

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí

Studijní obor: Ochrana životního prostředí



Bc. Tereza Daňková

Uchycení pozdně sukcesních druhů dřevin na výsypkách

Establishment of late succession woody species of post mining heaps

Diplomová práce

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

Praha, 2024

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 2024

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych ráda vyjádřila svůj upřímný dík prof. Frouzovi za jeho odborné vedení a cenné rady, které mi nesmírně pomohly při zpracování této práce. Velmi děkuji také panu Matějčíkovi za ochotu při seznamování mě s metodami práce s GPS daty. Děkuji za všechny cesty na výsypku Martinu Bartuškoví, které byly díky jeho zkušenostem a dobré náladě vždy příjemným zážitkem. A v neposlední řadě za trpělivost a podporu, bez které bych tuto práci nedokončila, děkuji své rodině a mému snoubenci.

Abstrakt

Úkolem této diplomové práce bylo lépe pochopit faktory ovlivňující uchycení, přežívání a růst klimaxových druhů dřevin při spontánní sukcesi a napomoci tak k pochopení mechanismu spontánní sukcese a přispět ke zlepšení postupů obnovy ekosystémů po těžbě uhlí. Studie probíhala na Podkrušnohorské výsypce v západních Čechách nedaleko Sokolova.

V mé práci jsem provedla srovnání prosperity stínomilného buku a světlomilného dubu. Porovnávala jsem stav dubů po osmi letech od původní studie a stav buků po jedenácti letech od původní studie. Zároveň jsem také porovnávala data současných buků a dubů a snažila jsem se zjistit, kterému z těchto druhů se více daří na výsypce.

Analýza dat ukázala významné změny ve složení a struktuře lesních porostů. Zatímco v počátečních fázích sukcese dominoval dub letní, v současnosti je patrná výrazná expanze buku lesního, zejména v podmínkách zvýšeného zástínu. Tento posun je interpretován v kontextu rozdílné tolerance obou druhů vůči abiotickým stresorům a konkurenčním interakcím.

Abstract

The aim of this diploma thesis was to better understand the factors influencing the establishment, survival and growth of climax tree species during spontaneous succession and thus to contribute to the understanding of the mechanism of spontaneous succession and improve the procedures for ecosystem restoration after coal mining. The study was conducted at the Podkrušnohorská spoil heap in western Bohemia near Sokolov.

In my diploma thesis I compared the prosperity of the shade-tolerant beech and the light-demanding oak. I compared the condition of oaks eight years after the original study and the condition of beeches eleven years after the original study. At the same time I also compared the data of current beeches and oaks and tried to find out which of these species is more successful on post mining heap.

Data analysis revealed significant changes in the composition and structure of forest stands. While in the initial stages of succession, English oak dominated, a significant expansion of European beech is currently evident, especially in conditions of increased shade. This shift is interpreted in the context of the different tolerance of both species to abiotic stressors and competitive interactions.

Obsah

1. Úvod	1
1.1. Vymezení tématu	1
1.2. Cíle práce	2
1.3. Hypotézy	2
2. Literární přehled.....	3
2.1. Těžba nerostů a její vliv na životní prostředí.....	3
2.2. Historie těžby uhlí na území Česka	4
2.3. Obnova krajiny po těžbě	5
2.4. Spontánní sukcese.....	6
2.5. Uchycení a vývoj dřevin během primární sukcese.....	9
2.6. Spontánní sukcese vs. rekultivace.....	10
2.7. Pozdně sukcesní druhy dřevin na výsypkách	10
2.8. Dub letní (<i>Quercus robur</i>).....	11
2.9. Buk lesní (<i>Fagus sylvatica</i>)	14
3. Materiál a metody.....	18
3.1 Popis lokality	18
3.2. Terénní sběr dat	19
3.3. Zpracování dat.....	21
4. Výsledky	23
4.1 Analýza dat.....	23
4.1.1 Počty semenáčků a jejich složení – buky	23
4.1.2 Počty semenáčků a jejich složení – duby	25
4.1.3 Porovnání umístění buků a dubů na vlně – statistika	27
4.2. Růst stromů.....	28
5. Diskuse	30
6. Závěr.....	33
7. Použitá literatura.....	34

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1 - Podíl hnědého uhlí na výrobě elektrické energie v ČR. Data převzata z ministerstva průmyslu a obchodu. web: https://www.mpo.gov.cz/	5
Obrázek 2 - Quercus robur na Podkrušnohorské výsypce, autor Tereza Daňková.....	11
Obrázek 3 - Fagus Sylvatica na Podkrušnohorské výsypce, autor Tereza Daňková	14
Obrázek 4 - Umístění výsypky v rámci ČR, Mapy.cz.....	18
Obrázek 5 - Rozložení výsypky na jižní, střední a severní část, maps.arcgis.com.....	20
Obrázek 6 - Ukázka průběhu měření semenáčku buku na Podkrušnohorské výsypce, autor Tereza Daňková.....	21
Obrázek 7 - Graf ukazující nárůst počtu jedinců buků za 11 let. Excel.....	23
Obrázek 8 - Graf ukazující procenta přeživších (znovu nalezených) jedinců buků na jednotlivých částech výsypky.....	23
Obrázek 9 - Graf ukazující kolik procent buků zahynulo na daných územích během 11 let.....	24
Obrázek 10 - Graf ukazující celkové počty buků v minulosti oproti současnosti s ukázkou kolik z nich jsou přeživší jedinci	24
Obrázek 11 - Boxplot ukazující porovnání průměrné délky letorostu buků v ohrazení a bez ohrazení.....	Chyba! Záložka není definována.
Obrázek 12 - Graf ukazující vývoj dubů během 8 let na jednotlivých částech výsypky	25
Obrázek 13 - Graf porovnávající celkové počty nálezů dubů v roce 2012 vs 2020. Zelenou barvou je zde patrné množství přeživších dubů.	26
Obrázek 14 - Graf ukazující úmrtnost původních semenáček dubů z roku 2012 do roku 2020 v jednotlivých lokalitách výsypky	25
Obrázek 15 - Graf ukazující procentuální zastoupení jedinců buků (zelená) vs dubů (modrá) na jednotlivých lokalitách	27
Obrázek 16 - Graf ukazující množství buků (B) a dubů (D) na jednotlivých částech výsypkových vln (D = dole, N = nahoře, S = svah), RStudio	27
Tabulka 1 - Vliv růstových parametrů buků na poloze na vlně a na poloze na výsypce	28
Tabulka 2 - Vliv růstových parametrů dubů na poloze na vlně a na poloze na výsypce.....	29

1. Úvod

1.1. Vymezení tématu

Těžba surovin má významné negativní dopady na životní prostředí (Bradshaw, 1997). Dochází ke znečištění ovzduší a vod v okolí těžeben a zejména při povrchové těžbě jsou narušena rozsáhlá území, která jsou buď vytěžena nebo zasypana hlušinou. Obnova těchto poškozených oblastí je klíčová pro prosperitu postižených regionů, a to jak z ekologického, tak i socioekonomického hlediska (Frantál & Nováková, 2014).

Zvláště výrazné jsou dopady povrchové těžby, která vede k rozsáhlé destrukci krajiny, tvorbě odkrytých ploch a hald. Tyto antropogenní ekosystémy jsou charakteristické extrémními podmínkami prostředí, jako je vysoká kyselost, nízký obsah organické hmoty a přítomnost toxických látek, což výrazně znesnadňuje možnosti jejich přirozené rekultivace (Wilden et al., 2001).

Tradiční přístupy k rekultivaci těžebních prostorů se v minulosti zaměřovaly primárně na rychlou stabilizaci povrchu a zalesnění ploch. Tyto druhy, často charakteristické vysokou schopností růstu na narušených stanovištích, byly voleny s cílem, co nejrychleji ozelenit degradované území. Nicméně, dlouhodobé studie ukázaly, že monokultury těchto rychle rostoucích druhů mají omezený potenciál pro obnovu komplexních ekosystémů (Vojar et al., 2016).

Srovnání spontánní sukcese s umělou rekultivací naznačuje, že v pozdějších fázích vývoje dochází k výrazným rozdílům ve složení a struktuře rostlinných společenstev. Zatímco uměle založené porosty jsou často charakteristické nízkou druhovou diverzitou a dominancí několika málo druhů, spontánně se obnovující společenstva vykazují vyšší druhovou bohatost a komplexnější prostorovou strukturu (Šálek et al., 2010).

Důležitým aspektem spontánní sukcese je nástup tzv. klimaxových druhů. Klimaxové druhy jsou charakteristické pro stabilní vyzrálé ekosystémy a jsou často dobře adaptovány na specifické podmínky daného stanoviště. Jejich přítomnost v ekosystému indikuje dosažení určitého stupně stability a rovnováhy. Výsledkem spontánní sukcese je tedy často vznik lesních společenstev, která se svými vlastnostmi blíží původním přirozeným ekosystémům (Tajovský, 2001).

Přestože dynamika pionýrských druhů na výsypkách je poměrně dobře prozkoumána (Woś et al., 2018), o procesech nástupu a vývoje klimaxových druhů na výsypkách se spontánní

sukcesí víme mnohem méně. To je alarmující, jelikož právě tyto druhy hrají klíčovou roli v obnově biodiverzity, stability a funkcí ekosystémů. Nedostatek znalostí v této oblasti brání efektivnímu plánování a realizaci rekultivačních projektů, které by vedly k trvalé a udržitelné obnově těžbou postižených oblastí (Doležalová et al., 2012).

Právě tato mezera ve znalostech je předmětem mé práce. Zaměřuji se na studium dynamiky nástupu pozdně sukcesních druhů v rekultivovaných oblastech.

1.2. Cíle práce

- Určit přežívání, mortalitu a rychlost kolonizace výsypky duby a buky
- Určení, jak rychle dokážou buky a duby přirůstat v přirozené sukcesi
- Posoudit změny mortality během času
- Posouzení vlivu prostorové heterogenity na uchycení, přežívání a přirůstání buků
- Posouzení vlivu zapojení porostu (bude posouzeno z leteckého snímku)

1.3. Hypotézy

- Kolonizace výsypek bude větší u dubu než u buku vzhledem k bližším zdrojům diaspor
- Stínomilné buky budou lépe přežívat a přirůstat než světlomilné duby
- Největší mortalita bude u obou druhů u mladých jedinců
- Prostorová heterogenita povrchu bude důležitější u buků než dubů. U dubů jako světlomilné dřeviny bude důležité zapojení okolního porostu udávající množství světla

2. Literární přehled

2.1. Těžba nerostů a její vliv na životní prostředí

Těžba uhlí má rozsáhlé dopady na životní prostředí, které zahrnují jak ekologické, tak socioekonomické aspekty.

Ekologické dopady těžby uhlí jsou závažné a komplexní:

- Znečištění ovzduší: Spalování uhlí uvolňuje do ovzduší značné množství skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého (CO₂), které přispívají k zesilování skleníkového efektu a následné změně klimatu (Lehotský et al., 2019). Kromě CO₂ se při spalování uhlí uvolňují i další škodlivé látky jako jsou oxidy síry a dusíku, těžké kovy a prachové částice. Tyto emise mají negativní vliv na lidské zdraví, způsobují dýchací potíže, kardiovaskulární choroby a další zdravotní problémy (Vrablík et al., 2017).
- Znečištění vody: Těžba uhlí, zejména povrchová těžba, může vést ke kontaminaci povrchových i podzemních vod (Vojar et al., 2016). Odvodňování dolů a vypouštění důlních vod může zvyšovat kyselost vody a koncentraci těžkých kovů a dalších toxických látek (Matýsek & Jirásek, 2022). Tyto látky se pak mohou dostávat do potravního řetězce a ohrožovat zdraví lidí i ekosystémů (Doležalová et al., 2012).
- Degradace krajiny: Povrchová těžba uhlí má za následek rozsáhlou devastaci krajiny a ničení cenných ekosystémů (Dulias, 2010; Popelková & Mulková, 2011). Vznikají rozsáhlé výsypky, odkaliště a další antropogenně podmíněné tvary reliéfu, které narušují krajinný ráz a snižují estetickou hodnotu krajiny (Matýsek & Jirásek, 2022).

