

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra vodních zdrojů



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Metody dálkového průzkumu vodních ploch; možnosti, limity
a aplikace

Bakalářská práce

Daniel Urban

Ekologické zemědělství a rozvoj venkova

Vedoucí práce

Ing. Kamila Bářková MSc., Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Metody dálkového průzkumu vodních ploch; možnosti, limity a aplikace“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval paní Ing. Kamile Bářkové, MSc., Ph.D. za pomoc, cenné rady a trpělivost při psaní mé bakalářské práce.

Souhrn

Tato rešeršní práce zkoumá využití metod dálkového průzkumu Země se zaměřením na bezpilotní letecké prostředky (drony) pro získání detailních informací o stavu vodních zdrojů, jejich množství, kvalitě a změnách vodní hladiny. Dálkový průzkum Země poskytuje prostředky pro mapování a monitorování rozsáhlých oblastí. Využívá satelitních i leteckých snímků, což umožňuje efektivní sledování vodních zdrojů pro rozsáhlá území. Drony pak přinášejí možnost provádět detailní průzkumy a snímání z nižších výšek s vysokým rozlišením, což umožňuje získání přesných dat o vodních zdrojích i v lokalitách s obtížným terénem a rychle reagovat na aktuální události.

Hlavním cílem práce je ukázat, jak tyto moderní technologie mohou přispět k lepšímu porozumění dynamiky vodních systémů, identifikaci potenciálních rizik spojených s vodou a posílení kapacit pro udržitelné řízení vodních zdrojů. Díky těmto technologiím lze lépe monitorovat změny vodních zdrojů v důsledku klimatických změn, zvýšit prevenci a zrychlit reakce zásahů při přírodních katastrofách a zajistit dostatečné zásobování vodou pro obyvatelstvo. Nicméně je důležité zdůraznit, že úspěšné využití těchto technologií vyžaduje komplexní a multidisciplinární přístup, který zahrnuje spolupráci mezi odborníky a uživateli.

V úvodních kapitolách práce jsou uvedeny základní metody pro dálkový průzkum vodních ploch se zaměřením na bezpilotní letecké prostředky, jejich sensorové vybavení a faktory, které ovlivňují jejich praktické využití. Další kapitoly pak zahrnují legislativní rámec pro létání s bezpilotními prostředky na území České republiky, podrobnější charakteristiku nejpoužívanějších letounů včetně soupisu studií, ve kterých byly bezpilotní letouny použity.

Klíčová slova: dálkový průzkum Země, bezpilotní letecké prostředky, identifikace vodních ploch, monitoring kvality vody

Summary

This research explores the use of remote sensing methods, focusing on unmanned aerial vehicles (drones), to obtain detailed information about the status of water resources, including their quantity, quality, and water level changes. Remote sensing provides tools for mapping and monitoring extensive areas using both satellite and aerial imagery, allowing for efficient monitoring of water resources across large territories. Drones offer the capability to conduct detailed surveys and high-resolution imaging from lower altitudes, enabling precise data collection in challenging terrains and rapid response to current events.

The primary goal of this work is to demonstrate how these modern technologies can contribute to a better understanding of water system dynamics, identification of water-related risks, and strengthening capacities for sustainable water resource management. These technologies facilitate improved monitoring of water resource changes due to climate change, enhance prevention and expedite response to natural disasters, and ensure adequate water supply for populations. However, successful utilization of these technologies requires a comprehensive and multidisciplinary approach involving collaboration between experts and users.

The introductory chapters of the thesis outline basic remote sensing methods for water bodies focusing on unmanned aerial vehicles, their sensor equipment, and factors influencing their practical application. Subsequent chapters address the legislative framework for drone operations in the Czech Republic and provide a detailed characterization of the most commonly used aircraft, including a review of studies employing unmanned aircraft.

Keywords: Earth remote sensing, unmanned aerial vehicles, identification of water bodies, water quality monitoring

Obsah

1	ÚVOD	1
2	CÍL PRÁCE	2
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE	3
3.1	Voda na Zemi	3
3.2	Sladká voda na Zemi	3
3.3	Ledovce	3
3.4	Vodní zdroje v České republice	3
3.5	Zdroje znečištění vodních zdrojů	5
3.5.1	Odpadní vody a kanalizace	5
3.5.2	Zemědělství.....	6
3.5.3	Průmysl.....	6
3.6	Opatření ke zmírnění negativního vlivu na vodní zdroje	7
3.7	Dálkový průzkum Země (DPZ)	7
3.8	Princip a metody DPZ	7
3.8.1	Evropská kosmická agentura ESA.....	8
3.8.1.1	Mise Sentinel	9
3.8.1.2	Evropské dálkové snímkování (ERS)	11
3.8.1.3	Envisat satelit.....	11
3.8.1.4	Mise CryoSat	11
3.8.1.5	MetOp Satelity	12
3.8.1.6	Satelitní navigační systém Galileo	13
3.8.2	Výhody a nevýhody DPZ pomocí satelitních a družicových snímků.....	13
3.9	DPZ pomocí bezpilotních leteckých prostředků	15
3.9.1	Rozdělení dronů.....	15
3.9.1.1	Drony s pevným křídlem	15
3.9.1.2	Drony vrtulové.....	15
3.9.2	Klíčové komponenty dronů	17
3.9.2.1	Motory a vrtule	17
3.9.2.2	Baterie.....	18
3.9.2.3	Kamery	18
3.9.3	Drony vhodné do praxe	21
3.10	Faktory ovlivňující snímání vodních ploch	22
3.10.1	Odrazivost chlorofylu (vodní květ)	23
3.10.2	Porovnání metod snímkování	24
3.11	Seznam studií se snímáním vodních ploch pomocí UAV - Česká republika 25	
3.11.1	Snímání multispektrálních dat pomocí UAV v povodí Jizerky.....	25
3.11.2	Spektrální zvýraznění obrazu pro monitorování malých vnitrozemských vodních ploch pomocí UAV	26
3.11.3	Detekce změn v pokrytí povrchu u malých vodních nádrží - studie rybníku Baroch.....	26
3.11.4	Použití UAV k detekci změn břehů; případová studie - rybník Pohranov	26

3.11.5	Mapování hladiny podzemní vody a vlhkosti půdy v horském rašeliništi pomocí UAV a strojového učení	27
3.11.6	Identifikace malých vodních ploch pomocí satelitních snímků a UAV	27
3.11.7	Stanovení zásobních kapacit vodních nádrží a sledování množství a dynamiky sedimentů	28
3.11.7.1	Rozdělení sonarů	28
3.11.7.2	Testování zařízení RiverSurveyor M9 v ČR	28
3.12	Seznam studií monitorujících vodní plochy a kvalitu vody s použitím UAV – Evropská unie	29
3.12.1	Monitorování kvality vody pomocí UAV s multispektrální kamerou	29
3.12.2	Hodnocení kvality vody v blízkosti pobřeží a na moři pomocí multispektrálních snímků UAV	30
3.12.3	UAV pro mapování kvality vody ve vnitrozemských, přechodných a pobřežních vodách - Zpracování a ověření dat MapEO Water	30
3.12.4	Batymetrická pozorování vnitrozemských vodních ploch pomocí sonaru ovládaného UAV	33
3.12.5	Koncept a hodnocení výkonu nového topo-batymetrického LiDAR senzoru neseného UAV	34
3.12.6	Monitorování vysokohorského ledovce Pasterze, Rakousko	34
3.13	Legislativa upravující UAV	36
3.13.1	Národní a evropská pravidla	36
3.13.2	Změna v roce 2024	37
3.13.3	Otevřená kategorie (OPEN).....	37
3.13.4	Specifická kategorie (SPECIFIC).....	39
3.13.5	Certifikovaná kategorie (CERTIFIED)	39
3.13.6	Pravidla létání v blízkosti letišť	39
3.13.7	Aplikace DronView	41
4	ZÁVĚR	42
5	POUŽITÁ LITERATURA.....	43
6	SEZNAM TABULEK.....	48
7	SEZNAM OBRÁZKŮ	48
8	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	50

1 Úvod

Tato bakalářská práce je zaměřena na využití metod dálkového průzkumu Země pro sledování kvantity a kvality vodních zdrojů, které jsou negativně ovlivňovány lidskou činností a probíhající klimatickou změnou.

Voda, jakožto nezbytný atribut pro existenci všech živých organismů, je jedním z fundamentálních předpokladů pro fungování lidské společnosti. V důsledku klimatických změn dochází častěji k extrémním výkyvům počasí, nárůstu teplot a ke změně distribuce srážek, což způsobuje nedostatek vody v lokálním i celosvětovém měřítku. Příčinou těchto změn lze označit nárůst lidské populace a lidskou činnost vedoucí ke zvyšujícím se nárokům nejen na vodu, ale i na další strategické suroviny. Extrémní projevy počasí, jako jsou povodně či naopak sucha, představují jeden z možných důsledků globálních klimatických změn, což v posledních letech vedlo ke zvýšenému zájmu širší veřejnosti o tuto problematiku. Dlouhá období sucha, která jsou následovaná přívalovými dešti, mohou způsobit významné škody na životním prostředí. Díky tomu mohou být drony výborný prostředek k vyhodnocování rizik, které jsou spjaty se změnou klimatu tak i lidské činnosti. Díky schopnosti pořizovat velmi kvalitní data a snímky mohou být velmi dobrou alternativou k DPZ pomocí satelitů (Lieblová & Matěja 2016).

2 Cíl práce

Formou literární rešerše shromáždit ucelené informace týkající se možností využití metod dálkového průzkumu Země pro dálkový průzkum vodních ploch, a to pomocí níže uvedených dílčích cílů:

- Popsat nejčastěji používané systémy z hlediska jejich senzorového vybavení a v souvislosti s faktory, které jejich využití limitují.
- Detailněji se zaměřit na možnosti využití bezpilotních letounů, jejich technické parametry a možnosti využití pro vodohospodářskou činnost.
- Uvést základní právní rámec pro létání s bezpilotními prostředky v Evropské unii a České republice.
- Provést soupis odborných studií, ve kterých byly bezpilotní letouny použity a vyhodnotit jejich další aplikace v podmínkách České republiky.

3 Literární rešerše

3.1 Voda na Zemi

Voda na planetě Zemi vznikla před 4,5 miliardami let a pokrývá přibližně 71 % zemského povrchu. Odhaduje se, že na světě je asi 1 400 milionů km³ vody. Z toho je sladká voda pouze 35 milionů km³ (2,5 %). Většina sladké vody je vázána v ledovcích, ledových čepicích a hluboko v zemi a není tak volně dostupná. Sladká voda, kterou můžeme využít, pochází hlavně z atmosférických srážek nad pevninou, které vznikají v rámci hydrologického cyklu. V ledovcích je vázáno 69 % sladké vody, podzemní voda představuje 30% sladké vody a jen 1 % tvoří voda povrchová a atmosférická. Voda je neustále recyklována díky odpařování, které je poháněno sluneční energií. Celkově tento cyklus spotřebovává více energie denně, než lidstvo využilo za celou svou historii. Průměrné roční srážky na pevnině dosahují 119 000 km³, z nichž se 74 000 km³ odpařuje a 45 000 km³ odtéká do řek, jezer a podzemních vod. Pro lidské využití je ekonomicky dostupných jen 9 000 - 14 000 km³ sladké vody. Roční odběry vody činí asi 3 600 km³, přičemž potřeba průtoku v řekách je 2 350 km³ ročně. Celkově je situace s vodou napjatá až kritická v mnoha zemích a regionech, kde je nedostatek sladké vody a konkurence mezi uživateli velkým problémem (FAO 2002).

3.2 Sladká voda na Zemi

Sladká voda představuje pouze 2,5 % celkového množství vody na povrchu Země, a z tohoto množství je přístupné biologickým procesům přibližně 1,5 %. Přesto je sladká voda základním vstupem do zemědělské produkce, průmyslové výroby, ale také k domácímu použití. Zemědělství celosvětově využívá přibližně 70 % celkového množství sladké vody, přičemž hlavní podíl na tom má zavlažování zemědělských plodin. Vzhledem ke zvyšujícímu se počtu lidí a k potřebě zvyšující se zemědělské produkce, se nevyhnutelně zvýší i spotřeba vody (Sibanda et al. 2021).

3.3 Ledovce

Ledovec je obrovská masa ledu s akumulací sněhu, která vznikla dlouhodobou přeměnou sněhu na led. V průběhu času se ledovce neustále vyvíjejí, mění a pohybují. Ve vyšších nadmořských výškách obvykle převažuje akumulace sněhu nad jeho táním, což zvyšuje hmotnost ledovce. Nakonec se přebytečný led začne hromadit a pohybovat dolů. V nižších nadmořských výškách je míra tání obvykle vyšší, nebo dochází k odlamování velkých kusů ledu, což snižuje hmotnost ledovce. Existují dvě hlavní kategorie ledovců: horské ledovce a pevninské ledovce. Alpské ledovce jsou jako zmrzlé řeky, které se pomalu sunou pod svou vlastní vahou dolů z horských svahů a do údolí. Ledovce se také vyskytují na okrajích ledovcových pokrývek. Na rozdíl od alpských ledovců, které zasahují pouze určité oblasti, ledovcové pokrývky pokrývají celé kontinenty. Během poslední doby ledové před přibližně 20 000 lety pokrývala ledovcová pokrývka Laurentide většinu Severní Ameriky a její váha vytvořila kotliny, v nichž dnes leží Velká jezera. V současnosti existují na Zemi pouze dvě hlavní ledovcové pokrývky: Antarktický a Grónský ledovcový příkrov (National Snow and Ice Data Center 2024).

3.4 Vodní zdroje v České republice

Vodní toky v České republice spadají do 3 povodí I. řádu, tedy povodí Labe, Dunaje a Odry. Na našem území se nachází přibližně třetina povodí Labe, u povodí Odry je to 5,9 % a u

povodí Dunaje jen 2,9 % z celkové rozlohy těchto povodí. Na území ČR je zřízeno 5 organizací, státních podniků, které spravují nejvýznamnější povodí na území české republiky; povodí Labe, povodí Vltavy, povodí Ohře, povodí Moravy a povodí Odry. S výjimkou pramených oblastí Ohře, Dyje, Lužnice a Malše, pramení naše vodní toky na našem území. Tím je přítok vody z okolních států prakticky zanedbatelný a hlavním zdrojem vody v bilanci je srážková voda. Jak uvádí Šobr (2022) s odkazem na publikaci Němce a Hladného (2006) parametry dlouhodobé roční bilance pro území České republiky jsou srážky (685 mm), odtok (197 mm) a výpar (488 mm). Roční spotřeba vody na 1 obyvatele ČR je 1 450 m³, což je o něco méně než ověřený mezinárodní limit bezpečného zásobování vodou, který byl stanoven na 1 700 m³/osobu/rok. Je tedy třeba s vodou dobře hospodařit a realizovat opatření na její ochranu, zlepšení kvality i kvantity (Šobr 2022). Vedle jezer přírodního původu se na našem území vyskytují vodní akumulace v prostorách po těžbě nerostných surovin, označovaná též jako antropogenní jezera. Činnostmi člověka jsou budovány vodní nádrže, jejichž typy rozděluje Vodní zákon (Zákon č. 254/2001 Sb. 2001) do 3 skupin podle účelu, ke kterému slouží:

- Rybníky; vodní nádrže určené především pro chov ryb
- Závlahové nádrže; které slouží k zásobování vody pro závlahy
- Vodárenské nádrže, které se používají se k uchovávání a zásobování pitnou vodou

Významné množství vody je akumulováno v přehradách; jejichž budování bylo zahájeno ke konci 19. století jako reakce na zvyšující se požadavky na dodávky vody pro průmysl a pitnou vodu. Postupem času se přidaly další funkce, a to výroba elektrické energie, protipovodňová ochrana, závlaha zemědělských plodin, navyšování průtoků v období hydrogeologického sucha, rybolov či rekreace (Šobr 2022).

Podzemní voda hraje významnou roli v přírodním prostředí jako regulátor odtoku z území, zejména v obdobích s nedostatkem srážek, kdy povrchové toky jsou zásobovány převážně z podzemních zdrojů. Jejich účinek na vyrovnaní odtoků je významnější než všechny existující nádrže. Data o hladinách podzemních vod a výkonnostech pramenů mají nejen teoretický význam pro pochopení režimu podzemních vod, ale jsou také klíčovým zdrojem informací pro plánování staveb, včetně tunelů, a rozhodování o využívání a ochraně zdrojů vod a životního prostředí. Zpracováním těchto dat lze určit základní odtok podzemní vody, který přispívá do povrchových toků. Tyto informace jsou důležité pro správné rozhodování o využívání podzemních vod, které tvoří zhruba 20 % všech zdrojů vod a 45 % zásobování pitnou vodou. Ve vztahu k České republice je většina podzemních zdrojů koncentrována na pouhých 30 % území, především v částech křídové pánve a Třeboňské a Budějovické pánve (viz Obrázek 1). Ochrana těchto oblastí je zásadní pro udržení dostupnosti podzemních vod.



Obrázek 1 Mapa ČR, jak je území ČR schopné zadržovat podzemní vodu podle studie ČGS ([Podzemních vod v Česku hrozivě ubývá – Novinky.cz](#))

Celkově jsou výsledky pozorování režimu podzemních vod klíčové pro ochranu zdrojů pitné vody a ekosystémů. Tato data mají důležitý vliv na širokou veřejnost a slouží k udržitelnému využívání a ochraně vodních zdrojů pro budoucí generace (Kašpárek et al. 2022).

3.5 Zdroje znečištění vodních zdrojů

Znečištění vody, vzduchu a půdy je komplexním problémem s širokými důsledky pro lidské zdraví a životní prostředí. Jeho kořeny sahají do mnoha oblastí, včetně emisí z průmyslových zařízení, používání chemikálií v zemědělství, provozu dopravy a dalších lidských aktivit. I přes úsilí o regulaci a snižování emisí v Evropě, stále se setkáváme s kontaminací vodních ekosystémů, což má negativní dopady na biodiverzitu, ekonomiku a kvalitu života obyvatel.

Zlepšení je patrné v oblasti zemědělských postupů a čištění odpadních vod, avšak stále je třeba řešit problémy související s kontaminací půdy a vody. Vedle toho existují i sociální aspekty, protože chudší komunity často trpí více důsledky znečištění a mají omezený přístup k čistému prostředí. Je tedy důležité pokračovat v úsilí o ochranu životního prostředí a zavedení opatření, která povedou k dosažení nulového znečištění a udržitelného využívání zdrojů pro budoucí generace. To vyžaduje spolupráci mezi vládou, průmyslem, občanskou společností a jednotlivci, aby bylo dosaženo skutečných změn v ochraně vodních zdrojů. Pro správné rozhodování a řízení v oblasti vodních zdrojů, je nezbytné využívat aktuální a dostatečně přesná vstupní data. Ta je možno získat právě pomocí UAV (Trojanov 2023).

3.5.1 Odpadní vody a kanalizace

Vodní zákon (zákon č. 254/2001 Sb), definuje odpadní vody následovně: „Odpadní vody jsou vody, které se používají v různých oblastech, jako jsou sídliště, obce, domácnosti, průmyslové závody a zdravotnická zařízení. Pokud tyto vody po použití změní svou kvalitu (například složení nebo teplotu) a mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod, jsou považovány za odpadní.“

Podle Nypla a Synáckové (1998) je možno odpadní vody rozdělit do následujících skupin:

- Splaškové odpadní vody; vody pocházející z domácností, sociálních zařízení, společných jídelen a nemocnic
- Městské odpadní vody; vody, které jsou směsí splaškových odpadních vod a odpadních vod z menších průmyslových provozů
- Průmyslové odpadní vody; vody, které vznikají v průmyslových podnicích
- Zemědělské odpadní vody; vody, které jsou výsledkem zemědělských činností
- Dešťové vody; vody, které odtékají po srážkách.

3.5.2 Zemědělství

Zemědělství je jedním z nejstarších druhů hospodářské činnosti člověka. Je to soubor odvětví, která ve svém výsledku vedou k produkci základních surovin pro další zpracování a potravin pro obyvatelstvo. Zahrnuje lesnictví, pěstování plodin, výrobu biomasy pro palivo a chov hospodářských zvířat. Existuje obrovská různorodost intenzity, s jakou se zemědělství provádí. Změny krajiny potřebných pro zajištění zemědělské činnosti ovlivňují sladkovodní i mořské systémy z hlediska množství i kvality vody.

Tyto vlivy mohou zahrnovat chemické změny vody vedoucí k eutrofizaci a změně potravních řetězců. Dále mohou být ovlivněny hydrologické cykly včetně výše evapotranspirace a odtoku, což má vliv na změny toků řek a snížení množství vody pro závlahu. Dusík a fosfor z polí nebo zvířecího trusu mají podobné účinky jako odtoky v urbanizovaných oblastech. Jak zemědělství, tak urbanizace jsou kulturními jevy, a proto je důležité posuzovat jejich dopady na vodu ve světle různých způsobů organizace a udržování lidských společností. V tropických oblastech jsou dobře známa spojení mezi zavlažovaným zemědělstvím a výskytem malárie. V nejširším slova smyslu není znečištění jen o přidávání látek, které poškozují nebo zabíjejí organismy; ale jde o jakýkoli dopad lidské činnosti, který zvyšuje riziko poškození přírodního systému (Moss 2008).

