

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY**

**Vliv druhového složení  
lesnických rekultivací na  
vybrané hydrologické  
charakteristiky půdy**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vedoucí práce: Mgr. Alena Walmsley PhD.**

**Diplomant: Bc. Jan Řezník**

**Praha 2019**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Řezník

Voda v krajině

Název práce

**Vliv druhového složení lesnických rekultivací na vybrané hydrologické charakteristiky půdy**

Název anglicky

**The effect of species composition of forestry reclamations on selected hydrological soil properties**

---

### **Cíle práce**

Porovnat vliv různých druhů stromů, využívaných k lesnickým rekultivacím na Sokolovsku, na vybrané fyzikální vlastnosti půd, jako je retenční vodní kapacita, nasáklivost a erodovatelnost půdy.

### **Metodika**

V terénu budeme měřit infiltraci vody do půdy, vlhkost a vodivost půdy. Poté odebereme Kopeckého válečky a v laboratoři budeme měřit nasáklivost půdy, případně další charakteristiky které ovlivňují vodní režim půd a erodovatelnost.

## **Doporučený rozsah práce**

30 – 50 stran

## **Klíčová slova**

lesnické rekultivace, druhy stromů, infiltrace, retenční vodní kapacita

---

## **Doporučené zdroje informací**

Frouz, J., V. Pižl, E. Cienciala and J. Kalčík 2009: Carbon storage in post-mining forest soil, the role of tree biomass and soil bioturbation. *Biogeochemistry* 94: 111-121.

Lin, H., J. Bouma, Y. Pachepsky, A. Western, J. Thompson, R. Van Genuchten, H. J. Vogel and A. Lilly 2006: *Hydropedology: Synergistic integration of pedology and hydrology*. *Water Resources Research* 42.

---

## **Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – FŽP

## **Vedoucí práce**

Mgr. Alena Walmsley, Ph.D.

## **Garantující pracoviště**

Katedra biotechnických úprav krajiny

## **Konzultant**

Martin Berka

---

Elektronicky schváleno dne 18. 3. 2019

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 19. 3. 2019

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 14. 04. 2019

## ABSTRAKT

Lesnické rekultivace jsou v současné době nedílnou součástí obnovy silně narušené krajiny, jaká vzniká např. po povrchové těžbě nerostných surovin. Slouží jako nástroj ke stabilizaci půdního povrchu zamezující nadměrně silnému působení erozních činitelů a zároveň se jich využívá pro jejich půdotvorné, či půdu regenerující vlastnosti. Ukázkovým příkladem může být právě prostředí Velké podkrušnohorské výsypky na severozápadě Čech. Zhruba od 70. let minulého století zde na značně homogenním substrátu probíhá mimo jiné i lesnická rekultivace poměrně velkého rozsahu, využívající celé řady druhů, jak z řad nahosemenných, tak i krytosemenných dřevin. Celkem vysoká rozmanitost monokulturních porostů tak umožňuje studium celé řady půdních charakteristik napříč tímto druhovým spektrem. Rovněž je do jisté míry možné pozorovat způsob a intenzitu, s jakou jsou dané typy porostu tyto vlastnosti schopné ovlivnit. Určitou výhodou této oblasti je rovněž určité zastoupení ploch ponechaných spontánní sukcesi, jejichž přínos je tak možné porovnat s biotechnickými způsoby rekultivace.

**Klíčová slova:** lesnické rekultivace, druhy stromů, infiltrace, retenční vodní kapacita

## **ABSTRACT**

Nowadays, a forest reclamation is inseparable part of restoration in strongly disturbed landscape such as in the case of mineral resource surface mines. It can serve as a tool for stabilisation of soil surface by mitigation of erosion factors impact. Presence of forest is also very strong agent in pedogenic and soil protecting processes. Exemplary model of such a usage might be the environment of Velká podkrušnohorská soil heap in northwest Bohemia. There had been implemented, besides other reclamation ways, large-scale reforestation on very homogenous substrate since the 70s of the last century. There were a several different tree species selected for this project, both coniferous and deciduous as well. Relatively big variability of tree monocultures on our study sites gives us the possibility to study various soil and hydrological characteristics across this taxonomic spectrum. It also allows us to assess specific ways and scales, how are respective tree species able to affect these attributes. Certain advantage of this area is also presence of sites, that have been left to natural restoration by spontaneous succession, which pros and cons are possible to put in compare with conventional means of biotechnical reclamation.

**Key words:** forest reclamation, tree species, infiltration, water storage capacity

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedených zdrojů pod vedením Mgr. Aleny Walmsley Ph.D.

V Praze dne 18. 4. 2019

.....

Podpis

# OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	CÍLE PRÁCE.....	11
3	POVRCHOVÁ TĚŽBA HNĚDÉHO UHLÍ.....	12
4	REKULTIVACE .....	13
4.1	Postoje k problematice rekultivací.....	13
4.2	Zemědělské rekultivace.....	14
4.3	Vodní rekultivace a hydrologická opatření.....	15
4.4	Ostatní rekultivace a jejich socioekonomický přínos .....	16
4.5	Lesnické rekultivace .....	16
4.5.1	Účelové lesy.....	17
4.5.2	Hospodářské lesy .....	17
4.5.3	Meliorační a zpevňující dřeviny (MZD).....	17
4.6	Sukcese a Obnova přírodě blízkých ekosystémů.....	18
4.7	Rekultivační Dřeviny a jejich ekologicko-pedologický význam .....	19
4.7.1	<i>Picea abies</i> .....	20
4.7.2	<i>Picea pungens</i> .....	20
4.7.3	<i>Pinus sylvestris</i> .....	21
4.7.4	<i>Pinus contorta</i> .....	21
4.7.5	<i>Larix decidua</i> .....	22
4.7.6	<i>Quercus robur</i> .....	22
4.7.7	<i>Alnus sp.</i> .....	23
4.7.8	<i>Salix caprea</i> .....	23
4.7.9	<i>Betula pendula</i> .....	24
5	SOKOLOVSKÁ PÁNEV A VELKÁ PODKRUŠNOHORSKÁ VÝSYPKA.....	25
5.1	Geografie.....	25
5.2	Geologické poměry .....	26
5.3	Klimatické poměry .....	27
5.4	Krajina, fauna a flóra Podkrušnohorské oblasti .....	27
6	VYBRANÉ PEDOLOGICKÉ A HYDROPEDOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY	29

6.1	Infiltrace .....	29
6.2	Půdní vlhkost .....	30
6.3	Utužení půdy .....	31
6.4	Půdní organická složka a mocnost humusové vrstvy .....	32
6.5	Množství biopórů a bohatost půdní fauny .....	33
7	METODIKA .....	34
7.1	Výběr lokalit .....	34
7.2	Způsoby měření zkoumaných půdních vlastností .....	35
7.2.1	Infiltrace .....	35
7.2.2	Měření vlhkosti .....	35
7.2.3	Penetrometrie a objemová hmotnost půdy .....	36
7.2.4	Zastoupení stabilních půdních agregátů .....	36
7.2.5	Hodnocení bohatosti edafonu a humusové vrstvy (A-horizontu) .....	37
8	VÝSLEDKY .....	38
8.1	Rychlost infiltrace .....	38
8.2	Utužení a objemová hmotnost půdy .....	39
8.3	Podíl stabilních půdních agregátů .....	41
8.4	Početnost půdní fauny a výška A-horizontu .....	42
9	DISKUZE .....	44
9.1	Infiltrační vlastnosti půdy .....	44
9.2	Potenciální retenční vlastnosti půdy .....	44
9.3	Povrchový odtok a odolnost vůči erozi .....	45
9.4	Celkové zhodnocení porostů .....	46
10	ZÁVĚR .....	47
11	POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE .....	48
11.1	Literatura .....	48
11.2	Internetové zdroje .....	50
11.3	Mapové portály .....	51
12	SEZNAM PŘÍLOH .....	52



# 1 ÚVOD

Uhelná těžba na území České republiky je historicky jednou ze stěžejních částí našeho hospodářství. Klíčovou se stala zejména s nástupem průmyslové revoluce, avšak největší boom nastal s nástupem velkých těžebních strojů zhruba od poloviny 20. století. To umožnilo zároveň naprosto odlišný přístup k těžební činnosti slibující podstatně rychlejší a efektivnější získávání nerostu. Povrchová těžba, jak je tato metoda dobývání nazývána, se stala v průběhu let velmi populární, avšak nese s sebou celou řadu environmentálně významných aspektů. Jako hlavní z nich je vnímána dalekosáhlá přeměna původní krajiny, která se nejčastěji projevuje vytvořením značně rozměrné jámy v důsledku odtěžení obrovských mas půdy a nerostného materiálu. Vedle toho je nepotřebný skrývkový materiál složen mnohdy i mimo území těžby, což ještě rozšiřuje celkový rozsah takového zásahu do krajiny (Štýs, 1981). Typickou charakteristikou takto nově vzniklých ploch je skutečnost, že jsou prakticky bez života, a otevírá se tak jedinečná možnost započnout utváření nového krajinného celku.

Rekultivační opatření se rozvíjely ruku v ruce s tímto technologickým pokrokem v těžebním průmyslu, neboť byla pociťována potřeba silně narušenou krajinu opět přivést k životu, a v co nejdohlednější době ji připravit pro další možné využití. Začalo se tak s praktikováním technických a biotechnických rekultivací, které měly za účel navrátit zabranou půdu zpět jejímu využití po vzoru zemědělského, či lesnického půdního fondu. Zbytková jáma pak bývá využita pro tvorbu vodního krajinného prvku, který se však stává technicky i finančně nejnáročnější součástí rekultivačních plánů. Většinou se však takový rekultivační projekt setkává spíše s úspěchem, jako to můžeme vidět např. u nově vzniklých vodních nádrží v Severních Čechách nebo Sasku (Schlenstedt et al. 2009). Samotný lesnický způsob rekultivace, který je především tématem této práce, byl v původních představách rekultivačních inženýrů vnímán jako jeden z potenciálních způsobů využití poškozeného území. Velmi záhy se však došlo k poznání, že charakter půdy na takových lokalitách není právě ideální pro hospodářsky významnou produkci dřeva, a že jako první krok je třeba přistupovat k tomuto managementu především s účelem ochrany půdy a postupného zúrodnování takto silně narušených stanovišť. Sledování vlivu jednotlivých dřevin na rozvoj nově vznikajících půdních a s půdou svázaných ekosystémů nám přináší poznatky potřebné k optimalizaci hospodaření na takových stanovištích,

a umožňují nám tak i predikovat další vývoj místních společenstev, pedologických a hydrologických vlastností substrátu, a samozřejmě také vývoj a prosperitu lesních dřevinných porostů jako takových.

## 2 CÍLE PRÁCE

Tato práce má za účel detailněji prozkoumat a zhodnotit nejen hydropedologické vlastnosti jednotlivých dřevin použitých při výsadbě rekultivačních porostů na Velké podkrušnohorské výsypce, ale především poukázat na jejich rozdílnosti a v ideálním případě dojít k jasným závěrům ohledně jejich prospěšnosti pro nově vznikající půdní prostředí. Očekávaným výstupem této práce je pak jasné vymezení předmětů studia a následně přehledná interpretace získaných poznatků týkajících se schopnosti rekultivované půdy absorbovat a udržet srážkovou vodu. V rámci tohoto výzkumu bude tak též možné zhodnotit i stav konkrétních půdních charakteristik, jako je rychlost infiltrace, utužení půdy, podíl celkové organické hmoty v substrátu, podíl stabilních půdních agregátů a v neposlední řadě bohatost půdní fauny.

### 3 POVRCHOVÁ TĚŽBA HNĚDÉHO UHLÍ

Při pátrání po počátcích těžby hnědého uhlí na území České republiky se můžeme dostat až k počátku 13. Století, kdy bylo uhlí dobýváno stejně tak jako dnes pro své výhřevné vlastnosti. V těchto dobách však probíhala těžba buďto hlubinnou formou, která je z hlediska vývoje krajiny zanedbatelná, nebo těžbou povrchovou, avšak ve velmi malém rozsahu, kdy se uhelná ložiska zpřístupňovala pouze drobnými otvirkami v zemi, na které případně navazovaly nevelmi hluboké šachtice. S krajinařsky podstatně významnější velkoplošnou povrchovou těžbou se u nás začalo během 19. Století, což šlo ruku v ruce s tehdejší industrializací středoevropského regionu (MUS a. s., 2001). Tomuto vývoji hornictví se nelze divit, zejména vzhledem k výraznému rozdílu výtěžnosti mezi zmíněnými druhy těžby. Zatímco průměrná produktivita hlubinného způsobu těžby dosahuje efektivity zhruba 40%, výtěžnost, které lze dosáhnout těžbou povrchovou je více než dvojnásobná (Frouz, 2015).

Pro průběh povrchové těžby je příznačný významný zásah do krajiny a životního prostředí dané lokality. Její realizace se skládá ze dvou základních činností a to odklizem nadložních hornin a následného odtěžení ložisek dobývaného nerostu. Pro téma rekultivací je zásadní především odklizení nadložních vrstev, které se realizuje za pomoci těžké techniky. Dochází při něm prvně k odtěžení těchto nadložních vrstev rypadly a následně k transportu získaného materiálu, v našem případě převážně pásovým dopravníkem. Tento materiál se následně založí buďto přímo v důlním objektu (výsypky vnitřní), nebo v jiném prostoru předem vyhrazeném pro zakládku (výsypky vnější). Vršení výsypek pak probíhá nejčastěji zakládáním materiálu v pravidelných geometrických tvarech tak aby výsledkem byl terén umožňující technicky co nejnáze proveditelnou rekultivaci. Vnitřní výsypky se jeví jako ekonomičtější, šetrnější k životnímu prostředí i výhodnější z hlediska krajiny tvorby. Samozřejmě však není možné se omezit pouze na ně, zejména při otvírce lomu, ale i poté například pokud množství skrývkové horniny je tak velké, že by jeho uložení znemožňovalo samotnou důlní činnost (Štýs, 1981).

## 4 REKULTIVACE

Rekultivace neboli soubor činností sloužících k obnově a zlepšení stavu negativně ovlivněné krajiny, a to ať už lidskou činností nebo v důsledku přírodních jevů, jsou u nás v současné době nedílnou součástí těžební činnosti, či jakýchkoliv činností, které krajinu poškozují, a narušují tak její funkčnost spolu s dalšími jejími aspekty (Štýs et Helešicová, 1992). Jelikož je pojem rekultivace velmi obecným termínem, omezíme se s ním v této práci pouze na rekultivace území zasažených důlní činností. Rekultivace se ve svém principu dělí na rekultivace lesnické, zemědělské, vodní a ostatní, přičemž kombinace daných druhů se zvolí na základě krajinných charakteristik rekultivovaného území a v souladu s rekultivačním plánem a tedy i s příslušnými zákony a prováděcími předpisy. Na území České republiky se jedná zejména zákon č. 44/1988 Sb. o ochraně a využití nerostného bohatství (Horní zákon), zákon č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, prováděcí vyhlášku č. 172/1992 Sb. a prováděcí vyhlášku č. 429/2009 Sb.

