

**Univerzita Karlova**  
**Přírodovědecká fakulta**  
Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie  
Studijní obor: Fyzická geografie a geoinformatika



Marie Plasová

## **Rychlost sekvestrace uhlíku v půdách kamenolomů**

Rate of soil organic carbon sequestration in stone quarries

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Tomáš Chuman, Ph.D.

Praha 2020

## **Zadání diplomové práce**

**Název práce:** Rychlost sekvestrace uhlíku v půdách kamenolomů

**Název práce v AJ:** Rate of soil organic carbon sequestration in stone quarries

### **Cíle práce:**

- rešerše literatury o rychlosti sekvestrace uhlíku, koloběhu uhlíku v půdách se zaměřením na plochy po těžbě nerostných surovin
- terénní výzkum zaměřený na stanovení rychlosti sekvestrace uhlíku a jeho zásobu v půdách kamenolomů a vyhodnocení odebraných vzorků

**Zájmové území:** Oblast kamenolomů v chráněném ložiskovém území na Skutečsku, konkrétně v katastrálních území Leštinka (680575) a Skuteč (749168), lišící se sukcesním stářím.

**Metody:** Kvantitativní odběr vzorků půd na stanovištích různého stáří spontánního vývoje, analýza  $C_{\text{toc}}$ .

**Datové zdroje:** Odborná literatura, články publikované v českých a zahraničních periodikách, volně přístupná data a webové aplikace státní správy a příspěvkových organizací České republiky, datové zdroje poskytované firmou ESRI.

Datum zadání: 4. prosince 2018

Jméno studenta: Marie Plasová

Podpis studenta: .....

Jméno školitele: RNDr. Tomáš Chuman, Ph.D.

Podpis školitele: .....

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracovala samostatně a uvedla všechny informační zdroje a použitou literaturu. Tuto práci ani její podstatnou část jsem nepředložila k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 14. srpna 2020

.....  
Marie Plasová

### **Poděkování**

Děkuji svému školiteli RNDr. Tomáši Chumanovi, Ph.D. za trpělivost, vstřícnost, podnětné rady a za pomoc při získávání dat. Také děkuji Centru výzkumu stabilních a radiogenních izotopů Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy za analýzu odebraných vzorků.

## Abstrakt

Při lomové těžbě nerostných surovin vznikají antropogenně disturbované plochy, na kterých je možné sledovat vývoj půd a studovat například rychlost pedogenetických procesů či rychlost akumulace živin. Cílem předložené práce bylo zjistit rychlost sekvestrace a zásobu uhlíku v půdách kamenolomů v oblasti granodioritových lomů na Skutečsku, kde se jednotlivé lomy liší sukcesním stářím.

Vzorky byly získány kvantitativně. Celkem bylo odebráno 69 vzorků z 24 stanovišť v definovaných hloubkách 0–10 cm, 10–20 cm a nadložní horizont opadanky (LFH). Sukcesní stáří se pohybovalo od 1 (nová etáž bez dřevin) do 84 let (Derková, 2020). Vzorky byly zpracovány až po finální jemnozem a následně bylo analyzováno množství celkového uhlíku ( $C_{\text{toc}}$ ) hmotnostním spektrometrem v Centru výzkumu stabilních a radiogenních izotopů Přf UK na přístroji Flash EA 2000 a TC/EA High Temperature Conversion Elemental Analyzer. Pro výpočet závislosti zásob uhlíku a rychlost sekvestrace uhlíku v půdách kamenolomů na sukcesním stáří stanoviště byla použita metoda lineární regrese.

Výsledky ukázaly, že se zásoba uhlíku se sukcesním stářím zvyšuje a rychlost sekvestrace se sukcesním stářím klesá. Největší vliv na rychlost sekvestrace má rychlost ukládání v hloubce 0–10 cm, kde se nachází až 70 % sekvestrovaného uhlíku. Celková zásoba uhlíku je u nejstarších stanovišť, starších 50 let, v průměru  $2,52 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ . Průměrná rychlost sekvestrace po 30 letech je  $76,8 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$  a průměr u stanovišť starších 50 let je  $45,7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ .

**Klíčová slova:** sekvestrace, primární sukcese, uhlík, půda

## **Abstract**

As a result of minerals extraction, anthropogenically disturbed sites are created. In these sites we can study soil development, the rate of pedogenetic processes or the rate of nutrient accumulation. The aim of this thesis is to investigate the rate of sequestration and carbon stock in stone quarry soils in the area of granodiorite quarries near Skuteč, Czech Republic, where the quarries are different in successional age.

The material was collected using the method of quantitative sampling with samples of defined volume. In total, 69 samples from 24 sites were collected in defined depths of 0–10 cm, 10–20 cm and the LFH horizon. The successional age varies from 1 year (new level without woody plants) to 84 years (Derková, 2020). The samples were processed to obtain fine earth and then the total amount of carbon (C<sub>tot</sub>) was analysed using mass spectrometer in the Stable and Radiogenic Isotope Research Laboratory at Faculty of Science, Charles University (Flash EA 2000 a TC/EA High Temperature Conversion Elemental Analyzer). Then the dependency between the rate of carbon sequestration, carbon stock and the successional age of the location was analysed using linear regression.

The result obtained indicate that the carbon stock increases with increasing successional age, whereas the sequestration rate decreases with increasing successional age. The 0–10 cm layer, which contains almost 70 % of carbon stock, has the biggest influence on the sequestration process. The total carbon stock in the oldest plots, older than 50 years, is on average 2.52 kg m<sup>-2</sup>. The average sequestration rate after 30 years is 76.8 g m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup> and the average for plot older than 50 is 45.7 g m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>.

**Key words:** sequestration, primary succession, carbon, soil

## Obsah

Abstrakt .....	5
Abstract.....	6
1. Úvod a cíle diplomové práce .....	8
2. Globální cyklus uhlíku .....	9
2.1 Půdní uhlík a jeho sekvestrace .....	10
3. Sukcese a sekvestrace na disturbovaných stanovištích .....	12
3. 1 Přírodní disturbance – primární sukcese a sekvestrace .....	13
3. 1. 1 Sopečná činnost .....	13
3. 1. 2 Deglaciace .....	15
3. 2 Antropogenní disturbance.....	16
3. 2. 1 Výsypky a hnědouhelné lomy .....	17
3. 2. 2 Kamenolomy .....	17
4. Vymezení a stručná charakteristika studovaného území.....	19
4. 1 Přehled fyzickogeografických aspektů.....	19
4. 2 Historie těžby kamene na Skutečsku .....	21
5. Metodika.....	23
5. 1 Zpracování dat .....	24
5. 1. 1 Výpočty a užití statistické metody .....	24
5. 2 Popis lokalit .....	26
6. Výsledky.....	29
6. 1 Přírůstek množství uhlíku v čase .....	29
6. 2 Rychlost sekvestrace.....	32
7. Diskuze .....	36
8. Závěr.....	39
9. Literatura a zdroje.....	40
10. Seznam obrázků, tabulek a příloh.....	50
11. Přílohy .....	51

## 1. Úvod a cíle diplomové práce

Primární sukcese je pomalý přirozený proces obnovy ekosystému na nově vzniklých stanovištích. Taková stanoviště vznikají přirozeně například vulkanickou činností nebo se jedná o zcela nová stanoviště vzniklá po ústupu ledovce, nově vzniklé ostrovy či písčné duny. Zcela nová stanoviště vznikají také antropogenní činností nejčastěji po těžbě nerostných surovin, kde vývoj půd, vegetace a kolonizace živočichy začíná také od počátku. Takováto postmontánní stanoviště různého stáří nám umožňují studovat pomalé procesy vyžadující jinak dlouhodobý monitoring, například rychlost sekvestrace uhlíku v nově vznikajících půdách a faktory, které ji ovlivňují.

Studie postmontánních stanovišť se více věnují výsypkám nebo hnědouhelným lomům, které jsou u nás z hlediska těžby nerostných surovin dominantní a téma jejich obnovy je více v popředí. Z ostatních lomů se studovala spontánní sukcese například ve vápencových lomech krasových oblastí, lomy Českého středohoří, Blanského lesa (Tropek et al. eds. 2015). Věnování se těmto minoritním částem u nás přineslo cca v posledních 30 letech mnoho poznatků o druhové skladbě či sukcesi vegetačního krytu. Studium je přínosné i pro lepší pochopení pedogeneze těchto antropogenně narušených stanovišť a důležitost geodiverzity v krajině.

Cílem diplomové práce byla rešerše literatury na téma sekvestrace uhlíku na stanovištích primární sukcese, a to jak přírodních, tak antropogenních, a zjištění rychlosti sekvestrace uhlíku a jeho zásoby v půdách vyvíjejících se v uzavřených granodioritových lomech na Skutečsku, kde dochází k spontánní obnově ekosystému.

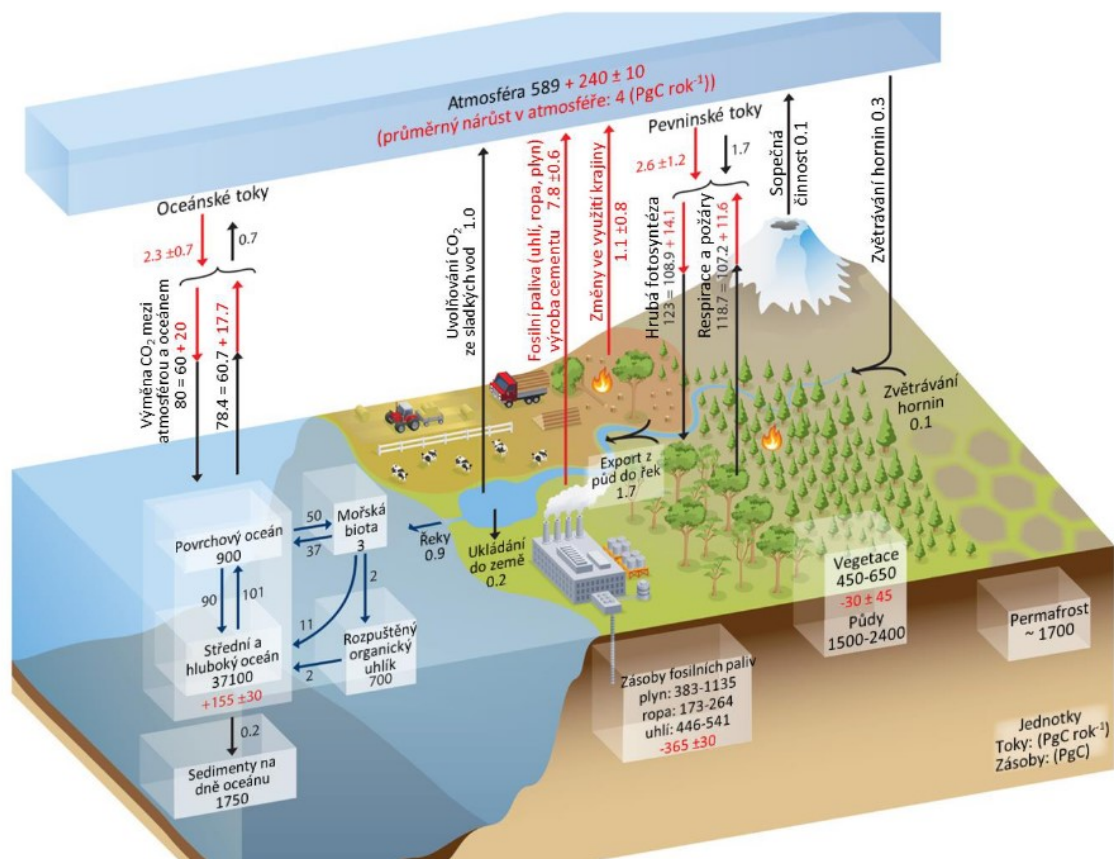


## 2. Globální cyklus uhlíku

Uhlík je základním chemickým prvkem všech organických sloučenin, zároveň tvoří mnoho sloučenin anorganických. V přírodě se vyskytuje nejen vázaný, ale i ve své elementární podobě jako např. grafit nebo diamant.

Cyklus uhlíku funguje na základě výměnného oběhu mezi jeho zásobníky v různých formách a různou rychlostí. V krátkodobém cyklu, kde obrat uhlíku je v řádu let a desetiletí, maximálně tisíciletí, jsou těmito zásobníky atmosféra, hydrosféra, biosféra a pedosféra (Wallace, Hobbs 2006). Dlouhodobý cyklus uhlíku trvá desetitisíce až miliony let (Ciais, Sabine 2013). Jeho hlavním rezervoárem je litosféra, z níž se skrze zvětrávání hornin a sopečnou činnost uvolňují zásoby uhlíku do krátkodobého cyklu. Zpět do dlouhodobého cyklu, v rámci, něž se uhlík sává součástí litosféry, se uhlík dostává například ve formě karbonátů sedimentací. Přírozená výměna mezi oběma cykly je malá, pomalá a v čase takřka konstantní (Ciais, Sabine 2013). Antropogenní činností (spalování fosilních paliv, výroba cementu) došlo ke zrychlení přesunu uhlíku z pomalé části koloběhu do části rychlé a celkový objem uhlíku v krátkodobém cyklu začal stoupat. Dokladem toho je např. zvyšování koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře: naměřená hodnota z března 2020 je 413 ppm (NASA 2020) oproti aproximované hodnotě 280 ppm v době před průmyslovou revolucí (Etheridge et al. 2001).

Množství jednotlivých přenosů mezi zásobníky jsou na obrázku 1 a hlavní složky popsány níže. Největší množství je uloženo v horninách a zemské kůře, odhaduje se až  $10^9$  PgC (Trnka et al. 2020). Oceánský zásobník zadržuje přibližně 38 000 PgC (IPCC 2013) ve formě anorganických sloučenin především solí kyseliny uhličité – hydrogenuhličitanu ( $\text{HCO}_3^-$ ) (Wallace, Hobbs 2006). V atmosféře největší množství tvoří plynný oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) ve výše zmíněné koncentraci přes 400 ppm (NASA 2020). Základní výměnu mezi atmosférou a biosférou tvoří fotosyntéza a respirace. Část uhlíku se zabuduje do biomasy a druhá část se vrací do atmosféry respirací nebo rozkladem (Wallace, Hobbs 2006). Zásoba půdního uhlíku se odhaduje na 1500 PgC (IPCC 2013).



Obr. 1: Globální cyklus uhlíku (IPCC 2013, přeložená verze převzata z Trnka et al. 2020).

## 2.1 Půdní uhlík a jeho sekvestrace

Sekvestrace uhlíku je proces absorbování a ukládání oxidu uhličitého z atmosféry (Lal 2007, Oxford Learner's Dictionary 2020, USGS 2020). V různých zdrojích, např. Jain et al. (2012), Selin (2019), UNFCCC (2020), je možné najít větší či menší míru zobecnění tohoto pojmu. Jak upozorňují Nair (2011) a Krna, Rapson (2014), používání a definování tohoto termínu není zcela ustáleno. Základem je však idea, která hovoří o redukci  $\text{CO}_2$  v atmosféře a jeho uložení do dlouhodobějších zásobníků. V současnosti je toto téma populární jako jeden z možných prostředků zmírnění globální změny klimatu v případě, že by člověk mechanismus ovládal uměle nebo mu cíleně přizpůsoboval využívání krajiny a aplikoval šetrnější techniky hospodaření s krajinnými zdroji (Lal 2007, FAO 2019). Z pohledu obnovy ekosystémů postmontánních stanovišť není úloha absorbování co největšího množství  $\text{CO}_2$  primární, ale spíše přidružený pozitivní efekt a ukázka, kde je možné hledat další potenciální zásobníky.

Sekvestrace v terestrickém ekosystému představuje vstup uhlíku prostřednictvím fotosyntézy do rostlinné biomasy a z ní dalšími chemickými a biologickými procesy do půdy. Hlavním zdrojem půdního organického uhlíku je půdní organická hmota tvořená z velké části odumřelou složkou jako rostlinný opad a produkty organismů. Živou složku tvoří různí živočichové, mikroorganismy a kořeny, které jsou také zdrojem organických a anorganických látek (rhizodepozic) ve svém okolí a celkově tvoří hlavní zdroj stabilní organické hmoty v minerálních vrstvách půdy (Šantrůčková et al. 2018). Ve formě opadu se do půdy dostane 1650 kg uhlíku na hektar za rok ve smrkovém lese a až 2882 kg uhlíku na hektar za rok v bukovém lese (Oulehle et al. 2018).

Pro vytváření nově vznikajících půd je důležitá akumulace organické hmoty (Bradshaw 1997, Abakumov et al. 2013). Akumulace organické hmoty na povrchu vede k utváření svrchního organického horizontu a ke zlepšování fyzikálních a chemických vlastností půdy, jako je zvýšení retenční kapacity, zvýšení obsahu živin, rozvoj půdní flóry a fauny a další (Herrick, Wander 1998, Abakumov, Frouz 2014). Formování svrchní humusové vrstvy v počátku vytváření nové půdy předurčuje budoucí utváření půdního profilu a tím půdní typ (Abakumov 2008).

Jenny (1941) definoval pět základních půdotvorných faktorů. Jsou to: klima, reliéf, půdotvorný substrát, biologická složka (vegetace a mikroorganismy) a čas. Všechny tyto základní faktory mají vliv na rychlost ukládání uhlíku. V souvislosti se studováním antropogenních disturbancí postmontánních stanovišť může být rychlost sekvestrace uhlíku indikátorem obnovy ekosystému (Frouz et al. 2009). Každé stanoviště je unikátní a na každém stanovišti může být upřednostněn jiný pedogenetický faktor. Jedná se o složitou kombinaci fyzikálních, chemických a biologických pochodů na daném stanovišti (Němeček et al. 1990).

### 3. Sukcese a sekvestrace na disturbovaných stanovištích

V obecném smyslu ekologické terminologie je sukcese proces změn druhového složení v čase (Walker, del Moral 2003). Je ovlivněna příčinnými faktory a řízena biotickými a abiotickými podmínkami (případně zásahy člověka). Sukcese je přirozenou součástí řady ekosystémů např. po pravidelných požárových disturbancích v boreálních jehličnatých lesích, v nichž požárová dynamika velmi přispívá k biodiverzitě a stabilitě (Prach et al. 2009b), obdobně důležitou roli hraje v dynamice savan (Archibold 1994). Uplatnění antropogenního vlivu na sukcesi a na obnovu/vývoj půdy ve větším rozsahu může být často až zbytečný zásah, který není ekonomický ani prospěšný pro stabilitu (Bradshaw 1997, Abakumov, Frouz 2014). Výjimku tvoří například nutné dekontaminace, ale i u těch je důležité řídit se spíše pravidly prostředí než antropogenním záměrem. Oba případy by pak v dlouhodobém měřítku přes počáteční zlepšení mohly skončit špatně (Bradshaw 1997, Abakumov, Frouz 2014).