3.5.3 Průmysl

Průmyslové aktivity často vedou k vypouštění škodlivých látek do vodních zdrojů, což má vážné negativní dopady na životní prostředí i lidské zdraví. Mezi tyto látky patří těžké kovy, jako je olovo, rtuť, kadmium, chrom a měď, které se uvolňují z průmyslových provozů. Tyto kovy jsou toxické a mohou se hromadit v sedimentech a vodních organismech, což poškozují vodní ekosystémy a ohrožuje lidské zdraví. Dalšími problematickými látkami jsou organické sloučeniny, které se uvolňují z průmyslových aktivit, jako jsou rozpouštědla, oleje, pesticidy nebo průmyslové chemikálie. Tyto látky jsou také toxické pro vodní organismy a mohou vést k dlouhodobé kontaminaci vodních zdrojů, což má vážné ekologické důsledky. Nerostné látky, jako jsou soli, dusičnany, fosfáty a další chemikálie, jsou dalším zdrojem znečištění vodních zdrojů. Tyto látky mohou přispívat k eutrofizaci vodních zdrojů, což podporuje nekontrolovaný růst řas a dalších vodních rostlin, a tím narušuje přirozenou rovnováhu vodních ekosystémů. Je nezbytné, aby průmyslové provozy dodržovaly přísné environmentální normy a používaly moderní technologie pro minimalizaci vypouštění škodlivých látek do vodních zdrojů, aby se chránilo jak životní prostředí, tak lidské zdraví (Vyskoč et al. 2014; Rosendorf et al. 2015; European Environment Agency 2021).

3.6 Opatření ke zmírnění negativního vlivu na vodní zdroje

S ohledem na probíhající změnu klimatu v 21. století je velká pozornost věnována návrhům opatření pro přizpůsobení, která mají zmírnit její dopady a zajistit udržitelné využívání vodních zdrojů. Adaptační strategie musí být diferenciovány podle očekávaných změn, avšak pokud se potvrdí prognózy klimatických modelů, prioritou budou opatření směřující k navýšení dostupnosti vodních zdrojů v povodí, neboť se očekává pokles jejich množství. Z dosavadních zkušeností vyplývá, že efektivní a proveditelná opatření nejčastěji zahrnují technické intervence, jako je renovace stávajících či výstavba nových vodních nádrží (Kožíň et al. 2015). V současné době se pozornost věnuje opatřením zvyšujícím zadržení (retenci) vody v půdě a to pomocí např.

- Aplikace organické hmoty, která dodává živiny a zlepšuje strukturu půdy, čímž zvyšuje její schopnost zadržovat vodu.
- Mulčování; použití mulče na povrch půdy, čímž se sníží výpar z půdního povrchu a zadržení vody v půdě.
- Změny v zemědělských postupech; použití alternativních způsobů zpracování půdy, jako např. minimalizace orby nebo zavedení krycích plodin, vedou k zachování půdní struktury a zvýšení retence vody v půdě.
- Zelené hnojení a využití meziplodin: zlepšuje strukturu a vlastnosti půdy, dodává živiny, zvyšuje obsah humusu a podporuje půdní organismy díky hlubokému kořenovému systému (Řeháček et al. 2019).

3.7 Dálkový průzkum Země (DPZ)

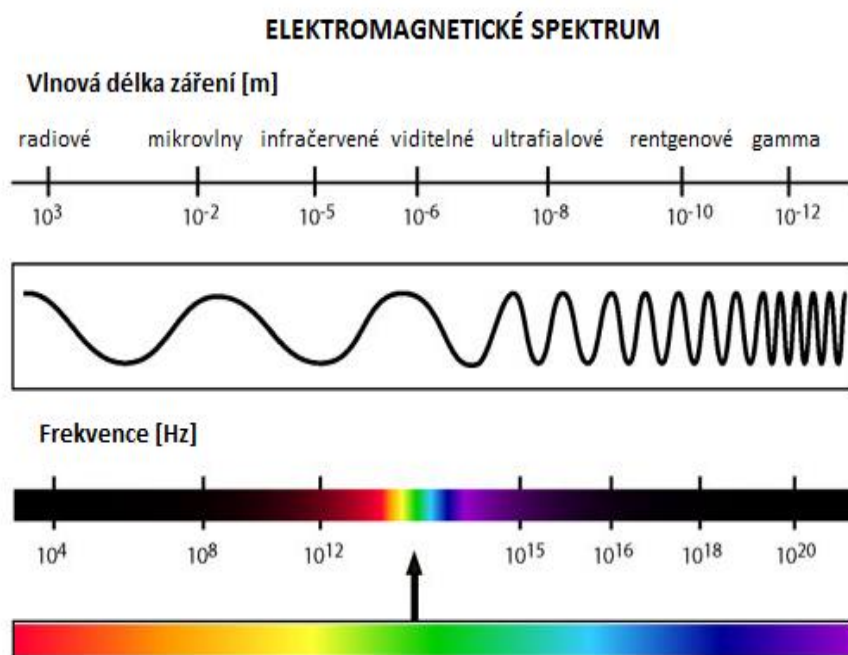
První model vodních zdrojů byl vyvinut v 60. letech 20. století v měřítku 100 x 100 x 100 metrů (Freeze & Harlan 1969). Satelitní pozorování byla poprvé aktivně začleněna do numerických modelů předpovědi počasí (NWP) na počátku 70. let 20. století (Tracton & McPherson 1977). První operační využití satelitního pozorování vodních ploch bylo vyvinuto na počátku 80. let (Ramamoorthi 1983). I po téměř 30 letech je jen málo satelitních dat používáno k monitorování povrchových vodních zdrojů. Ještě v roce 2011 se uvádělo, že neexistuje mnoho důkazů, že informace, které poskytují, našly široké uplatnění ve správě vodních zdrojů. Vzhledem k neustále rostoucímu tlaku na vodní zdroje v mnoha zemích a užitečnost informací o vodních zdrojích se v posledním desetiletí tato situace velmi rychle mění. Drony, jako moderní technologický prvek, představují rychlý, přesný a cenově dostupný přístup ke studiu vodních zdrojů ve vysokém rozlišení (Van Dijk & Renzullo 2011).

Nejdéle provozovanou misí na světě je program Landsat, který vznikl ve Spojených státech a je spravován kosmickou agenturou NASA. Program je v provozu od roku 1972 a je zaměřený na monitorování vodních ploch, zemědělských ploch, lesních porostů a zastavěných ploch. Landsat ve své dlouhé historii vyslal do vesmíru celkem 9 satelitů, kde v této době fungují jenom nejnovější družice Landsat-8 a Landsat-9 (NASA 2024).

3.8 Princip a metody DPZ

Dálkový průzkum Země (DPZ) představuje moderní metodu získávání informací o objektech a jevech na zemském povrchu bez nutnosti fyzického kontaktu se zemským povrchem. Principem je měření množství elektromagnetického záření, které je vyzařováno zemským povrchem nebo od něj odrazeného. Elektromagnetické záření různých vlnových délek pochází z různých zdrojů, jako je Slunce nebo radar, a směřuje ke Zemi. Během své cesty reaguje s atmosférou a zemským povrchem, kde se mění a částečně se odráží. Odražené záření

obsahuje informace o vlastnostech povrchu, který je zachycen snímacím zařízením na letadle nebo družici a převeden do snímku (viz Obrázek 2), který ukazuje vlnové délky záření, které jsou schopny snímačem zachytit.



Obrázek 2 Elektromagnetické spektrum ([Základní principy DPZ - Copernicus CR \(gov.cz\)](#))

Metody DPZ lze v základě rozdělit na aktivní a pasivní snímání. Zatímco aktivní metody zaznamenávají odražené záření, jehož zdroj je umístěn na nějakém nosiči, pasivní metody zaznamenávají záření vyzařované vlastním zkoumaným objektem nebo odražené sluneční záření (Mařašovská et al. 2021).

3.8.1 Evropská kosmická agentura ESA

Evropská kosmická agentura (ESA) provozuje několik družicových systémů, z nichž každý má svůj specifický účel a zaměření. Některé z hlavních družicových misí a programů zajišťovaných agenturou ESA zahrnují:

- Sentinel (Program Copernicus): Tento program zahrnuje sérii družicových misí, které slouží k poskytování dat pro monitorování životního prostředí, klimatu a bezpečnosti. Sentinel-1 poskytuje radarové snímky Země pro sledování změn na zemském povrchu, zatímco Sentinel-2 se zaměřuje na získávání optických snímků pro sledování vegetace, vodních zdrojů a změn v krajině.
- ERS (European Remote Sensing): Družice programu ERS se zaměřují na sledování klimatu, změn v ledových pokrývkách, změn v množství vody v půdě a dalších aspektů životního prostředí.
- Envisat: Tato mise poskytovala širokou škálu dat pro monitorování atmosféry, oceánů, kryosféry a pevninských vodních toků. Envisat byl ukončen v roce 2012.

- CryoSat: Misí CryoSat je sledování změn v množství ledových pokryvů na Zemi a změn v tloušťce ledových příkrovů.
- METOP: Program METOP se zaměřuje na meteorologické pozorování Země a sledování klimatických podmínek, včetně měření teploty povrchu a atmosférických složek.
- Galileo: Galileo je evropský globální družicový navigační systém, který má konkurovat systémům GPS a GLONASS.

Agentura ESA zajišťuje celou řadu misí ty nejdůležitější mise související s vodními zdroji jsou detailněji popsány níže (European Space Agency 2023).

3.8.1.1 Mise Sentinel

Satelity Sentinel, umožňují globální monitorování s prostorovým rozlišením až 10 metrů a několikadenní periodou opakování. I když byly satelity Sentinel byly používány pro monitorování vnitrozemských vod po dlouhou dobu, jak z hlediska množství (rozsahu vodní plochy, hloubky a objemu) tak i kvality vody zjišťováním obsahu chlorofylu, fycocyaninu (Zeng et al. 2023).

- Mise Sentinel-1 umožňuje snímání globálních pevnin, pobřežních zón, mořského ledu, polárních oblastí a lodních tras ve vysokém rozlišení. Vysoká spolehlivost služeb zajišťuje požadovaný konzistentní dlouhodobý datový archiv. Mise Sentinel-1 je navržena tak, aby poskytovala datové služby pro potřeby uživatelů modelu GMES (European Earth monitoring programme, Evropský systém pro monitorování Země). Tento postup je běžnou praxí pro poskytování meteorologických dat. Většina úkolů může být předem naplánována a rutinní operace obvykle nejsou přerušeny. Proto nejsou vyžadovány specifické požadavky na úkoly a přístup k datům je zejména prostřednictvím předplatného, které umožňuje pozorování v různých časových obdobích a v téměř reálném čase (Torres et al. 2012).
- Mise GMES Sentinel-2 je schematicky znázorněn na obrázku níže (Obrázek 3). Tato mise zajišťuje kontinuitu služeb závislých na multispektrálních optických pozorování s vysokým rozlišením. Sentinel-2 má za cíl udržet dostupnost dat pro různé účely například (povodně, lesní požáry a sesuvy půdy), sledování využití a pokrytí půdy v Evropě, monitorování stavu lesů, správu vodních zdrojů a ochranu půdy, mapování měst, přírodních katastrof a terénní mapování pro humanitární pomoc a rozvoj. Mise Sentinel-2 je navržena a zaměřena na vytvoření provozního multispektrálního pozorovacího systému Země, který doplňuje pozorování poskytovaná systémy Landsat a SPOT (Drusch et al. 2012). Mise SPOT dodává od roku 1986 vysokorozlišené optické snímky Země. Data ze satelitu slouží pro mapování, monitorování vegetace a sledování přírodních katastrof. Satelity jsou provozovány Americkou společností Airbus Defence and Space, která data ze satelitů poskytuje agentuře ESA a ta dále poskytuje přístup k těmto datům širokému spektru uživatelů (ESA 2024).



Obrázek 3 Satelit Sentinel-2 ([Sentinel-2 - Sentinel Online esa.int](https://sentinel-2.esa.int))

- Mise Sentinel-3 je mise pro pozorování Země speciálně navržená pro program GMES, který má zajistit dlouhodobé shromažďování vysokokvalitních dat z oceánů, souše a atmosféry, přičemž přispívá i k bezpečnostním službám GMES (Donlon et al. 2012). Sentinel 3 navazuje na misi Envisat. Vzhledem ke svému zaměření na pozorování oceánů významně přispívá k poznání stavu životního prostředí na Zemi; měří teplotu, výšku a pohyb hladiny a také barvu a stav vody. Tyto informace pomáhají předpovídat počasí a zlepšují bezpečnost námořní dopravy. Sentinel 3 také sleduje povodně, bouře a znečištění vody. Sekundárně monitoruje i pevninu, kde například pomáhá odhalovat požáry a sledovat vegetaci (Ministerstvo životního prostředí 2016).
- Mise Copernicus Sentinel-5P jejíž hlavním cílem je provádět atmosférická měření s vysokým prostorově-temporálním rozlišením. Naměřená data jsou využívána k monitorování kvality vzduchu, množství ozónu a UV záření, prognózování a monitorování klimatu (European Space Agency 2021).
- Mise Sentinel-6 se zaměřuje především na měření nárůstu hladiny moře a stavu moře. Úspěšná implementace opatření s dlouhou dobou předpovědi o nárůstu hladiny moře je zvláště důležitá pro členy programu Copernicus. Trend nárůstu hladiny moře je nutné zaznamenávat pro ověření modelových projekcí a určit oblasti náchylné k pobřežním záplavám (Hamlington et al. 2020).

3.8.1.2 Evropské dálkové snímkování (ERS)

ERS mise je soubor 2 multidisciplinárních družic (ERS-1, ERS-2) pro pozorování Země. Hlavními přístroji na palubě družic jsou AMI (aktivní mikrovlnný přístroj), RA (radarový altimetr), ATSR (radiometr s postupným skenováním), PRARE (přesný přístroj pro měření vzdálenosti a rychlosti), LRR (laserové retroreflektory) a MS (mikrovlnný zvukový sondátor). Tyto přístroje slouží k měření různých parametrů zemského prostředí, jako je teplota hladiny moře, rozložení oblačnosti, obsah vodní páry v atmosféře a další (Gunter's Space Page 2024).

- Družice ERS-1 a ERS-2 – Družice ERS-1 byla vypuštěna dne 17. července 1991 Evropskou kosmickou agenturou na slunečně synchronní polární orbitu v nadmořské výšce přibližně 780 km (Attema et al. 1998). ERS-2 byl vypuštěn z evropského kosmodromu v Kourou ve Francouzské Guyaně 21. dubna 1995. Tato mise položila základy pro budoucnost evropského pozorování Země a shromáždila cenná data o zemských površích, oceánech a polárních čepicích. Byla také využita k monitorování přírodních katastrof, jako jsou vážné záplavy nebo zemětřesení v odlehlých částech světa (ESA 2024).

3.8.1.3 Envisat satelit

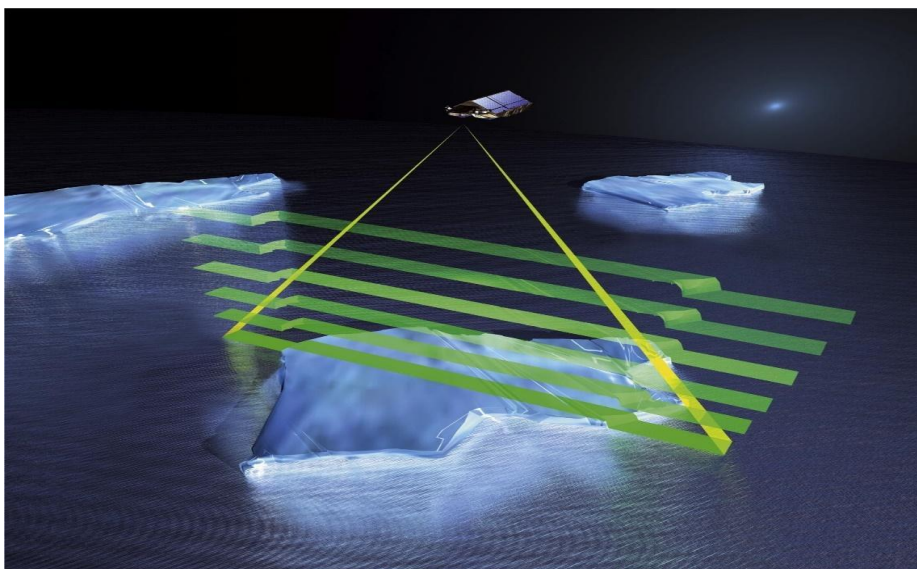
Envisat byl největší a nejkompexnější volně létající satelit, který kdy byl postaven v Evropě. Envisat nesl celou řadu přístrojů navržených k pozorování řady vzájemně souvisejících fenoménů, které charakterizují projevy prostředí Země jako systému. Satelit spolu se souvisejícími pozemními systémy pokračoval a rozšířil služby poskytované předchozími satelity ERS-1 a ERS-2 agentury ESA. Envisat zejména zvyšoval informovanost o faktorech ovlivňujících naše životní prostředí. Přispíval významně v oblastech atmosférické chemie a studia oceánů, včetně mořské biologie (Dubock et al. 2001). Envisat fungoval úspěšně po dobu delší než 10 let, dokud nedošlo k jeho poruše v dubnu 2012 (Miranda et al. 2013).

3.8.1.4 Mise CryoSat

CryoSat-2 byl vypuštěn v dubnu 2010. Je určen k monitorování změn tloušťky mořského ledu, který plave v polárních oceánech, a k měření variací tloušťky rozsáhlých ledových příkrovů, které pokrývají Grónsko a Antarktidu. Satelit CryoSat-2 nahradil původní satelit CryoSat, který byl ztracen v důsledku selhání při startu v říjnu 2005. CryoSat-2 nese inovativní radarový altimetr nazvaný SIRAL (Syntetický aperturový interferometrický altimetr). Má dvě radarové antény, které splňují měřicí požadavky na elevaci ledového příkrovu a volnou palubu mořského ledu s vysokou přesností. Satelit obíhá planetu ve výšce asi 720 km s retrográdní dráhou inklinací 92°. CryoSat-2 je tak schopen dosáhnout zeměpisné šířky až 88° a pokrýt více než 4,6 milionu km² nezkoumaných oblastí nad póly ve srovnání s předchozími polárními misemi s altimetrií (Hamlington et al. 2020).

- Vybavení satelitu
V režimu nízkého rozlišení (LRM) je použit klasický altimetr s pulzní šířkou, který nabízí kontinuitu s dřívějšími misemi altimetrů, jako jsou ERS a ENVISAT. Tento režim se převážně používá jak nad rovinnými oblastmi ledovcových pokryvů Grónska a Antarktidy, tak nad oceány v režimu syntetické apertury (SAR). Tento režim je ve skutečnosti primárně používán nad mořským ledem. Zlepšuje rozlišení a umožňuje

rozlišení úzkých mezer mezi ledovými krami. Fungování snímání SAR je uvedeno na následujícím obrázku (Obrázek 4) (Hamlington et al. 2020).



Obrázek 4 Režim SAR pro monitorování změn tloušťky mořského ledu, a k měření variací tloušťky rozsáhlých ledových příkrovů ([CryoSat | Mission, Definition, & Facts | Britannica](#))

3.8.1.5 MetOp Satelity

Série tří družic MetOp (viz Obrázek 5) představuje evropský příspěvek do společného projektu se Spojenými státy zaměřeného na zlepšení předpovědí počasí a monitorování klimatu Země. MetOp-A byl vypuštěn 19. října 2006 a byl deorbitován v listopadu 2021. MetOp-B byl vypuštěn 17. září 2012 a MetOp-C se k nim připojil na oběžné dráze 7. listopadu 2018 (European Space Agency 2018).



Obrázek 5 Satelit MetOp ([ESA - MetOp](#))

MetOp-A byl první evropskou družicí s polární oběžnou dráhou. S pomocí svých pokročilých nástrojů poskytovala data s dosud nejvyšší přesností a rozlišením o teplotě, vlhkosti, rychlosti a směru větru nad oceánem, o ozónu a dalších stopových plynech, čímž významně přispívala k celosvětové předpovědi počasí a monitorování klimatu. Kromě toho MetOp-A pozorovala pozemní a oceánské povrchy a její služba pro vyhledávací a záchranné operace pomáhala lodím a letadlům v nouzi (Edwards et al. 2006).