Etapou předcházející zmíněným druhům rekultivace bývají též sanační opatření a s nimi i tzv. technická rekultivace území. Při ní se práce zaměřují především na terénní úpravy využívající velká odtěžená množství skrývkové zeminy k vyplnění terénních depresí a celkovému zarovnání povrchu za účelem zabránění nestability tělesa výsypky. Výsledkem bývá dosažení poměrně hladkého, nebo mírně zvlněného terénu, což napomáhá též snížení účinku erozních činitelů a přispívá k lepší rekultivovatelnosti daného území. Charakter takovýchto opatření v nově vznikající krajině se liší podle typu rekultivovaného objektu, tedy zda se jedná například o stěnový lom, nebo těžební jámu a to tak aby výsledek odpovídal bezpečnostním a jiným právním předpisům (Gremlica, 2011).

### 4.1 Postoje k problematice rekultivací

Od počátku rekultivací území zasažených těžbou v 50. letech 20. století je v našich končinách tradován princip návratu poškozené krajiny do původního stavu. V praxi to znamená navrácení původní orné půdy opět do stavu vhodného pro zemědělskou produkci, na lesních pozemcích opět časem vypěstovat les a podobně. S odstupem času, kdy však bylo možné sledovat výsledky úspěšných i méně úspěšných rekultivací a vedle nich samovolný vývoj na nezrekultivovaných plochách, vyvstala otázka, nakolik je nutné všechny plochy biotechnicky rekultivovat (Stejskal, 2009).

Původní přístup se omezoval téměř čistě na produkční potenciál rekultivovaného území, nicméně v současné době je podle většiny odborné veřejnosti nutné započítat i mimo-produkční funkce krajiny tolik důležité pro její ekologickou stabilitu a estetičnost. Velmi důležitá je v tomto ohledu zejména péče o přírodu blízké, ne nutně však svým charakterem původní krajinné prvky. V současné době, kdy se čím dál tím více klade důraz například na význam biodiverzity pro zdravě fungující krajinu, je nutno poukázat na studie, které velmi přesvědčivě hovoří o skutečnosti, že vzácná ranně sukcesní stadia vegetačního porostu těžbou poničených ploch disponují významně vyšší biodiverzitou než zbytek okolní nenarušené krajiny (Prach, 2010). Jako jedním z hlavních problémů pro změnu přístupu k rekultivacím bývá označovaná nesprávně koncipovaná legislativa, která do velké míry neodpovídá nejnovějším vědeckým poznatkům, které skutečně poukazují na převažující přínosy ponechání lokalit přirozené obnově. Pádovým argumentem proč naopak k takovému řešení v některých případech nepřistupovat je riziko zanesení invazních druhů do nově vznikajícího ekosystému (Stejskal, 2009).

## **4.2 Zemědělské rekultivace**

Zemědělská rekultivace byla od počátku rekultivační činnosti na našem území jednou z prvních variant, o které se uvažovalo jako o dalším možném využití území zasažených těžbou nerostných surovin. Zemědělsky produkční úloha krajiny byla v té době pro naši společnost natolik stěžejní, že jediným logickým naložením s rekultivovanou plochou bylo ji co možná nejrychleji navrátit do produkčního cyklu a zintegrovat ji tak do industriálně agronomického schématu naší krajiny (Štýs, 1981).

Typickým způsobem, jak dosáhnout zemědělské obhospodařovatelnosti výsyvky, je její překrytí pomocí 30 – 50 cm silných vrstev úrodných nebo potenciálně úrodných substrátů. Ty lze pro rekultivaci získat zejména ze skrývek ornice, které byla již od 50. let minulého století podle platné legislativy povinnost zakládat. Při takovémto postupu je způsob rekultivace označován jako „nepřímý“. V případech, kdy lze mluvit o rekultivaci „přímé“, docházelo rovnou k využití sypaného materiálu z výsyvky, což však vzhledem k povaze skladované horniny nebylo ve většině případů vhodné. Využití úrodnější skrývkové půdy pro překrytí výsyvky před rekultivací je velmi vhodným způsobem jak rekultivaci usnadnit, ne vždy je však takového materiálu dostatek pro celou rekultivovanou plochu. V obou

případech následuje po provedení potřebných rekultivačních opatření zařazení nově vzniklé zemědělské plochy do systému bonitovaných půdně ekologických jednotek – BPEJ (Dimitrovský, 2001). Uvedenými postupy je pak zamýšleno, aby rekultivovaná plocha byla časem vhodná zejména pro pěstování běžných zemědělských plodin, ale i pro pěstování speciálních kultur jako jsou sady, vinice, chmelnice apod. (Volný, 1985).

### **4.3 Vodní rekultivace a hydrologická opatření**

Vodní neboli hydrický způsob rekultivace je i přes svou značnou finanční náročnost provedení hlavním rekultivačním opatřením, které se uvažuje pro řešení problematiky zbytkových jam po těžební činnosti. Jedná se o soubor opatření, které mají za úkol sanaci a utěsnění zbytkové jámy a její následné zatopení. Sanace se zde provádí zejména z důvodu odizolování vzniklé vodní nádrže od potenciálních kontaminantů, které bývají přirozenou součástí například uhelných slojí. Pro napouštění nově vzniklého antropogenního jezera je pak využita buďto voda přivedená z přilehlých vodotečí, anebo přímo srážková voda dovedená z rekultivovaných ploch (Bartůňková, 2012).

Jako účel této rekultivace bývá uváděna celá řada významných i méně významných funkcí jako jsou např. funkce ekologické, retenční, akumulární, asanační, technicko-vodohospodářské, sportovně-rekreační, rybářské, nebo kombinované. Vodohospodářské řešení výsyvky není samozřejmě omezeno na zbytkovou důlní jámu, nýbrž je vhodné řešit hydrologii rekultivované výsyvky jako jeden celek. Nakládání se srážkami dopadajícími na povrch výsyvky je možné řešit dvojím způsobem. Jedním z nich je soustředěním vzniklých vodotečí do vodohospodářsky účinných koridorů, což je z hlediska provedení a následné údržby snazší a přehlednější. Následně se dá odváděná voda použít alespoň z části např. pro již zmíněné napouštění zbytkové jámy. Dalším způsobem je vedení vodotečí z vrcholu výsyvky různými směry a případně na ně připojit i systém drobných retenčních nádrží, či jiných vodních děl. Tento postup bývá označován jako poněkud náročnější, nicméně převyšuje první uvedený postup svými kvalitami, zejména co se týče přínosu ekologické a hydrologické stability rekultivovaného území (Štýs, 1981).

## 4.4 Ostatní rekultivace a jejich socioekonomický přínos

Rekultivovaná území nelze hodnotit pouze z hlediska ekologického, či hospodářského. Jedná se totiž o místa nepříliš vzdálená sídlům a městským celkům a je třeba vzít v potaz i potenciál využití místním obyvatelstvem. Z tohoto důvodu jsou vyčleněny vedle zemědělského, lesnického a vodního způsobu rekultivace ještě tzv. rekultivace ostatní. Sem se řadí prakticky jakákoliv rekultivace, která nespadá do zmíněných tří základních typů. Jedná se tak o poměrně pestrou škálu možností využití, kdy, jak uvádí Vráblíková 2017, můžeme tyto plochy rozdělit na základě jejich následného využití a přínosu společnosti do několika kategorií viz

- **ostatní veřejnou zeleň:** vegetace ve sportovních a rekreačních zónách, podél vodních toků a vodních nádrží, podél komunikací, remízky a sukcesní plochy
- **ostatní komunikace:** místní a účelové komunikace, parkovací plochy
- **rekreační a sportovní plochy:** hřiště a stadiony, jízdárny, dostihové dráhy a střelnice
- **rekreační a ubytovací plochy:** kempy a tábořiště
- **kulturní a osvětové plochy:** zoologické zahrady, skanzeny apod.
- **plochy pro podnikatelské aktivity:** komerční podnikatelské záměry

## 4.5 Lesnické rekultivace

Výsadba dřevin a založení nově vznikajícího lesa je jednou z nejčastějších forem rekultivace na výsypkách skrývkového materiálu po těžbě nejen uhelné. Funkce potenciálně vzniklého lesa se v těchto případech hodnotí namísto běžného produkčního hlediska spíše z hlediska mimoprodukčního, přičemž se klade důraz zejména na meliorační vlastnosti konkrétních dřevin. Důvodem pro toto zaměření lesnického managementu je zejména fakt, že produkční potenciál skrývkového materiálu není nijak velký. Jedná se zpravidla o půdy pocházející z větších hloubek a tedy i naprosto odlišnými půdně charakteristickými parametry, než na které je většina hospodářsky pěstovaných dřevin adaptována. Již při volbě druhové skladby a způsobu následného hospodaření na rekultivovaných plochách je třeba postupovat konceptuálně s představou, co je od vznikajícího lesního porostu očekáváno (Dimitrovský, 2001).



#### **4.5.1 Účelové lesy**

Takzvané účelové lesy jsou právě typy lesních porostů, které mají primárně jiné poslání než právě produkci dřevní hmoty, jako například ekologicko-stabilizační, půdo-ochrannou nebo i například rekreační funkci. Na půdo-ochrannou a stabilizační funkci nově vznikajícího porostu se bere ohled obzvláště na výsypkách tvořenými terciárními písiky a jinými lehkými materiály. Je tomu tak zejména proto, aby se zabránilo příliš velké míře povrchového odtoku a potenciálním půdním sesuvům, ke kterým může docházet vlivem nestability svažitého terénu zejména při zvýšené vlhkosti substrátu. Kvalitní lesní porost může však poměrně efektivně zamezit i erozi větrné. Při volbě vhodných dřevin je pak nutné vybírat i podle již zmíněných melioračních vlastností daných dřevin, což se projeví zejména na množství organické hmoty v půdním horizontu, zejména tedy v jeho nejsvrchnějších vrstvách (Štýs, 1981).

#### **4.5.2 Hospodářské lesy**

Podle současné kategorizace je jako hospodářský les označován jakýkoli les, který nelze zařadit mezi výše uvedené účelové lesy, tedy lesy ochranné a zvláštního určení. Jak již název napovídá, je jejich primárním účelem produkce dřevní hmoty pro následné využití v dřevozpracovatelském průmyslu. Nicméně i primárně produkční lesy plní v mnoha případech i další funkce, zejména pokud se jedná např. o porosty v blízkosti vodních zdrojů, kde napomáhají zamezit jeho znečištění, horské oblasti přirozené akumulace vod, a v naprosté většině případů můžeme hovořit i o značném významu rekreační funkce těchto lesů. Skutečností však zůstává, že v případě lesnických rekultivací zůstává produkční potenciál vznikajícího porostu spíše až druhotnou záležitostí (MENDELU, 2018).

#### **4.5.3 Meliorační a zpevňující dřeviny (MZD)**

Půdní vlastnosti zlepšující neboli meliorační a zpevňující dřeviny je v současné době na základě lesnické legislativy nutno vkomponovávat i do porostů s primárně produkčním cílem, ať už z důvodu udržení úrodnosti lesní půdy, nebo coby hydrologické opatření. Konkrétní přínosy definuje například ve své publikaci Slodičák et al. 2017 následovně:

- „Opadem asimilačních orgánů, jejich postupným rozkladem a pronikáním živin a organických látek do půdy zabraňují postupné degradaci lesních půd.
- Podílí se na zlepšování vodního režimu lesních půd (kořenovým systémem zpevňují půdu a zabraňují tak vývratům na podmáčených stanovištích).

- Pomáhají zpevňovat kostru lesního porostu a zvyšují tak odolnost proti povětrnostním vlivům (odolnost proti větrům, odolnost proti námraze).
- Vytvářejí příznivější mikroklima v lesních porostech.“

Netřeba spekulací o tom, na kolik jsou výše uvedené vlastnosti pěstovaných dřevin potřebné právě na sukcesně mladých lokalitách, jakými jsou například výsypky po uhelné těžbě, kde zkrátka a doslova není živná půda pro pěstování lesa s primárně produkční funkcí. Dá se zde však hovořit i o potenciální ekonomické hodnotě vznikajícího lesního porostu přihlédneme-li k tomu, že tyto dřeviny jsou schopny vyprodukovat dřevní hmotu za optimálních stanovištních podmínek mnohdy rychleji a i ve větší kvalitě než mnohé dřeviny hospodářsky cílové. Limitujícím faktorem poptávky po nich je zde v tomto ohledu spíše to, na jakou produkci jsou jednotlivé subjekty dřevozpracovatelského průmyslu nastaveny (Podrázský, 2005).

#### **4.6 Sukcese a Obnova přírodě blízkých ekosystémů**

Zejména v posledních letech se stále více objevují názory, že v případě většiny rekultivovaných území není zmiňovaná biotechnická rekultivace nutná, ba naopak, že mnohé výzkumy poukazují do jisté míry na její nepotřebnost představující spíše zbytečné finanční náklady, nemluvě o ztrátě potenciálu vzniku ekologicky podstatně cennějších lokalit, než by tomu bylo v případě biotechnické rekultivace. Ponechání narušeného území samovolné přirozené obnově označované jako spontánní sukcese nevyžaduje zásah lidské činnosti, ačkoli drobné usměrnění se v praxi využívá pro udržení cenných stanovišť jako prostředek proti jejich zarůstáním konkurenčně silnější flórou. Netřeba zdůrazňovat, že právě rostlinnou složku ekosystému je při rekultivaci nutné zohlednit v první řadě, neboť jakožto primární producenti jsou právě tyto organizmy předurčující pro další vývoj ekosystému a jsou rovněž nejvíce přímo ovlivněny samotným výběrem stanoviště, ať už z hlediska chemismu půdy, dostupnosti vláhy nebo množství slunečního svitu (Roubíčková, 2013).

I nejbazýřnější zastánci přírodě blízké obnovy však připouštějí vhodnost, ne-li nutnost technických i biologických rekultivací oproti sukcesí, a to zejména na lokalitách ohrožených půdními sesuvy a následným zvýšeným rizikem půdní eroze v případě že nedojde k řízenému zpevnění půdního povrchu vegetací. Nevhodnost spontánní sukcese je uváděna též na toxických, nebo silně acido-bazicky vychýlených substrátech, kde se má možnost uchytit jen velmi malé

množství druhů, pokud vůbec. Bývá tudíž elegantnějším řešením překrytí takové půdy ornici, či jiným vhodným substrátem, který umožní alespoň nějakou revegetaci postižené lokality. Jako další argument proti užívání samovolné obnovy je skutečnost, že dosažení cílového biotopu trvá touto cestou zpravidla poněkud déle než při jasně naplánované a biotechnicky zhotovené lesnické rekultivaci. Protiargumentem zde však může být např. tvrzení, že s přičtením doby nutné pro přípravu terénu a substrátu při technických rekultivacích, se nedá hovořit o jakkoli značném rozdílu v době dosažení cílových biotopů (Stejskal, 2009).

Dalším faktem hovořícím pro přínos přírodě blízké obnovy je výhoda málo úživných substrátů výsypek v boji proti ruderálním druhům, s kterými se mnohdy tradiční lesní rekultivace potýká, neboť tyto druhy zpravidla takto nutričně chudé lokality neobývají. Naopak samotný charakter přirozené obnovy vede k nastavení takového ekosystému, kde jednotlivé jeho komponenty jsou vhodně adaptovány právě na nově obývaný typ stanoviště a určitá originalita těchto stanovištních typů v naší krajině je příčinou prokazatelného nárůstu biodiverzity na takto nezrekultivovaných plochách (Prach et Hobbs, 2008).

