. V první části práce se literární rešerše zabývá úvodem do problematiky kvality povrchových vod a metod dálkového průzkumu Země. Je zde vysvětleno, proč je důležitá kvalita vody, jaké jsou zdroje znečištění a ukazatele kvality vody. Přibližuje povrchové vody v ČR a jejich monitoring. V další části práce jsou představeny metody dálkového průzkumu Země, možnosti dálkového pořízení dat a je definováno využití družic Sentinel. Na závěr teoretické části práce jsou představeny lokality zvolené pro tento výzkum. V praktické části jsou zpracována dostupná data vybraných lokalit mezi roky 2015-2019. Data jsou použita ze skeneru MSI na družici Sentinel-2 a upravována v programu SNAP. Souhrnné výsledky potvrzují současnou kvalitu povrchové vody na zájmových územích dle tabulky ČSN 75 221. Nádrž Štěchovice byla ohodnocena na pomezí mezi třídou I. a II. Nádrž Große Dhüntalsperre byla ohodnocena třídou I. Byly zjištěny příčinné souvislosti mezi nárůstem koncentrace chlorofylu-a ve vodě a výkyvů teploty vzduchu. Zajímavým zjištěním byl zpožděný nárůst či pokles koncentrace chl-a vůči teplotě o 5-7 dní.

Klíčová slova: povrchové vody, dálkový průzkum Země, Sentinel-2, znečištění, multispektrální analýza

Abstract

Due to the lack of clean water supply to some countries in the world, this is one of the current global problems, the whole ecosystems and humanity depend on its quality. Excessive amounts of some substances contribute to water eutrophication, which can result in a reduction in the overall ecological status. Therefore, new studies and analyzes of surface and groundwater are constantly being made in an effort to find the best methods and solutions to water quality problems. Surface water quality can be monitored using the Sentinel-2 satellite. The bachelor thesis deals with the analysis of surface water quality in European conditions using multispectral analysis of Earth remote sensing (RS) data. It aims to evaluate water quality in two selected European territories in terms of chlorophyll-a concentration in water and to compare the time variability of water quality indicators with meteorological data and to find a causal link. In the first part of the work, the literature search deals with an introduction to the issue of surface water quality and methods of remote sensing of the Earth. It explains why water quality is important, what the sources of pollution and water quality indicators are. It introduces surface waters in the Czech Republic and their monitoring. The next part of the work introduces methods of remote sensing of the Earth, the possibility of remote data acquisition and defines the use of Sentinel satellites. At the end of the theoretical part of the work, the localities selected for this research are presented. In the practical part, available data of selected localities between the years 2015-2019 are processed. The data is used from the MSI scanner on the Sentinel-2 satellite and edited in the SNAP program. The overall results confirm the current quality of surface water in the areas of interest according to the table ČSN 75 221. The Štěchovice reservoir was evaluated on the border between class I and II. The Große Dhünnalsperre reservoir was rated Class I. A causal relationship was found between the increase in chlorophyll-a concentration in the water and air temperature fluctuations. An interesting finding was the delayed increase or decrease in the concentration of chl-a relative to temperature by 5-7 days.

Keywords: surface water, remote sensing of the Earth, Sentinel-2, pollution, multispectral analysis

OBSAH

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK	1
1. ÚVOD	1
2. LITERÁRNÍ REŠERŠE	2
2.1. Kvalita povrchových vod	2
2.1.1. Význam kvality vody	2
2.1.2. Zdroje znečištění	2
2.1.3. Ukazatele kvality vod	4
2.2. Vývoj zkoumání kvality vody	15
2.3. Druhy povrchových vod v ČR	16
2.4. Monitoring kvality vody v ČR	18
2.5. Metody dálkového průzkumu Země (DPZ)	19
Nosiče pro dálkový sběr dat	19
2.5.1. Metody pořízení dat	19
2.5.2. Mise Sentinel	21
3. STUDOVANÉ LOKALITY	25
3.1. Kvalita povrchových vod v Evropě	25
3.1.1. Města	25
3.1.2. Vodstvo	25
3.1.3. Podnebí	26
3.2. Meteorologická data	27
3.2.1. Meteorologická data pro Prahu	27
3.2.2. Meteorologická data pro Kolín nad Rýnem	35
4. METODIKA	41
4.1. Zpracování dat u družice Sentinel-2	41
4.2. Datové oblasti	42
4.2.1. Česká republika	42
4.2.2. Německo	43
4.2.3. Česká republika	44
4.2.4. Německo	46
4.3. Porovnání datových výstupů ČR a Německo	49
4.3.1. Česká republika	49
4.3.2. Německo	51
5. VÝSLEDKY	52
6. DISKUSE	55
7. ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE	56
8. POUŽITÁ LITERATURA	57

Seznam použité literatury	57
Seznam URL odkazů	60
Seznam použitých obrázků	63
Seznam použitých grafů	66
Seznam použitých tabulek	67
9. PŘÍLOHY	68
Příloha č.1	68
Příloha č.2	71
Česká republika	71
Německo	79

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

DPZ – Dálkový průzkum Země

ČSN – Československé normy

pH – vodíkový exponent, vyjadřující, zda roztok reaguje kyselé či zásaditě

BSK – biologická spotřeba kysíku

MKOL – Mezinárodní komise pro ochranu Labe

KTJ – kolonie tvořící jednotka

ČOV – čistírny odpadních vod

Chl-a – chlorofyl-a

TSS – celkové nerozpuštěné látky

CDOM – barevně rozpuštěná organická hmota

MSI – multispektrální senzor

NIR – blízké infračervené záření

1. ÚVOD

Dálkový průzkum Země (DPZ) umožňuje monitorovat nejrůznější problémy, které mají negativní dopad na životního prostředí, vznikající především antropogenní činností. Díky DPZ se lze na tyto problémy připravit, analyzovat způsobené škody či jim předcházet. Za tímto účelem byl zřízen v roce 2014 program Copernicus, který poskytuje vysoce kvalitní záběry pevniny, moří, atmosféry a klimatu, ale monitoruje např. i bezpečnost na zemi. Je složen z několika družic Sentinel (1-5) obíhajících kolem Země, z nichž je každá zaměřena na specifickou oblast planety (Copernicus CR).

Kvůli nedostatku přísunu čisté vody některým státům v Africe či například Indii se jedná o jeden ze současných celosvětových problémů, proto neustále dochází k novým studiím a rozborům povrchových a podzemních vod ve snaze najít nové či lepší metody a řešení problémů s kvalitou vody. Za pomoci družice Sentinel-2 lze monitorovat kvalitu povrchových vod. Družice umožňuje ukázat např. množství látek znečišťující vodu (např. množství sinic) či samotnou teplotu vody. Kromě antropogenních vlivů, mají vliv na životní prostředí také meteorologické vlivy (např. nedostatek srážek, zvyšující se teplota planety, zvýšené poryvy větru či výplach živin z půdy – zvláště fosforu a dusíku, který vede k eutrofizaci vod). Získané informace z dat družice by tak mohly ukázat příčinnou souvislost mezi meteorologickými vlivy a znečištěním povrchových vod.

2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

2.1. Kvalita povrchových vod

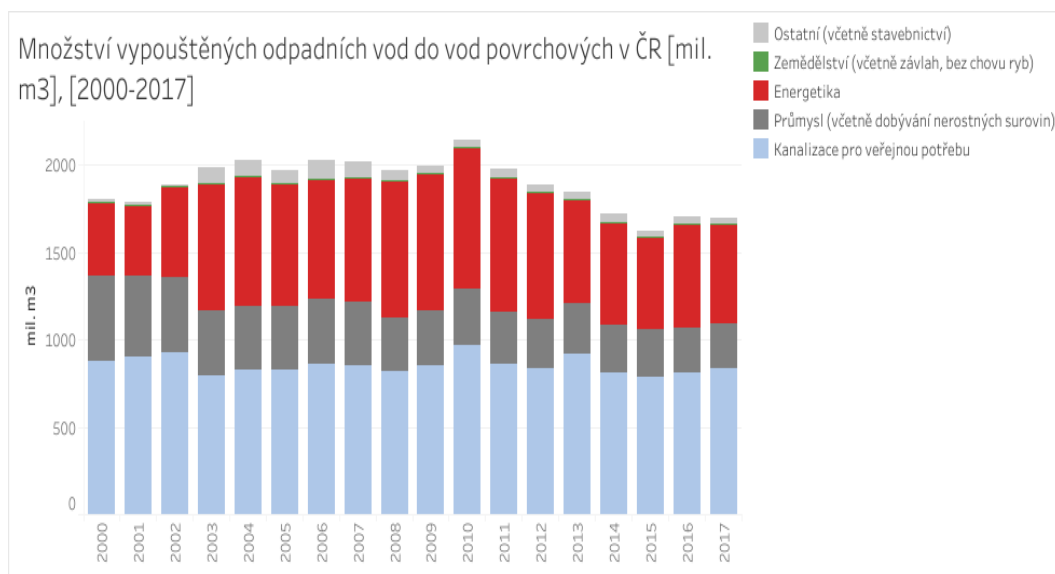
2.1.1. Význam kvality vody

Voda je nejdůležitější složkou života veškerých organismů na Zemi. Na její kvalitě jsou závislé celé ekosystémy i člověk. Jakost vody ovlivňuje převážně vodní organismy a přilehlé ekosystémy (např. říční nivy). Nadměrné množství některých látek přispívá k eutrofizaci vod, což může mít za následek snížení celkového ekologického stavu a negativní dopad na možnost využití člověkem. Eutrofizace představuje pro člověka zdravotní riziko při využití ke koupání či jako zdroj pitné vody (URL 1, Cenia, 2015). Kromě pitného účelu lze vodu využívat například v energetice, zemědělství, průmyslu a mnoha dalších oborech. Každý obor vyžaduje jinou jakost vody, a tak je voda často upravována. Při tomto procesu úpravy dochází k znehodnocení kvality vody, která při vypouštění zpět do povrchových toků dále ovlivňuje organismy, které tuto vodu využívají.

2.1.2. Zdroje znečištění

Zdroje znečištění lze rozdělit podle několika parametrů. Základním rozdělením je podle původu vzniku na antropogenní (působením člověka) a přírodní (pocházející z horninového prostředí, přírodní kalamity atp.). Dalším rozdělením jsou podle vstupu do toku. Dělí se na zdroje bodové (místní) a nebodové (plošné, difusní) (Kaiglová, 2007 ex. Ritter, Shirmohammadi, 2001).

Bodové zdroje vstupují do toku v jednom konkrétním místě. Jedná se o průmyslové či komunální zdroje (stoky, kanalizační sítě) a jsou většinou přiváděny potrubím. Lze však do této kategorie zahrnout všechny zdroje, kde je možné definovat množství vypouštěného znečištění a místo vypouštění. Podle Langhammera (2010) patří průmyslové zdroje mezi největší znečišťovatele povrchových vod na světě. Jedná se především o odpadní vody z chemického, potravinářského, papírenského průmyslu a úpravy kovů. Pro jednotlivé typy průmyslových výrob lze určit společné charakteristiky a zjistit tak celkovou míru vypouštěného znečištění. Jedná se o vypouštěné látky, koncentraci vypouštěných látek a rozložení emisí v čase. Komunální zdroje znečištění jsou vázány na spotřebu vody obyvatelstvem a liší se velikostí obývané oblasti. Hodnoty se obvykle pohybují v rozmezí 80 až 420 litrů na obyvatele/den (Langhammer, 2010). Pražské vodovody a kanalizace uvádějí průměrnou spotřebu na obyvatele v roce 2018 107 litrů/den. V roce 2008 byly hodnoty na 121 litrů/den. V ostatních regionech pak bylo dosaženo nižších hodnot. Podle ročních naměřených hodnot průměrná spotřeba vody v českých domácnostech značně klesá. (URL 2, pvk.cz)



Obrázek č. 1: Množství vypouštění odpadních vod do povrchových vod v ČR 2000-2017 (Zdroj: Cenia.cz)

Nebodové zdroje (plošné, difusní) vstupují do toku například průsakem vody z obytných pozemků či odplavováním zemědělské půdy při deštích. Jsou velmi těžko definovatelné a těžko se lokalizují. Jsou také úzce napojeny a ovlivňovány přírodními vlivy a místními meteorologickými, hydrologickými a environmentálními podmínkami. Záleží také na prostorovém uspořádání a ročním období (Thorton, 1999). Mezi difúzní zdroje se řadí převážně drobné rozptýlené nebodové zdroje – převážně výluhy ze skládek, znečištění z dopravy, ale i zemědělské a komunální. Doprava přispívá znečištěním hlavně v zimním období, kdy je při tání sněhu vyplavována sůl do vodních toků. Dále samotné difúzní znečištění způsobují samotné silnice, parkoviště či nepřímo samotné havárie, kvůli pozdní likvidaci uniklých látek (Langhammer, 2010). Největší podíl na nebodovém plošném znečištění má zemědělství. Jedná se převážně o rostlinnou výrobu, odpadní vody z živočišné výroby, aplikaci pesticidů a hnojiv či ochranné chemické postřiky. Dalším velkým producentem znečištění jsou zvířata – hovězí dobytek, drůbež a prasata. Jejich fekální odpad (močůvka, hnůj, kejda)¹ je využíván k hnojení, avšak pouze ve vegetačním období. Po zbytek roku je opad likvidován či uschováván. Často však bývají skladovací prostory špatně zajištěné a dochází k průsaku do povrchových a podzemních vod. Koncentrace znečišťujících látek v těchto hnojivech je vysoká, proto se v případě průsaku jedná o závažný problém (Langhammer, 2006). Umělá hnojiva oproti přírodním mají výhodu rychlého vstřebání do půdy, avšak při vyšší koncentraci se mohou rychleji dostat do vod a s nimi i nebezpečné látky pro životní prostředí (např. těžké kovy).

¹ Močůvka – tekuté statkové hnojivo, tvořené prokvašenou močí zvířat, které obsahuje vysoké množství dusíku a draslíku. Hnůj – vzniká při ustájení dobytka se stelivem v klasickém nízkokapacitním chovu, jedná se o směs fekálií a steliva. Kejda – jedná se o směs pevných a tekutých fekálií a technologické vody.

2.1.3. Ukazatele kvality vod

Povrchové vody jsou hodnoceny na základě dané normy ČSN 75 221 označované jako Klasifikace jakosti povrchových vod. Kvalita vody je vyjádřena pomocí tříd I.-V. Klasifikace vod probíhá na základě zhodnocení koncentrace ukazatelů jakosti (viz obrázek č.2) (URL3, vtei.cz).

Barevná definice tříd jakosti povrchových vod ČSN 75 7221

Třída	Klasifikace
I	Neznečištěná voda
II	Mírně znečištěná voda
III	Znečištěná voda
IV	Silně znečištěná voda
V	Velmi silně znečištěná voda

Skupiny ukazatelů jakosti povrchových vod podle 75 7221

Skupina	Ukazatele
I	Obecné fyzikální a chemické ukazatele
II	Specifické organické látky
III	Kovy a metaloidy
IV	Mikrobiologické a biologické ukazatele
V	Radiologické ukazatele

Obrázek č.2: Definice tříd a skupin jakosti povrchových vod (zdroj: <https://slideplayer.cz/slide/5582949/>)

Obecné fyzikální a chemické ukazatele

(kompletní přehled ukazatelů jakosti viz. Příloha 1)

Do této skupiny se mezi nejdůležitější ukazatele řadí teplota vody, reakce pH, rozpuštěný kyslík, elektrická konduktivita, BSK₅², chloridy.

Teplotu vody označuje Langhammer (2010) za základní fyzický ukazatel, který ukazuje aktuální stav toku a jeho povodí. Teplota vody se mění v závislosti na intenzitě slunečního záření, teploty vzduchu, klimatickém období a denním či sezonním režimu. Od teploty vody se dále odvíjí kyslíkový poměr v tocích. Čím vyšší je teplota vody v toku, tím menší je obsah rozpuštěné kyslíku ve vodě. Kyslík je nezbytný pro život organismů ve vodě, ovlivňuje veškeré biochemické reakce a proces samočištění.

Reakce pH ovlivňuje velké množství chemických a biologických procesů ve vodě. Na základě hodnoty pH lze zjistit agresivitu vody či výskyt některých prvků ve vodě. Hodnoty pH se obvykle pohybují v rozmezí 0-14, přičemž hodnoty povrchových vod jsou v rozmezí 4,5-9,5 (pivokonsky.wz.cz, 2017/2018).

Konduktivita je schopnost vody vést elektrický proud. Je přímo závislá na teplotě, proto každá změna teploty o jeden stupeň Celsia má za následek změnu konduktivity o 2 procenta (Langhammer, 2009 ex. Grünvald, 1997). Míra konduktivity se také mění v závislosti na velikosti antropogenní zátěže. Vysoké hodnoty konduktivity znamenají, že v toku se vyskytuje jistá míra antropogenního zatížení, nelze však určit hodnotu či

² BSK₅ – Biologická spotřeba kyslíku pětidenní

charakter znečištění. Vysoká vodnatost některých toků, zatíženými bodovými zdroji znečištění umožňuje snížit úroveň znečištění a pomáhá s návratem původní konduktivity vodního toku (Langhammer, 2009).

BSK₅ (biochemická spotřeba kyslíku) vyjadřuje celkový obsah rozložitelných organických, popř. anorganických látek ve vodě za anaerobních podmínek. Vyjadřuje znečištění převážně v splaškových odpadních vodách. Stanovení hodnot se provádí jednou denně v pětidenním intervalu, proto se označuje dolním indexem 5 (URL 4, eagri.cz). Tento ukazatel je používán již od roku 1914. Pro celý svět se užívá jednotná metoda, tedy stanovení za 5 dní (Langhammer, 2009)

Specifické organické látky (Xenobiotika)

(kompletní přehled ukazatelů jakosti viz. Příloha 1)

Jedná se o látky umělého původu, které se do přírody dostávají jako odpady z průmyslu, z havárií (např. ropné látky) či cíleně (pesticidy). Z povrchových vod se dostávají velmi obtížně, jsou velmi toxické a představují nebezpečí pro člověka i životní prostředí (Langhammer, 2010).

Pesticidy jsou látky používané v zemědělství pro hubení rostlinných či živočišných škůdců. Jedná se tedy o toxické látky, které se většinou špatným aplikováním na zemědělských půdách dostávají povrchovým splavem do vodních toků. Pesticidy se dnes využívají na 95 % zemědělských ploch, znečištění je vystavena tedy nejen voda, ale i vzduch, půda, rostliny či živočichové. V ČR je využíváno přibližně 250 účinných látek pesticidů. Přitom se stále využívají i látky označované jako nebezpečné. Tyto látky patří mezi 15 nejpoužívanějších látek v ČR. Jsou však zaváděna opatření, pro omezování používání pesticidů např. evidence aplikace pesticidů, ekologická dan, omezení plošných postřiků či testování a schvalování postřikovacích zařízení, která mají za cíl snížení negativního dopadu na životní prostředí (URL 5, eagri.cz)

KATEGORIE CATEGORIES	2009	2010	2011	2012	2013
ZOOCIDY, MOŘIDLA	646 929	714 250	868 799	898 457	1 031 817
HERBICIDY A DESIKANTY	6 378 536	6 537 167	7 296 644	7 649 274	6 978 787
FUNGICIDY, MOŘIDLA	2 811 733	2 831 152	3 262 315	3 286 430	3 796 376
REGULÁTORY RŮSTU	1 019 072	1 035 542	1 373 929	1 361 184	1 230 344
RODENTICIDY	65 246	172 077	114 932	170 681	75 514
OSTATNÍ ²⁾	308 722	297 715	419 754	459 703	524 532
CELKEM	11 230 238	11 587 903	13 336 373	13 825 729	13 637 370

Obrázek č. 3,4 – Spotřeba přípravků na ochranu rostlin (POR) a pomocných prostředků (PP) v jednotlivých letech v ČR (zdroj: URL 6)

2013	2014	2015	2016	2017	2018
1 031 817	1 405 577	1 154 677	1 117 902	1 106 035	1 079 220
6 978 787	6 334 267	5 986 093	6 108 874	6 046 744	5 504 059
3 796 376	3 611 868	3 588 704	3 782 240	3 896 299	3 659 164
1 230 344	1 138 975	1 222 713	1 145 151	1 320 472	1 057 910
75 514	179 721	278 437	129 128	61 981	71 570
524 532	470 522	501 390	526 529	409 697	339 505
13 637 370	13 140 930	12 732 014	12 809 824	12 841 228	11 711 429

Obrázek č. 3,4 - Spotřeba přípravků na ochranu rostlin (POR) a pomocných prostředků (PP) v jednotlivých letech v ČR (zdroj: URL 6)

Ropné látky se označují uhlovodíky a směsi, které se nacházejí při 40 stupních Celsia a nižších v tekutém stavu. Do této skupiny látek se řadí například benzen, nafta, ropa, oleje a další podobné látky. Ve vodě jsou ropné látky rozpouštěny různě, s delším řetězcem uhlovodíků však rozpustnost rychle klesá. Mezi ty nejrozpuštěnější látky patří aromatické uhlovodíky (např. benzen, toluen). Naopak nejhůře se rozpouštějí alkany (např. uhlovodíky oktanu či heptanu) (URL 7). Důsledky odstraňování ropných látek jsou náročné a dlouhodobé procesy. Celkem se řekami do moře dostane přibližně 28 % ropných látek z celého světa. Rychlost šíření znečištění ropnými skvrnami je ovlivňováno teplotou vody a viskozitou³. Některé uhlovodíky evaporují, některé se rozpouštějí, při těchto dějích dochází k zvyšování viskozity a zpomalení šíření látek ve vodě. Ropa se stává těžší než voda a klesá ke dnu. Zde se díky emulzifikačním procesům stává odolnější a znečišťuje sedimenty a pobřeží (URL 7). Ropa působí na vodní organismy přímou toxicitou či omezením kyslíku. Je schopná přilnout na povrch, kde vytvoří toxický povlak ovlivňující organismus či pronikne skrze membrány do organismu, kde zamezuje přísunu kyslíku (Sonja Suni, 2007).

Kovy, metaloidy

(kompletní přehled ukazatelů jakosti viz. Příloha 1)

Tzv. těžké kovy se v povrchových vodách vyskytují většinou malém množství v koncentracích nanogramů až mikrogramů na litr, kde jsou potřebné pro život organismů. Při vyšších dávkách však bývají toxické a nebezpečné. Za nebezpečné (těžké) kovy označuje Langhammer (2010) skupinu látek jejichž hustota je vyšší jak 5 t/m³.

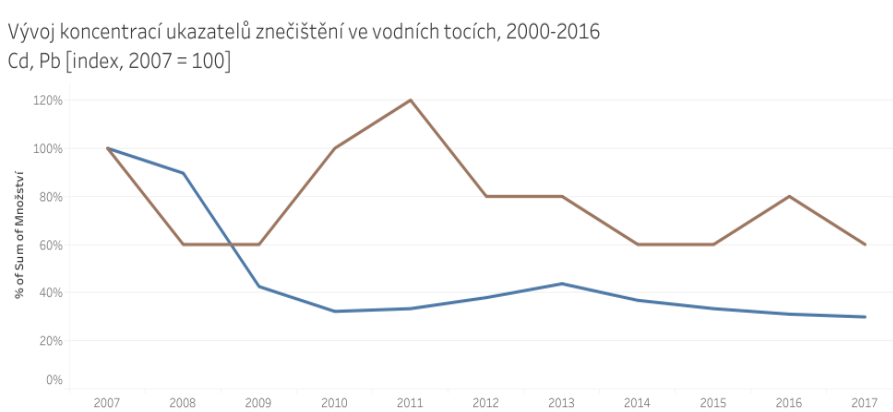
V poslední desetiletí se výskyt těžkých kovů stal problémem, kvůli převyšujícímu přirozenému zatížení. Tato situace nastala v důsledku rychlého růstu populace, urbanizace, využívání přírodních zdrojů či modernizaci zemědělských postupů. Hlavní zdroje příjmu těžkých kovů člověkem jsou voda, jídlo a vzduch a jsou nezbytné pro udržení metabolismu lidského těla. Při vyšší koncentraci však může dojít k otravě. Například ryby bývají zdrojem rtuti, proto je nezbytné udržovat hladinu těchto látek ve vodě na minimálních hodnotách. Další těžké kovy spojované s otravou jsou olovo, arsen a kadmium. Ostatní kovy, jako například zinek, měď či chrom jsou lidským tělem vyžadovány v malém množství. Od jiných znečišťujících látek (např. ropa), kde vzrůstající znečištění lze pozorovat, se mohou kovy hromadit v povrchových vodách zcela bez povšimnutí, a to až na smrtelnou úroveň toxicity. Za příklad lze uvést nemoc „Mina Mata“, která byla způsobena otravou ryb z průmyslově znečištěného zálivu Mina Mata v Japonku v 50. letech 20. století (Abubakar, Aliyu, 2015). Takovéto případy lze nalézt také na území ČR. V roce 1990 bylo zjištěno ve svalovině ryb ulovených v Labi pod Pardubicemi 5,75 mg rtuti na kg (Langhammer, 2009 ex. Jánský, 1992).

Mezi další nebezpečné látky s vysokou mírou toxicity se řadí olovo. Má vysokou akumulační schopnost, projevuje se chronickými otravami, které může způsobit kontaminovaná voda. Zdroje kontaminace vod olovem jsou rozmanité. Může se jednat například o olovené trubky (30. léta 20. století případ otravy pitné vody v Teplicích-Šanově a Lipsku) které jsou sice nyní nahrazovány jinými materiály, ale lze se s nimi setkat dodnes. Převážně se však jedná kontaminaci z průmyslové výroby. Mezi největší zdroje se řadí chemický, hutní průmysl a elektrotechnika.

³ Viskozita – Jedná se o vnitřní tření, odpor tekutiny působící proti silám snažící se posunout její nejmenší částice. Kapaliny s větší přitažlivostí mají větší viskozitu, která znamená pomalejší pohyby kapaliny

S nástupem počítačové techniky a nových možností detailního měření však koncentrace znečištění olovem značně klesla (Langhammer, 2009).

Kadmium je další silně toxickou látkou. V přírodě se však vyskytuje v malých koncentracích mikrogramů. Ve vyšších dávkách ho lze najít pouze v okolí rudných ložisek. Hlavním zdrojem znečištění bývá průmysl chemický, textilní či z těžby a zpracování rudy. Kadmium lze najít i v zemědělství, hlavně z používání fosfátů a pesticidů. Míra toxicity je často ovlivněna formou výskytu ve vodách. Závisí na chemickém složení vody, převážně pak na pH a obsahu některých aniontů. Důležitým indikátorem znečištění povrchových vod kadmii jsou sedimenty dna. Koncentrace zde bývá desetkrát vyšší než ve vodě (Bělohávková, Staffová P., 2013).