- Satelit Metop-B byl vylepšený o moderní vysokorozlišovací radiometr pro infračervené záření. Měří teplotu a vlhkost globální atmosféry za bezoblačných nebo částečně oblačných podmínek. Dalším vylepšením v podobě pokročilé mikrovlnné jednotky měří teplotu globální atmosféry téměř ve všech povětrnostních podmínkách. Mikrovlnný vlhkostní zvukoměr nové generace byl vyvinut v rámci EUMETSAT a nahrazuje předchozí generaci mikrovlnného vlhkostního zvukoměru AMSU-B. Posledního vylepšení se dočkal i radiometr s velmi vysokým rozlišením, který poskytuje infračervené snímky oblaků, oceánu a povrchu pevniny. Data z Metopu-B jsou poskytována globálně v plném rozlišení (Schmetz et al. 2007).
- Metop –C je satelit poslední generace, který byl vypuštěn na orbitu v roce 2018. Poskytuje meteorologům nová, přesnější a častější data, která jim pomáhají splnit jednu z jejich největších výzev - poskytování včasných a přesných předpovědí rychle se měnících meteorologických událostí s velkým dopadem. Navazuje na desetiletí dlouhou tradici prvních a druhých generací družic Meteosat (satelity METOP), Meteosat třetí generace (MTG) revolucionizuje předpovědi bouří, zlepšuje meteorologické předpovědi, rozšiřuje klimatické záznamy a poskytuje širokou škálu zásadních pozorování (EUMETSAT 2024).

3.8.1.6 Satelitní navigační systém Galileo

Navigace pomocí satelitů hraje významnou roli při vysokopřesném určování polohy a času v různých oblastech činností, jak pro statické, tak dynamické aplikace. Navigační systém Galileo funguje pomocí sítě družic v počtu 30 kusů umístěných ve vesmíru. Tyto družice vysílají signály, které jsou zachycovány přijímači na zemi. Systém v podstatě nabízí stejné možnosti jako GPS pro běžné lidi, což zahrnuje navigaci pro řidiče, ale také vylepšuje některé služby, které varují občany před různými nebezpečími. Tato služba také umožňuje přijímat nouzové signály osob, lodí i letadel (Vláda České republiky 2010; Someswar et al. 2013).

3.8.2 Výhody a nevýhody DPZ pomocí satelitních a družicových snímků

Technologie dálkového průzkumu Země (DPZ) využívá široké spektrum zařízení a metod, zahrnující různé druhy snímací a zpracovatelské techniky. Jak uvádí Kolejka (2009), využití těchto technologií se rozšiřuje díky výhodám, který tento systém poskytuje; jsou to především:

- Přehlednost: Snímky umožňují pozorovat širší souvislosti a srovnávat odlišnosti krajin v širším kontextu. Tyto rozdíly nemusí být patrné bez jistého nadhledu, například při rozlišování typů území podle vzoru využití ploch.
- Dostatečná podrobnost: Rozlišovací schopnost DPZ je určena rozměry nejmenšího spolehlivě rozeznatelného objektu. Velikost pixelů hraje roli u fotografických materiálů, a průměr plochy obrazového elementu je důležitým faktorem.
- Kontinuita obrazu: Vede k teritoriální generalizaci obrazu krajiny při zmenšování rozlišovací schopnosti záznamu nebo naopak k identifikaci detailů při zvyšování rozlišovací schopnosti.
- Komplexnost: Všechny objekty a jejich parametry jsou registrovány současně, ale je třeba je identifikovat pomocí tematické interpretace, přímo nebo zprostředkovaně některou z metod vizuální nebo přístrojové interpretace.
- Synchronnost: Znamená zachycení všech aspektů krajiny současně. To je klíčové, protože pozemní mapování by zabralo mnohonásobně více času.
- Operativnost: Dostupné technologie a zákonné úpravy umožňují pořízení leteckých i družicových záznamů zájmových území na objednávku v co nejkratší době.
- Opakovatelnost: Předpokládá možnost opakovaného pořízení záznamů téhož území ve zvolené časové posloupnosti pro zachycení změn krajiny.
- Cenová dostupnost: I přesto, že technologie DPZ mohou být nákladné, cena informace po přepočtu na jednotku plochy je velmi nízká ve srovnání s náklady na klasické pozemní mapování.

DPZ má také své problematické stránky, které přinášejí několik nezanedbatelných nevýhod:

- Neobvyklý pohled na krajinu: S pohledem shora často přichází ztráta prostorového vnímání, a objekty vypadají odlišně než z běžného úhlu pohledu. Kratší školení však může pomoci s překonáním tohoto problému.
- Deformace obrazu krajiny: Deformace způsobená perspektivním zkreslením nad sférickým tvarem Země. Moderní fotogrammetrické technologie mohou tento jev minimalizovat.
- Nestejná kvalita obrazového záznamu: Od středu k okrajům záznamu se kvalita mění, což je dáno optickými parametry čočky a průmětem obrazového elementu snímače na reálnou snímanou plochu. Moderní zpracovatelské technologie mohou pomoci s touto problematikou.
- Šumy: Atmosférické jevy mohou způsobit rušení, které lze minimalizovat různými korekcemi.
- Vlivy denní a roční doby: Tvar a velikost stínů a teplotní rozdíly mohou ovlivnit kvalitu záznamu. Pro jejich eliminaci lze použít počítačové korekce.

- Přeplněnost informacemi: Identifikace požadovaných údajů může být obtížná a vyžaduje interpretaci snímků nebo generalizaci jejich obsahu. Moderní počítačové technologie jsou však schopny zpracovat velké objemy dat.
- Ztráta informací: Nižší rozlišení záznamů ve srovnání s fyzickým pozorováním může vést ke ztrátě části informací. Tento problém lze částečně řešit použitím technologií s maximálním rozlišením (Kolejka 2009).

3.9 DPZ pomocí bezpilotních leteckých prostředků

Bezpilotní letecké prostředky, označované jako UAV (z anglického Unmanned Aerial Vehicle), známé také jako drony, jsou zařízení schopná létat bez přítomnosti pilota na palubě. Pilot je buď ovládá ze země pomocí dálkového ovladače nebo dokáže létat úplně samostatně pomocí předem naprogramovaných trajektorií. Jejich výhodou je malá velikost a jednoduché ovládání, dostupnost na trhu, a relativně dobrá cena (Karas 2017). Nejnověji se výzkum věnuje i autonomním dronům, které jsou vybaveny tak, aby mohly bezpečně splnit požadovaný úkol bez potřeby zásahu pilota s využitím umělé inteligence.

3.9.1 Rozdělení dronů

3.9.1.1 Drony s pevným křídlem

Drony s pevným křídlem jsou těžší než vzduch a jsou schopny letět s pomocí vztlaku získaného z křidel. To je činí vhodnými pro mise na dlouhé vzdálenosti kvůli menší spotřebě energie. Mohou létat ve vyšších nadmořských výškách, což jim umožňuje pohybovat se rychleji a pokrývat větší plochu za kratší dobu. Jsou obvykle vybaveny kamerami jsou snadno ovladatelné, mají lepší aerodynamické vlastnosti než drony s vrtulemi. Některé jejich nevýhody zahrnují potřebu velkého prostoru pro vzlet a přistání, obtížnější ovládání pro pilota a tudíž potřebu většího výcviku a odbornosti pilota, neschopnost provádět vertikální vzlet a přistání a neschopnost kroužit. Jsou finančně nákladné, vysoká pořizovací cena i údržba kvůli použitým materiálům (Elijah et al. 2021).

3.9.1.2 Drony vrtulové

Vrtulové drony, jsou známé také jako rotorové drony nebo více-rotorové drony. Je to typ bezpilotních letadel, které využívají jednu nebo více vrtulí pro generování vztlaku a pohyb ve vzduchu. Tento typ dronů je charakterizován tím, že mají více než dvě vrtule umístěné na svém těle, což jim umožňuje měnit směr a výšku letu pohybem vrtulí. Vrtulové drony jsou oblíbené pro svou všestrannost, snadnou ovladatelnost a širokou škálu použití, včetně fotografování a vytváření videí ze vzduchu. Velká výhoda oproti dronům s pevnými křídly je schopnost vertikálního vzletu a přistání, Tyto drony můžeme dělit na podskupiny podle počtu vrtulí (Li & Liu 2019).

- **Kvadroptéry**
Název těchto dronů vychází z jejich konstrukce, která zahrnuje čtyři vrtule umístěné v rámu ve tvaru obdélníku nebo čtverce (viz Obrázek 6). Tyto drony jsou nejpobulárnější na trhu díky své rychlé výrobě a cenové dostupnosti. Jejich čtyři vrtule mají dostatečnou sílu na to, aby unesly samotný dron i s dodatečnou zátěží.
- Mezi hlavní výhody kvadroptér patří nízké náklady na výrobu a opravy a dostatečný výkon pro menší přídavné vybavení

- Mezi nevýhody patří omezené dosahování vzletových výšek ve srovnání s hexakoptéry a oktokoctéry a omezená schopnost nést velké doplňkové vybavení



Obrázek 6 Kvadroptéra - Dron DJI Mavic 2; ([mavic 2 pro enterprise dual \(nf-dth-he.shop\)](https://mavic2proenterprise.dual(nf-dth-he.shop))

- Hexakoptéry
Hexakoptéry mají šest vrtulí (viz Obrázek 7), což jim umožňuje nést větší předměty než kvadroptéry při zachování podobných rozměrů. To vede k lepšímu poměru cena/výkon.
 - Mezi hlavní výhody patří jejich lepší ovladatelnost a schopnost dosáhnout vyšších rychlostí a většího výkonu během letu než mají kvadroptéry, vyšší bezpečnost díky schopnosti přistát i s poškozenými motory a možnost dosáhnout vyšších vzletových výšek.
 - Mezi nevýhody patří jejich vyšší pořizovací cena a cena servisu, spolu s potřebou většího prostoru pro jejich let



Obrázek 7 Hexakoptéra Trimble ZX5 (uas.trimble.com)

- Oktokoptéry
Oktokoptéry jsou drony s osmi vrtulemi (viz Obrázek 8), které mají schopnost unést největší zátěž mezi všemi typy dronů. Tyto drony se často využívají pro profesionální účely, jako je například kontrola rozvodů elektrické energie v obtížně přístupných oblastech. Jejich použití umožňuje úsporu nákladů, které by jinak byly nutné pro provoz velkých pilotovaných vrtulníků, což přináší zvýšenou efektivitu a účinnost.
- Mezi hlavní výhody oktokoptér patří jejich schopnost dosahovat vysokých rychlostí a provádět obratné manévry se zachováním stability, mohou dosáhnout vysokých vzletových výšek, poskytují dostatečný výkon pro připojení různého příslušenství a jsou bezpečné (v případě potřeby mohou nouzově přistát s pouze čtyřmi funkčními motory).
- Mezi hlavní nevýhody patří jejich velký rozměr, vysoká pořizovací cena a vzhledem k omezené výdrži baterie omezená délka letu (Minařík 2016).



Obrázek 8 Oktokoptéra DJI Spreading Wings s1000 (www.dronpro.cz)

3.9.2 Klíčové komponenty dronů

3.9.2.1 Motory a vrtule

Motory a vrtule jsou klíčovými součástmi dronu, které mu umožňují letět. Motory dodávají potřebný výkon k otáčení vrtulí a generování vztlaku. Tyto motory mohou být buď elektrické, spalovací nebo hybridní, přičemž volba závisí na velikosti, účelu a výkonu dronu. Elektrické motory jsou běžnější pro menší drony, zatímco větší drony často využívají spalovací motory pro delší dolet a větší nosnost (Kardasz & Doskocz 2016). Vrtule jsou umístěny na hřídeli motoru a rotují, aby vytvářely vzdušný proud potřebný k letu. Jsou navrženy tak, aby generovaly dostatečný vztlak a zajistily stabilitu dronu během letu. Vrtule mohou mít různý počet listů a tvarů v závislosti na konstrukci dronu a požadovaných letových vlastnostech. Společná práce motoru a vrtulí jako pohonného systému dronu, umožňuje jeho řízení a pohyb v prostoru (Piotrowski et al. 2015).

3.9.2.2 Baterie

Alternativním zdrojem energie dronu jsou baterie, které umožňují pohon a provoz dronu. Tyto baterie jsou obvykle lithium-polymerové nebo lithium-iontové, což jsou typy dobíjecích baterií, které nabízejí vysoký výkon a relativně nízkou hmotnost. Lithium-polymerové baterie jsou obzvláště oblíbené pro drony kvůli jejich vysoké energetické hustotě a schopnosti dodávat vysoké proudy, což je klíčové pro rychlý start a obratné manévry dronu. Baterie dronu jsou obvykle umístěny v těle dronu a jsou připojeny k pohonové jednotce, která řídí motory a další elektroniku. Velikost a kapacita baterie ovlivňují dobu letu dronu a jeho celkový výkon. Běžně používané kapacity baterií pro drony se pohybují od několika set miliampérhodin (mAh) až po několik tisíc mAh, přičemž vyšší kapacita obvykle znamená delší dobu letu, ale také vyšší hmotnost a větší rozměry (Vránková 2021).

Důležitým faktorem při používání baterií dronu je správná manipulace a údržba. Baterie by měly být dobře chráněny před poškozením a nesprávným zacházením, a je důležité dodržovat doporučené postupy pro nabíjení a skladování, aby se předešlo nebezpečí požáru nebo explozi. Při používání dronu je také důležité sledovat stav nabití baterie a zohlednit dobu letu v souladu s kapacitou baterie, aby se zabránilo neočekávanému vybití baterie během letu (Karas 2017; Wang et al. 2021). Důležitá je i ochrana před požárem. Hašení těchto baterií je velmi problematické, pokud dojde ke vzplanutí baterie, měla by se ponořit do nádoby s dostatečně velkým objemem vody, kde postupně dojde k jejímu uhašení. Prevencí vzniku požáru baterie je dodržení základních pravidel, jako je jejich skladování v dobře větraném, suchém a chladném prostředí, umístění boxů s bateriemi na mimo přímé sluneční záření, mimo jiných zdrojů tepla nebo na dešti. Také vždy před použitím zkontrolovat, zda není baterie mechanicky poškozena a zabránit ke zkratu mezi kontakty (Vránková 2021).

3.9.2.3 Kamery

Kamery umožňují nejenom snímat fotografie a videa, ale také využívat režim FPV (First Person View), který umožňuje sledovat záběry z dronu v reálném čase a lépe kontrolovat pohyb dronu. Některé modely dronů mají dokonce více kamer najednou, což umožňuje pořizovat záznamy z různých úhlů zároveň (vzdušín.cz 2024).

- Multispektrální kamery jsou zařízení určená k zachycování obrazů ve více spektrálních pásmech než běžné RGB kamery (viz Obrázek 9). Tyto kamery dokážou detekovat a zaznamenávat světlo v několika diskrétních spektrálních oblastech, které mohou zahrnovat viditelné světlo, blízké infračervené a další spektrální pásmo. Každé pásmo má specifické vlastnosti, což umožňuje lepší identifikaci a analýzu různých objektů nebo materiálů v daném prostředí. Multispektrální kamery obvykle obsahují několik snímacích čidel, která jsou citlivá na různá spektrální pásma. Data ze všech těchto čidel jsou poté sloučena do jednoho obrazu nebo sady obrazů, které poskytují informace o rozložení a charakteristikách objektů ve scéně v různých spektrálních oblastech. Tyto kamery jsou využívány v různých oblastech, včetně zemědělství, environmentálního monitoringu, geologického průzkumu, průmyslového inspekčního a vědeckého výzkumu. Jsou schopny poskytnout detailní informace o povrchu Země, vegetaci, půdě, vodě a dalších objektech, což umožňuje lepší porozumění a analýzu různých prostředí a procesů (Vidal & Amigo 2012; Van Eynde 2024).



Obrázek 9 Multispektrální kamera MicaSense Altum-PT (www.dronpro.cz)

- Hyperspektrální snímání zachycuje mnohem širší spektrální rozsah, než multispektrální (viz Tabulka 1), často přes deset pásem a někdy i stovky až tisíce (viz Obrázek 10). Tato pásma k sobě úzce přiléhají a vytvářejí souvislé spektrum s šířkou pásma typicky od 1 do 15 nm. Hyperspektrální snímky kombinují prostorovou a spektrální informaci. Prostorové rozlišení je určeno obrazovými body (pixely), zatímco spektrální rozlišení určuje funkci vlnové délky pro každý pixel. Každý obrazový bod hyperspektrálního snímku obsahuje detailní spektrální informace, což umožňuje identifikaci materiálů na základě jejich spektrálních charakteristik (Borengasser et al. 2007; Khan et al. 2018).



Obrázek 10 Hyperspektrální kamery HAIP - Blackbird V2 (vlevo; 100 spektrálních pásem) a BlackBullet V2 (vpravo, 250 spektrálních pásem) ([Hyperspectral imaging systems and cameras – Products; haip-solutions.com](http://hyperspectral imaging systems and cameras - Products; haip-solutions.com))

Tabulka 1 Porovnání metod snímání upraveno podle Li et al. (2013).

	Černobílé	RGB	Spektroskopické	Multi-spektrální	Hyper-spektrální
Prostorová informace	Ano	Ano	Ne	Ano	Ano
Spektrální informace	Ne	Ne	Ano	Velmi nízká spíše omezená	Ano
Počet spektrálních pásem	1	2	Desítky až stovky	3-10	Desítky až stovky

- Porovnání multispektrálních a hyperspektrálních kamer

Základní parametry vybraných kamer, které jsou vhodné pro použití v praxi jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 2).

Tabulka 2 Porovnání multi a hyperspektrálních kamer (www.[Termokamery.pro/drony-od-expertu – SKLADEM / DronPro](http://Termokamery.pro/drony-od-expertu-skladem/dronpro))

Kamera	Váha	Cena	Rozlišení	Počet pásem	Přesnost	Druh snímání	Kompabilní drony	Použití v praxi
MicaSense Altum - PT	460 g	474000 Kč	320 × 256 px	6	až 1,2 cm při letu ve výšce 60 m	Multi-spektrální	Matrice 200 V2 Matrice 210 V2 Matrice 300	Plánování zavlažování, odhalování nemocí, napadení škůdci, detekce nedostatku živin, odhad výnosů
SenseFly Duet M	400 g	150000 Kč	1,280 x 960 px	4	vysoká	Multi-spektrální	eBee X, eBeeAg, eBee TAC	Vodní management, plánování a analýza zavlažování, monitoring škůdců a chorob
MicaSense RedEdge-Mx	232 g	150000 Kč	1,280 x 960 px	5	8 cm při letu ve výšce 120 m	Multi-spektrální	Matrice100 Matrice200 Matrice 600	Zemědělství, monitoring polí
BlackBird V2	790 g	N/A	540x540 px	100	velmi vysoká	Hyper-spektrální	Matrice 300 Matrice 350 RTK	Zemědělství, monitoring vodních ploch
SPECIM AFX 17	2,4 kg	N/A	320 x 640 px	224	5,5 cm při letu ve výšce 50 m, a 16,5 cm při letu ve výšce 150 m	Hyper-spektrální	Univerzální	Ekologický a zemědělský monitoring, analýza vegetace, těžba a průzkum minerálů, dohled a bezpečnost

- Termální kamery; termální senzory fungují na základě reakce na dopadající záření, což může zahrnovat změnu vlastností jako je například resistivita, kapacitance nebo napětí. Jejich hlavní výhodou je schopnost fungovat při běžných pokojových teplotách, čímž odpadá potřeba externího chlazení. V dnešních termokamerách se obvykle využívají dva hlavní typy termálních senzorů: bolometry a pyroelektrické senzory (Meola 2012). Bolometrický senzor reaguje na změny své elektrické rezistence v důsledku působení infračerveného záření, což způsobuje jeho zahřátí. Mikrobolometry, které jsou často usazeny na křemíkovém substrátu, tvoří pole prvků. Tato pole, složená z mikrobolometrů, jsou nazývána mikrobolometrickými senzory. Každý prvek v tomto poli odpovídá jedné teplotní hodnotě obrazu, která je zachycena na daném pixelu. Pyroelektrický senzor využívá pyroelektrický efekt, který se projevuje ve vybraných krystalických materiálech. Tento jev způsobuje změnu náboje při změně teploty, což generuje elektrický proud úměrný této změně. Senzor však není schopen měřit absolutní teplotu, pouze změny v ní. Proto se často používá rotační clona, která periodicky zakrývá senzor a zajišťuje konstantní proud, což eliminuje šum (Meola 2012; Kadlec 2014).

- Vybrané termální kamery a jejich parametry vhodné pro praktické aplikace jsou porovnány níže (viz Tabulka 3).