Rychlost vývoje vegetace a celého ekosystému včetně vývoje půd a sekvestrace uhlíku je ovlivněna rozsahem disturbance či typem prostředí, kde sukcese probíhá. Dle typu prostředí a míry účinku disturbance bude na stanovišti probíhat primární nebo sekundární sukcese (Clements 1916). V tomto případě nerozhoduje, zda je událost přírodního nebo antropogenního původu. Primární sukcese bude probíhat na místech zničených disturbancemi nebo nově vzniklých stanovištích, kde se nikdy nevyskytovala vegetace nebo kde jsou jakékoliv biologické stopy naprosto minimální (Walker, del Moral 2003). Sekundární sukcese se týká stanovišť, kde po události zaniklo původní společenstvo, ale jeho diaspory a mikroorganismy byly zachovány a slouží k vývoji společenstva nového (Walker, del Moral 2003). U primární sukcese jsou větším hybatelem abiotické faktory stanoviště než u sekundární sukcese, kde jsou více v popředí biotické faktory (Prach, Walker 2019).

V iniciálních fázích primární sukcese jsou v popředí abiotické podmínky prostředí jako teplota, vlhkost, chemické a fyzikální vlastnosti substrátu, izolovanost a případně znečištění (Walker, del Moral 2003). Přes různé lokální podmínky a vlivy byl vypořádan základní, že široce pojatý směr primární sukcese – kolonizace, vývoj, zrání/dospělost a stárnutí, které se často vyskytuje, ale obvykle po několika staletích mizí (Walker, del Moral 2003).

### 3. 1 Přírodní disturbance – primární sukcese a sekvestrace

V této kapitole budou představeny vybrané disturbance přírodního původu, které svým charakterem často zapříčiňují zničení minulého ekosystému; ve zcela nových podmínkách se pak vyvíjí společenstvo nové. Zaměřím se na procesy vedoucí k obnově primární sukcesí, a to oblasti zasažené sopečnou činností, místa po ústupu zalednění (deglaciace) a prostředí písečných dun. Přírodních disturbancí je samozřejmě celá škála a je možné je třídit např. dle příčinných elementů jako voda, oheň, země a vzduch (Walker, Willig 1999). U klasických případů, jako jsou povodně, tropické cyklony, svahové pohyby a požárová dynamika některých ekosystémů, nelze z hlediska obnovy mluvit o primární sukcesi. Na těchto stanovištích v obvyklých případech zůstanou znatelné stopy předchozího společenstva, a naopak se může jednat o pozitivní efekt například na podporu druhové rozmanitosti a stability proti negativním vlivům (Townsend et al. 2010). Dle definic představených výše má obnova takto zasažených ekosystémů blíže k sekundární sukcesi.

#### 3. 1. 1 Sopečná činnost

Vulkanismus je významný endogenní činitel s vlivem na většinu přírodních sfér. Tato aktivita má projev destruktivní i konstruktivní zároveň. Daná událost dle své intenzity může zničit přítomný ekosystém a ve stejnou chvíli je položen základ ekosystému nového. Při dostatečně velkém projevu je plně naplněna premisa primární sukcese. Na škále antropogenního vlivu na přírodní sféru je na zcela opačném konci než dobývání nerostných surovin. Vliv člověka na sopečnou činnost je minimální (Prach, Walker 2020).

Výzkumu primární sukcese na lávových příkrovech či sopečných ostrovech se věnovali např. na Havaji Vitousek et al. (1992) nebo na Islandu Vilmundardóttir et al. (2018). Primární sukcese na lávových proudech je ovlivněna lokálními klimatickými podmínkami (Vitousek et al. 1992), typem a morfologickými vlastnostmi lávy, množstvím a stabilitou spadlé tefry (Deligne et al 2013, Korablev, Neshataeva 2016). Porovnání různých faktorů a celkového vývoje pak obvykle probíhá ještě v závislosti na geografické poloze a uplatnění biogeografických faktorů (del Moral, Grishin 1999). Limitujícím prvkem veškerého vývoje (půdy i rostlin) je absence dusíku a organické hmoty (Walker, del Moral 2003). Titus, Bishop (2014) terénním experimentem na Mt. St. Helens zdůraznili limity rozvoje dané absencí vody. Vysazování semen douglasky tisolisté (*Pseudotsuga*

*menziesii*) na různých stanovištích ukázalo pravděpodobně výraznější kompetici druhů o půdní vláhu než o dusík.

Lokální klimatické podmínky zahrnují především teplotu a srážky případně množství dopadajícího slunečního záření (Korablev, Neshataeva 2016). Např. studie Vitousek et al. (1992), Aplet, Vitousek (1994) a Aplet et al. (1998) zkoumají vliv klimatických podmínek podél výškového gradientu na Mauna Loa a ve svých zjištěních, zda mají větší vliv srážky nebo teplota, se částečně rozcházejí. Chadwick et al. (2003) se přímo zaměřuje na změny půdních vlastností dle množství srážek a výškového gradientu na Kohala Mountain na Havaji. V obecnějším měřítku pak studie Vilmundardóttir et al. (2018) upozorňuje na chybějící poznatky o sukcesi a vývoji půdy sopečné krajiny v subarktickém regionu.

V úvodu této kapitoly byly vyzdviženy abiotické podmínky primární sukcese. U lávových proudů se k nim řadí jako důležitý prvek morfologie. Například lávové typy „aa“ a „pohoe“ se téměř nemusí lišit svým geochemickým složením, ale znatelně se liší viskozitou (Hovorka 1990). Balvanovitější „aa“ lávy mohou díky svému hrubšímu povrchu poskytnout lepší startovní podmínky než „pahoehoe“, jejichž povrch je hladší. V konečném důsledku ale záleží na konkrétním místě, protože velmi pozitivní pro počátky sukcese jsou trhliny a mikrotrhliny v lávových polích. Do těchto prostorů jsou pak zanášeny první jemné částice prachu/půdy a dochází k uchycení vegetace. Nejsnadnější cestu diaspor představuje anemochorický přenos z nejbližšího okolí, v případě izolovanosti místa i zoochorie (Thornton et al. 2001, Korablev, Neshataeva 2016). Pukliny jsou také výhodné z hlediska vláhových podmínek, protože jsou schopné zadržovat více vody (Vitousek et al. 1992). Geochemické složení lávy se pravděpodobně projevuje až po delším čase (stovky let), kdy již původní pole je pokryto vrstvou organické hmoty a v závislosti na pokročilosti zvětrávání se zespoda začínají do této vrstvy uvolňovat příslušné ionty (Kitayama et al. 1995). Procesy dlouhého zvětrávání kyselých pyroklastik (Němeček 2011) pak vznikají velmi úrodné a mocné andosoly, půdy typické pro vulkanické oblasti hojně rozšířené např. v Jižní Americe či Japonsku (Němeček et al. 1990).

Spad tefry může mít dvojitý efekt. V menším množství jako spad jemného popílku může posloužit jako hnojivo pro okolní pole. Ve velkém množství, případně s hrubší texturou pak může stejná pole zadusit (Vilmundardóttir et al. 2018).

Sukcese na lávových polích je pomalá (del Moral, Grishin 1999), ale v humidních tropech vzniklé andosoly často představují nejúrodnější půdy (Němeček et al. 1990). Více předvídatelná tak je rychlost sukcese než její směr (del Moral, Grishin 1999).

### 3. 1. 2 Deglaciace

Táním a ústupem ledovců se odhaluje dříve zakrytý povrch, který je po deglaciaci nově kolonizován (mikroorganismy, semeny, spory); jedná se o další příklad primární sukcese, ale nelze říci, že by povrch pod ledovcem byl do doby jeho roztátí zcela bez života (Wynn-Williams 1993). Také na tento povrch působí nové podmínky a faktory, které určují směr vývoje půdy a rostlinných společenstev. Již sezónní události glaci-fluviální eroze mají vliv na texturu a na obdobných stanovištích to může vést k odlišnému směru vývoje půdy (Dümig et al. 2011).

Předpolí ledovců je vystaveno extrémním klimatickým podmínkám pramenícím z geografického umístění (vyšší nadmořská výška nebo zeměpisná šířka) nebo např. katabatického proudění z ledovcového splazu (Doležal et al. 2008). Velmi tak záleží na lokálních klimatických podmínkách, jejichž význam je nepopiratelný (Kabala, Zapart 2012). Jako hlavní vývojový faktor v tomto prostředí se nicméně uplatňuje substrát, jeho textura a stabilita (Prach, Walker 2020). Na nestabilním podloží probíhá sukcese pomaleji než na stabilním (Prach, Walker 2020) a jemnější substrát je druhově chudší s dominantním druhem než hrubší nevytříděný, kde se uplatní více druhů (Doležal et al. 2008). V rychlosti pedogeneze je však lepší jemně texturovaný materiál než ten hrubší (Gellatly 1987).

Dle zjištění Vilmundardóttir et al. (2015a) množství uhlíku v proglaciální zóně na Skaftafellsjökull na Islandu vzrůstá exponenciálně se stářím, ale s hloubkou se jeho množství naopak snižuje. K největším přírůstkům tak začalo docházet po 65 letech. K opačným závěrům dospěli na Svalbardu Kabala a Zapart (2012): akumulace byla nejrychlejší v prvních letech a po čase začala zpomalovat, její průběh byl logaritmický. Obdobně jako Vilmundardóttir et al. (2015a) konstatovali úbytek akumulovaného množství s hloubkou. Obdobné výsledky, podle nichž je zásoba uhlíku v organickém horizontu vyšší než v minerální půdě, má i Matthews (1992).

V počátcích sukcese je důležitý anemochorní a zoochorní přenos semen (Vilmundardóttir et al. 2015b) a míra izolace ovlivňuje budoucí skladbu vegetace. Vznikající keřové formace podporují další rostlinou kolonizaci, zachytávají eolický prach a slouží jako ochrana před větrnou erozí (Doležal et al. 2008). Jednou z pionýrských dřevin, které se mohou uchytit, je například olše (*Alnus*). Z počátku je prospěšná nejen jako zdroj dusíku, ale také jako další ochrana proti erozi. V pokročilejších sukcesních stádiích ale může samotnou sukcesí již blokovat, jak bylo vyzorováno na Kamčatce (Doležal et al. 2008). Nicméně její prospěch i pro akumulaci uhlíku demonstruje Matthews (1992) na

příkladu Glacier Bay, Aljaška na 200–300 let starém stanovišti, kde se přirozeně olšiny změnilly na smrčiny. Při tomto přechodu je náhle vidět propad v ukládání, které do té doby stoupalo. Podobné signály poklesu akumulace uhlíku popisuje Dümig et al. (2011) ze Švýcarských Alp, zde to má ale přímou souvislost s vývojem kambisolů a mnohem delším časovým obdobím (stovky let).

### 3. 2 Antropogenní disturbance

V této kapitole bude největší pozornost věnována těžebním prostorům – nově vzniklým stanovištím jako výsyvky a lomy – a vývoji vegetace a půdy po ukončení těžby. Povrchová těžba nerostných surovin zaujímá 1 % povrchu souše (Walker, del Moral 2003). V České republice se jedná o cca 0,89 % rozlohy státu (Prach et al. 2009a).

Za antropogenní disturbance by mohly být považovány veškeré změny krajiny, které člověk svou činností ať už vědomě nebo nevědomě způsobuje. Frouz, Moldan (2015) jako příklady uvádějí kromě těžby surovin zemědělství, odvodňování krajiny nebo potlačování přirozených požárů v severoamerických lesích. Prach a Walker (2020) dále rozvádějí příklady jako holosečné kácení lesů, současné lesnictví s řízenou výsadbou dřevin, kontaminace a znečištění různého druhu. Výčet činností a událostí by mohl dále pokračovat dle specializace různých autorů. V konečném důsledku se jedná o činnosti, které přirozenou sukcesi spíše potlačují nebo přivádí ekosystém do zranitelné polohy. Rozhodně se ale nejedná o pravidlo. Právě na příkladu těžby je možné přes jasná negativa nelézt pozitivna v obohacení např. georeliéfu (geodiverzita) a vytvoření mikrostanovišť pro jinak v oblasti ohrožené druhy mizející z eutrofizované krajiny (Chuman 2012). Technické rekultivace vytvářejí monolitní krajinu s omezeným okruhem využití, případně ničí již usídlené společenstvo (Řehounek, Hátle 2015) a nedávají možnost vzniku nové pestré mozaice krajiny.

Vytváření či přenechání takovýchto lokalit spontánní nebo mírně usměrněné sukcesi není významné jen z hlediska ochrany přírody, ale také z hlediska složky ekonomické (Bradshaw 1997) a stabilizační. Na příkladu České republiky s pestrá mozaikou těžebních lokalit a surovinových zdrojů jsou níže popsány výsyvky a kamenolomy. Z dalších významnějších post-těžebních lokalit je možné zmínit pískovny a šterkovny, strusko-popílková odkaliště, lokality po těžbě jílu a případně rašeliny (Jongepierová et al. 2012, Řehounek et al. 2015).



### 3. 2. 1 Výsypky a hnědouhelné lomy

Pozůstatek povrchové i hlubinné těžby surovin. Směs materiálu je různorodá dle horninového složení daného lomu či dolu. V České republice je největší rozsah výsypek po těžbě černého a hnědého uhlí, dále se vyskytují výsypky po těžbě uranu a v menším množství po těžbě rud (Prach 2015). Na příkladu severočeských hnědouhelných výsypek byla zmapována sukcese vegetace po jednotlivých fázích a v rozdílných mikroklimatických podmínkách, ale také rychlost ukládání uhlíku (Šourková et al. 2005, Čížková et al. 2018).

Akumulace a ukládání uhlíku na rekultivovaných plochách je v prvních 15–20 letech rychlejší – do zástinu stromů, poté se ukládání zpomaluje i díky vyrovnání se přísunu opadu (Šourková et al. 2005). Dusík jako limitující prvek růstu pak napomáhá fixaci uhlíku a následnému vývoji půdy (Vindušková, Frouz 2013). U ploch se spontánní sukcesí je proces akumulace během prvních 10–15 let pomalejší, ale výsledku jsou po 40 letech srovnatelné s rekultivovanými plochami na stejném místě (Kalčík, Frouz 2006). Akala, Lal (2001) dospěli k závěru, že rekultivované plochy, které zahrnují překrytí orniční vrstvou půdy, mohou sekvestrovat více uhlíku než plochy bez ornice. Výsledky Čížková et al. (2018) naznačují, že aplikace ornice napomáhá vzniku lepšího prostředí k akumulaci organické hmoty v travinných společenstvech. Na druhou stranu je zavezení ornice vždy spjata s technickou rekultivací, o jejíž negativěch hovoří publikace (Jongepierová et al. 2012, Řehounek et al. 2015, Jongepierová et al. 2018).

Pro srovnání hodnot akumulace a množství uloženého uhlíku s jinými oblastmi, pravděpodobně jinými než uhelnými výsypkami, je problém významných reziduí fosilního uhlíku z uhlí (Kalčík, Frouz 2006, Shrestha, Lal 2010).

### 3. 2. 2 Kamenolomy

Další faktor, který se výrazně uplatňuje při modelování a utváření krajiny. Současné těžené kamenolomy jsou oproti těm starším (ze středověku) větší a méně členité (Tropek et al. 2015). Jednoznačný, důvodem jsou technické možnosti těžby. Těžba jen stavebního kamene v roce 2018 probíhala ve 180 aktivních lomech a aktivních lomů pro těžbu vápence a cementářských surovin bylo ve stejném roce 22 (MŽP 2019).

Z ochrannářského hlediska jsou cenné vápencové lomy. Jejich živinově chudé substráty poskytují náhradní útočiště pro xerothermní a jiné ohrožené druhy (Tropek et al.

2010). Ojeda et al. (2015) zkoumal možnost rekultivace těchto lomů za účelem zlepšení sekvestrace uhlíku čistírenskými kaly. Po 17 letech od aplikace v lomu poblíž katalánské Girony byl konstatován pozitivní účinek kalů, ale pouze z krátkodobého hlediska. Hodnoty odebrané krátce po aplikaci a po 17 letech se prakticky nelišily. Pravděpodobně u nás zatím nepoužitý typ rekultivace vápencového lomu. V našich podmínkách s tendencí chránit vápencové lomy jako náhradní živinově chudé substráty (Tichý 2012), nedává tento typ rekultivace příliš smysl. Zavezením čistírenskými kaly by nastal pravý opak, nehledě na negativa s tím spojená jako nutnost kontroly koncentrace těžkých kovů a perzistentních polutantů, které Ojeda et al. (2015) také zmiňuje. Podobně duhově hodnotné na xerothermní druhy jsou i čedičové lomy Českého středohoří (Novák, Konvička 2006).

Druhově o něco chudší jsou lomy granitických hornin (Chuman 2012). Trnková et al. (2010) v kyselých lomech Českomoravské vrchoviny vidí potenciál dosažení cílové vegetace spontánní sukcesí již po 25 letech od ukončení těžby.

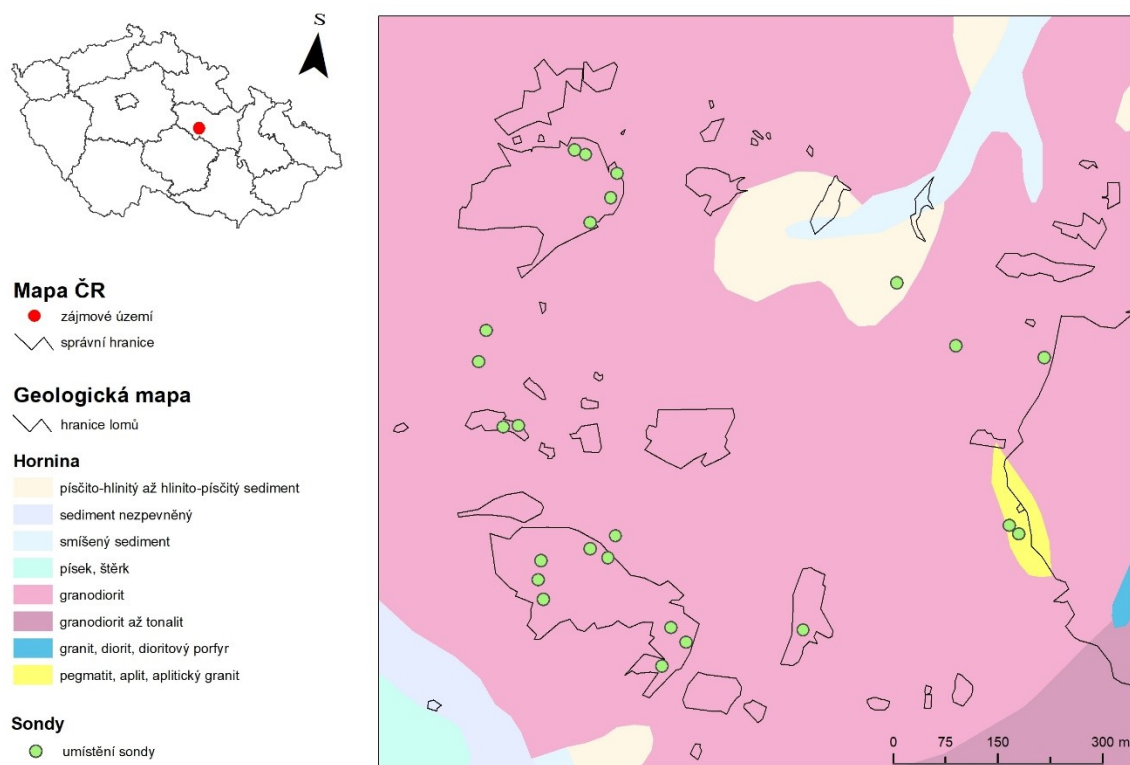
V granodioritových lomech Skutečska je vysoká pokryvnost vegetace v průměru již po 12 letech (Chuman 2008). Výrazným řídicím faktorem, na kterém se autoři shodují napříč studii bez ohledu na typ těženého substrátu je míra vlhkosti/suchosti a okolní vegetace ve vzdálenosti do 100 m od stanoviště (Novák, Konvička 2006, Řehouňková, Prach 2008, Koch et al. 2011, Prach et al. 2013). Novák, Prach (2003) klíčovou vzdálenost snižují dokonce na 30 m.

