

**Univerzita Karlova v Praze**

**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: BIOLOGIE

Studijní obor: EKOLOGICKÁ A EVOLUČNÍ BIOLOGIE



**Tomáš Müller**

*Možnosti rekultivace opuštěných lomů*

*Approaches to abandoned quarry reclamation*

Bakalářská práce

Školitel: Mgr. Eliška Kuťáková

Konzultant: doc. RNDr. Zuzana Münzbergová, Ph.D.

Praha, 2018

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci s názvem „*Možnosti rekultivace opuštěných lomů*“ zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze,

Podpis

**Poděkování:**

Tímto bych chtěl poděkovat zejména své školitelce Elišce Kuřákové za produktivní vedení této práce a velkou ochotu zodpovídat mé dotazy obratem. Zuzaně Münzbergové za potřebné konzultace. Dále pak rodině a dvěma nejmenovaným kamarádům za morální podporu.

## Abstrakt

Narušení krajiny je nedílnou součástí těžby nerostných surovin. Neustálý růst počtu a rozlohy narušených ploch vede ke stále větší nutnosti tyto plochy znovu začlenit do krajiny. Existují různé metody a přístupy, obecně označované pojmem rekultivace, které toto zpětné začlenění umožňují. Hlavními z nich pak jsou technická rekultivace a přirozená ekologická obnova. Tato práce představí jednotlivé kroky, které je nutné v opuštěném lomu provést pro dosažení předem vytyčených cílů, porovná jednotlivé, v praxi využívané metody a přiblíží, jaký potenciál opuštěné plochy mají v kontextu krajiny.

**Klíčová slova:** rekultivace, opuštěné lomy, vápenec, ekologická obnova, sukcese

## Abstract

The disruption of open landscape goes in hand with mining operations. Continuous growth of such disturbed areas, both in numbers and coverage, puts ever increasing pressure on attempts of their reintegration back to the landscape. Different methods and approaches that allow this exist, commonly related to as reclamation. The two main ones are technical reclamation and ecological restoration. This thesis will: 1) introduce individual steps required to be taken in an abandoned quarry in order, to achieve previously defined goals, 2) compare individual methods that are in use today, and 3) explore the potential of abandoned quarries in the context of open landscape.

**Keywords:** reclamation, abandoned quarries, limestone, restoration ecology, succession

# Obsah

1.	Úvod.....	5
2.	Vápenec a vápencové lomy.....	6
3.	Technická rekultivace.....	7
3.1	Terénní úpravy.....	8
3.2	Zemědělská rekultivace.....	9
3.2.1	Proces.....	10
3.2.2	Pole.....	10
3.2.3	Sad.....	10
3.2.4	Vinice.....	11
3.2.5	Louka/pastvina.....	12
3.3	Lesnická rekultivace.....	12
3.4	Hydrologická rekultivace.....	14
4.	Přirozená ekologická obnova.....	14
4.1	Sukcese.....	15
4.1.1	Pedogeneze.....	16
4.2	Řízená sukcese.....	18
4.3	Management.....	19
5.	Diskuze.....	20
6.	Závěr.....	21
7.	Seznam literatury.....	22

# 1. Úvod

Pokud pomineme různé liniové útvary, jako jsou silnice a železnice, tak jsou lomy zřejmě nejvýraznější druh umělého narušení otevřené krajiny. Jejich provoz je nevyhnutelně spojen s likvidací či značnou degradací biotopů (Moreno-Peñaranda, Lloret, & Alcañiz, 2004), s čímž je spojena řada zjevných negativních důsledků pro danou lokalitu, například vymizení původních druhů, obecné snížení biodiverzity, změnu půdního prostředí, otevření prostoru pro nepůvodní invazní druhy a podobně (Lei, Pan, & Lin, 2016). Ovšem umělé narušení nám dovoluje studovat změnu prostředí jako takovou, což dělá z rekultivace zajímavou problematiku právě z pohledu ekologie. Je možné totiž studovat fáze sukcese a změny prostředí v čase, ve vztahu k typu použité rekultivace (Doležalová, Vojar, Smolová, Solský, & Kopecký, 2012). Pojmem rekultivace se v tomto kontextu myslí proces, jehož cílem je zpětné začlenění narušené plochy do okolní krajiny. Je možné i studovat jednotlivé organismy a jejich reakce na probíhající změny s lomařskou činností spojené (Wheater, Cullen, & Bell, 2000).

Rekultivace krajinných ploch zasažených těžbou nerostných surovin se v současné době celosvětově stává nedílnou součástí procesu těžby jako takové. Lomy, doly a jejich přidružené části, jako například výsypky hlušiny, jsou stále častěji vnímány pouze jako dočasný způsob využití krajiny (Neri & Sánchez, 2010). Z tohoto důvodu je nutné připravit během probíhající těžby (či lépe již před zahájením těžby samotné) operační plán, který zohlední nejen intenzitu a rozsah, jak ze socioekonomického pohledu, tak z pohledu ochrannářského, ale také i následné využití zasažené plochy.

Problematika s tímto spojená je relativně dobře celosvětově prozkoumána a existují detailní poznatky o tom, jak s takto zasaženými plochami zacházet. To, že jednotlivé postupy pro dosažení určitého stavu výsledného biotopu na ploše rekultivovaného lomu jsou známy, však neznamená, že je implementace v praxi rutinní záležitostí (Milgrom, 2008). Problémy vyvstávají už jen při vytyčování cílů procesu rekultivace jako takové. Existují obecně dva distinktní přístupy – technická rekultivace, nebo přirozená ekologická obnova (Doležalová et al. 2012; Tropek et al. 2012). Nejedná se však o rozdělení striktní, reálné případy rekultivovaných lomů často leží někde na pomezí těchto dvou extrémů. Zjednodušeně se dá říci, že dříve (před dvacátým stoletím) naprosto převládala přirozená obnova, lom po ukončení těžby opustil, aniž by se o konceptu rekultivace uvažovalo – nebyla snaha o další

využití této narušené plochy. Postupem času se začala preferovat technická rekultivace, nicméně dnes je možné pozorovat návrat k myšlence přirozené obnovy, nicméně se tentokrát jedná o vědomý a přístup, který je založen na vědeckých poznacích. Přesné ekologické cíle nebývají legislativně stanoveny (Mouflis, Gitas, Iliadou, & Mitri, 2008), často bývá uložena lomařské společnosti povinnost plochu po ukončení svých činností rekultivovat, či se jen finančně na rekultivaci podílet. Konkrétní postup však už nebývá přesně stanoven (Phillips, 2012). Legislativní opatření se liší na úrovni jednotlivých zemí a konkrétní rozdíly nejsou předmětem této práce, nicméně je možné hrubé zobecnění, že míra povinnosti účasti lomařské společnosti roste s ekonomickou vyspělostí dané země (P. Montañez-Escalante, L. García-Barrios 2006).

Samotná realizace rekultivačního procesu je pak často výsledkem konfliktu zájmů ochrany přírody, které se snaží o udržení co nejvyšší diverzity vzácných druhů (ty se často v průběhu těžby začínou objevovat v již nefunkčních částech lomu, díky faktu, že tato stanoviště jsou extrémní a v otevřené krajině vzácná (R. Tropek, 2009)) a lomařů, pro které je formálně snazší provést rekultivaci technickou, která je mnohdy sice finančně náročnější, zato snadněji proveditelná a nezávislá na znalosti biotických faktorů (Tropek et al., 2012). Z toho plyne, že jakákoli rekultivace je kompromis všech zúčastněných stran, lomařů, ochranářů, státních orgánů a obyvatel přímo dotčených polohou lomu.