Tabulka 3 Porovnání termálních kamer ([Kamery a senzory pro drony od expertů – SKLADEM / DronPro](#))

Kamera	Váha	Rozlišení	Cena	Kompabilita
DJI ZENMUSE XT	270 g	336x256 px	129 990 Kč	DJI INSPIRE 1 Matrice 100 Matrice 600
SenseFly Duet T	350 g	640x412 px	294 990 Kč	eBee X
FLIR DUO R	400 g	160x120 px	48 990 Kč	univerzální
WIRIS 336 2 gen.	400 g	336x256 px	214 000 Kč	DJI
WIRIS 640 2 gen.	400 g	640x512 px	306 00 Kč	DJI

3.9.3 Drony vhodné do praxe

Tabulka 4 poskytuje komplexní srovnání různých modelů aktuálně nabízených dronů na základě řady parametrů, jako jsou cena, maximální výška letu, odolnost vůči větru, doba letu, doby dobíjení a operační teploty, což umožňuje uživatelům vybrat ten nejvhodnější model pro jejich konkrétní potřeby a požadavky.

Tabulka 4 Seznam dronů vhodných do praxe [DJI - Official Website](#), [Parrot Professional Drones](#) [Pioneers in Commercial Drones Innovation](#)

Název	Hmotnost	Cena (Kč)	Max. nadmořská výška	Max. Dosah (EU)	Max. rychlost	Čas letu v minutách	Doba nabíjení v minutách	Max. síla větru	Kvalita obrazu	Rozsah Operační teplota
DJI MINI 2 SE FLY	246 g	7790	4000m	6000 m	57 km/h	31	90	10,7 m/s	2,7k/30 FPS	od 0° až 40°C
DJI MINI 3 PRO	249 g	15 990	4000 m	8000 m	57,6 km/h	34	64	10,7 m/s	4K/60 FPS	od - 10° až 40°C
DJI Phantom 3 PRO	1280 g	24 290	6000 m	1000 m	57 km/h	23	60	10 m/s	4K/60 FPS	od 0° až 40°C
DJI MINI 4 PRO FLY	249 g	28 990	4000 m	10000 m	57,6 km/h	34	64	10,7 m/s	4K/60 FPS	od - 10° až 40°C
DJI Mavic 2 PRO	907 g	38 890	6000 m	5000 m	72 km/h	31	60	10 m/s	4K/60 FPS	od - 10° až 40°C
DJI Phantom 4	1380 g	42 000	6000 m	3500 m	58 km/h	30	60	10 m/s	4K/60 FPS	od 0° to 40°C
DJI Mavic 3 PRO	958 g	53 990	6000 m	8000 m	75,6 km/h	43	96	12 m/s	5,1k/50 FPS	od - 10° až 40°C
MATRICE 100	2355 g	93 990	7000 m	2000 m	79 km/h	40	90	10 m/s	Externí kamera	od - 10° až 40°C
Autel EVO II Dual 640T V2	1150 g	104 990	7000 m	5000 m	72 km/h	38	90	20,5 m/s	8k/120 FPS navíc vybavení o termální kameru	od - 10° až 30°C
DJI Mavic 3M	951 g	109 990	6000 m	8000 m	54 km/h	43	96	12 m/s	4K/60 FPS navíc vybaven Multi-spektrální kamerou	od - 10° až 40°C
MATRICE 600 PRO	9500 g	110 000	2500 m	3500 m	65 km/h	32	92	10 m/s	Externí kamera	od - 10° až 40°C
Parrot ANAFI USA SE	496 g	256 490	5000 k	5000 m	54 km/h	32	N/A	15 m/s	4k/60 FPS	od - 36° až 50°C
MATRICE 350 RTX	6470 g	289 990	7000 m	8000 m	83 km/h	55	70	12 m/s	Externí kamera	od -20° to 50° C

3.10 Faktory ovlivňující snímání vodních ploch

Z hlediska odrazových vlastností uvádí Kolář et al.(1997) následující faktory, které mají vliv na snímání vodních ploch:

- Homogenita látky: Voda je relativně homogenní látka, což znamená, že má tendenci vykazovat konzistentní odrazové vlastnosti na různých místech a hloubkách.
- Variabilita skupenství: Voda může existovat ve třech skupenstvích: pevném (led), kapalném (voda) a plynném (vodní pára). Každé skupenství má jiné odrazové vlastnosti, což může ovlivnit odrazové chování vody na různých površích.

- Odlišné odrazové vlastnosti: Odrazové vlastnosti vody se liší od vlastností jiných běžných povrchů, což zahrnuje i změnu odrazivosti v závislosti na skupenství a obsahu látek ve vodě.
- Modifikace spektrálního chování: Voda modifikuje spektrální chování ostatních látek, které jsou v ní přítomny. To znamená, že odrazové vlastnosti vody mohou být ovlivněny přítomností rozpuštěných látek, jako jsou minerály, organické látky nebo znečišťující látky.

V oceánech a uzavřených vodních plochách má voda nízkou odrazivost na všech vlnových délkách. Sluneční záření proniká do vodního sloupce a je v něm silně absorbováno. Maximální odrazivost vody připadá na viditelnou část spektra, zatímco v infračervené části spektra odrazivost vodních objektů klesá a voda se chová téměř jako absolutně černé těleso. Znečištění chlorofylem zvyšuje odrazivost v zelené části viditelného spektra (500-600 nm) a snižuje v modré. Zároveň roste odrazivost v infračervené části spektra, kdy přítomnost vegetace a chlorofylu ve vodě zvyšuje její odrazivost. Toho využívá DPZ při sledování eutrofizace vod a biologické aktivity (Shi et al. 2019). Maximální propustnost vody se nachází při vlnové délce 480 nm a postupně klesá s rostoucí vlnovou délkou záření, až dosáhne oblasti tepelného infračerveného záření (IČ). V této oblasti proniká záření do čisté vody až do hloubky 20 metrů, zatímco v intervalu 800–1100 nm to je pouze do 10 cm. V krátkovlnné oblasti viditelného záření má voda vyšší propustnost, což může být využito k získání informací o dně vodní nádrže. Na IČ snímcích se vodní plochy často jeví jako nejtmaší a tyto snímky lze využít k lokalizaci vodních objektů. Při přítomnosti mechanických nebo biologických příměsí se záření na nich odráží, což zvyšuje odrazivost vodní plochy. Vlastnosti vodních objektů, jako je například vodní sloupec, se určují především ve viditelné části spektra, zejména v oblasti nejkratších vlnových délek (modré světlo). Množství emitovaného dlouhovlnného záření může poskytnout informace o teplotě vody, avšak to je ovlivněno podmínkami, které ovlivňují přenos tepla mezi vodní hladinou a atmosférou.

Spektrální vlastnosti vody v pevném stavu se výrazně liší. Sníh a led mají vysokou odrazivost ve viditelné a blízké infračervené části spektra. Sněhová pokrývka má obvykle vyšší odrazivost než ostatní povrchy, a to i ve vlnových délkách blízkých 1100 nm. Odrazivost sněhu a oblaků se liší zejména ve středním infračerveném pásmu. Voda s hladkým povrchem funguje jako zrcadlo pro radarové záření, takže do antény není odraženo žádné záření. Voda s drsným povrchem odráží signál s různou intenzitou, což může být detekováno radarem pracujícím v L pásmu mikrovlnného záření a s určitým úhlem pohledu. Lepší výsledky mohou být dosaženy při detekci vln, pokud jsou ve směru kolmém na směr letu (Kolář 1990, 2008; Kolář et al. 1997).

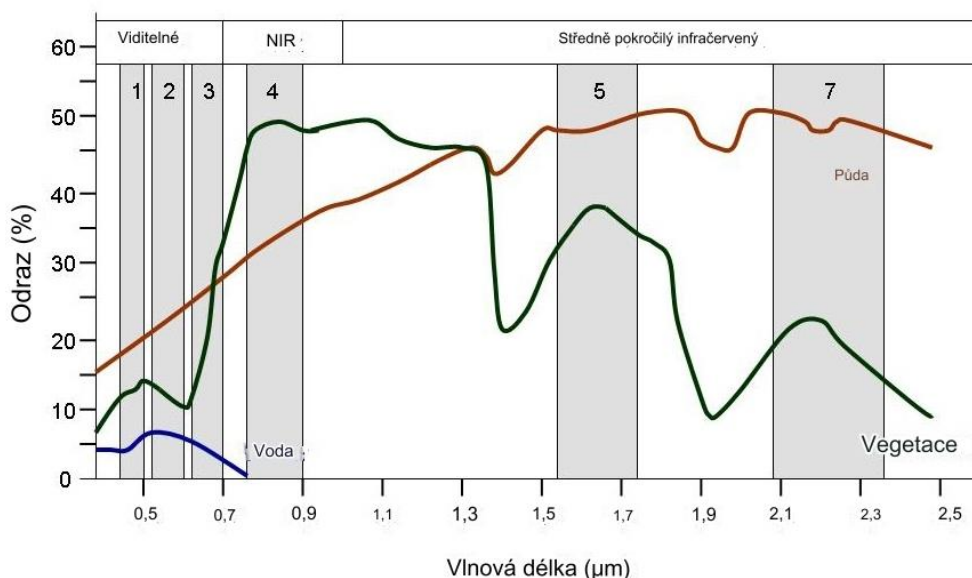
3.10.1 Odrazivost chlorofylu (vodní květ)

Na vodní hladině se v důsledku nadměrného rozvoje fytoplanktonu často objevují dva jevy; vegetační zákal vody a vodní květ. Vegetační zákal vody se typicky vyskytuje na jaře, kdy se vrchní vrstvy vody zahřívají, probíhá jarní cirkulace a dochází k uvolňování živin ze dna. Tento jev je způsoben eukaryotickými řasami a sinicemi, které se rovnoměrně šíří po celém vodním sloupci. Naopak vodní květ, což je masivní nadprodukce sinic, je častější v letním období. Vodní květ se projevuje hromaděním biomasy sinic, které obsahují buňky ve stádiu stárnutí, jejichž růst je omezen a nakonec odumírají. Sinice, které způsobují vodní květ, mají schopnost vznášet se na vodní hladině díky svému aerotypu. Po jarní fázi může následovat krátké období zvané "clear water", kdy se fytoplankton nerozvíjí kvůli vyčerpání živin a predaci zooplanktonem. Po skončení fáze "clear water" může přijít na řadu vodní květ. Pro sledování

výskytu sinic na vodní hladině je nezbytné znát spektrální charakteristiku vody a vegetace. Každý povrch má specifickou odrazivost krátkovlnného záření a emisivitu dlouhovlnného záření, které závisí na chemickém složení, fyzikálním stavu a okolním prostředí. Spektrální odrazivost $\rho(\lambda)$, se vypočítá jako poměr intenzity odraženého záření (M_r) a intenzity záření dopadajícího (M_i) na určité vlnové délce (λ) (rovnice 1) (Dobrovolný 1998).

$$\rho(\lambda) = \frac{M_r(\lambda)}{M_i(\lambda)} \times 100[\%] \quad (1)$$

Z rovnice lze odvodit spektrální charakteristiky všech materiálů na povrchu Země. Tyto charakteristiky jsou jedinečné pro každý materiál a mohou se měnit v průběhu času. Proto je možné pro každý objekt vytvořit specifickou spektrální křivku odrazivosti $\rho(\lambda)$, která vyjadřuje, jak se daný objekt chová při různých vlnových délkách světla. Tvar této křivky může být užitečný pro volbu optimální vlnové délky pro sběr dat o objektu a také pro rozlišení různých druhů objektů na základě jejich odrazivosti v určité vlnové délce pro lepší pochopení odrazivosti (viz Obrázek 11) (Dobrovolný 1998).



Obrázek 11 Průběh odrazivosti vody, vegetace a půdy v závislosti na vlnové délce ([Introduction to Remote Sensing \(seos-project.eu\)](#))

Jak uvádí Siegmund & Mend (2005), spektrální chování vegetace je ovlivňováno několika faktory. Jsou to především vnější uspořádání vegetačního krytu, vnitřní struktura rostlin, obsah vody, zdravotní stav vegetace a vlastnostmi půdního substrátu.

3.10.2 Porovnání metod snímování

Porovnání jednotlivých metod snímování je uvedeno níže (viz Tabulka 5).

Tabulka 5 Výhody a nevýhody různých druhů dat DPZ pro monitoring (Müllerová et al. 2017)

Parametr	NASA & ESA družice např. LANDSAT či SENTINEL	Komerční družice s vysokým prostorovým rozlišením	Letecké snímky	Bezpilotní snímky
Flexibilita načasování	Žádná, ale rozsáhlý archiv	Nízká	Střední	Vysoká
Prostorové rozlišení	až 10 m	až 0,3-0,4 m	0,1 - 0,5 m	až 1 cm
Spektrální rozlišení	Vysoké	Střední	Různé dle nosiče	Různé dle nosiče
Časové rozlišení	Vysoké	Střední	Nízké	Velmi vysoké
Náklady	Žádné	Vysoké	Vysoké	Nízké
Sběr dat	Snadný - dostupné na internetu	Snadný - komerční objednávka	Snadný - komerční objednávka	Nutná zkušenost, ale možno také komerčně objednat
Příprava dat	Standardizována	Standardizována	Standardizována	Nestandardizovaná, komplexní
Limit sběru dat - oblačnost	Nemožné	Nemožné	Nemožné	Možné v případě vyšší oblačnosti bez deště
Limit sběru dat - vítr	Nemá vliv	Nemá vliv	Limitující je jen velmi silný vítr	Velmi problematické
Zákonná omezení	Ne	Ne	Málo	Mnoho omezení (např. v zastavěných plochách, soukromých pozemcích, komerčních zónách, v okolí letišť, vojenských objektech...)
Množství dat	Střední	Vysoké	Vysoké	Velmi vysoké

3.11 Seznam studií se snímkováním vodních ploch pomocí UAV - Česká republika

3.11.1 Snímání multispektrálních dat pomocí UAV v povodí Jizerky

Multispektrální snímání dat v údolí Jizerky bylo provedeno pomocí UAV DJI Phantom 4. Tato kvadrokoptéra vážící 1380 gramů byla vybavena RGB kamerou s rozlišením 4K (4096 × 2160 px), což umožnilo efektivní využití při práci v terénu díky svým kompaktním rozměrům a vysokému rozlišení obrazu. Kromě toho byla bezpilotnímu letounu přidána multispektrální kamera Parrot Sequoia, která zaznamenává spektrální pásma Red, Green, Red Edge a NIR. Data z RGB a multispektrální kamery byla následně zpracována pomocí 3D fotogrammetrického programu Agisoft Metashape s celkovou odchylkou dosahující maximálně 2 metry. Studie si kladla za cíl zjištění rozsahu historické a identifikaci nové současné těžby safírů na březích potoka Jizerky nad soutokem se Sařirovým potokem (CHKO Jizerské hory). Studie byla vedena ve spolupráci se Severočeským muzeem v Liberci v rámci boje proti nelegální těžbě safírů a ochraně CHKO Jizerské hory (Zástěra 2020).

3.11.2 Spektrální zvýraznění obrazu pro monitorování malých vnitrozemských vodních ploch pomocí UAV

Studie Komárkové et al. (2019) ukazuje možnosti identifikace různého pokryvu, půdy a vodních ploch a sledovat změny pomocí levného dronu Phantom 3. Prostorové rozlišení získaných dat je velmi vysoké (na úrovni centimetrů). Levná UAV jsou obvykle vybavena standardní RGB kamerou. Článek demonstruje jednoduchost využití tohoto typu UAV pro identifikaci pokrytí půdy, vodních ploch a monitorování jejich změn. Sledování změn využití půdy a pokrytí krajiny má stále větší význam v rámci udržitelného hospodaření a rozvoje. Klimatické změny a přírodní katastrofy, jako jsou povodně nebo dlouhodobé sucho jsou příklady faktorů, které je třeba sledovat. Voda a vodní zdroje jsou klíčovými současnými zdroji a problémům s nimi souvisejícími musí být věnována patřičná pozornost. Přestože jsou výzkumy převážně zaměřeny na celosvětovou nebo národní úroveň monitorování vodních ploch, UAV umožňují dostupné sledování problému na regionální (místní) úrovni.

3.11.3 Detekce změn v pokrytí povrchu u malých vodních nádrží - studie rybníku Baroch

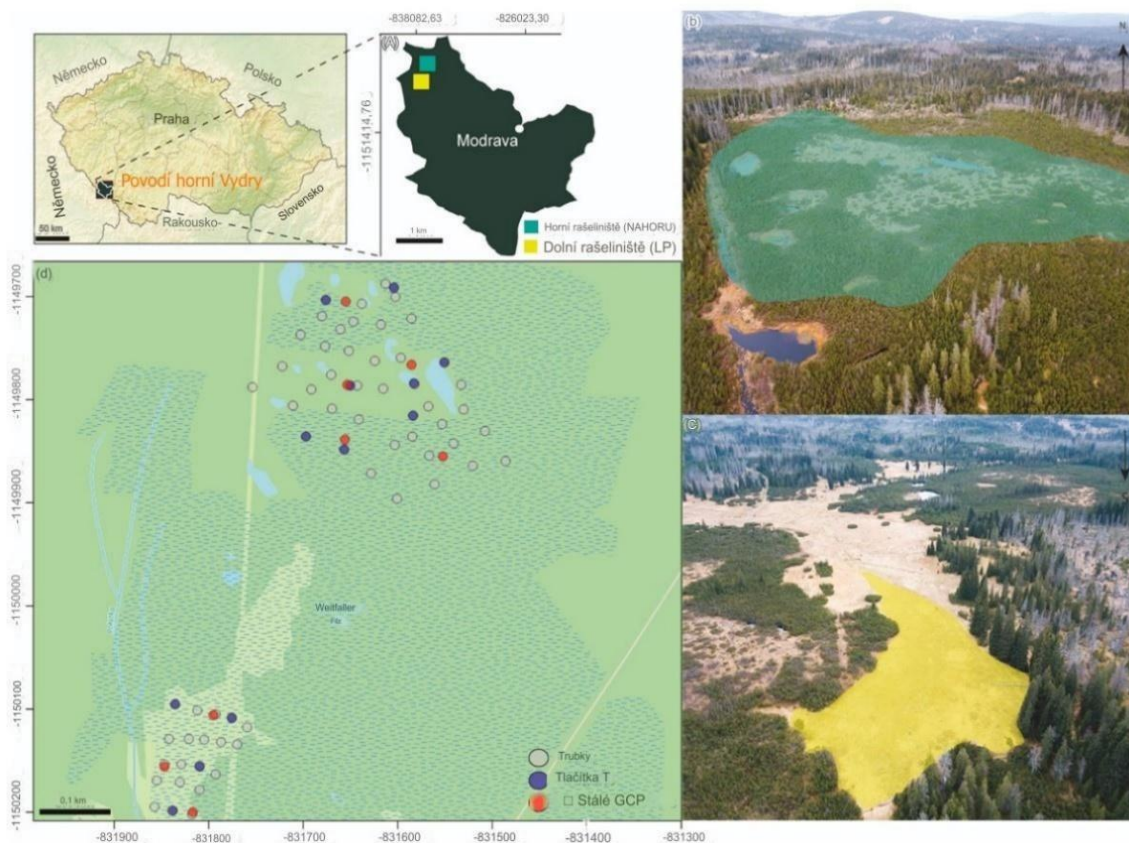
Využití dat z UAV v rozsahu RGB k monitorování pokrytí zemského povrchu v blízkosti rybníka Baroch (poblíž města Pardubice) je popsáno ve studii Jecha et al. (2022). Oblast v okolí rybníka Baroch je velmi specifická a vyžaduje rozlišení různých pokryvů, protože se jedná o malý rybník doprovázený několika menšími jezírky a propojovacími kanály, který je obklopen loukami (často zavlažovanými), rákosím, keři a několika stromy. Při této studii byl využit dron DJI Mavic 2 DUAL ENTERPRISE s RGB kamerou.

3.11.4 Použití UAV k detekci změn břehů; případová studie - rybník Pohranov

Cílem studie je využití UAV s RGB kamerou na detekování změn v okolí malých vodních ploch. Pro tuto studii byla použita hexakoptéra Tarot 690, ve čtyřech termínech od července do listopadu 201. Letová výška dronu byla nastavena na 80 m. Výsledkem bylo ověření tohoto postupu v praxi a doporučení pro další výzkum týkající se kvality vody (Čermáková et al. 2016).

3.11.5 Mapování hladiny podzemní vody a vlhkosti půdy v horském rašeliništi pomocí UAV a strojového učení

V této studii během dvou sezón byla sbírána data o hladině podzemní vody a vlhkosti půdy na dvou různých místech rašeliniště Rokytky na Šumavě (viz Obrázek 12).