Socioekonomické dopady těžby uhlí jsou komplexní a zahrnují jak pozitivní, tak i negativní aspekty:

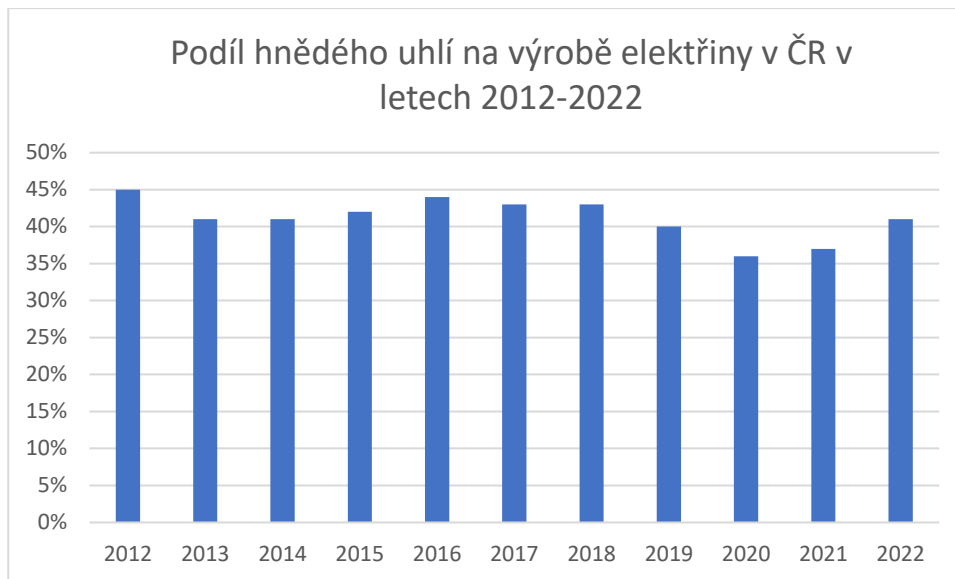
- Ekonomické přínosy: Těžba uhlí může přinášet pracovní místa a ekonomický růst, zejména v regionech, kde je uhlí hlavním zdrojem energie (Fleming-Muñoz et al., 2020). Uhelný průmysl je často spojován s rozvojem infrastruktury a dalších odvětví ekonomiky (Frantál & Nováková, 2014).
- Sociální problémy: Zároveň s tím však těžba uhlí přináší i řadu sociálních problémů. Mezi nejvýznamnější patří zhoršování zdraví obyvatelstva v důsledku znečištění ovzduší a vody (Vrablík et al., 2017). Dále těžba uhlí může vést k ztrátě obydlí a

vysídlování obyvatelstva, a to jak v důsledku rozšiřování těžebních oblastí, tak i vlivem znehodnocení životního prostředí v okolí dolů (Frantál, 2016). Tyto faktory mohou vést k sociálnímu napětí a konfliktům mezi zastánci a odpůrci těžby uhlí (Ocelík et al., 2022).

2.2. Historie těžby uhlí na území Česka

Těžba uhlí v českých uhelných pánvích začala již ve středověku. Archeologické nálezy v české části hornoslezské pánve naznačují, že černé uhlí se v oblasti používalo již ve starší době kamenné. Průmyslová těžba uhlí je však mnohem mladší. Po druhé světové válce poptávka po uhlí dále rostla v souvislosti s rozvojem těžkého průmyslu. V důsledku toho těžba hnědého i černého uhlí dlouhodobě rostla (Sivek et al., 2020). Nejvyšších hodnot dosáhla těžba hnědého uhlí v polovině 80. let (zhruba 100 milionů tun) a černého uhlí v roce 1979 (zhruba 25 milionů tun) (Matýsek & Jirásek, 2022). Historický vývoj těžby uhlí do značné míry závisel na politické a ekonomické situaci České republiky (Sivek et al., 2020). V socialistickém období (1948–1989) se těžba hnědého uhlí oproti roku 1937 zvýšila přibližně pětkrát a výroba elektrické energie přibližně dvacetkrát, zatímco těžba černého uhlí se zvýšila pouze o 80 % (Frantál & Nováková, 2014).

Budoucnost těžby uhlí v České republice je nejistá. Vláda v roce 2015 schválila „Aktualizaci státní energetické koncepce“, která počítá s útlumem těžby uhlí. Cílem je do roku 2040 snížit podíl uhlí na výrobě elektřiny na 15–25 %. Pro představu v roce 2022 se hnědé uhlí podílelo na výrobě elektrické energie 41 procenty. Tento cíl je v souladu s cíli Evropské unie v oblasti snižování emisí skleníkových plynů. V roce 2019 vláda zřídila „Uhelnou komisi“, která má za úkol navrhnout datum ukončení těžby uhlí v České republice. Komise v současné době zvažuje několik scénářů, přičemž konečné rozhodnutí se očekávalo v roce 2021, ale prozatím své rozhodnutí odložila. (Cablik et al., n.d.; Sivek et al., 2019, 2020).



Obrázek 1 - Podíl hnědého uhlí na výrobě elektrické energie v ČR. Data převzata z ministerstva průmyslu a obchodu.
web: <https://www.mpo.gov.cz/>

Jak je z grafu (obrázek 1) patrné, podíl hnědého uhlí na výrobě elektrické energie prozatím klesl pouze v době covidové pandemie. Zda se jeho spotřeba do roku 2040 podaří snížit o více než polovinu, je tedy otázkou.

2.3. Obnova krajiny po těžbě

Po těžbě nerostných surovin povrchovou těžbou je nutné území uvést do stavu podobného stavu před zahájením těžebního procesu. Této podoby lze dosáhnout sukcesí (přirozenou/řízenou) nebo rekultivací.

Rekultivace těžebních oblastí představuje komplexní proces, jehož cílem je obnovit zdevastovanou krajinu a přiblížit ji co nejvíce původnímu stavu. Tato snaha zahrnuje různé přístupy, které se dají rozdělit do čtyř hlavních kategorií:

- **Zemědělská rekultivace:** Zaměřuje se na přeměnu vytěžených oblastí na ornou půdu a zemědělsky využitelné pozemky. Zahrnuje úpravu terénu, hnojení, zasetí plodin a zavedení agrotechnických opatření.

- **Lesnická rekultivace:** Cílem je obnovení lesních porostů v postižených oblastech. Vyžaduje výběr vhodných druhů stromů a dřevin, výsadbu sazenic a následnou péči o mladý les.
- **Hydrická rekultivace:** Zaměřuje se na tvorbu vodních prvků, jako jsou jezera, mokřady a tůně. Tyto prvky hrají důležitou roli v ekosystému a přispívají k zadržování vody a zlepšování biodiverzity.
- **Ostatní rekultivace:** Patří sem rekultivace pro rekreační účely, průmyslové využití nebo vytvoření biotopů pro specifické druhy rostlin a živočichů.

Mezi důležité faktory ovlivňující obnovu krajiny patří:

- Typ půdního substrátu: Různé substráty, jako jsou písčité nebo hlinité půdy, ovlivňují růst rostlin a celkovou biodiverzitu.
- Druhy stromů: Výsadba různých druhů stromů, například břízy, olše nebo modřínu, má vliv na vlastnosti půdy a druhovou skladbu rostlinného společenstva.
- Sukcese: Obnova může probíhat přirozenou sukcesí, kdy se rostliny a živočichové vracejí samovolně, nebo pomocí cílené rekultivace, například výsadbou stromů.
- Geografická poloha: Klimatické podmínky a nadmořská výška ovlivňují druhovou skladbu rostlin a rychlost obnovy.

Pro hodnocení úspěšnosti obnovy se používají různé ukazatele, jako je druhová rozmanitost rostlin, chemické vlastnosti půdy a přítomnost klíčových skupin půdní fauny, jako jsou například žížaly (Józefowska et al., 2023; Woś et al., 2018).

2.4. Spontánní sukcese

Spontánní sukcese na výsypkách neboli samovolné zarůstání těchto člověkem vytvořených stanovišť je proces, při kterém se na výsypkách postupně vyvíjí vegetace a následně i celá společenstva organismů bez cíleného lidského zásahu. Výsypky, obvykle vznikající jako důsledek těžby uhlí, představují z ekologického hlediska specifické prostředí (Vojar et al., 2016).

Počáteční fáze: V prvních letech po těžbě je výsypka charakteristická nepříznivými podmínkami pro život. Půda je chudá na živiny, má vysoké pH a nízkou mikrobiální aktivitu.

Vegetaci dominují nenáročné druhy, jako je vrbovka úzkolistá (*Epilobium angustifolium*) a třtina křovištní (*Calamagrostis epigejos*) (Křišťůfek et al., 2005).

Střední fáze: V průběhu 15 až 25 let dochází k postupnému zlepšování půdních podmínek. Zvyšuje se obsah organické hmoty, snižuje se pH a roste mikrobiální aktivita. Objevují se keře, jako je vrba jíva (*Salix caprea*), a zvyšuje se diverzita rostlinných i živočišných druhů (Woś et al., 2023).

Pozdní fáze: Po 25 letech se na výsypce může vytvořit uzavřený lesní porost s dominancí břízy bělokoré (*Betula pendula*) a topolu osiky (*Populus tremula*). Půdní podmínky se dále zlepšují a mikrobiální společenstva se stabilizují (Woś et al., 2023).

Faktory ovlivňující spontánní sukcesí

Půda: V důsledku těžby uhlí vzniká na výsypkách půda s extrémně vysokým pH, která omezuje růst většiny rostlinných druhů. Pouze druhy adaptované na extrémní podmínky jsou schopny zde přežít. Kromě vysokého pH ovlivňují procesy sukcese na výsypkách také faktory jako je dostupnost vody. Dostatek vláhy je zásadní pro rozvoj vegetace, zejména v počátečních fázích sukcese. Kvalita a množství organické hmoty ovlivňují tvorbu půdy a poskytování živin pro rostliny (Frouz, Elhottová, et al., 2007; Kuráž et al., 2012).

Terén: Výsypky s nerovným povrchem, připomínajícím vlny, podporují rozvoj dřevin, jako jsou vrba jíva (*Salix caprea*) a bříza bělokorá (*Betula pendula*). Naopak zarovnané plochy zarůstají spíše travinami, zejména třtinou křovištní (*Calamagrostis epigejos*), která může sukcesí zpomalovat (Frouz et al., 2018).

Fauna: Živočichové, zejména ti žijící v půdě, jako jsou žížaly a stonožky, hrají nezastupitelnou roli při ekologických procesech probíhajících na výsypkách. Rozkládají organickou hmotu, čímž uvolňují živiny a vytvářejí humus. Tím zlepšují fyzikální vlastnosti půdy a podporují růst rostlin. Žížaly, například *Aporrectodea caliginosa*, jsou v tomto procesu klíčové. V pozdějších fázích sukcese mohou živočichové, jako jsou hlodavci, někteří bezobratlí a velcí obratlovci (např. srnci, jeleni), ovlivňovat druhové složení vegetace prostřednictvím konzumace rostlinné biomasy a šíření semen. Okus velkých býložravců může významně ovlivnit druhovou skladbu a strukturu vegetace (Křišťůfek et al., 2005; Roubíčková et al., 2009; Roubíčková & Frouz, 2014).

Flóra: S postupující sukcesí a rozvojem vegetace se vlastnosti půdy výrazně mění. Rostliny ovlivňují půdní vlastnosti svými kořeny, odumřelou biomasou a vylučovanými látkami. Například třtina křovištní (*Calamagrostis epigejos*), která jako první kolonizuje narušené plochy s nízkým obsahem dusíku, výrazně mění půdní podmínky. Díky svému hustému kořenovému systému a produkci velkého množství opadu potlačuje růst jiných rostlin a vytváří chudé půdní prostředí, které je pro některé druhy nepříznivé (Roubíčková et al., 2012; Veselá et al., 2018).

Čas: Spontánní sukcese je dlouhodobý proces, který může trvat desítky let, než se na výsypce vytvoří stabilní ekosystém. Nicméně, i v raných fázích sukcese dochází k významným změnám v biodiverzitě a ekosystémových funkcích. Výzkumy ukazují, že již po 30–40 letech může být biodiverzita spontánně obnovovaných ekosystémů vyšší než na místech, kde byla provedena cílená rekultivace (Roubíčková & Frouz, 2014; Woś et al., 2023).

Klima: Klimatické podmínky, zejména teplota a srážky, hrají zásadní roli v určování toho, které rostlinné druhy se na výsypkách úspěšně usadí a jak rychle se zde bude vyvíjet vegetace.

- **Teplota:** Ovlivňuje rychlost rozkladu organické hmoty, aktivitu půdních organismů a dostupnost živin. Vyšší teploty obecně urychlují tyto procesy, zatímco nižší teploty je zpomalují. Teplota také přímo ovlivňuje fyziologické procesy rostlin, jako je fotosyntéza a transpirace, a tím i jejich růst a přežití.
- **Srážky:** Dostatek srážek je nezbytný pro růst rostlin a ovlivňuje dostupnost vody v půdě. V suchých podmínkách je sukcese často pomalejší a dominují druhy odolné vůči suchu. Naopak vlhčí klima podporuje rychlejší vývoj vegetace a umožňuje růst druhů náročnějších na vodu.
- **Sluneční záření:** Ovlivňuje teplotu půdy a vzduchu, intenzitu fotosyntézy a rozklad organické hmoty. Vyšší intenzita slunečního záření může urychlit rozklad a uvolňování živin.
- **Extrémní klimatické jevy:** Extrémní události, jako jsou sucha, povodně nebo mrazy, mohou významně narušit průběh sukcese. Například dlouhodobé sucho může způsobit úhyn rostlin a zpomalit obnovu vegetace. Naopak povodně mohou odnést půdu a semena a taktéž zpozdit sukcesí.
- **Vítr:** Rozptyluje semena, ovlivňuje evapotranspiraci a může mechanicky poškodit rostliny a způsobit erozi (Angst et al., 2024; Brom et al., 2012; Fekete et al., 2014; Kuráž et al., 2012; Wagner et al., 2010).

