

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra pěstování lesů



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Pěstební zhodnocení introdukovaných druhů borovic
(*Pinus sp.*) na výsypce Antonín – Sokolov**

Bakalářská práce

Jaromír Glos

Ing. Zdeněk Vacek, Ph.D.

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jaromír Glos

Lesnictví

Ochrana a pěstování lesních ekosystémů

Název práce

Pěstební zhodnocení introdukovaných druhů borovic (*Pinus* sp.) na výsypce Antonín – Sokolov

Název anglicky

Silviculture Assessment of Introduced Pine Species (*Pinus* sp.) on Antonín – Sokolov dump

Cíle práce

Získat poznatky o struktuře, diverzitě a porostních parametrech vybraných druhů introdukovaných borovic (*Pinus* sp.) v rekultivačním lesnickém arboretu na uhelné výsypce Antonín na Sokolovsku.

Metodika

- Rozbor problematiky pěstování introdukovaných dřevin s akcentem na rod *Pinus* a lesnických rekultivací, a to zejména v oblastech ovlivněných povrchovou těžbou uhlí v Evropě se zaměřením na Sokolovské výsypky (termín říjen 2023).
- Charakteristika zájmové oblasti Sokolovska a zejména pak stanovištních a porostních poměrů lesnického arboreta na výsypce Antonín (termín listopad 2023).
- Charakteristika vybraných trvalých výzkumných ploch (TVP) v porostech introdukovaných druhů borovic na výsypce Antonín (termín listopad 2023).
- Standardní biometrická měření stromového patra a hodnocení kvantitativních parametrů s akcentem na produkci porostu na minimálně 12 výzkumných plochách o rozměrech 10×15 m (termín prosinec 2023).
- Aplikace standardních biometrických a matematicko-statistických metod (termín leden 2024).
- Vyhodnocení struktury a diverzity TVP v porostech introdukovaných druhů borovic (*Pinus nigra*, *P. ponderosa*, *P. concorta* atd.) a porovnání s domácí borovicí lesní (*Pinus sylvestris*) na výsypce Antonín (termín únor 2024).
- Využití získaných poznatků o potenciálu jednotlivých zájmových dřevin pro tvorbu vhodného managementu na obdobných stanovištních poměrech na antropogenních půdách a s ohledem na okolní urbanizaci a měnící se podmínky prostředí (termín březen 2024).

Doporučený rozsah práce

Minimálně 30 stran textu.

Klíčová slova

rekultivace výsypek, lesnické arboretum, struktura, diverzita, Sokolovská pánev

Doporučené zdroje informací

- Dragoun, L., Stolariková, R., Merganič, J., Šálek, L., Krykorková, J. (2015). Porovnání vlivu příměsí na růstové veličiny, strukturu a stabilitu porostu borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) na antropogenních půdách sokolovského regionu. *Forestry Journal*, 61: 1: 44-51.
- Kupka, I., Dimitrovský, K. (2011). Test results of selected tree species for forestry reclamations in the Sokolov region. *Zprávy lesnického výzkumu*, 56: 52-56.
- Podrázský, V., Vacek, Z., Vacek, S., Vítámvás, J., Gallo, J., Prokúpková, A., D'Andrea, G. (2020). Production potential and structural variability of pine stands in the Czech Republic: Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) vs. introduced pines—case study and problem review. *Journal of Forest Science*, 66: 5: 197-207.
- Poleno, Z., Vacek, S. et al. (2009). Pěstování lesů III. Praktické postupy pěstování lesů. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce, s.r.o., 952 s.
- Strzyszc, Z. (1996). Recultivation and landscaping in areas after brown-coal mining in middle-east European countries. *Water, Air, and Soil Pollution*, 91: 145-157.
- Tymchuk, I., Malovanyy, M., Shkvirko, O., Chornomaz, N., Popovych, O., Grechanik, R., Symak, D. (2021). Review of the global experience in reclamation of disturbed lands. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 22: 24–30.
- Vacek, S., Simon, J. et al. (2009). Zakládání a stabilizace lesních porostů na bývalých zemědělských a degradovaných půdách. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce, s.r.o., 784 s.
- Vacek, Z., Cukor, J., Vacek, S., Linda, R., Prokúpková, A., Podrázský, V., ... & Brichta, J. (2021). Production potential, biodiversity and soil properties of forest reclamations: Opportunities or risk of introduced coniferous tree species under climate change?. *European Journal of Forest Research*, 140: 1243-1266.
- Vacek, Z., Cukor, J., Vacek, S., Podrázský, V., Linda, R., Kovařík, J. (2018). Forest biodiversity and production potential of post-mining landscape: opting for afforestation or leaving it to spontaneous development?. *Central European Forestry Journal*, 64: 2: 116-126.
- Vacek, Z., Linda, R., Cukor, J., Vacek, S., Šimůnek, V., Gallo, J., Vančura, K. (2021). Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), the suitable pioneer species for afforestation of reclamation sites?. *Forest Ecology and Management*, 485: 118951.
-

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Zdeněk Vacek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra pěstování lesů

Elektronicky schváleno dne 2. 5. 2023

doc. Ing. Lukáš Bílek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 1. 2024

prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 03. 04. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Pěstební zhodnocení introdukovaných druhů borovic (*Pinus sp.*) na výsypce Antonín – Sokolov vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 3. dubna 2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Zdeňkovi Vackovi, Ph.D. za odborné vedení mé bakalářské práce, také za poskytnutí všech potřebných materiálů ke zpracování a za cenné rady. Zároveň bych chtěl poděkovat všem, kteří mi pomohli poskytnutím údajů a odborné literatury zvládnout tuto závěrečnou práci. Rád bych také poděkoval rodičům za pomoc, trpělivost a podporu.

Pěstební zhodnocení introdukovaných druhů borovic (*Pinus sp.*) na výsypce Antonín-Sokolov

Abstrakt

Problematika využití introdukovaných druhů dřevin je v dnešní době důležitým tématem v oboru lesnictví v kontextu klimatické změny. V dřívějších dobách se introdukované dřeviny moc nevyužívaly, a to především z důvodu, že zde nepanovaly takové problémy z hlediska znečištění ovzduší, extrémních výkyvů počasí a disturbancí způsobených biotickými škůdci a další. Introdukované druhy mohou zlepšit biodiverzitu, mít vysoký produkční potenciál a být rezistentní vůči klimatické změně. Dále mohou zanášet nové druhy do porostů, zlepšovat ochranu půd před erozí, zlepšovat kvalitu půd, snižují znečištění ovzduší a ekonomicky mohou mít větší význam než některé dřeviny domácí. Celkově lze říci, že zavádění introdukovaných druhů do našeho ekosystému je správným krokem, který může pomoci s řešením určitých problémů. Musíme ale zdůraznit, že by se to mělo dělat s mírou a rozvahou, aby nenastal problém s přemnožením, vytlačováním a úbytkem domácích druhů a změnou biodiverzity.

Zájmové území lesnické arboretum Antonín je unikátním arboretum jak v Čechách, tak i ve střední Evropě. Je jedním z největších svého druhu v celé republice. Nachází se zde přes 220 druhů stromů a keřů z nichž je přes 30 druhů introdukovaných. Důvod založení arboreta v 70. letech minulého století byl jednoduchý. Rozsáhlá důlní činnost na Sokolovsku a zvyšování imisní zátěže způsobovaly problémy se znečištěním ovzduší a úhynem druhů stromů, které se zde nacházely. Dále se po rozsáhlých rekultivacích, které po těžbě následovaly, zjišťovalo, jakým druhům se na výsypkovém podloží bude dařit a jak na něm budou prosperovat. To bylo hlavním cílem založení lesnického arboreta Antonín.

Bakalářská práce se zabývá pěstebním zhodnocením borovice lesní (*Pinus sylvestris*), borovice pokroucené (*Pinus contorta*), borovice těžké (*Pinus ponderosa*) a borovice černé (*Pinus nigra*) a porovnává tyto tři introdukované druhy s naší domácí borovicí lesní. Bylo zaměřeno celkem 17 zkusných ploch, na nichž probíhal výzkum struktury, diverzity a produkce. Největší hodnotu produkce měla borovice lesní, naopak nejmenší hodnota produkce byla zaznamenána u borovice pokroucené. Borovice lesní měla signifikantně vyšší průměrnou výšku oproti ostatním dřevinám. Introdukované dřeviny, především borovice černá, je vhodnou rezistentní dřevinou v kontextu klimatické změny s vysokým produkčním potenciálem.

Klíčová slova: rekultivace výsypek, lesnické arboretum, struktura, diverzita, Sokolovská pánev

Silviculture Assessment of Introduced Pine Species (*Pinus sp.*) on Antonín-Sokolov dump

Abstract

The issue of using introduced tree species is an important topic in forestry today in the context of climate change. In earlier times, introduced trees were not widely used, primarily because there were fewer problems related to air pollution, extreme weather fluctuations, and disturbances caused by biotic pests and other factors. Introduced species can improve biodiversity, have high production potential, and be resistant to climate change. They can also introduce new species into stands, improve soil protection against erosion, enhance soil quality, reduce air pollution, and have greater economic significance than some native trees. Overall, introducing introduced species into our ecosystem is a step in the right direction that can help address certain problems. However, it must be emphasized that this should be done with moderation and consideration to avoid problems such as overpopulation, displacement, and loss of native species, and changes in biodiversity.

The Antonín Forestry Arboretum is a unique arboretum both in the Czech Republic and in Central Europe. It is one of the largest of its kind in the entire country, housing over 220 species of trees and shrubs, with over 30 species being introduced. The reason for establishing the arboretum in the 1970s was simple. Extensive mining activities in the Sokolov region and increasing pollution were causing problems with air pollution and the decline of tree species in the area. Furthermore, after extensive reclamation efforts following mining activities, it was necessary to determine which species would thrive on the dumping ground substrate and how they would prosper. This was the main goal of establishing the Antonín Forestry Arboretum.

The bachelor's thesis focuses on the cultivation evaluation of four species of pine trees: Scots pine (*Pinus sylvestris*), lodgepole pine (*Pinus contorta*), ponderosa pine (*Pinus ponderosa*), and black pine (*Pinus nigra*), comparing these three introduced species with our native Scots pine. A total of 17 experimental plots were studied, where research on structure, diversity, and production took place. Scots pine had the highest production value, while lodgepole pine had the lowest production value. Scots pine also had a significantly higher average height compared to other trees. Introduced species, especially black pine, are suitable and resilient trees in the context of climate change with high production potential.

Keywords: landfill reclamation, forestry arboretum, structure, diversity, Sokolov field

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Cíl práce	12
3	Literární rešerše	13
3.1	Lesnické rekultivace.....	13
3.2	Charakteristika zájmových dřevin.....	16
3.2.1	Borovice těžká	16
3.2.2	Borovice pokroucená	18
3.2.3	Borovice černá	20
3.2.4	Borovice lesní	23
3.3	Potenciál introdukovaných dřevin	27
3.4	Klimatická změna v lesnictví	29
4	Metodika	33
4.1	Přírodní lesní oblast – Podkrušnohorské pánve	33
4.1.1	Přírodní podmínky oblasti	33
4.1.2	Geologie	33
4.1.3	Hydrografie	34
4.1.4	Klimatické poměry	34
4.1.5	Pedologie	34
4.2	Charakteristika zájmového území – arboretum Antonín	36
4.3	Sokolovsko	39
4.4	Výsypka Antonín a výzkumné plochy.....	40
4.5	Sběr dat.....	40
4.6	Analýza dat.....	42
5	Výsledky	44
5.1	Produkce a struktura stromového patra.....	44
5.2	Diverzita stromového patra	48
5.3	Interakce mezi produkcí, diverzitou, strukturou a dřevinami.....	51
6	Diskuze	53
7	Závěr.....	55
8	Literatura.....	56
9	Samostatné přílohy	63

1 Úvod

Lesnické rekultivace jsou procesy obnovy lesních porostů na plochách, které byly narušeny lidskou činností nebo přírodními událostmi. Cílem je obnovit a udržet ekosystém lesa s ohledem na jeho hospodářské, ekologické a sociální funkce. Lesnické rekultivace mají významný vliv na ochranu životního prostředí, udržení biodiverzity a zlepšení kvality života v dotčených oblastech (GLOS 2011). Vhodně provedené rekultivace mohou obnovit ekosystémy lesů, zlepšit životní prostředí pro místní faunu a flóru, snížit erozi půdy a zlepšit krajinu pro rekreační aktivity (GLOS 2011).

Dalším velkým problémem dnešní doby je klimatická změna. Ta má významný dopad na lesnictví a lesní ekosystémy po celém světě. Klimatická změna představuje výzvu pro udržitelné hospodaření s lesy a ochranu lesní biodiverzity. Je nezbytné provádět výzkum, vyvíjet nové technologie a přizpůsobit lesní managementové postupy tak, aby bylo možné lépe reagovat na nové klimatické podmínky a snížit zranitelnost lesů vůči negativním dopadům změny klimatu (PODRÁZSKÝ a kol. 2019).

Zájmové území lesnického arboreta Antonín bylo založeno v letech 1969-1974. Technické úpravy byly ukončeny v období 1971–1972 a zbylé dva roky probíhaly počáteční lesnické rekultivace (PODRÁZSKÝ a kol. 2019). Toto jedinečné arboretum se nachází v Sokolovské hnědouhelné pánvi, která patří k nejstarší pánvi s rekultivační problematikou, a to zejména rekultivací lesnickou. Celková plocha výsypky činí 165 ha (DIMITROVSKÝ 2001). V 60. a 70. letech minulého století byl v průmyslových oblastech velký problém především s imisní zátěží, která působila obrovské škody na původních lesních porostech (DIMITROVSKÝ 2001). Jednalo se zejména o postupující defoliaci jehličnatých dřevin, a proto bylo potřeba nalézt vhodné dřeviny, které by byly odolné vůči průmyslovým emisím. Toto byl hlavní důvod pro založení lesnického rekultivačního arboreta. Právě tyto introdukované jehličnaté dřeviny (především druhy rodu *Pinus sp.*) se staly předmětem bakalářské práce. Výzkumy introdukovaných jehličnatých dřevin probíhající na výsypce Antonín jsou velmi důležité a jejich uplatnění posloužilo i v jiných hnědouhelných pánvích, a to především na výsypkách na Chomutovsku (GLOS 2011).

2 Cíl práce

Cílem předložené bakalářské práce bylo získat poznatky o struktuře, diverzitě a porostních parametrech vybraných druhů introdukovaných borovic (*Pinus sp.*) v rekultivačním lesnickém arboretu na uhelné výsypce Antonín na Sokolovsku. Tento výzkum poskytne důležité informace o strategii hospodaření nejen na dané výsypce, ale i na jiných výsypkách, protože podmínky pro růst bývají v těchto podmínkách velmi podobné. Dále je zjišťováno, jaké druhy dřevin je výhodné na takové území vnášet a jakou strategii použít při pěstování, protože podloží na výsypkách je negativně ovlivněno fyzikálními vlastnostmi výsypkového substrátu a některé porosty negativně prospívají, což se projevuje chřadnutím, napadáním druhotnými škůdci a zvýšenou mortalitou nevhodných druhů.

V další části porovnávám produkční potenciál a diverzitu introdukovaných druhů borovic s domácí borovicí lesní (*Pinus sylvestris*) na antropogenních půdách a následně zhodnocuji. V této práci je rovněž sledována a hodnocena vhodnost založení daných druhů dřevin na těchto stanovištích, měřena a posuzována vertikální a horizontální struktura a další údaje. Dílčím cílem byla také charakteristika zájmové oblasti výsypky Antonín a její historie a vývoj tohoto území.

3 Literární rešerše

4.1. Lesnické rekultivace

Lesnické rekultivace jsou klíčovou a neodmyslitelnou součástí transformace krajiny, a to již od počátku 20. století. Tvoří základní stavební kámen české rekultivační školy (DIMITROVSKÝ, VESECKÝ 1979, 1989; DIMITROVSKÝ 1999). Ve srovnání s přirozenou sukcesí pomůže správná rekultivace mnohem rychleji k návratu přírodních poměrů (WALI 1999; REICHMANN 2021).

Rekultivace je proces obnovy nebo zlepšení kvality životního prostředí na místech, která byla narušena lidskou činností, zejména průmyslem nebo těžbou. Jejím cílem je navrátit lokalitu do stavu co nejbližšího původnímu stavu nebo vhodného pro určité účely, jako je obnova ekosystému, zlepšení krajiny nebo opětovné využití pro lidské aktivity. Rekultivace zahrnuje širokou škálu praktik a technik, včetně zalesňování, obnovy půdy, odstraňování kontaminantů, obnovy vodních toků a revitalizace degradovaných oblastí. Tyto práce mají za cíl obnovit přirozené prostředí, zvýšit biodiverzitu, chránit půdu před erozí a vytvořit nové rekreační nebo hospodářské možnosti. V rámci biologických rekultivací existují čtyři hlavní druhy: zemědělská, lesnická, hydriká a další. Budeme se zabývat zejména lesnickou rekultivací. Ta zahrnuje nové lesní porosty, lesoparky, zeleně podél toků a komunikací, biokoridory, biocentra a zeleň u vodních nádrží, rybníků a mokřadů (NGUYENOVÁ 2013).