Velkým přínosem řešení rekultivací pomocí sukcese je zejména pro finanční bilanci těžařských subjektů jejich finanční nenáročnost. Svědčí o tom i značná ochota těžebních společností, které jsou organizátory rekultivačních prací, se na nich podílet (Stejskal, 2009). Značně znesnadňující tuto situaci je však již zmíněný fakt, že současná legislativa vyžaduje od těžařských subjektů uvést narušenou krajinu do původního stavu. Pokud tedy má být rekultivovaný prostor využíván jinak než jako orná půda nebo les, bylo by vyžadováno např. vynětí ze zemědělského půdního fondu. To je však v současné době poměrně finančně náročné, a vzhledem k velmi špatné návratnosti takové investice, je zdroj potřebné finanční dotace málokdy k dispozici (Prach et Pyšek, 2001).

#### **4.7 Rekultivační Dřeviny a jejich ekologicko-pedologický význam**

Způsob jakým dřeviny ovlivňují substrát, z kterého rostou, a to ať už se jedná o charakter kořenového systému, efektivitu vracení odumřelé organické hmoty nazpět půdě, nebo jakékoli další ekologické vlastnosti, je velmi častým předmětem vědeckých studií napříč přírodovědnými disciplínami. Zároveň je však

častým předmětem výzkumu i způsob, jakým jsou svým prostředím jednotlivé dřeviny ovlivňovány (Frouz et al., 2009).

V následujících podkapitolách je uveden výčet dřevin záměrně vysazených nebo náletových, které se vyskytují na námi studovaných plochách spolu s jejich hlavními charakteristikami.

#### **4.7.1 Picea abies**

Smrk ztepilý neboli *Picea abies* je jakožto naše nejvýznamnější hospodářská dřevina mnohdy začleňován do druhové skladby při realizaci lesnické rekultivace, i přesto že se nejedná o ideální dřevinu zejména z hlediska zlepšování půdních vlastností daného stanoviště. Jedná se o naši původní statnou stále zelenou dřevinu dorůstající výšky až 50 m a nejstarší známé exempláře se dožily věku i přes 400 let. Z hlediska lesnického je nevýhodou této dřeviny její kořenový systém, který se nachází zejména v nejsvrchnější části půdního horizontu, díky čemuž se vyznačuje značnou náchylností na nedostatek půdní vláhy a zvýšeným rizikem vývratu. Typickými stanovišti smrku jsou horské a podhorské lesy, obývá však i místa s podstatně nižší nadmořskou výškou, zejména jedná-li se o místa s klimatickou inverzí v mrazových kotlinách, mokřadní stanoviště apod. Smrk je dřevinou, zejména v mladším věku, dobře snášející zástin, díky čemuž je možné jej vysazovat i na poměrně stinných stanovištích v již utvořeném zápoji vzrostlých stromů. Smrk je rovněž druhem poměrně nenáročným na chemické složení půd (Chmelař, 1987).

#### **4.7.2 Picea pungens**

Dalším zástupcem rodu *Picea* je na námi studovaných lokalitách smrk pichlavý. Jedná se o nepůvodní dřevinu s domácím areálem zejména v podhůří a na úpatích Skalistých hor v Severní Americe, kde dosahuje až do výšek okolo 3000 m n. m. Tento strom běžně nedosahuje takových rozměrů jako jeho příbuzný smrk ztepilý, neboť dorůstá zhruba 30 m výšky a ca 70 cm průměru kmene, dožívá se však podstatně vyššího věku, tedy až 600 let. Jeho kořenový systém je za normálních okolností kulovitěho tvaru, díky čemuž netrpí vývraty. Je dřevinou silně světlomilnou obývajícím zejména stanoviště s dostatkem půdní vláhy, v kultuře však dokáže snášet i stanoviště vysychavá. V Evropě se tato dřevina začala pěstovat ve velké míře jako okrasná dřevina, zejména pokud se jedná o její stříbrný kultivar. Postupně se však začal smrk pichlavý vysazovat i do volné přírody jako dřevina potenciálně hospodářská a to zejména v oblastech se špatnou kvalitou ovzduší a častým výskytem kyselých dešťů, neboť je podstatně

rezistentnější vůči chemickému znečištění než jeho domácí příbuzný (Chmelař, 1987).

#### **4.7.3 Pinus sylvestris**

Borovice lesní (*Pinus sylvestris*) je další z našich hospodářsky významných dřevin. Jedná se o světlomilnou dřevinu dorůstající na vhodných stanovištích výšky až 40 m a průměru kmene do 1 m. Borovice neboli sosna jak je někdy též nazývána se dožívá běžně okolo 300 let, nicméně na vhodných nekonkurenčních stanovištích se může dožít i půl tisíciletí. Původní areál tohoto druhu je velice rozlehlý, neboť sahá od východní Sibiře až po většinu evropského kontinentu, tedy až na výjimky jako jsou nížiny s oceánským klimatem v severní a západní Evropě, Maďarské nížiny, nebo většina jižní Evropy, kde se pak omezuje pouze na výše položená stanoviště odpovídající svým charakterem spíše severnějším zeměpisným šířkám. Kořenový systém borovice lesní je velmi charakteristický svou značnou hloubkou a kúlovým tvarem. Výjimku však tvoří jedinci rostoucí na podmáčeném substrátu, kdy dřevina v důsledku absence nedostatku půdní vláhy postrádá motivaci kořenit do hloubky. Díky povaze kořenového systému prospívá tato borovice i na mnohdy extrémních stanovištích s nedostatkem vody a živin, přičemž i její semena jsou schopna v takto nehostinných podmínkách úspěšně vyklíčit a zakořenit. Díky tomu mnohdy patří mezi první dřeviny osidlující taková stanoviště a ne-nadarmo je tento druh zahrnován mezi tzv. druhy pionýrské (Chmelař, 1987).

#### **4.7.4 Pinus contorta**

Borovice pokroucená je dalším zástupcem rodu *Pinus*, který se na našich studovaných lokalitách vyskytuje. Tento strom dorůstá výšky až 50 m a průměru kmene do 2 m. V našich zeměpisných šířkách se ve volné přírodě běžně nevyskytuje, neboť je jejím domovským areálem západ Spojených států a Kanady. Tam obývá převážně úbočí a podhůří Skalistých hor, v kosodřevinných formách se však vyskytuje až do výšky 3350 m n. m. Na srážky je tato dřevina poměrně nenáročná. Roste jak v místech s ročními úhrny okolo 200mm, nicméně dobře prospívá i ve velmi vlhkých horských biotopech s úhrny až 5000mm. Ve svém původním prostředí je považována za pionýrský druh osidlující velmi často stanoviště narušená lesními požáry, což možná právě bylo důvodem jejího otestování coby rekultivační dřeviny v případě sokolovských výsypek (American Conifer Society, 2017).

#### **4.7.5 Larix decidua**

Modřín opadavý je statnou opadavou dřevinou dorůstající na vhodných stanovištích výšky 50 m, průměru kmen 1 m a dožívající se až 500 let. Kořenový systém bývá povětšinou kulový až všestranně rozvinutý, což zajišťuje tomuto stromu poměrně dobré ukotvení v substrátu. Modřín se na našem území vyskytuje převážně jako uměle vysazená dřevina, neboť se přirozeně vyskytuje převážně na horách, a to zejména při horní hranici lesa. Pokud se přirozeně vyskytuje v nižších polohách, je pak omezen téměř výlučně na mrazové kotliny a další místa výskytu klimatické inverze. Modřín je silně světlomilnou dřevinou, u které se nedostatek slunečního svitu projevuje zejména zakrslým vzrůstem. Dobré prosvětlení modřínového porostu však prospívá i mnohdy bohatému bylinnému, ale i keřovému patru pod ním. Co se týče vlhkosti, je modřín středně náročný na půdní vláhu, zle však snáší vysychavé a neúživné půdy. Naopak nejčastěji prospívá na půdách zvětralejších, ale mnohdy i na minerálních suťových svazích, v případě že mají dostatek půdní vláhy. Velké plus této dřeviny je její mimořádná odolnost vůči teplotním výkyvům a tuhým kontinentálním zimám, které jen málokdy mohou negativně ovlivnit růst modřínových porostů (Chmelař, 1987).

#### **4.7.6 Quercus robur**

Dub letní je světlomilnou dřevinou rozšířenou téměř po celé Evropě s výjimkou úplného severu a severovýchodu světadílu. Je typickou dřevinou tzv. tvrdého luhu, neboť se svým přirozeným výskytem omezuje zejména na nižší polohy, kde roste především v lužních lesích na březích řek nebo tvoří doubravy na rovinách a pahorkatinách. Téměř úplně se však vyhýbá podhůřím a horám. Jeho statný habitus dosahuje v zapojených porostech výšky až 40 m a kmen běžně dosahuje 1,5 m v průměru. V případě solitérů mimo zápoj, bývá dub charakteristický spíše nižším vzrůstem s širokou rozložitou korunou. Běžně se dožívá věku 400 – 500 let, nicméně u některých velmi starých dubů je neoficiálně udáváno stáří až 1000 let. Kořenový systém dubu je charakteristický hlubokým křovitým kořenem, což mu dává velmi dobrou odolnost vůči vývrátům a umožňuje mu též prospívat i na sušších stanovištích bez rizika vysychání. V nárocích na půdní charakteristiky a vláhu se poměrně zásadně liší dva hlavní ekotypy dubu letního. Hospodářsky významnější ekotyp obývající zejména lužní lesy je znám svými velkými nároky na dostupnost půdní vláhy, zatímco druhý vzácnější ekotyp je schopen dobře růst i na mělkých nebo vysychavých půdách. Co se týče nároků na pH, prospívá dub

jak v kyselějších tak i zásaditějších půdách, přičemž ani dostupnost živin nebývá u této dřeviny povětšinou limitujícím faktorem (Úředníček et Chmelař, 1998).

#### **4.7.7 Alnus sp.**

Rod olše z čeledi břízovitých je na našem území zastoupena celkem třemi druhy a to olší lepkavou (*Alnus glutinosa*), olší šedou (*Alnus incana*) a olší zelenou (*Alnus viridis*), která se však vyskytuje pouze v keřovité formě. V našich sledovaných olšových porostech byla zjištěna převážně Olše lepkavá. Jedná se o strom poměrně mohutného vzrůstu dosahující výšky až 35 m a průměru kmene okolo 1,5 m. Je dřevinou rychle rostoucí, avšak krátkověkou, přičemž maximálního vzrůstu dosahuje zpravidla mezi 80 a 100 rokem věku a poté začíná pomalu chřadnout a odumírat. Povaha kořenového systému bývá povětšinou závislá na půdních charakteristikách a výšce hladiny podzemní vody a v případě zamokřeného stanoviště tvoří i chůdovité a vzdušné kořeny. Významnou roli v zásobování živinami obou druhů olší hraje přítomnost hlízkových bakterií, jejichž symbióza umožňuje olši přijímat vzdušný dusík. O něco menší olše šedá je stejně jako její příbuzná poměrně světlomilnou dřevinou, s podobnými půdními preferencemi, nicméně je u ní pozorována o něco lepší schopnost prospívat na vysychavých stanovištích. Půdu snáší poměrně dobře i velmi kyselou případně i mírně toxickou se značnou skeletovitostí, ačkoli však preferuje půdy lehčí. Dále je velmi tolerantní vůči vzdušnému znečištění, což bylo zejména dříve před zavedením moderních systémů filtrace spalin v okolí tepelných elektráren velkým plus (Chmelař, 1987).

#### **4.7.8 Salix caprea.**

Vrba jíva je neboli *Salix caprea* je téměř po celé Evropě a i v části Asie poměrně hojně rozšířeným druhem vrby svým vertikálním rozšířením sahajícím od údolí veletoků až po hory, kde ji lze např. v Alpách zahlédnout i výše než 1500 m n. m. Jedná se o drobnou dřevinu zpravidla dorůstající ne více než 12 m výšky, přičemž na méně vhodných stanovištích se zdržuje pouze v keřové formě. Je silně světlomilná, díky čemuž dobře prosperuje zejména na mýtinách, okrajích lesa, chátrajících zídkách, zbořeníštích apod. Z tohoto hlediska se jeví prostředí složišť skryvkového materiálu jako velmi vhodným stanovištěm pro její růst. Jako jedné z mála vrb jí velmi nevdá vysychavý substrát, naopak hůře snáší nadbytek půdní vláhy a na trvale zamokřených stanovištích se prakticky nevyskytuje. Je velmi tolerantní k nejrůznějším klimatickým výkyvům, přičemž ani zimní vymrzání není pro jívové porosty velkým problémem. Z hlediska dalších půdních charakteristik se jí daří spíše na propustných substrátech s větším podílem

skeletu, pokud však přijde na rozdíly v chemismu půdních druhů, je tato vrba velmi tolerantní a dokáže tak růst jak na kyselých půdách, tak i na půdách s vápencem coby mateční horninou (Úředníček et Chmelař, 1998).

#### **4.7.9 Betula pendula**

Typickou pionýrským druhem osidlujícím sukcesně mladá stanoviště bývá bříza bělokorá. Tato dřevina má velmi široký areál původního rozšíření zabírající téměř celou střední a severní Evropu a v horských oblastech i Evropu jižní. Velmi hojně rozšířenou je i ve značné části Asijského kontinentu, kde tvoří doplňující dřevinu tamní tajgy v místech, kde jí to ekologické charakteristiky stanoviště dovolí. Bříza bělokorá je silně světlomilnou dřevinou. To je důvod, proč ve vzrostlých zapojených porostech bývá postupně vytlačena k zástínu tolerantnějšími druhy. S jejími rozměry, tedy výškou do 25 m a průměrem kmene okolo  $\frac{3}{4}$  m se nedá říci, že by byla konkurenceschopným druhem díky mohutnosti svého habitu, a tudíž se musí uchýlit k poněkud jiné životní strategii. Menší vzrůst, relativní krátkověkost, a vcelku dobré regenerační předurčují tuto dřevinu zejména k obývání takových stanovišť, která jsou pro většinu našich dřevin přinejmenším nevhodná. Nenáročnost nejen na půdní, ale i na vzdušné vlhkostní poměry, stejně tak jako její přizpůsobivost půdnímu chemismu jí tak dávají schopnost prospívat i v na první pohled nepříznivých podmínkách. Výjimku zde tvoří velmi kyselé půdy např. rašelinišť, kde této bříze obvykle velmi nedaří. Její kořenový systém, ač povětšinou mělký, umí strom velmi dobře díky svému horizontálnímu rozsahu ukotvit v zemi, což dává bříze poměrně dobrou odolnost proti vývratům (Úředníček et Chmelař, 1998).



