

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra ekologie a životního prostředí



**Analýza vegetačního pokryvu v blízkosti
skládky tuhého komunálního odpadu
s využitím dat dálkového průzkumu Země**

Jan Krobot

Bakalářská práce

předložená

na Katedře ekologie a životního prostředí

Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků

k získání titulu Bc. v oboru

Biologie a environmentální výchova pro vzdělávání/Geografie pro vzdělávání

Vedoucí práce: doc. RNDr. Tomáš Václavík, Ph.D. [UPOL]

Konzultace: Ing. Olga Brovkina, CSc. [CzechGlobe]

Zábřeh 2024

Krobot J. 2024. Analýza vegetačního pokryvu v blízkosti skládky tuhého komunálního odpadu s využitím dat dálkového průzkumu Země [bakalářská práce]. Olomouc: Katedra ekologie a ŽP PřF UP v Olomouci. 46 s. 2 přílohy, česky.

Abstrakt

Tato práce se zaměřuje na analýzu vegetace v okolí skládek tuhého komunálního odpadu (TKO), které představují potenciální hrozbu pro životní prostředí (ovzduší, půdu a vodu) a zdraví obyvatel zejména kvůli možnému úniku škodlivých látek a produkce skleníkových plynů. Jednou z oblastí, kde se dopad skládek TKO může projevit, je vegetace v bezprostřední blízkosti skládek, neboť vegetace je klíčovým indikátorem zdraví ekosystému a její analýza může poskytnout cenné informace o vlivu skládky na životní prostředí. S rozvojem technologií dálkového průzkumu Země a zvyšující se dostupností satelitních dat se otevírají nové možnosti pro monitoring skládek TKO a sledování změn a stavu vegetace v okolním prostředí během celého životního cyklu skládky například pomocí vegetačních indexů použitých i v této práci. Pro analýzu jsou v této práci využita data ze satelitů Landsat a Sentinel. Ze snímků daných satelitů jsou pro potřeby analýzy okolí skládky TKO vypočítány vegetační indexy NDVI a NDMI. Během analýzy se ukázalo, že vegetace je v okolí skládek výrazně ovlivněna. Toto ovlivnění se projevuje nejen zhoršením celkového stavu vegetace v nejbližším okolí, ale například i ústupem lesa. Pro potenciální ovlivnění stavu vegetace skládkou je však zapotřebí podrobnější a hlubší analýza zahrnující vzorky půdy a vody. Práce poskytuje důležité základní poznatky o vegetaci na a v blízkosti skládek TKO a má potenciál ovlivnit budoucí výzkum konkrétních dopadů dlouhodobého působení skládek TKO na vegetaci.

Klíčová slova: dálkový průzkum Země; družicová data; krajinný pokryv; skládky tuhého komunálního odpadu; vegetační indexy

Krobot J. 2024. Analysis of vegetation cover near municipal solid waste landfill using remote sensing data [bachelor's thesis]. Olomouc: Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacký University Olomouc. 46 pp. 2 Appendices. Czech.

Abstract

This work focuses on the analysis of vegetation in the vicinity of municipal solid waste (MSW) landfills, which represent a potential threat to the environment (air, soil and water) and the health of the population, especially due to the possible leakage of harmful substances and the production of greenhouse gases. One of the areas where the impact of MSW landfills can be felt is the vegetation in the immediate vicinity of landfills, as vegetation is a key indicator of ecosystem health and its analysis can provide valuable information about the landfill's impact on the environment. With the development of remote sensing technologies and the increasing availability of satellite data, new possibilities are available for monitoring MSW landfills and assessing changes and the state of vegetation in the surrounding environment during the entire life cycle of the landfill, for example using the vegetation indices. Data from Landsat and Sentinel satellites are used in this work for analysis. The vegetation indices NDVI and NDMI are calculated from the satellite images for the analysis of the surroundings of the MSW landfill. The analyses show that the vegetation around the landfills is significantly affected. This influence manifests itself not only in the deterioration of the general state of vegetation in the immediate vicinity, but also, for example, in the retreat of the forest cover. The landfill can potentially influence the vegetation state, however, more detail and deeper analysis incorporating soil and water samples is needed. The work provides important basic knowledge about vegetation on and near MSW landfills and has the potential to influence future research on the specific effects of long-term effects of MSW landfills on vegetation.

Key words: remote sensing; satellite data; land cover; municipal solid waste landfills; vegetation indices

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. RNDr. Tomáše Václavíka, Ph.D. z UP Olomouc a Ing. Olgy Brovkiny, CSc. z CzechGlobe jen s použitím citovaných literárních pramenů.

V Zábřeze 30. dubna 2024

Jan Krobot

Obsah

Seznam tabulek	vii
Seznam obrázků	viii
Úvod.....	1
Vliv skládek tuhého komunálního odpadu na životní prostředí.....	1
Vliv skládek tuhého komunálního odpadu na vegetaci v blízkosti skládek.....	2
Technologie dálkového průzkumu Země pro sledování vegetace v blízkosti skládek tuhého komunálního odpadu.....	3
Vegetační indexy jako ukazatel stavu vegetace v okolí skládek TKO	4
Cíle práce	6
Materiály a metody	7
Vybrané skládky TKO	7
Historická ortofota a družicová data z okolí skládek.....	9
Zpracování družicových dat.....	10
Výsledky	13
Skládka Třebovice.....	13
Skládka Zábřeh.....	17
Diskuse.....	23
Začlenění do výuky	25
Téma v Rámcovém a školním vzdělávacím programu	25
Aplikace poznatků ve výuce	25
Závěr	27
Literatura.....	28
Příloha A	33
Příloha B.....	35

Seznam tabulek

Tabulka 1: Souhrn použitých satelitních scén pro analýzu vegetace	10
Tabulka 2: Změny v ploše lesa severozápadně od skládky Třebovice	14
Tabulka 3: Změny v ploše lesa severovýchodně od skládky Zábřeh.....	18

Seznam obrázků

Obr. 1: Poloha bývalé skládky TKO Zábřeh (bod 1) a aktivní skládky TKO Třebovice (bod 2). Zdroj: www.mapy.cz	8
Obr. 2: Skládky TKO Třebovice a její okolí v roce 2022. Zdroj: www.mapy.cz	13
Obr. 3: NDVI pro skládku Třebovice (shora zleva – 1984, 1994, 2005, 2014, 2023).....	14
Obr. 4: NDMI pro skládku Třebovice (shora zleva – 1984, 1994, 2005, 2014, 2023).....	15
Obr. 5: NDVI ze satelitů Sentinel v okolí skládky Třebovice pro roky 2015 (vlevo) a 2023 (vpravo).....	15
Obr. 6: NDMI ze satelitů Sentinel v okolí skládky Třebovice pro roky 2015 (vlevo) a 2023 (vpravo).....	16
Obr. 7: Spektrální křivka odrazivosti vegetace v okolí skládky TKO Třebovice.....	16
Obr. 8: Bývalá skládka TKO Zábřeh (červená šipka) a její okolí v roce 2022. Zdroj: www.mapy.cz	17
Obr. 9: Ortofoto poukazující na změnu lesního porostu severozápadně od skládky TKO Zábřeh (vlevo 1968, vpravo 1993). Zdroj: ags.cuzk.cz	18
Obr. 10: NDVI pro skládku Zábřeh (shora zleva – 1984, 1994, 2004, 2014, 2023).....	19
Obr. 11: NDMI pro skládku Zábřeh (shora zleva – 1984, 1994, 2004, 2014, 2023).....	20
Obr. 12: NDVI ze satelitů Sentinel v okolí skládky Zábřeh pro roky 2016 (vlevo) a 2023 (vpravo).....	20
Obr. 13: NDMI ze satelitů Sentinel v okolí skládky Zábřeh pro roky 2016 (vlevo) a 2023 (vpravo).....	21
Obr. 14: Spektrální křivka odrazivosti vegetace v okolí skládky TKO Zábřeh.....	21
Obr. 15: Skruže pod bývalou skládkou TKO Zábřeh	33
Obr. 16: Skruž na horní ploše bývalé skládky TKO Zábřeh.....	33
Obr. 17: Rekultivovaná skládka TKO Zábřeh	34
Obr. 18: Příjezdová cesta ke skládce TKO Zábřeh	34

Poděkování

Rád bych vyjádřil svou upřímnou vděčnost všem, kteří mi pomohli při přípravě této bakalářské práce. Děkuji doc. RNDr. Tomáši Václavíkovi, Ph.D. za cenné rady a přínosné poznámky při psaní této práce. Dále bych chtěl vyjádřit velký vděk Ing. Olze Brovkině, CSc. za technické rady, velmi přátelskou komunikaci a vřelý přístup při konzultacích ohledně této práce. Děkuji všem, kteří mi pomohli na mé cestě poznání a sebeobjevování. Děkuji také svým rodičům za psychickou podporu.

V Zábřeze, 30. dubna 2024

Úvod

Vliv skládek tuhého komunálního odpadu na životní prostředí

Skládky tuhého komunálního odpadu (TKO) představují závažný ekologický problém, který má potenciál značně narušit a poškodit okolní životní prostředí (Altman, 2010). Tyto skládky často obsahují širokou škálu nebezpečných látek a toxických chemikálií, které mohou unikat do půdy a podzemních vod, což ohrožuje ekosystémy a zdraví lidí (Kuraš, 2014). Kromě toho skládky mohou být zdrojem zápachu, emisí skleníkových plynů a látek vyvolávajících degradaci kvality vzduchu. Jejich negativní dopad se může projevat dlouhodobě a mít široké regionální i globální důsledky na životní prostředí a lidské zdraví (Mancino, 2024).

Jedním z hlavních faktorů, které ovlivňují životní prostředí v blízkosti skládek, jsou emise skleníkových plynů. Skládky jsou zdrojem emisí metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2) (Rongxing, 2019), které jsou významnými skleníkovými plyny přispívajícími ke globálnímu oteplování (Houghton, 2004). Metan se vytváří při anaerobním rozkladu organického materiálu, který je na skládce zahrnut. Tyto emise mají potenciál ovlivnit klimatické změny a zhoršit kvalitu ovzduší v okolí (Weinberg, 2011).

Dalším důležitým aspektem je chemická kontaminace. Skládky mohou způsobovat kontaminaci půdy a podzemní vody škodlivými látkami (Koda, 2022), jako jsou těžké kovy, pesticidy a další toxické látky obsažené v odpadu (Salem, 2008). Tyto látky mohou proniknout do půdy a podzemních vod a znečistit je, což má negativní dopad na rostlinný a živočišný život v okolí (Melnyk, 2014).

Jinými problémy jsou také zápach a vizuální obtěžování. Rozklad organického materiálu na skládce může produkovat nepříjemné zápachy, které se šíří do okolí a obtěžují místní obyvatele (Vaverková, 2019). Kromě toho může samotný vzhled skládky být esteticky rušivý a snižovat kvalitu života obyvatel v okolí (Nochian, 2019).

Změny v prostředí v blízkosti skládky mohou také mít negativní dopad na biodiverzitu. Skládky mohou vést k degradaci přirozených habitatů a snížení dostupných zdrojů potravy a útočišť pro místní rostliny a živočichy (Chan, 1997).

V neposlední řadě přítomnost skládky komunálního odpadu v blízkosti obytných oblastí může zvýšit riziko zdravotních problémů u obyvatel, včetně respiračních onemocnění, kožních problémů a dalších zdravotních komplikací spojených se znečištěním ovzduší a vodních zdrojů (Albertini, 2006).

Vliv skládek tuhého komunálního odpadu na vegetaci v blízkosti skládek

Vegetace je klíčovým indikátorem zdraví ekosystému, může sloužit jako bioindikátor kontaminace půdy a vody a její analýza může poskytnout cenné informace o vlivu skládky na životní prostředí (Eggen, 2010). Vegetace v blízkosti skládek TKO může z atmosféry pohlcovat negativní látky rychleji prostřednictvím listů než pomocí kořenů (Ekeu-wei, 2018). Tento proces může ovlivnit zdravotní stav rostlin. Listy rostlin jsou vybaveny stomaty, malými otvory, které umožňují výměnu plynů (Vinter, 2013). Tato stomata mohou absorbovat různé znečišťující látky, včetně těžkých organických sloučenin a oxidů dusíku, které se často vyskytují v okolí skládek odpadů (Białowiec, 2019).

Zatímco listy mohou absorbovat škodlivé látky ze vzduchu poměrně rychle, kořeny rostlin pohlcují látky ze země, což je proces, který obvykle trvá delší dobu. Pokud jsou v půdě přítomny toxické chemikálie, mohou být tyto látky absorbovány kořeny, ale toto pohlcení je méně přímé než absorpce znečištění vzduchu listy (Mancino, 2022). Expozice znečišťujícím látkám může vést k různým formám poškození rostlin, včetně poškození listů a snížení efektivity fotosyntézy, snížení růstu a vývoje případně k větší náchylnosti ke stresu a chorobám (Koda, 2022).

