Dálkový průzkum Země

CO JE TO DÁLKOVÝ PRŮZKUM ZEMĚ?

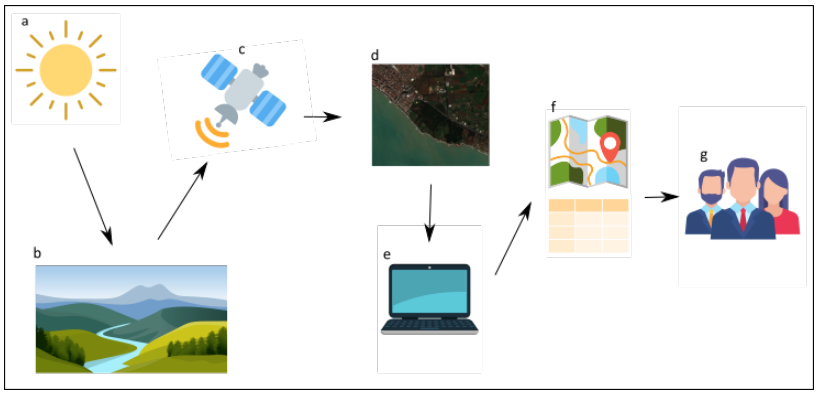
Zkuste si představit, že můžete rozdělit celý svět na množství malých barevných čtverečků, se kterými si můžete hrát na počítači a tvořit tak mapy, modelovat reliéf nebo třeba monitorovat sopečnou činnost.

Obr. 1: ukázka satelitního snímku v různém měřítku, zdroj: Copernicus Browser.

Dálkový průzkum Země (zkratka DPZ, v angličtině Earth Observation) se zabývá pořizováním leteckých a družicových snímků, jejich zpracováním a analýzou. Výstupy těchto analýz jsou využívány v mnoha oborech lidské činnosti. DPZ se také využívá k tvorbě map a kartografických děl.

Systém DPZ

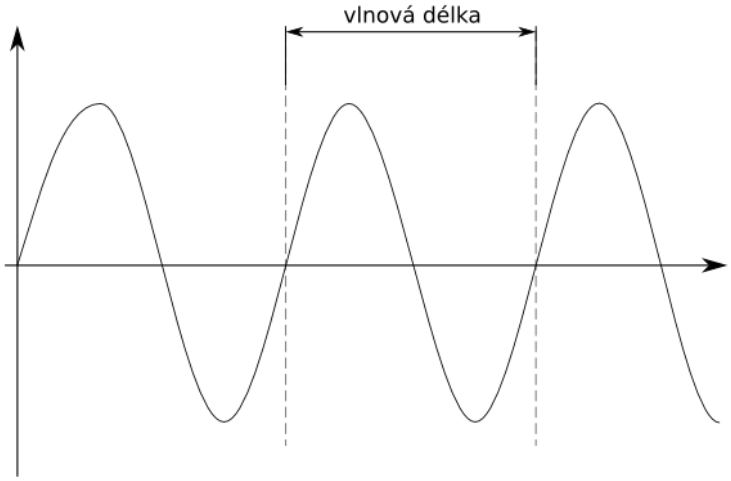
Celý systém DPZ je pro lepší představu zobrazen na následujícím obrázku (viz obr. 2). DPZ by nefungovalo bez zdroje záření (a), kterým může být Slunce nebo i umělé záření (radar či lidar). Tento zdroj vysílá elektromagnetickou energii k předmětu zájmu (zemský povrch). Záření prochází atmosférou a interaguje s ní. Následně dosáhne záření svého cíle, tedy zemského povrchu (b). Dojde k interakci záření se zemským povrchem. Odražené nebo objekty vyzářené záření následně prochází zpět atmosférou ke snímacímu zařízení (c), tedy k družici s kamerou (obdobně je to i u jiných nosičů, jako je letadlo, UAV / dron nebo raketoplán). Ve snímacím zařízení je zaznamenáno množství spektrální záře dopadající na radiometr a převedeno do digitální podoby (d), konkrétně do rastrového obrázku, který je složen z pixelů. Snímky jsou poté interpretovány a analyzovány (e) pomocí GIS software. Výsledkem jsou poznatky o zkoumaných objektech reprezentované například ve formě tematických map (f). Nakonec jsou tyto poznatky aplikovány v praxi při řešení konkrétních problémů v různých oborech (g).



Obr. 2: Proces DPZ, zdroj: upraveno podle: Natural Resources Canada: Tutorial: Fundamentals of Remote Sensing.

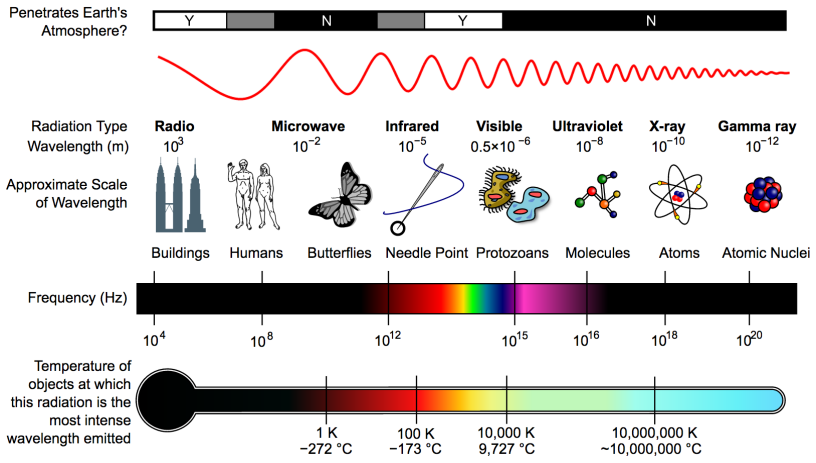
Elektromagnetické spektrum

Všude kolem nás je elektromagnetické vlnění, které nevidíme. Takovým vlněním je i vysílání televize, vlny v mikrovlnné troubě nebo světlo od Slunce. Jednotlivé vlny můžeme charakterizovat rychlostí vlnění a vlnovou délkou. Délka vlny je vzdálenost mezi dvěma nejbližšíma body vlnění, které kmitají ve fázi (viz obr. 3). Vlnovou délku značíme a udáváme v jednotkách délky – v metrech, centimetrech, mikrometrech, nanometrech.