## 5 SOKOLOVSKÁ PÁNEV

### A VELKÁ PODKRUŠNOHORSKÁ VÝSYPKA

Předmětem výzkumu, o kterém tato práce pojednává, jsou rozlehlá naleziště hnědého uhlí pod Krušnými horami v Severozápadních Čechách. Konkrétně se jedná o oblast s aktivní důlní činností v západní části Podkrušnohoří poblíž okresního města Sokolov. V této oblasti probíhá povrchové neboli lomové dobývání hnědého uhlí zhruba od čtyřicátých let minulého století, avšak první zmínky o předchozí hlubinné těžbě sahají až do roku 1642 (Frouz et al., 2007). V současné době je v této oblasti poslední aktivní Lom Jiří, neboť druhý, ještě v nedávné době fungující Lom družba byl po 122 letech z technických důvodů uzavřen. Důlní činnost se tak zde postupně posouvá spíše do fáze uzavírky dobývacích prostor a následné rekultivaci nejen samotných lomů ale místy stále ještě kupících se výsypek skrývkového materiálu (Sokolovská uhelná, 2011). Tato práce je věnována rekultivovaným lokalitám Velké podkrušnohorské výsypky, konkrétně její nejvýchodnějšímu cípu. Ten je nazýván „Vintířovská výsypka“ podle obce Vintířova, která se v její přímé blízkosti nachází.

#### 5.1 Geografie

Jak již bylo uvedeno, zájmová oblast se nachází v severozápadní části České republiky, nedaleko od hranice se Spolkovou republikou Německo. Ta vede právě po hřebenech Krušných hor, které se táhnou po obvodu celé Severočeské hnědouhelné pánve od Sokolovského okresu až k Ústí nad Labem. Sokolovská pánev, na které se důlní činnost rozebíraná v této práci odehrává, zaujímá území zhruba o rozloze 200 Km<sup>2</sup>. Nadmořská výška se zde pohybuje v průměru okolo 450 m n. m. s nejvyšším bodem Zelený vrch (570 m n. m.), nicméně již z podstaty věci je v tomto případě elevace terénu poněkud proměnlivou záležitostí a tudíž nejvyšší bod podkrušnohorské výsypky v průběhu jejího vrstvení dosáhl i výšky 600 m n. m., zatímco zbytková jáma po těžbě sahá i několik desítek metrů pod úroveň okolního terénu (Štýs et al., 2014).

Velká Podkrušnohorská výsypka, která je těžištěm zájmu této práce, se nachází zhruba 5 km vzdušnou čarou od Sokolova, administrativního centra této oblasti, viz příloha 1. Pokud mluvíme o vymezení Velké podkrušnohorské výsypky, bývají jako její hraniční body nejčastěji uváděny okolní obce Vintířov, Vřesová, Lomnice, Dolní Nivy a Horní Rozmyšl. Samotné těleso výsypky se skládá hned z několika

menších výsypek značně rozdílného stáří podle toho, jak byly v průběhu času zakládány a vrstveny (Frouz et Reitschmiedová, 2016).

## 5.2 Geologické poměry

Podkrušnohorské uhelné pánve se nacházejí v geologické oblasti krušnohorského krystalinika, které dávno po svém oddělení od zbytku Českého masivu Litoměřickým hlubinným zlomem bylo znovu přerušeno krušnohorským zlomem, ke kterému došlo údajně vlivem Alpínského vrásnění. Následně došlo k poměrně výraznému vzednutí masivu Krušných hor nad dnešní podkrušnohorskou pánev o zhruba 800 m. Jako výsledek tohoto jevu se dá sledovat nápadně příkré stoupání svahů tohoto pohoří právě na jeho české straně. Právě prostor mezi zmíněnými dvěma zlomy s převážně krystalinickým podložím se dá označit jako místo usazení třetihorních sedimentů, které dali hnědému uhlí v této oblasti vznik (Váně, 1983). V těchto místech utvořená a původně celistvá podkrušnohorská hnědouhelná pánev byla dále narušena v důsledku třetihorního, ale i čvrtohorního neovulkanismu dávno po uložení materiálu, ze kterého místní uhelné sloje vznikly. Tím byl tento geologický celek následně rozdělen na Severočeskou (Mosteckou) hnědouhelnou pánev, Sokolovskou hnědouhelnou pánev a hospodářsky méně významnou Chebskou hnědouhelnou pánev (Štýs et al., 2014).

Samotný těžený materiál v Sokolovské pánvi se sestává převážně z již zmíněných terciérních sedimentů, a v nich se nacházejících ložisek hnědého uhlí. Toto souvrství též známé jako „Eggenburg“ se v jednotlivých slojích svým složením značně liší. V případě sloje Antonín, která je právě v lomu Jíří těžena se jedná o rytmicky zvrstvené humitové uhlí, zejména ve spodních vrstvách xylo-detritického charakteru. V průběhu sedimentace zde docházelo k poměrně značnému přiměšování klastických sedimentů a produktů vulkanismu z nedalekých sopek. V souvislosti s velkou podkrušnohorskou výsypkou jsou však ještě poněkud stěžejnější geologické charakteristiky nadložních vrstev, které bylo za účelem těžby nutno odstranit a ať už dočasně či trvale složit jiném než aktuálním místě těžby a to uvnitř, nebo mimo těžební jámu. Toto Cyprisové souvrství tzv. „Ottang“ nasedá přímo na uhelnou sloj Antonín a sestává se převážně z jezerního sedimentu, který se zde právě na konci neogénu díky nově vzniklým souvislým vodním plochám vyskytoval. Mocnost této vrstvy dosahuje ve svém maximu až 180 m a z hlediska bližší geologické klasifikace se jedná

konkrétně o vrstvy IA, IB a II. V nadloží těchto vrstev se pak vyskytují laminované jílovce, které jsou v půdním horizontu následovány sedimenty čtvrtohorního stáří reprezentovanými zejména sprašemi a sprašovými hlínami (Výzkumný ústav pro hnědé uhlí, 2003).

Samotný geologický charakter materiálu, ze kterého je výsypka tvořena, je asi nejpodstatnější aspekt určující vlastní průběh a úspěšnost rekultivace takto postižených území. V případě velké podkrušnohorské výsypky se celé těleso skládá převážně z cyprisových jílu a jílovců nebo z uhelných jílu, přičemž povrch výsypky je následně překryt cyprisovými jíly takřka v celém svém rozsahu. Jak uvádí Burian 2010, jsou hlavními minerály cyprisových jílu kaolinit, illit, montmorillonit, siderit, křemen a muskovit. Kromě nich se v této hornině vyskytuje až 10% podíl uhlíku v podobě hnědouhelného bitumenu. Jedná se o velmi typický typ jílu pro oblast sokolovské pánve, nasedající na uhelné sloje v mocnosti dosahující až 180 m. (Výzkumný ústav pro hnědé uhlí, 2003).

### **5.3 Klimatické poměry**

Dle klimatické klasifikace Atlasu podnebí ČSR z roku 1958 se prakticky celá oblast sokolovské hnědouhelné pánve řadí do tzv. okrsku B1 (mírně teplý, suchý s mírnou zimou) a okrsku B2 (mírně teplý, mírně suchý s převážně mírnou zimou). Roční srážkový úhrn se zde po interpolaci dat z referenčních srážkoměrných stanic (zejména st. Habartov, Březová, Oloví a Nejdek) pohybuje v rozmezí 600 – 700 mm, přičemž k největší vodní dotaci v podobě srážek zde dochází v letních měsících (200 – 250 mm) a následně v zimním období (150 – 200 mm). Roční teploty zde dosahují v průměru 7 – 8 °C, avšak průměrné letní teploty se zde mohou i poměrně lišit a to v rozmezí 14 – 16 °C. Průměrné teploty zimního období se zde pohybují zpravidla v rozmezí -1 – 0 °C (Tolasz, 2007).

### **5.4 Krajina, fauna a flóra Podkrušnohorské oblasti**

O prakticky celém výše popisovaném území, tedy onom pomyslném pásu hnědouhelných dolů pod Krušnými horami by se dalo říci, že byl z hlediska přírodo-ochranářského zdevastován, lépe však uvést silně pozměněn. Velká část zdejších původně zemědělsky využívaných ploch zde doslova zmizela a nahradili ji již zmíněné uhelné lomy, nebo výsypky skrývkového materiálu z nich. Krajina mezi těmito objekty pak zde může připomínat do jisté míry zanedbaný

a nehostinný kus země bez jakéhokoli konkrétnějšího účelu. Vodní toky zde byly do značné míry regulovány zejména kvůli upravení místních hydrologických poměrů v dobývacích prostorách, avšak k podobným opatřením zde docházelo i na zemědělské a lesní půdě v obdobném rozsahu jako ve zbytku ČR. Obecně vzato je tato oblast poměrně bohatě dotována dešťovou vodou v podobě drobnějších vodotečí tekoucích ať už z Krušných hor nebo nedalekého Slavkovského lesa, které jsou z území následně odváděny řekou Ohří. Voda a především její kvalita má však pro téměř celý severozápad Čech značný význam i z hlediska lázeňství a ochrany pitných, zejména minerálních vod (Štýs et al., 2014).

Biotická složka sokolovské pánve je v porovnání s východnějšími částmi Podkrušnohoří adaptována na o něco vlhčí a chladnější klima, než je tomu např. na Mostecku a Teplicku. Z hlediska fyto geografického se dá hovořit o tzv. oblast českomoravského mezofytika, která v těchto místech navazuje na zbytek české vysočiny. Jako předpokládané původní vegetační typy jsou zde označovány na převážné většině území acidofilní doubravy zejména bikové (Botanický ústav AV ČR, 2014). Pouze v nivách vodních toků se zde předpokládá potenciální výskyt lužních lesů zejména se zastoupením jasanu (Štýs et al., 2014). Těžební činnostmi nejsilněji pozměněné plochy dolů a výsypek zde z hlediska potenciální vegetace jsou do značné míry otázníkem, souhrnně se však dají označit jako „Komplex sukcesních stádií antropogenních stanovišť“ (Botanický ústav AV ČR, 2014). Ty nám zde dávají zejména na nezrekultivovaných plochách možnost sledovat tento proces vývoje místní přírody znovu od samotného začátku, ač s o něco odlišnými vstupními předpoklady. Poměrně aktuální problematikou jsou i v případě Velké podkrušnohorské výsypky biologické invaze. Obnažený půdní povrch, který je ve většině případů zhutněn a zarovnan do požadované podoby pro provedení biotechnických rekultivací je podle Reitschmiedové a Frouze 2016 nevhodným prostředím pro půdní pokryv s původním bylinným zastoupením, avšak očividně velmi příznivý zejména pro porosty invazní třtiny křovištní (*Calamagrostis epigejos*) viz příloha 2.

## **6 VYBRANÉ PEDOLOGICKÉ**

### **A HYDROPEDOLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY**

Pedologie a hydropedologie jakožto vzájemně provázané vědní obory studují a definují celou řadu půdních charakteristik, stěžejních nejen pro lidské činnosti, které s půdou přímo souvisí jako stavitelství, zemědělství, lesnictví nebo vodohospodářství, nýbrž i pro samotné fungování lokálních nebo i globálních ekosystémů. V této kapitole je pozornost věnována především těm půdním vlastnostem, u kterých se předpokládá souvislost s hydrologickým cyklem a které tak pravděpodobně nejvíce ovlivňují rekultivační potenciál studovaného území (Lin et al., 2006). Půda je třífázovým systémem, kde se zastoupení jednotlivých fází může zásadně lišit v návaznosti na daný druh půdy, a celou škálu vnějších činitelů. Výsledkem je pak substance skládající se zejména z anorganických částic zerodované mateční horniny, vody, vzduchu a organické složky skládající se nejen z odumřelých organismů a jejich částí, ale do značné míry i z živé biomasy (Bagarello et al., 2016). Z hlediska půdních druhů a následně hydropedologických vlastností půdy je třeba rozlišovat hlavní tři zrnitostní frakce jemnozeme. Dle klasifikace půdních zrnitostí dle Kopeckého se jedná o částice pískové (frakce 2 – 0,05 mm), prachové (0,05 – 0,002 mm) a jílové (<0,002 mm). Částice s větším průměrem než písek jsou souhrnně nazývány skeletem a dále se dělí na jemnější, či hrubší štěrk a celkově nejhrubší zrnitostní frakci balvany (Němeček et al., 2011).

#### **6.1 Infiltrace**

Infiltrací neboli vsakováním označujeme proces, při němž kapalina proniká do porézního prostředí a následně se v něm pohybuje na základě zejména vnějších, ale i vnitřních sil, které na kapalinu působí. V případě hydropedologie se, jak již název oboru napovídá, jedná o vodu, která prostupuje skrze přirozeně porézní půdní nebo horninové prostředí. Jedná se o téměř všudypřítomný proces zásadním vlivem ovlivňující hydrologický cyklus, na kterém, pomineme-li samotnou vodní dotaci, zásadním způsobem závisí samotná přítomnost vody v půdě, která je klíčovou složkou téměř všech terestrických ekosystémů. Takzvaná spodní voda je sama o sobě druhou největší zásobárnou sladké vody na zemi hned po polárních ledocích (Jačka et Pavlásek, 2014).

Zásadní charakteristikou vztahující se k infiltraci vody do půdního prostředí je tzv. rychlost infiltrace neboli „infiltration rate“, kterou popisuje např. Kutílek et Nielsen, 1994 jako hustotu toku vody vnikající do půdy přes její topografický povrch. Jako teoretický základ pro popis pohybu kapaliny v porézním prostředí slouží Darcyho zákon, který definuje tuto průtočnou rychlost jako násobek nasycené hydraulické vodivosti ( $K_s$ ) a hydraulického gradientu ( $I$ ).  $K_s$  je pak definována podílem koeficientu propustnosti filtračního prostředí ( $K_p$ ) a viskozitou ( $\nu$ ) filtrované kapaliny takto:  $K_s = \frac{K_p g}{\nu}$  (Smith et al., 2002).

S přihlédnutím ke skutečnosti, že se na studované lokalitě nejedná o plně nasycené půdní prostředí, je vhodné uvést i vztah, jakým popsat infiltrační rychlost v případě nenasyčené hydraulické vodivosti ( $K$ ). Pro výpočet je zde nutné zohlednit skutečnou vlhkost půdy ( $\theta$ ), hodnotu pórovitosti ( $P$ ) a empirický součinitel  $\alpha$ , přičemž tento vztah vypadá pak následovně:  $\frac{K}{K_s} = \alpha \left(\frac{\theta}{P}\right)^3$  (Kutílek et Nielsen, 1994).

Vzhledem k tomu, že změna viskozity vody se v našem případě nepředpokládá, je stěžejním prvkem infiltračních rovnic koeficient propustnosti  $K_p$ . Ten je v největší míře ovlivněn četností, velikostí, ale i tvarem půdních pórů, což přímo souvisí s již zmíněnou zrnitostí anorganické složky půdy (Jačka et Pavlásek, 2014). Konkrétně v případě sokolovských výsypek se jedná o velmi jemné zrnitostní frakce, pro které je charakteristické velké množství pórů, avšak s velmi malými průměry, což samo o sobě do značné míry znesnadňuje samotný vstup vody do půdy zasakováním. Dalším specifikem těchto půd je jejich textura, kdy jsou tyto jílové sedimenty formovány do tenkých, převážně horizontálně ložených a ne právě dobře propustných vrstev (Valeš et al., 2003).

