

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Ekologie a ochrana prostředí
Ochrana životního prostředí



Bc. Ondřej Šubr

Analýza změn krajinného pokryvu v oblasti Sokolovska s využitím GIS a DPZ

Analysis of landcover changes in the area of Sokolovsko using GIS and remote sensing

Diplomová práce

Vedoucí práce/Školitel: Ing. Luboš Matějček, Ph.D.

Praha, 2017

Abstrakt

Sokolovsko patří v rámci České republiky k regionům, kde těžba uhlí způsobila velký zásah do vzhledu tamní krajiny. Následnou rekultivační péčí je z těchto postižených ploch utvářena nová krajina, avšak na výzkumné bázi je zde uplatňována i bezzásahovost a principy přirozené sukcese. Tato diplomová práce na příkladu Velké podkrušnohorské výsypky prošetřuje vliv způsobu založení, resp. reliéfu výsypkové plochy na intenzitu samovolného zarůstání vegetací a to na základě dat získaných dálkovým průzkumem Země. K odhalení intenzity vegetačního krytu na zájmové ploše byly využity vegetační indexy NDVI, resp. SAVI. Z výsledků je zjevné, že výrazně rychleji zarůstají plochy ponechané v původním, zvlněném reliéfu. Taktéž bylo zjištěno, že zarůstání nerektivované plochy Velké podkrušnohorské výsypky v té části, jejíž reliéf byl urovnán v době vzniku se v čase liší od nerektivované plochy, jejíž reliéf byl ponechán v původních vlnách a posléze přesypán novým výsypkovým materiálem. Nakonec byla porovnána intenzita zarůstání nerektivované plochy Velké podkrušnohorské výsypky v té části, jejíž reliéf byl ponechán v původních vlnách a posléze urovnán a intenzita zarůstání v té části, jejíž reliéf byl ponechán v původních vlnách a posléze přesypán novým výsypkovým materiálem. V tomto případě statisticky významný rozdíl mezi těmito dvěma přístupy nebyl prokázán. Použitý vegetační index SAVI, jehož půdní korekční faktor by měl napomoci ke zpřesnění odhadu intenzity vegetace v oblastech s nízkou vegetační pokrývností, ve všech sledovaných parametrech silně koreloval s vegetačním indexem NDVI. Tudíž pro sledování vývoje vegetace na výsypkových lokalitách postačí široce využívaný index NDVI.

Klíčová slova: povrchová těžba uhlí, Velká podkrušnohorská výsypka, krajinný pokryv, dálkový průzkum, vegetační indexy, NDVI, SAVI, rekultivace, sukcese

Abstract

Region called “Sokolovsko” is an area in the Czech Republic in which a coal mining has caused a great interference with the appearance of the landscape. With a subsequent reclamation, the affected areas are recreated into new landscapes, however on the research base, the non-interference approach is applied in order to follow the principles of a natural succession. This diploma thesis examines the influence of the origin, respectively the relief of the dump area on the intensity of the spontaneous vegetation growth, within the example of the Velká podkrušnohorská spoil heap, based on the data collected by remote sensing techniques. The vegetation indices NDVI and SAVI were used to reveal the intensity of the vegetation cover on the area of the interest. It is clear from the results that the vegetation growth is considerably faster in the areas with the original, wavy relief. It was also found that the vegetation growth of the non reclaimed area of Velká podkrušnohorská spoil heap in the parts of which the relief was settled at the time of the origin differs from the non reclaimed area of which the relief was left in the original wavy surface and later over layered with a new material. Finally it was made a comparison between the non reclaimed part of the Velká podkrušnohorská spoil heap whose relief was left in the original waves and later settled and the non reclaimed area whose relief was left in the original waves and later over layered with a new material. In case of the vegetation growth, the statistically significant difference between these two approaches was not proven. The used vegetation index SAVI, whose soil correction factor should improve the estimation of the intensity of vegetation in the areas with a low vegetation coverage, strongly correlated with the NDVI vegetation index in all monitored parameters. Therefore, the widely used vegetation index NDVI is sufficient to monitor the development of vegetation in the spoil heaps.

Key words: surface coal mining, The Velká podkrušnohorská spoil heap, land cover, remote sensing, vegetation indices, NDVI, SAVI, reclamation, succession

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a informací, které jsou řádně citovány. Rovněž prohlašuji, že předložená diplomová práce nebyla využita jako závěrečná práce k získání jiného nebo obdobného druhu vysokoškolské kvalifikace. Tato diplomová práce je totožná s elektronickou verzí vloženou do SIS.

V Mělníku dne :

Podpis :

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval mému školiteli Ing. Luboši Matějčíčkovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, četné konzultace a cenné rady.

Dále bych rád vyjádřil vřelý dík Prof. Ing. Mgr. Janu Frouzovi, CSc. za poskytnutí informací ohledně rozdělení Velké podkrušnohorské výsypky na zájmové podoblasti. Rovněž bych rád poděkoval Jaroslavu Pohlreichovi, bývalému vedoucímu úseku rekultivací v rámci Sokolovské uhelné, právní nástupce, a.s. za informace o vývoji rekultivační praxe na Velké podkrušnohorské výsypce. Poděkování též zaslouží U.S. Geological Survey Earth Resources Observation and Science Center za poskytnutí vstupních dat a Mgr. Jan Hanzelka, Ph.D. za pomoc při jejich závěrečném zpracování.

Děkuji taktéž všem, kteří svými náměty a připomínkami pomohli zlepšit kvalitu této práce, mé rodině a přátelům.

Přehled použitých zkratk

DPZ – dálkový průzkum Země

HU – hnědé uhlí

LDCM – Landsat Data Continuity Mission

MSS – Multispectral Scanner System

NDVI – Normalised Difference Vegetation Index

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

NS – nerostné suroviny

OLI – Operational Land Imager

SAVI – Soil-adjusted vegetation index

SP – Sokolovská pánev

T – termodynamická teplota

TM – Thematic Mapper

USGS – United States Geological Survey

VPV – Velká podkrušnohorská výsypka

OBSAH

1. ÚVOD	11
1.1. Cíl práce.....	11
1.2. Struktura práce.....	11
1.3. Hypotézy.....	12
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED	13
2.1. Krajina a její antropogenní ovlivnění	13
2.2. Krajinový pokryv vs. využití krajiny.....	16
2.3. Dálkový průzkum Země	16
2.4. Spektrální projevy vybraných druhů krajinného pokryvu.....	18
2.4.1. Povrch bez vegetace.....	19
2.4.2. Vegetační kryt.....	19
2.4.3. Voda v kapalném skupenství	21
2.5. Landsat Data Continuity Mission	21
2.5.1. Praktické aplikace dálkového průzkumu Země	23
2.6. Hodnocení krajinného pokryvu pomocí spektrálních indexů.....	24
2.6.1. Normalizovaný diferenční vegetační index	25
2.6.2. Korigovaný vegetační index	25
2.7. Těžba nerostných surovin v globálním kontextu.....	26
2.8. Sokolovský hnědouhelný revír – báňský fenomén.....	27
2.9. Charakteristika Sokolovské hnědouhelné pánve	29
2.9.1. Velká podkrušnohorská výsypka jako zájmová lokalita.....	30
2.9.1.1. Velká podkrušnohorská výsypka – literární přehled.....	31

3. MATERIÁL A METODIKA	32
3.1. Popis použitých dat.....	32
3.2. Výběr podoblastí pro analýzu změn krajinného pokryvu.....	33
3.3. Postup analýzy	34
4. VÝSLEDKY	36
4.1. Vývoj vegetačního krytu na nerekulтивовaných plochách dle indexu NDVI.....	39
4.2. Vývoj vegetačního krytu na nerekulтивовaných plochách dle indexu SAVI	54
5. DISKUZE.....	56
6. ZÁVĚR.....	59
7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	60
8. PŘÍLOHY	72

Seznam obrázků

Obr.1.: Elektromagnetické spektrum	22
Obr. 2.: Velká podkrušnohorská výsypka – zájmové polygony	34
Obr. 3.: Lesnická rekultivace	72
Obr. 4.: Hydrická rekultivace	72
Obr. 5.: Zemědělská rekultivace	73
Obr. 6.: Nerekultivovaná plocha s výskytem jednotlivých stromů	73
Obr. 7.: Nerekultivovaná plocha s dominantní Třtinou křovištní	74
Obr. 8.: Nerekultivovaná plocha s původním zvlněným reliéfem	74
Obr. 9.: Nerekultivovaná plocha s původním zvlněným reliéfem a postupující vegetací	75
Obr. 10.: Nerekultivovaná plocha s reliéfem zarovnaným v době vzniku	75

Seznam tabulek

Tab. 1.: Souhrn údajů o zásobách hnědého uhlí v Sokolovské pánvi, platný k 1. 1. 2015	27
Tab.2.: Popis vstupních dat	33
Tab. 3.: Porovnání vegetačních indexů NDVI a SAVI	55

Seznam grafů

Graf 1.: Spektrální odrazivost vodních ploch, vegetačního krytu a povrchu bez vegetace v oblasti viditelného a infračerveného záření	20
Graf 2.: Vývoj vegetačního indexu NDVI na rekultivovaných plochách výsypky	37
Graf 3.: Vývoj vegetačního indexu NDVI na nerekultivovaných plochách výsypky	38
Graf 4.: Vývoj ročních průměrů indexu NDVI s 95% intervalem spolehlivosti	40
Graf 5.: Vývojový trend hodnot indexu NDVI (NDVI_D = nerekultivováno – vlny)	41

Graf 6.: Vývojový trend hodnot indexu NDVI (NDVI_E = nerekultivováno – rovina).....	42
Graf 7.: Vývojový trend hodnot indexu NDVI (NDVI_F = nerekultivováno – vlny přesypané)	43
Graf 8.: Vývojový trend hodnot indexu NDVI (NDVI_G = nerekultivováno – vlny zarovnané)	44
Graf 9.: Vývojový trend směrodatných odchylek indexu NDVI (D = nerekultivováno – vlny)	46
Graf 10.: Vývojový trend směrodatných odchylek indexu NDVI (E = nerekultivováno – rovina)	47
Graf 11.: Vývojový trend směrodatných odchylek indexu NDVI (F = nerekultivováno – vlny přesypané)	48
Graf 12.: Vývojový trend směrodatných odchylek indexu NDVI (G = nerekultivováno – vlny zarovnané)	49
Graf 13.: Vývojový trend koeficientu šikmosti indexu NDVI (D = nerekultivováno – vlny)	50
Graf 14.: Vývojový trend koeficientu šikmosti indexu NDVI (E = nerekultivováno – rovina)	51
Graf 15.: Vývojový trend koeficientu šikmosti indexu NDVI (F = nerekultivováno – vlny přesypané)	52
Graf 16.: Vývojový trend koeficientu šikmosti indexu NDVI (G = nerekultivováno – vlny zarovnané)	53
Graf 17.: Vývoj ročních průměrů indexu SAVI s 95% intervalem spolehlivosti	54

Seznam příloh

Fotodokumentace zájmových ploch Velké podkrušnohorské výsypky	72
---------------------------------------------------------------------	----

1. ÚVOD

1.1. Cíl práce

Tato diplomová práce si klade za cíl zmapovat vývoj ploch na Velké podkrušnohorské výsypce po těžbě nerostných surovin, které byly ponechány přirozené sukcesi. Výsypkové plochy jsou nezbytným vedlejším produktem povrchové těžby hnědého uhlí v této oblasti a za předpokladu, že byly ponechány spontánnímu vývoji, tak jsou ideálními oblastmi pro analýzu zpětného zarůstání vegetací v čase. Tyto plochy, přestože jsou jakékoliv rekultivace prosté, podléhaly jistému technickému managementu, ať už v době svého zakládání či během svého přirozeného vývoje. Snahou je zmapovat historický vývoj těchto ploch pomocí vegetačních indexů, protože pozemní data o vývoji vegetace na těchto plochách chybí. Posouzení sukcesních pochodů na těchto plochách probíhalo s pomocí dat získaných dálkovým průzkumem Země, přičemž tato data víceméně kontinuálně pokrývají období mezi roky 1984 – 2016. Pro sledování změn vegetačního krytu byly využity vegetační indexy NDVI, resp. SAVI. Posuzován je celkový vývoj vegetace na daných plochách, tak i variabilita v získaných datech, což pomůže odhalit extrémy v procesu zarůstání výsypkových ploch. Výsledkem bude zhodnocení vývoje sukcesních pochodů na plochách s odlišnou zakládací strategií, resp. s odlišným reliéfem.

Užitečnost a případnou uplatnitelnost tohoto postupu spatřuji v těch oblastech, pro které je k dispozici dostatek kvalitních družicových snímků, nicméně záznamy o postupném vývoji krajinného pokryvu z těchto míst chybí.

Analýza družicových snímků se ve svém průběhu opírala taktéž o nezbytné hypotézy, které jsou uvedeny níže.

1.2. Struktura práce

Teoretická část diplomové práce je pojata formou literární rešerše řešené problematiky a to na základě dostupné české i zahraniční odborné literatury, resp. elektronických zdrojů. Zabývá se vlivem člověka na utváření a přeměnu krajiny a s tím spojenou těžbou nerostných surovin v Sokolovském hnědouhelném revíru, ve kterém se nachází zájmová lokalita. Její charakteristika a současný stav je v teoretické části práce rovněž obsažena. Dále se literární rešerše zabývá tématem dálkového průzkumu Země a to podstatou a metodami získávání dat o vlastnostech

zemského povrchu, přičemž shrnuje dosavadní aplikace této analýzy povrchu Země v publikované odborné literatuře.

Praktická část diplomové práce si klade za cíl zpracovat vývoj změn v sukcesním zarůstání nerekulturních ploch Velké podkrušnohorské výsypky. Analýza byla provedena na základě dostupných družicových snímků z programu Landsat, které zaznamenaly vývoj změn v čase za více než 30leté období (1984-2016). Pomocí vegetačních indexů NDVI a SAVI byla získána data o míře pokryvu vegetací každého zájmového polygonu v každém analyzovaném roce. Následně byla data zpracována statistickými metodami za účelem zjištění, zda-li se rychlost zarůstání jednotlivých polygonů v čase od sebe navzájem liší. Následně jsou výsledky okomentovány a v diskusní části práce uvedeny do kontextu ostatních odborných prací na obdobné téma. Výsledky jsou rovněž prezentovány pomocí tabulek, grafů a mapových výstupů. Poslední částí diplomové práce je závěr, kde jsou stručně shrnuty poznatky, které tato práce přináší. V seznamu použité literatury jsou uvedeny všechny citované literární zdroje, včetně zdrojů elektronických.

1.3. Hypotézy

1. Zárůstání nerekulturní plochy Velké podkrušnohorské výsypky v té části, jejíž reliéf byl ponechán v původních vlnách, bude v čase rychlejší než v případě ostatních nerekulturních ploch Velké podkrušnohorské výsypky.
2. Zárůstání nerekulturní plochy Velké podkrušnohorské výsypky v té části, jejíž reliéf byl urovnán v době vzniku, se v čase neliší od nerekulturní plochy Velké podkrušnohorské výsypky v té části, jejíž reliéf byl ponechán v původních vlnách a posléze přesypán novým výsypkovým materiálem.
3. Zárůstání nerekulturní plochy Velké podkrušnohorské výsypky v té části, jejíž reliéf byl ponechán v původních vlnách a posléze urovnán se v čase neliší od nerekulturní plochy Velké podkrušnohorské výsypky v té části, jejíž reliéf byl ponechán v původních vlnách a posléze přesypán novým výsypkovým materiálem.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1. Krajina a její antropogenní ovlivnění

Člověk svou činností již od nepaměti mnoha způsoby ovlivňuje krajinu a to v nejrůznějším rozsahu (Dimitrovský, 2001). To, co člověk po staletí usilovně přetvářel je soubor různých typů ekosystémů, které podléhají vzájemným interakcím, přičemž jsou podmíněny geomorfologií zemského povrchu, podnebím a ovlivňovány disturbančním režimem, tj. typem, intenzitou a frekvencí narušení přirozeného vývoje v daném místě. (Forman and Godron, 1993). Krajina je pojem, mimo jiné taktéž definován v právním řádu České republiky, jako část zemského povrchu s charakteristickým reliéfem, tvořená souborem funkčně propojených ekosystémů a civilizačními prvky (zákon č.114/1992 Sb.).

Lidská společnost v průběhu času pozvolna přetvářela prvky a složky původní přírodní krajiny a tím dala vzniknout krajině kulturní. Avšak jakkoliv přeměněná krajina stále vychází z podstaty krajiny přírodní (Kolejka, 2013). Problémem pravých přírodních krajin je ten, že v současném světě, kdy globalizace lidské společnosti a s tím spojená globální změna klimatu ovlivňuje celou krajinou sféru Země, prakticky neexistují (Kolejka, 2013). Krajina na území České republiky je taktéž kompletně utvářena působením lidské společnosti a tudíž ji lze nazývat krajinou kulturní (Dimitrovský, 2001).

Pro splnění nároků národního hospodářství v oblasti nerostných surovin a energie je těžba uhlí nezbytnou činností se všemi jejími klady i zápory (Dimitrovský, 2001). Bohaté zásoby hnědého uhlí v Podkrušnohorském uhelném pásmu (Mostecká, Sokolovská a Chebská pánev) jsou předpokladem pro rozvoj těžebního a zpracovatelského průmyslu v regionu Severozápad (Štýs et al., 2014). Sokolovský revír díky zmíněnému nerostnému bohatství byl stížen disturbancemi již od 2. poloviny 18. století, přičemž přechodem od hlubinného k povrchovému způsobu dobývání kolem roku 1950 došlo k ještě významnějšímu antropogennímu ovlivnění tamější krajiny (Pešek et al., 2010). Disturbance je definována jako událost v daném čase, měnící strukturu populací, společenstev, fyzických vlastností prostředí, dostupnost zdrojů a též působící na ekosystémy, resp. krajinu. Každá krajina je utvářena, udržována či pozměňována právě těmito zásahy a to jak přírodního, tak antropogenního původu (Farina, 2006).

Povrchová hornická činnost, která se typicky vyskytuje v Sokolovském hnědouhelném revíru, je významným zdrojem disturbancí a mírou negativního dopadu na krajinu patří k nejdestruktivnějším způsobům dobývání nerostných surovin. To, co činí tento způsob těžby tak destruktivním je nutnost odstranění veškerého materiálu mezi povrchem Země a ložiskem nerostné suroviny, přičemž intenzita této disturbance závisí především na velikosti a tvaru ložiskového tělesa. Odtěžený materiál (tzv. skrývka) může být dále použit, ovšem častěji je dočasně či trvale ukládán na předem určené plochy a to pro jeho prostý nadbytek či vlastnosti neslučující se s dalším využitím. Ukládání skrývky probíhá v závislosti na postupu těžby dvěma způsoby – v počáteční fázi je skrývkovým materiálem budována deponie vně lomu (tzv. vnější výsypka), zatímco v pokročilejším stádiu dobývání nerostné suroviny je možno ukládat nadložní materiál do již vytěžené části lomu (tzv. vnitřní výsypka) (Zamarský et al, 2009). Právě na těchto antropogenních novotvarech, jsou-li ponechány přirozenému vývoji, se uplatňuje fenomén sukcese. Jde o jednosměrný proces, sled změn ekosystémů v určitém místě, doprovázený změnami v druhovém složení přítomných rostlin a živočichů. Sukcese je přitom řízena faktory biotickými, zatímco ty abiotické určují rychlost, charakter i prostorové rozložení změn. Vznik výsypky lze považovat za počáteční, iniciální sukcesní stádium, naopak klimax je konečná fáze jejího sukcesního vývoje, kdy se na jednotku toku energie uchovává nejvíce biomasy. Na nově vzniklém výsypkovém stanovišti, které pozbývá rostlinné diaspory, probíhá sukcese primární, kdy v průběhu času dochází k nejrůznějším změnám, jako vzrůstu celkové biomasy ekosystému, horizontální a vertikální diferenciaci struktury ekosystému, posun životní strategie přítomných populací od rozmnožování a mobility ke kvalitě a konkurenceschopnosti apod. (Sklenička, 2003).

Těžba nerostných surovin povrchovým způsobem má však za následek i další proměny krajiny. Antropogenní transformací reliéfu se zvyšuje geomorfologická diferenciaci krajiny, nakládání s nadložním materiálem dává vzniknout odlišným petrografickým a stratigrafickým vlastnostem dotčeného území, výrazně ovlivněny jsou též hydrologické poměry – infiltrační a odtokové poměry apod. Lomovou těžbou dochází k destrukci pedosféry, což je doprovázeno změnou mikroklimatických charakteristik, resp. bioty daného území (Štýs et al., 2014). Neopomenutelný je jistě i zásah do krajinného rázu, jenž je přírodní, kulturní a historickou charakteristikou daného místa či oblasti (Sklenička, 2003).

Těžba však postihuje i celou řadu sociálně-ekonomických složek krajiny. Mezi nejcitelnější dopady povrchového dobývání uhlí v Podkrušnohorské hnědouhelné oblasti jsou

změny v osídlení a s tím spojený zánik sídel, ležících přímo na uhelné sloji. V Sokolovské pánvi zejména po r. 1945 ustoupilo celých 19 obcí s téměř 6 000 obyvateli. Doprovodnými jevy tohoto přesídlování obyvatelstva a následného záboru části krajiny jsou přeložky vodotečí, železničních tratí či výstavba silničních koridorů (Ervěnický, Mostecký) (Štýs et al., 2014).

Takto rozsáhlému zásahu do krajiny, jakým těžba uhlí v oblasti Podkrušnohoří bezesporu je, ovšem nelze upřít pozitivní vliv na zvelebování obcí a měst, na jejichž území dobývací prostor leží, resp. je dobývání nerostných surovin prováděno a to prostřednictvím úhrady z dobývacího prostoru, resp. úhrady z vydobytých nerostů. Část z těchto finančních prostředků je též příjmem státního rozpočtu (Zákon č. 44/1988 Sb.). Horní zákon uvádí, že výhradní ložiska, mezi které hnědé uhlí bezesporu patří se musí využívat racionálně, se zřetelem na aktuální technické a ekonomické podmínky, za dodržení zásad těžebních technologií, resp. bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a v neposlední řadě je třeba vyloučit neodůvodněné nepříznivé vlivy těžby na pracovní a životní prostředí (Zákon č. 44/1988 Sb.). S přihlédnutím ke způsobu dobývání a objemu těžby ložisek hnědého uhlí v Podkrušnohorské pánvi však rozsáhlou devastaci zdejší krajiny nelze pominout a je odvrácenou stranou mince uspokojování poptávky národního hospodářství po této surovině. Snahou je, aby ty negativní dopady povrchového dobývání hnědého uhlí, kterým nešlo zabránit, byly následně odstraněny či alespoň zmírněny. Úsilí směřující k nápravě nepříznivých poměrů vzniklých těžbou se obecně nazývá sanace. Jde o odstranění škod na krajině komplexní úpravou území a územních struktur. Tento obecný pojem v sobě zahrnuje dva neméně důležité pojmy – rekultivace a revitalizace.