Zdravá krajina by měla obsahovat alespoň třetinu lesů; v České republice je lesy pokryto přibližně 34 % plochy. Po dokončení těžby uhlí se předpokládá, že tento podíl vzroste na 40 % (NGUYENOVÁ 2013). Lesnická rekultivace slouží k zalesnění oblastí, které nejsou vhodné pro zemědělské účely. Klíčovým prvkem je volba druhového složení dřevin, s důrazem na převažující původní druhy. Dále je důležité provádět pěstební péči a probírky v mladých lesních porostech (VRÁBLÍKOVÁ 2010). Mezi specifické biotechnické typy lesnických rekultivací patří i ekologické rekultivace, jako je například výsadba nových porostů s lužním charakterem v poničených úsecích říčních niv (HAVRLANT 2015). Při lesnických rekultivacích jsou hlavními prioritami především zalesnění výsypek. Ty vytváří především funkci půdotvornou a půdoochrannou. Tvorba porostních směsí a rozložení dřevin na ploše je pak přizpůsobena těmto požadavkům (ČERMÁK, ONDRÁČEK 2006). V první fázi rekultivačního procesu jsou klíčovým faktorem pro volbu vhodných druhů dřevin a jejich ekotypů mikroklimatické podmínky. Tyto podmínky spolu s půdními podmínkami poskytují základní informace pro

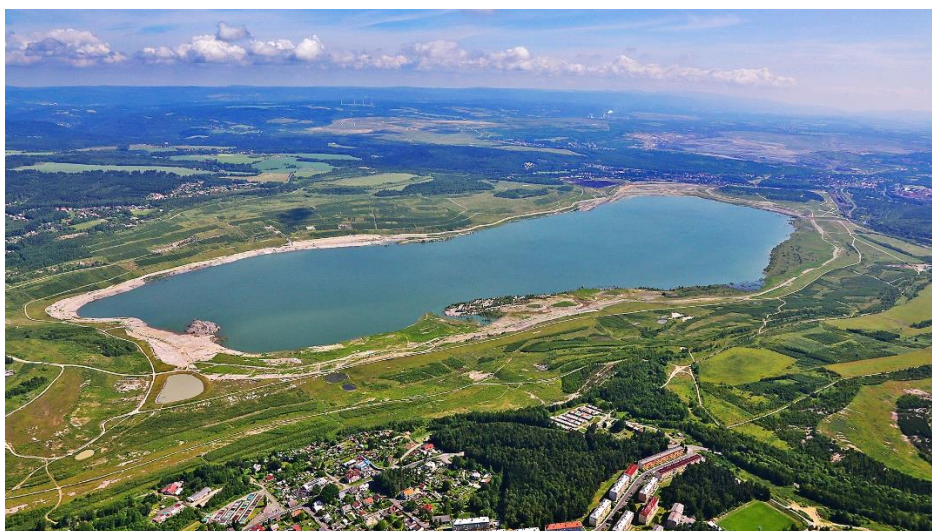
určení dřevin s malou, střední nebo velkou ekovalencí a jejich zastoupení v budoucích lesních porostech. Tato dendroindikace je podložena výsledky experimentálních výzkumů s pedologickým a dendrometrickým zaměřením (GLOS 2011). Během první fáze obmýti plní všechny použité druhy dřevin pro zalesnění antropogenních půd primárně meliorační funkce, především půdotvorné a půdoochranné. Kvalita půdy má významný vliv na rozvoj kořenových systémů. Výsypkové půdy mají tendenci k vysoké erozi, což snižuje jejich pórovitost, provzdušenost a schopnost infiltrace. Většina antropogenních substrátů na všech výsypkách obvykle nemá hladinu podzemní vody, protože v této fázi vývoje výsypkových stanovišť pedogeneze ještě neexistuje. Tento fakt ovlivňuje rozvoj kořenových systémů dřevin, jejich výživový režim a celkový růst a vývoj (DIMITROVSKÝ et al. 2008).

Stabilita jednotlivých taxonů v různých kombinacích listnatých, jehličnatých a smíšených porostů je podmíněna bohatým rozvojem kotevních a kosterních kořenů. I když žádný z druhů dřevin na výsypkách nevyvíjí hlavní kůlový kořen, porosty vykazují vysokou odolnost vůči nepříznivým povětrnostním jevům, jako jsou silný vítr, sníh a podobně. Důkazem dobré stability lesních porostů je například situace na výsypce Antonín. I po silném uragánu nebyly zaznamenány žádné závažné škody, s výjimkou několika zlomů u borovice Murrayovy (*Pinus contorta subsp. murrayana*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a 16 vývrátů modřínu opadavého (*Larix decidua*) pěstovaného na porcelanitech (DIMITROVSKÝ et al. 2008).

Při výběru vhodných dřevin pro rekultivaci rozlišujeme hlavní a pomocné druhy. Hlavními dřevinami jsou ty, které trvale zajišťují požadované funkce během celého fyziologického vývoje. Tyto druhy jsou často zastoupeny ve větším počtu a obvykle mají největší podíl v porostní skladbě. Často se jedná o dřeviny, které tvořily původní rostlinná společenstva před jejich narušením. Pomocné dřeviny pak podporují vývoj hlavních druhů, přispívají k větší biodiverzitě a ekologické stabilitě porostu. Jejich zastoupení může být dočasné a časově omezené (ČERMÁK, ONDRÁČEK 2006).

Mezi dřeviny hlavní řadíme modřín opadavý, borovici lesní a černou, jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*), lípu srdčitou (*Tilia cordata*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*), javor mléč (*Acer platanoides*), habr obecný (*Carpinus betulus*), dub červený (*Quercus rubra*), dub zimní (*Quercus petraea*) a dub letní (*Quercus robur*). Zastoupení těchto druhů se bude v porostní skladbě pohybovat okolo 70 %. Mezi dřeviny pomocné patří bříza bělokorá (*Betula pendula*), olše šedá (*Alnus incana*), olše lepkavá (*Alnus glutinosa*), jeřáb ptačí (*Sorbus aucuparia*), třešeň ptačí (*Prunus avium*), topol osika (*Populus tremula*) a různý sortiment keřů, který slouží k zapláštnění porostu. Dále můžeme použít meliorační dřeviny druhu (*Alnus*, *Populus tremula*, *Sorbus*, *Salix*). Po dvaceti letech je ale dobré tento porost vyřezat a nahradit ho definitivní

výsadbou. Na výsypkách je vhodná skladba dřevin určena na základě půdních podmínek, morfologických charakteristik, klimatických a hydrologických faktorů. Při přípravě a průběhu lesnické rekultivace se tradičně využívá terénně upravený povrch výsypky, což je surová výsypková zemina. Obvykle se volí sazenice odpovídající struktuře cílového porostu, například smrky (včetně smrku pichlavého), borovice lesní, borovice černé, vejmutovky, případně dalších exotických druhů borovic, modřínů, dubů bahenních, dubů zimních a letních s minimálním zastoupením přípravných dřevin. Výsledkem této rekultivace je pouze výjimečně zdravý a funkční lesní porost, ačkoli ve vzácných případech může dojít k jiným výsledkům (PECHAROVÁ 2004). Častěji se vyskytuje situace, kdy po několika letech a opakovaných dosadbách vznikají holiny, se zbytky usychajících sazenic. V důsledku toho porost pokračuje v chování jako prostor bez vegetace (PECHAROVÁ 2004).



Obr. 1: Letecký snímek proběhlé rekultivace zatopeného lomu Medard, který se nachází nedaleko arboreta Antonín – zdroj: foto, Jiří Leitgeb

3.2. Charakteristika zájmových dřevin

3.2.1 Borovice těžká (*Pinus ponderosa*)

Borovice těžká (*Pinus ponderosa*) je jedním z nejdůležitějších druhů borovic z hlediska produkce na severoamerickém kontinentu. I její rozšíření je podobné, ale zasahuje více na sever do Kanady (Britská Kolumbie) a do vnitrozemí (Montana, Dakota, Colorado, Nové Mexiko) (KAŇÁK 2004). Existují dva poddruhy: první poddruh (*Pinus ponderosa subsp. ponderosa*) převážně roste na západě Kanady a USA, zatímco druhý poddruh (*Pinus ponderosa subsp. scopulorum*) se obvykle nachází ve východní části Kanady a USA. Tento druh je také nejrozšířenějším druhem borovic v Severní Americe (KANTOROVÁ 2020).

Díky své tlusté borce a rychlému růstu je schopna účinně odolávat menším lesním požárům v porovnání s jinými druhy (KANTOROVÁ 2020). Je také mimořádně odolná z hlediska teploty, což jí umožňuje nahradit méně odolné druhy borovic v oblastech s chladnými zimami. V podmínkách ČR se obvykle setkáváme s borovicí těžkou spíše v městských parcích, zahradních výsadbách, ale občas ji můžeme najít i v lesních porostech, zejména v lesnických arboretech. Z hlediska introdukce je důležité věnovat této borovici zvýšenou pozornost, protože její produkce a ekologické nároky jí předurčují pro širší využití v našich podmínkách z důvodu klimatické změny. Z charakteru introdukovaných druhů lze usoudit, že borovice těžká by mohla poskytnout dobré hospodářské využití a esteticky zajímavý prvek v krajině příměstských rekreačních lesů za předpokladu vhodných podmínek. Z ekologického hlediska je však v přírodních lesích považována za nežádoucí introdukovanou dřevinu (PODRÁZSKÝ a kol. 2019).

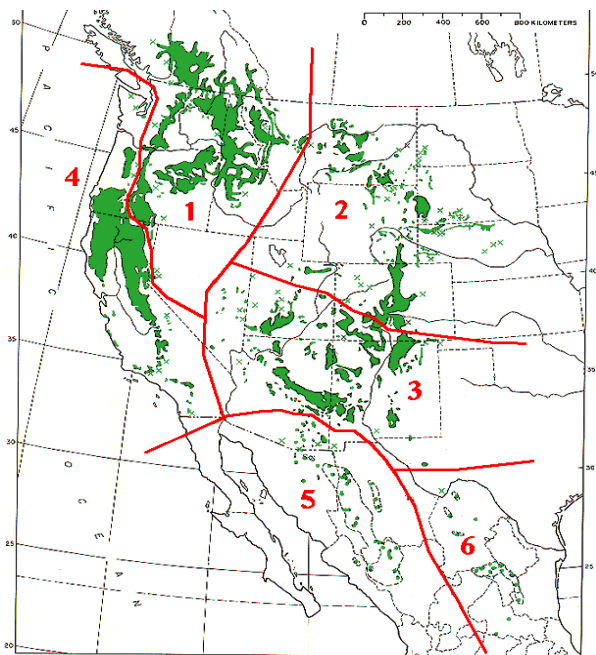
Stejně jako většina ostatních borovic je borovice těžká výrazně světlomilná. Vynikající podmínky pro její růst poskytují sušší hlinitopísčité nebo hlubší štěrkovité půdy. Roste v různých nadmořských výškách, od nížin až po horské oblasti. Je odolná vůči mrazu a nepříznivým podmínkám (BUSINSKÝ, VELEBIL 2011) (SPÁČILOVÁ 2023). Dosahuje poměrně značného stáří, obvykle mezi 300 až 500 lety, a dokáže vytvářet mezidruhové hybridy s borovicí arizonskou (*Pinus arizonica*). Z hlediska biologické charakteristiky je borovice těžká dřevina s přímým a silným kmenem (v přirozených podmínkách může dosahovat až třímetrové tloušťky) a hustou, úzce kuželovitou korunou. Ve svojí domovině může dorůst výšky až 50

metrů, ale v našich podmínkách dosahuje menších rozměrů. Její jehlice jsou světlé až tmavě zelené, dlouhé 12 až 25 cm, s ostrou růžkovitou špičkou a jemně pilovitými okraji. Obvykle rostou ve svazcích po třech (někdy po dvou nebo po čtyřech, v závislosti na poddruhu). Borka je hnědá až černá, u starších stromů až 10 cm silná, hluboce brázditá a odlupující se ve velkých deskách. Samičí šištice jsou červené, samčí šištice jsou žluté, což vedlo ke vzniku anglickému názvu "yellow pine". Šišky se obvykle nacházejí na koncích větví, buď samostatně nebo ve svazcích po dvou až třech. Jsou přisedlé, světle hnědé, lesklé, vejčité až podlouhlé, s délkou mezi osmi až patnácti centimetry (HIEKE 2008) (SPÁČILOVÁ 2023).

Samčí květy jsou sytě purpurové, zatímco samičí jsou červené. Květy se objevují na konci jara a rostou v oddělených chomáčích na mladých výhoncích. Borovice těžká má otevřenější habitus než ostatní druhy borovic, což umožňuje procházení většího množství světla. Doba prášení začíná v květnu, přičemž u zastíněných stromů může probíhat až v červnu. Šišky dosahují plné velikosti od července do srpna následujícího roku a dozrávají o měsíc později. Značná produkce šišek nastává již ve věku 7 let a pokračuje až do věku kolem 350 let. Semenné roky se objevují v intervalech 2–5 let, s kulminací plodnosti každých 8 let. Během semenného roku může produkovat až 820 tisíc semen na hektar. Hmotnost 1000 semen se pohybuje kolem 35–36 gramů. Stratifikace a výsev lze provádět obdobně jako u borovice lesní (KOTRLA a kol. 2022).

V její domovině je borovice těžká ceněná jako významný zdroj dřeva. Má tvrdé a odolné dřevo, které se široce využívá ve stavebnictví, nábytkářství, truhlářství a v papírenském průmyslu. U nás se využívá především na výsadbu do parků a lesoparků (KANTOROVÁ 2020).

Zajímavostí je, že tento druh borovice je přizpůsoben častým lesním požárům v jejich přirozeném prostředí. Mají tlustou borku, která jim poskytuje ochranu před požáry a semena jsou schopna klíčit i po požáru. Původní obyvatelé Severní Ameriky využívali borovici těžkou pro různé účely, včetně stavebnictví, výroby lodí, potravin a léčivých přípravků. Například kůra byla používána k léčbě nemocí a jako surovina pro barvení. Borovice těžké také poskytují důležitý habitat pro mnoho druhů hmyzu, včetně těch, které se živí jehličím. Některé druhy hmyzu jsou dokonce specializovány na tento druh borovice a jejich životní cyklus závisí na jejím výskytu (KANTOROVÁ 2020).



Obr. 2: areál rozšíření borovice těžké (Sev. Amerika) – zdroj: Anonymus

3.2.2. Borovice pokroucená (*Pinus contorta*)

Borovice pokroucená je z hlediska produkce, odolnosti vůči biotickým a abiotickým činitelům a nadprůměrných pionýrských vlastností pozoruhodným druhem. Je schopna efektivně kolonizovat a osídlit plochy poškozené lidskou činností (KAŇÁK 2004).

Tento druh borovice pochází z oblastí severní Ameriky z míst s výraznou vulkanickou aktivitou, což je důvodem jeho vysoké odolnosti vůči imisím. Ve vulkanických pohořích hraje klíčovou roli při tvorbě primárních stádií lesních ekosystémů na lávových polích. Díky své vitalitě a pionýrským vlastnostem pomáhá eliminovat klimatické extrémny a chránit půdu před erozí, což přispívá k vytvoření primárních fází sukcese, tedy podmínek nezbytných pro klimaxové druhy v oblastech postižených sopečnou činností nebo imisním zatížením (KAŇÁK 2004).

Z taxonomického hlediska dělíme druh na tři variety (FARJON 2010; AUDERS, SPICKER 2012; ECKENWALDER 2013), podle jiných autorů (BUSINSKÝ 2008; BUSINSKÝ, VELEBIL 2011) na tři poddruhy s alopatickým výskytem – *P. c. subsp. contorta* (severozápadní pobřeží Severní Ameriky od jihu Aljašky po severní Kalifornii), *P. c. subsp. latifolia* (severozápad Severní Ameriky od Yukonu po Colorado), *P. c. subsp. murrayana* (USA: Kalifornie, Nevada, Oregon, jižní Washington; Mexiko: Baja California Norte). Někteří autoři (např. KLINKA 2002; PRESTON, BRAHAM 2002) rozlišují ještě samostatnou varietu

P. c. var. bolanderi, která ale není v novějších monografiích akceptována a je považována za součást komplexu *P. c. subsp. contorta*. Pobřežní porosty tohoto poddruhu se vyskytují endemicky pouze v Kalifornii (NOVOTNÝ 2017).

Borovice pokroucená je stálezelený jehličnatý strom, který může dosáhnout výšky až 30 metrů, ale obvykle je menší. Má charakteristický tvar s kuželovitou korunou, která se může být nepravidelná až protáhlá v závislosti na prostředí, kde roste. Borka je tenká, hladká a tmavě hnědá, s věkem hrubne a získává šedivý odstín, s tendencí loupat se ve válcovitých šupinách. Pupeny jsou podlouhle vejčité, červenohnědé a pryskyřičnaté. Jehlice jsou krátké (asi 2,5–6 cm), špičaté, rostou ve svazečcích po dvou, tmavě zelené a mohou mít na sobě bílé pruhy, což je charakteristický znak odlišení od příbuzné borovice banksově (*Pinus banksiana*). Šišky mohou být jak serotinní (otevírají se obvykle mnoho let po dozrání, například při požáru), tak nesorotinní, krátce stopkaté, jednotlivé nebo v malých skupinách, značně asymetrické, s rozměry 2–6 × 2–3 cm, se štítky ve tvaru kosočtverce, s malým pupkem a ostrými, tenkými hroty (PILÁT 1964). Dále jsou malé a kulaté, s tenkými šupinami. Po dozrání se otevírají a uvolňují semena. Borovice pokroucená produkuje relativně malá a lehká semena s křídly, která umožňují šíření větrem. Samčí květy jsou žluté, samičí červené. Kvetou na konci jara v oddělených chomáčích na mladých větvích. V oblasti využití je tento druh borovice velmi významným druhem. Dřevo se používá jako stavební materiál nebo jako surovina pro výrobu celulózy (LOTAN et. al. 1990).

