

Výstup: Databáze spektrálních katalogů

SS02030008-2.C.1.2 – Databáze SpectKM

Obsah

1. Úvod do DPZ	1
2. Spektrální křivky odrazivosti.....	8
3. Vzorkování zájmového území.....	9
4. Datový model spektrálních křivek	11
4.1. Variabilita vstupních dat.....	11
4.2. Návrh datové struktury	11
4.3. Konkrétní implementace datového modelu	13

1. Úvod do DPZ

Dálkovým průzkumem Země dnes označujeme činnost, jejímž cílem je získat spolehlivé informace o objektech nebo jevech, aniž by docházelo k přímému kontaktu s nimi. Tato velmi obecná definice zahrnuje rozsáhlou škálu senzorů, platforem a technik, které se používají k získávání informací o zájmových objektech na dálku (Jackson, 2009).

Družicové systémy DPZ umožňují opakovaně pohlédnout na zemský povrch a díky tomu jsou využitelné při monitoringu stavu životního prostředí, globálních změn, zemědělství, či v meteorologii (Polák, 2022). Navzdory široké historii se pokrok v technologii DPZ obecně projevuje v následujících základních oblastech – senzory, platformy, určování polohy a ukládání dat. Zahrnuje zachycení přesnějších informací, zajištění lepších pozorovacích bodů a zároveň jejich zabezpečení, znalost přesné polohy a orientace senzoru během pořizování snímků. V neposlední řadě také kapacitu úložiště a rychlost načítání dat (Jackson, 2009).

Existence různých technologií ovšem nezaručuje jejich okamžité, nebo dokonce budoucí využití (Moore, 1991).

K prvním pokusům o získání snímků dálkového průzkumu se řadí kamery nesené pasažéry v koších horkovzdušných balónů, kamery připevněné na tělech holubů nebo lidé nesoucí kamery do svahu, či na věže. Byly vyzkoušeny i další platformy, balóny, draci, rakety a vzducholodě, ale žádná z nich nedosáhla většího pokroku. Holubí fotoaparát lze z jistého hlediska chápat jako předchůdce bezpilotního letounu (UAV) neboli dronu pro dálkový průzkum Země, který je jedním z nejnovějších systémů zavedených v DPZ (Cracknell, 2018). Obdobím nejrychlejšího rozvoje byla 1. a 2. světová válka (Ravindranath; Ostwald, 2006). Prvním uměle vytvořeným satelitem byl Sputnik 1, vypuštěný Sovětským svazem roku 1957. Napomohl k identifikaci hustoty vysokých atmosférických vrstev pomocí jeho orbitální změny a také poskytl údaje o radiových signálech v ionosféře (Seidlová, 2018).

S nástupem technologie dálkového průzkumu Země pomocí družic na počátku 70. let 20. století bylo snadné mapovat a monitorovat zemský povrch v krátkém čase (Congalton, 2010; Fu et al., 2020). Od té doby byla vypuštěna řada družic, monitorující různé charakteristiky zemského povrchu, například Landsat, SPOT, MODIS a další. (Bauer, 2020; Fu et al., 2020).

Řada Landsat (viz obrázek 1) je prvním družicovým systémem se středním rozlišením a nejdéle trvajícím nepřetržitým provozem. Tato řada byla zahájena vypuštěním družice Landsat 1 v roce 1972 a od té doby probíhá sběr dat kontinuálně minimálně s jednou družicí na oběžné dráze (Wulder et al., 2019).



Obrázek 1 - Časová řada družic Landsat, Seidlová (2018)

Multispektrální skener na družicích Landsat 1,2 a 3 měl spektrální pásma viditelných a infračervených vlnových délek, družice Landsat 5 díky zařízení Thematic Mapper zvýšila počet spektrálních pásem na 7, rozšířený Thematic mapper na Landsat 7 měl navíc panchromatické a termální pásmo, Landsat 8 má termální infračervený senzor (TIRS) a operační pozemní zobrazovač (OLI). Družice Landsat 9, jakožto vylepšení družice Landsat 8, byla vypuštěna v září 2021 spolu s OLI-2 a TIRS-2 (Shahfahad et al., 2022).

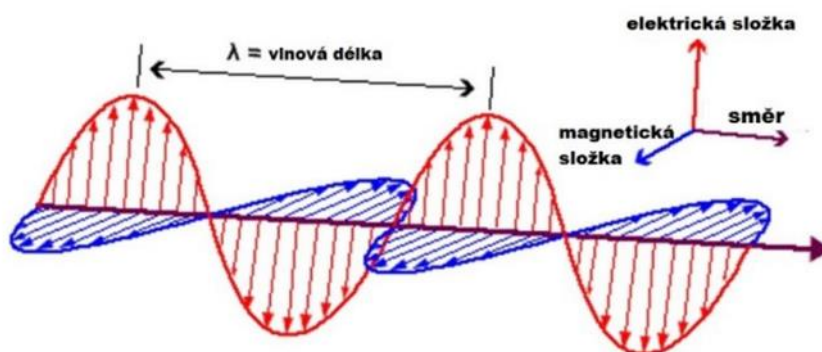
Přestože jsou Landsat 8 i 9 multispektrální družice se středním rozlišením a prostorovým rozlišením 30 m, rozlišení lze dále zvýšit sloučením multispektrálních pásem s panchromatickým (Hemati et al., 2021). Sloučením multispektrálních snímků s panchromatickými snímky dochází ke zvýšení prostorového rozlišení multispektrálního snímku (Malleswara Rao et al., 2020). Speciální kategorií jsou data hyperspektrální (senzory ASTER a Hyperion), která nám dávají velice podrobnou informaci o odrazivosti záření pro jednotlivé vlnové délky EM spektra a díky nimž můžeme materiál, od kterého se záření reflektovalo, určit s vysokou přesností.