## 6.2 Půdní vlhkost

Půdní vlhkostí rozumíme samotnou přítomnost vody v porézním prostředí půdy. Z hlediska mechanismu, proč je voda v pórech přítomna ji lze rozdělit na tzv. vodu gravitační, vodu kapilární a vodu adhezni. Gravitační voda je složka půdní vlhkosti zdržující se zejména v tzv. makropórech (s průměrem nad 50  $\mu\text{m}$ ), tedy prostorech mezi půdními zrny dostatečně velkými na to, aby voda vtékala a odtékala pouze vlivem gravitační síly. Moment, který nastává po vyprázdnění těchto makropórů, se nazývá „polní vodní kapacita“ a označuje stav, kdy je půda bez gravitační vody, zatímco drobnější kapilární póry jsou stále plně zaplněny

vodou využitelnou pro rostliny. (Šimek, 2003). London-van-der-Waalsovy síly, které společně s vodní kohezí (soudržnost vodních molekul vlivem povrchového napětí) zapříčiňují kapilaritu, jinými slovy váží vodu v půdních mikrofórech (s průměrem pod 50  $\mu\text{m}$ ). K tomu dochází v případě, kdy je součet takto vzniklých sil větší než síla gravitační. Tyto síly jsou překonány například osmotickými silami v případě spotřeby vody rostlinami, kdy půdní voda s nižším osmotickým tlakem je nasávána do těla rostliny s osmotickým tlakem vyšším. Další možností je pak vysychání těchto pórů, kdy postupně molekuly vody s nejvyšší energií přecházejí z kapalného do plynného stádia a opouštějí následně půdní prostředí vlivem jejich nižší hustoty (Koorevaar et al., 1983). Situace, kdy jsou pak i mikropóry takřka prázdné, a v půdě zbývá pouze zanedbatelné množství vody vázané přímo k povrchu pevných částic adhezivními silami, se nazývá bodem vadnutí, neboť vodní výdej rostlin zde převyšuje vodní dotaci a dochází tak k jejich vadnutí a případně i následnému usychání. Podstatný vliv na schopnost půdy zadržet vodu má vedle samotné půdní struktury i půdní textura, tedy schéma, jakým jsou jednotlivé půdní částičky poskládány. Zde je velmi významný podíl organické hmoty blíže popsané v kapitole 6.4. Je tomu tak zejména pro její schopnost působit jako pojivo minerálních složek a uskupovat tak půdní zrna spolu s koloidními částicemi do útvarů diametrálně větších rozměrů, než jakých tyto komponenty sami dosahují. Tyto půdní agregáty jsou pak schopny ve svých vnitřních prostorech akumulovat o poznání větší množství vody, která je zároveň i mnohem dostupnější pro živé organismy (Šantůrčíková, 2014).

### **6.3 Utužení půdy**

Charakteristikou, která zásadním způsobem ovlivňuje schopnost půdy absorbovat vodu, je míra jejího zhutnění. Z hlediska zachování optimálních podmínek pro růst rostlin je zejména v případě těžkých kompaktních zemin, jakými jsou právě například jíly tvořící těleso podkrušnohorské výsypky, velmi důležité tuto utužení regulovat. Při zhutňování půdy dochází k destrukci již tak zřídka přítomných půdních makropórů, bez kterých se výrazně snižuje rychlost zasakování vody do půdy a tím pádem se i zvyšuje míra povrchového odtoku vody, která pak zpravidla v daném půdním systému chybí (Šimek, 2003). Značný vliv na utužení půdy má též přítomnost půdních agregátů a jejich stabilita. Díky tomuto jevu jsou jednotlivé částice anorganické a organické složky vázány do podstatně větších těles, které jsou pak díky své rozličné geometrii schopny mezi

sebou zachovat prostor pro proudění vody a vzduchu (USDA, 1996). Přílišná utužení půdy však působí negativním způsobem ne pouze na hydrologické charakteristiky půdy, nýbrž velkou měrou i na vitalitu půdní bioty (Šantůrkůvová, 2014).

## 6.4 Půdní organická složka a mocnost humusové vrstvy

Svrchní humusová vrstva půdy pokryté vegetací, je poměrně dobrým ukazatelem množství organické hmoty z odumřelých částí rostlin a dalších půdních organismů. Tato rozkládající se zpravidla nutričně bohatá vrstva je následně působením vodního proudění a pohybu půdních živočichů zakomponována hlouběji do půdního horizontu (Šimek, 2003).

Z hlediska chemického složení je půdní organická složka (omezíme-li se na její rozloženou neživou část) tvořena převážně tzv. látkami huminovými. Ty se podle svých chemicko-fyzikálních vlastností dají dále dělit na huminy, huminové kyseliny (HA) a fluvinové kyseliny (FA). Základní charakteristikou tohoto dělení je nejen chemické složení (především podíl uhlíku a kyslíku), nýbrž především rozpustnost těchto látek ve vodě. Nejlépe rozpustnými jsou zde FA, které jsou tvořeny relativně jednoduchými molekulami za normálních okolností ve vodě velmi dobře rozpustnými. AC, s o poznání většími molekulami jsou již ve vodě rozpustné omezeně, neboť jakmile roztok dosáhne  $\text{pH} < 2$ , dochází k jejich zpětnému vysrážení v podobě drobných vločkovitých útvarů. V jejich složení se oproti FA, které jsou z největší části tvořeny kyslíkem, vyskytuje ve větším zastoupení uhlík. Nerozpustnou částí organické půdní složky je tzv. humin. Jde o makromolekulární látky černého zbarvení s největší molární hmotností, tvořené z elementárního hlediska převážně uhlíkem (Schnitzer et Khan, 1975).

Všechny tyto substance se v půdě vyskytují coby metabolity složitějších organických látek, které tvoří těla jednotlivých organismů. Ty se skládají převážně z dobře známých tří základních stavebních kamenů veškeré živé hmoty, tedy sacharidů, proteinů a lipidů. Největší podíl na zdroji organické hmoty v půdním prostředí mají, pomineme-li akumulující se opad nadzemních částí rostlin, jednoznačně jejich kořeny následované půdními mikroorganismy, přičemž půdní živočichové zde z hlediska objemu hmoty hrají spíše zanedbatelnou roli. Biologicky neaktivnější částí půdního horizontu je pak nejsvrchnějších zhruba 20



cm profilu, kde se vyskytuje až 80% všech půdních organismů a to v zastoupení viz výčet v tabulce (Šantůrčíková, 2014).

**Tab. 1:** Zastoupení živé hmoty v půdním horizontu (Šantůrčíková, 2014).

<b>skupina organismů</b>	<b>průměrná biomasa (g na m<sup>2</sup>)</b>
kořeny rostlin	2000
mikroorganizmy	400
žížaly (Lumbricidae)	6
prvoci (Protozoa)	5
hlístice (Nematoda)	5
roupice (Enchytraeidae)	3
mnohonožky a stonožky (Diplopoda a Chilopoda)	1,1
roztoči (Acarina)	0,6
stejnonožci (Isopoda)	0,3
chvostokoci (Collembola)	0,1

## 6.5 Množství biopórů a bohatost půdní fauny

Jak zmiňuje např. Kuráž et al. 2012, hrají živé organizmy i velice důležitou roli z hlediska vodního režimu půd. Jedná se zejména o kořeny rostlin, hyfy hub a drobní živočichové tento prostor obývající, které je dále možné rozdělit na tzv. půdní megafaunu, mezofaunu a mikrofaunu. Půdní organizmy jsou významné z hlediska tvorby tzv. biopórů, které napomáhají transportu půdní vody a půdního vzduchu. V případě větších organismů se pak hovoří o tzv. preferenčních cestách, kdy voda proudí do větších hloubek nikoli již filtračně, nýbrž přímo volnými prostory v půdě. Jejich přítomnost je nejčastěji důsledkem otisku odumřelých kořenů rostlin do půdy, v menším zastoupení se pak jedná částečně i o důsledek činnosti půdní mezo a makrofauny. Tato voda má tak možnost dostat se do hlubších částí horizontu podstatně vyšší rychlostí a zasakovat tak přímo v místech, kam by za jiných okolností profiltrovala až za podstatně delší časový úsek. (Šantůrčíková et al., 2015) Dalším poměrně významným vlivem zejména půdní fauny je i již zmíněný transport živin, který probíhá jak ve vertikálním i horizontálním směru a to především vlivem konzumace organických zbytků a následném zanechání výměšku, popř. mrtvého těla živočicha na jiném místě (Frouz et al., 2013).

## 7 METODIKA

### 7.1 Výběr lokalit

Pro objasnění postupu při prováděných terénních měření je třeba uvést vstupní předpoklad homogenity substrátu na Velké podkrušnohorské výsypce, kde byly práce prováděny. Jak bylo již uvedeno v kapitole 6. 2., je povrch výsypky tvořen z hydropedologického hlediska homogenním jílovitým materiálem, který by tak měl všem studovaným lokalitám udávat více či méně stejné vstupní podmínky pro jednotlivé ukazatele, čímž se předpokládá, že odchylky hodnot v získaných datech jsou zapříčiněny převážně rozdílnými vlastnostmi přítomných dřevin a ekosystémů které je doprovází.

Dále se při výběru reprezentativních porostů kladl důraz na jejich druhové a věkové složení. V ideálním případě se mělo jednat o monokulturní porosty zhruba stejného stáří, aby bylo možné charakterizovat dané vlastnosti z hlediska konkrétního taxonu bez možných rozdílů zapříčiněných různým věkem jedinců. Při výběru věkové kategorie bylo zároveň nutné brát ohled na to, aby se vůbec dalo hovořit o vlivu porostů na půdu, resp. Studované porosty nesměly být příliš mladé. Podle Binkley et Giardina 1998 je však možné sledovat výrazné půdní změny přímo zapříčiněné dřevinami již v rámci několika dekád. Malá část míst provedených měření pak byla následně vyřazena z důvodu výskytu popílku v substrátu, což mělo za následek výrazně odlišné půdní charakteristiky a tedy potenciální zkreslení získaných údajů. Pro samotnou sumarizaci výsledků byly jednotlivé studované porosty vyznačené v příloze 3 zařazeny do následujících kategorií na základě taxonomického rozdělení a ekologických charakteristik:

- A – Plochy s převážným zastoupením olší (*Alnus* sp.) bez rozlišení viz příloha 4.
- S – Sukcesní porosty s převážným zastoupením vrby jívy (*Salix caprea*)
- L – Monokulturní porosty s převahou Modřínu opadavého (*Larix decidua*) viz příloha 5.
- Pc – monokulturní porosty smrku ztepilého (*Picea abies*) s vtroušeným výskytem smrku pichlavého (*Picea pungens*) viz příloha 6.

- Pn – Borovicové porosty s převahou borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a ojedinělým výskytem borovice pokroucené (*Pinus contorta*) viz příloha 7.
- Q – Porosty s převahou dubu letního (*Quercus robur*) viz příloha 8.

## 7.2 Způsoby měření zkoumaných půdních vlastností

### 7.2.1 Infiltrace

Vzhledem k tomu, že předmětem této práce není ani tak stanovení infiltračních charakteristik půdního typu vyskytujícího se na studované lokalitě, nýbrž míra ovlivnění daného parametru konkrétní druhovou skladbou dřevin, není v této práci infiltrace detailněji z fyzikálně-matematického hlediska rozebrána, Zato však uvedeme ve vztahu k této veličině do srovnání jednotlivé studované druhy dřevin. Ze stejného důvodu byla metoda měření omezena na jednoválcovou metodu místo dvouválcové, která se používá ke stanovení infiltračních charakteristik konkrétní půdy. Samotné měření infiltrace zaznamenané v příloze 9 probíhalo za použití jednoduchých infiltračních válců o průměru 6 cm a výšce 10 cm, s plochou vsakování 28,3 cm<sup>2</sup>. Válec byl zároveň při měření cca 2 cm hluboko zakotven v půdě, aby nedocházelo k úniku infiltrované vody. Měření bylo pak prováděno vždy po dobu 30 min a zaznamenávalo se množství postupně dolévané vody vždy po vsáknutí celého objemu válce, které při dolití činilo zhruba 226 cm<sup>3</sup>. Celkový počet měření se sestával z 5 filtračních vzorků vzdálených od sebe alespoň 10 cm při každém měření. To bylo prováděno na každé lokalitě 3X s rozestupy zhruba 5m, přičemž výslednou hodnotou použitou pro následující zhodnocení dat byl aritmetický průměr ze všech měření na dané lokalitě a následně zprůměrování hodnot jednotlivých lokalit.

K dalšímu statistickému zhodnocení byl po ověření normality dat použit Kruskal-Wallisův test, kdy se zhodnocovala statistická významnost vlivu konkrétního druhu na celkové množství infiltrované vody za časový úsek. Jako datový soubor byly použity přímo hodnoty naměřené z jednotlivých válců.

### 7.2.2 Měření vlhkosti

Měření aktuální vlhkosti bylo prováděno na každé lokalitě 3 – 4 X z povrchu půdy po odebrání fermentační vrstvy, a to pomocí elektronického senzoru vlhkosti a konduktivity půdy typu WET - 2 sensor od firmy Delta T Devices. Ten zjišťuje dané charakteristiky na základě snímání elektrického impulsu mezi elektrodami, a naměřené hodnoty přístroj dále vyhodnocuje v závislosti na zadaném půdním

typu (Delta-T Devices, 2017). Tato měření byla prováděna za podobných povětrnostních podmínek a nepředcházeli jim silné, či vytrvalejší srážky. Ke statistickému hodnocení byla po ověření normality dat Shapiro-Wilkovým testem použita jednocestná analýza rozptylu (ANOVA) s následným upřesněním pomocí Tukeyho post-hoc testu.

### **7.2.3 Penetrometrie a objemová hmotnost půdy**

Míra utužení půdy byla zjišťována pomocí běžného testeru kompaktnosti též zvaného penetrometr (Lukáš et al., 2011). Naměřené hodnoty uváděné v MPa byly zaznamenávány po 5 cm až do hloubky, kam půdní struktura dovolovala přístroji proniknout, maximálně však 50 cm. Vzhledem k velké kompaktnosti určitých vrstev půdy na některých lokalitách a tedy nemožnosti měření ve větších hloubkách, bylo jako referenční hloubka pro srovnání hodnot zvoleno 10 cm pod povrchem, což zároveň odpovídá hloubce zakořenění většiny bylinného patra a tudíž vypovídá i o prostupnosti půdy pro kořeny rostlin. Měření bylo provedeno vždy v každém rohu dané lokality a naměřené hodnoty utužení byly následně zprůměrovány. Vzorky pro měření objemové hmotnosti půdy byly odebírány pomocí Kopeckého válečků o standardizovaném objemu 100 ml (příloha 10). Odebraný vzorek byl následně vysušen a zvážen. Uvedená objemová hmotnost je tak hmotnost 100 ml vysušeného půdního vzorku. Ke statistickému hodnocení byla po ověření normality dat Shapiro-Wilkovým testem použita jednocestná analýza rozptylu (ANOVA) s následným upřesněním pomocí Tukeyho post-hoc testu.