Obrázek č. 5 – Cd (hnědá), Pb (modrá), Vývoj koncentrace znečištění kadmia a olova v ČR (zdroj: URL 8)

Povrchové vody sebou podél toku často unášejí půdu a rozpuštěné a nerozpuštěné organické látky. Tyto látky se usazují na dně, kde se vytvářejí sedimenty. Velmi často jsou podporovány antropogenní činností. Bowen (1979) uvedl, že většina těžkých kovů je držena právě v sedimentech, zatímco ve zbylých částech vodního ekosystému zůstává znečištění velmi malé. Toto prohlášení podporuje například i analýza MKOL z devadesátých let. Výzkum prováděný na českém a německém úseku Labe, prokázal mnohonásobně větší koncentraci těžkých kovů v sedimentech oproti vodní fázi (Langhammer 2009 ex. MKOL, 1997). Vodní prostředí je však systém s neustálou výměnou látek, a tak je potřeba provádět analýzy nejen na vodě či vodních organismech, ale také na sedimentech (Folarin, Olujinmi Moses & Bamiro, F.O., 2009).

Mikrobiologické a biologické ukazatele

Biologické ukazatele jakosti používají pro hodnocení jakosti vody tři systémy. Jedná se o saprobní, trofický a systém mikrobiálního znečištění (Langhammer, 2010)

Saprobní systém

Hodnocení kvality vody podle saprobního systému vychází z předpokladu, že různé úrovně znečištění odpovídají různým vodním biocenózám, tvořeným různými odolnými organismy. Podle přítomných organismů se pak určuje biologický stav (saprobita) (URL 9). Pro stanovení saprobity se využívá společenstvo bentosu, které zaručuje kvalitu výsledků díky svému životnímu cyklu a nejlépe vyhovuje podmínkám stanovení (Langhammer 2009 ex. Sládeček, Sládečková, 1995).

Základním hodnocením saprobního systému je členění dle Kolkowitze a Marssona, kteří jako první představili saprobitu jako indikátor stupně znečištění vodních toků

(Kolkowitz, Marsson, 1902). Tento systém je především používán ve Střední Evropě díky dobře rozvinuté taxonomii vodních organismů. Změny ekosystému lze nejlépe sledovat při procesu samočištění. Největší změnu můžeme pozorovat hlavně ve složení biotických komunit, mění se ale také zápach či další chemické složky. Kolkowitz a Marsson se zaměřovali na ekologický přístup, zabývali se celými biologickými společenstvími, nikoli pouze druhy. Saprobni systém založili na čtyřech stupních samočištění (URL 10)

I. Polysaprobna II. α -Mezosaprobna III. β -Mezosaprobna IV. Oligosaprobna. Zóny se rozlišují specifickými druhy, chemickými podmínkami, povahou vodního dna či samotnou vodou.

Polysaprobna zóna (extrémně znečištěná)

Vyskytují se zde převážně anaerobní podmínky a rychlé degradační procesy. Konečnými produkty degradace oxid uhličitý (CO_2), sirovodík (H_2S) a amoniak (NH_3). Voda je špinavě šedé barvy se shnilým zápachem a zakaleností v důsledku výskytu velkého počtu bakterií a koloidů. V mnoha případech bývá spodní část toku špinavá a spodní strany kamenů jsou pokryty černou vrstvou sulfidu železnatého (FeS). Tyto povrchové vody se vyznačují nepřítomností autotrofních organismů a dominancí bakterií, přizpůsobené pro tyto podmínky. Typickými organismy jsou modro-zelené řasy, prvoci či zooflageláty. Ryby se v této zóně většinou nevyskytují (URL 10).

α -Mezosaprobna (silně znečištěná)

Vyskytují se zde převážně produkty rozkladu aminokyselin, převážně mastné kyseliny. Je zde přítomnost volného kyslíku, který snižuje redukční procesy ve vodě. Ta je zbarvena tmavou šedou barvou, voní většinou pachem hniloby či nepříjemně kvůli přítomnosti sulfanu (H_2S) nebo zbytkům uhlovodíků a fermentaci bílkovin. Tato zóna se charakterizuje přítomností tzv. splaškovými houbami, jedná se o směs organismů, kterým dominuje bakterie *Sphaerotilus natans* (URL 10)



Obrázek č. 6 - bakterie *Sphaerotilus natans* (zdroj: By Jürgen Mages, URL 11)

Jedná se o hmotu organismů, které vytvářejí dlouhé prameny u dna toků. Často se o dna oddělí za pomoci plynu vytvářeného během rozkladacích či dýchacích procesů

a jsou unášeny proudem jako špinavá šedá hmota. Tyto organismy lze nalézt převážně v splaškových vodách a odpadních vodách z cukrovarů a dřevozpracujících závodů (URL 10). Z důvodu malého množství kyslíku ve vodě zde dochází k úhynu ryb. Odolní živočichové, kteří zde přežívají jsou bičíkovci, pijavky a nitěnky (Folbrecht, 2009).

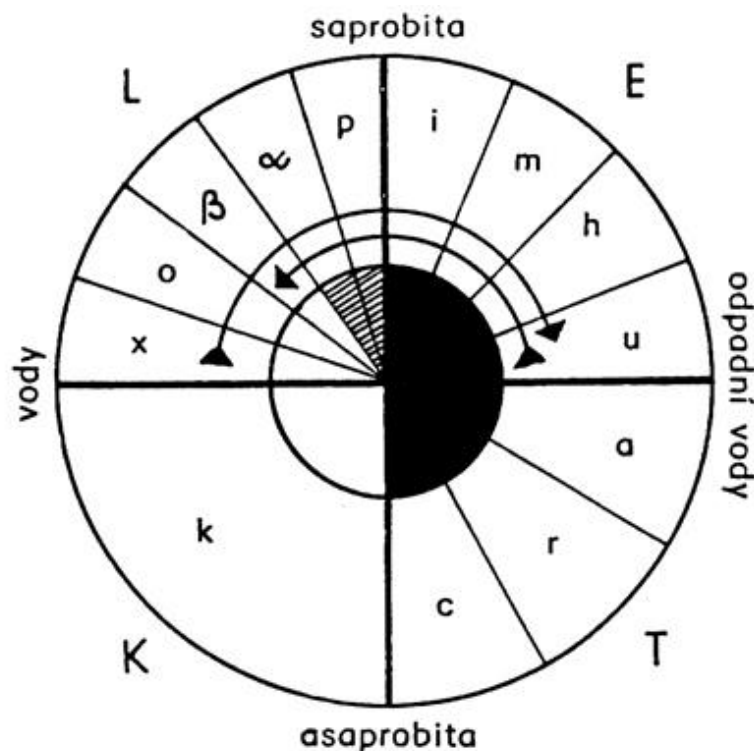
β-Mezosaprobita (mírně znečištěná)

Voda je v tomto stupni průhledná občas mírně zakalená, bez zápachu a mírně zbarvená. Amoniak (NH₃) či aminokyseliny se nacházejí v minimálních koncentracích (URL 10). Tento stupeň se považuje za nejlepší, kterého voda může dosáhnout při biologickém čištění odpadních vod. Také ho lze nazývat tzv. klimaxovým stádiem, kterého voda může přirozenými procesy dosáhnout bez lidského zásahu. Tyto vody jsou velmi bohaté na organické látky vzniklé rozkladem minerálních živin. Vyskytuje se zde mnoho sinic, které ovlivňují aromatické pachy a příchutě vody, dále zde narazíme na zelené řasy, koryše, larvy hmyzu či koryše (Říhová-Ambrožová, 2007).

Oligosaprobita (žádné znečištění či mírné znečištění)

Tento stupeň představuje čisté vody bez antropogenního znečištění, v oblasti středních toků (Folbrecht, 2009). Probíhající mineralizace vytváří anorganické či organické zbytky (např. humínové látky). (URL 10). Povrchová voda využívá převážně pro rekreační a vodárenské účely. Najdeme zde mnoho živočichů z řad koryšů, rozsvivky, jepice, pošvatky či ryby (hlavně pstruh, losos) (Říhová-Ambrožová, 2007).

Saprobni systém se postupně vyvíjel a přepracovával až byl Sládečkem rozvinut do komplexní podoby kruhového diagramu. Je rozčleněný podle stupně znečištění a charakteru prostředí (Langhammer, 2009 ex. Sládeček, Sládečková, 1995; Sládeček, 1965).



Obrázek č. 7 – Diagram saporbního indexu podle Sládečka (zdroj: URL 12)

Kruhový diagram je rozdělený na čtyři části. Pravá polovina odpovídá odpadním vodám, levá vodám přírodním, horní polovina představuje procesy s rozkladem organických látek (saprobní), dolní bez rozkladu látek (asaprobní).

Kataprobita (K) – nejčistší vody, slabé oživení, druhy podzemních vod

Limnosaprobita (L) – povrchové i podzemní vody různě znečištěné, odlišná struktura společenstev

Eusaprobita (E) – odpadní vody se značně zvýšeným obsahem organických látek

Transsaprobita (T) – zvláštní odpadní vody s nehmotnými látkami (nebo faktorem, který je brzdí) – ropné, toxické látky, vysoká teplota, radioaktivita

Limnosaprobita – xenasaprobita, Oligosaprobita, β-mezosaprobita, α-mezosaprobita

Polysaprobita – Eusaprobita, Isosaprobita, Metasaprobita Hypersaprobita
Ultrasaprobita

Transsaprobita – Antisaprobita – toxicita, Radiosaprobita, Kryptosaprobita

(URL 13)

V současné době se pro hodnocení jakosti vody na základě saprobních ukazatelů používá Saprobní index S.

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i \cdot h_i \cdot I_i)}{\sum_{i=1}^n (h_i \cdot I_i)}$$

Obrázek č. 8 – vzorec pro Saprobní index (zdroj: URL 12)

S je saprobní index, h_i individuální hojnost druhu a I_i je individuální indikační váha druhu. Norma ČSN 75 7716 definuje seznam s individuálními saprobními indexy organismů, jejich indikační váhou a valencí. Rozšířený saprobní index dosahuje hodnot od -1 do +8 dle znečištění či čistoty vod (Říhová-Ambrožová, 2007). Saprobní systém je využíván v zemích střední a východní Evropy. Kromě ČR jsou používány další 2 saprobní systémy. Jedná se o BEOL (Biologicky účinné organické zatížení) v Německu a Quality-index či K-index v Holandsku (URL 13).

Trofický systém

Tento systém představuje hodnocení kvality vod na základě intenzity eutrofizačních procesů. Eutrofizace je nadměrný růst trofických procesů, které představují schopnost vodního prostředí dodávat živiny organismům, jedná se zejména o sloučeniny dusíku a fosforu. Díky těmto sloučeninám pak mohou organismy růst, rozmnožovat se a produkovat další organickou hmotu (Langhammer, 2009 ex. Sladeček, 1965). Vody se podle obsahu živin (tzv. trofický potenciál M_p) dělí do 5 stupňů.

Tabulka č.1 - zobrazení stupňů trofie

	stupeň trofie	trofický potenciál Mp [mgI-1]
1	ultraoligotrofní (velmi slabě úživné až neúživné vody)	<5
2	oligotrofní (slabě úživné)	5-50
3	mezotrofní (středně úživné)	50-200
4	eutrofní (silně úživné)	200-500
5	polytrofní (velmi silně úživné)	500-1000
6	hypertrofní (vysoce úživné)	> 1000

(zdroj: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Trofie>)

K hodnocení stupně se využívá standardizovaný biotest řas – stanovuje se nárůst sušiny řasové biomasy (mg sušiny na litr vzorku) v různých koncentracích testovaných vzorků, rozdíl na počátku testu a na koci testu tvoří trofický potenciál (URL 13).

Podle podmínek vzniku se eutrofizace rozlišuje na přírodní a antropogenně podmíněnou (indukovanou). Přírodní eutrofizace je vyvolávána obsahem fosforu (dále P) a dusíku (dále N) vyskytujícího se v půdě, dnových sedimentech a vodních organismech. Velmi často působí problémy při řízení antropogenní eutrofizace, kvůli své neregulovatelnosti, a i při odstranění živin z antropogenních zdrojů se velmi často ve vodě vyskytuje nadměrná eutrofizace (URL 13). Antropogenně podmíněná eutrofizace je vyvolána lidskou činností. Většinou se jedná o vnosi živin do povrchových vod ze zemědělské činnosti či z komunálních odpadů. Chod eutrofizačních procesů nejvíce ovlivňují intenzivně obdělávané zemědělské plochy, na kterých jsou aplikovány hnojiva obsahující fosfor či dusík. Dalším zdrojem jsou komunální vody a odpady z živočišné výroby nebo potravinářského průmyslu (Langhammer, 2009).

Eutrofizace se projevuje z biologického a chemického hlediska. Z biologického hlediska dochází k postupné změně společenstva v důsledku přisunu živin. Změnu lze rozdělit na dvě fáze. V první fázi dochází ke zvýšení rozvoje sinic, řas a vyšších rostlin. Mění se barva a průhlednost vody na modrozelenou, zelenou barvu a na hladině se vytváří vodní květ nahromaděných sinic a řas, které plavou. V druhé fázi dochází k snižování nasycení kyslíku ve vodě, může dojít až ke kyslíkovému deficitu u dna, úhynu ryb a dalších organismů a tím také ke změně druhové skladby (Langhammer, 2009). Chemická reakce eutrofizace se projevuje podle Tůmy (Langhammer, 2009 ex. Tůma, 2000) třemi způsoby:

Posunem hodnot reakce vody pH do alkalické oblasti v důsledku spotřeby CO₂ (oxid uhličitý) při fotosyntéze. Druhý způsob je změnou v kyslíkovém režimu, díky které může dojít k nasycení kyslíku ve vodě. Třetí způsob je vznik redukčních podmínek, díky kterým může dojít např. k mineralizaci organických látek či uvolňování manganu, železa a fosfátů ze sedimentů.

Na eutrofizační procesy má kromě poměru P a N vlivy i další činitelé. Například nízká teplota okolí a méně světla než je optimum má za následek větší příjem živin řasami

(Svátková, 2007 ex. Stevenson et al., 1996). Dále záleží i na samotném charakteru ekosystému. Hluboká studená jezera mají menší množství živin než malá mělká jezírka, kde se vlivem podzimního a jarního míchání dostanou veškeré živiny ze sedimentu do celého vodního sloupce a jsou využity k tvorbě organického materiálu. Dále se tedy dostane do vodních toků další množství fosforu a dojde k dalšímu nárůstu obsahu živin a s tím spojený další nárůst organického materiálu a s toho plynoucí další znečištění ekosystému (Svátková, 2007 ex. Lellák, Kubíček, 1992). Velkým faktorem je také roční období – maximální produkce vodního květu probíhá v jarních a letních měsících (URL 13).

Mikrobiální znečištění

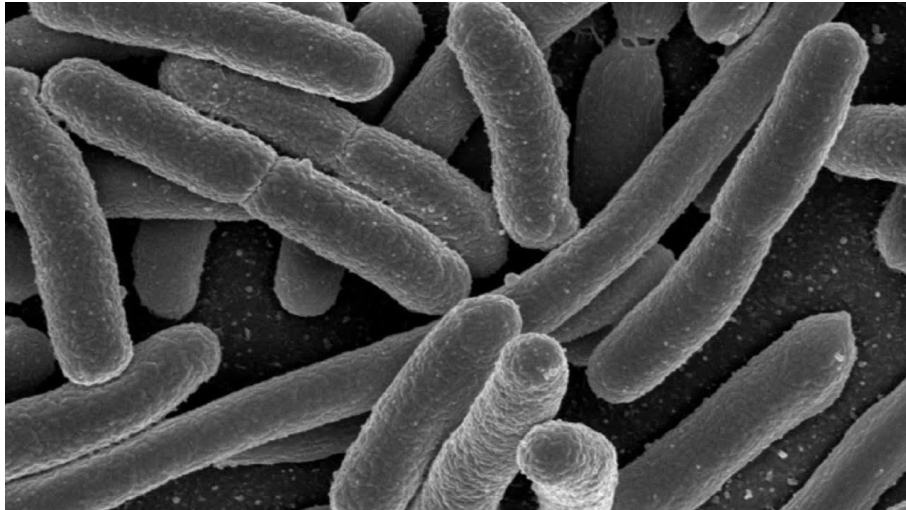
Tento ukazatel se využívá převážně pro hodnocení potenciálního pitného zdroje či vody pro rekreační účely. Tento rozbor vody představuje nejcitlivější indikátor přímého a nepřímého fekálního znečištění. Mikrobiálně znečištěná voda obsahuje bakterie infekčních a parazitárních chorob, které se do vody dostanou spolu s živočišnými odpady (URL 14).

Stanovení mikrobiálních ukazatelů v povrchových vodách se provádí podle přesně daných tzv. uzančních (domluvených) metod, aby nedošlo k odchylce výsledků. Ty se udávají v KTJ⁴/100 ml a je třeba dostatečného objemu vzorků, aby bylo dosaženo dostatečného růstu kolonií. Analýzy musejí být prováděny v laboratořích se zavedeným systémem jakosti podle ČSN EN ISO 17025 (Baudišová, 2009).

Nejdůležitějšími indikátory mikrobiálního znečištění jsou nalezené počty zárodků psychrofilních mikrobů, počet zárodků mezofilních mikrobů, počet zárodků čeledi *Enterobacteriaceae* a stanovení fekálních streptokoků v hodnoceném vzorku vody (Langhammer, 2009 ex. Pitter, 1992). Mezi nejčastější ukazatele fekálního znečištění v povrchových vodách patří koliformní bakterie. Označují se jako *coli* v počtu kolonií na jednotku (KTJ) ve 100 ml vody či jako *coli index*, udávající počet mikrobů v 1 litru vody (Langhammer, 2009).

Mezi nejprozkoumanější bakterii na zemi se řadí *Escherichia coli* (z čeledi *Enterobacteriaceae*). Tato bakterie se vyskytuje v tlustém střevu člověka a teplokrevných živočichů a slouží jako indikátor pro hodnocení fekálního znečištění prostředí. Stanovení této bakterie nahradilo dříve používané fekální koliformní bakterie, jelikož je mnohem výhodnější. Důvodem je, že se tato bakterie ve vodním prostředí nerozmnožuje a pochází ze střevního traktu člověka či teplokrevných živočichů, na rozdíl od jiných fekálních koliformních bakterií (Baudišová, 2009).

⁴ KTJ – kolonie tvořící jednotka



Obrázek č. 9 – bakterie *Escherichia coli* (zdroj: URL 9 A)

V pitné vodě se fekální koliformní bakterie nesmí vyskytovat. Ve výjimečných případech je tolerováno množství 3 KTJ/100 ml pro hromadné zásobování, případně 1 KTJ/100 ml pro zásobování individuální (Langhammer, 2009). Likvidace bakterií v pitné vodě je prováděna chlorací, trvajícím minimálně 30 minut a koncentrace zbytkového chloru musí být na úrovni alespoň 0,5 mg/l (Langhammer, 2009 ex. Petřů, 1970).

Mezi hlavní zdroje mikrobiálního znečištění povrchových vod se řadí z Bodových zdrojů převážně vypouštění komunálních vod (ČOV⁵ či kanalizace), průmyslové zdroje znečištění či velkochovy hospodářských zvířat (značené jako bodové). Do Difúzních zdrojů patří převážně skládky, úložiště hnoje a jiných zemědělských odpadů či případně místa bez kanalizace. Mezi Plošné zdroje znečištění se zařazují volně žijící zvířata a způsob či úroveň hnojení pozemků. Do hlavních zdrojů se také řadí vnitřní zdroje znečištění nádrží (např. sedimenty, vodní ptactvo) a rizika plynoucí z vlastní rekreace (Baudišová, 2009).

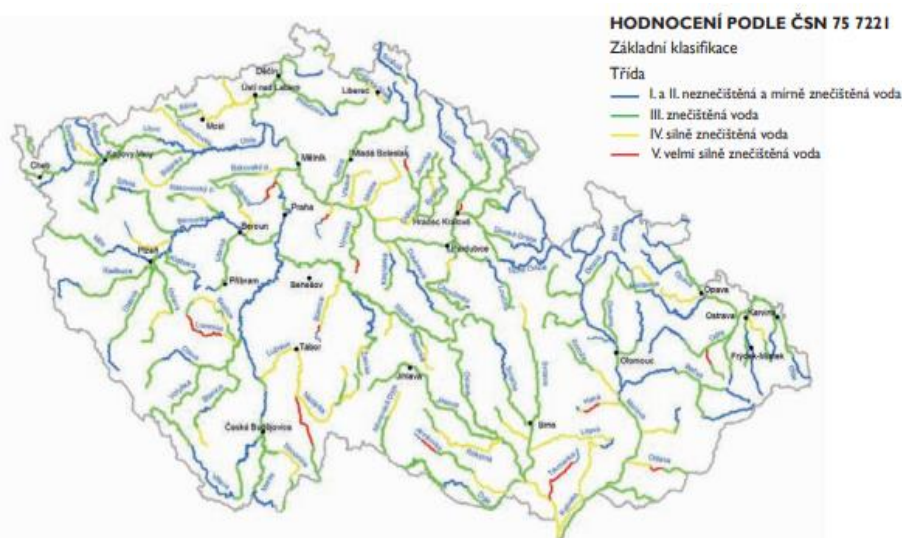
⁵ ČOV – čistírny odpadních vod

Radiologické ukazatele

Poslední skupinou ukazatelů jakosti povrchových vod jsou radiologické ukazatele. Kontaminace radioaktivními látkami je nebezpečná nejen pro životní prostředí, ale také pro člověka. Její vznik většinou souvisí s antropogenní činností, jelikož přírodní radioaktivita nedosahuje tak vysokých hodnot (Langhammer, 2009). Antropogenní činností se rozumí činnosti spojené s těžbou a zpracováním uranových rud či vypouštěním umělých radionuklidů odpadními vodami z jaderných elektráren (URL 15). Největším ekologickým nebezpečím jsou havárie jaderných zařízení, které mají katastrofické následky s velkým dosahem nejen na kvalitu životního prostředí, ale také na lidské zdraví a ekonomiku. Příkladem jsou havárie jaderných elektráren Černobyl (1986) a Fukušima (2011) (Timothy A. Mousseau et. al 2017).

Mezi přírodní zdroje záření se řadí kosmické záření a z radioaktivního materiálu obsaženého v půdě. Neexistuje žádná možnost, jak se vyhnout přírodnímu ozáření, avšak koncentrace je velmi malá a nijak výrazně neovlivní lidský organismus. V půdě se radioaktivní látky vyskytují ve formě radionuklidů s extrémně dlouhým poločasem přeměny či jako látky vznikající se samotné přeměny. Můžeme nalézt látky jako draslík, uran, thorium, radium či radon, který je základní příčinou vzniku plicní rakoviny. Velmi zranitelní bývají kuřáci z důvodu interakce mezi kouřením a expozicí radonu (URL 16).

V České republice se radioaktivní látky ve vodách vyskytují pouze v okolí jaderných elektráren Temelín a Dukovany, kde však nepřevyšují přípustné hodnoty normy Enviromentální kvality, uváděné v Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Dále byly zjištěny látky v okolí uranových ložisek a dolů např. v Dolní Rožínce, v okolí příbramských ložisek, v řece Kocábě či v profilu Noviny pod Ralskem na Ploučnici. Všechna tato místa jsou označována jakostním stupněm V. (velmi silně znečištěná voda) či IV. (silně znečištěná voda) (URL17).



Obrázek č. 10 - Jakost vody v tocích ČR, 2016-2017 (zdroj: URL 10A)

Hlavními riziky kontaminace radiačními látkami je její nemožnost odhalení smyslovými orgány a schopnost dlouhodobé kumulace látek v biomase, což dává možnost látkám proniknout do potravního řetězce (Langhammer, 2009).

Rozlišují se tři základní druhy záření:

Alfa záření vzniká z těžkých radioaktivních jader, jedná se o částici složenou z 2 protonů a neutronů. Není příliš pronikavá, má schopnost pronikat pouze vzduchem a kovovou folií. *Beta* záření vzniká při přeměně neutronu v proton a elektron. Proton zůstává v jádru a elektron je vymrštěn velkou rychlostí. Toto záření je pronikavější, dokáže proniknout skrz až 1 mm vrstvou hliníku. *Gama* záření je elektromagnetické záření vznikající při přeměně vnitřní organizace jádra umělých radionuklidů. Jedná se o nejpronikavější záření. Dokáže proniknout několik cm silnou vrstvou olova. Ničí živé organismy – asanace dřeva, textilu (Langhammer, 2009).

2.2. Vývoj zkoumání kvality vody

Počátkem 2. poloviny 19. století byly zaváděny první úpravy vody a navrženy první ukazatele kvality vody. Byla zaváděna písková filtrace, v mikrobiologii první určení mikroorganismů jako přenašečů nemocí ve vodě. Prvním ukazatelem kvality byly indikátory fekálního znečištění jednalo se dusičnany, chloridy, amonné ionty, oxidovatelnost. Okolo 1. světové války přibyly koliformní bakterie. Dalším indikátorem byla účinnost úpravy vody, tedy účinnost filtrace (Kožíšek, 2007). Na počátku 20. století přibylo olovo jako první toxikologický ukazatel (URL 18).

V roce 1905 byly v USA vydány první standardní metody pro analýzu vody, které dodnes patří k základnímu vyhledávanému referenčnímu zdroji v analýze vod. První závazné hygienické požadavky přišly v roce 1958 vydáním Mezinárodních standardů pro pitnou vodu Světovou zdravotnickou organizací (dále WHO). V ČR se první standardy pro analýzu objevily v 50. letech jako Jednotné analytické metody, které byly do dnešního dne několikrát aktualizované československými a českými normami (URL 18), například ČSN 567900, 830611, 757111. Tyto normy byly závazné do roku 2001 (Kožíšek, 2007).

Podle Kožíška (2007) momentální přístup podceňuje důležitost místního hygienického šetření znečištěného toku a spoléhá se na moderní vodárenské úpravy a laboratorní analýzy. Podle WHO je hygienické šetření klíčové pro rozbor vody, jelikož poskytuje informace o příčině či perspektivě možného rizika. Jedná se o vizuální hodnocení okolního prostředí a vodárenské infrastruktury, zahrnuje podmínky, zařízení a provoz daného systému zásobování ve vztahu k rizikům pro zdraví a potenciální nebezpečí.

WHO – porovnání analytických a observačních přístupů k hodnocení kvality vody

Rozbor vody (RV)	Hygienické šetření (HŠ)
RV je drahý, vyžaduje laboratorní vybavení a školený personál a proto ho není vždy snadné ho často a rutinně používat.	HŠ je levné, nevyžaduje žádné vybavení nebo vysoce proškolený personál. Lze ho snadno provádět pravidelně a rutinně.
RV poskytuje pouze „momentku“ – informaci o momentální kvalitě vody v okamžiku vzorkování.	HŠ může odhalit okolnosti nebo činnosti, které mohou způsobit jednorázové nebo i trvalé znečištění.
RV napovídá, zda je voda znečištěná, ale obvykle nepřispívá k odhalení zdroje znečištění.	HŠ odhaluje nejzřejmější a nejpravděpodobnější zdroje znečištění, i když nemůže odhalit všechny zdroje (např. vzdálenou kontaminaci podzemní vody).
RV poskytuje údaje o fyzikální, chemické a mikrobiologické kvalitě vzorků vody.	HŠ obvykle určí rizika, která mohou ovlivnit mikrobiologickou kvalitu vody. Rizika chemické kontaminace jsou hůře zjištělná.

Obrázek č. 11 - porovnání analytických a observačních přístupů k hodnocení kvality vody (zdroj: Kožíšek, 2007)

2.3. Druhy povrchových vod v ČR

Povrchové vody se podle základního přírodovědného hlediska dělí na stojaté (jezera, umělé nádrže, rybníky), tekoucí (řeky) a kontinentální (mořská voda) (URL 19).