Družicové snímky definujeme jako fotografie Země či jiných planet, k jejichž pořízení došlo z umělých družic. Snímky mohou být v různých částech spektra (panchromatické, multispektrální, hyperspektrální či radarové), nebo ve viditelných barvách (Laurent et al., 2005). Zkoumané jevy (např. voda, půda, vegetace) mají na snímcích v různých vlnových délkách svou spektrální odrazivost a prostorové rozlišení. Při rozlišování typu krajinného pokryvu jsou vhodnější delší vlnové délky v IR rozsahu EM spektra než ve viditelném spektru, kde jsou si křivky blízké, a tudíž je odraz velice podobný (Seidlová, 2018).

V závislosti na zdroji energie, který osvětluje zkoumaný objekt, se techniky dálkového průzkumu dělí na dva typy, aktivní a pasivní. Aktivní systém dálkového průzkumu země je založen na dodání vlastního zdroje energie (radarové senzory terraSAR-X, Sentinel 1, COSMO-SkyMed a další) k osvětlení objektů měřící odraženou energii vrácenou do systému (tzv. radarová data, u kterých jsou snímky pořízeny v mikrovlnné části spektra). V pasivním dálkovém průzkumu se měří přirozeně vyzařovaná nebo odražená energie od prvků zemského povrchu pomocí senzorů (Landsat, Sentinel 2) pracujících v různých spektrálních pásmech na palubách leteckých (kosmických) platform (optická data).

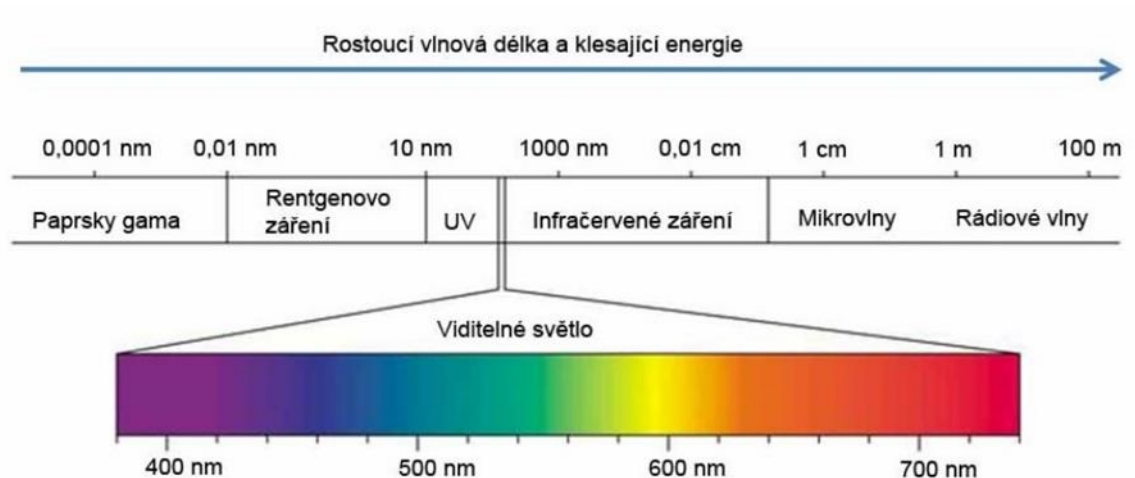
DPZ je věda o získávání, zpracování a interpretaci snímků, které zaznamenávají interakci mezi elektromagnetickou energií a matricí (Sabins, 1996). Jak již bylo řečeno, mnoho senzorů používaných v dálkovém průzkumu využívá reflektované sluneční světlo. Některé však detekují energii vyzařovanou samotnou Zemí, nebo poskytují vlastní energii. Pro správnou interpretaci dat DPZ je nutná znalost elektromagnetické energie, jejích vlastností a interakce. EM energii lze modelovat dvěma způsoby: pomocí vln, nebo pomocí fotonů (částic, nesoucích energii). Ve vlnovém modelu se elektromagnetická energie šíří formou sinusových vln, které jsou charakterizovány elektrickým a magnetickým polem a jsou kolmé na směr šíření vlny (Tempfli et al., 2009).

Pro pochopení dálkového průzkumu Země je obzvláště důležitá jedna z vlastností elektro – magnetických vln – vlnová délka. Ta je definována jako vzdálenost mezi dvěma po sobě jdoucími vrcholy. Čím kratší je tato vlnová délka, tím vyšší je frekvence.