Dlouhodobé vystavení znečišťujícím látkám může značně ovlivnit zdraví a vitalitu vegetace, což může vést k snížení biodiverzity a funkčnosti ekosystémů (Tintner, 2011). Proto je důležité monitorovat znečišťující látky v blízkosti skládek a zvažovat strategie pro snížení jejich dopadu na okolní vegetaci, jako je výsadba druhů rostlin, které jsou odolnější vůči znečištění, nebo implementace zelených bariér k omezení šíření znečišťujících látek (Ekeu-wei, 2018). Zmíněné studie ukazují, že sledování vegetace okolí skládky TKO během jejího životního cyklu je důležité pro lepší pochopení rozsahu a povahy možných negativních dopadů skládky TKO na životní prostředí.

V případě některých skládek může mít na vegetaci vliv i železnice či jiná dopravní infrastruktura. Přírodním vlivem dopravních staveb na vegetaci jsou fyzické interferenční faktory, jako například traťová infrastruktura, stavby a periodické údržbové práce. Tyto faktory mohou vést k fragmentaci a narušení přirozeného prostředí, což ovlivňuje složení a strukturu vegetace (Jandová, 2009). Dále mohou být dopravní koridory cestou šíření invazivních druhů rostlin, které mohou konkurovat původním druhům. Navíc může být vegetace v blízkosti železničních koridorů vystavena zvýšenému znečištění ovzduší a půdy způsobenému provozem vlaků (Brtnický, 2022).

Technologie dálkového průzkumu Země pro sledování vegetace v blízkosti skládek tuhého komunálního odpadu

Dálkový průzkum Země (DPZ) s využitím družicových a leteckých dat může nabízet cenově výhodnou a bezzásahovou metodu pro monitoring skládek TKO i okolní vegetace (Dobrovolný, 1998). Zpracováním družicových či leteckých snímků lze navíc získat i poměrně přesná data, ukazující zdravotní stav okolní vegetace či její rozšíření. V neposlední řadě lze z těchto dat vypočítat i částečné změny v krajinném pokryvu v okolí skládek (Green, 1994). Data z DPZ totiž sahají až do 70. let minulého století a nabízejí tak poměrně dlouhou časovou řadu pro zpětnou analýzu. Kromě samotných satelitních snímků jsou k dispozici i letecké snímky vojenského mapování. Toto mapování se datuje od 30. let minulého století (Váňová, 2009).

Dálkový průzkum Země (DPZ) je moderní technologie získávání informací o objektech a jevech na povrchu planety Země bez nutnosti fyzického kontaktu. Tato metodika zahrnuje sběr, získávání, zpracování a interpretaci leteckých a satelitních snímků (Dobrovolný, 1998), které zachycují odražené elektromagnetické záření, jenž je emitováno objekty na zemském povrchu (Doubrava, 2011). Elektromagnetické záření má obecně velmi široké spektrum. Sahá od gama záření s vlnovou délkou 10^{-15} m až po rádiové vlny s vlnovou délkou v řádech kilometrů. V určitých částech spektra se pohybují i satelitní snímky v rámci dálkového průzkumu Země. (Rogan, 2004).

Družice, které poskytují snímky zemského povrchu mohou obíhat Zemi po kruhových nebo eliptických drahách v různých výškách ve třech typech oběžných drah. Jedná se o rovinu rovníku (tzv. geostacionární dráha), v šikmé oběžné dráze a v subpolární oběžné dráze (Dobrovolný, 1998). Mezi významné informační zdroje o povrchu Země a jejích přírodních zdrojích získané z DPZ patří družice se subpolární dráhou letu systému Landsat (Yan, 2014). Program Landsat je souborem družicových misí určených k pozorování Země, řízených Národním úřadem pro letectví a vesmír (NASA) a další americkou vědeckovýzkumnou agenturou USGS. Data jsou sbírána od roku 1972, kdy byla do vesmíru vypuštěna první družice Landsat 1 (Wulder, 2022). Od té doby bylo vypuštěno celkem 9 družic Landsat, přičemž poslední, Landsat 9, byla vypuštěna v září 2021 (Wulder, 2022).

Wulder (2022) i Williams (2006) dále píší, že družice Landsat pořizují snímky Země v různých spektrálních pásmech (tzv. multispektrální snímky), což umožňuje vědcům

a výzkumníkům studovat různé aspekty environmentálních změn, jako je odlesňování, urbanizace, změna klimatu nebo zemědělská produkce.

Podobným zdrojem pro pozorování Země je i mise Sentinel-2 z programu Copernicus, která systematicky získává optické snímky s vysokým prostorovým rozlišením (nejčastěji 20 m) nad pevninou a pobřežními vodami. Rozlišení v případě mise Sentinel-2 je vyšší než u misí Landsat (Phiri, 2020). Mise je momentálně prováděna se dvěma satelity, Sentinel-2A a Sentinel-2B. Třetí satelit Sentinel-2C prochází testováním v rámci přípravy na plánovaný start v roce 2024 (Frampton, 2013).

Kromě dálkového průzkumu Země existují rozličné terénní metody průzkumu skládek. Terénní průzkumy jsou základní metodou pro sběr přímých dat o vegetaci. Tyto metody zahrnují: pozorování a identifikaci druhů rostlin přítomných v dané oblasti; měření hustoty, výšky, pokryvu a dalších parametrů vegetace či analýzu vzorků půdy. Mezi možná technická řešení terénních metod patří metody založené na autonomních senzorech pro měření koncentrací nebezpečných výparů, radiačního pozadí, geotechnických faktorů a dalších proměnných prostředí (Titov, 2021).

Vegetační indexy jako ukazatel stavu vegetace v okolí skládek TKO

Vegetační indexy, spočítané z dat DPZ, vyjadřují matematický vztah mezi odrazivostí záření v intervalu červené viditelné části spektra (600–700 nm, v kapitole materiály a metody označováno jako RED) a v blízké infračervené části spektra (přibližně 700–900 nm, dále NIR) (Giovos, 2021). Jedná se o kvantitativní ukazatele, které se používají k měření a monitorování vegetace pomocí dat získaných z DPZ. Jejich nejčastější využití je k určení hustoty a zdraví vegetačního krytu (Xie, 2008). Změny v hodnotách vegetačních indexů mohou naznačovat stres u rostlin, včetně stresu způsobeného znečištěním. Například pokles hodnot NDVI (Normalized difference vegetation index) může signalizovat problémy, jako je snížená fotosyntéza, poškození listů nebo celkové oslabení rostlin (Huete, 2012).

NDVI Index slouží zejména pro odlišení zeleně od ostatních druhů povrchu na základě odrazivých vlastností vegetace (Green, 1994). Hodnota výsledku NDVI se obvykle pohybuje v intervalu od -1 do 1. S vyššími hodnotami vzrůstá pravděpodobnost, že má oblast hustý pokryv zelené vegetace. NDVI hodnoty vyšší než 0 indikují přítomnost vegetace (Gashaw et al., 2015). Umožňuje tak odlišení vegetace od ostatních objektů v okolí, jako jsou zástavba, voda či holá půda. (Rongxing, 2019).

Tzv. normalizovaný diferenční vodní index (NDWI) je citlivý k míře obsahu vody uvnitř listů vegetace. Mimo jiné může s velkou pravděpodobností ukázat vodní stres rostlin. K jeho výpočtu se využívá dvou blízkých infračervených pásem (NIR) umístěných přibližně v 0,86 μm a 1,24 μm , což je zároveň vlnová délka v okolí absorpčního pásu vody (Fang, 2008). NDWI nabývá pozitivních hodnot pro zelenou vegetaci a negativních hodnot pro suchou vegetaci (Giovos, 2021). Může být využit jako doplňkový index k NDVI. Obvykle vykazuje rychlejší odpověď k suchým podmínkám než NDVI (Vaverková, Winkler, 2019). Tento index sloužil spíše pro kontrolu dat a nebude v této práci dále používán.

Druhým použitým indexem v práci je index NDMI (Normalized Difference Moisture Index), jenž je navržen k monitorování půdní a vegetační vlhkosti a podobně jako NDWI využívá pásmo zahrnující vlnovou délku 0,86 μm (Wang, 2009). Nicméně místo jednoho absorpčního pásma vody využívá NDMI rozdíl mezi dvěma absorpčními pásmy citlivými ke změnám v obsahu vody v rostlinách a půdě (Giovos, 2021), umístěnými v krátkých infračervených vlnových délkách (SWIR) 1640 nm a 2130 nm (Wang, 2009). Na holém nebo řídkce zarostlém povrchu nabývá NDMI hodnot vyšších než 0,7, což naznačuje suché podmínky. Vlhké podmínky naopak nastávají, pokud je NDMI menší než 0,6 (Wang, 2007).

Poslední použitou metodou pro analýzu vegetace v okolí skládek bylo vytvoření spektrální křivky odrazivosti pro danou oblast. Spektrální křivky vegetace poskytují důležité informace nejen o fyziologickém stavu rostlin a jejich prostředí, ale také o celkovém množství vegetace v dané oblasti (Gitelson, 1996). Změny ve spektrálních charakteristikách mohou signalizovat různé stresové faktory, jako je nedostatek vody, kontaminace půdy nebo přítomnost toxických látek. Studie těchto křivek v blízkosti skládek TKO může odhalit jak akutní, tak chronické dopady těchto skládek na vegetaci (Ringrose, 1994). Analýza spektrálních křivek doplňuje vegetační indexy a může tak podpořit výsledky získané z těchto indexů.

Mezi možné mezery v poznání, které se tato práce snaží zaplnit, patří především omezená dostupnost konkrétních dat pro dvě konkrétní vybrané skládky. Zjištění změn ve vegetaci u vybraných skládek má potenciál obohatit strategie environmentální ochrany a poskytnout konkrétní informace pro lepší plánování a monitorování lokalit skládek TKO. Zároveň mohou výsledky představovat odrazový můstek pro následující hlubší analýzu vegetace pomocí terénních metod a zjištění hlavního ohrožujícího zdroje, pocházejícího ze skládky.

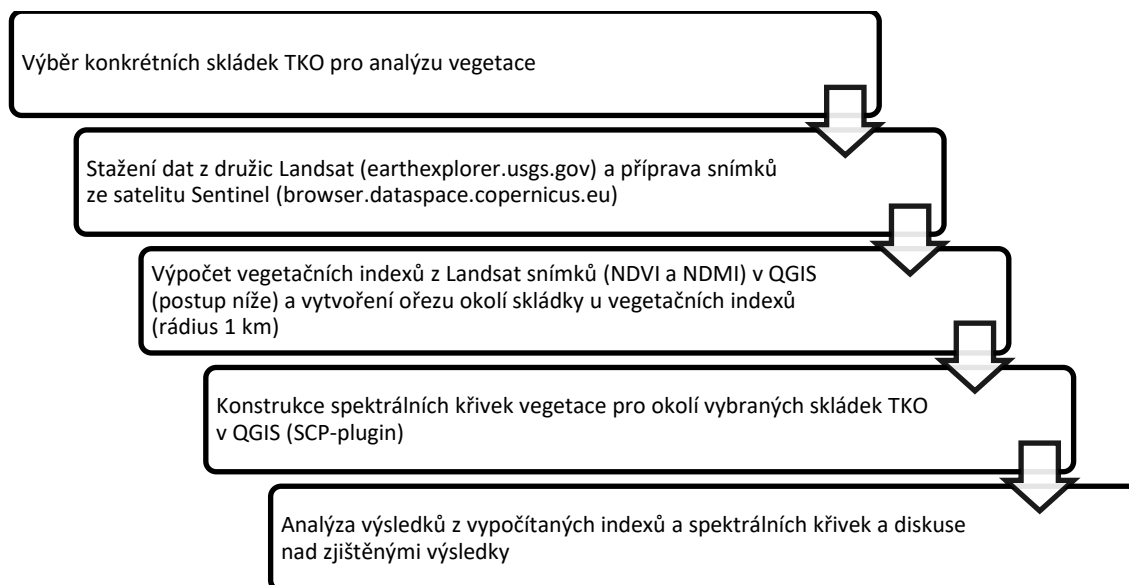
Cíle práce

Cílem této bakalářské práce je zhodnocení změn vegetace v okolí vybraných skládek TKO pomocí satelitního dálkového průzkumu Země. Práce se zaměřuje na identifikaci změn ve vegetaci, které mohou souviset s přítomností skládky, a diskutuje, jaké faktory tyto změny nejvíce ovlivňují. Konkrétně práce analyzuje vegetaci ve třech klíčových fázích: před výstavbou skládky, během aktivního období životního cyklu skládky a po rekultivaci skládky.

K dosažení cíle práce jsou využity archivní satelitní snímky z družic programů Landsat (NASA) a Sentinel (ESA); geografický informační systém (GIS) QGIS, který umožňuje efektivní zpracování a vizualizaci prostorových dat; vegetační indexy odvozené z dat DPZ, které přispívají k celkovému porozumění dynamiky vegetace v okolí skládky.