V ČR se kvůli své odolnosti vůči klimatu, imisím a flexibilitě využívá při zalesňování rekultivačních ploch a je vhodná také pro městské a okrasné výsadby. Z hlediska historického využití dřívě používali indiáni právě tento druh borovice na tyče na stavbu indiánských stanů (Tee-pee). Dále také původní Američané konzumovali vnitřní kůru borovice pokroucené jako prevenci hladovění pro sebe i své koně. Jedlá vrstva kambia borovice pokroucené je závislá na tloušťce, konzistenci a sladkosti. Zajímavostí je, že při inventarizaci v Krušných horách bylo nalezeno několik lokalit, kde se tento druh nacházel již v dřívějších dobách. Šlo především o porosty na saské straně. Dále je zajímavé, že se na území ČR v porostech borovice pokroucené dosud neobjevilo žádné mykózní poškození, například oproti Švédsku, kde je mykózní poškození v porostech zcela běžné a místy nabývá až kalamitního rozsahu. Jak jsem již jednou zmiňoval, tak borovice pokroucená je velmi odolná a nemá problém s imisním prostředím, ale jediným jejím limitujícím faktorem v Krušných horách jsou vysoké stavy zvěře jelení. V domácím prostředí jsou starší jedinci napadáni lesním hmyzem, proti kterému se brání smolou, ale tento druh obrany není stoprocentní a někteří jedinci umírají. Přirozený predátor pro tento lesní hmyz je výjimečně silný mráz a požáry. Dále je borovice pokroucená

ovlivňována plísní (*Grosmannia clavigera*), kterou lesní hmyz přenáší v ústech. Trpasličí jmelí je také problémem pro tento druh (LEDGARD 2001).

Na Novém Zélandu je borovice pokroucená považována za vážný invazivní druh divoce rostoucích jehličnanů a spolu s několika dalšími severoamerickými druhy borovic je uvedena v seznamu rostlin, kde se zakazuje jejich prodej, komerční rozmnožování a distribuce (LEDGARD 2001). Podobně jako borovice lesní, i borovice pokroucená dokáže na výsypkových substrátech hnědouhelných dolů Sokolovské pánve poskytnout dostatečnou produkci dřevní hmoty a současně vytvořit podmínky pro přirozenou obnovu jiných druhů dřevin. Z hlediska produkce dřevní hmoty pravděpodobně borovice pokroucená dosahuje nejvyšších výsledků ze všech druhů borovic pěstovaných na výsypce Antonín (PODRÁZSKÝ a kol. 2019).



Obr. 3: areál rozšíření borovice pokroucené (Sev. Amerika) – zdroj: Anonymus

3.2.3. Borovice černá (*Pinus nigra*)

Jednou z nejčastěji se vyskytujících introdukovaných borovic na území ČR je borovice černá (*Pinus nigra*), která byla od minulého století systematicky vysazována při obnově lesů na vápencových půdách v Čechách i na Moravě. Během třetihor její rozšíření téměř pokrylo celé území České republiky. Tato druh je typickým pionýrským druhem, který se dobře adaptuje na různé podmínky, včetně kyselých půd s hodnotou kolem pH- 3 v Krušných horách (KAŇÁK 2004).

V poslední době jsme však svědky značného prosychání této borovice, což je především způsobeno extrémními klimatickými podmínkami, jako jsou dlouhá období sucha, teplotní extrémy a rychlé změny počasí. Oslabené stromy jsou náchylnější k napadení různými druhy hub, jako je například *Ascocalyx abietina*, *Sphaeropsis sapine*, a v poslední době také *Mycosphaerella pini*. Oslabené borovice jsou také náchylnější k invazi dalších biotických škůdců (KANÁK 2004).

Přirozené rozšíření borovice černé zahrnuje přibližně 3,5 milionu hektarů od severní Afriky přes jižní Evropu až do Malé Asie. Její nejsevernější přirozený areál se nachází v Rakousku (NOVOTNÝ 2023). V původním prostředí často roste borovice černá v kombinaci s jinými jehličnany a listnáči, avšak často se vyskytuje i v čistých lesních porostech. Tato dřevina se vyskytuje na různých typech půdy, od vápencových a mramorových až po kyselé a vulkanické. Je netolerantní ke stínu, ale má vysokou odolnost vůči větru a suchu. Naopak je náchylná k požárům (ISAJEV et al. 2004). Dále dokáže odolávat částečně i mrazu (BUSOTTI 2002). V ČR se zatím příliš dobře nezmlazuje (GREGOROVÁ et al. 2006), mimo přirozený areál se však dokáže chovat i invazně. (KŘIVÁNEK 2006; DAISIE 2009; PERGL et al. 2016), (NOVOTNÝ 2023).

Taxonomie druhu není jednotná, přesto lze obecně rozlišit 6 hlavních poddruhů. *P. n. mauretanica* (Maire et Peyereimh.) Heywood roste na několika hektarech v pohoří Rif v Maroku a v pohoří Djurdjura v Alžírsku. *P. n. salzmannii* (Dunal) Franco obývá extenzivní plochy ve Španělsku (přes 350 000 ha) od Andalusie po Katalánsko, jižní úpatí Pyrenejí a lze se setkat i s izolovanými populacemi v Pyrenejích a Cèvennes ve Francii. *P. n. laricio* (Poiret) má výskyt na Korsice (přes 22 000 ha), v Kalábrii a na Sicílii. *P. n. nigra* je rozšířena v Itálii v Apeninách až po severní Řecko, Julské Alpy a balkánská pohoří (více než 800 000 ha). *P. n. dalmatica* (Vis.) Franco obývá několik ostrovů chorvatského pobřeží a jižní svahy Dinárských Alp. *P. n. pallasiana* (Lamb.) Holboe roste extenzivně v Řecku a Turecku (2,5 mil. ha) a snad i v západním Bulharsku. Lze se s ní setkat i na Kypru a Krymu (ISAJEV et al. 2004), (PEŠKOVÁ 2012).

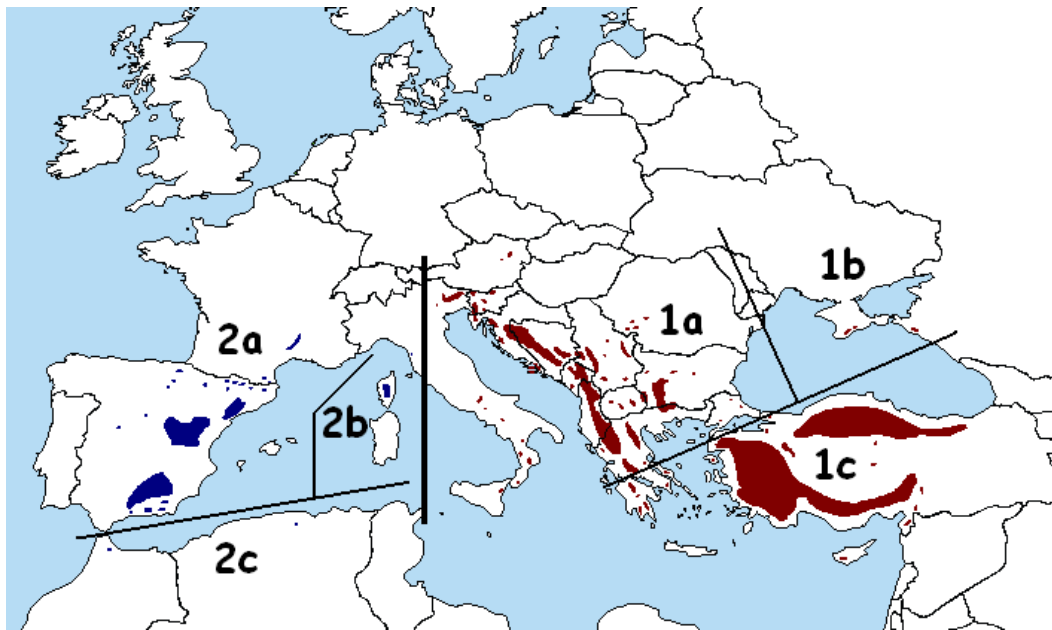
Borovice černá se vyznačuje kořenovým systémem, který není vytvořen jako výrazný kůlový kořen. Staré stromy mají kořeny středně hluboko uložené a široce rozložené. Mladé stromky mají zelenohnědou kůru, která se postupně mění na šedočernou, s podélně rozpraskanou borkou, která se výrazně projevuje až do koruny stromu, což je jedna z charakteristických vlastností tohoto druhu (VACEK a kol. 2023). Velké válcovité pupeny jsou pokryty světle hnědými šupinami. Jehlice borovice černé jsou tmavě zelené, dlouhé 8 až 15 cm, rovné, s ostrými špičkami. Zůstávají na stromě po dobu 4 až 5 let; brachyblasty opadávají teprve

po opadu jehlic. Květy rozkvétají koncem června a jsou jednodomé, různopohlavní. Samčí šištinky jsou až 2 cm dlouhé, zlatožluté, zatímco samičí jsou karmínově červené. Zralé šišky jsou široce kuželovité, 5 až 8 cm dlouhé, lesklé, světle hnědé. Vnější strana šupin je od štítku k vřetenu černofialová, zatímco vnitřní je světle hnědá. Semeno je velké, matné, v křídélku upnuté klíšťkovitě; barva semen se pohybuje od šedé po nažloutle bílou, přičemž světlá semena převažují. Borovice černá dosahuje plodnosti u solitérních stromů již ve věku 15 let, ve skupinových porostech většinou ve věku 30 až 40 let, se semennými roky opakujícími se každé 2 až 3 roky. Semena dozrávají v říjnu druhého roku a vylétají od konce zimy do jara třetího roku. Klíčivost semen je kolem 75 % a udržuje se po dobu 3 až 5 let. Semenáček borovice černé je hrubší než u borovice lesní, s nafialovělým hypokotylem a 4 až 10 modrozelenými jehlicemi dlouhými až 3,5 cm. Rychlost růstu je v prvních letech vysoká, ale později se zpomaluje; maximální růst nastává mezi 40 až 60 lety. Průměrná výška stromu je 20 až 25 metrů, přičemž fyzický věk stromu se pohybuje kolem 600 let. V porovnání s borovicí lesní je borovice černá obvykle sukatější, ale její koruna často obsahuje slabší větve (KYZLÍK, MICHÁLEK 1963).

Z ekologického hlediska je borovice černá dřevinou, která preferuje slunná až poloslunná stanoviště. Pro svůj optimální růst potřebuje průměrnou teplotu okolo 7,5 °C, což naznačuje, že je náročná na teplotu a nejlépe prosperuje na lokalitách s jižní, jihovýchodní a jihozápadní expozicí. Brzké mrazy mohou této borovici škodit, ale zimní nebo pozdní mrazy ji obvykle neohrožují. Borovice černá je odolná vůči suchu a horku, avšak nesnáší vysokou vzdušnou vlhkost a může být ohrožena sněhem a námrazou. Tato borovice se obvykle vyskytuje na vápencových podkladech, ale roste také na mělkých štěrkovitých půdách a na skalnatých svazích, kde často dosahuje menších velikostí. Nejlépe prosperuje na hlubokých, propustných a dobře odvodňovaných půdách, zatímco půdy s vysokým obsahem vlhkosti pro ni nejsou vhodné (VACEK a kol. 2023).

Borovice černá má různorodý hospodářský význam. Díky své schopnosti růst i na chudých půdách se často využívá jako přípravná dřevina pro rekultivaci pískových oblastí a krasových území. Má také pozitivní vliv na půdu, zlepšuje ji prostřednictvím opadu. Dřevo borovice černé je podobné dřevu modřínu. Je lehké, měkké, trvanlivé a výborně izoluje. Díky své odolnosti vůči hnilobě se často využívá ve stavebnictví, tesařství, při výrobě překližek, kůlů, sloupů, obalů, pražců, vlákniny a papíru. Je také bohaté na pryskyřici, která se z něj získává a využívá v průmyslu (ISAJEV et al. 2004), (PEŠKOVÁ 2012). Borovice černá se také často využívá k ochraně půdy před erozí a ke stabilizaci svahů. Je oblíbená pro svůj estetický vzhled v parkových a krajinářských úpravách díky svému tmavozelenému jehličnatému zbarvení a odolnosti vůči znečištění a suchu (ISAJEV et al. 2003).

Tento druh borovice se stal naturalizovaným v některých oblastech Spojených států. Na Novém Zélandu je klasifikován jako invazivní druh a nežádoucí plevel spolu s borovicí pokroucenou (*P. contorta*) a borovicí lesní (*P. sylvestris*). Tato klasifikace vyplývá z jejich tendence přeměňovat prostředí, zejména v komunitách travnatých porostů (ISAJEV et. al. 2003). Na rozdíl od borovice lesní a borovice pokroucené není pod porosty borovice černé pozorováno výrazné zmlazení jinými druhy dřevin (PODRÁZSKÝ a kol. 2019). Zajímavostí je, že co se týče délky kmene bez větví, tak borovice černá (společně s borovicí lesní a modřínem opadavým) dominovala oproti ostatním druhům v arboretu (PODRÁZSKÝ a kol. 2019).



Obr. 4: areál rozšíření borovice černé (Evropa) – zdroj: Anonymus

3.2.4. Borovice lesní (*Pinus sylvestris*)

Borovice lesní je běžnou domácí dřevinou, která se často vysazuje jako monokultura, ale také se často vyskytuje jako příměs ve smíšených lesních porostech. Po smrku ztepilém je druhou nejrozšířenější jehličnatou dřevinou v České republice. Hospodářsky významné porosty se však nacházejí pouze v několika původních oblastech. Biologické vlastnosti borovice lesní vyžadují odlišný přístup k lesní výchově ve srovnání se smrkem. Borovice preferuje slunná stanoviště a její požadavky na pěstování mají více společných znaků s listnatými dřevinami než s jinými jehličnatými dřevinami (PEŇÁZ 1991), (DUŠEK 2011).

Borovice lesní má rozsáhlý areál rozšíření, který zahrnuje téměř celou Evropu a podstatnou část lesních oblastí Asie. V tomto regionu je výskyt borovice nerovnoměrně rozložen, s maximálním výskytem na severovýchodě. V horách se borovice často vyskytuje skupinovitě a v malých porostech, zatímco na severu oblasti její rozšíření tvoří stromy nížiny a na jihu se jedná o stromy pohoří. Rozšíření borovice lesní svědčí o její nenáročnosti na různé klimatické a půdní podmínky (SVOBODA 1953; CHMELAŘ 1980), (POLÁKOVÁ 2016). Autochtonní populace borovice lesní se v České republice vyskytuje jen ostrůvkovitě na extrémních reliktních stanovištích. Tyto autochtonní výskyty označujeme jako reliktní bory (MUSIL, HAMERNÍK 2007). Reliktní borové lesy lze nalézt v Čechách na různých místech, například na hadcích ve Slavkovském lese, na pískovcových skalách severovýchodních Čech, na chudých písčích Polabí, na balvanitých svazích v podhůří Šumavy nebo na zrašelinělých půdách Třeboňské pánve. Na Moravě se reliktní borové lesy vyskytují na skalnatých výspách v Dražanské a Českomoravské vrchovině, na strmých svazích zařiznutých do údolí řek nebo na vápencových skalách a písčitých půdách na jihu území (ÚRADNÍČEK et al. 2009), (POLÁKOVÁ 2016).

Variabilita uvnitř taxonu *Pinus sylvestris* je extrémně rozsáhlá. Bylo popsáno více než 140 poddruhů, variet a forem. Z hlediska rozšíření je identifikováno asi 22 geografických variet (podle konzervativnějšího přístupu). P. Svoboda rozděluje tento druh do tří základních klimatických typů: severské borovice, stepní borovice a horské borovice. Businský klasifikuje variety podle geografického rozšíření a morfologických znaků: *P. sylvestris* var. *sylvestris* (dříve var. *sibirica*), *lapponica*, *hamata*, *mongolica*. Bylo popsáno mnoho forem z hlediska lesnického a hospodářského využití, včetně tvaru kmene, koruny a kvality dřeva (například velmi kvalitní "třeboňská borovice" v našich zemích). Další popsání formy vycházejí z proměnlivosti jehlic, kůry a šišek (například podle tvaru šišek: *f. plana*, *f. gibba*, *f. reflexa*; nebo podle velikosti: *f. macrocarpa*, *f. microcarpa*). V přírodě vytváří borovice lesní spontánní křížence s dalšími druhy, jako je *Pinus mugo*, *Pinus uncinata* a *Pinus uncinata* subsp. *uliginosa*. (BOTANY 2007).

Borovice lesní je strom dosahující výšky 20-40 metrů, s obvykle štíhlým a přímým kmenem, avšak může být i sukovitý a pokrivený. Tvar koruny je obvykle podlouhlý až široce rozložený, někdy připomínající deštník, přičemž tvar koruny závisí na stanovišti. Borka je

rezavě červená, rozpukaná; na mladých stromech má jasně rezavou barvu a odlupuje se nahoře v tenkých papírovitých šupinách, zatímco dole opadává v nepravidelných kusech. Mladé větvičky jsou hladké a nazelenalé. Pupeny jsou podlouhle vejčité, červenohnědé, špičaté a neobsahují pryskyřici. Jehlice rostou po dvou ve svazečku, jsou tupé, žlutohnědé a měří 3-7 cm na délku a 2-3,5 cm na šířku. Štítky plodných šupin jsou ploché nebo poblíž horní části šišky poněkud příčně kýlnaté. Borovice lesní dosahuje dospělosti ve volném prostoru kolem 15 let, zatímco v zápoji dosahuje dospělosti mezi 30 a 40 lety. Semenné roky se opakují každých 3-4 let. Samčí a samičí květy se nacházejí na tomtéž stromě, avšak jsou nepravidelně rozděleny (KRÜSSMANN 1978). Výškový růst je v mládí velmi bujný, vrcholí mezi 15.-25. rokem a končí kolem 100 let. Borovice dosahuje stáří 300-350, max. 600 let (SVOBODA 1953).