Obrázek 2 - Elektromagnetická vlna, Novák (2015)

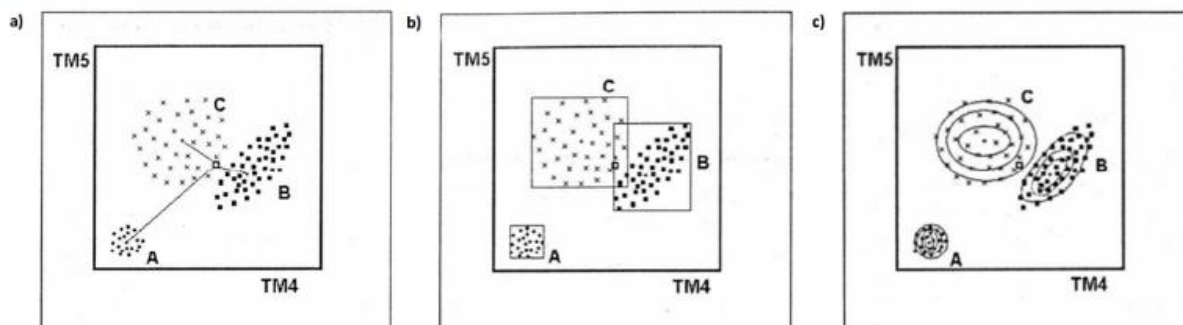
Většinu vlastností EM energie lze popsat pomocí modelu vlny (viz obrázek 2), někdy je ale vhodnější použití modelu z částicové teorie, kde se energie skládá z fotonů. Tento přístup má využití při kvantifikaci množství energie naměřené multispektrálním senzorem, jelikož veškerá hmota s teplotou nad absolutní nulou (0 K) vyzařuje EM vlny různých vlnových délek. Celkový rozsah těchto délek je označován jako elektromagnetické spektrum, které začíná gama zářením a končí rádiovými vlnami. Dálkový průzkum pracuje v několika oblastech EM spektra (viz obrázek 3). Optický rozsah je od 0,02 μm (rentgenové záření), přes viditelnou část spektra až po vzdálenou infračervenou oblast (1000 μm).



Obrázek 3 - Elektromagnetické spektrum, LabGuide (2015)

Spektrální pásma jsou využívána při klasifikaci družicových snímků. Schowengerdt (2006) definoval klasifikaci obrazu jako tvorbu tematické mapy ze snímku. Klasifikační metody dělíme na řízenou a neřízenou (Lillesand et al., 2008). Řízená klasifikace je založena na rozpoznávání předem definované klasifikované třídy prostřednictvím tzv. trénovacích množin, kde dochází k výběru pixelu o známé hodnotě proměnné. Vytvořená rozhodovací pravidla jsou následně použita na celý obraz (Schowengerdt, 2006). Neřízená klasifikace je založena na algoritmu, který rozdělí snímek do určitého množství klasifikovaných tříd a následně se ručně přiřadí tematický obsah. Tento typ klasifikace není příliš přesný a výsledky nemusí být interpretovatelné (Seidlová, 2018).

K pixelovému rozřazení do jednotlivých tříd (viz obrázek 4) je využíváno klasifikátorů, vybraných na základě statistiky či umělé inteligence a strojového učení. Jedná se o klasifikátory minimální vzdálenosti (Minimum Distance), pravoúhelníků (Parallelepiped) a maximální pravděpodobnosti (Maximum Likelihood) (CENIA, 2019).



Obrázek 4 - Schéma zařazení pixelu k jednotlivým spektrálním třídám (A, B, C) pomocí klasifikátorů a) Minimum Distance, b) Parallelepiped a c) Maximum Likelihood, CENIA (2019)

Neklasifikovaná data DPZ nachází využití při popisu krajiny v podobě spektrálních indexů. Také mají srovnatelné výsledky jako tematické mapy land cover vytvořené klasifikací, přinášející jinou formu informace (Polák, 2022). Na základě spektrálních indexů (indexů pro hodnocení vegetace, plochy spálené ohněm, uměle vytvořené prvky, sněhovou pokrývku a dalších) lze analyzovat zdravotní stav vegetace (viz obrázek 5), typ biotopu, mapování organismů apod.



Obrázek 5 - Vegetační indexy s množstvím odraženého záření, Agricolus (2023)

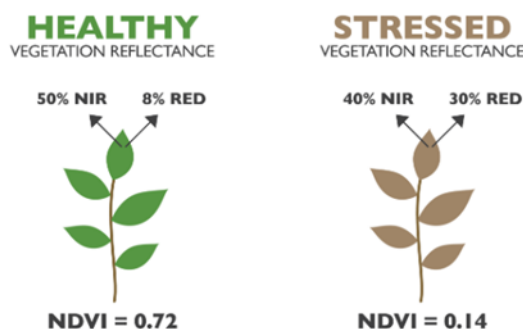
Nejčastěji využívaným indexem je NDVI – Normalized difference vegetation index (Rouse et al. 1974), ukazatel chlorofylu (viz obrázek 6 a 7). Nabývá hodnot od -1 do 1, kde každá hodnota reprezentuje určitý typ krajiny. NDVI je roven poměru rozdílu a součtu blízkého infračerveného (NIR, silně odražené vegetací) a viditelného červeného (RED, pohlcováno vegetací).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Obrázek 6 - Výpočet NDVI, Rouse (1974)

T A
Č R

Projekt SS02030008 **Centrum environmentálního výzkumu: Odpadové a oběhové hospodářství a environmentální bezpečnost (CEVOOH)** je spolufinancován se státní podporou Technologické agentury ČR v rámci **Programu Prostředí pro život**.