Cílem této práce je, jak již název napovídá, shrnout a porovnat jednotlivé postupy a přístupy k problematice rekultivací opuštěných vápencových lomů. Dále pak přiblížit hlavní poznatky jak ze skutečně realizovaných úplných rekultivací, tak z experimentů. Důraz pak bude kladen hlavně na srovnání dvou výše zmíněných přístupů, technické rekultivace a přirozené sukcese a na to, jestli, a do jaké míry, mohou mít opuštěné lomy potenciál jako sekundární stanoviště pro vzácné druhy.

## **2. Vápenec a vápencové lomy**

Vápenec je sedimentární hornina, která je tvořena zhruba z 80 % uhlíkatým vápenatým, zbylých 20 % tvoří různé příměsi, hlavně křemen, dolomit, siderit nebo různé jílové minerály. Vápenec je dobře rozpustný ve vodě, respektive ve vodním roztoku slabé

kyseliny uhličité, což často vede ke vzniku krasových útvarů v oblastech s vápencovým podložím (Boscutti, Vianello, Bozzato, & Casolo, 2017).

Vápenec se těží alespoň v nějaké míře téměř ve všech zemích světa (Neri & Sánchez, 2010). Hlavním spotřebitelem je cementářský průmysl, který v posledních letech dosahuje produkce okolo 4 miliard tun cementu ročně. Poměr použitého vápence na výsledný cement je v průměru 1.1 jednotky vápence na 1 jednotku cementu. Dále je třeba zohlednit další způsoby využití vápence, které jsou řádově menší, menší než 0,5 miliard tun ročně. Ve výsledku se tak dá odhadnout objem vytěženého vápence na něco méně než 5 miliard tun ročně. To staví vápenec mezi globálně nejvíce těžené nerostné suroviny.

Typický vápencový lom vypadá jako velká prohlubeň v zemi s prudkými stěnami. Někdy se však může odtěžit kopec, nebo jeho část, což vede k menšímu vizuálnímu impaktu na krajinu, na druhou stranu se v těchto případech zničí spíše hodnotnější stanoviště, než když se otevře lom v zemědělsky, či lesnický obhospodařované krajině. Myšlenka rekultivace lomů po ukončení těžby se formovala hlavně až ve dvacátém století, to se dá přisuzovat růstu obecného environmentálního a ekologického smýšlení a také technologickým pokrokům, které umožnily těžbu vápence na mnohem větším měřítku (Legwaila, Lange, & Cripps, 2015). Starší lomy byly ve srovnání s těmi současnými (největší funkční vápencový lom na našem území – Čertovy Schody má rozlohu okolo 90 ha) o poznání menší, tudíž neměly takový impakt na krajinu a životní prostředí, dále také nebyl takový tlak na maximalizaci využití každého kousku krajiny.

### **3. Technická rekultivace**

Zjednodušeně řečeno, pojmem technická rekultivace se označuje takový postup rekultivace, který využívá jakékoli technické zásahy provedené na lomu po ukončení těžby (Doležalová et al., 2012). Tyto zásahy mohou být například různé terénní úpravy, ať už v rámci prostředků lomu – úprava stěn a přeskupování hlušiny, tak navážením materiálu externího (Martín-Duque, Sanz, Bodoque, Lucía, & Martín-Moreno, 2010). Další zásahy mohou být formou různých výsevů a výsadeb nebo dlouhodobých zásahů (formou managementu) majících za cíl usměrnit vývoj rekultivované lokality (Řehouňková et al., 2016).

### 3.1 Terénní úpravy

Je několik hlavních důvodů proč se v opuštěných lomech provádí terénní úpravy. Jedním z nich je snaha o zmírnění estetického dopadu na okolní krajinu. Obnažené strmé skalní stěny na první pohled vybočují z přirozeného krajinného kontextu. Dále mohou představovat bezpečnostní riziko pro případné návštěvníky lomu, ať už riziko pádu návštěvníka z okraje skalní stěny, nebo riziko náhlého uvolnění skalní masy z důvodu eroze (H. Wang, Zhang, Bai, Shi, & Zhang, 2018). Protierozní opatření hrají roli nejen při zajištění bezpečnosti opuštěného lomu, pomáhají urychlit proces zpětného začlenění do krajiny tím, že v ideálním případě zabrání neustálému mizení stanovišť, která v lomu spontánně vzniknou, nebo budou uměle vytvořena vytvořená (Yuan et al., 2006).

Existuje celá řada postupů při provádění terénních úprav, které mají různé výhody a nevýhody. Hlavní přístupy pak jsou: 1) odstřely strmých stěn, 2) zavážení lomu hlušinou, 3) nahrnutí okolního přilehlého materiálu do lomu a 4) tvorba stupňovitých teras (Legwaila et al. 2015).

1) Odstřely se dají relativně dobře naplánovat tak, aby se vytvořil mírný šterkový/kamenitý svah na místě dříve přítomné kolmé stěny, nevýhoda je v tom, že takto vzniklý svah podléhá zvýšené erozi, což brání vývoji půdního profilu (Wheater & Cullen, 1997).

2) Zavážení lomu hlušinou má největší výhodu v možnosti cíleně zavézt pouze cílové části lomu, což umožní ponechání některých předem zvolených úseků, kde se nechají obnažené skalní stěny. Dále je možné zachovat vstupy to jeskyní, pokud jsou přítomny. Nevýhodou je velká náročnost na objem použitého materiálu a riziko nepredikovatelného sesedání.

3) Nahrnutí okolního materiálu má výhodu v tom, že zároveň se zakrytím strmých stěn, se sníží okolní terén, což umožní lepší začlenění zpět do krajiny. Další výhoda je v přítomnosti propagulí v tomto materiálu, což umožní rychlejší kolonizaci vegetací. Nevýhoda je vlimitaci objemem dostupného materiálu a v tom, že se naruší okolí lomu což naopak částečně zvýší estetický impakt.

4) Tvorba stupňovitých teras má výhodu v zachování velmi rozdílných druhů stanovišť – kolmých stěn a rovných stupňů, což může vést k velké biodiverzitě výsledné plochy. Nevýhoda je v technologické náročnosti tvorby jednotlivých teras a nutnosti plánování použití tohoto způsobu již brzy po otevření lomu (H. Wang et al., 2018). Další nevýhoda je zvýšené riziko eroze, z důvodu přítomnosti obnažených strmých stěn (Clemente et al., 2004).

Nezávisle na těchto hrubých terénních úpravách je pak možné různé navázení svrchní vrstvy, která má za cíl zlepšit úživnost na dané ploše (Chenot, Jaunatre, Buisson, & Dutoit, 2017; Simón-Torres, del Moral-Torres, de Haro-Lozano, & Gómez-Mercado, 2014). Nevýhody jsou v tom, že se tak mohou na lokalitu zavléct nežádoucí druhy, v eutrofizaci lokality (v některých případech to však není nevýhoda, v závislosti na budoucím využití plochy) a v nutnosti mít dárcovskou lokalitu, kde je možné tuto zeminu odebrat (Tischew, Baasch, Grunert, & Kirmer, 2014). Další nevýhodou je, že se jedná o poměrně drahé řešení, obzvláště pokud se jedná o rozsáhlejší lom (Tropek et al., 2012). Proto se v některých případech experimentuje s využitím jiných materiálů, jako například kalů vznikajících při procesu čištění odpadních vod (Almendro-Candel et al. 2014; Buondonno et al. 2013; Maisto et al. 2010). Tento alternativní způsob má výhodu v tom, že se jedná o způsob využití jinak nežádoucího produktu, na druhou stranu se velmi ovlivní půdní složení rekultivované lokality (Jordán, Pina, García-Orenes, Almendro-Candel, & García-Sánchez, 2008), proto je třeba nejprve zvážit, jaký potenciál daná lokalita má. Pokud tento potenciál není velký, tak se jedná o zajímavou možnost, která se zatím v praxi tolik nevyužívá.