Rekultivace znamená opětovné zúrodnění půdy a horní zákon hovoří o rekultivacích dle zvláštních právních předpisů a to dle zákona o ochraně zemědělského půdního fondu, resp. zákona o lesích. V prvním případě jsou příslušné postižené oblasti kultivovány na zemědělskou půdu, v druhém na pozemky určené k plnění funkcí lesa. V případě revitalizace jde o takovou úpravu zasaženého území, aby zde došlo k urychlení formace přírodě blízkých ekosystémů. Může jít o technickou úpravu reliéfu či složení terénu či výsadbu původních druhů stromů, aniž by bylo hlavním zájmem vytvořit na daném místě les (Zamarský et al, 2009).

2.2. Krajinový pokryv vs. využití krajiny

Krajinový pokryv (*Land cover*) prezentuje všechny útvary, které bezprostředně pokrývají povrch Země, ať už jsou to útvary vzniklé působením přírodních sil či vytvořené člověkem. Mezi útvary přirozené se řadí lesy, řeky, formace skal, pouště apod. K těm, jejichž vznik je podmíněn lidskou činností lze uvést urbanizované plochy ve městech či vesnicích, silnice, letiště, plochy zasažené těžbou nerostných surovin a další. Uvedené členění je ovšem čistě ilustrativní, protože existují plochy přirozené, nicméně člověkem pozmeněné (pole) či naopak plochy vzniklé lidskou činností, ale ve snaze je co nejvíce přiblížit plochám přirozeným (plochy vzniklé vodní rekultivací v těžebních oblastech). V souvislosti s krajinovým pokryvem je třeba vymezit i další pojem, který bývá s analýzou krajiny spjat.

Tím je **využití krajiny** (*Land use*), jež je založeno na funkci určitého typu krajinového pokryvu, který člověku poskytuje určité služby (regulace mikroklimatu), resp. statky (dřevo). Oba termíny jsou ve vzájemném vztahu, dle kterého je určité místo na Zemi determinováno pro jeden jediný typ krajinového pokryvu, ovšem tento určitý krajinový pokryv může být člověkem využíván více způsoby (vodní nádrž – produkce ryb i zadržování vody v krajině). Stejně tak změna v krajinovém pokryvu (ať už je podmíněna přírodními procesy či člověkem) ovlivní všechny potenciální možnosti využití této části krajiny. V opačném sledu zákonitost platí obdobně – změnou využití krajiny je následně ovlivněn i její pokryv (Obade and Lal, 2012).

Mapování a klasifikace krajinového pokryvu je zcela zásadní pro plánování rozvoje v krajině, resp. pro uvážené hospodaření s přírodními zdroji. Monitoring povrchu Země a s ním i ohodnocení jejího pokryvu na úrovni prostorové, časové, resp. tematické je umožněno technologiemi dálkového průzkumu Země a možností se získanou digitální obrazovou informací adekvátně pracovat. Výsledným produktem zpracování takovýchto informací je tematická mapa, kategorizující krajinový pokryv v daném místě a čase na několik skupin (Goméz et al., 2016).

2.3. Dálkový průzkum Země

Výrazný růst světové populace a s tím spojená potřeba uspokojit zvyšující se poptávku po energiích tlačí na exploataci zdrojů, zejména těch neobnovitelných. Pro mapování změn v těžbě těchto surovin, popřípadě její vliv na nejrůznější krajinové aspekty je zásadní monitoring krajinového pokryvu v rozličných časových a prostorových měřítcích. Vytvoření databáze změn krajinového pokryvu poskytuje klíčové informace pro zodpovědné plánování v krajině či

hodnocení vývoje krajiny vzhledem k předem určeným cílům (Lawley et al., 2015). Zatímco mapování změn v terénu je náročné z hlediska času i vynaložených finančních prostředků, data získaná pomocí metod dálkového průzkumu jsou finančně efektivnější a jejich nespornou výhodou je taktéž kontinuita a vzájemná porovnatelnost (Raval and Shamsoddini, 2014).

Dálkový průzkum je definován jako měření vlastností povrchu či objektu probíhající na určité vzdálenosti. V případě dálkového průzkumu Země jsou data touto metodou pořízená ve formě snímků, zobrazující konkrétní místo na zemském povrchu v určitý čas a v určitém rozlišení (Ma et al., 2014).

Jak již z definice dálkového průzkumu Země vyplývá, vlastnosti povrchu či objektu jsou měřeny bez přímého kontaktu měřitele s daným povrchem, resp. objektem a z toho lze usuzovat, že moderní dějiny DPZ jsou spjaty s vynálezem fotografie počátkem 19.století. Nejdříve byl zemský povrch fotograficky snímán za pomoci horkovzdušných balonů, později ovšem vynález letadla, barevné fotografie či posun od viditelné části elektromagnetického spektra do blízké infračervené, resp. mikrovlnné oblasti tlačily dálkový průzkum Země mílovými kroky kupředu. Pravidelný sběr dat o zemském povrchu na bázi DPZ započal v 60.letech 20.století s příchodem programu meteorologických satelitů, z nichž některé poskytují informace dodnes – např. americký program NOAA poskytující mj.data využitelná k předpovědi počasí (Zemek a kol., 2014).

Vypuštění satelitu Landsat 1 v roce 1972 znamenalo další obrovský posun v získávání informací o zemském povrchu na pravidelné bázi a v možnostech pozdějšího využití těchto dat k vědecko-výzkumným účelům na poli geologie, hydrologie, výzkumu vegetace atd. (Campbell, 2002). Evoluce programu Landsat dospěla v roce 2013 k vypuštění nejmodernější družice Landsat 8, zajišťující kontinuitu tohoto projektu, jež trvá již 45 let (Loveland and Irons, 2016).

Projekt Landsat snímá zemský povrch za pomoci pouze několika širokých spektrálních pásem, zatímco DPZ v hyperspektrální oblasti může o zemském povrchu získat násobně více informací prostřednictvím mnoha desítek úzce definovaných spektrálních oblastí, ve kterých zemský povrch snímá (Campbell, 2002). V současné době jsou v oblasti pasivního snímání zemského povrchu, což je zaznamenání intenzity odraženého slunečního záření od Země, hyperspektrální data v popředí zájmu pro jejich velmi vysoké spektrální rozlišení a mimořádnou radiometrickou kvalitu (Zemek a kol., 2014).

2.4. Spektrální projevy vybraných druhů krajinného pokryvu

Využití dálkového průzkumu zemského povrchu ke sledování stavu a vývoje vegetace začalo nabývat na významu začátkem 70. let 20. století, přičemž rozvoji této aplikace DPZ přispělo objevení spektrálních charakteristik vegetace, resp. objasnění vlivu biofyzikálního stavu zkoumané vegetace na její odrazivé vlastnosti (Campbell, 2002).

Sluneční záření na své cestě k zemskému povrchu prochází atmosférou, přičemž část tohoto záření se díky suspendovaným částicím obsaženým v atmosféře rozptýlí do všech směrů, část záření je pohlcena atmosférou (United States Geological Survey^a). Intenzita rozptylu záření závisí na velikosti a množství rozptylujících částic, vlnové délce rozptylovaného záření a taktéž na trajektorii průchodu záření atmosférou. Záření je v atmosféře absorbováno, v případě, kdy částice v atmosféře obsažené zadrží procházející záření a tím oslabí jeho energii. Pohlcování záření způsobují převážně tři hlavní atmosférické plyny – ozon, oxid uhličitý a vodní pára (Zemek a kol., 2014). Množství záření, které dorazilo až k zemskému povrchu je částečně absorbováno zemským povrchem, resp. objekty na zemském povrchu se nacházejícími (vegetace, budovy apod.) a částečně je od těchto povrchů odraženo (United States Geological Survey^a).

Množství odraženého záření, resp. intenzita emitovaného záření je závislá na elektromagnetických vlastnostech látky. Tyto vlastnosti jsou závislé na druhu látky (objektu), tudíž odrazivá a emisní vlastnost jsou charakteristickým rysem dané látky, popřípadě objektu či jevu (Duong). Z naměřené míry odrazivosti či intenzity záření můžeme díky znalosti těchto vlastností posléze stanovit, o jakou látku se přesně jedná. Zářivé vlastnosti daného objektu popisuje tzv. spektrální charakteristika, jež vyjadřuje závislost odrazivosti či emisivity ($=$ poměr mezi intenzitou vyzařování reálného tělesa a intenzitou vyzařování černého tělesa o dané teplotě T) dané látky na vlnové délce.

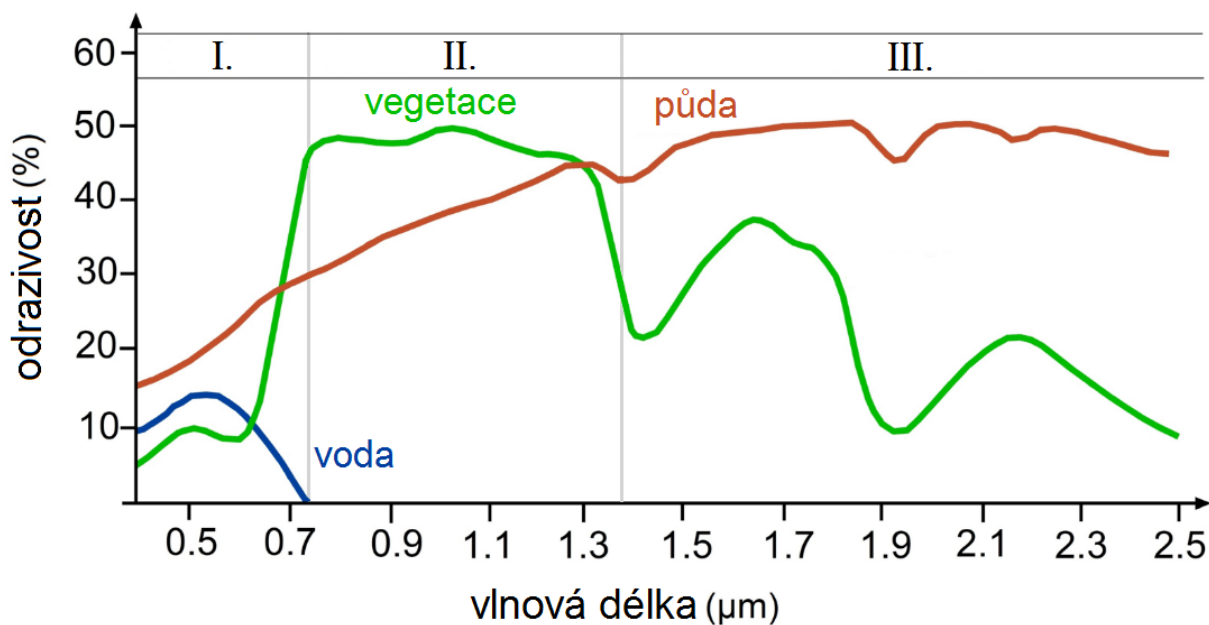
Spektrální charakteristiky různých pozemských látek a objektů jsou zaznamenávány experimentálně v laboratorních i polních podmínkách způsobem blízkého (pomocí spektrometru) i dálkového měření z letadel a kosmických nosičů. Krajinné objekty jsou natolik rozmanité, že pro snazší orientaci byly rozděleny do čtyř základních kategorií, jejichž zářivé vlastnosti jsou specifické: pevný povrch bez vegetace, vegetační povrch a voda v kapalném skupenství (Kolář et al., 1997).

2.4.1. Povrch bez vegetace

Pro spektrální křivku pevného povrchu v oblasti viditelného záření je charakteristický pozvolný vzestup odrazivosti spolu s rostoucí vlnovou délkou. Konkrétní míra spektrální odrazivosti je určována převážně chemickým složením, které se uplatňuje především u minerálů a hornin či složením mechanickým, ovlivňujícím spektrální projev půdních objektů. U spektrálního projevu půdy patří mezi nejvýraznější faktory vlhkost, struktura povrchu, obsah humusu, mechanické vlastnosti půdy, mineralogické složení a stupeň erozních procesů. Zvýšená vlhkost půdy se projeví snížením celkové odrazivosti (Aggarwal). U mechanických vlastností je rozhodující velikost částic, z nichž je půda tvořena. Povrch půdy tvořené menšími částicemi je hladší a záření je v půdě méně pohlcováno díky vícenásobným odrazům záření mezi nerovnostmi na povrchu, tudíž odrazivost půdy tvořené menšími částicemi bude větší. Obsah humusu v půdě má také vliv na spektrální odrazivost půd, ovšem zvyšováním obsahu humusu v půdě snižujeme odrazivost půdy pro viditelné záření nelineárním způsobem. Tudíž čím delší vlnové délky pro snímání půd používáme, tím nižší je vliv obsahu humusu v půdě na výslednou odrazivost (Kolář et al., 1997).

2.4.2. Vegetační kryt

Předmětem zkoumání v rámci DPZ bývají obvykle společenství jednoho druhu rostliny jako celku. Spektrální projev porostu určitého druhu rostliny je výsledkem odrazivých a emisních vlastností různých částí rostliny, příspěvky od listů však dominují (Kolář et al., 1997). Míra odrazivosti dopadajícího slunečního záření vegetací je utvářena faktory, mezi které patří zdravotní stav rostlin, množství vody obsažené v rostlinách, jejich vnější uspořádání a také vnitřní struktura (Universidade de Lisboa). Průběh spektrální odrazivosti vegetace v závislosti na vlnové délce znázorňuje Graf 1.



Graf 1.: Spektrální odrazivost vodních ploch, vegetačního krytu a povrchu bez vegetace v oblasti viditelného a infračerveného záření (upraveno podle European Commission ^a, 2016)

Graf lze rozdělit na tři hlavní úseky, z nichž každý úsek má svůj hlavní faktor určující velikost spektrální odrazivosti.

úsek I. (tzv. oblast pigmentační absorpce)

Ve viditelné oblasti záření formují průběh spektrální křivky především pigmentační látky. Chlorofyl, který může tvořit až 65% listového pigmentu pohlcuje většinu zářivé energie v modrém (0,45 μm) a červeném (0,65 μm) (Kolář et al., 1997). Mezi těmito absorpčními pásy je maximum odrazivosti v okolí vlnové délky zeleného světla - 0,54 μm, což je především příčinou zelené barvy rostlin (Dobrovolný, 1998).

úsek II. (tzv. oblast vysoké odrazivosti)

V pásmu blízkého infračerveného záření (0,72 – 1,3 μm) je hlavním faktorem působícím na odrazivost morfologická struktura listu. V této oblasti je zodpovědná za vysokou odrazivost velmi nízká pohltivost buněk. Prudká změna z velmi nízké odrazivosti v oblasti červeného světla na vysokou odrazivost v oblasti blízkého infračerveného záření je pro vegetaci typická a rozdíl odrazivosti naměřený ve zmiňovaných dvou oblastech se používá jako indikátor přítomnosti zelené hmoty (Kolář et al., 1997). Odrazivost v této části spektra může být díky odlišným

morfologickým vlastnostem listové plochy u jednotlivých rostlinných druhů různá, proto se odrazivosti v této části spektra využívá i pro odlišení jednotlivých druhů rostlin (Dobrovolný, 1998).

úsek III. (tzv. oblast vodní absorpce)

V oblasti vodní absorpce je spektrální odrazivost vegetace formována absorpčními pásy vody na vlnových délkách 1,4 μm , 1,9 μm a 2,7 μm . Obecně platí, že s poklesem obsahu vody v listech se jejich spektrální odrazivost zvyšuje. Zvýšení odrazivosti se nejvíce projeví na vlnových intervalech absorpčních pásů vody, ale i mezi nimi (Kolář et al., 1997).

2.4.3. Voda v kapalném skupenství

Voda v oceánu a uzavřených vodních plochách se v celém spektru vlnových délek vyznačuje nízkou odrazivostí jak je patrné z Grafu 1. Sluneční záření dopadající na hladinu proniká z velké části pod ní, kde je absorbováno. Pokud ovšem voda obsahuje jakékoliv mechanické či biologické příměsi, záření se od nich odráží a zvyšuje tím celkovou odrazivost vodní plochy (Aggarwal). Takovou příměsí může být např. plankton obsahující chlorofyl. Ten způsobuje snížení odrazivosti v modré části spektra a současně zvýšení odrazivosti ve žlutozelené části.

S rostoucím obsahem chlorofylu se oblast minimální absorpce přibližuje k vlnové délce minimální absorpce chlorofylu (0,56 μm). Následkem je výraznější barevná změna vody způsobená jen nízkou koncentrací (do 2-3 mg/m^3) chlorofylu. Díky této závislosti je možné sledovat koncentraci vodních řas pomocí DPZ. Vedle chlorofylu a pevných příměsí ve formě suspence se ovšem na míře odrazivosti vody projevují i další příměsi, často antropogenního původu, jakými jsou např. ropné skvrny po havárii tankeru apod. (Kolář et al., 1997).

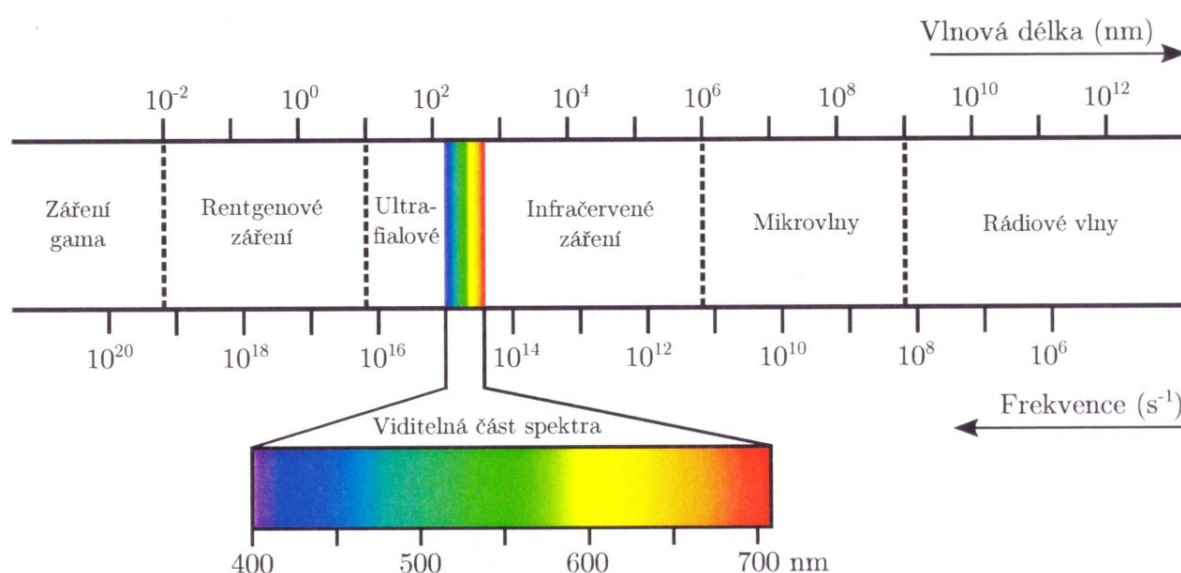
2.5. Landsat Data Continuity Mission

Projekt stvořený kooperací Národního úřadu pro letectví a kosmonautiku (NASA) a Geologickou službou Spojených států amerických (USGS) nazvaný Landsat Data Continuity Mission (LDCM) stál v roce 1972 na počátku revoluce ve způsobu sledování a studia procesů na povrchu planety Země.

Hlavní cílem LDCM je sběr a archivace multispektrálních dat o zemském povrchu v jakoukoliv roční dobu a každý rok. Tato data navíc disponují prostorovým rozlišením 30 m, což umožňuje studium rozličných přírodních fenoménů (změna rozlohy ledovců, pralesů apod.) (NASA & USGS). Pořízená data, která disponují tímto rozlišením řadí družice systému Landsat mezi ty se středním rozlišením, přičemž vysokým rozlišením se rozumí jednotky metrů (družice IKONOS – 1 m) a naopak za rozlišení nízké je považováno takové, které se pohybuje v rozmezí desítek až stovek metrů (např. družice NOAA - 1km, MODIS - 250m) (Lawley et al., 2015, Ma et al., 2014).

Dalším cílem projektu je zajištění kompatibility získaných dat s těmi, jež byly pořízeny staršími evolucemi družice Landsat. To umožňuje vytvoření dostatečně dlouhé časové řady snímků pro studium procesů na zemském povrchu. Tato data jsou rovněž poskytována zájemcům na nekomerční bázi, bez nároku na finanční satisfakci (NASA & USGS).

Již od dob Landsatu 1 byl tento systém družic stvořen jako systém pasivní, využívající odrazu slunečního záření od povrchu Země a zaznamenávající jeho intenzitu pomocí senzorů, které pracují v nejrůznějších částech elektromagnetického spektra, které je vyobrazeno na Obr.1. (Campbell, 2002). Tyto pasivní senzory operují v tzv. odrazové části elektromagnetického spektra. Ta se dále dělí na část viditelného záření (VIS, 400-700 nm), část blízkého infračerveného záření (NIR, 720-1300 nm) a část středního infračerveného záření (MIR, 1300 – 3000 nm) (Zemek a kol., 2014).



Obr.1.: Elektromagnetické spektrum (Zemek a kol., 2014, převzato)

Částí družice, která snímala odražené sluneční záření od zemského povrchu u prvních tří evolucí družice systému Landsat byl multispektrální skener MSS (Multispectral scanner subsystem). Toto zařízení mělo snímací rozsah 185 x 185 km a produkovalo data o zemském povrchu s rozlišením 68 x 83 m, přičemž uplatňovalo snímání na pěti spektrálních kanálech (0,5 – 12,6 μm). Nevýhodou zůstávala nižší přesnost určení polohy.

Landsat 4, resp. 5 využíval vylepšené verze tohoto skeneru – TM (Thematic Mapper). Ten zachoval velikost snímacího rozsahu, avšak nabídl celkem sedm spektrálních kanálů, zpřesnil určení polohy a především poskytoval data s výrazně lepším rozlišením 30 m. (Campbell, 2002).

Prozatím vývojově nejpokročilejší družice Landsat 8 využívá skener OLI (Operational Land Imager), který k vlastnostem předchozích typů skenerů přidává další dvě spektrální pásma a především zásadní navýšení počtu detektorů odraženého záření napříč spektrem, což zvyšuje citlivost vůči drobným nuancím v odrazivosti zemského povrchu a tím další zpřesnění získané informace (NASA & USGS).