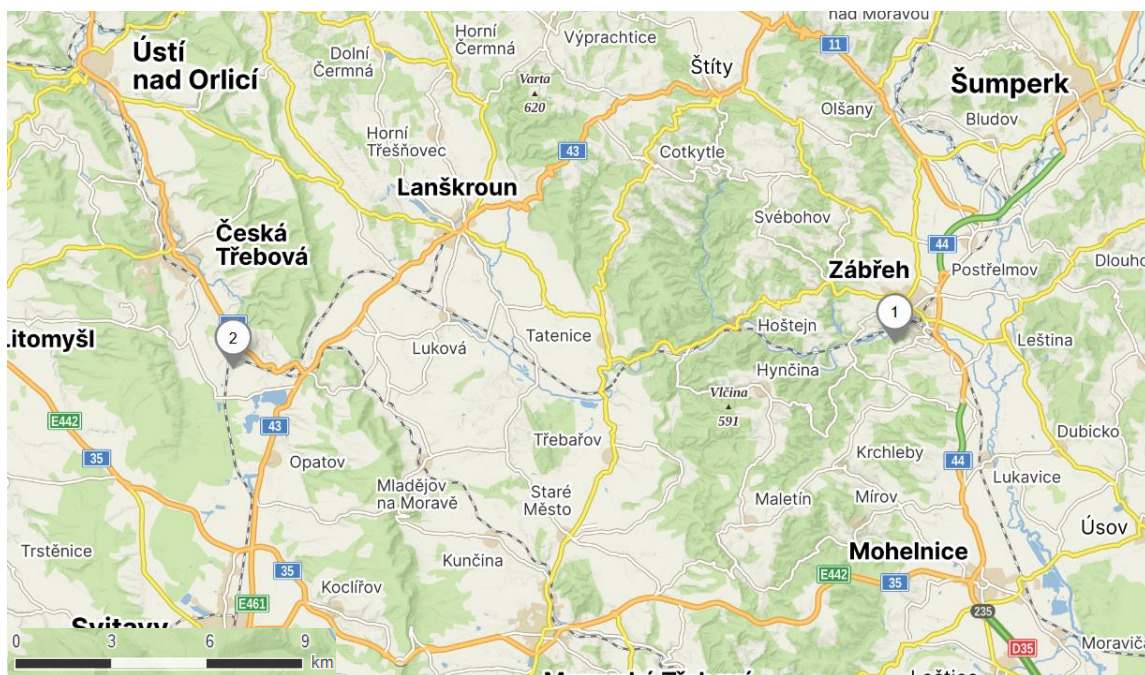
Materiály a metody

V následující kapitole se zaměřím na popis použitých materiálů a metodologie, které jsem použil při analýze stavu vegetace v okolí skládek TKO. Důraz jsem kladl na využití dat získaných prostřednictvím dálkového průzkumu Země, které mi poskytly cenné informace pro tuto studii. Pro lepší orientaci v postupu při získávání a zpracovávání dat přikládám flow-diagram, v němž jsou přehledně vyznačeny základní kroky postupu získávání a zpracování dat.



Vybrané skládky TKO

Pro potřeby analýzy vegetace v okolí skládek TKO během jejich životního cyklu jsem musel zvolit více skládek, z nichž by alespoň jedna byla již rekultivovaná. Tento výběr byl důležitý proto, že rekultivovaná skládka poskytuje data z celého jejího životního cyklu. Aktivní skládky obvykle mají stále negativní dopad na okolní životní prostředí, včetně vegetace, zatímco rekultivované skládky by měly vykazovat známky obnovy a zlepšení podmínek. Původně byly pro analýzu vybrány čtyři skládky (Klobouky u Brna, Šlapanice, Třebovice a Zábřeh). Zábřežská skládka představovala skládku rekultivovanou a dnes již nefunkční. Ostatní skládky byly stále aktivní. Z důvodu velkého objemu dat a podobnosti všech tří aktivních skládek byla nakonec pro analýzu z aktivních skládek ponechána pouze skládka TKO v Třebovicích u České Třebové. Poloha skládek je vidět na obrázku 1.



Obr. 1: Poloha bývalé skládky TKO Zábřeh (bod 1) a aktivní skládky TKO Třebovice (bod 2). Zdroj: www.mapy.cz.

Bývalá skládka TKO Zábřeh se nachází v místní části Skalička na souřadnicích $49^{\circ}52'2.77''$ s. š. a $16^{\circ}52'0.46''$ v. d. necelé 2 km východně od přírodního parku Březná. Celková plocha skládky je 1,7 ha. Dnes je tato rekultivovaná skládka spíše zajímavým krajinným prvkem a často slouží jako vyhlídka do okolí. Aktuální fotky z rekultivované skládky Zábřeh jsou k dispozici v příloze A. Zajímavým faktem je, že zhruba 400 m východně od této skládky se nachází ještě další bývalá a dnes již rekultivovaná skládka.

Druhá, stále aktivní skládka, se nachází z velké části na území obce Třebovice, 5,5 km jihovýchodně od města Česká Třebová. Její severní část však leží z menší části na katastru obce Opatov. Pro potřeby této práce bude skládka označována jako Třebovická. Skládka leží na souřadnicích $49^{\circ}51'28.56''$ s. š. a $16^{\circ}28'42.13''$ v. d., má rozlohu 5,8 ha a je rozdělena do jedenácti samostatných sekcí. Skládka byla postavena a uvedena do provozu roku 1992. Na skládce se odpad třídí a dočasně se zde ukládá nebezpečný odpad (Eko Bi, 2018). Významnými prvky, které mohou mít vliv na vegetaci, jsou v této oblasti kromě samotné skládky také dva vytížené železniční koridory. Jedná se o I. Železniční koridor Děčín-Praha-Břeclav a III. Železniční koridor Praha-Olomouc-Ostrava. Zde tedy platí, že vegetaci v blízkosti železničních koridorů může ovlivňovat několik faktorů.

Historická ortofota a družicová data z okolí skládek

Historická ortofota z okolí skládek z let 1968 a 1993 jsem získal z archivu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního. Na těchto snímcích lze velmi jednoduše sledovat změny ve vegetačním pokryvu kolem skládky. Tím, že ortofota sahají do daleké minulosti (první snímky se datují do 30.let 20.stol.), lze na nich sledovat vývoj krajiny i několik desítek let před otevřením skládky a analyzovat tak změny, které nastaly na okolní vegetaci až po výstavbě skládky.

Většina dat, která mi sloužila pro monitoring vegetace v okolí skládky před výstavbou skládky, během aktivního období životního cyklu skládky a po rekultivaci skládky, pochází z misí Landsat. Satelitní snímky jsou po registraci volně dostupné na portálu Earthexplorer od společnosti United States Geological Survey (USGS).

Pro novější snímky a kvůli porovnání jednotlivých snímků z let 2014 a 2023 jsem dále také pracoval s daty z misí Sentinel. Data z těchto misí jsou po přihlášení volně dostupná na webu Evropské vesmírné agentury (<https://browser.dataspace.copernicus.eu>).

Pro monitoring vegetace bylo také nutné vybrat časové úseky. Mezi jednotlivými snímky jsem zvolil interval deseti let. Takový interval představoval kompromis mezi množstvím dat a pozorováním možných změn. Sledování skládek tak začíná v roce 1984 a končí u aktuálních snímků z roku 2023.

Zpracovávané a analyzované satelitní snímky musely být pořízeny pokud možno ve stejném ročním období. Pro tyto účely jsem proto vybral vždy přelom května a června. V tomto období je vegetace již v na vrcholu vegetační fáze a zároveň se ukázalo, že na satelitních snímcích z konce května či začátku června je relativně malé množství oblačnosti, která by zakrývala analyzovaná území. Jen v roce 2004 nebylo možné kvůli oblačnosti, zakrývající zájmovou plochu kolem skládky TKO Třebovice, použít satelitní snímky. Bylo proto nutné analyzovat data z roku 2005. Všechny použité satelitní scény a jejich základní charakteristiky jsou patrné v tabulce 1. U Landsatu 5 jsem používal pásma s pořadovými čísly 1–5 a pásmo 7, kdy pásma 1–5 spadají do intervalu elektromagnetického spektra 0,5–1,75 μm a pásmo 7 do intervalu 2,08–2,35 μm . U misí Sentinel jsem používal pásma s pořadovými čísly 3, 4, 8, 8A, 11.

Tabulka 1: Souhrn použitých satelitních scén pro analýzu vegetace

Datum	Satelit	Prostorové rozlišení [m]	Pořadové číslo a spektrální rozsah pásem
05.06.1984 18.05.1994 09.06.2004 27.05.2005	Landsat 5	30	1 (452–520 nm) 2 (520–600 nm) 3 (630–690 nm) 4 (760–900 nm) 5 (1550–1750 nm) 7 (2080–2350 nm)
20.05.2014 29.05.2023	Landsat 8		2 (452–512 nm) 3 (533–590 nm) 4 (636–673 nm) 5 (851–879 nm) 6 (1566–1651 nm) 7 (2107–2294 nm)
11.07.2015 27.05.2023	Sentinel 2	10 20	3 (543–578 nm) 4 (650–680 nm) 8 (785–899 nm) 8A (855–875 nm) 11 (1565–1655 nm)

Zpracování družicových dat

Pro potřeby analýzy vegetačního pokryvu jsem vybral celkem dva typy vegetačních indexů, které jsem spočítal pomocí softwaru QGIS na základě satelitních snímků z družic Landsat. Jedná se o tzv. poměrové indexy, které dávají do vztahu jednoduchým nebo normalizovaným poměrem odrazivost povrchů v červené viditelné a blízké infračervené části spektra (Vaverková, 2022). Mezi nejčastěji používané poměrové indexy obecně patří například normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI) (Giovo, 2021). Já jsem využil indexy NDVI a NDMI.

Pro roky 1984, 1994 a 2005 jsem využil dat z misí Landsat 5. Nejnovější snímky z let 2014 a 2023 poskytla mise Landsat 8. Výpočet indexů jsem provedl podle následujících vzorců:

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

NDMI...normalized difference moisture index; NIR...blízká infračervená oblast;

SWIR...krátkovlnné infračervené záření

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

NDVI...normalized difference vegetation index, R...červené spektrum

Jednotlivá spektra, využívaná ve vzorcích, mají pro každou misi Landsat specifickou pozici označovanou jak „band“ (pásma). Pro každý analyzovaný rok jsem proto získal specifická spektrální pásma a ty si jako rastrovou vrstvu exportoval do softwaru QGIS. V něm jsem následně pomocí rastrového kalkulátoru pásma zadal do rovnic tak, aby odpovídaly obecné rovnici pro vegetační index.

Výsledné rovnice pro jednotlivé indexy v QGISu vypadaly takto:

Pro mise Landsat 4–7 platí:

$$NDMI = \frac{Band\ 4 - Band\ 5}{Band\ 4 + Band\ 5}$$

$$NDVI = \frac{Band\ 4 - Band\ 3}{Band\ 4 + Band\ 3}$$

Pro mise Landsat 8–9 lze NDMI vypočítat následovně:

$$NDMI = \frac{Band\ 5 - Band\ 6}{Band\ 5 + Band\ 6}$$

$$NDVI = \frac{Band\ 5 - Band\ 4}{Band\ 5 + Band\ 4}$$

Výsledek z rastrového kalkulátoru bylo následně potřeba oříznout v okolí skládky. Jako rádius pro ořez jsem určil 1 km. Tento rádius jsem zvolil na základě převládajícího směru větru a průměrné roční rychlosti větru pro dané oblasti. Pevládající směr větru byl pro obě oblasti severozápadní až západně severozápadní a rychlost byla pro Třebovickou skládku v průměru 9 km/h a pro Zábřežskou skládku v průměru 10 km/h. Kromě toho rádius odpovídal doporučení World Health Organization (WHO), která jako oblast vlivu skládky na vegetaci v závislosti na její velikosti vymezuje kruhovou oblast působení od 240 m do 4,8 km kolem skládky (World Health Organization, 2007).

Data ze satelitu Sentinel jsou po registraci volně přístupná v internetovém prohlížeči (browser.dataspace.copernicus.eu). V intuitivním prohlížeči si lze nastavit a zaměřit nejen požadovanou oblast, ale v této webové aplikaci jsou také rovnou vypočítané vegetační indexy. Na rozdíl od snímků z Landsatu, které potřebovaly úpravy v QGISu (oříznutí do požadovaného území a vytvoření odpovídající barevné škály), data ze Sentinelu další úpravy, kromě oříznutí na vybraný rádius, nepotřebovala. Stačilo tedy, abych opět vytvořil rádius 1 km kolem skládky a indexy z misí Sentinel exportoval. Na rozdíl od kruhové výšeče Landsat snímků, poskytuje internetový prohlížeč uvedený výše možnost oříznutí konkrétní oblasti pouze ve tvaru čtverce. Proto se indexy v kapitole výsledky liší tvarem výšeče. Svým poloměrem však zůstávají obě varianty stejné a zobrazují vegetaci v okolí

1 km od skládky TKO.