## **3.2 Zemědělská rekultivace**

Cílem tohoto typu rekultivace je přizpůsobit naroušenou plochu (nebo alespoň její části) do stavu umožňujícího využití k zemědělským účelům. Je jasné, že i přes velké počáteční náklady je z ekonomického hlediska rekultivace zemědělskou plochou výhodná pro majitele lomu, který dále může na dané ploše podnikat (Tropek et al., 2010). Jedná se o relativně častý způsob rekultivace, ale není ji možné uplatnit z technických důvodů na každém lomu. Jak ale zemědělská rekultivace ovlivňuje biodiverzitu v lomech? Nejprve je potřeba přiblížit proces zemědělské rekultivace a její jednotlivé typy.

### **3.2.1 Proces**

Zemědělská rekultivace obecně začíná už během plánování, kdy je nutné vhodně umístit budoucí plochy takovým způsobem, že nebude docházet k erozi nebo přílišnému zaplavování. Po ukončení prací v lomu a následujících terénních úprav je třeba navést dostatečné množství ornice z jiné lokality a tím zvýšit úživnost půdy, což je klíčové pro tuto variantu rekultivací.

Už jen z tohoto zjednodušeného procesu je zřejmé, že pokud nějaká xerofytní společenstva v lomu před rekultivací vznikla, tak budou tímto procesem silně narušena, spíše pak zničená. Dále bude také plocha srovnána do roviny a transformována do umělého typu prostředí, které má specifické mikroklima, které těmto druhům společenstev nebude vyhovovat (Tropek et al., 2012). Společně s ornici a z okolních biotopů zde budou navlečeny ruderalní druhy, které se na této lokalitě jinak nemusely nutně vyskytovat (Tischew et al., 2014).

### **3.2.2 Pole**

Pokud není naplánováno jinak, například kvůli protierozním ochranám, tak se jedná o monokulturní pokryv v řádcích na relativně velké ploše. Typ plodiny silně ovlivňuje vodní bilanci, teplotu, živiny v půdě a následně používané herbicidy a insekticidy na takto vzniklém poli. Jakákoli diverzita je u produkčního pole nežádoucí, proto druhově bohatší společenstva nalezneme pouze na okrajích v ekotonech nebo na případných svazích a protierozních opatřeních, pokud jsou zrovna přítomna.

Pole je velmi náročné na kvalitu a úživnost navezené zeminy. Jelikož se často z ekonomických důvodů používá málo kvalitní zemina, která nemá dostatečný obsah dusíku a fosforu, tak je v takových případech nutné nejprve několik sezón pěstovat plodiny, jako například vojtěšku, které jsou schopny díky symbiotickým bakteriím fixaci vzdušného dusíku, a tudíž následného zkvalitnění půdy.

### **3.2.3 Sad**

Sad může být jak monokulturní, tak kombinace více druhů menších stromů šlechtěných pro produkci ovoce, na rozdíl od pole je zde více místa pro bylinné patro, které

ovšem u intenzivních produkčních monokulturních sadů není žádoucí. V takovýchto sadech se často používá chemických postřiků, které vesměs negativně ovlivňují diverzitu ostatních organismů, které by se zde popřípadě jinak mohly vyskytovat (Wyss, 1996).

V kontrastu k tomuto druhu sadů jsou pak sady „vesnického typu“ které mají většinou menší hustotu stromů, které jsou však větší než u intenzivních produkčních sadů. Bylinné patro je zde velice dobře vyvinuté a udržované pravidelným managementem – sečením, nebo pastvou. Takovéto sady mohou mít naopak relativně vysokou diverzitu polních a lučních druhů.

Na rozdíl od lesa je zde více světla, všechny stromy jsou přibližně stejně staré, až později jsou neplodné stromy nahrazeny novými. Spadlé dřevo zde je jen minimálně a je uklizeno pro lepší manipulaci se stromy, takže tento biotop je také specificky umělý.

### **3.2.4 Vinice**

Vinice jsou téměř výhradně orientovány na produkci, tudíž to bývají plochy monokulturní, uspořádané v řádcích, se silným specifickým managementem. Řádky mohou být orientovány jak kolmo na svah, tak po vrstevnicích v závislosti na potřebách vodní bilance a protierozních opatření v případě strmějších svahů. Oproti polím je zde podobně jako u sadů větší prostor pro bylinné patro, které je však často disturbované nutností opakovaně procházet mezi řádky. Dále pak přítomnost bylinného patra není zcela, z provozních důvodů, žádoucí. Vinná réva z pravidla roste ve středně úživné půdě a dobře toleruje i vyšší podíl štěrku a kamenů. Poté, co se na ploše uchytlí, je schopná dobře tolerovat sucho. Z těchto vlastností je patrné, že by založení vinice mohl být dobrý způsob využití pro opuštěný vápencový lom, pokud to regionální klimatické podmínky umožňují. Včasným plánováním rozložení budoucích pěstebních ploch je možné dobře připravit takovýto projekt k úspěšné realizaci. Nicméně v praxi je tato varianta rekultivace zatím málo používána i přesto, že abiotické podmínky v technicky rekultivovaných vápencových lomech mohou být pro pěstování vinné révy překvapivě vhodné.

### 3.2.5 Louka/pastvina

Jedná se o smíšené travní a bylinné porosty bez (eventuálně s minimem) keřů či stromů. Tyto plochy podléhají velmi silnému managementu – sečení, nebo spásání, který udržuje tyto plochy ve stavu stálé sukcese a zabraňuje uchycení, růst a další rozvoj dřevinných společenstev odpovídajících klimaxovému stavu (Pitz, Piqueray, Monty, & Mahy, 2018). Je patrné, že komerční louky a pastviny jsou funkčně příbuzné stepním biotopům a mohou mít relativně vysokou biodiverzitu, udržovanou právě oním silným, ale pravidelným, managementem na který jsou některé druhy adaptovány. Díky faktu, že se jedná o smíšené porosty, na kterých se nepoužívají žádné herbicidy, je možná dobrá kolonizace druhů z okolního prostředí, to ale ještě nemusí nutně znamenat, že se tyto kolonizátoři budou schopni uchytit, jelikož se jedná o plochy s velice silnou kompeticí, obzvláště pokud byla při navážce použita úživná eutrofní ornice, která by umožnila rozvoj ruderálních druhů. Tento fakt je však do jisté míry možný kompenzovat různými cílenými výsevy.

Stejně jako ostatní způsoby zemědělského využití rekultivované plochy jsou pastviny či louky, a jejich následný management, primárně zaměřeny na vytvoření a další generaci zdroje příjmů. V případě pastvin jsou oním zpeněžitelným produktem hospodářská zvířata, nejčastěji pak skot, ovce nebo koně. U luk je výsledným produktem seno, sloužící následně jako krmivo.