### **7.2.4 Zastoupení stabilních půdních agregátů.**

Pro stanovení této půdní charakteristiky byla zvolena metoda tzv. mokrého prosívání pro detekci stabilních agregátů. Podobně jako agregáty se však v našem případě chovají i stmelené jílové částice. Pro stanovení podílu skutečných agregátů oproti jílovým částicím bylo tak nutné proseté částice ještě dále protřídit podle vzhledu, tedy oddělit typicky kulovité černé zbarvení agregáty organogenní povahy od podstatně světlejších plochých útvarů tvořených směsí spleného jílu. Reprezentované informace nám tak udávají podíl stabilních organogenních agregátů v navážce 5 g. Ke statistickému hodnocení byla po ověření normality dat Shapiro-Wilkovým testem použita jednocestná analýza rozptylu (ANOVA) s následným upřesněním pomocí Tukeyho post-hoc testu.

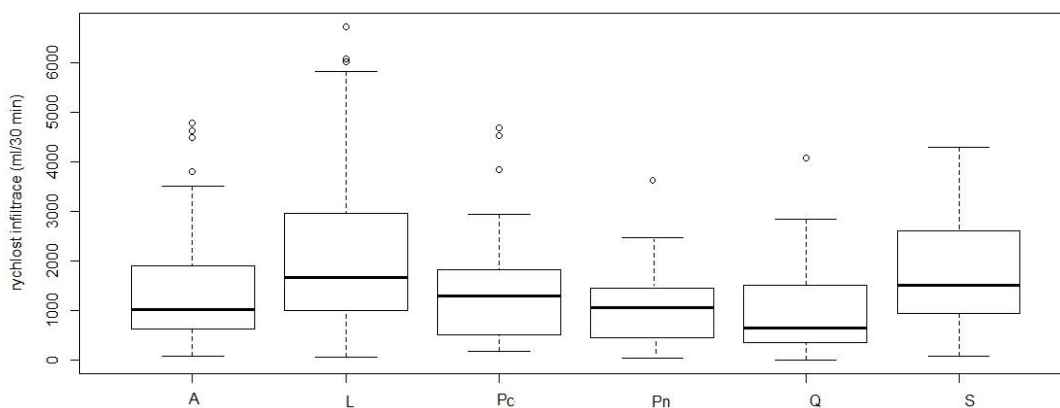
### **7.2.5 Hodnocení bohatosti edafonu a humusové vrstvy (A-horizontu)**

K zhodnocení těchto charakteristik byl země za pomoci rýče vyjmut půdní vzorek o rozměrech 30 X 30 X 25 cm, který byl následně detailně rozebrán, biota z něj byla vyňata a postoupena dále k taxonomické identifikaci. U následně vzniklé jámy byla pomocí metru změřena mocnost černě zbarvené humusové vrstvy. Tato měření, viz příloha 11, byla na každé lokalitě provedena 3 – 4 X, ideálně v každém z rohu zkoumané plochy čtvercového půdorysu.

## 8 VÝSLEDKY

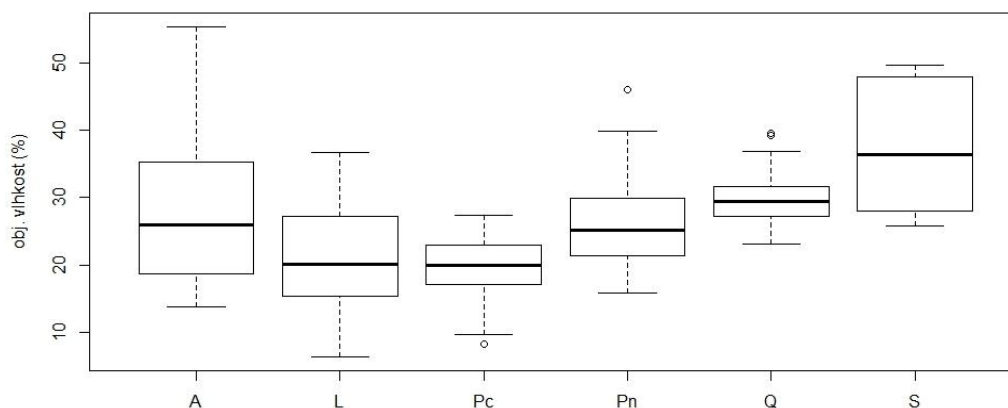
### 8.1 Rychlost infiltrace

Získané výsledky reprezentované v grafu na obrázku 1 poukazují na nejvyšší rychlost infiltrace na lokalitách s výsadbou modřínu (L) s průměrnou hodnotou 1932 cm<sup>3</sup> / 30 min. Naopak nejnižší míra infiltrace byla zjištěna u dubových porostů (Q) s průměrnou hodnotou 911 m<sup>3</sup> / 30 min. Rozdíly u ostatních dřevin nebyli již tak výrazné a infiltrace se pohybovaly zpravidla v rozmezí 1200 – 1500 cm<sup>3</sup> / 30 min. Z důvodu zamítnutí hypotézy o shodě dat s normálním rozdělením, bylo pro ověření nulové hypotézy, že druh dřeviny nemá vliv na rychlost infiltrace, použito Kruskal-Wallisova testu. Ten však nezávislost studovaných veličin, s hodnotou  $p=0.4638$  nevyvrátil.



Obr. 1: Graf průměrných rychlostí infiltrace v jednotlivých studovaných porostech.  
(A = olše; S = spontánní sukcese s převahou vrby jívy; L = modřín; Pc = smrk; Pn = borovice;  
Q = dub)

Naměřené hodnoty půdní vlhkosti poukazují na výrazně sušší substrát na lokalitách s porosty modřínu a smrku, naopak velmi vlhký substrát byl zaznamenán na lokalitách se spontánní sukcesí viz obrázek 2. Na základě jednocestné analýzy rozptylu byl zjištěn statisticky významný rozdíl u jednotlivých dřevin s následujícími hodnotami:  $F = 7.211$ ,  $P = 1.12e-05$ . Podle Tukeyho post-hoc testu se rozdíl týkal zejména dvojic: Pc – A, Q – L, S – L, Q – Pc a S – Pc.

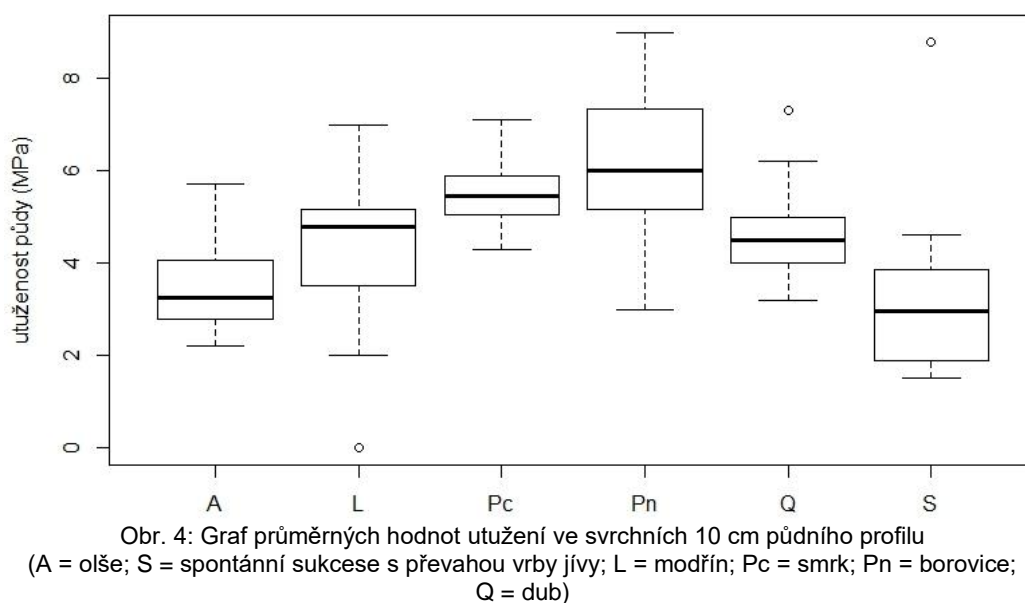
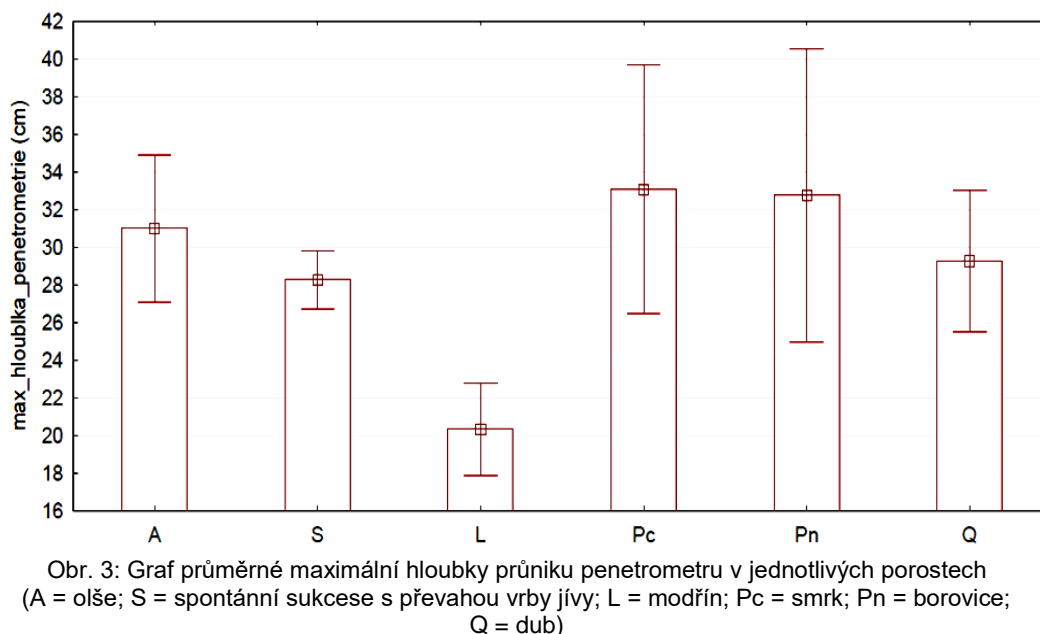


Obr. 2 Průměrné naměřené hodnoty obj. vlhkosti půdy u jednotlivých typů porostů. (A = olše; S = spontánní sukcese s převahou vrby jívy; L = modřín; Pc = smrk; Pn = borovice; Q = dub)

Poměrně značné rozdíly v naměřených hodnotách jednotlivých druhů rekultivačních dřevin jsou patrné jak z grafického znázornění, tak i ze statistického vyhodnocení těchto dat. Nejvyšší míra infiltrace u modřínových porostů a naopak velmi pomalá infiltrace u porostů dubových je zde pravděpodobně v důsledku vícero faktorů. Při pokusu zjistit určitou závislost mezi jednotlivými studovanými veličinami zde totiž nedošlo k zjištění jakékoliv statisticky prokazatelné korelace. Konkrétně se jednalo o vztahy „rychlost infiltrace“ ~ „utužení půdy“ a „rychlost infiltrace“ ~ „objemová hmotnost půdy“.

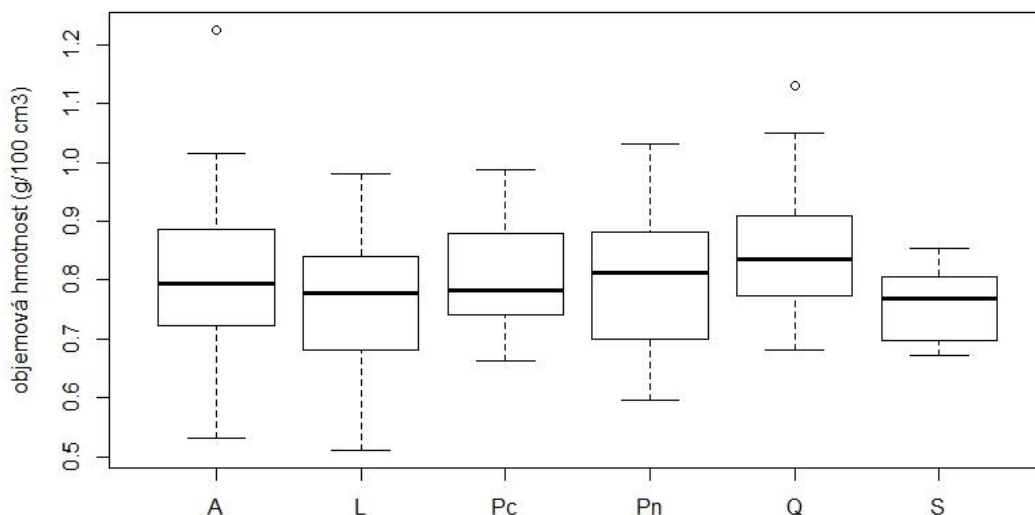
## 8.2 Utužení a objemová hmotnost půdy

Při měření utužení půdy penetrem byla zjištěna značná neproniknutelnost půdního horizontu pravděpodobně v důsledku přítomnosti nevětralých jílovcových plátů, a to zejména v porostech modřínu, jak je patrné z grafu maximální hloubky průniku penetromu na obrázku 3. Pokud jsme se ve zhodnocení kompaktnosti půdy omezili např. na hodnoty svrchních 10 cm půdního horizontu, který má největší význam pro bylinné patro podrostu, dostáváme jasně nejvyšší hodnoty utužení u porostů smrku a borovice, naopak Porosty olše a spontánní sukcese by se daly označit za porosty s utužením nejnižším, viz obr. 4. Při jednocestné analýze rozptylu byl u hodnot utužení v 10 cm zjištěn statisticky významný rozdíl u jednotlivých dřevin s následujícími hodnotami:  $F = 13.29$ ,  $P = 6.9e-10$ . Podle Tukeyho post-hoc testu se rozdíl týkal většiny dvojic s výjimkou L – A, S – A, Q – L a Pc – Pn.



Měření objemové hmotnosti poukázalo na podstatně vyšší půdní hustotu zejména v dubových, olšových a smrkových porostech, naproti tomu poměrně kypřejší substrát byl zaznamenán v případě modřínu a lokalit se spontánní sukcesí, viz obrázek 5. Statisticky významný rozdíl obj. hmotnosti na základě druhu dřeviny zde však nebyl zjištěn.