Obrázek 12 Mapa zkoumané oblasti Rokytky na Šumavě (https://www.mdpi.com/remotesensing/remotesensing-13-00907/article_deploy/html/images/remotesensing-13-00907-g001.png)

V této studii bylo testováno, jak přesně lze odhadnout výšku hladiny podzemní vody a vlhkost půdy v rašeliništi pomocí map získaných z UAV s vysokým rozlišením a dalších zdrojů. K tomu byly využity modely predikce strojového učení na základě algoritmu náhodného lesa (Random Forest). Jako vstupní data byly použity různé spektrální indexy z RGB a multispektrálních dat spolu s informacemi o teplotě půdy. Výsledkem zkoumání hladin podzemní vody a půdní vlhkosti byly mapy s velmi vysokým prostorovým rozlišením. Pro určení spolehlivosti predikcí byla mapována oblast použitelnosti těchto modelů. Výsledky naznačují, že datové sady z UAV jsou důležité pro předpovídání hladiny podzemní vody a půdní vlhkosti v rašeliništích. Pro tuto studii byly použity 2 drony; DJI Mavic Pro a MicroKopter ARF XL, které byly dále doplněny o kameru FLIR DUO R (kombinace vysokorychlostního radiometrického tepelného snímače, 4K barevnou kameru a kompletní sadu palubních snímačů) a kameru Tetracam μ -MCA Snap 6 (Lendzioch et al. 2021).

3.11.6 Identifikace malých vodních ploch pomocí satelitních snímků a UAV

Tato srovnávací studie porovnávala vhodnost dat z Landsatu 8, Sentinelu 2 a UAV pro identifikaci menších vodních ploch a jejich břehů poblíž Pardubic pomocí několika klasifikačních metod. Data ze Sentinelu 2 získaná pomocí metody Iso Cluster poskytla nejlepší

výsledky, následovaná metodou NDWI (Normalizovaný rozdílový index vody). Část jednoho rybníka byla zaznamenána pomocí UAV ve viditelné části spektra, aby bylo možné získat podrobnější data. Pro snímání dat byl použit dron DJI Phantom 3 Pro vybavený DJI kamerou, takže byla k dispozici pouze data ve viditelném spektru vlnových délek (Komarkova et al. 2018).

3.11.7 Stanovení zásobních kapacit vodních nádrží a sledování množství a dynamiky sedimentů

Problém sedimentů a erozní činnosti je v České republice aktuální. Eroze je definována jako proces rozrušování půdního povrchu a transportu půdních částic vlivem vody, větru nebo sněhu. Vodní eroze je hlavním zdrojem znečištění povrchových vod, přispívá k eutrofizaci a snižuje kapacitu vodních toků. K měření hloubek vody a identifikaci sedimentů je možno použít speciální plavidla jako Valentýna II a systém PARASOUND. Akustický průtokoměr ADCP zaznamenává rychlosti proudu v různých hloubkách vodního sloupce (Janeček 2007; Novák 2017).

3.11.7.1 Rozdělení sonarů

- **Jednopaprscitý sonar:** Základní variantou sonaru je jednopaprscitý typ, který využívá jediný paprsek ve tvaru kužele s úhlem záběru od 10 do 30°. Čím je tento úhel větší, tím více dna je snímáno. Převodník je vybírán podle hloubky vody, s širším záběrem pro mělké vody a užším pro hlubší. Nevýhodou je, že nedokáže zobrazit oblasti pod mezi rozlišitelnosti.
- **Mnohopaprscitý sonar:** Tento typ sonaru umožňuje mapovat více lokalit najednou. Vytváří bodový pás kolmý na směr pohybu plavidla, nazývaný "pokos", s maximálním úhlem záběru dna až 120°. Je dražší než jednopaprscitý typ, ale zkracuje operační dobu, což je výhodné při zkoumání hlubokých oceánských oblastí.
- **Boční sonar:** Tento typ sonaru odhaluje informace o složení dna na základě síly odrazu zvukových pulzů. Společně s mnohopaprscitým sonarem poskytuje dobrý přehled o tvaru a složení oceánského dna.
- **Výložníkový systém:** Speciální plavidlo sloužící pro batymetrická měření, vyhledávání překážek na vodních cestách a kontrolu hloubek vodních toků. Je vybaven globálním polohovým systémem (GPS) pro určení polohy.
- **Parasound - Sub-bottom profiling:** Moderní metoda měření mocnosti sedimentu na základě síly odrazu zvukového paprsku, využívaná zejména v příbřežních zónách a při geotechnických průzkumech.
- **Acoustic Doppler current profiler (ADCP):** Nástroj k měření rychlosti vody v celém vodním sloupci na základě Dopplerova jevu pro zvukové vlny rozptýlené částicemi ve vodním sloupci. Může být instalován na mořském dně nebo na plovoucím zařízení (Cervenka & de Moustier 1994; Instruments 2000; Brisson et al. 2014).

3.11.7.2 Testování zařízení RiverSurveyor M9 v ČR

RiverSurveyor M9 od firmy SonTek je robustní systém ADCP určený pro měření říčního průtoku, rychlosti proudění vody a hloubky z pohybujícího se nebo stálého plavidla. Přístroj umožňuje měření hloubek v rozsahu od 0,2 m do 80 m. RiverSurveyorM9 se skládá z devíti-paprskového těla s procesní elektronikou, kompasem, náklonovým čidlem, teplotním čidlem, 8

GB vnitřní paměti a různými čidly pro měření hloubek různých frekvencí. Napájecí a komunikační modul zpracovává GPS signál, bluetooth signál a má rádiovou anténu pro zlepšení polohové přesnosti. Součástí je referenční RTK stanice, která slouží k zpřesňování polohy měřicího zařízení pomocí GPS signálů. Zařízení lze ovládat pomocí PC s nainstalovaným softwarem RiverSurveyor Live nebo pomocí chytrého telefonu/tabletu s odpovídajícím softwarem. Pro sběr dat je nutné zařízení připevnit k nosnému plavidlu, které musí být konstruováno tak, aby splňovalo potřeby měření. Mezi testovaná nosná plavidla patřila Hydroboard I/II tažený za motorizovaným člunem, trimaran na dálkové ovládnání a speciálně upravený kajak. Každé plavidlo mělo své výhody a nevýhody v závislosti na konkrétním použití. Výsledky testování RiverSurveyor M9 naznačily jeho schopnost přesného měření v různých podmínkách a prostředích, což potvrzuje jeho použitelnost pro sběr batymetrických dat (Hradílek 2017; Novák 2017).

3.12 Seznam studií monitorujících vodní plochy a kvalitu vody s použitím UAV – Evropská unie

3.12.1 Monitorování kvality vody pomocí UAV s multispektrální kamerou

Studie prováděná v pobřežních vodách Malty je zaměřena na zdroje znečištění, jako jsou čistírny odpadních vod a zařízení na odsolování vody reverzní osmózou. Studie využila různé technologie, včetně satelitních snímků Sentinel-2A a Sentinel 2B a průzkumů UAV s multispektrální kamerou. Studie se zaměřila na severovýchodní část Malty, zejména poblíž Čumnije a Čirkewwe (viz Obrázek 13). Pro letecké snímání byl použit dron DJI Matrice 600 Pro vybavený multispektrální kamerou MicaSense RedEdge-MX (Román et al. 2022).



Obrázek 13 Mapa zobrazující tři ostrovy, které tvoří souostroví Maltských ostrovů: Malta, Gozo a Comino (Román et al. 2022)

3.12.2 Hodnocení kvality vody v blízkosti pobřeží a na moři pomocí multispektrálních snímků UAV

Tato studie byla zaměřena na potřebu monitorovat kvalitu vody v pobřežních oblastech kvůli důsledku rostoucí populace a souvisejícím rozvojem pobřežních oblastí. Studie shromáždila jak družicová data, tak multispektrální snímky ze tří evropských regionů. Dvě oblasti se nacházejí na jihu Anglie, zahrnující tři blízké pobřežní lokality poblíž Southamptonu a čtyři mimo pobřežní lokality u pobřeží Plymouthu. Třetí oblast se nachází ve Francii, v západní Bretani, a zahrnuje tři blízké pobřežní lokality kolem Brestu. Byl použit dron DJI Phantom 3 PRO, který byl vybaven multispektrálním sensorovým systémem vyvinutým společností Sentera. Studie neuvádí přesný model kamery, ale v tuto dobu vyrábí Sentera jenom 3 modely multispektrálních kamer Sentera Single Sensor, Double 4K a 6X Sensor (McEliece et al. 2020).

3.12.3 UAV pro mapování kvality vody ve vnitrozemských, přechodných a pobřežních vodách - Zpracování a ověření dat MapEO Water

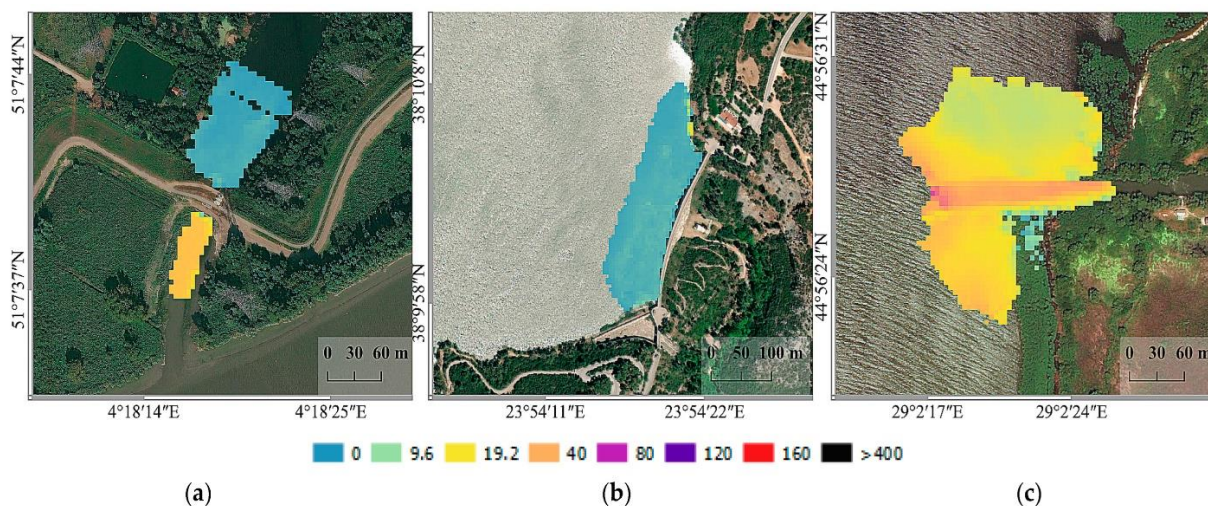
Tato studie byla zaměřena na pozorování vodních hladin na základě odrazivosti vody včetně určení kvalitativních charakteristik jako je zákal a množství chlorofylu. MapEO water je systém na zpracování komplexních dat, podporuje běžné typy kamer a provádí geometrickou a radiometrickou korekci a následnou konverzi pro získání potřebných výstupů charakterizujících kvalitu vody. Tato studie představuje výsledky odrazivosti vody, zákalu a koncentrace Chlorofylu-a na 5 studijních evropských lokalitách (viz Obrázek 14). Balaton v Maďarsku, Severní moře u Belgie, Rupelmondský potok v Belgii, deltu Dunaje a Řeckou zásobní nádrž Marathon.



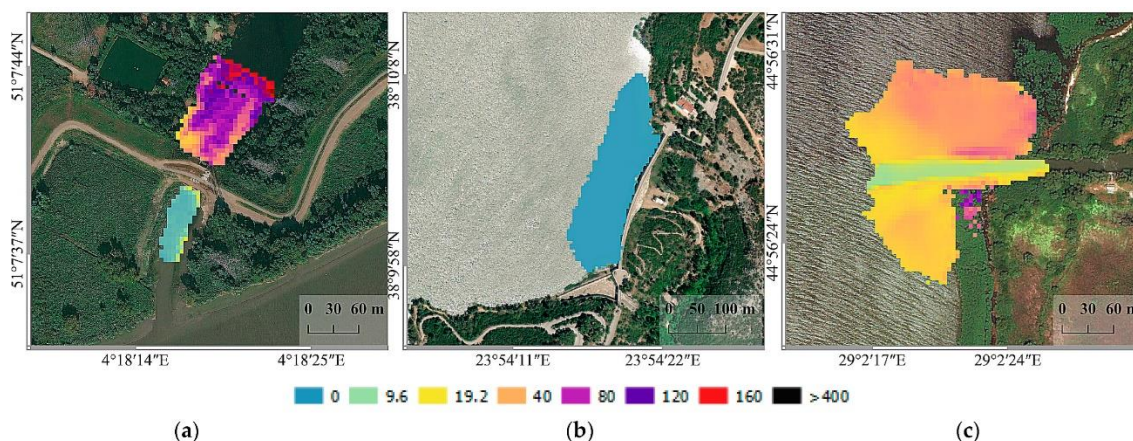
Obrázek 14 Zkoumané vodní plochy evropské studie De Keukelaere et al. (2023)

https://www.mdpi.com/remotesensing/remotesensing-15-01345/article_deploy/html/images/remotesensing-15-01345-g001.png

Pro přelety byl využit dron DJI Phantom 4 Pro, který využíval 3 kamery: standardní RGB kameru DJI PH4, multispektrální kamery MicaSense RedEdge-M a MicaSense Dual. Data z dronu byla zpracována pomocí MapEO Water. Ukázky odvozených map zakalitelnosti a koncentrací chlorofylu-a pro 3 testované lokality jsou uvedeny níže (viz Obrázek 15 a Obrázek 16) (De Keukelaere et al. 2023).

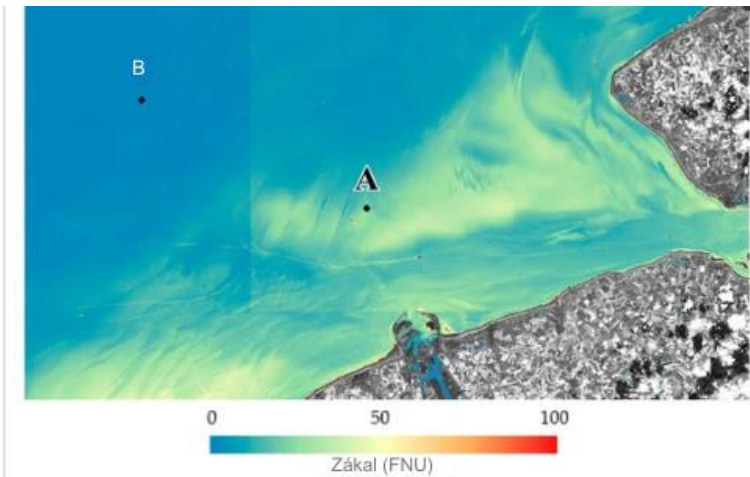


Obrázek 15 Ukázky vytvořených mozaikovaných map zakalitelnosti. Je použito logaritmické škálování barev s jednotkami vyjádřenými v FNU. (a) Rupelmondse Creek; (b) Jezero Marathon; (c) Delta Dunaje. (https://www.mdpi.com/remotesensing/remotesensing-15-01345/article_deploy/html/images/remotesensing-15-01345-g006.png)

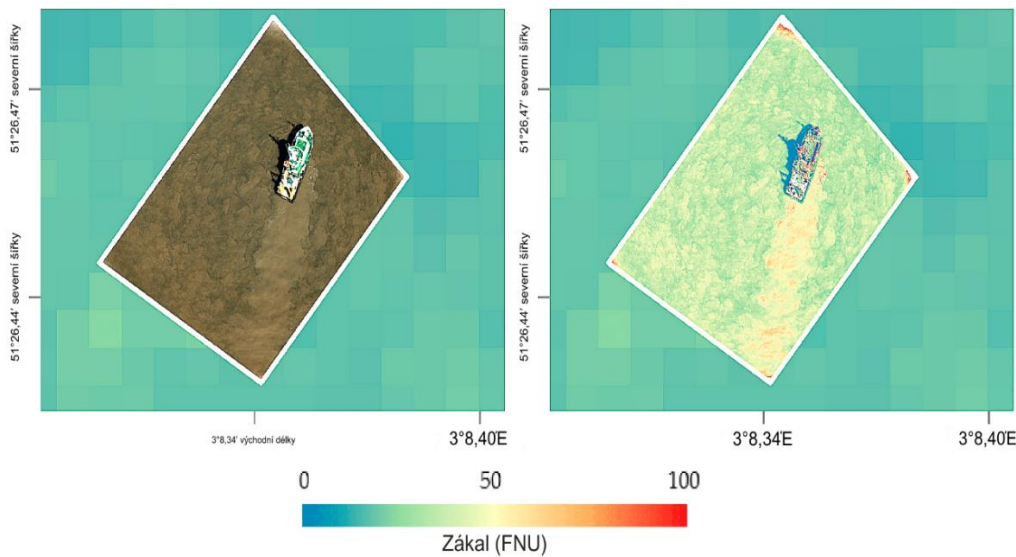


Obrázek 16 Ukázky vytvořených mozaikovaných map chlorofylu-a. Je použito logaritmické škálování barev s jednotkami vyjádřenými v $\mu\text{g/L}$. (a) Rupelmondse Creek; (b) Jezero Marathon; (c) Delta Dunaje. (https://www.mdpi.com/remotesensing/remotesensing-15-01345/article_deploy/html/images/remotesensing-15-01345-g007-550.jpg)

V druhé části studie byla porovnána data zakalitelnosti vody pomocí dat ze satelitu Sentinel-2 a dronu DJI Phantom 4 pro (viz Obrázek 17 a Obrázek 18). Srovnání mezi kvalitou snímku z dronu a satelitu Sentinel-2 je uvedeno Obrázek 18. Bylo zde jasně prokázáno, že pro zjišťování přesných a kvalitních snímků pro menší plochu je vhodnější využití UAV (De Keukelaere et al. 2023).

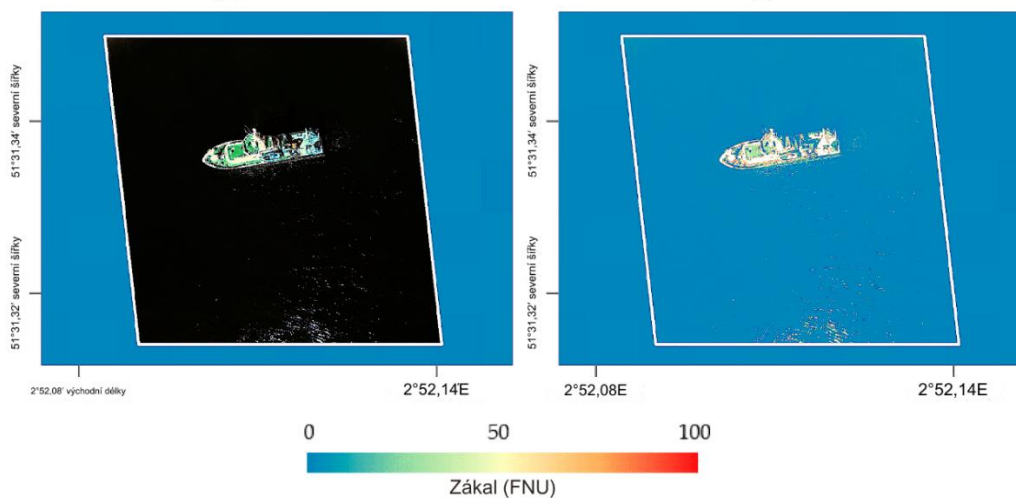


Obrázek 17 Zakalení vody z družice Sentinel-2 dne 13. dubna 2021 v 10:59 UTC. Dvě lokality, kde byly provedeny přelety dronu jsou označeny jako A a B. (https://www.mdpi.com/remotesensing/remotesensing-15-01345/article_deploy/html/images/remotesensing-15-01345-g008-550.jpg)



(A)

(b)



(C)

(d)

Obrázek 18 Zákal pro obě lokality. Jako pozadí slouží zakalitelnost odvozená ze Sentinel-2. na obrázcích můžeme vidět rozdíl mezi kvalitou dat ze Sentinelu 2 a dronu (https://www.mdpi.com/remotesensing/remotesensing-15-01345/article_deploy/html/images/remotesensing-15-01345-g009b-550.jpg)

3.12.4 Batymetrická pozorování vnitrozemských vodních ploch pomocí sonaru ovládaného UAV

Studie Bandini et al. (2018) byla zaměřena na hodnocení nového přístupu k získání přesných batymetrických map. Byly měřeny přesné hloubky vody pomocí připojeného plovoucího sonaru ovládaného UAV na třech lokalitách v Dánsku, na jezeře Furesø a ve dvou různých řekách Kavslunde Å a Marrebæk. Prezentovaná metoda kombinuje výhody dálkového snímání s potenciálem batymetrických sonarů. Průzkumy UAV lze provádět také v neplavitelných, nepřístupných nebo odlehlých vodních plochách. Připojený sonar může měřit batymetrii s přesností přibližně 2,1 % skutečné hloubky pro pozorování až do 35 m, aniž by byl významně ovlivněn zakalováním vody, tvarem dna nebo materiálem dna. UAV pro tuto studii byla průmyslová hexakoptéra DJI Spreading Wings S900 vybavený řídicím systémem DJI A-2 (viz Obrázek 19).