Z hlediska ekologie je borovice lesní dřevinou, která vyžaduje vyloženě světlé prostředí. Pouze v nejranějším stádiu svého vývoje toleruje stín, a to maximálně do pěti let věku. Borovice nevytváří příznivé mikroklima kolem sebe. Vysoká výparní aktivita z půdy má za následek vysychání humusu pod borovicemi, což vede ke vzniku extrémně kyselých podzolových půd na suchých stanovištích, jako jsou písky. Proto je vhodné pod borovicemi vysazovat i listnaté dřeviny, které plní funkci krycí etáže (BRICHTA a kol. 2023). Jako dřevina s kontinentálním charakterem borovice lesní snáší mrazy i vysoké teploty, přičemž v mládí může být ohrožena holomrazy na písčitých půdách. Nesnáší však větší vzdušnou vlhkost a preferuje roční srážkový průměr kolem 400-450 mm. Daří se jí nejvíce na jílovitopísčitých půdách s vlhkým podložím. Nesvědčí jí těžké půdy, hrubé písky ani mělké půdy. Mohou zpomalit její růst. Může prosperovat i na půdách pískovcových, vápencových, žulových, rulových a porfyrových. Kořenový systém borovice se přizpůsobuje hloubce půdního profilu. Na mělkých nebo suchých půdách s hladinou podzemní vody hlouběji než 5 metrů se transformuje z původního křovitého na povrchový systém. Borovice nepřispívá ke zlepšování půdy pomocí opadu a od věku přibližně 40 let neposkytuje ani dostatečnou ochranu proti stínu. Ve městech výrazně trpí negativními účinky kouře (KYZLÍK, MICHÁLEK 1963).

Hospodářský význam borovice lesní je rozmanitý. Kvalita borovice se může hodnotit podle síly větví nebo podle tvaru borky. Obecně platí, že čím je slabší větvení v koruně, tím je dřevo kvalitnější. Sběr osiva borovice lesní je prováděn s vysokými standardy, zejména kvůli riziku zavlečení cizích odrůd, a proto je výběr porostů pro sběr semene náročný a přísně

regulovaný. Je zásadní používat semeno pro stejnou výškovou zónu, protože pokud teploty na novém stanovišti překročí určitou hodnotu, může se to negativně projevit na kvalitě a růstu porostů, například projevem křivých jedinců. Borovice lesní se dobře zmlazuje na plochách po lesních požárech. Její dřevo má červenožluté jádro různé velikosti a intenzity zbarvení. Je pryskyřičnaté, měkké, lehké a trvanlivé, avšak má omezenou pružnost a ohebnost (VACEK a kol. 2022).

Mezi hlavní hrozby pro borovici lesní patří sucho, ale také houbové patogeny a podkorní hmyz. Mezi houbové patogeny patří například kornice borová (*Cenangium ferruginosum*), která může zahubit oslabené borovice. Ohroženy jsou borovice všech věkových kategorií, od sazenic a čerstvých výsadeb až po dospělé stromy (PEŠKOVÁ 2016). Dalším houbovým patogenem je *Sphaeropsis sapinea*. Tento druh preferuje především borovici černou, ale neodolá ani borovici lesní nebo smrku ztepilému. Dokáže zahubit nejen oslabené starší borovice, ale také nové výsadby, a dokonce i semenáče borovic (PEŠKOVÁ 2016). Posledním zástupcem z říše hub je václavka smrková (*Armillaria ostoyae*). Mezi podkorní hmyz, který způsobuje škody na borovici lesní, patří Lýkožrout vrcholkový (*Ips acuminatus*), Lýkožrout lesklý (*Pityogenes chalcographus*), Lýkohub sosnový (*Tomicus piniperda*), Lýkohub menší (*Tomicus minor*) a Krasec borový (*Phaenops cyanea*). Obranou proti všem těmto druhům je důsledné vyhledání a včasná likvidace napadeného materiálu, odstranění napadených kmenů, jejich odkornění, spalování, chemické ošetření povolenými přípravky s odpovídajícím technologickým postupem nebo použití lapacích zařízení. Borovice lesní, oproti smrku a jedli, výrazně méně trpí ohryzem a loupáním působeným zvěří a následně sekundárním hnilobám (CUKOR a kol. 2022).

Dále je také ceněna pro své léčivé vlastnosti, jako jsou antiseptické a protizánětlivé účinky, a je považována za rostlinné antibiotikum. Tradičně se využívala k léčbě různých onemocnění, například revmatismu, chorob ledvin a močového ústrojí. Pupeny, výhonky, mladé jehličí a šištice obsahují silice, pryskyřice a vitaminy a minerály, které se uplatňují při léčení respiračních onemocnění a kašle, jako dezinfekce a při léčbě různých zánětů. Dřevo poskytuje výborný stavební a truhlářský materiál a je využíváno například na pražce a telegrafní tyče (ÚRADNÍČEK, MADĚRA a kol. 2001).

Tento druh stromu se rovněž velmi dobře osvědčuje jako příměs v jehličnatých i smíšených lesních porostech. V podrostu porostů borovice lesní úspěšně zmlazuje celá řada druhů dřevin, včetně lípy srdčité, jeřábu, hlohu a dalších dřevin (PODRÁZSKÝ a kol. 2019). Obecně lze konstatovat, že v podmínkách Sokolovské pánve je borovice lesní vhodnou autochtonní dřevinou pro lesnickou rekultivaci výsypek hnědouhelných dolů. Tento druh je schopen poskytnout adekvátní a hospodářsky významnou produkci dřevní hmoty a zároveň přispět k obnově krajinného rázu Sokolovska. V podrostu borovicových porostů navíc vytváří podmínky pro přirozené zmlazení mnoha dalších druhů dřevin, buď uměle vysazených na výsypce Antonín, nebo přirozeně se vyskytujících v širším okolí výsypky (PODRÁZSKÝ a kol. 2019).



Obr. 5: areál rozšíření borovice lesní (Evropa a Asie) – zdroj: Anonymus

4.2. Potenciál introdukovaných dřevin

Do nedávné doby byla otázka introdukovaných druhů alespoň z hlediska jejich environmentálního významu věnována minimální pozornost. To platí jak pro Českou republiku, tak i pro celou střední Evropu (JUSSY et al. 2000). I přestože se potýkáme s ekologickými překážkami a legislativními bariérami, plocha zaujímaná těmito stromy v současných lesích České republiky představuje pouze zhruba 0,8 % z celkové lesní plochy, ale jejich potenciál pro využití je mnohem vyšší. Je zřejmé, že rozšiřování těchto druhů by mělo být omezeno v chráněných oblastech, které v současnosti pokrývají přibližně 23,6 % lesů České republiky (PODRÁZSKÝ a kol. 2020).

Nicméně není důvod, proč by jejich produkční a mimoprodukční potenciál nemohl být využit v hospodářských lesích a proč by nemohl být začleněn do konceptu udržitelného a multifunkčního lesního hospodářství, jak je běžné například pro státy německy mluvících zemí (KONNERT, RUETZ 2006). V době probíhající změny klimatu a rostoucí plochy krajiny po těžbě nabývá úspěšná obnova rekultivačních lokalit pomocí vhodných a adaptabilních stromových druhů na významu. Jedním z možných přístupů může být využití introdukovaných druhů, což je však diskutabilní téma ohledně rizik pro lesní hospodářství a ochranu přírody. Je důležité se z hlediska introdukovaných druhů zaměřit na přínos v oblasti produkčního potenciálu, odolnosti vůči změnám klimatu, ukládání uhlíku, biodiverzity a vlastností půdy. Nejvyšší produkce dřeva, biomasy a zásoby uhlíku je pozorováno u druhů *Pinus sylvestris*, *P. nigra* a *Pseudotsuga menziesii*. Na druhou stranu, nevhodné prostředí, hmyz a patogeny způsobují jiným druhům (*Pinus strobus* a *P. rotundata*) špatný zdravotní stav a extrémně nízké produkční parametry. Pokud jde o klima, nejodolnější vůči klimatickým extrémům jsou druhy rodu *Pinus sylvestris*, *P. nigra*, *Larix decidua*, *Pseudotsuga menziesii* a *Picea omorika*. Naopak druhy *Pinus rotundata*, *P. strobus*, *P. ponderosa*, *Picea pungens* a *P. abies* bývají velmi citlivé na klimatické události, zejména na nedostatek srážek ve vegetačním období a vysoké teploty. Přínosy "vhodných" introdukovaných stromových druhů spočívají v jejich vysokém potenciálu produkce dřeva a schopnosti dobře se adaptovat a snižovat dopady změn klimatu. Naopak původní druhy stromů (*Pinus sylvestris*, *Larix decidua*) mohou poskytnout lepší environmentální přínosy na rekultivačních lokalitách (VACEK 2021).

Je nepravděpodobné, že introdukované druhy stromů budou v blízké budoucnosti hrát v českých lesích významnou roli. Nicméně v poslední době o ně roste zájem především ze strany lesnického výzkumu. Problémy spojené se zalesňováním rozsáhlých oblastí po katastrofách, v kombinaci s klimatickou změnou a extrémními povětrnostními podmínkami, zdůrazňují důležitost zvažování použití méně běžných druhů lesních stromů. Navzdory nejistotám týkajících se budoucího vývoje ekologických a ekonomicko-politických podmínek je nezbytné považovat introdukované druhy stromů za alternativu, avšak ne jako dominující nebo rozhodující faktor pro zvýšení diverzity našich lesů. Další důležitou oblastí pro využití introdukovaných druhů dřevin je zalesňování zemědělské půdy, zejména degradovaných a zdevastovaných lokalit, a další regenerace lesů v oblastech s klimaticky extrémnějšími podmínkami, zejména v souvislosti s vlhkostí. Využití v agrolesnických systémech představuje další významnou příležitost (NOVOTNÝ 2023).

3.3. Klimatická změna v lesnictví

Klimatická změna představuje dlouhodobé změny v chování počasí v určitém regionu nebo na celé planetě. Odborníci uvádějí, že hlavní příčinou této změny je lidská činnost, která se projevuje neustálým zvyšováním koncentrace skleníkových plynů v atmosféře (ČADOVÁ 2011).

Změna klimatu má trvalý dopad na různé oblasti, a lesnictví není výjimkou. Lesní ekosystémy jsou vystaveny různým hrozbám v důsledku klimatických změn, ale zároveň mohou lesy hrát klíčovou roli při regulaci vodního režimu, kvality vzduchu a ukládání uhlíku, což může ovlivnit samotný průběh změny klimatu. Proto je důležité nevnímat změnu klimatu pouze jako riziko pro lesní porosty a ekonomické důsledky, ale také jako příležitost pro inovativní přístupy v lesním hospodářství, ochraně přírody a lesnictví, které vycházejí z dlouhodobých výzkumných studií. Nejvýznamnějšími důsledky změny klimatu jsou častější a destruktivnější velké poruchy lesa (požáry, větrné bouře, sucho, povodně, kůrovcové kalamity, hniloba kořenů) a migrace druhů stromů (SEIDL et al. 2017). Posuny v distribuci druhů a změny růstových rytmů stromů mají zásadní vliv na ukládání uhlíku v ekosystémech (PRETZSCH et al. 2013).

Je však nezbytné se zaměřit na příčiny změny klimatu a následně na adaptivní strategie, které mohou zahrnovat vytváření různorodých, prostorově a věkově strukturovaných lesních porostů, prodloužení regeneračního období nebo využití vhodných introdukovaných druhů stromů (např. douglaska tisolistá, borovice černá a středomořské dubové druhy). Požadované změny jsou založeny na zvýšení biodiverzity a mitigaci změny klimatu a budou vyžadovat výrazně vyšší počáteční náklady na lesnické postupy. Z hlediska adaptace na klimatickou změnu je důležité pěstovat (kromě introdukovaných dřevin) také lesy smíšené. Mají jednak vyšší produkční potenciál, ale jsou také odolnější vůči dlouhodobému suchu, klimatickým extrémům a měnícím se podmínkám prostředí (VACEK a kol. 2021).

Závěrem, šíře a složitost tohoto tématu vyžadují další komplexní a dlouhodobé studie s důrazem na mezinárodní spolupráci. Vidíme kritický nedostatek v přenosu výsledků výzkumu do praxe, což bude klíčovým faktorem pro zalesňování a růst lesních porostů v následujících desetiletích. Podoba našich lesů pro budoucí generace a dopad změny klimatu na lesnictví závisí

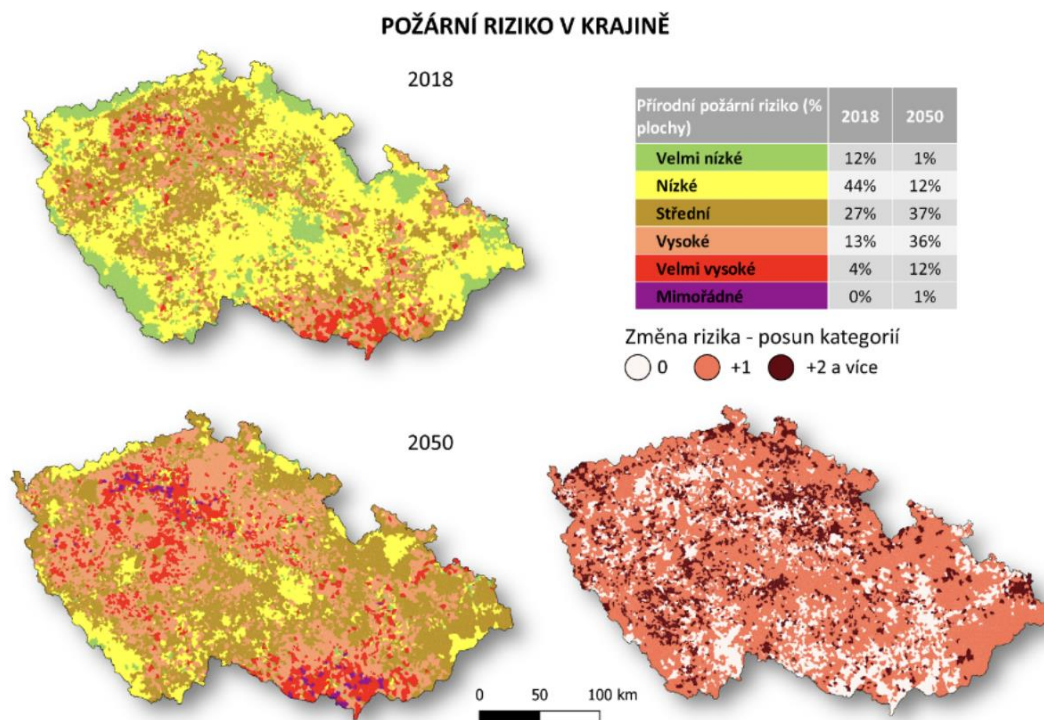
na podpoře lesního výzkumu a politiky změny klimatu, včetně adaptivních a mitigativních strategií (VACEK et al. 2023).

S postupující změnou klimatu se očekává, že se změní i dopady lesních chorob na lesní ekosystémy. Existují znalosti o vztazích mezi klimatickými faktory a různými lesními chorobami, a také současné poznatky o tom, jak interakce mezi klimatem, hostiteli a patogeny reagují nebo mohou reagovat na klimatické změny. Mnoho lesů lze spravovat tak, aby se přizpůsobily novým podmínkám a zároveň minimalizovaly nepříznivé dopady očekávaného zvýšení úmrtnosti stromů. Diskutují se čtyři hlavní přístupy k řízení lesů a lesních chorob: monitorování, předpovídání, plánování a zmírňování. Řešení nejistot spojených s dopady změny klimatu vyžaduje aktivní výzkum, posouzení rizik a začlenění výsledků do politiky lesnictví, plánování a rozhodování (STURROCK 2011).

Velkým problémem v našich podmínkách je kombinace klimatických změn, smrku ztepilého a lýkožrouta smrkového (*Ips typhographus*). Posledních 8 let spadá mezi deset nejteplejších v historii zaznamenaných Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ). Postupný nárůst průměrných teplot v našem regionu, spolu s nedostatečným nebo nerovnoměrným rozložením srážek během roku, negativně ovlivňuje celkovou vodní bilanci krajiny. Počet deštivých dnů klesá, zatímco extrémní bouřky a silné dešťové srážky se stávají častějšími. Nicméně kvůli vyšším celkovým teplotám se skutečná výparnost a dostupná vlhkost v lesních ekosystémech výrazně snižují během celého roku. V důsledku toho klesá dostupnost vlhkosti, což vede ke zvýšenému výskytu sucha a zvýšeným stresovým faktorům pro stromy. Kombinovaným účinkem těchto vlivů dochází ke snižování vitality lesních porostů, přičemž smrk ztepilý je zvláště zranitelný a vlivem toho dochází k rozpadu smrkových porostů v ČR a k nárůstu kůrovcové kalamity (ŠIMŮNEK a kol. 2020).