V ČR nejvíce stojaté vody zastupují rybníky, které zde mají dlouhou historii. Pojem „rybník“ není zákonem o ochraně přírody a krajiny nijak definován. Pro účely zákona č. 99/2004 Sb., se rybníkem rozumí vodní dílo, které je vodní nádrží určenou pro chov ryb a ve kterém lze regulovat vodní hladinu. Je tvořen hrází, nádrží a dalšími specifickými technickými zařízeními (https://www.mzp.cz/cz/rybnik_definice).

Už od 12. století postupně nahrazovaly mokřady na místech přirozené akumulace vody. Dnes se v ČR vyskytuje odhadem přes 20 tisíc rybníků, což je 0,7% rozlohy celé země (URL 20). Největším rybníkem u nás je Rožmberk s plochou 648 ha, s objemem zadržované vody 5,86 mil. m³ a délkou hráze 2 355 metrů (URL 21). Cílem hospodaření s rybníky je optimalizace podmínek pro chov ryb a produkci ryb. Přibližně v 30. letech 20. století došlo k intenzifikaci rybníkářského hospodářství, které zesílilo ještě více po 2. světové válce. Tyto intenzifikace mají negativní vliv na ekosystém rybníků. Mezi negativní jevy patří např. manipulace s hladinou vody (napouštění, vypouštění v nevhodném ročním období) ovlivňuje některé typy vegetace či vodní ptáky, kteří ztrácí mladé. Dalším negativním jevem jsou velké jednodruhové rybí osádky a likvidace jiných organismů ve vodě, což má za následek rozvrácení potravního řetězce a zničení celého složení vodního společenství v rybníku. Kvalitě vodního ekosystému nepomáhá ani celoplošné přihnojování (problém s nadbytkem živin) nebo přikrmování (omezení potravní aktivity) (URL 20).

Jezera jsou přirozené nádrže, které mají specifické chemické složení a fyzikální parametry, které vyjadřují charakter nádrže. Dlouhodobě se zde vyvíjí rovnováha mezi abiotickým a biotickým prostředím, jelikož konkurenti zatlačují slabší druhy. Podle původu se rozlišují jezera ledovcová, sopečná, krasová, karová a říční hrazená (Ambrožová J, 2003).

Ledovcová či karová jezera se vyskytují na místech, které bývali přibližně před 10 tisíci lety pokryté ledem. Vznikla roztáním ledu, který pokrýval horská údolí a po jeho roztání zbyla v údolí voda. Odtoku vody zamezily valy zeminy a kamení, které před sebou ledovce táhly při ustupování do nížin a modelování údolí. Jezera ledovcového typu se vykytují na Šumavě. Jedná se o Černé, Čertovo, Plešné, Prášílské a jezero Laka. Tektonického původu jsou starší jezera, vzniklá sopečnou činností. Ty se však na našem území nevyskytují. Krasová jezera vznikají při zboření stropů jeskyň v krasových oblastech. Vyskytují se na dně propastí (Reichholf J, 1998). V ČR se vyskytují krasová jezera – Horní a Dolní macošské jezírko, Bozkovské podzemní jezero a nejhlubší jezero na světě v Hranické propasti (sondou dosavadní naměřená hloubka je 404 m, nikoliv však dno) (URL 21). Říční hrazená jezera vznikají přehrazením na slepém rameni toku či v meandrovitých záhybech (Reichholf J, 1998).

Vznik nádrže je podmíněn lidskou činností, mohou být uměle hrazené či vytvořené na tocích. Jedná se o přechodný typ mezi stojatou a tekoucí vodou. Jsou vybudovány za účelem zásobování vodou pro pitné účely, závlahy, průmysl, protipovodňovou ochranu či rybochov. Z hydroenergetického hlediska jsou využívány pro přečerpávací elektrárny nebo pro umožnění vodní dopravy (Ambrožová 2003 ex. Štěpánek M. & kol, Kohoutek K; 1979, 1978). Mezi největší vodní nádrže na našem území patří např. Nechranice, Dalešice nebo Lipno, Orlík, Slapy vyskytující se na řece Vltavě (URL 22).

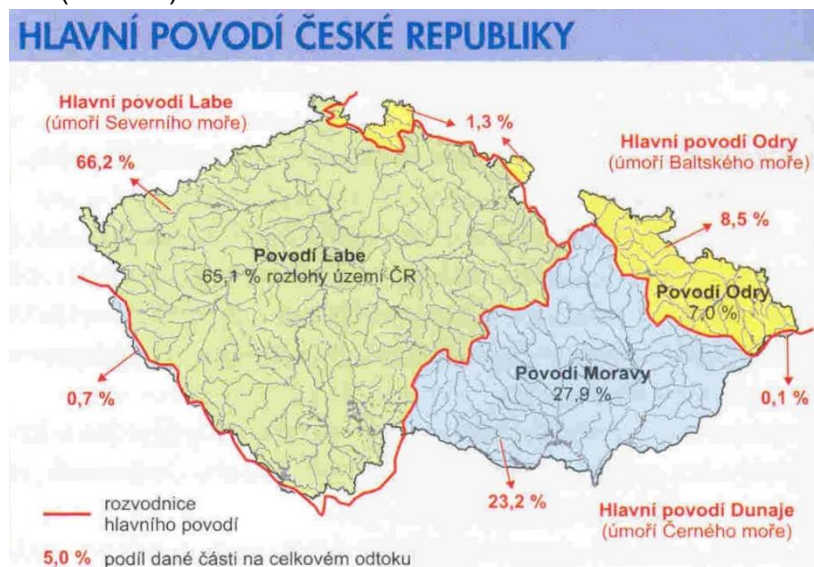
Tekoucí povrchové vody jsou v přírodě charakteristické přirozeným, umělým nebo upraveným korytem s příčným či podélným profilem a jednosměrným prouděním vody. Jsou závislé na odparu a srážkách, díky kterým převážně vznikají. Dalším zdrojem tekoucích vod je průsak zeminou na nepropustné podloží, kde odtéká po spádnici, dokud se neobjeví opět na povrchu v podobě pramenu. Od pramene pak vzniká vlastní tok. Ty se spojují do hydrografické sítě odvodňující povodí. Samotný tok se rozděluje do tří částí (Petrtýl M, 2016):

Krenon (pramenná část) – jedná se o soustředěný vývěr podzemní vody na povrch.

Rhitron (horní část toku) – rychlý tok s erodovaným dnem, jsou zde celoročně nízké teploty vody s nedostatkem kyslíku, výskyt nárostových organismů (např. řasy, mechy, rozsivky)

Potamon (spodní část toku) – zde je proudění pomalejší, přítomnost aluviálního dna s usazeninami, dochází ke kolísání obsahu kyslíku, výskyt vyšších vodních rostlin, hmyzu, korýšů, ryb

Mezi nejvýznamnější tekoucí povrchové vody v ČR patří nejdelší řeka Vltava s délkou 430 km, řeka Labe (370 km) a Morava (284 km) (mapy.cz). Českou republikou procházejí hranice povodí tří významných řek – Labe, Odry a Dunaje. Proto je české území rozděleno podle odtoku řek do příslušných moří. Jedná se o Severní, Baltské a Černé moře (URL 23).



Obrázek č. 12 – Hlavní povodí ČR (zdroj: URL 12 A)

2.4. Monitoring kvality vody v ČR

Pro hodnocení kvality vody se používá výsledek rozboru vzorku vody, odebraného z určitého stanoveného místa (kontrolního profilu). Pro soustavnou kontrolu kvality povrchových vod je provozována síť profilů jakosti vody, kde se pravidelně odebírají a analyzují vzorky vody (Langhammer, 2009).

Na monitoringu vody v ČR se podílí dvě organizace – ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav) a VÚV T.G.M. (Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka). ČHMÚ tvoří hydrologické informace a sbírá data, VÚV T.G.M. tvoří vodohospodářské bilance a sbírá data z povodí. Tyto organizace dohromady vytvořili systém HEIS (Hydroekologický informační systém), který obsahuje informace o všech vodních zdrojích, o jejich režimu, obsahuje monitorovací data o hydrosféře a vydává tyto data pro potřebu široké veřejnosti či státní správě (heis.vuv.cz). Jsou sledovány povrchové a podzemní vody. U povrchových vod se rozlišuje sledování hydrologické (např. sledování odtokového režimu) a jakost vody v tocích (odběry vzorků vody z toků) (heis.vuv.cz).

Podle směrnice č.2000/60/EC (EC, 2000) Evropského parlamentu a Evropské Rady je monitoring vod stanoven na programy:

Situační monitoring: monitoruje chemický a ekologický stav povrchových vod, účelem tohoto monitoringu je poskytnout informace pro zjišťování kvality vod, hodnocení dlouhodobých změn způsobených antropogenní činností a přírodními podmínkami, informace o plánování v oblasti vod či o stanovení rizikových vodních útvarů. Je zajišťován VÚV T.G.M, odběry vzorků vody pro sledování chemického stavu zajišťuje ČHMÚ (Měkotová J., 2009).

Provozní monitoring: program zahrnuje monitorování chemického a ekologického stavu, ekologického potenciálu povrchových vod a monitorování chemického stavu

podzemních vod (EC, 2000). Pomocí provozního monitoringu jsou sledovány změny kvality v důsledku antropogenní činnosti, je monitorována účinnost přijatých opatření či jsou sbírána data pro mezinárodní programy monitoringu (Langhammer, 2009).

Průzkumný monitoring: provádí se po omezenou dobu, v případě že se vyskytly mimořádné jevy (např. povodně), u kterých nejsou známy jejich příčiny či je nutné zjistit dopad havarijního znečištění (Měkotová J., 2009). Zpracovává se pro povrchové vody, podnět k provedení monitoringu dává správce povodí, Česká inspekce životního prostředí či pověřený odborný subjekt (URL 24).

Monitorovací síť v ČR se řadí plošným obsahem mezi jednu z nejhustších v Evropě. Je to i díky zhoršování jakosti toků z roku 1963, kdy bylo zahájeno pravidelné sledování jakosti toků (Langhammer, 2009 ex. Kodeš et al, 2000).

2.5. Metody dálkového průzkumu Země (DPZ)

Dálkový průzkum je definován jako měření vlastností objektů na zemském povrchu za pomoci dat získaných ze satelitů a letadel. Jedná se o měření na dálku, nikoliv přímo na místě. Systémy dálkového průzkumu, především ty umístěné na satelitech ve vesmíru, umožňují neustálý pohled na zemi, a tak díky nim lze hodnotit dopad antropogenní činnosti z krátkodobého i z dlouhodobého hlediska. Aplikace DPZ monitorují široké spektrum oblastí, mezi ty nejdůležitější patří: (Schowengerdt A.R., 2006):

hodnocení a monitorování životního prostředí, detekce a monitorování globálních změn (např. globální oteplování), zemědělství (např. stav plodin), průzkum neobnovitelných přírodních zdrojů (např. stav ropy), obnovitelné přírodní zdroje (např. stav lesů), meteorologie (např. předpověď počasí), mapování (např. využití půdy), vojenský dohled a průzkum, zpravodajská média.

Nosiče pro dálkový sběr dat

Pro sběr dat dálkového výzkumu se využívá široká škála zařízení. Lze je rozdělit do několika kategorií: pozemní stavby (např. jeřáby, stožáry, vysokozdvíhací plošiny apod.); dálkově řízené modely letadel (drony); pilotovaná letadla různých velikostí a konstrukcí; balóny či vzducholodě; umělé družice Země, kosmické stanice a raketoplány (URL42).

Pozemní snímací zařízení se velice často využívají k zaznamenání detailních údajů povrchu, které lze využít k porovnání s údaji ze snímačů na palubě letadel či dronů a umožňují tak lépe porozumět získaným údajům. Z leteckých nosičů se nejčastěji využívají letadla s pevnými křídly, velmi málo se pak využívají vrtulníky (URL43).

2.5.1. Metody pořízení dat

Metoda získávání dat DPZ se nazývá konvenční, kde jsou data pořizována v podobě fotografických snímků. (Halounová, Pavelka, 2005). Snímky vznikají centrální projekcí na filmový materiál pomocí objektivů. Obraz je pořízen v jednom okamžiku. Výhodou této metody je, že dokáže zachytit značné detaily a objekty, které nejsou vidět pouhým okem. Ty se dají použít například k výrobě topografických map velkých měřítek. Nevýhodou dat je malý rozsah vlnových délek, ve kterých data pořizujeme a kvalita snímku, která závisí na podmínkách počasí (Dobrovolný, 1998). Metoda je založena na principu fotografie.

Metody DPZ využívají elektromagnetické záření. Pro potřeby metod DPZ se elektromagnetického záření rozděluje podle **vlnových délek** (Tabulka č. 2, str. 19), které jsou využívány v různých výzkumných oblastech. Dále se DPZ dělí podle zdroje elektromagnetického záření, na metodu **aktivní** a **pasivní** (Halounová, Pavelka, 2005). Pasivní metoda se dále dělí na přímou a nepřímou. O nepřímou se jedná, pokud jde jen o vyzařování Země. Nemají vlastní zdroj záření. Jedná se např. o termovizi, která pořizuje teplotní vlastnosti zkoumaného objektu. U přímé metody je zdrojem záření Slunce. Záření je odražené od Země a následně zachycené senzorem (Dobrovolný, 1998).

V aktivní metodě DPZ jsou využívány především radary a družice. Jsou vybaveny vlastním zdrojem, který vysílá mikrovlnné záření. V současné době je využíván i laser, který pořizuje snímky ve viditelném a infračerveném spektru (Pinkavová, 2008).

Pořazení dat podle elektromagnetického spektra využitelného v DPZ

Tabulka č.2 – zobrazení základních oblastí elektromagnetického spektra využitelného v DPZ

Ultrafialové záření (0,1 až 0,4 mikrometru)
Viditelné záření (0,4 až 0,7 mikrometru)
Infračervené záření blízké (0,7 až 1,4 mikrometru)
Infračervené záření střední (1,4 až 3 mikrometry)
Tepelné záření (3 mikrometry až 1 mm)
Mikrovlnné záření (1 mm až 1 m)

(zdroj: vlastní zpracování)

Ultrafialové záření (0,1 až 0,4 mikrometru) - jedná se o velmi malou část elektromagnetického spektra, která je velmi pohlcována atmosférou. Pouze z části prochází vodním sloupcem. Využívá se kupříkladu pro monitorování ropných skvrn či vyhledávání nerostných ložisek.

Viditelné záření (0,4 až 0,7 mikrometru) – část elektromagnetického spektra, kterou lze vnímat. Jedná se o nejvyužívanější oblast a pracuje zde většina družicových systémů. Je možné ho zaznamenat pouze ve dne, neprochází oblačností. Kvůli značnému rozptýlení a pohlcování v atmosféře ztrácí kontrast, je proto nutné použití různých korekcí a filtrů. Dokáže však proniknout vodním sloupcem, přibližně až do hloubky 20 m. Je vhodné pro monitorování biologických a fyzikálních vlastností vodních objektů. Pro interpretaci a vizualizaci je využíváno speciálních počítačových programů, které dokáží zobrazit získané snímky v barevném kompozitu. Základními barvami pro zobrazení pásem jsou červená (0.4-0.5), zelená (0.5-0.6) a modrá (0.6-0.7). Ze 3 pásem je pak možné vytvořit RGB kompozit (RGB anglicky – Red, Green, Blue), který v různých odstínech zobrazuje projevy z těchto 3 pásem.

Infračervené záření blízké a střední (0,7 až 3 mikrometry) – je již méně pohlcováno atmosférou a snímky tak mají dobrý kontrast a ostrost. Využívá se především pro studium vegetace v lesnictví a zemědělství, jelikož v těchto vlnových délkách odráží záření zcela odlišně než jiné druhy.

Tepelné záření (3 mikrometry až 1 mm) – převažuje zde radiční teplota objektů nad odraženým zářením. Je vždy potřeba provést atmosférické korekce. Pro přesné kvantitativní výsledky je potřeba znát emisivitu objektů. V případě přesné kalibrace umožňuje získávat poznatky o tepelné bilanci. Využívá se například pro zjištění povrchové teploty oceánů, řek či k lokalizaci lesních požárů.

Mikrovlnné záření (1 mm až 1 m) – využíváno pasivními a aktivními metodami. Za vhodných podmínek může proniknout až pod povrch země. Je nezávislé na meteorologických podmínkách, pouze v případech vydatného deště dochází k zeslabování záření. K měření je potřeba velkých ploch, intenzita tohoto záření není příliš velká. To je pak důvodem malého prostorového rozlišení dat, které jsou získány pasivními metodami. Mikrovlnné záření se využívá hlavně v geomorfologii, v lesnictví i v zemědělství.

2.5.2. Mise Sentinel

Pro splnění požadavků různých uživatelů dat, bylo vyvinuto mnoho systémů DPZ nabízející širokou škálu parametrů (Schowengerdt A.R., 2006). Jedním systémem DPZ jsou družice Sentinel zřízené v roce 2014 (první vypuštěná družice), zaměřující se na monitorování oblasti pevniny, moří, atmosféry, bezpečnosti, krizového řízení a klimatu. První tři řady družic jsou tvořeny dvěma družicemi označované A, B (Copernicus CR). Pro zkoumání kvality vody jsou užitečné pouze Sentinel-2 a 3.

Sentinel 1

Jedná se o první družici z řady Sentinel, její první část A byla vypuštěna v roce 2014, část B pak o 2 roky později (Potin, Rosich, Miranda, & Grimont, 2016). Družice slouží hlavně k monitorování zemského pokryvu, mořského ledu, oceánu či sledování lodní dopravy, ale monitoruje i zemědělství, ropná znečištění či přírodní katastrofy jako jsou např. zemětřesení. Pro ČR je využívána hlavně v oblasti krizového řízení. Jelikož jsou data dostupná v reálném čase jejich využití se předpokládá u deformace terénu či povodních. Výhodou této družice je i pořizování radarových snímků i přes oblačnost (Copernicus CR).

Sentinel-2

Družice Sentinel-2 byla vypuštěna poprvé v roce 2015. Je především určena pro mapování změn území, využití ploch a monitoring krajiny (Copernicus CR).

Dokáže však také mapovat složky povrchové vody. Jedná se hlavně o koncentraci celkových suspendovaných pevných látek (TSS), chlorofylu-a (Chl-a) (klíčového indikátoru biomasy sinic a řas), množství zákalu či absorpci barevně rozpuštěné organické hmoty (CDOM) v pobřežních a vnitrozemských vodách. Monitoring je možný díky tomu, že družice (S2A, S2B) jsou vybaveny multispektrálním senzorem MSI (Multi Spectral Instrument), který zahrnuje 13 spektrálních pásem, od viditelného (visible), blízké infračervené (near infrared) po krátkovlnné infračervené záření (short-wavelength infrared). Každé pásmo se využívá pro jinou oblast (Drusch et al., 2012, Toming et al., 2016).

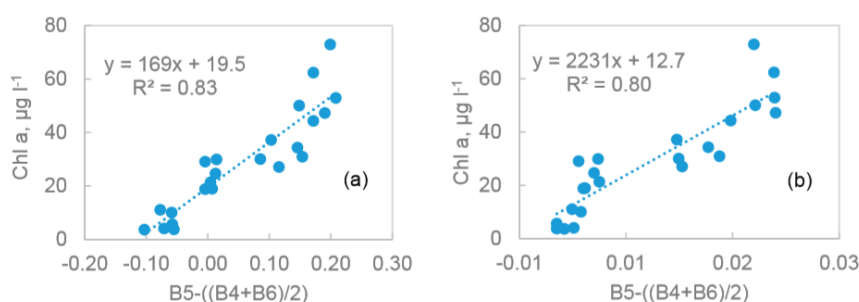
MSI je podobný designem a požadavky jako senzor OLI (Operational Land Imager) na palubě družice Landsat-8 vypuštěné v roce 1972 (Drusch et al., 2012, Segl et al., 2015, gisat.cz). O senzoru OLI bylo prokázáno, že poskytuje vysoce kvalitní data nad pobřežními / vnitrozemskými vodami (Franz a kol., 2015, Vanhellemont a Ruddick, 2015). Senzor MSI ve srovnání s OLI nabízí ještě více podrobnější spektrální měření v blízké infračervené oblasti (NIR) (D'Odorico et al., 2013). Tato další spektrální pásma jsou výhodná v porovnání s opticky složitými pobřežními / vnitrozemskými vodami (IOCCG, 2000, Moses et al., 2009). Poskytují tak lepší příležitosti pro monitoring TSS, chl-a či CDOM (Kutser et al., 2016, Toming et al., 2016) v zakalených a znečištěných vodách. Navíc s 10 a 20 m GSD (pozemními vzorkovacími vzdálenostmi) ve většině viditelných a ve všech NIR pásmech by MSI

měl umožnit platnější pozorování ve vodách na pobřeží a mapování kvality vody v menších vnitrozemských vodních útvarech (např. potoky) (Pahlevan N et al., 2017).

Měření látky za pomoci Sentinel-2

Ve výzkumné části práce bude měřen chlorofyl-a jako jeden z hlavních ukazatelů kvality povrchových vod, který také hraje významnou roli v uhlíkovém a energetickém cyklu jezer a ovlivňuje čistotu pitné vody (Eikebrokk, B. et al., 2004, Tranvik, L.J., 1992). Chl-a se používá v kyslíkové fotosyntéze a je často poháněn eutrofizací. Souvisí s trofickým stavem, protože produkce řas souvisí s dostupností živin. Chl-a je přítomen v rostlinách, řasách a sinicích. Pro monitoring chl-a jsou potřeba úzká spektrální pásma, nejvíce používané při maximální odrazivosti 700 nm (IR) a absorpci při 670 nm (R). Problém s dálkovým monitoringem chl-a nastává ve vysoce zakalených a eutrofních vodách při přítomnosti suspendovaných látek a fytoplanktonu, které pohlcují světlo (Kutser et al., 2016).

Korelaci chlorofylu-a ve vodě a maximální odrazivosti lze zjistit získáním z dat Sentinel-2 a pomocí výpočtu spektrálních pásem podle vzorce: $B5 - ((B4 + B6) / 2)$ (Red edge-1, NIR, Red edge-2). Je možné dosáhnout lepších výsledků za pomoci využití dat bez atmosférické korekce (TOA) (Toming et al., 2016).

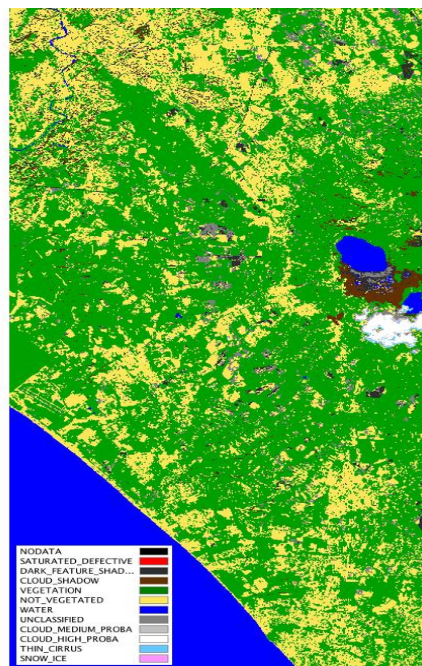


Obrázek č. 13 - korelace mezi výškou odrazivosti 705 nm vypočítané z údajů Sentinel-2 a chlorofylu-a (Chl-a) měřeného ze vzorků vody: a) poměr pásem vypočtený z horní části odrazu atmosféry (TOA) b) poměr pásem vypočtený ze spodní části odrazu atmosféry (zdroj: Toming et al., 2016)

Další důležitou látkou ovlivňující kvalitu vody je CDOM. Jedná se o rozložený detrit, směs organických molekul, uvolněných z mokřadů, vegetace, čištění rostlin. Množství organické hmoty je závislé na intenzitě deště a lidských činnostech. Bývá také nazýván jako žlutá látka, gilvin či Gelbstoff. Může být dále rozložen UV na menší molekuly a živiny. Korelaci CDOM či TOC lze dostat poměrem spektrálních pásem podle vzorce: $B3 / B4$ (Green / Red) a hodnot CDOM/TOC získaných ze Sentinel-2. Lepších výsledků lze opět dosáhnout bez atmosférické korekce a s DOC než CDOM (Toming et al., 2016).

Atmosférická korekce slouží pro odstranění atmosférických prvků ze snímků MSI. Není však určena pro vodní prostředí a proto se nedoporučuje využívat i kvůli přesnosti měření dat. (Toming et al., 2016).

Díky vysokému prostorovému rozlišení družice umožňuje detailní monitorování vnitrozemských povrchových vod a pobřežního prostředí. Sentinel-2 tak může podporovat udržitelné řízení vodních zdrojů v zemích kde je nedostatek vody, díky poskytování měření a detekci změn kvality vody (URL 25).



Obrázek č. 14 – ukázka spektrálních pásem družice Sentinel-2 (horní zleva – vstupní obrázek, atmosféricky korigovaný obrázek, klasifikovaný výstupní obrázek – voda, vegetace, sníh atd.) (zdroj: URL 14 A)

Sentinel-3

Skládá se z dvou družic, které byly vyslány na oběžnou dráhu v roce 2016 (3 A) a 2017 (3 B). Poskytují radarová, multispektrální data a mikrovlnná data středního rozlišení a zaměřeny jsou na pořizování barevných obrazových dat, měření teploty a topografické mapování pevniny a oceánů, mořského a pevninského ledu. Dále se zaměřují na topografii vnitrozemských nádrží a radarová měření pobřežních pásem (Copernicus CR).

Sentinel-4

Program Sentinelu-4 je ještě nerealizován. Předpokládané spuštění první družice by mělo být po roce 2019. Měla by sebou nést optický multispektrální senzor, snímající v 5 spektrálních pásmech. Hlavní funkcí družice bude sledování složení atmosféry. Bude se jednat o monitoring stopových plynů, které jsou klíčové pro určování kvality ovzduší. Jedná se o ozon (O₃), oxid dusičitý (NO₂), oxid siřičitý (SO₂), formaldehyd (HCHO) a aerosoly, monitorování bude probíhat ve vysokém časovém a prostorovém rozlišení. K tomu bude monitorovat klima a intenzitu slunečního záření. Perioda snímání bude v hodinových intervalech (Copernicus CR).

Sentinel-5

Tento program navazuje na Sentinel-4, je též určený pro sledování atmosféry. Jelikož je start programu Sentinel-5 plánovaný až na rok 2020, vznikl program Sentinel-5 Precursor, který má nahradit dosluhující senzory (Copernicus CR). Družice byla úspěšně spuštěna v roce 2017. Je vybavená multispektrálním spektrometrem TROPOMI, který snímá v 5 spektrálních pásmech. Monitoruje podobné plyny jako Sentinel-4, ale interval snímání se pohybuje po 17 dnech (ESA, SENTINEL-5P).

Družice Sentinel-5 bude spuštěna kolem roku 2020. Opět bude zaměřena na monitoring složení atmosféry, monitoring klimatu a měření slunečního záření. Rozdíl oproti družicím S-4 a S-5 Precursor je hlavně v periodě snímání, která by měla být 29 dní. Dále bude vybavena jiným senzorem typu UVNS, který bude pracovat se 7 spektrálními pásmy (ESA, SENTINEL-5P).