2.5. Uchycení a vývoj dřevin během primární sukcese

Uchycení a vývoj vegetace v nově vzniklé pusté krajině, tzv. primární sukcese, je zajímavým jevem, který je řízen složitou souhrou faktorů. Klíčovou roli v tomto procesu hraje mikroklima, lokalizovaný soubor podmínek prostředí v rámci většího ekosystému. Toto mikroklima je zase silně ovlivňováno samotnou vegetací, kterou podporuje a vytváří tak dynamickou smyčku zpětné vazby (De Frenne et al., 2021).

Složité mozaika mikrostanovišť v lese poskytuje rozmanité prostředí pro zakládání semenáčků. Tato mikrostanoviště, charakterizovaná rozdíly v dostupnosti světla, vlhkosti půdy a teplotě, mohou významně ovlivnit klíčení semen a přežívání semenáčků (Grubb, 1977). Například pod padlými kmeny nebo ve štěrbinách skal mohou stínomilné druhy nalézt útočiště před ostrým přímým slunečním světlem, které může mladé semenáčky vysušit. Naopak na obnažených místech minerální půdy vytvořených padlými stromy nebo narušených živočichy mohou díky zvýšené dostupnosti světla prosperovat světlomilné pionýrské druhy. Tato mikrostanovištní heterogenita hraje zásadní roli při podpoře druhové rozmanitosti během primární sukcese (Hilmers et al., 2018). Jedním z těchto mikrostanovišť může být také terénní vlna utvořená na výsypkách, která může chránit z jedné či druhé strany před okolními faktory (Reitschmiedová et al., 2022). Pionýrské druhy stromů se šíří převážně větrem, což jim umožňuje rychle kolonizovat nová místa, nicméně i tak mají jednotlivé druhy různé strategie, jak nové plochy kolonizovat (Reitschmiedová et al., 2022).

Úspěšnost primární sukcese závisí na postupném hromadění živin v neúrodné krajině. Zpočátku je dostupnost základních živin, jako je dusík, fosfor a draslík, často omezená. Pionýrské druhy se svými skromnými nároky na živiny a adaptacemi pro přežití v drsných podmínkách připravují půdu pro pozdější druhy (LeBauer & Treseder, 2008). Tyto pionýrské druhy prostřednictvím procesů, jako je fixace dusíku bobovitými rostlinami nebo rozklad vlastních tkání, obohacují půdu a činí ji příznivější pro náročnější druhy. S postupujícím sukcesním procesem se díky vývoji komplexního půdního profilu se zvýšeným obsahem organické hmoty dále zvyšuje dostupnost živin a schopnost zadržovat vodu, což vytváří předpoklady pro rozmanitější a vyspělejší lesní ekosystém (Ramakrishnan et al., 2021).

2.6. Spontánní sukcese vs. rekultivace

Spontánní sukcese a technická rekultivace jsou dva odlišné přístupy k obnově narušených stanovišť, jako jsou například výsypky po těžbě uhlí. Spontánní sukcese je proces, kdy se vegetace a další organismy usazují a vyvíjejí na narušeném stanovišti bez lidského zásahu (Frouz et al., 2008; Helingerová et al., 2010). Naproti tomu **technická rekultivace** zahrnuje aktivní lidský zásah, jako je například výsadba stromů, úprava půdních podmínek a další opatření, která mají urychlit obnovu ekosystému (Mudrák et al., 2010).

Oba přístupy mají své výhody a nevýhody. Technická rekultivace může být rychlejší a efektivnější z ekonomického hlediska, protože umožňuje kontrolu nad druhovým složením a strukturou vegetace. Může také pomoci v boji proti erozi půdy a zlepšení mikroklimatu. Na druhou stranu, spontánní sukcese může vést k větší biodiverzitě a přirozenějšímu ekosystému. Je také levnější, protože nevyžaduje nákladné zásahy (Mudrák et al., 2010).

Studie provedené na výsypkách po těžbě uhlí v Sokolovské pánvi ukázaly, že spontánní sukcese může být v některých případech stejně efektivní jako technická rekultivace, a to zejména pokud je cílem obnova biodiverzity. V oblastech s mírným klimatem a relativně příznivými půdními podmínkami se vegetace může obnovovat poměrně rychle i bez lidského zásahu. Nicméně, v oblastech s extrémními podmínkami, jako je například vysoká kyselost půdy, může být technická rekultivace nutná k nastartování procesu obnovy (Mudrák et al., 2010).

Výběr nejvhodnějšího přístupu k obnově narušených stanovišť by měl být založen na specifických podmínkách daného stanoviště, cílech obnovy a dostupných zdrojích. V některých případech může být nejvhodnější kombinace obou přístupů, kdy se technická rekultivace použije k vytvoření základních podmínek pro následnou spontánní sukcesí (Frouz et al., 2015; Mudrák et al., 2010).

2.7. Pozdně sukcesní druhy dřevin na výsypkách

Pozdně sukcesní dřeviny, jako jsou jedle, buk, dub, smrk a javor se uchycují teprve tehdy, když pionýrské druhy, jako je bříza, vrba a osika, vytvoří vhodné podmínky ve stávajícím porostu. Tyto pionýrské druhy jsou světlomilné a rychle rostoucí, čímž připravují půdu pro

následné uchycení náročnějších druhů. Postupem času klimaxové druhy, jako je dub letní a buk lesní, vytěsní pionýrské stromy první generace a vytvoří klimaxový les, což je konečná fáze sukcese (Badraghi et al., 2023).

Ve své práci se zaměřuji na dva dominantní druhy klimaxových dřevin mírného pásu: dub letní a buk lesní. I když sdílí podobné nároky na stanoviště, liší se v požadavcích na světlo. Buk prospívá i v zastíněnějších podmínkách s 10 % světelnou propustností, zatímco dub vyžaduje pro svůj růst alespoň 20 % slunečního záření. (Ligot et al., 2013).

2.8. Dub letní (*Quercus robur*)

Dub (*Quercus*) je rod stromů z čeledi bukovitých. V České republice se vyskytují dva hlavní druhy: dub letní (*Quercus robur*) a dub zimní (*Quercus petraea*) (Kolář et al., 2012). Dub je považován za významnou dřevinu jak z ekologického, tak i hospodářského hlediska. Jeho dřevo je pevné a trvanlivé, a proto se používá ve stavebnictví, truhlářství a dalších odvětvích. V minulosti se žaludy používaly i jako potravina, například jako náhražka kávy (Václav et al., 1986).



Obrázek 2 - *Quercus robur* na Podkrušnohorské výsypce, autor Tereza Daňková

Vzhled a růst

Duby jsou statné stromy, které mohou dorůst výšky až 40 metrů a dožívají se stovek let. Charakteristické jsou pro ně listy s krátkým řapíkem a peřenolaločnatou, na bázi srdčité vykrojenou čepelí. Plodem dubu je nažka (žalud), která je uložena v miskovité číšce (Václav et al., 1986).

Rozmnožování

Stejně jako jeho příbuzný buk lesní se řadí mezi jednodomé druhy, to znamená, že se na jednom jedinci nalézají oddělené samčí a samičí květy. Samčí květy, žlutozelené barvy, se shromažďují v 3-5 centimetrových jehnědách, které visí v hroznech na stopkách. Samičí květy, oproti tomu, jsou jednotlivé, stopkaté a zdobí je červenavý kalich. Nalézají se na koncích větví (Václav et al., 1986).

Okolo září dozrávají plody – žaludy. Tyto oválné oříšky s hnědou skořápkou a špičkou na vrcholu dosahují délky 2-6 centimetrů. Jsou usazeny v miskovité číšce, která je zpočátku zelená a chlupatá, později hnědá a šupinatá (Václav et al., 1986).

Rozšíření a stanoviště

Dub letní se vyskytuje na různých typech půd, od písčitých až po vápencové, ale nejlépe se mu daří na stanovištích s mírnými podmínkami a dostupností živin. Bez lidského zásahu je na těchto místech často překonáván bukem lesním. V přírodních podmínkách se proto duby často nacházejí na stanovištích s extrémnějšími vodními podmínkami. Dub letní snáší i určitou míru záplav. Klimaticky je dub letní přizpůsoben atlantskému a submediteránnímu klimatu s mírnými zimami. Ve srovnání s jinými evropskými druhy stromů je dub letní spíše světlomilný a snáší pouze mírný stín. Dub letní se může dožít i 920 let, což zvyšuje jeho šance na rozmnožování i v nepříznivých podmínkách. Dub letní má širokou ekologickou niku a je plastický ve svém růstu, v závislosti na dostupnosti světla a hustotě porostu. Dub letní je odolný vůči silným bouřím, požárům a záplavám (Annighöfer et al., 2015; Götmark & Kiffer, 2014).

Quercus robur je primárně nížinný druh, přirozeně prosperující od hladiny moře až do nadmořské výšky asi 600 metrů. V některých oblastech, zejména v horských oblastech s mírnějším klimatem, se *Quercus robur* vyskytuje v mírně vyšších nadmořských výškách, ale tyto výskyty jsou méně časté (Annighöfer et al., 2015; Aszalós et al., 2017).

Quercus robur je dobře přizpůsoben mírným klimatickým pásmům Evropy. Tyto zóny se vyznačují: Teplá léta s průměrnými teplotami v rozmezí 15-25°C. Mírné zimy s průměrnými teplotami nad bodem mrazu (0 °C). Mírné srážky po celý rok, typicky v rozmezí od 600 do 1 000 milimetrů ročně (Aszalós et al., 2017).

Ekologické interakce a sukcese

Dub je považován za klimaxovou dřevinu, tedy takovou, která se v daném ekosystému dlouhodobě udržuje a obnovuje. To znamená, že v přírodních podmínkách bez zásahu člověka by dubové lesy (doubravy) dominovaly na mnoha místech (Čufar et al., 2008). V České republice se dub vyskytuje od nížin do podhůří, a to jak v čistých porostech, tak i ve směsi s jinými dřevinami (Václav et al., 1986).

Kořeny dubu se zapojují do symbiotického vztahu s mykorrhizními houbami. Tyto houby rozšiřují dosah kořenového systému a zvyšují příjem živin z půdy. Pomalý rozklad spadaneho dubového listí navíc vytváří humus, organickou hmotu bohatou na živiny, která zlepšuje strukturu půdy a úrodnost. To vytváří zpětnou vazbu, která podporuje růst budoucích generací dubu letního (Voříškova et al., 2014). Rozsáhlý kořenový systém dubů hraje zásadní roli při regulaci vodního toku. Působí jako přirozená přehrada, která zabraňuje erozi půdy a podporuje pomalou, stálou infiltraci, která doplňuje zásoby podzemní vody. Tím je zajištěna stálá dodávka sladké vody pro celý ekosystém a okolní oblasti (Dey et al., 2012).

Duby letní vykazují pozoruhodnou toleranci vůči různým environmentálním výkyvům. Jsou odolné vůči suchu, schopné odolat krutým zimám a mají určitý stupeň požární odolnosti díky své husté kůře. Tato odolnost jim umožňuje vytrvat a udržet si svou pozici v klimaxové komunitě, i když čelí stresovým vlivům (Kremer & Hipp, 2020). V českých lesech je zastoupen přibližně 6,6 %, ale přirozeně by měl být 19,4 % (LESY, n.d.).

Dub vs. globální změna klimatu

Zmírňování změny klimatu: Vyspělé dubové lesy jsou zběhlé v sekvestraci uhlíku. Ve své masivní biomase ukládají obrovské množství atmosférického oxidu uhličitého, čímž zmírňují dopady změny klimatu. Výzkum naznačuje, že akr vzrostlého dubového lesa může sekvestrovat až šest tun oxidu uhličitého ročně (Voříškova et al., 2014).

2.9. Buk lesní (*Fagus sylvatica*)

Řadí se do čeledi Fagaceae – bukovité. Buk lesní je jedním z ekonomicky nejvýznamnějších listnatých stromů Evropy. Jeho dřevo je tvrdé, těžké a pevné, ale chybí mu pružnost. Jádrové dřevo není výrazně odlišeno od běle a dřevo bývá obecně světle růžové až červenohnědé barvy. Ačkoli není vhodné pro venkovní použití, dřevo buku lesního je vysoce ceněné pro různé účely, včetně výroby ohýbaného nábytku, dých, překližek a parketových podlah. V minulosti se využívalo také k výrobě dřevěného uhlí. Bukvice jsou jedlé, ale v syrovém stavu mohou být pro některé osoby mírně jedovaté. Pražení nebo jiná tepelná úprava účinně snižuje jejich toxicitu (internetový zdroj 1 - Uhu).