## 3.3 Lesnická rekultivace

Tvorba lesů patří k častým postupům při rekultivaci hned z několika důvodů. Les jakožto klimaxové stádium vyžaduje pouze malou míru zásahů po svém uchycení (Cohen-Fernandez & Naeth, 2013). Cílová podoba je dobře definovatelná, proto je snadné i bez větších nároků na porozumění stavu lokality zjistit, jestli byl tento způsob rekultivace úspěšný. Dále má les bezpochyby výhodu při plnění protierozní funkce. Přítomnost lesa, na dříve narušené ploše je často vnímána laickou veřejností pozitivně díky zažitě představě, že lesy v naší krajině reprezentují přirozená stanoviště (Tropek et al., 2010).

Lesnická rekultivace opuštěných vápencových lomů skoro vždy vyžaduje rozsáhlé terénní úpravy a navezení vyspělejšího substrátu, než jaký se zde po opuštění lomu nachází (Novák & Konvička, 2006). Je dobré však zachovat určitý reliéf a nesrovnávat celou plochu

do roviny, jelikož přítomnost specifického reliéfu může vést k podpoře růstu stromů (Frouz et al., 2018). Les má alespoň teoreticky také možná atraktivní využití, ať už založená na různých druzích využití volného času (naučné stezky, turismus, houbaření atd.), tak využití čistě pro těžbu dřeva a dalších možných lesních zdrojů. Upřednostňování lesní rekultivace je ovlivněno právě cílovým využitím lesa (Tsolaki-Fiaka, Bathrellos, & Skilodimou, 2018), ovšem pokud bychom se zaměřili na význam lesa z ekologického hlediska a měli tuto rekultivace vytvořit ekologicky nejvhodněji, je potřeba se vyvarovat tvorby řádků, vysazování stejně starých stromů po celé ploše lesa a monokulturám. Les vytvořený touto rekultivací by měl svým složením odpovídat okolním lesům, či historickým záznamům o bývalém složení lesu na místě lomu. Přednost však jednoznačně mají specifické podmínky na dané lokalitě, ty samozřejmě určují, jaké dřeviny zde mohou přežít. Správně naplánovaný les může sloužit také jako biokoridor pro migrující živočichy, což kladně přispěje k provázanosti krajiny.

Tvorba malých fragmentovaných lesních ploch může vytvořit mozaikovitá společenstva a různorodé biotopy díky velké přítomnosti okrajových a přechodných stanovišť. V praxi, alespoň v našich podmínkách, je bohužel lesnická rekultivace pojata spíše nešťastně, opírá se o nákladné terénní úpravy a výsadbu malého množství často na lokalitě nepůvodních druhů (R. Tropek, 2009; Tischew et al., 2014). Tím se neguje jakýkoli potenciál dané lokality sloužit jako sekundární, nově vzniklé stanoviště, kde by mohly jinak hledat refugium ohrožené druhy extrémních xerických společenstev (Lundholm & Richardson, 2010).

Při zakládání lesa na opuštěném lomu je velice obtížné se spoléhat na výsevy, díky velmi vysoké mortalitě semenáčků způsobené extrémními podmínkami stanoviště (hlavně pak stresem z nedostatku vody na obnažené půdě). Preferuje se proto přímá výsadba již vzrostlejších stromků, u kterých je mortalita podstatně menší. V tropech je pak možné využití metody převozu substrátu z dárcovské, dříve lesní, lokality, jelikož tam mnoho druhů má dobrou schopnost regenerovat z kořenových fragmentů, které jsou v takovém substrátu obsaženy (Ferreira & Vieira, 2017).

Dále je třeba zmínit, že přístup k lesnické rekultivaci se významně liší v závislosti na geografické poloze opuštěného lomu. Pokud se les na rekultivované lokalitě, ani v jejím okolí nevyskytoval, jako tomu bývá například v mediteránu, tak nemá smysl jít touto cestou. Na druhou stranu, pokud se nachází opuštěný lom v tropickém lese, tak je žádoucí vyvinout úsilí o navrácení plochy do původního lesního stavu (P. Montañez-Escalante, L. García-Barrios 2006).

### 3.4 Hydrologická rekultivace

Jedná se o relativně často používanou rekultivaci, hlavně u lomů, kde se vytváří jáma vhodná pro napuštění. Je nutné vzít v potaz to, jestli podloží lomu umožní vytvoření vodní nádrže (Phillips, 2012) a aby nedošlo ke konfliktu s případnými krasovými útvary, pokud jsou přítomny, jelikož ty často slouží jako habitat pro různé živočichy, například netopýry. Krom tvorby větších vodních ploch, se také mohou tvořit menší tůňe, jezírka a i potoky (Doležalová et al., 2012). Vodní plochy mohou také vznikat i během přirozené sukcese, hlavně pokud se terén nezarovná. Je dobré uvažovat i o tvorbě periodicky zaplavovaných bezodtokých ploch z důvodu úbytku takovýchto biotopů v krajině.

## 4. Přirozená ekologická obnova

Tento druhý přístup k rekultivaci opuštěných ploch je založen na myšlence, že je možné přeměnit narušené stanoviště na stanoviště přírodní, respektive stanoviště přírodě blízké, díky využití procesu spontánní sukcese (Tropek et al., 2010).

Neočekává se zde téměř žádný přímý ekonomický zisk, alespoň ne v časovém horizontu uvažovaném při plánování budoucího využití lokality. Výjimku snad tvoří pouze vznik pracovních příležitostí spojených s monitoringem dané lokality (Bonifazi, Cutaia, Massacci, & Roselli, 2003), či případným managementem, pokud byl zvolen postup řízené sukcese. Dále by bylo možné polemizovat, že pokud by se rekultivovaná lokalita otevřela pro veřejnost k rekreačním účelům, zejména pro pěší turistiku, tak že by to mohlo přinést zisk pro region ze vzniklého cestovního ruchu. Nicméně tato myšlenka je natolik abstraktní a nepravděpodobná, že má v podstatě nulovou váhu při plánování (J. Wang et al., 2011). Nepočítá se, že by vzniklá lokalita mohla být natolik atraktivní pro širší veřejnost, aby se toto bralo v potaz. V praxi ale takto atraktivní lokalita vzniknout může, na našem území se nabízí jako ideální příklad bývalý lom Velká Amerika, který se díky svým zachovalým strmým stěnám a vzniku umělého jezera, vyhledávanou turistickou destinací stal. Nedá se však přesně říci, do jaké míry to je tím, jaký způsob rekultivace byl použit, a do jaké míry to je dáno dobrou dostupností z hlavního města a faktem, že celý region již byl turisticky atraktivní sám o sobě.

## 4.1 Sukcese

Pojem sukcese (někdy také specifikovaný jako přirozená sukcese) označuje proces v čase, při kterém druhové složení společenstev dané lokality podléhá vývoji směřujícímu k tzv. klimaxovému stavu, který je stabilní v delším časovém měřítku než stavy předchozí (Prach et al., 2016; Walker & Del Moral, 2003).