## 4. Vymezení a stručná charakteristika studovaného území

### 4. 1 Přehled fyzickogeografických aspektů

Katastrální území Leštinka a Skuteč, na kterých se nachází zájmové území, leží na severovýchodním okraji Železných hor v Pardubickém kraji (Obr. 2). Jedná se o pomezí mezi Českomoravskou vrchovinou a Východočeskou tabulí. Nejvyšším bodem je vyvýšenina 437,8 m n. m. na jihozápadním okraji lomu Litická, nejnižším nezatopeným bodem je pak dno stejného lomu – 386,8 m n. m.

Jádrem Železných hor je železnohorský (nasavrcký) pluton variského stáří (Chlupáč 2011). Z pohledu geologicko-petrografické stavby se jedná o složité těleso složené z granodioritu, gabra, dioritu a granitu (Chlupáč 2011). Je to dáno několika fázemi intruzí, které protrhávaly předchozí bloky a zároveň asimilovaly nebo metamorfovaly okolní horninu (Dovolil et al. 1954). Vodička (1959, In Maštera a Dáler 1961) pluton dělí na tři menší oblasti, jednou z nich je i skutečsko-nasavrcká oblast, kam plně spadá zájmové území. Převládající horninou je amfibolicko-biotický granodiorit až křemenný diorit šedé až modrošedé barvy s jemnou až střední texturou, který bývá označován také jako tzv. skutečská žula (Růžičková et al. 1976).



Obr. 2: Poloha zájmového území v rámci ČR a výřez geologické mapy s vyznačením lomů a sond (zdroj: geologická mapa: GeoCR50).

Nejnižší geomorfologickou jednotkou území podle Demek, Mackovčín (2006) je Skutečská pahorkatina, kterou charakterizují jako mírně zvlněnou krajinu, kde se prolíná železnohorský pluton s kutnohorským krystalinikem a na povrch místy ještě vystupují sedimenty železnohorského paleozoika a proterozoika, ale i křídové sedimenty, ty však pouze minimálně.

Z půdních typů se v okolí nejčastěji vyskytují kambizem modální a pseudoglej modální dle půdní mapy 1:50 000 na mapových listech 13–44 a 14–33 (ČGS 2019). Oblast patří do povodí toku Žejbro, který se jako levostranný přítok Novohradky nachází v povodí Chrudimky. Průměrná roční teplota vzduchu se pohybuje v rozmezí 7–9 °C (ČHMÚ 2020a). Průměrný roční úhrn srážek je okolo 700 mm (ČHMÚ 2020b)<sup>1</sup>.

Z širšího regionálního pohledu je studovaná oblast situována na přechodu od nížin a rovin do hornatého reliéfu, s čímž souvisí i změna klimatu, což dokládá i styk několika klimatických regionů dle Quitta (1971) v blízkém okolí zájmového území. Dle klimatické klasifikace (Quitt 1971) oblast spadá do mírně teplého pásu (MT 10), ale v okruhu cca 14 km se stýkají teplé i chladné oblasti (ve sledu od severu k jihu T2, MT 10, MT 2, MT 3, CH7).

Přírodní podmínky odpovídají dubobukovému vegetačnímu stupni a biochoře –3BP – kombinace plošin a mělčích údolích na živnějších typech granodioritů (Culek 2005). Potenciální přirozenou vegetací jsou habrové a acidofilní doubravy a při vhodném hydričtém a edafickém režimu luhy a olšiny s olší lepkavou (Mikyška et al. 1972, Culek 2005).

Pro svou geodiverzitu a výskyt biotypu se v okolí Skutče nachází několik chráněných lokalit. Mezi velkoplošně chráněné patří CHKO Železné hory a CHKO Žďárské vrchy, tyto oblasti jsou také protkány nadregionálními biocentry a biokoridory (ÚTP ÚSES ČR 1996). Maloplošná chráněná území v blízkosti studovaného území jsou přírodní památka Podskala v údolí toku Žejbro, chránící např. sasanku pryskyřníkovitou nebo mloka skvrnitého, a přírodní rezervace Anenské údolí. Anenské údolí je zároveň vyhlášeno jako Evropsky významná lokalita s předmětem ochrany např. smíšeného lužního lesa, vegetace na vápnitěm podloží a modráska bahenního (AOPK 2014). Od roku 2012 je

---

<sup>1</sup> Průměrná teplota i průměrné roční srážky byly převzaty z interpolovaných map ČHMÚ za období 1981–2010. Přímou ve Skutči se sice nachází meteorologická stanice, ale měření teploty zde probíhá až od roku 2012 a řada je tudíž pro statistické účely krátká. Průměrná teplota 2012–2019 z této stanice je 9,4 °C (ČHMÚ 2020c). Srážkové úhrny stanice zaznamenává od roku 1961, za období 1981–2010 činil průměrný úhrn srážek 694 mm, za období 1990–2019 se průměr snížil na 644 mm (ČHMÚ 2020d).

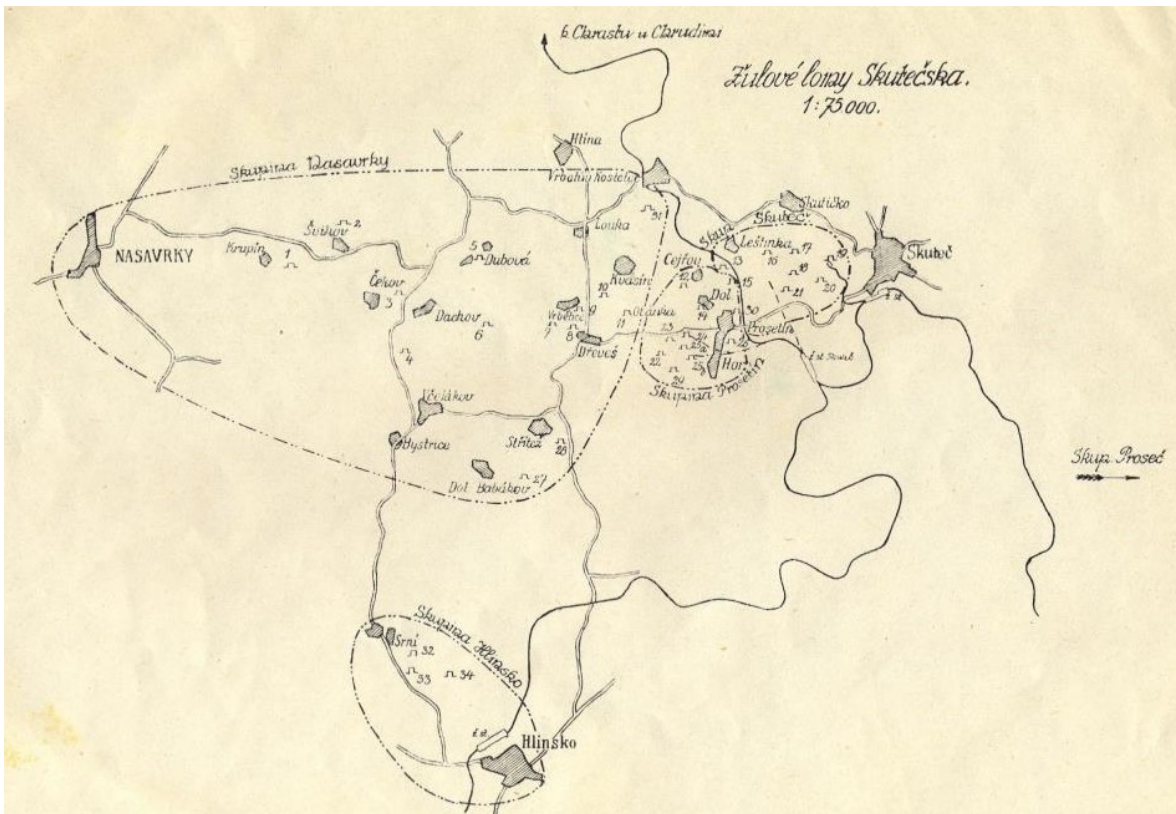
na území Železných hor včetně zájmového území vyhlášen Geopark pro jeho geologickou pestrost na relativně malé ploše (Doucek 2014).

## 4. 2 Historie těžby kamene na Skutečsku

Hlavní těžební aktivity a rozmach těžby skutečské a hlinecké žuly nastal v polovině 19. století, na jeho konci bylo pak v provozu až 59 aktivních lomů (ČMPK 1974). Původní těžba probíhala v některých obcích jen z povrchových balvanů a těžít do hloubky bylo zakázáno (ČMPK 1974). Během 2. světové války v roce 1942 byla těžba v mnoha lomech přerušena a v některých se již neobnovila (Vavřínová 1949), uzavřeny byly všechny lomy, které neměly drtičku kamene (Chuman 2008) z nařízení protektorátních úřadů (Městské muzeum Skuteč 2019). Dalším velkým postihem bylo zestátnění lomů po roce 1948, ale například družstvo Žulolom (dnes Leštinka) si samostatnost zachovalo až do roku 1960 (Městské muzeum Skuteč 2019).

Vytěžený kámen se používal na celou škálu výrobků dle konkrétního lomu a kvality kamene. Oblast se proslavila zejména vídeňskými kostkami, ale také mostními pilíři (ČMPK 1974). Z počátku se těžilo ručně, ve 20. a 30. letech proběhla větší mechanizace, přesto se např. zmiňované kostky sekaly stále ručně a kostkaři byly placeni od kusu (Hájek 1931). Železniční vlečka dlouhá 1,25 km ze stanice Skuteč vedoucí k jižnímu okraji lomu Mikšov pomohla ke zbohatnutí majitelů této skupiny, ostatní musely kámen dopravovat různými povozy (Hájek 1931). Dnes je celá tato kolejní síť zaniklá, zarostlá a provozní budovy poničené. Zajímavostí je, že část dráhy byla úzkokolejná s rozchodem 600 mm (PSHZD 2017).

Na obrázku 3 je zobrazena celá lomová oblast Skutečska podle Hájka (1931). Zájmové území tvoří pouze jednu menší část v přibližných hranicích skupiny Skuteč. V této části do dnešní doby zůstal již jen jediný aktivní lom Litická. Zbylé zavřené lomy jsou většinou zatopeny a slouží k rekreaci a jsou hojně využívány potápěči v Česku.



Obr. 3: Mapa žulových lomů na Skutečsku 1: 75 000 (Hájek 1931).

## 5. Metodika

K dosažení stanoveného cíle bylo nezbytné přistoupit ke kvantitativnímu odběru vzorků půdy. Základní kostra metodiky odběru vzorku půdy v lese staví na práci Huntigton, Ryan a Hamburk (1988). Jejich práce se zaměřovala na odhad množství zásob dusíku a uhlíku v půdách ekosystému listnatého lesa v Severní Americe (konkrétně Northern Hardwood Forest). Velmi podobná je i metodika vypracovaná Evropskou komisí (EK 2007), která se snaží nastavit jednotný postup pro státy Evropské unie. V obou zmíněných publikacích pracují s pravidelnou sítí, která pokrývá území a v níž se na základě stanovených pravidel odebírají vzorky. V podmínkách skutečných lomů to bohužel nebylo možné. V daném území se nezkoumala plošně zásoba uhlíku v území, ale hodnoty za menší části – jednotlivé lomy a vytypovaná místa. Mnohem praktičtější a lépe se hodící ke zkoumanému problému bylo rozdělit si zájmovou oblast do kategorií. Základní zařazení stanoviště do kategorie se provádělo dle sukcesního stáří vegetace, doby od ukončení těžby nebo dotčenosti těžbou. Takto vytvořené skupiny mají poměrně široké věkové rozmezí, pro přesnější časové zařazení bylo využito stáří dřevin zjištěné dendrochronologickými metodami v bakalářské práci Derkové (2020). Odebírané vrty se nacházely v těsné blízkosti půdních sond a jednalo se o dominantní stromy v jejím okolí. Bližší popsání dendrochronologické metody a zpracování těchto vývrtů je popsáno v bakalářské práci Derková (2020). Na obr. 4 je možné vidět rozmístění jednotlivých půdních sond.

Samotný odběr na vytypovaných místech probíhal náhodným výběrem. V normovaném čtvercovém rámu o vnitřní hraně 35 cm se odebrala veškerá hmota. Z každého stanoviště tak v ideálním případě vznikly tři odebrané vzorky. Vrchní část organického horizontu opadanky (LFH) a minerální vzorky půdy 0–10 cm a 10–20 cm. Mimo toto schéma vybočují například stanoviště z aktivního lomu, kde proběhlo předtěžební vymýcení vegetace a skrývka zvětralé horniny a založení nové etáže a nebylo zde tudíž možné odebrat nadložní humus (viz podrobnější rozpis dle kategorií níže). Tato nová stanoviště byla vybrána proto, aby byl znám výchozí stav. Zároveň byly odebrány vzorky kontrolní z míst v lesích v blízkosti lomů, kde se s největší pravděpodobností nikdy netěžilo.

Celkem bylo odebráno 69 vzorků z 24 stanovišť. Dle jednotlivých hloubek jsou počty následující: nadložní horizont opadanky 22 vzorků, vrstva 0–10 cm 24 vzorků, vrstva 10–20 cm 23 vzorků. Věkové rozmezí datovaných dřevin se pak pohybovalo od 0 (nová etáž bez dřevin) do 84 let (Derková 2020).

Odběr vzorků spočíval v odběru veškerého materiálu v definovaných hloubkách a horizontu LFH. Veškerý materiál byl v terénu zvážen a prosítován na sítu s oky 0,5 cm. Tím bylo možné od sebe oddělit větší skelet, půdu a organickou složku – především kořeny. Z této prosáté půdy se odebíral první vzorek k dalšímu zpracování. Z vzorků odebraných v terénu se tentýž den odebraly vzorky pro stanovení půdní vlhkosti a po dobu 24 hodin se při 105 °C byly sušeny v sušičce, zbytek se nechal sušit volně. Důvodem, proč bylo nutné nechat vzorky co nejdříve vysušit, bylo, aby vnitřní biochemické procesy nezměnily poměr zjišťovaných látek.

Suché vzorky byly prosety přes 2mm síto. Z takto prosátých vzorků pak bylo po zvážení možné stanovit skutečné množství čisté suché jemnozeme v objemu odebrané hloubky půdy. Pro potřebu konečné analýzy pro určení zastoupení uhlíku byla minerální jemnozeme rozetřena ve třecí misce na prášek, organická složka rozemleta nožovým mlýnkem (IKA A11 basic). Množství celkového uhlíku ( $C_{\text{toc}}$ ) bylo získáno hmotnostním spektrometrem v Centru výzkumu stabilních a radiogenních izotopů Přf UK na přístroji Flash EA 2000 a TC/EA High Temperature Conversion Elemental Analyzer.

## **5. 1 Zpracování dat**

První hrubé třídění materiálu proběhlo přímo na místě odběru a je popsáno v odstavcích výše kapitoly 5. Metodika. Další práce byla prováděna v laboratoři. Průběžné výpočty a lineární regrese byly prováděny v aplikaci Excel z balíčku MS Office 365. Zbylé statistické testy v programu R verze 4.0.0. Mapové výstupy (Obr. 2 a 4) byly vytvořeny v programu ArcMap verze 10.7.1.

### **5. 1. 1 Výpočty a užití statistické metody**

Zásoba půdního organického uhlíku byla vyjádřena v kilogramech na metr čtvereční [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ] hodnoty množství jemnozeme, procentuální zastoupení a množství uhlíku je uvedeno v Příloze 1. Sukcesní stáří jednotlivých stanovišť bylo určeno pomocí dendrochronologie podle Derková (2020) jako průměrné stáří z pěti dominantních stromů v okolí sondy. Ze statistických výpočtů byla vyřazena sonda č. 21 pro příliš odlehle hodnoty ve všech měřených částech. Došlo také ke korekci sukcesního stáří sondy č. 9. Vzhledem k tomu, že na daném místě rostly mladší borovice (Derková 2020) bylo



průměrný sukcesní stáří vyhodnoceno na 8 let. Ve zpracování výpočtů pak tato sonda začala vycházet jako odlehlá hodnota a vzhledem ke citlivosti lineární regrese na tyto hodnoty docházelo k velkému zkreslení výsledků. Bylo nutné přistoupit ke korekci. Zvažována byla možnost bod úplně vyřadit jako sondu č. 21, ale nakonec bylo přistoupeno k věkové korekci. Lom Zvěřinov byl oficiálně uzavřen v roce 1994, tj. před 25 lety (počítáno od roku 2019, kdy byl vzorek odebírán), průměrné stáří dřevin sond Zvěřinov je 23 let, jejich medián 24 let, nejbližší stanoviště č. 10 má dřeviny staré 27 let. Z tohoto přehledu vyplynulo jako nejlepší řídit se dobou od uzavření lomu a mediánem skupiny č. 3 a finálně provádět výpočty se sukcesním stářím stanoviště 24 let.