Obr. 3: Vlnová délka, upraveno podle: Natural Resources Canada: Tutorial: Fundamentals of Remote Sensing.

Rozsah elektromagnetického spektra znázorňuje následující obrázek (viz obr. 4). Elektromagnetické spektrum zahrnuje elektromagnetické záření širokého rozpětí vlnových délek – od krátkého gama-záření až po dlouhé radiové vlny. DPZ dokáže na rozdíl od lidského oka využít i jiné části spektra, zejména pak na delších vlnových délkách, které uživatelům umožňuje vidět jevy, které normálně lidským okem vidět nelze. V rámci DPZ jsou využitelné intervaly ultrafialového záření, viditelného světla, infračerveného blízkého a středního záření, tepelného záření a mikrovlnného záření.

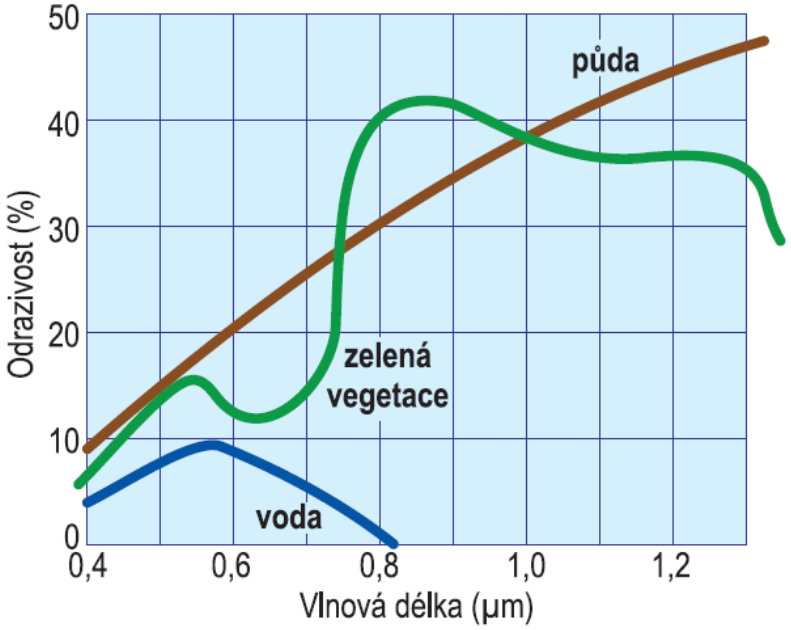


Obr. 4: elektromagnetické spektrum, upraveno podle: Wikipedia, elektromagnetické spektrum.

Co se stane se zářením, když dopadne na zemský povrch?

Záření po dopadu může být pohlceno, odraženo nebo může povrchem procházet. To závisí na několika faktorech – na vlnové délce záření, na materiálu povrchu (voda, vegetace, asfalt apod.) a na stavu daného povrchu (vlhkost, stáří atd.)

V DPZ nás zajímá záření odražené. Odrazové vlastnosti povrchu definují jejich tzv. spektrální chování. Spektrální chování v podstatě znamená, jak je záření odráženo od daného povrchu v závislosti na vlnové délce. Spektrální chování popisujeme pomocí tzv. křivky spektrální odrazivosti, kterou si můžeme představit jako graf závislosti odrazivosti povrchu na vlnové délce (viz obr. 5). Různé povrchy pak můžeme odlišit na základě jejich křivek spektrální odrazivosti. Dva objekty, které odrážejí podobné množství energie (záření) v jednom intervalu vlnové délky, mohou v jiném intervalu vlnové délky odrážet odlišné množství záření.



Obr. 5: Odrazivost půdy, vody a zelené vegetace v závislosti na vlnové délce, zdroj: Natural Resources Canada:Tutorial: Fundamentals of Remote Sensing.

Jak získáme snímek?

Skenery a jejich druhy

Jak už víme, zdroj záření je základním předpokladem DPZ. Tím přirozeným zdrojem je Slunce. V takovém případě systémy DPZ zaznamenávají odražené záření a mohou jej zaznamenávat pouze v době, kdy povrch osvětluje Slunce. Snímat nelze ani za oblačnosti, která brání průchodu záření k senzoru. Pasivním senzorem může být například fotoaparát. Dříve se používaly letecké snímky pořízené na filmový materiál, které se pak museli naskenovat. V současné době se používají digitální fotogrammetrické kamery, které používají čipy senzitivní na světlo. Tyto čipy převedou množství dopadajícího světla pro každý pixel na různé odstíny šedi. Fotografie zachycují obraz celého zájmového území v jednom okamžiku.

Dalším typem skeneru je multispektrální skener, umožňující měřit odražené záření ve viditelné a infračervené části spektra. Termální skener snímá objekty vyzářenou energii v oblasti 8–14 mikrometrů. Vlnové délky v tomto intervalu odpovídají teplotě objektů na Zemi. Termální skenery se využívají v meteorologii nebo například pro monitoring požárů.

Existují i senzory, které vysílají vlastní záření k objektu zájmu a zaznamenávají zpětně odražené záření.

Tato zařízení označujeme za aktivní senzory. Výhodou je, že takové senzory mohou snímat nezávisle na denní době a počasí. Příkladem takového senzoru je například radar. Radar snímá v mikrovlnné části spektra a vysílá krátký mikrovlnný signál směrem k objektu a zaznamenává část signálu navráceného po jeho odrazu. Radary se používají k monitorování změn povrchu, nebo k zjišťování nadmořské výšky a členitosti terénu.

Obr. 6: umístění snímacích senzorů na palubě letadla, zdroj: CzechGlobe.