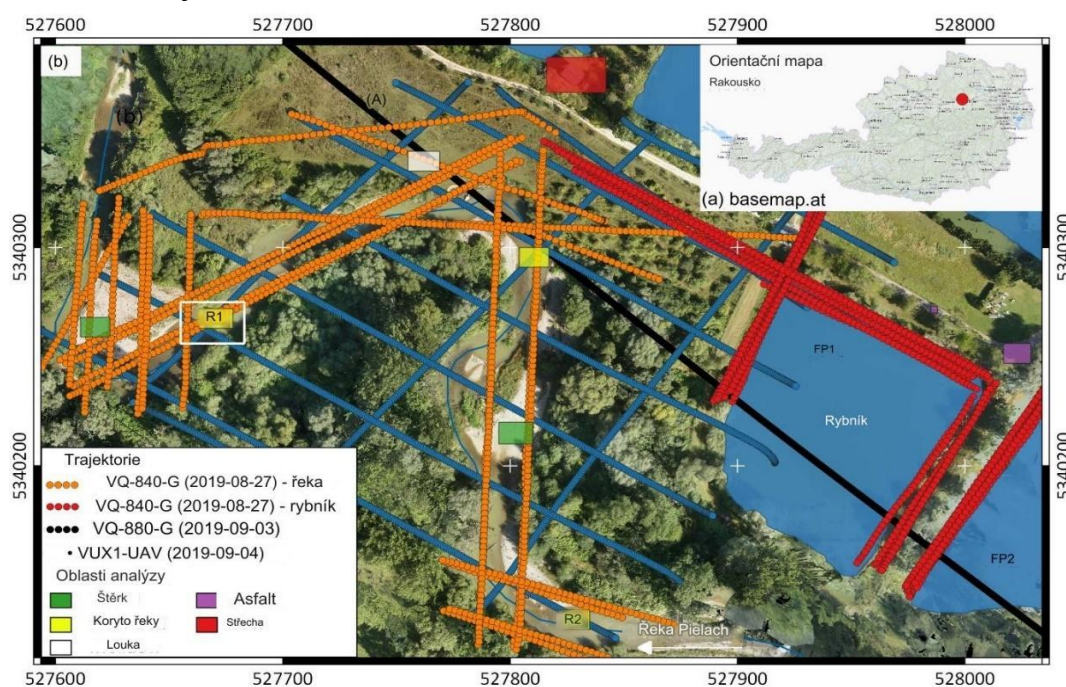


Obrázek 19 Hexakoptéra DJI Spreading Wings S900 vybavený Deeper Smart Sensor PRO+ vyrobený společností Deeper. (<https://hess.copernicus.org/articles/22/4165/2018/hess-22-4165-2018-f01-web.png>)

Tato studie ukazuje, jak mohou být hloubky vody získávány pomocí kotveného sonaru ovládaného UAV. Přesnost měřených hloubek vody není významně ovlivněna strukturou dna a zákalem vody, pokud je zvukový signál správně zpracován. Nicméně, ponořená vegetace a měkké sedimenty mohou ovlivnit pozorování sonaru. Pozorování byla získána pro hloubky vody od 0,5 do 35 m. Přesnost může být vylepšena o 2,1- 3,8 % po úpravě pozorovacího zobrazení, které lze identifikovat získáním reprezentativního vzorku skutečného terénu. Pozorovací zobrazení, které bylo pozorováno ve většině experimentů může být způsobeno závislostí rychlosti zvukové vlny na teplotě, salinitě a tlaku. Poměrně široký úhel světelného paprsku (15°) kotveného sonaru UAV implikuje hrubé prostorové rozlišení, zejména při velkých hloubkách vody, a omezuje detekci malých rozdílů v hloubce. Přesnost a maximální hloubka průzkumu dosažená v této studii překračuje ostatní techniky dálkového snímání a je srovnatelná s batymetrickými sonary přepravovanými manuálně nebo bezpilotními vodními plavidly (Bandini et al. 2018).

3.12.5 Koncept a hodnocení výkonu nového topo-batymetrického LiDAR senzoru neseného UAV

Ve studii Mandlbürger et al. (2020) je zkoumán nový typ lehkého topo-batymetrického laserového senzoru, který byl navržený pro použití na (UAV), lehkých letadlech a vrtulnicích. Instrument je zvláště vhodný pro zachycení batymetrie řeky, má vysoké prostorové rozlišení v důsledku nízké nominální letové výšky 50–150 m nad úrovní hladiny. To vede k průměrnému rozlišení laserového snímání na zemi typicky v rozmezí 10–30 centimetrů a vysoké frekvenci až 200 kHz, což má za následek hustotu snímaných dat na zemi přibližně 20–50 na metr². Senzor byl otestován v reálném prostředí pomocí sběru dat na dvou sladkovodních rybnících a na úseku řeky o délce 500 m (řeka Pielach v předalpské oblasti Pielach). Mapa přeletů nad zkoumanou oblastí je uvedena níže (Obrázek 20).



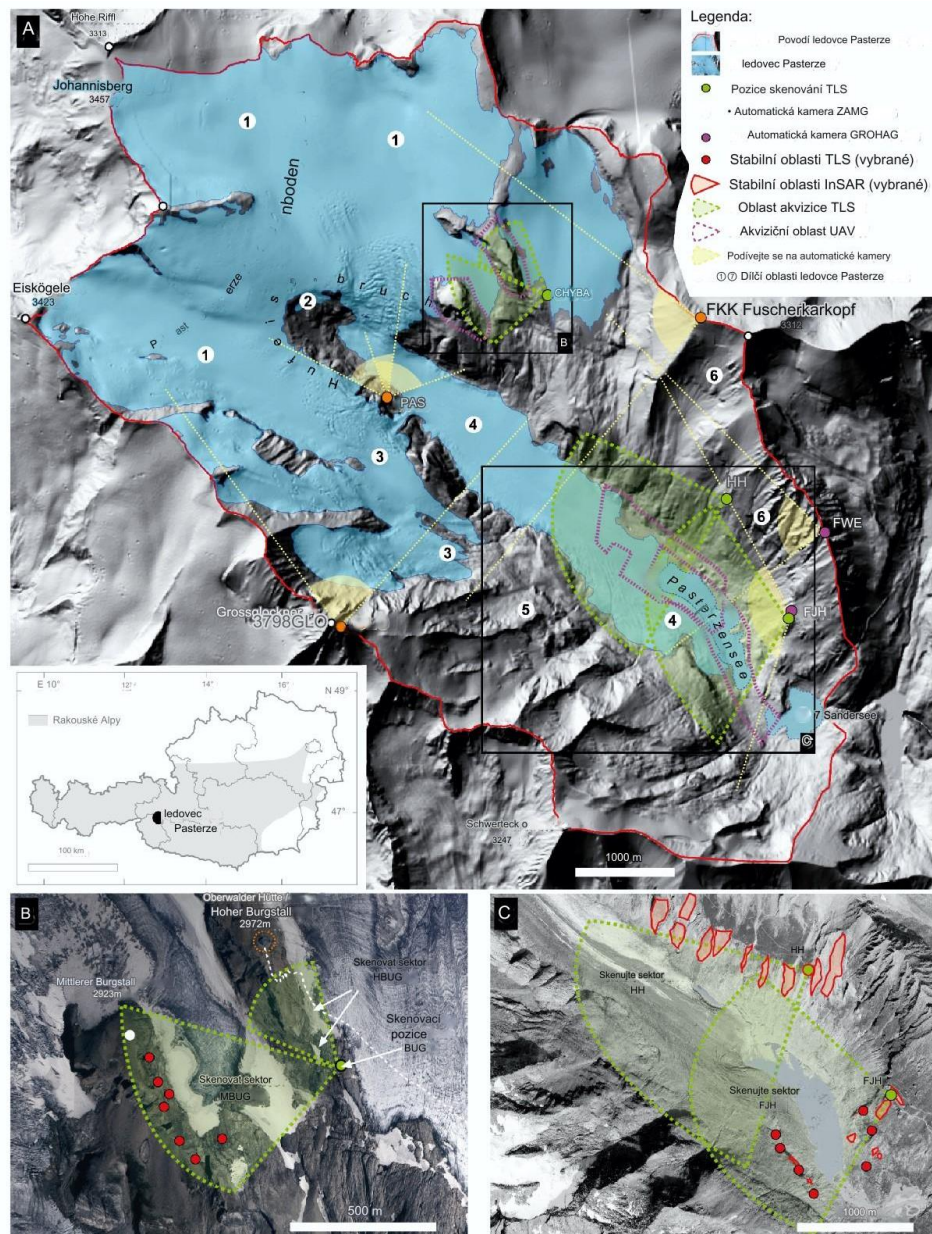
Obrázek 20 Mapa přeletu dronů nad zkoumanou oblastí; převzato z (https://pub.mdpi-res.com/remotesensing/remotesensing-12-00986/article_deploy/html/images/remotesensing-12-00986-ag.png?1585014997)

Díky k vysokému prostorovému rozlišení, dobré hloubkové výkonnosti a přesnosti prokazuje senzor vysoký potenciál pro aplikace v hydrologii, fluvialní morfologii a hydraulickém inženýrství, včetně simulace povodní, modelování přenosu sedimentů a mapování habitatů. Pro studii byl použit dron DJI Matrice 600, který byl vybaven senzory RIEGL VQ-840-G a tvoří tak plně integrovaný kompaktní letecký laserový skener pro kombinované topografické a batymetrické průzkumy. Přístroj může být vybaven integrovaným a továrně kalibrovaným senzorem STRALite edge o hmotnosti 5 kg (Mandlbürger et al. 2020).

3.12.6 Monitorování vysokohorského ledovce Pasterze, Rakousko

Studie Avian et al. (2020) popisuje časové změny ledovce Pasterze, který je jedním z prvních ledovců, které byly kontinuálně monitorovány v rámci ročních měření od roku 1893 a představuje tak nejdelší záznam měření jednoho ledovce. Vedle lineárních a bodových informací studie odhalila komplexnost ledovcového systému, potřebu měření s větším prostorovým významem, jako jsou prostorově dobře rozložená měření. Multi-spektrální

satelitní data byla použita ke kvantifikaci změn v rozsahu ledovců pomocí snímků z Landsat MSS (1976), Landsat TM (v letech 1984–1992), Landsat ETM+ (2000) a Ikonos (2000). Letecké snímky byly široce využívány k charakterizaci několika procesů a dopadů. Na hoře Mittlerer Burgstall byl kvantifikován první velký sesuv skal v roce 2007 a vyhodnocovány možné vztahy ke změně klimatu. Obrázek níže uvádějící studijní oblast zahrnuje maximální rozsah ledovce Pasterze z roku 1851 (viz Obrázek 21).



Obrázek 21 Studijní oblast ledovce Pasterze. (A) Povodí ledovce Pasterze s odpovídajícími kódy pro suboblasti ledovce Pasterze (1–7); umístění automatických kamer a pozic TLS skenování; akviziční oblasti pro TLS a UAV; a pohledové sektory automatických kamer. (B) Konfigurace TLS oblasti sesuvu skal na Burgstall (BUG). Červené body označují stabilní oblasti pro posouzení kvality TLS. (C) Situace na konci ledovce Pasterze a předledovcové oblasti. Konfigurace TLS na Franz-Josefs-Höhe (FJH) a Hofmanns Hütte (HH). Červené plochy označují stabilní oblasti pro posouzení kvality DInSAR, červené body stabilní oblasti pro posouzení kvality TLS. (Alian et al. (2020); www.mdpi.com/2072-4292/12/8/1251 Remote Sensing | Free Full-Text | The Status of Earth Observation Techniques in Monitoring High Mountain Environments at the Example of Pasterze Glacier, Austria: Data, Methods, Accuracies, Processes, and Scales; mdpi.com)

Od maximálního rozsahu v období klimatické anomálie označované jako Malá doba ledová je ledovec Pasterze na ústupu. Rychlost jeho ústupu se zvyšuje od 90. let 20. století. Ledovec Pasterze mezi lety 1852 a 2012 ztratil 37 % své plochy (snížení z 26,5 na 16,6 km²) a 63 % svého objemu (snížení z 3,10 na 1,16 km³). Ve studii byla použita data ze satelitů Sentinel-1A a 1B, Sentinel-2 a dronu DJI Phantom 4, který byl vybaven integrovaným fotoaparátem značky Sony (rozlišení 4000 × 3000 px) (Avian et al. 2020).

3.13 Legislativa upravující UAV

Na jednání Organizace spojených národů a Spojených států amerických byla dne 7. prosince 1944 odsouhlasena mezinárodní úmluva týkající se létání. Úmluvu podepsalo 52 národů, včetně tehdejšího Československa, které ji převzalo do svého platného právního systému zákonem č. 147/1947 Sb. O civilním letectví. Platnosti nabyla 4. dubna 1947 a v dnešní době je známá jako „Úmluva o mezinárodním civilním letectví“. Obsahuje celkem 96 článků, přičemž otázce bezpilotních prostředků je věnován článek 8 (Karas & Tichý 2016). Znění článku 8 je následující: *„Žádné letadlo, které jest způsobilé býti řízeno bez pilota, nesmí létat nad územím smluvního státu, leč se zvláštním zmocněním tohoto státu a v souhlase s podmínkami takového zmocnění. Každý smluvní stát se zavazuje zajistiti, aby let takových letadel bez pilota byl v oblastech přístupných civilním letadlům řízen tak, aby bylo vyloučeno nebezpečí pro civilní letadla“* (Dohoda č. 147/1947 Sb.).

Důležitou organizací je Mezinárodní organizace pro civilní letectví (ICAO) Jde o specializovanou agenturu Organizace spojených národů (OSN), která se zaměřuje na bezpečnost, efektivnost, udržitelnost a mezinárodní spolupráci v letectví prostřednictvím vývoje jednotných standardů a doporučení pro letectví. Organizace sídlí v Montrealu v Kanadě.

Hlavním úkolem ICAO je:

- Stanovení mezinárodních standardů a doporučení pro bezpečnost civilního letectví.
- Koordinace mezinárodního letectví a řízení leteckého provozu.
- Podpora udržitelného rozvoje civilního letectví.
- Poskytování technické pomoci a školení členským státům.
- Vydávání mezinárodních pravidel a norem pro navigaci, bezpečnost, lidské zdroje, ochranu životního prostředí a další oblasti související s civilním letectvím.

S narůstajícím využíváním dronů ve veřejných i komerčních oblastech se ICAO zabývá otázkami, jako je bezpečnost, regulace, provozní postupy a standardy pro bezpilotní letadla. Cílem je zajistit, aby provoz dronů byl bezpečný a řízený, aby minimalizoval rizika pro ostatní letecký provoz a veřejnost na zemi. ICAO spolupracuje s členskými státy a dalšími mezinárodními organizacemi na vytvoření globálních standardů a doporučení pro bezpilotní letadla, které by měly být dodržovány v rámci mezinárodního leteckého provozu (ICAO 2024).

3.13.1 Národní a evropská pravidla

Provozovatelé dronů musí podle nových pravidel zaregistrovat své drony v novém registru Úřadu pro civilní letectví (ÚCL). Registrace je povinná pro všechny, kteří provozují drony o hmotnosti nad 250 g nebo ty, s hmotností pod 250 g, pokud mají kameru nebo dopadovou energii nad 80 J. Registrace probíhá online a je zdarma. Jsou zavedeny tři kategorie provozu dronů: „Open – otevřená“, „Specific - specifická“ a „Certified - certifikovaná“. Každá kategorie podléhá odlišnému způsobu regulace a požadavkům na provozovatele.

V nejnižší, otevřené kategorii, může být dron provozován bez předchozího povolení ÚCL, pokud se provozovatel zaregistruje a dodržuje určená omezení. Střední, specifická kategorie umožní provoz těm, kteří potřebují překročit některá omezení otevřené kategorie. Pro let bude vyžadováno posouzení provozních rizik dronu a vydání povolení ÚCL. Provozní rizika jsou následující:

- Kolize s letadly: Drony mohou představovat riziko kolize s letadly, zejména v blízkosti letišť nebo v místech s intenzivní leteckou činností.
- Bezpečnost osob a majetku: Nebezpečí, že dron spadne nebo se s ním stane něco nepředvídatelného, může ohrozit lidi na zemi nebo poškodit majetek.
- Poruchy a selhání: Technické problémy s dronem, jako jsou selhání baterie nebo systému řízení letu, mohou vést k nekontrolovaným letům nebo pádům.
- Porušení soukromí: Drony mohou zasahovat do soukromí lidí, pokud jsou používány k neoprávněnému sledování nebo snímání (Úřad pro civilní letectví 2024).

Certifikovaná kategorie je zamýšlena spíše do budoucna pro pokročilé operace, jako je provoz nad shromážděními osobami nebo přeprava osob. Stávající omezení pro provoz dronů v ČR zůstanou zachována a jejich úprava bude probíhat postupně. Právo EU obsahuje i požadavky na technické parametry a vybavení dronů. Modeláři měli dvouleté přechodné období, během kterého mohli provozovat své modely letadel podle původních pravidel. Sjednocená mezinárodní pravidla umožní provoz dronů napříč všemi státy EU, s ohledem na dodatečné lokální podmínky (Statní správa 2020).

3.13.2 Změna v roce 2024

Nová pravidla pro létání s drony v ČR vstoupila v platnost od 1. ledna 2024 podle Zákona č. 49/1997 Sb. (Vyhláška č. 108/1997 Sb.), kterým podléhá provoz letadel a veškeré civilní využívání vzdušného prostoru. Tato vyhláška obsahuje následující klíčové změny:

- Upravuje maximální vzletové hmotnosti dronů podle jednotlivých kategorií.
- V rámci kategorie Open budou drony zařazeny do tříd C0 – C6.
- Výrobci budou povinni označit každý dron identifikačním štítkem podle jeho zařazení.
- Drony v kategoriích C5 a C6 budou moci využívat standardní scénář a provoz bude hlášen pouze na ÚCL.
- Všechny drony budou označeny certifikátem CE, který bude povinný pro všechny výrobce.
- Majitelé dronů budou stále povinni označit svůj dron identifikačním číslem, které obdrží při registraci. Pro pilotování bude stále vyžadován elektronický průkaz A1/A3, který lze získat po absolvování on-line zkoušky a registraci. Naopak se nemění, že majitelé dronů v podkategoriích provozu Open A2 a A3 musí mít už od 1. ledna 2023 platné pojištění odpovědnosti (letejtezodpovedne.cz 2024).

3.13.3 Otevřená kategorie (OPEN)

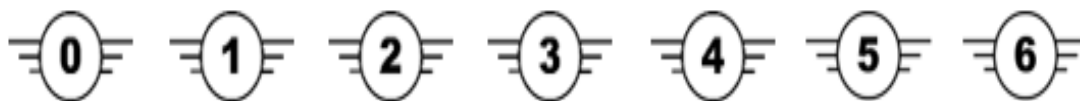
Otevřená kategorie označuje kategorii provozu bezpilotních systémů, kde není nutné získat předchozí povolení od příslušného úřadu ani podat prohlášení provozovatele UAV před samotným provozem, přičemž je zohledněno související riziko. V této chvíli není možné přelétávání osob, prostředků a staveb (nebo také chodníků, komunikací, ochranných pásem vedení, zvláště chráněného území apod.) bez koordinace s dotčenými osobami, resp. subjekty a bez přijetí odpovídajících bezpečnostních opatření ani v "otevřené" kategorii. Sice platí, že v podkategorii provozu A1 je přelétnutí osob nezapojených do provozu v zásadě možné ve vztahu

k osobám, ale současně platí, že by se pilot měl vyhnout přelétávání osob nezapojených do provozu, pokud je to možné. Obdobně se pak postupuje i ve vztahu k osobám v prostředcích nebo stavbách (viz Tabulka 6).

Tabulka 6 Podkategorie otevřené kategorie, MTOM je maximální vzletová hmotnost (Otevřená kategorie (OPEN) - Úřad pro civilní letectví (caa.cz), Drones with class identification label C0-C6 | EASA (europa.eu)

Podkategorie otevřené kategorie provozu	Štítek s označením třídy typu dronu
A1 Urbanistické oblasti, ale ne nad davy, nebo mimo urbanistické oblasti	Štítek s označením třídy C0,C1
	Soukromě zhotovený dron s MTOM < 250 g a rychlostí < 10m/s
	Dron bez štítku s označením třídy s MTOM<250g (do 31.12.2023)
	Dron bez štítku s označením třídy s MTOM< 250 g včetně paliva a užitečného zatížení (od 31.12. 2023)
A2 Urbanistické oblasti při udržování nejméně 30m (ve zvláštních případech až 5m)od lidí nebo mimo urbanistické oblasti	Štítek s označením třídy C2
	Dron bez štítku s označením s MTOM < 2kg (do 31.12.2023) minimální vzdálenost od osob je v tomto případě navýšena na 50 m
A3 Mimo urbanistické oblasti	Štítek s označením C2, C3, C4
	Soukromě zhotovený dron s MTOM < 25 kg
	Dron bez štítku s označením s MTOM < 25 kg (do 31.12.2023)
	Dron bez štítku s označením třídy s MTOM < 25 kg včetně paliva a užitečného zatížení uvedený na trh před 1.1 2024
	Štítek s označením C5, C6
	Drony musí mít MTOM < 25 kg Systém pro kontrolu nadmořské výšky dronu. Maximální horizontální rychlost 50 m/s. Funkci "návrat domů" v případě ztráty spojení. Ochranu proti neoprávněnému přístupu k ovládání dronu.