Obrázek 3 - *Fagus Sylvatica* na Podkrušnohorské výsypce, autor Tereza Daňková

Vzhled a růst

Buk lesní obvykle dorůstá výšky 30–40 m a vykazuje majestátní vzrůst. Kmen je štíhlý a válcovitý, zatímco koruna zpočátku vyvíjí kuželovitý tvar, který se nakonec přemění v širokou, zaoblenou nebo rozložitou formu. Tato adaptabilita tvaru koruny činí z buku lesního druh s variabilním růstovým habitem. Kořenový systém má srdčitý tvar s robustními, rozložitými

kořeny. Během celého života stromu zůstává kůra hladká a šedá až šedobílá, zřídka se tvoří trhliny, s výjimkou báze (Giesecke et al., 2007).

Listy buku lesního jsou jednoduché, vejčité až eliptické, s krátkou špičkou a široce klínovitou základnou. Mají tmavě zelený, lesklý horní povrch a světlejší spodní stranu s chloupky, alespoň podél žilkování. Okraje listů jsou celé až mírně zubaté a vlněné. Mladé listy jsou po rozvinutí pokryté jemnými chloupky na obou stranách s dlouhými chlupy podél okrajů (Václav et al., 1986).

Rozmnožování

Buk lesní je jednodomý druh, na jednom jedinci se vyskytují oddělené samčí a samičí květy. Kvetení probíhá současně s rozvojem listů v květnu. Samčí květy, nebo jehnědy, jsou kulovité, žlutozelené a visí v hroznech na 2-3 cm dlouhých stopkách. Samičí květy jsou sdružené po dvou v načervenalé, šupinaté číšce o délce 15-25 mm, umístěné na dlouhých výhonech (Václav et al., 1986).

Plodem buku lesního jsou bukvice, 10–15 mm dlouhé tříhranné oříšky (nažky) s ostrými hranami a špičatým vrcholem. Dvě bukvice jsou uzavřeny v dřevnaté, bodlinaté číšce, která se po dozrání otevírá čtyřmi chlopněmi. Bukvice dozrávají od září do října (Václav et al., 1986).

Rozšíření a stanoviště

Přirozený areál rozšíření buku lesního (*Fagus sylvatica*) zahrnuje střední, západní a jižní Evropu. Daří se mu v oblastech s oceánským nebo suboceánským klimatem, charakterizovaným ročním úhrnem srážek v rozmezí 800 až 1000 mm. Vertikálně se jeho rozšíření pohybuje od 17 do 2000 metrů nad mořem. V rámci České republiky je buk lesní rozšířený. Optimální růstové podmínky nachází v nadmořských výškách mezi 500 a 800 metry nad mořem, ačkoli běžně se vyskytuje mezi 300 a 1000 metry. Buk lesní preferuje čerstvé, vlhké, dobře provzdušněné půdy bohaté na humus a minerály, často s vápnitým složením. Nesnáší zamokřené, utužené, suché nebo písčité půdy (Denk et al., 2002; Fang & Lechowicz, 2006).

Ekologické interakce a sukcese

Buk lesní vykazuje vysokou toleranci vůči stínu. Tato tolerance mu umožňuje vytvářet víceúrovňové, často nepromíchané porosty. Hustý strop vytvořený bukem lesním může účinně potlačovat růst většiny ostatních stromových druhů. Pomalu se rozkládající opad vytváří na zemi silnou vrstvu humusu, která zadržuje vláhu a vytváří příznivé podmínky pro klíčení semen buku. Zároveň tato vrstva brání růstu semenáčků konkurenčních rostlin, čímž buk dále upevňuje svou dominanci (Fuchs et al., 2024).

Buk lesní je považován za klimaxové dřevinu v mnoha částech svého areálu, což znamená, že dominuje v pozdních stádiích ekologické sukcese. Jeho tolerance stínu, schopnost potlačovat konkurenty prostřednictvím hustého pokryvu korunou a opadáváním listů, odolnost vůči chorobám a škůdcům a dlouhověkost přispívají k jeho postavení klimaxového druhu (Musara & Maroyi, 2020). V Českých lesech se objevuje totožně jako dub – tedy 6,6 %, ale přirozeně by na našem území jasně dominoval – 40,2 %. (LESY, n.d.)

Buk vs. globální změna klimatu

Smíšené lesy s bukem lesním vykazují ve srovnání s monokulturami smrku ztepilého vyšší odolnost vůči suchu a škůdcům. Tato odolnost je klíčová pro zvládnutí klimatických extrémů, jako jsou sucha a záplavy, které jsou v důsledku změny klimatu stále častější. Například studie provedená v Jizerských horách ukázala, že smrk ztepilý byl náchylnější k negativním dopadům sucha a znečištění ovzduší v monokulturách ve srovnání se smíšenými porosty s bukem lesním (Pajtlík et al., 2013; Vacek et al., 2019).

Některé vědecké práce zdůrazňují význam podpory přirozené obnovy a diverzifikace lesních porostů jako klíčové strategie pro zmírnění negativních dopadů změny klimatu. Různorodé lesy s bukem lesním jsou odolnější a lépe se přizpůsobují měnícím se podmínkám (Fuchs et al., 2024; Vacek et al., 2019).

2.9.1 Porovnání buku a dubu

Nároky na světlo: Dub letní (*Quercus robur*) je na rozdíl od buku lesního (*Fagus sylvatica*) spíše světломilný a toleruje pouze mírné zastínění (Beinhofer, 2010). Dub letní vykazuje zvýšený výškový růst při přímém slunečním záření, zatímco růst buku je v těchto podmínkách méně ovlivněn. Buk je naopak schopen se úspěšně vyvíjet i v podmínkách s převládajícím rozptýleným světlem (Ligot et al., 2013).

Kompetice: Vzhledem k vyšší toleranci buku k zastínění často v konkurenci o světlo dub letní překonává (Mölder et al., 2019). Na stanovištích s dostatkem světla však dub roste rychleji než buk. Výška dubu je významně ovlivněna konkurencí ostatních stromů (Ligot et al., 2013). Studie prokázaly, že v oblastech, kde se vyskytují oba druhy, se buk často nachází v hustších porostech a dub na otevřenějších prostranstvích (Mölder et al., 2019).

Půdní podmínky: Oba druhy se vyskytují na široké škále půdních typů (Bobiec et al., 2011). Dub letní se vyskytuje od písčitých až po vápencové půdy, zatímco buk preferuje spíše humózní a vlhčí půdy (Mölder et al., 2019).

Dlouhověkost: Dub letní se dožívá i 920 let, což mu poskytuje výhodu v rozmnožování i v nepříznivých podmínkách (Attocchi & Skovsgaard, 2015). Buk lesní má kratší životní cyklus (Mölder et al., 2019).

Závěrem lze říci, že buk lesní je konkurenčně silnější v podmínkách se silnějším zastíněním, zatímco dub letní preferuje stanoviště s dostatkem světla. Rozdíly v jejich ekologických nárocích vedou k odlišnému rozšíření a růstovým strategiím.

3. Materiál a metody

3.1 Popis lokality

Lokalita mého výzkumu je součástí Velké Podkrušnohorské výsypky. Velká Podkrušnohorská výsypka se nachází v Karlovarském kraji v oblasti Sokolovska, konkrétně mezi obcemi Lomnice, Boučí, Dolní Nivy a Vintířov a Vřesová (viz Obrázek 4). S rozlohou 1957 hektarů je největší výsypkou v regionu a jednou z největších v České republice. Vznikla postupným navrstvováním nadložních hornin z okolních lomů a následným sloučením s několika dalšími výsypkami. Tato výsypka se tak stala homogenní antropogenní formací na zbytcích sedimentů z období oligocénu. Nadmořská výška se pohybuje mezi 470 a 505 metry.



Obrázek 4 - Umístění výsypky v rámci ČR, Mapy.cz



Obrázek 5 - Bližší pohled na umístění výsypky v rámci Karlovarského kraje, Mapy.cz

Výsypky v sokolovské hnědouhelné pánvi se skládají z třetihorních jílu, které byly vyneseny na povrch z hloubek až 200 metrů. Tyto jíly se vyznačují vysokým obsahem živin. V

počátečních fázích sukcese je pH substrátu 8-9, ale s postupující sukcesí se snižuje. Hlavními minerály v tomto materiálu jsou kaolinit, illit, uhličitán vápenatý a křemen. Na nejstarší lokalitě (41 let) dosahuje obsah celkového fosforu 1980 mg/kg, na nejmladších lokalitách se spontánní sukcesí je to 881 mg/kg. Obsah fosilních organických látek se pohybuje mezi 2-2,1 % objemu půdy a v čerstvě uloženém materiálu se nevyskytuje žádná recentní organická hmota (Roubíčková & Frouz, 2014).

Povrch výsypek neutváří rovinu, ale charakterizují je podélné řady depresí a vyvýšenin, které vznikly při sypání materiálu. Výška těchto "vln" dosahuje jednoho až dvou metrů a jejich rozestup je zhruba šest metrů. Tyto vlny ovlivňují mikroklima a biodiverzitu na výsypkách (Roubíčková & Frouz, 2014).

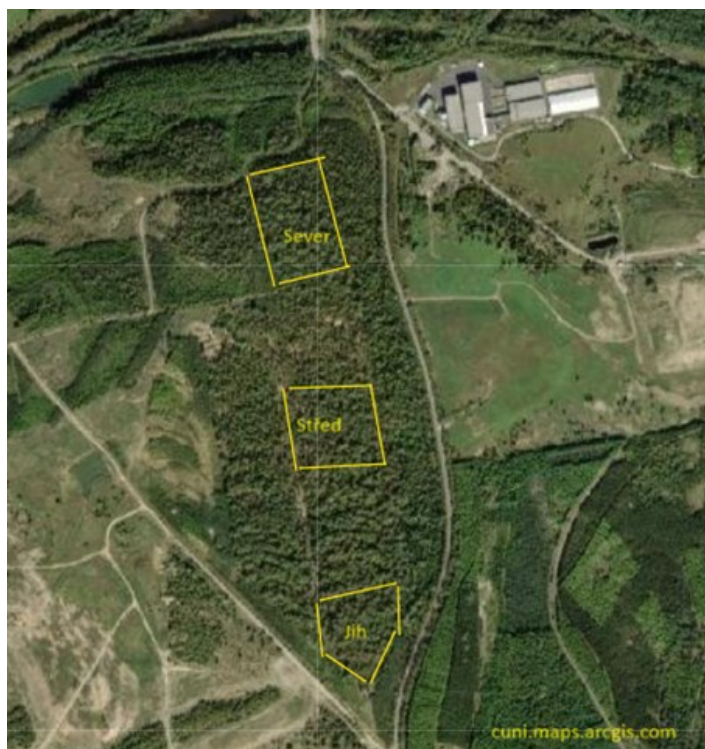
Na některých výsypkách v sokolovské pánvi probíhá spontánní sukcese, při níž se postupně obnovuje vegetace a půdní organismy (Frouz, 2008). Během prvních 14 let se na výsypkách vyskytují jen sporadicky byliny a trávy, jako je podběl lékařský a třtina křovištní. Později se objevují keře, například vrba jíva (Frouz & Nováková, 2005). Výzkum ukázal, že přirozená sukcese může být z dlouhodobého hlediska efektivnější než technická rekultivace. Po 30-40 letech se na spontánně zarůstajících plochách vyvinuly rozmanitější rostlinná a živočišná společenstva než na rekultivovaných (Roubíčková & Frouz, 2014).

Důležitou roli v obnově ekosystémů na výsypkách hrají žížaly. Objevují se po cca 23 letech od vzniku výsypky a jejich aktivita vede k tvorbě organominerální humusové vrstvy (Mudrák et al., 2012). Studie zkoumající vliv žížal a další saprofágní makrofauny na mikrostrukturu půdy v rekultivovaných a nerektivovaných výsypkách v sokolovské pánvi ukázala, že žížaly významně ovlivňují strukturu půdy a tvorbu humusových forem (Frouz, Pižl, et al., 2007).

3.2. Terénní sběr dat

Před zahájením terénního průzkumu byla studovaná oblast rozdělena do tří zón – severní, jižní a střední (viz obrázek 6). Každá část byla propojena od východní po západní stranu pruhy. Každá z těchto zón obsahovala alespoň 15 výsypkových vln. Jižní část měla rozlohu 12 650,17 m², střední část pokrývala 16 867,10 m² a severní část 26 099,18 m². Postupně jsem každou plochu prošla, co možná nejpečlivěji a na každé z nich jsem strávila alespoň 8 hodin. Celkově jsem na výsypce byla 7krát. Pokaždé jsem tam strávila přibližně 4 hodiny. Semenáčky jsem hledala v listopadu a prosinci. Z hlediska vegetačního období byl listopad a prosinec

považován za optimální období pro hledání semenáčků, zejména díky výraznému kontrastu oranžovohnědých listů dubu a buku oproti holému podrostu ostatních dřevin.