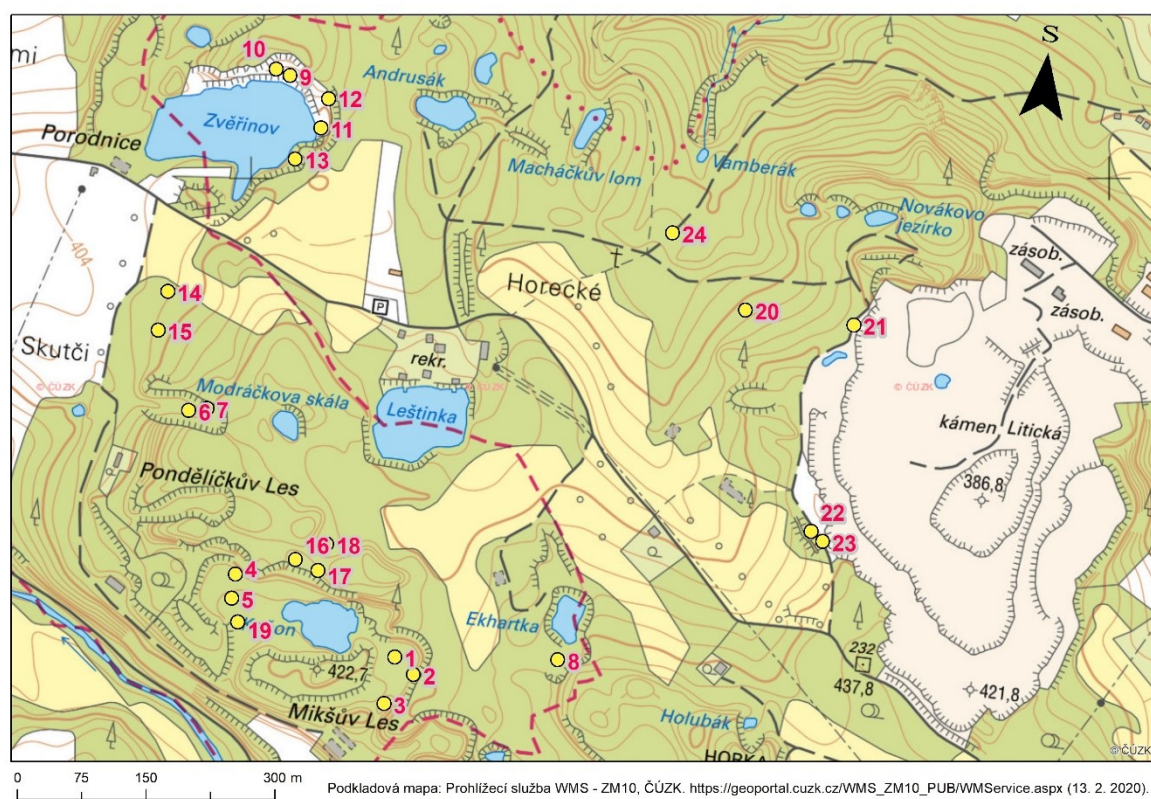
Rychlost sekvestrace byla vypočítána jako poměr zásoby uhlíku v jemnozemi k průměrnému věku stromů na stanovišti a vyjádřena v gramech na metr čtvereční za rok [ $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ ].

Testovaná data většinou nesplňovala kritérium normality (pro testování normálního rozdělení byl užit Shapirův-Wilkův test). Proto byla data transformována pomocí odmocninové či logaritmické transformace pro užití metody lineární regrese. Pro zjištění signifikantních rozdílů mezi horizonty při akumulaci uhlíku v čase bylo použito neparametrických testů, neparametrická obdoba analýzy rozptylu (ANOVA), tzn. Kruskal-Wallisův test (Anděl 2003). Navazující testy pro určení konkrétních rozdílů dvojic byly provedeny pomocí obecné metody mnohonásobného porovnání a Dunneho testem mnohonásobného porovnání (Dubjaková 2009), v obou případech pak byla použita Benjamin-Hochbergova korekce (Holčík, Komenda eds. 2015). Důvodem užití dvou metod mnohonásobného porovnání byla celková kontrola kvůli slabší síle neparametrických testů. Ve všech případech byl použit interval spolehlivosti 95 %.

Testována byla závislost zásoby a rychlosti sekvestrace organického uhlíku v jednotlivých horizontech/hloubkách (0–10 cm a 10–20 cm) a v celém profilu do 20 cm hloubky na sukcesním stáří. Slovo horizont je v této práci pro zjednodušení popisu použito jako synonymum pro hloubku, vrstvu půdy a nemá spojitost s pedogenetickými horizonty.

## 5. 2 Popis lokalit

Rozmístění odběrových bodů s podrobnou mapou zájmového území představuje obrázek 4.



<b>Označení stanovišť</b>					
	sonda		louka, pastvina		terénní stupeň, násep, zářez, srázný břeh
	číslo sondy		lesní půda		polní a lesní cesta, neudržovaná
			lesní půda s křovinatým porostem		polní a lesní cesta udržovaná, hlavní spojovací cesta
<b>Podkladová mapa</b>			vodní tok		elektrické vedení na sloupech
	vodní plocha		zdůrazněná vrstevnice		budova s popisem
	orná a ostatní půda, účelový areál		základní vrstevnice		zničená budova, rozvalina
	povrchová těžba, lom, halda		skalní útvar		osamělý strom; lesík
					lesík
					stromořadí, úzký pruh lesa
					244 232,8 zhušťovací bod
					593,2 kótovaný bod
					sloup
					kříž
					obecní hranice
					hranice katastrálního území

Obr. 4: Mapa zájmového území s rozmístěním stanovišť (podkladová mapa: ZM10).

Sondy v nejstarších lomových částech (1, 2, 3, 6, 7) byly dendrochronologicky datovány v průměru na 52 let (Derková 2020). Hlavní pokryvná vegetace jsou pionýrské a náročnější dřeviny jako líska obecná (*Corylus avellana*), třešeň ptačí (*Prunus avium*), vrba jíva (*Salix caprea*), olše lepkavá (*Alnus glutinosa*), bříza bělokorá (*Betula pendula*) a dub (*Quercus spp.*). Zároveň je také velmi bohaté a živé bylinné a keřové patro s výskytem druhů jako netýkavka malokvětá (*Impatiens parviflora*), ostružník (*Rubus spp.*), bez černý (*Sambucus nigra*) a kopřiva dvoudomá (*Urtica dioica*). Půda byla bohatá na edafon

s množstvím žížal. Skelet se skládal převážně z ostrohranných úlomků velikosti 3–5 cm a větších než z drobného pravidelného šterku.

Skupina sond 4, 5 a 19 se nacházela na suchém teplém místě, osídleném hlavně travinami a řídce borovicí (*Pinus spp.*) s výskytem šípku (*Fructus cynosbati*), ptačí třešně (*Prunus avium*) a jeřabinami (*Sorbus aucuparia*). Jejich průměrné staří bylo datováno na 38 let. Nad nimi se nachází pozice 16 a 17. Jedná se o bývalou etáž lomu Kaňon, která se dnes již stala spíše součástí lesa. Charakter vegetace je odlišný nejen od ostatních míst, ale také na tomto přechodu lesa. Sondy 16 a 17 se nacházely v oblasti velmi vzrostlých bříz (*Betula pendula*) a osik (*Populus tremula*) s podrůstajícími duby (*Quercus spp.*) a olšemi (*Alnus glutinosa*). Bylinné patro s plošným zápojem borůvčí (*Vaccinium myrtillus*) se nacházelo z celé zkoumané oblasti pouze zde. Také u těchto sond byl substrát poměrně lehký, kyprý, prakticky bez skeletu. Sondy 4, 5 a 19 mají společný charakter skeletu, jednalo se o ostrohranější úlomky a kameny různé velikosti, případně neodstranitelné balvany/výchoz skalního podloží (sondy 4 a 19). U těchto tří sond bylo také obtížnější vyseparovat od sebe ve vrstvě 0–10 cm kořenové baly trav, drobnější skelet a samotný substrát; je zde tedy možnost zatížení chybou. Oživení půd celé kategorie bylo jistě menší než v nejstarších lomových částech, okem neznatelné. Sondy 16 a 17 se také ukázaly jako poměrně letité, s průměrným věkem 55 let (Derková 2020).

Kolem lomu Zvěřinov (Obr. 4) na jeho etážích se nachází stanoviště 9–13 a sonda č. 8 v lomu Ekhartka (Obr. 4). Jsou si podobné jak výskytem vegetace, tak půdními znaky, mírou zvětrání podložní horniny a sukcesním stářím v rozpětí od 17 do 27 let (Derková 2020). U sondy č. 9 bylo upraveno dendrochronologicky zjištěné sukcesní stáří z 8 na 24 let, podrobnější popis v podkapitole 5. 1. 2 Výpočty statistické metody. Na stanovišti č. 8, které je odlišné svou polohou, se vyskytovaly středně vysoké olše (*Alnus spp.*) a jasany ztepilé (*Fraxinus excelsior*), místo bylo zarostlé ostružníkem (*Rubus spp.*), lesními jahodami (*Fragaria spp.*) a vysokými travinami – třtinou (*Calamagrostis spp.*). Přítomnost skeletu byla poměrně značná. Sondy 9 a 10 pocházejí z místa nedaleko od sebe, hlavní vegetační kryt tvořily mladší břízy (*Betula pendula*) s příměsí borovice (*Pinus spp.*) a třešně ptačí (*Prunus avium*), povrch byl pokryt travinami. U sond 11, 12, 13 se v podobné směsi objevovaly topol osika (*Populus tremula*), olše (*Alnus spp.*), dub (*Quercus spp.*), bříza bělokora (*Betula pendula*), vrba jíva (*Salix caprea*) a mladší borovice (*Pinus spp.*), případně modřín opadavý (*Larix decidua*), pokryvnou vegetaci tvořily hlavně traviny. Společný půdní znak u těchto sond byl nízký výskyt skeletu, jehož množství se s hloubkou zvyšovalo. Hranice mezi tím, co je hornina a co již není, byla velmi špatně rozeznatelná. V

celém profilu u všech sond bylo také významné prokořenění. U sondy č. 13 bylo možné ještě pozorovat stopy oglejení.

Další oblastí byla horní etáž aktivního lomu, kde se zatím netěží, ale proběhla zde skrývka zeminy. Bez vegetace, případně u starší skrývky v malém množství rumištní druhy. V zájmové oblasti se nyní nachází jediný kamenolom – kámen Litická. Odebrány byly vzorky ze tří stanovišť a pouze u jednoho vzorku bylo možné odebrat malé množství nadložního humusu. Bohužel vzhledem k charakteru stanoviště a zjištěným hodnotám nelze vzorek 21 vnímat jako plně reprezentativní a bylo nutné ho vyřadit ze statistického testování. Všechna stanoviště nesla výrazné znaky oglejení a soudržnou konzistenci. Bez skeletu byl pouze vzorek č. 21. U vzorků 22 a 23 směrem do hloubky rostla míra zvětrávání horniny a u č. 23 nebyl ani odebrán vzorek ze stupně 10–20 cm, v této hloubce se již nacházela zvětralá hornina.

Poslední skupinou stanovišť byly kontrolní vzorky. Stanoviště, na kterých nikdy neprobíhala těžba, a nejedná se ani o výsypku. Vegetace zde byla ovlivňována pouze lesnickým hospodařením (např. výsadbou smrkové monokultury) a vývoj půd nebyl přerušen. Z hlediska dřevin a další vegetace se jedná o pestrou skladbu, která je u každého stanoviště odlišná. Z hlediska půdních podmínek je možné pozorovat podobné znaky jako u sprašové hlíny. Sondy 14 a 15, které se nacházejí relativně blízko sebe, mají odlišnou druhovou skladbu vegetace, ale vizuální znaky půdy jsou si velmi podobné. Na místě č. 14 jsou vzrostlé olše (*Alnus spp.*) a v nižším patru lísky (*Corylus avellana*) s jeřábem ptačím (*Sorbus aucuparia*) a bohatým podrostem ostružníku (*Rubus spp.*) a netýkavky (*Impatiens parviflora*). Na místě č. 15 jsou vzrostlé duby (*Quercus spp.*) a nižší smrky (*Picea spp.*) a místo je prakticky bez podrostu. Textura je prachová, konzistence kyprá s naprostým minimem výskytu skeletu. Na stanovišti č. 18 se nacházela vysázená smrková monokultura (podobné stáří porostu, jasně dané rozestupy a linie sadby, odlišnost od okolní vegetace), podrost spíše žádný, bez mechu. Půda měla kyprou konzistenci a nenesla žádné známky utužení, skelet byl drobný kulovitý, dobře vytříděný, diference barev mezi patry 0–10 cm a 10–20 cm byla výraznější, vysušené vzorky horní vrstvy byly hnědé, vrstva 10–20 cm měla barvu světle okrovou. Poslední dvě sondy č. 20 a 24 byly půdním charakterem podobné předchozím stanovištím. Bezskeletovitá půda kypré konzistence. Vegetace na stanovišti č. 20 nesla opět znaky smrkové monokultury bez nižšího podrostu a jiných pater. Místo se sondou č. 24 byl smíšený les se vzrostlými smrkami (*Picea spp.*), lipami (*Tilia spp.*), duby (*Quercus spp.*), břízou (*Betula pendula*) a podrůstajícím ostružníkem (*Rubus spp.*).

## 6. Výsledky

Níže jsou popsány a graficky zobrazeny zjištěné výsledky. Zjišťována byla zásoba uhlíku v definovaných hloubkách (LFH, 0–10 cm a 10–20 cm) a jeho závislost na sukcesním stáří stanoviště. Rovněž byla testována závislost celkového množství uhlíku na sukcesním stáří stanoviště ( $C_{tot}$ ).

Dále byla analyzována rychlost sekvestrace uhlíku, opět v definovaných hloubkách a celém profilu, a testován byl i rozdíl mezi horizonty/hloubkami.

### 6.1 Přírůstek množství uhlíku v čase

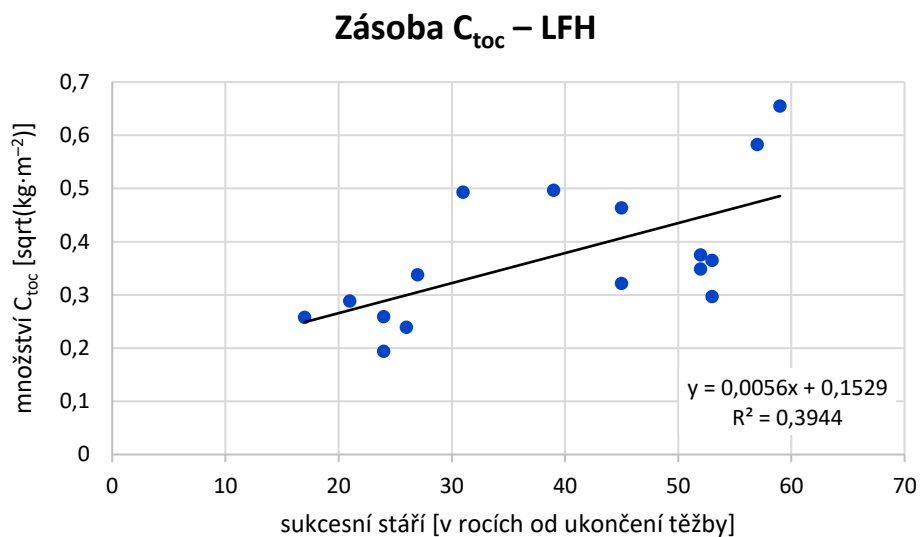
Obecně se množství uhlíku v čase zvyšuje a jeho celkové množství roste. Platí to pro horizonty LFH a 0–10 cm i pro celkové množství ( $C_{tot}$ ) za stanoviště. Pro horizont 10–20 cm nebyla, na 5% hladině významnosti, závislost mezi množstvím uhlíku a stářím statisticky průkazná ( $p > 0,05$ ).

V každé vrstvě je zásoba uhlíku odlišná. Podobné jsou si vrstvy 0–10 cm a 10–20 cm, ale u druhé zmíněné není patrný trend. Co je možné lépe odlišit je zásoba uhlíku v LFH a uhlíku ve vrstvě 0–10 cm, tedy organickém horizontu vs. horizontu/vrstvě (organo)minerální půdy. Přírůstky za 60 let v horizontu LFH jsou přibližně do 300 g/m<sup>2</sup> a v hloubce 0–10 cm do 2 kg/m<sup>2</sup>. V prvním (organo)minerální horizontu se tak sdružuje více než 70 % celkové zásoby uhlíku v profilu.

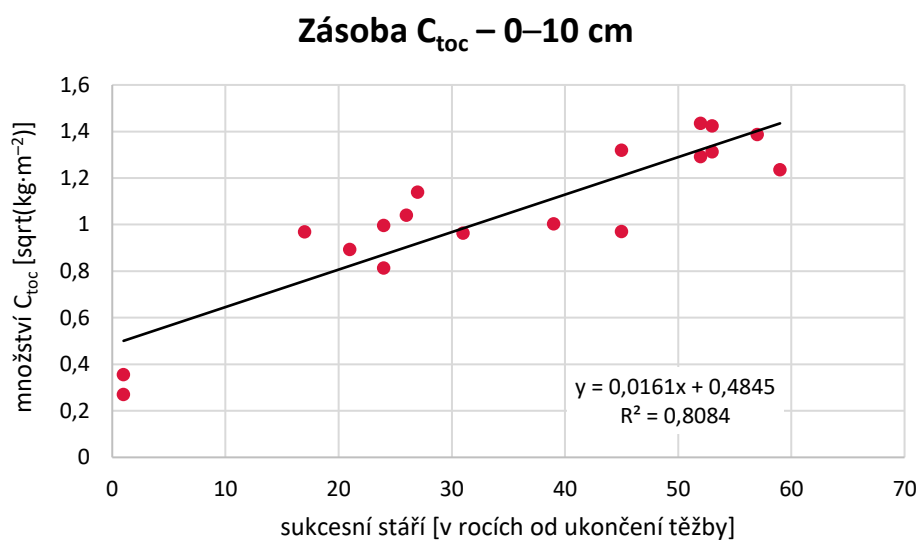
Výsledky statistických testů jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1: Výsledky lineární regrese pro zásobu uhlíku.