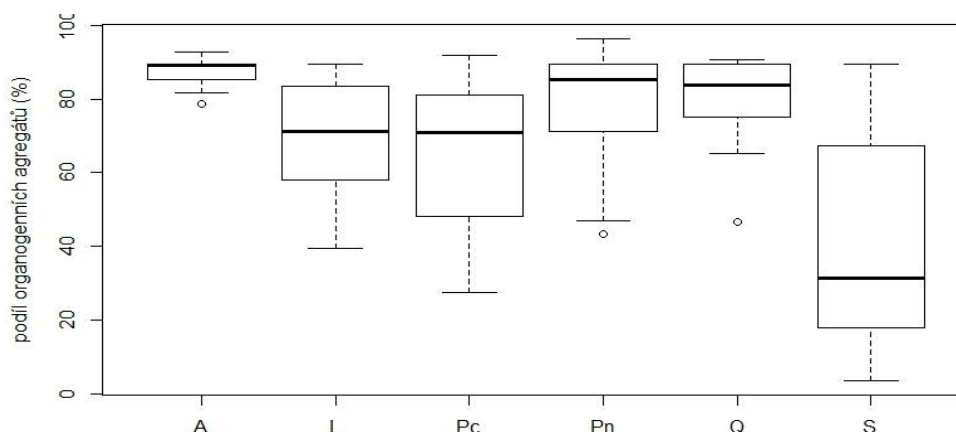




Obr. 5: Graf průměrné objemové hmotnosti půdy jednotlivých porostů. (A = olše; S = spontánní sukcese s převahou vrby jívy; L = modřín; Pc = smrk; Pn = borovice; Q = dub)

### 8.3 Podíl stabilních půdních agregátů

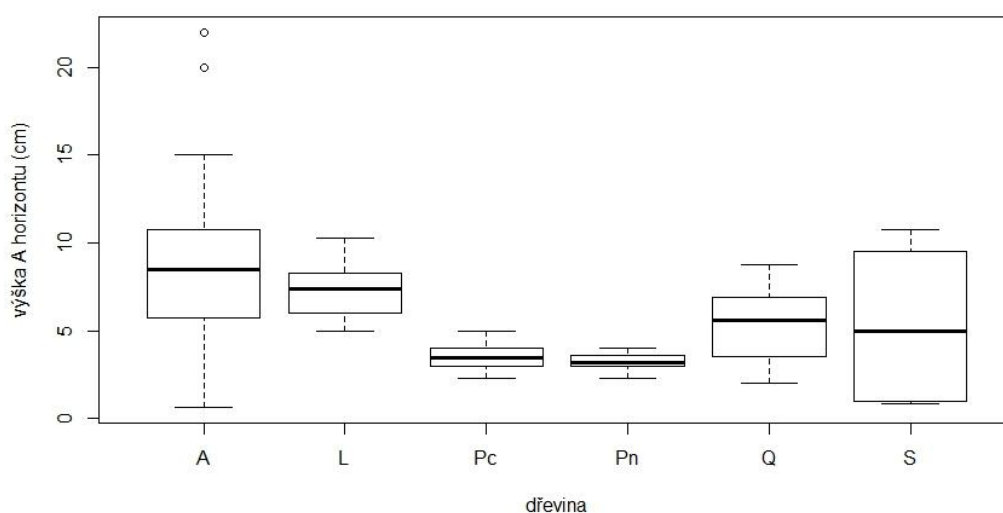
Ze vzorků odebraných k dalšímu laboratornímu šetření byl rovněž zjištěn podíl stabilních půdních agregátů. Ten dosahoval, jak je patrné z grafu na obrázku 6, nejvyšších hodnot v případě porostů olší a borovic (85%), zatímco jednoznačně nejnižší úroveň jejich zastoupení byla zjištěna na plochách se spontánní sukcesí (40%). Hodnoty ve zbytku porostů se pak pohybovali zhruba okolo 70%. Na základě jednocestné analýzy rozptylu byl zjištěn statisticky významný rozdíl u jednotlivých dřevin s následujícími výsledky:  $F = 10.67$ ,  $P = 5.4e-08$ . Podle Tukeyho post-hoc testu se rozdíl týkal zejména dvojic: L – A, Pc – A, S – A, S – L, S – Pc, S – Pn, S – Q.



Obr. 6: Graf průměrného zastoupení kulovitých organických agregátů v celkovém podílu stabilních částic s průměrem 2 – 5 mm v jednotlivých porostech. (A = olše; S = spontánní sukcese s převahou vrby jívy; L = modřín; Pc = smrk; Pn = borovice; Q = dub)

## 8.4 Početnost půdní fauny a výška A-horizontu

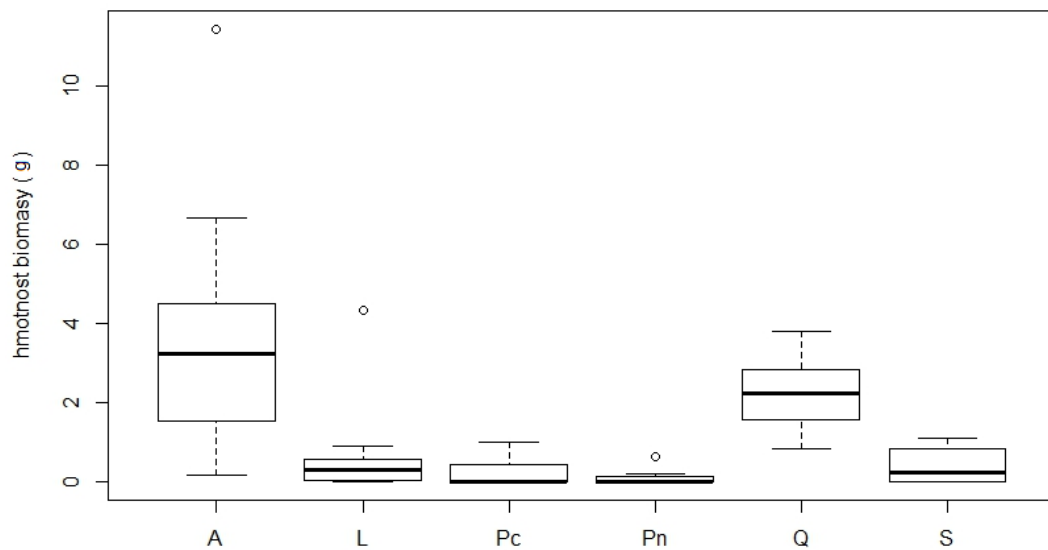
Na základě průzkumu zemních sond byl zjištěn určitý rozdíl v mocnosti humusového A-horizontu půdního profilu mezi jednotlivými druhy, tuto skutečnost se však nepodařilo dostatečně spolehlivě statisticky podložit. Jak je patrné z obrázku 7, velmi tenká humusová vrstva byla pozorována na plochách výsadby smrků a borovic, kde povětšinou nedosáhla mocnosti ani 5 cm. Naopak velmi dobře se v tomto šetření jevila olše a modřín, ale i lokality se spontánní sukcesí. Tam však dochází vlivem nezarovnaného terénu k hromadění organické hmoty v terénních depresích, kde pak dosahovala tloušťka A-horizontu i 12 cm. Nicméně po zprůměrování s vrcholy terénních vln, kde není A-horizont prakticky žádný, nejsou průměrné hodnoty této lokality nijak vysoké.



Obr. 7: Graf průměrné střední výšky humusového A-horizontu v jednotlivých typech porostů. (A = olše; S = spontánní sukcese s převahou vrby jívy; L = modřín; Pc = smrk; Pn = borovice; Q = dub)

Při šetření bohatosti půdní fauny viz obrázek 8, byl u každé vykopané půdní sondy, resp. Objemu půdy vyjmutého ze země zjištěn velmi razantní rozdíl zejména mezi výsadbou listnatých a jehličnatých dřevin, přičemž počet jedinců i celkové biomasy porostů olše téměř dvojnásobně převyšovaly i porosty dubové. Na lokalitách přirozeně zarostlých vlivem sukcese však byla zjištěna bohatost edafonu srovnatelná s jehličnany. Mezi nimi pak dosahoval jasně nejslabšího výsledku smrk, který se jevil být pro půdní faunu naprosto nehostinný. Na základě jednocestné analýzy rozptylu byl zjištěn statisticky významný rozdíl u jednotlivých dřevin s následujícími výsledky:  $F = 16.66$ ,  $P = 2.75e-11$ . Podle

Tukeyho post-hoc testu se rozdíl týkal zejména dvojic: L – A, Pc – A, Pn – A, S – A, Q – L, Q – Pc, Q – Pn a S – Q.



Obr. 8: Graf průměrné hodnoty celkové biomasy půdní makrobioty.  
(A = olše; S = spontánní sukcese s převahou vrby jívy; L = modřín; Pc = smrk; Pn = borovice;  
Q = dub)

## 9 DISKUZE

### 9.1 Infiltrační vlastnosti půdy

Na základě provedených měření vyvstala celá řada otázek týkajících se vzájemných vlivů zkoumaných charakteristik, které ve většině případů hovoří pro vstupní předpoklad této práce, že druhová skladba porostů může zásadním způsobem ovlivnit půdní parametry dané lokality a to i u poměrně mladých porostů stáří 30 – 40 let (Binkley et Giardina, 1998). Značné rozdíly v naměřených, či pozorovaných hodnotách tak byly dle očekávání zjištěny napříč všemi studovanými druhy.

Zaměříme-li se na stěžejní půdní vlastnost pro obsah této práce, tedy rychlost infiltrace vody, je na základě zjištěných poznatků velmi obtížné jasně stanovit možnou příčinu statisticky významných rozdílů této veličiny napříč studovanými porosty. A to zejména v našem případě, kdy byl jakýkoliv vztah mezi infiltrací a dalšími studovanými veličinami neprůkazný, a to i navzdory tomu že právě utužení, či objemová hmotnost půdy bývají označovány jako významným činitelem při ovlivnění infiltračních vlastností půdy (Šantrůčková, 2014).

Dalším v literatuře diskutovaným aspektem, který se na infiltračním procesu velkou měrou podílí, a který se z tohoto šetření jeví, jako nejpravděpodobnější příčina těchto rozdílů je přítomnost preferenčních cest proudění vody. Jejich parametry a i jejich samotná přítomnost v půdě je však výsledkem velmi pestré škály půdních činitelů viz kapitola 7.5. Za tohoto předpokladu zde hraje významnou roli mimo jiné vegetační pokryv lokality a především charakteristiky kořenového systému jednotlivých druhů bylinného, keřového i stromového patra. Rychlost infiltrace stejně jako ostatní měřené půdní charakteristiky se tedy na základě našeho šetření dají považovat spíše za empiricky zjištěné hodnoty, které mají v daném kontextu určitou výpovědní hodnotu, avšak spíše pouze pokud se jedná o srovnání studovaných druhů dřevin mezi sebou (Frouz et al., 2013).

### 9.2 Potenciální retenční vlastnosti půdy

Po samotné infiltraci vody do půdního prostředí je zde z hlediska vodní bilance další velmi důležitý parametr a tedy schopnost půdy zadržovat vodu ve svých pórech. Za tímto účelem byl z odebraných půdních vzorků stanoven podíl

stabilních půdních agregátů. Z našich výsledků je patrné, že jejich množství je na lesnicky rekultivovaných plochách výrazně vyšší, než je tomu v případě ploch se spontánní sukcesí. To lze s největší pravděpodobností přisuzovat skutečnosti, že proces přirozené obnovy je přeci jen o poznání pomalejší a utváření půdních agregátů stejně tak jako samotné utváření humusového horizontu a následný rozvoj půdní bioty zkrátka zatím neměl dostatek času, aby se mohl vyrovnat zrekultivovaným porostům. To do jisté míry nesouhlasí s tvrzeními, která uvádí ve své publikaci třeba Stejskal, 2009. Zmíněné půdní charakteristiky však nemají vliv pouze na půdní retenci vody, nýbrž i na stabilitu koloběhu živin aby nedocházelo k promývání půdního horizontu a tím i odnosu substancí potřebných zejména pro rozvoj a prosperitu vegetačního pokryvu a půdních mikroorganismů.

### **9.3 Povrchový odtok a odolnost vůči erozi**

Zdravá infiltrační schopnost půdy je spolu s dostatečně hustým vegetačním pokryvem neodmyslitelnou kombinací zamezující vodní erozi, tedy nadměrný odnos půdního materiálu v důsledku povrchového odtoku. Metodika, kterou bylo zamýšleno použít, se v konečném efektu jevila jako neaplikovatelná v případě lesních porostů a bylo tedy nutné se při zhodnocení erodovatelnosti zdejší půdy omezit na zmíněné nepřímé ukazatele. Jednalo se o srážkový simulátor používaný běžně ke stanovení povrchového odtoku na orné půdě. V našem případě však vlivem poměrně silné opadové a fermentační vrstvy, která pokrývala půdní povrch, došlo k absorpci i poměrně velkých objemů vody aniž by byl silnější povrchový odtok zaznamenán, podobně jak uvádí i např. Li et al. 2014. Vzhledem k náročnosti pokusu nebylo možné provést dostatečný počet měření touto metodou pro statistické zhodnocení výsledků. Při srovnání obou zmíněných faktorů ovlivňující odtok se dostáváme k poznatku, že z tohoto hlediska neoptimálnější jsou zde porosty olše a modřínu, které vykazují vysoké hodnoty rychlosti infiltrace stejně tak jako pokrývnosti bylinného, či keřového patra v podrostu, viz příloha 4. Samotnou otázku je i množství vody, které se reálně k půdnímu povrchu dostane. Rozdílné hodnoty půdní vlhkosti nám poukazují na povětšinou sušší substrát v jehličnatých porostech než v porostech listnatých. To může být do značné míry ovlivněno charakterem zakořenění konkrétních dřevin, zároveň však i mírou intercepce, jak uvádí např. Augusto et al. 2002.

## 9.4 Celkové zhodnocení porostů.

Na základě našich měření lze shrnout, že olšové porosty vykazovaly pravděpodobně nejpozitivnější hodnoty ve vztahu k optimálnímu fungování půdního prostředí a to jak z hlediska hydropedologického, tak i z pohledu zdravého fungování půdního ekosystému jako celku. Naprosto nejlépe ze všech studovaných rekultivací zde vyšel podíl půdních agregátů, výška humusového A-horizontu, a bohatost půdní fauny. Konkrétně o celkové hmotnosti biomasy půdní fauny by se dalo říci, že s výjimkou dubu byla v ostatních porostech v porovnání s olší pouze zanedbatelná. Obecně velmi dobré pedomeliorační působení olší je z velké části přisuzováno jejich symbióze s Aktinomycety rodu *Frankia*, které jim umožňují fixaci vzdušného dusíku do své biomasy a tím tak i vyšší měrou obohacovat substrát daného stanoviště o organické látky. Tento výsledek do určité míry odpovídá poznatkům z práce Frouze et al. 2009.

Rekultivace s převahou výskytu modřínu naopak vykazovaly velmi vysokou rychlost infiltrace, avšak ostatní kritéria zde dosahovala více či méně průměrných hodnot. Naměřené hodnoty smrkových porostů vyšly až na výjimky velmi nepříznivě. Infiltrace zde dosahovala zhruba průměru, avšak utužení i objemová hmotnost zde poukazovaly na značnou kompaktnost, místy až neprostupnost i svrchních částí půdního horizontu. Humusová vrstva je zde buďto velice málo rozvinutá, nebo na některých stanovištích prakticky chybí a při průzkumu substrátu vyňatého z půdní sondy bylo zjištěno pouze zanedbatelné množství okem viditelného edafonu (Augusto et al., 2002). Borovice v tomto šetření dopadla prakticky stejně jako smrk, možná snad s ještě nepatrně pro půdu negativnějšími hodnotami, ačkoli podíl stabilních půdních agregátů zde byl oproti smrku zhruba o 20% vyšší. Určitý otazník zde vyvstal u dubových porostů, zejména vzhledem k velmi nápadně nízké infiltrační rychlosti, neboť prakticky všechny parametry týkající se půdního pokryvu, struktury půdy, stáří dřeviny nebo samotné stavby kořenového systému dubu nejsou ve srovnání s ostatními rekultivačními dřevinami nijak výrazně odlišné.