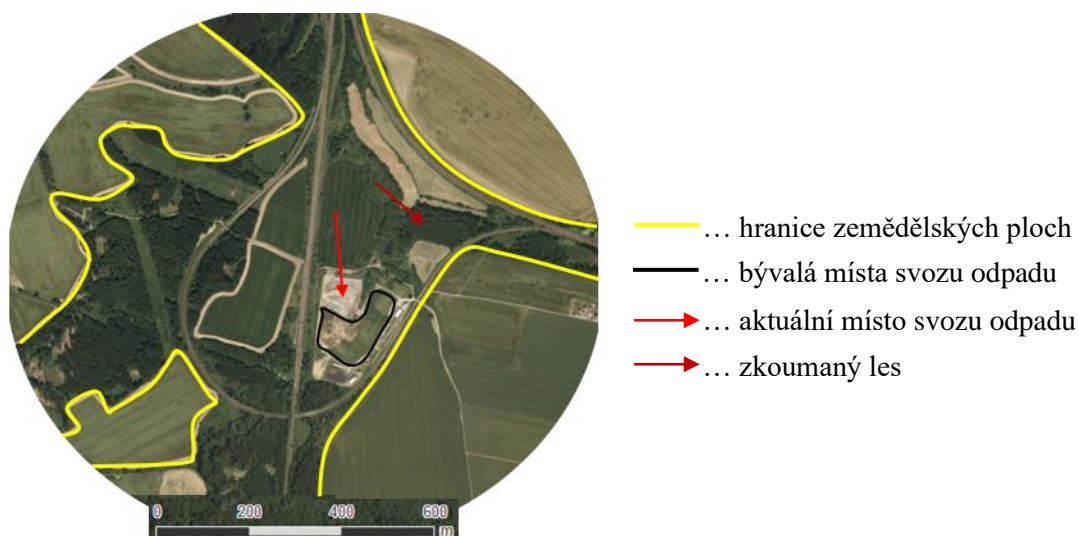
Kromě vegetačních indexů jsem pro názornost a podpoření výsledků vytvořil v softwaru QGIS pro obě skládky TKO spektrální křivky znázorňující odrazivost vegetace v okolí skládky. Ty jsem sestrojil pomocí pluginu do aplikace QGIS s názvem Semi-Automatic Classification Plugin. Jelikož vliv skládky na vegetaci s rostoucí vzdáleností klesá, nevytvořil jsem spektrální křivky pro kilometrový rádius stejně jako u vegetačních indexů. V okolí skládek se nacházejí zemědělské plochy či částečně obhospodařované lesy. Pokud bych křivky vytvořil ve stejném rádiu jako indexy, mohly by tyto plochy zkreslit výsledek křivek, proto jsem zvolil pro spektrální křivky rádius od skládky TKO pouze 100 m. Tento rádius uvádí nejen WHO (2007) ve své zprávě (viz výše), ale například i Kumar (2017), který píše, že právě ve vzdálenosti 100 m od skládky se její vliv projevuje nejvíce.

Výsledky

První fáze analýzy zkoumala vegetaci v okolí vybraných skládek TKO před výstavbou samotných skládek. Zpracování historických ortofotografií a dat z družic ukázalo, že oblasti, kde se později skládky TKO vybudovaly, byly původně pokryty převážně přírodní vegetací a zemědělskou krajinou. Existence skládek měla výrazný dopad na prostředí, neboť původní vegetace byla z velké části odstraněna, aby udělala místo pro skládkování odpadu. V okolí obou skládek se navíc nacházejí zemědělské plochy, které mohou ovlivňovat hodnoty vegetačních indexů. I proto se při analýze vegetace zaměřuji hlavně na samotnou skládku a okolí bližší než celý kilometrový rádius.

Skládka Třebovice

Třebovická skládka je stále aktivní, což se projevuje i na okolní vegetaci. Během jejího fungování navíc docházelo k přesunu místa, na které se sypal nově přivezený odpad. Skládka se začala projektovat až v roce 1987 (Eko Bi, 2018), a proto u vypočítaných vegetačních indexů NDVI (obr. 3) a NDMI (obr. 4) nejsou pro rok 1984 vidět výrazné změny na vegetaci oproti dalším zkoumaným rokům, u kterých je již určitá změna patrná. Skládka byla uvedena do provozu v roce 1992 a díky tomu je již v roce 1994 poměrně dobře vidět skládka TKO na vypočítaných NDVI a NDMI indexech. Poslední přesun proběhl relativně nedávno. Aktuální podoba skládky a aktuální místo svozu (červená šipka) jsou viditelná na ortofotografii (obr. 2). Kolem skládky se nachází velké množství zemědělských ploch (obr. 2), proto je analýza zaměřena hlavně na vegetaci mimo ně.



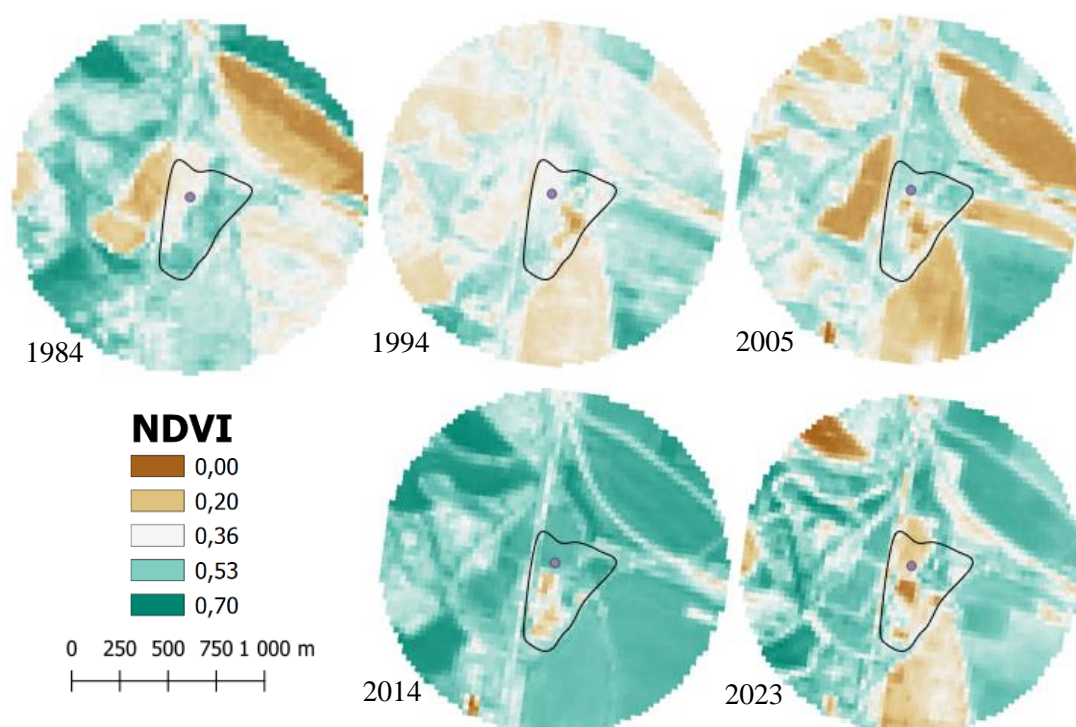
Obr. 2: Skládka TKO Třebovice a její okolí v roce 2022.
 Zdroj: www.mapy.cz

Z vegetačního indexu NDVI (obr. 3) je vidět, že na místech aktivního svozu odpadu nebyla téměř žádná vegetace. Hodnoty NDVI se v aktivních místech skládky pohybují v okolí hodnoty menší než 0,20. Tyto hodnoty jasně signalizují nepřítomnost vegetace nejen na aktivním místě skládky, ale také v jejím nejbližším okolí. Ukázalo se, že skládka TKO částečně ovlivňovala i okolní vegetaci. Na příkladu lesa v severovýchodním cípu skládky (obr. 2) lze dokumentovat její částečný vliv na tento porost. Plocha tohoto lesa se během působení nedaleké skládky několikrát změnila. Tuto změnu v ploše lze z části přičíst i působení skládky, neboť hranice lesa se nachází hned vedle hranice skládky. Na částečný vliv skládky poukazuje i fakt, že se plocha lesa nejvíce měnila po otevření skládky a během následujících let (tabulka 2).

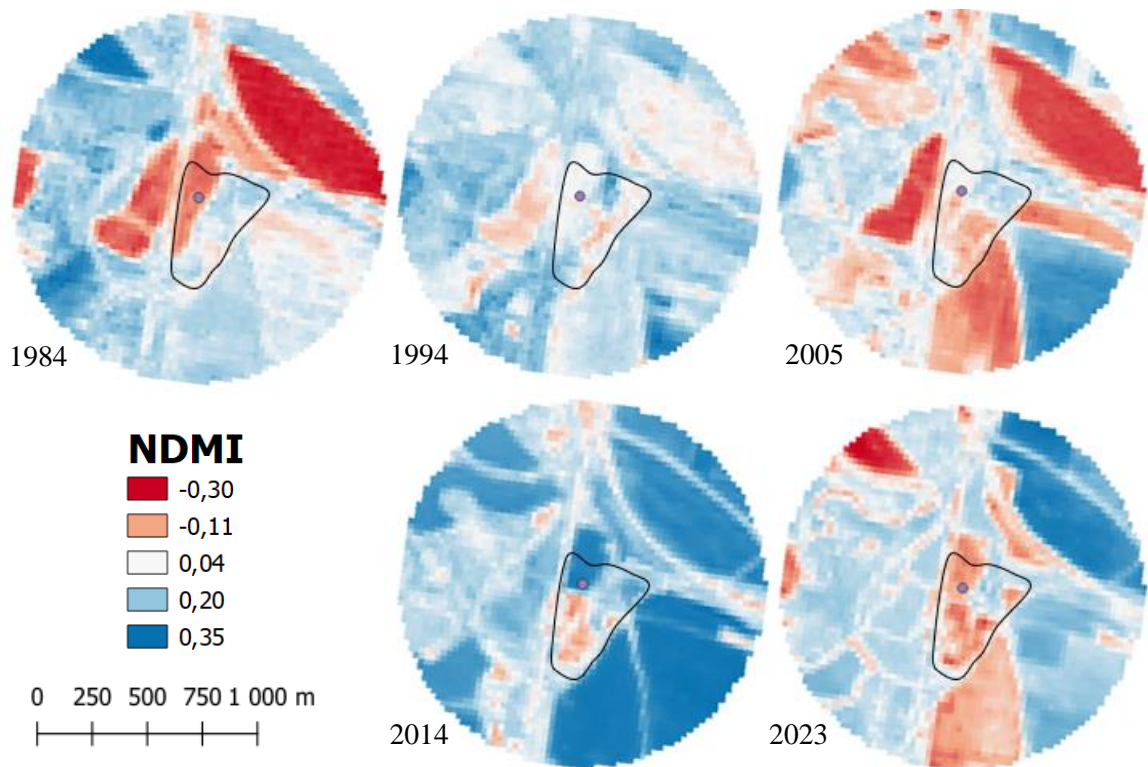
Tabulka 2: Změny v ploše lesa severozápadně od skládky Třebovice

Rok	Lesní plocha (ha)
1984	8,2
1994	7,0
2005	6,6
2014	13,0
2023	13,0

Kromě negativních zásahů do vegetace je ale na obrázcích níže vidět i fakt, že jsou bývalá místa svozu rekultivována. Bývalá místa svozu jsou zaznačená černými hranicemi na ortofotografii (obr. 2) Jak je psáno výše, ta se několikrát změnila. Největší změna nastala mezi lety 2005 a 2014. V těchto letech je z NDVI vidět, že se původní místo skládky podařilo poměrně dobře rekultivovat. Hodnoty NDVI v roce 2014 na místě svozu z roku 2005 jsou totiž výrazně odlišné.