2.5.1. Praktické aplikace dálkového průzkumu Země

Praktické aplikace metod DPZ lze rozdělit do několika podoblastí – lesní hospodářství, zemědělství, krajinná ekologie a analýza městských či příměstských oblastí. Dálkový průzkum Země je v případě ploch lesa zaměřen na časoprostorovou analýzu změn jejich rozlohy, popřípadě na disturbance v těchto plochách (Potapov et al., 2012; Kim et al., 2014; Hermosilla et al., 2015; Tran et al., 2015). Využitím satelitních dat lze taktéž monitorovat zdravotní stav dřevin (Ramoelo et al., 2014) či vytvořit odhad množství nadzemní biomasy (Zhu and Liu, 2014). V oblasti produkce potravin se jedná o aplikace DPZ za účelem odlišení jednotlivých typů plodin (Zheng et al., 2014), určení stupně jejich zralosti a tím vhodnosti pro sklizeň (Vieira et al., 2012) či sledování kvality půd (Poenaru et al., 2015). Krajinná ekologie sleduje za pomoci metod DPZ dlouhodobou dynamiku změn v krajině (Sexton et al., 2012; Vogelmann et al., 2012), snaží se o odlišení těch ploch v krajině, které vykazují velice podobnou spektrální charakteristiku (Müller, 2014), resp. prostorovou a časovou heterogenitu rozložení plodin na zemědělské půdě (Ding et al., 2014). Snímky z družice Landsat jsou využitelné taktéž pro sledování rozvoje městských a příměstských oblastí (Peijun et al., 2010; Schneider, 2012) či vývoj krajinného pokryvu

v oblastech, kde je jedním z hlavních činitelů změny intenzivní turistický ruch (Kolios and Stylios, 2013; Mei et al., 2015)

Metody dálkového průzkumu Země jsou taktéž velmi hojně využívány pro monitoring a zhodnocení změn krajinného pokryvu v oblastech zasažených povrchovou těžbou nerostných surovin. Nástroje DPZ se ukazují v tomto oboru lidské činnosti jako velice efektivní, hlavně z důvodu úspory nákladů, které by jinak musely být vynaloženy na pořízení pozemních dat. Další nespornou výhodou periodické snímkování zájmové lokality a dostupnost dat z let minulých. A právě dostupnost historických dat je tím, co napomáhá odhalit jisté vývojové trendy v daném území a částečně i predikovat vývoj do budoucna.

V převážné většině se jedná o využití dat z některé z družic system Landsat ke zmapování časoprostorových změn v krajině během sledovaného období. K analýze dat z DPZ bývají hojně využívány nejrůznější spektrální indexy, jenž sumarizují informace o pokryvu daného zemského povrchu do číselných údajů o známém rozmezí. Výstupem následně bývají procentuální změny rozlohy dané kategorie krajinného pokryvu (oblast současné těžby surovin, les, městská zástavba apod.) během zkoumaného období. Mezi nejpočetnější práce tohoto typu patří ty z oblastí intenzivní povrchové těžby uhlí. (Latifovic et al., 2005; Erener, 2011; Khan and Javed, 2012; Li et al., 2014, Liu et al., 2016). Změny krajinného pokryvu jsou však předmětem výzkumu i v případě těžby např. železné rudy (Sonter et al., 2014), mědi (Jade and Sunita, 2015) či kaolínu (Raval and Shamsoddini, 2014). Výzkum v těchto antropogenně ovlivněných oblastech se nicméně neomezuje jen na odhalování časoprostorových změn jednotlivých typů krajinného pokryvu, ale snaží se těžební činnost a její důsledky pojmout jako možnou příčinu obecnějších změn v krajině (Townsend et al., 2008; Antwi et al., 2008; Li et al., 2015)

2.6. Hodnocení krajinného pokryvu pomocí spektrálních indexů

V případě potřeby zviditelnit určitou část krajinného pokryvu ve studovaném snímku (např. vegetace) lze s uvážením spektrálního chování jednotlivých typů povrchů využít tzv. spektrálních indexů. Podstata těchto indexů spočívá ve využití rozdílu odrazivosti vegetačního krytu v blízké infračervené oblasti spektra, resp. v oblasti viditelného světla. Tento rozdíl odrazivosti ve dvou (i více) pásmech multispektrálního obrazu je poté začleněn do matematických operací a výsledkem je číselná hodnota daného indexu (Dobrovolný, 1998).

2.6.1. Normalizovaný diferenční vegetační index

Tento vegetační index patří k nejstarším, nejznámějším a zároveň nejpoužívanějším způsobům, jak kvantitativně ohodnotit data získaná metodami dálkového průzkumu z hlediska přítomnosti a typu vegetačního krytu (Erener, 2011). Vzorec pro výpočet tohoto indexu je následující:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED})$$

kde ρ_{NIR} je míra odrazivosti povrchu v blízké infračervené oblasti spektra a ρ_{RED} je míra odrazivosti povrchu v červené části světelného spektra (Shank, 2008; Willis, 2015; Karan et al., 2016). Výsledek výpočtu může nabývat hodnot od -1,0 do 1,0; přičemž je bezrozměrnou veličinou. Záporné hodnoty bývají generovány oblaky či vodními plochami. Povrchy jako písek, skály, sněhová pokrývka či holá půda vykazují velmi nízké hodnoty (0,1 a méně). Křoviny, trávníky a jiné formy řídké vegetace mají hodnotu NDVI od 0,2 do 0,3 - 0,5. Maximální hodnoty NDVI (od 0,6 do 0,8 – 0,9) znamenají výskyt hustého vegetačního krytu, který reprezentují lesy, ať již mírného či tropického podnebného pásma. V neposlední řadě do této kategorie patří taktéž plodiny v jejich vrcholové fázi růstu (United States Geological Survey^b; Esri).

Pozn. Ve zdrojových datech nabývá index NDVI hodnot od -10 000 do + 10 000 a v zájmu snazšího vyhodnocení tento rozsah již dále nebyl měněn (Product guide).

2.6.2. Korigovaný vegetační index

Vegetační index s korekčním faktorem pro oblasti s neúplným vegetačním krytem zvaný SAVI (Soil-adjusted vegetation index) byl vytvořen právě pro minimalizaci vlivu obnažené půdy při inspekci zemského povrchu pomocí metod DPZ (Huete, 1988, Schultz et al., 2016). Index je počítán následujícím způsobem :

$$SAVI = ((\rho_{NIR} - \rho_{RED}) / (\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L)) * (1 + L)$$

Ze vzorce je patrné, že jedinou změnou oproti výpočtu NDVI je začlenění korekčního faktoru L. Pro velmi nízkou hustotu vegetace v zájmové lokalitě je tomuto faktoru přiřazována hodnota 1, zatímco v opačném případě se $L = 0$ (poté jsou hodnoty obou indexů identické). Pokud je míra pokryvnosti vegetací v zájmové lokalitě neznámá, použije se pro korekční faktor hodnota 0,5 (European Commission^c).

Pozn. Ve zdrojových datech nabývá index SAVI hodnot od -10 000 do + 10 000 a v zájmu snazšího vyhodnocení tento rozsah již dále nebyl měněn (Product guide).

2.7. Těžba nerostných surovin v globálním kontextu

Úvodem je žádoucí těžbu hnědého uhlí v Sokolovské pánvi zasadit do kontextu celosvětové těžby nerostných surovin (nejčastěji těžené NS, největší těžitelé NS apod.) První pozici v této oblasti zaujímá Čína, která je světovým lídrem v objemech těžby u více než třiceti druhů NS. Následují Spojené státy americké, Jižní Afrika, Rusko, Chile, Austrálie, Kanada a Turecko. (Brown et al., 2014). Česká republika z pohledu světové těžby nerostných surovin překročila v roce 2013 podíl jednoho procenta pouze v případě kaolínu (8,40%), hnědého uhlí (4,83%), bentonitu (2,19%) a živců (1,79%) (Rojík, 2015).

Celosvětovou produkci uhlí vede taktéž Čína, kde roční produkce za rok 2014 přesáhla 3700 milionů tun. Na druhém místě jsou Spojené státy americké, následovány Indií, Austrálií a Indonésií, která vytěží za rok zhruba osminu čínské produkce (World coal association).

V případě Evropské Unie, jejíž je Česká republika od roku 2004 členem, disponuje zásobami hnědého uhlí 17 členských států, z nichž devět jej přímo těží. Největším producentem této nerostné suroviny je Německo (169 milionů tun), následováno Polskem, Českou republikou, Rumunskem, Bulharskem, Maďarskem, Slovinskem a Slovenskem (2,4 milionů tun), přičemž se uvedené údaje vztahují k roku 2011 (European Commission^b, 2012).

Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR uvádí, že za rok 2015 bylo vytěženo 38 milionů tun hnědého uhlí (Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky^a, 2015). Tato hodnota je výsledkem mírně klesající tendence, kterou pozorujeme od roku 2011, kdy bylo vytěženo téměř 47 milionů tun (Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky^b, 2015).

2.8. Sokolovský hnědouhelný revír – báňský fenomén

Produkce HU v zájmové oblasti Sokolovského hnědouhelného revíru se na současném celorepublikovém objemu těžby HU podílí asi z jedné šestiny (Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky^b, 2015). Uhlí je zde v současné době dobýváno pouze z jediné sloje Antonín, která je vývojově nejmladší a také nejméně prouhelněnou slojí SP. Těžba ve zbylých dvou zásobárnách hnědého uhlí v tomto regionu – slojích Antonín a Anežka byla zastavena v roce 1993, resp. 1990. Těžební činnost zde zajišťuje Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s. a to výhradně povrchoвым způsobem. Těžená sloj disponuje průměrnou mocností 35 m a samotná těžba je situována do lomu Jiří v centrální části SP, kde hodnota vytěžitelných zásob hnědého uhlí činí více než 75 milionů tun. Příčinou podstatného rozdílu mezi bilančními a vytěžitelnými zásobami HU v lomu Jiří je nutnost ochrany karlovarského lázeňského komplexu a tudíž reálný plán těžby musí vycházet pouze z vytěžitelných zásob (Rojík, 2015). Další údaje o zásobách hnědého uhlí v SP ukazuje Tab. 1.

Tab. 1.: Souhrn údajů o zásobách hnědého uhlí v Sokolovské pánvi, platný k 1. 1. 2015 (v tisících t) (Rojík, 2015)

Název ložiska	Geologické zásoby	Bilanční zásoby	Vytěžitelné zásoby
Alberov – Lom Jiří	264 376	143 606	75 115
Nové Sedlo - Družba	69 842	33 360	27 691
Královské Poříčí - Marie	97 296	29 225	27 913
Svatava - Medard	157 359	0	0
Lomnice u Sokolova	6 302	622	590
Sokolov - pilíř	12 524	0	0
Dolní Rychnov - Antonín	0	0	0
Habartov	51 372	0	0
Bukovany u Sokolova	7 752	0	0
Tisová u Sokolova	14 792	0	0
Celkem	681 615	206 813	131 309

Lom (velkolom) Jiří je v současnosti nejvýznamnější těžební lokalitou SP, přičemž se jeho vznik datuje do roku 1960, kdy vznikl přeměnou lomu Jednota, ve kterém bylo také dobýváno hnědé uhlí ze sloje Antonín. Energetická surovina se zde těží ve třech dobývacích prostorech: Alberov, Královské Poříčí – Marie a Lomnice u Sokolova. Zahloubení lomu činí 130 – 200 m a porubní fronta postupuje směrem na západ rychlostí 90 až 120 m/rok (Pešek a kol., 2010). Nejnovější odhady hovoří o konci těžební činnosti na Sokolovsku okolo roku 2040. V této souvislosti je třeba dodat, že územní ekologické limity těžby uhlí se Sokolovské pánve nijak nedotýkají (Rojík, 2015). V případě těžby samotné je zde uplatněno pět kolesových rypadel, dálková pásová doprava též pomocná technika pro odtěžení a deponování skrývky do vnitřní výsypky lomu Jiří (Pešek a kol., 2010). Charakter ukládané skrývky je tvořen převážně jílovcí cyprisového souvrství. Jedná se o třetihorní jezerní sediment s velkým obsahem uhlíku, tvořený žlutavé až hnědošedé tence listovitě rozpadavými jíly (Pohlreich, 2017).

Těžební činnosti v **lomu Družba** započala již roku 1897 a v současné době je druhou těžební lokalitou Sokolovské uhelné, právní nástupce, a.s. I v tomto případě se dobývá sloj Antonín a to o mocnosti 27 m v jediném dobývacím prostoru Nové Sedlo. Dobývání HU postupuje od obce Nové Sedlo západním směrem k obci Královské Poříčí rychlostí cca 130 m/rok a k těžbě je využito tří kolesových rypadel. Charakter a systém ukládání skrývky je obdobný jako v případě lomu Jiří (Pešek a kol., 2010). Dle *Rojíka, 2015* budou stávající vytěžitelné zásoby HU na Sokolovsku vyčerpány kolem roku 2040 a to po 250 letech dobývání uhlí v tomto regionu.

Těžená sloj Antonín poskytuje hnědé uhlí s relativně nízkými hodnotami obsahu vody a popela, resp. síry v sušině. Výhřevnost tohoto uhlí je naopak ve srovnání s ložisky dobývanými v minulosti poměrně vysoká (Rojík, 2015).

Vytěžené uhlí ze Sokolovského revíru je zpracováváno ve dvou technologických komplexech – Tisová a Vřesová, které od založení velkolomů v 50. letech 20. století fungují dodnes. Technologický komplex v Tisové se skládá z třídírny, kde je drceno a tříděno uhlí pro účely výroby elektrické energie v elektrárně Tisová (instalovaný výkon 525 MW, provozovatel ČEZ a.s.), pro malospotřebitele a export. Technologický komplex ve Vřesové zahrnuje úpravnu uhlí, briketárnu, paroplynovou elektrárnu (instalovaný výkon 400 MW, provozovatel Sokolovská uhelná a.s.) a teplárnu o instalovaném elektrickém výkonu 220 MW (Pešek a kol., 2010).

Uhlí je v Sokolovské pánvi hlavní, avšak rozhodně ne jedinou nerostnou surovinou, která se těžila či těží. Mají zde zastoupení cihlářské a keramzitické jíly, šterkopísky, břidlice a též ložiska kaolinu (Dimitrovský, 2001). Nedaleko SP se nachází taktéž perspektivní zdroje lithia, india, resp. platiny v kombinaci s rudami cínu, zinku a mědi, což by v kontextu prudce se zvyšující poptávky po těchto surovinách mohlo potenciálně znamenat započetí těžby v těchto lokalitách a s tím spojené změny krajinného pokryvu (Rojík, 2015).

2.9. Charakteristika Sokolovské hnědouhelné pánve

Území, jenž je zájmovou oblastí pro analýzu změn krajinného pokryvu, se nachází v západní části ČR a z hlediska administrativního členění spadá do Karlovarského kraje. Jedná se o Sokolovskou pánev (SP), terestrickou třetihorní pánev s vrásově zlomovou stavbou (Pešek a kol., 2010). Patří ke krušnohorskému bloku Českého masivu a nachází se v jihozápadní části podkrušnohorské příkopové propadliny (Dimitrovský, 2001). Spolu s Mosteckou a Chebskou pánví patří do tzv. Podkrušnohorského uhelného pásma. Poloha Sokolovské pánve je na severu omezena obcemi Vřesová a Nová Role, západní okraj tvoří obce Lítov a Chlum Sv. Maří a Karlovy Vary jsou krajskou metropolí, ležící v nejuvýchodnější části SP.

Její rozloha činí 200km², přičemž se klíčová nerostná surovina celé oblasti – hnědé uhlí nachází v trojici slojí: Antonín (mocnost 27-32 m), Josef (5-15 m) a Anežka (4-8 m) a tvoří tak hnědouhelné souvrství. Nad nimi se nachází souvrství nadložních terciérních a kvartérních sedimentů, jejichž kvalita je významným faktorem v následné rekultivační praxi, při které bývají právě tyto sedimenty využity. V Sokolovské pánvi je nadloží tvořeno převážně cyprisovými jíly.

Z geomorfologického hlediska se jedná o pahorkatinu, jejíž reliéf je výrazně ovlivněn povrchovou těžbou, která má za následek vznik novotvarů výsypek a taktéž jsou s ní spojeny erozní pochody (svahové sesuvy aj.).

Pedologická charakteristika zájmové oblasti hovoří o převládajících hnědých oglejených půdách a kyselých hnědozemích s tendencemi k oglejovacímu procesu z důvodu vyššího množství srážek, které vedou ke zvýšenému vyplachování živin z půdního profilu (Štýs a kol., 2014). Byl zjištěn i výskyt sprašových půd, avšak pouze ojediněle (Dimitrovský, 2001).

Klimatické poměry v oblasti Sokolovské pánve se vyznačují průměrnými ročními teplotami vzduchu v rozmezí 5-7 °C a průměrný roční úhrn srážek se pohybuje mezi 600 a 700 mm. Převládající proudění větru má západní směr.

Hydrologická situace regionu je primárně ovlivňována srážkovou činností z blízkých Krušných hor a v menší míře i z dalších orografických celků (Doupovské hory, České středohoří aj.) Území SP je odvodňováno řekou Ohří, jež je levostranným přítokem Labe (Štýs a kol., 2014). V případě podzemních vod byly původní přírodní poměry výrazně změněny těžební činností. Přírodní charakter sedimentární výplně SP predikuje pomalé proudění podzemních vod. Až objevem termálních vod v hlubinných dolech na konci 19. století a vznikem umělých zón drenáže těchto vod, resp. jejich následným čerpáním za účelem zajištění bezpečné těžby došlo ke značnému zrychlení proudění podzemních vod, přičemž tento stav trvá dodnes (Pešek a kol., 2010). Odvodňování dobývacích prostor, přemísťování vodotečí a výstavba, resp. likvidace retenčních nádrží je běžnou a nezbytnou praxí (Štýs a kol., 2014). Kvůli již zmiňovanému vysokému stupni narušení přírodních poměrů těžbou nejsou podzemní vody ve většině SP využitelné, výjimku tvoří světoznámé vývěry minerálních vod u Karlových Varů (Pešek a kol., 2010).

Sokolovská pánev z pohledu fyto geografie je řazena do oblasti Mezofytika, přesněji do fyto geografického okresu Horní Poohří. Flóru SP lze charakterizovat jako poměrně jednotvárnou s převahou rostlin oblasti opadavého listnatého lesa mírného pásma. V případě lesního porostů se v zájmovém území jedná převážně o doubravy – ať již acidofilní, březové, habrové či jiné. Pročež se jedná o krajinu antropogenní, která podléhá zásadním změnám z důvodu těžby nerostných surovin či na ni vázaných aktivit, je taktéž důležité zmínit potenciál přirozené vegetace této oblasti (Dimitrovský, 2001). Pročež je významným informačním vstupem v procesu plánování rekultivací zasažených prostor (Štýs a kol., 2014).

Dle *Dimitrovského, 2001* se Sokolovská pánev dělí na dva celky a to již zmíněné acidofilní doubravy, resp. luhy a olšiny. V případě prvního celku je stromové patro tvořeno dubem zimním, případně i dubem letním. Dominanci dubů v oblasti narušuje výskyt břízy bradavičnaté, jeřábu obecného či osiky. Celek luhů a olšin bývá spjat s úzkými náplavami vodních toků. Zde se ve stromovém patře vyskytuje převážně olše lepkavá, resp. šedá a jasan ztepilý (Dimitrovský, 2001).

2.9.1. Velká podkrušnohorská výsypka jako zájmová lokalita

Praktická část diplomové práce vychází z dat DPZ, pořízených v oblasti Velké Podkrušnohorské výsypky, která je jednou z největších v České republice a nachází se v její východní části, poblíž města Sokolov (Brom et al., 2011). Výsypka je 8,5 km dlouhá a 2 - 2,5 km

široká a svojí rozlohou zaujímá prostor o velikosti 1957,06 ha. Nejspodnější část výsypky leží v nadmořské výšce 455 m. n. m. a nejvyšší část výsypky leží v nadmořské výšce 600 m. n. m. (Lisner a Ráž, 2017).

Výsypka vznikla v 60. letech 20. století (Frouz et al.^a, 2015) sloučením několika menších výsypkových útvarů a tím vznikla oblast, kam byla ukládána skrývka z hnědouhelného lomu Jiří. Na výsypku bylo do roku 2002 umístěno přibližně 883 000 000 m³ zeminy (Brom et al., 2011) a dominují zásadité terciární jíly a tufity. Průměrná roční teplota v této oblasti je 6,5 °C, nejteplejším měsícem červenec s průměrnou teplotou 15 °C a naopak nejstudenější je leden s průměrnou teplotou -4 °C. Průměrné roční srážky zde dosahují 650 mm (Tesnerová et al., 2016).

Půdy výsypkových ploch skýtají řadu nedostatků, ať už absenci přirozené struktury, extrémní zrnitost a pH nebo dokonce fytotoxické vlastnosti, způsobené mj. vysokým obsahem, resp. mobilitou kovů v těchto typech půd. (Tesnerová et al., 2016).

Mladší plochy ponechané spontánní sukcesi hostí druhy typické pro iniciální stádium primární sukcese a to především trávy – podběl lékařský (*Tussilago farfara*), ječmen hřívnatý (*Hordeum jubatum*), lipnice smáčknutá (*Poa compressa*) či smetánka lékařská (*Taraxacum ruderalia*). Plochy procházející sukcesí již delší čas jsou pokryty především porosty vrby jívy (*Salix caprea*), břízy bělokoré (*Betula pendula*) a topolu osika (*Populus tremula*), nicméně lze zde nalézt i kostřavu červenou (*Festuca rubra*) či jitrocel (*Plantago spp.*) (Roubíčková a Frouz, 2014). Na některých stanovištích je ovšem sukcese zpomalena nárůstem výrazně expanzivní třtiny křovištní (*Calamagrostis epigejos*), která potlačuje výskyt ostatních druhů (Dimitrovský, 2001; Mudrák et al., 2016).

Pro lesnické rekultivace v Sokolovské pánvi je využívána celá řada listnatých i jehličnatých dřevin – javor klen, jasan ztepilý, habr obecný, borovice lesní, douglaska tisolistá, modřín opadavý či smrk pichlavý atd. (Štýs et al., 2014; Pohlreich, 2017).

2.9.1.1. Velká podkrušnohorská výsypka – literární přehled

Zájmová lokalita Velké Podkrušnohorské výsypky ležící v Sokolovském hnědouhelném revíru je oblastí, které je věnován mimořádný zájem odborné veřejnosti a je podrobována četným výzkumným aktivitám. Metody DPZ byly využity ke studiu souvislosti vegetačního krytu a

teploty povrchu výsypky, resp. k odhalení prostorové distribuce různých typů půd za účelem predikce jejich fytotoxicity (Brom et al., 2011; Tesnerová et al., 2016; Bujalský et al., 2017).

Oblast Velké Podkrušnohorské výsypky byla zčásti technicky rekultivována, avšak část její rozlohy byla ponechána spontánní sukcesi, přičemž tyto rozdílné přístupy byly taktéž z mnoha hledisek analyzovány (Mudrák et al., 2010; Frouz et al.^a, 2015; Frouz et al.^b, 2015), včetně výzkumu spontánních sukcesních pochodů na nerekulitovaných plochách (Frouz et al., 2007; Mudrák et al., 2016; Frouz et al., 2016). Neopomenutelným výzkumným okruhem jsou výsypkové půdy, jež byly podrobeny analýze jejich stavu z hlediska fytotoxicity (Tesnerová et al., 2016), postupného oživení (Frouz et al., 2000; Šourková et al., 2004), mikrobiální a enzymatické aktivity (Frouz a Nováková, 2005; Baldrian et al., 2008; Helingerová et al., 2010) či působení žízá jako významných činitelů zlepšujících vlastnosti těchto půd (Mudrák et al., 2012; Roubíčková a Frouz, 2014).