Obrázek 6 - Rozložení výsypky na jižní, střední a severní část, maps.arcgis.com

Při nalezení semenáčku jsem si vždy zaznamenala jeho výšku, šířku kmene u země, délku letorostu a polohu na svahu vzhledem k výsypkovým vlnám a přesné GPS souřadnice. V neposlední řadě jsem si zaznamenala také rod (buk/dub) a jeho souřadnice. V případě, že byl semenáček okousán zvěří do takové míry, že nebylo možné nalézt poslední letorost, jsem tuto skutečnost zaznamenala. Pro orientaci v terénu a prevenci duplicitních záznamů byly semenáčky označeny transparentním sprejem.

Souřadnice jsem zaznamenávala pomocí GPS lokátoru Trim (obrázek 7). Výšku stromu jsem měřila svinovacím metrem a tloušťku kmene a délku letorostu pomocí posuvného měřítka.



Obrázek 7 - Ukázka průběhu měření semenáčku buku na Podkrušnohorské výsypce, autor Tereza Daňková

Během mého sběru dat jsem našla celkem 422 semenáčků buků a dubů. Z toho bylo 101 dubů a 324 buků.

3.3. Zpracování dat

Body z GPS lokátoru se převedly do prostředí ArcGIS a přidaly se k nim také body buků/dubů z předchozích výzkumů. V tomto programu se propojily se satelitní mapou, kde je viditelné zapojení porostu. Po prostudování dat bylo patrné, že v předchozích letech se sbíraly souřadnice buků na jiných místech než souřadnice dubů. Bylo tedy potřeba pro některé typy analytického zpracování na to myslet a použít pouze body z kýžených lokalit. Tedy pro porovnání historie a přítomnosti jsem si na mapě namalovala pomyslnou čáru, kde ještě body budu počítat a kde už ne, protože bylo patrné, že za touto hranicí již moje předchůdkyně nebo já nebyla.

Porovnání historických dat se současností

Ve své práci jsem porovnávala výskyt dubů a buků s dřívějšími údaji (Frouz et al., 2015). Pro toto porovnání jsem musela počítat s nepřesností GPS lokátoru. Vzhledem k proměnlivému Max. PDOP jsem si určila vlastní hranici tří metrů. Tedy pokud se původní bod buku nacházel

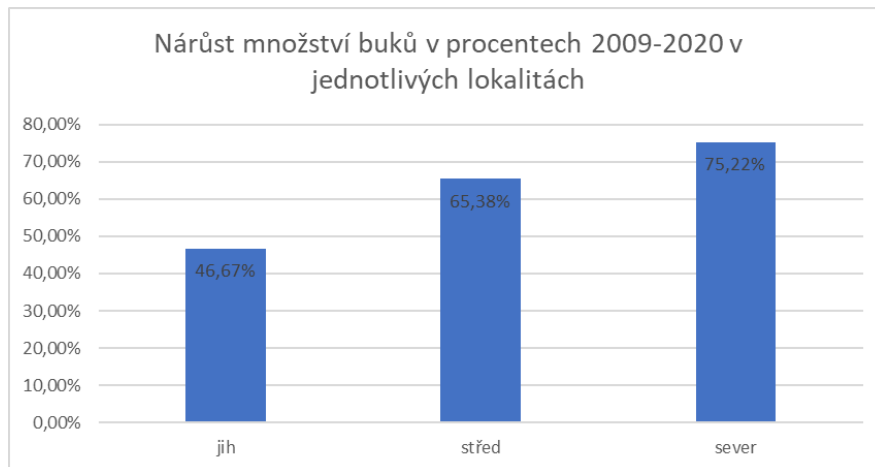
méně než tři metry od současného buku, tak jsem ho započítala jakožto stejného (přeživšího) jedince. Pakliže se v místě nacházelo bodů více, tak jsem počítala pouze ten nejbližší. Vzdálenosti bodů jsem měřila pomocí funkce ArcGIS pro měření vzdálenosti bodů. Aby nedošlo k opětovnému změření nějakého bodu, použila jsem funkci „sketch“ a postupně jsem všechny započtené body skryla v namalovaných obdélnících.

4. Výsledky

4.1 Analýza dat

4.1.1 Počty semenáčků a jejich složení – buky

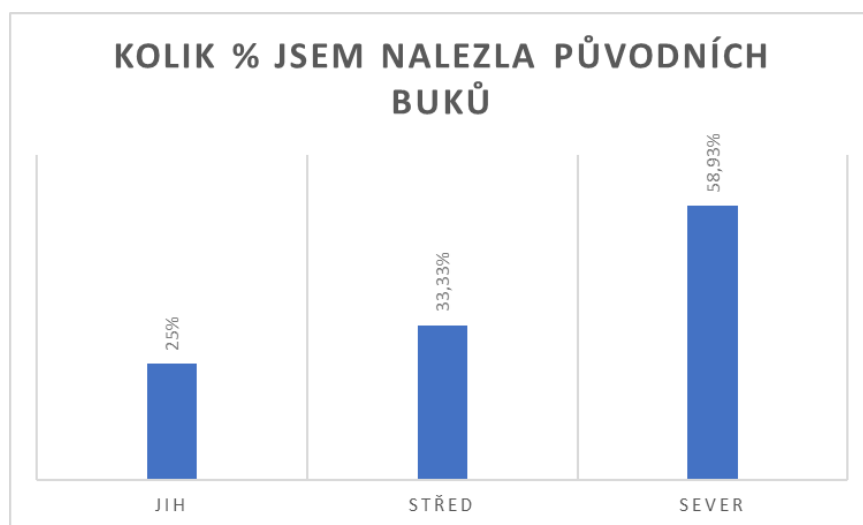
Buky byly v roce 2009 na stejném území zmapované kolegyní. Já jsem je opět po 11 letech zmapovala a pozorovala jejich vývoj.



Obrázek 8 - Graf ukazující nárůst počtu jedinců buků za 11 let. Excel

Všechny tři lokality zaznamenaly nárůst množství buků (obrázek 8). Nejvýraznější nárůst byl zaznamenán v severní části výsypky (o 75 %), zatímco nejnižší nárůst byl zaznamenán v jižní části výsypky (o 47 %).

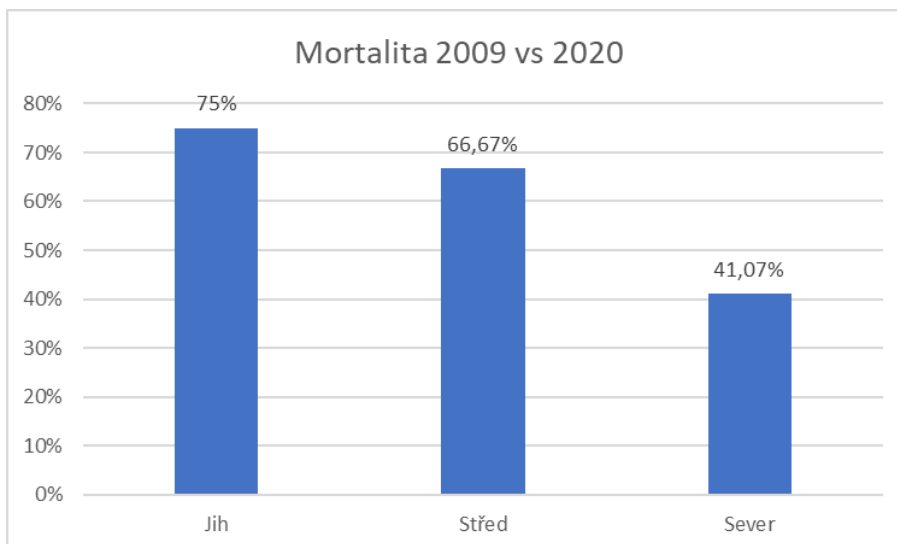
Z původních semenáčků jsem našla pouze množství patrné na dalším grafu:



Obrázek 9 - Graf ukazující procenta přeživších (znovu nalezených) jedinců buků na jednotlivých částech výsypky.

Všechny tři lokality zaznamenaly různé míry přežití semenáčků. Nejvyšší míru přežití měly semenáčky na severu (58,93 %), zatímco nejnižší míru přežití měly semenáčky na jihu (25 %) (obrázek 9).

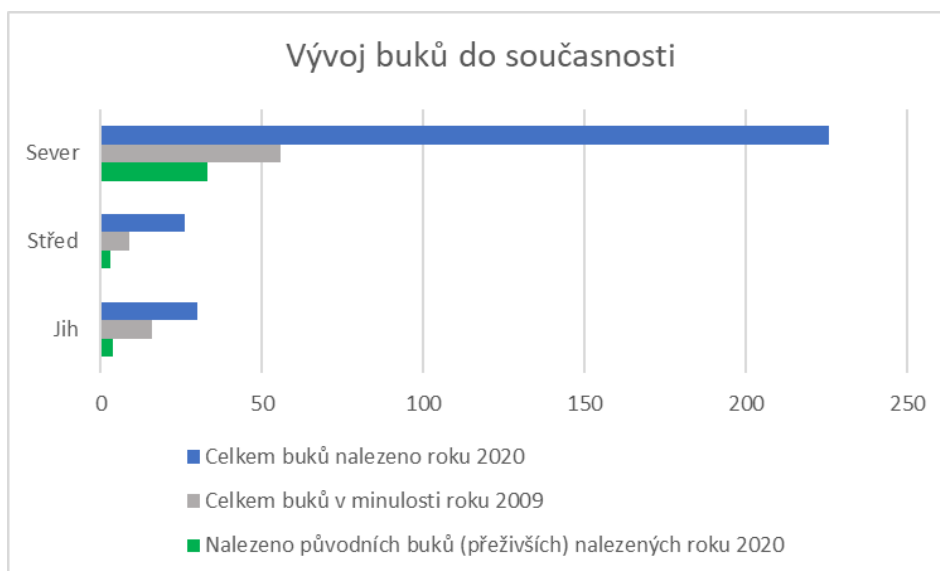
Mortalita buků



Obrázek 10 - Graf ukazující, kolik procent buků zahynulo na daných územích během 11 let.

Když se na data podíváme z opačného konce, tak mortalita na severu byla 75 %, 67 % ve středu a 41 % na severu (obrázek 10).

Vývoj buků v čase a prostoru

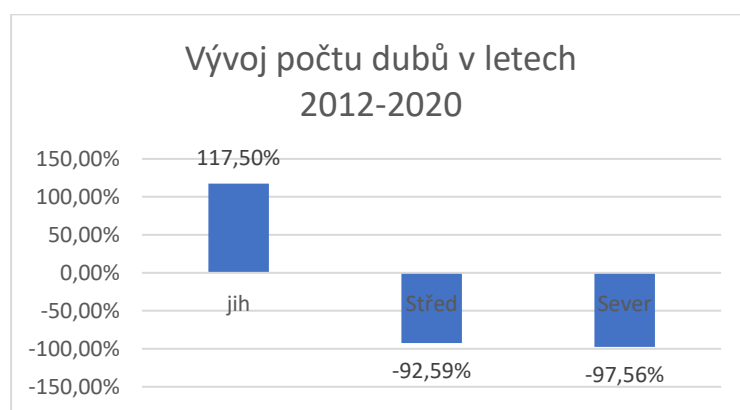


Obrázek 11 - Graf ukazující celkové počty buků v minulosti oproti současnosti s ukázkou, kolik z nich jsou přeživší jedinci.

Čím severněji jsem tedy byla, tím větší šanci přežítí jedinci měli (obr. 11). Nejenže tedy na severu semenáčky lépe přežívají, ale také se tam rychleji uchycují. Přesný opak platí o jihu. Nicméně i přes vysokou mortalitu na jihu se stále daří zvyšovat populaci.

4.1.2 Počty semenáčků a jejich složení – duby

Duby mají překvapivě velice odlišný trend než buky. Původní data pocházejí z roku 2012 a nová data jsou 8 let později tedy 2020. I tak je vidět opačný trend.

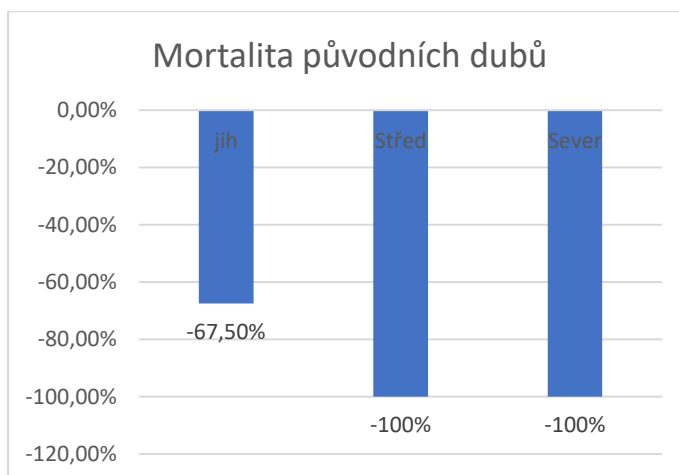


Obrázek 12 - Graf ukazující vývoj dubů během 8 let na jednotlivých částech výsypky.