Dalším aktivním senzorem je laser. Laserové skenery měří vzdálenosti od senzoru k danému objektu. Takové měření, pokud známe i směr vyslaného paprsku a přesnou polohu skeneru, umožňuje určit polohu a výšku bodu v terénu. Laserovým skenováním vznikají digitální modely terénu, též lze pomocí této technologie vytvořit 3D modely budov.

Nosiče

Senzory jsou umístěné na nosiči, pomocí kterého snímají Zemi na dálku. Takovým nosičem jsou nejčastěji družice, letadla či drony. Nosiče jsou speciálně přizpůsobeny pro daný účel, například v letadle najdeme i další přístroje určující přesnou polohu letadla, výšku, rychlost letu, naklonění letadla a další. Všechny tyto informace jsou podstatné pro zpracování pořízených snímků. Snímky totiž trpí celou řadou zkreslení způsobených nakloněním letadla, nebo členitostí snímaného terénu.

Senzory na družicích dokážou během jediného okamžiku zachytit situaci na území mnoha kilometrů čtverečních. Každá družice má své specifické parametry.

Obr. 7: Příklady využívaných dronů v DPZ, zdroj: Team of Image Laboratory and Spectroscopy.

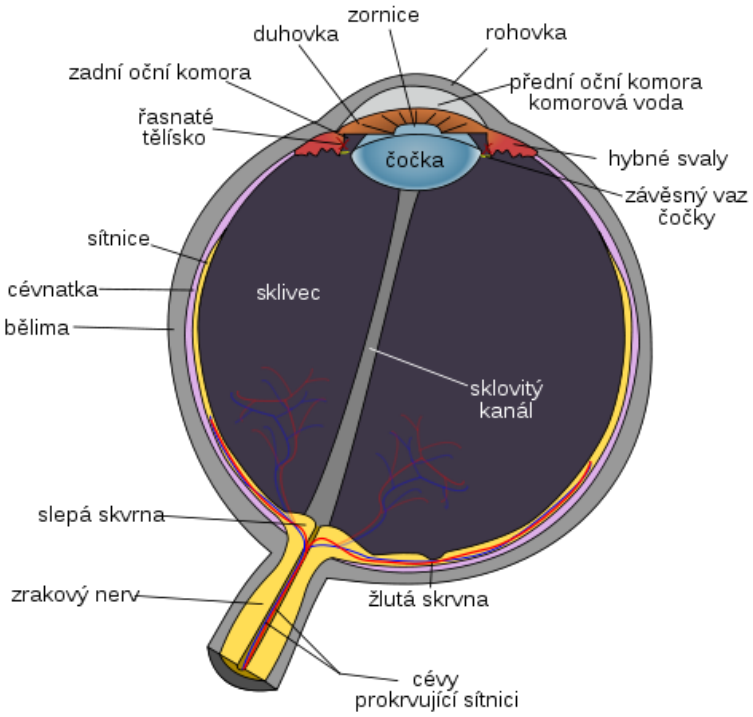
Obr. 8: Družice.

Barevný kompozit

Už víme, že sluneční záření se skládá ze směsi různých vlnových délek. Člověk okolní svět pozoruje okem, které tvoří mnoho částí (viz obr.). Nás bude teď nejvíce zajímá sítnice, která obsahuje buňky reagující na světlo.

Na sítnici se nacházejí tyčinky a tři druhy čípků. Tyčinek je asi 130 milionů a k jejich aktivaci stačí malé množství světla. Tyčinky ale „vidí“ pouze černobíle a nedokážou zprostředkovat barevné vidění.

Barvy mají na starosti čípky, kterých je asi 7 milionů. Díky čípkům vidíme ostře a barevně, jsou nejcitlivější k vlnovým délkám reprezentující modrou, zelenou a červenou barvu. Základními barvami jsou tak modrá, zelená a červená.

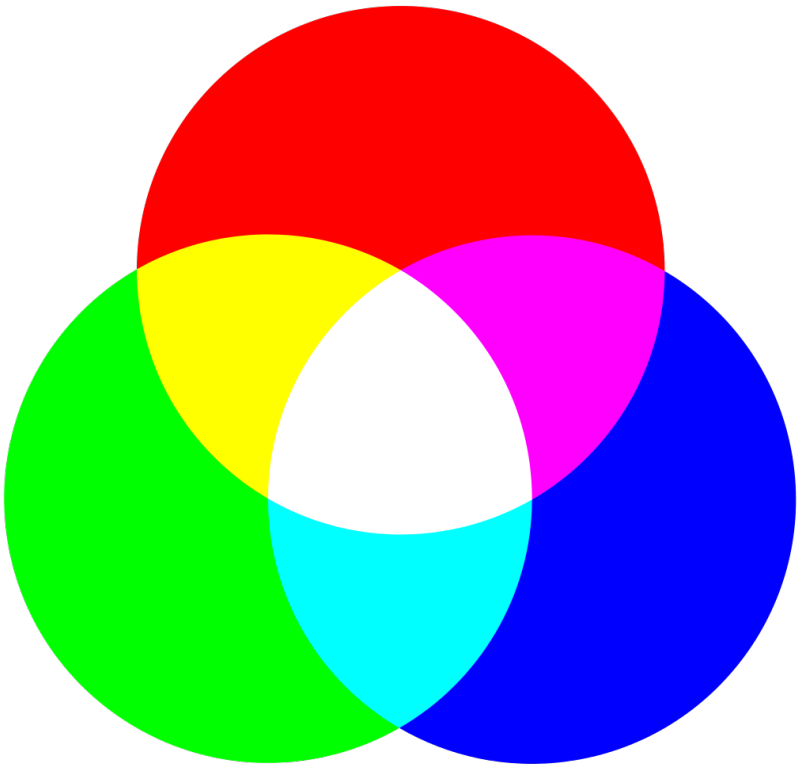


Obr. 9: Lidské oko a jeho části, zdroj: Techmania Science centre, edu portal.