V minulosti byl smrk ztepilý hlavní hospodářskou dřevinou, ale v dnešní době je tento stav již neudržitelný. Smrk si pravděpodobně udrží své přirozené místo pouze v nejvyšších nadmořských výškách. Škody na jehličnatých lesích v nižších polohách jsou tak rozsáhlé, že je nezbytné provádět odlesňování stovek hektarů téměř monokulturních porostů. V dnešní době je již jedinou možností co největší zpomalení odlesňování. Tím se dá získat více času na vytvoření lesů s vyšším druhovou, prostorovou a věkovou rozmanitostí. Extrémně rychlý přechod od lesního prostředí k téměř stepnímu prostředí má mnoho negativních dopadů, jako je rychlá mineralizace humusových vrstev, vliv na vodní režim a bilanci, zvýšená eroze půdy a akumulace škod způsobených spárkatou zvěří. Pouze bohatá směs jehličnatých a listnatých stromů různého věku může zajistit vyšší stabilitu a odolnost vůči budoucím přírodním vlivům (LESY ČR 2018).

Obecně lze předpokládat, že klimatické změny, a především sucha se stane klíčovým omezením v nižších polohách, zatímco zvýšená teplota a prodloužení vegetačního období ve vyšších polohách mohou být pro lesní vegetaci přínosem. To povede k postupnému posunu stromových druhů směrem na sever a k omezení rozsahu distribuce některých druhů. Tyto změny budou pravděpodobně doprovázeny změnami ve výskytu a dynamice populací škůdců a patogenů (HLÁSNY 2011).



Obr. 6: požární riziko v krajině z důvodu klimatické změny (srovnání nynějšího rizika s predikcí k roku 2050) – zdroj: Firerisk 2018

4. Materiál a metodika

4.1. Přírodní lesní oblast – Podkrušnohorské pánve

Přírodní lesní oblast Podkrušnohorské pánve se dělí na dva oddělené souhrnné celky. První s názvem 2 a, do které patří Sokolovská a Chebská pánev a druhý s názvem 2 b, do kterého se řadí Mostecká a Žatecká pánev. Zájmové území se tedy nachází v celku 2 a (PODRÁZSKÝ a kol. 2019).

4.1.1. Přírodní podmínky oblasti

Na území Chebské a Sokolovské pánve se nachází 6982 ha porostní půdy a 7557 ha na pozemcích určených k plnění funkcí lesa (PUPFL). Lesnatost oblasti činí cca 13,6 % (REICHMANN 2021). Nejnižším bodem v oblasti je řeka Ohře (v Sokolově v nadmořské výšce 380 m. n. m), zatímco nejvyšším bodem je Dvorský vrch (573 m. n. m). Řeka Ohře představuje největší vodní tok v oblasti Chebské a Sokolovské pánve. Mezi její největší přítoky patří řeky Odava, Svatava, Libava, Rolava, Teplá a potoky Libocký a Dalovický. Převážná část lesů se nachází v lesních vegetačních stupních 3. až 5 (GLOS 2011).

4.1.2. Geologie

Podloží Sokolovské pánve se skládá z hornin karlovarského plutonu na východě a jeho metamorfovaného pláště – krušnohorského krystalinika na západě. Karlovarský pluton je charakterizován přítomností "horské žuly", což jsou porfyrické biotitické žuly s výraznými vyrostlicemi ortoklasu. Menší část pánve je tvořena jemnozrnnou až středně zrnitou muskovitickou až muskoviticko-biotitickou "krušnohorskou žulou". V západní části se nachází metamorfovaný plášť, který sestává z dvojslídňých pararul a často se vyskytují i břidličnaté svory s injekcemi kyselých vyvřelin (PÖPPERL, 2001), (GLOS 2011). V Sokolovské pánvi je mocnost terciérních písků vyšší, přičemž basální starosedelské a cyprisové souvrství jsou zde výrazně zastoupeny. Zároveň jsou zde rozsáhlé vulkanodetritické souvrství. Kromě jílu a písků, včetně kaolinických, je v této oblasti také centrum těžby hnědého uhlí. Četné vyvýšeniny v pánvi představují obnažené partie podložního krystalinika a drobné výlevy basaltoidů, které sem pronikají z prostoru doupovské kaldery (DEMEK et al. 1987), (REICHMANN 2021).

4.1.3. Hydrografie

Páteří celé hydrologické sítě je řeka Ohře. Důlní činností je hydrologický systém na značné části zcela přetvořen a toky převedeny do umělých koryt (včetně podzemních). Vodní plochy v Sokolovské pánvi jsou především rybníky, které se nacházejí zejména u obcí Děpoltovice a Ostrov, a dále odkalovací nádrže dolů a elektráren. Výjimkou je nově zatopený hnědouhelný lom Medard, který tvoří rozsáhlejší vodní plochu (REICHMANN 2021). Minerální prameny se nachází ojediněle na území obce Šabina, oblast je však významná pro infiltraci karlovarských pramenů (REICHMANN 2021).

4.1.4. Klimatické poměry

Průměrná roční teplota v oblasti, měřená na stanici ČHMÚ v Sokolově, činí +7,3 °C. Nejchladnějším měsícem je leden s průměrnou teplotou -1,4 °C, zatímco nejteplejším je červenec s průměrem +16,5 °C. Průměrné vegetační období trvá 220 až 227 dnů. Klima je mírně teplé a kvůli mírnému srážkovému stínu Krušných hor poměrně suché. Dlouhodobý roční úhrn srážek se pohybuje mezi 327 až 658 mm, s průměrem 611 mm za rok na stanici ČHMÚ v Sokolově. Největší množství srážek obvykle spadne v červenci (78 mm), zatímco nejméně v březnu (34 mm). Údolí řeky Ohře je charakterizováno výraznějším inverzním klimatem. Nejčastěji se vyskytují západní větry (13,01 %), jihozápadní (12 %) a severovýchodní (12 %), zatímco nejméně časté jsou jižní větry (5 %). Podíl bezvětří dosahuje 25,98 % (GLOS 2011).

4.1.5. Pedologie

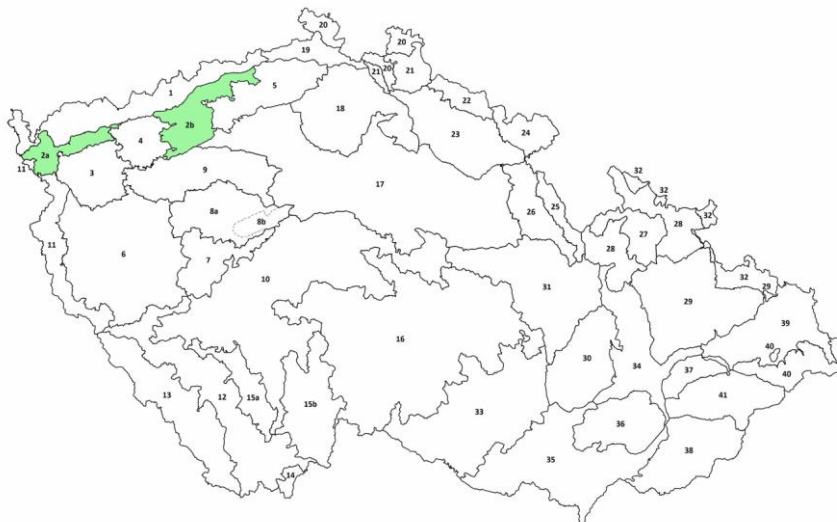
Na území Chebské a Sokolovské pánve se nachází různé druhy půd. Mezi ně patří například illimerizované půdy-luvizemě. Na území okresu Sokolov se nachází pouze v západní a jihozápadní části, náležející k pánvi Chebské (DIMITROVSKÝ 2001). Půdotvorným substrátem v této oblasti je sprašový pokryv, který se často nachází nad jílovitými zeminami limnického terciéru nebo na terasovém materiálu, a také nad kyselými svahovinami. Tyto půdy vznikly v důsledku procesu illimerizace, což znamená posun koloidních částic o velikosti menší než 0,001 mm (DIMITROVSKÝ 2001).

Vodní režim luvizemí je charakterizován periodickým promyvem. Vytvoření horizontu obohaceného o koloidní částice způsobilo částečné snížení propustnosti povrchových vrstev půdního profilu a k jeho periodickému zamokřování. Tento jev se projevuje přítomností rezavých a černošedých skvrn a bročků, což naznačuje oglejení. Tento jev se s větší hloubkou půdy postupně ztrácí (DIMITROVSKÝ 2001).

Další v pořadí jsou oglejené půdy-pseudogleje. Ty jsou zastoupeny především ve střední části okresu, tj. v pánvi Sokolovsko-karlovarské a Chebské. V ostrůvcích se však vyskytují i v jiných oblastech (DIMITROVSKÝ 2001). Hlavním procesem formujícím půdu je oglejení. Během roku dochází v půdním profilu k opakovaným a delšímu trvajícím obdobím zvýšené vlhkosti, která se střídá s obdobími normální vlhkosti až sucha. Vlivem silného nasycení povrchovou vodou dochází k vzniku oglejení, což dále zhoršuje fyzikální a chemické vlastnosti těchto půd (GLOS 2011).

Hnědé půdy, známé také jako kambizemě, mají největší zastoupení v daném regionu. Tyto půdy jsou nejrozšířenějším typem půd v celé České republice. V severní a jižní části okresu převažují a ve střední části se vyskytují spolu s pseudogleji a luvizeměmi. Kromě Chebské pánve se vyskytují ve všech geomorfologických oblastech a všech klimatických okrscích na území okresu (DIMITROVSKÝ 2001).

Dále se zde nachází kambizem slabě pseudoglejová až pseudoglejová se zastoupením ve střední části okresu v Sokolovsko-karlovarské pánvi, kambizem dystrická slabě pseudoglejová až pseudoglejová, která se vyskytuje opět především v Sokolovsko-karlovarské pánvi a také v jižních částech Nejdecké a Kraslické vrchoviny, hnědá půda kyselá-dystrická, která se s výjimkou Chebské pánve vyskytuje ve všech klimatických okrscích a geomorfologických oblastech okresu. Mezi poslední dva typy patří hnědá půda podzolovaná-podzol kambizemní a nívné půdy-fluvizemě. První zmíněná se vyvinula většinou v severní části Kraslické vrchoviny a ve vrchovině Nejdecké v nadmořské výšce 650-900 m. Fluvizemě se vyskytují pouze lokálně v nivě řeky Ohře, Svatavy či Lobežského potoka (DIMITROVSKÝ 2001).



Obr.8: PLO 2 (Podkrusnohorské pánve) – zdroj: ÚHÚL

4.2. Charakteristika zájmového území – arboretum Antonín

Lesnické arboretum Antonín – Sokolov bylo založeno v letech 1969-1974 na vnitřní ploše výsypky Antonín u Sokolova, během období 1971–1972 byly dokončeny technické úpravy následované lesnickou rekultivací. Celková rozloha výsypky dosahuje 165 ha. Nejvyšší bod arboreta Antonín leží ve výšce 443,8 m n. m., s převýšením o 48 m oproti okolí. Během technických úprav probíhal postupný proces zaplňování lomového pole, což způsobilo, že povrch výsypky má petrograficky neuspořádanou strukturu a texturu. Většina plochy arboreta je tvořena mírnými svahy, přerušovanými plošinami, které slouží jako protierozní opatření. Odvodnění povrchu výsypky je zajištěno nezpevněnými příkopy směřujícími na sever až severozápad. Na severozápadní straně arboreta brání konfigurace terénu odtoku srážkové vody mimo výsypku. V důsledku toho se v několika málo místech vytvořily menší vodní plochy a mokřady, které v současnosti ustupují a nacházejí se ve stádiu mělkého zavodnění, s bahenními nebo již zcela suchými plochami. Atmosférické srážky představují jediný zdroj vlhkosti pro půdu v arboretu (DIMITROVSKÝ 2001).

Substrátem, tvořícím těleso výsypky, jsou cyprisové jíly a jíly vulkanodetritické série, včetně porcelanitů, které hrají klíčovou roli v počátečních stádiích tvorby půdy, pedogenezi. Tyto materiály určují fyzikální podmínky půdy a základní chemické vlastnosti půdního prostředí (DIMITROVSKÝ 1999, DIMITROVSKÝ et. al. 2010, DIMITROVSKÝ et. al. 2007, VESECKÝ 1989), (REICHMANN 2021). Klimatické podmínky v oblasti odpovídají širšímu území podkrušnohorské pánve. Klima v Sokolovsku je mírně teplé a relativně suché kvůli vlivu mírného srážkového stínu Krušných hor. Průměrná roční teplota v oblasti, měřená na stanici ČHMÚ Sokolov (umístěná 4 km jihozápadně od Sokolova, v nadmořské výšce 402 m), činí +7,3° C. Pouze údolí řeky Ohře má výraznější inverzní klima. Dlouhodobý roční úhrn srážek se pohybuje mezi 327-658 mm, s průměrným úhrnem 611 mm za rok na stanici v Sokolově. Nejvyšší srážkové množství se obvykle vyskytuje v červenci (průměrně 78 mm), zatímco nejméně srážek je v březnu (průměrně 34 mm). Průměrné vegetační období trvá 220-227 dnů (PODRÁZSKÝ a kol. 2019).

Půdy jsou v počátečním stádiu vývoje, pod porosty lesních dřevin lze předpokládat vytváření koloběhu živin a organické hmoty typické pro lesní ekosystémy (DIMITROVSKÝ et. al. 2016, PODRÁZSKÝ et. al. 2016). Počáteční vývoj přízemní vegetace naznačuje trend směřující k potenciální vegetaci acidofilních doubrav, s výrazným podílem ruderálních druhů v první fázi sukcese. Na zamokřených místech, které nyní ustupují, odpovídá vývoj vegetace olšovým společenstvům (LINHART 1988, GLOS 2016), (REICHMANN 2021). Jedná se

zásadně o materiály, které se skládají z kombinace kompaktních jíílů, jíilových břidlic a vrstev lístkovitých jíílů. V některých případech jsou v půdách zaznamenány kvantitativní příměsi přepálených hornin, zejména porcelanitů (DIMITROVSKÝ 2001), (REICHMANN 2021).

Na daném území byla postupně vysazena bohatá paleta dřevin a keřů, zahrnující 220 různých druhů, poddruhů, ekotypů a fenotypů a přes 30 druhů introdukovaných dřevin. Tyto introdukované dřeviny byly vysázeny jak ve formě monokultur, kde bylo vytvořeno 22 ploch, tak ve formě směsí, které byly umístěny na 38 ploch. Svou koncepcí a uspořádáním představuje arboretum Antonín jedinečné dílo, které bylo vybudované v krajině postižené devastací, a to s ohledem na botanické, dendrologické a lesnické aspekty (PODRÁZSKÝ a kol. 2019).

Je důležité zdůraznit, že rekultivační lesnické arboretum Antonín bylo zřízeno s hlavním cílem vytvořit modelovou zkušební plochu, na které byly jednotlivé druhy dřevin zkoumány a následně používány i na dalších degradovaných antropogenních substrátech nejen v Sokolovské pánvi, ale i v jiných oblastech, jako je Mostecko, Chomutovsko a další. Z toho vyplývá, že hustota výsadeb by měla zůstat co nejvyšší, aby bylo možné dále monitorovat genetický potenciál jednotlivých druhů a jejich skupin v těchto atypických podmínkách (PODRÁZSKÝ a kol. 2019).

Lesnické arboretum Antonín rovněž plní významnou rekreační a vzdělávací roli jako příměstský les v blízkosti města Sokolov. Z vědeckého hlediska představuje výsypka Antonín unikátní místo pro specifický výzkum více než 220 druhů původních a introdukovaných dřevin, což přináší jedinečné poznatky. Je nezbytné pokračovat v tomto výzkumu i v budoucnosti (VACEK 2018).



Porosty Antonín
Dominantní dřevina

Pinus sylvestris	Picea glauca	Quercus rubra	Eleagnus commutata	Pyrus communis
Pinus cembra	Picea mariana	Amorfa fruticosa	Crataegus sp.	Forsythia
Pinus contorta	Picea omorica	Alnus glutinosa	Ulmus minor	Padus racemosa
Pinus nigra	Picea pungens	Alnus incana	Ulmus glabra	Rosa canina
Pinus peuce	Pinus sitchemensis	Betula sp.	Ulmus laevis	Siringa vulgaris
Pinus ponderosa	Larix sp.	Robinia pseudoacacia	Fraxinus excelsior	Malus sp.
Pinus rigida	Larix gmelinii	Fagus sylvaticus	Populus nigra	Hippophae rhamnoides
Pinus strobus	Pseudotsuga menziesii	Tilia cordata	Populus trichocarpa	Sukcešní plochy
	Quercus sp.	Carpinus betulus	Populus nigra italica	
		Acer platanoides	Populus tremula	
		Acer pseudoplatanus	Salix alba	

Obr. 7: pohled na arboretum Antonín s vyznačenými porosty a jejich dominantní dřevinou – zdroj: Podrázský a kol. 2019

4.3. Sokolovsko

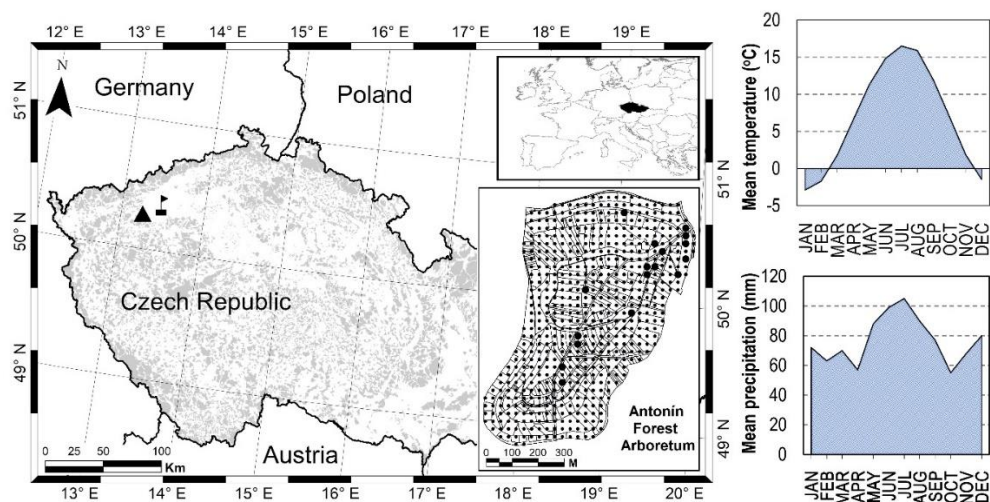
Sokolovsko je historickým regionem situovaným v severozápadní části České republiky, konkrétně v Karlovarském kraji. Tento region se vyznačuje bohatou historií a průmyslovými tradicemi. Historicky bylo Sokolovsko známé jako oblast těžby uhlí a průmyslového rozvoje, zejména v 19. a 20. století. Těžba uhlí hrála klíčovou roli v ekonomice regionu a přinesla značný rozvoj měst a vesnic v okolí. (DIMITROVSKÝ 2001)

Mezi nejvýznamnější města v Sokolovsku patří Sokolov, který je také administrativním centrem regionu, a Chodov, známý svou historií spojenou se stříbrnými doly. Dalšími významnými sídly jsou Kraslice, Nejdek, Krajková a Krásno. Sokolovský okres má rozlohu 754 km² a je třetím nejmenším okresem v Karlovarském kraji, zabírá 22,75 % jeho celkové rozlohy. Povrch okresu je převážně kopcovitý. Severní část okresu je protkána Krušnými horami, od jejichž západního okraje se táhne úzký horský výběžek směrem k řece Ohři, který tvoří hranici mezi Sokolovskou a Chebskou pánví. Na jihu se rozkládají pahorkatiny Slavkovského lesa. Nejvyšším bodem okresu je vrchol Špičák s nadmořskou výškou 991 m u Stříbrné v Krušných horách, zatímco nejnižší bod má nadmořskou výšku 375 m (ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD 2024).

Na Sokolovsku začala proměna krajiny zhruba v polovině 19. století s nástupem těžby hnědého uhlí. Od padesátých let minulého století se zde přechází od hlubinné těžby k povrchové, lomové těžbě, která má větší devastující dopad na krajinu (DIMITROVSKÝ et al. 2010), (GLOS 2011). Je zde snaha udržet stanovené objemy těžby uhlí tím, že se otevírají nové lomy ve východní části Sokolovska a některé menší doly na západě. Tyto kroky vytvářejí tlaky na vnější výsypkové prostory, protože ukládání materiálu do vnitřních částí výsypky není možné kvůli postupu při dobývání lomů. Po dokončení těžby vzniká potřeba řešit rekultivaci rozsáhlých zbytkových jam (DIMITROVSKÝ 1999), (GLOS 2011).

4.4. Výsypka Antonín a výzkumné plochy

Na výsypce Antonín bylo vybráno a změřeno celkem 17 trvalých zkusných ploch. Jejich rozmístění po areálu arboreta je různé (viz. mapa). Z celkového počtu zkusných ploch jich pět patří borovici lesní, pět borovici černé, pět borovici pokroucené a zbylé dvě náleží borovici těžké. Je to především z důvodu, že v minulosti vznikl na území arboreta požár a ten zničil větší část porostu tohoto druhu. Všechny výzkumné plochy mají velikost 10×15 m. U všech výzkumných ploch je věk přibližně stejný, a to mezi 40–50 lety. Jedná se o lesy zvláštního určení sloužící lesnickému výzkumu a lesnické výuce. V minulosti byl v předchozím deceniu v porostech ve věku do 40 - ti let prováděn velmi mírný zásah, zpravidla pouze nahodilé těžby s rozčleňováním porostů linkami.



Obr. 9: umístění výsypky Antonín a zkusných ploch, přehled průměrných teplot a průměrný srážkový úhrn

4.5. Sběr dat

Sběr dat proběhl na 17 trvale výzkumných plochách o velikosti 10×15 m (150 m²). U všech druhů borovic (borovice lesní, černá a pokroucená) byly zaměřeno 5 ploch, pouze u borovice těžké byly založeny pouze dvě plochy. Pro stanovení struktury stromového patra byla použita technologie FieldMap (IFER-Monitoring and Mapping Solutions Ltd.). Pomocí této sestavy byla zaměřena poloha všech jedinců stromového patra s výčetní tloušťkou (dbh) ≥ 4 cm. Korunové projekce stromového patra byly měřeny ve 4 směrech na sebe kolmých. U

stromového patra byly též změřeny výčetní tloušťky, výšky a výšky nasazení odumřelé a zelené koruny. Výčetní tloušťky stromového patra byly měřeny kovovou průměrkou s přesností na 1 mm ve dvou na sebe kolmých směrech a výšky pomocí výškoměru laser Vertex s přesností na 0,1 m.



Obr. 10: měření v terénu – zdroj: vlastní foto



Obr. 11: měření v terénu – zdroj: vlastní foto

4.6. Analýza dat

Z naměřených dendrometrických údajů byly pro každou trvale výzkumnou plochu vypočteny tyto porostní charakteristiky: průměrná výčetní tloušťka, střední porostní výška, výtvarnice, šířka koruny, hektarová zásoba sdruženého porostu, hektarový počet stromů, hektarová výčetní kruhová základna, štíhlostní kvocient, index hustoty porostu (zakmenění), celkový průměrný přírůst a plocha korunových projekcí. Objem stromů byl kalkulovaný podle objemových rovnic publikovaných v práci (PETRÁŠ, PAJTIK 1991). Standardně pro hodnocení produkce porostu byl použit objem hroubí bez kůry. Jako ukazatelé hustoty porostu byl vypočten index hustoty porostu (SDI, REINEKE 1933) a stupeň zápoje (CROOKSTON, STAGE 1999).

Z hlediska hodnocení porostní struktury a diverzity byla pro každou zkusnou plochu vypočítána tloušťková a výšková diference (FÜLDNER 1995), vertikální Arten-profil index (PRETZCH 2006), vertikální diverzita, korunová diference a index celkové porostní diverzity (JAEHNE, DOHRENBUSCH 1997). Kritéria strukturálních a komplexních indexů jsou uvedeny v Tab. 1. Produkční parametry a ukazatelé diverzity byly vypočteny v softwaru SIBYLA (FABRIKA, ĎURSKÝ 2005).

Tab. 1: Přehled indexů popisujících strukturu porostu a jejich interpretace.

Kritérium	Kvantifikátor	Označení	Reference	Hodnocení
Horizontální struktura	Agregační index	R (C&Ei)	Clark, Evans (1954)	střední hodnota $R = 1$; shlukovitost $R < 1$; pravidelnost $R > 1$
Vertikální struktura	Arten-profil index	A (Pi)	Pretzsch, 2006	rozpětí 0-1; vyrovnaná vertikální struktura $A < 0,3$, výběrný les $A > 0,9$
	Vertikální diverzita	S (J&Di)	Jaehne, Dohrenbusch, 1997	nízká $S < 0,3$, střední $S = 0,3-0,5$, vysoká $S = 0,5-0,7$, velmi vysoká diference $S > 0,7$

Strukturální diferenciace	Tloušťková diferenciace	TM_d (Fi)	Földner, 1995	rozpětí 0-1; nízká $TM < 0,3$, střední $TM = 0,3-0,5$, vysoká
	Výšková diferenciace	TM_h (Fi)	Földner, 1995	$TM = 0,5-0,7$, velmi vysoká diferenciace $TM > 0,7$
	Korunová diferenciace	K (J&Di)	Jaehne, Dohrenbuschm 1997	nízká $K < 1,0$, střední $K = 1,0-$ 1,5, vysoká $K = 1,5-2,0$, velmi vysoká diferenciace $K > 2$
Komplexní diverzita	Porostní diverzita	B (J&Di)	Jaehne, Dohrenbusch, 1997	monotónní struktura $B < 4$, nerovnoměrná struktura $B = 6-$ 8, velmi různorodá struktura $B >$ 9

Jednotlivé plochy byly pro statistické hodnocení rozděleny dle jednotlivých druhů dřevin. Rozdíly mezi jednotlivými variantami z hlediska produkce, struktury a diverzity byly testovány v programu STATISTICA 12 (StatSoft) pomocí analýzy rozptylu (ANOVA) a Tukeyho HSD testu. V případě nesplnění normálního rozdělení data byly testována pomocí neparametrického Kruskal-Wallisova testu. Spolehlivost modelu byla vyjádřena koeficientem determinace (R^2). Analýza hlavních komponentů (PCA) byla provedena v programu CANOCO 5 (TER BRAAK, ŠMILAUER 2012) pro zhodnocení vztahu mezi produkcí, strukturou a diverzitou jednotlivých variant. Data byla před analýzou zlogaritmována a standardizována. Výsledky vícerozměrné PCA analýzy byly vizualizovány ve formě ordinačního diagramu.

5. Výsledky

5.1. Produkce a struktura stromového patra

Signifikantních rozdílů si můžeme všimnout u porostní zásoby. Ta se pohybuje v rozmezí od 157 (borovice pokroucená) do 376 m³/ha (borovice lesní). Borovice lesní měla dále výrazně vyšší průměrnou výšku (17,95 m) oproti ostatním dřevinám. U objemu středního kmene dominuje borovice těžká (0,377 m³). Tyto hodnoty však mohou být ovlivněny malým počtem zkusných ploch tohoto druhu. Počet stromů na ha se pohybuje v rozmezí od 667 ks (borovice pokroucená) do 2147 ks (borovice černá). Množství borovice černé je skoro čtyřnásobné oproti borovici pokroucené. Kruhová základna hovoří ve prospěch borovice těžké (47,3 m²/ha) a borovice lesní (45,4 m²/ha). U štíhlostního kvocientu zaznamenáváme signifikantní rozdíly mezi borovicí lesní (94,8) a borovicí těžkou (61,2). Celkovému průměrnému přírůstu dominuje borovice lesní (8,18 m³/ha) a více než dvakrát převyšuje borovici pokroucenou (3,37 m³/ha). Index hustoty porostu se pohybuje kolem hodnoty 1, kromě borovice pokroucené, u které je dvakrát menší (0,52). Stupeň zápoje je nejvyšší u borovice těžké (90,6 %) a nejnižší u borovice pokroucené (60,1 %).

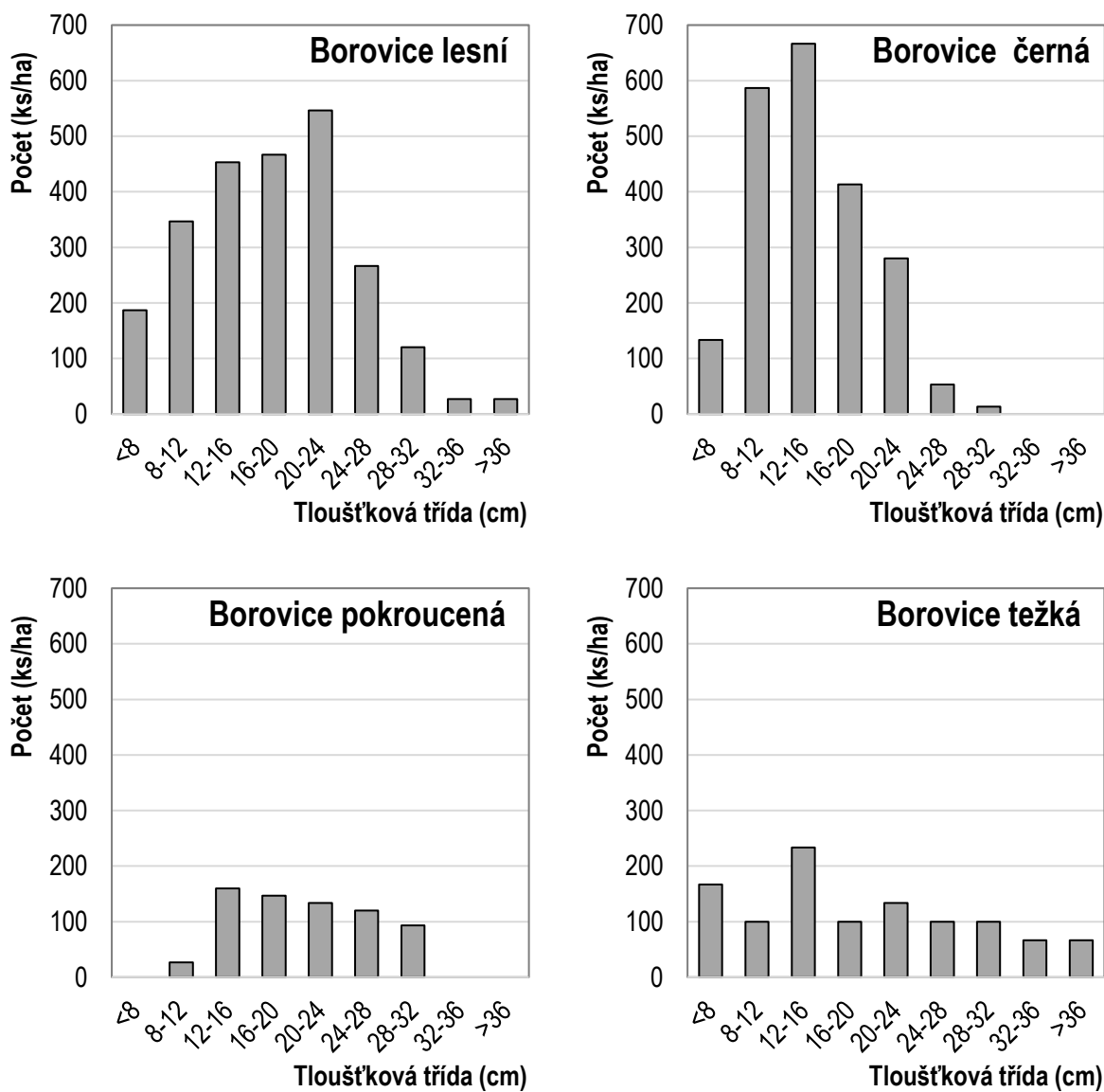
Tab. 2: Základní porostní charakteristiky sdruženého porostu diferencovaně dle výzkumných ploch (1-17) a dřevin (BO – borovice lesní, BOC – borovice černá, BOP – borovice pokroucená, BOT – borovice těžká) v roce 2023; signifikantní rozdíly jsou znázorněny rozdílným písmenem a u p-hodnot podtržením).

TVP	d	h	f	v	N	G	V	h/d	CPP	SDI	CC
	(cm)	(m)		(m ³)	(ks/ha)	(m ² /ha)	(m ³ /ha)		(m ³ /ha)		(%)
1	20,0	18,33	0,456	0,262	1533	47,8	402	91,6	8,74	1,08	86,7
2	14,8	13,8	0,443	0,105	2133	36,6	225	93,2	4,89	0,93	89,5
3	20,4	19,51	0,456	0,291	1867	60,8	542	95,6	11,78	1,36	85,9
4	18,8	18,16	0,451	0,227	1267	35,2	288	96,6	6,26	0,81	82,5
5	20,6	19,94	0,456	0,303	1400	46,4	424	96,8	9,22	1,04	87,2
BO	18,9a	17,95b	0,452ab	0,238a	1640ab	45,4b	376b	94,8b	8,18b	1,04b	86,4b
6	17	16,26	0,441	0,163	1800	41,0	293	95,6	6,37	0,98	87,7
7	16,3	15,35	0,450	0,144	1600	33,3	231	94,2	5,02	0,82	81,6
8	13,5	14,11	0,417	0,084	2467	35,1	208	104,5	4,52	0,93	87,0
9	14,6	14,79	0,435	0,108	3467	58,0	374	101,3	8,13	1,48	96,1
10	16,3	13,29	0,450	0,125	1400	28,9	175	81,5	3,65	0,71	84,2

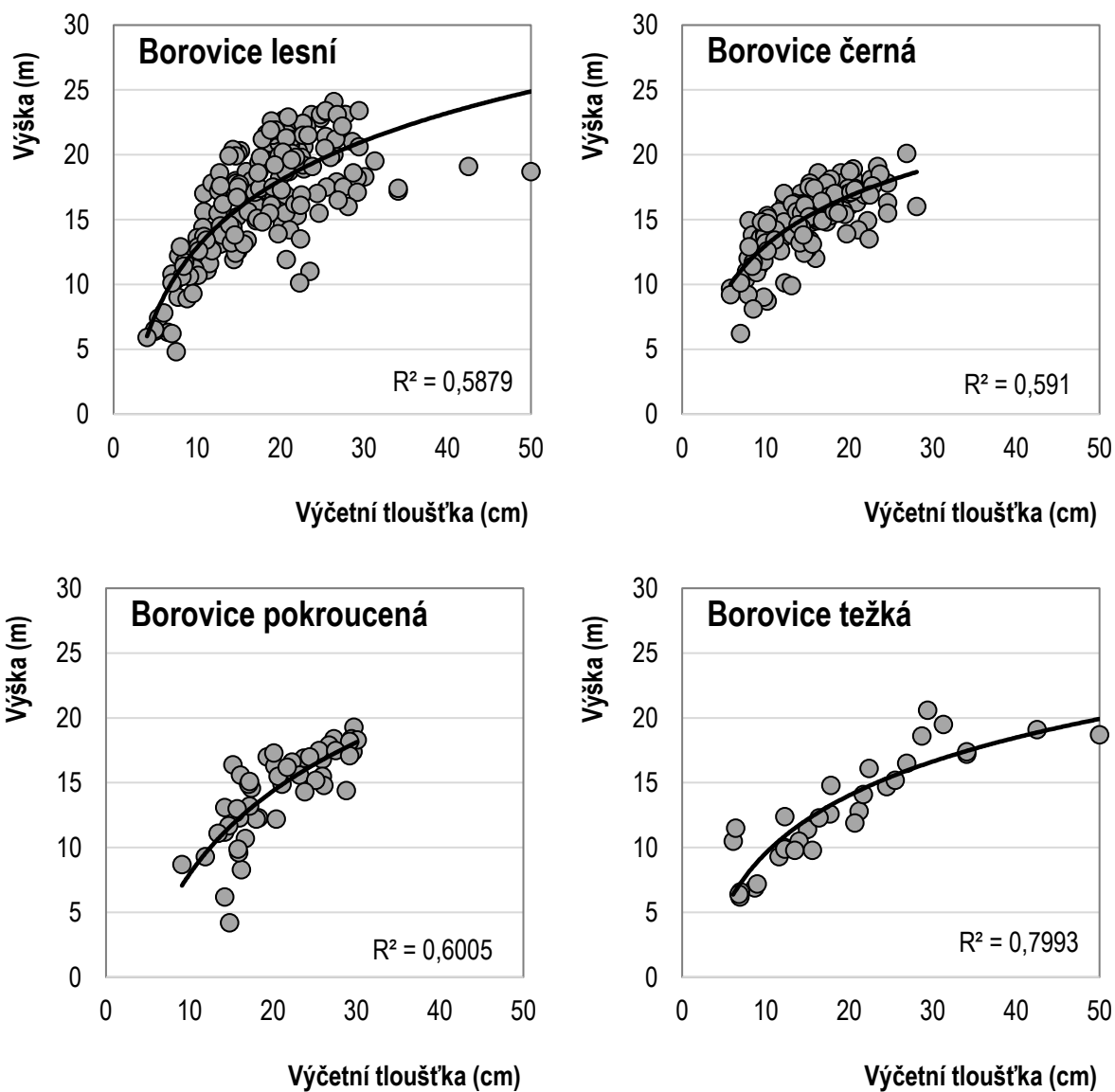
BOC	15,5a	14,76a	0,439a	0,125a	2147b	39,3ab	256ab	95,4b	5,54ab	0,98b	87,3b
11	20,1	11,94	0,491	0,186	600	18,8	112	59,4	2,43	0,43	63,9
12	19,7	13,77	0,488	0,205	467	14,1	96	69,9	2,09	0,32	52,6
13	20,7	14,59	0,469	0,230	667	22,4	154	70,5	3,35	0,50	70,2
14	19,7	12,76	0,465	0,181	733	22,3	132	64,8	2,87	0,51	71,5
15	24,0	16,53	0,453	0,338	867	39,1	293	68,9	6,10	0,82	87,1
BOP	20,8a	13,92a	0,473bc	0,228a	667a	23,3a	157a	66,7a	3,37a	0,52a	69,1a
16	15,1	10,48	0,488	0,092	2000	35,6	183	69,39	3,98	0,90	87,8
17	32,1	16,98	0,483	0,663	733	59,0	486	52,91	10,12	1,11	93,3
BOT	23,6a	13,73a	0,486c	0,377a	1367ab	47,3ab	335ab	61,2a	7,05ab	1,01ab	90,6b
Statistické testování rozdílů											
test	KW	ANOVA	KW	KW	ANOVA	ANOVA	ANOVA	ANOVA	ANOVA	ANOVA	KW
p	0,086	<u>0,046</u>	<u>≤0,001</u>	0,163	<u>0,009</u>	<u>0,027</u>	<u>0,043</u>	<u>≤0,001</u>	<u>0,038</u>	<u>0,011</u>	<u>0,005</u>

Vysvětlivky: TVP – trvale výzkumná plocha, d – kvadratický průměr výčetní tloušťky, h – průměrná výška, f – výtvarnice, v – objem středního kmene, N – počet stromů na hektar, G – kruhová základna, V – porostní zásoba, h/d – štíhlostní kvocient, CPP – celkový průměrný přírůst, SDI – index hustoty porostu, CC – stupeň zápoje

Tloušťková struktura u všech zkoumaných druhů borovic vychází rozdílně. U borovice lesní se nejvíce stromů (cca 550) nachází v tloušťkové třídě 20–24 cm. Nejméně kusů náleží třídě s tloušťkou 32 cm a více. Je ale důležité zmínit, že společně s borovicí těžkou se tato tloušťková třída u zkoumaných druhů vůbec nachází. U borovice pokroucené a černé totiž tato třída není. U borovice černé patří největší zastoupení (cca 670 ks) tloušťkovému stupni 12-16 cm. Nejmenší naopak stupni 28-32 cm. Graf borovice pokroucené nabývá na první pohled poměrně konstantních hodnot. Nenachází se zde žádní jedinci s tloušťkou menší než 8 cm. Nejvyšší zastoupení náleží tloušťkové třídě 12-16 cm, a to se zastoupením cca 180 ks. U borovice těžké patří nejvyšší zastoupení stejné tloušťkové třídě jako u předešlého druhu (cca 220 ks), ale nachází se zde, oproti ostatním druhům, nejvyšší počet jedinců přesahující tloušťku 32 cm.



Obr. 12: Tloušťková struktura jednotlivých druhů borovic v roce 2023.



Obr. 13: Závislost výšky na výčetní tloušťce diferencovaně dle jednotlivých druhů borovic v roce 2023; R^2 vyjadřuje koeficient determinace.

5.2. Diverzita stromového patra

Z hlediska diverzity stromového patra nezaznamenáváme signifikantní rozdíly ($p > 0,05$) u hodnot mezi borovicemi. Vertikální Arten profil index vychází nejvyšší pro borovici pokroucenou a těžkou. Tloušťková diferenciacie je oproti ostatním druhům jednoznačně nejvyšší u borovice lesní. Výšková diferenciacie je na tom stejně, jen nenabývá tak rozdílných hodnot. Vertikální diverzita se u všech druhů pohybuje v poměrně stejných číslech, ale lehce převyšuje u borovice černé. Korunová diferenciacie vychází u borovice lesní nejvyšší a u borovice těžké nejnižší. V kontextu celkové diverzity nabývá nejvyšších hodnot borovice lesní a nejnižších borovice těžká.

Tab. 3: Základní ukazatelé diverzity sdruženého porostu diferencovaně dle výzkumných ploch (1-17) a dřevin (BO – borovice lesní, BOC – borovice černá, BOP – borovice pokroucená, BOT – borovice těžká) v roce 2023; signifikantní rozdíly jsou znázorněny rozdílným písmenem a u p-hodnot podtržením).

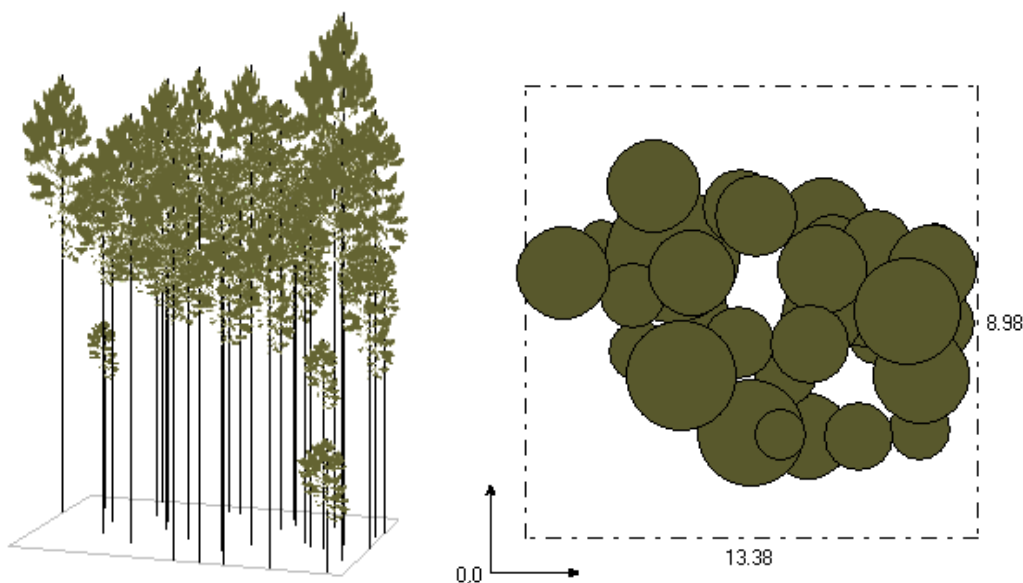
TVP	R (C&Ei)	Ap (Pri)	TMd (Fi)	TMh (Fi)	S (J&Di)	K (J&Di)	B (J&Di)
1	1,299	0,341	0,279	0,136	0,579	0,923	3,446
2	1,014	0,674	0,346	0,279	0,758	1,458	4,500
3	1,200	0,575	0,221	0,190	0,568	0,941	3,453
4	0,848	0,428	0,273	0,174	0,507	0,773	2,905
5	1,023	0,387	0,863	0,233	0,221	1,840	5,117
BO	1,077a	0,481a	0,396a	0,202	0,527	1,187	3,884
6	0,929	0,313	0,293	0,132	0,471	0,786	2,911
7	1,151	0,444	0,237	0,201	0,540	0,907	3,235
8	1,108	0,393	0,259	0,117	0,442	1,532	3,595
9	1,347	0,672	0,277	0,139	0,597	1,418	3,957
10	1,049	0,615	0,387	0,146	0,633	1,140	3,741
BOC	1,117a	0,487a	0,291a	0,147	0,537	1,157	3,488
11	1,020	0,793	0,319	0,282	0,644	1,156	4,014
12	1,117	0,612	0,217	0,256	0,549	1,056	2,768
13	1,457	0,515	0,255	0,158	0,772	1,546	4,030

14	1,547	0,486	0,256	0,175	0,381	0,997	2,288
15	1,561	0,269	0,220	0,079	0,219	0,681	1,762
BOP	1,340a	0,535a	0,253a	0,190	0,513	1,087	2,972
16	1,384	0,750	0,220	0,173	0,592	1,071	3,106
17	1,114	0,317	0,205	0,141	0,456	0,900	2,728
BOT	1,249a	0,534a	0,213a	0,157	0,524	0,986	2,917

Statistické testování rozdílů

test	ANOVA	ANOVA	KW	ANOVA	ANOVA	ANOVA	ANOVA
p	0,199	0,951	0,401	0,449	0,997	0,902	0,295

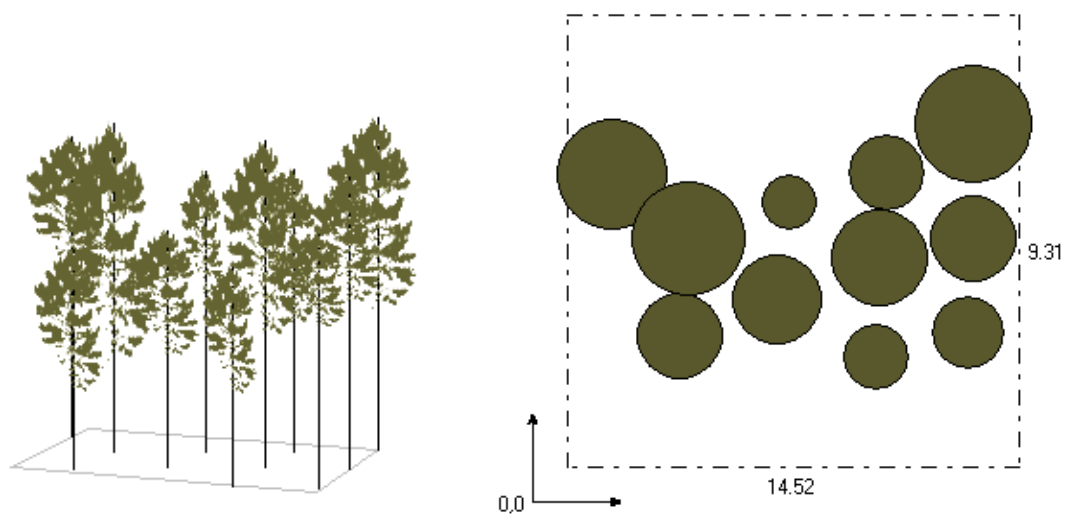
Vysvětlivky: TVP – trvale výzkumná plocha, Ap – vertikální Arten profil index, S – vertikální diverzita, TMd – tloušťková diferenciacce, TMh – výšková diferenciacce, K – korunová diferenciacce, B – celková porostní diverzita



Obr. 14: Příklad vizualizace vertikální a horizontální struktury porostu borovice lesní na TVP 2 v roce 2023.



Obr. 15: Příklad vizualizace vertikální a horizontální struktury porostu borovice černé na TVP 7 v roce 2023.



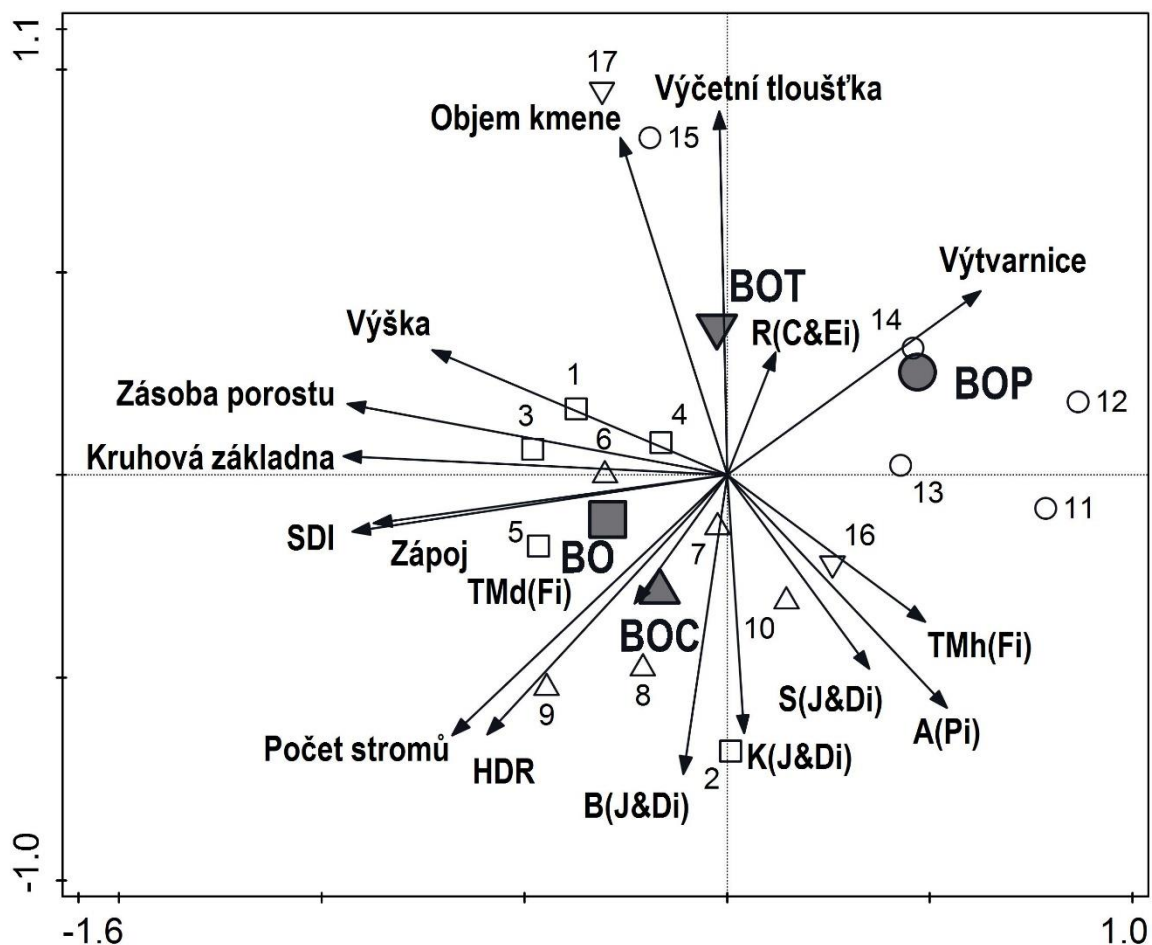
Obr. 16: Příklad vizualizace vertikální a horizontální struktury porostu borovice pokroucené na TVP 11 v roce 2023.



Obr. 17: Příklad vizualizace vertikální a horizontální struktury porostu borovice těžké na TVP 16 v roce 2023.

5.3. Interakce mezi produkcí, diverzitou, strukturou a dřevinami

Výsledky PCA vyjadřující vztah mezi produkcí, strukturou a diverzitou jednotlivých dřevin ze sedmnácti TVP z lesnického arboreta Antonín jsou prezentovány formou ordinačního diagramu na Obr. č. 18. První ordinační osa prezentuje 50,4 %, první dvě osy 68,7 % a čtyři osy dohromady vysvětlují 88,0 % variability dat. Osa y představuje výčetní tloušťku a korunovou diferenciaci. Osa x prezentuje kruhovou základnu porostu. Nejmenší vysvětlující proměnou je v diagramu horizontální struktura porostu (R_i). Zásoba porostu pozitivně koreluje s kruhovou základnou, výškou porostu a zakmeněním. Počet stromů pozitivně koreluje se štíhlostním koeficientem a tloušťkovou diferenciací, přičemž tyto parametry negativně korelují s výtvarnicí. Se zvyšující se výčetní tloušťkou a objemem středního kmene se snižuje strukturální diverzita porostu a celková diverzita. Z diagramu vyplývá, že porosty borovice lesní a černé jsou charakteristické vyšším počtem stromů a celkovou diverzitou porostu oproti borovici těžké a pokroucené.