3. MATERIÁL A METODIKA

3.1. Popis použitých dat

V rámci praktické části diplomové práce byly změny krajinného pokryvu v zájmové oblasti Sokolovského hnědouhelného revíru analyzovány pomocí satelitních snímků z družic systému Landsat, provozovaného United States Geological Survey (USGS). Satelitní snímky byly poskytnuty na základě předem podané žádosti (United States Geological Survey^d).

Jak je patrné z Tab. 2., pro analýzu bylo použito celkem 23 snímků, přičemž převážná většina dat pochází z družice Landsat 5, pročež operovala po nejdelší časový úsek (1984-2013). Menší podíl z celkového počtu snímků byl pořízen družicemi Landsat 4, 7 a 8 (United States Geological Survey^e). Družice systému Landsat snímkuje zemský povrch periodicky po celý rok, nicméně v rámci snahy o maximální kvalitu snímků za účelem dalšího zpracování byly vybrány snímky z období od druhé poloviny května do druhé poloviny září (viz. Tab.2.), kdy je největší šance získat snímky s minimem rušivých elementů, které by posléze analýzu zkreslily či znemožnily. Takovým rušivým elementem je vysoká míra oblačnosti, sněhová pokrývka či vlhkost ze srážkové činnosti (Li et al., 2015). Používaná družicová data již předem podstoupila geometrickou a radiometrickou korekci. Snímky byly analyzovány za pomoci softwaru ArcGIS, verze 10.5.

Tab.2.: Popis vstupních dat

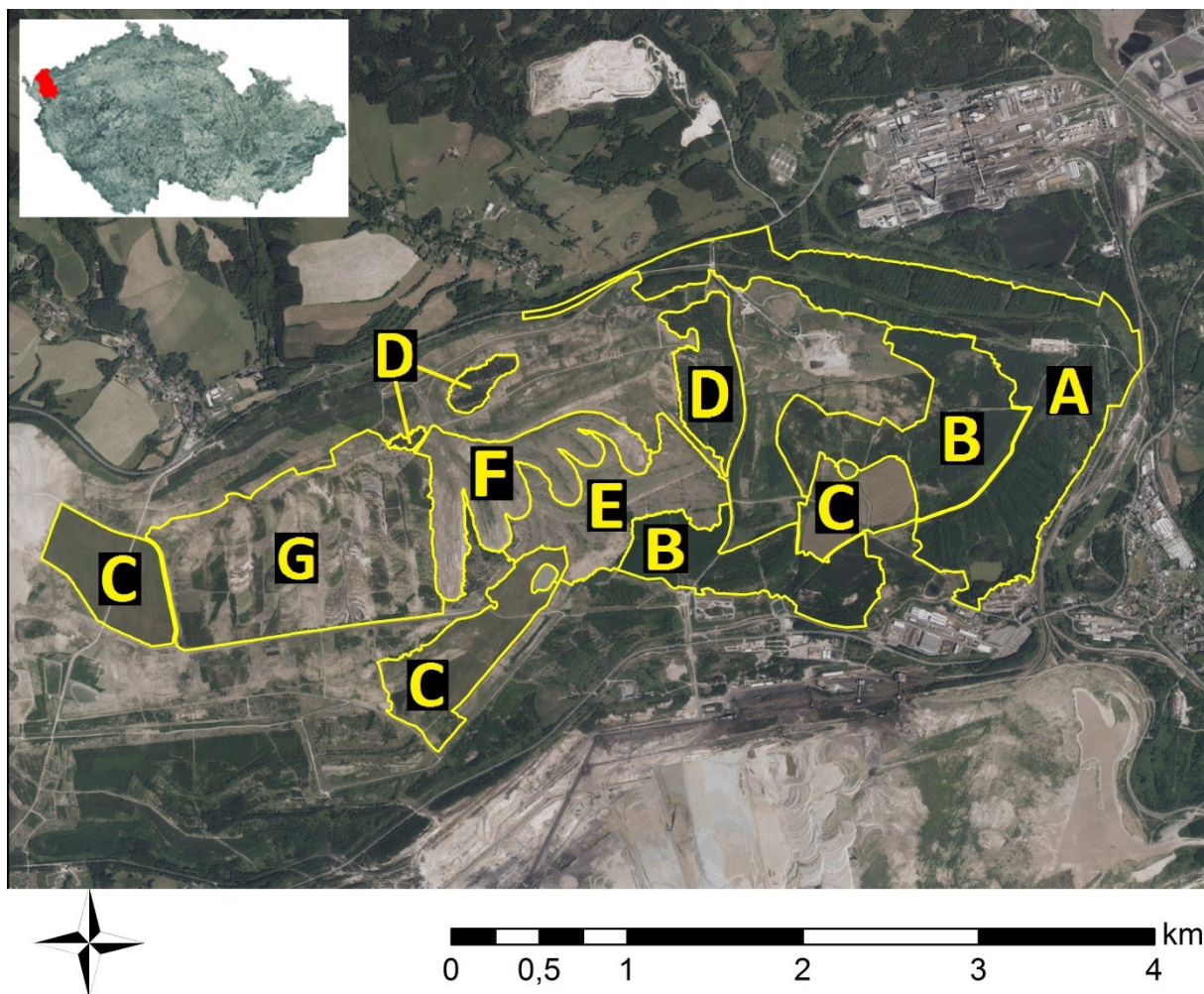
Název snímku	Zdroj snímku	Rok pořízení	Datum pořízení
LT51920251984216AAA08	Landsat 5	1984	3.8.
LT51930251985225XXX05	Landsat 5	1985	13.8.
LT51930251986212XXX09	Landsat 5	1986	31.7.
LT51920251988227KIS00	Landsat 5	1988	14.8.
LT41930251990215XXX05	Landsat 4	1990	3.8.
LT51930251989188KIS00	Landsat 5	1989	7.7.
LT41930251992221XXX02	Landsat 4	1992	8.8.
LT51920251994195AAA02	Landsat 5	1994	14.7.
LT51930251997258KIS00	Landsat 5	1997	15.9.
LT51920251998222KIS00	Landsat 5	1998	10.8.
LE71930251999256EDC00	Landsat 7	1999	13.9.
LE71930252000227EDC00	Landsat 7	2000	14.8.
LE71920252002209EDC00	Landsat 7	2002	28.7.
LT51920252004223MTI01	Landsat 5	2004	10.8.
LT51920252005209KIS00	Landsat 5	2005	28.7.
LT51920252006164KIS00	Landsat 5	2006	13.6.
LT51920252009236KIS00	Landsat 5	2009	24.8.
LT51920252010191KIS01	Landsat 5	2010	10.7.
LT51920252011146KIS00	Landsat 5	2011	26.5.
LC81920252013215LGN00	Landsat 8	2013	3.8.
LC81930252014145LGN00	Landsat 8	2014	25.5.
LC81920252015157LGN00	Landsat 8	2015	6.6.
LC81920252016256LGN00	Landsat 8	2016	12.9.

3.2. Výběr podoblastí pro analýzu změn krajinného pokryvu

Velkou podkrušnohorskou výsypku lze z hlediska jejího vývoje po ukončení fáze nasypávání nového materiálu rodělit na několik podoblastí. Jak je patrné z Obr. 2., východní část výsypky prošla lesnickou rekultivací a to před rokem 1990 (A), resp. po roce 1990 (B). Rekultivace byla uplatněna i v dalších částech výsypky, kde bylo cílem vytvořit luční ekosystém (C).

Některé partie výsypky byly naopak ponechány spontánnímu vývoji, přičemž tyto plochy lze rozdělit do tří kategorií. První kategorií jsou plochy se zachovanou původní morfologií terénu, kdy nasypáváním nového materiálu došlo ke vzniku elevací a depresí v podobě vln (D). Do druhé kategorie spadají plochy, kde došlo použitím techniky ke srovnání původních vln a to

přímo v době vzniku dané výsypkové plochy (E). Plochy patřící do třetí kategorie nejdříve disponovaly vlnami, které ovšem byly posléze zarovnané nasypáním nového materiálu do depresí (F). Poslední kategorii sukcesních ploch reprezentují ty, jejichž reliéf byl ve svém počátku zvlněný, nicméně po určité době byly tyto vlny použitím techniky zarovnané (G). Velikost a poloha jednotlivých ploch je znázorněna na Obr. 2.



Obr. 2.: Velká podkrušnohorská výsypka – zájmové polygony (Frouz, 2017)

3.3. Postup analýzy

Z databáze USGS byly vybrány vhodné snímky zájmové oblasti Velké podkrušnohorské výsypky z hlediska ročního období za účelem eliminace nežádoucích meteorologických jevů, jež by mohly následnou analýzu zkreslit (United States Geological Survey^d). Dalším krokem bylo vizuální zhodnocení všech snímků a vyřazení těch, jejichž vypovídající hodnota byla negativně

ovlivněna (zejm. oblačností). Dalším krokem bylo vytvoření vrstvy polygonů v rámci Velké podkrušnohorské výsypky (A – G). Vrstva výzkumných polygonů byla vytvořena na základě expertní znalosti Prof. Ing. Mgr. Jana Frouze, Csc., který se územím Velké podkrušnohorské výsypky ve své vědecké činnosti dlouhodobě zabývá (Frouz, 2017). Následně byla pomocí jednotlivých polygonů ořezána celá sada snímků pomocí funkce *Extract by Mask* a to za účelem zjištění hodnot vegetačních indexů NDVI a SAVI v daném polygonu pro určitý rok (ArcGIS Pro). Poté byla tato výstupní data vyexportována do prostředí softwaru Excel, kde byly taktéž vytvořeny některé grafické výstupy. Finálně byla výstupní data podrobena za pomoci softwaru R, verze 3.2.4 statistické analýze.

Prvním krokem statistické analýzy byl výpočet průměrů normalizovaného diferenčního vegetačního indexu NDVI pro daný polygon a rok, včetně 95% intervalů spolehlivosti. Záměrem je vyhodnocení interakcí trendů NDVI mezi jednotlivými plochami v čase, které ukáží, zda změny NDVI probíhaly různou rychlostí na různých polygonech. Bartlettův test homogenity rozptylu ukázal průkazný rozdíl v rozptylu NDVI mezi polygony, (Bartlett's K-squared = 1985,1; $df = 3$; p -hodnota $< 0,001$) proto není vhodné využít lineární model, který předpokládá shodný rozptyl hodnot NDVI na jednotlivých plochách.

Namísto toho byl použit model využívající metodu zobecněných nejmenších čtverců (gls - generalized least squares) zohledňující rozptyly v jednotlivých skupinách jako inverzní váhy. Dle zvolené referenční hladiny (hodnoty pro plochu D,E,F či G) byla prokazována existence vzájemné závislosti hodnot ostatních testovaných ploch na hodnotách referenční plochy. Vývojový trend v daném polygonu byl znázorněn proložením přímkou, případně paraboly, průměrnými hodnotami NDVI. Přímkou, příp. paraboly, představují trendy vypočítané použitými modely.

Následně byly posouzeny směrodatné odchylky NDVI v jednotlivých polygonech, doplněné o přímkou či parabolu, znázorňující vývojový trend v daném polygonu. Analýzou směrodatných odchylek bylo zjišťováno, zda má NDVI trend ve variabilitě dat i) pozitivní ($SD > 0$) = v čase přibývají extrémy (nízké, vysoké, nebo oba typ hodnot NDVI), ii) negativní ($SD < 0$) = v čase ubývají extrémy (NDVI je homogennější).

Rovnoměrnost rozložení hodnot (tzv. koeficient šikmosti) NDVI byla posouzena obdobně jako v případě směrodatných odchylek. Kladné hodnoty koeficientu šikmosti rozložení hodnot NDVI by značily nárůst pozitivních extrémů (= míst s velkou pokrývností vegetace), záporné hodnoty koeficientu by indikovaly nárůst negativních extrémů (= míst s malým množstvím vegetace).

V případě hodnot pro korigovaný vegetačního indexu SAVI bylo taktéž zjištěno, že metoda zobecněných nejmenších čtverců (gls) je statisticky průkazně vhodnější než lineární model. Využitím Pearsonova korelačního koeficientu byla vyšetřena korelace reziduálů modelu NDVI vs. SAVI. Rovněž byla prošetřena korelace směrodatných odchylek, resp. šikmosti pro hodnoty SAVI.

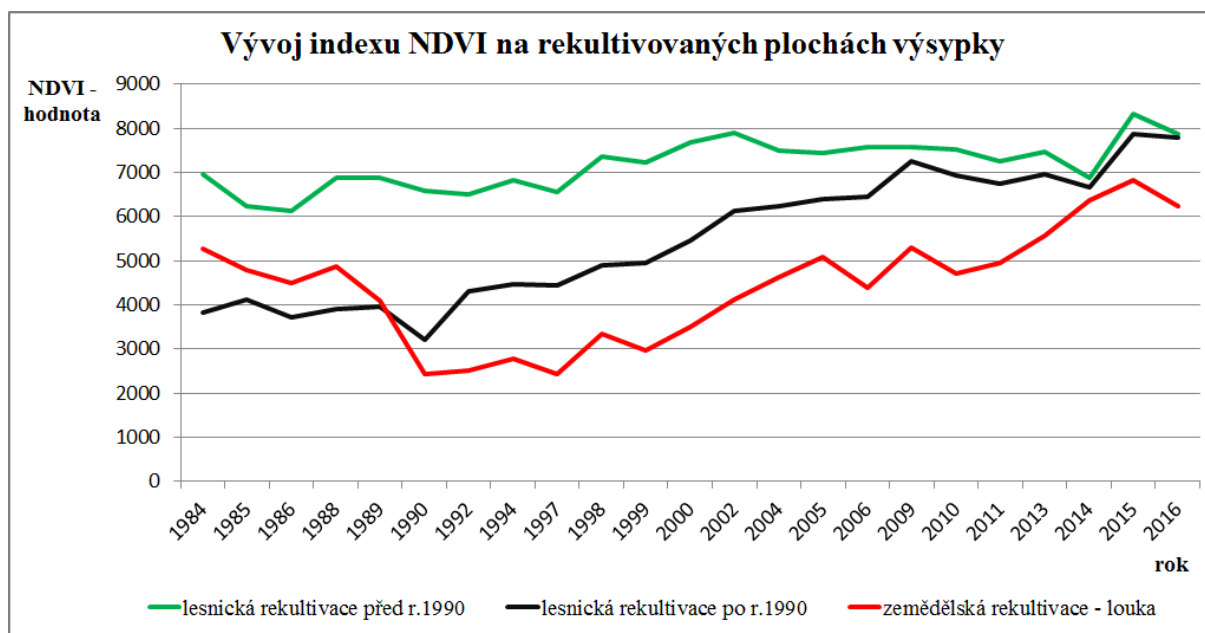
4. VÝSLEDKY

Dobývání zásob hnědého uhlí povrchového způsobem v dotčené lokalitě sokolovského hnědouhelného revíru je od svého počátku spojeno s nutností ukládat skrývkový materiál jako vedlejší produkt tohoto způsobu těžby a taktéž se potýká s nedostatkem výsypných prostorů pro ukládání tohoto skrývkového materiálu (Fraus, 2017). Od roku 1960 probíhala deponie skrývky v oblasti zhruba 3 km severovýchodně od města Sokolov na několik menších výsypkových ploch (Vintřovská výsypka, výsypka Lipnice, výsypka Pastviny, výsypka Týn a Boučí), které byly posléze sloučeny do Velké podkrušnohorské výsypky (Lisner a Ráž, 2017). Do této, původně výrazně členité lesní krajiny s proměnlivým zastoupením buku, dubu a výrazným podílem jehličnanů, zejména jedle a borovice, bylo od 60. let uloženo přibližně 886 mil. m³ nadložních zemin z okolních lomů (Fraus 2017; Lisner a Ráž, 2017). Ukončení ukládání nadložních zemin na celé ploše výsypky nastalo v roce 2003, celková rozloha výsypkového tělesa zaujímá prostor o velikosti 1957,06 ha (Lisner a Ráž, 2017). Kvůli již zmíněné napjaté bilanci výsypných prostorů je nutno dbát na maximální využití výsypných prostorů (Fraus, 2017).

První lesnická rekultivace byla zahájena na území Velké podkrušnohorské výsypky již v roce 1968 na ploše 48,7 ha (Lisner a Ráž, 2017). Je zde využíváno rekultivace nejen lesnické, ale i zemědělské a vodohospodářské. Do současnosti byla v této oblasti provedena lesnická rekultivace na ploše 1521,58 ha (tj. 78 % z celkové plochy výsypky), s odstupem následováno zemědělskou rekultivací s 194,42 ha (tj. 10 %), která byla provedena především na rovinných pozemcích s menší nadmořskou výškou ve formě trvalých travních porostů s následným předpokládaným využitím jako louka nebo pastvina. Vývoj vegetačního krytu na těchto plochách (tj. průměr hodnot indexu NDVI pro jednotlivou plochu a rok), jak ho zaznamenaly družice Landsat pomocí vegetačního indexu NDVI je vyobrazen v Grafu 2. Nejmenší plošné zastoupení mají vzniklé či rekonstruované vodní plochy a to 11,31 ha (tj. 0,58 %), jež byly tvořeny za účelem diverzifikace nové krajiny (Lisner a Ráž, 2017; Fraus, 2017). Část Velké

podkrušnohorské výsypky o rozloze 123,42 ha (tj. 6,31% z celkové plochy) je v současnosti nerektivována, avšak spadá do plánu budoucích rektivací.

Největší výsypková plocha okresu Sokolov avšak zahrnuje i plochy rektivací prosté, s plánovaným minimálním zásahem člověka do přírodního vývoje řešící zachování ploch pro výzkum sukcesních pochodů na výsypkových plochách po těžbě hnědého uhlí, která jsou pozorována a mapována. Celkově se tyto plochy rozkládají na ploše 62 ha (Lisner a Ráž, 2017). Tyto sukcesní plochy se navíc nalézají v oblastech s různým managementem zakládání výsypkového tělesa (viz. kap.3.2.), tudíž je možno sledovat, zda-li se intenzita přirozeného procesu zarůstání těchto narušených ploch v čase liší dle typu zvoleného zakládacího managementu. Vývoj vegetačního krytu na těchto plochách (tj. průměr hodnot indexu NDVI pro jednotlivou plochu a rok), zachycen prostřednictvím vegetačního indexu NDVI je vyobrazen v Grafu 3.

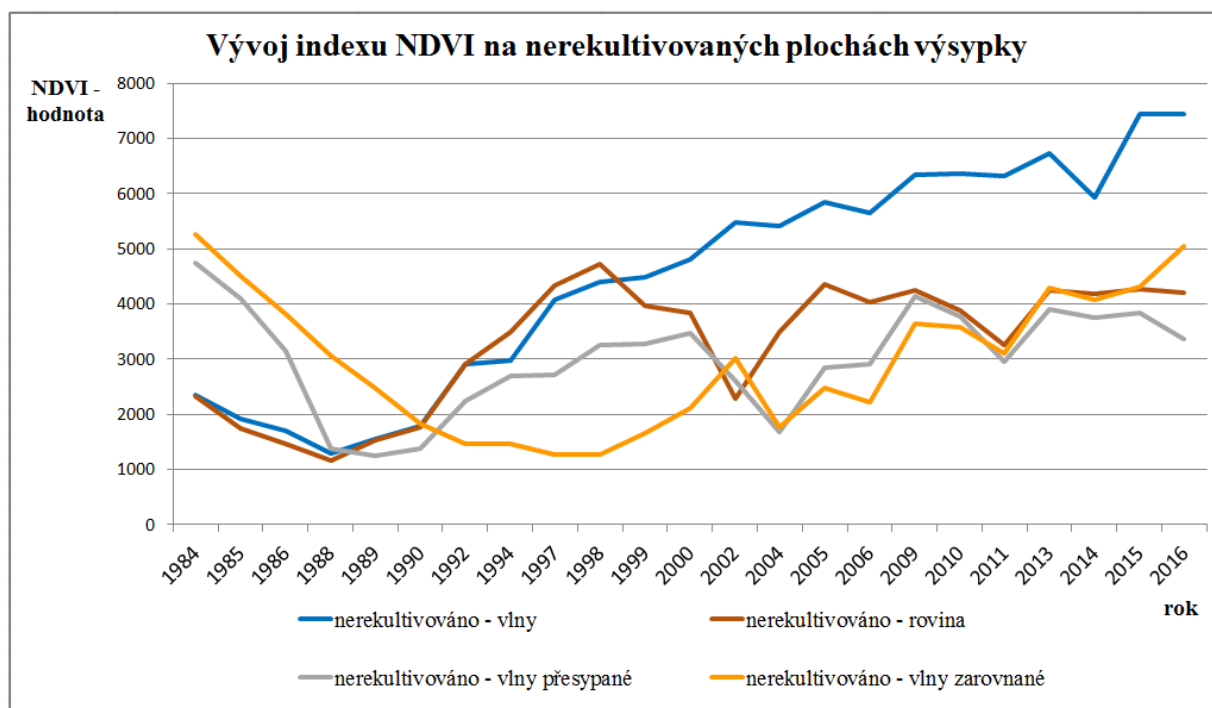


Graf 2.: Vývoj vegetačního indexu NDVI na rektivovaných plochách výsypky

Z Grafu 2. je patrné, že v případě plochy, kde byla lesnická rektivace uplatněna před r. 1990, dochází pouze k mírným a v rámci škály vegetačního indexu NDVI nijak významným fluktuacím. Jde o stabilní zapojené lesní porosty s dominantními druhy v podobě různých druhů modřínů, borovic či kolem cest se hojně vyskytující břízy bělokoré. Vyskytující se drobné fluktuace mohou mít příčinu v meteorologických jevech (srážková činnost) či ve změnách

zdravotního stavu porostu. Suchem poškozená vegetace odráží menší množství slunečního záření v blízké infračervené oblasti spektra, nicméně v oblasti viditelného světla se její odrazivost naopak zvýší, což se projeví snížením výsledné hodnoty NDVI (NASA).