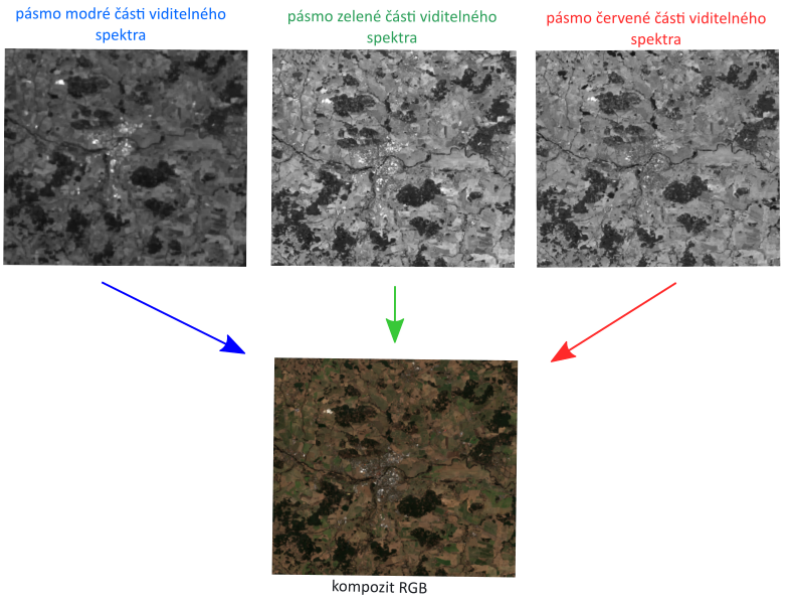
Ostatní barvy získáme kombinací těchto tří barev v různých poměrech. Tento způsob vizualizace nazýváme RGB kompozit (red – green – blue).

Senzory, které pořizují snímky, zaznamenávají a ukládají informace z úzkých intervalů vlnových délek (pásmech). My pak můžeme zobrazovat snímky pomocí různých kombinací těchto pásem s využitím modré, zelené a červené barvy (viz obr. 11).

Jak vytvořit barevný kompozit si vyzkoušíme i prakticky v jedné z dalších kapitol.



Obr. 10: Míchání barev využívané při sestavování barevného kompozitu satelitního snímku, zdroj: vlastní zpracování.



Obr. 11: Sestavení barevného kompozitu RGB pomocí jednotlivých pásem satelitního snímku, zdroj: data Sentinel-2, vlastní zpracování.

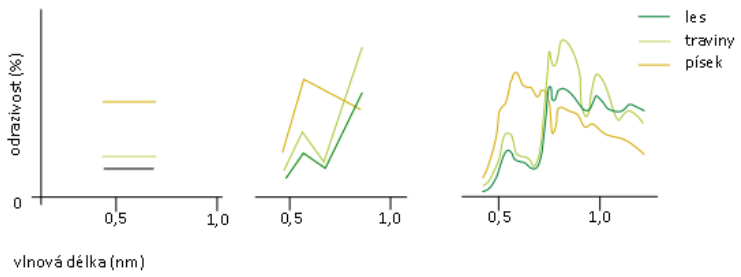
JAK VYBRAT VHODNÁ DATA?

Podle účelu, ke kterému budeme data DPZ využívat, je potřeba také vybrat správná data. Data DPZ charakterizujeme tzv. spektrálním, prostorovým, radiometrickým a časovým rozlišením.

Spektrální rozlišení

Senzory, které pořizují snímky, pracují tak, že zaznamenávají informace z úzkých intervalů vlnových délek elektromagnetického spektra. Spektrální rozlišení nám říká, v které části elektromagnetického spektra jsou data nasnímána a jak široká jsou rozpětí vlnových délek.

Každý senzor snímá určitý počet pásem v různých intervalech vlnových délek a tyto intervaly jsou různě široké. Pokud senzor pořídí jeden snímek ze všech barev viditelné části spektra do černobílé/šedotónové fotografie, tak takový snímek označujeme jako panchromatický. Takový snímek si můžeme představit jako černobílou fotografii ze starých fotoaparátů nebo černobílý záznam v televizi. V případě že senzor pořizuje několik snímků stejného území v různých částech spektra, získáváme data tzv. multispektrální. Pokud senzor pořizuje velké množství snímků (stovky pásem) stejného území velmi úzkých a na sebe vzájemně navazujících částí spektra, jedná se o data hyperspektrální. Na obrázku X, znázorňující spektrální křivky odrazivosti, si můžete všimnout, že hyperspektrální data (vpravo) nám poskytují podstatně detailnější informace o odrazivosti daného objektu v porovnání s panchromatickými (vlevo) a multispektrálními (uprostřed) daty.



Obr. 12: Spektrální křivka odrazivosti pro les, traviny a písek podle spektrálního rozlišení. Nalevo je panchromatický snímek, uprostřed multispektrální a napravo hyperspektrální, zdroj: vlastní zpracování.

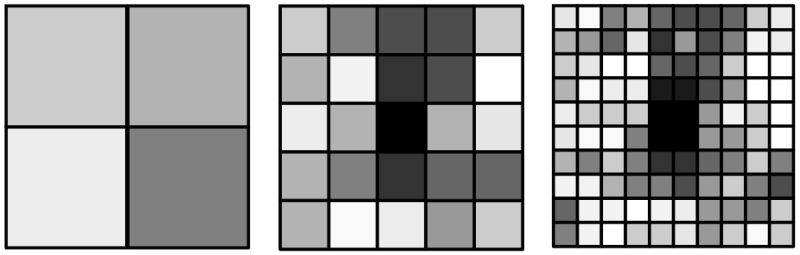
Prostorové rozlišení

Pro účely využití snímků DPZ a jejich analýzu hraje důležitou roli míra detailu, kterou můžeme ze snímku získat. Velkou roli v tomto případě představuje dráha družice (nízké/polární či geostacionární družice), se kterou souvisí i vzdálenost snímacího senzoru od Země, nebo také maximální rozlišení senzoru. Při snímání z velké vzdálenosti získáme obraz pro poměrně rozsáhlé území, ale nezískáme příliš detailní informace. Můžete si představit, že se díváte například z družice, která obíhá naši planetu, na Zemi. V takovém případě uvidíte najednou celý kontinent, ale nebudete schopni rozeznat jednotlivé budovy. Naopak pokud poletíte letadlem, dokážete rozeznat budovy, ale najednou uvidíte mnohem menší území.