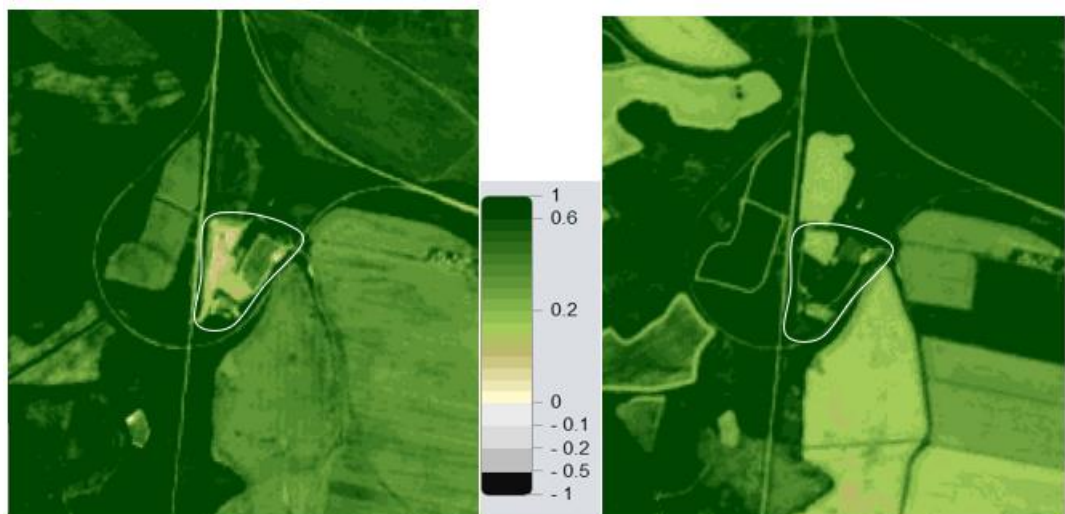


Obr. 3: NDVI pro skládku Třebovice (shora zleva – 1984, 1994, 2005, 2014, 2023)

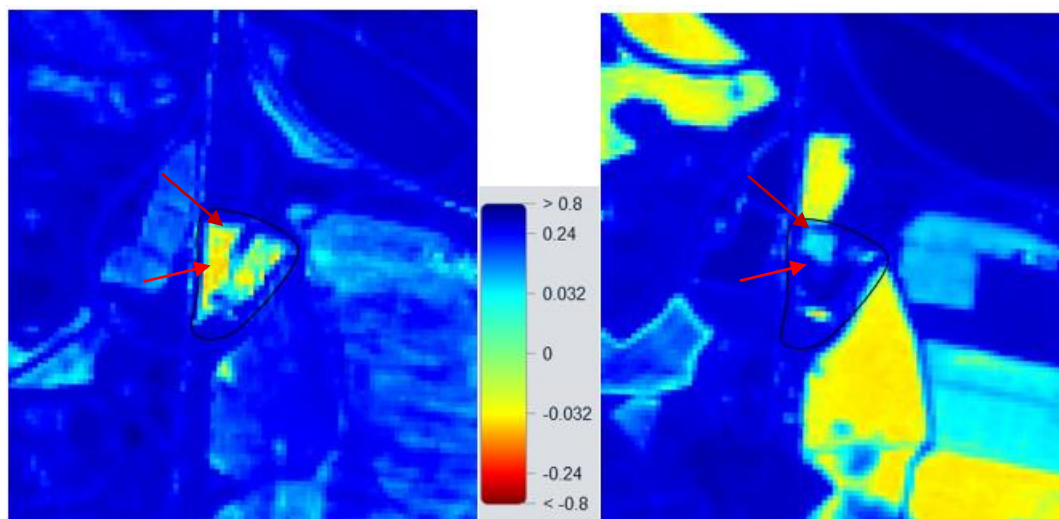


Obr. 4: NDMI pro skládku Třebovice (shora zleva – 1984, 1994, 2005, 2014, 2023)

NDVI je doplněn i vypočítaným NDM indexem. Na tomto indexu jsou opět viditelné zejména změny u vegetace na skládce a v jejím nejbližším okolí. Na základě analýzy hodnot je patrné, že aktivní místo skládky, byť může být alespoň částečně porostlé vegetací (obr. 4), často trpí na nedostatek vody. Hodnoty indexu pohybující se v rozhraní -0,11 a nižší jasně naznačují, že vegetace přímo na skládce může často trpět nedostatkem vody a z toho plynoucím vodním stresem.



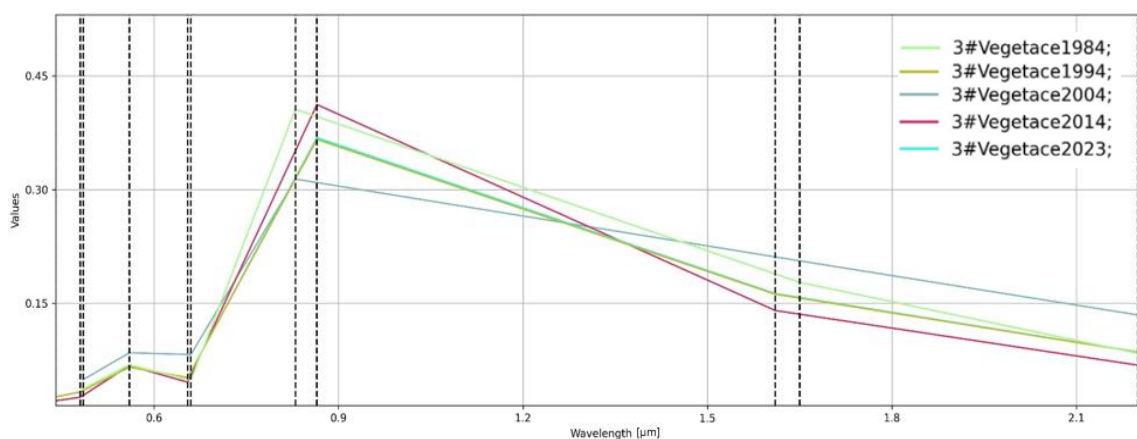
Obr. 5: NDVI ze satelitů Sentinel v okolí skládky Třebovice pro roky 2015 (vlevo) a 2023 (vpravo)



Obr. 6: NDMI ze satelitů Sentinel v okolí skládky Třebovice pro roky 2015 (vlevo) a 2023 (vpravo)

Podobné výsledky jako vypočítané vegetační indexy ze satelitů Landsat ukazují i automaticky spočítané indexy pro roky 2015 a 2023 ze satelitů Sentinel (obr. 5 a 6). V roce 2015 procházela skládka obměnou, kdy se původní místo svozu odpadu přesouvalo z jižní části skládky (světle červená šipka na obrázku 6) severněji na nové místo (na obrázku 6 tmavě červená šipka). Původní místo ještě nebylo rekultivováno a na novém už se začínal svážet odpad. V roce 2023 je na obou indexech vidět (obr. 5 a 6), že na původním místě z roku 2015 je již vegetace obnovena (NDVI index se blíží hodnotě 1 a NDMI hodnotě nad 0,24), kdežto na novém místě svozu není téměř žádná vegetace).

Výsledky získané z vegetačních indexů výše dokumentuje také spektrální křivka odrazivosti vegetace na obrázku 7. Na této křivce je jasně vidět, že od roku 1984 docházelo v okolí Třebovické skládky TKO k snižování odrazivosti vegetace. Toto snížení odrazivosti znamená zmenšení plochy a potenciální zhoršení stavu vegetace, která se na skládce a v jejím okolí do 100 m nacházela. Nejhorší výsledek vykazuje rok 2014, kdy se odrazivost vegetace pohybuje jen těsně nad hodnotou reflektance 0,30. Naopak o 10 let později v roce 2014 byla vegetace v okolí skládky v nejlepším stavu, neboť křivka dosahuje nejvyšších hodnot odrazivosti.



Obr. 7: Spektrální křivka odrazivosti vegetace v okolí skládky TKO Třebovice

Skládka Zábřeh

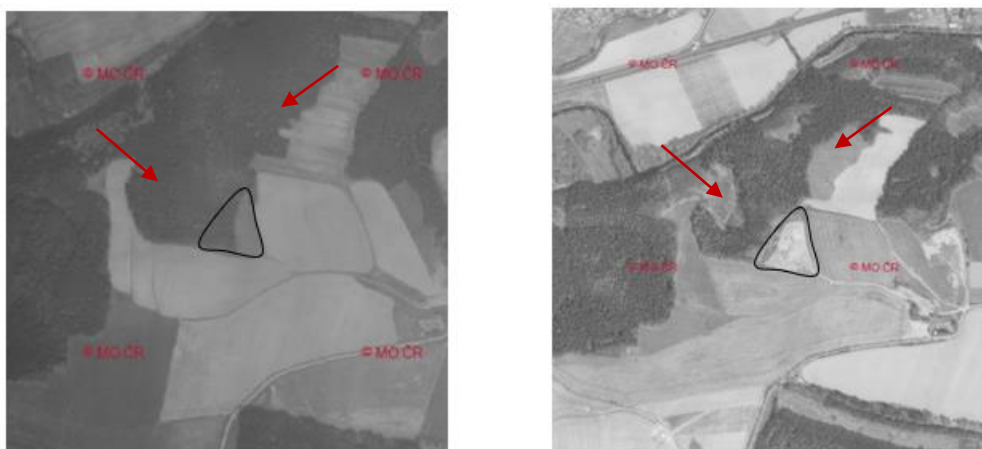
V minulosti byla skládka Zábřeh-Skalička jedním z hlavních míst pro likvidaci odpadu v regionu. Tato skládka, která se rozkládala na rozsáhlé ploše, sloužila po mnoho let jako místo pro odložení komunálního odpadu. Bohužel, v té době nedostatečná ochrana životního prostředí a nevhodné nakládání s odpadem zanechaly na této lokalitě následky. Poté, co byla skládka uzavřena a dekontaminována, stopy znečištění a zhoršený stav vegetace se začaly zlepšovat.

Po dokončení rekultivace skládky byla pozorována opětovná obnova vegetace. Zpracovaná data totiž ukázala, že rekultivace měla pozitivní dopad na obnovu vegetace v okolí bývalé skládky. Dnes je skládka v přírodě viditelná jen díky tomu, že v krajině tvoří výraznou vyvýšeninu (příloha A). Ortofoto aktuální podoby skládky je šipkou vyznačeno na obrázku 8.



Obr. 8: Bývalá skládka TKO Zábřeh (červená šipka) a její okolí v roce 2022. Zdroj: www.mapy.cz

Podobně jako u třebovické skládky, i zde byla analyzována změna na nedaleké lesním porostu. Ortofotomapy a tmavě červené šipky (obr. 9) dokumentují výrazný úbytek lesního porostu v okolí Zábřežské skládky. V roce 1968 zabíral les na severovýchodě skládky výrazně větší plochu než v roce 1993. V roce 1968 byla plocha lesa 34,5 ha. Během necelých 30 let se kvůli skládce plocha snížila na 28,5 ha. Po ukončení činnosti skládky a její rekultivaci se lesní plocha začala navracet do původních hodnot. V roce 2023 pokrýval zkoumaný les u skládky 35,4 ha (tabulka 3). Změny souvisejí nejen se skládkou samotnou, ale i lesním hospodařením, které se pravděpodobně přizpůsobovalo z části i nově vzniklé skládce odpadu.

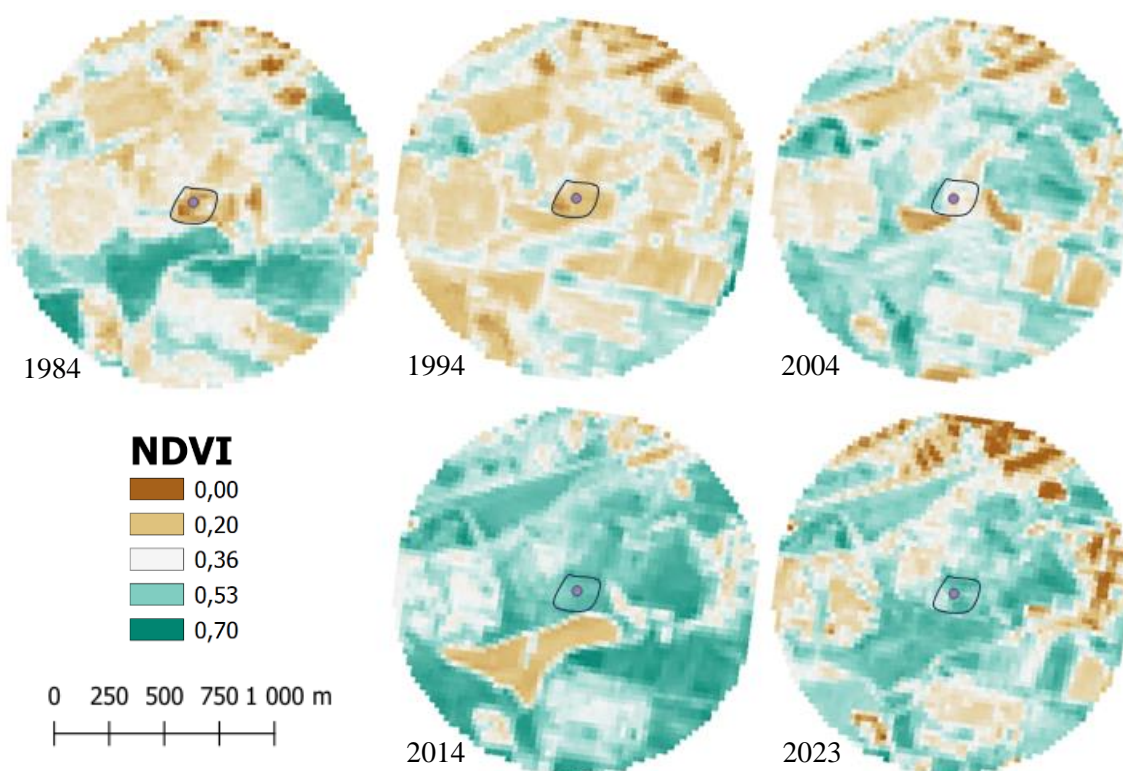


Obr. 9: Ortofotomapy ukazující na změnu lesního porostu severozápadně od skládky TKO Zábřeh (vlevo 1968, vpravo 1993). Zdroj: ags.cuzk.cz