Plochy podrobené lesnické rekultivaci po r. 1990 vykazují od tohoto roku stabilní nárůst hodnot indexu NDVI ukazující na přirozený vývoj od stádia semenáčků po stabilní zapojené lesní porosty. Nelze si u této kategorie nevšimnout faktu, že za zhruba 25 let po vysazení semenáčků tento porost ve svém vývoji „dohnal“ plochu, která byla zalesněna dříve. Zemědělské rekultivace, které se na ploše Velké podkrušnohorské výsypky projeví vytvořením několika ploch trvalých travních porostů (luk) ukazují mezi roky 1988 – 1990 poměrně významný pokles hodnot NDVI, z čehož je možné odvodit skutečnost, že právě v tomto období byla tato území technicky upravována (včetně zániku původní vegetace, navážky skrývky atd.) a právě až od roku 1990 lze uvažovat vývoj těchto ploch, který se vyznačuje rostoucím trendem. Je třeba zmínit, že Graf 2. má pouze ilustrativní charakter a slouží jen k rámcovému posouzení, k jakým změnám ve sledovaných rekultivovaných plochách došlo v časovém období 1984 – 2016 a případnému zasazení hodnot NDVI pro sukcesní plochy do kontextu.

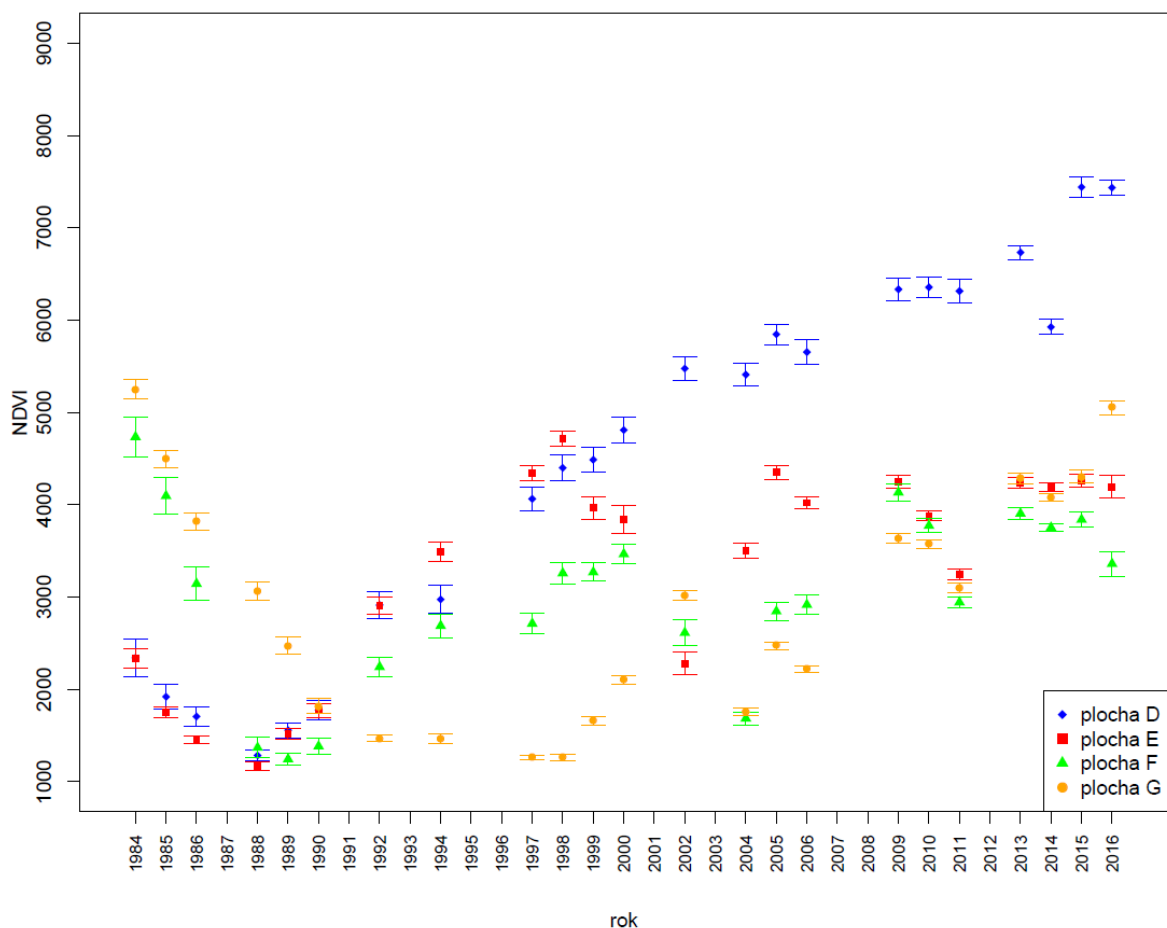


Graf 3.: Vývoj vegetačního indexu NDVI na nerektivovaných plochách výsypky

Na první pohled je z Grafu 3. zřejmý pokles hodnot indexu NDVI od počátku sledování (1984) u všech sledovaných nerektivovaných ploch, přičemž plochy označené jako „vlny přesypané“, resp. „vlny zarovnané“ vykazují rapidnější pokles z mnohem vyšších počátečních hodnot indexu NDVI. To může značit skutečnost, že na těchto plochách existoval poměrně rozvinutý vegetační kryt, který byl více či méně intenzivními technickými zásahy narušen, následkem čehož došlo k dramatickému poklesu hodnot vegetačního indexu v těchto oblastech. Po pádu NDVI až k hodnotám značícím obnaženou půdu bez vegetace je jasně patrná dominance ploch označených jako „vlny“, u nichž lze pozorovat významně vyšší intenzitu zarůstání ve sledovaném období. V případě ostatních typů nerektivovaných území nelze prozatím odhadovat jakékoliv trendy, více odhalí až statistická analýza. Bezesporně zajímavý je ovšem souběh vývoje NDVI u ploch „rovina“, „vlny přesypané“ a „vlny zarovnané“ zhruba v časovém období 2009 – 2015, přestože plochy podléhaly rozdílnému managementu a ani jejich vývoj v předchozích sledovaných letech podobnému souběhu nenasvědčoval.

4.1. Vývoj vegetačního krytu na nerektivovaných plochách dle indexu NDVI

V souladu se stanovenými hypotézami se bude následující popis výstupů z praktické části diplomové práce týkat pouze těch výzkumných ploch, které nebyly zasaženy rekultivační činností. Graf 4. ukazuje vždy průměrnou hodnotu vegetačního indexu NDVI pro daný rok (obdobně jako Graf 3.), avšak s vyznačenými 95% intervaly spolehlivosti. Z nichž je patrné, že hodnoty NDVI, získané v rámci všech analyzovaných ploch po celé zájmové období (1984-2016) nedisponují příliš velkým, avšak přesto významným rozptylem.

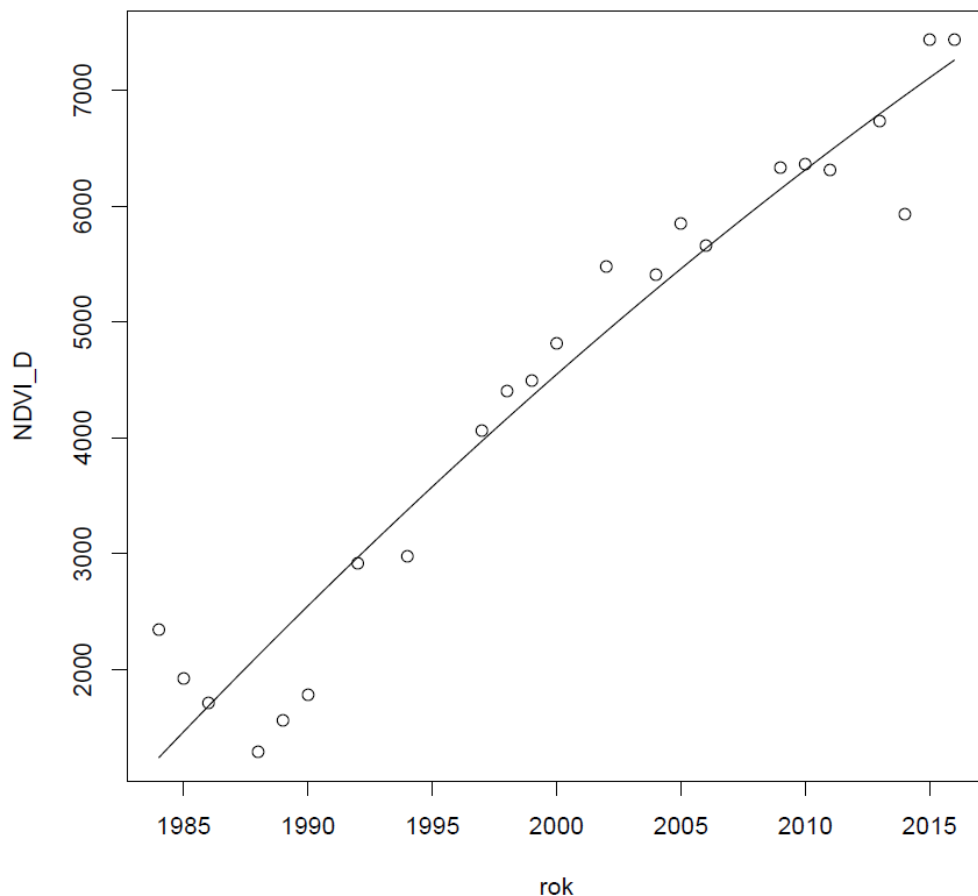


Graf 4.: Vývoj ročních průměrů indexu NDVI s 95% intervalem spolehlivosti

Následující čtveřice grafů (Graf 5. – Graf 8.) ukazuje opět vývoj průměrných hodnot vegetačního indexu NDVI v čase, ovšem s aplikací lineárního modelu s kvadratickým členem. Tento model byl zvolen, poněvadž v provedené analýze rozptylu (Analysis of variance - ANOVA) měl průkazně menší residuální sumu čtverců (Residual sum of squares - RSS) než čistě lineární model a proto je vhodnější. O vhodnosti lineárního modelu s kvadratickým členem též svědčí zjištěné p-hodnoty.

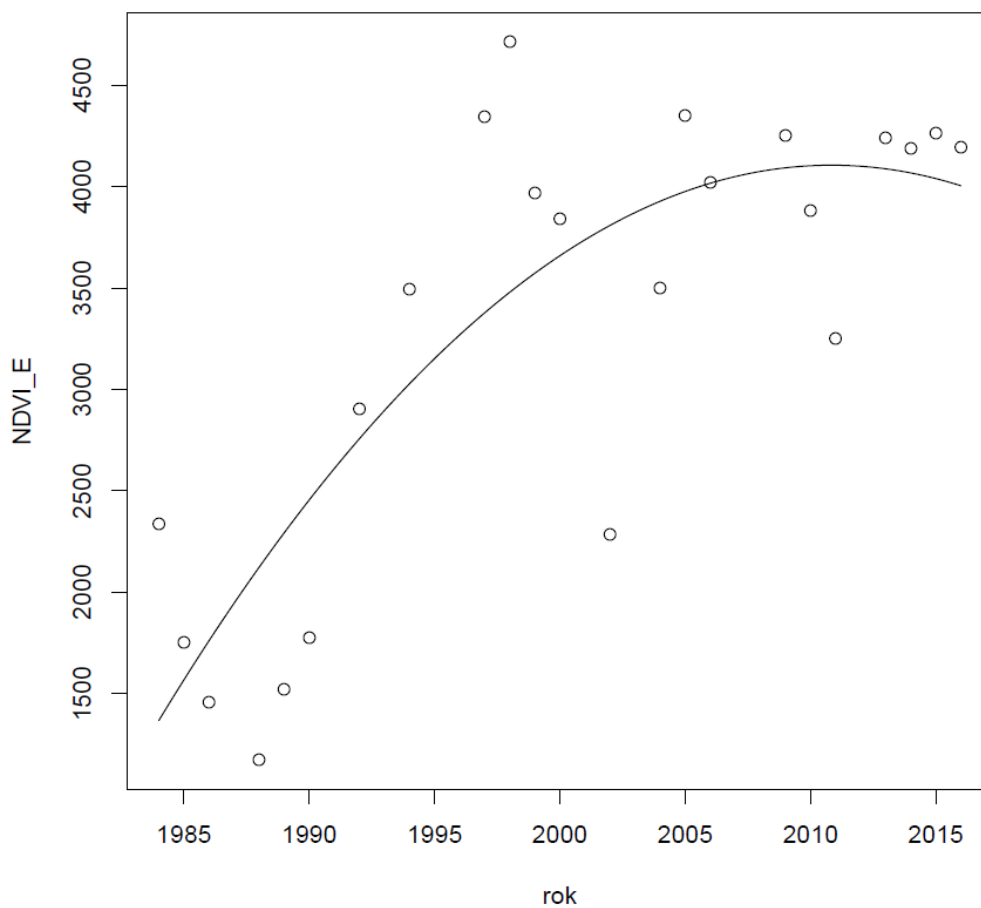
Vhodnost lineárního modelu s kvadratickým členem potvrzuje i vyšší hodnota *multiple R-squared* - koeficient determinace, který říká, jaký podíl variability se podařilo modelem vysvětlit. Zároveň tento model disponuje nižší hodnotou *residual standard error* (míra přesnosti fitu modelu – tím menší hodnota, čím blíže jsou analyzované hodnoty k těm, jež model predikoval) než v případě aplikace lineárního modelu.

Aplikovaný lineární model s kvadratickým členem značí, že vývojový trend průměrných hodnot NDVI jde v čase u všech nerektivovaných ploch po parabole – konkávní v případě ploch D a E, konvexní v případě ploch F a G.



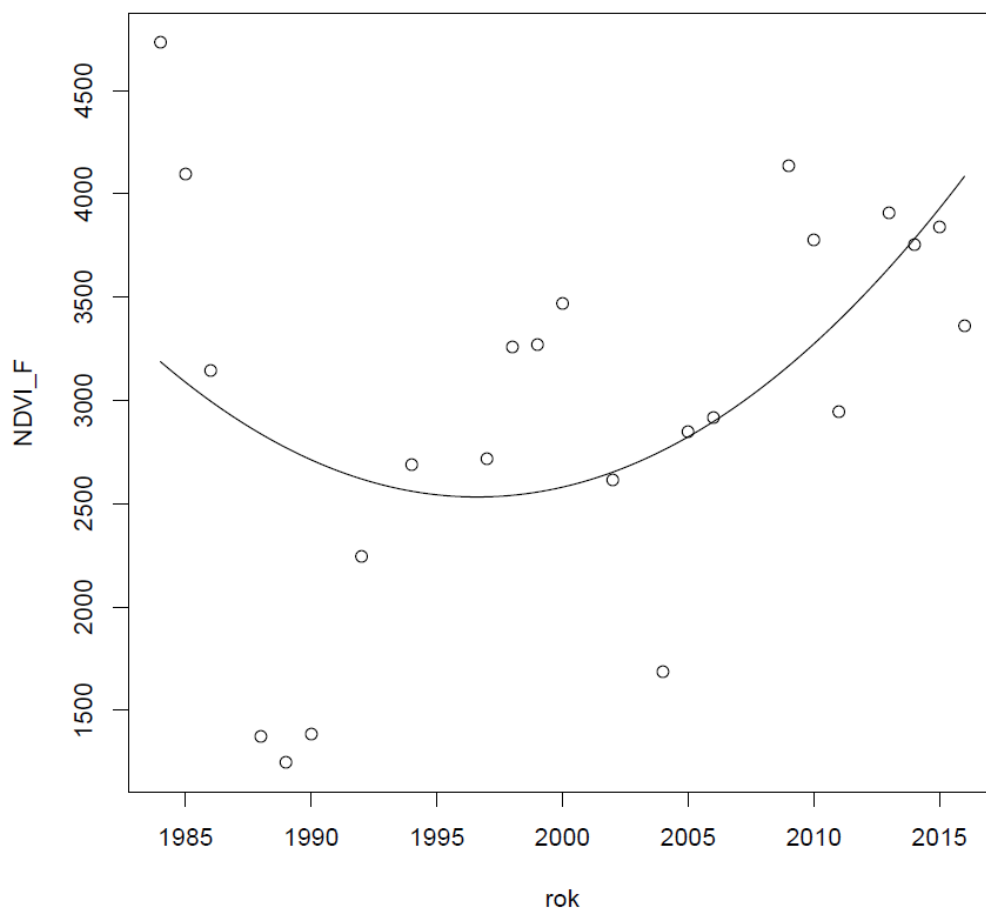
Graf 5.: Vývojový trend hodnot indexu NDVI (NDVI_D = nerekulťováno – vlny)

V případě nerekulťovaných ploch VPV, jenž byly ponechány v původních vlnách, výsledná data ukazují na víceméně lineární trend nárůstu vegetace, přestože ze statistického hlediska jsou data o něco lépe vysvětlována lineárním modelem s kvadratickým členem (*multiple R-squared* = 0,6886 vs. 0,6905; *residual standard error* = 1288 vs. 1284).



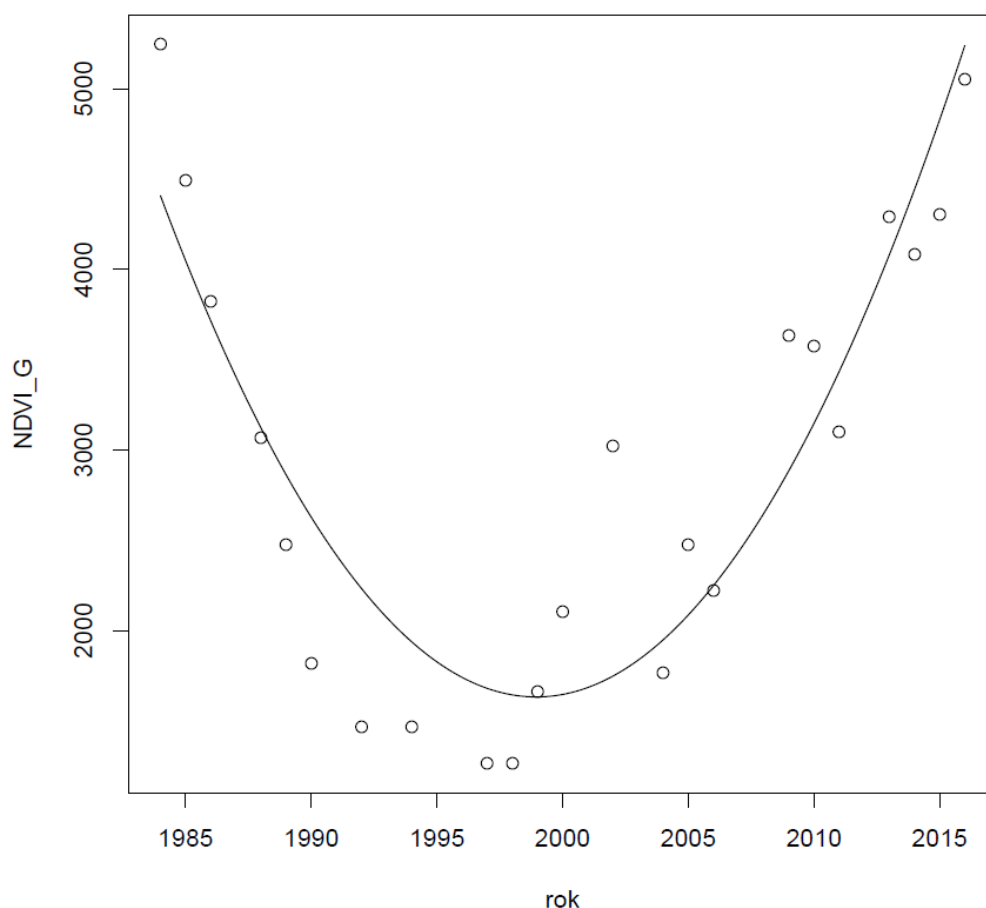
Graf 6.: Vývojový trend hodnot indexu NDVI (NDVI_E = nerekvultivováno – rovina)

Nerekvultivované plochy VPV zarovnané ve stádiu svého vzniku vykazují ve svém počátku taktéž lineární nárůst vegetačního krytu. Průměrné roční hodnoty ovšem kolem r. 2005 začínají oscilovat okolo hodnoty 4000 a celkový trend jdoucí po parabole další nárůst vegetace nenaznačuje (*multiple R-squared* = 0,2998 vs. 0,3468; *residual standard error* = 1279 vs. 1235).



Graf 7.: Vývojový trend hodnot indexu NDVI (NDVI_F = nerekultivováno – vlny přesypané)

Na vývoji ročních průměrů indexu NDVI se v oblasti nerekultivovaných přesypaných vln projevují technické zásahy, kdy pravděpodobně koncem 80. let byly původní vlny s určitým množstvím vegetace ($NDVI > 4000$) zasypány novým materiálem. Od té doby index, který nasypáním nového materiálu poklesl téměř k hodnotě 1000, s určitými výkyvy narůstá, jak ostatně naznačuje i parabolický trend (*multiple R-squared* = 0,0282 vs. 0,0723; *residual standard error* = 1688 vs. 1650).



Graf 8.: Vývojový trend hodnot indexu NDVI (NDVI_G = nerektivoáno – vlny zarovnané)

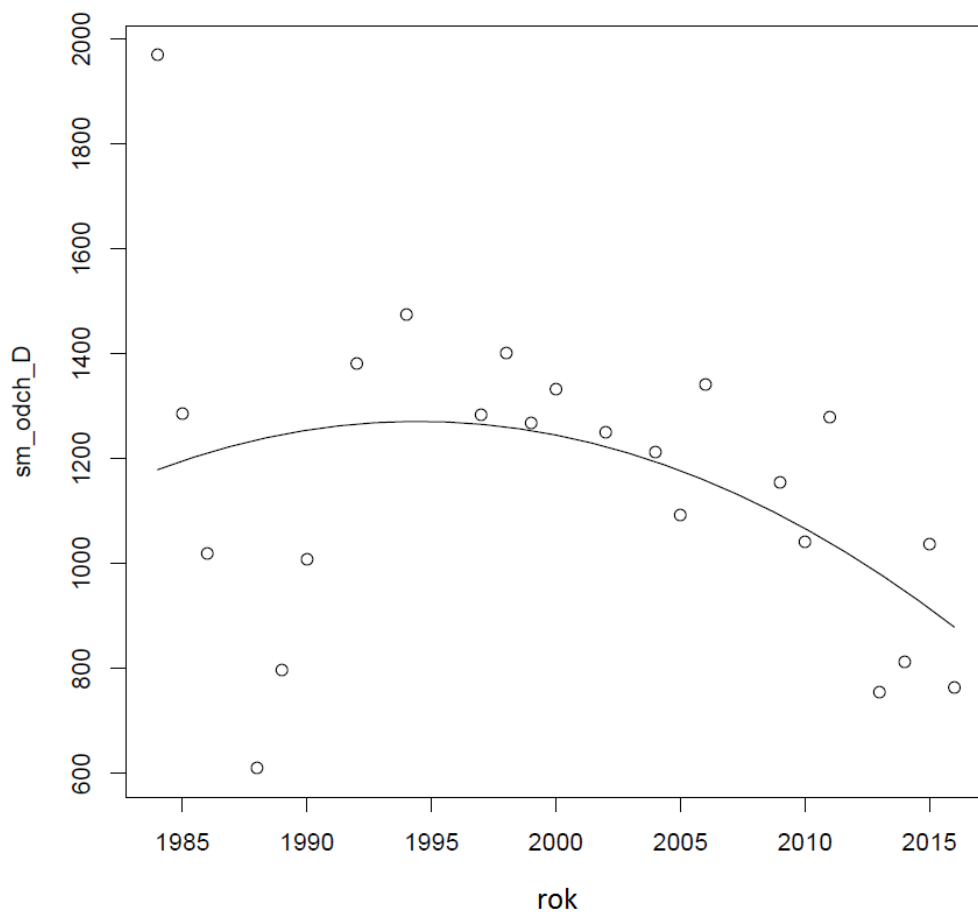
Na ploše VPV, kde se původním vlnám dostalo zarovnání se projevuje obdobný efekt jako v předchozím případě s tím rozdílem, že technické zásahy probíhaly na ploše postupně, s menší intenzitou a po delší časový úsek (*multiple R-squared* = 0,0234 vs. 0,3965; *residual standard error* = 1750 vs. 1376).