Jak už víme, snímek se skládá z pixelů a tyto obrazové pixely mají většinou tvar čtverce. Každá družice má na základě výše zmíněných parametrů stanoveno tzv. prostorové rozlišení, které nám říká, kolik metrů na Zemi odpovídá délce strany 1 pixelu. Například data z družice Landsat (viz další kapitola) mají u snímků ve viditelné části spektra prostorové rozlišení 30 m, což znamená že snímek je tvořen čtvercovými pixely o velikosti hrany 30 m.

Aby mohl být objekt na zemském povrchu detekován, musí být jeho velikost stejná nebo větší, než je velikost 1 pixelu v obrazu. Pokud by byl objekt menší, nemusí být vůbec na snímku zaznamenán,

protože senzor bude detekovat průměrnou odrazivost všech prvků nacházejících se v území, které odpovídá velikosti pixelu. Průměrná hodnota odrazivosti různých typů povrchů v jednom pixelu obrazu se někdy též nazývá mixel. Na obrázku X jsou pro představu porovnány tři snímky s rozdílným prostorovým rozlišením. Všimněte si, že z čím menších pixelů se obraz skládá, tím detailnější informace obraz obsahuje.

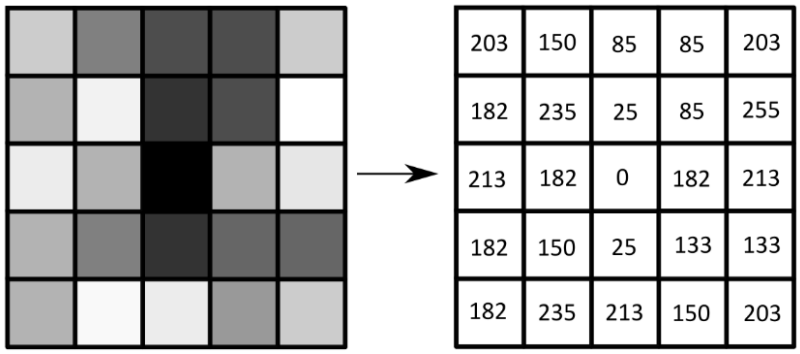


Obr. 13: Porovnání různých prostorových rozlišení snímků, zdroj: vlastní zpracování.

Radiometrické rozlišení

Radiometrické rozlišení senzoru popisuje schopnost radiometru uložit určitý rozsah hodnot do matice jednoho pixelu, těmto hodnotám se pak říká digital number. Ukládány jsou hodnoty naměřené spektrální záře, tedy množství elektromagnetického záření odraženého či vyzářeného od Země a dopadajícího na senzor. Radiometrické rozlišení charakterizuje schopnost rozlišit velmi malé rozdíly intenzity záření. Čím vyšší je radiometrické rozlišení senzoru, tím citlivěji dokáže rozeznat malé rozdíly v intenzitě odraženého nebo vyzářeného záření.

Pokud senzor pro záznam obrazu využívá 4-bitové radiometrické rozlišení, pak bude dostupných k uložení maximálně 16 (tedy 2^4) hodnot, v rozsahu od 0 do 15. Naopak pokud senzor ukládá v 8-bitovém rozlišení, pak bude radiometrické rozlišení detailnější a bude moci naměřené hodnoty rozlišit do 256 (2^8) hodnot (od 0 do 255). Výsledný obraz bude v odstínech šedi, kde číslo 0 reprezentuje černou barvu a číslo 255 bílou barvu (viz obr. 14).

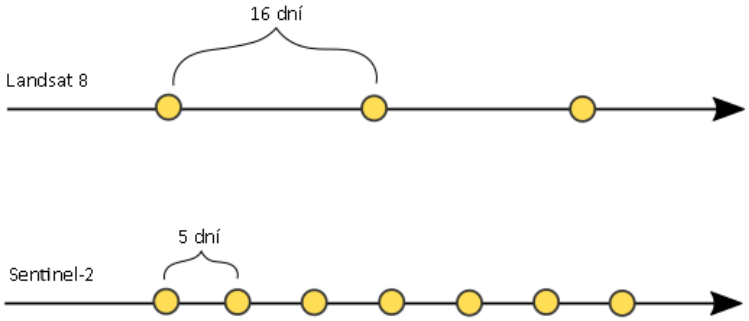


Obr. 14: Výřez snímku s radiometrickým rozlišením 2^8, bílá barva pixelu je označena číslem 255, černá barva číslem 0, zdroj: vlastní zpracování.

Časové rozlišení

Časové rozlišení nám podává informaci o tom, za jak dlouho bude dané území opět nasnímáno družicí ze stejného úhlu od doby jeho posledního snímání tohoto místa. Například dva nejvyužívanější systémy družic s vysokým rozlišením – Landsat a Sentinel (blíže popsané v následující kapitole) mají rozdílné časové rozlišení. Z družice Landsat 8 získáme další snímek stejného místa po přibližně šestnácti dnech, z družice Sentinel-2 pouze po pěti dnech (viz obr. 15). Časové rozlišení pro nás může být klíčové, pokud vytváříme dlouhodobé analýzy. Například pokud dlouhodobě sledujeme způsob využití krajiny určitého regionu v časovém horizontu několika let a chceme mít co nejvíce informací o pozorované krajině.

Zároveň může být časové rozlišení podstatné při potřebě analyzovat vybrané území v krátkém časovém intervalu, příkladem může být šířící se ropná skvrna na moři, kde je nutné skvrnu co nejrychleji detekovat a případně pozorovat, kam se skvrna šíří. U analýz optických dat je pak největším nepřítelem zejména oblačnost, která brání ve viditelnosti (elektromagnetické záření ve velkém množství plně neprochází oblaky, protože je mraky odraženo či pohlceno). Z těchto důvodů je velmi vhodné využívat snímky s vysokým časovým rozlišením pro získání nejaktuálnějších a nejpodrobnějších informací.



Obr. 15: Časové rozlišení družicových satelitních dat Sentinel-2 a Landsat 8.

PŘEHLED DOSTUPNÝCH DAT

V této kapitole se seznámíme s volně dostupnými daty, která budeme je využívat v rámci jednotlivých případových studií.

Landsat

Program Landsat je nejdéle probíhající mise snímání Země z vesmíru probíhající pod záštitou Americké geologické společnosti (USGS) a Národní úřad pro letectví a vesmír (NASA). Historie mise sahá až do roku 1972, kdy byl na oběžnou dráhu vynesen první z devíti satelitů Landsat. Máme k dispozici přes 40 let nepřerušenou řadu snímků. V současnosti jsou v provozu družice Landsat 8 a Landsat 9, která byla vypuštěna na oběžnou dráhu září roku 2021.

Družice Landsat 8 snímá v osmi spektrálních pásmech (ve viditelné, ultrafialové a infračervené části spektra) v prostorovém rozlišení 30 m a v dvou pásmech tepelných s rozlišením 100 m. Družice Landsat 8 navíc získává také černobílý (panchromatický) snímek s prostorovým rozlišením 15 m, ten lze využít k zaostření ostatních snímků (metodou zvanou pansharpening). Dohromady tedy družice snímá až v 11 spektrálních pásmech.

Nespornou výhodou mise Landsat je návaznost používaných senzorů a obsáhlé archivy dat. Data z družic Landsat jsou vhodná pro detekce dlouhodobých změn z různých časových období. Dále také k získávání informací o využití krajiny, rozlišení vegetačního pokryvu nebo jeho zdravotního stavu či pro monitoring přírodních katastrof.

Sentinel-2

Sentinel-2 je mise Evropské kosmické agentury v rámci programu Copernicus. V současné době operují na oběžné dráze dvě identické družice – Sentinel-2A a Sentinel-2B. Družice Sentinel-2A byla na oběžnou dráhu vypuštěna v roce 2015, družice Sentinel-2B o dva roky později. Na rok 2024 je plánováno vyslat na oběžnou dráhu další družici – Sentinel-2C.

Obě družice disponují 13 pásmy ve viditelné, blízké infračervené a krátkovlnném infračervené části spektra. V závislosti na spektrálním pásmu poskytují data s prostorovým rozlišením 10, 20 nebo 60 m.

Tab. 1: Vlastnosti Landsat 7 a 8 a Sentinel 2

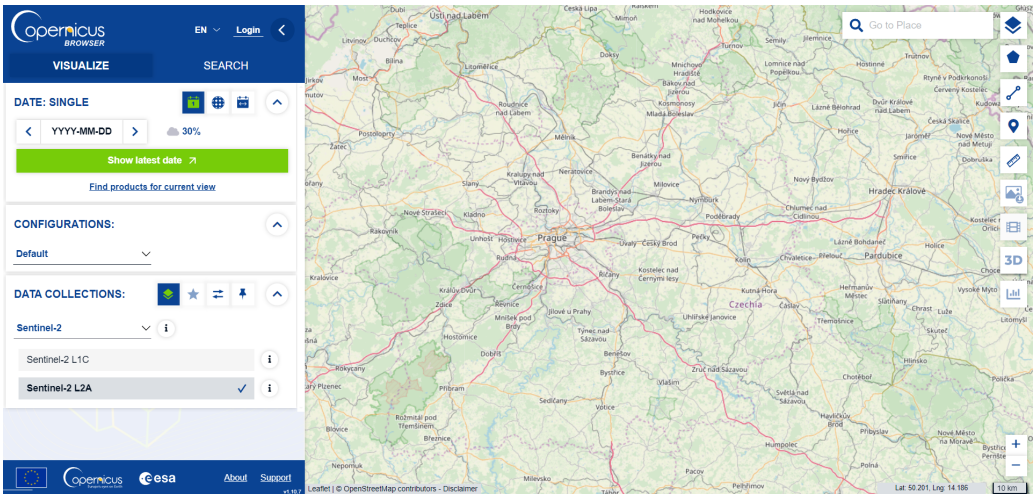
	Landsat 7	*Landsat 8*	*Sentinel-2*
Spektrální rozlišení (počet pásem)	8	11	13
Prostorové rozlišení	panchromatické 15 m	panchromatické 15 m	10 m/20 m/60 m (v závislost na spektrálním pásmu)
	multispektrální 30 m	multispektrální 30 m	
	tepelné 60 m	tepelné 100 m	
Radiometrické rozlišení	8bitové	12bitové	8-16bitové
Časové rozlišení	16 dní	16 dní	5 dní
Výška orbity	705 km	705 km	786 km
Velikost scény	183x173 km	183x173 km	290x290 km

COPERNICUS BROWSER

V rámci praktických úkolů budeme využívat aplikaci Copernicus Browser. Tato aplikace je volně dostupná. Pro základní prohlížení a analýzy satelitních snímků nevyžaduje ani žádné přihlášení uživatele. Pro některé další úkony (například stažení obrázku nebo vytvoření časové řady) je nutná registrace, která je ovšem bezplatná.

Aplikaci naleznete snadno pomocí webových stránek Copernicus Browser (`https://browser.dataspace.copernicus.eu/`). Aplikace Copernicus Browser umožňuje prohlížet a porovnávat snímky v plném rozlišení ze všech dostupných dat vybraných archivů.

V této kapitole naleznete detailní návod na základní práci s aplikací – vyhledání a vizualizace satelitních snímků. Nejprve se seznámíme se základním rozhraním aplikace, které je rozděleno na několik lišt pro změnu dat, funkce či pro analýzy dat. Uprostřed se nachází mapové pole (viz obr. 16).