3. STUDOVANÉ LOKALITY

3.1. Kvalita povrchových vod v Evropě

V druhé části práce je porovnávána kvalita dvou vodních nádrží za pomoci meteorologických dat a dat z družice Sentinel-2, s dostupností dat od roku 2015. Pro tuto část práce byly vybrány nádrže Štěchovice na řece Vltava a Große Dhüntalsperre, v širším okolí hlavního města Prahy a Kolína nad Rýnem. Lokality byly vybrány na základě podobných meteorologických podmínek, vzdálenosti od podobně velikých měst a dostupných družicových datech.

3.1.1. Města

Praha je hlavním městem ČR a nachází se mírně na sever od středu Čech. S největším zastoupením obyvatel (okolo 1,315 milionu - 11.09.2019) a největší rozlohou - 496 km²(URL26). Protéká zde nejdelší řeka ČR – Vltava. Kolín nad Rýnem se nachází ve spolkové zemi Severní Porýní-Vestfálsko v Německu. Protéká zde druhá nejdelší řeka v západní Evropě Rýn. Počtem obyvatel (okolo 1,1 milionu - 11.09.2019) i rozlohou 405 km² (URL27) se přibližně rovná Praze.

3.1.2. Vodstvo

Vodní nádrž Štěchovice se nachází přibližně 28 km od Prahy. Jejím hlavním účelem je vyrovnávání špičkových odtoků z vodních elektráren Slapy a Orlík. Zatopená plocha přehrady činí 95,7 m a nachází se na řece Vltava (URL 40).

Vltava je s 430 km nejdelší řekou v ČR. Pramení v Jihočeském kraji na Šumavě, prochází přes tzv. Vltavskou kaskádu, což je soustava 9 přehrad na řece. Mezi nimi je největší přehradní nádrž Lipno či Orlík, která dokáže zadržet největší objem vody v ČR. Po průtoku Českým Krumlovem, Českými Budějovicemi a Prahou se u Mělníku vlévá do Labe, které dále protéká Německem a ústí do Severního moře.

Große Dhüntalsperre je třetí největší nádrž pitné vody v Německu. Nachází se přibližně 29 km od Kolína nad Rýnem. Přehrada také přispívá k ochraně před povodněmi a ochranou před nízkým stavem vody pro dolní úseky řeky Dhünn (URL 41). Řeka Dhünn se vlévá do řeky Wupper, která je pravým přítokem řeky Rýn.

Řeka Rýn je jedna z nejdelších evropských řek a důležitá dopravní cesta pro přepravu mnoho druhů zboží s celkovou délkou 1 233 km. Pramenní ve Švýcarsku, soutokem Předního a Zadního Rýna. Protéká přes Bodamské jezero, Rýnský vodopád u Schaffhausenu a údolím mezi Vogézami a Schwarzwaldem. Dále mezi Mohučí a Bonnem protéká Porýnskou břidličnou vrchovinou. Od Bonnu pak tok Rýna přechází pomalu do rozsáhlé nížiny, která jej provází potom až k ústí. V Nizozemsku se řeka větví na několik ramen a ústí deltou do Severního moře. Momentálně čelí řeka problému velkého vysychání. Kvůli změnám klimatu do řeky přitéká každý rok méně vody. Řeka je napájena deštěm a ledovci ze švýcarských Alp, kterých však od roku 1935 ubylo přibližně 35 % (URL28).

3.1.3. Podnebí

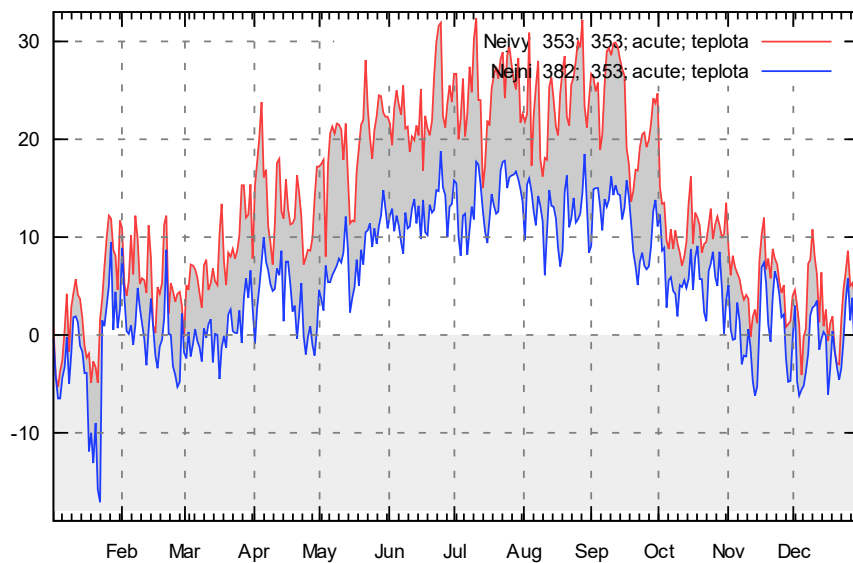
Jedná se o dlouhodobý stav počasí, který je ovlivňován cirkulací atmosféry, oceánskými proudy a dnes i člověkem. Podnebí je dále podmiňováno vzdáleností od oceánů, konfigurací terénu a vlivem nadmořské výšky (URL 36).

Podnebí v ČR je mírné, na rozhraní oceánského a pevninského podnebí, se střídáním 4ročních období (stejně jako v celé střední Evropě). Je zde charakteristické západní proudění a střídání frontálních systémů. V průměru 140 frontálních systémů za rok přejde přes ČR. Průměrná teplota se pohybuje mezi 5,5 °C–10 °C. Nejchladnějším měsícem je leden, naopak nejteplejším měsícem je červenec, který je přibližně o 20 °C teplejší. V průměru se v ČR v nejteplejších oblastech vyskytne 12 tropických dní za rok, kdy teplota dosáhne 30°C. Arktických dnů, kdy teplota klesne pod -10 °C, se vyskytne maximálně 6 za rok. Srážky se nejvíce projevují v letních měsících, nejméně v zimních měsících. Díky konvektivním srážkám (při vydatné bouři spadne až polovina měsíčního průměru za pár hodin) je léto v ČR vlhké (URL 37). V povodí Sázavy, v blízkosti zkoumaného území, je dosahováno srážkových úhrnů mezi 600-800 mm, s průměrnou roční teplotou 7 °C.

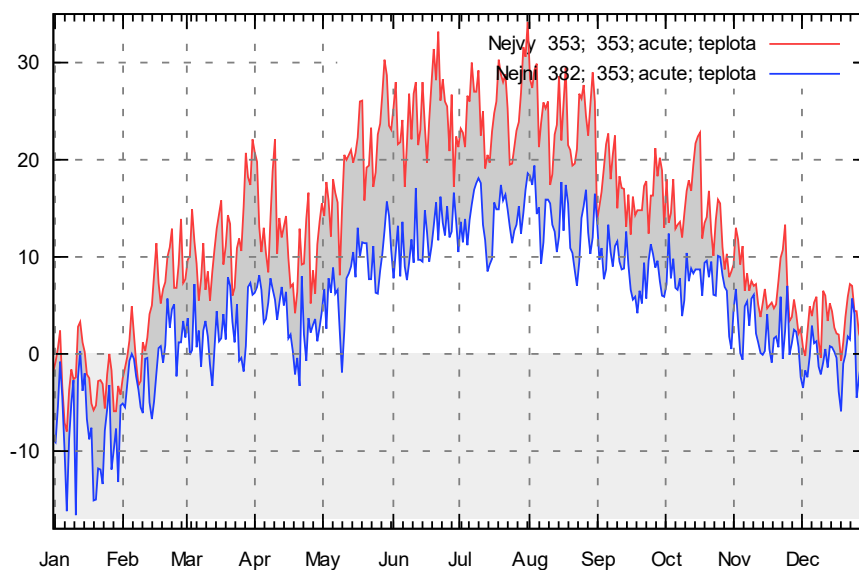
Podnebí v Německu je mírné a vlhké. Severní část země má přímořské podnebí s průměrnou teplotou mezi 0 °C–17 °C. Východní část Německa leží na přechodu přímořského ke kontinentálnímu podnebí. Směrem do vnitrozemí se zvětšuje rozdíl mezi zimou a létem, převážně ve středoněmeckých vrchovinách. Nejteplejším územím jsou nížiny ve vnitrozemí, například Hornorýnská nížina nebo údolí řek Main (Mohan) a Neckar. Nejteplejším měsícem je stejně jako v ČR červenec, s teplotou okolo 20 °C. Srážky se pohybují v rozmezí 600-1000 mm ročně. Sever a západ je bohatší na srážky, na jihu prší spíše nepravidelně. Nejvíce srážek spadne v oblasti Alp (URL 38). Kolín nad Rýnem má průměrný roční úhrn srážek 782 mm, s průměrnou roční teplotou 14 °C (URL39).

Zkoumaná povodí mají podobné klimatické poměry. Pro řeky je charakteristické zvýšení vodního toku v jarním období, v létě a pokles v zimě. Vodní režim řeky Rýn je složitější a řeka je splavná kvůli dostatku vody po celý rok. Řeka Vltava bývá v některých letních měsících při nedostatku srážek pro lodní dopravu nedostupná.

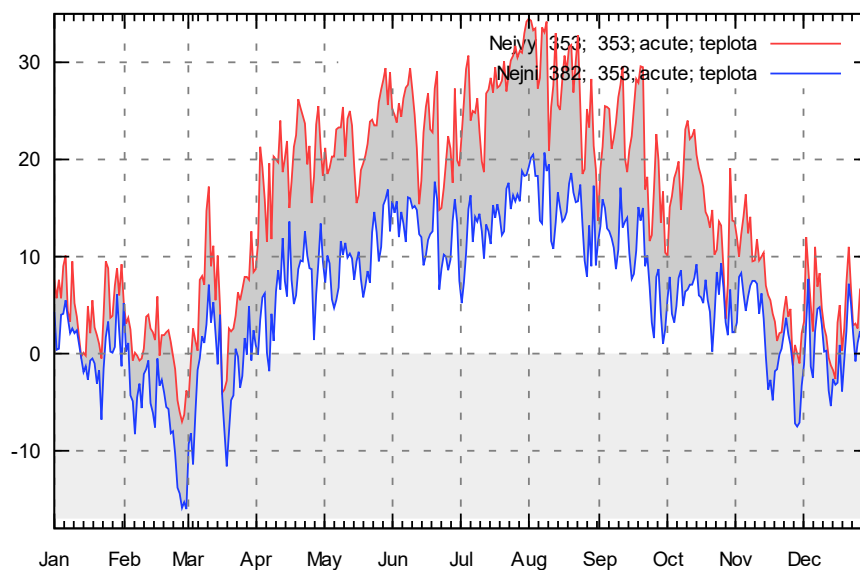
Letiště Václava Havla Praha
Nejvyšší teplota Measurement / Analyse [°C]: 02.01.2016 - 31.12.2016
© weatheronline.co.uk



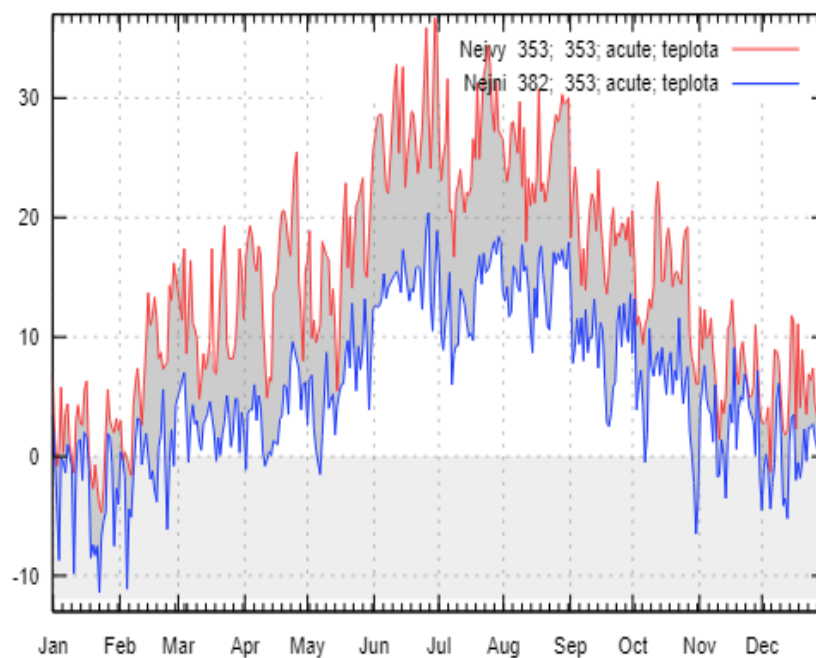
Letiště Václava Havla Praha
Nejvyšší teplota Measurement / Analyse [°C]: 01.01.2017 - 31.12.2017
© weatheronline.co.uk



Letiště Václava Havla Praha
Nejvyšší teplota Measurement / Analyse [°C]: 01.01.2018 - 31.12.2018
© weatheronline.co.uk



Letiště Václava Havla Praha
Nejvyšší teplota Measurement / Analyse [°C]: 01.01.2019 - 31.12.2019
© weatheronline.co.uk



Grafy č. 1–5 – Teplota °C 2015-2019 (zdroj: URL29)

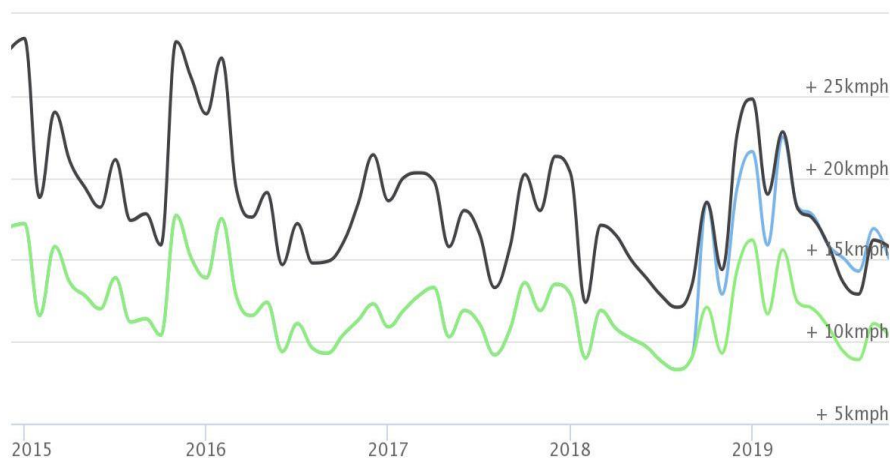
Z těchto grafů můžeme vypožorovat, že se teplota na začátku roku a v průběhu let výrazně změnila. V roce 2015 byl leden značně teplý a většinu měsíce se teploty držely nad 0 °C. Rok 2016 už přinesl více dní pod bodem mrazu. Přelomovým rokem pak je leden 2017, kdy se teploty za celý měsíc nevynesly ani nad 5 stupňů a většinou se pohybovaly mezi -2 až -17. Od tohoto roku se teploty v lednu střídaly mezi 10 až -11 stupni. Avšak nedocházelo už k žádným výrazně teplejším dnům. Na těchto grafech je tedy vidět, že se postupem let výrazně ochlazuje a teplota se výrazně mění od dlouhodobého průměru (okolo 2 °C, URL30), což může být i důvodem globálního problému oteplování či znečišťování ovzduší, kvůli kterému se mění i meteorologické cykly.

Dlouhodobé průměrné teploty v červnu dosahují kolem 20 stupňů Celsia (URL31). Do roku 2016 se teploty v červnu vyšplhali k 30 stupňům pouze 4x, avšak postupně se stupňovali. Přelomový byl rok 2017, který byl extrémně teplý a teploty se pohybovali většinou kolem 28 stupňů. Další rok opět došlo k poklesu a lze ho přirovnat k červnu 2015.

Na grafech můžeme sledovat postupné globální oteplování planety v průběhu let. Zatímco v září 2015 se teplota vyšplhala ke 25 stupňům Celsia pouze 4x, o rok později bylo září extrémně teplé a přes 25 stupňů, bylo v průběhu měsíce 14x (URL32). Kromě roku 2017 nastal podobný trend v září 2018. Tím že dochází k výkyvu teplot v průběhu roku, jsou ovlivňovány i další meteorologické jevy, což je vidět například na grafu srážek pro rok 2015 a 2016 (Meteorologická data pro Prahu, Srážky, 2015 a 2016, str. 32).

Vítr

Graf zobrazuje maximální (modrá křivka) a průměrnou rychlost větru (zelená křivka) a průměrné nárazy větru v letech (černá křivka) v kilometrech za hodinu.



Graf č. 6 – Maximální a průměrná rychlost větru, průměrné nárazy větru 2015-2019

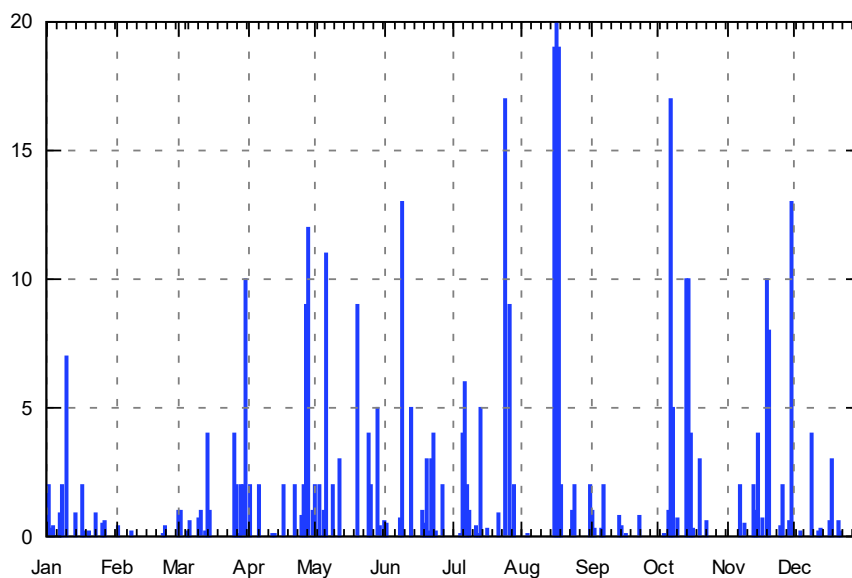
(zdroj: URL33)

Z grafů je patrné, že rozdílový je přelom roku 2015 a 2016. Do tohoto bodu bylo zaznamenáno pouze málo nárazových větrů v průběhu roku 2015, největší poryvy větru byly dosaženy pouze na začátku roku. To se však změnilo s rokem 2018, kdy bylo zaznamenáno velké rozpětí vysokých nárazových větrů (odchylka modré křivky od průměru) a tyto meteorologické jevy se opakují i v roce 2019. Nárazy větrů způsobují značné škody. Ničí domy, shazují mosty či způsobují polomy v lesích. Již při rychlosti 72 km/hod může vítr (označován jako vichřice) způsobit škody. Proto je velmi důležité sledovat tyto jevy, jelikož kromě způsobených škod mohou zanést a znečišťovat vodní plochy různým materiálem, molekulami či bakteriemi, přenášením vzduchem, což může mít dopad na kvalitu vod. Na grafu také můžeme pozorovat fenomén přelomu prosince a ledna. V těchto měsících byla naměřena největší koncentrace nárazových větrů. Do tohoto přelomu roku je v dalších měsících poměrně malý výskyt větrů.

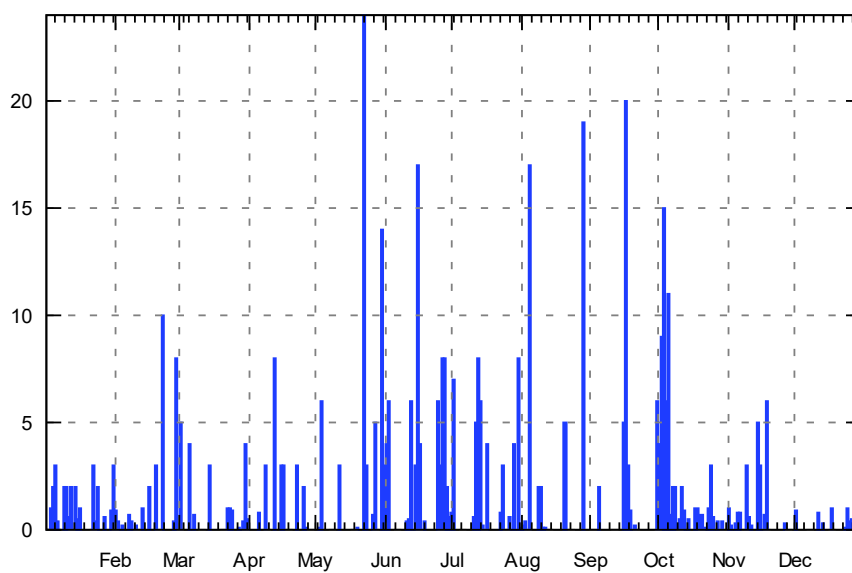
Srážky

Grafy zobrazují průběh ročních srážkových úhrnů v hodnotách mm.

Letiště Václava Havla Praha
: 01.01.2015 - 31.12.2015
© weatheronline.co.uk



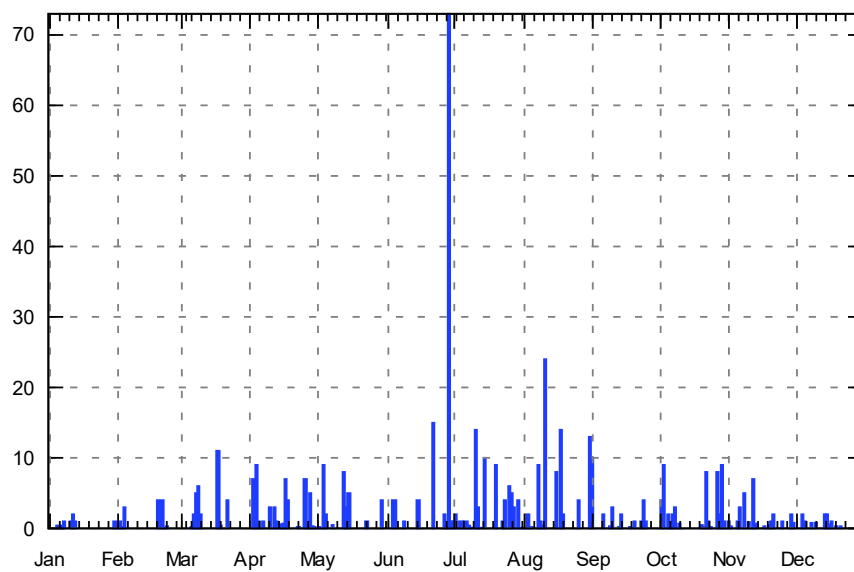
Letiště Václava Havla Praha
: 02.01.2016 - 31.12.2016
© weatheronline.co.uk



Letiště Václava Havla Praha

: 01.01.2017 - 31.12.2017

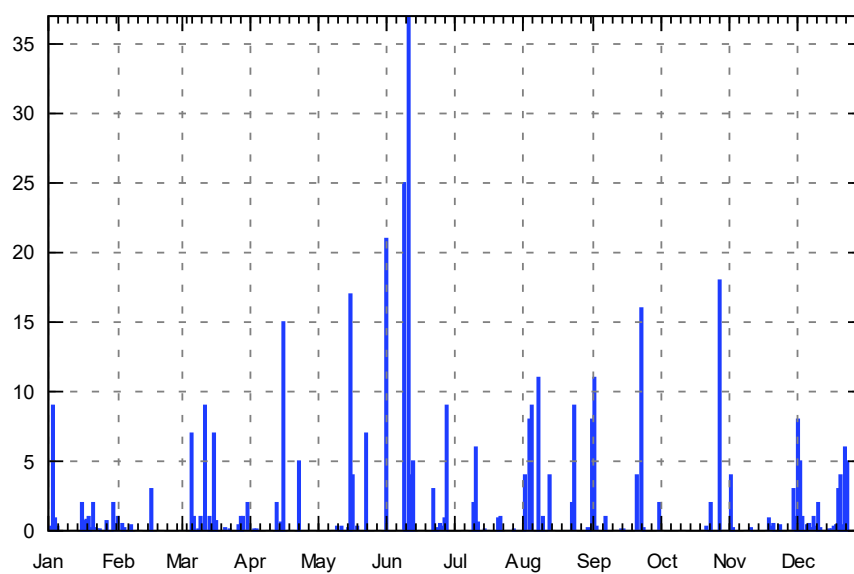
© weatheronline.co.uk



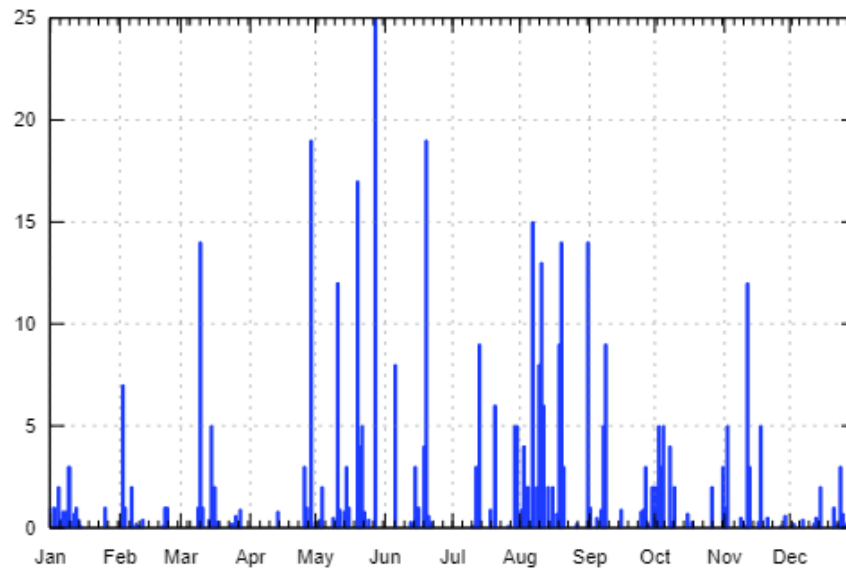
Letiště Václava Havla Praha

: 01.01.2018 - 31.12.2018

© weatheronline.co.uk



Letiště Václava Havla Praha
: 01.01.2019 - 31.12.2019
© weatheronline.co.uk



Graf č. 7-11 – roční úhrn srážek 2015-2019 (zdroj: URL 34)

Srážky se v průběhu let vyskytovaly průměrně 14x za měsíc. Jedinou výjimkou byl rok 2016, který byl velmi bohatý na srážky, avšak nejednalo se o vysoký srážkový úhrn (maximálně 2,9 mm). Ten nejvyšší byl dosažen v červenci 2017, kdy dosáhl srážkový úhrn na 70 mm. V roce 2017 byl větší úhrn srážek než 2015 a to v průběhu celého roku kromě ledna kdy bylo méně deštivých dnů i menší úhrn srážek.

Na zhoršení kvality vod se podílí srážky hlavně nízkým výskytem. Ten snižuje hladiny vod, samočistící schopnosti vody a zvyšuje koncentraci škodlivých látek ve vodě.