Obrázek 7 - NDVI u zdravé a stresované rostliny, *Agricolus (2023)*

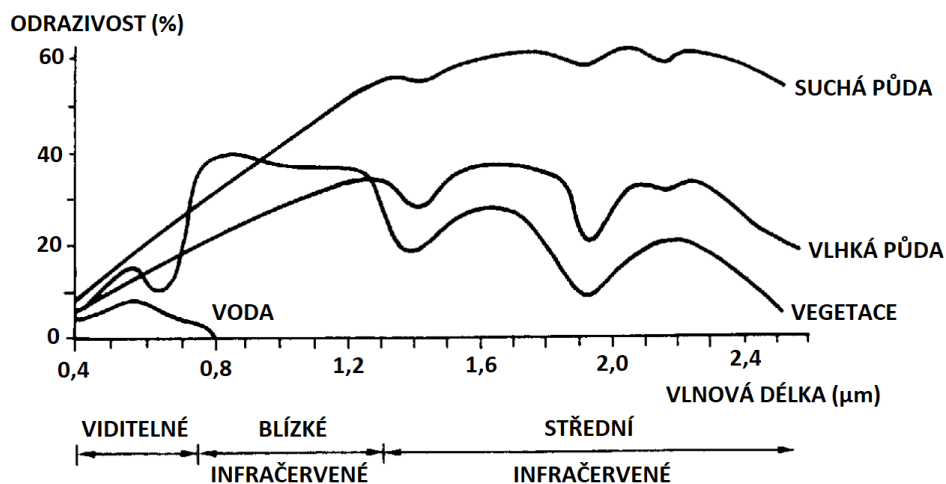
Mezi další často využívané indexy dále řadíme Clay Minerals Ratio, který určuje hydrotermálně upravené horniny obsahující hliník a alunit (Drury, 1993), Leaf Area Index sloužící k určení odhadu pokryvnosti, předvídání růstu a výnosu plodin (Boegh et al., 1993), Modified Normalized Difference Water Index určující povrchové vody s potlačením šumu ze zástavby, vegetace a půdy (McFeeters, 1996; Xu, 2006).

Optický dálkový průzkum měří záření, které je vyzařováno, přenáшено a odráženo od povrchu. Surová spektrální data jsou upravena směsicí vlivů, které zahrnují povrchové podmínky, atmosférické vlivy, topografické efekty a vlastnosti senzoru. Aby bylo možné extrahovat z obrazového materiálu kvalitní a nezkrácené informace o stavu zemského povrchu, je nutné aplikovat při zpracování radiometrické a atmosférické korekce, které zajistí správnou spektrální analýzu snímků (Minařík et al., 2019). Satelitní snímky, zejména ve vysokém rozlišení, běžně obsahují šum, který se může objevit při pozorování, digitalizaci či přenosu dat. Může být také způsobem poruchou družice nebo družicového senzoru (např. porucha družice Landsat 7, konkrétně porucha korektoru skenovací linie (SLC) (Liu, Morgan, 2006; Zhang et al., 1999).

Radiometrické korekce jsou nezbytným krokem při předzpracování družicových snímků z důvodu klasifikace založené na radiometrických hodnotách. Proces radiometrické korekce zahrnuje také atmosférické korekce, korekce výšky Slunce, korekce vzdálenosti Země-Slunce a radiometrickou normalizaci. Jedním ze základních procesů radiometrické korekce družicových snímků je převod DN na hodnoty radiance či reflektance (Gašparović, 2020).

2. Spektrální křivky odrazivosti

Spektrální křivka odrazivosti je projevem tzv. spektrálního chování objektů. Pro každý objekt lze sestavit závislost mezi jeho odrazivostí a vlnovou délkou a průběh této závislosti bude pro tento objekt více méně typický. Křivky spektrálního chování mají pro stejnou třídu objektů (vegetace, holá půda) vždy stejný průběh (viz obrázek 8).