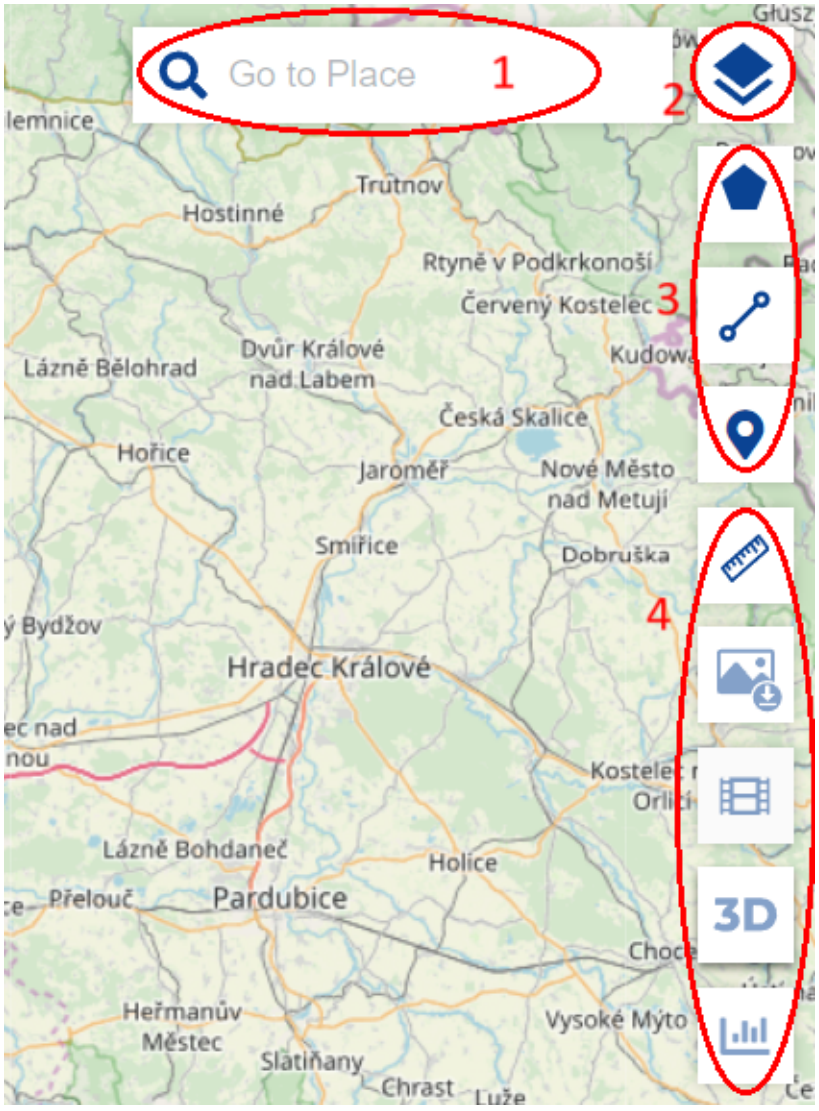


Obr. 16: Uživatelské rozhraní aplikace Copernicus Browser.

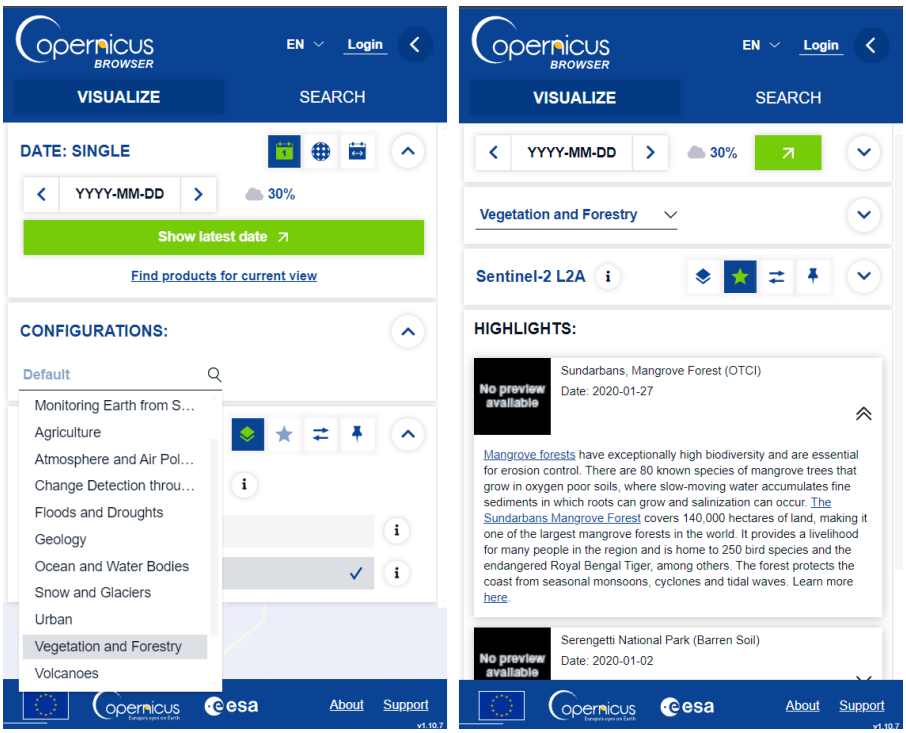
V pravé části nalezneme vyhledávač, díky kterému se můžeme přesunout na jakékoliv místo na světě (1). Výběr místa musíme po startu aplikace udělat jako první, k vybranému místu v mapovém poli se nám totiž následně vážou i samotná družicová data. Dále si na liště můžeme zapínat a vypínat další vektorové vrstvy – hranice, vodní plochy, silnice a cesty a také popisky, které se mám budou zobrazovat na podkladové mapě (2). Můžeme také načíst další vektorová data (ve formátu KML/KMZ, GPX, GEOJSON/JSON), která tvoří naši oblast zájmu. Pokud taková data nemáme připravena můžeme si oblast zájmu nakreslit i přímo v aplikaci. Takovou ohraničenou oblast využijeme například při vytváření grafů vybraných indexů časových řad. Vytvořit lze kromě polygonu také bod zájmu (3). Dále můžeme

měřit vzdálenosti, uložit si satelitní snímek jako obrázek, vytvořit časovou řadu ve formě videa nebo gif. Také můžeme zobrazit vybrané místo ve 3D či můžeme zobrazit histogram satelitního snímku (4) (viz obr. 17).