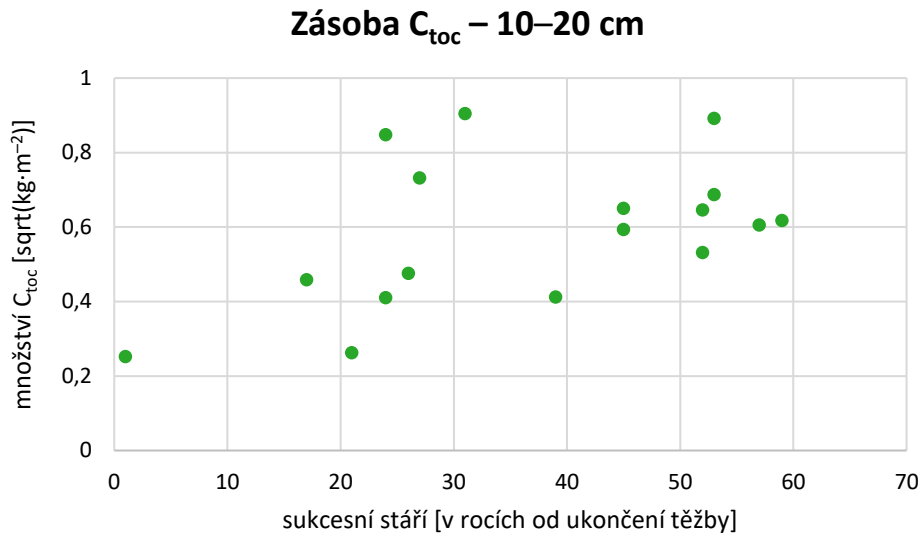
vrstva	rovnice regrese	R <sup>2</sup>
LFH	$Y = 0,0056x + 0,1529$	0,3944
0-10 cm	$Y = 0,0161x + 0,4845$	0,8084
10-20 cm	n.s.	n.s.
$C_{tot}$	$Y = 0,0189x + 0,584$	0,7867



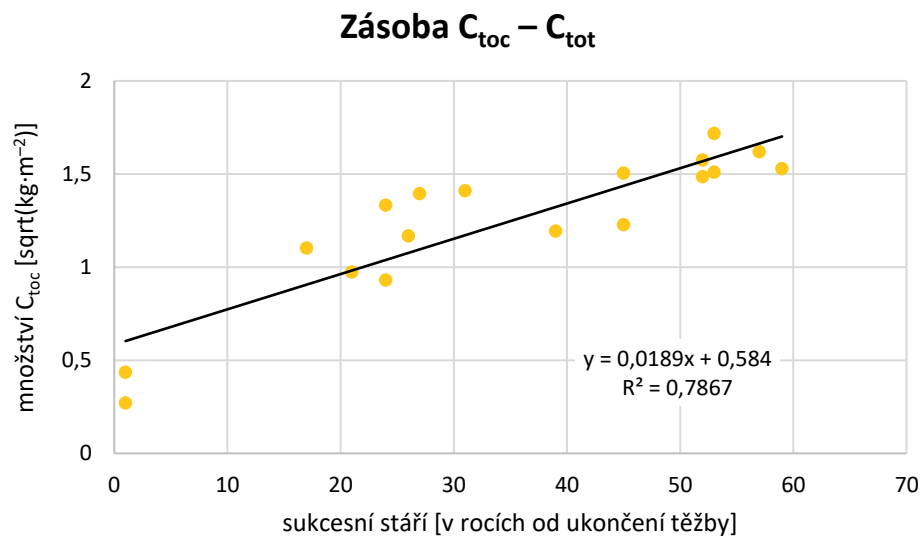
Obr. 5: Zásoba  $C_{toc}$  v nadložním humusu.



Obr. 6: Zásoba  $C_{toc}$  v hloubce profilu 0–10 cm.



Obr. 7: Zásoba  $C_{toc}$  v hloubce profilu 10–20 cm.



Obr. 8: Zásoba  $C_{toc}$  v celém profilu.

## 6. 2 Rychlost sekvestrace

Při testování závislosti rychlosti sekvestrace půdního uhlíku na sukcesním stáří byla data transformována pomocí logaritmické transformace, protože vykazovala výrazné pravostranné zešikmení. Data z nadložního humusu (LFH) nebylo zapotřebí transformovat, protože data sama o sobě vykazovala normální rozdělení.

Výsledky analýzy rychlosti sekvestrace uhlíku v nadložním humusu však ukázaly výraznou variabilitu v datech (Obr. 9) a nulovou hypotézu nebylo možné zamítnout ( $p > 0,05$ ). Stejně stará sukcesní stádia vykazují proměnlivou rychlost sekvestrace. Výsledky statistických testů jsou uvedeny v tabulce 2.

V dalších horizontech/vrstvách půdního profilu (0–10 cm a 10–20 cm), stejně jako v celém profilu ( $C_{tot}$ ), rychlost sekvestrace uhlíku v půdách kamenolomů mírně klesá s rostoucím sukcesním stářím stanoviště. Rychlost sekvestrace uhlíku v celém profilu ( $C_{tot}$ ) je, vzhledem k množstevnímu zastoupení uhlíku v jednotlivých horizontech, řízena především trendem ve vrstvách 0–10 cm a 10–20 cm než v nadložním humusu (LFH), a proto jsou tyto grafy podobné (Obr. 10, 11, 12). Ačkoli u LFH nebyl prokázán žádný statisticky významný trend, je možné konstatovat, že i tak výsledky naznačují rozdíl v rychlosti sekvestrace mezi organickou a minerální částí půdy.

Vzhledem k tomu, že data vstupující do analýzy byla transformována logaritmickou transformací, zpomaluje akumulace uhlíku v hloubce 0–10 cm podle logaritmické funkce, tj. maximální rychlosti dosahuje sekvestrace uhlíku na počátku vývoje půd, v prvních letech po ukončení exploatace, a se sukcesním stářím stanoviště pozvolna klesá, až se ustálí na víceméně konstantním přírůstku. Pro robustní vyjádření změny rychlosti sekvestrace v čase v analýze chybí data z lokalit mladších než 20 let a zároveň nevíme, jak se rychlost mění u lokalit starších 60 let.

Podobné výsledky vycházejí i ve vrstvě 10–20 cm. Největší rychlost sekvestrace lze očekávat do 20 let stáří stanoviště. Rychlosti sekvestrace zjištěné na stanovištích se sukcesním stářím mezi 17 a 31 lety vykazují větší variabilitu oproti starším stanovištím. Bohužel i zde (stejně v 0–10 cm) chybí data pro úplně mladá stanoviště.

Rychlost sekvestrace v celém profilu je ovlivněna hlavně organominerálními částmi, protože se zde nachází více než 90 % zásob. Průměrná rychlost sekvestrace v součtu za celý profil po 60 letech je  $59,6 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Při vypuštění části nadložního humusu a pouze zahrnutí minerálních vrstev (0–10 cm a 10–20 cm) se rychlost po 60

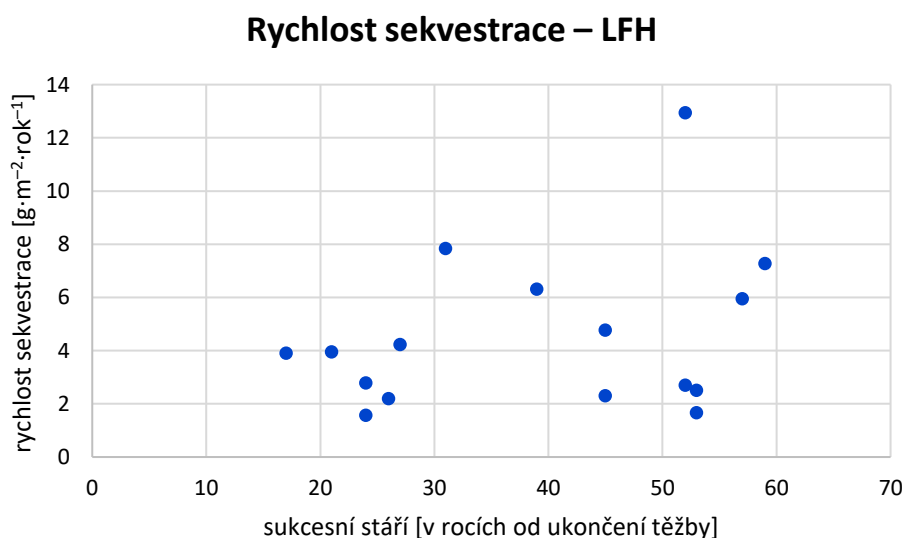


letech příliš nemění a je rovna  $56,2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ , ale po prvních 30 letech byla rychlost vyšší –  $72,4 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{rok}^{-1}$ , to poukazuje na zpomalující trend se sukcesním stářím.

Mezi horizonty existují průkazné rozdíly, jak ukázal K-W test. Následné testy mnohonásobného porovnání, ukazují, že se liší všechny horizonty navzájem až na  $C_{\text{tot}}$  a 0–10 cm. Bohužel tato shoda vyšla jen v jednom ze dvou post-hoc testů, konkrétně v Dunneho testu. V případě, že by vyšel neprůkazný rozdíl ještě u skupin 0–10 cm a 10–20 cm podpořilo by to tezi o rozdílném ukládání v nadložním humusu a minerální části. Nicméně se výsledky K-W testu jeví jako neprůkazné.

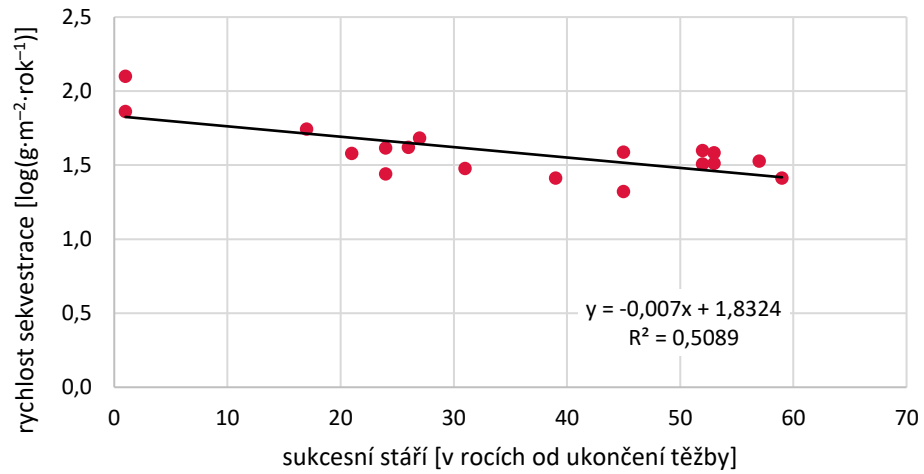
Tab. 2: Výsledky lineární regrese pro rychlost sekvestrace.

vrstva	rovnice regrese	R <sup>2</sup>
LFH	n.s.	n.s.
0-10 cm	$Y = - 0,007x + 1,8324$	0,5089
10-20 cm	$Y = - 0,01x + 1,3842$	0,2605
$C_{\text{tot}}$	$Y = - 0,0064x + 1,9574$	0,4512



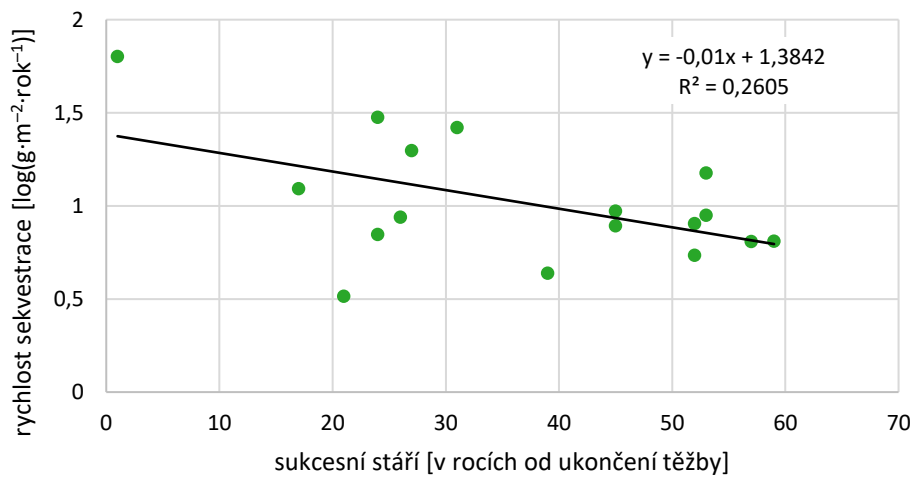
Obr. 9: Rychlost sekvestrace uhlíku v nadložním humusu.

### Rychlost sekvestrace – 0–10 cm

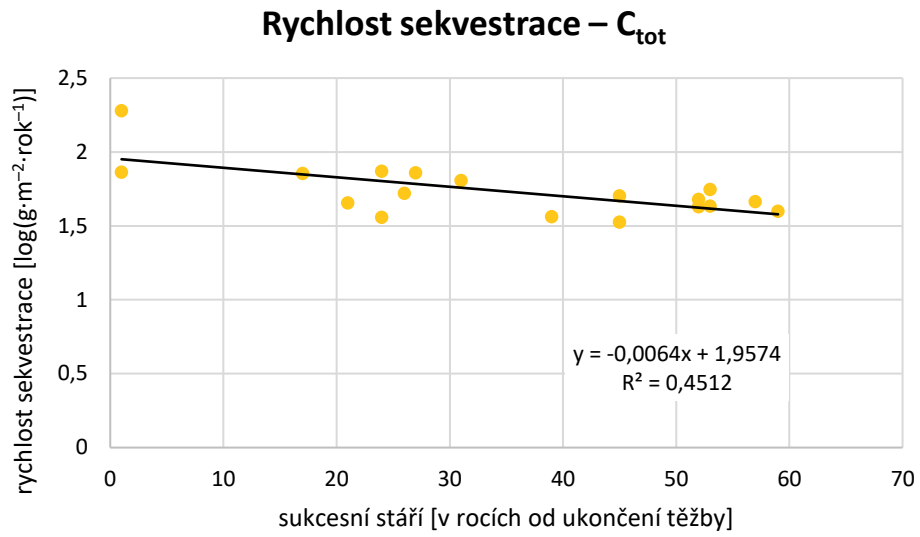


Obr. 10: Rychlost sekvestrace uhlíku ve vrstvě 0–10 cm.

### Rychlost sekvestrace – 10–20 cm



Obr. 11: Rychlost sekvestrace uhlíku ve vrstvě 10–20 cm.



*Obr. 12: Rychlost sekvestrace uhlíku v celém profilu.*

## 7. Diskuze

Výsledky této práce stanovující zásobu uhlíku a rychlost jeho sekvestrace ve vyvíjejících se půdách kamenolomů korespondují s obdobnými studii z postmontánních prostor (Akala, Lal 2000, Šourková et al. 2005, Vindušková, Frouz 2013, Čížková et al. 2018). Zásoba uhlíku se se sukcesním stářím zvyšuje a rychlost sekvestrace se sukcesním stářím klesá. V dalších aspektech se již získané poznatky liší: například podle poznatků Vindušková, Frouz (2013) se po zhruba 20 letech i dříve hodnoty zásoby uhlíku vyrovnají okolnímu prostředí; autoři tuto skutečnost dokumentují u půd vyvíjejících se v bývalých uhelných a ropně břidlicových lomech. V kamenolomech to dokládají kontrolní stanoviště, rychlost sekvestrace za celý profil je v průměru po 84 letech  $0,85 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ <sup>2</sup>. Při rozdělení na jehličnatý a listnatý les dosahují hodnoty 1,0 a  $0,74 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  s nižší hranicí pro listnaté části. Kontrolní vzorky z lesních půd v netěžené části území tak vykazují viditelný rozptyl a například zásoba uhlíku v celém profilu se pohybuje od 4,5 do  $8,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . Po 40 letech je rychlost sekvestrace za celý profil půd kamenolomů  $0,71 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ , s touto hodnotou je možnost dosažení obdobných zásob jako kontrolních při nižší hranici, tj. okolo  $5,7 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , a to pouze při hrubém přepočtu, který nebere v potaz logaritmický průběh, protože po 60 letech se rychlost snižuje na  $0,60 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Tato hodnota je také menší než číslo, k němuž došli Vindušková, Frouz (2013) v kvantitativní studii, v níž po 40 letech vyšla průměrná rychlost sekvestrace  $0,87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ . Za úvahu také stojí argument, že v rámci jednotlivých typů post-těžebních lokalit existuje značná variabilita a o konkrétních mechanismech a procesech, které řídí ukládání uhlíku v půdách, máme stále málo znalostí (Frouz, Vindušková 2018). Z jiných příkladů rychlosti sekvestrace, např. Čížková et al. (2018) na lignitových výsypkách dává vyšší potenciál rekultivovaným travinným ekosystémům než zalesněnému území. Zde jsou rychlosti sekvestrace opět o něco vyšší, a to okolo  $1,6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  za 50 let a zásoba tak odpovídá  $8 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . Pro srovnání, průměrná naměřená zásoba uhlíku u skutečských lomů starších 50 let je  $2,52 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . Z dalších hodnot sekvestrace např. Bartuška, Frouz (2015) se liší pouze v desetinných ( $0,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$  za 40 let) nikoli v řádech. Tím by se dalo konstatovat, že hodnoty jsou porovnatelné, ale drží se při spodní hranici.

---

<sup>2</sup> K přepočtu jednotek na tony na hektar za rok bylo zapotřebí přistoupit pro srovnání rychlosti sekvestrace s ostatními studii. Výpočty uvedené v kapitole Výsledky i veškeré mezivýsledky byly počítány v gramech případně kilogramech na metr čtvereční, proto jsou tyto jednotky ponechány v kapitole Výsledky a zásoby uhlíku jsou nadále uváděny v gramech/kilogramech na metr čtvereční.

Zde zjištěná rychlost sekvestrace má logaritmický průběh. Tento typ průběhu v nalezených a porovnávaných studiích byl zjištěn u Bartuška, Frouz (2015) a u kategorie listnatého a smíšeného lesa ve Vindušková, Frouz (2013), kde po dosažení maxima okolo 10–20 let se rychlost začala snižovat. U skutečských stanovišť by tak bylo možné očekávat obdobný průběh, ale je zde obtížné srovnání kvůli chybějícímu zastoupení věku 0–20 let sukcesního stáří. Ve studiích např. Shrestha, Lal (2010) měla rychlost sekvestrace kvadratický průběh a u dalších kategorií Vindušková, Frouz (2013) především lineární. Logaritmický průběh byl také pozorován u případu primární sukcese po ústupu ledovce (Kabala, Zapart 2012).