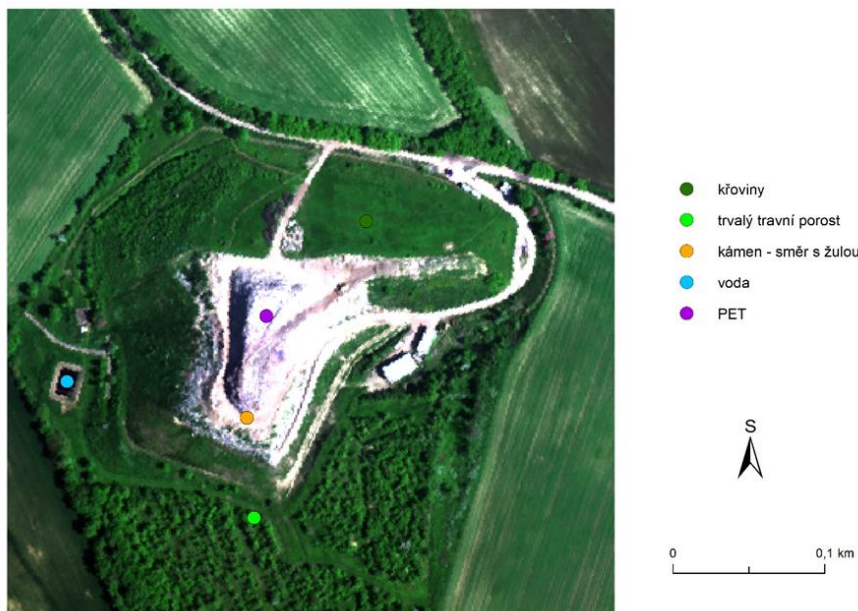


Obrázek 8 - Spektrální křivky odrazivosti povrchu

Spektrální křivky vody, půdy a vegetace jsou ve viditelném spektru poměrně blízké, což znamená, že obraz je velmi podobný. Pro odlišení typu krajinného pokryvu jsou vhodné delší vlnové délky v infračerveném rozsahu elektromagnetického spektra. Tvar křivky má velký vliv na výběr vlnové délky, ve které je vhodné data o objektu získávat. Poznání mechanismů spektrálního chování je základním nástrojem pro rozpoznávání jednotlivých druhů povrchů a jejich mapování metodou dálkového průzkumu.

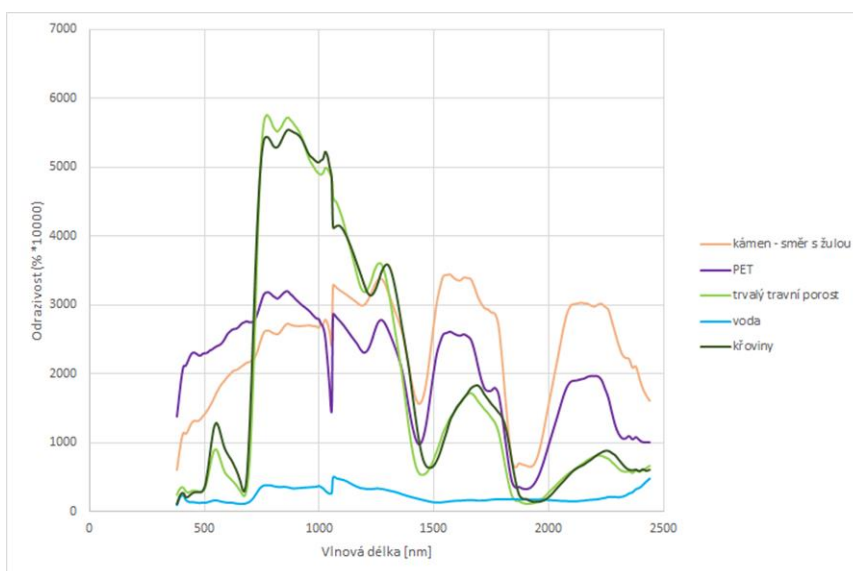
3. Vzorkování zájmového území

Mezi zájmová a pokusná území patří také skládka Klobouky u Brna.



Obrázek 9 – Lokace zájmových pixelů

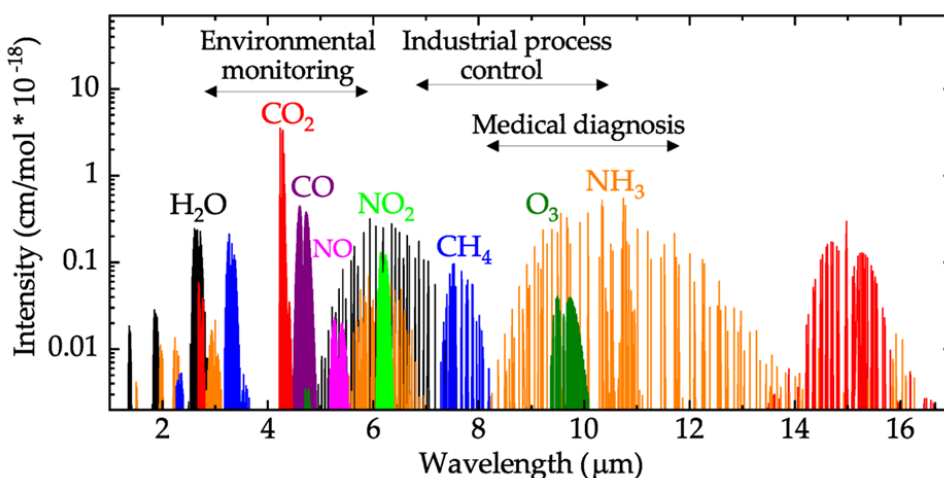
Na obrázku 9 je znázorněno body pět vybraných pixelů z leteckých hyperspektrálních dat CASI (400 až 1000 nm) a SASI (1000 až 2400 nm) skládky Klobouky u Brna.



Obrázek 10 - Spektrální křivky odrazivosti různých typů povrchů na skládce Klobouky u Brna

Z jednotlivých pixelů jsou na následujícím obrázku 10 vykresleny jednotlivé spektrální křivky (vegetace – trvalý travní porost a křovina), plast (PET), voda a půda (směs, kde je převažuje žula).

Díky spolupráci s VŠCHT a jejich laboratornímu měření jsme schopni identifikovat pomocí hyperspektrálních dat také skládkové plyny. Jedním z nejčastěji zkoumaných je metan (CH₄), jelikož jeho zahořením může dojít k požáru skládky a tím pádem k uvolnění dalších nebezpečných látek do ovzduší.