Tabulka 3: Změny v ploše lesa severovýchodně od skládky Zábřeh

Rok	Lesní plocha (ha)
1984	32,4
1994	30,8
2004	31,4
2014	35,7
2023	35,7

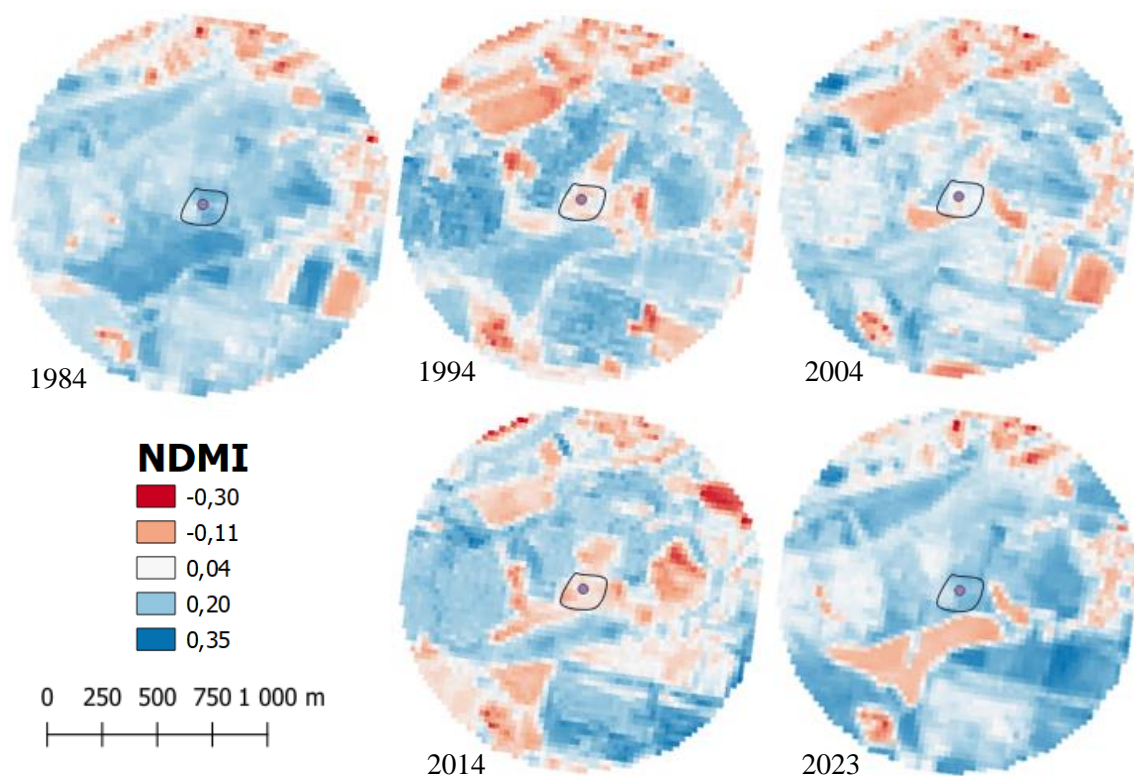
Na vytvořených NDV indexech (obr. 10) pro okolí Zábřežské skládky je vidět jednoznačný vliv na vegetaci. Indexy pro roky 1984 a 1994, kdy byla skládka aktivní, ukazují vcelku jasný vliv skládky na nejbližší okolí. Na snímcích je vidět nejen samotná skládka, ale i výrazně nižší vegetační pokryv a zhoršený stav vegetace v jejím okolí. Hodnoty NDVI v těchto letech dosahují většinou 0,20 a méně, což značí právě zmíněné problémy. Po 90. letech a na počátku 21. stol. docházelo k postupnému útlumu skládky.



Obr. 10: NDVI pro skládku Zábřeh (shora zleva – 1984, 1994, 2004, 2014, 2023)

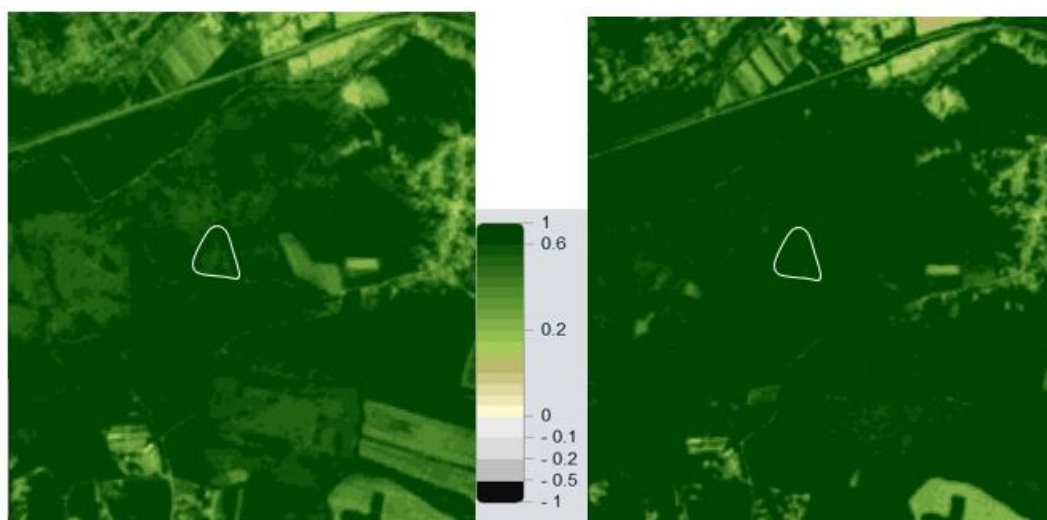
Index z roku 2004 ukazuje, že vegetace na samotné skládce je už v tak špatném stavu. Naopak v letech 2004, 2014 a 2023 je vidět postupný vliv rekultivace skládky. Po uzavření skládky a její postupné rekultivaci dochází v posledních letech k obnově místní vegetace, což nepotvrzují pouze snímky z Landsatu, ale i indexy počítané ze satelitních snímků Sentinel (obr. 12 a obr. 13).

NDMI indexy vypočítané pro Zábřežskou skládku (obr. 11) potvrzují, že ve chvíli, kdy byla skládka TKO aktivní (tzn. v letech 1984 a 1994), byla vegetace v rámci skládky i okolní vegetace v nejbližším okolí výrazně postižena nedostatkem vody a trpěla vodním stresem. U okolní vegetace, která se od skládky nacházela dál, mohla mít na její stav vliv i zemědělská aktivita na okolních polích, a nejen skládka TKO. Tento index celkově dokumentuje, že po rekultivaci na počátku 21. století došlo k výraznému zlepšení. Z vypočítaného indexu jde vyčíst, že v roce 2023 byla již jak samotná skládka TKO, tak i okolní vegetace v pořádku a zdravá.



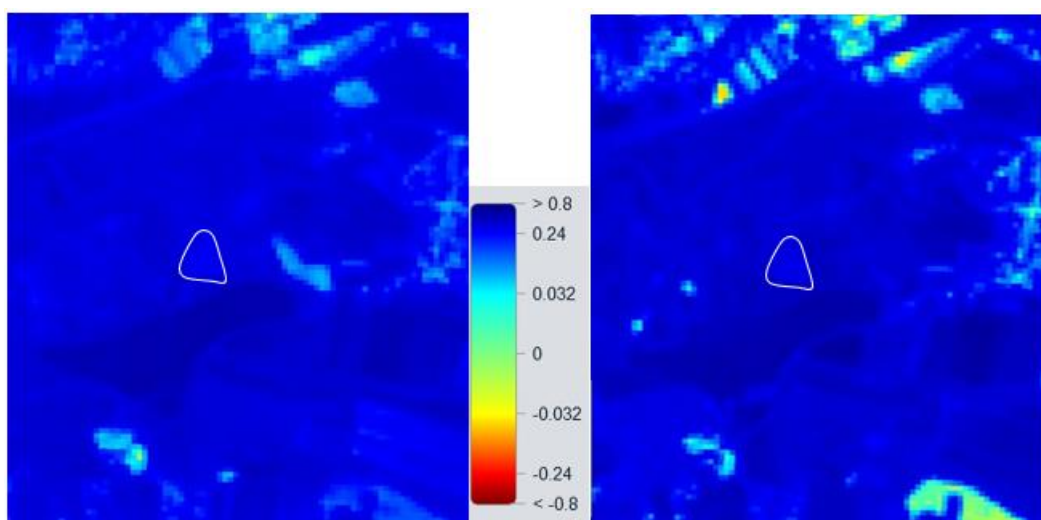
Obr. 11: NDMI pro skládku Zábřeh (shora zleva – 1984, 1994, 2004, 2014, 2023)

Z NDVI indexu automaticky spočítaného z dat ze satelitů Sentinel (obr. 12) je na zkoumaném lese vidět, že v roce 2016 tvořil mladý a spíš nezapojený porost. Naopak o 7 let později na snímku NDVI z roku 2023 již není les severně od skládky výrazně prořídlý a ani samotná vegetace na skládce TKO nevykazuje nižší hodnoty. Pokud by skládka nebyla vyznačena svými původními hranicemi, nebyla by vůbec na snímku viditelná. Potvrzuje to fakt uvedený výše, že po rekultivaci se vegetace obnovuje a skládka ztrácí svůj možný negativní vliv na okolí.



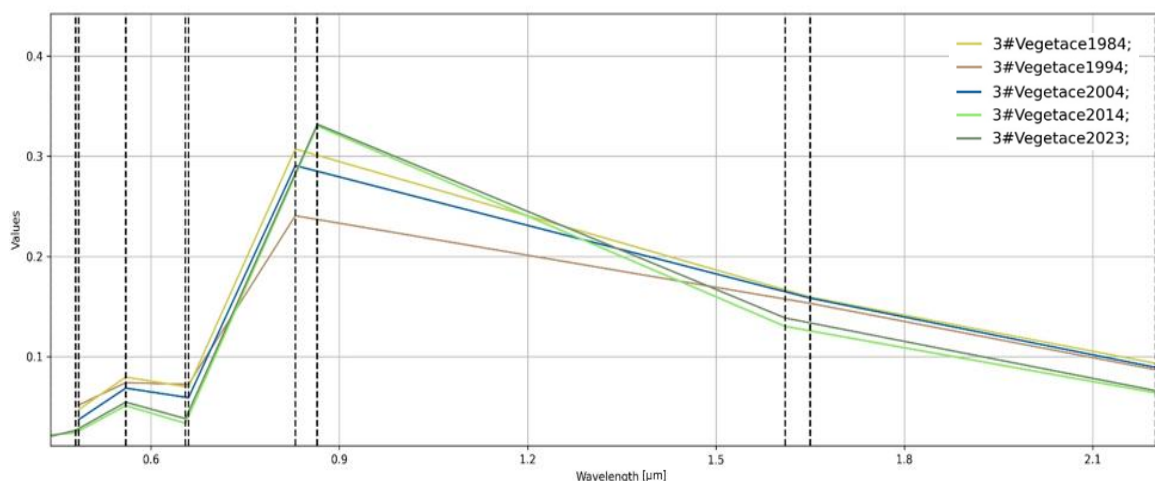
Obr. 12: NDVI ze satelitů Sentinel v okolí skládky Zábřeh pro roky 2016 (vlevo) a 2023 (vpravo)

Pozůstatky skládky jsou jemně viditelné i na posledním použitém vegetačním indexu ze satelitů Sentinel (obr. 13). Na nich lze vidět, že i když byla vegetace na skládce hojná, což dokládá index na obr. 12, tak neměla zapojený porost, což ukazují snížené hodnoty indexu v hranicích skládky v roce 2016. V roce 2023 hodnoty NDMI vegetace na bývalé skládce dosahují hodnot v rozmezí 0,032–0,24, což značí větší hustotu a zapojení vegetace.



Obr. 13: NDMI ze satelitů Sentinel v okolí skládky Zábřeh pro roky 2016 (vlevo) a 2023 (vpravo)

Podobně jako u Třebovické skládky, tak i u bývalé skládky TKO Zábřeh byla vytvořena spektrální křivka odrazivosti vegetace v okolí této skládky (obr. 14). Křivka potvrzuje, že nejhorší rok z pohledu vegetačního pokryvu byl právě rok 1994. Roky 2004, 2014 a 2023 vykazují opětovný nárůst odrazivosti vegetace, což značí alespoň částečnou obnovu flory v okolí bývalé skládky TKO. Z křivky je patrné, že zejména poslední sledované roky (2014 a 2023) byly pro obnovu vegetace u skládky klíčové a rekultivace se relativně dařila, hodnoty reflektance totiž narůstaly.



Obr. 14: Spektrální křivka odrazivosti vegetace v okolí skládky TKO Zábřeh

Porovnání vegetace v jednotlivých fázích životního cyklu skládky TKO odhalilo zásadní změny v biodiverzitě a zdravotním stavu vegetace. Zatímco před výstavbou skládky byla vegetace bohatá, různorodá a dala by se označit za zdravou, během aktivního období skládky docházelo k její degradaci a snižování biodiverzity. Rekultivace skládky vedla k postupné obnově vegetace, avšak její struktura a složení se mohly odlišovat od původního stavu.

Diskuse

V této práci byl zkoumán problém ovlivňování vegetace skládkou TKO během jejího celého životního cyklu. Obě zkoumané skládky (zábřežská i třebovická) byly v době své největší aktivity jedním z hlavních faktorů zhoršení stavu vegetace a zmenšení vegetačního pokryvu v hranicích skládek. Faktorů změn vegetace v okolí skládek může být více, a jejich zjištění vyžaduje více času a doplňující průzkum. Třebovická skládka ovlivňovala stav vegetace ve svých hranicích zejména mezi lety 1994 až 2014. Zábřežská skládka nejvíce působila na vegetaci kolem roku 1994. V tomto roce analýza vegetačních indexů a reflektance v okolí 100 m od skládky ukázaly výrazný pokles vegetačního pokryvu. Výsledky ukazují, že skládka má určitý vliv na změnu vegetace během svého životního cyklu a může představovat riziko pro okolní životní prostředí.