U tohoto prvního grafu (obrázek 13) je vidět, že počet dubů na výsypce ve střední a severní části výsypky rapidně poklesl. Naopak počet dubů na jihu je výrazně vyšší.

Mortalita dubů

Mortalita původních jedinců je také obrovská, jak je vidět na následujícím obrázku č. 14

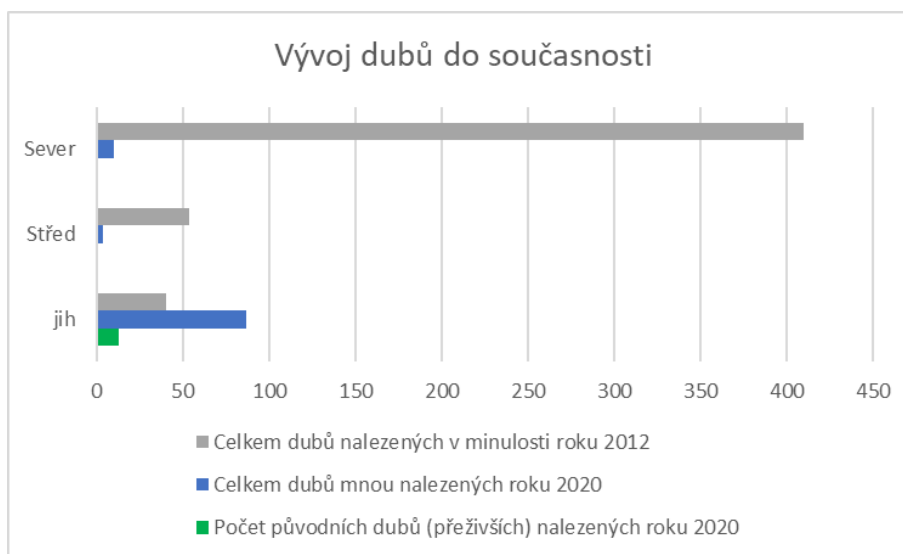


Obrázek 14 - Graf ukazující úmrtnost původních semenáčků dubů z roku 2012 do roku 2020 v jednotlivých lokalitách výsypky.

Tedy ve střední a severní části výsypky nebyl nalezen roku 2020 ani jeden jedinec nalezen roku 2012. Můžeme tedy předpokládat, že v těchto dvou oblastech všechny původní duby vymizely. Na jihu byla situace mnohem lepší, ale i tak tam mortalita dosáhla téměř 68 %.

Vývoj dubů v čase a prostoru

Na následujícím obrázku č. 15 je poukázáno na obrovský rozdíl mezi celkovým počtem dubů v severní lokalitě v roce 2012 oproti výskytu dubů roku 2020.

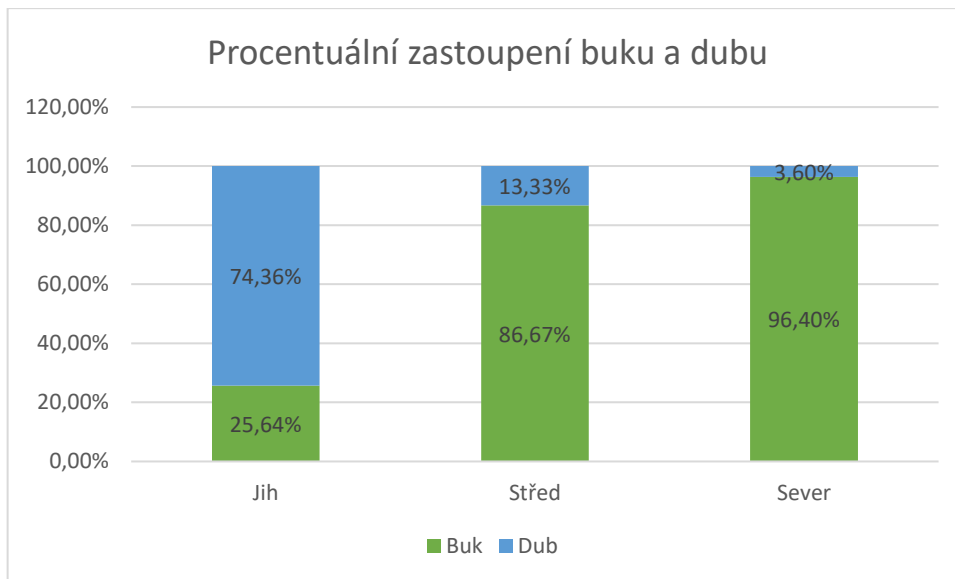


Obrázek 15 - Graf porovnávající celkové počty nálezů dubů v roce 2012 vs 2020. Zelenou barvou je zde patrné množství přeživších dubů.

Z těch poznatků je patrné, že dubům se stále v jižní lokalitě daří množit i přes obrovskou mortalitu mladých jedinců. V severní a střední lokalitě tomu tak však není.

Z dat vyplývá, že jižní v jižní lokalitě nejvíce prosperuje světlomilný dub, zatímco na severnějších lokalitách stínomilný buk.

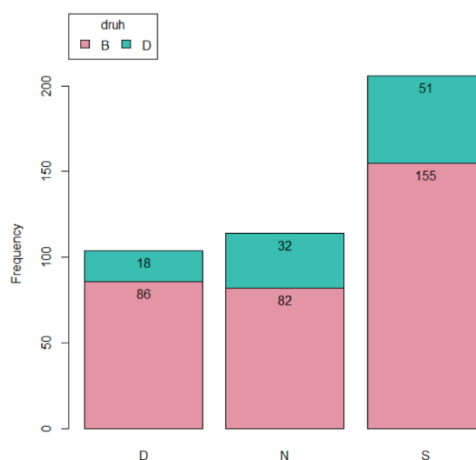
Prověřila jsem hypotézu, že existuje souvislost mezi druhem stromu a jeho preferencí umístění na výsypce (viz obrázek 16). K otestování jsem opět použila Pearsonův chí-kvadrátový test. Výpočet vedl k p-hodnotě $< 2,2e-16$, která indikuje vysoce statisticky významnou souvislost. Tato zjištění potvrzují, že druh stromu ovlivňuje jeho umístění na výsypce. Duby zjevně preferují jižní expozici, zatímco buky se spíše vyskytují v severnějších oblastech



Obrázek 13 - Graf ukazující procentuální zastoupení jedinců buku (zelená) vs dubů (modrá) na jednotlivých lokalitách.

4.1.3 Porovnání umístění buku a dubů na vlně – statistika

Prověřila jsem hypotézu, že existuje závislost mezi druhem stromu a jeho umístěním na vlně (svah, dole, rovina nahoře) (viz obrázek 17). K ověření jsem použila Pearsonův chí-kvadrátový test nezávislosti. Výpočet ukázal p-hodnotu 0,1642 ($p > 0,05$), která nesevídčí o statisticky významné závislosti. Na základě testovaných dat nelze prokázat vliv druhu stromu na jeho umístění na vlně.



Obrázek 14 - Graf ukazující množství buku (B) a dubů (D) na jednotlivých částech výsypkových vln (D = dole, N = nahore, S = svah), RStudio

4.2. Růst stromů

4.2.1 Buky

U buků byla signifikantní závislost výšky a průměru kmene buků na poloze na výsypce. Naopak poloha na vlně žádnou závislost neprokázala (viz tabulka 1).

Tabulka 1: Růstové parametry buků v jednotlivých oblastech výsypky a v jednotlivých polohách na vlně (první řádek průměr, druhý řádek sd). Vliv polohy na výsypce a na vlně byl testován dvoucestnou ANOVOU (tabulka shrnuje p hodnoty), malá písmena označují statisticky homogenní skupiny (LSD test $p < 0.05$).

Tabulka 1 - Vliv růstových parametrů buků na poloze na vlně a na poloze na výsypce

Poloha	výška cm	průměr kmene mm	přírůst cm
Dole	77,9	10,7	9,4
sd Dole	97,3	7,5	7,2
Nahoře	69,2	9,8	8,7
sd Nahoře	93,7	7,3	7,2
Svah	68,5	9,7	8,7
sd Svah	93,2	7,3	7,5
Jih	26,8b	6,0b	4,4
sd Jih	52,7	5,6	5,2
Střed	52,1b	8,9b	5,4
sd Střed	84,4	7,3	2,6
Sever	87,8a	11,4a	10,9
sd Sever	101,2	7,3	7,8
Vliv polohy			
na výsypce	<0.001	<0.001	ns
na vlně	ns	ns	ns

4.2.2 Duby

Na rozdíl od přežívání semenáčků dubů byl nejvyšší přírůst dubových semenáčků zaznamenán na plochách na severním svahu výsypky. Přírůsty zde byly statisticky významně vyšší než na plochách na jižním svahu a na vrcholu ve středu výsypky (viz tabulka 2). Ostatní růstové parametry se statisticky významně nelišily ani mezi polohou na svahu ani mezi polohou na výsypce.

Tabulka 2: Růstové parametry dubů v jednotlivých oblastech výsypky a v jednotlivých polohách na vlně (první řádek průměr druhý řádek sd). Vliv polohy na výsypce a na vlně byl testován dvoucestnou ANOVOU (tabulka shrnuje p hodnoty), malá písmena označují statisticky homogenní skupiny (LSD test $p < 0.05$).

Tabulka 2 - Vliv růstových parametrů dubů na poloze na vlně a na poloze na výsypce

Poloha	výška cm	průměr kmene mm	přírůst cm
Dole	15,1	5,2	3,1
sd Dole	11,0	3,7	4,6
Nahoře	21,1	5,5	4,3
sd Nahoře	44,0	7,4	4,3
Svah	11,8	3,4	2,6
sd Svah	7,7	1,6	1,6
Jih	14,8	4,4	2,8a
sd Jih	27,9	5,0	3,0
Střed	10,5	2,8	2,0a
sd Střed	3,8	1,3	0,6
Sever	24,2	4,4	7,5b
sd Sever	12,4	1,3	4,5
Vliv polohy			
na výsypce	ns	ns	0.1001
na vlně	ns	ns	ns

5. Diskuse

Moje studie potvrdila, že střední stádia sukcese na výsypkách jsou masivně kolonizována bukem lesním a dubem letním, které představují dva dominantní klimaxové druhy dřevin listnatých lesů střední Evropy. Dřívější studie (Spurná, 2021) prováděná na stejných plochách poukázala na úspěšné uchycení a rozvoj smrku, to potvrzuje dřívější výsledky (Badraghi et al., 2023), ukazující na to, že spontánně zarostlé plochy na výsypkách mají potenciál se vyvinout v listnatý či smíšený les, který se svým složením blíží rekonstrukční přirozené vegetaci. Moje studie ukazuje na lepší přežívání buků, což naznačuje, že v pozdějším stádiu lesa by buky mohly dominovat, naproti tomu (Badraghi et al., 2023) poukazuje na to, že pozdní stádia sukcese jsou dominována duby. Tento rozpor může souviset lokální variabilitou ve zdrojích semen. Kromě toho může být dán i s odlišnostmi v místních podmínkách. V mé studii se duby uplatňovaly lépe na jižním svahu, zatímco buky přežívaly lépe na svahu severním. To souvisí s ekologickými odlišnostmi obou druhů. Ačkoli tyto druhy často koexistují ve stejných lesních ekosystémech (Badraghi et al., 2023), jejich ekologické nároky se významně liší.

Buk lesní (*Fagus sylvatica*) je typickým stínomilným druhem, který preferuje vlhké, humózní půdy a mírné klima. Jeho schopnost regenerovat v zástínu mu umožňuje efektivně využívat prostor pod korunami starších jedinců a postupně je vytlačovat. Naproti tomu dub letní (*Quercus robur*) je světlomilný druh, který vyžaduje dostatek světla pro úspěšnou regeneraci. Je také tolerantnější k suchým podmínkám a chudším půdám (Plomion et al., 2016).

Rozdílné ekologické nároky buku a dubu mají zásadní vliv na jejich prostorové rozšíření a na druhovou skladbu lesních společenstev. Moje analýza historických a současných dat o rozšíření těchto druhů v Krušnohorské výsypce odhalila významné změny v jejich prostorovém zastoupení. Konkrétně bylo zjištěno výrazné snížení zastoupení dubu letního v severních lokalitách, a naopak značné rozšíření buku lesního. Tento trend potvrzuje hypotézu formulovanou Aysan Badraghi, podle které v raných fázích sukcese roste dub rychleji než buk (Wagner et al., 2010).

Na základě předpokladu, že druhy s blíže situovanými zdroji diaspor budou mít výhodu při kolonizaci nově vzniklých stanovišť, byla formulována první hypotéza, že dub letní, obvykle se vyskytující v blízkosti výsypek, bude úspěšnější při jejich kolonizaci ve srovnání s bukem lesním. Tato hypotéza je také v souladu s dřívějšími pozorováními (Frouz et al., 2015). Výsledky výzkumu však tuto hypotézu vyvrátily. Ačkoli v počátečních fázích sukcese mohly mít zdroje

diaspor v blízkosti výsypek významný vliv na rychlost a intenzitu kolonizace, data naznačují, že v současném stadiu sukcese je dominantním faktorem ovlivňujícím úspěšnost establishmentu a růstu dřevin zapojení okolního porostu a s ním spojené světelné podmínky. Získané výsledky ukazují, že význam jednotlivých ekologických faktorů se může v průběhu sukcese měnit. Zatímco v počátečních fázích mohou být rozhodující abiotické faktory, jako je vzdálenost zdroje diaspor, dostupnost živin a vodní režim, v pozdějších fázích se zvyšuje význam biotických interakcí. Podobné závěry o změně důležitosti jednotlivých faktorů v průběhu sukcese byly získány také v rámci studií (Brom et al., 2012; Dulias, 2010; Šálek et al., 2010).

Další hypotéza předpokládající vyšší mortalitu mladých jedinců obou studovaných druhů dřevin byla potvrzena. Na sledovaných výsypkách byla zjištěna výrazně vyšší mortalita semenáčků buku lesního (*Fagus sylvatica*) a dubu letního (*Quercus robur*) v prvních letech jejich života. Předpokládám, že tato zvýšená mortalita byla úzce spojena s intenzivním okusem ze strany lesní zvěře, která měla volný přístup na výsypku z okolních porostů. Mnoho semenáčků vykazovalo rozsáhlý okus, který v některých případech znemožnil jakékoliv měření letorostu.

Wós ve své studii (Woś et al., 2023) uvádí pastvu zvěře jako významný činitel ovlivňující druhové složení a pokryvnost vegetace. Tento závěr však kontrastuje s výsledky předchozí diplomové práce jeho kolegyně Ivany Janoušové (Janoušová, 2013), která při zkoumání vlivu okusu pomocí pokusu s oplocenkami nenalezla souvislost s přírůstem. Tedy je otázkou, co konkrétně hraje největší faktor ve zvýšené brzké mortalitě.

Řada studií (Antwi et al., 2008; Dulias, 2010; Hendrychová & Kabrna, 2016; Kompała-Bąba et al., 2020; Vojar et al., 2016), včetně práce (Šálek et al., 2010), ukazuje, že spontánní sukcese může vést k rozvoji bohatých a pestrých společenstev rostlin a bezobratlých. Šálek ve své studii specificky zkoumal výběr hnízdišť krahujce obecného (*Accipiter nisus*) na výsypkách po těžbě hnědého uhlí. Jeho výsledky prokázaly, že tento dravec preferuje oblasti s přirozeně se vyvíjejícími porosty břízy. Důležitým faktorem je zde strukturní diverzita prostředí, tedy přítomnost mozaiky různých typů vegetace, jako jsou stromové skupiny, otevřené plochy a okrajové úseky. Tato heterogenita poskytuje krahujcům optimální podmínky pro lov a hnízdění.

Z výše uvedeného vyplývá, že způsob rekultivace má zásadní vliv na strukturu biotopu a jeho atraktivitu pro různé druhy, včetně predátorů. Ponechání ploch spontánní sukcesí se jeví jako efektivní strategie pro podporu biodiverzity a obnovy ekosystémů na narušených územích. Strukturně pestrá krajina, která vzniká v důsledku spontánní sukcesy na výsypkách,

poskytuje vhodné podmínky pro život mnoha druhů organismů a přispívá k celkovému zvýšení stability ekosystému.

6. Závěr

V rámci této studie jsem se zaměřila na analýzu přirozené sukcese klimaxových dřevin na hnědouhelné výsypce, přičemž hlavní pozornost byla věnována srovnání kolonizační schopnosti buku lesního (*Fagus sylvatica*) a dubu letního (*Quercus robur*).

Studovaná oblast výsypky se vyznačuje výraznou terénní heterogenitou se zvlněnými tvary a rozdílnými vlastnostmi substrátu. Tato heterogenita vytváří rozmanité mikroklimatické podmínky, které ovlivňují rozšíření a růst semenáčků. Faktory jako orientace svahu, půdní vlhkost a světelné podmínky mohou hrát roli při určování vhodných stanovišť pro druhy jako dub a buk. Například severní část výsypky, která má tendenci být chladnější a vlhčí, poskytuje příznivější podmínky pro zakořenění buku, což potvrdila moje práce.

Z výše uvedeného vyplývá, že pro úspěšnou obnovu degradovaných ekosystémů je vhodné kombinovat prvky rekultivace s podporou přirozených sukcesních procesů. Cílem by mělo být vytvoření podmínek, které umožní spontánní vývoj ekosystému směrem ke stavu co nejbližšímu přirozenému. Toho lze dosáhnout například úpravou terénu do vln místo rovných ploch, vytvořením vhodného mikroklimatu a minimalizací antropogenního vlivu.

Moje práce zdůrazňuje komplexnost procesů sukcese a význam interakcí mezi jednotlivými ekologickými faktory. Výsledky této práce mohou přispět k lepšímu pochopení mechanismů kolonizace a sukcese dřevin na narušených stanovištích a mají významné implikace pro management těchto ekosystémů.

7. Použitá literatura

- Angst, Š., Mudrák, O., Frouz, J., Jílková, V., Schnablová, R., Straková, P., Veselá, H., & Angst, G. (2024). The effect of dead standing (marcescent) biomass on litter decomposition in herbaceous flora is governed by plant functional group. *Functional Ecology*, *38*(5), 1309–1319. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.14544>
- Annighöfer, P., Beckschäfer, P., Vor, T., & Ammer, C. (2015). Regeneration patterns of European oak species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus robur* L.) in dependence of environment and neighborhood. *PLoS ONE*, *10*(8). <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0134935>
- Antwi, E. K., Krawczynski, R., & Wiegleb, G. (2008). Detecting the effect of disturbance on habitat diversity and land cover change in a post-mining area using GIS. *Landscape and Urban Planning*, *87*(1), 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.03.009>
- Aszalós, R., Horváth, F., Mázsa, K., Ódor, P., Lengyel, A., Kovács, G., & Bölöni, J. (2017). First signs of old-growth structure and composition of an oak forest after four decades of abandonment. *Biologia*, *72*(11), 1264–1274. <https://doi.org/10.1515/BIOLOG-2017-0139>
- Attocchi, G., & Skovsgaard, J. P. (2015). Crown radius of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) depending on stem size, stand density and site productivity. *Scandinavian Journal of Forest Research*, *30*(4), 289–303. <https://doi.org/10.1080/02827581.2014.1001782>
- Badraghi, A., Krůček, M., Král, K., Reitschmiedová, E., Šálek, V., Kotápišová, M., Novotná, B., & Frouz, J. (2023). Woody species succession and spontaneous forest development in post-mining sites after coal mining in the Czech Republic. *Ecological Engineering*, *194*, 107051. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2023.107051>
- Beinhofer, B. (2010). Comparing the financial performance of traditionally managed beech and oak stands with roomy established and pruned stands. *European Journal of Forest Research*, *129*(2), 175–187. <https://doi.org/10.1007/S10342-009-0311-5>
- Bobiec, A., Jaszcz, E., & Wojtunik, K. (2011). Oak (*Quercus robur* L.) regeneration as a response to natural dynamics of stands in European hemiboreal zone. *European Journal of Forest Research*, *130*(5), 785–797. <https://doi.org/10.1007/S10342-010-0471-3>
- Bradshaw, A. (1997). Restoration of mined lands - Using natural processes. *Ecological Engineering*, *8*(4), 255–269. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(97\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(97)00022-0)
- Brom, J., Nedbal, V., Procházka, J., & Pecharová, E. (2012). Changes in vegetation cover, moisture properties and surface temperature of a brown coal dump from 1984 to 2009 using satellite data analysis. *Ecological Engineering*, *43*, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.03.001>
- Cablik, V., Hlavata, M., Janakova, I., & Tora, B. (n.d.). *Coal industry in Czech Republic*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/545/1/012001>
- Čufar, K., De Luis, M., Zupančič, M., & Eckstein, D. (2008). A 548-year tree-ring chronology of oak (*Quercus* spp.) for southeast slovenia and its significance as a dating tool and climate archive. *Tree-Ring Research*, *64*(1), 3–15. <https://doi.org/10.3959/2007-12.1>

- De Frenne, P., Lenoir, J., Luoto, M., Scheffers, B. R., Zellweger, F., Aalto, J., Ashcroft, M. B., Christiansen, D. M., Decocq, G., De Pauw, K., Govaert, S., Greiser, C., Gril, E., Hampe, A., Jucker, T., Klings, D. H., Koelemeijer, I. A., Lembrechts, J. J., Marrec, R., ... Hylander, K. (2021). Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda. *Global Change Biology*, 27(11), 2279–2297. <https://doi.org/10.1111/GCB.15569>
- Denk, T., Grimm, G., Stögerer, K., Langer, M., & Hemleben, V. (2002). The evolutionary history of *Fagus* in western Eurasia: Evidence from genes, morphology and the fossil record. *Plant Systematics and Evolution*, 232(3–4), 213–236. <https://doi.org/10.1007/S006060200044>
- Dey, D. C., Gardiner, E. S., Schweitzer, C. J., Kabrick, J. M., & Jacobs, D. F. (2012). Underplanting to sustain future stocking of oak (*Quercus*) in temperate deciduous forests. *New Forests*, 43(5–6), 955–978. <https://doi.org/10.1007/S11056-012-9330-Z>
- Doležalová, J., Vojar, J., Smolová, D., Solský, M., & Kopecký, O. (2012). Technical reclamation and spontaneous succession produce different water habitats: A case study from Czech post-mining sites. *Ecological Engineering*, 43, 5–12. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.11.017>
- Dulias, R. (2010). Landscape planning in areas of sand extraction in the Silesian Upland, Poland. *Landscape and Urban Planning*, 95(3), 91–104. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.12.006>
- Fang, J., & Lechowicz, M. J. (2006). Climatic limits for the present distribution of beech (*Fagus L.*) species in the world. *Journal of Biogeography*, 33(10), 1804–1819. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2699.2006.01533.X>
- Fekete, I., Kotroczó, Z., Varga, C., Nagy, P. T., Várбірó, G., Bowden, R. D., Tóth, J. A., & Lajtha, K. (2014). Alterations in forest detritus inputs influence soil carbon concentration and soil respiration in a central-european deciduous forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 74, 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.006>
- Fleming-Muñoz, D. A., Poruschi, L., Measham, T., Meyers, J., & Moglia, M. (2020). Economic vulnerability and regional implications of a low carbon emissions future. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 64(3), 575–604. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12356>
- Frantál, B. (2016). Living on coal: Mined-out identity, community displacement and forming of anti-coal resistance in the Most region, Czech Republic. *Resources Policy*, 49, 385–393. <https://doi.org/10.1016/J.RESOURPOL.2016.07.011>
- Frantál, B., & Nováková, E. (2014). Prokletí uhlí? Zkoumání nezamýšlených regionálních důsledků uhelné energie v České republice. *Moravian Geographical Reports*, 22(2), 55–65. <https://doi.org/10.2478/MGR-2014-0012>
- Frouz, J. (2008). The effect of litter type and macrofauna community on litter decomposition and organic matter accumulation in post-mining sites. *Biologia*, 63(2), 249–253. <https://doi.org/10.2478/S11756-008-0031-1/METRICS>
- Frouz, J., Elhottová, D., Pižl, V., Tajovský, K., Šourková, M., Pícek, T., & Malý, S. (2007). The effect of litter quality and soil faunal composition on organic matter dynamics in post-