Variabilita v zásobách uhlíku či rychlosti sekvestrace, kterou výsledky této práce v určitých věkových kategoriích ukazují, může být dána i mikrostanovištními podmínkami či druhovým složením vegetace. Spontánně se vyvíjející stanoviště nebyla nijak tříděna dle vegetace, mikroklimatu, dostupnosti vody, zastínění apod. a hlavním kritériem bylo sukcesní stáří stanoviště a předpoklad kontinuálního vývoje. Ve studiích věnujících se rychlosti sekvestrace a zásobě organického uhlíku na post-těžebních stanovištích jsou právě rozdíly mezi typy vegetace například mezi listnatým a jehličnatým lesem (Frouz et al. 2009), mezi stromovou a travinnou vegetací (Shrestha, Lal 2010) či porovnávání rekultivovaných a nerektivovaných výsypek (Čížková et al. 2018), případně rozdíl mezi depresiemi a elevacemi (Frouz et al. 2008) dokumentovány. Porovnání rekultivovaných a nerektivovaných míst zde není možné – rekultivované plochy se zde nevyskytují. Pro rozlišování druhového složení stromové vegetace nemáme v lomech dostatečný počet opakování rozmanitých kombinací druhů. Dostatečně velké plochy travinné vegetace pro srovnání se bohužel v zájmové oblasti vyskytovalo málo, a to pouze v západní části lomu Kaňon (Obr. 4) a podobně minoritní množství bylo i ploch porostlých čistě jehličnany. Sukcesní dřeviny byly převážně listnaté, případně smíšené a pouze v jednotkách byl zastoupen čistě jehličnatý porost. V případě zásob uhlíku (Obr. 5 až 8) u starších vzorků nad 50 let je možné vidět podobné shluky napříč vrstvami, avšak největší variabilita je ve vrstvě nadložního humusu (Obr. 5). Vegetace i vlhkostní podmínky jsou podobné, dokonce největší rozdíl je mezi místy 16 a 17, která jsou vzdálena asi 50 metrů. S hloubkou se rozdíl již stírá, jak se zpomaluje ukládání uhlíku. Příčinou může být vyšší přítomnost bioty nebo v součtu více nadzemní biomasy, oboje koreluje s vyšším množstvím uhlíku (Frouz et al. 2009).

Ve střední věkové skupině hlavně mezi 20 a 30 roky je rozptýl nejvýraznější ve vrstvě 10–20 cm (Obr. 7). Paradoxně nejmenší zásoba byla zaznamenána na stanovišti 8,

kde dominují olše, které by měly přispívat k větším zásobám, a největší zásoba je v místě, kde dominují borovice a trávy a jedná se spíše o suché místo. V této části se jedná přímo o opačný jev ve srovnání s Frouz et al. (2009). Je možné dvojí vysvětlení: olše upřednostňuje vlhčí stanoviště a s přílišným zamokřením se zpomaluje rozklad organické hmoty nebo zároveň mohou být na příznivě vlhčím místě vhodné podmínky pro mikroorganismy, které potom mineralizace urychlují. U borovic může být naopak suchem mikrobiální rozklad zpomalen, a ještě více v kombinaci s obtížně rozložitelným opadem (Šantrůčková 2014).

U rychlosti sekvestrace v části nadložního humusu (Obr. 9) je pravděpodobně příčinou variability kvalita opadu. U střední skupiny 20–30 let je vegetace obdobná, převaha listnatých stromů a rychlost sekvestrace se liší minimálně. S věkem se stanoviště více tříští a například stanoviště 2, které vykazuje největší sekvestraci, mělo prokazatelně lepší podmínky než stanoviště 3, které se pohybuje skoro u nejnižších hodnot. Na stanovišti 2 bylo výraznější oživení půdního profilu, které mohlo být na stanovišti 3 omezeno kvůli většímu zamokření (přítomnost hydromorfních znaků).

Rychlost sekvestrace v celém profilu je ovlivněna hlavně organominerálními částmi, protože se zde nachází více než 90 % zásob, k obdobnému závěru došla i Šourková et al. (2005).

Již v kapitole Výsledky bylo zmíněno, že chybí zastoupení dat ze stanovišť prvních 20 let po ukončení těžby. Bohužel v rámci zájmového území se tyto lokality vhodné k odběru vzorků nenacházely, stejně tak nebylo možné opatřit více sběrů z míst současné těžby. Zároveň by stanoviště mohla být rovnoměrněji zastoupená, protože např. mezi 30 a 50 lety sukcesního stáří stanoviště se nachází 5 lokalit, kdežto mezi 50 a 60 lety je těchto míst rovnou 6. Takové podmínky jsou idealizované a je obtížné najít území, které by splňovalo všechny.

## 8. Závěr

Výsledky této práce potvrzují, že zásoba uhlíku se sukcesním stářím roste a rychlost sekvestrace se sukcesním stářím klesá. V půdách kamenolomů byl doložen logaritmický průběh poklesu rychlosti sekvestrace. Slabinou pro porovnávání s jinými studii se ukázala chybějící data do 20 let sukcesního stáří, a naopak jako výhoda se ukázaly stanoviště starší 40 let.

Průměrná rychlost sekvestrace v půdách kamenolomů po 60 letech byla  $59,6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Největší vliv na sekvestraci měla horní vrstva půdy 0–10 cm, kde se akumulovalo až 70 % celkových zásob uhlíku profilu. Průměrná zásoba organického uhlíku u vzorků starších 50 let byla  $2,52 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ .

Dále byla pozorována u některých případů velká variabilita dat v ukládání uhlíku s obdobným sukcesním stářím. Patrně kvůli mikroklimatickým podmínkám jednotlivých stanovišť.

Potenciál pro vysoké akumulace uhlíku v půdách kamenolomů jsou diskutabilní a bylo by zapotřebí doložit další pozorování.

## 9. Literatura a zdroje

- ABAKUMOV, E. V. (2008): Accumulation and transformation of organic matter in different-aged dumps from sand quarries. *Eurasian Soil Science*, 8, 41, 844-851.
- ABAKUMOV, E. V., CAJTHAML, T., BRUS, J., FROUZ, J. (2013): Humus accumulation, humification, and humic acid composition in soils of two post-mining chronosequences after coal mining. *Journal of Soils and Sediments*, 3, 13, 491-500.
- AKALA, V. A., LAL, R. (2001): Soil Organic Carbon Pools and Sequestration Rates in Reclaimed Minesoils in Ohio. *Journal of Environmental Quality*, 6, 30, 2098-2104.
- ABAKUMOV, E., FROUZ, J. (2014): Humus Accumulation and Humification during Soil Development in Post-Mining Soil. In: Frouz, J. (ed.) (2014): *Soil Biota and Ecosystem Development in Post Mining Sites*. CRC Press, Boca Raton.
- AOPK (2014): Anenské údolí.  
[https://drusop.nature.cz/ost/chrobjekty/zchru/index.php?SHOW\\_ONE=1&ID=2117](https://drusop.nature.cz/ost/chrobjekty/zchru/index.php?SHOW_ONE=1&ID=2117) (14. 06. 2020).
- APLET, G. H., HUGHES, R. F., VITOUSEK, P. M. (1998): Ecosystem development on Hawaiian lava flows: biomass and species composition. *Journal of Vegetation Science*, 1, 9, 17-26.
- APLET, G. H., VITOUSEK, P. M. (1994): An Age--Altitude Matrix Analysis of Hawaiian Rain-Forest Succession. *The Journal of Ecology*, 1, 82.
- ARCHIBOLD, O. W. (1994): *Ecology of World Vegetation*. Chapman & Hall, London.
- BARTUSKA, M., FROUZ, J. (2015): Carbon accumulation and changes in soil chemistry in reclaimed open-cast coal mining heaps near Sokolov using repeated measurement of chronosequence sites. *European Journal of Soil Science*, 1, 66, 104-111.
- BRADSHAW, A. (1997): Restoration of mined lands—using natural processes. *Ecological Engineering*, 4, 8, 255-269.
- CIAIS, P., SABINE, C. (2013): Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: IPCC: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York, 465-570.



- CLEMENTS, F. E. (1916): Plant succession: An analysis of the development of vegetation. Carnegie Institution of Washington, Washington, D. C.
- CULEK, M. (2005): Biogeografické členění České republiky. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- Českomoravský průmysl kamene, ČPK (1974): 110 let kamenoprůmyslu. ČMPK, Hradec Králové.
- ČGS (2019): Půdní mapa 1:50 000. <https://mapy.geology.cz/pudy/> (21. 07. 2020).
- ČHMÚ (2020a): Dlouhodobý průměr 1981–2010: průměrná roční teplota vzduchu. <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/T8110.gif> (14. 06. 2020).
- ČHMÚ (2020b): Dlouhodobý průměr 1981–2010: průměrné roční srážky. <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/SRA8110.gif> (14. 06. 2020).
- ČHMÚ (2020c): Průměrná teplota vzduchu: Skuteč 2012-2019. <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data/mesicni-data-dle-z.-123-1998-Sb#> (14. 06. 2020).
- ČHMÚ (2020d): Denní úhrn srážek: Skuteč 1961-2019. <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb#> (14. 06. 2020).
- ČÍŽKOVÁ, B., WOŚ, B., PIETRZYKOWSKI, M., FROUZ, J. (2018): Development of soil chemical and microbial properties in reclaimed and unreclaimed grasslands in heaps after opencast lignite mining. *Ecological Engineering*, 123, 103-111.
- ČÚZK (2020): Prohlížečská služba WMS – Základní mapa 1:10 000. [https://geoportal.cuzk.cz/WMS\\_ZM10\\_PUB/WMSservice.aspx](https://geoportal.cuzk.cz/WMS_ZM10_PUB/WMSservice.aspx) (13. 02. 2020).
- DELIGNE, N. I., CASHMAN, K. V., ROERING, J. J. (2013): After the lava flow: The importance of external soil sources for plant colonization of recent lava flows in the central Oregon Cascades, USA. *Geomorphology*, 202, 15-32.
- DEL MORAL, R., GRISHIN, S. Y. (1999): Volcanic Disturbances and Ecosystem Recovery. In: *Ecosystems of Disturbed Ground*. Elsevier Science, Amsterdam.
- DEMEK, J., MACKOVČIN, P. eds. (2006): Zeměpisný lexikon ČR. AOPK ČR, Brno.
- DERKOVÁ, N. (2020): Stanovení rychlosti sukcese vegetace v opuštěných kamenolomech s využitím dendrochronologie. Bakalářská práce. Praha.

- DOLEŽAL, J., HOMMA, K., TAKAHASHI, K., VYATKINA, M. P., YAKUBOV, V., VETROVA, V. P., HARA, T. (2008): Primary Succession Following Deglaciation at Koryto Glacier Valley, Kamchatka. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2, 40, 309-322.
- DOUCEK, J. (2014): Geoprůvodce: speciální průvodce po geoparku Železné hory. Vodní zdroje Chrudim, Chrudim.
- DUBJAKOVÁ, E. (2009): Metody mnohonásobného porovnávání pro jednoduché třídění. Diplomová práce. Brno.
- DOVOLIL, M., JAROUŠEK, B., KLEISL, J. (1954): Průzkum granodioritu 1954 Skuteč. Geologický průzkum Brno, Jihlava. Signatura GF FZ000756.
- DÜMIG, A., SMITTENBERG, R., KÖGEL-KNABNER, I. (2011): Concurrent evolution of organic and mineral components during initial soil development after retreat of the Damma glacier, Switzerland. *Geoderma*, 1-2, 163, 83-94.
- EK (2007): Soil sampling protocol to certify the changes of organic carbon stock in mineral soil of the european union. Evropská komise, Lucemburk.
- ETHERIDGE, D. M. et al. (2001): Law Dome Atmospheric CO<sub>2</sub> Data, IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology Data Contribution Series #2001-083. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA.FAO (2019): Recarbonization of global soils. FAO, Řím.
- FROUZ, J., MOLDAN, B. (eds.) (2015): Příležitosti a výzvy environmentálního výzkumu. Karolinum, Praha.
- FROUZ, J., DVORŠČÍK, P., VINDUŠKOVÁ, O., CIENCIALA, E. (2013): Plant Production, Carbon Accumulation and Soil Chemistry at Post-Mining Sites. *Soil Biota and Ecosystem Development in Post Mining Sites*, 89-103.
- FROUZ, J., PIŽL, V., CIENCIALA, E., KALČÍK, J. (2009): Carbon storage in post-mining forest soil, the role of tree biomass and soil bioturbation. *Biogeochemistry*, 2, 94, 111-121.
- FROUZ, J., PRACH, K., PIŽL, V., HÁNĚL, L., STARÝ, J., TAJOVSKÝ, K., MATERNA, J., BALÍK, V., KALČÍK, J., ŘEHOUNKOVÁ, K. (2008): Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *European Journal of Soil Biology*, 1, 44, 109-121.

- FROUZ, J., VINDUŠKOVÁ, O. (2018): Soil Organic Matter Accumulation in Postmining Sites: Potential Drivers and Mechanisms. *Soil Management and Climate Change*, 103-120.
- HÁJEK, V. (1931): *Žulový průmysl na Skutečsku*. Vlastním nákladem, Praha.
- HERRICK, J. E., WANDER, M. M. (1998): Relationship between Soil Organic Carbon and Soil Quality in Cropped and Rangeland Soils: the Importance of Distribution, Composition, and Soil Biological Activity. In: Lal, R., Kimble, J. M., Follett, R. F., Stewart, B. A.: *Soil processes and carbon cycle*. CRC Press, Boca Raton, 405-425.
- HOVORKA, D. (1990): *Sopky: vznik, produkty, následky*. Vydavatelství Slovenské akademie věd, Bratislava.
- HOLČÍK, J., KOMENDA, M. (2015): *Matematická biologie: e-learningová učebnice*. Masarykova univerzita, <https://portal.matematickabiologie.cz/index.php?pg=analyza-genomickych-a-proteomickych-dat--analyza-genomickych-a-proteomickych-dat--zakladni-schemata-statisticke-analyzy-dat--porovnavani-skupin--testovani-hypotez> (29. 06. 2020).
- CHADWICK, O. A., GAVENDA, R. T., KELLY, E. F., ZIEGLER, K., OLSON, C. G., ELLIOTT, W. C., HENDRICKS, D. M. (2003): The impact of climate on the biogeochemical functioning of volcanic soils. *Chemical Geology*, 3-4, 202, 195-223.
- CHLUPÁČ, I. (2011): *Geologická minulost České republiky*. Academia, Praha.
- CHUMAN, T. (2008): *Přírozená obnova těžebních tvarů: Sukcese vegetace a vývoj půd na příkladu granodioritových lomů a výsypek na Skutečsku*. Disertační práce. Praha.
- CHUMAN, T. (2012): Revitalizace lomů spontánní sukcesí. *Životné prostredie*, 3, 46, 134 – 138.
- IPCC (2013): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York.
- JAIN, R., URBAN, L., BALBACH, H., WEBB, M. D. (2012): Contemporary Issues in Environmental Assessment. In: *Handbook of Environmental Engineering Assessment*. Elsevier, Butterworth-Heinemann, 361-447.

- JENNY, H. (1941): Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology. McGraw-Hill, New York.
- JONGEPIEROVÁ, I., PEŠOUT, P., JOGEPIER, J. W., PRACH, K. eds. (2012): Ekologická obnova v České republice. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- JONGEPIEROVÁ, I., PEŠOUT, P., PRACH, K. eds. (2018): Ekologická obnova v České republice II. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha.
- KABALA, C., ZAPART, J. (2012): Initial soil development and carbon accumulation on moraines of the rapidly retreating Werenskiold Glacier, SW Spitsbergen, Svalbard archipelago. *Geoderma*, 175-176, 9-20.
- KALČÍK, J., FROUZ, J. (2006): Accumulation of soil organic carbon in relation to other soil characteristic during spontaneous succession in non reclaimed colliery spoil heaps after brown coal mining near Sokolov (the Czech republic). *Ekológia*, 4, 25, 388-397.
- KITAYAMA, K., MUELLER-DOMBOIS, D., VITOUSEK, P. M. (1995): Primary succession of Hawaiian montane rain forest on a chronosequence of eight lava flows. *Journal of Vegetation Science*, 2, 6, 211-222.
- KOCH, M. A., SCHERIAU, C., SCHUPFNER, M., BERNHARDT, K. -G. (2011): Long-term monitoring of the restoration and development of limestone grasslands in north western Germany: Vegetation screening and soil seed bank analysis. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 1, 206, 52-65.
- KORABLEV, A. P., NESHATAEVA, V. Y. (2016): Primary plant successions of forest belt vegetation on the Tolbachinskii Dol volcanic plateau (Kamchatka). *Biology Bulletin*, 4, 43, 307-317.
- KRNA, M. A., RAPSON, G. L. (2014): Clarifying 'carbon sequestration'. *Carbon Management*, 3, 4, 309-322.
- LAL, R. (2007): Carbon sequestration. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 1492, 363, 815-830.
- MAŠTERA, L., DÁLER, M. (1961): Průzkum kamene - 1961 Skuteč. Geologický průzkum Brno, Jihlava. Signatura GF FZ004154.
- Městské muzeum Skuteč (2019): Žulová stezka Horkami. Turistické informační centrum Skuteč, Doksy.

- MIKYŠKA, R. et al. (1972): Geobotanická mapa ČSSR: 1. České země. Academia a Kartografické nakladatelství, Praha.
- MATTHEWS, J. A. (1992): The ecology of recently-deglaciated terrain: A geoecological approach to glacier forelands and primary succession. Cambridge University Press, Cambridge.
- MŽP (2019): Surovinnové zdroje České republiky: Nerostné suroviny 2019. Česká geologická služba, Praha.
- NAIR, P. K. R. (2011): Methodological Challenges in Estimating Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems. In: Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems. Springer Netherlands, Dordrecht, 3-16.
- NASA (2020): Carbon Dioxide. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/> (03. 04. 2020).
- NĚMEČEK, J. (2011): Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- NĚMEČEK, J., SMOLÍKOVÁ, L., KUTÍLEK, M. (1990): Pedologie a paleopedologie: celostátní vysokoškolská příručka pro stud. přírodověd. fak., skupiny stud. oborů geologické vědy. Academia, Praha.
- NOVÁK, J., KONVIČKA, M. (2006): Proximity of valuable habitats affects succession patterns in abandoned quarries. *Ecological Engineering*, 2, 26, 113-122.
- NOVÁK, J., PRACH, K. (2003): Vegetation succession in basalt quarries: Pattern on a landscape scale. *Applied Vegetation Science*, 2, 6, 111-116.
- OJEDA, G., ORTIZ, O., MEDINA, C. R., PERERA, I., ALCANIZ, J. M., GOSS, M. (2015): Carbon sequestration in a limestone quarry mine soil amended with sewage sludge. *Soil Use and Management*, 2, 31, 270-278.
- OULEHLE, F., TAHOVSKÁ, K., CHUMAN, T., EVANS, C. D., HRUŠKA, J., RŮŽEK, M., BÁRTA, J. (2018): Comparison of the impacts of acid and nitrogen additions on carbon fluxes in European conifer and broadleaf forests. *Environmental Pollution*, 238, 884-893.
- Oxford Learner's Dictionary (2020): Definition of carbon sequestration noun from the Oxford Advanced Learner's Dictionary. Oxford University Press <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/carbon-sequestration> (8. 4. 2020).