Výsledky analýzy ukázaly, že okolí skládky TKO v Třebovicích vykazuje v průběhu let výrazné změny v rozložení vegetace ve srovnání s okolními oblastmi. Získaná data z dálkového průzkumu Země naznačují degradaci přírodního prostředí jak na skládce, tak v blízkosti skládky, což je patrné z vypočítaných hodnot NDVI a NDMI. Tento fakt může být pravděpodobně způsoben kontaminací půdy a vody pocházející ze skládky. Ve vzdálenosti 1 km od skládky již lze předpokládat téměř nulový nebo velmi malý vliv skládky. Indexy v těchto oblastech již spíše reflektují změny ve vegetaci v zemědělské krajině.

Analýza stavu vegetace v okolí bývalé skládky TKO v Zábřehu odhalila podobné trendy jako v případě Třebovic. Avšak v tomto konkrétním případě byly v posledních letech zaznamenány i některé pozitivní znaky obnovy vegetace, což naznačuje úspěšnost přijatých opatření na rekultivaci. Díky rekultivačním opatřením a provedeným sanacím se daří obnovovat vegetaci a zlepšovat její zdravotní stav přímo na bývalé skládce TKO. Rozdíl v hodnotách vegetačních indexů a spektrálních křivek odrazivosti vegetace se totiž během životního cyklu skládky měnil a od roku 2004 poukazoval na postupně se zlepšující situaci.

U obou skládek TKO jsem kromě celkového stavu vegetace v okruhu 1 km kolem skládky popsal i změnu v ploše přilehlého lesa. Lesy u třebovické i u zábřežské skládky vykazovaly zmenšení své plochy. Do lesů bylo jistě zasahováno i v rámci běžného hospodaření a údržby lesa, jelikož jsou ale největší změny v ploše lesa pozorovány ve stejných letech, ve kterých byla zaznamenána i největší aktivita skládky, lze předpokládat, že na zmenšení celkové plochy lesů mohly mít skládky vliv. Tento fakt

ukazuje zejména plocha lesa u skládky TKO Zábřeh, ta se po zavření skládky a její rekultivaci opět postupně rozšířila do své původní plochy. Na ovlivnění lesa skládkou ukazuje i další fakt, a to, že les ubýval, ale pouze v jeho části, která byla nejbližší skládce. Vzdálený okraj lesa byl během celého zkoumaného období u obou skládek téměř nezměněn.

Vliv skládky byl zkoumán v rádiu 1 km od skládky. Ukázalo se však, že hlavní dopady skládky na vegetaci jsou pouze v rádiu vyšších desítek či nižších stovek metrů. Tento fakt potvrzují nejen vypočítané vegetační indexy, ale i příklad lesa, který je uveden výše. Kumar (2017) tvrdí, že k největšímu poškození na vegetaci dochází hlavně v místech, která nejsou od skládky vzdálena dále než 100 m. Místa, která jsou od skládky vzdálenější už nejsou ovlivněna tolik samotnou skládkou TKO, ale spíše hospodařením na těchto plochách. V okolí obou zkoumaných skládek se nacházejí zemědělské plochy, lze tedy předpokládat, že spočítané vegetační indexy jsou s přibývajícím vzdáleností od skládky více ovlivněny jinými faktory než samotnou skládkou. I proto je většina výsledků vztahována na vegetaci, která je přímo na skládce nebo v jejím nejbližším okolí.

Skládky tuhého komunálního odpadu skutečně představují určité environmentální riziko. Na tento fakt poukazuje například Vanguri (2023), jenž ve své studii odhaluje vliv skládek na vegetaci a zdůrazňuje zejména význam efektivního řízení skládek pro zachování životního prostředí a ekosystémů. Lze předpokládat, že zkoumané skládky TKO v této práci se příliš neliší od jiných skládek. Proto se domnívám, že celkový stav vegetace na těchto skládkách během jejich životního cyklu mohl být způsoben zejména úniky metanu či částečnou kontaminací vod. Úniky metanu mohou ovlivnit celkový stav vegetace na skládkách, a také jejich druhové složení (Koda, 2023). Ale je potřeba pro tyto účely provádět hlubší analýzu. U rekultivovaných skládek, jako je i ta v Zábřeze, je pro lepší management důležitý nejen rozbor vegetace jako takové, ale i půdního substrátu, vyskytujícího se na bývalé skládce (Tintner, 2011). Dodržování bezpečnostních opatření i s použitím dat dálkového průzkumu Země v průběhu celého životního cyklu skládek by mohlo zabránit významným poškozením vegetace na skládkách a jejich okolí.

Začlenění do výuky

Téma bakalářské práce má spíše vědecký ráz a jako takové není dle mého ideální přímo do výuky na střední škole. Z širšího pohledu je však možné do výuky začlenit problematiku skládkování odpadu a s tím související možný problém znečištění okolí skládky. Dále lze do výuky začlenit i obecné a často zmiňované téma recyklace, které se skládkováním odpadu úzce souvisí. V neposlední řadě by pro žáky mohlo být zajímavé i téma dálkového průzkumu Země. Ve školách se o této problematice obvykle příliš nemluví. Povědomí o tom, co vlastně všechny možné satelity, které nám létají nad hlavami, dělají, by žákům dozajista otevřelo nové obzory. Nemyslím si totiž, že laická veřejnost tuší, k čemu všemu lze satelity ve Vesmíru využívat.

Téma v Rámcovém a školním vzdělávacím programu

V rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia nenajdeme téma skladování odpadů přímo zmíněné. Jako ideální předmět pro toto téma se však jeví biologie. V rámci tohoto předmětu je obvykle vyučována i ekologie, do které se téma recyklace a skládkování hodí asi nejvíce. V tomto předmětu tedy lze diskutovat nejen biologické aspekty skládek a jejich dopad na životní prostředí, ale i chemické a ekologické souvislosti. Nejlepší možností pro aplikaci tématu bakalářské práce však ve finále není žádný z klasických vyučovacích předmětů, ale průřezové téma environmentální výchova.

Environmentální výchovu můžeme pojmut jako edukaci o životním prostředí, která představuje klíčový faktor pro udržitelný rozvoj, jenž patří mezi hlavní priority Evropské unie. Základem pro dosažení udržitelného rozvoje je zvýšení ekologického povědomí jednotlivců a jejich odborná připravenost na inovativní přístupy v technickoekonomické a sociální sféře (Balada, 2007). Z tohoto důvodu zaujímá edukace o životním prostředí klíčovou roli v gymnaziálním vzdělávání a je jedním ze základních pilířů vzdělávání pro udržitelný rozvoj.

Aplikace poznatků ve výuce

Pro konkrétní aplikaci tématu bakalářské práce jsem vybral 2. stupeň základní školy případně nižší stupeň víceletého gymnázia. Pro vyšší stupeň víceletých gymnázií by však tyto aktivity také nebyly k zahoeení a daly by se využít.

Pokud se podíváme blíže na konkrétní školní vzdělávací program Gymnázia Zábřeh reflektuje Rámcový vzdělávací program (RVP), ovšem je konkrétnější. Tematika skládkování odpadu není explicitně obsažena ani v RVP ani ve školním vzdělávacím programu (ŠVP) Gymnázia Zábřeh. Nicméně jak je psáno výše, vzhledem k tomu, že skládkování odpadu úzce souvisí s průřezovým tématem environmentální výchovy, lze ji začlenit do tematického celku Lidské aktivity a problémy životního prostředí v rámci environmentální výchovy. V tomto tematickém celku najdeme i téma odpady a hospodaření s odpady. Částečně lze téma skládkování najít i v celku Vztah člověka k prostředí.

Mimo samotnou teoretickou výuku jsem navrhl začlenit problematiku skládek do tzv. projektového týdne, přičemž jsem konzultoval s Mgr. Havlíčkem z Gymnázia Zábřeh následující koncept. Projektový týden by se konal v rámci Dne Země a studenti by během pěti pracovních dnů absolvovali několik přednášek a aktivit.

Jednou z aktivit by mohl být návštěvník neaktivní skládky v místní části Zábřeha, kde by se studenti seznámili s praktickými aspekty skládkování, problematikou recyklace a odpadovým hospodářstvím. Byly by zde pro studenty připraveny určité aktivity s tímto tématem související.

Další zajímavou aktivitou by mohla být exkurze na funkční skládku, například na skládku TKO v Třebovicích u České Třebové. Tato exkurze by poskytla studentům přímý pohled na provoz skládky a další související procesy.

Jako doplněk jsem připravil pracovní list, který reflektuje Bloomovu taxonomii a zaměřuje se na recyklaci odpadu, skládkování a problematiku dálkového průzkumu Země. Cílem pracovního listu je, aby si student uvědomil dlouhou cestu odpadu od jeho vzniku až po uložení na skládce, a to prostřednictvím různých aktivit a úloh, které provádí. Pracovní list není pouhý teoretický konstrukt, neboť byl vyzkoušen i v praxi. Měl jsem totiž možnost účastnit se Dne Země 2024 v Brně, kde jsem byl na stánku ústavu CzechGlobe. Právě tam jsem kromě jiných aktivit (osmisměrka či puzzle) vyzkoušel i svůj pracovní list. Za tuto zkušenost jsem rád, neboť se díky tomu nejedná pouze o teoretický konstrukt, ale o vyzkoušený pracovní list. Děti téměř všech věkových kategorií s jeho vyplněním neměly velké problémy. Pracovní list v nich navíc vzbudil i zájem o problematiku DPZ. Tento pracovní list je k dispozici v přílohách.

Závěr

V práci byla provedena analýza vegetace v okolí skládek TKO s využitím dat dálkového průzkumu Země. Byly zkoumány dvě skládky TKO, z nichž jedna byla stále v provozu a druhá byla již delší dobu po rekultivaci, a jejich vliv na vegetaci. Bylo zjištěno, že vegetace v okolí skládek prochází během celého životního cyklu výraznými změnami. Porovnání vegetace v jednotlivých fázích životního cyklu skládky TKO odhalilo změny ve vegetačním pokryvu a zdravotním stavu vegetace. Zatímco před výstavbou skládky byla vegetace bohatá, různorodá a dala by se označit za zdravou, během aktivního období skládky docházelo k její degradaci a snižování biodiverzity. Rekultivace skládky vedla k postupné obnově vegetace, avšak její struktura a složení se mohly odlišovat od původního stavu. Veškeré závěry byly podloženy analýzou vypočítaných vegetačních indexů a zkonstruovanými spektrálními křivkami odrazivosti.

Celkově lze konstatovat, že práce poskytuje důležité základní poznatky o vegetaci na a v blízkosti skládek TKO a má potenciál ovlivnit budoucí výzkum v oblasti ekologie a ochrany přírody. Další studie by se měly zaměřit na detailnější analýzu vlivu skládek TKO na okolní ekosystémy a třeba i na vývoj strategií pro ochranu životního prostředí v těchto oblastech.

Kromě výše uvedeného jsem představil možnost začlenění tématu skládek TKO a dálkového průzkumu Země do výuky na školách, což by mohlo přispět k lepšímu porozumění nejen ekologickým procesům a k výchově k ochraně životního prostředí, ale také ke zvýšenému zájmu o dálkový průzkum Země.