Analyte	λ_{abs}	Analyte	λ_{abs}
UV range			
CO ₂	133, 145 nm	Phenols	266, 270–400 nm
Ethene	171 nm	Bilirubin	452 nm
Nitrates	210 nm	Nitrogen dioxide	496 nm
O ₃	254 nm		
Near-IR range			
O ₂	0.763 μm	CO	1.55 μm
HF	1.27, 1.33 μm	H ₂ S	1.57 μm
H ₂ O	1.3–1.4, 1.8, 1.94 μm	CO ₂	1.57, 2.01 μm
CH ₄	1.3, 1.65 μm	C ₂ H ₆	1.68 μm
HBr	1.34 μm	HCl	1.75 μm
N ₂ O	1.52 μm	NO	1.8 μm
Mid-IR range			
NH ₃	2.25, 3.03, 5.7 μm	H ₂ S	3.72, 3.83 μm
CH ₄	2.3, 3.2–3.5, ~7.7 μm	HBr	3.77 μm
CO	2.33, 4.6, 4.8, 5.9 μm	N ₂ O	4.3, 4.4, ~8 μm
CO ₂	2.7, 4.26, ~13 μm	HI	4.39 μm
H ₂ O	2.75–2.85 μm	Carbonyl sulfide	4.87 μm
C ₂ H ₂	3.07 μm	HNO ₃	5.81 μm
CH ₂ Cl	3.29 μm	NO ₂	6.17–6.43, 15.4–16.3 μm
C ₂ H ₆	3.3 μm	SO ₂	7.35, 19.25 μm
HCl	3.4 μm	H ₂ O ₂	7.79 μm
Acetone	3.4 μm	HCOOH	8.98 μm
H ₂ CO	3.6 μm		

Obrázek 11 – Vlnová délka z laboratorního měření

4. Datový model spektrálních křivek

Datový model spektrálních křivek musí pokrýt celou škálu předpokládaných aplikací v rámci projektu CEVOOH. Křivky v něm uložené, budou dále využity především v rámci aktivity 2.C.4 a vývoji softwarového nástroje AMOK. Datový model musí zohledňovat i požadavky na snadné strojové zpracování a vizualizaci uložených dat odrazivosti.

4.1. Variabilita vstupních dat

Datový model musí vzít v úvahu, že bude pracovat s různými daty, především hyperspektrálními, která byla použita pro vytvoření spektrálních křivek odrazivosti. Ty mohou být definovány různým počtem bodů a pokrývat rozdílné části elektromagnetického spektra. Tomu je zapotřebí uzpůsobit datový model, aby umožňoval uložení všech možných variant spektrálních křivek odrazivosti – tzn. především počáteční a koncovou vlnovou délku kterou křivka pokrývá, hodnoty vlnové délky včetně odrazivostí, ve kterých je křivka definována a volitelně i aproximační funkci, která ze zadaných nespojitých bodů dokáže sestavit hladkou křivku.

4.2. Návrh datové struktury

Vzhledem k charakteru vstupních dat a jejich importu, exportu, zpracování a vizualizaci, se jeví jako ideální datový model založený na JSON struktuře, se kterou se snadno pracuje a má dobrou podporu u všech nástrojů a technologií připadajících v úvahu při vývoji řešení. Databáze PostgreSQL má velmi rozšířenou a používanou nativní podporu pro uložení a operace s JSON strukturami, využije se pro uložení obou typů dat a nebude potřeba nasazovat další specializovaný software.

Návrh JSON struktury pro uložení informací o průběhu spektrální křivky odrazivosti obsahující výše uvedené atributy:

```
{  
  
  "nazev": "Ozimá pšenice",  
  
  "aktivni": true,  
  
  "id": 25448,  
  
  "puvod": "laboratorni_mereni",  
  
  "interpolace": "linearni",  
  
  "hodnoty": {  
  
    "760": "0.75886",  
  
    "765": "0.76297",  
  
    "770": "0.76341"  
  
    ...  
  
    ...  
  
    ...  
  
  }  
  
}
```

Popis jednotlivých klíčů JSON struktury:

Název	Popis
nazev	určení reálného objektu, který je danou spektrální křivkou odrazivosti popsán
aktivni	zda se daná spektrální křivka používá v systému AMOK - <true/false>
id	jednoznačný identifikátor spektrální křivky odrazivosti
puvod	jak byla data pro křivku získána
interpolace	kód funkce vhodné pro interpolaci naměřených dat pro vytvoření spojitě křivky – v průběhu vývoje systému AMOK bude doplněno o číselník hodnot, aby bylo umožněno strojové zpracování
hodnoty	obsahuje dvojice hodnot – vlnová délka v nm a jí odpovídající hodnota odrazivosti v intervalu <0,1>

4.3. Konkrétní implementace datového modelu

S ohledem na probíhající vývoj systému AMOK je třeba používat nástroje a aplikace, na kterých je vývoj postaven, tedy především open source nástroje. V oblasti databází se to týká využití databázového systému PostgreSQL, v němž bude potřeba implementovat datový model spektrálních křivek odrazivosti, což umožní přímý přístup aplikace AMOK na tato data.