V dalším kroku byla otestována shoda rozptylů hodnot NDVI mezi jednotlivými plochami pomocí Bartlettova testu homogenity rozptylů (Bartlett's K-squared = 1985,1; df = 3; p-hodnota = $2,2 \cdot 10^{-16}$). Výsledná p-hodnota < 0,05; tudíž hodnoty indexu NDVI mají různé rozptyly mezi plochami. Pro následné testování interakcí mezi hodnotami NDVI z různých ploch byla využita zobecněná metoda nejmenších čtverců (generalized least squares – gls) zohledňující rozptyly v jednotlivých skupinách jako inverzní váhy. Tudíž, čím je rozptyl pro danou hodnotu NDVI větší, tím má daná hodnota menší váhu. Jak ukázal test ANOVA mezi lineárním modelem a zobecněnou metodou nejmenších čtverců, druhá metoda je průkazně vhodnější pro testování interakcí mezi plochami. O tom svědčí vyšší hodnota *Log-likelihood* (tzn. věrohodnost

konkrétních hodnot modelovaných parametrů), resp. nižší hodnota *AIC* (tzn. relativní míra kvality modelu - čím je v modelu méně proměnných a čím je větší vysvětlená variabilita, tím je *AIC* nižší).

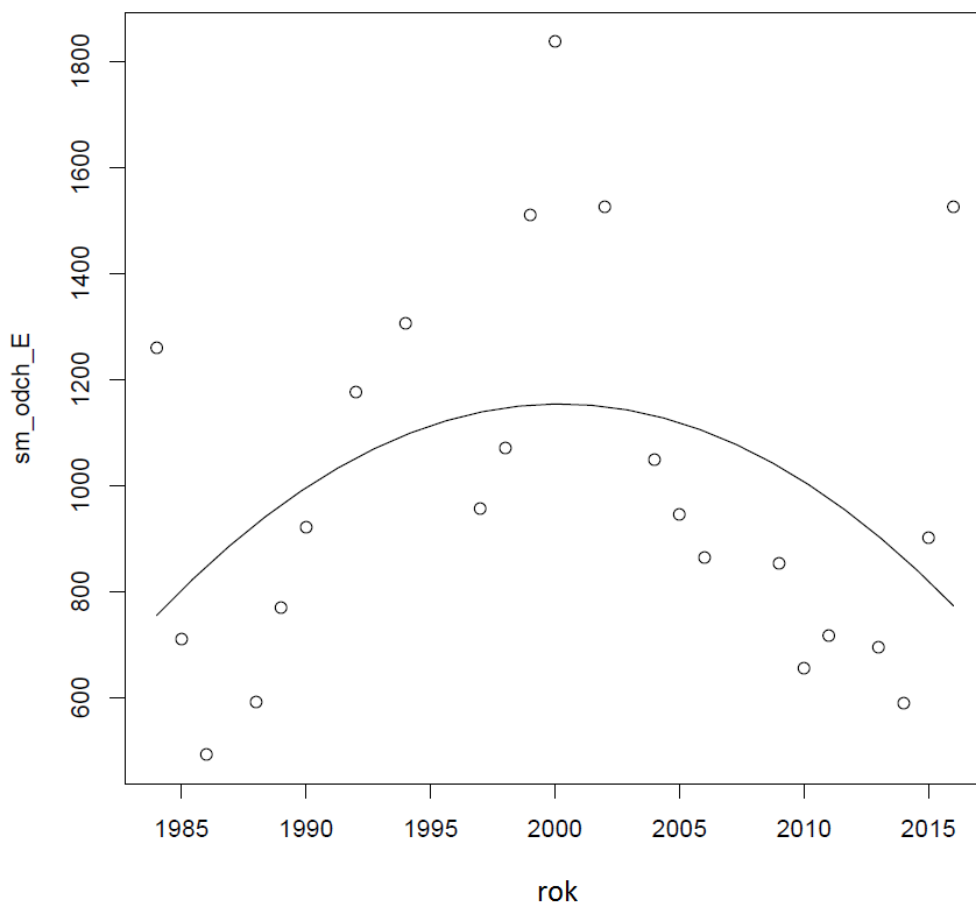
Aplikace zobecněné metody nejmenších čtverců na vyhodnocení interakcí mezi testovanými plochami ukázala, že se plochy svým vývojem v čase liší, pouze plochy F a G se sklonem přímky od sebe neliší, což potvrzuje *p*-hodnota $> 0,05$ ($p = 0,3263$). Proto pro plochy F a G nezamítáme nulovou hypotézu, jež tvrdí, že se sklony přímek testovaných ploch od sebe navzájem statisticky významně neliší (zvolená hladina testu $\alpha = 0,05$).

Následně bylo provedeno porovnání směrodatných odchylek napříč všemi nerekulitovanými plochami. Jak se směrodatné odchylky vyvíjely v čase na plochách s rozdílným managementem zobrazují Grafy 9. – 12. Nárůst směrodatné odchylky v datových souborech pro jednotlivé plochy značí nárůst hodnot s velmi nízkou nebo naopak velmi vysokou hodnotou NDVI a s tím související změny vegetačního krytu. Pokles této statistické veličiny naopak značí zvýšení míry podobnosti hodnot v daném souboru, což značí absenci ploch bez vegetace (či s velmi řídkou vegetací), resp. silně zarostlých ploch. Směrodatnými odchylkami pro jednotlivé plochy byly taktéž proloženy paraboly a to opět na základě testu ANOVA – menší hodnota RSS určuje lineární model s kvadratickým členem jako vhodnější pro všechny testované nerekulitované plochy.



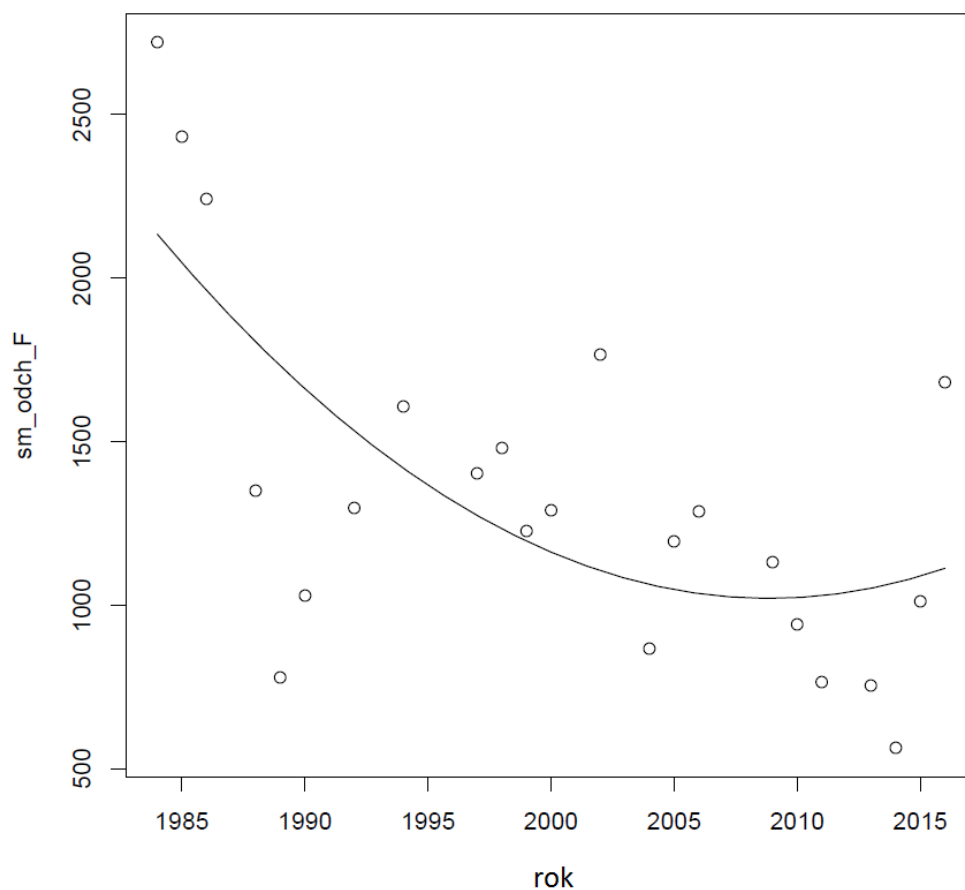
Graf 9.: Vývojový trend směrodatných odchylek indexu NDVI (D = nerekultivováno – vlny)

U této plochy směrodatné odchylky (vyjma počátečního výkyvu) vykazují setrvalý pokles, což značí směřování k rovnoměrnému pokryvu vegetací bez zjevných extrémů.



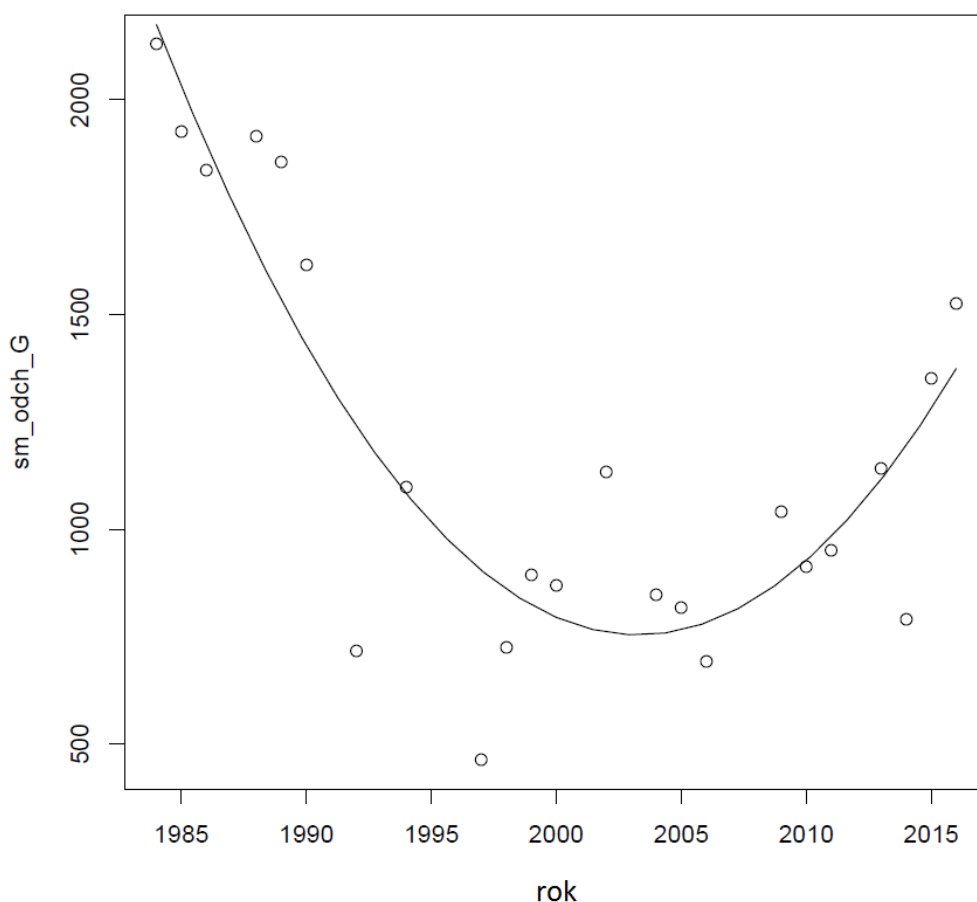
Graf 10.: Vývojový trend směrodatných odchylek indexu NDVI (E = nerekvultivováno – rovina)

Plocha VPV disponující rovinným reliéfem v případě směrodatných odchylek vykazuje poměrně pravidelné střídání poklesů a nárůstů, přičemž kolem r. 2000 byl vegetační pokryv této plochy nejvíce rozrůzněn.



Graf 11.: Vývojový trend směrodatných odchylek indexu NDVI (F = nerekulitováno – vlny přesypané)

Směrodatné odchylky v oblasti přesypaných vln indikují zásah (přesypaní původních vln) provedený koncem 80. let, kdy byly hodnoty vegetačního indexu NDVI v této lokalitě velmi nízké – značící holou půdu a též si byly naměřené hodnoty velmi podobné – původní existující vegetace byla zcela překryta novým materiálem. Následně již byla plocha rovnoměrně pokryta vegetací, o čemž vypovídá pokles hodnot směrodatných odchylek.

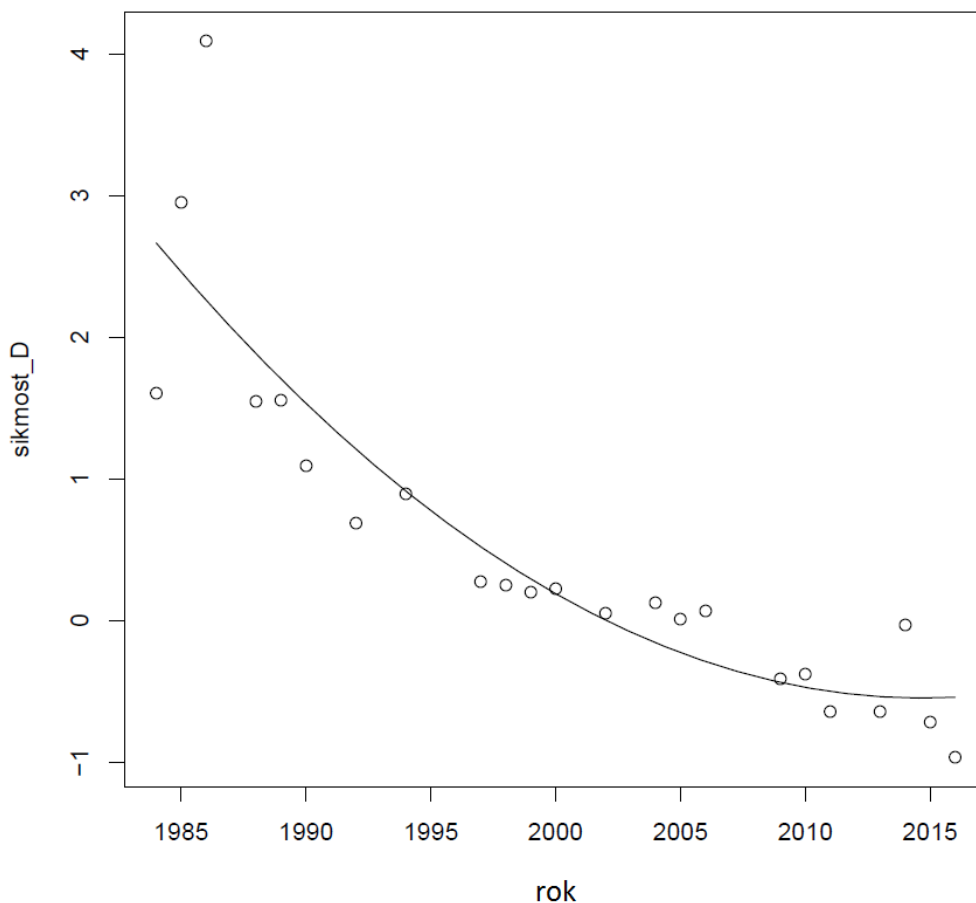


Graf 12.: Vývojový trend směrodatných odchylek indexu NDVI (G = nerekultivováno – vlny zarovnané)

Směrodatné odchylky pro plochu původních vln s následným zarovnáním ukazují ve svém počátku na obdobnou situaci jako v případě, který je znázorněn v Grafu 11. – technická úprava plochy a s tím související odpovídající změny hodnot indexu NDVI, resp. velká vzájemná podobnost hodnot. Parabola ovšem značí, že zhruba od r. 2003 se hodnoty indexu NDVI počínají více a více vzájemně lišit, z čehož lze usuzovat nerovnoměrné zarůstání tohoto typu plochy.

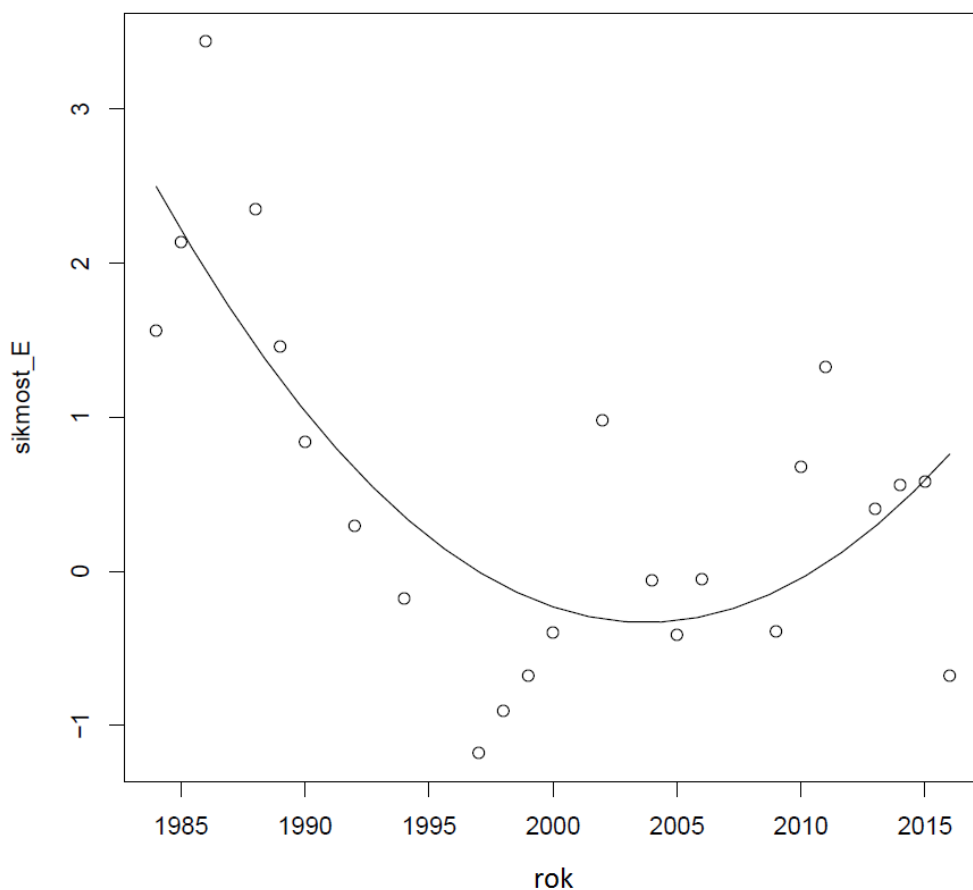
Poslední fáze analýzy dat pro vegetační index NDVI byla provedena prostřednictvím koeficientu šikmosti. Nulová šikmost značí, že hodnoty náhodné veličiny jsou od její střední hodnoty rozmístěny rovnoměrně vpravo i vlevo, disponují symetrickým rozdělením. Šikmost kladná (šikmost zprava) poukazuje na fakt, kdy se napravo od průměru vyskytují odlehlejší hodnoty než vlevo a většina hodnot se nachází blízko nalevo od průměru. V případě šikmosti záporné (šikmost zleva) jsou hodnoty rozděleny přesně opačně. Hodnotami koeficientu šikmosti

pro jednotlivé plochy byly taktéž proloženy paraboly a to opět dle výsledku testu ANOVA, jak znázorňují Grafy 13. – 16.



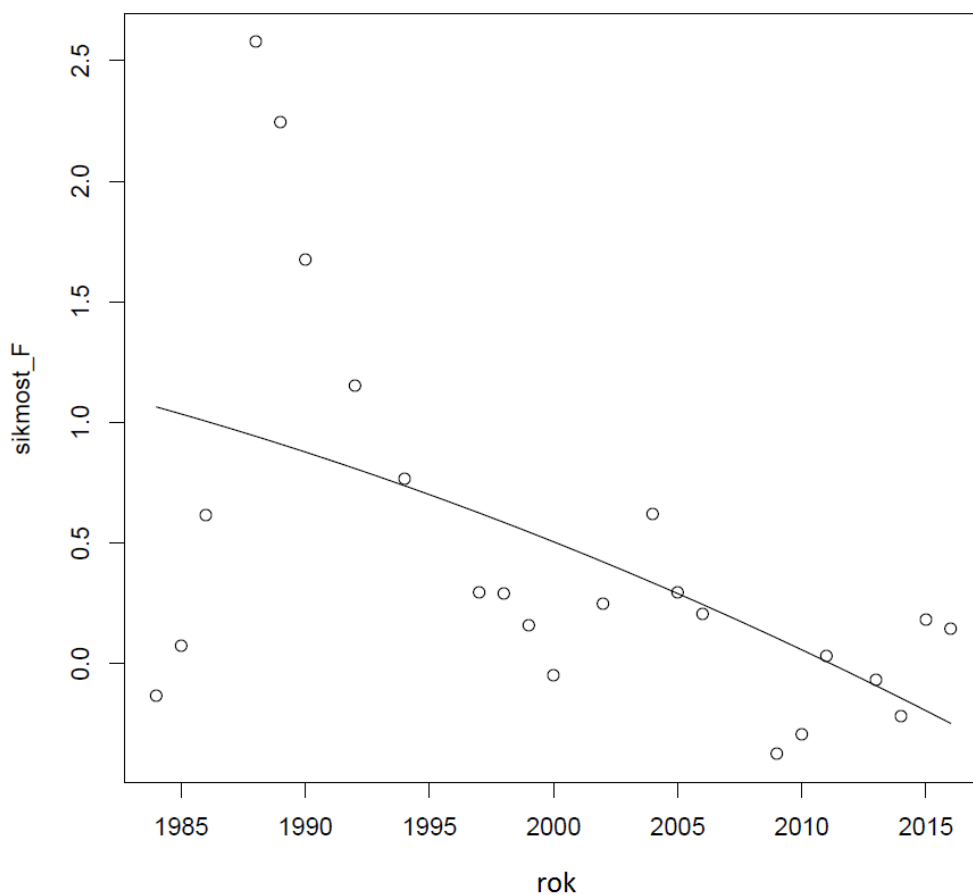
Graf 13.: Vývojový trend koeficientu šikmosti indexu NDVI (D = nerekulivováno – vlny)

U nerekulivované plochy se zvlněným reliéfem lze konstatovat, že v čase hodnoty NDVI téměř lineárně narůstaly, přičemž směrodatné odchylky se s časem zmenšovaly (= nárůst míry podobnosti hodnot) a hodnoty koeficientu šikmosti postupně směřovaly k nule (= rozdělení četností hodnot blízké normálnímu rozdělení), resp. k mírně záporným hodnotám (= šikmost zleva).



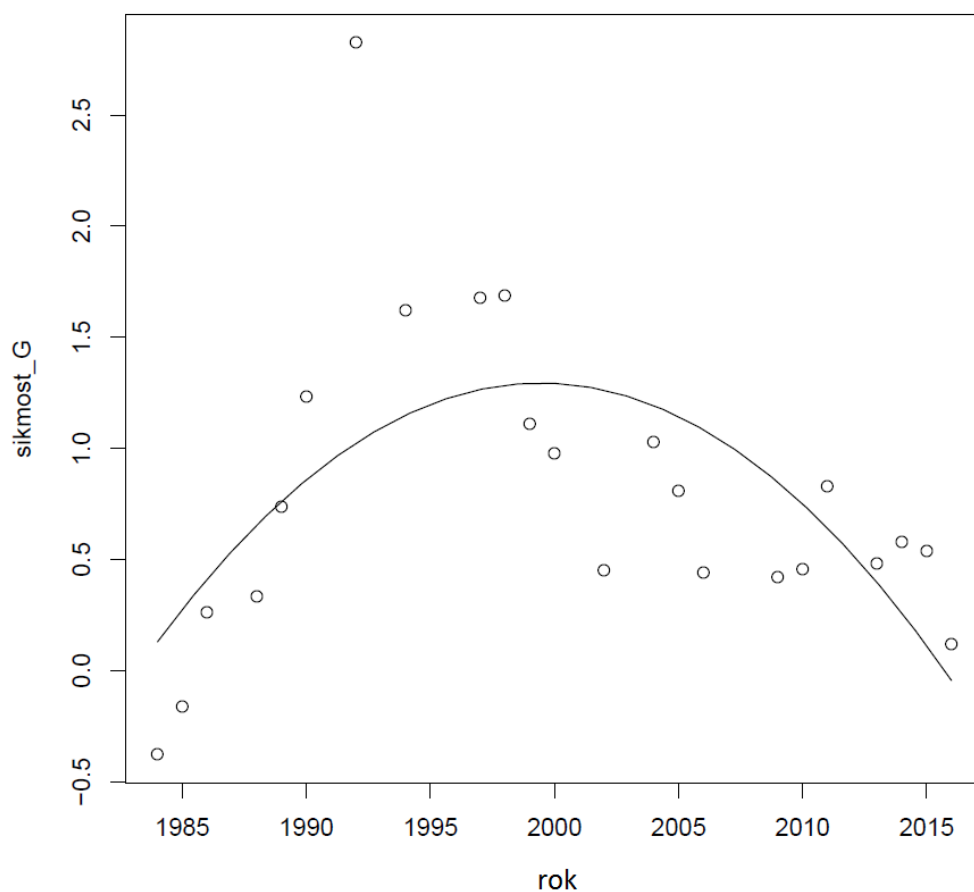
Graf 14.: Vývojový trend koeficientu šikmosti indexu NDVI (E = nerekultivováno – rovina)

Hodnoty získané ze satelitních snímků pro nerekultivovanou plochu s rovinným reliéfem patří k nejobtížněji vysvětlitelným, zejména při absenci dat z pozemního pozorování. Hodnoty NDVI pro tuto lokalitu značí nárůst vegetace, avšak s poměrně velkými fluktuacemi. Vývoj směrodatných odchylek vykazuje poměrně pravidelné střídání poklesů, resp. nárůstů a rozdělení četnosti hodnot ukazuje výraznou změnu z pravé šikmosti do mírně levé. Od r. 2000 se šikmost pohybuje kolem nuly.



Graf 15.: Vývojový trend koeficientu šikmosti indexu NDVI (F = nerekultivováno – vlny přesypané)

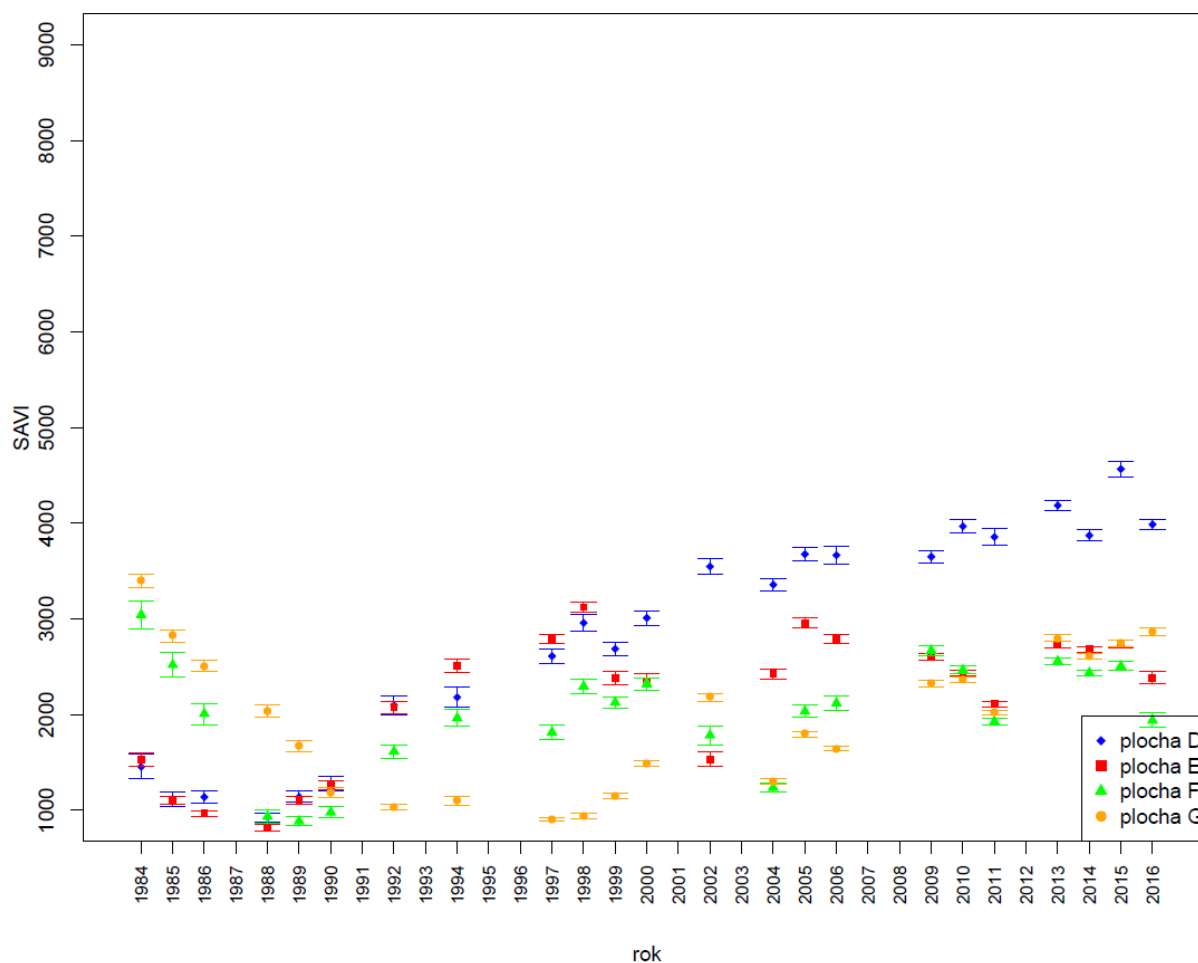
Data vypovídající o vývoji oblasti přesypaných vln reflektují technický zásah spojený se skokovou změnou reliéfu a vegetačního krytu i v případě koeficientu šikmosti. Ten technickým zásahem prudce vzrostl, ovšem tento rychlý nárůst byl záhy vystřídán obdobně prudkým poklesem, na který navázal pokles pozvolnější, potvrzující návrat hodnot vegetačního indexu NDVI k normálnímu rozdělení.



Graf 16.: Vývojový trend koeficientu šikmosti indexu NDVI (G = nerekulťivováno – vlny zarovnané)

Koeficienty šikmosti se v případě oblasti nerekulťivovaných vln s následným zarovnaním chovají přesně opačně než je tomu v případě vývoje hodnot NDVI, resp. směrodatných odchylek. Zatímco hodnoty vegetačního indexu i směrodatné odchylky vykazují pokles (vliv technického zásahu) s následným nárůstem, koeficient šikmosti vykazuje přesně opačný trend – z normálního rozdělení k šikmosti zprava a zase zpět k normálnímu rozdělení.

4.2. Vývoj vegetačního krytu na nerekvultivovaných plochách dle indexu SAVI



Graf 17.: Vývoj ročních průměrů indexu SAVI s 95% intervalem spolehlivosti

Graf 17., obdobně jako v případě hodnot NDVI ukazuje průměrnou hodnotu vegetačního indexu SAVI pro daný rok, avšak s vyznačenými 95% intervaly spolehlivosti. Z nichž je patrné, že hodnoty SAVI, získané v rámci všech analyzovaných ploch po celé zájmové období (1984-2016) nedisponují příliš velkým rozptylem. Hodnoty indexu SAVI jsou též oproti NDVI na všech plochách nižší o zhruba 2000, což je pravděpodobně způsobeno korekčním faktorem L.

V případě hodnot korigovaného vegetačního indexu SAVI bylo zjištěno, že metoda zobecněných nejmenších čtverců (gls) je statisticky průkazně vhodnější než lineární model (test ANOVA - vyšší hodnota *Log-likelihood*). Provedením Pearsonovy korelace reziduálů gls modelu NDVI s reziduály gls modelu SAVI bylo zjištěno, že reziduály spolu velmi silně korelují. SAVI tedy s velkou pravděpodobností neukazuje jiné výsledky než NDVI. Vyšetření korelace směrodatných odchylek, resp. šikmosti taktéž prokázalo silnou korelaci a potvrdilo, že v případě

testovaných výsypkových ploch není třeba využívat korekční faktor půdního jasu, jenž index SAVI obsahuje a pro analýzu vývoje vegetačního krytu v těchto oblastech postačí aplikovat normalizovaný diferenční vegetační index NDVI. Výsledky porovnání těchto dvou vegetačních indexů shrnuje Tab. 3.

Tab. 3.: Porovnání vegetačních indexů NDVI a SAVI

Pearsonova korelace mezi NDVI a SAVI	hodnota
reziduály gls modelů	0,9880
směrodatné odchyly – plocha D	0,9176
směrodatné odchyly – plocha E	0,9824
směrodatné odchyly – plocha F	0,9798
směrodatné odchyly – plocha G	0,9848
koeficienty šikmosti – plocha D	0,9881
koeficienty šikmosti – plocha E	0,9782
koeficienty šikmosti – plocha F	0,9672
koeficienty šikmosti – plocha G	0,9933

5. DISKUZE

Úvodem diskusní části diplomové práce je třeba zmínit, že výsledky získané analýzou dat z dálkového průzkumu Země nebyly porovnávány s daty získanými pozemním sledováním vývoje jednotlivých ploch. Získání oficiálních dat je velice obtížné (zejm. data o rekultivačních zásazích před r. 1995) a jejich případná přesná lokalizace vzhledem k mým výzkumným polygonům by se potýkala s velkou mírou prostorové i časové nepřesnosti (Pohlreich, 2017). Proto lze výstupy z praktické části, které se týkají vývoje vegetačního indexu NDVI, resp. SAVI na rekultivovaných, resp. nerekulitovaných plochách Velké podkrušnohorské výsypky komentovat pouze na základě domněnek a předpokladů, bez opory v podobě ověřených pozemních dat.

Celosvětová těžba uhlí jako strategické energetické suroviny zaznamenávala několik dekád po sobě setrvalý růst, nicméně v poslední době se tento trend zpomalil z důvodu probíhající debaty o globálních změnách klimatu, resp. snahy snižovat množství vypouštěných skleníkových plynů, které jsou s následným využitím uhlí neoddělitelně spjaty (Lechner et al., 2016). Pařížská dohoda o klimatu, vycházející z klimatické konference, konané v r. 2015 tuto snahu potvrdila mj. závazkem pro všechny signatářské státy, který jim ukládá povinnost podílet se na udržení nárůstu globální teploty výrazně pod 2 °C a současně vyvíjet úsilí k omezení nárůstu této teploty na hodnotu 1,5 °C oproti preindustriálnímu období (Center for climate and energy solutions, 2015).

Nicméně tato surovina je pro světovou ekonomiku stále nepostradatelná, se všemi svými klady i zápory. Tato práce klade důraz na negativní vedlejší efekt těžby uhlí povrchoým způsobem a tím je zábor krajiny, zásadní změnu jejího vzhledu a využití. K zahlazení stop po těžbě a zpětnému nalezení využití těchto postižených oblastí slouží rekultivace, které vytváří bezpečné a stabilní plochy a navrácí je do veřejného prostoru (Lechner et al., 2016).

Prach a Hobbs, 2008 ovšem řeší, zda-li je technická rekultivace vždy tím nejvhodnějším řešením a zda-li zde není prostor pro uplatnění i samovolných sukcesních pochodů bez zásahu člověka. K vyřešení této problematiky je třeba znát plánovaný cílový stav dané lokality, polohu lokality z hlediska biotických i abiotických faktorů a možné zdroje diaspor v okolí narušené lokality (Prach a Hobbs, 2008).

Výsledky praktické části diplomové práce, kdy byla posuzována intenzita zarůstání nerekulitovaných ploch Velké podkrušnohorské výsypky, které se liší způsobem svého založení jasně ukazují, že reliéf původních terénních vln je z hlediska rychlosti samovolné obnovy

vegetace tím nejlepším. Otázkou zůstává, zda-li je tento specifický tvar terénu příznivý i z ostatních úhlů pohledu (fauna, člověk).

Prach a Walker, 2011 uvádí několik důvodů, proč dát příležitost sukcesi a ponechat tyto člověkem přeměněné oblasti samovolnému vývoji. Prvním důvodem je nápomoc ke zvýšení biodiverzity a to zejména v době, kdy mnohá přirozená stanoviště pro různé druhy ubývají a to především činností člověka – změnou managementu či úplnou destrukcí. Četné druhy jsou vázány právě na počáteční sukcesní stádia a poskytnutí takových ploch by bylo prvním krokem ve snaze o návrat těchto druhů do dané lokality. Sukcese je rovněž spojena s invazí nepůvodních druhů a právě studium čistě přírodního vývoje může pomoci odhalit vliv nepůvodního druhu na strukturu a funkci daného ekosystému, resp. může pomoci v poznání mechanismu šíření těchto nepůvodních druhů. Co víc, rekultivace je ve své podstatě manipulace se sukcesními pochody za účelem získání plánovaného výstupu (les, louka apod.). Proto na plochách s průměrnou produktivitou, resp. mírou stresu, kde invaze nepůvodních druhů nepředstavuje hrozbu a kde jsou plánované cílové druhy v dosahu a je šance jejich přirozeného rozšíření na tyto plochy je výhodné minimalizovat zásahy člověka a co možná nejvíce se spolehnout na přírodní procesy (*Prach a Walker, 2011*).

Pravděpodobně zásahy člověka do reliéfu, resp. vegetačního krytu stály za rozdílem v zarůstání mezi nerekulitovanou plochou Velké podkrušnohorské výsypky v té části, jejíž reliéf byl urovnán v době vzniku a nerekulitovanou plochou Velké podkrušnohorské výsypky v té části, jejíž reliéf byl ponechán v původních vlnách a posléze přesypán novým výsypkovým materiálem.

Výsledky též ukázaly, že pokud je potřeba z jakéhokoliv důvodu původní zvlněný reliéf výsypky po určité době urovnat, z hlediska rychlosti zarůstání těchto ploch vegetací nehraje roli, zda-li budou původní vlny za použití technických prostředků srovnány či zda-li bude na původní vlny navršen nový výsypkový materiál.

Tropek et al., 2011 uvádí, že spontánní sukcese v oblastech postižených těžbou je pomalým procesem, který vytváří různorodou mozaiku mikrohabitátů jakými jsou odhalené kamenité plochy, řídké bylinné porosty či nárosty křovin. Tato stanovištní heterogenita je klíčovým prvkem pro existenci těch druhů, jejíž původní stanoviště v celé Evropě ubývají (říční šterková lože, živinami chudé travní porosty, sesuvy půdy apod.). Na příkladu kladenských výsypek po těžbě černého uhlí bylo zjištěno, že v sukcesních partiích byla z hlediska testovaných organismů vyšší biodiverzita než v případě rekultivovaných ploch. Řada z těchto druhů patřila mezi národně ohrožené a výskyt těchto druhů na sukcesních plochách lze přičíst zmiňované

heterogenitě stanoviště, resp. vazbě druhů na stresu odolávajících druzích rostlin, jež tyto sukcesní plochy taktéž hostí (Tropek et al., 2011).

Sukcesní praxe je též vhodná z hlediska diverzity obojživelníků, kteří vodní plochy užívají k rozmnožování a také při kolonizaci nového území. Na příkladu 17 severočeských výsypkových lokalit bylo zjištěno, že vodní plochy vzniklé na sukcesních plochách jsou pro svoji menší hloubku a méně strmé břehy vhodnější pro osídlení obojživelníky, na rozdíl vodních ploch s původem v rekultivaci daného území (Doležalová et al., 2011; Vojar et al., 2016). V neposlední řadě i diverzita brouků (střevlíkovití) byla potvrzena jako vyšší na sukcesních lokalitách (Hodecek et al., 2016)

Zkušenosti z experimentálních aplikací sukcese v českém prostředí říkají, že tyto samovolné přírodní procesy jsou plně uplatnitelné, vyjma ploch s extrémními podmínkami z hlediska vlhkosti, živin či pH nebo s toxickým substrátem. Zvláště vhodný je tento postup na menších plochách obklopených vegetací. Souvislá vegetace se na těchto experimentálních plochách vytvořila před 15. rokem trvání sukcese, uchycení a rozvoj stromů bylo snazší v lokalitách disponujících mírnými podmínkami.

Dominantami pozdních sukcesních stádií byly některé vzácné a ohrožené druhy - Koniklec luční (*Pulsatilla pratensis*), Hvězdnice chlumní (*Aster amellus*) či Prorostlík srpovitý (*Bupleurum falcatum*) doprovázené celou řadou původních druhů s určitým podílem těch nepůvodních (zejm. Třtina krovištní (*Calamagrostis epigeios*) (Prach a Pyšek, 2000).

Přes zjevné, četnými výzkumy potvrzené klady sukcese na antropogenně přeměněných plochách v souvislosti s těžbou uhlí není prosazování přístupu bezzásahovosti v dnešní době snadným úkolem. V České republice je z legislativního hlediska silně upřednostňována rekultivace a žádná plocha po těžbě nerostných surovin není oficiálně ponechána přírodním procesům (Tropek et al., 2011). Například plocha zemědělské půdy, která byla v zájmu těžby odejmuta ze zemědělského půdního fondu musí být po ukončení těžební činnosti upravena tak, aby mohla být do tohoto fondu zase zpět navrácena, což příliš prostoru pro aktivity, kdy se odejmutá půda posléze navrátí přírodním procesům, nedává (Pohlreich, 2017). V Německu je 15% rozlohy z každé oblasti zasažené těžbou povinně určeno k aplikaci bezzásahového přístupu (Tropek et al., 2011).

Závěrem bych rád zmínil, že otázka, zda plochu postiženou těžbou nerostných surovin ponechat přirozenému vývoji nebo ji podrobit rekultivační nápravě, rozhodně nemá jednoduchého řešení. Je třeba zvážit zamýšlený cílový ekosystém, zda vůbec má šanci se přirozenými pochody na daném místě vytvořit. Rovněž je třeba posoudit zapojení této plochy do

stávajícího krajinného rázu, zda je tato postižená plocha v okolí jediná či se jedná o celou oblast čítající několik takto člověkem ovlivněných ploch.

Legislativně upřednostňovaná technická rekultivace těžbou zasažených lokalit dozajista má své místo v praxi – nabízí rychlejší řešení, výsledná podoba rekultivované plochy je lépe předvídatelná, navrácí postiženou krajinu zpět k užitku místním obyvatelům (golfové hřiště na místě bývalého dolu Silvestr či přírodní koupaliště Michal na Sokolovsku) za cenu vyšší finanční náročnosti či ztráty diverzity prostředí, resp. nevyužití potenciálu těchto ploch za účelem zvýšení biodiverzity.

Jak ovšem četné vědecké studie uvádí, působením sukcese a s tím spojené minimální zásahy člověka do těchto přírodních procesů vzniká jedinečné prostředí hostící řadu jinak vzácných a ohrožených druhů. V zájmu většího rozšíření těchto druhů a tím pozitivního působení na lokální biodiverzitu by se bezzásahovost měla stát legitimním postupem při nakládání s lokalitami zasaženými těžbou surovin. Přičemž je ovšem třeba pečlivě zvážit řadu faktorů včetně abiotických podmínek daného místa, rychlosti sukcese, možnosti obsazení lokality invazními druhy apod. (Prach, 2003).

6. ZÁVĚR

Tato diplomová práce v zájmové lokalitě Velké podkrušnohorské výsypky analyzovala data získaná metodami DPZ, konkrétně satelitním snímkováním, přičemž tato data pokrývají časový úsek více než 30 let (1984-2016). Data pomocí vegetačních indexů NDVI a SAVI zobrazují intenzitu vegetačního krytu na jednotlivých partiích výsypky, které se od sebe liší způsobem svého založení, resp. reliéfem. Cílem této práce bylo zjistit, zda-li má odlišná zakládací strategie vliv na rychlost růstu vegetace. Analýzou satelitních dat s následným statistickým zpracováním výsledků bylo zjištěno, že intenzita zarůstání nerektivované plochy Velké podkrušnohorské výsypky v té části, jejíž reliéf byl ponechán v původních vlnách se liší od ostatních nerektivovaných ploch Velké podkrušnohorské výsypky a dle vizuálního vyšetření zpracovaných dat v podobě grafu zarůstá tento typ plochy rychleji než ostatní.

Dále bylo zjištěno, že zarůstání nerektivované plochy Velké podkrušnohorské výsypky v té části, jejíž reliéf byl urovnán v době vzniku, se ve sledovaném čase liší od nerektivované plochy Velké podkrušnohorské výsypky v té části, jejíž reliéf byl ponechán v původních vlnách a posléze přesypán novým výsypkovým materiálem.

Výsledky rovněž ukázaly, že rozdíl v managementu výsypkových ploch, kdy původní vlny vzniklé způsobem ukládání nového materiálu jsou po určité době buď přesypány novým výsypkovým materiálem či pomocí technických prostředků urovnány, je nulový. Plochy, kterým se dostalo zmiňovaných způsobů péče, nevykazují ve sledovaném období statisticky významný rozdíl v tempu nárůstu vegetačního krytu.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Aggarwal Shefali : Principles of remote sensing, Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology, dostupné zde: <http://www.wamis.org/agm/pubs/agm8/Paper-2.pdf>, cit.: 5. 5. 2017

Antwi Effah Kwabena, Krawczynski Rene, Wiegler Gerhard (2008) : Detecting the effect of disturbance on habitat diversity and land cover change in post-mining area using GIS, Landscape and Urban Planning 87 (2008), p. 22-32

ArcGIS Pro: Extract by Mask, dostupné zde: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-analyst/extract-by-mask.htm>, cit.: 17. 4. 2017

A. R. Huete (1988) : A soil-adjusted vegetation index (SAVI), Remote Sensing of Environment, 25 (1988), p. 295-309

Baldrian Petr, Trögl Josef, Frouz Jan, Šnajdr Jaroslav, Valášková Vendula, Merhautová Věra, Cajthaml Tomáš, Herinková Jana (2008) : Enzyme activities and microbial biomass in topsoil layer during spontaneous succession in spoil heaps after brown coal mining, Soil Biology & Biochemistry 40 (2008), p. 2107-2115

Brom Jakub, Nedbal Václav, Procházka Jan, Pecharová Emilie (2011) : Changes in vegetation cover, moisture properties and surface temperature of a brown coal dump from 1984 to 2009 using satellite data analysis, Ecological Engineering 43 (2012), p. 45-52

Brown T. J., Idoine N. E., Raycraft E. R., Shaw R. A., Deady E. A., Rippingale J., Bide T., Wrighton C. E., Rodley J. (2014) : World mineral production 2008-2012, British Geological Survey, 115 p.

Bujalský Luděk, Jirka Vladimír, Zemek František, Frouz Jan (2017) : Relationship between normalised difference vegetation index and temperature fluctuations in post-mining sites, International Journal of Mining, Reclamation and Environment

Campbell James B. (2002) : Introduction to the remote sensing – third edition, The Guilford Press, New York, 2002, 621 p.

Center for climate and energy solutions : Outcomes of the U. N. Climate change conference in Paris, dostupné zde: <https://www.c2es.org/international/negotiations/cop21-paris/summary>, cit.: 25. 4. 2017

Dimitrovský Konstantin (2001) : Tvorba nové krajiny na Sokolovsku, Sokolovská uhelná a.s., 191 str.

Ding Yanling, Zhao Kai, Zheng Xingming, Jiang Tao (2014) : Temporal dynamics of spatial heterogeneity, over cropland quantified by time-series NDVI, near infrared and red reflectance of Landsat 8 OLI imagery, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 30 (2014), p. 139-145

Dobrovolný Petr (1998) : Dálkový průzkum Země - Digitální zpracování obrazu, Přírodovědecká fakulta Masarykovy University v Brně, 1998, 210 str.

Doležalová Jana, Vojar Jiří, Smolová Daniela, Solský Milič, Kopecký Oldřich (2011) : Technical reclamation and spontaneous succession produce different water habitats : A case study from Czech post-mining sites, Ecological Engineering 43 (2012), p. 5-12

Duong Nguyen Dinh et al. : Spectral signatures in Landsat 8 OLI image and their interpretation for land cover study, dostupné zde: <http://a-a-r->

[s.org/acrs/administrator/components/com_jresearch/files/publications/OS-270%20NDD_ACRS2014_full_paper.pdf](https://www.researchgate.net/publication/31727020NDD_ACRS2014_full_paper.pdf), cit.: 5. 5. 2017

Erener Arzu (2011) : Remote sensing of vegetation health for reclaimed areas of Seytömer open cast coal mine, *International Journal of Coal Ecology* 86 (2011), p. 20-26

Esri : ArcGIS Help 10.2, 10.2.1 and 10.2.2, dostupné zde: <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html#//009t00000052000000>, cit.: 14. 9. 2016

European Commission^a - SEOS Project (2016) : Introduction to categorisation of objects from their data, dostupné zde: <http://www.seos-project.eu/modules/classification/classification-c00-p05.html>, cit.: 13. 9. 2016

European Comission^b (2012) : European Coal resources: a geographical database and map of EU coal basins including potential sources of coal bed methane based on a harmonised typology, dostupné zde: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20121217_eu_co_res_report.pdf, cit.: 25. 10. 2016

European Commission^c - SEOS Project (2016) : Vegetation Indices, dostupné zde: <http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c01-s04.html>, cit.: 30. 4. 2017

Farina Almo (2006) : Principles and methods in landscape ecology : Towards a Science of Landscape, Springer, 2006, 412 p.

Forman, Richard T. T., Godron Michel (1993) : *Krajinná ekologie*, Academia, Praha, 1993, 583 str.

Frouz Jan, Keplin Beate, Pižl Václav, Tajovský Karel, Starý Josef, Lukešová Alena, Nováková Alena, Balík Vladimír, Háněl Ladislav, Materna Jan, Düker Christian, Chalupský Josef, Rusek Josef, Heinkele Thomas (2000) : Soil biota and upper soil layer development in two contrasting post-mining chronosequences, *Ecological Engineering* 17 (2001), p. 275-284

Frouz Jan, Nováková Alena (2005) : Development of soil microbial properties in topsoil layer during spontaneous succession in heaps after brown coal mining in relation to humus microstructure development, *Geoderma* 129 (2005), p. 54-64

Frouz Jan, Prach Karel, Pižl Václav, Háněl Ladislav, Starý Josef, Tajovský Karel, Materna Jan, Balík Vladimír, Kalčík Jiří, Řehouňková Klára (2007) : Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites, *European Journal of Soil Biology* 44 (2008), p. 109-121

Frouz Jan, Dvorščík Petr, Vávrová Alena, Doušová Olga, Kadochová Štěpánka, Matějčíček Luboš^a (2015) : Development of canopy cover and woody vegetation biomass on reclaimed and unreclaimed post-mining sites, *Ecological Engineering* 84 (2015), p. 233-239

Frouz Jan, Vobořilová Veronika, Janoušová Ivana, Kadochová Štěpánka, Matějčíček Luboš^b (2015) : Spontaneous establishment of late successional tree species English oak (*Quercus robur*) and European beech (*Fagus sylvatica*) at reclaimed alder plantation and unreclaimed post mining sites, *Ecological Engineering* 77 (2015), p. 1-8

Frouz Jan, Toyota Ayu, Mudrák Ondřej, Jílková Veronika, Filipová Alena, Cajthaml Tomáš (2016) : Effect of soil substrate quality, microbial diversity and community composition on the plant community during primary succession, *Soil Biology & Biochemistry* 99 (2016), p. 75-84

Goméz Cristina, White Joanne C., Wulder Michael A. (2016) : Optical remotely sensed time series data for land cover classification : A review, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 116 (2016), p. 55-72

Helingerová Monika, Frouz Jan, Šantrůčková Hana (2010) : Microbial activity in reclaimed and unreclaimed post-mining sites near Sokolov (Czech Republic), *Ecological Engineering* 36 (2010), p. 768-776

Hermosilla Txomin, Wulder Michael A., White Joanne C., Coops Nicholas C., Hobart Geordie W. (2015) : Regional detection, characterization and attribution of annual forest change from

1984 to 2012 using Landsat-derived time-series metrics, *Remote Sensing of Environment* 170 (2015), p. 121-132

Hodecek Jiri, Kuras Tomas, Sipos Jan, Dolny Ales (2016) : Role of reclamation in the formation of functional structure of beetle communities : A different approach to restoration, *Ecological Engineering* 94 (2016), p. 537-544

Jade R. K. and Sunita (2015) : Temporal Changes due to Mining in Khetri Cooper Complex, Rajasthan, *Procedia Earth and Planetary Science* 11 (2015), p. 165-172

Karan Shivesh Kishore, Samadder Sukha Ranjan, Maiti Subodh Kumar (2016) : Assessment of the capability of remote sensing and GIS techniques for monitoring reclamation success in coal mine degraded lands, *Journal of Environmental Management* 182 (2016), p. 272 - 283

Khan Imran, Javed Akram (2012) : Spatio-Temporal Land Cover Dynamics in Open Cast Coal Mine Area of Singrauli, M. P., India, *Journal of Geographic Information System* 4 (2012), p. 521-529

Kim Do-Hyung, Sexton Joseph O., Noojipady Praveen, Huang Chengquan, Anand Anupam, Channan Saurabh, Feng Min, Townshend John R. (2014) : Global, Landsat-based forest-cover change from 1990 to 2000, *Remote Sensing of Environment* 155 (2014), p. 178-193

Kolář Jan, Halounová Lena, Pavelka Karel (1997) : Dálkový průzkum Země 10, *Fakulta stavební ČVUT v Praze*, 164 str.

Kolios Stavros, Stylios Chrysostomos D. (2013) : Identification of land cover/land use changes in the greater area of the Preveza peninsula in Greece using Landsat satellite data, *Applied Geography* 40 (2013), p. 150-160

Kolejka Jaromír (2013) : *Nauka o krajině: Geografický pohled a východiska*, Academia, Praha, 2013, str. 439

Latifovic Rasim, Fytas Kostas, Chen Jing, Paraszczak Jacek (2005) : Assessing land cover change resulting from large surface mining development, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 7 (2005), p. 29-48

Lawley V., Lewis M., Clarke K., Ostendorf B. (2015) : Site-based and remote sensing methods for monitoring indicators of vegetation condition : An Australian review, *Ecological indicators* (2015)

Lechner Alex Mark, Kassulke Owen, Unger Corinne (2016) : Spatial assessment of open cut coal mining progressive rehabilitation to support the monitoring of rehabilitation liabilities, *Resources Policy* 50 (2016), p. 234-243

Li Jing, Zipper Carl E., Donovan Patricia F., Wynne Randolph H., Oliphant Adam J. (2015) : Reconstruction disturbance history for an intensively mined region by time series analysis of Landsat imagery, *Environmental monitoring and Assessment* 187 (2015)

Li N., Yan C. Z., Xie J.L. (2014) : Remote sensing monitoring recent rapid increase of coal mining activity of an important energy base in northern China, a case study of Mu Us Sandy Land, *Resources, Conservation and Recycling* 94 (2015), p. 129-135

Liu Xiaoyang, Zhou Wei, Bai Zhongke (2016) : Vegetation coverage change and stability in large open-pit coal mine dumps in China during 1990-2015, *Ecological Engineering* 95 (2016), p. 447-451

Loveland Thomas R., Irons James R. (2016) : Landsat 8 : The plans, the reality and the legacy, *Remote Sensing of Environment* 185 (2016), p. 1-6

Ma Yan, Haiping Wu, Wang Lizhe, Huang Bormin, Ranjan Rajiv, Zomaya Albert, Jie Wei (2014) : Remote sensing big data computing : Challenges and opportunities, *Future Generations Computer Systems* 51 (2015), p. 47-60

Mei Alessandro et al. (2015) : Assessment of land cover changes in Lampedusa Island (Italy) using Landsat TM and OLI data, *Journal of African Earth Sciences* (2015)

Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky ^a (2015) : Produkce tuhých fosilních paliv za rok 2015, dostupné zde: <http://www.mpo.cz/dokument178199.html>, cit.: 25. 10. 2016

Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky ^b (2015) : Dlouhodobá prognóza trhu s hnědým uhlím, dostupné zde: http://www.mpo.cz/assets/cz/ministr-a-ministerstvo/tiskove-informace/2015/6/Dlouhodobá_prognóza_trhu_HU_15_6.pdf, cit.: 25. 10. 2016

Mudrák Ondřej, Frouz Jan, Velichová Václava (2010) : Understory vegetation in reclaimed and unreclaimed post-mining forest stands, *Ecological Engineering* 36 (2010), p. 783-790

Mudrák Ondřej, Uteseny Karoline, Frouz Jan (2012) : Earthworms drive succession of both plant and Collembola communities in post-mining sites, *Applied Soil Ecology* 62 (2012), p. 170-177

Mudrák Ondřej, Doležal Jiří, Frouz Jan (2016) : Initial species composition predicts the progress in the spontaneous succession on post-mining sites, *Ecological Engineering* 95 (2016), p. 665-670

Müller Hannes, Rufin Philippe, Griffiths Patrick, Siqueira Auberto José Barros, Hostert Patrick (2014) : Mining dense Landsat time series for separating cropland and pasture in a heterogenous Brazilian savanna landscape, *Remote Sensing of Environment* 156 (2015), p. 490-499

NASA: Measuring vegetation (NDVI & EVI), dostupné zde: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/>, cit.: 18. 4. 2017

NASA & USGS : Landsat Data Continuity Mission, dostupné zde: https://www.nasa.gov/pdf/723395main_LDCMpresskit2013-final.pdf, cit.: 19. 3. 2017

Obade Vincent de Paul, Lal Rattan (2012) : Assessing land cover and soil quality by remote sensing and geographical information systems (GIS), *Catena* 104 (2013), p. 77-92

Peijun Du, Xingli Li, Wen Cao, Yan Luo, Huapeng Zhang (2010) : Monitoring urban cover and vegetation change by multi-temporal remote sensing information ,Mining Science and Technology 20 (2010), p. 922-932

Pešek Jiří, Adámek Josef, Brzobohatý Rostislav a kol. (2010) : Terciérní pánve a ložiska hnědého uhlí České republiky, Česká geologická služba, Praha, 2010, str. 437

Poenaru Violeta, Badea Alexandru, Cimpeanu Sorin Mihai, Irimescu Anisoara (2015) : Multi-temporal, multi-spectral and radar remote sensing for agricultural monitoring in the Braila Plain, Agriculture and Agricultural Science Procedia 6 (2015), p. 506-516

Potapov Peter V., Turubanova Svetlana A., Hansen Matthew C., Adusei Bernard, Broich Mark, Altstatt Alice, Mane Landing, Justice Christopher O. (2012) : Quantifying forest cover loss in Democratic Republic of the Congo, 2000-2010, with Landsat ETM+ data, Remote Sensing of Environment 122 (2012), p. 106-116

Prach Karel (2003) : Spontaneous succession in Central-European man-made habitats : What information can be used in restoration practice?, Applied Vegetation Science 6 (2), p. 125-129

Prach Karel, Hobbs Richard J. (2008) : Spontaneous succession versus technical reclamation in the restoration of disturbed sites, Restoration Ecology Vol. 16, No. 3 (2008), p. 363-366

Prach Karel, Pyšek Petr (2000) : Using spontaneous succession for restoration of human-disturbed habitats : Experience from Central Europe, Ecological Engineering 17 (2001), p. 55-62

Prach Karel, Walker Lawrence R. (2011) : Four opportunities for studies of ecological succession, Trends in Ecology and Evolution, March 2011, Vol. 26, No. 3, p. 119-123

Ramoelo Abel, Dzikiti Sebinasi, Deventer, Heidi van, Maherry Ashton, Cho Moses Azong, Gush Mark (2014) : Potential to monitor plant stress using remote sensing tools, Journal of Arid Environments 113 (2015), p. 134-144

Raval Simitkumar and Shamsoddini Ali (2014) : A monitoring framework for land use around kaolin mining areas through Landsat TM images, *Earth Sci Inform* 7 (2014), p. 153-163

Rojík Petr (2015) : *Geologie a nerostné zdroje Karlovarského kraje*, Karlovarský kraj, str. 195

Roubíčková Alena, Frouz Jan (2014) : Performance of the earthworm *Apporectodea caliginosa* on unreclaimed spoil heaps at different successional stages, *European Journal of Soil Biology* 65 (2014), p. 57-61

Sexton Joseph O., Urban Dean L., Donohue Michael J., Song Conghe (2012) : Long-term land cover dynamics by multi-temporal classification across the Landsat-5 record, *Remote Sensing of Environment* 128 (2013), p. 246-258

Shank Michael (2008) : Using remote sensing to map vegetation density on a reclaimed surface mine, *Incorporating geospatial technologies into SMCRA Business Processes*, 2008, Atlanta, USA, 20 p.

Schneider Annemarie (2012) : Monitoring land cover change in urban and peri-urban areas using dense time stacks of Landsat satellite data and a data mining approach, *Remote Sensing of Environment* 124 (2012), p. 689-704

Schultz Michael, Clevers Jan G.P.W., Carter Sarah, Verbesselt Jan, Avitabile Valerio, Quang Hien Vu, Herold Martin (2016) : Performance of vegetation indices from Landsat time series in deforestation monitoring, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 52 (2016), p. 318-327

Sklenička Petr (2003) : *Základy krajinného plánování*, nakladatelství Naděžda Skleničková, Praha, 2003, str. 321

Sonter Laura J., Moran Chris J., Barrett Damian J., Soares-Filho Britaldo S. (2014) : Processes of land use change in mining regions, *Journal of Cleaner Production* (2014)

Šourková Monika, Frouz Jan, Šantrůčková Hana (2004) : Accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus during soil formation on alder spoil heaps after brown-coal mining near Sokolov (Czech Republic), *Geoderma* 124 (2005), p. 203-214

Štýs Stanislav, Bízková Rut, Ritschelová Iva (2014) : Proměny severozápadu, Český statistický úřad, 2014, 181 str.

Tesnerová Cecilie, Zadinová Radka, Píkl Miroslav, Zemek František, Kadochová Štěpánka, Matějčík Luboš, Mihaljevič Martin, Frouz Jan (2016) : Predicting the toxicity of post-mining substrates, a case study based on laboratory tests, substrate chemistry, geographic information systems and remote sensing, *Ecological Engineering* 100 (2017), p. 56-62

Townsend Philip A., Helmers David P., Kingdon Clayton C., McNeil Brenden E., De Beurs Kirsten M., Eshleman Keith N. (2009) : Changes in the extent of surface mining and reclamation in the Central Appalachians detected using a 1976-2006 Landsat time series, *Remote Sensing of Environment* 113 (2009), p. 62-72

Tran Trung V., De Beurs Kirsten M., Julian Jason P. (2015) : Monitoring forest disturbances in Southeast Oklahoma using Landsat and MODIS images, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 44 (2016), p. 42-52

Tropek Robert, Kadlec Tomas, Hejda Martin, Kocarek Petr, Skuhrovec Jiri, Malenovsky Igor, Vodka Stepan, Spitzer Lukas, Banar Petr, Konvicka Martin (2011) : Technical reclamations are wasting the conservation potential of post-mining sites. A case study of black coal spoil dumps, *Ecological Engineering* 43 (2012), p. 13-18

United States Geological Survey ^a: Landsat Missions : Atmospheric Transmittance Information, dostupné zde: <https://landsat.usgs.gov/atmospheric-transmittance-information>, cit.: 19. 3. 2017

United States Geological Survey ^b: NDVI, the foundation of remote sensing phenology, dostupné zde: http://phenology.cr.usgs.gov/ndvi_foundation.php, cit.: 14. 9. 2016

United States Geological Survey^c: Landsat Missions : Imaging the Earth since 1972, dostupné zde: http://landsat.usgs.gov/about_mission_history.php, cit.: 12. 11. 2016

Universidade de Lisboa: Optical properties of Earth surface materials, dostupné zde: <https://fenix.isa.ulisboa.pt/qubEdu/disciplinas/detra/2016-2017/1-semester/lateral/rs&ia-2016-17/optical-properties-earth-surface>, cit.: 5. 5. 2017

Vieira Matheus Alves, Formaggio Antonio Roberto, Rennó Camilo Daleles, Atzberger Clement, Aguiar Daniel Alves, Mello Marcio Pupin (2012) : Object Based Image Analysis and Data Mining applied to a remotely sensed Landsat time-series to map sugarcane over large areas, Remote Sensing of Environment 123 (2012), p. 553-562

Vogelmann James E., Xian George, Homer Collin, Tolk Brian (2012) : Monitoring gradual ecosystem change using Landsat time series analyses : Case studies in selected forest and rangeland ecosystems, Remote Sensing of Environment 122 (2012), p. 92-105

Vojar Jiří, Doležalová Jana, Solský Milič, Smolová Daniela, Kopecký Oldřich, Kadlec Tomáš, Knapp Michal (2016) : Spontaneous succession on spoil banks supports amphibian diversity and abundance, Ecological Engineering 90 (2016), str. 278-284

Willis Katherine S. (2015) : Remote sensing change detection for ecological monitoring in United States protected areas, Biological Conservation 182 (2015), p. 233-242

World coal association : Coal producers, dostupné zde: <http://www.worldcoal.org/coal/coal-mining>, cit.: 7. 11. 2016

Zákon č.114/1992 Sb., O ochraně přírody a krajiny

Zákon č. 44/1988 Sb., O ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon)

Zamarský Vítězslav, Tylčer Jiří, Střelec Tomislav (2009) : Regenerace průmyslových ploch, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2009, str. 134

Zemek František a kol. (2014) : Letecký dálkový průzkum Země – teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů, Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Brno, 2014, str. 155

Zheng Baojuan, Myint Soe W., Thenkabail Prasad S., Aggarwal Rimhjim M., (2014) : A support vector machine to identify irrigated crop types using time-series Landsat NDVI data, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 34 (2015), p. 103-112

Zhu Xiaolin and Liu Desheng (2014) : Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 102 (2015), p. 222-231

Ostatní zdroje

Fraus František (2017) : A spoil heap in the Podkrušnohoří area – the largest spoil heap in the Sokolov District, Sokolovská uhelná, a. s., Sokolov, nepublikovaná zpráva

Frouz Jan (2017) : Velká podkrušnohorská výsypka – vymezení zájmových polygonů, ústní sdělení, 18. 1. 2017

Lisner Milan, Ráž Jan (2017) : Podkrušnohorská výsypka, Sokolovská uhelná, a. s., Sokolov, nepublikovaná zpráva

Pohlreich Jaroslav (2017) – historický vývoj rekultivací na Velké podkrušnohorské výsypce, ústní sdělení, 10. 4. 2017

Product guide: Landsat Surface Reflectance- Derived spectral indices, Version 3.5, April 2017, Department of the Interior U. S. Geological Survey, dostupné zde:

https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/si_product_guide.pdf, cit.: 15. 4. 2017

United States Geological Survey^d : Higher-Level Science Data Product Access, dostupné zde: <https://landsat.usgs.gov/high-level-science-data-product-access>, data stažena 6. 12. 2016

8. PŘÍLOHY

Fotodokumentace zájmových ploch Velké podkrušnohorské výsypky (snímky pořízeny autorem 10. 4. 2017)



Obr. 3.: Lesnická rekultivace (autor)



Obr. 4.: Hydrická rekultivace (autor)



Obr. 5.: Zemědělská rekultivace (autor)



Obr. 6.: Nerekultivovaná plocha s výskytem jednotlivých stromů (autor)



Obr. 7.: Nerekultivovaná plocha s dominantní Třtinou křovištní (*Calamagrostis epigejos*) (autor)



Obr. 8.: Nerekultivovaná plocha s původním zvlněným reliéfem (autor)



Obr. 9.: Nerekultivovaná plocha s původním zvlněným reliéfem a postupující vegetací (autor)



Obr. 10.: Nerekultivovaná plocha s reliéfem zarovnaným v době vzniku (autor)