V ČR reálný provoz spadá do tzv. přechodového období, ve kterém je umožněn provoz stávajících bezpilotních systémů; ve vztahu k nim ovšem nelze z regulačního rámce vybírat provozní výhody techniky budoucí (zejména tříd C0 nebo C1), která ještě není na trhu. Drony musí mít přítomnost identifikačního štítku třídy na dronu jak je uvedeno na obrázku níže (Obrázek 22). Přítomnost štítku ale nezaručuje jeho shodu s nařízením (EU) 2019/945 pokud dron byl uveden na trh před rokem 2019. Ochranu trhu mají na starosti úřady pro dohled nad trhem, které mají zajistit, aby drony uváděné na trh se štítkem identifikujícím třídu splňovaly R945 (EASA 2024).



Obrázek 22 Štítky kategorie OPEN (Drones with class identification label C0-C6 | EASA (europa.eu))

3.13.4 Specifická kategorie (SPECIFIC)

Specifická kategorie definuje kategorii provozu bezpilotních systémů, kde je nutné předem získat povolení od příslušného úřadu před samotným provozem od Úřadu pro civilní letectví. Toto povolení se uděluje s ohledem na identifikovaná rizika a respektování opatření ke zmírnění těchto rizik, jak je uvedeno v posouzení provozního rizika.

V konkrétním časovém horizontu bude možnost provozu v souladu s předem stanovenými standardními scénáři provozu, kde bude postačovat prohlášení (deklarace) provozovatele. Nicméně aktuální nedostupnost UAV splňujících požadavky v těchto scénářích omezuje jejich využití.

Další výjimkou z uvedeného postupu bude situace, kdy provozovatel disponuje osvědčením provozovatele lehkého UAS (bepilotní letecký systém) s příslušnými právy. Protože využití tohoto institutu je omezeno na provozovatele se zkušenostmi s aplikací evropských postupů, neočekává se, že bude v počáteční fázi uplatňování společného evropského regulačního systému využíván (Boucher 2014).

3.13.5 Certifikovaná kategorie (CERTIFIED)

Certifikovaná kategorie představuje kategorii provozu bezpilotních systémů, kde je k zajištění odpovídající bezpečnosti vyžadována certifikace samotného bezpilotního systému, osvědčení o způsobilosti pilota a schválení provozovatele příslušným úřadem, s ohledem na související rizika (Laursen 2023).

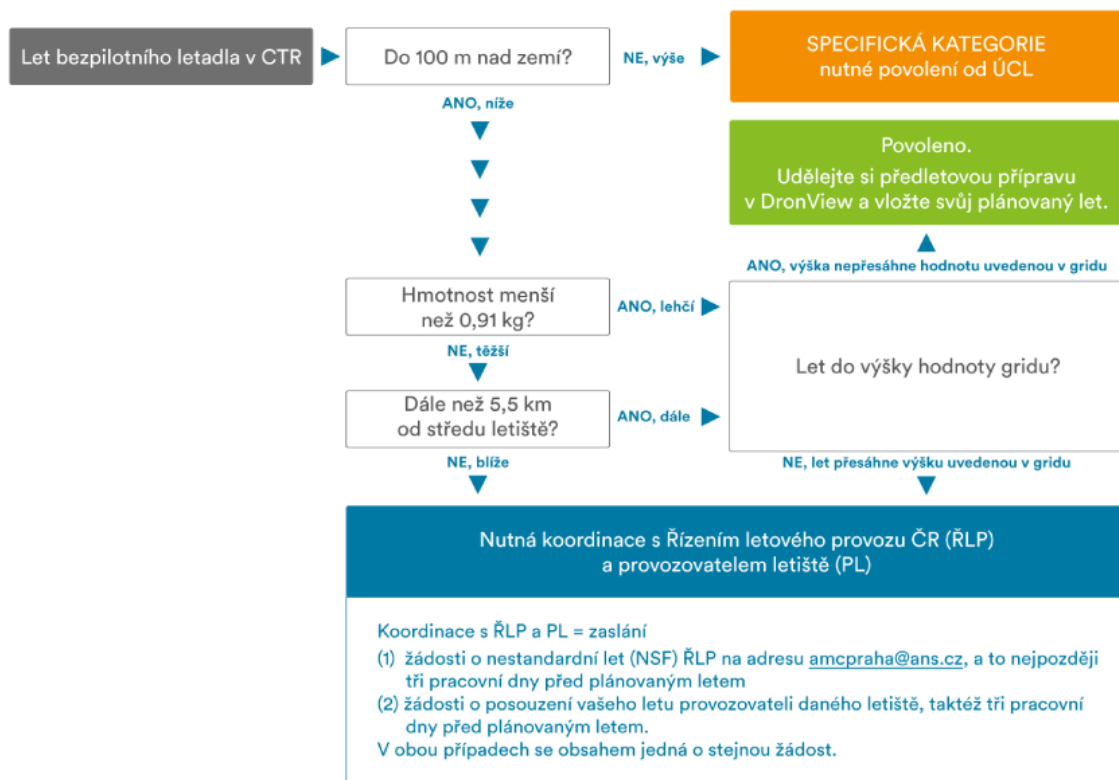
Společný evropský regulační rámec je zatím poměrně nový a bude nadále procházet dalším vývojem. Jinými slovy, to, co není možné dnes, může být možné zítra. Bepilotní letouny stále hledají své místo ve světě a postupně se zvyšuje i sociální akceptace jejich provozu. Regulační rámec se může vyvíjet i v opačném směru, aby lépe reagoval na zkušenosti a potřeby. Nekonfliktní způsob provozu rozhodně přispívá k postupnému zavádění bezpilotních letadel, což respektuje jak základní práva jednotlivců, tak primární účely infrastruktury (Úřad pro civilní letectví 2024).

3.13.6 Pravidla létání v blízkosti letišť

Pokud je třeba snímkovat lokality poblíž letišť nebo dokonce samotná letiště, je třeba brát v úvahu řadu omezení. Existují různé typy letišť, a pravidla pro létání s dronem se liší v závislosti na typu letiště nebo jeho okolí. Pro účely provozu UAV v blízkosti letišť se letiště rozdělují do 3 kategorií:

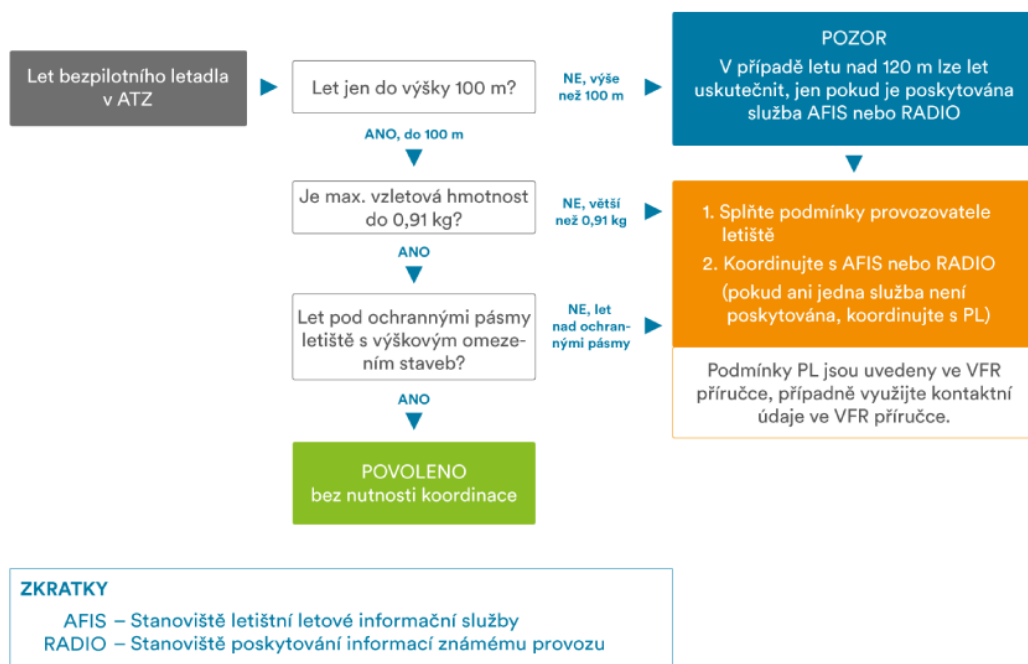
- **řízená letiště**, která poskytují službu řízení letového provozu a jsou umístěna v řízeném okrsku, nazývaném CTR (případně MCTR u vojenských letišť). Všechna tato řízená letiště jsou zobrazena v aplikaci DronView, která také obsahuje mapovou vrstvu GRID.

Tato vrstva se automaticky zobrazuje při spuštění aplikace a graficky představuje ochranná pásma s výškovými omezeními staveb v dané lokalitě v rámci řízeného okrsku. Podmínky, které jsou potřeba pro let jsou vyobrazena na obrázku níže (Obrázek 23) (letejtezodpovedne.cz 2024).



Obrázek 23 Podmínky pro let poblíž řízeného letiště (https://letejtezodpovedne.cz/content/img/clanky/podminky_GRID.png)

- **neřízená letiště** - na letištích bez klasického řízení letového provozu existuje letištní provozní zóna - ATZ (Aerodrome Traffic Zone), chrání místní letecký provoz. Často je zde služba AFIS nebo RADIO. Neřízená letiště a ATZ jsou v aplikaci DronView graficky znázorněna. Rozhodovací diagram pomáhá při plánování provozu dronu v blízkosti těchto letišť. ATZ má poloměr 5,5 km a dosahuje nadmořské výšky 1200 m. Některé ATZ mohou být upraveny podle potřeby, například pokud zasahují do jiného vzdušného prostoru. Podmínky jsou schématicky popsány na obrázku níže (Obrázek 24) (letejtezodpovedne.cz 2024).

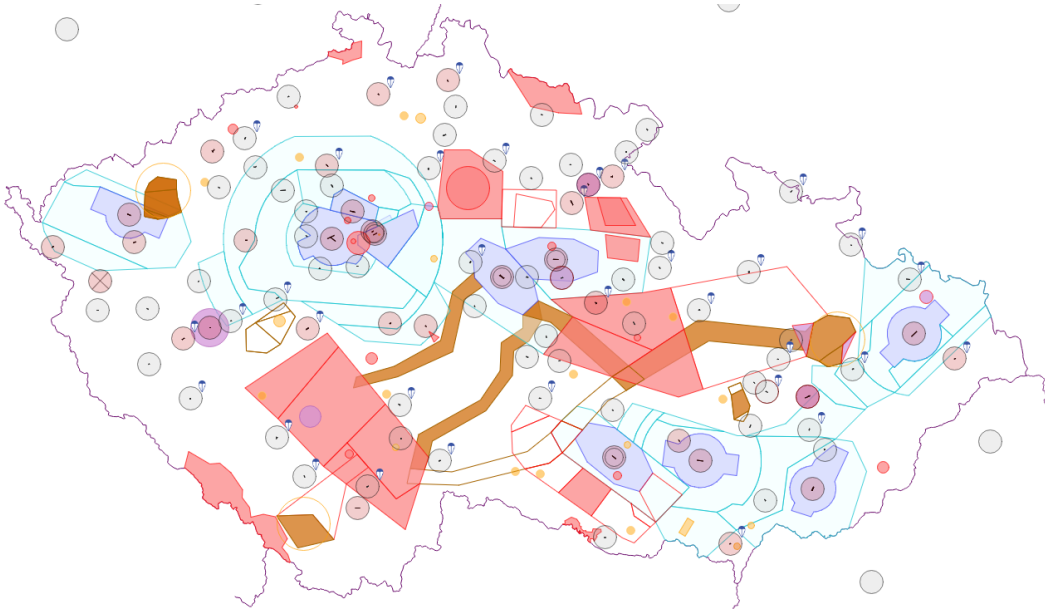


Obrázek 24 Podmínky pro let poblíž neřízeného letiště (Létejte zodpovědně; letejtezodpovedne.cz)

- **provozní plocha** pro sportovní létající zařízení (SLZ), u které se nejedná přímo o letiště v pravém slova smyslu, ale o plochu, která slouží pro vzlety a přistání SLZ (jako jsou např. ultralehká letadla či motorové závěsné kluzáky). Plochy SLZ jsou rozděleny na registrované a neregistrované, dále na veřejné a neveřejné (letejtezodpovedne.cz 2024).

3.13.7 Aplikace DronView

DronView je aplikace, která poskytuje uživatelům informace o regulovaných a neřízených oblastech pro provoz dronů. Umožňuje uživatelům plánovat bezpečné a legální lety dronů a poskytuje informace o vzdušném prostoru, včetně letišť, jejich provozních zón, a dalších omezeních. DronView může obsahovat také další užitečné informace pro piloty dronů, jako jsou povětrnostní podmínky a geografické mapy. Detailní zobrazení letových zón je zobrazeno na mapě (viz Obrázek 25) (letejtezodpovedne.cz 2024). Letové zóny mohou být také zobrazeny v aplikaci AisView, která je spravována Řízením letového provozu ČR.



Obrázek 25 Mapa letových zón pro drony (PVmodel.cz | Létání s drony)

4 Závěr

V této práci byla zkoumána problematika monitorování vodních zdrojů a ploch s využitím moderních technologií, konkrétně dálkového průzkumu Země pomocí satelitů a bezpilotních prostředků UAV. Dálkový průzkum Země pomocí satelitů poskytuje cenná data o vodních plochách a zdrojích, což umožňuje efektivní a systematické monitorování stavu vodních ekosystémů na celosvětové úrovni. Tyto informace jsou klíčové pro identifikaci znečištění vodních zdrojů, sledování změn vodních toků a dalších procesů spojených s vodními ekosystémy. Využití dronů přináší nové možnosti v oblasti monitorování vodních zdrojů na lokální úrovni. Drony umožňují získávat detailní a aktuální data z obtížně dostupných oblastí, což v mnoha případech tradičními metodami není možné. Drony mohou být vybaveny širokou škálou senzorů, včetně kamer a dalších specializovaných zařízení, které umožňují detekci nejenom přítomnosti vody, ale i jejich kvalitativních parametrů, jako je například znečištění či kvalita vody indikovaná přítomností chlorofylu.

V této práci jsou zkompileovány výsledky různých studií a výzkumů zabývajících se monitorováním vodních zdrojů a ploch. Tato kompilace poskytuje ucelený pohled na problematiku a identifikuje současné trendy a výzvy v oblasti monitoringu a ochrany vodních zdrojů. Samostatná kapitola je věnována legislativním otázkám spojeným s provozem dronů. Legislativa hraje klíčovou roli v regulaci a řízení provozu dronů, a je nezbytné dodržovat platné právní předpisy a postupy pro zajištění bezpečnosti a ochrany životního prostředí.

Kombinace dálkového průzkumu Země pomocí satelitů a dronů představuje výborný nástroj pro monitorování vodních zdrojů a ploch. Tato technologická zařízení a metody mají potenciál přispět k lepší ochraně životního prostředí a udržitelnému využívání vodních zdrojů pro budoucí generace. Velmi zajímavý je i výhled do budoucna, kdy se předpokládá větší zapojení autonomních dronů, případně jejich rojů nebo též autonomních kolaborujících robotických systémů.

5 Použitá literatura

- Attema EPW, Duchossois G, Kohlhammer G. 1998. ERS-1/2 SAR land applications: overview and main results. Pages 1796–1798 IGARSS'98. Sensing and Managing the Environment. 1998 IEEE International Geoscience and Remote Sensing. Symposium Proceedings.(Cat. No. 98CH36174). IEEE.
- Avian M, Bauer C, Schlögl M, Widhalm B, Gutjahr K-H, Paster M, Hauer C, Frießenbichler M, Neureiter A, Weyss G. 2020. The status of earth observation techniques in monitoring high mountain environments at the example of pasterze glacier, Austria: Data, methods, accuracies, processes, and scales. *Remote Sensing* 12:1251. MDPI.
- Bandini F, Olesen D, Jakobsen J, Kittel CMM, Wang S, Garcia M, Bauer-Gottwein P. 2018. Bathymetry observations of inland water bodies using a tethered single-beam sonar controlled by an unmanned aerial vehicle. *Hydrology and Earth System Sciences* 22:4165–4181. Copernicus Publications Göttingen, Germany.
- Borengasser M, Hungate WS, Watkins R. 2007. *Hyperspectral remote sensing: principles and applications*. CRC press.
- Boucher P. 2014. *Civil Drones in Society*. European Commission, JRC Science and Policy Reports:9.
- Brisson LN, Wolfe DA, Staley M. 2014. Interferometric swath bathymetry for large scale shallow water hydrographic surveys. Pages 1–18 Canadian Hydrographic Conference. Canadian Hydrographic Association St. John's, NL, Canada..
- Cervenka P, de Moustier C. 1994. Postprocessing and corrections of bathymetry derived from sidescan sonar systems: Application with SeaMARC II. *IEEE Journal of Oceanic Engineering* 19:619–629. IEEE.
- Čermáková I, Komárková J, Sedlák P. 2016. Using UAV to detect shoreline changes: case study—Pohranov Pond, Czech Republic. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 41:803–808. Copernicus GmbH.
- De Keukelaere L, Moelans R, Knaeps E, Sterckx S, Reusen I, De Munck D, Simis SGH, Constantinescu AM, Scrieciu A, Katsouras G. 2023. Airborne drones for water quality mapping in inland, transitional and coastal waters—MapEO water data processing and validation. *Remote Sensing* 15:1345. MDPI.
- Dobrovolný P. 1998. *Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu*. Masarykova univerzita.
- Dohoda č. 147/1947. 1947. Dohoda č. 147/1947 Sb. Úmluva o mezinárodním civilním letectví. Page *Zákony pro lidi – Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění*. Chicago. Available from <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1947-147> (accessed February 10, 2024).
- Domien Van Eynde. 2024, *Multispectral Imaging: What is it used for?*
- Donlon C et al. 2012. The Global Monitoring for Environment and Security (GMES) Sentinel-3 mission. *Remote Sensing of Environment* 120:37–57. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712000685>.
- Drusch M et al. 2012. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment* 120:25–36. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712000636>.
- Dubock PA, Spoto F, Simpson J, Spencer D, Schutte E, Sontag H. 2001. The Envisat satellite and its integration. *ESA bulletin* 106:26–45.
- Duchossois G, Kohlhammer G. 1998. ERS-1/2 SAR land applications: overview and main results. Pages 1796–1798 IGARSS'98. Sensing and Managing the Environment. 1998 IEEE International Geoscience and Remote Sensing. Symposium Proceedings.(Cat. No. 98CH36174). IEEE.

- Edwards PG, Berutti B, Blythe P, Callies J, Carlier S, Fransen C, Krutsch R, Lefebvre A-R, Loiselet M, Stricker N. 2006. The MetOp satellite-Weather information from polar orbit. *ESA bulletin* 127:8–17.
- Elijah T, Jamisola RS, Tjiparuro Z, Namoshe M. 2021. A review on control and maneuvering of cooperative fixed-wing drones. *International Journal of Dynamics and Control* 9:1332–1349. Springer.
- ESA. 2024. ERS-2 reentry – how and why is it happening? Available from https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2024/02/ERS-2_reentry_how_and_why_is_it_happening (accessed February 20, 2024).
- ESA. 2024. SPOT. Available from <https://earth.esa.int/eogateway/missions/spot> (accessed April 26, 2024).
- ESA. 2024. ERS-2 reentry – how and why is it happening? Available from https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2024/02/ERS-2_reentry_how_and_why_is_it_happening (accessed February 20, 2024).
- EUMETSAT. 2024. MTG satellites in orbit Meteosat Third Generation.
- European Environment Agency. 2021. Zajištění čisté vody pro lidi a přírodu. Available from <https://www.eea.europa.eu/cs/signaly/signaly-2020/articles/zajisteni-ciste-vody-pro-lidi> (accessed April 26, 2024).
- European Space Agency. 2018. About MetOp. Available from <https://earth.esa.int/eogateway/missions/metop> (accessed March 4, 2024).
- European Space Agency. 2021. Sentinel-5P. Available from https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P (accessed March 4, 2024).
- European Space Agency. 2023. Earth observing missions. European Space Agency. Available from https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Earth_observing_missions (accessed February 18, 2024).
- Freeze RA, Harlan RL. 1969. Blueprint for a physically-based, digitally-simulated hydrologic response model. *Journal of hydrology* 9:237–258. Elsevier.
- Gunter's Space Page. 2024. ERS 1, 2. Available from https://space.skyrocket.de/doc_sdat/ers-1.htm#citation (accessed February 20, 2024).
- Hamlington BD, Frederikse T, Nerem RS, Fasullo JT, Adhikari S. 2020. Investigating the acceleration of regional sea level rise during the satellite altimeter era. *Geophysical Research Letters* 47:e2019GL086528. Wiley Online Library.
- Hradílek V. 2017. Technologie připevnění a stabilizace měřicí aparatury RiverSurveyor M9 na kajaku za účelem měření batymetrie malých vodních nádrží: ověřená technologie. VÚMOP, v.v.i., Praha.
- Chaudhry FN, Malik MF. 2017. Factors affecting water pollution: a review. *J. Ecosyst. Ecography* 7:225–231.
- ICAO. 2024. About ICAO. Available from <https://www.icao.int/Pages/default.aspx> (accessed April 22, 2024).
- Instruments LCS. 2000. Multibeam sonar theory of operation. East Walpole, MA.
- Janeček M. 2007. Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy.
- Jech J, Komarkova J, Sedlak P. 2022. Land Cover Change Detection Near Small Water Bodies Based on RGB Uav Data: Case Study of the Pond Baroch, Czech Republic. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 43:617–623. Copernicus GmbH.
- Kadlec K. 2014. Teoretické základy bezdotykového měření teploty (část 1). *Automa* 2:13–15.
- Karas J, Tichý T. 2016. Drony. Computer Press.