Od roku 2017 bývají letní měsíce velmi suché a je malý dlouhodobý výskyt srážek, což má za následek ubývající hladiny nádrží a řek či vysušenou půdu a nedostatek závlahy pro zemědělské plodiny. Vyskytovaly se pouze srážky s větší intenzitou, které mohou způsobit záplavy a mají často krátké trvání.

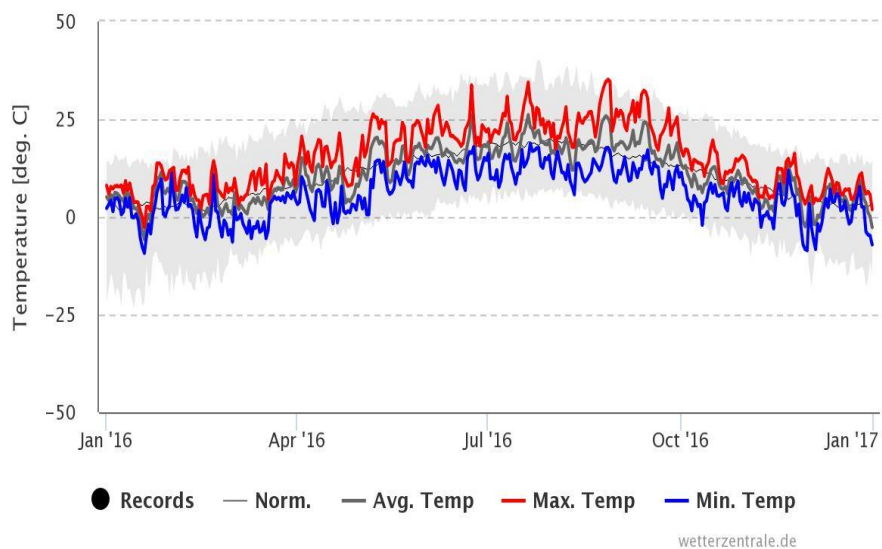
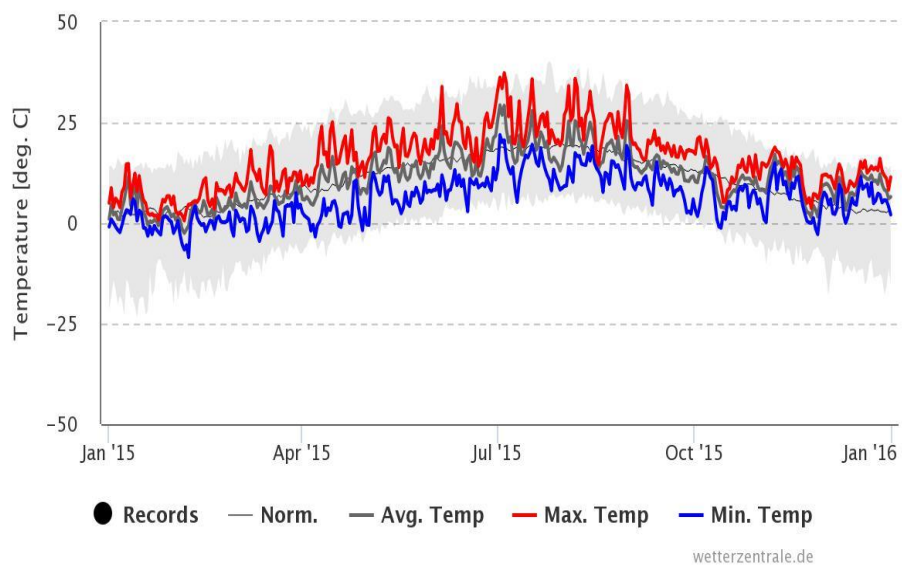
Po roce 2016 je znatelný úbytek srážek, kdy v průběhu měsíce spadlo větší množství srážek maximálně 3x. Konstantní menší srážky se již tolik nevyskytovaly, což bývá problém. Pokud po suchém období přijde velké množství srážek v krátkém intervalu, vyschlá půda má problém pojmout tak velké množství vody najednou. Navíc mohou u vydatných srážek nastat záplavy. Typická hodnota intenzity srážek bývá kolem 5 mm/h, což je ideální stav, při kterém půda zvládá vsakovat vodu. Navíc zde platí pravidlo, že čím menší je intenzita srážek, tím delší je trvání deště, což opět prospívá krajinnému ekosystému.

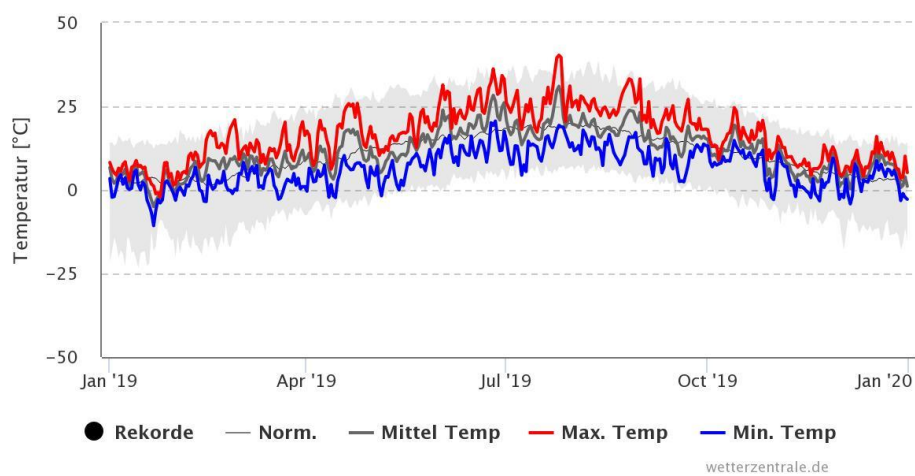
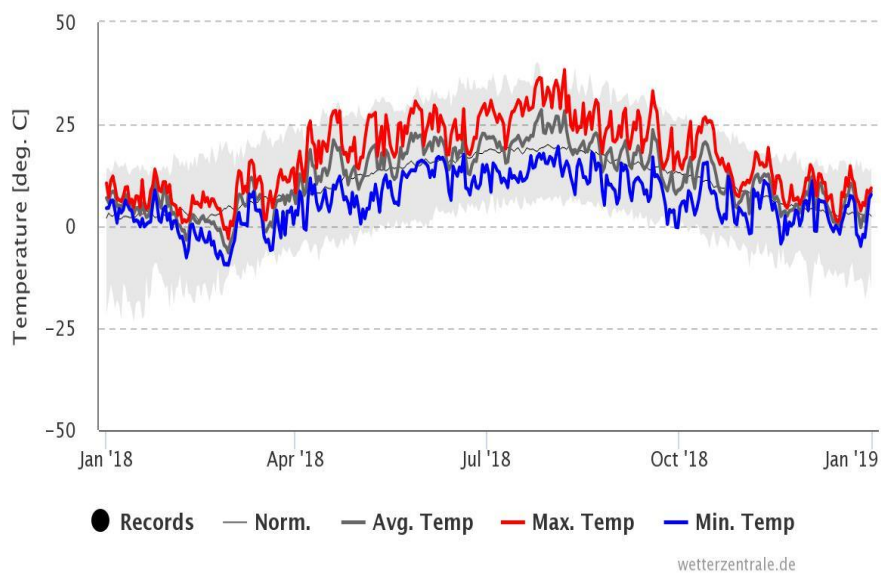
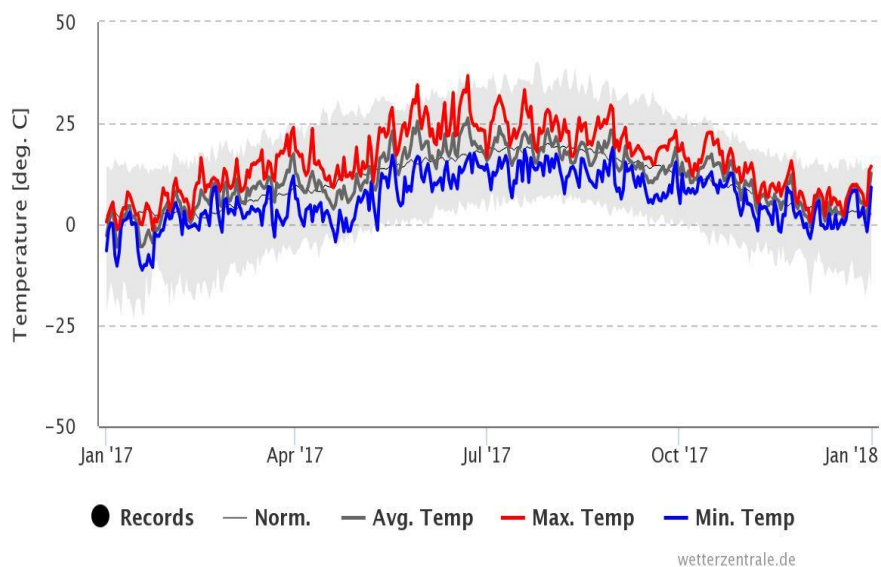
3.2.2. Meteorologická data pro Kolín nad Rýnem

Pro srovnání dat byla využita meteorologická stanice na Köln-bonn (Kolín-Bonn) letišti a data s Deutscher Wetterdienst (Německá meteorologická služba). Srovnávají byly teplota, vítr, sníh a srážky v průběhu let 2015-2019.

Teplota

Grafy zobrazují nejvyšší a nejnižší denní teploty v průběhu roku. Červenou křivkou jsou znázorněny nejvyšší teploty, modrou křivkou nejnižší teploty. Šedou čarou je znázorněna průměrná a normální denní teplota.



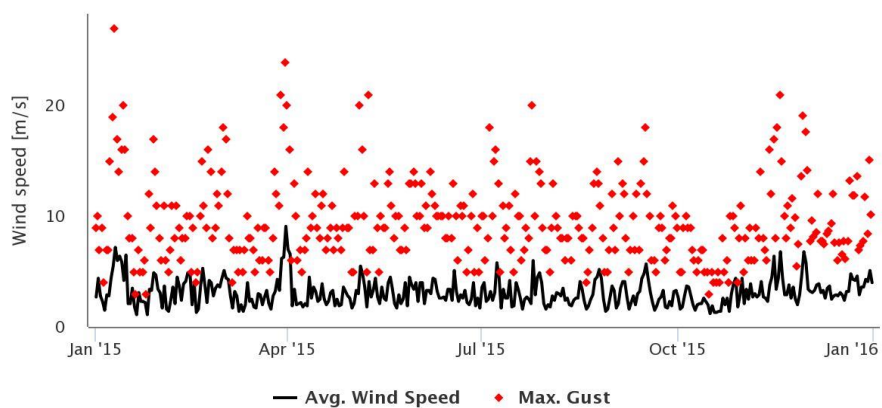


Grafy č. 12-16 – Teplota 2015-2019 (zdroj: URL 35)

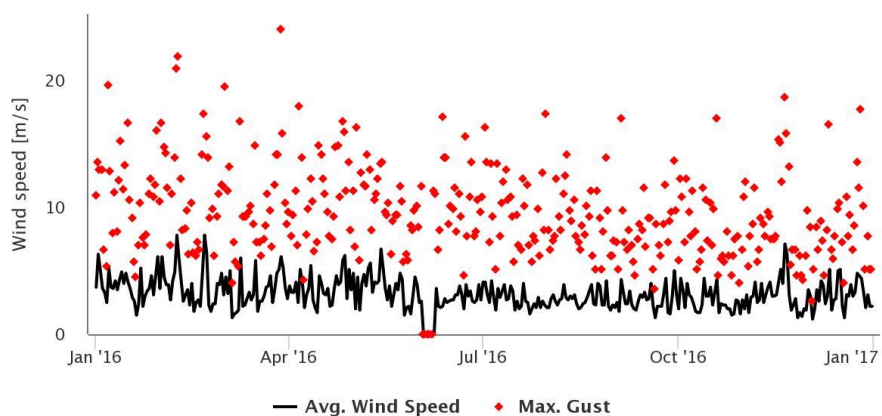
Z grafů teploty lze poznat že rok 2015 byl v porovnání s ČR prakticky stejný v průměrných teplotách, avšak rozdíl mezi maximální a minimální teplotou byl v Německu značně menší. Podobné trendy teplot lze najít na příklad u měsíce ledna, kdy v průběhu let dochází k postupnému zvyšování dnů s teplotou pod bodem mrazu. Průměrné teplotní rozdíly jsou mezi oběma státy minimální.

Vítr

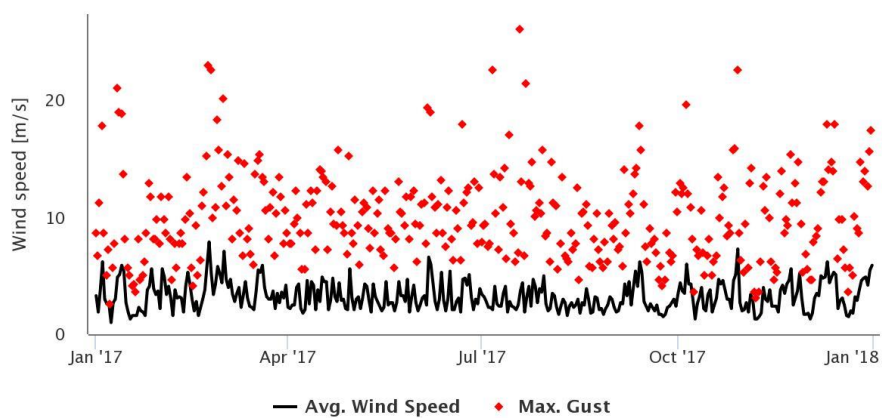
Graf zobrazuje průměrnou rychlost větru (černá křivka) a maximální nárazy větru v roce (červené body) v kilometrech za hodinu.



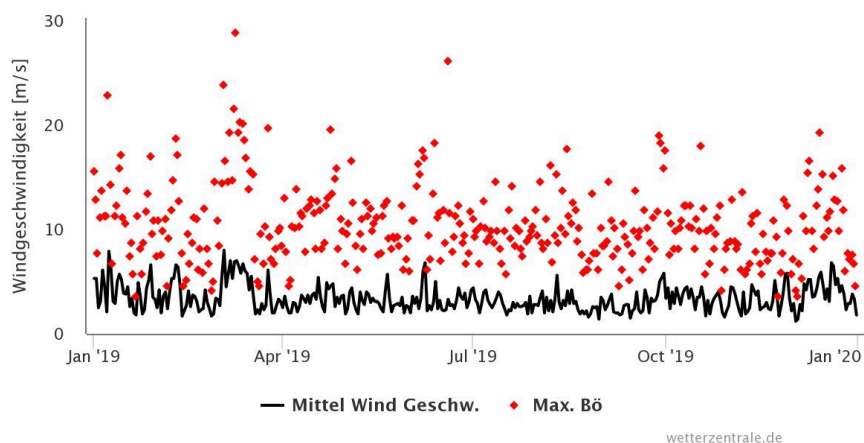
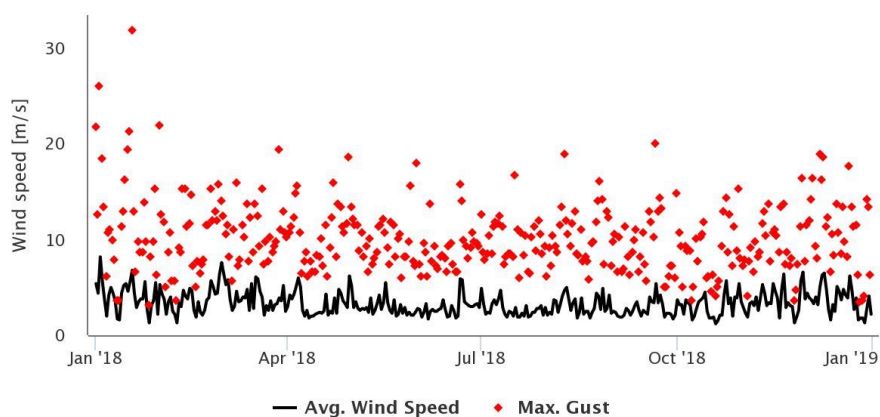
wetterzentrale.de



wetterzentrale.de



wetterzentrale.de

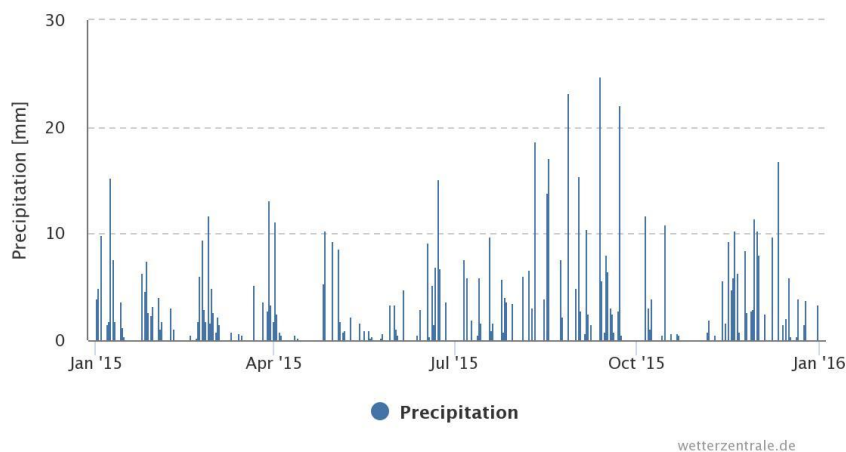


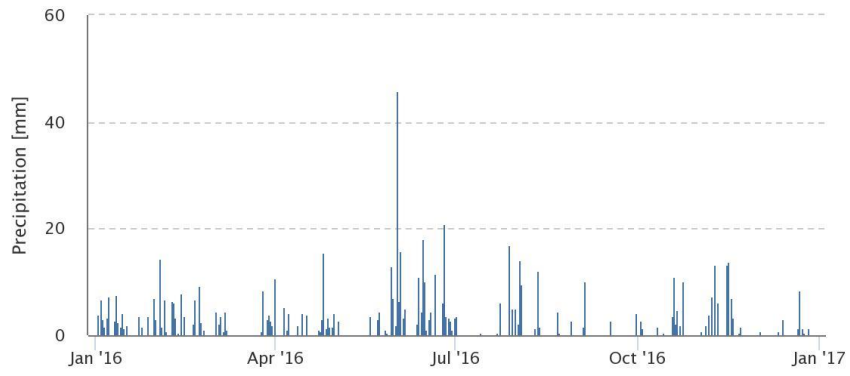
Grafy č. 17-21 – Nárazy větru 2015-2019 (zdroj: URL 35)

Oproti podobným teplotám na měřených místech, průměrná rychlost větru je v Kolíně nad Rýnem o něco větší nežli v ČR. V Kolíně se průměrná rychlost pohybuje mezi 2-10 m/s (5 m/s = 18 km/h). Také je zde v průběhu roku častěji dosahováno větších nárazů větru. V Praze se průběhu let vítr pohybuje rychlostí mezi 2,7- 4,1 m/s (10–15 km/h).

Srážky

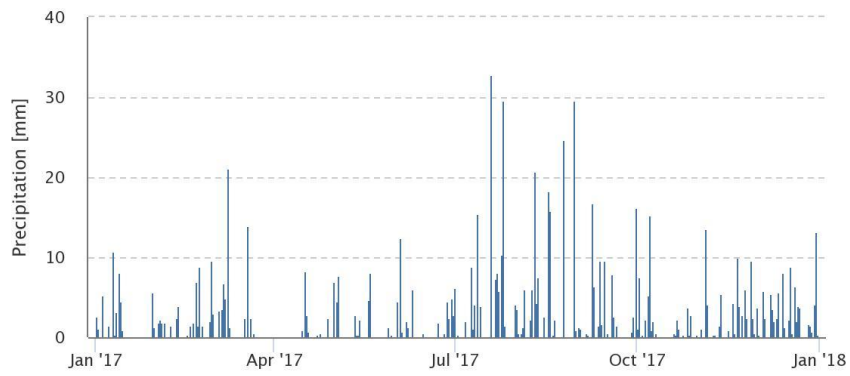
Grafy zobrazují průběh ročních srážkových úhrnů v hodnotách mm.





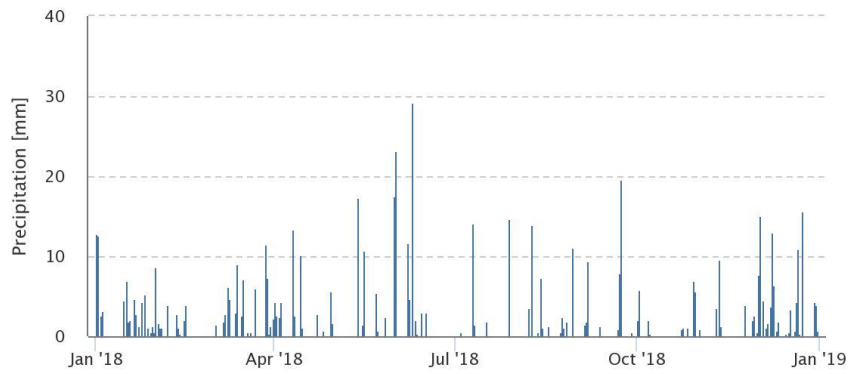
● Precipitation

wetterzentrale.de



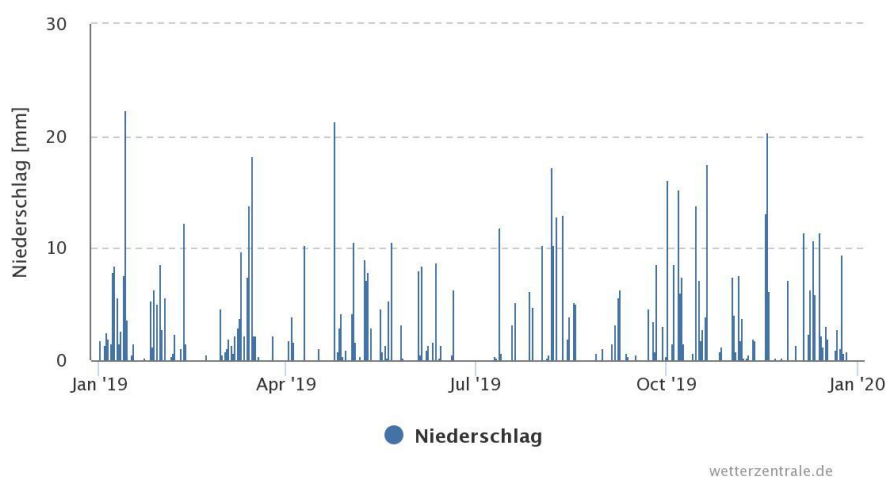
● Precipitation

wetterzentrale.de



● Precipitation

wetterzentrale.de



Grafy č. 22-26 – Úhrn ročních srážek 2015-2019 (zdroj: URL 35)

Zde je vidět zásadní rozdíl oproti ČR v roce 2016 a 2017. Rok 2016 byl v Kolíně nad Rýnem zásadně méně bohatší na srážky nežli v Praze. Naopak tomu bylo právě v roce 2017, kdy bylo zaznamenáno v průběhu roku více srážek a také větších srážkových úhrnů přes 20 mm za rok. Zatímco v Německu to bylo konkrétně 6x, v ČR pouze 1x. Roky 2015 a 2018 se pak vyvíjeli velmi podobně v četnosti srážkových úhrnů, ale v Kolíně byl opět větší úhrn srážek přes 10 mm.

4. METODIKA

4.1. Zpracování dat u družice Sentinel-2

Data byla získána z družice Sentinel-2, stažena ze stránky <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> a korigována v programu SNAP (Sentinel Application Platform). Jedná se o počítačový software, který sdružuje všechny toolboxy systému Sentinel a používá se pro práci se satelitními snímky. Vybrány byly vhodné snímky s max. 20 % oblačností. Pro zachování stejných podmínek byl dále použit program Sencor2 (nastavba programu SNAP), jelikož ne všechny stažené snímky obsahovali atmosférickou korekci. Jednalo se o snímky s označením L1C, tedy starší snímky bez korekce.

Sencor2 byl použit pro atmosférické a terénní korekce a odstranění vysokých oblaků ze snímků. Výstupem byl nový snímek ve formátu JPEG 2000 (Joint Photographic Experts Group).

Dalším krokem pak bylo převzorkování snímků do jednotného prostorového rozlišení pomocí funkce resampling. Pomocí výpočtu spektrálních pásem podle vzorce: $B5 - ((B4+B6) / 2)$ (Red edge-1, NIR, Red edge-2) použitého ve funkci Band Maths lze nejlépe zobrazit chlorofyl-a za pomoci barevné škály. Posledním krokem bylo použití funkce C2RCC S-2 MSI, pomocí které si lze zobrazit výsledná data chl-a (v jednotkách mg/m^3) na snímcích. Data z pořízených oblastí (7x7 velikost oblasti) byla zprůměrována nástrojem Extract Pixel Values a následně převedena do jednotek ug/l .

C2RCC (Case 2 regional coast colour)

Jedná se o nástroj vyvinutý několika výzkumnými ústavu GKSS Research Centre, Institute for Coastal Research a Brockmann Consult pro zpracování dat z různých satelitních skenerů. C2RCC je dalším vývojem regionálního procesoru Case-2 (C2R), který byl dále upraven během projektu CoastColour (www.coastcolour.org) (URL 45).

Hlavní koncept je založen na radičního přenosu modelování vody pomocí teorie radičního přenosu (založeno na základě Hydrolight (URL 45)) a vektorového postupného řádu rozptylu (SOS) atmosférického modelu s aerosolovými optickými vlastnostmi odvozenými z měření NASA AERONET-OC. Modely jsou parametrizovány propracovaným biooptickým modelem oceánské atmosféry s využitím velké databáze odrazů opouštějících vodu a vztahujících se k optickým vlastnostem z různých pobřežních oblastí po celém světě. Výpočty se provádějí pro všechna spektrální pásma daného senzoru. Zpracování se provádí sadou neuronových sítí, které se generují pro každý senzor pomocí podmnožiny pásem tohoto senzoru. Hlavní neurální síť odvodí odcházející odrazivost vody (R_w) po atmosférické korekci. V dalším kroku jsou odvozeny hodnoty koncentrace jednotlivých optických složek vody (URL 45).

Kromě toho, že je C2RCC použitelný na širokou škálu satelitních senzorů, poskytuje flexibilitu při přizpůsobování pomocných parametrů, které může uživatel přizpůsobit konkrétním inherentním optickým vlastnostem (sIOP) i pomocným parametrům místního vodního tělesa. Mezi pomocné parametry patří např. slanost, teplota, ozon, tlak vzduchu a specifické IOP, konkrétně Chl-specifický absorpční koeficient a specifický rozptyl celkové suspendované látky (TSM) při 442 nm. Tento přístup tedy umožňuje upravit vztah mezi IOP a koncentracemi optických látek ve vodě, které jsou regionálně proměnlivé. (URL 45).

4.2. Datové oblasti

Jednotlivá data byla pořízena ze tří oblastí. První oblast byla zvolena v blízkosti začátku nádrže po směru přítoku. Druhá oblast v okolí prostředku nádrže a třetí oblast u vyústění z nádrže.

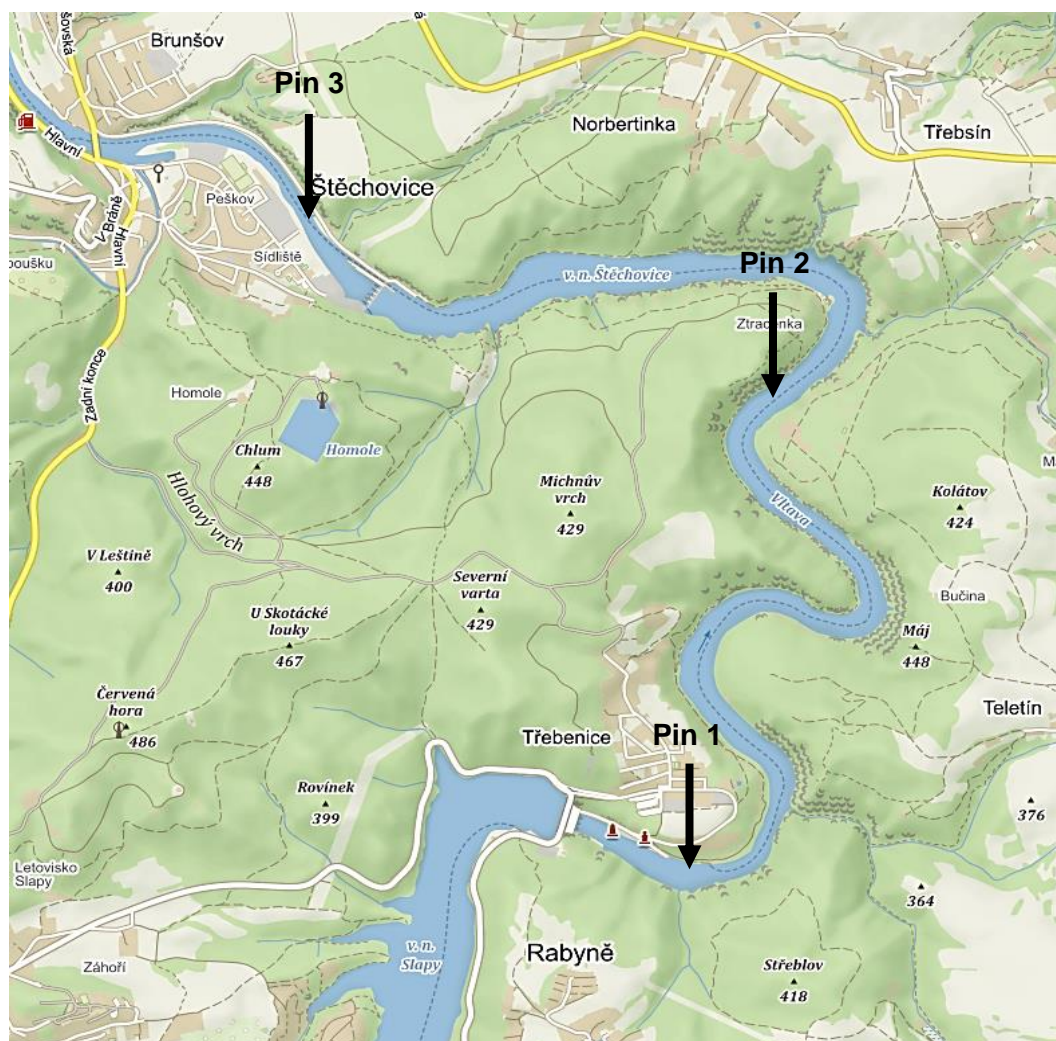
4.2.1. Česká republika

Data ze snímků z ČR byla pořízena z následujících 3 oblastí.

Tabulka č.3 – zobrazení souřadnic použitých k analýze dat, Štěchovice, ČR

název	zeměpisná šířka	zeměpisná délka
pin_1	49°49'15"	14°26'32"
pin_2	49°50'30"	14°26'49"
pin_3	49°51'04"	14°24'59"

(zdroj: vlastní zpracování)



Obrázek č.15 – zobrazení oblastí použitých k analýze dat označených šipkou, Štěchovice, ČR (zdroj: vlastní zpracování, mapy.cz)

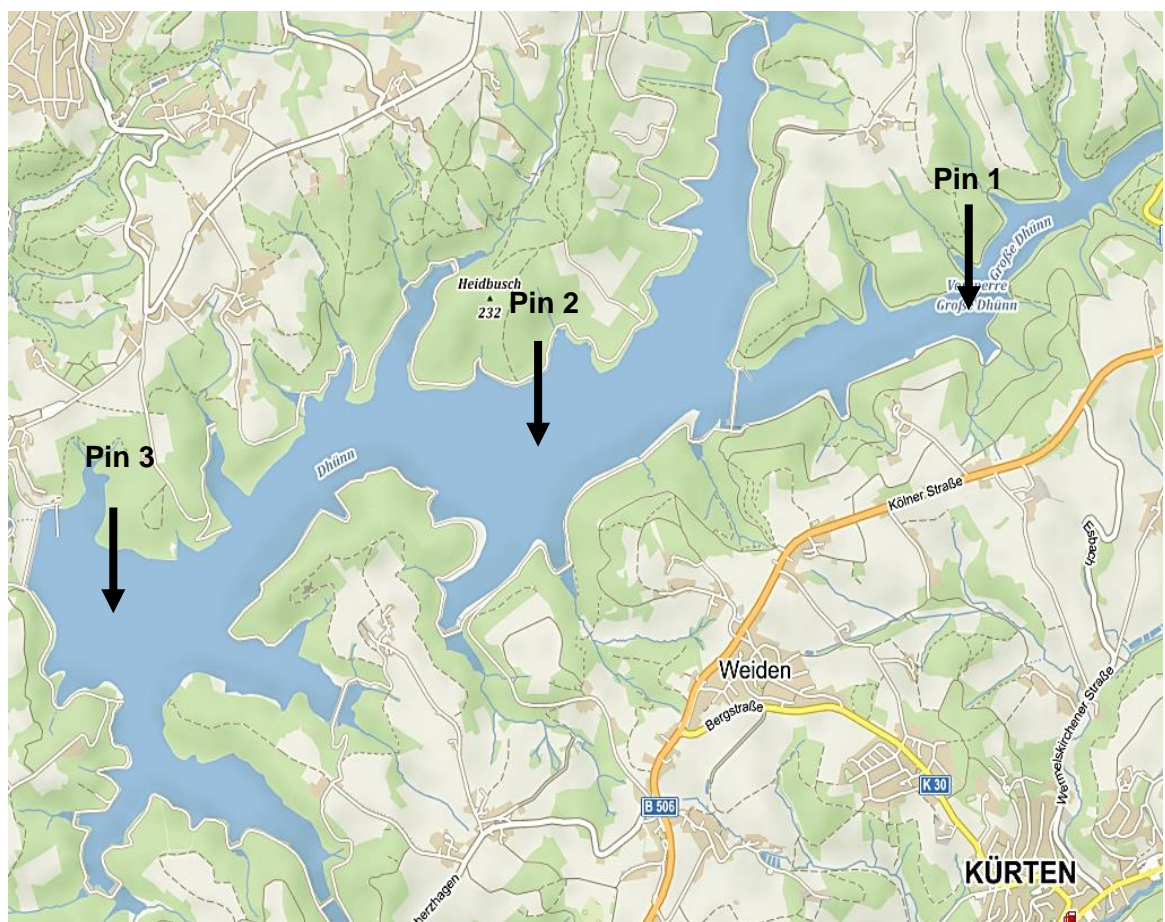
4.2.2. Německo

Data z Německa byla pořízena z následujících 3 oblastí.

Tabulka č.4 – zobrazení souřadnic použitých k analyzování dat, Große Dhünntalsperre, Německo

název	zeměpisná šířka	zeměpisná délka
pin_1	51°04'38"	7°15'30"
pin_2	51°04'18"	7°13'30"
pin_3	51°03'56"	7°11'32"

(zdroj: vlastní zpracování)



Obrázek č.16 – zobrazení oblastí použitých k analyzování dat označených šipkou, Große Dhünntalsperre, Německo (zdroj: vlastní zpracování, mapy.cz)

4.2.3. Česká republika

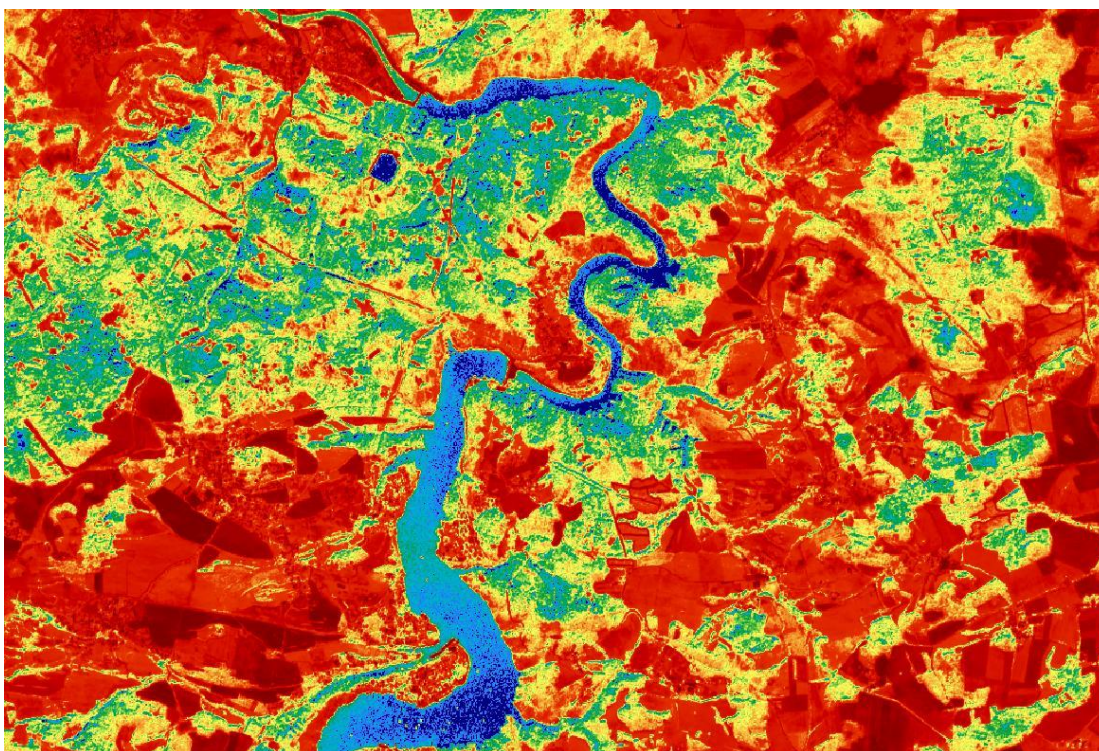
První pozorovaný úsek se nachází v ČR u obce Štěchovice, nedaleko Prahy, jedná se o vodní nádrž Štěchovice. Data jsou vyjádřena pomocí snímků z družice Sentinel-2. Souhrnný přehled všech snímků, které byly podkladem pro výzkum je uveden v Příloze č.2, níže je uveden z důvodu obsáhlosti pouze výběr snímků pro názornost. **Data jsou zobrazována podle dostupnosti od roku 2015. Rok 2016 je z důvodu nedostatku dostupných dat v německé oblasti vynechán.**

Tabulka č.5: Klasifikace vod podle normy ČSN 75 7221

<p>azurová – vynikající až velmi dobrá kvalita vody ke koupání</p> <p>tmavomodrá barva – zhoršená kvalita vody, koupání možné mimo velmi citlivých osob</p> <p>zelená – zhoršená kvalita vody, koupání se nedoporučuje</p> <p>žlutá – voda nevhodná ke koupání.</p> <p>červená až purpurová – silně až extrémně znečištěná voda, zejména ve druhém případě koupání představuje vážné zdravotní riziko</p>

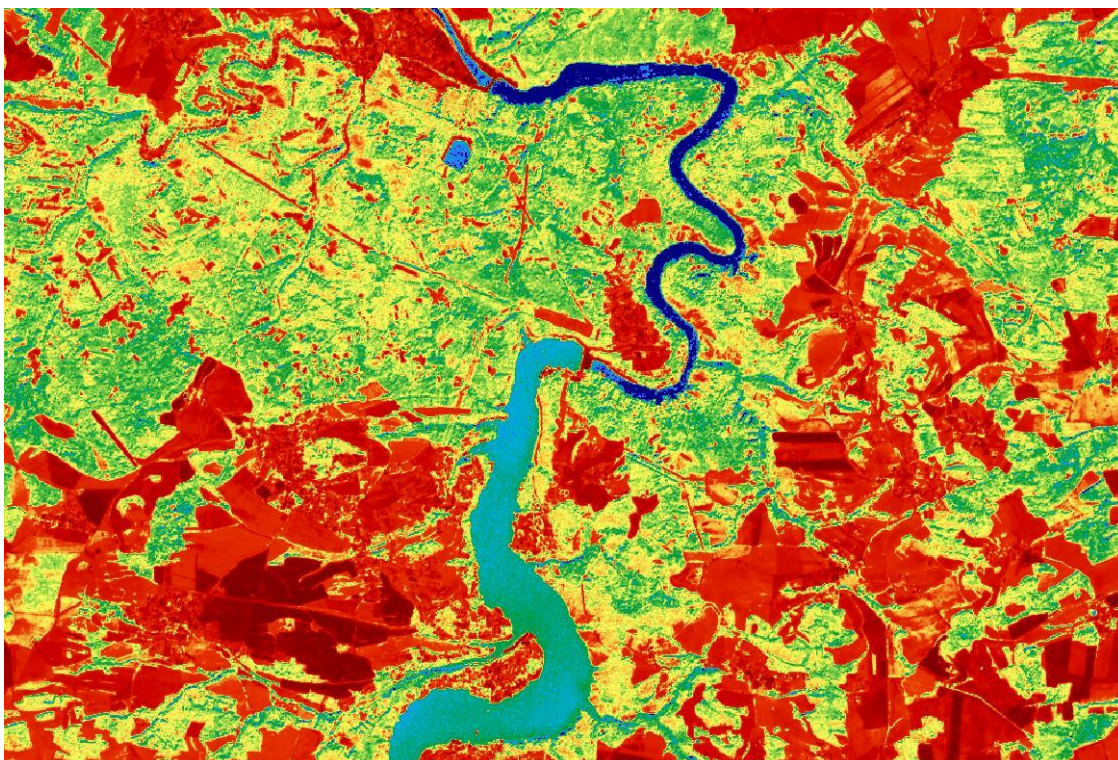
(zdroj:http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3186&typ=html)

Rok 2015



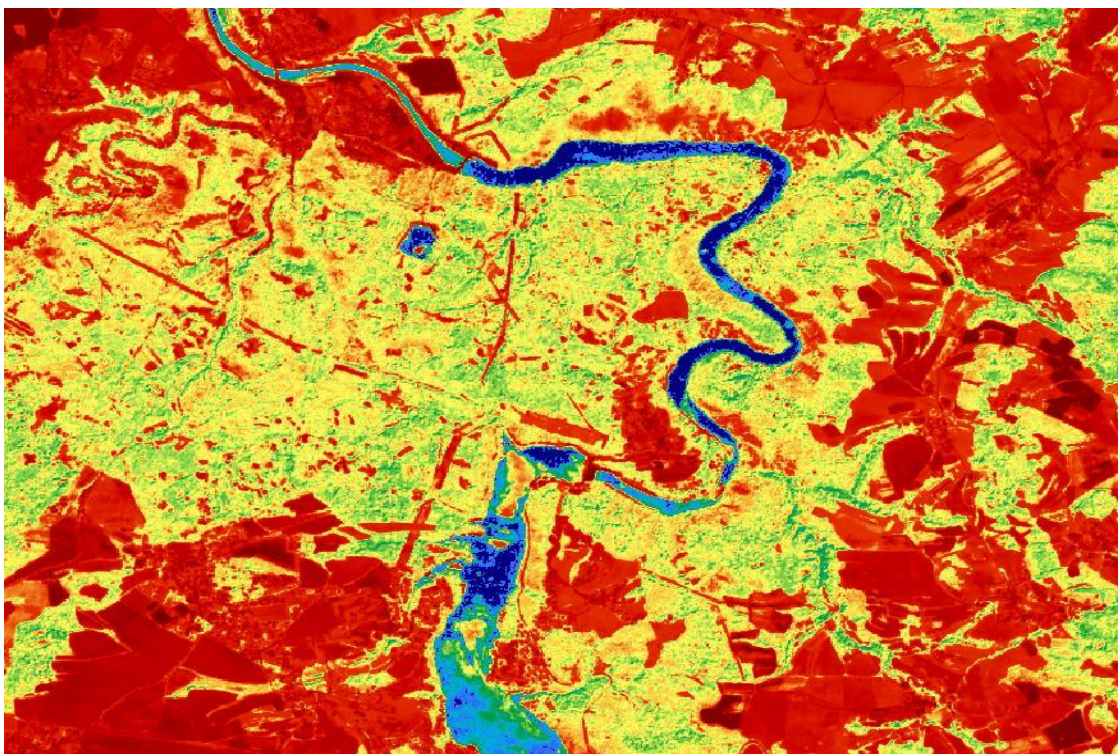
Obrázek č.19 – zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 12.09.2015 (zdroj: vlastní zpracování)

Rok 2017

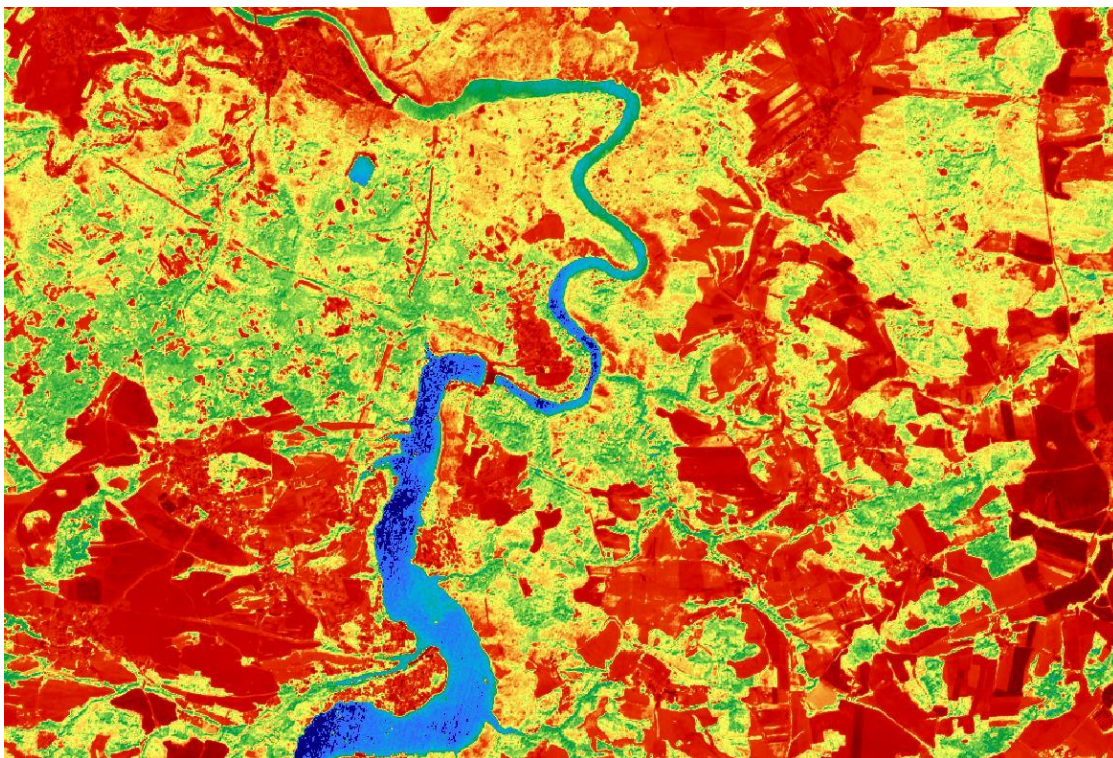


Obrázek č.23 – zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 29.08.2017 (zdroj: vlastní zpracování)

Rok 2018



Obrázek č.26 – zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 03.07.2018 (zdroj: vlastní zpracování)



Obrázek č.32 – zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 25.07.2019 (zdroj: vlastní zpracování)

4.2.4. Německo

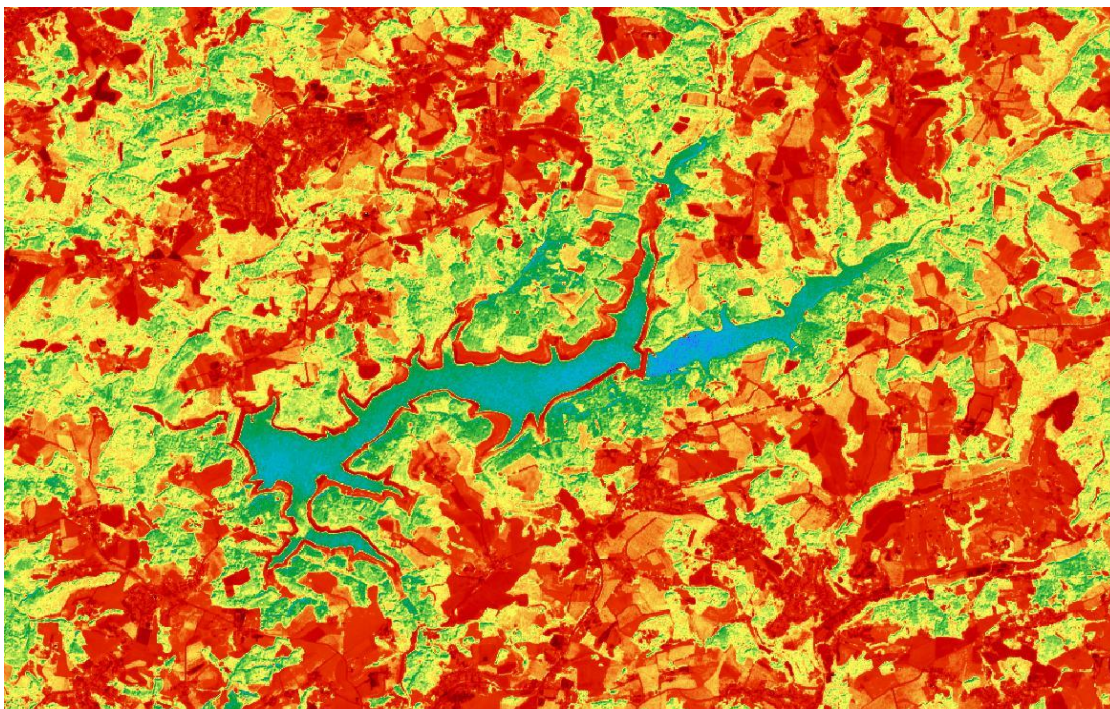
Druhý pozorovaný úsek se nachází v oblasti Kolín nad Rýnem. Jedná se od vodní nádrž Große Dhünntalsperre. Data jsou vyjádřena pomocí snímků z družice Sentinel-2. Souhrnný přehled všech snímků, které byly podkladem pro výzkum je uveden v Příloze č.2, níže je uveden z důvodu obsáhlosti pouze výběr snímků pro názornost. **Data jsou zobrazována podle dostupnosti od roku 2015. Rok 2016 je z důvodu nedostatku dostupných dat v německé oblasti vynechán.**

Tabulka č.6: Klasifikace vod dle normy ČSN 75 7221

<p>azurová – vynikající až velmi dobrá kvalita vody ke koupání</p> <p>tmavomodrá barva – zhoršená kvalita vody, koupání možné mimo velmi citlivých osob</p> <p>zelená – zhoršená kvalita vody, koupání se nedoporučuje</p> <p>žlutá – voda nevhodná ke koupání.</p> <p>červená až purpurová – silně až extrémně znečištěná voda, zejména ve druhém případě koupání představuje vážné zdravotní riziko</p>
--

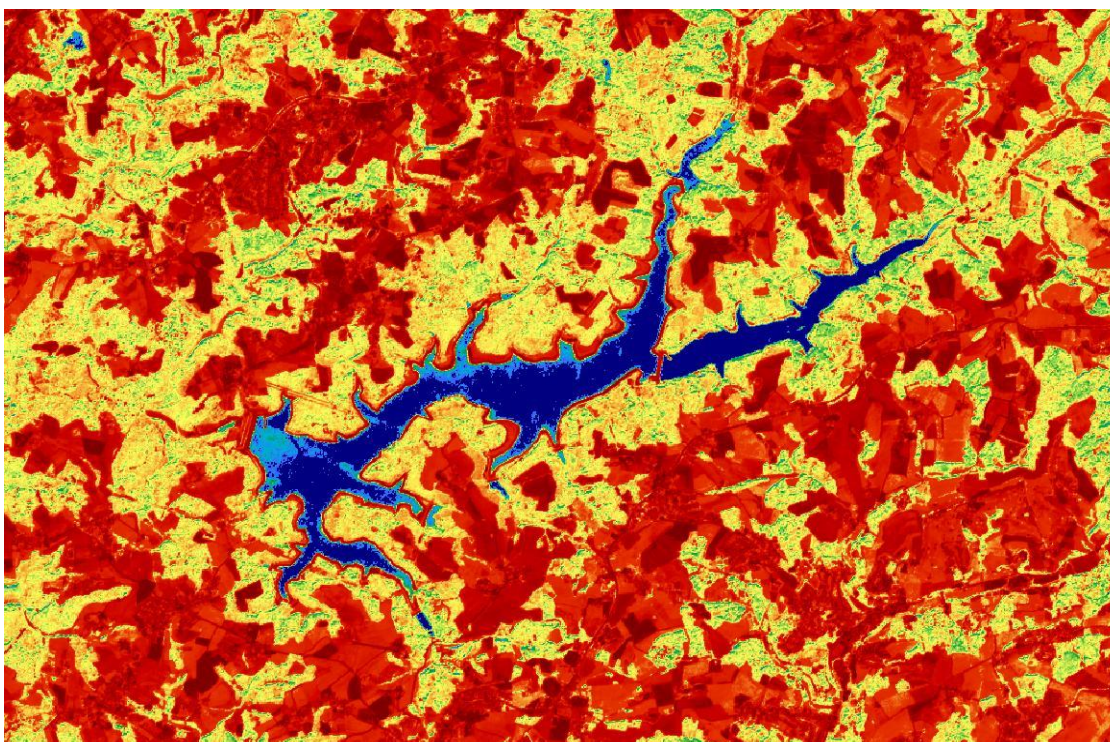
(zdroj: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3186&typ=html)

Rok 2015



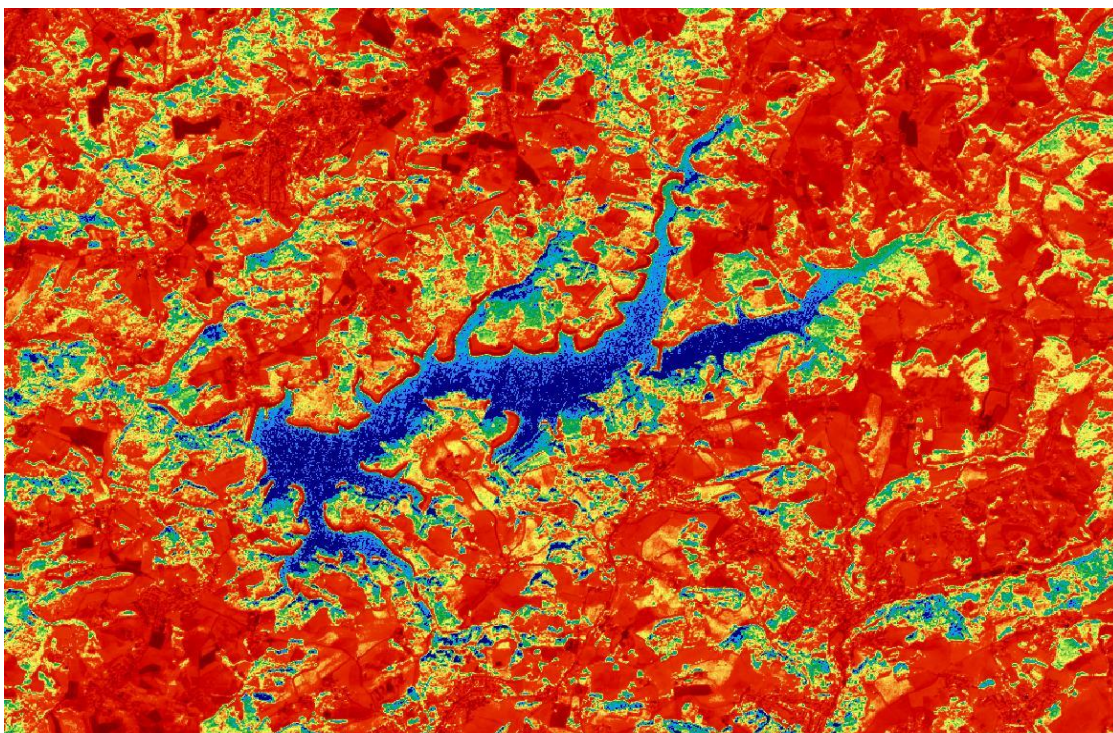
Obrázek č.34 – zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, GroÙe Dhüntalsperre 02.08.2015 (zdroj: vlastní zpracování)

Rok 2017



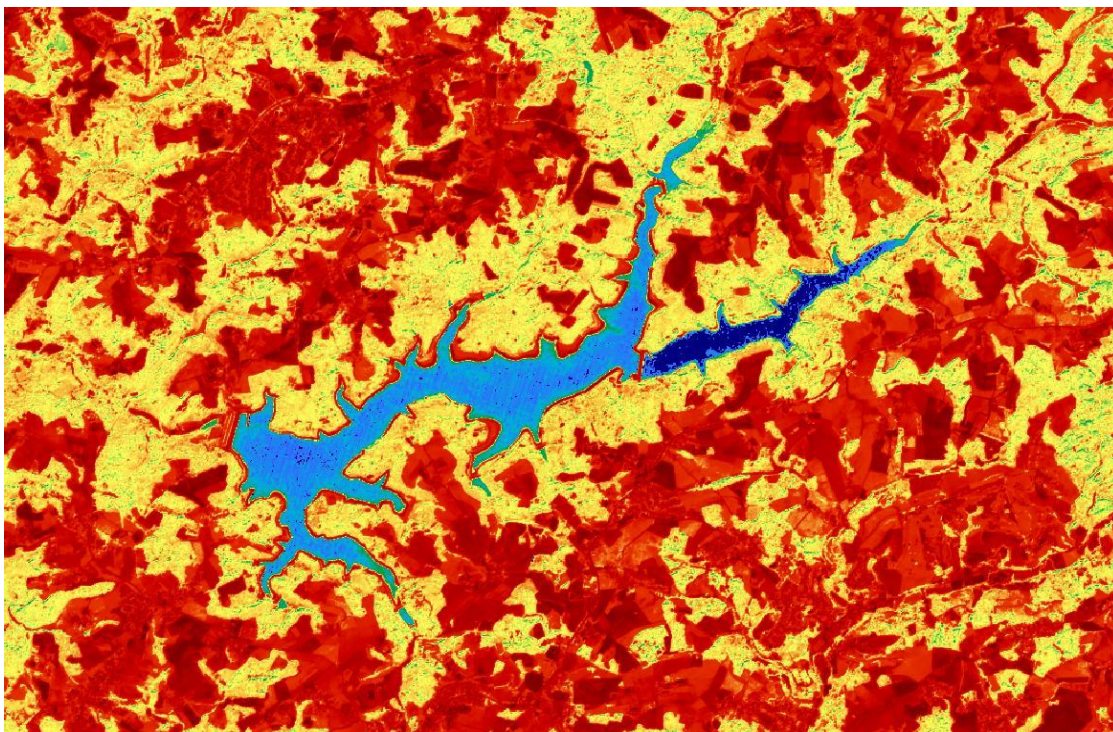
Obrázek č.37 zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, GroÙe Dhüntalsperre 19.06.2017 (zdroj: vlastní zpracování)

Rok 2018



Obrázek č.44 – zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, GroÙe Dhüntalsperre 17.10.2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Rok 2019



Obrázek č.46 - zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, GroÙe Dhüntalsperre 29.06.2019 (zdroj: vlastní zpracování)

4.3. Porovnání datových výstupů ČR a Německo

V následujících tabulkách jsou výsledné datové výstupy s naměřenými meteorologickými daty.

4.3.1. Česká republika

Tabulka č.7 – ČR 2015

Název	Hodnota chl-a v průběhu roku (ug/l)		
Datum	04.07.2015	13.08.2015	12.09.2015
pin_1	4,4	5,4	3,2
pin_2	3,9	5,6	3,2
pin_3	4,5	5,7	3,6
°C	34	34	19
mm	2	0	0

(zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.8 – ČR 2017

Název	Hodnota chl-a v průběhu roku (ug/l)			
Datum	24.04.2017	03.06.2017	20.06.2017	29.08.2017
pin_1	0,9	0,7	0,6	0,2
pin_2	0,8	0,6	1	0,1
pin_3	0,7	0,8	1,1	0,5
°C	14	22	32	26
mm	1	3	0	0

(zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.9 – ČR 2018

Název	Hodnota chl-a v průběhu roku (ug/l)						
Datum	19.04.2018	06.05.2018	03.07.2018	07.08.2018	16.09.2018	13.10.2018	17.11.2018
pin_1	1	0,8	0,6	2	1	0,7	1
pin_2	0,9	0,7	0,5	2	1	0,7	0,8
pin_3	1,5	1,9	0,8	2,3	1,1	1	1
°C	21	23	31	34	22	22	6
mm	0	0	0	10	1	0	0

(zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.10 – ČR 2019

Název	Hodnota chl-a v průběhu roku (ug/l)		
	25.06.2019	25.07.2019	13.10.2019
pin_1	3,2	0,7	3,5
pin_2	3,3	1,2	3,7
pin_3	3,6	2,3	3,9
°C	32	35	24
mm	0	0	0

(zdroj: vlastní zpracování)

4.3.2. Německo

Tabulka č.11 – Německo 2015

Název	Hodnota chl-a v průběhu roku (ug/l)	
	Datum	
	02.08.2015	11.09.2015
pin_1	3,2	3
pin_2	3,1	3
pin_3	3,2	2,9
°C	28	14
mm	0	1

(zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.12 – Německo 2017

Název	Hodnota chl-a v průběhu roku (ug/l)	
	Datum	
	10.05.2017	19.06.2017
pin_1	0,3	0
pin_2	0,7	0,1
pin_3	0,3	0,3
°C	19	31
mm	0	0

(zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.13 – Německo 2018

Název	Hodnota chl-a v průběhu roku (ug/l)						
	Datum						
	18.04.2018	08.05.2018	28.05.2018	27.07.2018	10.10.2018	15.10.2018	17.10.2018
pin_1	1,9	0,4	0,6	0,9	2,8	0,6	0,4
pin_2	0,7	0,6	0,5	1,1	2,9	1	0,4
pin_3	0,7	0,6	0,7	1,1	2,9	0,7	1,7
°C	26	27	30	36	24	25	24
mm	0	0	0	0	0	0	0

(zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.14 – Německo 2019

Název	Hodnota chl-a v průběhu roku (ug/l)			
	Datum			
	13.05.2019	29.06.2019	24.07.2019	20.09.2019
pin_1	0,4	0,3	0,6	1,6
pin_2	0,5	0,5	0,8	0,7
pin_3	0,3	0,4	0,9	0,6
°C	17	34	40	21
mm	0	0	0	0

(zdroj: vlastní zpracování)

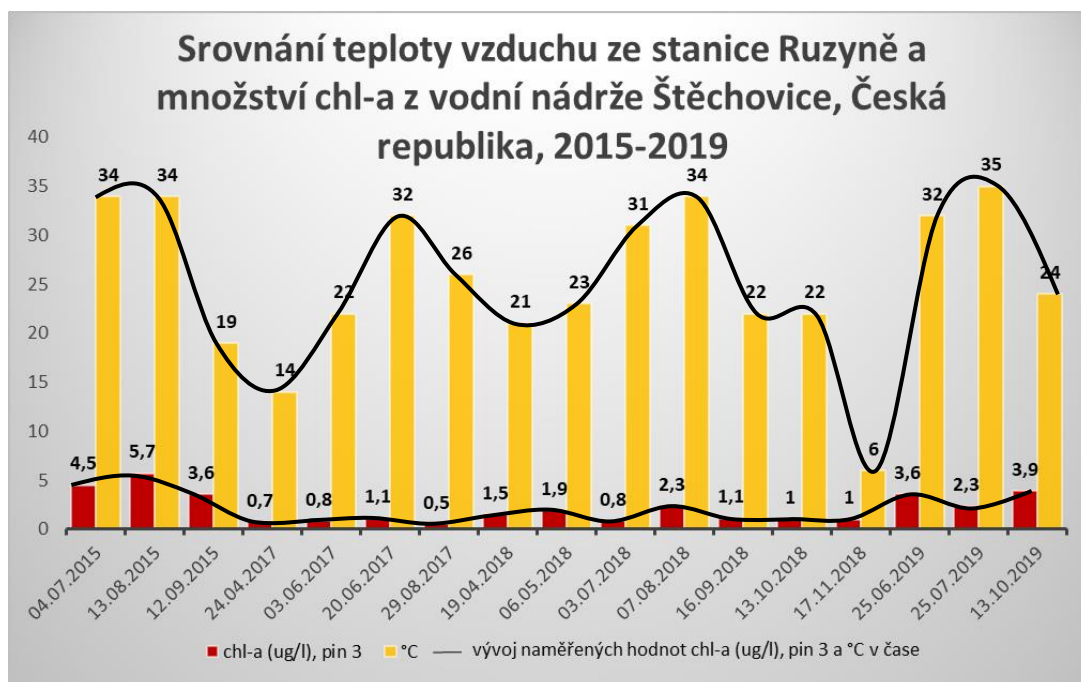
5. VÝSLEDKY

Pro výsledné zpracování dat bylo použito celkově 32 zpracovaných snímků, z nichž bylo upraveno celkem 17 snímků pro zachování srovnatelné kvality. Jednalo se o snímky s označením L1C, bez korekce. Byly použity vhodné snímky z dostupností v období od dubna do listopadu v letech 2015 až 2019. Z důvodu nedostatku dostupných dat, hlavně v německé oblasti byl vynechán rok 2016.

Klasifikace ukazatele jakosti povrchové vody chl-a ve zkoumaném úseku vodní nádrže Štěchovice se podle ČSN 75 221 dá hodnotit na pomezí mezi I. a II. třídou, tedy neznečištěná či mírně znečištěná povrchová voda. Nejlépe je klasifikace pozorovatelná na snímcích z roku 2018 (viz Příloha č.2, Česká republika, Rok 2018) a na datových výstupech z roku 2018 (Tabulka č.9 – ČR 2018, str.49), kde je díky dostatečnému množství dostupných dat, zobrazena prakticky většina průběhu celého roku. Lze tak pozorovat neustále držící se kvalitu vody po dobu většiny celého roku.

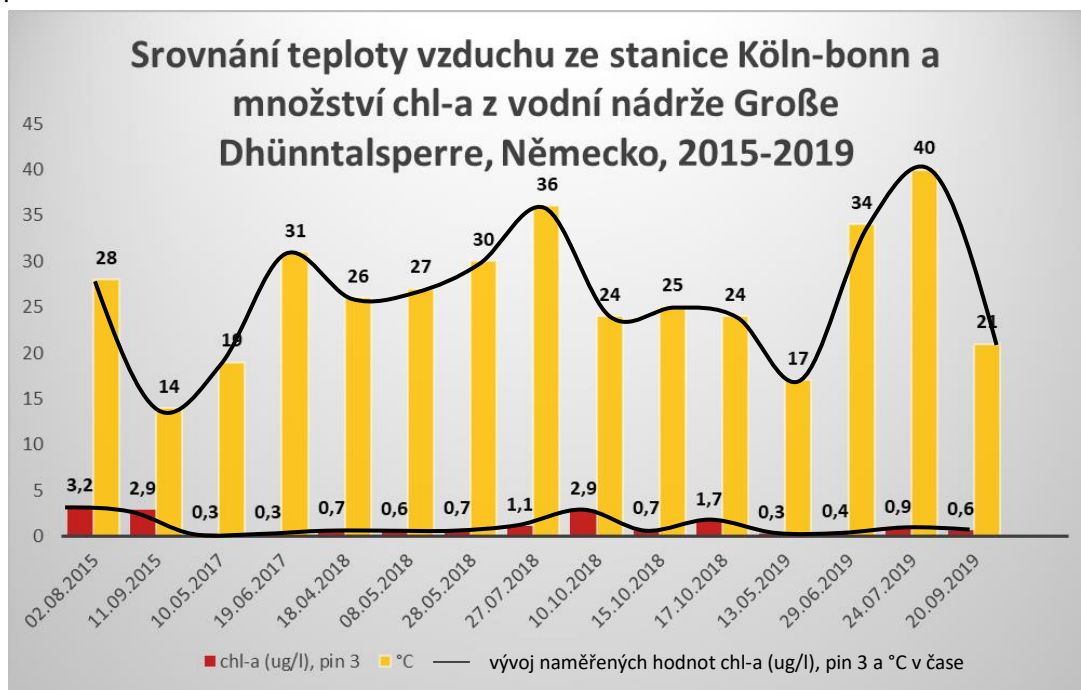
Na základě porovnání indexů získaných ze zpracovaných dat družice Sentinel-2 a meteorologických dat, je možné vidět souvislosti, které mohly ovlivnit kvalitu vody a množství chlorofylu-a přítomného ve vodě. Nejlépe lze vidět souvislosti na grafu ČR z roků 2017 a 2018 (Graf č.27, str.53) a to i přes nedostatek přesných dat (dnů) se dá porovnat daný stav chl-a. Povodí Odry na svých stránkách uvádí: „Ze zkušeností lze konstatovat, že pokud nenastanou mimořádné okolnosti (zvýšený přítok, výrazná změna teplot nebo slunečního svitu) distribuce chlorofylu se nemění po dobu 15 až 20 dní“ (https://www.pod.cz/portal/jvn/cz/popis_cz.htm).

Zcela jistě má vliv na množství chl-a ve vodě teplo. Tedy ze zvyšující se teplotou se zvyšuje i množství chl-a obsaženého ve vodě. Lze to pozorovat konkrétně na dnech 24.04.2017 a 19.04.2018 (Graf č.27, str.53), kde chl-a označuje množství naměřené na výstupním místě z nádrže. Dalším možným srovnávacím vstupem jsou data ze 29.08.2017 a 07.08.2018 (Graf č.27, str.53). Nejlépe pak ukazují souvislosti data z 13.10.2018 (Tabulka č.9 - ČR 2018, str. 49; Graf č.27, str. 53) a 13.10.2019 (Tabulka č.10 - ČR 2019, str.50; Graf č.27, str.53), kdy se teplota pohybovala pouze v rozdílu 2 stupňů Celsia a meteorologické srážky se v tyto dny nevyskytovaly. 13.10.2019 došlo za stejných podmínek k navýšení chl-a až hodnotu 2,9 ug/l. Avšak musíme vzít v úvahu i činnost dalších vlivů a okolností. Faktorem, který ovlivňuje výskyt vodního květu v okolí nádrže, je Land Use na březích nádrže. Z iniciativy Evropské Unie vznikl pod programem Copernicus projekt Riparian Zones (Břehové oblasti), který mapuje využití a stav přechodných oblastí mezi vodou a souší (Copernicus Programme, 2021). Tento faktor nemá rozhodující vliv na tvorbu vodního květu, ale přispívá ke zhoršení kvality vody (především během léta) což by potvrdovalo, proč je velké většině případů horší kvalita vody na výstupu z nádrže nežli na vstupu, jelikož je tato nádrž často navštěvovaným turistickým místem. Dalším faktorem na zvýšený výskyt chl-a ve vodě má tvar zkoumaného území. Nádrž je lemována záhyby, kde se usazují nečistoty. Ty jsou uvolňovány dále po soutoku, což vysvětluje vyšší výskyt látek na odtoku z nádrže. V důsledku nedostatku meteorologických srážek pro konkrétní dostupná data ze Sentinel-2 na zkoumaných oblastech, lze považovat tyto data za nerelevantní.



Graf č.27 – souhrnné zobrazení získaných dat z oblasti pin 3, metodou C2RCC, 2015-2019, ČR (zdroj: vlastní zpracování)

Klasifikace ukazatele jakosti povrchové vody chl-a ve zkoumaném úseku nádrže Große Dhünntalsperre se podle ČSN 75 221 se pohybuje mezi I. a II. třídou, dle nejvíce dostupných dat z roku 2018 (viz. Příloha č.2, Německo, Rok 2018), kde lze pozorovat neustále držící se kvalitu vody po dobu většiny celého roku, by se tato nádrž dala zařadit do stupně číslo I. Tedy neznečištěná povrchová voda. Nízké hodnoty chl-a také vysvětlují proč se jedná z hlediska kvality o třetí největší nádrž na pitnou vodu v Německu.



Graf č.28 - souhrnné zobrazení získaných dat z oblasti pin 3, metodou C2RCC, 2015-2019, Německo (zdroj: vlastní zpracování)

I v této oblasti se prokázalo že meteorologické jevy mají vliv na obsahu chlorofylu ve vodě. Konkrétně to lze vidět na dnech 08.05.2018 (Tabulka č. 13 – Německo 2018, str. 51; Graf č.28, str.53) a 13.05.2019 (Tabulka č. 14 – Německo 2019, str. 51; Graf č.28, str.53). Avšak vyskytnuly se i data, která toto zkoumání nepotvrzují, konkrétně jsou to data.27.07.2018 (Graf č.28, str.53) a 24.07.2019 (Graf č.28, str.53), kde je nepatrně vyšší výskyt chl-a v roce 2018 při menší teplotě, což si lze vysvětlovat kupříkladu větší intenzitou porывů větru (kolem 18 km/h), které různým materiálem, molekulami či bakteriemi, přenášenými vzduchem zanáší nádrže. Zde lze také zahrnout do zkoumání Land Use v okolí nádrže, který má na výskyt chl-a určitý vliv.

Zajímavým zjištěním je zpožděný nárůst či pokles chl-a vůči teplotě, v průběhu pozorovaných let 2015-2019, na územích ČR a Německa. Ten lze vizuálně pozorovat na grafech č.27 a č.28 (str.53). Tento zpožděný nárůst či pokles může být v řádu 5-7 dnů. Příkladem jsou data na grafu č. 28. (str.53) v rozmezí 10.10 – 17.10. 2018. Od začátku měsíce došlo k výrazným výkyvům teploty mezi 06.10. – 08.10. Došlo k poklesu teploty o z 26°C na 16°C a následnému nárůstu během dvou dnů na 24°C (zjištěno z dostupných meteorologických dat, URL 35). Lze tedy předpokládat že naměřené hodnoty z 15.10.2018 (graf.28, str.53) reálně odpovídají meteorologickým výkyvům před 7 dny. Obdobné týdenní výkyvy teploty bylo možné pozorovat také v období 03.06-20.06.2017 v ČR (zjištěno z dostupných meteorologických dat, URL 29), avšak zde se projevují teplotní změny v kratším intervalu. Srovnáním s dostupnými daty chl-a, poskytnutými s.p. Povodí Vltavy (data použita pro porovnání výsledků není možné zveřejnit), a hodnoty naměřené 20.06.2017 (graf.27, str.53) bylo zjištěno, že hodnoty chl-a odpovídají meteorologickým výkyvům před 5 dny.

6. DISKUSE

Jak vyplývá i z ostatních studií, pro monitoring eutrofizace je vhodné využití dat ze skeneru MSI, který umožňuje pracovat s větším množstvím úzkých spektrálních kanálů. Pokud má být mapování chl-a vnitrozemských vod vyhovující, budoucí environmentální družice by měly mít vylepšené spektrální rozlišení. Dá se předpokládat, že multispektrální systémy budou nadále zlepšovat i prostorové rozlišení a pro výzkum kvality povrchové vody by tak byly ideálním zdrojem dat. Pro budoucí měření v ČR by bylo lepší, kdyby sběr dat z družice Sentinel-2 na našem území byl častější. Ve svém výzkumu při sběru dat jsem tento faktor shledal poněkud limitujícím. Předchozí podobné studie poukazují, že se jedná o dlouhodobý problém. Dalším limitujícím faktorem byly snímky s oblačností, na kterých bylo nutné provést atmosférické korekce. Zde byl použit program Sencor-2, který však, jak se ukázalo, výsledné snímky příliš nezlepšil a některé snímky nezobrazuje zcela v reálných hodnotách.

Dosažené výsledky poukazují na to, že použité metody jsou vhodné pro určování relativního znečištění či kvality povrchových vod a není možné dosáhnout zcela přesných hodnot pomocí DPZ. Neexistuje žádný dálkový senzor pro přesné měření látek vnitrozemských vod. Družice Sentinel je vhodná, avšak není optimální, jelikož slouží převážně pro monitorování vegetace. Dostupnými pásmy na senzoru MSI je ale možné mapovat složky povrchové vody. Pro přesnější měření by bylo zapotřebí vypuštění družice s vhodnějšími spektrálními pásmy pro vnitrozemské vody.

I když je určování přesné koncentrace chl-a problematické, jak je uvedeno v kapitole 5. Výsledky, při výzkumu bylo dosaženo nízkých hodnot, které se ztotožňovaly či přibližovaly naměřeným hodnotám poskytnutým s.p. Povodí Vltavy (data použitá pro porovnání výsledků není možné zveřejnit). Naměřená data byla trochu nižší než data z in-situ (v rozmezí 1-3 $\mu\text{g/l}$), což lze přisuzovat jednak výběru místa odběru (měření v korytě řeky oproti odběru v břehové části) či nedostatečné atmosférické korekci. Celkové zhodnocení ukazatele jakosti povrchových vod chl-a se ztotožňuje se zhodnocením ve zprávě – Hydrologická bilance množství a jakosti vody ČR, vydávané každoročně ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav). Získaná data z družice Sentinel-2 dále poukazují na vysokou turbiditu v záhybech vodní nádrže Štěchovice a vliv meteorologických změn na rozdíly hodnot chl-a. V dlouhodobé studii (1990–2015) o meteorologických faktorech na změny kvality vody u jezera Dianchi v Číně (URL44) se prokázalo, že meteorologické faktory (především teplota) jsou první složkou pro růst sinic. Jejich vliv na kvalitu vody znamenal mimo jiné zvýšený výskyt chlorofylu ve vodě, což potvrzuje i výzkum v této bakalářské práci.

Bakalářská práce p. Hanouska (2020), která se zabývá brněnskou přehradou, popisuje podobné závěry, tedy že roky 2018 a 2019 jsou diametrálně odlišné. Při srovnání jsou zde vidět skokové rozdíly v koncentraci chl-a. K získání dat využívá též družici Sentinel-2, používá odlišný postup, ale i z jeho výsledků můžeme hovořit o vlivu meteorologických faktorů na množství chl-a ve vodě. Pro přesné ověření je potřeba mít větší množství dat in-situ.

Dalším vlivem na rozdílné naměřené hodnoty mezi českým a německým územím má výběr zkoumaného území. Vodní tok v oblasti Štěchovice je lemovaný záhyby, kde se mohou usazovat nečistoty, kvůli pomalému proudění řeky. Nečistoty mohou putovat dále po proudu a mají vliv na vyšší výskyt chl-a na výstupu z nádrže. Große Dhünnalsperre v Německu je situovaná jako široká nádrž. Záchyt nečistot zde není

v takové míře jako v oblasti Štěchovic, a na výstupu z nádrže je výskyt chl-a tím pádem nižší. Hlavním důvodem nízkých hodnot chl-a je také fakt, že se jedná o třetí největší nádrž na pitnou vodu v Německu.

7. ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE

Hlavním cílem bakalářské práce bylo zhodnocení kvality povrchových vod, z pohledu koncentrace chl-a ve vodě, který hraje významnou roli v uhlíkovém a energetickém cyklu povrchových vod a ovlivňuje čistotu pitné vody.

Prvním krokem bylo nastudování problematiky zanášení povrchové vody mikrobiologickými ukazateli a jejich výskytem. Touto problematikou se zabývá poměrné množství domácí literatury a při literární rešerši bylo čerpáno převážně z nich.

Dalším krokem bylo prozkoumání výskytu chl-a vybraných míst povrchových toků a jejich kvality, za pomoci DPZ. Tato zkoumání byla značně omezena dostupností dat z vybrané družice Sentinel-2. Dalším faktorem bylo také časové nesladění dostupných družicových dat. Pro přesnější měření by bylo zapotřebí více naměřených dat bez oblačnosti, jak z oblasti České republiky, tak i z Německa. Podle vyhledávaných oblastí na vybrané družici Sentinel-2 se jich však ale příliš nenachází. K relativnímu zhodnocení kvality vody však bylo získáno dostatečné množství dat a analyzováním s poskytnutými pozemními daty byly obě nádrže ohodnoceny. Nádrž Große Dhünntalsperre byla kvalifikována jako třída kvality číslo I. a nádrž Štěchovice jako třída na pomezí I. a II.

Navazujícím cílem v poslední části bakalářské práce bylo analyzovat zkoumaná data chl-a a zjistit příčinnou souvislost s meteorologickými vlivy. Na zkoumaných meteorologických vlivech se ukázalo že nejvíce ovlivňuje kvalitu vody teplota, kde může dojít ke zvýšení množství chl-a až o hodnotu 2,9 ug/l. S přihlédnutím k rekreačním účelům, Land Use (ukazuje se také jejich využití) a tvaru nádrží se ukázalo, že na odtoku z nádrže se shromažďuje více chl-a nežli přítoku. Zajímavým zjištěním byl zpožděný nárůst a pokles koncentrace chl-a vůči výkyvům teploty, v průběhu pozorovaných let na územích ČR a Německa. Z naměřených dat se ukázalo že zpoždění změny koncentrace může být v řádu 5-7 dní. Speklativním ukazatelem jsou poryvy větru, které byly rozdílové hlavně v roce 2018 a 2019, avšak nelze přesně dokázat jejich vliv na zkoumaná území.

Ověřením výsledků s obdobnými studiemi – Hanousek (2020), Běhounová (2009) či studie o meteorologických faktorech na změny kvality vody u jezera Dianchi v Číně (URL44) dokazuje, že systém DPZ, především program Sentinel, je vhodnou, často také levnější a časově méně náročnější metodou pro monitoring kvality povrchových vod, zvláště pak vodních nádrží. Nabízejí širší pohled na stav povrchového toku, což u pozemního měření není možné. Výrazně tak doplňují měření in-situ a nabízejí možnost širšího zkoumání a analyzování získaných dat. Pro přesnější měření látek je však ale také nutné provádět dražší pozemní měření, kde je ovlivnění meteorologickými podmínkami zanedbatelné.

Tato práce může posloužit dalším v získání základního přehledu o problematice kvality povrchových vod či využití družic k dálkovému průzkumu Země nebo také jako podklad pro obdobné současné či budoucí studie.

8. POUŽITÁ LITERATURA

Seznam použité literatury

Abubakar, Aliyu, 2015: Heavy metals pollution on surface water sources in Kaduna Metropolis. Science World Journal, Vol 10 (No 2) pp. 5.

B.A. Franz, S.W. Bailey, P.J. Werdell, C.R. McClain, 2007: Sensor-independent approach to the vicarious calibration of satellite ocean color radiometry, Appl. Opt., 46, pp. 5068-5082.

Baudišová, D., 2009: Obecná přednáška o mikrobiálním znečištění koupacích vod, na semináři Koupací vody v ČR (online) [cit.2021.01.25], dostupné z https://heis.vuv.cz/data/spusteni/projekty/KOUPACIVODYPROF/dokumenty/prilohy/Koupaci_vody_seminar_Baudisova.pdf

Běhounová, P., 2009: Sledování eutrofizace vody modelových vodních nádrží Česka pomocí dat dálkového průzkumu země, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie, Praha, 67. (diplomová práce). „nepublikováno“.

Bělohávková Staffová P., 2013: Koloběh kadmia v životním prostředí, VUT Brno, Fakulta chemická, Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí, Brno, 42. (bakalářská práce). „nepublikováno“.

Bowen, H.J.M., 1979: Environmental Chemistry of elements Academic Press London. Pp. 333

Copernicus CR., 2021: O programu Copernicus (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://copernicus.gov.cz/index.php/o-programu-copernicus/>.

Copernicus CR., 2021: Infrastruktura (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://copernicus.gov.cz/index.php/o-copernicu/infrastruktura/>.

Copernicus CR., 2021: Skupina družic Sentinel (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://copernicus.gov.cz/index.php/o-copernicu/infrastruktura/kosmicka-komponenta/skupina-druzic-sentinel/>

Copernicus Programme, land.copernicus.eu, 2021: Riparian zones (online) [cit.2021.01.26], dostupné z <https://land.copernicus.eu/local/riparian-zones>

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, dostupné z <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj>

Dobrovolný P., 1998: Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu. Masarykova univerzita, Brno, 210 s.

Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., ... Bargellini, P., 2012: Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. Remote Sensing of Environment, 120, 25–36. dostupné z <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>

Eikebrokk, B.; Vogt, R.D.; Liltved, H. NOM increase in Northern European source waters: Discussion of possible causes and impacts on coagulation/contact filtration processes. *Water Sci. Technol. Water Supply* 2004, 4, 47–54.

ESA, SENTINEL-5P, ESA Earth Online, 2000-2021: Sentinel 5 (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-future-missions/sentinel-5>

ESA, SENTINEL-5P, ESA Earth Online, 2000-2021: Sentinel 5P (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5p>

Folarin, Olujinmi Moses & Bamiro, F.O., 2009: Comparative Studies of Metals in Sediment, Water and Fish in Their Natural habitat at Lagos Lagoon. *Discovery and Innovation*. 20. 10.4314/dai.v20i3-4.48142.

Folbrecht, J., 2009: Environmentální vzdělávání z pohledu chemika – voda, vzduch, PEDAGOGICKÁ FAKULTA, KATEDRA CHEMIE, Brno, 46 (bakalářská práce). „nepublikováno“.

František Kožíšek, 2007: Hodnocení rozborů vody – PITNÁ VODA (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/hodno/kozisek.pdf>

Gisat.cz: Přehled družicových systémů (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu/satelite/landsat-8>

Halounová L., Pavelka K., 2005: Dálkový průzkum Země. Vydavatelství ČVUT, Praha, 191 s.

Hanousek, T., 2020: Sledování faktorů znečištění vodních ploch ze satelitních dat, Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Geografický ústav, Brno, 84. (bakalářská práce). „nepublikováno“.

heis.vuv.cz, Výzkumný ústav vodohodpodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, 2017: Co je to HEIS VÚV (online) [cit.2021.01.25], dostupné z [https://heis.vuv.cz/default.aspÚV \(vuv.cz\)](https://heis.vuv.cz/default.aspÚV (vuv.cz))

IOCCG, 2000: Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal, and Other Optically-Complex Waters, (ed. S. Sathyendranath). Dartmouth, NS, Canada, International Ocean-Colour Coordinating Group (IOCCG), 140pp.

K. Segl, L. Guanter, F. Gascon, T. Kuester, C. Rogass, C. Mielke, 2015: an end-to-end modeling tool for the simulation of Sentinel-2 image products, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 53, pp. 5560-5571.

Kaiglová J., 2007: Analýza a modelování změn kvality vody v povodí Olšavy, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha. 125 (diplomová práce). „nepublikováno“.

Kolkwitz, R. and Marsson, M., 1902: Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna. *Mitt. Königl. Prüfanst. f. Wasservers. u. Abwasserbes.*, Berlin-Dahlem, 1, 33-72.

Langhammer, J., 2002-09: Kvalita povrchových vod a jejich ochrana (online) [cit.2021.01.24], dostupné z web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/wq/skripta/skriptaWQ_2009_web.pdf.

Langhammer, J., 2006: Kvalita povrchových vod (online) [cit.2021.01.24], dostupné z <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=bmF0dXluY3VuaS5jenx3cXxneDozZWE0OTgwY2RiNThjM2Ni>.

Měkotová, J., 2009: Management ve vodním hospodářství v kontextu legislativy Evropské Unie (online) [cit.2021.01.25], dostupné z https://www.edpp.cz/public/files/management_ve_vodnim_hospodarstvi.pdf

Mousseau, Timothy A., and Anders P. Møller., ©2017: "Nuclear Energy and Its Ecological Byproducts: Lessons from Chernobyl and Fukushima." *Learning from Fukushima: Nuclear Power in East Asia*, edited by PETER VAN NESS and MEL GURTOV, by ANDREW BLAKERS et al., ANU Press, Australia, pp. 261–284.

P. D'Odorico, A. Gonsamo, A. Damm, M.E. Schaepman, 2013: Experimental evaluation of Sentinel-2 spectral response functions for NDVI time-series continuity, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 51, pp. 1336-1348.

Pahlevan N et al., 2017: Sentinel-2 MultiSpectral Instrument (MSI) data processing for aquatic science applications: Demonstrations and validations, *Remote Sensing of Environment*, vol: 201 pp: 47-56.

Petrtyl, M., 2016: Hydrobiologie – Prameny, potoky, řeky, Prezentace ČZU, Praha, (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://docplayer.cz/28663716-Napln-prednasky-prameny-potoky-reky-vznik-tekoucich-vod-tekouci-vody-tekouci-vody-loticke-rozdily-tekoucich-a-stojatych-vod.html>

Pikovonský, M., 2017/2018: Povrchové stojaté vody, chemická stratifikace, eutrofizace (online) [cit.2021.01.24], dostupné z <http://www.pivokonsky.wz.cz/Hydrochemie17-18/hydrochemie%209.pdf>.

Pinkavová Š., 2008: Využití metod a dat DPZ při tvorbě KPÚ. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra pozemkových úprav, České Budějovice, 63 s. (Diplomová práce). „nepublikováno“.

Potin, P., Rosich, B., Miranda, N., & Grimont, P., 2016: Sentinel-1 Mission Status. In *Procedia Computer Science*, Roč. 100, s. 1297–1304.

Přírodovědecká fakulta UK, 2010: Langhammer_kvalita_vody_2010 (online) [cit.2021.01.24], dostupné z web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/hydro/pdf/Langhammer_kvalita_vody_2010.pdf.

Q. Vanhellemont, K. Ruddick, 2015: Advantages of high quality SWIR bands for ocean colour processing: Examples from Landsat-8 *Remote Sens. Environ.*, 161, pp. 89-106.

Reichholf, J., 1998: Pevninské vody a mokřady – ekologie evropských sladkých vod, luhů a bažin. IKAR, Praha. 223pp. ISBN 80-7202-185-0.

Říhová Ambrožová J., 2003: Aplikovaná a technická hydrobiologie. (online) [cit.2021.01.25], dostupné z http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-521-8/pages-img/anotace.html

Říhová Ambrožová, J., 2007: β -mezosaprobity, Oligosaprobity, Saprobni index. From [Encyklopedie hydrobiologie : výkladový slovník](#) [online]. Praha: VŠCHT Praha, [cit. 2019-08-16]. Dostupné z www: http://147.33.74.135/knihy/uid_es-006/ebook.html?p=B016

Schowengerdt A. R., 2006: Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing, Publisher: Elsevier Science, ISBN 9780080480589, dostupné na books.google.cz/books?id=KQXNaDH0X-IC

Sonja Suni, et al., 2007: "Removal by Sorption and in Situ Biodegradation of Oil Spills Limits Damage to Marine Biota: A Laboratory Simulation." *Ambio*, vol. 36, no. 2/3, pp. 173–179.

Svátková, R., 2007: Eutrofizace a koloběh dusíku a fosforu na rašeliníštích. Ekologický stav NPP Swamp, Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra botaniky, Praha. 38 (bakalářská práce). „nepublikováno“.

Thorton, I., A., Rast, W., Holland, M., M., 1999: Assessment and control of nonpoint source pollution of aquatic ecosystemc: a practical Approach. Paris: UNESCO – MAB. 466 s.

Toming, K., Kutser, T., Laas, A., Sepp, M., Paavel, B., & Nõges, T., 2016: First experiences in mapping lake water quality parameters with Sentinel-2 MSI imagery. *Remote Sensing*, 8(8), 640. dostupné z <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/8/640/htm>.

Tranvik, L.J., 1992: Allochthonous dissolved organic matter as an energy source for pelagic bacteria and the concept of the microbial loop. *Hydrobiologia*, 229, 107–114.

W.J. Moses, A.A. Gitelson, S. Berdnikov, V. Povazhnyy, 2009: Satellite estimation of chlorophyll-a concentration using the red and NIR bands of MERIS-2014; The Azov sea case study, *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, 6, pp. 845-849.

ŽELEZNÝ M., 2007: Dálkový průzkum Země. Katedra kybernetiky, Plzeň, 83 s.

Seznam URL odkazů

URL 1: CENIA, 2015: Zprava-o-zivotnim-prostredi-Ceske-republiky_2015 (online) [cit.2021.01.24], dostupné z https://www.cenia.cz/wp-content/uploads/2019/03/Zprava-o-zivotnim-prostredi-Ceske-republiky_2015.pdf.

URL 2: PVK, 2021: Specifická spotřeba vody (online) [cit.2021.01.24], dostupné z <https://www.pvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/specificka-spotreba-vody/>.

URL 3: Vodohospodářské technicko-ekonomické informace: VTEI.cz, 2017: Klasifikace kvality povrchových vod (online) [cit.2021.01.24], dostupné z <https://www.vtei.cz/2017/12/klasifikace-kvality-povrchovych-vod/>.

URL 4: Ministerstvo zemědělství, 2007: Čištění odpadních vod jako nástroj k ochraně životního prostředí v zemědělské praxi a na venkově (online) [cit.2021.01.24], dostupné z http://eagri.cz/public/web/file/26962/cistení_odpadnich_vod.pdf.

URL 5: Ministerstvo zemědělství, 2005: Omezení negativních vlivů pesticidů na povrchové a podzemní vody (online) [cit.2021.01.24], dostupné z http://eagri.cz/public/web/file/37021/18_pesticidy.pdf.

URL 7: Mendelova univerzita v Brně, 2000-2017: Organické polutanty ve vodních ekosystémech (online) [cit.2021.01.24], dostupné z <http://www.rybarstvi.eu/dok%20rybari/ekotoxikologie/005%20Organicke%20latky.pdf>.

URL 9: Píkovský, M., 2017/2018: [Klasifikace znečištění a samočistící schopnost vody](#) (online) [cit.2021.01.24], dostupné z http://www.pivokonsky.wz.cz/ZOV17-18/zneclistovani_ochrana_vod_3.pdf.

URL 10: WHO, 1992: Chapter 5* - The use of biological material (online) [cit.2021.01.24], dostupné z https://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqachapter5.pdf?ua=1.

URL 13: Rödlová, S., 2012: Biologické ukazatele znečištění (online) [cit.2021.01.24], dostupné z https://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/wq/prezentace/WQ_06_biologicke_ukazatele_zneclisteni.pdf

URL 14: Píkovský, M., 2017/2018: Klasifikace znečištění a samočistící schopnost vody (online) [cit.2021.01.25], dostupné z http://www.pivokonsky.wz.cz/ZOV17-18/zneclistovani_ochrana_vod_3.pdf

URL 15: Vodohospodářské technicko-ekonomické informace: VTEI.cz, 2017: Klasifikace kvality povrchových vod (online) [cit.2021.01.24], dostupné z <https://www.vtei.cz/2017/12/klasifikace-kvality-povrchovych-vod/>.

URL 16: Program OSN pro ochranu životního prostředí, 2016: Ionizující záření účinky a zdroje (online) [cit.2021.01.25], dostupné z https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/radiacni-ochrana/dokumenty/Radiation-InsidePart-Czech-Feb_2017-1.pdf

URL 17: Ministerstvo zemědělství, 2017: Zpráva o stavu vodního hospodářství České republiky v roce 2017 (online) [cit.2021.01.25], dostupné z http://eagri.cz/public/web/file/607186/Modra_zprava_2017_WEB_18.pdf

URL 18: KOŽÍŠEK, F., 2011: Kam směřuje kontrola a analytika pitné vody. Chem. Listy 105. 237–244, dostupné z http://www.w.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_04_237-244.pdf

URL 19: Česalová, M., 2014: Problematika vody (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http%3A%2F%2Fchemikalie.upol.cz%2Fskripta%2Ftv%2F1.doc>.

URL 20: Sychra, J., 2015: Managementy stojatých vod v ČR vody (online) [cit.2021.01.25], dostupné z https://is.muni.cz/el/sci/jaro2015/Bi7113/Stojate_vody_managementy.pdfuni.cz.

URL 21: Ministerstvo zemědělství, 2017: Stručně o vodě (online) [cit.2021.01.25], dostupné z http://eagri.cz/public/web/file/542920/Strucne_o_vode_2017.pdf

- URL 22: CZregion.cz, 2006–2021: VODSTVO – Jezera – řeky – rybníky České republiky (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://www.czregion.cz/jezera-reky>
- URL 23: Ministerstvo zemědělství, 2009-2021: Voda (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/?fullArticle=1>
- URL 24: Povodí Odry, státní podnik, 2007: Programy zjišťování a hodnocení množství a stavu vod (Programy monitoringu) (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://www.pod.cz/plan-oblasti-povodi-Odry/c-stav/c-2.html>
- URL 25: sentinel-hub.com, 2020: Data (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://www.sentinel-hub.com/explore/data/>
- URL 26: czso.cz, 2019: Nejnovější údaje: Hl. m. Praha (online) [cit.2019.09.11], dostupné z <https://www.czso.cz/csu/xa/1-xa>
- URL27: populationstat.com, 2019: Population in Urban Area, now (online) [cit.2019.09.11], dostupné z <https://populationstat.com/germany/cologne>
- URL28: William Wilkes, Vanessa Dezem, Brian Parkin, 2019: Europe's Most Important River Is Running Dry (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-01-18/europe-s-most-important-river-is-running-dry>
- URL28: Matoušková, M., 2001: Rýn: významný evropský vodní tok a jeho současné problémy (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://www.natur.cuni.cz/geografie/fyzgeo/fyzicka-geografie-popularne/matouskova2001.pdf>
- URL30: InMeteo, s.r.o., 2021: Praha – Ruzyně (online) [cit.2021.01.26], dostupné z https://www.in-pocasi.cz/archiv/stanice.php?stanice=praha_ruzyne&historie_bar_mesic=1&historie_bar_rok=2015=&typ=teplota
- URL31: InMeteo, s.r.o., 2021: Praha – Ruzyně (online) [cit.2021.01.26], dostupné z http://www.in-pocasi.cz/archiv/praha_ruzyne/?&typ=teplota&historie_bar_mesic=6&historie_bar_rok=2016#monthly_graph
- URL32: InMeteo, s.r.o., 2021: Praha – Ruzyně (online) [cit.2021.01.26], dostupné z http://www.in-pocasi.cz/archiv/praha_ruzyne/?&typ=teplota&historie_bar_mesic=9&historie_bar_rok=2016#monthly_graph
- URL 36: cs.wikipedia.org, 2021: Podnebí (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://cs.wikipedia.org/wiki/Podnebí>
- URL 37: in-pocasi.cz, 2021: Klima České republiky (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://www.in-pocasi.cz/archiv/klima.php>
- URL 38: in-pocasi.cz, 2021: Předpověď počasí Německo (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://www.in-pocasi.cz/predpoved-pocasi/de/>
- URL 39: HikersBay.com, 2021: Průměrné měsíční teploty a počasí. Klimatické údaje o průměrné teploty (denní a noční) v Kolín nad Rýnem online) [cit.2021.01.25],

dostupné z <http://hikersbay.com/climate-conditions/germany/cologne/klimaticke-podminky-v-kolin-nad-rynem.html?lang=cs#climate-change>

URL 40: atlasceska.cz, 2007-2021: VODNÍ NÁDRŽ ŠTĚCHOVICE (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://www.atlasceska.cz/pamatky/vodni-nadrz-stechovice-20865>

URL 41: wupperverband.de: Große Dhünn-Talsperre (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://www.wupperverband.de/unsere-anlagen/talsperren/grosse-dhuenn-talsperre>

URL42: Plánka, L., Dálkový průzkum Země (online) [cit.2021.01.25], dostupné z https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/544/.content/galerie-souboru/planka/dpz/DPZ_01_UVOD_STUDENTI.pdf

URL 43: Ústav geoinformačních technologií Lesnická a dřevařská fakulta MENDELU, 2014: Dálkový průzkum Země – analogová, digitální, hyperspektrální data (online) [cit.2021.01.25], dostupné z http://uhulag.mendelu.cz/files/pagesdata/cz/vgdp/vdgp_dpz3.pdf

URL 44: Jing-Han Wang, Cheng Yang, Lv-Qi-Shu He, Guo-Hua Dao, Jing-Song Du, Ya-Ping Han, Guang-Xue Wu, Qian-Yuan Wu, Hong-Ying Hu, 2019: Meteorological factors and water quality changes of Plateau Lake Dianchi in China (1990–2015) and their joint influences on cyanobacterial blooms. Science of The Total Environment, Volume 665. P. 406-418. ISSN 0048-9697. (online) [cit.2021.01.26], dostupné z [Meteorological factors and water quality changes of Plateau Lake Dianchi in China \(1990–2015\) and their joint influences on cyanobacterial blooms - ScienceDirect](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.214)

URL45: Kyrlyiuk, & Kratzer, Susanne., 2019: Evaluation of Sentinel-3A OLCI Products Derived Using the Case-2 Regional CoastColour Processor over the Baltic Sea. Sensors. 19. 3609. 10.3390/s19163609.

Seznam použitých obrázků

Obrázek č.1: Množství vypouštění odpadních vod do povrchových vod v ČR (online) [cit.2021.01.24], dostupné z <https://issar.cenia.cz/cr/vodni-hospodarstvi-a-jakost-vody/vypousteni-odpadnich-vod/>

Obrázek č.2: Vodní zdroje, slide 29 (online) [cit.2021.01.24], dostupné z <https://slideplayer.cz/slide/5582949/>.

Obrázek č.3,4: URL 6: Spotřeba přípravků na ochranu rostlin (POR) a pomocných prostředků (PP) a spotřeba účinných látek obsažených v POR a PP v jednotlivých letech (online) [cit.2019.08.29], dostupné z http://eagri.cz/public/web/file/626676/Spotreba_prip_ravku_na_ochranu_rostlin_PO_R_a_pomocnych_prostredku_PP_v letech_2009_2018_ceska_verze.pdf.

Obrázek č.5: URL 8: Vývoj koncentrací ukazatelů znečištění ve vodních tocích; Cd, Pb (online) [cit.2021.01.24], dostupné z <https://issar.cenia.cz/cr/vodni-hospodarstvi-a-jakost-vody/jakost-vody/>.

Obrázek č.6: URL 11: bakterie Sphaerotilus natans (online) [cit.2019.08.29], dostupné z <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14256944>

Obrázek č.7: URL 12: Diagram saprobního indexu podle Sládečka (online) [cit.2019.08.29], dostupné z http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3186&typ=html

Obrázek č.8: URL 12: vzorec pro Saprobní index (online) [cit.2021.01.24], dostupné z http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3186&typ=html

Obrázek č.9: URL9A: bakterie Escherichia coli (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://www.labroots.com/trending/drug-discovery/11825/role-estrogen-therapy-gut-bacteria>

Obrázek č.10: URL 10A: Jakost vody v tocích České republiky 2016–2017 (online) [cit.2021.01.25], dostupné z http://eagri.cz/public/web/file/607186/Modra_zprava_2017_WEB_18.pdf

Obrázek č.11: Porovnání analytických a observačních přístupů k hodnocení kvality vody (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/hodno/kozisek.pdf>

Obrázek č.12: URL 12A: Mapa rozvodí ČR (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://korthar2015z.blogspot.com/2017/12/mapa-rozvodi.html>

Obrázek č.13: korelace mezi výškou odrazivosti 705 nm vypočítané z údajů Sentinel-2 a chlorofylu-a (Chl-a) měřeného ze vzorků vody: a) poměr pásem vypočtený z horní části odrazu atmosféry (TOA) b) poměr pásem vypočtený ze spodní části odrazu atmosféry (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://www.mdpi.com/2072-4292/8/8/640/htm>.

Obrázek č.14: URL 14A: ukázka spektrálních pásem družice Sentinel-2 (horní zleva – vstupní obrázek, atmosféricky korigovaný obrázek, klasifikovaný výstupní obrázek – voda, vegetace, sníh atd.) (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/processing-levels/level-2>

Obrázek č.15: zobrazení oblastí použitých k analyzování dat označených šipkou, ČR (zdroj: vlastní zpracování, mapy.cz)

Obrázek č.16: zobrazení oblastí použitých k analyzování dat označených šipkou, Německo (zdroj: vlastní zpracování, mapy.cz)

Obrázek č.17: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 07.04.2015 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.18: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 08.13.2015 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.19: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 9.12.2015 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.20: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 04.24.2017 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.21: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 06.03.2017 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.22: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 06.20.2017 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.23: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 08.29.2017 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.24: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 04.19.2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.25: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 05.06.2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.26: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 07.03.2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.27: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 08.07.2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.28: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 09.16.2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.29: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 10.13.2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.30: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 11.17.2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.31: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 06.25.2019 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.32: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 07.25.2019 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.33: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Štěchovice 10.13.2019 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.34: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Große Dhünntalsperre 08.02.2015 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.35: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Große Dhünntalsperre 09.11.2015 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.36: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Große Dhünntalsperre 05.10.2017 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.37: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Große Dhünntalsperre 06.19.2017 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.38: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Große Dhünntalsperre 04.18.2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.39: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Große Dhünntalsperre 05.08.2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.40: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Große Dhünntalsperre 05.28.2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.41: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Große Dhünntalsperre 07.27.2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.42: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Große Dhünntalsperre 10.10.2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.43: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Große Dhünntalsperre 15.10.2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.44: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Große Dhünntalsperre 17.10.2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.45: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Große Dhünntalsperre 05.13.2019 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.46: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Große Dhünntalsperre 06.29.2019 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.47: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Große Dhünntalsperre 07.24.2019 (zdroj: vlastní zpracování)

Obrázek č.48: zobrazení obsahu chl-a v programu SNAP, klasifikováno podle normy ČSN 75 7221, Große Dhünntalsperre 09.20.2019 (zdroj: vlastní zpracování)

Seznam použitých grafů

Grafy č.1–5: URL 29: Nejvyšší/Nejnižší teplota °C 2015-2019 (online) [cit.2021.01.25], dostupné z <https://www.weatheronline.cz/weather/maps/city?LANG=cz&WMO=11518&ART=M&XNM&CONT=czcz&R=0&LEVEL=150®ION=0001&LAND=CZ&NOREGION=1&MOD=&TMX=&TMN=&SON=&PRE=&MONAT=&OFFS=&SORT=>

Graf č.6: URL 33: Max and Average Wind Speed and Wind Gust (online) [cit.2021.01.26], dostupné z <https://www.worldweatheronline.com/prague-weather-history/hlavni-mesto-praha/cz.aspx>

Graf č.7-11: URL 34: Srážky (online) [cit.2021.01.26], dostupné z <https://www.weatheronline.cz/weather/maps/city?LANG=cz&WMO=11518&ART=PRE&CONT=czcz&R=0&LEVEL=150®ION=0001&LAND=CZ&NOREGION=1&MOD=&TMX=&TMN=&SON=&PRE=&MONAT=&OFFS=&SORT=>

Grafy č.12-16: URL 35: Diagramme, Temperatur (online) [cit.2021.01.26], dostupné z https://www.wetterzentrale.de/averages_de.php?station=2667&jaar=2019&maand=1&dag=1&jaar2=2019&maand2=12&dag2=31

Grafy č.17-21: URL 35: Diagramme, Windgeschwindigkeit (online) [cit.2021.01.26], dostupné z https://www.wetterzentrale.de/averages_de.php?station=2667&jaar=2019&maand=1&dag=1&jaar2=2019&maand2=12&dag2=31

Grafy č.22-26: URL 35: Diagramme, Niederschlag (online) [cit.2021.01.26], dostupné z https://www.wetterzentrale.de/averages_de.php?station=2667&jaar=2019&maand=1&dag=1&jaar2=2019&maand2=12&dag2=31

Graf č.27: souhrnné zobrazení získaných dat metodou C2RCC, 2015-2019, ČR (zdroj: vlastní zpracování)

Graf č.28: souhrnné zobrazení získaných dat metodou C2RCC, 2015-2019, Německo (zdroj: vlastní zpracování)

Seznam použitých tabulek

Tabulka č.1: zobrazení stupňů trofie, (online) [cit.2021.01.26], dostupné z <https://cs.wikipedia.org/wiki/Trofie>

Tabulka č.2 – zobrazení základních oblastí elektromagnetického spektra využitelného v DPZ (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.3: zobrazení souřadnic použitých k analyzování dat, Štěchovice, ČR (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.4: zobrazení souřadnic použitých k analyzování dat, Große Dhünntalsperre, Německo (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.5: Klasifikace vod dle normy ČSN 75 7221 (zdroj:http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3186&typ=html)

Tabulka č.6: Klasifikace vod dle normy ČSN 75 7221 (zdroj:http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3186&typ=html)

Tabulka č.7: ČR 2015 (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.8: ČR 2017 (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.9: ČR 2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.10: ČR 2019 (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.11: Německo 2015 (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.12: Německo 2017 (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.13: Německo 2018 (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka č.14: Německo 2019 (zdroj: vlastní zpracování)