Databázový systém PostgreSQL je robustní systém řízení báze dat podporující mnoho dalších doplňků včetně velmi využívaného rozšíření PostGIS, které umožňuje uložení prostorových dat vektorových i rastrových přímo v datové struktuře databáze. Pro použití v našem případě je ale rozhodující nativní podpora datových struktur JSON, které jsou zásadní součástí datového modelu a slouží pro uložení dat dvojic tvořených hodnotami vlnové délky a příslušné spektrální odrazivosti a doplněny jsou dalšími popisnými atributy. Podpora dat JSON v databázi PostgreSQL nekončí jen u uložení, pokud se zvolí binární datový formát JSONB, jako v případě spektrálních dat odrazivosti, jsou k dispozici i nástroje na indexaci a optimalizované vyhledávání a další operace nad strukturami JSON.

Pro implementaci datového modelu byl zvažován i systém Redis, jako speciální nástroj pro uložení, manipulaci a vyhledávání v textových datových strukturách, který by byl velmi vhodným řešením pro uložení dvojic dat typu klíč – hodnota (tj. vlnová délka – odrazivost), ale předpokládaný objem dat spektrálních křivek odrazivosti není takový, aby ospravedlnil implementaci úplně nového softwarového nástroje do infrastruktury AMOK a vystačí se s nástroji databáze PostgreSQL.

Součástí Přílohy 1 je SQL skript, který tvoří novou databázi v prostředí PostgreSQL a v rámci ní i datovou strukturu potřebnou pro uložení dat spektrálních křivek.

Seznam literatury:

Agricolus (2023): <https://www.agricolus.com/en/vegetation-indices-ndvi-ndmi/>.

Bauer, M., E. (2020): *Remote sensing of environment: history, philosophy, approach and contributions*, 1969–2019. *Remote Sensing of Environment*, 237: 111522.

Boegh, E. et al. (2002): *Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photosynthetic efficiency in agriculture*, *Remote Sensing of Environment*, 81(2–3), pp. 179–193. doi: 10.1016/S0034-4257(01)00342-X.

CENIA (2019): Seidlová, J., Hofrajtr, M., Stein, Z., Rejentová, L., Kvapil, J., Kochová, T. *Metodika vymezení urbánního území na základě klasifikace dat dálkového průzkumu Země*. https://www.cenia.cz/wpcontent/uploads/2019/08/Metodika_urbanni_uzemi.pdf.

Congalton, R., G. (2010): *Remote sensing: an overview*. *GIScience & Remote Sensing*, 47(4):443-459.

Cracknell, A., P. (2018): *The development of remote sensing in the last 40 years*. *International Journal of Remote Sensing*. 2018, 39(23), 8387-8427. ISSN 0143-1161.

Drury, S., A., Stephen, A. (1993): *Image interpretation in geology*. Chapman & Hall.

Fu, W., Ma, J., Chen, P., Chen, F. (2020): *Remote sensing satellites for digital earth*. In *Manual of digital earth* (pp. 55-123). Springer, Singapore.

Gašparović, M. (2020): *Urban growth pattern detection and analysis*. In: *Urban Ecology*. Elsevier, s. 35-48 [cit. 2023-01-10]. ISBN 9780128207307. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-820730-7.00003-3.

Hemati, M., Hasanlou, M., Mahdianpari, M., Mohammadimanesh, F. (2021): *A systematic review of landsat data for change detection applications: 50 years of monitoring the earth*. *Remote Sensing*, 13(15):2869.

Jackson, M., W. (2009): *Earth Observing Platforms and Sensors*. Maryland: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, c2009. Manual of remote sensing (3rd ed.), v. 1.1 ISBN 1-57083-089-4.

Labguide, M. (2015): *Elektromagnetické spektrum*. LabGuide.cz, <https://labguide.cz/fluorochromy/elektromagneticke-spektrum/> (cit. 14. 3. 2022).

Laurent, E., J. et al. (2005): *Using the spatial and spectral precision of satellite imagery to predict wildlife occurrence patterns*, Remote Sensing of Environment. Elsevier Inc., 97(2), pp. 249–262. doi: 10.1016/j.rse.2005.04.015.

Lillesand, T., M., Kiefer, R., W., Chipman, J., W. (2008): *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.

Liu, J., G., Morgan, G., L., K. (2006): *FFT selective and adaptive filtering for removal of systematic noise in ETM_p image odesy images*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 44 (12).

Malleswara, R., J., Siddiqui, A., Maithani, S., Kumar, P. (2020): *Hyperspectral and multispectral data fusion using fast discrete curvelet transform for urban surface material characterization*. Geocarto International, 1-13.

McFeeters, S., K. (1996): *The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features*, International Journal of Remote Sensing, 17(7), pp. 1425–1432. doi: 10.1080/01431169608948714.

Minařík, R., Langhammer, J., Hanuš, J. (2019): *Radiometric and Atmospheric Corrections of Multispectral μ MCA Camera for UAV Spectroscopy*. Remote Sensing. 11(20) [cit. 2023-01-10]. ISSN 2072-4292. Dostupné z: doi:10.3390/rs11202428.

Moore, G., A. (1991): *Crossing the chasm: marketing and selling technology products to mainstream customers*. New York, N.Y. HarperBusiness, c1991. ISBN 9780887305191.

NASA (2021): <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/>.

Novák, I. (2015): *Účinky elektromagnetického pole na lidský organismus – TZB-info*. <https://elektro.tzb-info.cz/13319-ucinky-elektromagnetickeho-pole-na-lidsky-organismus> (cit. 9. 1. 2023).