Literatura

- Albertini R, Bird M, Doerrer N, Needham L et al. 2006. The use of biomonitoring data in exposure and human health risk assessments. *Environmental Health Perspectives*: 114 (11): 1755–1762. DOI: 10.1289/ehp.9056
- Altmann V, Vaculík P, Mimra M. 2010. *Technika pro zpracování komunálního odpadu*: Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 120 s. ISBN: 978-80-213-2022-2
- Balada J et al. 2007. *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia: RVP G*. Praha: Výzkumný ústav pedagogický v Praze. 100 s. ISBN: 978-80-87000-11-3
- Białowiec A, Koziel JA, Manczarski P. 2019. Stomatal Conductance Measurement for Toxicity Assessment in Zero-Effluent Constructed Wetlands: Effects of Landfill Leachate on Hydrophytes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*: 16(3): 468. DOI: 10.3390/ijerph16030468
- Brtnický M, Pecina V, Juříčka D, Kowal P et al. 2022. Can rail transport-related contamination affect railway vegetation? A case study of a busy railway corridor in Poland. *Chemosphere*: 293(2022): 133521. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.133521
- Dobrovolný P. 1998. *Dálkový průzkum Země: Digitální zpracování obrazu*. Brno: Masarykova univerzita Brno. 210 s. ISBN: 80-210-1812-7
- Doubrava P, Jirásková L, Petruřchová J, Roušarová Š et al. 2011. *Metody dálkového průzkumu v projektu Národní inventarizace kontaminovaných míst*. 1. vyd. Praha: Cenia. 96 s. ISBN: 978-80-85087-91-8
- Ekeu-wei IT, Azuma KI, Ogunmuyiwa FBB. 2018. Assessment of environmental impact of solid waste dumpsites using remote sensing. *Nigerian Journal of Technology*: 37(1): 275–285. DOI: 10.4314/njt.v37i1.36
- Eko Bi. 2018. *ODPADY – skládka*. [online]. [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://ekobi.cz/odpady/skladka-tko-trebovice/>.
- Eggen T, Moeder M, Arukwe A. 2010. Municipal landfill leachates: A significant source for new and emerging pollutants. *Science of the Total Environment*: 408(21): 5147–5157. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.07.049
- Fang H, Liang S. 2008. *Encyclopedia of Ecology. Leaf Area Index Models*. Amsterdam: Elsevier. Leaf Area Index Models: 2139–2148. DOI: 10.1016/B978-008045405-4.00190-7

- Frampton, WJ, Dash J, Watmough G, Milton EJ. 2013. Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*: 82(2013): 83–92. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2013.04.007
- Gashaw T, Teferi B, Mebrat W. 2015. Vegetation Stress Detection Using GIS Techniques in East of Lake Tana, Ethiopia. *International Journal of Research in Agriculture and Forestry*: 2(1): 8–10. ISSN: 2394-5915
- Giovos R, Tassopoulos D, Kalivas D, Lougkos N, Priovolou A. 2021. Remote Sensing Vegetation Indices in Viticulture: A Critical Review. *Agriculture*: 11(5): 457. DOI: 10.3390/agriculture11050457
- Gitelson AA, Merzlyak MN. 1996. Signature Analysis of Leaf Reflectance Spectra: Algorithm Development for Remote Sensing of Chlorophyll. *Journal of Plant Physiology*: 148(3–4): 494–500. DOI: 10.1016/S0176-1617(96)80284-7
- Green K, Kempka D, Lackey, L. 1994. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. *Photogrammetric engineering and remote sensing*: 60(3): 331–337. DOI: 10.1007/s10661-008-0226-5
- Houghton J. 2004. *Global warming: The complete briefing*. Cambridge: Cambridge university press. 351 s. ISBN: 978-0-511-21276-5
- Huete AR. 2012. Vegetation Indices, Remote Sensing and Forest Monitoring. *Geography Compass*: 9(6): 513–532. DOI: 10.1111/j.1749-8198.2012.00507.x
- Chan ISG, Chu LM, Wong MH. 1997. Influence of landfill factors on plants and soil fauna—An ecological perspective. *Environmental Pollution*: 97(1-2): 39–44. DOI: 10.1016/S0269-7491(97)00082-1
- Jandová L, Sklenář P, Kovář P 2009. Changes of Grassland Vegetation in Surroundings of New Railway Flyover (Eastern Bohemia, Czech Republic). Part I: Plant Communities and Permanent Habitat Plots. *Journal of Landscape Ecology*: 2(1): 35–56. DOI: 10.2478/v10285-012-0013-4
- Kumar S, Kumar Ghosh S. 2017. Impact of Landfill Microclimate on Land Use Land Cover Using Remote Sensing and GIS. V: Asian Association on Remote Sensing, vydavatel. *Space Applications: Touching Human Lives*. 38th Asian Conference on Remote Sensing; 2017 Oct 23–27; New Delhi, India. ISBN: 9781510856844

- Kuraš M. 2014. Odpady a jejich zpracování. 1. vyd. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r. o. 343 s. ISBN: 978-80-86832-80-7
- Koda E, Osiński P, Podlasek A, Markiewicz A et al. 2023. Geoenvironmental approaches in an old municipal waste landfill reclamation process: Expectations vs reality. *Soils and Foundations*: 63(1): 101–273. DOI: 10.1016/j.sandf.2023.101273.
- Koda E, Winkler J, Wowkonowicz P, Černý M et. Al. 2022. Vegetation changes as indicators of landfill leachate seepage locations: Case study. *Ecological Engineering*: 174(2022): 106448. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2021.106448
- Mancino G, Console R, Greco M, Trivigno ML et al. 2024. Monitoring the vegetation stress coming from anthropogenic activities by modeling phenology using Sentinel-2 data. *Annals of Geophysics*: 66(5): 66. DOI: 10.4401/ag-8837
- Mancino G, Rodolfo C, Michele G, Chiara I et al. 2022. Assessing Vegetation Decline Due to Pollution from Solid Waste Management by a Multitemporal Remote Sensing Approach. *Remote Sensing*: 14(2): 428. DOI: 10.3390/rs14020428
- Melnyk A, Kuklińska K, Wolska L, Namieśnik J. 2014. Chemical pollution and toxicity of water samples from stream receiving leachate from controlled municipal solid waste (MSW) landfill. *Environmental Research*: 135(2014): 253–261. DOI: 10.1016/j.envres.2014.09.010.
- Nochian A, Tahir OM, Mualan S, Rui D. 2019. Toward Sustainable Development of a Landfill: Landfill to Landscape or Landscape along with Landfill? A Review. *J. Soc. Sci. & Hum*: 27 (2): 949-962. ISSN: 0128-7702
- Phiri D, Simwanda M, Salekin S, Nyirenda VR et. al. 2020. Sentinel-2 Data for Land Cover/Use Mapping: A Review. *Remote sensing*: 12(14): 2291. DOI: 10.3390/rs12142291
- Ringrose S, Matheson W, Matlala CJSS, O'Neill T et al. 1994. Vegetation Spectral Reflectance Along a North-South Vegetation Gradient in Northern Australia. *Journal of Biogeography*: 21(1): 33–47. DOI: 10.2307/2845602
- Rogan J, Chen DM. 2004. Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. *Progress in Planning*: 61(4): 301–325. DOI: 10.1016/S0305-9006(03)00066-7
- Rongxing B, Danhui X, Xiaoli Ch. 2019. Methane emissions from landfill: influence of vegetation and weather conditions. *Environmental Technology*: 40(16): 2173–2181. DOI: 10.1080/09593330.2018.1439109

- Salem Z, Hamouri K, Djemaa R, Allia K. 2008. Evaluation of landfill leachate pollution and treatment. *Desalination*. 220 (1-3): 108–114. DOI: 10.1016/j.desal.2007.01.026.
- Tintner J, Klug B. 2011. Can vegetation indicate landfill cover features? *Flora*: 206(6): 559–566. DOI: 10.1016/j.flora.2011.01.005
- Titov A, Krasnov S, Timofeev A, Denisov V. 2021. Proceedings of International Scientific Conference on Telecommunications, Computing and Control. Singapore: Springer. Kapitola 34, Complex Monitoring Systems for Landfills: 385–393. DOI: 10.1007/978-981-33-6632-9_34
- Vanguri R, Laneve G, Cadau E, Scifoni S et al. 2023. Assessing the Impact of Landfills on Surrounding Vegetation: A Remote Sensing Analysis with Sentinel-2 and Landsat 8. *Environmental Sciences Proceedings*: 29(1): 21. DOI: 10.3390/ECRS2023-15865
- Vaverková MD. 2019. Landfill Impacts on the Environment—Review. *Geosciences*. 9(10): 431. DOI:10.3390/geosciences9100431
- Vaverková MD, Paleologos EK, Adamcová D, Podlasek A et. al. 2022. Municipal solid waste landfill: Evidence of the effect of applied landfill management on vegetation composition. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*: 40(9): 1402–1411. DOI: 10.1177/0734242X221079304
- Vaverková MD, Winkler J, Adamcová D, Radziemska M et al. 2019. Municipal solid waste landfill – Vegetation succession in an area transformed by human impact. *Ecological engineering*: 129(2019): 109–114. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2019.01.020
- Váňová, S. 2009. Zpracování leteckých snímků na ukázce časové řady vybraného území. [diplomová práce]. Brno: Masarykova univerzita. 77 s
- Vinter V, Kučerová P. 2013. Přehled morfologie cévnatých rostlin. 1.vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. 198 s. ISBN: 978-80-244-3322-6
- Wang F, Huang J, Tang Y, Wang X. 2007. New Vegetation Index and Its Application in Estimating Leaf Area Index of Rice. *Rice Science*: 14(3): 195–203. DOI: 10.1016/S1672-6308(07)60027-4
- Wang J, Qu JJ. 2009. Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review. *Frontiers of Earth Science*: 3(2): 237–247. DOI: 10.1007/s11707-009-0023-7

- Weinberg I, Dreyer A, Ebinghaus R. 2011. Landfills as sources of polyfluorinated compounds, polybrominated diphenyl ethers and musk fragrances to ambient air. *Atmospheric Environment*: 45(4): 935–941. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.11.011
- Williams LD, Goward S, Arvidson T. 2006. Landsat: Yesterday, Today, and Tomorrow. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*: 10(2006): 1171–1178. DOI: 10.14358/PERS.72.10.1171
- World Health Organization. 2007. Population health and waste management: scientific data and policy options. WHO workshop; 2007 Mar 29–30; Řím, Itálie. Kodaň (Dánsko): WHO Regional Office for Europe. 91 s
- Wulder MA, Roy DP, Radeloff VC, Loveland TR et. al. 2022. Fifty years of Landsat science and impacts. *Remote Sensing of Environment*: 2022(280): 113–195. DOI: 10.1016/j.rse.2022.113195
- Xie Y, Sha Z, Yu M. 2008. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology*: 1(1): 9–23. DOI: 10.1093/jpe/rtm0
- Yan WY, Mahendrarajah P, Shaker A, Faisal K et al. 2014. Analysis of multi-temporal Landsat satellite images for monitoring land surface temperature of municipal solid waste disposal sites. *Environmental Monitoring and Assessment*: 186(2014): 8161–8173. DOI: 10.1007/s10661-014-3995-z

Internetové zdroje:

Archiv ČÚZK (2024): <https://ags.cuzk.cz/archiv/> [cit. 2024-04-13]

Copernicus browser (2024): <https://browser.dataspace.copernicus.eu> [cit. 2024-04-13]

Earthexplorer (2024): <https://earthexplorer.usgs.gov/> [cit. 2024-04-13]

Mapy.cz (2024): <https://mapy.cz> [cit. 2024-04-14]

Příloha A

Fotografická příloha aktuální podoby rekultivované zábřežské skládky a jejího okolí:



Obr. 15: Skruže pod bývalou skládkou TKO Zábřeh



Obr. 16: Skruž na horní ploše bývalé skládky TKO Zábřeh



Obr. 17: Rekultivovaná skládka TKO Zábřeh



Obr. 18: Příjezdová cesta ke skládce TKO Zábřeh

Příloha B

Pracovní list jako součást didaktického začlenění tématu bakalářské práce do výuky.

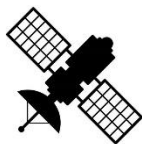
Cíle:

- 1. Rozpoznání tříděného odpadu:** Student by měl být schopen identifikovat, co patří do různých kontejnerů na tříděný odpad. Cílem je povzbudit povědomí o správném třídění odpadu.
- 2. Aplikace znalostí v praxi:** Student by měl být schopen aplikovat své znalosti o třídění odpadu na konkrétní příklady a určit, do kterého kontejneru by patřily specifické odpadky. Cílem je zdůraznit, že v praxi může být třídění odpadu někdy složité.
- 3. Pochopení osudu odpadu:** Student by měl být schopen zjistit, co se děje s odpadem po jeho vyhození. Cílem je povzbudit studenty k proaktivnímu zjišťování informací o skládkách odpadu a recyklaci v jejich okolí.
- 4. Vztah k širšímu kontextu:** Student by měl být schopen pochopit, jak odpad ovlivňuje nejen jeho město, ale i celkové životní prostředí. Cílem je poskytnout studentům vhled do globální perspektivy problematiky odpadu a jeho dopadu na životní prostředí, včetně pohledu z Vesmíru.

Celkově je cílem pracovního listu nejen zlepšit znalosti studentů o recyklaci a skládkování odpadu, ale také podnítit jejich uvědomění a odpovědnost v této oblasti.

Cílová skupina: 2. stupeň ZŠ (Nižší stupeň Gymnázia), 1. ročník vyššího gymnázia

Délka: 20–25 minut



Pracovní list – Cesta odpadu z domova na skládku a do Vesmíru!

Téma: Recyklace, skládkování odpadu a dálkový průzkum Země

1. Začneme zlehka – Zopakuj si, co patří do následujících kontejnerů na tříděný odpad?



2. Zůstaneme ještě u předešlého úkolu. Teď jsi si zopakoval, co obecně patří do jednotlivých kontejnerů. V praxi je to občas složitější. Do kterého kontejneru bys vyhodil následující odpadky?

PET lahev, karton, obal od džusu, lahev bílého vína, posekaná tráva, plechovka od Birellu, lepenka, tabulové sklo, maso a kosti, květiny, čajové sáčky, alobal

3. Víte, co se děje s odpadem dál? Některý se recykluje, některý se vozí na skládky. Víte, kde máte nejbližší skládku odpadu a kam se vozí odpad z vašeho města? Zkuste se podívat na mapu a zjistit to!





4. Věděli jste, že na skládky se můžeme dívat i z Vesmíru? Podívejte se na následující obrázky z Vesmíru a zkuste na nich najít skládku! Co podle vás znázorňují barevná spektra níže a k čemu nám může sloužit? Zkusíte odhadnout, jak byla vytvořena?



Nápopvěda:

