

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

**Přírodovědecká fakulta
Ústav pro životní prostředí**

Program: Ekologie a ochrana prostředí

Obor: Ochrana životního prostředí

**SPONTÁNNÍ SUKCESE A JEJÍ VÝZNAM V OBNOVĚ
VEGETACE TĚŽEBEN A JINÝCH DISTURBOVANÝCH
PLOCH**

Spontaneous succession and its role in vegetation recovery of post
mining sites and other disturbed areas



**Alena Dobešová
Srpen 2014**

Vedoucí práce: **prof. Mgr. Ing. Jan Frouz, CSc.**

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci zpracovala samostatně pod vedením prof. Mgr. Ing. Jana Frouze, CSc. a s použitím citované literatury.

V Praze, srpen 2014

.....

Alena Dobešová

Poděkování:

Ráda bych poděkovala svému školiteli panu prof. Mgr. Ing. Janu Frouzovi CSc. za odborné vedení mé práce, podmětné připomínky a za jeho věnovaný čas.

Obsah

Abstrakt.....	5
1. Úvod	7
2. Literární přehled	8
2.1 Obnova ekosystémů	8
2.1.1 Složky a funkce ekosystému	8
2.1.2 Degradace ekosystémů.....	9
2.1.3 Proč obnovovat ekosystémy.....	11
2.2 Sukcese.....	12
2.2.1 Definice a popis	12
2.2.2 Mechanismy	12
2.2.3 Změny v průběhu sukcese.....	14
2.2.3.1 Potravní řetězce	14
2.2.3.2 Diverzita.....	15
2.2.3.3 Selekcční tlak	15
2.2.3.4 Biomasa.....	16
2.2.4 Retrogrese	16
2.2.4.1 Esenciální biogenní prvky.....	16
2.2.4.2 Vstupy a výstupy živin v ekosystému.....	17
2.2.4.3 Definice a popis.....	17
2.3 Průběh sukcese a rekultivačních zásahů v obnově ekosystémů	18
2.3.1 Technické rekultivace	18
2.3.2 Spontánní a řízená sukcese.....	20
2.3.2.1 Management	21
3. Faktory ovlivňující složení vegetačního krytu během sukcese.....	24
3.1 Metodika.....	24
3.2 Charakteristika území.....	24
3.3 Výsledky a diskuze	28
3.3.1 Teplota	28
3.3.2 Srážky	29
3.3.3 pH	31
3.3.4 Zrnitost substrátu	32
4. Závěry	34
Literatura:.....	35

Abstrakt

Obnova ekosystémů pro nás je životně důležitá, a proto bychom je měli po jejich zničení vrátit do původního stavu. Jako nejoptimálnější způsob se jeví spontánní sukcese, kdy se disturbovaná plocha po čase obnoví samovolně. Dojde k obnovení vegetačního krytu, interakcí mezi biotickými a abiotickými složkami ekosystému, přenosu energie, koloběhů živin a dalších důležitých funkcí. V této práci jsem se zabývala vlivem charakteristik prostředí na pokryvnost vegetace během sukcese. Šlo o průměrnou roční teplotu, průměrné roční srážky, hodnotu pH a půdní druhy. Optimální průběh sukcese se jeví jako velký nárůst pokryvnosti hned v počáteční fázi a její v podstatě neměnný trend v dalších fázích sukcese. Tohoto stavu bylo dosaženo při průměrné roční teplotě do 7°C, při průměrných ročních srážkách nad 900 mm, při hodnotách pH do 5 a na lehkých a těžkých půdách.

Klíčová slova: spontánní sukcese, obnova vegetace, vegetační kryt, disturbované plochy

Abstract

Ecosystem restoration is vitally important, to return ecosystem in acceptable stage after anthropogenic disturbance. Spontaneous succession when disturbed area spontaneously recovers over time can be also considered as restoration method. This will restore vegetation cover, the interactions between biotic and abiotic components of the ecosystem, energy transfer, nutrient cycling and other important functions. In this thesis, I examined the influence of environmental variables on the cover of vegetation during succession. It was a mean annual temperature, mean annual precipitation, pH and soil types. The optimal course of succession appears to be a large increase of coverage at an early stage and its basically unchanged trend in other stages of succession. This was achieved with an average annual temperature of 7°C, with an annual rainfall of 900 mm at pH 5 and the light and heavy soils.

Key words: spontaneous succession, vegetation recovery, vegetation cover, disturbed areas

1. Úvod

Těžba nerostných surovin je velice důležitá pro ekonomiku všech států. Díky ní se získávají nerosty nenahraditelné především pro výrobu elektrické a tepelné energie, stavebnictví, dopravu, průmysl a další odvětví lidské činnosti. I když se technologie těžby za dobu své existence enormně zmodernizovala, stále představuje dobývání nerostů velkou zátěž pro ekosystémy a obrovský zásah do krajiny. Těžbou vznikají plochy a útvary, které mají zcela jedinečné složení a tvar. Jedná se o odvaly a výsypky, na které se ukládají odklizové hmoty se změněnými petrografickými, fyzikálně-chemickými, fyzikálně-mechanickými a technologickými vlastnostmi. Změněny jsou také hydrogeologické poměry území, jedná se zejména o složení podzemní vody, infiltrační a odtokové schopnosti povrchových vod, výpar a místní srážky. Lomová těžba ovlivňuje také kvalitu ovzduší a mikroklima území. Dochází k odletům prachových částic z rozsáhlých povrchů těžby, výsypek, odvalů a dopravních cest. V neposlední řadě jde o narušení nebo úplné zničení biosféry v subsystémech fytoocenóz, zoocenóz a mikrobiálních cenóz (Vráblíková et al., 2008).

Už od počátků těžební činnosti lidé věděli, že je nutné takto zdevastovanou krajinu obnovit. Ze začátku však neměli dostatek znalostí a odpovídající technické zařízení, a proto nechali plochu samovolně zarůst. Docházelo ke spontánnímu náletu travin a dřevin nebo k přenosu semen rostlin ptáky a jinými živočichy. Jednalo se o využívání spontánní sukcese. Později se začaly využívat různé technologie k vytvoření zemědělských nebo lesních ploch, které vedly k lepšímu hospodářskému využití avšak k nižší diverzitě krajiny. S množstvím informací, které dnes víme o ekosystémech, bychom se měli vrátit k prosté, avšak účinné metodě našich předků, tj. ponechání plochy spontánní sukcesí. Tato metoda totiž vede k vysoké biologické rozmanitosti, která je důležitá pro stabilitu ekosystémů a jejich udržitelnost. Navíc můžeme ještě přírodě dopomoci řízenou sukcesí, která vytvoří přirozenější a přírodně bližší stav obnovené plochy. Za normálních okolností by se celá plocha začala obnovovat ve stejnou dobu a celý ekosystém by se nacházel ve stejném stádiu sukcese. Řízením sukcese lze vytvořit místa, která budou mít biotu typickou jak pro raná stádia, tak i pro pozdní stádia sukcese (Walker et al., 2007).

V jiných zemích se tato metoda běžně využívá. U nás tomu brání naše legislativa, která ukládá těžařům povinnost plochu zrekultivovat. Spontánní sukcese tak probíhá pouze v místech, na které se při rekultivacích zapomělo (malé lomy). Je pravdou, že nelze využít spontánní sukcesí všude, např. na extrémně toxických půdách to bez předchozí úpravy nejde. Podle ekologů má však 95% plochy dobrý potenciál k tomu, aby se obnovil samovolně (Prach, 2009). Změna ve prospěch využívání sukcese závisí na budoucích úpravách zákonů týkajících se těžby.

2. Literární přehled

2.1 Obnova ekosystémů

Dojde-li k poškození nebo úplnému zničení ekosystémů, mají často takové disturbované ekosystémy schopnost se po nějaké době obnovit samovolně tzv. spontánní sukcesí. Objevují se však snahy člověka proces urychlit nebo částečně řídit. Díky tomu můžeme k obnově přistupovat několika způsoby. Díky správnému výběru způsobu obnovy může být vytvořen ekosystém velice podobný tomu předchozímu nebo dokonce i ekosystém hodnotnější (s větší biodiverzitou, s lepší schopností zadržování vody atd.).

V následující kapitole se budu zabývat těmito otázkami: Proč jsou ekosystémy důležité a jaké jsou jejich funkce a části. Jak vzniká degradace ekosystému a co je to disturbance. Proč vlastně potřebujeme obnovovat ekosystémy.

2.1.1 Složky a funkce ekosystému

Ekosystémy jsou v ekologii, a tudíž i v ekologické obnově, považovány za základní funkční jednotky. Bez jejich správného fungování by nebyl život na Zemi možný. Ekosystém je funkční část biosféry, která se skládá z populací živých organismů, které interagují jak mezi sebou, tak i se svým fyzickým prostředím. Jinak řečeno jsou ekosystémy složeny z biotických a abiotických složek, které jsou mezi sebou úzce propojeny a vzájemně se ovlivňují (Odum, 1977; Clewell et al., 2007). Do abiotických složek patří voda, atmosféra a půda. K esenciálním biotickým složkám se řadí rostliny, živočichové a dekompozitoři (Chapin et al., 2011).

Každá z těchto složek má své vlastní funkce, bez nichž by ekosystém nemohl fungovat. Ekosystémové funkce lze hodnotit podle tří základních skupin indikátorů. Jedná se o indikátory struktury ekosystému a společenstev, ekofyziologické indikátory a indikátory organizace ekosystému (Muller et al., 2000). Řadí se k nim zachytávání exergie, což je schopnost ekosystému hospodárně zužítkovat přicházející využitelnou část energie (např. část solární energie, která se dostane na povrch Země). S vývojem ekosystému tato schopnost využívání energie vzrůstá, protože se zvětšuje absorpční kapacita systému (zvětšuje se plocha listů). Jedněmi z indikátorů pro zachytávání energie jsou právě listy, u kterých se tato vlastnost zjišťuje pomocí fotosyntetické kapacity (rychlost fotosyntézy) nebo podle radiační bilance (rozdíl mezi přijatým a vydaným zářením). Další důležitou funkcí je schopnost ekosystému skladovat energii a živiny. Může tak uchovávat zachycenou exergii a živiny v různých zásobních skladech, a zabránit tak jejich pozdější ztrátě. Ke ztrátám energie a živin dochází v časných stádiích vývoje ekosystému, kdy ještě není dostatečně vytvořena biomasa a půdní organická hmota. Ty totiž patří

k hlavním skladům společně s veškerou biotou a sedimenty. Tato funkce by ale byla k ničemu, kdyby ekosystém nebyl schopný tuto energii a živiny využít a vrátit zpět pomocí cyklů. Jedná se o složité sítě interakcí živých a neživých složek ekosystémů, z nichž nejdůležitější jsou cykly vody, uhlíku, dusíku a fosforu.

Ekosystémy se tedy vyskytují na určitém místě nebo v určité geografické poloze na Zemi po určitý časový úsek. Kde a jak dlouho se tam vyskytují, určuje kombinace různých procesů probíhajících v daném prostředí (klíma, půda, aj.). Tím pádem jsou všechny ekosystémy unikátní. Mohou se sice podobat jeden druhému, ale mají vždy něco odlišného, jako například: složení druhů, strukturu společenstev, fyzické prostředí a v neposlední řadě také reakce na stres a disturbance (Clewell et al., 2007).

Ekosystémy nejsou uzavřené jednotky, jak by se mohlo zdát. Nedokážou existovat samostatně a jsou závislé na vzájemných interakcích s ostatními ekosystémy. Probíhá mezi nimi výměna biologických informací a chemické energie v podobě organismů, živin, vody a detritu (Clewell et al., 2007).

2.1.2 Degradace ekosystémů

Disturbance jsou přirozenou součástí ekosystémů. Existovaly dlouhou dobu před tím, než zde byli první lidé, a budou existovat i po tom, kdy tady už žádní nebudou. Přírodní disturbance je opakující se děj, při němž dojde k částečnému nebo úplnému odstranění vegetace. Nemá však negativní vliv, jak by se mohlo zdát, ale má příznivé účinky na ekosystémy. (Canham a Marks, 1985)

Jako příklad popisuje Odum (1977) oheň. Je to velice významný ekologický činitel vyskytující se převážně v lesních a stepních oblastech mírného pásma a v tropických oblastech v období sucha. V přírodě však existuje několik typů ohně, jejichž účinky jsou různé. Vysoké požáry zničí všechnu vegetaci a ekosystém se musí začít vyvíjet od začátku. Naproti tomu přízemní požáry mají selektivní účinky. Zničí pouze náchylnější vegetaci a u odolnější vegetace (stromy) naopak podporují její vývoj. Lehké přízemní požáry také pomáhají bakteriím rozkládat těla rostlin a rychleji zpřístupňovat živiny pro nový porost. Po vypálení se také lépe daří rostlinám z čeledi bobovitých, které do půdy poutají důležitý dusík. Nízké požáry snižují riziko vysokých ničivých požárů tím, že pravidelně odstraňují hořlavý opad. Způsobují střídavé uklidnění a oživení primární produkce a druhové rozmanitosti.

Přirozené disturbance, které zničí veškerou vegetaci, jsou také důležité. Redukují dominantní druhy na dané ploše a dávají možnost novým druhům uchytit se. S novými rostlinnými druhy přichází na stanoviště i nové živočišné druhy (Canham a Marks, 1985).

Při přirozených disturbancích nedochází ke vstupu znečišťujících látek do ekosystému, jako se tomu děje při disturbancích vyvolaných člověkem. Při dlouhodobém a intenzivním působení znečišťujících látek (stresového faktoru) dochází k degradaci ekosystému. Vráblíková (2008) popisuje degradaci jako stav, který je charakterizován značným narušením stability ekosystému a snížením jeho autoregulačních funkcí.

Antropogenní znečištění způsobující degradaci pochází v první řadě z průmyslu, energetiky, dopravy a dále pak ze zemědělství, lesnictví a dalších činností, při kterých dochází k vstupu chemických látek do prostředí. Degradaci ekosystému člověk ještě umocňuje špatným hospodařením v lesích (špatná skladba dřevin – okyselení, zhutnění povrchové vrstvy půdy, snížení propustnosti pro vodu) a na zemědělské půdě (eroze, eutrofizace, zhutnění půdy) (Lhotský et al., 1987).

Negativní vliv člověka v krajině vede až k její devastaci. Devastovaná krajina má strukturu zcela přeměněnou a její přírodní složky jsou zničeny. Půda je vyřazena z látkového koloběhu a vegetace odstraněna. K devastaci dochází zejména v případech těžby nerostných surovin, při které dochází k velkým zásahům do krajiny. Mění se především geomorfologický charakter území, hydrogeologické poměry, pedosféra, mikroklima území, kvalita ovzduší a biosféra (Vráblíková et al., 2008). Těžbou vznikají fragmentované biotopy, které jsou náchylnější k invazi cizích organismů, eutrofizaci apod. Tyto změny mají také negativní dopady na fungování ekosystémů, jako jsou: zvýšení eroze, snížení dostupnosti vody, snížení biodiverzity, degradace půd, negativní vlivy na klima aj. (Prach, 2009).

Některá degradovaná území lze účinně obnovit do původního stavu nebo do stavu přírodně blízkého. K účelu obnovy narušených míst vznikl v 80. letech 20. století vědecký obor Ekologie obnovy. Ten v sobě spojuje ekologickou teorii a její praktické aplikace směřující k obnově narušených míst (Prach, 2009). Právě teorie a znalosti z různých vědeckých oborů jsou pro správnou obnovu velmi důležité, protože se díky nim zjistí primární podmínky a informace o degradované lokalitě a jejím okolí. Podle nich se pak vytvoří plán, jak se k obnově bude přistupovat. Zda se disturbované místo ponechá spontánní sukcesi nebo bude vhodnější sukcese řízená. Je potřeba propojení znalostí z vědeckých disciplín, jako jsou: geologie, pedologie, půdní biologie, hydrobiologie, geobotanika, zoologie a dalších. Naproti tomu však stále leží technické rekultivace, při nichž se zjevně využívá jen malých nebo mizivých počátečních znalostí. Jsou však stále nepochopitelně ve většině případů preferované.

Těžba by neměla být brána jen jako činnost s negativním vlivem na ekosystémy. Má i své pozitivní hledisko. Na vzniklém holém substrátu ponechaném sukcesi může vzniknout velice cenné společenstvo často i s chráněnými druhy rostlin a živočichů, které tady nemusí čelit takové konkurenci jako v okolní hustě zarostlé krajině (Prach, 2009).

2.1.3 Proč obnovovat ekosystémy

K obnově degradovaných ekosystémů nás mohou vést 4 rozdílné skupiny důvodů založené na různých hodnotách, které nám ekosystémy poskytují. Jedná se o ekologické hodnoty, naše osobní hodnoty, socioekonomické hodnoty a kulturní hodnoty (Clewell et al., 2007).

V případě socioekonomických hodnot má Clewell (2007) na mysli ekosystémové služby, které přímo nebo nepřímo poskytují nějaký užitek lidem. Jako příklad ekosystémové služby Fisher (2009) uvádí opylování. Užitek z toho plynoucí pro lidi je následný sběr plodů nebo semen. Ekosystémové služby nám však neposkytují jen potravu, ale i jiné důležité produkty.

Ekosystémové služby Wall (2012) charakterizuje jako výhody, které lidé čerpají z ekosystémů a které jsou úzce provázány s udržitelností a lidským blahobytem. Tyto produkty a služby jsou výstupy ekosystémových funkcí, které přímo souvisí se strukturou ekosystému. Jednotlivé ekosystémové služby jsou produkovány různými funkcemi ekosystému, přičemž jedna funkce může mít vliv na více služeb. Např. koloběh živin má vliv na čistotu a kvalitu vody a zároveň na zneškodňování znečišťujících látek v prostředí.

Ekosystémové služby se dělí do 4 hlavních skupin: zásobovací služby, jako je poskytování potravin, pitné vody, přírodních léků a léčiv, dřeva a vláken, genetických zdrojů; regulační služby, které regulují složení ovzduší, podnebí, záplavy, odstraňování odpadů, erozi, jakost vody, šíření chorob, vyrovnávání narušení ekosystémů a omezování přírodních pohrom; podpůrné služby, ke kterým patří fotosyntéza, tvorba půdy a oběh živin, primární produkce; a kulturní služby, z nichž plynou rekreační, estetické a duchovní přínosy (Reid, 2005).

Tyto služby pro nás jsou důležité už jen z toho důvodu, že se jedná o různé samočistící a samoobnovující se procesy v ekosystémech. V důsledku lidské činnosti se do prostředí (půdy, vody, vzduchu) vypouští velké množství škodlivých látek, které mají velký negativní dopad na lidské zdraví (teratogenní, mutagenní, karcinogenní účinky) a také negativní vliv na přirozené procesy v přírodě. Jen bez schopností jaké mají např. stromy, by byla situace velmi vážná. Bez stromů, které snižují obsah oxidu uhličitého v atmosféře, by globální klimatická změna postupovala rychleji. Také bez jejich schopnosti nachytávat na sebe vzdušný aerosol, by bylo více lidí trpících nemocemi dýchacího ústrojí. Zvětšila by se půdní eroze a snížila schopnost půdy zachytávat vodu. Ekosystémové služby lze uměle nahradit pouze částečně a nebo vůbec. Z toho plyne, že jsou pro nás ekosystémové služby naprosto důležité a nepostradatelné. Udrží existenci lidské populace na Zemi, a proto je důležité obnovovat poškozené ekosystémy a jejich funkce. Ekosystémové funkce se nejlépe obnoví samovolně spontánní sukcesí.

2.2 Sukcese

2.2.1 Definice a popis

Obecná definice popisuje sukcesí jako nesezónní, směřovaný a spojitý proces kolonizace a zániku populací jednotlivých druhů v určitém místě. (Begon et al., 1997) Celková strategie směřuje k tomu, aby bylo dosaženo co největší a nejrozmanitější organické skladby, jak je jen možné v mezích daných vstupem využitelné energie a převládajícími abiotickými podmínkami. (Odum, 1977) Huston (1987) sukcesí zmiňuje jako sekvenci změn dominantních druhů ve společenstvu, přičemž jednou dominantní druh se už v průběhu času nemůže znovu stát dominantním, jen kdyby nějaká disturbance vrátila společenstvo do dřívějšího stádia sukcese.

Celý sled společenstev, které se v daném prostoru navzájem nahrazují, se nazývá sukcesní řada. Sukcese vrcholí ustáleným ekosystémem (klimaxem), v němž se na jednotku dosažitelného toku energie uchovává nejvíce biomasy a nejvíce symbiotických vztahů mezi organismy. (Odum, 1977)

Sukcesí dělíme na primární a sekundární. Primární sukcese se vyskytuje na nově vzniklých substrátech, které neobsahují žádnou půdní semennou banku ani organický materiál vytvořený předchozí vegetací. Tento stav vznikne po těžkých disturbancích, které odstraní veškerou vegetaci a také z velké části nebo úplně odstraní půdní organickou hmotu a organismy v ní obsažené. K těmto disturbancím se řadí: vulkanické erupce, glaciální zalednění, sesuvy půdy, těžba, záplavy a formování pobřežních dun. (Chapin et al., 2011; Glenn-Lewin, 1992)

Sekundární sukcese se objevuje na půdách, kde se už v minulosti vyskytovala nějaká vegetace. Disturbance, která se zde objeví, není tak těžká, aby odstranila veškerou vegetaci i půdní semennou banku. Jedná se o: požáry, těžbu dřeva, hurikány a zemědělskou orbu. (Chapin et al., 2011)

Sukcesí lze také rozdělit na autogenní a alogenní. Autogenní znamená, že se vegetace mění vnitřními procesy v ekosystému. Naopak při sukcesí autogenní počítáme s vnějšími vlivy. Příkladem je vegetace, která reaguje na globální změnu klimatu. (Glenn-Lewin, 1992)

2.2.2 Mechanismy

Pickett a McDonnell (1989) se domnívali, že složení druhů během sukcese je způsobeno dostupností plochy, dostupností druhů a jejich rozdílným chováním. První faktor je zcela zřejmý, pokud je nějaká plocha hustě zarostlá vegetací, její porost už neumožňuje uchycení jiných druhů. Pokud se tedy nějaká plocha v ekosystému stane dostupnou tj. je z ní odstraněna stávající vegetace a s tím spojená konkurence druhů, mohou ji začít osidlovat nové druhy, ale také druhy,

kteře se tam už dřívě vyskytovaly. Dostupnost druhů je dána tím, jaké druhy se vyskytují v okolí plochy, jak se tyto druhy rozmnožují (semeny nebo vegetativně) a jak rychle se semena dokážou na plochu dostat. Jestli po odstranění stávající vegetace zůstaly v půdě semena, jsou pro plochu dostupné i tyto druhy. Pokud je přesun semen nových druhů pomalejší než těch druhů, které se na ploše vyskytovaly předtím, bude složení vegetace skoro stejné jako před jejím odstraněním.

Třetím faktorem ovlivňujícím složení vegetace během sukcese je rozdílné chování jednotlivých rostlinných druhů. Jedná se o facilitaci (usnadnění), toleranci a inhibici (zamezení) či také konkurenci (Pickett a McDonnell, 1989). Obecně probíhá výměna složení vegetace takto: od nejjednodušších druhů po druhy nejsložitější a nejodolnější (byliny – keře – stromy). Další příčina výměny může být činnost patogenů a různých živočichů, která odstraní některé náchylné druhy vegetace a umožní tak uchycení jejich odolnějších nástupců (Chapin et al., 2011).

První mechanismus, facilitace, vyvolává změnu abiotických podmínek prostředí. Tyto změny prostředí vyvolávají raně sukcesní druhy a vytváří tak příhodné podmínky pro pozdější sukcesní druhy. Druhy, které změnu vyvolají, už se na daném místě samy nemohou vyskytovat a vymizí. Nahradí je jiné, které jsou přizpůsobené na tyto nové podmínky (Odum, 1977).

Některé populace mění podmínky tak, že do půdy poutají atmosférický dusík, mění pH půdy, akumulují vodu nebo mění chemické složení prostředí (Begon et al., 1997). Existují druhy, které vytvářejí nejenom vhodné podmínky pro jiné druhy, ale zároveň i nevhodné podmínky pro samy sebe. Např. jednoleté plevely na úhoru vytvářejí antibiotika, která se hromadí v půdě a zabraňují klíčení vlastních semen (Odum, 1977).

Při mechanismu tolerance volný prostor kolonizují raně sukcesní druhy i druhy, které je později vytlačí (Connell et al., 1977). Model tolerance předpokládá, že předvídatelný sled se vytváří proto, že různé druhy mají různé strategie využívání zdrojů. Jinak řečeno, jsou různě odolné na nedostatek světla, vody a živin.

Pro počátek sukcese je charakteristický málo úživný substrát bez jakékoliv vegetace. Proto první semenáče rostlin naleznou na stanovišti dostatek světla (nemá jim co stínit), ale málo živin. Toto prostředí láká zejména rostlinné druhy, které do půdy fixují vzdušný dusík. Díky nim se postupem času množství živin zvýší. Je to zapříčiněno nejen fixací vzdušného dusíku do půdy, ale i rozkladem odumřelých rostlin (vznik organické hmoty). Dusík fixující rostliny už tu nemají příznivé podmínky a jsou vystřídány druhy, které ke svému růstu potřebují dostatek živin.

V průběhu sukcese se postupně zvyšuje celková rostlinná biomasa i výška rostlin, a proto klesá množství světla, které pronikne na půdní povrch. Rostliny mezi sebou začnou soutěžit o světlo a při tom je pro ně důležitá hlavně jejich výška a plocha listů. Nejefektivněji proto světlo mohou využívat vysoké rostliny se schopností tvořit koruny (stromy). Proč o sluneční záření probíhá takový boj? Světlo je důležité nejen pro fotosyntézu, ale i pro uchycení rostlin. Semena

pozděně sukcesních druhů vyklíčí i bez světla, ale semena pionýrských rostlin pod zápojem korun klíčit nemohou. Pozdější druhy lépe snášejí stín a jsou schopny růst i při nízké intenzitě světla. Rostou sice pomalu, ale přece jen rychleji než by rostly druhy, které nahradily (Begon et al., 1997; Huston et al., 1987). V pozdějších stádiích sukcese proto převažuje počet stromů nad nízkými bylinami.

Při inhibici raně sukcesní druhy zamezí uchycení pozdějších druhů. Ke změně druhů dojde až po disturbanci, která způsobí vymření pionýrské populace. Většinou se jedná o extrémní fyzikální podmínky nebo činnost predátorů (Begon et al., 1997).

2.2.3 Změny v průběhu sukcese

V této kapitole bych chtěla demonstrovat, jak se zničený ekosystém postupně vrací do původního stavu. Děje se tak změnami, které probíhají v průběhu sukcese. Na začátku sukcese je všechno jednoduché (potravní řetězce, vztahy mezi organismy, ekosystémové funkce atd.). Později se však tyto vlastnosti vyvíjejí do složitější podoby, v jaké byly, než je zničila disturbance.

2.2.3.1 Potravní řetězce

Potravními řetězci dochází v ekosystému k přesunu energie ve formě potravy. Obecně existují dva základní typy potravních řetězců, a to řetězec pastevně kořistnický a řetězec detritový. Pastevně kořistnický řetězec se vyskytuje u nevyzrálých stádií sukcese, kde ve vegetaci převládají hlavně byliny. Příkladem z přírody může být např. louka, kde se pravidelným kosením záměrně udržuje časné stádium sukcese (bez stromů a keřů). Naopak detritový řetězec se vyskytuje u vyzrálých (klimaxových) stádií. V těchto klimaxových stádiích převažuje výskyt stromů a keřů (lesy) (Odum, 1977).

Při návratu ekosystému do vyzrálého (klimaxového) stádia během sukcese dochází k vývoji potravního řetězce, tzn. návrat k detritovému potravnímu řetězci.

U velmi časných stádií sukcese je způsob, jakým jsou organismy navzájem spjaty, jednoduchý a přímočarý. Tok energie probíhá formou pastevně kořistnického řetězce, který začíná u zelených rostlin (převážně bylin) a postupuje přes býložravce (konzumenti 1. řádu) k masožravcům (konzumenti 2. řádu). Ne všechna potrava, kterou spotřebují spásající konzumenti, je opravdu asimilována, odvádí se proto její část (ve formě výkalů) do detritového řetězce (Odum, 1977).

Pozdější stádium sukcese už nejsou býložravcům tolik nakloněna, a to proto, že nadměrné spásání biomasy představuje pro ekosystém nebezpečí. Vegetace se proto začne bránit a v rostlinách se začnou vyvíjet obranné mechanismy, jako je tvorba nestrávitelné celulózy a ligninu (začnou se vyvíjet keře a stromy). To zabrání býložravcům zničení veškeré vegetace a

jejich velkému přemnožení. Dále také dochází ke zvýšenému tlaku dravců na býložravce, který také zabraňuje přemnožení býložravců (Odum, 1977). Po tom, co došlo k takovéto změně ve vegetačním složení, musí zákonitě dojít i ke změně potravního řetězce. Ten je mnohem složitější a rozvětvenější.

U vyzářlých stádií převládá detritový potravní řetězec, ale stále se zde v malé míře vyskytuje i řetězec pastevně kořistnický (detritový 90%, pastevně kořistnický 10%). Asi pětina biomasy je tedy spásána býložravci a zbývající část je po odumření rozložena na detrit (Wall et al., 2012). Detritový řetězec vede od mrtvé ústrojné hmoty (mrtvá těla rostlin a živočichů) přes bakterie, houby, řasy a větší bezobratlé živočichy, kteří hmotu rozloží. A odtud potom k organismům živícím se detritem a jejich predátorům (Odum, 1977). Složení mikroorganismů (detritovorů) se v průběhu času mění. Prvními druhy jsou mikroby, které kolonizují tkáň žijících rostlin (parazitické houby a bakterie). Později se objeví bakterie poutající dusík a saprotrofní houby. Rané druhy hub (Ascomycota a Zygomycota) rozkládají detrit a využívají z něj rozpuštěný uhlík v podobě sacharidů a celulózy. Vyspělejší druhy hub (Basidiomycota) v pozdějších stádiích sukcese naopak využívají uhlík, který je složitěji vázaný v ligninu, chitinu a taninu. Mohou tak rozkládat i hůře rozložitelný opad pocházející z pozdně sukcesních rostlin (stromů). Mikrobiální činnost tedy zlepší kvalitu opadu a umožní uchycení dalších druhů živočichů. Jedná se hlavně o jedince z třídy Isopoda (stejnonožci), Diplopoda (mnohonožky) a žížaly (Wall et al., 2012).

2.2.3.2 Diverzita

Mnoho vědců věří, že se diverzita v průběhu sukcese zvyšuje. Podle různých studií to ale není tak jednoznačné. Diverzita se skládá ze dvou komponentů: z druhové pestrosti a druhové vyrovnanosti (Wilsey et al., 2000). Každá složka diverzity se v průběhu sukcese chová jinak. Už Odum (1977) mínil, že druhová pestrost má sklon vzrůstat v průběhu časných stádií vývoje společenstva. Ale jak se ale chová vyrovnanost, bylo zatím málo známé. Později McIntosh (1980) tvrdil, že v raném stádiu sukcese je diverzita nízká, v přechodném stádiu se zvýší a v klimaxu je opět nízká. Měl částečně pravdu, protože tento jev se dá pozorovat v prériích v Oklahomě. Diverzita v klimaxu tam klesne o polovinu (Barbour et al., 1987). V lesním ekosystému může diverzita vrcholit v raném stádiu, v přechodném stádiu nebo i vzácně v klimaxu. Podle mého názoru je to dáno tím, kde se daný ekosystém nachází a jaké tam jsou fyzikální a chemické podmínky.

2.2.3.3 Selekční tlak

Druhy s velmi rychlým rozmnožováním a růstem mají mnohem větší pravděpodobnost přežít v počátečních, nepřeplněných stádiích sukcese. Živiny jsou v této části sukcese snadno

dostupné (extrabiotické) a rostliny je vážou v neústrojné oblasti (Odum, 1977). Tyto rostliny produkují kvalitní opad a jsou to nejčastěji byliny (Walker et al., 2007).

Naopak v pozdějších stádiích sukcese jsou živiny vázány do biomasy a stávají se intrabiotickými. Selekcí tlak zvýhodňuje druhy s pomalejším růstem a lepšími schopnostmi přežít ve větší konkurenci druhů. Větší organismy mají lepší možnost uskladňovat živiny a jsou lépe přizpůsobeny k využívání sezónních nebo občasných přísunů živin a jiných zdrojů (Odum, 1977). Jedná se převážně o dřevité rostliny, které produkují málo kvalitní opad (Walker et al., 2007).

2.2.3.4 Biomasa

Jak se biomasa během sukcese akumuluje, je předmětem mnoha diskuzí. Odum (1977) tvrdí, že množství biomasy, udržované dostupným tokem energie, vzrůstá k maximu v klimaxovém stádiu. Z toho ale příliš nepoznáme. Colinvaux (1993) naopak tvrdí, že množství biomasy rapidně roste v raném stádiu sukcese a vrcholí v přechodném stádiu. V klimaxovém stádiu o něco klesne. Podobný trend nacházíme u regulace koloběhu živin. Když se biomasa akumuluje, živiny přechází z minerální formy do organické vrstvy půdy.

2.2.4 Retrogrese

Retrogrese je přirozený stav, který se dostavuje v určité fázi sukcese. Objeví se tehdy, když z ekosystému zmizí dostupné živiny. Zmizení živin je způsobeno dlouhodobou změnou ve fyzickém prostředí (např. vyplavení živin v důsledku zvýšení hladiny podzemní vody). Každý ekosystém má různý obsah živin a také na něj působí různé faktory, které způsobí jejich ztrátu. To znamená, že se v různých ekosystémech retrogrese objeví v různou dobu. Může se objevit v jakoukoliv dobu trvání sukcese, jak v klimaxu tak už i v raných stádiích.

Při retrogresi dochází k zastavení vývoje ekosystému a k vrácení sukcese do dřívějšího (jednoduššího) stádia, které je charakterizováno nižší diverzitou, nižší produktivitou a menším objemem biomasy (Glenn-Lewin, 1992).

2.2.4.1 Esenciální biogenní prvky

Aby organismus mohl v dané situaci existovat a žít, potřebuje látky nezbytné pro růst a rozmnožování. K minerálním zdrojům, které rostliny musí získávat z půdy, patří hlavní živiny – N, P, S, K, Ca, Mg, Fe a řada stopových prvků – Mn, Zn, Cu a další. Pro růst rostlin je v půdě nejvíce limitující obsah uhlíku, dusíku a fosforu a jejich nedostatek přímo ovlivňuje (snižuje) produktivitu ekosystému (Odum, 1977; Begon et al., 1997).

2.2.4.2 Vstupy a výstupy živin v ekosystému

Zdrojem uhlíku je atmosférický oxid uhličitý. Balance uhlíku v ekosystému je v průběhu roku relativně vyrovnaná. Při respiraci rostlin se do atmosféry uvolní přibližně stejné množství, které do společenstva přivádí fotosyntéza (Begon et al., 1997).

Dusík získává společenstvo ze vzdušného plynného dusíku. Na začátku primární sukcese je v půdě navázáno malé množství dusíku a velké množství fosforu (viz níže), což vede k invazi rostlin, které do půdy fixují vzdušný dusík pomocí hlízkových bakterií na svých kořenech. Vzdušný dusík však fixují i některé volně žijící bakterie a sinice, díky nimž se obsah dusíku v půdě zvýší. Takto navázané ionty dusíku rozpuštěné ve vodě jsou přijaty rostlinami. Při rozkladu uhynulých těl rostlin se uvolňuje amoniak, který je oxidován nitrifikačními bakteriemi na dusičnany. Velká ztráta dusíku může nastat při požáru vegetace nebo při těžbě dřeva. I když se stane, že je v půdě málo dusíku, nemusí nutně dojít k retrogresi. Obsah dusíku v půdě se opět zvýší s pomocí toho vzdušného. Nejvíce limitujícím faktorem je tedy obsah fosforu (Glenn-Lewin et al., 1992). Dospěje-li společenstvo do klimaxu, může se stát, že je v něm obsaženo málo dusičnanů. Klimaxová vegetace přímo inhibuje nitrifikaci látkami, které produkuje do prostředí. Mohou to být různé toxiny, které znemožňují růst nitrifikačních bakterií a dusík-fixujících bakterií (Rice, 1972).

Základním zdrojem fosforu v půdě je zvětrávání mateční horniny bohaté na minerály obsahující fosfor (apatit, mosazit, pyromorfit a další). Při primární sukcesí je rostlina v kontaktu s mateční horninou na začátku pedogeneze, kdy ještě není vytvořena půda. V této době se rostlině dostává dostatek fosforu a ekosystém má vysokou primární produkci. Po tom, co se nad mateční horninou vytvoří vrstva půdy, kořeny rostlin už nedosáhnou k mateční hornině. Rostliny musí začít využívat jen ten fosfor, který koluje mezi nimi a půdou. Po rozpadu uhynulé rostliny se fosfor dostane do půdy, kde ho do sebe opět naváže jiná rostlina a tak se celý cyklus opakuje. Postupem času se však z tohoto koloběhu část fosforu vyplaví vodou (Begon et al., 1997) a část se naváže na minerály, které rostlina nedokáže přijmout. Délka procesu ztráty fosforu z ekosystému závisí na tom, kolik fosforu obsahovala mateční hornina, jaký je v daném místě charakter klimatu a jak velkou má půda absorpční kapacitu pro fosfor. Po vyčerpání fosforu z ekosystému dojde k retrogresi (Glenn-Lewin et al., 1992).

2.2.4.3 Definice a popis

Retrogrese je charakterizována jako dlouhodobý pokles ekosystémové produktivity (produkce biomasy). Tyto změny jsou způsobené dlouhotrvajícím snížením dostupnosti živin v ekosystému. Mají za následek změnu složení nadzemního i podzemního společenstva. Stávající druhy jsou nahrazeny druhy, které jsou přizpůsobené na nízký přísun živin (Peltzer et al., 2010).

Pokud nastane pouze krátkodobý pokles přísunu živin, vyvolaný nějakou disturbancí, nejedná se o retrogresi, ale o sekundární sukcesí. Příkladem takové disturbance může být požár. Za dobu trvání sekundární sukcese (desítky až stovky let) se vytvoří pouze jedna nebo pár generací dominantních druhů, ale za dobu retrogrese (až tisíce let) se jich vytvoří mnoho (Peltzer et al., 2010). Jestli se ekosystém po disturbanci obnoví nebo ne, závisí hlavně na jeho stáří. Obecně se mladé ekosystémy obnoví dobře, staré pouze částečně nebo dojde k úplnému kolapsu (Walker et al., 2007).

Retrogrese může být zastavena disturbancí, která stávající vegetaci úplně odstraní a sukcese začne od začátku. K takovým disturbancím patří zalednění, vulkanická činnost nebo sesuvy půdy. Další možnost zastavení retrogrese je přidání živin do systému z atmosféry (C, N), dotace příslušných živin nebo změna v požárovém režimu (Peltzer et al., 2010).

2.3 Průběh sukcese a rekultivačních zásahů v obnově ekosystémů

Při obnově ekosystémů mohou být použity tři odlišné postupy. Jedná se o spontánní sukcesí, řízenou sukcesí a o technické rekultivace. Každý z těchto postupů reprezentuje odlišný přístup k intenzitě zásahů do ekosystému během obnovy a k následnému managementu.

Spontánní sukcese představuje samovolnou obnovu ekosystému bez jakýchkoliv zásahů během obnovy. Jedná se o nejjednodušší a nejlevnější způsob. Vzniklý ekosystém bude obsahovat převážně původní rostlinné a živočišné druhy, které se sem samy přesunou z okolí. Ty, které se samy přesunout nedokážou tzn. rozmnožují se vegetativně, nebudou v ekosystému obsaženy.

Opačným protipólem jsou technické rekultivace, které se vyznačují maximálním zásahem na začátku obnovy. Ekosystém obsahuje často nepůvodní a uměle vysazené druhy, které díky kompetici později brání uchycení lokálních druhů z okolí.

Třetím způsobem obnovy je řízená sukcese. Při ní jsou zásahy do ekosystému prováděny jen tehdy, když je to nutné a žádoucí pro větší biodiverzitu systému. Díky tomuto faktu se v ekosystému mohou vyskytnout i ty druhy, které se samy nedokáží přemístit z okolí, a proto jsou uměle vysazeny nebo vysety. Jsou také odstraňovány nežádoucí náletové druhy, které by se mohly v budoucnosti rychle rozšířit a vytlačit druhy původní (Walker et al., 2007).

2.3.1 Technické rekultivace

Na většině plochy výsypek se upřednostňují technické rekultivace. Je tomu tak i přesto, že jsou rekultivace mnohonásobně nákladnější než ponechání plochy spontánní sukcesí. Argumentem pro upřednostňování technických rekultivací je, že se tím urychlí zarostení výsypek

vegetací. Ale už se při nich příliš neřeší složení vegetace, která na výsypkách vznikne. Proč je tedy důležitá rychlost? Hlavním důvodem se zdá být především důvod psychologicko-estetický, kdy obyvatelé žijící v blízkosti pozitivně snášejí, když se jejich okolní krajina rychleji obnoví a nevykazuje známky disturbované plochy. Na základě zjištění však víme, že pro návrat přírody do obnoveného stavu je časový faktor přibližně totožný se spontánní sukcesí, tj. časové hledisko nemůže být hlavním argumentem pro rekultivační zásah (Prach, 2009). Společnost také požaduje, aby těžbařská firma odčinila (zrekultivovala) to co napáchala a nenechala plochu jen tak bez zásahu.

Důvodem k upřednostňování rekultivací je i zákon č. 334/92 Sb. Ten udává povinnost území po ukončení těžby obnovit (zrekultivovat) s cílem navrátit jej do původního stavu. Jedná se však o zákon o ochraně zemědělského půdního fondu, který nařizuje neodkladné provedení takových terénních úprav, které plochu připraví na předepsané rekultivace (lesnické, zemědělské a hydričké). Jedná se o zarovnání všech nerovností povrchu a skrývku půdy (Vráblíková et al., 2008). Práce související se sanacemi a rekultivacemi území po těžbě jsou spjaty především s báňskými, hydrogeologickými a geomechanickými znalostmi. Ty jsou důležité především pro řešení problémů, které vznikají v průběhu těžby, jako jsou, nestabilita svahů a dna lomu a nebezpečí průsaků důlních vod. Podmínky pro technické rekultivace se budují už v průběhu těžby a jsou součástí řešení Plánu otvírky, přípravy a dobývání (POPD) každého lomu. (Kryl et al., 2002)

Největším problémem je však to, že i kdyby těžbařské firmy nechaly plochu samovolně obnovit, nikdo by si ji od nich nekoupil. Stát nemá dostatek finančních prostředků na to, aby skupoval takovéto plochy a později na nich případně vyhlášoval chráněná území. Navíc, i kdyby si firmy tyto plochy chtěly ponechat, zákon jim to nedovoluje. Přirozená obnova je tedy proces, který není zcela metodicky a legislativně vyřešen. Proto se na těchto plochách pomocí rekultivací vytváří lesní porosty nebo zemědělská půda. Je u nich mnohem větší pravděpodobnost, že je někdo odkoupí.

Postup lesnických rekultivací je následující: Po skončení těžby se nechá substrát asi 8 let sesednout (i méně), potom je terén upraven na sklon 5° a následně se na něj naveze organický materiál (štěpka, orná půda, drcená kůra). To způsobí velký počáteční vstup živin do ekosystému a následné nežádoucí uchycení a množení konkurenčně silných expanzních a invazních druhů. Na výsypku jsou nakonec vysázeny stromky do řad. Jedná se často o stromy, které jsou nevhodné pro danou oblast (smrkové monokultury) nebo jsou pro danou oblast nepůvodní. Vznikají tak převážně málo rozmanité lesy s nízkou biodiverzitou (Prach, 2009).

K dalším preferovaným obnovám patří rekultivace zemědělské, hydričké (menší vodohospodářská díla a větší vodní plochy pro příměstskou rekreaci) a dále ostatní rekultivace,

jejichž cílem je vytváření rekreační zeleně (parky), začleňování sportovních ploch do krajiny a příprava plochy pro komerční využití (Vráblíková et al., 2008). Podle mého názoru se nejedná o obnovu, která by zvyšovala biodiverzitu prostředí, i když se provádí na plochách, které k tomu mají vysoké předpoklady. Parky a sportovní plochy by mohly (a měly) vznikat někde jinde. Stejně tak i další lesní monokultury a zemědělské plochy, kterých je už dostatek.

Už se nebere takový ohled na to, jak by příroda nejlépe fungovala, ale na to jak má vizuálně vypadat a jaké pro nás může mít ekonomické zisky. Jak tedy lidé chtějí, aby krajina vypadala? Podle Vráblíkové (2008) by měla být zdravotně a hygienicky nezávadná, esteticky a rekreačně působivá a efektivně produktivní.

Dále Vráblíková (2008) pro využívání rekultivací argumentuje tím, že holé výsypky jsou extrémní, nestabilní a neproduktivní stanoviště. Sluneční záření dopadající na suchou půdu výsypek se mění převážně v teplo a oblast se přehřívá. Naopak v noci dochází k velkému výkyvu teplot podobně jako na poušti, protože holá půda teplo vzniklé přes den neudrží (nevede teplo). Je proto podle ní vhodné výsypky co nejdříve rekultivovat. Stejného výsledku ale dosáhneme ponecháním plochy spontánní sukcesi. Navíc docílíme i dalších výhod, kterými se budu zabývat v následující části práce.

Rekultivace však nejsou jen negativní, jsou vhodné například tam, kde hrozí eroze (strmé okraje), kontaminace (vyluhování toxických látek z výsypek), v těsném sousedství sídel nebo komunikací a u rekreačních využití (Prach, 2009).

Pokud by se však v budoucnu vyřešil legislativní problém s obnovou ploch, měla by se začít více upřednostňovat sukcese.

2.3.2 Spontánní a řízená sukcese

Až 95% plochy většiny výsypek má dobrý potenciál k tomu, aby se obnovily samovolně. Z tohoto potenciálu se ale v současné době využívá jen zanedbatelné množství, a to proto, že samovolné zarůstání plochy trvá déle než technické rekultivace. To ale není tak úplně pravda. Víceméně souvislý vegetační kryt se vytvoří v průměru do 15. roku sukcese. Před rekultivacemi se půda musí nechat sesednout, takže doba trvání je nakonec srovnatelná se sukcesí.

Další výhodou je, že na nerekultivovaných plochách nedochází k počátečnímu dodání živin v podobě organické hmoty. Na takto chudých půdách se daří převážně konkurenčně slabým druhům rostlin, mezi které patří i chráněné druhy (Prach, 2009).

Při sukcesí nedochází k počátečnímu zarovnání terénu těžkou technikou. Díky tomu se nezničí heterogenita terénu vzniklá v průběhu těžby. Prohlubně se zatopí vodou a na svazích výsypek probíhá eroze, která zabraňuje uchycení vegetace. Tato místa se stávají útočištěm ohrožených druhů živočichů, jejichž přirozená stanoviště z kulturně využívané krajiny mizí.

Takováto místa s řídkým vegetačním krytem mohou vzniknout i cíleně tzv. řízenou sukcesí. Sukcese se na některých místech opakovaně vrací do raného stádia sukcese pomocí technických postupů (Prach, 2009).

Řízená sukcese se používá i tehdy, když spontánní sukcese nemůže samovolně začít. Taková situace nastává hlavně při těžbě, po které zůstanou chemické a fyzikální bariéry v podobě extrémně kyselých, suchých, eutrofizovaných nebo naopak extrémně chudých substrátů. V těchto případech mohou být vhodná některá opatření (pohnojení, mulčování nebo vápnění), která pomohou semenáčům uchytit se (Prach, 2009). Výběr vhodné strategie ale není vůbec jednoduchý, protože existuje mnoho různých možností. Každá z nich může odlišně ovlivnit budoucí ekosystém. Jaký je tedy obecný postup?

2.3.2.1 Management

Walker (2007) ohledně obecného postupu obnovy míní následující: substráty vzniklé po těžbě většinou obsahují málo organické hmoty, málo živin a mají pH mezi 2 a 12, musí se jim dodat hnojivo a organická hmota v podobě biologického nebo průmyslového odpadu (odpad z papíren, kal z čistíren odpadních vod). Při této činnosti se musí postupovat velice obezřetně a opatrně, aby se do ekosystému dostalo jen přiměřené množství živin. Velké množství živin má negativní vliv na složení vegetace, jak už bylo popsáno u rekultivací. Problémy tedy mohou být v chemismu půdy (toxicita, trofie), v heterogenitě území, v utužení půdy a v migračních bariérách. Některé z nich jdou vyřešit s pomocí dnešní technologie těžby docela jednoduše. Příklad, kdy na povrchu těžební plochy vznikne půda s problematickými vlastnostmi, se řeší tak, že se tato vrstva zatěží pod další neproblematické vrstvy půdy.

Velké množství živin (eutrofizace)

V počáteční fázi obnovy plochy po těžbě by nemělo dojít k dodání živin do půdy ani k převrstvení stávající půdy nějakým úrodným substrátem (ornicí). Důvod je následující: živiny jdou do ekosystému snadno dodat, ale velice těžce se z něj odebírají (Walker et al., 2007).

Problematiku náročnosti odebírání živin z ekosystému bych chtěla popsat na následujícím příkladu. Jedná se o obnovu zemědělské půdy, na které dlouhodobě probíhalo hnojení (dusíkatá a fosforečná hnojiva). Množství živin v půdě je ještě zvýšeno díky suché a mokré atmosférické depozici, která vzniká hlavně kvůli spalování fosilních paliv a kvůli dopravě. Vznikají tak emise oxidů dusíku a oxidu siřičitého (NO_x a SO_2). Při suché atmosférické depozici jsou tyto plyny a aerosol unášeny větrem na velké vzdálenosti od zdroje znečištění, usazují se na vegetaci a následně jsou smyty srážkami (podkorunová depozice). Tento mechanismus se vyskytuje tam, kde je nějaká vegetace. Největší účinnosti dosahuje u jehličnatých lesů, protože jehlice mají větší specifický povrch než listy a může se na ně usadit více suché depozice. Při mokré atmosférické

depozici jsou vyprodukované plyny v atmosféře oxidovány na kyselinu dusičnou a kyselinu sírovou, které následně spadnou na zemský povrch v podobě srážek (Hruška a Kopáček, 2005).

Jestliže nechceme, aby se sukcese ubírala námi nechtěným směrem, tj. aby se na dané lokalitě rozmnožily invazní druhy rostlin a vytlačily všechny ostatní, musíme zavést vhodný management. Tím je odstranění vrchní vrstvy půdy (topsoil removal), hluboká orba, pravidelné kosení vyprodukované biomasy a její odvoz, vypalování, úhorování nebo odstraňování drnů (sod cutting). K dalším, méně účinným metodám, patří spásání biomasy zvířaty, při níž dochází k nežádoucímu vracení živin do ekosystému v podobě trusu. Ale ani dříve vyjmenované zásahy nejsou stoprocentní, a proto se v praxi používá jejich kombinace. Jejich účinnost často hatí atmosférická depozice, která neustále živiny do ekosystému vrací (Bakker, 2005).

Půdní pH (toxicita)

Podle půdního pH se dá často předpovědět složení vegetace, která vznikne v průběhu sukcese. Tohoto faktu se používá při řízené sukcesi, kdy se pomocí změny pH půdy dosáhne tížené cílové vegetace (Walker et al., 2007). V případě pH mohou nastat dva extrémy, a to extrémně nízké (kyselé pH) nebo naopak vysoké (zásadité pH).

Prvním problémem pro ekosystémy je tedy nízké pH, které vzniká v průběhu těžby. Dochází k tomu přidáním toxických látek během technologického postupu při těžbě rud nebo k uvolnění toxických látek při zvětrávání sulfidových rud (pyrit). Tyto rudy se dostanou v důsledku těžby na povrch, jsou vystaveny povětrnostním poměrům, a proto také rychleji zvětrávají. Vzniklá situace se může vyřešit přidáním velkého množství vápenatých hmot. Tento zásah má však jen dočasný účinek, jelikož zvětrávání stále pokračuje a okyseluje půdu. Proto se vrstva vápenatého materiálu (popílku, vápence) ještě překryje vrstvou jílu (Frouz, 2011). Okyselení půdy může problematizovat průběh sukcese i v pozdějších stádiích a to formou acidifikace. Ta je způsobena procesy v atmosféře, které probíhají neustále a po delší době se jejich účinky násobí. Acidifikace je proces, který má jak přírodní, tak i antropogenní příčiny. Kyseliny, které se dostávají do půdy mokrou atmosférickou depozicí, vyplavují z půdy prvky důležité pro rostliny. Jedná se o vápník (Ca), hořčík (Mg) a draslík (K). Také některé prvky, které se za normálních okolností v půdě vyskytují v neškodných formách, se působením kyselin změňí do toxické podoby. Nejčastějším případem je hliník (Al), který se rozpuštěním v kyselině měňí na velice toxický hlinitý kation (Al^{3+}). Ten způsobuje odumírání částí kořenů rostlin, které jsou potom neschopné přijímat vodu a živiny a dochází k celkovému oslabení nebo až k úhynu rostlin. Oslabená vegetace je náchylnější k poškození, které je způsobené větrem, mrazem, suchem nebo škůdci (Hruška a Kopáček, 2005). K dalším toxickým kovům, které se díky kyselému pH stávají mobilnějšími, patří olovo, kadmium a měď. K možnostem odstranění těchto

toxických prvků z kontaminovaných ploch se řadí fytořemediace. Jedná se o moderní biotechnologii, která využívá rostliny k fixaci a akumulaci toxických látek. Nadzemní části rostlin, které obsahují naakumulované kontaminanty, jsou následně bezpečně uloženy na skládkách nebo jsou dále chemicky, tepelně nebo mikrobiologicky zneškodňovány (Schier, 2006).

Druhým extrémem je vysoké půdní pH, při němž dochází k vyšší rozpustnosti Na solí. Přítomné soli zabraňují vegetaci přijímat některé živiny (P, Fe) a způsobí zpomalení růstu a poškození rostlin (chloróza, zakrnělost, vadnutí až odumírání semenáčků) (Šebánek, 1983).

Utuzení

Dalším problémem spojeným s navážením substrátu je utuzení půd kvůli pojezdům těžké techniky. Dochází k rozrušení půdní struktury a k limitaci růstu stromů. Ty prospívají mnohem lépe, když rostou přímo z nerekultivované hlušiny (Frouz, 2011). Navíc utužená půda je místem, kde dobře prospívají trávy a dochází až k jejich invazi. Což je výhodné jen v případě, že chceme vytvořit travinný typ společenstva. Znemožňuje to pozdější uchycení stromů (Frouz, 2014). Je tedy žádoucí snížit pojezdy těžké techniky na minimum, což je ale ve většině případech problematické.

Heterogenita

Heterogenita je další charakteristika prostředí přímo související s navážením substrátu. Pokud dojde k navršení půdy přes stávající hlušinu, zmenší se heterogenita terénu a tím i množství rozdílných stanovišť (prohlubně a vyvýšeniny), kde by se mohly vyskytovat různé rostlinné a živočišné druhy. Jakmile se tomu tak nestane, zvýší se nejen biodiverzita, ale i pravděpodobnost výskytu chráněných druhů (Prach, 2009).

Migrační bariéry

Migrační bariéry jsou překážky, které limitují rozšiřování rostlinných a živočišných druhů z okolí na nové stanoviště. Jedná se hlavně o pozemní komunikace (silnice a dálnice). Další migrační bariéry, které mohou mít vliv na rozšiřování druhů, jsou železnice, vodní toky a vodní plochy, ploty a ohradníky, osídlení a bezlesí. Mnoho živočichů, ale také rostlin, které jsou díky živočichům rozšiřovány, nemohou překonat tyto překážky a v nově vznikajícím ekosystému nejsou obsaženy. Pro vyvarování se tomuto problému je tedy dobré už v průběhu těžby a po jejím skončení nevytvářet neprostupné bariéry v podobě vysokorychlostních komunikací a jiných překážek nebo při jejich výstavbě řešit problém s migrací pomocí propustek, mostů, migračních nadchodů a podchodů (Anděl et al., 2010).

3. Faktory ovlivňující složení vegetačního krytu během sukcese

3.1 Metodika

V praktické části své práce se věnuji pokryvnosti vegetace a podmínkám prostředí, které ji vyvolávají. Pokryvnost je definována jako plocha povrchu země uvnitř kvadrátu, která je obsazena nadzemními částmi jednotlivých druhů při pohledu shora. Obvykle je stanovována vizuálně v procentech. Složitá stratifikovanost vegetace často způsobuje, že součet jednotlivých složek přesahuje 100% (Duchoslav, 1994). Ačkoli vím, že pokryvnost není při sukcesi vždy nejžádanější úkaz, vybrala jsem si ji z toho důvodu, že o tomto tématu nebylo dosud napsáno velké množství prací. Srovnávané lokality jsem vybírala tak, aby byly zastoupeny pokud možno všechny světadíly, kde se aktivně sukcese využívá. Ne ze všech lokalit jsou však dostupné odborné popisy z průběhu obnovy anebo neobsahují data, které jsem srovnávala. Srovnávaná data jsou z různých zemí Severní Ameriky, Evropy a Asie.

3.2 Charakteristika území

Severní Amerika

Alberta, Kanada

První lokalita se nachází v provincii Alberta v Kanadě. Vyskytují se zde tajgové lesy typické pro subpolární podnebný pás. Průměrné roční teploty dosahují 2°C a průměrná výška srážek je 680 mm.

Lokalita se skládá z 68 ploch disturbovaných těžbou uhlí, na kterých probíhá řízená sukcese. Půda je jílovitohlinitá a má pH rovno 7. Po ukončení těžby došlo k překrytí disturbované plochy půdou, dále zde byla vyseta směs bylin, ve které dominovali zástupci čeledí lipnicovitých a bobovitých. Plocha byla pohnojena a později byl vysazen omezený počet keřů a listnatých stromů typických pro danou oblast. Pouze pár oblastí bylo pohnojeno dvakrát, pokud byl problém s uchycením rostlin. Žádná oblast už nebyla hnojena po uplynutí pěti let od začátku sukcese (Strong, 2000).

New Brunswick, Québec, Manitoba, Alberta; Kanada

Další porovnávané lokality vznikly na místech, kde se v Kanadě těžila rašelina. Jedná se o 28 ploch v provinciích New Brunswick, Québec, Manitoba a Alberta. Provincie se nachází na hranici mírného a subpolárního podnebného pásu. Průměrné roční teploty a srážky jsou 4,7°C a

1115 mm v provincii New Brunswick, 3,2°C a 963 mm v provincii Québec, 2,6°C a 514 mm v provincii Manitoba a 2,4°C a 483 mm v provincii Alberta.

Plochy jsou rozdělené podle toho, jakým způsobem těžba rašeliny probíhala. Jednalo se o těžbu buldozerem (6 ploch), o těžbu vysušené rašeliny (5 ploch) anebo nevysušené rašeliny (17 ploch) pomocí vysávacího zařízení. Ve všech lokalitách je pH půdy rovno 4,7. Při těžbě byl zničen vodní režim území a to nejvíce při těžbě nevysušené rašeliny. Po skončení těžby byly plochy ponechány spontánní sukcesi (Graf et al., 2008).

Virginia, Spojené státy americké

Následujících 15 lokalit se nachází ve státě Virginia v USA. Průměrné roční srážky zde jsou 1238 mm a průměrná teplota 11,4°C.

Podloží, na kterém probíhá sukcese, je tvořeno pískovci a jílovitými břidlicemi. Půdní pH je rovno 4,5. Obnova v tomto regionu probíhá už od 60. let 20. století. Nejdříve probíhala tak, že se plochy nechaly spontánně zarůst vegetací. Jen na příkrých svazích byly vysety byliny a následně pohnojeny. Na začátku 70. let už byly rostliny vysety pomocí směsi, která se skládá ze semen, mulče (dřevěných vláken), vody a hnojiva. Od roku 1977 zde probíhají lesnické rekultivace (Holl a Cairns, 1994; Holl, 2002).

Texas, Spojené státy americké

Dalších 8 lokalit leží ve státě Texas v USA. Geograficky spadají do subtropického podnebného pásu s průměrnou roční teplotou 18°C a průměrnými srážkami 900 mm.

Vyskytuje se zde písčitohlinitá půda s hodnotou pH od 3 do 6. Plochy vznikly těžbou hnědého uhlí a kyselé pH půdy je proto způsobeno oxidací pyritu. Lokality byly po skončení těžby ponechány přirozené obnově a výzkum probíhající v této oblasti má sloužit k rozpoznání rostlinných druhů, které takovéto extrémní oblasti osidlují (Skousen et al., 1990).

Evropa

Německo

Výzkum probíhající v těžební oblasti Roßbach v Německu (spolková země Sasko-Anhaltsko) byl zaměřen na obnovu po těžbě hnědého uhlí. Obnova probíhala pomocí spontánní a řízené sukcese. Oblast se nachází v mírném podnebném pásu s průměrnými ročními srážkami 614 mm a teplotou 9°C.

Půda, na které sukcese probíhala, je charakterizovaná jako spraš a její pH je 7,5. Při řízené sukcesi byla vyseta regionální směs semen a byl aplikován mulč, aby se zabránilo erozi (Baasch et al., 2012).

Další obnovovanou lokalitou v Německu je Waltrop (spolková země Severní Porýní-Vestfálsko). Průměrná výška ročních srážek je 916 mm a průměrná roční teplota dosahuje hodnoty 9,5°C.

Půda v této oblasti byla klasifikována jako hlinitopísčité s hodnotou pH mezi 7,6 a 8,6. Na začátku obnovy zde byla vyseta regionální směs bylin. Byly vybrány takové druhy, které jsou schopné přežít v nehostinných podmínkách. Některé plochy byly pohnojeny (Jochimsen, 2001)

Španělsko

Následujících 26 zkoumaných lokalit se nachází v provincii Palencia ve Španělsku. Území se nachází na rozhraní mírného a subtropického podnebného pásu. Průměrná roční výška srážek je 980 mm a průměrná roční teplota dosahuje hodnoty 9°C.

Vyskytuje se zde jílovitohlinitá půda s hodnotou pH rovnou 6,6. První aktivitou, která proběhla na začátku obnovy, bylo překrytí plochy vrstvou půdy, která obsahovala jen omezenou půdní semennou banku. Následovalo vyšetření travinné vegetace (Alday et al., 2011).

Další lokalitou, kde probíhá obnova po těžbě uhlí ve Španělsku, je oblast v provincii Teruel. Území se nachází v subtropickém podnebném pásu. Podnebí je proto charakterizováno průměrnými ročními srážkami ve výšce 466 mm a průměrnou roční teplotou 12,5°C.

Podloží, které se zde vyskytuje, je určeno jako pískovce a jílovité břidlice s hodnotou pH od 5,5 do 8,7. Řízená obnova se aplikuje v posledních deseti letech, předtím probíhala spontánní sukcese (Moreno-de las Heras et al., 2008).

Česká republika

V České republice byl výzkum zaměřen na 15 lokalit nacházejících se v centrální, západní a jižní části země. Dále výzkum probíhal na 27 lokalitách blízko města Sokolov. Tato část Evropy se nachází v mírném podnebném pásu s průměrnou roční teplotou od 5,5 do 8,5°C a s průměrnou výškou srážek od 475 do 950 mm.

Obnova probíhala na velice různorodých substrátech s hodnotami pH od 4 do 7,9. Sledované lokality byly po skončení těžby ponechány spontánní sukcesí a výzkum probíhal na různě starých plochách (Prach et al., 2007; Hodačová a Prach, 2003; Frouz et al., 2008).

Asie

Japonsko

V Japonsku probíhal výzkum v opuštěném dole, kde se těžila síra. Lokalita se nachází v subtropickém podnebném pásu s průměrnou roční teplotou 5°C a s průměrnými ročními srážkami 1524 mm. Klima je zde ovlivňováno vysokou nadmořskou výškou 1600 m. n. m.

Hodnota půdního pH se zde rovná 4 a je způsobena oxidací sulfidů. Lokalita byla po skončení těžby ponechána spontánní sukcesi, která ale probíhá velice pomalu. Na podobných lokalitách došlo ve snaze urychlit uchycení vegetace k překrytí plochy sopečným popelem z blízké sopky. Tato aktivita se však neprokázala jako účinná a po vhodné úpravě prostředí se stále pátrá (Takeuchi a Shimano, 2009).

Čína

Provincie Shanxi na severu Číny je známá kvůli rozsáhlé těžbě uhlí. Výzkum se zaměřuje na plochy, které se vyhnuly technickým rekultivacím. Podnebí v této části země je ovlivněno hlavně monzuny. Průměrná roční teplota zde proto dosahuje hodnoty 10,9°C a průměrné roční srážky výšky 590 mm.

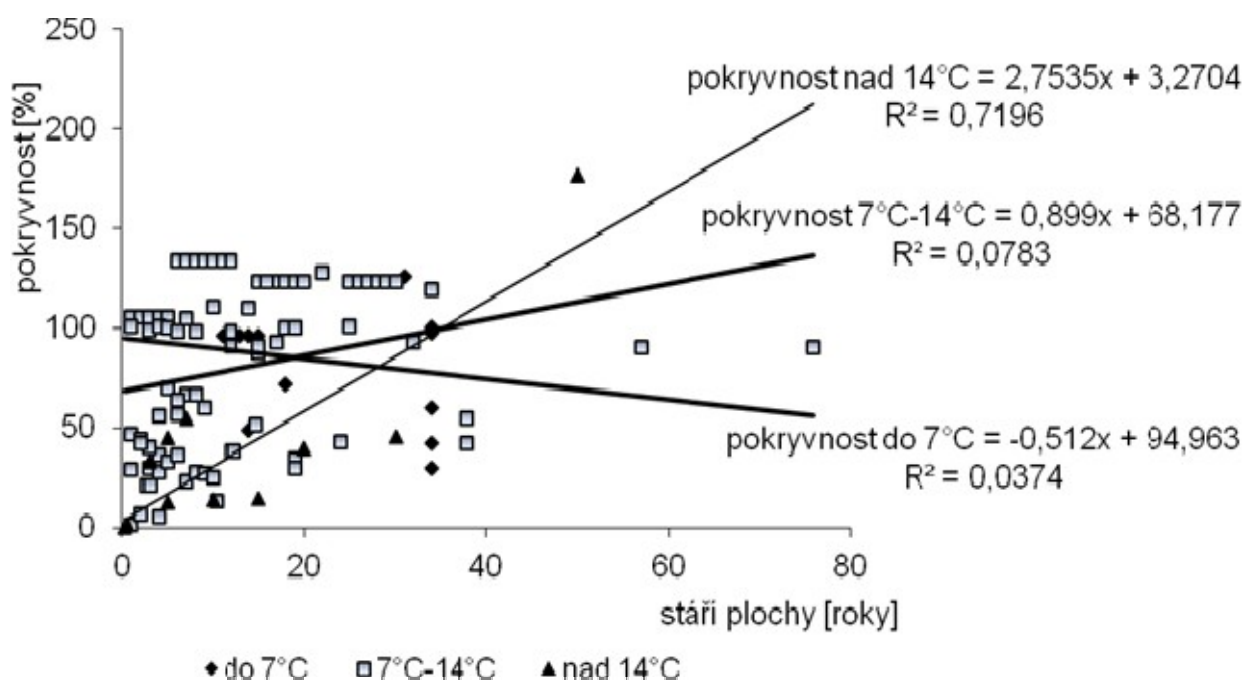
Substrátem, na kterém probíhá obnova, jsou pískovce a břidlice. Hodnota pH se pohybuje od 5,1 do 5,4. Výzkum byl prováděn na různých starých plochách. Sukcese zde probíhá po dobu více než 50 let (Li et al., 2008).

Další obnovované plochy se nachází v provincii Guangdong na jihu Číny. Obnova zde probíhá v lomu, kde se těžil stavební kámen. V oblasti převládá subtropické monzunové klima s průměrnou roční teplotou 21,9°C a s průměrnou roční výškou srážek 1650 mm.

Podloží je nezávětralé s velkým podílem žuly a pískovce. Sukcese zde probíhá teprve po dobu 7 let, ale už teď je hodnocena jako pomalá s omezeným množstvím vegetace. Půdy, které zde vznikají postupným zvětráváním, jsou kyselé a neúrodné (Yuan et al., 2006).

3.3 Výsledky a diskuze

3.3.1 Teplota



Obr. 1: Grafické znázornění závislosti změny pokryvnosti v čase pro jednotlivé kategorie vegetace seříděné podle průměrné roční teploty, rovnice trendu je statisticky významná pouze pro teplotu nad 14°C

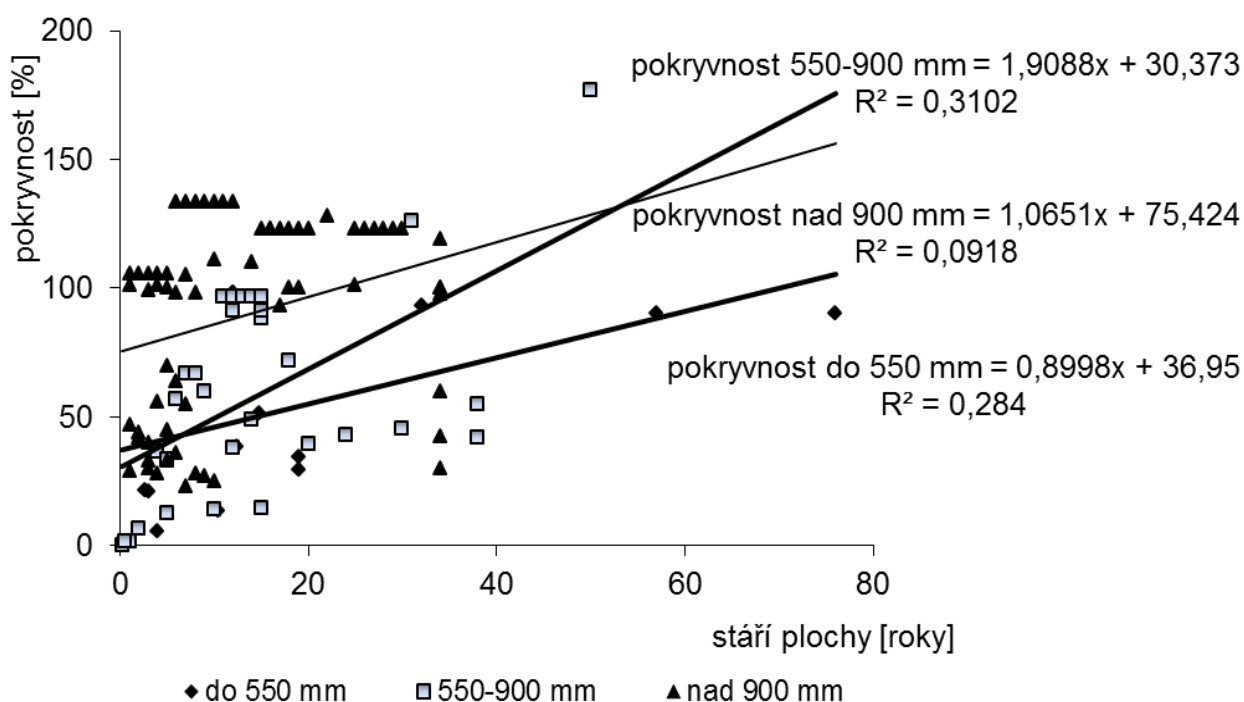
Tab. 1: Pokryvnost na začátku sukcese a dosažení 100% pokryvnosti v závislosti na teplotě; hodnoty jsou odhadnuté z obr. 1

Průměrná roční teplota	Pokryvnost na začátku sukcese	Dosažení 100% pokryvnosti
do 7°C	95%	-
7°C – 14°C	75%	40 let
nad 14°C	5%	35 let

Teplota je významným parametrem, který limituje růst vegetace. Každý rostlinný druh může mít různé nároky na výšku teploty a množství slunečního záření potřebného k růstu a dalším fyziologickým procesům. Já jsem sledovala vliv průměrné roční teploty v daných oblastech na vývoj celkové pokryvnosti vegetace v čase. Vzhledem k tomu, že jsem použila lineární regresi, je třeba si povšimnout nejen hodnot výseku na ose y, které udávají nárůst pokryvnosti v prvních letech sukcese, ale i sklonu přímky, který udává dlouhodobý vývoj (Obr. 1, Tab. 1). Podíváme-li se na nárůst vegetace na začátku sukcese daný výsekem na ose y,

zjistíme, že největší pokryvnost vykazovaly plochy s průměrnou roční teplotou do 7°C. Pokryvnost naopak klesá u ploch s průměrnou teplotou nad 7°C. Tento úkaz je pravděpodobně způsoben nedostatkem srážek v teplých oblastech, který limituje růst vegetace. Vzhledem k tomu, že u ploch s teplotou do 14°C došlo k zapojení vegetace hned na začátku, nejsou pozorovány žádné velké změny pokryvnosti v dalších stádiích sukcese. Nárůst pokryvnosti v čase je tedy pozorován pouze u ploch s průměrnou roční teplotou nad 14°C, kde lze podle očekávat dosažení 100% pokryvnosti zhruba u 40 let starých ploch.