Do značné míry odlišnými lokalitami jsou plochy rekultivované za pomoci spontánní sukcese, kde v současném stádiu má nad ostatními porosty převahu vrba jíva. Při zprůměrování hodnot z našich měření na lokalitách II-a – II-d je patrné, že z hlediska formování půdního prostředí neměly zdejší dřeviny tolik času jako analogické uměle vysazené porosty. Dlouhodobější působení dřevin na půdu mohlo však v tomto případě být do jisté míry suplováno skutečností, že zde

nedošlo k zarovnání povrchu, nýbrž byly ponechány terénní vlny v podobě, jak byly zakladačem nasypány, viz příloha 12. Půda je zde přirozeně do značné míry rozvolněnější, což se mohlo projevit na poměrně nízkých hodnotách odporu půdy při průniku penetrometrem a velice nízké objemové hmotnosti. Rovněž rychlost infiltrace zde dosahovala nadprůměrných hodnot, avšak např. podíl půdních agregátů se zde setkával spíše s hodnotami lehce pod průměrem (Prach et al., 2010).

## 10 ZÁVĚR

Výsledky této práce nám dali do srovnání některé z druhů použitých při rekultivování Velké podkrušnohorské výsypky. Poukázali do jisté míry na značné rozdíly mezi jednotlivými dřevinami téměř u všech sledovaných půdních charakteristik, ačkoli jasné zákonitosti mezi nimi se nepodařilo přesvědčivě prokázat. Patrná je však určitá převaha pozitivních vlivů na půdu zejména u druhů, které jsou v našem lesním hospodářství používány spíše jako doplňující (olše, modřín, dub), zatímco jedny z nejvýznamnějších dřevin našeho lesního hospodářství (smrk, borovice) se ukázali jako půdu ne právě obohacující. Za samotnou kapitolu lze zde považovat porosty vzniklé v průběhu spontánní sukcese, které jsou do určité míry prozatím neprobádanou oblastí, a které jsou stále ještě předmětem probíhajících výzkumů, které hodnotí jejich prospěšnost v návaznosti na nejrůznější okolnosti determinované charakterem neživé přírodní složky, stejně jako okolnosti vzájemného působení bioty nově vznikajícího ekosystému.

Výstupy této práce je možné použít jako informační zdroj při plánování skladby lesních porostů pro nově rekultivovaná území, kde mohou posloužit jako případová studie popisující do určité míry specifický případ lesnické rekultivace, který je však možné aplikovat i na jiných, do značné míry odlišných lokalitách, a který do určité míry může predikovat chování těchto dřevin v průběhu následujících let. Na poznatky této práce se dá rovněž navázat i při dalším studiu této problematiky, především v souvislosti s vlivem na vývoj půdního horizontu a jeho hydrologických charakteristik. To, jak i z této práce vyplývá, v neodmyslitelné návaznosti na vývoj půdní bioty a potenciál obohacení půdy o organické látky, tedy aspekty do značné míry determinující možnosti přivést pomocí lesnických rekultivací těžbou silně narušená území opět k životu.

# 11 POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

## 11.1 Literatura

**Augusto L., Ranger J., Binkley D., Rothe A., 2002:** Impact of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. *Ann. For. Sci.* 59, 233–253.

**Bagarello V., Angulo-Jaramillo R., Iovino M., Lassabatere L., 2016:** Infiltration measurements for soil hydraulic characterization. Springer, New York, 396 s.

**Bartůňková K., 2012:** Rekultivace povrchových hnědouhelných dolů v severních Čechách. *Geografické rozhledy* 2: 8 – 9.

**Binkley D., Giardina C., 1998:** Why do tree species affect soils? The Warp and Woof of tree-soil interactions. *Biogeochemistry* 42: 89 – 106.

**Burian P., 2010:** Kapalné produkty bitumenu cyprisových jíílů. *Paliva* 2 (2010): 13 – 21.

**Dimitrovský K., 2001:** Tvorba nové krajiny na Sokolovsku. Sokolovská uhelná, Sokolov, 192 s.

**Frouz J., Popperl J., Příklad I., Štrudl J., 2007:** Tvorba nové krajiny na Sokolovsku. Sokolovská uhelná, právní nástupce a.s., Sokolov, 26 s.

**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* 94: 111 – 121.

**Frouz J., Livečková M., Albrechtová J., Chroňáková A., Cajthaml T., Pižl V., Háněl L., Starý J., Baldrian P., Lhotáková Z., Šimáčková H., Cepáková Š., 2013:** Is the effect of trees on soil properties mediated by soil fauna? A case study from post-mining sites. *Forest Ecology and Management* 309: 87 – 95.

**Frouz J., 2015:** Antropogenní disturbance v krajině a ochrana životního prostředí. In: Frouz J. et Moldan B. [eds.]: *Příležitosti a výzvy environmentálního výzkumu*. Univerzita Karlova, Praha, 49–62.

**Chmelař J., 1987:** Dendrologie s ekologií lesních dřevin. Vysoká škola zemědělská v Brně, 133 s.

**Jačka L., Pavlásek J. 2014:** Infiltrace vody do půdního prostředí. Česká zemědělská univerzita, Praha, 81 s.

**Koorevaar P., Menelik G., Dirksen C., 1983:** *Element of Soil Physics*. Elsevier, New York, 227 s.

**Kutílek M., Nielsen D. R., 1994:** *Soil Hydrology*. Catena Verlag, Cremlingen-Destedt, 370 s.



**Němeček J., Muhlhanslová M., Macků J., Vokoun J., Vavříček D., Novák P., 2011:** Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Česká zemědělská univerzita, Praha, 94 s.

**Podrázský V., 2005:** Meliorační a zpevňující dřeviny - přínos, nebo ztráta? Lesnická práce 8/05: 12–13.

**Prach K., 2010:** Ekologie obnovy ukazuje možnosti obnovy cenných biotopů In: Řehounek J., Řehouneková K., Prach K. [eds.]: Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi. Calla, České Budějovice, 6 – 9.

**Prach K., Bejček V., Bogusch P., Dvořáková H., Frouz J., Hendrychová M., Kabrna M., Koutecká V., Lepšová A., Mudrák O., Polášek Z., Příklad I., Tropek R., Volf O., Zavadil V. 2010:** Výsypky. In: Řehounek J., Řehouneková K., Prach K. [eds.]: Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi. Calla, České Budějovice, 15 – 35.

**Prach K., Hobbs R. J., 2008:** Spontaneous Succession versus Technical Reclamation in the Restoration of Disturbed Sites. Restoration Ecology 16-3, 363 – 366.

**Prach K., Pyšek P., 2001:** Using spontaneous succession for restoration of humandisturbed habitats: experience from Central Europe. Ecological Engineering 17: 55 – 62.

**Reitschmiedová E., Frouz J., 2016:** Sokolovské výsypky: Od měsíční krajiny po les. Fórum ochrany přírody 2016/1, 29 – 33.

**Roubíčková A. 2013:** Interactions of soil fauna and plants during succession on spoil heaps after brown coal mining. Charles University, Czech Academy of Science, Prague, 75 s.

**Schnitzer M., Khan S. U., 1975:** Element of Soil Physics. Elsevier, New York, 318 s.

**Schlenstedt J., Stärke M., Brinckmann A., Häfker U., Steinhuber U., Mehlow D., Haubold-Rosar M., Knoche D., Tischew S., Rümmler F., 2009:** Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften. Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft, Senftenberg, 52 s.

**Slodičák M., Kacálek D., Mauer O., Dušek D., Houšková K., Jurásek A., Leugner J., Novák J., Souček J., Špulák O., Podrázský V., Zouhar V., 2017:** Lesnický průvodce – Meliorační a zpevňující funkce lesních dřevin v CHS borového a smrkového hospodářství. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Strnady, 44 s.

**Smith R. E., Smettem K. R. J., Broadbridge P., Woolhiser D. A., 2002:** Infiltration Theory for Hydrologic Applications. American Geophysical Union, Washington D. C., 212 s.

**Šantůrčíková H., 2014:** Základy ekologie půdy. Jihočeská univerzita, České Budějovice, 116 s.

**Šantrůčková H., Malý S., Cienciala E., 2015:** Povodně a sucho – krajina jako základ řešení 2. Organická hmota a vodní retenční kapacita půd. *Živa* 2/2015: 69 – 72.

**Šimek M., 2003:** Půda 1: Neživé složky půdy. Jihočeská univerzita – Biologická fakulta, České Budějovice, 102 s.

**Štýs S., 1981:** Rekultivace území postižených těžbou nerostných surovin. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha, 678 s.

**Štýs S. et Helešicová L., 1992:** Proměny měsíční krajiny. Bílý slon, Praha, 256 s.  
**Štýs S., Bízková R., Ritschelová I., 2014:** Proměny severozápadu., Český statistický úřad, Praha, 2014, 181 s.

**Tolasz R., 2007:** Atlas podnebí Česka. Praha: Český hydrometeorologický ústav, Olomouc, 255 s.

**Úředníček L., Chmelař J., 1998:** Dendrologie lesnická 2. Část. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno

**Volný S., 1985:** Deteriorizace a rekultivace krajiny. Vysoká škola zemědělská v Brně, 187 s.

**Vráblíková J., 2010:** Rekultivace území po těžbě uhlí na příkladu severních Čech. *Životní prostředí* 44: 24 – 29.

## 11.2 Internetové zdroje

**American Conifer Society, 2017:** *Pinus contorta* (Shore pine / Lodgepole pine) (online) [cit. 2018.12.13], dostupné z <<http://conifersociety.org/conifers/conifer/pinus/contorta/>>.

**Delta-T Devices, 2017:** How to get the most from your Delta-T Devices WET Sensor (online) [cit. 2018.12.09], dostupné z <[https://www.delta-t.co.uk/wp-content/uploads/2017/01/get\\_the\\_most\\_from\\_your\\_wet\\_sensor\\_pdf\\_ver.1.pdf](https://www.delta-t.co.uk/wp-content/uploads/2017/01/get_the_most_from_your_wet_sensor_pdf_ver.1.pdf)>

**Gremlica T., 2011:** Rekultivace a management nepřírodních biotopů v České republice – Závěrečná zpráva. Ústav pro ekopolitiku, o. p. s. (online) [cit. 2018.11.19], dostupné z <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/rekultivace\\_neprirodnich\\_biotopu/\\$FILE/OOOPK-Zaverecna\\_zprava\\_2007-20150119.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/rekultivace_neprirodnich_biotopu/$FILE/OOOPK-Zaverecna_zprava_2007-20150119.pdf)>.

**Kuráž V., Frouz J., Kuráž M., Makoc A., Shustr V., Cejpek J., Romanov O. V., Abakumov E. V., 2012:** Changes in some physical properties of soils in the chronosequence of self-overgrown dumps of the Sokolov quarry-dump complex, Czechia (online) [cit. 2019.02.13], dostupné z <<http://www.researchgate.net/publication/257857589>>.

**Li X., Niu J., Xie B., 2014:** The Effect of Leaf Litter Cover on Surface Runoff and Soil Erosion in Northern China (online) [cit. 2019.01.20], dostupné z <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107789>>.

**Lin H., Bouma J., Pachepsky Y., Western A., Thompson J., van Genuchten R., Vogel H. J., Lilly A., 2006:** *Hydropedology: Synergistic integration of pedology and hydrology* (online) [cit. 2019.02.02], dostupné z <<https://doi.org/10.1029/2005WR004085>, cit. 10. 2. 2019>.

**Lukáš V., Neudert L., Křen J., 2011:** *Mapování variability půdy a porostů v precizním zemědělství*. Mendelova Univerzita, Brno, 34 s.

**MENDELU – Lesnická a dřevařská fakulta, 2018:** *Třídění lesů* (online) [cit. 2019.01.22], dostupné z <[https://ldf.mendelu.cz/uzpl/pestovani\\_v\\_heslech/vychodiska/trideni/trid\\_kat\\_lesu.html](https://ldf.mendelu.cz/uzpl/pestovani_v_heslech/vychodiska/trideni/trid_kat_lesu.html)>.

**MUS a. s., 2001:** *Historie těžby hnědého uhlí na Mostecku* (online) [cit. 2019.02.19], dostupné z <[http://www.ecmost.cz/rekultivace.php?page=uhli\\_pocatky](http://www.ecmost.cz/rekultivace.php?page=uhli_pocatky)>.

**Sokolovská uhelná, právní nástupce, a. s., 2011:** *Lom Družba ukončí těžbu uhlí*. (online) [cit. 2019.01.31], dostupné z <[https://ldf.mendelu.cz/uzpl/pestovani\\_v\\_heslech/vychodiska/trideni/trid\\_kat\\_lesu.html](https://ldf.mendelu.cz/uzpl/pestovani_v_heslech/vychodiska/trideni/trid_kat_lesu.html)>.

**Stejskal J., 2009:** *Rekultivace aneb Jak vyhodit miliardy* (online) [cit. 2019.01.04], dostupné z: <<https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/rekultivace-aneb-jak-vyhodit-miliardy>>.

**USDA Natural Resources Conservation Service, 1996:** *Soil Quality Indicators – Aggregate stability* (online) [cit. 2019.01.27], dostupné z <[https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_052820.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052820.pdf)>

**Výzkumný ústav pro hnědé uhlí, 2003:** *Koncepce řešení ekologických škod vzniklých před privatizací hnědouhelných těžebních společností v Ústeckém a Karlovarském kraji – Smlouva o dílo č 00489-2002-240-S-2633*. FNM ČR, int. č. 130/02. (online) [cit. 2019.01.27], dostupné z <[http://www.15miliard.cz/cd\\_fnm\\_oprava/index.htm](http://www.15miliard.cz/cd_fnm_oprava/index.htm)>.

### 11.3 Mapové portály

Google Earth 2018: *Geobasis DE/BKG 2009* (online) [cit. 2019.02.12], dostupné z <<https://www.google.com/earth/>>.

**CENIA (2018):** *Ortofoto ČR* (online) [cit. 2019.03.03], dostupné z <[http://geoportál.gov.cz/ArcGIS/services/CENIA/cenia\\_t\\_podklad/MapServer/WMSServer](http://geoportál.gov.cz/ArcGIS/services/CENIA/cenia_t_podklad/MapServer/WMSServer)>

## 12 SEZNAM PŘÍLOH

**Příloha 1:** Těleso velké podkrušnohorské výsypky (mapa).

**Příloha 2:** Třtinové porosty na Vintířovské výsypce (foto).

**Příloha 3:** Jednotlivé lesnické rekultivace s kódy jednotlivých porostů (mapa).

**Příloha 4:** Olšový porost na Vintířovské výsypce (foto).

**Příloha 5:** Modřínový porost na Vintířovské výsypce (foto).

**Příloha 6:** Smrkový porost na Vintířovské výsypce (foto).

**Příloha 7:** Borovicový porost na Vintířovské výsypce (foto).

**Příloha 8:** Dubový porost na Vintířovské výsypce (foto).

**Příloha 9:** Měření rychlosti infiltrace (foto).

**Příloha 10:** Odebírání Kopeckého válečků (foto).

**Příloha 11:** Půdní sondy, měření výšky A-horizontu a hodnocení množství edafonu (foto).

**Příloha 12:** Terénní vlny na lokalitách se spontánní sukcesí (foto).