Existují dva druhy sukcese - sukcese primární a sukcese sekundární. Primární sukcese následuje vznik zcela nové, doposud neexistující lokality, například výron lávy, velký sesuv půdy, či právě odtěžení části krajiny při lomařské činnosti. Sekundární sukcese, v krajině mnohem častější případ, následuje narušení plochy, která byla předtím osídlená (Walker & Del Moral, 2003). Příkladem mohou být plochy zasažené požárem, povodněmi, nebo větrem (lesní polomy) nebo třeba vytěžením lesa. Všechny tyto příklady jsou však určeny disturbancí, další možnost, jak nastartovat proces sukcese, je změna určitého klíčového faktoru, ať už biotického, abiotického, nebo faktoru spojeného s lidskou činností, který doposud formoval složení společenstev dané lokality. Nejčastější takovýto případ je opuštění doposud obhospodařované plochy - pole, louky, či pastviny. Dalším příkladem může být vyschnutí vodní plochy, přirozená změna toku řeky díky procesu meandrace, nebo třeba rozmrznutí permafrostu. Biotickým faktorem, který nastartuje sukcesi, může být vymizení klíčového predátora, nebo náhlé vymizení dominantního druhu, který doposud limitoval rozvoj druhů ostatních.

Zjednodušeně se tedy dá říci, že proces sukcese se nastartuje tehdy, pokud dojde k uvolnění či vytvoření nové niky (Walker & Del Moral, 2003). Jistý problém však nastává, pokud se budeme snažit tento proces přesněji definovat v prostoru a čase, jelikož sukcese probíhá bezpochyby na všech časových a prostorových úrovních. Prostorově se dá pozorovat sukcese od úrovně mikroskopické, po úroveň velkých biosferických celků. V momentě kdy obrátíme kámen, se nastartuje sukcese na ploše kterou doposud zakrýval, pád stromu v lese nastartuje sukcesi na ploše, kterou doposud stínil (v tomto případě se jedná o tak specifický a v přírodě častý jev, že má i své označení - tzv. gap dynamics). Po lesním požáru se nastartuje sukcese na tomto nově vzniklém spáleníšti. Dalších příkladů by se dalo uvést nesčetně, jelikož proces sukcese provází vývoj celé biosféry (Walker & Del Moral, 2003).

Časová úroveň sukcese je ještě o něco problematictější. Vývoj společenstev je dobře pozorovatelný v krátkém časovém měřítku, relativně snadno můžeme pozorovat (a predikovat) sukcesi mikroskopických společenstev po dešti v kaluži vody. Naopak pozorovat sukcesi na lesním celku napříč stovkami let je mnohem složitější. Důvod je zřejmý - antropocentrický bias daný délkou lidského života, a tudíž naší neschopností vnímat dlouhodobé změny probíhající na větším časovém měřítku. Proto se v takovýchto případech musí jakýkoli výzkum obracet na historické a fosilní záznamy, které nikdy nebudou tak přesné a zjevné jako pozorování v reálném čase. Dále je třeba ještě zmínit fakt, že forma současné vědy je nastavena tak, že se upřednostňuje, ať už přímo či nepřímo, takové práce, které se zabývají experimenty a pozorováními na škálách jednotek let. Je problematické najít financování a zázemí pro výzkum, který by potřeboval probíhat řádově desítky let předtím, než by z něj byly nějaké publikovatelné výsledky. Naprostá většina takovýchto současných dlouhodobých výzkumů je založena na pohledu zpět do minulosti a staví sekundárně na tom, že o konkrétních lokalitách existují záznamy, což přináší pouze další bias v tom, že tyto retrospektivní publikace berou v potaz právě ty lokality, o kterých tyto záznamy existují (Chenot et al., 2017; Mouflis et al., 2008).

Hlavní rozdíl mezi sukcesí primární a sukcesí sekundární je v přítomnosti propagulí na dané ploše (Walker & Del Moral, 2003). Proto je v případě primární sukcese nutné brát v potaz nejen schopnost druhů uchytit se, ale také jejich schopnost kolonizovat danou lokalitu ze zdrojové populace. Další zásadní rozdíl je v tom, že v případě sukcese primární není na této nově vzniklé ploše přítomen půdní horizont, což značně zpomaluje proces kolonizace. Nejprve musí nastoupit proces pedogeneze, který je ze začátku velmi pomalý.

#### **4.1.1 Pedogeneze**

Proces pedogeneze - tedy proces formování půdy, je velmi komplikovaný a má různá specifika daná výchozími podmínkami - typem mateční horniny, mírou větrné či vodní eroze, přítomností periodického mrazu, izolovaností lokality (určující schopnost organismů onu lokalitu kolonizovat) atd. (Frouz et al., 2008) Proto pro potřeby této práce stačí představit jen hrubé schéma a zvýraznit specifika pedogeneze při rekultivaci opuštěných lomů metodou přirozené ekologické obnovy.

Celý proces formace půdního profilu začíná obnažením mateční horniny. Následuje sled erozních procesů při kterých se zmenšuje velikost zrna substrátu a zvětšuje se jeho porovitost, tudíž i retenční kapacita (schopnost zadržovat vodu). Eroze může mít spoustu podob a je ovlivněna lokálními podmínkami.

Fyzikální zvětrávání je způsobeno periodickým střídáním teplot, které způsobí cyklickou expanzi a kontrakci horniny, díky čemuž nakonec dojde k formaci prasklin a fragmentaci na menší části. Dalším faktorem je mechanické tření - abraze, způsobené opakovaným třením jednotlivých částíček fragmentované horniny. Tyto částičky může uvést do pohybu tekoucí voda, formace ledu, vítr (v tomto případě se mluví o tzv. korazi) nebo gravitace.

Chemické zvětrávání probíhá jednak působením vzduchu, který díky přítomnosti kyslíku oxiduje některé složky mateční horniny. Dále pak ve větší míře působením vody, která je v některých případech schopna rozpouštět matrix mateční horniny jako takové, v přírodě však nikdy nepůsobí pouze samotná voda jako taková, jelikož neustále dochází k rozpouštění ve vzduchu všudypřítomného oxidu uhličitého za vzniku slabého vodního roztoku kyseliny uhličité. Tento roztok rozpouští zejména uhličitanové minerály, obsahující vápník a hořčík. Díky tomuto mechanismu pak může v oblastech s vápencovým podložím často docházet k formaci krasových útvarů. V podzemí je parciální tlak oxidu uhličitého nižší, což vede k relativnímu přesycení vodního roztoku vápennými ionty, které se proto mohou zpětně uvolňovat a krystalizovat (Palmer, 1991).

Naprostě klíčovým faktorem jak fyzikálního, tak chemického zvětrávání je působení a opakování těchto procesů v čase, jejich výsledkem je zvyšování schopnosti substrátu hostit různé organizmy. Tyto organizmy pak nastartují proces humifikace - obohacení půdního profilu organickou složkou. To vede ke kladné zpětné vazbě a dalšímu zvýšení úživnosti substrátu (Šourková et al., 2005).

Opuštěné lomy mají zpravidla některá specifika, která do jisté míry urychlují proces pedogeneze. Hlavním z nich je jejich typicky malá míra izolovanosti (Frouz et al., 2008). Přítomnost okolních klimaxových stanovišť umožňuje kolonizaci (Horáčková, Řehounková, & Prach, 2016), a dále zanášení organického materiálu do lomu (Yuan et al., 2006), který se díky hrubému reliéfu, a tomu, že opuštěný lom bývá v podstatě konvexní, má dobrou šanci v něm udržet.

## 4.2 Řízená sukcese

Pokud do procesu přirozené sukcese zasahuje svou činností člověk, pak se tento proces označuje pojmem řízená sukcese. Je však nutné, aby tyto zásahy byly vědomé a cílené na konkrétní usměrnění průběhu sukcese jako takové. Tímto usměrněním je myšleno provádění takových zásahů vedoucích ke zvýhodňování předem vybraných druhů a společenstev, které by se na rekultivované ploše nemusely vyskytnout (případně vyskytovat v takové míře a hustotě), na úkor druhů a společenstev které by se na této ploše spontánně uchytily bez žádných zásahů (Khater, Martin, & Maillet, 2003). Podstatné je, aby tyto zásahy byly co možná nejúspornější, při zachování jejich efektivnosti (Tropek et al., 2012). Je totiž samozřejmě možné si představit, že lze uměle postavit a simulovat chtěný biotop, pokud jsou k dispozici neomezené prostředky. Z tohoto důvodu je nutné abychom měli co možná nejlepší porozumění procesu sukcese a toho, jak ho jednotlivé faktory ovlivňují. Na základě toho je pak možné stanovit optimální postup při provádění nutných zásahů.

Zásahy do procesu sukcese se dají rozlišit do dvou distinktních skupin – zásahy provedené hned po opuštění lomu, před tím, než se proces sukcese plně nastartuje, a pak zásahy prováděné v průběhu sukcese samotné. V prvním případě se může jednat o hrubé terénní úpravy (Legwaila et al., 2015), navezení úživnějšího substrátu nebo vysetí cílových druhů (Gilardelli, Sgorbati, Citterio, & Gentili, 2016). Je možné použití téměř jakýkoli způsob výsadby, klasické vysévání předem vybrané semenné směsi, vysévání pomocí přenosu sena z blízké dárcovské lokality, která je použita jako modelová lokalita pro rekultivovanou plochu, nebo využitím metody tzv. hydroseeding, což je proces, při kterém se vysévaná směs semen smíchá s celulózou (může být z různých zdrojů – recyklovaný papír, dřevařský odpad, což ovlivní vlastnosti dané směsi) případně s hnojivem, a následně se se smíchá s vodou nastříká na cílovou plochu. Výhodou této poslední metody je to, že klíčící semena nepodléhají takovému stresu ze sucha, jelikož přítomná celulóza je schopná zadržovat vodu déle než, často chudý a nevyvinutý substrát opuštěného lomu, který má pouze omezenou retenční kapacitu. Nevýhodou však je, že vyšší technologická a cenová náročnost (Ballesteros et al., 2017). Výsev pomocí sena má podobné výhody jako metoda hydroseeding, krom semen je v seně velké množství biomasy, která je schopná zadržovat vodu a svým postupným rozkladem přispívat k úživnosti substrátu a zvětšování podílu humusu. Nevýhodou je fakt, že

je nutné předem identifikovat vhodnou lokalitu na které se provede sklizeň sena, Není zde možný zcela optimální výběr druhů, protože je zjevné, že se tato dárcovská lokalita bude lišit od té rekultivované, proto se ne všechny druhy budou schopny zde uchytit, a naopak budou některé námi žádané druhy chybět. Další nevýhodou je problematická kontrola nad hustotou a rovnoměrností výsevu (Gilardelli et al., 2016). Klasický výsev má výhodu v tom, že je technologicky nejméně náročný, nevýhodou je pak nejvyšší úmrtnost semenáčků, kvůli největší náchylnosti na vysychání (Oliveira, Clemente, Nunes, & Correia, 2014). Obecná nevýhoda výsevů je v relativně špatné predikovatelnosti úspěchu, je velká variabilita v tom, kdy se výsev provede, dále je třeba uvážit při využívání směsi druhů, že jednotlivé druhy budou mít rozdílné ekologické optimum, nebo to že výsledné společenstvo které se uchytí může být rozdílné, v závislosti na hustotě provedeného výsevu (Münzbergová, 2012).

V případě druhé skupiny zásahů – zásahy v průběhu procesu sukcese, hovoříme o tzv. managementu. Většinou se jedná o opakované, případně dlouhodobé, zásahy, které by zde jinak nebyli přirozeně přítomny (nebo přítomny v takové míře). Jak je zřejmé, přítomnost zásahů jak z první, tak z druhé skupiny, staví rekultivace řízenou sukcesí na pomezí mezi přirozenou ekologickou obnovou a technickou rekultivací. Dá se ale říci, že z pravidla stojí blíže právě přirozené ekologické obnově, jelikož těžiště stojí na využívání přirozených procesů a prováděné zásahy se dělají za účelem usměrnění procesu sukcese.

### **4.3 Management**

Pojmem management v biologickém kontextu znamená způsob hospodaření s danou lokalitou pomocí vědomých, cílených zásahů, které mají za cíl usměrnit přirozený vývoj společenstev tak, aby se maximalizovala jejich ekologická hodnota. To však nutně nemusí znamenat pouze maximalizaci druhové diverzity a diverzity biologických procesů na stanovišti. V některých případech se snažíme zvýhodňovat ohrožené druhy a společenstva na úkor produktivity daného biotopu (Wheater & Cullen, 1997). Vhodným druhem managementu je možné vytvořit, a hlavně udržet taková společenstva, která již jsou v okolní krajině vzácné, či úplně vymizelá (Novák & Prach, 2003). Je zjevné, že (opuštěné) lomy jsou zcela nepřirodní útvar ale ukazuje se, že mohou fungovat jako analogy různých xerických skalních a šterkových stanovišť (Tomlinson, Matthes, Richardson, & Larson, 2008).

Za druh managementu se dá považovat například prořezávání lesa, nebo selektivní odstraňování nežádoucích, mnohdy invazních, druhů, vašem prostředí například akát - *Robinia pseudoacacia* L., rukevník - *Bunias orientalis* L. nebo křídlatka Reynoutria sp. (Prach et al., 2016). Dále se za management považuje dlouhodobé, opakované ovlivňování dané plochy, v případě (ne lesnický) rekultivovaných lomů jsou pak hlavní typy managementu v našem prostředí kosení, pastva a případně vypalování (Beneš, Kepka, & Konvička, 2003). Cílem těchto zásahů je udržení sukcesních stanovišť, konkrétně xerických stepí, jelikož patří v naší krajině mezi ty nejohroženější (Novák & Prach, 2010).

## 5. Diskuze

Problematika rekultivací opuštěných lomů je na jednu stranu relativně dobře prozkoumaná, na stranu druhou naráží na několik komplikací, hlavně při snaze o implementaci v praxi. Už jen problém samotného českého pojmu *rekultivace*, pokud se nad významem slova zamyslíme, znamená něco jako „znovuzkulturnění“ což nedává zcela smysl, jelikož i lom samotný je nedílnou součástí kulturní krajiny. Anglický ekvivalent *reclamation* je v tomto ohledu výstižnější, jelikož odkazuje na jakési „znovuzabrání“ narušené plochy. V češtině se dále vyskytují v tomto kontextu pojmy *revitalizace*, *renaturace*, *remediace* a *sanace*, které podobně jako pojem *rekultivace* nemají přesně definované užití, a tak se používají se značným přesahem a do značné míry zaměnitelně.

Další problém při převodu poznatků do praxe je v definování cílů rekultivace. Každá zúčastněná strana může zastávat rozdílné zájmy, a pokud cíle rekultivace nejsou stanoveny přesně v legislativě, tak nelze jednoznačně rozhodnout, který postup využít. Tento problém je širší než pouze ve vztahu k rekultivaci opuštěných lomů, jedná se o problém vztahu člověka k přírodě jako takové. To, že v současnosti převládá názor vědecké veřejnosti preferovat přirozenou ekologickou obnovu (ať už se zásahy, nebo bez) vůči čistě technickým rekultivacím neznámá, že je takovéto řešení pro danou lokalitu to nejlepší možné. Nedá se říci, že snaha o tvorbu sekundárních, nově vzniklých stanovišť za účelem zvýšení druhové diverzity, by byla objektivně lepší. Dá se pouze říci, že současný převládající vědecký názor cílí na ochranu obecné biodiverzity.