- Karas J. 2017. 222 tipů a triků pro drony. Computer Press.
- Kardasz P, Doskocz J. 2016. Drones and Possibilities of Their Using. *Journal of Civil & Environmental Engineering* 6.
- Khan MJ, Khan HS, Yousaf A, Khurshid K, Abbas A. 2018. Modern trends in hyperspectral image analysis: A review. *Ieee Access* 6:14118–14129. IEEE.
- Kolář J. 1990. Dálkový průzkum země. SNTL-Nakladatelství technické literatury.
- Kolář J, Pavelka K, Halounová L. 1997. Dálkový průzkum země 10. ČVUT.
- Kolář J. 2008. Informační služby s využitím pozorovacích družic: studie. Czech Space Office.
- Kolejka J. 2009. Družicové a letecké atlasy–netradiční nástroje poznávání změn Země.
- Komárková J, Čermáková I, Sedlák P, Jech J. 2019. Spectral enhancement of imagery for small inland water bodies monitoring: utilization of UAV-based data. *Journal of Information Systems Engineering & Management*, volume 4, issue: 4. Modestum.
- Komarkova J, Sedlak P, Pešek R, Čermáková I. 2018. Small water bodies identification by means of remote sensing. Page 7th International Conference on Cartography and GIS: proceedings vol. 1, 2. Bulgarian Cartographic Association.
- Kožín R, Hanel M, Kašpárek L, Peláková M, Vizina A, Tremel P. 2015. Možnosti zmírnění dopadů změny klimatu využitím území chráněných pro akumulaci povrchových vod. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* 57:11–16. Výzkumný ústav vodohospodářský TG Masaryka, veřejná výzkumná instituce.
- Laursen KH. 2023. Autonomous Service Drones for Safety-Compliant European Operations.
- Lendzioch T, Langhammer J, Vlček L, Minařík R. 2021. Mapping the groundwater level and soil moisture of a montane peat bog using uav monitoring and machine learning. *Remote Sensing* 13:907. MDPI.
- letejtezodpovedne.cz. 2024. Legislativa upravující provoz dronů
- Li Q, He X, Wang Y, Liu H, Xu D, Guo F. 2013. Review of spectral imaging technology in biomedical engineering: achievements and challenges. *Journal of biomedical optics* 18:100901. Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers
- Li Y, Liu C. 2019. Applications of multirotor drone technologies in construction management. *International Journal of Construction Management* 19:401–412. Taylor & Francis.
- Lieblová D, Matěja Z. 2016, May 11. Climate Change and the Threat of Water Scarcity in the Czech Republic. Available from <https://download.upce.cz/fes/vs/vs2016.pdf> (accessed December 12, 2023).
- Mandlbürger G, Pfennigbauer M, Schwarz R, Flöry S, Nussbaumer L. 2020. Concept and performance evaluation of a novel UAV-borne topo-bathymetric LiDAR sensor. *Remote Sensing* 12:986. MDPI.
- Mařašovská V, Kothan F, Ledvinka O, Pumann P, Fojtík T, Makovcová M, Bendakovská L. 2021. Využití metod dálkového průzkumu Země pro monitoring stavu koupacích míst. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* 63:37–45. Výzkumný ústav vodohospodářský TG Masaryka, veřejná výzkumná instituce.
- McEliece R, Hinz S, Guarini J-M, Coston-Guarini J. 2020. Evaluation of nearshore and offshore water quality assessment using UAV multispectral imagery. *Remote Sensing* 12:2258. MDPI.
- Meola C. 2012. Origin and theory of infrared thermography. *Infrared Thermography Recent Advances and Future Trends*:3–28. Bentham eBooks Sharjah, United Arab Emirates.
- Minařík P. 2016, February 23. Kvadrokoptéry vs. hexakoptéry vs. oktokoptéry: Pro a proti. Available from <http://www.droncentrum.cz/kvadrokoptery-vs-hexakoptery-vs-oktokoptery-pro-a-proti/> (accessed March 20, 2024).

- Ministerstvo životního prostředí. 2016, October 24. Nové barevné snímky ze Sentinelu 3A z programu Copernicus. Available from https://www.mzp.cz/cz/news_161024_Sentinel3_barevne_snimky (accessed February 18, 2024).
- Miranda N, Rosich B, Meadows PJ, Haria K, Small D, Schubert A, Lavallo M, Collard F, Johnsen H, Monti-Guarnieri A. 2013. The Envisat ASAR mission: A look back at 10 years of operation. ESA-SP:1–17. European Space Agency* Communication Department.
- Moss B. 2008. Water pollution by agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 363:659–666. Available from <https://royalsocietypublishing.org/doi/abs/10.1098/rstb.2007.2176>.
- Müllerová J, Brůna J, Bartaloš T, Dvořák P, Vítková M, Pyšek P. 2017. Timing Is Important: Unmanned Aircraft vs. Satellite Imagery in Plant Invasion Monitoring. *Frontiers in Plant Science* 8.
- NASA. 2024. Landsat History. *Landsat Science*. Available from <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/> (accessed April 19, 2024).
- National Snow and Ice Data Center. 2024. What is a glacier? Available from <https://nsidc.org/learn/parts-cryosphere/glaciers> (accessed March 1, 2024).
- Němec J, Hladný J, Blažek V (Eds). 2006. *Voda v České republice*. Consult, Praha.
- Novák P. 2017. Nové technologie batymetrie vodních toků a nádrží pro stanovení jejich zásobních kapacit a sledování množství a dynamiky sedimentů: certifikovaná metodika výsledků výzkumu, vývoje a inovací. VÚMOP, vvi.
- Nypl V, Synáčková M. 1998. *Zdravotně inženýrské stavby 30*. Skriptum ČVUT, Praha.
- Pech V. 2018. Návrh a konstrukce prototypu víceúčelového dronu. *Západočeská univerzita v Plzni*.
- Piotrowski P, Witkowski T, Piotrowski R. 2015. Unmanned Remote Controlled Flying Unit. *Pomiary Automatyka Robotyka* 215:49–55.
- Ramamoorthi AS. 1983. Snow-melt run-off studies using remote sensing data. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences Section C: Engineering Sciences* 6:279–286. Springer.
- Román A, Tovar-Sánchez A, Gauci A, Deidun A, Caballero I, Colica E, D'Amico S, Navarro G. 2022. Water-Quality Monitoring with a UAV-Mounted Multispectral Camera in Coastal Waters. *Remote Sensing* 15:237. MDPI.
- Rosendorf P, Ansorge L, Dostál T, Zahrádka V, Krása J, Beránek J. 2015. Metodika pro posuzování vlivů zdrojů znečištění na eutrofizaci vodních nádrží. Praha: VÚV TGM, vvi.
- Řeháček D, Huislová P, Khel T, Vopravil J, Srbek J, Havelková L., Vlček L. 2019, February 9. - Metodický postup a testování možností zvýšení retence půdního prostředí (závěrečná zpráva).
- Scienceclarified. 2024. The Hydrologic Cycle - How it works. Available from <https://nsidc.org/learn/parts-cryosphere/glaciers> (accessed March 4, 2024).
- Shi K, Zhang Y, Qin B, Zhou B. 2019. Remote sensing of cyanobacterial blooms in inland waters: present knowledge and future challenges. *Science Bulletin* 64:1540–1556. Elsevier.
- Schmetz J, Klaes D, König M, Holmlund K. 2007. Monitoring weather and climate with the Meteosat and Metop satellites. *Revista de Teledetección* 27:5–16.
- Sibanda M, Mutanga O, Chimonyo VGP, Clulow AD, Shoko C, Mazvimavi D, Dube T, Mabhaudhi T. 2021. Application of Drone Technologies in Surface Water Resources Monitoring and Assessment: A Systematic Review of Progress, Challenges, and Opportunities in the Global South. *Drones* 5:84.
- Siegmund A., Mend G. 2005. Spectral signatures of soil, vegetation and water.
- Someswar GM, Rao T, Chigurukota DR. 2013. Global navigation satellite systems and their applications. *International Journal of Software and Web Sciences* 3:17–23. Citeseer.
- Statní správa. 2020. Drony v ČR budou od příštího roku létat dle nových pravidel. Available from <https://www.statnisprava.cz> (accessed February 15, 2024).

- Šobr M. 2022. Vodní zdroje na našem území. *ziva.avcr.cz*:206–210.
- Torres R et al. 2012. GMES Sentinel-1 mission. *Remote Sensing of Environment* 120:9–24. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425712000600>.
- Tracton MS, McPherson RD. 1977. On the impact of radiometric sounding data upon operational numerical weather prediction at NMC. *Bulletin of the American Meteorological Society*:1201–1209. JSTOR.
- Troyanov V. 2023, Pollution. European Environment Agency. Available from <https://www.eea.europa.eu/en/topics/in-depth/pollution> (accessed April 15, 2024).
- Úřad pro civilní letectví. 2024. Otevřená kategorie (OPEN). Available from <https://www.caa.cz/provoz/bezpilotni-letadla/otevrena-kategorie-open/> (accessed February 4, 2024).
- Van Dijk A, Renzullo LJ. 2011. Water resource monitoring systems and the role of satellite observations. *Hydrology and Earth System Sciences* 15:39–55. Copernicus Publications Göttingen, Germany.
- Vidal M, Amigo JM. 2012. Pre-processing of hyperspectral images. Essential steps before image analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 117:138–148. Elsevier.
- Vláda České republiky. 2010. Evropský navigační systém Galileo. Available from <https://vlada.gov.cz/cz/media-centrum/aktualne/evropsky-navigacni-system-galileo-76610/> (accessed April 22, 2024).
- Vörösmarty CJ et al. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467:165–207.
- Vránková K. 2021, Lithiové baterie a požární bezpečnost. Available from <https://www.ecobat.cz/2021/09/16/lithiove-baterie-a-pozarni-bezpecnost/> (accessed April 19, 2024).
- Vyskoč P, Prchalová H, Mičaník T, Rosendorf P, Kristová A, Svobodová J. 2014. Postupy hodnocení významnosti zdrojů a cest emisí znečišťujících látek do vody. *VTEI* 56:2–6.
- vzdušín.cz. 2024. Návod na ovládání dronu krok za krokem – naučte se létat jako opravdoví experti. *vzdušín.cz*. Available from <https://www.vzdušin.cz/navod-na-ovladani-dronu#:~:text=Z%C3%A1kladn%C3%AD%20vybaven%C3%AD%20dronu%20a%20jeho%20vliv%20na%20pilotov%C3%A1n%C3%AD,6%20Baterie%20do%20dronu%207%20Flight%20Controller%20%28FC%29> (accessed March 28, 2024).
- Wang J, Jia R, Liang J, She C, Xu Y-P. 2021. Evaluation of a small drone performance using fuel cell and battery; Constraint and mission analyzes. *Energy Reports* 7:9108–9121. Elsevier.
- Zákon č. 49/1997 Sb. 1997, March 6. Zákon č. 49/1997 Sb. Available from <https://www.e-sbirka.cz/sb/1997/49/2024-01-01> (accessed March 27, 2024).
- Zákon č. 254/2001 Sb. 2001. Zákon č. 254/2001 Sb. Available from <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254> (accessed February 20, 2024).
- Zástěra L. 2020. Snímání multispektrálních dat pomocí UAV v povodí Jizerky (Jizerské hory).
- Zeng F, Song C, Cao Z, Xue K, Lu S, Chen T, Liu K. 2023. Monitoring inland water via Sentinel satellite constellation: A review and perspective. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 204:340–361. Available from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271623002538>.

6 Seznam tabulek

Tabulka 1 Porovnání metod snímání upraveno podle Li et al. (2013).....	19
Tabulka 2 Porovnání multi a hyperspektrálních kamer (www.Termokamery pro drony od expertů – SKLADEM DronPro).....	20
Tabulka 3 Porovnání termálních kamer (Kamery a senzory pro drony od expertů – SKLADEM DronPro).....	21
Tabulka 4 Seznam dronů vhodných do praxe DJI - Official Website, Parrot Professional Drones Pioneers in Commercial Drones Innovation.....	22
Tabulka 5 Výhody a nevýhody různých druhů dat DPZ pro monitoring (Müllerová et al. 2017)	25
Tabulka 6 Podkategorie otevřené kategorie, MTOM je maximální vzletová hmotnost (Otevřená kategorie (OPEN) - Úřad pro civilní letectví (caa.cz), Drones with class identification label C0-C6 EASA (europa.eu),.....	38

7 Seznam obrázků

Obrázek 1 Mapa ČR, jak je území ČR schopné zadržovat podzemní vodu podle studie ČGS (Podzemních vod v Česku hrozivě ubývá – Novinky.cz)	5
Obrázek 2 Elektromagnetické spektrum (Základní principy DPZ - Copernicus CR (gov.cz))	8
Obrázek 3 Satelit Sentinel-2 (Sentinel-2 - Sentinel Online esa.int).....	10
Obrázek 4 Režim SAR pro monitorování změn tloušťky mořského ledu, a k měření variací tloušťky rozsáhlých ledových příkrovů (CryoSat Mission, Definition, & Facts Britannica).....	12
Obrázek 5 Satelit MetOp (ESA - MetOp)	12
Obrázek 6 Kvadrokoptéra - Dron DJI Mavic 2; (mavic 2 pro enterprise dual (nf-dth-he.shop)	16
Obrázek 7 Hexakoptéra Trimble ZX5 (uas.trimble.com).....	16
Obrázek 8 Oktoptéra DJI Spreading Wings s1000 (www.dronpro.cz)	17
Obrázek 9 Multispektrální kamera MicaSense Altum-PT (www.dronpro.cz)	19
Obrázek 10 Hyperspektrální kamery HAIP - Blackbird V2 (vlevo; 100 spektrálních pásem) a BlackBullet V2 (vpravo, 250 spektrálních pásem) (Hyperspectral imaging systems and cameras – Products; haip-solutions.com)	19
Obrázek 11 Průběh odrazivosti vody, vegetace a půdy v závislosti na vlnové délce (Introduction to Remote Sensing (seos-project.eu)	24
Obrázek 12 Mapa zkoumané oblasti Rokytka na Šumavě (https://www.mdpi.com/remotesensing/remotesensing-13-00907/article_deploy/html/images/remotesensing-13-00907-g001.png)	27
Obrázek 13 Mapa zobrazující tři ostrovy, které tvoří souostroví Maltských ostrovů: Malta, Gozo a Comino (Román et al. 2022)	29
Obrázek 14 Zkoumané vodní plochy evropské studie De Keukelaere et al. (2023) https://www.mdpi.com/remotesensing/remotesensing-15-01345/article_deploy/html/images/remotesensing-15-01345-g001.png	30
Obrázek 15 Ukázky vytvořených mozaikovaných map zakalitelnosti. Je použito logaritmické škálování barev s jednotkami vyjádřenými v FNU. (a) Rupelmondse Creek; (b) Jezero Marathon; (c) Delta Dunaje. (https://www.mdpi.com/remotesensing/remotesensing-15-01345/article_deploy/html/images/remotesensing-15-01345-g006.png).....	31

Obrázek 16 Ukázky vytvořených mozaikovaných map chlorofylu-a. Je použito logaritmické škálování barev s jednotkami vyjádřenými v $\mu\text{g/L}$. (a) Rupelmondse Creek; (b) Jezero Marathon; (c) Delta Dunaje. (https://www.mdpi.com/remotesensing/remotesensing-15-01345/article_deploy/html/images/remotesensing-15-01345-g007-550.jpg).....	31
Obrázek 17 Zakalení vody z družice Sentinel-2 dne 13. dubna 2021 v 10:59 UTC. Dvě lokality, kde byly provedeny přelety dronu jsou označeny jako A a B. (https://www.mdpi.com/remotesensing/remotesensing-15-01345/article_deploy/html/images/remotesensing-15-01345-g008-550.jpg).....	32
Obrázek 18 Zákal pro obě lokality. Jako pozadí slouží zakalitelnost odvozená ze Sentinel-2. na obrázcích můžeme vidět rozdíl mezi kvalitou dat ze Sentinelu 2 a dronu https://www.mdpi.com/remotesensing/remotesensing-15-01345/article_deploy/html/images/remotesensing-15-01345-g009b-550.jpg).....	32
Obrázek 19 Hexakoptéra DJI Spreading Wings S900 vybavený Deeper Smart Sensor PRO+ vyrobený společností Deeper. (https://hess.copernicus.org/articles/22/4165/2018/hess-22-4165-2018-f01-web.png)	33
Obrázek 20 Mapa přeletu dronů nad zkoumanou oblastí; převzato z (https://pub.mdpi-res.com/remotesensing/remotesensing-12-00986/article_deploy/html/images/remotesensing-12-00986-ag.png?1585014997)	34
Obrázek 21 Studijní oblast ledovce Pasterze. (A) Povodí ledovce Pasterze s odpovídajícími kódy pro suboblasti ledovce Pasterze (1–7); umístění automatických kamer a pozic TLS skenování; akviziční oblasti pro TLS a UAV; a pohledové sektory automatických kamer. (B) Konfigurace TLS oblasti sesuvu skal na Burgstall (BUG). Červené body označují stabilní oblasti pro posouzení kvality TLS. (C) Situace na konci ledovce Pasterze a předledovcové oblasti. Konfigurace TLS na Franz-Josefs-Höhe (FJH) a Hofmanns Hütte (HH). Červené plochy označují stabilní oblasti pro posouzení kvality DInSAR, červené body stabilní oblasti pro posouzení kvality TLS. (Alian et al. (2020); www.mdpi.com/2072-4292/12/8/1251RemoteSensing Free Full-Text The Status of Earth Observation Techniques in Monitoring High Mountain Environments at the Example of Pasterze Glacier, Austria: Data, Methods, Accuracies, Processes, and Scales; mdpi.com).....	35
Obrázek 22 Štítky kategorie OPEN (Drones with class identification label C0-C6 EASA (europa.eu)	39
Obrázek 23 Podmínky pro let poblíž řízeného letiště (https://letejtezodpovedne.cz/content/img/clanky/podminky_GRID.png)	40
Obrázek 24 Podmínky pro let poblíž neřízeného letiště (Létejte zodpovědně; letejtezodpovedne.cz)..	41
Obrázek 25 Mapa letových zón pro drony (PVmodel.cz Létání s drony).....	42

8 Seznam použitých zkratk

- ATSR - Along Track Scanning Radiometer/ radiometr s postupným skenováním
- DPZ - Dálkový průzkum Země
- ERS - European Remote Sensing / Evropské dálkové snímkování
- ESA - European Space Agency /Evropská kosmická agentura
- GMES - Global Monitoring for Environment and Security / Globální monitorování pro životní prostředí a bezpečnost
- ICAO - International Civil Aviation Organisation / Mezinárodní organizace pro civilní letectví
- IČ - Infračerveného záření
- LRR - Long-Range Radar/laserové retroreflektory
- MS - Microwave acoustic Sounding /Mikrovlnný zvukový sondátor
- MTG- Meteosat Third Generation /Meteosat třetí generace
- MTOM – Maximum Take Off Mass / Maximální vzletová hmotnost
- NWP - Numerical Weather Prediction /Numerická předpověď počasí
- PRARE - Precise Range And Range-Rate Equipment /Přesný přístroj pro měření vzdálenosti a rychlosti
- RA - Radar altimeter / Radarový altimetr
- RF - Random Forest/ Náhodný les
- RGB - Červená (Red), zelená (Green) a modrá (Blue)
- SIRAL - CryoSat's SAR Interferometric Radar Altimeter / Syntetický aperturový interferometrický altimetr
- UAV - Unmanned Aerial Vehicle / Bezpilotní letecké prostředky
- ÚCL - Úřad pro civilní letectví