- mining soil: A laboratory study. *Applied Soil Ecology*, 37(1–2), 72–80.
<https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2007.04.001>
- Frouz, J., Mudrak, O., Reitschmiedova, E., Walmsley, A., Vachova, P., Simackova, H., Albrechtova, J., Moradi, J., & Kucera, J. (2018). Rough wave-like heaped overburden promotes establishment of woody vegetation while leveling promotes grasses during unassisted post mining site development. *Journal of Environmental Management*, 205, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.065>
- Frouz, J., & Novakova, A. (2005). Development of soil microbial properties in topsoil layer during spontaneous succession in heaps after brown coal mining in relation to humus microstructure development. *Geoderma*, 129(1–2), 54–64.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.12.033>
- Frouz, J., Pizl, V., & Tajovsky, K. (2007). The effect of earthworms and other saprophagous macrofauna on soil microstructure in reclaimed and un-reclaimed post-mining sites in Central Europe. *European Journal of Soil Biology*, 43(SUPPL. 1).
<https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.08.033>
- Frouz, J., Prach, K., Pizl, V., Hanel, L., Stary, J., Tajovsky, K., Materna, J., Balık, V., Kalcık, J., & Rehounkova, K. (2008). Interactions between soil development, vegetation and soil fauna during spontaneous succession in post mining sites. *European Journal of Soil Biology*, 44(1), 109–121. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.09.002>
- Frouz, J., Voboilova, V., Janousova, I., Kadochova, S., & Matejicek, L. (2015). Spontaneous establishment of late successional tree species english oak (*Quercus robur*) and european beech (*fagus sylvatica*) at reclaimed alder plantation and unreclaimed post mining sites. *Ecological Engineering*, 77, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.01.001>
- Fuchs, Z., Vacek, Z., Vacek, S., Cukor, J., Simunek, V., Stefancık, I., Brabec, P., & Kralicek, I. (2024). European beech (*Fagus sylvatica* L.): A promising candidate for future forest ecosystems in Central Europe amid climate change. *Central European Forestry Journal*, 70(2), 62–76. <https://doi.org/10.2478/FORJ-2023-0020>
- Giesecke, T., Hickler, T., Kunkel, T., Sykes, M. T., & Bradshaw, R. H. W. (2007). Towards an understanding of the Holocene distribution of *Fagus sylvatica* L. *Journal of Biogeography*, 34(1), 118–131. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2699.2006.01580.X>
- Gotmark, F., & Kiffer, C. (2014). Regeneration of oaks (*Quercus robur*/*Q. petraea*) and three other tree species during long-term succession after catastrophic disturbance (windthrow). *Plant Ecology*, 215(9), 1067–1080. <https://doi.org/10.1007/S11258-014-0365-4>
- Grubb, P. J. (1977). THE MAINTENANCE OF SPECIES-RICHNESS IN PLANT COMMUNITIES: THE IMPORTANCE OF THE REGENERATION NICHE. *Biol. Rev*, 52, 107–145.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1977.tb01347.x>
- Helingerova, M., Frouz, J., & Santruckova, H. (2010). Microbial activity in reclaimed and unreclaimed post-mining sites near Sokolov (Czech Republic). *Ecological Engineering*, 36(6), 768–776. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.01.007>

- Hendrychová, M., & Kabrna, M. (2016). An analysis of 200-year-long changes in a landscape affected by large-scale surface coal mining: History, present and future. *Applied Geography*, 74, 151–159. <https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2016.07.009>
- Hilmers, T., Friess, N., Bässler, C., Heurich, M., Brandl, R., Pretzsch, H., Seidl, R., & Müller, J. (2018). Biodiversity along temperate forest succession. *Journal of Applied Ecology*, 55(6), 2756–2766. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13238>
- Janoušová, I. (2013). *Faktory ovlivňující šíření dubu letního na výsypce po těžbě uhlí*. <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/53457>
- Józefowska, A., Woś, B., Sierka, E., Kompała-Bąba, A., Bierza, W., Klamerus-Iwan, A., Chodak, M., & Pietrzykowski, M. (2023). How applied reclamation treatments and vegetation type affect on soil fauna in a novel ecosystem developed on a spoil heap of carboniferous rocks. *European Journal of Soil Biology*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2023.103571>
- Kolář, T., Kyncl, T., & Rybníček, M. (2012). Oak chronology development in the Czech Republic and its teleconnection on a European scale. *Dendrochronologia*, 30(3), 243–248. <https://doi.org/10.1016/J.DENDRO.2012.02.002>
- Kompała-Bąba, A., Sierka, E., Dyderski, M. K., Bierza, W., Magurno, F., Besenyi, L., Błońska, A., Ryś, K., Jagodziński, A. M., & Woźniak, G. (2020). Do the dominant plant species impact the substrate and vegetation composition of post-coal mining spoil heaps? *Ecological Engineering*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105685>
- Kremer, A., & Hipp, A. L. (2020). Oaks: an evolutionary success story. *New Phytologist*, 226(4), 987–1011. <https://doi.org/10.1111/NPH.16274>
- Křišťufek, V., Elhottová, D., Chroňáková, A., Dostálková, I., Pícek, T., & Kalčík, J. (2005). Growth strategy of heterotrophic bacterial population along successional sequence on spoil of brown coal colliery substrate. *Folia Microbiologica*, 50(5), 427–435. <https://doi.org/10.1007/BF02931425>
- Kuráž, V., Frouz, J., Kuráž, M., Mako, 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. *Eurasian Soil Science*, 45(3), 266–272. <https://doi.org/10.1134/S1064229312030076/METRICS>
- LeBauer, D. S., & Treseder, K. K. (2008). Nitrogen limitation of net primary productivity in terrestrial ecosystems is globally distributed. *Ecology*, 89(2), 371–379. <https://doi.org/10.1890/06-2057.1>
- Lehotský, L., Černocho, F., Osička, J., & Ocelík, P. (2019). When climate change is missing: Media discourse on coal mining in the Czech Republic. *Energy Policy*, 129, 774–786. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2019.02.065>
- LESY. (n.d.). Retrieved 18 December 2021, from https://www.mzp.cz/www/dav.nsf/rocnka_06/b4.htm
- Ligot, G., Balandier, P., Fayolle, A., Lejeune, P., & Claessens, H. (2013a). Height competition between *Quercus petraea* and *Fagus sylvatica* natural regeneration in mixed and uneven-

- aged stands. *Forest Ecology and Management*, 304, 391–398.
<https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2013.05.050>
- Ligot, G., Balandier, P., Fayolle, A., Lejeune, P., & Claessens, H. (2013b). Height competition between *Quercus petraea* and *Fagus sylvatica* natural regeneration in mixed and uneven-aged stands. *Forest Ecology and Management*, 304, 391–398.
<https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2013.05.050>
- Matýšek, D., & Jirásek, J. (2022). Mineralogy of the coal waste dumps from the Czech part of the Upper Silesian Basin: Emphasized role of halides for element mobility. *International Journal of Coal Geology*, 264. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2022.104138>
- Mölder, A., Meyer, P., & Nagel, R. V. (2019). Integrative management to sustain biodiversity and ecological continuity in Central European temperate oak (*Quercus robur*, *Q. petraea*) forests: An overview. *Forest Ecology and Management*, 437, 324–339.
<https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2019.01.006>
- Mudrák, O., Frouz, J., & Velichová, V. (2010). Understory vegetation in reclaimed and unreclaimed post-mining forest stands. *Ecological Engineering*, 36(6), 783–790.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.02.003>
- Mudrák, O., Uteseny, K., & Frouz, J. (2012). Earthworms drive succession of both plant and Collembola communities in post-mining sites. *Applied Soil Ecology*, 62, 170–177.
<https://doi.org/10.1016/J.APSOIL.2012.08.004>
- Musara, C., & Maroyi, A. (2020). Cold pressed *Fagus sylvatica* L. seed oil. *Cold Pressed Oils: Green Technology, Bioactive Compounds, Functionality, and Applications*, 147–158.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818188-1.00013-X>
- Ocelík, P., Diviák, T., Lehotský, L., Svobodová, K., & Hendrychová, M. (2022). Facilitating the Czech Coal Phase-Out: What Drives Inter-Organizational Collaboration? *Society and Natural Resources*, 35(7), 705–724. <https://doi.org/10.1080/08941920.2022.2065394>
- Pajtík, J., Konôpka, B., & Marušák, R. (2013). Above-ground net primary productivity in young stands of beech and spruce. *Forestry Journal*, 59(3), 154–162.
<https://doi.org/10.2478/V10114-011-0022-Y>
- Plomion, C., Aury, J. M., Amselem, J., Alaeitabar, T., Barbe, V., Belser, C., Bergès, H., Bodénès, C., Boudet, N., Boury, C., Canaguier, A., Couloux, A., Da Silva, C., Duplessis, S., Ehrenmann, F., Estrada-Mairey, B., Fouteau, S., Francillon, N., Gaspin, C., ... Kremer, A. (2016). Decoding the oak genome: Public release of sequence data, assembly, annotation and publication strategies. *Molecular Ecology Resources*, 16(1), 254–265.
<https://doi.org/10.1111/1755-0998.12425>
- Popelková, R., & Mulková, M. (2011). Landscape changes mapping: Central part of Ostrava-Karviná Mining district, Czech republic. *Journal of Maps*, 7(1), 363–375.
<https://doi.org/10.4113/JOM.2011.1165>
- Ramakrishnan, B., Maddela, N. R., Venkateswarlu, K., & Megharaj, M. (2021). Linkages between plant rhizosphere and animal gut environments: Interaction effects of pesticides with their microbiomes. *Environmental Advances*, 5, 100091.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVADV.2021.100091>

- Roubíčková, A., & Frouz, J. (2014). Performance of the earthworm *Aporrectodea caliginosa* on unreclaimed spoil heaps at different successional stages. *European Journal of Soil Biology*, *65*, 57–61. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2014.09.004>
- Roubíčková, A., Mudrák, O., & Frouz, J. (2009). Effect of earthworm on growth of late succession plant species in postmining sites under laboratory and field conditions. *Biology and Fertility of Soils*, *45*(7), 769–774. <https://doi.org/10.1007/S00374-009-0386-7>
- Roubíčková, A., Mudrák, O., & Frouz, J. (2012). The effect of belowground herbivory by wireworms (Coleoptera: Elateridae) on performance of *Calamagrostis epigejos* (L) Roth in post-mining sites. *European Journal of Soil Biology*, *50*, 51–55. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.12.004>
- Šálek, M., Hendrychová, M., & Řehoř, M. (2010). Breeding habitat of sparrowhawks, *Accipiter nisus* on spoil heaps after coal mining. *Acta Oecologica*, *36*(2), 197–201. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2009.12.006>
- Sivek, M., Jirásek, J., Kavina, P., Vojnarová, M., Kurková, T., & Bašová, A. (2020). Divorce after hundreds of years of marriage: Prospects for coal mining in the Czech Republic with regard to the European Union. *Energy Policy*, *142*, 111524. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2020.111524>
- Sivek, M., Kavina, P., & Jirásek, J. (2019). New mineral policy of the Czech Republic of June 2017. *Resources Policy*, *60*, 246–254. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.01.003>
- Spurná, V. (2021). *Uchycení a růst smrků během spontánní sukcese a technické rekultivace na výsypkách po těžbě uhlí*. <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/126116>
- Tajovský, K. (2001). Colonization of colliery spoil heaps by millipedes (Diplopoda) and terrestrial isopods (Oniscidea) in the Sokolov region, Czech Republic. *Restoration Ecology*, *9*(4), 365–369. <https://doi.org/10.1046/J.1526-100X.2001.94005.X>
- Vacek, Z., Vacek, S., Slanař, J., Bílek, L., Bulušek, D., Štefančík, I., Králíček, I., & Vančura, K. (2019). Adaption of Norway spruce and European beech forests under climate change: From resistance to close-to-nature silviculture. *Central European Forestry Journal*, *65*(2), 129–144. <https://doi.org/10.2478/FORJ-2019-0013>
- Václav, J., František, S., & František, S. (1986). *Atlas léčivých rostlin (1986) | Databáze knih*. Státní pedagogické nakladatelství. <https://www.databazeknih.cz/prehled-knihy/atlas-lecivych-rostlin-54228>
- Veselá, H., Mudrák, O., & Frouz, J. (2018). The role of dead standing biomass of *Calamagrostis epigejos* in nutrient turnover during spontaneous succession. *Science of the Total Environment*, *644*, 717–724. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.032>
- Vojar, J., Doležalová, J., Solský, M., Smolová, D., Kopecký, O., Kadlec, T., & Knapp, M. (2016). Spontaneous succession on spoil banks supports amphibian diversity and abundance. *Ecological Engineering*, *90*, 278–284. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.028>
- Voříškova, J., Brabcová, V., Cajthaml, T., & Baldrian, P. (2014). Seasonal dynamics of fungal communities in a temperate oak forest soil. *New Phytologist*, *201*(1), 269–278. <https://doi.org/10.1111/NPH.12481>

- Vrablik, P., Wildova, E., & Vrablikova, J. (2017). The Effect of Brown Coal Mining on the Environment and Health of the Population in Northern Bohemia (Czech Republic). *International Journal of Clean Coal and Energy*, 06(01), 1–13.
<https://doi.org/10.4236/IJCCE.2017.61001>
- Wagner, S., Collet, C., Madsen, P., Nakashizuka, T., Nyland, R. D., & Sagheb-Talebi, K. (2010). Beech regeneration research: From ecological to silvicultural aspects. *Forest Ecology and Management*, 259(11), 2172–2182. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.02.029>
- Wilden, R., Schaaf, W., & Hüttl, R. F. (2001). Element budgets of two afforested mine sites after application of fertilizer and organic residues. *Ecological Engineering*, 17(2–3), 253–273.
[https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(00\)00143-9](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(00)00143-9)
- Woś, B., Karimi Nezhad, M. T., Mustafa, A., Pietrzykowski, M., & Frouz, J. (2023). Soil carbon storage in unreclaimed post mining sites estimated by a chronosequence approach and comparison with historical data. *Catena*, 220.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106664>
- Woś, B., Pietrzykowski, M., & Józefowska, A. (2018). Reclaimed mine soil substrates and tree stands vs. successional forest floor vegetation: A case study of developing ecosystems on afforested mine sites. *Ecological Engineering*, 120, 504–512.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.010>

Internetový zdroj 1

<https://www.uhul.cz/wp-content/uploads/Buk-lesni.pdf>