## 6. Závěr

Cílem této práce bylo přiblížit současný stav poznání problematiky rekultivací opuštěných lomů a uvést přehled různých, v praxi používaných, metod a postupů. Ukázalo se, že míra poznání je na dostatečné úrovni k tomu, aby bylo možné dělat informovaná rozhodnutí o provádění (či neprovádění) různých zásahů do narušené plochy po ukončení těžby. Je možné predikovat, jak se bude daná lokalita vyvíjet a lze do jejího vývoje zasahovat a usměrnit ho pro naše potřeby. Díky tomuto faktu je tak možné vytvářet na plochách bývalých lomů různá stanoviště která mohou mít i značný potenciál z hlediska ochrany přírody.

Naprostě klíčové je včasné (ideálně již v průběhu těžby) stanovení přesných cílů rekultivace a vypracování studie o nezbytných krocích a jejich implementace průběhu času. Rekultivaci stanoviště je možné směřovat dvěma hlavními směry – technickou rekultivací nebo přirozenou ekologickou obnovou. Výsledkem technické rekultivace je relativně rychlý vznik umělého stanoviště, které často umožňuje další komerční využití (pole, les), naopak přirozená ekologická obnova vede k pomalejší tvorbě stanovišť přírodních, respektive stanovišť přírodě blízkých.

Další rozvoj tohoto oboru je možný zejména ve snaze o stanovení formálního postupu, vedoucího k definici cílů rekultivace. Dále pak ve snaze o propojení vědeckých poznatků s legislativní stránkou věci, což by mohlo ve výsledku vést úspoře finančních prostředků a tvorbě kvalitnějších stanovišť obecně.

## 7. Seznam literatury

- Almendro-Candel M. B., Navarro-Pedreño J., Jordán M. M., Gómez I., & Meléndez-Pastor I. (2014). Use of municipal solid waste compost to reclaim limestone quarries mine spoils as soil amendments: Effects on Cd and Ni. *Journal of Geochemical Exploration*, 144(PB), 363–366. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2013.11.002>
- Ballesteros M., Cañadas E. M., Marrs R. H., Foronda A., Martín-Peinado F. J., & Lorite J. (2017). Restoration of Gypsicolous Vegetation on Quarry Slopes: Guidance for Hydroseeding under Contrasting Inclination and Aspect. *Land Degradation and Development*, 28(7), 2146–2154. <https://doi.org/10.1002/ldr.2740>
- Beneš J., Kepka P., & Konvička M. (2003). Limestone Quarries as Refuges for European Xerophilous Butterflies. *Conservation Biology*, 17(4), 1058–1069. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.02092.x>
- Bonifazi, G. Cutaia, L., Massacci P., & Roselli I. (2003). Monitoring of abandoned quarries by remote sensing and in situ surveying. *Ecological Modelling*, 170(2–3), 213–218. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(03\)00228-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(03)00228-X)
- Boscutti F., Vianello A., Bozzato F., & Casolo V. (2017). Vegetation structure, species life span, and exotic status elucidate plant succession in a limestone quarry reclamation. *Restoration Ecology*, 25(4), 595–604. <https://doi.org/10.1111/rec.12476>
- Buondonno A., Grill, E., Capr, G. F., Glorioso C., Langella A., Leone A. P., Vigliotti R. C. (2013). Zeolitized tuffs in pedotechnique for the reclamation of abandoned quarries. A case study in the Campania region (Italy). *Journal of Environmental Management*, 122, 25–30. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.02.013>
- Chenot J., Jaunatre R., Buisson E., & Dutoit T. (2017). Long-term effects of topsoil transfer assessed thirty years after rehabilitation of dry alluvial quarries in Southeastern France. *Ecological Engineering*, 99, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.010>

- Clemente A. S., Werner C., Máguas C., Cabral M. S., Martins-Louçao M. A., & Correia O. (2004). Restoration of a limestone quarry: Effect of soil amendments on the establishment of native Mediterranean sclerophyllous shrubs. *Restoration Ecology*, *12*(1), 20–28. <https://doi.org/10.1111/j.1061-2971.2004.00256.x>
- Cohen-Fernande, A. C., & Naeth M. A. (2013). Increasing woody species diversity for sustainable limestone quarry reclamation in Canada. *Sustainability (Switzerland)*, *5*(3), 1340–1355. <https://doi.org/10.3390/su5031340>
- Doležalová J., Vojar J., Smolová D., Solský M., & Kopecký O. (2012). Technical reclamation and spontaneous succession produce different water habitats: A case study from Czech post-mining sites. *Ecological Engineering*, *43*, 5–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.11.017>
- Ferreira M. C., & Vieira D. L. M. (2017). Topsoil for restoration: Resprouting of root fragments and germination of pioneers trigger tropical dry forest regeneration. *Ecological Engineering*, *103*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.03.006>
- Frouz J., Mudrák O., Reitschmiedová E., Walmsley A., Vachová P., Šimáčková H., Kučera J. (2018). Rough wave-like heaped overburden promotes establishment of woody vegetation while leveling promotes grasses during unassisted post mining site development. *Journal of Environmental Management*, *205*, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.065>
- Frouz J., Prach K., Pižl V., Háněl L., Starý J., Tajovský K., Řehouňková K. (2008). Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *European Journal of Soil Biology*, *44*(1), 109–121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.09.002>
- Gilardelli F., Sgorbati S., Citterio S., & Gentili R. (2016). Restoring Limestone Quarries: Hayseed, Commercial Seed Mixture or Spontaneous Succession? *Land Degradation and Development*, *27*(2), 316–324. <https://doi.org/10.1002/ldr.2244>

- Horáčková M., Řehouňková K., & Prach K. (2016). Are seed and dispersal characteristics of plants capable of predicting colonization of post-mining sites? *Environmental Science and Pollution Research*, 23(14), 13617–13625. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5415-5>
- Jordán M. M., Pina S., García-Orenes F., Almendro-Candel M. B., & García-Sánchez E. (2008). Environmental risk evaluation of the use of mine spoils and treated sewage sludge in the ecological restoration of limestone quarries. *Environmental Geology*, 55(2), 453–462. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0991-4>
- Khater C., Martin A., & Maillet J. (2003). Spontaneous vegetation dynamics and restoration prospects for limestone quarries in Lebanon. *Applied Vegetation Science*, 6(2), 199–204. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2003.tb00580.x>
- Legwaila I. A., Lange E., & Cripps J. (2015). Quarry Reclamation in England: a Review of Techniques. *Journal American Society of Mining and Reclamation*, 4(2), 55–79. <https://doi.org/10.21000/JASMR15020055>
- Lei K., Pan H., & Lin C. (2016). A landscape approach towards ecological restoration and sustainable development of mining areas. *Ecological Engineering*, 90, 320–325. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.080>
- Lundholm J. T., & Richardson P. J. (2010). Habitat analogues for reconciliation ecology in urban and industrial environments. *Journal of Applied Ecology*, 47(5), 966–975. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01857.x>
- Maisto G., De Marco A., De Nicola F., Arena C., Vitale L., & Virzo De Santo A. (2010). Suitability of two types of organic wastes for the growth of sclerophyllous shrubs on limestone debris: A mesocosm trial. *Science of the Total Environment*, 408(7), 1508–1514. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.12.041>
- Martín-Duque J. F., Sanz M. A., Bodoque J. M., Lucía A., & Martín-Moreno C. (2010). Restoring earth surface processes through landform design. A 13-year monitoring of a geomorphic reclamation model for quarries on slopes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(5), 531–548. <https://doi.org/10.1002/esp.1950>