V levé části základního rozhraní aplikace najdeme záložku „Visualize“, kde si můžete zvolit přes záložku „Configurations” téma, které vás zajímá (například atmosféra a znečištění ovzduší, zemědělství, vulkány a mnoho dalšího). Pokud si v této části zvolíme téma, například zemědělství, objeví se nám záložka „Highlights“, kde najdeme zajímavé případové studie z celého světa, která spadají do daného tématu. Například z tématu zemědělství se můžeme podívat na satelitní snímky z Egypta, kde se zemědělské plochy nachází převážně v okolí řeky Nil.

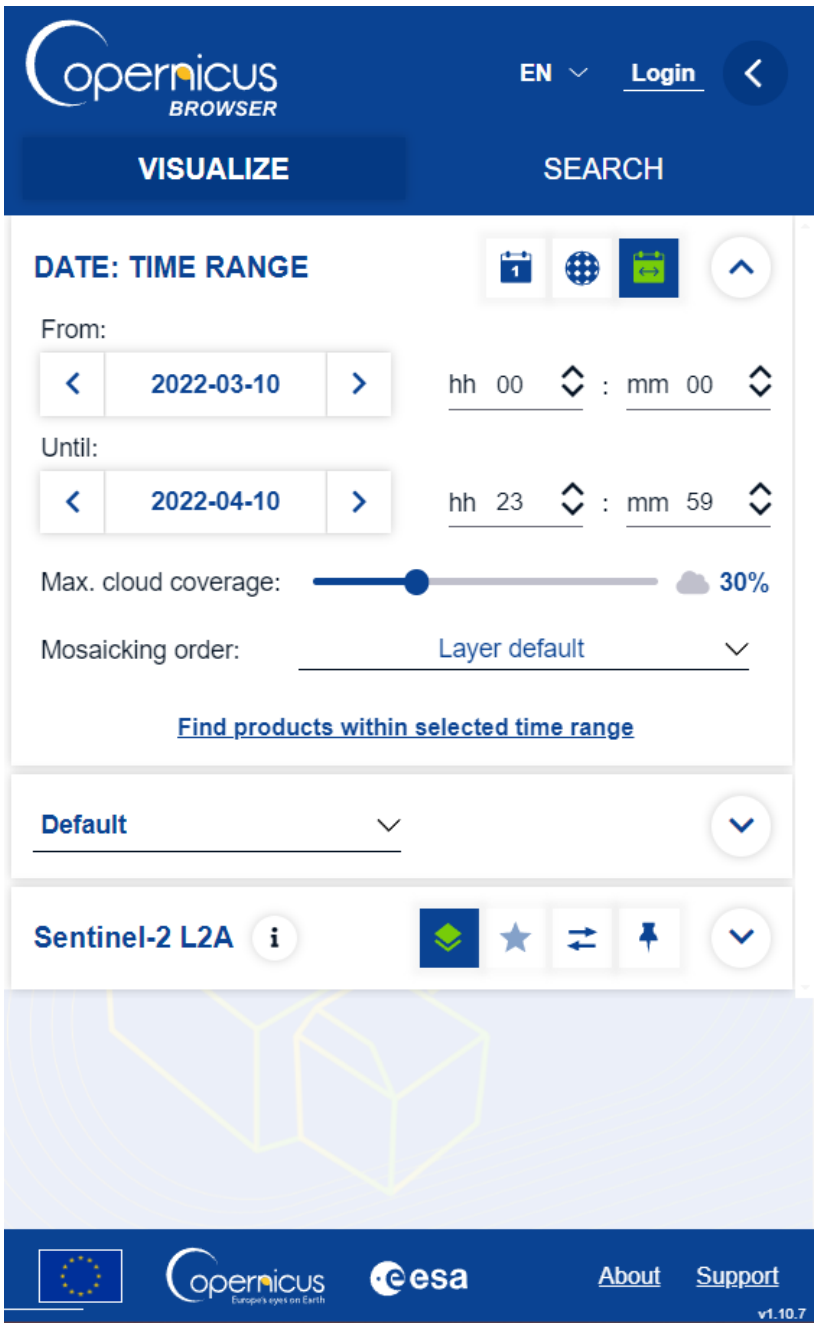


Obr. 17: Pravá část aplikace Copernicus Browser.



Obr. 18: Nastavení tématu a vyhledávání případových studií.

V záložce „Search“ můžeme vybírat z mnoha datových zdrojů. Pro nás je důležitý Sentinel-2. Můžeme zde nastavit také maximální pokrytí snímku oblačností. To je pro nás důležité, neboť pro úspěšné analýzy snímků je zapotřebí co nejmenší (ideálně nulová) oblačnost. Následně si vybereme časové období, ze kterého snímky chceme (viz obr. 19). Snímky jsou vyhledávány pro tu oblast, kterou máme viditelnou v mapovém poli.



Obr. 19: Vyhledávání konkrétního satelitního snímku.

Po kliknutí na vyhledat, se nám dostupné snímky zobrazí v seznamu v levé části aplikace společně s informacemi o datu pořízení snímku(viz obr. 20), v mapovém poli se nám pak ukazují vymezené snímky. Po kliknutí na vizualizovat si vybraný snímek můžeme zobrazit pomocí různých barevných kompozitů a dalších metod využívaných pro analýzu a interpretaci dat DPZ (viz obr. 21). Popis a vysvětlení vybraných metod, včetně praktických ukázek, naleznete v dalších kapitolách zaměřených na konkrétní témata. Výčet dostupných metod (například existují různé druhy indexů) se může lišit, pokud vybereme konkrétní případové studie přímo v aplikaci. U každého kompozitu, či jiné zvolené metody naleznete vždy podrobný popis, kde najdeme například jakou barvou je na snímku znázorněna vodní plocha, vegetace apod.