- Pardubický spolek historie železniční dopravy, PSHZD (2017): Zrušená síť lomových drah 600 mm u Leštinky. <http://www.pshzd.cz/lestinka.html> (03. 08. 2020).
- PRACH, K. (ed.) (2015): Výsypky. In: Řehounek, J., Řehouňková, K., Tropek, R., Prach, K. (eds.) (2015): Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi. Calla, České Budějovice.
- PRACH, K., FROUZ, J., KAREŠOVÁ, P., KONVALINKOVÁ, P., KOUTECKÁ, V., MUDRÁK, O., NOVÁK, J., ŘEHOUNEK, J., ŘEHOUNKOVÁ, K., TICHÝ, L., TRNKOVÁ, R., TROPEK, R. (2009a): Ekologie obnovy narušených míst: II. Místa narušená těžbou surovin. *Živa*, 2, 57.
- PRACH, K., LENCOVÁ, K., ŘEHOUNKOVÁ, K., DVOŘÁKOVÁ, H., JÍROVÁ, A., KONVALINKOVÁ, P., MUDRÁK, O., NOVÁK, J., TRNKOVÁ, R. (2013): Spontaneous vegetation succession at different central European mining sites: a comparison across seres. *Environmental Science and Pollution Research*, 11, 20, 7680-7685.
- PRACH, K., ŠTECH, M., ŘÍHA, P. (2009b): Ekologie a rozšíření biomů na Zemi. Scientia, Praha.
- PRACH, K., WALKER, L. R. (2019): Differences between primary and secondary plant succession among biomes of the world. *Journal of Ecology*, 2, 107, 510-516.
- PRACH, K., WALKER, L. R. (2020): Comparative plant succession among terrestrial biomes of the world. Cambridge University Press, New York.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Geografický ústav ČSAV, Brno.
- RŮŽIČKOVÁ, B., POKORNÁ, Z., TESAŘ, O. (1976): Závěrečná zpráva úkolu Leštinka. Geoindustria, Jihlava. Signatura GF FZ005513.
- ŘEHOUNEK, J., HÁTLE, M. (2015): Obnova těžebních prostorů v ČR. In: Řehounek, J., Řehouňková, K., Tropek, R., Prach, K. (eds.) (2015): Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi. Calla, České Budějovice.
- ŘEHOUNEK, J., ŘEHOUNKOVÁ, K., TROPEK, R., PRACH, K. eds. (2015): Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi. Calla, České Budějovice.
- SELIN, N. (2019): Carbon sequestration. *Encyclopædia Britannica*. <https://www.britannica.com/technology/carbon-sequestration> (8. 4. 2020).

- SHRESTHA, R. K., LAL, R. (2010): Carbon and nitrogen pools in reclaimed land under forest and pasture ecosystems in Ohio, USA. *Geoderma*, 3-4, 157, 196-205.
- ŠANTRŮČKOVÁ, H. (2014): *Základy ekologie půdy*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- ŠANTRŮČKOVÁ, H., KAŠTOVSKÁ, E., BÁRTA, J., MIKO, L., TAJOVSKÝ, K. (2018): *Ekologie půdy*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- ŠOURKOVÁ, M., FROUZ, J., ŠANTRŮČKOVÁ, H. (2005): Accumulation of carbon, nitrogen and phosphorus during soil formation on alder spoil heaps after brown-coal mining, near Sokolov (Czech Republic). *Geoderma*, 1-2, 124, 203-214.
- THORNTON, I. W. B., COOK, S., EDWARDS, J. S., HARRISON, R. D., SCHIPPER, C., SHANAHAN, M., SINGADAN, R., YAMUNA, R. (2001): Colonization of an island volcano, Long Island, Papua New Guinea, and an emergent island, Motmot, in its caldera lake. VII. Overview and discussion. *Journal of Biogeography*, 11-12, 28, 1389-1408.
- TICHÝ, L. (2012): Obnova vegetace suchých trávníků v bývalém vápencovém lomu Hády u Brna. In: Jongepierová, Pešout, P., Jongepier, J. W., Prach, K. (2012): *Ekologická obnova v České republice*. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha, 102-103.
- TITUS, J. H., BISHOP, J. G. (2014): Propagule limitation and competition with nitrogen fixers limit conifer colonization during primary succession. *Journal of Vegetation Science*, 4, 25, 990-1003.
- TOWNSEND, C. R., BEGON, M., HARPER, J. L. (2010): *Základy ekologie*. Univerzita Palackého, V Olomouci.
- TRNKA, M., ŽALUD, Z., HLAVINKA, P., BARTOŠOVÁ, L. et al. (2020): 4. Uhlíkový cyklus a jeho narušení člověkem. <https://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/pruvodce-zmenou-klimatu/> (11. 08. 2020).
- TRNKOVÁ, R., ŘEHOUNKOVÁ, K., PRACH, K. (2010): Spontaneous succession of vegetation on acidic bedrock in quarries in the Czech Republic. *Preslia*, 3, 82, 333-343.
- TROPEK, R., KADLEC, T., KARESOVA, P., SPITZER, L., KOCAREK, P., MALENOVSKY, I., BANAR, P., TUF, I. H., HEJDA, M., KONVICKA, M. (2010): Spontaneous succession in limestone quarries as an effective restoration

tool for endangered arthropods and plants. *Journal of Applied Ecology*, 1, 47, 139-147.

TROPEK, R., TICHÝ, L., PRACH, K., ŘEHOUNEK, J. (eds.) (2015): Kamenolomy. In: Řehounek, J., Řehouňková, K., Tropek, R., Prach, K. (eds.) (2015): *Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi*. Calla, České Budějovice.

UNFCCC (2020): Glossary of climate change acronyms and terms. United Nations Climate Change <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-convention/glossary-of-climate-change-acronyms-and-terms#c> (8. 4. 2020).

USGS (2020): What is carbon sequestration? [https://www.usgs.gov/faqs/what-carbon-sequestration?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-carbon-sequestration?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products) (8. 4. 2020).

VAVŘÍNOVÁ, M. (1949): *Soupis lomů ČSR - okres Vysoké Mýto*. Československý svaz pro výzkum a zkoušení technicky důležitých látek a konstrukcí, Praha.

VILMUNDARDÓTTIR, O. K., VILMUNDARDÓTTIR, O. K., GÍSLADÓTTIR, G., LAL, R. (2015a): Soil carbon accretion along an age chronosequence formed by the retreat of the Skaftafellsjökull glacier, SE-Iceland. *Geomorphology*, 228, 124-133.

VILMUNDARDÓTTIR, O. K., GÍSLADÓTTIR, G., LAL, R. (2015b): Between ice and ocean; soil development along an age chronosequence formed by the retreating Breiðamerkurjökull glacier, SE-Iceland. *Geoderma*, 259-260, 310-320.

VILMUNDARDÓTTIR, O. K., SIGURMUNDSSON, F. S., MØLLER PEDERSEN, G. B., BELART, J. M. -C., KIZEL, F., FALCO, N., BENEDIKTSSON, J. A., GÍSLADÓTTIR, G. (2018): Of mosses and men: Plant succession, soil development and soil carbon accretion in the sub-Arctic volcanic landscape of Hekla, Iceland. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 6, 42, 765-791.

VINDUŠKOVÁ, O., FROUZ, J. (2013): Soil carbon accumulation after open-cast coal and oil shale mining in Northern Hemisphere: a quantitative review. *Environmental Earth Sciences*, 5, 69, 1685-1698.

VITOUSEK, P. M., APLET, G., TURNER, D., LOCKWOOD, J. J. (1992): The Mauna Loa environmental matrix: foliar and soil nutrients. *Oecologia*, 3, 89, 372-382.



Vrstva nadregionálních biocenter z Územně technického podkladu (ÚTP ÚSES ČR) (1996): Společností pro životní prostředí, s. r. o. a vektorizovaného společností Arcdata Praha, s. r. o.; © MMR, 1996

WALKER, L. R., DEL MORAL, R. (2003): Primary Succession and Ecosystem Rehabilitation. University Press, Cambridge.

WALKER, L. R., WILLIG, M. R. (1999): An Introduction to Terrestrial Disturbances. In: Walker, L. R. (ed.) (1999): WALLACE, J. M., HOBBS, P. V. (2006): Atmospheric science: an introductory survey. Elsevier Academic Press, Amsterdam.

WYNN-WILLIAMS, D. D. (1993): Microbial processes and initial stabilization of fellfield soil. In: Miles, J., Walton, D. W. H.: Primary Succession on Land. British Ecological Society, Oxford: Blackwell, 17–32.

## 10. Seznam obrázků, tabulek a příloh

### Obrázky

- Obr. 1: Globální cyklus uhlíku (IPCC 2013, přeložená verze převzata z Trnka et al. 2020).
- Obr. 2: Poloha zájmového území v rámci ČR a výřez geologické mapy s vyznačením lomů a sond (zdroj: geologická mapa: GeoCR50).
- Obr. 3: Mapa žulových lomů na Skutečsku 1: 75 000 (Hájek 1931).
- Obr. 4: Mapa zájmového území s rozmístěním stanovišť (podkladová mapa: ZM10).
- Obr. 5: Zásoba  $C_{\text{toc}}$  v nadložním humusu.
- Obr. 6: Zásoba  $C_{\text{toc}}$  v hloubce profilu 0–10 cm.
- Obr. 7: Zásoba  $C_{\text{toc}}$  v hloubce profilu 10–20 cm.
- Obr. 8: Zásoba  $C_{\text{toc}}$  v celém profilu.
- Obr. 9: Rychlost sekvestrace uhlíku v nadložním humusu.
- Obr. 10: Rychlost sekvestrace uhlíku ve vrstvě 0–10 cm.
- Obr. 11: Rychlost sekvestrace uhlíku ve vrstvě 10–20 cm.
- Obr. 12: Rychlost sekvestrace uhlíku v celém profilu.

### Tabulky

- Tab. 1: Výsledky lineární regrese pro zásobu uhlíku.
- Tab. 2: Výsledky lineární regrese pro rychlost sekvestrace.

### Přílohy

- Příloha 1: Seznam naměřených a vypočtených hodnot.
- Příloha 2: Stanovištní karty/protokoly s fotografiemi.

## 11. Přílohy

Příloha 1: Seznam naměřených a vypočtených hodnot.

identifikace vzorku	sukcesní stáří stanoviště dle Derková (2020)	%C <sub>toc</sub>	jemnozem v kg·m <sup>-2</sup>	zásoba C v kg·m <sup>-2</sup>	rychlost sekvestrace C v g·m <sup>-2</sup> ·rok <sup>-1</sup>	rychlost sekvestrace C v t·ha <sup>-2</sup> ·rok <sup>-1</sup>
1 LFH	45	8,38	1,24	0,10	2,30	0,023
1.1	45	3,22	54,05	1,74	38,68	0,387
1.2	45	0,95	44,47	0,42	9,39	0,094
2 LFH	53	7,68	1,73	0,13	2,51	0,025
2.1	53	3,12	65,00	2,03	38,27	0,383
2.2	53	1,10	72,23	0,79	14,99	0,150
3 LFH	52	10,97	1,28	0,14	2,70	0,027
3.1	52	4,62	44,59	2,06	39,61	0,396
3.2	52	0,38	74,32	0,28	5,43	0,054
4 LFH	39	9,44	2,61	0,25	6,32	0,063
4.1	39	1,78	56,60	1,01	25,83	0,258
4.2	39	0,88	19,29	0,17	4,35	0,044
5 LFH	31	11,10	2,19	0,24	7,84	0,078
5.1	31	3,19	29,12	0,93	29,97	0,300
5.2	31	1,55	52,74	0,82	26,37	0,264
6 LFH	59	17,97	2,39	0,43	7,27	0,073
6.1	59	3,58	42,66	1,53	25,89	0,259
6.2	59	1,11	34,34	0,38	6,46	0,065
7 LFH	53	9,73	0,90	0,09	1,66	0,017
7.1	53	3,72	46,29	1,72	32,49	0,325
7.2	53	0,86	54,90	0,47	8,91	0,089
8 LFH	21	11,20	0,74	0,08	3,96	0,040
8.1	21	2,38	33,53	0,80	38,00	0,380
8.2	21	0,51	13,49	0,07	3,28	0,033
9 LFH	24	17,08	0,39	0,07	2,79	0,028
9.1	24	1,93	51,43	0,99	41,36	0,414
9.2	24	0,87	82,55	0,72	29,92	0,299
10 LFH	27	17,07	0,67	0,11	4,22	0,042
10.1	27	2,00	64,87	1,30	48,05	0,481
10.2	27	0,80	66,99	0,54	19,85	0,198
11 LFH	17	11,02	0,60	0,07	3,91	0,039
11.1	17	1,27	73,92	0,94	55,23	0,552
11.2	17	0,18	116,77	0,21	12,36	0,124
12 LFH	26	10,46	0,55	0,06	2,19	0,022
12.1	26	1,35	80,18	1,08	41,63	0,416
12.2	26	0,20	113,15	0,23	8,70	0,087
13 LFH	24	9,43	0,40	0,04	1,57	0,016
13.1	24	0,81	81,58	0,66	27,53	0,275

13.2	24	0,15	112,20	0,17	7,01	0,070
14 LFH	84	17,08	4,06	0,69	8,26	0,083
14.1	84	6,96	72,04	5,01	59,69	0,597
14.2	84	2,42	115,47	2,79	33,27	0,333
15 LFH	82	11,50	1,26	0,14	1,77	0,018
15.1	82	3,30	85,57	2,82	34,44	0,344
15.2	82	1,65	117,78	1,94	23,70	0,237
16 LFH	57	11,00	3,09	0,34	5,95	0,060
16.1	57	1,95	98,58	1,92	33,72	0,337
16.2	57	0,31	118,18	0,37	6,43	0,064
17 LFH	52	7,93	1,53	0,12	2,34	0,023
17.1	52	1,56	106,99	1,67	32,10	0,321
17.2	52	0,32	130,50	0,42	8,03	0,080
18 LFH	81	NA	2,34	1,05	12,96	0,130
18.1	81	5,99	74,93	4,49	55,41	0,554
18.2	81	1,89	86,77	1,64	20,25	0,202
19 LFH	45	7,62	2,82	0,21	4,77	0,048
19.1	45	3,70	25,48	0,94	20,95	0,209
19.2	45	2,00	17,61	0,35	7,83	0,078
20 LFH	72	32,86	9,33	3,07	42,57	0,426
20.1	72	4,11	98,18	4,04	56,04	0,560
20.2	72	0,83	114,68	0,95	13,22	0,132
21 LFH	1	20,28	0,10	0,02	20,85	0,208
21.1	1	0,72	88,85	0,64	639,71	6,397
21.2	1	0,22	135,22	0,30	297,48	2,975
22.1	1	0,12	105,05	0,13	126,06	1,261
22.2	1	0,08	79,46	0,06	63,57	0,636
23.1	1	0,07	104,17	0,07	72,92	0,729
24 LFH	72	NA	1,21	0,29	4,03	0,040
24.1	72	3,08	89,83	2,77	38,43	0,384
24.2	72	1,07	137,70	1,47	20,46	0,205

## SKUTEČ – LEŠTINKA

### PROS 1 (GPS 006)

- nejstarší část lomu Kaňon, okolí Mikšova lesa, pokročilá sukcese, bříza, lísky, bohatý podrost netykavky, v půdě výskyt žížal a dalšího hmyzu, barva tmavá, na povrchu černá, směrem do hloubky mírně světlá, ale stále dost tmavá, skelet větší hranaté kameny nepravidelné velikosti, ne drobný štěrk

#### Pros 1 LFH

hloubka opadu 1 = 2 cm,

2 = 2 cm

3 = 1,5 cm

4 = 3 cm

m = 0,37 kg

V jemnozeme = 40,90 %

#### Pros 1.1

A horizont 0–10 cm

m celkem = 18,75 kg

skelet = 7,8 kg

organika = 0,1 kg,

jemnozeme = 6,62 kg

V jemnozeme = 35,32 %

#### Pros 1.2

A horizont 10–20 cm

m celkem = 21,91 kg

skelet = 13,35 kg

organika = 0,02 kg

jemnozeme = 5,45 kg

V jemnozeme = 24,86 %



## PROS 2 (GPS 007)

- podobná pozice lomu Kaňon, blíže k západní stěně lomu, pokročilá sukcese, podrost ostružiní a keřů, skelet ostrohranný a spíše větší kusy než šterk, pozice se jeví o něco sušší než pros 1, hlína tmavě hnědé barvy

### Pros 2 LFH

hloubka opadu:  
minimální, leží na zemi,  
max 0,5 cm  
m = 0,37 kg

V jemnozeme = 57,30 %

### Pros 2.1

A horizont 0–10 cm  
m celkem = 16,27 kg  
skelet = 5,31 kg,  
organika = 0,19 kg,  
jemnozeme = 7,96 kg  
V jemnozeme = 48,94 %

### Pros 2.2

A horizont 10–20 cm  
m celkem = 19,61 kg  
skelet = 7,92 kg,  
organika = 0,12 kg,  
jemnozeme = 8,85 kg  
V jemnozeme = 45,12 %



## PROS 3 (GPS 008)

- třetí stanoviště v nejstarší části lomu Kaňon, „pomezí“ styku několika hraničních stěn, stanoviště je o dost vlhčí než pros 1 a 2, cca v 9 cm známky stagnující vody – šedý glejový horizont, opad pokrývá cca 30 % plochy rámu, bylo ho málo, vzorek „celé prosátí“

### Pros 3 LFH

hloubka opadu: mezi 3–4  
rozdíl 3 cm vzduchu  
m = 0,31 kg  
V jemnozeme = 50,62 %

### Pros 3.1

A horizont 0–10 cm  
m celkem = 15,15 kg  
skelet = 4,88 kg  
organika = 0,14 kg  
jemnozeme = 5,46 kg  
V jemnozeme = 36,05 %

### Pros 3.2

A horizont 10–20 cm  
m celkem = 30,28 kg  
skelet = 13,08 kg  
organika = 0 kg  
jemnozeme = 9,10 kg  
V jemnozeme = 30,06 %



### PROS 4 (GPS 009)

- vysychavé místo Kaňonu, středně vysoké borovice, nálety ptačí třesně, šípek, zem pokryta vyšší trávou, vyschlým mechem, pozice na slunci, opadanka pokrývá celý prostor rámu, nutno odříznout a vyhrabat, nadložní humus cca moder, v části 4.2 minimální množství organiky, nezávažitelné

#### Pros 4 LFH

hloubka opadu 1 = 4 cm,  
 2 = 3 cm  
 3 = 3 cm  
 4 = 4 cm  
 m = 0,50 kg  
 V jemnozemeň = 63,95 %

#### Pros 4.1

A horizont 0–10 cm  
 m celkem = 17,06 kg  
 skelet = 6,67 kg  
 organika = 0,21 kg  
 jemnozem = 6,93 kg  
 V jemnozemeň = 40,64 %