3.3.2 Srážky



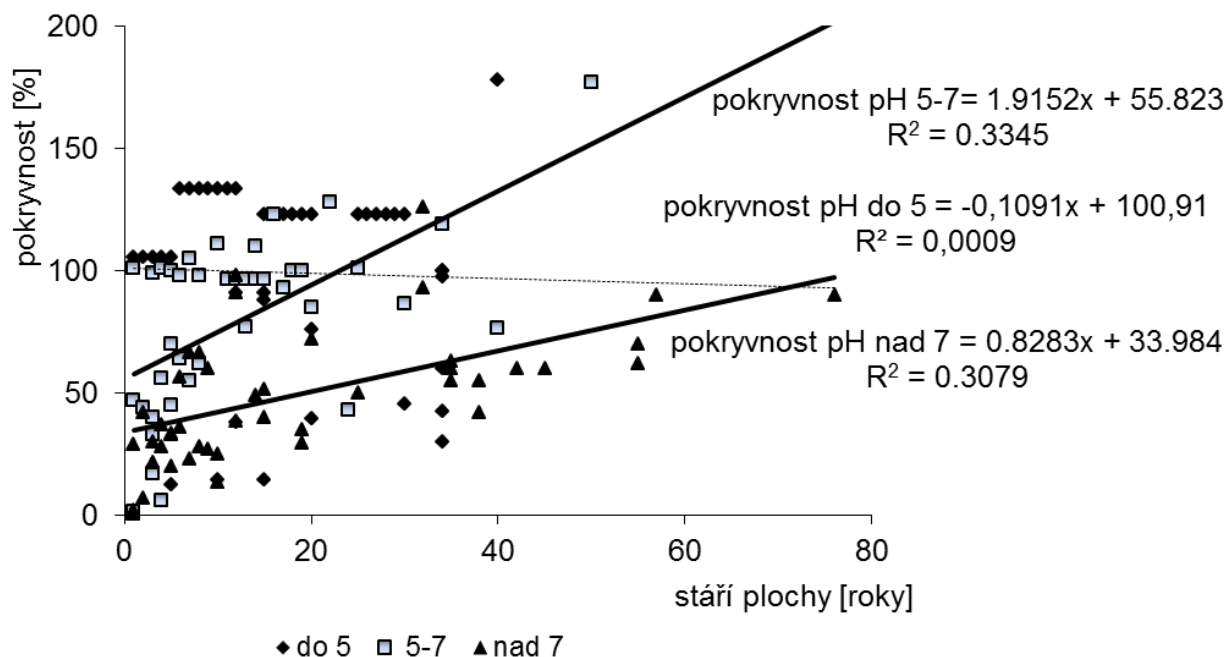
Obr. 2: Grafické znázornění závislosti změny pokryvnosti v čase pro jednotlivé kategorie vegetace seříděné podle průměrných ročních srážek, rovnice trendu je statisticky významná pouze pro výšku srážek do 550 mm a 550 – 900 mm

Tab. 2: Pokryvnost na začátku sukcese a dosažení 100% pokryvnosti v závislosti na srážkách; hodnoty jsou odhadnuté z obr. 2

Průměrné roční srážky	Pokryvnost na začátku sukcese	Dosažení 100% pokryvnosti
do 550 mm	40%	80 let
550 – 900 mm	35%	40 let
nad 900 mm	75%	30 let

Voda je důležitá pro všechny rostliny, protože spolu s ní do rostlin přichází živiny, které jsou důležité pro jejich růst. V některých oblastech může být dostatek vody, ale rostliny ji nedokáží dobře využívat kvůli špatným podmínkám prostředí. Těmito podmínkami myslím druh půdy, který se v dané lokalitě vyskytuje. Písčité půdy jsou snadno propustné pro vodu i vzduch, ale snadno vysychají a jsou z nich snadno vyplavovány živiny. Jílovité půdy jsou naopak málo propustné pro vodu i vzduch. Při pohledu na graf je patrné, že největších pokryvností v počáteční fázi sukcese dosahují plochy s průměrnými ročními srážkami nad 900 mm (Obr. 2, Tab. 2). Nižší pokryvnost na začátku sukcese vykazují plochy s průměrnými srážkami nižšími než 900 mm. U všech ploch však lze pozorovat stoupající pokryvnost v průběhu času. U ploch s průměrnými srážkami do 550 mm je však stoupající trend pravděpodobně limitován nedostatkem srážek a s tím spojeným suchem. Dosažení 100% pokryvnosti zde lze očekávat asi u 80 let starých ploch. Také u ploch s průměrnými srážkami nad 900 mm je stoupající trend nesignifikantní a je to pravděpodobně dáno tím, že již na začátku bylo dosaženo velké pokryvnosti, a tak není příliš prostoru na její další zvětšování, ale mohou se uplatnit i další vlivy jako například zvýšené vyplavování živin z půdy. Na těchto místech dosáhne vegetace pokryvnosti 100% relativně brzy, a to asi na 30 let starých plochách. Neoptimálněji probíhá sukcese při průměrných ročních srážkách 550 až 900 mm. Zde vegetace dosáhne pokryvnosti 100% asi do 40 let od začátku sukcese.

3.3.3 pH



Obr. 3: Grafické znázornění závislosti změny pokryvnosti v čase pro jednotlivé kategorie vegetace seříděné podle hodnot pH, rovnice trendu je statisticky významná pouze pro pH nad 7 a 5 - 7

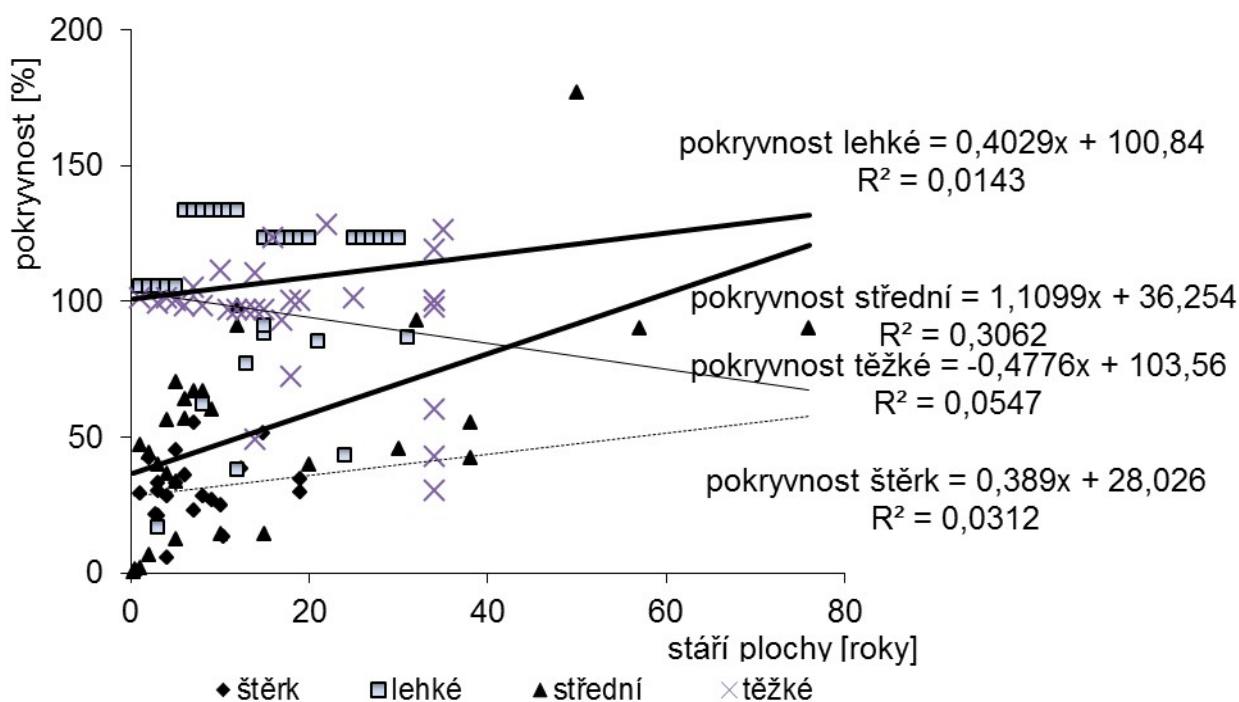
Tab. 3: Pokryvnost na začátku sukcese a dosažení 100% pokryvnosti v závislosti na pH; hodnoty jsou odhadnuté z obr. 3

Hodnota pH	Pokryvnost na začátku sukcese	Dosažení 100% pokryvnosti
do 5	100%	0 let
5 – 7	60%	20 let
nad 7	35%	75 let

Hodnota půdního pH je dalším limitujícím faktorem pro uchycení a růst vegetace na určitém místě. Při hodnocení výsledků se opět nejdříve zaměřím na časná stádia sukcese. V této době byla pokryvnost největší u ploch s hodnotami pH do 5 a vegetace zde dosáhla hned na začátku vysokého zápoje (Obr. 3, Tab. 3). Proto se na těchto plochách v průběhu sukcese neobjevují velké změny. Kromě kompetice může být tento trend způsoben i dvěma dalšími limitujícími faktory, které se mohou vyskytnout u vegetace na kyselých půdách. První faktor se týká dostupnosti živin. Vegetace na kyselých půdách může kvůli vysoké koncentraci vodíkových iontů jen omezeně čerpat živiny z půdy a vzniká jí deficit esenciálních prvků. Druhý faktor se týká proměny jinak neškodných kovů do toxických forem. Dochází k oslabení rostlin nebo až

k jejich úhynu. Podstatně nižší pokrývnost na začátku sukcese, ale také nárůst pokrývnosti v průběhu sukcese lze pozorovat u ploch s hodnotou pH vyšší jako 5. U ploch s hodnotami pH od 5 do 7 lze předpokládat dosažení 100% pokrývnosti u přibližně 20 let starých ploch. U ploch s pH větším jako 7 bude nárůst pokrývnosti pozvolnější a 100% pokrývnost lze předpokládat u asi 75 let starých ploch. Tento trend je opět spojen s faktem, že zásadité pH půdy limituje dostupnost některých důležitých živin pro vegetaci.

3.3.4 Zrnitost substrátu



Obr. 4: Grafické znázornění závislosti změny pokrývnosti v čase pro jednotlivé kategorie vegetace seříděné podle půdních druhů, rovnice trendu je statisticky významná pouze pro středně těžké půdy

Tab. 4: Pokrývnost na začátku sukcese a dosažení 100% pokrývnosti v závislosti na zrnitosti půd; hodnoty jsou odhadnuté z obr. 4

Půdní druh	Pokrývnost na začátku sukcese	Dosažení 100% pokrývnosti
lehké půdy	100%	0 let
středně těžké půdy	40%	60 let
těžké půdy	100%	0 let
štěrk	35%	asi 160 let

Podle zrnitosti substrátu se půdy dělí na půdní druhy. Toto rozdělení určuje, jak v jednotlivých půdách probíhá pohyb půdní vody, provzdušnění, sorpce, tepelný režim a biologická činnost. Termín lehké půdy, který používám, je označení pro písčité a hlinitopísčité druhy půd, středně těžké půdy zahrnují písčitohlinité a hlinité druhy a těžké půdy jsou označením pro jílovitohlinité, jílovité půdy a jíl. Pokryvnost je v počátcích sukcese největší u ploch s lehkými a těžkými půdami, kdy u obou dosahuje 100% (Obr. 4, Tab. 4). Další vývoj se u nich však rozchází, zatímco u lehkých půd pokryvnost v průběhu sukcese dál mírně stoupá, u těžkých půd naopak klesá. Nejedná se však o výraznou změnu, která může být způsobena nedostupností živin pro vegetaci v daných půdách. U jílovitých a písčitých půd není dostatečně vyvinut humusový horizont. Navíc písčité půdy jsou kyselé a jílovité zase zásadité. Obě tyto charakteristiky limitují příjem živin vegetací. U jílovitých půd navíc nedochází k optimálnímu provzdušnění půdy a vedení půdní vody, protože jsou tvořeny malými částicemi a malými půdními póry. Největší růst pokryvnosti během sukcese byl zaznamenán na středně těžkých půdách, u kterých lze očekávat dosažení 100% pokryvnosti přibližně u 60 let starých ploch. U štěrkovitých půd je pozorován jak výsek značící malý nárůst pokryvnosti na začátku sukcese, tak pomalý pozdější vzestup. Rozvoj pokryvnosti je limitován malou vyvinutostí štěrkovitých půd, nejsou u nich ještě dobře vyvinuty půdní horizonty. S postupujícím časem se pokryvnost na nich zvyšuje, protože dochází k postupnému zvětrávání, tvorbě půdy a jejímu biologickému oživení.