Polák, M. (2022): *Testování možností extrakce vybraných krajinných charakteristik pro popis stanovišť výskytu indikačně významných druhů ptáků v Krkonoších z dat dálkového průzkumu Země*. Praha. Diplomová práce (Mgr.). Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie.

Ravindranath, N., H., Ostwald, M. (2006): *Remote Sensing and GIS Techniques*, in Carbon Inventory Methods. 2006. Oxford University Press, pp. 181–199.

Rouse, J., W., Haas, R., H., Schell, J., A., Deering, D., W. (1974): *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. In: Fraden, S. C., Marcanti, E. P., Becker, M. A. (eds.). Third ERTS- 1 Symposium, Washington DC, 309–317.

Sabins, F., F. (1996): *Remote Sensing: Principles and Interpretation*, third ed. Freeman & Co., New York, NY.

Schowengerdt, R., A. (2006): *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. Elsevier Inc., Tucson.

Seidlová, J. (2018): *Využitelnost neklasifikovaných družicových snímků pro identifikaci biotopu tetřívka obecného (Tetrao tetrix) v Krušných horách*. Praha. 2018. Diplomová práce (Ing.). Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování.

Talukdar, S., S., Naikoo, M., W., Rahman, A., Gagnon, A., S., Islam, A., R., T., Mosavi, A. (2021): *Comparative Evaluation of Operational Land Imager sensor on board Landsat 8 and Landsat 9 for Land use Land Cover Mapping over a Heterogeneous Landscape*. Geocarto International [cit. 2023-01-09].

Tempfli, K., Huurneman, G., C., Bakker, W., Janssen, L., L., F., Feringa, W., F., Gieske, A., Grabmaier, K., A., Hecker, C., Horn, J., Kerle, N., Meer, F., D., Parodi, G., Pohl, C., Reeves, C., V., Ruitenbeek, F., J., A., Schetselaar, E., Weir, M., Westinga, E., Woldai, T. (2009): *Principles of remote sensing: An introductory textbook*.

Wulder, M., A., Loveland, T., R., Roy, D., P., Crawford, C., J., Masek, J., G., Woodcock, C., E, Allen, R., G., Anderson, M., C., Belward, A., S., Cohen, W., B., Dwyer, J., Erb, A., Gao, F., Griffiths, P., Helder, D., Hermosilla, T., Hipple, J., D., Hiostert, P., Zhu, Z. (2019): *Current status of Landsat program, science, and applications*. Remote sensing of environment, 225:127-147.

Xu, H. (2006): *Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery*, International Journal of Remote Sensing, 27(14), pp. 3025–3033. doi: 10.1080/01431160600589179.

Zhang, M., Carder, K., Muller-Karger, F., E., Lee, Z., Goldgof, D., B. (1999): *Noise reduction and atmospheric correction for coastal applications of Landsat Thematic Mapper imagery*. Remote Sensing of Environment 70 (2), 167e180.

Seznam obrázků:

Obrázek 1 - Časová řada družic Landsat, Seidlová (2018)	2
Obrázek 2 - Elektromagnetická vlna, Novák (2015)	4
Obrázek 3 - Elektromagnetické spektrum, LabGuide (2015)	5
Obrázek 4 - Schéma zařazení pixelu k jednotlivým spektrálním třídám, CENIA (2019)	6
Obrázek 5 - Vegetační indexy s množstvím odraženého záření, Agricolus (2023).....	6
Obrázek 6 - Výpočet NDVI, Rouse (1974).....	6
Obrázek 7 - NDVI u zdravé a stresované rostliny, Agricolus (2023)	7
Obrázek 8 - Spektrální křivky odrazivosti povrchu	8
Obrázek 9 – Lokace zájmových pixelů	9
Obrázek 10 - Spektrální křivky odrazivosti různých typů povrchů na skládce Klobouky u Brna	9
Obrázek 11 – Vlnová délka z laboratorního měření.....	10

Příloha 1

Skript pro vytvoření nové databáze *spektrum* obsahující tabulku *odrazivost*, která ve svém sloupci *data* nese hodnoty spektrální odrazivosti v binárním formátu JSONB. Sloupec *id* představuje unikátní primární klíč.

```
CREATE DATABASE spektrum;

CREATE TABLE odrazivost (

id serial NOT NULL PRIMARY KEY,

data jsonb NOT NULL

);
```

Ověření vytvoření databáze *spektrum* a tabulky *odrazivost* prostřednictvím PSQL prostředí databáze PostgreSQL.

```
spektrum=# \dt+
```

Seznam relací

Schéma	Jméno	Typ	Vlastník	Velikost	Popis
public	odrazivost	tabulka	postgres	8192 bytes	

(1 řádka)

Výpis vnitřní struktury tabulky *odrazivost* pro ověření správného založení obou sloupců a primárního klíče.

```
spektrum=# \d+ odrazivost
```

Tabulka

```
"public.odrazivost"
```

```

Sloupec | Typ | Collation | Nullable | Implicitně
| Uložení | Stats target | Popis

```

```

-----+-----+-----+-----+-----
-----+-----+-----+-----+-----

```

```

id | integer | | not null |
nextval('odrazivost_id_seq'::regclass) | plain | |
data | jsonb | | not null |
extended | | |

```

Indexy:

```
"odrazivost_pkey" PRIMARY KEY, btree (id)
```