#### Pros 4.2

A horizont 10–20 cm  
 m celkem = 26,39 kg  
 skelet = 22,57 kg  
 organika = 0 kg  
 jemnozem = 2,36 kg  
 V jemnozemeň = 8,96 %



## PROS 5 (GPS 010)

- opět místo „vysušených borovic“ v lomu Kaňon, na stanovišti více zelené trávy, ale převládají stále borovice, případně nějaké keře jako šípek, jeřabiny, opadanka je opět souvislá vrstva trávy

### Pros 5 LFH

hloubka opadu 1 = 4 cm

2 = 4 cm

3 = 3,5 cm

4 = 2 cm

m = 0,46 kg

V jemnozeme = 58,32 %

### Pros 5.1

A horizont 0–10 cm

m celkem = 17,15 kg

skelet = 10,88 kg

organika = 0,33 kg

jemnozeme = 3,57 kg

V jemnozeme = 20,80 %

### Pros 5.2

A horizont 10–20 cm

m celkem = 19,86 kg

skelet = 10,67 kg

organika = 0,01 kg

jemnozeme = 6,46 kg

V jemnozeme = 32,53 %



## PROS 6 (GPS 011)

- nejstarší část, dlouho opuštěný lom v oblasti Pondělíčkovy lesa a Modráčkovy skály, hustě zarostlé vysokou i středně vysokou vegetací, bylinné patro – netykavka, maliní + ostružiní, vzrostlé lísky, vrba jíva, bez černý, olše, po okrajích borovice, dub, půda je hodně tmavá, směrem dolů lehce světlá

### Pros 6 LFH

hloubka opadu 1 = 3 cm

2 = 2,5 cm

3 = 2,5 cm

4 = 3 cm

m = 0,69 kg

V jemnozeme = 42,38 %

### Pros 6.1

A horizont 0–10 cm

m celkem = 19,83 kg

skelet = 10,43 kg

organika = 0,30 kg

jemnozeme = 5,23 kg

V jemnozeme = 26,35 %

### Pros 6.2

A horizont 10–20 cm

m celkem = 23,26 kg

skelet = 16,43 kg

organika = 0,01 kg

jemnozeme = 4,21 kg

V jemnozeme = 18,09 %





### PROS 7 (GPS 012)

- stejné stanoviště, konzistence je kyprá, vlhčí než předchozí vzorek, vrchní část je do černa, směrem dolů lehce světlá, známky stagnace vody v 10 cm, šedý glejový horizont

#### Pros 7 LFH

hloubka opadu 1 = 1,5 cm, 2 = 2 cm, 3 = 3 cm, 4 = 1,5 cm (operativní pro určení A horizontu, jinak tloušťka opadanky 1 cm)  
m = 0,26 kg

V jemnozeme = 42,63 %

#### Pros 7.1

A horizont 0–10 cm

m celkem = 15,23 kg  
skelet = 5,86 kg,  
organika = 0,06 kg,  
jemnozeme = 5,67 kg  
V jemnozeme = 37,23 %

#### Pros 7.2

A horizont 10–20 cm

m celkem = 22,55 kg  
skelet = 10,7 kg,  
organika = 0,1 kg,  
jemnozeme = 6,72 kg  
V jemnozeme = 29,82 %



## PROS 8 (GPS 014)

- u stěny lomu Ekhartka, na stanovišti proschlé olše a jasany, podrost jsou ostružiny, lesní jahody a luční tráva, hodně mokré po předchozích deštích, velmi obtížně prosívané, ve vrstvě opadanky hodně vrchní trávy, v horizontu 10-20 velký kámen

### Pros 8 LFH

hloubka opadu 1 = 2 cm

2 = 2,5 cm

3 = 3 cm

4 = 4 cm

m = 0,29 kg

V jemnozeme = 31,33 %

### Pros 8.1

A horizont 0–10 cm

m celkem = 23,67 kg

skelet = 14,15 kg,

organika = 0,37 kg,

jemnozeme = 4,11 kg

V jemnozeme = 17,40 %

### Pros 8.2

A horizont 10–20 cm

m celkem = 34,03 kg

skelet = 30,43 kg,

organika = 0 kg,

jemnozeme = 1,65 kg

V jemnozeme = 4,85 %



## PROS 9 (GPS 023)

- mladé stádium na staré etáži, borovice, místy i starší náletové břízy, málo vzrostlé, ptačí třešně, tráva, místo je exponované návštěvníky, kde lidé leží na dekách, ale tato část by měla být málo dotčená

### Pros 9 LFH

- hodně trávy, odebrán

celý vzorek včetně ní,

„vzorek hnízdo“

m = 0,08 kg

V jemnozeme = 60,0 %

### Pros 9.1

- A horizont 0–10 cm

m celkem = 20,7 kg

skelet = 11,52 kg

organika = 0,09 kg

jemnozeme = 6,30 kg

V jemnozeme = 30,44 %

### Pros 9.2

- A horizont 10–20 cm

m celkem = 23,72 kg

skelet = 10,19 kg

organika = 0,18 kg

jemnozeme = 10,11 kg

V jemnozeme = 42,63 %

## PROS 10 (GPS 029)

- stejné stanoviště velmi obdobných podmínek o kousek dál

### Pros 10 LFH

m = 0,20 kg

V jemnozeme = 40,93 %

### Pros 10.1

A horizont 0–10 cm

m celkem = 18,64 kg

skelet = 6,98 kg,

organika = 0,22 kg,

jemnozeme = 7,95 kg

V jemnozeme = 42,63 %

### Pros 10.2

A horizont 10–20 cm

m celkem = 18,8 kg

skelet = 7,37 kg,

organika = 0,14 kg,

jemnozeme = 8,21 kg

V jemnozeme = 43,65 %



## PROS 11 (GPS 030)

- nové stanoviště, malé borovice, ale staré, 11–14 let -> podrobně dle vývrtů, nálety břízy vcelku vzrostlé, tráva keřový podrost, topol, osika, olše

- hodně kořenů a kořínků skoro bez skeletu nebo jen velmi malý, hornina je velmi zvětralá a většina skeletu se rozpadá, ve spodní vrstvě 10–20 se spíše škrábala zvětralá hornina

### Pros 11 LFH

málo, neznatelné, pár cm

m = 0,24 kg

V jemnozeme = 30,79 %

### Pros 11.1

-A horizont 0–10 cm

m celkem = 12,28 kg

skelet = 0,29 kg,

organika = 0,44 kg,

jemnozeme = 9,06 kg

V jemnozeme = 73,74 %

### Pros 11.2

A horizont 10–20 cm

m celkem = 21,17 kg

skelet = 4,06 kg,

organika = 0,05 kg,

jemnozeme = 14,30 kg

V jemnozeme = 67,57 %



## PROS 12 (GPS 025)

- stanoviště kousek jinde, vzrostlé břízy, vrba jíva, borovice a modřín pár jedinců a v malém vzrůstu, osika, barva stanovišť v okruhu Zvěřinova je spíše šedavá, světlá, nevyskytují se žádné velké úlomky kompaktní horniny nebo zcela výjimečně, skelet spíše drobný

### Pros 12 LFH

m = 0,19 kg

V jemnozeme = 35,12 %

### Pros 12.1

A horizont 0–10 cm

m celkem = 14,11 kg

skelet = 0,41 kg,

organika = 0,47 kg,

jemnozeme = 9,82 kg

V jemnozeme = 69,61 %

### Pros 12.2

A horizont 10–20 cm

m celkem = 18,68 kg

skelet = 2,99 kg,

organika = 0,02 kg,

jemnozeme = 13,86 kg

V jemnozeme = 74,20 %



## PROS 13 (GPS 031)

- těžba v menším množství, poslední stanoviště v okruhu Zvěřinov, v nižším podrostu duby, olše, v horizontu 0–10 stopy mramorování, šedivá barva, výrazné prokořenění, v části 10–20 opět hodně zvětralá hornina, která lze drtit, nejedná se o půdní agregáty

### Pros 13 LFH

hloubka opadu 1 = 3 cm,

2 = 3 cm

3 = 2,5 cm

4 = 2,5 cm

m = 0,11 kg

V jemnozemě = 44,44 %

### Pros 13.1

A horizont 0–10 cm

m celkem = 15,03 kg

skelet = 0,92 kg

organika = 0,36 kg

jemnozem = 9,99 kg

V jemnozemě = 66,49 %

### Pros 13.2

A horizont 10–20 cm

m celkem = 18,64 kg

skelet = 2,78 kg

organika = 0,07 kg

jemnozem = 13,74 kg

V jemnozemě = 73,73 %



## PROS 14 (GPS 032)

- kontrolní sonda „půvdpní les, silné, vzrostlé olše, ostružiní + netykavka, na pohled velmi bohatý podrost, pozn. mapa (ÚHUL) kolik uhlíku je v takových podmínkách v lese, v netěžených podmínkách, jedinci líska a jeřáb, stanoviště není nijak mokré, hlína je krásně kyprá, dobře se přesívá, zrnitost prachová, jemná, barva světle hnědá, šedo-okrová, okolí Modráčkovy skály

### Pros 14 LFH

- obvyklý lesní nadložní spád, listnatý

- hloubka opadu 1 = 1

cm, 2 = 1,5 cm, 3 = 1,5

cm, 4 = 3 cm

m = 0,97 kg

V jemnozemě = 51,21 %

### Pros 14.1

A horizont 0–10 cm

m celkem = 13,7 kg

skelet = 0,14 kg,

organika = 1,07 kg,

jemnozem = 8,82 kg

V jemnozemě = 64,42 %

### Pros 14.2

A horizont 10–20 cm

m celkem = 17,65 kg

skelet = 0,14 kg,

organika = 0,06 kg,

jemnozem = 14,14 kg

V jemnozemě = 80,14 %



### PROS 15 (GPS 033)

- obdobné stanoviště ala původní les, o kousek dál, ale naprostá změna charakteru, vzrostlé duby, smrčky, vcelku chudý podrost, ale charakterově půda obdobná, možná více okrová, prachová, prakticky bez skeletu, pouze drobný, okolí Modráčkovy skály

#### Pros 15 LFH

- nadložní humus 1,5 cm  
 $m = 0,42 \text{ kg}$   
 $V_{\text{jemnozeme}} = 36,73 \%$

#### Pros 15.1

A horizont 0–10 cm  
 $m_{\text{celkem}} = 14,04 \text{ kg}$   
 skelet = 1,52 kg,  
 organika = 0,1 kg,  
 jemnozeme = 10,48 kg  
 $V_{\text{jemnozeme}} = 74,66 \%$

#### Pros 15.2

A horizont 10–20 cm  
 $m_{\text{celkem}} = 16,98 \text{ kg}$   
 skelet = 0,68 kg,  
 organika = 0,19 kg,  
 jemnozeme = 14,43 kg  
 $V_{\text{jemnozeme}} = 84,97 \%$



## PROS 16 (GPS 034)

- nové stanoviště na lomem Kaňon, jedná se ještě o lom, pravděpodobně skrývka před těžbou, ale místo už asi do samotné těžby přímo nepadalo, vzrostlé břízy, malé duby, středně velké až velké osiky, malé olše, podrost hojně borůvčí (nikde jinde v okolí celé oblasti se skoro nevyskytuje) a mech, stanoviště je poměrně proschlé, ale na to mohlo mít dopad spíše sucho léta, celý profil prakticky bez skeletu, jen půdní agregáty

### Pros 16 LFH

- hloubka opadu 1 = 3,5 cm, 2 = 2 cm, 3 = 2 cm, 4 = 4 cm  
m = 0,70 kg  
V jemnozeme = 54,0 %

### Pros 16.1

A horizont 0–10 cm  
m celkem = 14,55 kg  
skelet = 0,04 kg,  
organika = 0,58 kg,  
jemnozeme = 12,08 kg  
V jemnozeme = 83,0 %

### Pros 16.2

A horizont 10–20 cm  
m celkem = 16,06 kg  
skelet = 0 kg, organika = 0,13 kg, jemnozeme = 14,48 kg  
V jemnozeme = 90,15 %



## PROS 17 (GPS 035)

- podobné stanoviště jako pros 16, i zde je borůvčí, ale hned o kousek vedle mizí, poměrně ostrý přechod, malé osiky, duby, vzrostlé břízy, mech

### Pros 17 LFH

hloubka opadu 1 = 3,5 cm, 2 = 4 cm  
3 = 3,5 cm  
4 = 2,5 cm  
m = 0,35 kg  
V jemnozeme = 53,65 %

### Pros 17.1

A horizont 0–10 cm  
m celkem = 15,6 kg  
skelet = 0,5 kg, organika = 0,3 kg, jemnozeme = 13,11 kg  
V jemnozeme = 84,01 %

### Pros 17.2

A horizont 10–20 cm  
m celkem = 17,7 kg  
skelet = 0,26 kg, organika = 0,08 kg, jemnozeme = 15,99 kg  
V jemnozeme = 90,32 %



### PROS 18 (GPS 036)

- místo mimo těžbu, kontrolní vzorek „původní les“, i když tento evidentně moc původní nebude, jasná smrková monokultura hospodářského lesa, po stranách výsypky, podrost chudý až žádný, bez mechu, místy max netykavka, smrky jsou vzrostlé, půda hezky syká, nijak udusaná, „lehká lesní“, skelet drobný kulovitý a dobře vytříděný

#### Pros 18 LFH

hloubka opadu 1 = 1 cm,

2 = 1,5 cm

3 = 2,5 cm

4 = 1,5 cm

m = 0,70 kg

V jemnozeme = 40,98 %

#### Pros 18.1

A horizont 0–10 cm

m celkem = 11,86 kg

skelet = 0,31 kg,

organika = 0,21 kg,

jemnozem = 9,18 kg

V jemnozeme = 77,40 %

#### Pros 18.2

A horizont 10–20 cm

m celkem = 13,74 kg

skelet = 0,55 kg,

organika = 0,04 kg,

jemnozem = 10,63 kg

V jemnozeme = 77,36 %





## PROS 19 (GPS 037)

- stanoviště „vysušených borovic“, po dešti víc zelené, místo je velmi mokré a drobné kořínky trav zadržují mnoho hlíny, velmi obtížně přesívané, vzorek pravděpodobně zatížen významnou chybou v důsledku mokré půdy a mnoha drobných kořínků, rosou šípkové keře a vysoká tráva

### Pros 19 LFH

m = 0,61 kg

V jemnozeme = 56,61 %

### Pros 19.1

A horizont 0–10 cm

m celkem = 13,06 kg

skelet = 6,63 kg,

organika = 1,39 kg,

jemnozeme = 3,12 kg

V jemnozeme = 23,90 %

### Pros 19.2

A horizont 10–20 cm

m celkem = 20,66 kg

skelet = 17,01 kg,

organika = 0,18 kg,

jemnozeme = 2,16 kg

V jemnozeme = 10,44 %



## PROS 20 (GPS 038)

- stanoviště „původní les“, smrk, prakticky nulový podrost, pravděpodobně sprašová hlína, prakticky bez skeletu, světlounká hnědá barva, déšť v nedávné době – vlhko, přšelo i v den odběru, ale málo

### Pros 20 LFH

hloubka opadu 1 = 5 cm,

2 = 4,5 cm,

3 = 3,5 cm

4 = 4 cm

m = 2,74 kg

V jemnozeme = 41,71 %

### Pros 20.1

A horizont 0–10 cm

m celkem = 14,43 kg

skelet = 0 kg, organika =

0,12 kg, jemnozeme =

12,03 kg

V jemnozeme = 83,35 %

### Pros 20.2

A horizont 10–20 cm

m celkem = 16,12 kg

skelet = 0,04 kg,

organika = 0,03 kg,

jemnozeme = 14,05 kg

V jemnozeme = 87,15 %



### PROS 21 (GPS 039)

- okraj aktivního lomu, nálety na skrývce/po vymýcení lesa, mokré, velmi utužené, jílovité, výrazné stopy oglejení (mramorování) v celém profilu, mokré, po vyschnutí jíl extrémně ztvrdlý, bezskeletovitý předpoklad, jak to bylo velmi mokré nedalo se to přesít, pouze velké slepené hrudky jílu

#### Pros 21 LFH

- minimální, kousky mechu, přichycené vegetace, celý vzorek v pytlíku  
 m = 20,1 g (po vyschnutí)  
 V jemnozeme = 62,96 %

#### Pros 21.1

A horizont 0–10 cm  
 m celkem = 21,69 kg  
 skelet = 0,02 kg,  
 organika = 0,13 kg,  
 jemnozeme = 10,88 kg  
 V jemnozeme = 50,18 %

#### Pros 21.2

A horizont 10–20 cm  
 m celkem = 20,02 kg  
 skelet = 0 kg, organika = 0,02 kg, jemnozeme = 16,56 kg  
 V jemnozeme = 82,74 %



## PROS 22 (GPS 040)

- etáž aktivního lomu, „bod nula“, čerstvě skryto, spousta jemného bahýnka, do kterého se boří, žádná vegetace, spousta kamenů silně navětralá, zvláště pak kopání v rámci horizontu do hloubky spíše seškrabávání navětralé horniny

### Pros 22 LFH

NENÍ

### Pros 22.1

- A horizont 0–10 cm

m celkem = 23,43 kg

skelet = 7,61 kg,

organika = žádná kg,

jemnozem = 12,87 kg

V jemnozemě = 54,92 %

### Pros 22.2

- A horizont 10–20 cm

m celkem = 23,13 kg

skelet = 11,86 kg,

organika = žádná kg,

jemnozem = 9,73 kg

V jemnozemě = 42,09 %



## PROS 23 (GPS 041)

- obdobné stanoviště jako pros 22, ale mělčí, směrem do hloubky škrábání navětralé horniny, hl. na hranici k horizontu 10–20 tvrdé, v lepším případě navětralé

### Pros 23 LFH

NENÍ

### Pros 23.1

- A horizont 0–10 cm

m celkem = 23,83 kg

skelet = 8,8 kg, organika

= žádná kg, jemnozem = 12,76 kg

V jemnozemě = 53,55 %

### Pros 23.2

NENÍ



## PROS 24 (GPS 042)

- stanoviště „původní les“, smíšený listnatý a jehličnatý les, smrk, lípa, dub, bříza, podrost ostružiní, bezskeletové, suché, sprašová hlína

### Pros 24 LFH

hloubka opadu 1 = 2 cm,

2 = 1 cm

3 = 1,5 cm

4 = 2 cm

m = 0,52 kg

V jemnozeme = 28,50 %

### Pros 24.1

A horizont 0–10 cm

m celkem = 14,03 kg

skelet = 0,22 kg,

organika = 0,25 kg,

jemnozeme = 11,00 kg

V jemnozeme = 78,44 %

### Pros 24.2

A horizont 10–20 cm

m celkem = 19,5 kg

skelet = 0,14 kg,

organika = 0,04 kg,

jemnozeme = 16,87 kg

V jemnozeme = 86,50 %