4. Závěry

- Sukcese je považována za vhodnou alternativu rekultivace z pohledu podpory diverzity.
- Obnova pokrývnosti vegetace je potřebná pro obnovu řady ekologických funkcí krajiny
- Ve většině podmínek má vegetace schopnost pokrýt plochu poměrně rychle, během první dekády sukcese
- Nejhorší podmínky pro rozvoj vegetace jsou na štěrkovitých půdách a v suchých oblastech
- Optimální podmínky pro vytvoření vysokých pokrývností jsou tedy průměrná roční teplota do 7°C, průměrné roční srážky nad 900 mm, hodnota pH do 5, výskyt lehkých a těžkých půd

Literatura:

- ALDAY**, Josu G.; Marrs, Rob H.; Martínez-Ruiz, Carolina (2011): *Vegetation convergence during early succession on coal wastes: a 6-year permanent plot study*. Journal of Vegetation Science, Vol.22, pp. 1072-1083
- ALDAY**, Josu G.; Pallavicini, Yésica; Marrs, Rob H.; Martínez-Ruiz, Carolina (2011): *Functional groups and dispersal strategies as guides for predicting vegetation dynamics on reclaimed mines*. Plant Ecol, Vol.212, pp. 1759- 1775
- ANDĚL**, Petr; Mináriková, Tereza; Andreas, Michal (2010): *Ochrana průchodnosti krajiny pro velké savce*. Evernia, Liberec, 66 s.
- BAASCH**, Anett; Kirmer, Anita; Tischew, Sabine (2012): *Nine years of vegetation development in a postmining site: effects of spontaneous and assisted site recovery*. Journal of Applied Ecology, Vol.49, pp. 251-260
- BAKKER**, Jan P (2005): *Vegetation conservation, management and restoration*. Vegetation ecology, pp. 309-331.
- BARBOUR**, Michael G.; Burk, Jack H.; Pitts, Wanna D (1987): *Terrestrial plant ecology*. Benjamin/Cummings, 604 p.
- BEGON**, Michael; Harper, John L.; Townsend, Colin R (1997): *Ekologie: jedinci, populace a společenstva*. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého, 949 s.
- BLECKER**, S.W.; Stillings, L.L.; Amacher, M.C.; Ippolito, J.A.; DeCrappeo, N.M. (2012): *Development of vegetation based soil quality indices for mineralized terrane in arid and semi-arid regions*. Ecological indicators, Vol.20, pp. 65-74
- CANHAM**, Charles D.; Marks, P. L. (1985): *The response of woody plants to disturbance: Patterns of establishment and growth*. Academia Press, pp. 197-217
- CLEWELL**, Andre F.; Aronson, James (2007): *Ecological restoration: principles, values, and structure of an emerging profession*. Washington: Island Press, 216 p.
- COLINVAUX**, Paul, A. (1993): *Ecology*. New York, 688 p.
- CONNELL**, Joseph H.; Slatyer, Ralph O. (1977): *Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization*. The University of Chicago Press - The American Naturalist, Vol. 111, No. 982, pp. 1119-1144
- DUCHOSLAV**, Martin (1994): *Popis a analýza vegetace I. Metody a přístupy*, Univerzita Palackého v Olomouci, 46 s.
- FISHER**, Brendan, Turner, K. R.; Morling, Paul (2009): *Defining and classifying ecosystem services for decision making*. Ecological economics 68.3, pp. 643-653

- FROUZ**, Jan; Prach, Karel; Pižl, Václav; Háněl, Ladislav; Starý, Josef; Tajovský, Karel; Materna, Jan; Balík, Vladimír; Kalčík, Jiří; Řehouňková, Klára (2008): *Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites*. European Journal of Soil Biology, Vol.44, pp. 109-121
- FROUZ**, Jan (2011): *Rozvoj půd jako základní předpoklad obnovy ekosystémových služeb na těžce disturbovaných plochách*. Acta Environmentalica Universitatis Comenianae (Bratislava), Vol. 19, pp. 66-70
- FROUZ**, Jan (2014): *Soil biota and ecosystem development in post mining sites*. Boca Raton: CRC Press. 306 p.
- GLENN-LEWIN**, David C.; Peet, Robert K.; Veblen, Thomas T. (1992): *Plant succession, theory and prediction*. Chapman & Hall, London, 359 p.
- GRAF**, Martha D.; Rochefort, Line; Poulin, Monique (2008): *Spontaneous revegetation of cutaway peatlands of North America*. Wetlands, Vol.28, No.1, pp. 28-39
- HODAČOVÁ**, Darina; Prach, Karel (2003): *Spoil heaps from brown coal mining: Technical reclamation versus spontaneous revegetation*. Restoration Ecology, Vol.11, No.3, pp. 385-391
- HOLL**, Karen D.; Cairns, John (1994): *Vegetation community development on reclaimed coal surface mines in Virginia*. Bulletin of the Torrey Botanical Club, Vol.121, No.4, pp. 327-337
- HOLL**, Karen D. (2002): *Long-term vegetation recovery on reclaimed coal surface mines in the eastern USA*. Journal of Applied Ecology, Vol.39, pp. 960-970
- HRUŠKA**, Jakub; Kopáček, Jiří (2005): *Kyselý déšť stále s námi – zdroje, mechanismy, účinky, minulost a budoucnost*. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 24 s.
- HUSTON**, Michael; Smith, Thomas (1987): *Plant Succession: Life History and Competition*. The University of Chicago Press - The American Naturalist, Vol. 130, No. 2, pp. 168-198
- CHAPIN III**, F. Stuart; Chapin, M. C.; Matson, Pamela A.; Vitousek, Peter (2011): *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer, 511 p.
- JOCHIMSEN**, Maren Elisabeth (2001): *Vegetation development and species assemblages in a long-term reclamation project on mine spoil*. Ecological Engineering, Vol.17, pp. 187-198
- KRYL**, Václav; Fröhlich, Emil; Sixta, Jan (2002): *Zahlázení hornické činnosti a rekultivace*. Vysoká škola báňská, Ostrava, 79 s.
- LHOTSKÝ**, Jiří a kolektiv (1987): *Degradace lesních půd a jejich meliorace*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 234 s.
- LI**, Suqing; Yang, Binsheng; Wu, Dongmei (2008): *Community succession analysis of naturally*

- colonized plants on coal gob piles in Shanxi Mining Areas, China. Water Air Soil Pollut, Vol.193, pp. 211-228*
- MARGALEF, R.** (1963): *Successions of populations*. Frontiers plant sci. India, pp. 137-188
- MARTINEZ-RUIZ, Carolina; Fernandez-Santos, Belén** (2005): *Natural revegetation on topsoiled mining-spoils according to the exposure*. Acta Oecologica, Vol.28, pp. 231-238
- MARTINEZ-RUIZ, Carolina; Fernandez-Santos, Belén; Putwain, Philip D.; Fernandez-Gomez, Maria José** (2007): *Natural and man-induced revegetation on mining wastes: changes in the floristic composition during early succession*. Ecological Engineering, Vol.30, pp. 286-294
- McINTOSH, R.P.** (1980): *The relationship between succession and the recovery of process in ecosystems*. Plant ecology, pp. 11-62
- MORENO-DE LAS HERAS, M.; Nicolau, J.M.; Espigares, T.** (2008): *Vegetation succession in reclaimed coal-mining slopes in Mediterranean-dry environment*. Ecological Engineering, Vol.34, pp. 168-178
- MULLER, Felix; Hoffmann-Kroll, Regina; Wiggering, Hubert** (2000): *Indicating ecosystem integrity – theoretical concepts and environmental requirements*. Ecological modelling, Vol.130, pp. 13-23
- ODUM, Eugene Pleasants** (1977): *Základy ekologie*. Praha: Academia, 733 s.
- PELTZER, Duane A.; Wardle, David A.; Allison, Victoria J.; Baisden, W. Troy; Bardgett, Richard D.; Chadwick, Oliver A.; Condon, Leo M.; Parfitt, Roger L.; Porder, Stephen; Richardson, Sarah J.; Turner, Benjamin L.; Vitousek, Peter M.; Walker, Joe; Walker, Lawrence R.** (2010): *Understanding ecosystem retrogression*. Ecological Monographs, Vol.80, No.4, pp. 509-529
- PICKETT, S.T.A.; McDonnell, M.J.** (1989): *Changing perspectives in community dynamics: A theory of successional forces*. Trends in Ecology and Evolution 4, pp. 241-245
- PICKETT, S.T.A.; White, P.S.** (1985): *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press: New York, pp. 371-384
- PRACH, Karel; Pyšek, Petr** (1999): *How do species dominating in succession differ from others?* Journal of Vegetation Science, Vol.10, pp. 383-392
- PRACH, Karel; Pyšek, Petr; Jarošík, Vojtěch** (2007): *Climate and pH as determinants of vegetation succession in Central European man-made habitats*. Journal of Vegetation Science, Vol.18, pp. 701-710
- PRACH, Karel** (2009): *Ekologie obnovy narušených míst I-VI*. ŽIVA (2009), 1: 22-24, 2: 68-72, 3: 116-119, 4: 165-168, 5: 212-215, 6: 262-264
- REID, Walter V.** (2005): *Ekosystémy a lidský blahobyt: syntéza: zpráva Hodnocení ekosystémů*

- k miléniu*. Praha: Univerzita Karlova, 138 s.
- RICE**, Elroy L.; Pancholy, Sunil K. (1972): *Inhibition of nitrification by climax ecosystems*. American Journal of Botany, Vol.59, No.10, pp. 1033-1040
- ROBERT**, Elisabeth Claire; Rochefort, Line; Garneau, Michelle (1999): *Natural revegetation of two block-cut mined peatlands in eastern Canada*. Canadian Journal of Botany, Vol.77, No.3, pp. 447-459
- SCHIER**, Jakub (2006): *Transgenní rostliny pro fytořemediaci těžkých kovů – biotechnologie v praxi*. Sborník Otevřená věda. AV ČR. Praha. 79 s.
- SKOUSEN**, J.G.; Call, C.A.; Knight, R.W. (1990): *Natural revegetation of an unreclaimed lignite surface mine in east-central Texas*. The Southwestern Naturalist, Vol.35, No.4, pp. 434-440
- STRONG**, W. L. (2000): *Vegetation development on reclaimed land in the Coal Valley Mine of Western Alberta, Canada*. Canadian Journal of Botany, Vol.78, pp. 110-118
- ŠEBÁNEK**, Jiří (1983): *Fyziologie rostlin*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 558 s.
- TAKEUCHI**, Keita; Shimano, Koji (2009): *Vegetation succession at the abandoned Ogushi sulfur mine, central Japan*. Landscape and Ecological Engineering, Vol.5, pp. 33-44
- VRÁBLÍKOVÁ**, Jaroslava; Blažková, Miroslava; Farský, Miroslav; Jeřábek, Milan; Seják, Josef; Šoch, Miloslav; Beránek, Karel; Jirásek, Petr; Neruda, Martin; Vráblík, Petr; Zahálka, Jaroslav (2008): *Revitalizace antropogenně postižené krajiny v Podkrušnohoří. Teoretická východiska pro možnost revitalizace území modelové oblasti*. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem, 155 s.
- WALL**, Diana H.; Bardgett, R.; Behan-Pelletier, V.; Herrick, J.; Jones, H.; Ritz, K.; Six, J.; Strong, D.; Van der Putten, W. (2012): *Soil ecology and ecosystem services*. Oxford University Press (2012). 406 p.
- WALKER**, Lawrence R.; Walker, Joe; Hobbs, Richard J. (2007): *Linking restoration and ecological succession*, Springer, 190 p.
- WEIS**, Jerome J.; Cardinale, Bradley J.; Forshay, Kenneth J.; Ives, Anthony R. (2007): *Effects of species diversity on community biomass production change over the course of succession*. Ecology, Vol.88, No.4, pp. 929-939
- WILSEY**, Brian J.; Potvin, Catherine (2000): *Biodiversity and ecosystem functioning: Importance of species evenness in an old field*. Ecology, Vol.81, No.4, pp. 887-892
- YUAN**, Jian-Gang; Fang, Wei; Fan, Ling; Chen, Yan; Wang, Dong-Qing; Yang, Zhong-Yi (2006): *Soil formation and vegetation establishment on the cliff face of abandoned quarries in the early stages of natural colonization*. Restoration Ecology, Vol.14, No.3, pp. 349-356