- Milgrom T. (2008). Environmental aspects of rehabilitating abandoned quarries: Israel as a case study. *Landscape and Urban Planning*, 87(3), 172–179.  
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.06.007>
- Moreno-Peñaranda R., Lloret F., & Alcañiz J. M. (2004). Effects of sewage sludge on plant community composition in restored limestone quarries. *Restoration Ecology*, 12(2), 290–296. <https://doi.org/10.1111/j.1061-2971.2004.00310.x>
- Mouflis G. D., Gitas I. Z., Iliadou S., & Mitri G. H. (2008). Assessment of the visual impact of marble quarry expansion (1984-2000) on the landscape of Thasos island, NE Greece. *Landscape and Urban Planning*, 86(1), 92–102.  
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.12.009>
- Münzbergová Z. (2012). Seed Density Significantly Affects Species Richness and Composition in Experimental Plant Communities. *PLoS ONE*, 7(10).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046704>
- Neri A. C., & Sánchez L. E. (2010). A procedure to evaluate environmental rehabilitation in limestone quarries. *Journal of Environmental Management*, 91(11), 2225–2237.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.06.005>
- Novák, J. & Konvička M. (2006). Proximity of valuable habitats affects succession patterns in abandoned quarries. *Ecological Engineering*, 26(2), 113–122.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.06.008>
- Novák J., & Prach K. (2003). Vegetation succession in basalt quarries: Pattern on a landscape scale. *Applied Vegetation Science*, 6(2), 111–116. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2003.tb00570.x>
- Novák J., & Prach K. (2010). Artificial sowing of endangered dry grassland species into disused basalt quarries. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 205(3), 179–183. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2009.03.003>
- Oliveira G., Clemente A., Nunes A., & Correia O. (2014). Suitability and limitations of native species for seed mixtures to re-vegetate degraded areas. *Applied Vegetation Science*, 17(4), 726–736. <https://doi.org/10.1111/avsc.12099>

- P. Montañez-Escalante, L. García-Barrios (2006). Quarry reclamation in Mérida, Yucatán, México: A review on achievements and current limitations. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1(6), 117–122. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2015.06.019>
- Palmer A. N. (1991). Origin and morphology of limestone caves. *GSA Bulletin*, 103(1), 1–21. Retrieved from [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1991\)103%3C0001:OAMOLC%3E2.3.CO](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1991)103%3C0001:OAMOLC%3E2.3.CO)
- Phillips J. (2012). The level and nature of sustainability for clusters of abandoned limestone quarries in the southern Palestinian West Bank. *Applied Geography*, 32(2), 376–392. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.06.009>
- Pitz C., Piqueray J., Monty A., & Mahy G. (2018). Naturally recruited herbaceous vegetation in abandoned Belgian limestone quarries: towards habitats of conservation interest analogues? *Folia Geobotanica*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12224-018-9313-8>
- Prach K., Tichý L., Lencová K., Adámek M., Koutecký T., Sádlo J., Řehouňková K. (2016). Does succession run towards potential natural vegetation? An analysis across seres. *Journal of Vegetation Science*, 27(3), 515–523. <https://doi.org/10.1111/jvs.12383>
- Řehouňková, K., Čížek, L., Řehounek, J., Šebelíková, L., Tropek, R., Lencová, K., ... Máca, J. (2016). Additional disturbances as a beneficial tool for restoration of post-mining sites: a multi-taxa approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(14), 13745–13753. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6585-5>
- Simón-Torres M., del Moral-Torres F., de Haro-Lozano S., & Gómez-Mercado F. (2014). Restoration of dump deposits from quarries in a Mediterranean climate using marble industry waste. *Ecological Engineering*, 71, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.039>

- Šourková M., Frouz J., Fettweis U., Bens O., Hüttl R. F., & Šantrůčková H. (2005). Soil development and properties of microbial biomass succession in reclaimed post mining sites near Sokolov (Czech Republic) and near Cottbus (Germany). *Geoderma*, *129*(1), 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.032>
- Tischew S., Baasch A., Grunert H., & Kirmer A. (2014). How to develop native plant communities in heavily altered ecosystems: Examples from large-scale surface mining in Germany. *Applied Vegetation Science*, *17*(2), 288–301. <https://doi.org/10.1111/avsc.12078>
- Tomlinson S., Matthes U., Richardson P. J., & Larson D. W. (2008). The ecological equivalence of quarry floors to alvars. *Applied Vegetation Science*, *11*(1), 73–82. <https://doi.org/10.3170/2007-7-18318>
- Tropek R. (2009). Can quarries supplement rare xeric habitats in a Piedmont region? Spiders of the Blansky les mts, Czech republic. *Land Degradation and Development*, *20*(June 2007), 587–588. <https://doi.org/10.1002/ldr>
- Tropek R., Kadlec T., Hejda M., Kocarek P., Skuhrovec J., Malenovsky I., Konvicka M. (2012). Technical reclamations are wasting the conservation potential of post-mining sites. A case study of black coal spoil dumps. *Ecological Engineering*, *43*, 13–18. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.10.010>
- Tropek R., Kadlec T., Karesova P., Spitzer L., Kocarek P., Malenovsky I., Konvicka M. (2010). Spontaneous succession in limestone quarries as an effective restoration tool for endangered arthropods and plants. *Journal of Applied Ecology*, *47*(1), 139–147. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01746.x>
- Walker L. R., & Del Moral R. (2003). *Primary succession and ecosystem rehabilitation*. Cambridge University Press.
- Wang H., Zhang B., Bai X., Shi L., & Zhang B. (2018). A novel environmental restoration method for an abandoned limestone quarry with a deep open pit and steep palisades : a case study Subject Category : Subject Areas : Author for correspondence : <https://doi.org/10.1098/rsos.180365>

- Wang J., Li Z., Hu X., Wang J., Wang D., & Qin P. (2011). The ecological potential of a restored abandoned quarry ecosystem in Mt. Mufu, Nanjing, China. *Ecological Engineering*, 37(6), 833–841. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.12.026>
- Wheater C. P., & Cullen W. R. (1997). The flora and invertebrate fauna of abandoned limestone quarries in Derbyshire, United Kingdom. *Restoration Ecology*, 5(1), 77–84. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.1997.09708.x>
- Wheater C. P., Cullen W. R., & Bell J. R. (2000). Spider communities as tools in monitoring reclaimed limestone quarry landforms. *Landscape Ecology*, 15(5), 401–406. <https://doi.org/10.1023/A:1008171023039>
- Wyss E. (1996). The effects of artificial weed strips on diversity and abundance of the arthropod fauna in a Swiss experimental apple orchard. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 60(1), 47–59. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(96\)01060-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0167-8809(96)01060-2)
- Yuan J. G., Fang W., Fan L., Chen Y., Wang D. Q., & Yang Z. Y. (2006). Soil formation and vegetation establishment on the cliff face of abandoned quarries in the early stages of natural colonization. *Restoration Ecology*, 14(3), 349–356. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2006.00143.x>
- Tsolaki-Fiaka S., Bathrellos G., & Skilodimou H. (2018). Multi-Criteria Decision Analysis for an Abandoned Quarry in the Evros Region (NE Greece). *Land*, 7(2), 43. <https://doi.org/10.3390/land7020043>