Obr. 18: Ordinační diagram zobrazující výsledky PCA závislosti mezi porostními charakteristikami (Výška, Tloušťka, Počet stromů, Zásoba, Objem kmene, Kruhová základna, HDR – štíhlostní kvocient, SDI – index porostní hustoty, Zápoj), strukturálními indexy (A – Arten-profil index, S – vertikální diverzita, TM_d – tloušťková diference, TM_h – výšková diference, K – korunová diference, B – celková porostní diverzita) a jednotlivými borovicemi (BO, BOC, BOT, BOP) v roce 2023; symboly označují dřeviny ● BOP, ■ BO, ▲ BOC, ▼ BOT.

6 Diskuze

Po sběru dat a vyhodnocení dendrometrických údajů na výzkumných plochách byly zjištěny porostní charakteristiky určitých hodnot, které korelují s daty prací na podobné téma. Z naměřených dat na trvalých výzkumných plochách na výsypce Antonín vyplývá, že zkoumané druhy mají poměrně vysoký produkční potenciál. Signifikantní rozdíly byly zjištěny zejména u porostní zásoby, kde nejvyšších hodnot dosahuje borovice lesní (376 m³/ha) a nejnižších borovice pokroucená (157 m³/ha). Další výrazný rozdíl byl zaznamenán v počtu stromů na ha, kdy nejvyššího počtu dosahuje borovice černá (2147 ks) a nejnižšího borovice pokroucená (667 ks). Kruhová základna hovoří ve prospěch borovice těžké (47,3 m²/ha) a borovice lesní (45,4 m²/ha). Borovice lesní měla také nejvyšší průměrnou výšku, a to 17,95 m, což je průměrně o více jak 3 m oproti ostatním zkoumaným druhům. PODRÁZSKÝ a kol. (2019) v práci na stejné lokalitě udává nejvyšší průměrnou porostní zásobu u borovice lesní (396 m³/ha) a u borovice pokroucené (134 m³/ha). Dále udává počet stromů u borovice pokroucené s hodnotou 653 ks/ha. Kruhová základna u porovnávaných dřevin vykazuje 35,9 m²/ha u borovice těžké, 46,6 m²/ha u borovice lesní. Průměrnou výšku u borovice lesní udává v hodnotě 18,7 m. Naopak PODRÁZSKÝ et al. (2020) uvádí ve své práci v arboretu fakulty lesnické a dřevařské, kde byly zkoumány druhy ve stáří 35 let, nejvyšší zásoby porostu u borovice těžké (430 m³/ha). Nejvyšší hodnoty u výšky byly zaznamenány taktéž u borovice těžké (18,17 m). Další práce ze sokolovského regionu, DRAGON a kol. (2015) uvádí u borovice lesní 1 450 až 2 150 stromů na hektar. Zjištěná průměrná výška činí 22,1 m, hektarová zásoba (332 m³/ha) a kruhová základna nabývá hodnot 36 m²/ha.

VACEK et al. (2021) ve studii porostů ve věku 48 let na nížinných rekultivačních plochách po těžbě uhlí v České republice, která byla zaměřena na produkční potenciál, stav zdraví, odolnost vůči klimatickým změnám, ukládání uhlíku, biodiverzitu a vlastnosti půdy zmiňuje: nejvyšší produkce, biomasy a zásoby uhlíku (o 49–95 % nad průměrem) byly pozorovány v případě *Pinus sylvestris*, *P. nigra*. Pokud jde o klima, *Pinus sylvestris*, *P. nigra*, se jeví jako nejodolnější druhy vzhledem ke klimatickým extrémům. Naopak *Pinus ponderosa* byla velmi citlivá na klimatické události, zejména na nedostatek srážek. VACEK a kol. (2022) uvádí, že *Pinus contorta* je velmi odolný druh vůči klimatickým faktorům a extrémním událostem ve srovnání s jinými druhy jehličnatých stromů. Navíc jeho roční průměrný přírůst dosahuje od 3 m³/ha/rok, na rekultivačních plochách až do 18 m³/ha/rok. To všechno jen za působení příznivých environmentálních podmínek.

Vzhledem ke klimatickým změnám a extrémním výkyvům počasí s limitujícím faktorem srážek, některé druhy introdukovaných dřevin mohou v budoucnu nahradit domácí dřeviny. Jak uvádí VACEK a kol. (2023), pro udržitelnou produkci dřevní hmoty, je potřeba hledat náhrady za domácí smrk ztepilý. V úvahu připadá *Picea omorika*, *Picea mariana* a *Picea pungens*. Zejména *Picea omorika*, jak zmiňuje VACEK Z, VACEK S. (2023), vykazuje velmi vyvážené roční přírůsty a hustota a technické parametry dřeva jsou srovnatelné se smrkem ztepilým.

Z hlediska celkové produkce, průměrné výšky, počtu na hektar a kruhové základny se shodneme, že se v daných podmínkách na antropogenních substrátech nejvíce daří borovici lesní. Naopak nejnižších hodnot dosahuje borovice pokroucená. Ve vztahu k ostatním jehličnatým druhům, velmi dobrých parametrů, dosahují druhy rodu *Larix* a *Pseudotsuga*. V diplomové práci (GLOS 2016) je uvedena u nesmíšeného porostu rodu *Larix* průměrná zásoba 310 m³/ha při 2120 ks. U porostní skupiny s převažujícím druhem *Pseudotsuga* je zásoba 214 m³/ha při 1625 ks. V porovnání zkoumaných druhů borovic a ostatních druhů, které se nacházejí na území výsypky bylo zjištěno, že produkce i diverzita je výrazně vyšší než u ostatních dřevin.

Některé listnaté dřeviny vykazují ve zdejších podmínkách nižší hodnoty produkce, diverzity a ostatních parametrů. Jak uvádí VACEK a kol. (2018), mezi tyto dřeviny patří rod *Quercus*, *Ulmus* a *Alnus*. Lépe jsou na tom rody *Populus*, *Betula*, *Acer*, *Tilia*, *Carpinus* a *Fagus*. Tyto výsledky potvrzuje i výzkum PODRÁZSKÝ a kol. (2019).

7 Závěr

Rekultivace představují pro sokolovský region důležitý nástroj pro obnovu postižených oblastí vzhledem k očekávanému poklesu těžby hnědého uhlí v lomech. I přes náročnost plánování, realizace a velkých finančních nákladů mají rekultivace dlouhodobý význam pro obnovu a udržitelnost místního ekosystému.

Na základě výsledků této práce, zejména z hlediska produkčního potenciálu, lze usoudit, že začleňování druhů rodu *Pinus sp.* lze doporučit do rekultivačních činností. Tyto dřeviny dosahovaly poměrně vysokých hodnot výšky, tloušťky či objemu středního kmene. Ze všech zkoumaných druhů byla nejvhodnější volbou borovice lesní, jelikož dosahovala nejvyššího počtu jedinců na ha a měla největší porostní zásobu. Při zalesňování zbytkových holin vzniklých zpravidla zvýšenou mortalitou nevhodných dřevin nebo stavební činností v okolí Sokolova, je borovice lesní dřevinou, která se bez problému ujímá a po 3–4 letech odrůstá vlivu buřene. Je však důležité brát v potaz nejen produkční potenciál, ale také další funkce, jako jsou ekologické a rekreační aspekty. Při plánování rekultivací je tedy nutné zvážit i tyto faktory. S ohledem na blízkost města Sokolov jsou zmiňovány varianty vytvoření naučné stezky, využívající historické pozadí těžby uhlí a diverzitu lesnického arboreta Antonín. Dále je nutné zaměřit pozornost na výzkum introdukovaných druhů ve vztahu ke klimatickým změnám a odolnosti těchto druhů vůči extrémním klimatickým podmínkám, což může být klíčové pro budoucí úspěšnost rekultivací v regionu.

Tato bakalářská práce byla zaměřena na pěstební zhodnocení introdukovaných druhů borovic na výsypce Antonín na Sokolovsku. Vlastní měření a výzkum byl proveden na 17 zkusných plochách, určených ke sběru dat daných introdukovaných dřevin. Všechna naměřená data a výpočty vycházely ze zkoumaných částí lesnického rekultivačního arboreta Antonín. Všechny výsledky a údaje získané při tvorbě této bakalářské práce se mohou stát podkladem pro zakládání pozdějších výsadeb na zkoumaném území, ale také např. na jiných výsypkových stanovištích nebo arboretech. Tyto výsledky se mohou stát důležitou informací pro hospodaření lesů v celé podkrušnohorské oblasti v místech, která jsou postižená průmyslovou a báňskou činností. Je také důležité se zaměřit i na další introdukované druhy dřevin či reakci klimatické změny na jejich přírůst, ostatní dendrometrické veličiny a v neposlední řadě ekologické funkce a zlepšování struktury půdních profilů.

8 Literatura

BRICHTA, J., VACEK, S., VACEK, Z., CUKOR, J., MIKESKA, M., BÍLEK, L., ... & BRABEC, P. (2023). Importance and potential of Scots pine (L.) in 21 century. Central European Forestry Journal, 69(1), 3-20.

Botany.cz [online]. 2007 [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/pinus-sylvestris/>

ČADOVÁ, Pavlína. Vliv klimatických změn na lesy České republiky [online]. Zlín, 2021 [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: Microsoft Word - BP-PavlínaČADOVÁ.docx (utb.cz). Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení

ČERMÁK, P., ONDRÁČEK, V. (2006): Rekultivace antropozemí výsypek severočeské hnědouhelné pánve, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha

Český statistický úřad [online]. 2024 [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/xk/charakteristika_okresu_sokolov

Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská (2021). Produkční potenciál a struktura listnatých porostů na výsypce Antonín – Sokolov [online]. Praha. Dostupné z: zaverecna_prace-19.pdf. Bakalářská práce.

DIMITROVSKÝ, K., et KUNT, M. (2008): Unikátní rekultivační lesnické arboretum na Sokolovsku slaví svou 36 - letou existenci. Sborník referátů z 11. uhelně geologické konference. Přírodovědecká fakulta UK Praha

DIMITROVSKÝ, K., VESECKÝ J. (1979): K problematice tvorby lesních porostů na výsypkových stanovištích.; Lesnictví, 25:57-84.

DIMITROVSKÝ, K., VESECKÝ J. (1989): Lesnická rekultivace antropogenních půdních substrátů. Praha, Státní zemědělské nakladatelství: 155 s

DIMITROVSKÝ, K. (2001): Tvorba nové krajiny na Sokolovsku; Sokolovská uhelná, a. s.

- DRAGOUN, L., STOLARIKOVÁ, R., MERGANIČ, J., ŠÁLEK, L., & KRYKORKOVÁ, J. (2015). Porovnání vlivu příměsí na růstové veličiny, strukturu a stabilitu porostu borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) na antropogenních půdách sokolovského regionu/Influence of admixed tree species on growth, structure and stability of Scots pine stands on anthropogenic soils of the Sokolov region. *Central European Forestry Journal*, 61(1), 44-51.
- DUŠEK, David; NOVÁK, Jiří; SLODIČÁK, Marian. Experimenty s výchovou borovice lesní na jižní Moravě-Strážnice I a Strážnice III. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2011, 56: 283-290.
- GLOS, René. Rekultivační význam lesnického arboreta na výsypce Antonín. Praha. 2011. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská.
- GLOS, René. Pojetí výchovných zásahů v porostech introdukovaných dřevin na výsypce Antonín na Sokolovsku. Praha. 2016. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská.
- HAVRLANT, Jan. Devastace a rekultivace krajiny na Karvinsku. *Geographia Cassoviensis*, 2015, 9.2: 119-129.
- HLÁSNÝ, T., et al. Expected impacts of climate change on forests: Czech Republic as a case study. *Journal of Forest Science*, 2011, 57.10: 422-431
- ISAJEV, V., et al. European black pine (*Pinus nigra*). EUFORGEN Technical Guidelines for Genetic Conservation and Use, 2003.
- KAŇÁK, Jan. Zkušenosti s introdukovanými druhy borovic v arboretu Sofronka a jejich použití v imisních oblastech Krušných hor. In: *Introdukované dřeviny a jejich produkční a ekologický význam*. Sborník z konference. Kostelec nad Černými lesy. 2004. p. 11.
- KANTOROVÁ, Hana. Využití bohaté druhové rozmanitosti dřevin ve výuce botaniky: americké dřeviny v Botanické zahradě a Rozáriu Olomouc [online]. Olomouc, 2020 [cit. 2024-

03-21]. Dostupné z: Bakalarska_prace_-_Hana_Kantorova.pdf (theses.cz). Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta přírodovědecká

KOTRLA, Pavel; CAFOUREK, Josef; LEUGNER, Jan; NOVOTNÝ, Petr; FULÍN, Martin; BERAN, František; BAŽANT, Václav. Založení výzkumných ploch s introdukovanými dřevinami potenciálně odolnými vůči suchu v oblasti pahorkatin severní Moravy postižené chřadnutím smrku [online]. Zbraslav, 2022 [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: https://lesycr.cz/wp-content/uploads/2018/08/GS_ZZ_introdukovane-dreviny-sev.-Moravy_15_2016.pdf. Projekt. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti.

KRÜSSMANN, Gerd. Evropské dřeviny. Praha: Statní zemědělské nakladatelství, 1978.

KYZLÍK, Ladislav a Jiří MICHÁLEK. Lesnická botanika. Statní zemědělské nakladatelství, 1963

Lesycr. Dopad klimatické změny [online]. 2018 [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://lesycr.cz/kurovcova-kalamita/>

LOTAN, J. E., & CRITCHFIELD, W. B. (1990). *Pinus contorta* Dougl. ex. Loud. Silvics of North America, 1, 302-315.

NGUYENOVÁ, Lenka. Návrh rekultivace lomu Vršany [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – (core.ac.uk). Bakalářská práce. Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta hornicko – geologická

NOVOTNÝ, Petr, et al. Růst proveniencí borovice pokroucené v podmínkách acidofilní doubravy v západních Čechách ve věku 34 let. Zprávy lesnického výzkumu, 2017, 62.3: 197-207.

NOVOTNÝ, Petr, et al. Zhodnocení růstu proveniencí borovice černé (*Pinus nigra arnold*) ve středních Čechách ve věku 51 let. Reports of Forestry Research/Zprávy Lesnického Výzkumu, 2023, 68.4.

PECHAROVÁ, E., et al. Obnova funkcí krajiny po těžbě hnědého uhlí. Životné prostredie, 2004, 38.3: 151-155.

PEŠKOVÁ, Vítězslava; NOVOTNÝ, Petr; MODLINGER, Roman; ČÁP, Jiří. Vyhodnocení růstu a zdravotního stavu proveniencí borovice černé (*Pinus nigra* Arnold) ve středních Čechách ve věku 41 let. Zprávy lesnického výzkumu, 2012, 57.3: 266-273.

PEŠKOVÁ, Vítězslava; SOUKUP, František; KNÍŽEK, Miloš. Biotičtí škodliví činitelé na borovici a sucho. Lesnická práce, 2016, 95.4: 8.

PILÁT, A. 1964. Jehličnaté stromy a keře našich zahrad a parků. – Nakladatelství ČSAV, Praha

PODRÁZSKÝ, V., VACEK, Z., VACEK, S., VÍTÁMVÁS, J., GALLO, J., PROKŮPKOVÁ, A., & D'ANDREA, G. (2020). Production potential and structural variability of pine stands in the Czech Republic: Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) vs. introduced pines-case study and problem review.

PODRÁZSKÝ, Vilém; REMEŠ, Jiří. Půdotvorná role významných introdukovaných jehličnanů–douglasky tisolisté, jedle obrovské a borovice vejmutovky. Zprávy lesnického výzkumu, 2008, 53.1: 27-33

POLÁKOVÁ, Pavlína; MÁCHOVÁ, Helena; CVRČKOVÁ, Lucie; TRČKOVÁ, Olga. Genetická variabilita vybraných populací borovice lesní v České republice. Zprávy lesnického výzkumu, 2016, 61.3: 223-229.

PRETZCH, H., SCHÜTZE, G., & UHL, E. (2013). Resistance of European tree species to drought stress in mixed versus pure forests: evidence of stress release by inter-specific facilitation. *Plant biology*, 15(3), 483-495.

REICHMANN, Alexandr. Produkční potenciál a struktura listnatých porostů na výsypce Antonín – Sokolov [online]. Praha, 2021 [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: [zaverecna_prace-19.pdf](#). Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská

SEIDL, R., THOM, D., KAUTZ, M., MARTIN-BENITO, D., PELTONIEMI, M., VACCHIANO, G., ... & REYER, C. P. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature climate change*, 7(6), 395-402.

SPÁČILOVÁ, Hana. Jehličnany v Botanické zahradě UP Olomouc a jejich využití ve výuce biologie na základních a středních školách [online]. Olomouc, 2023 [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: DP_Hrncirova.pdf (theses.cz). Diplomová práce. Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta přírodovědecká

SVOBODA, Pravdomil. Lesní dřeviny a jejich porosty. Praha: Statní zemědělské nakladatelství, 1953.

ŠIMŮNEK, V., VACEK, Z., & VACEK, S. (2020). Solar cycles in salvage logging: National data from the Czech Republic confirm significant correlation. *Forests*, 11(9), 973.

ŠIMŮNEK, V., VACEK, Z., VACEK, S., BULUŠEK, D., HÁJEK, V., & KRÁLÍČEK, I. (2021). Mixed vs. monospecific mountain forests in response to climate change: structural and growth perspectives of Norway spruce and European beech. *Forest Ecology and Management*, 488, 119019.

STURROCK, R. N., et al. Climate change and forest diseases. *Plant pathology*, 2011, 60.1: 133-149.

VACEK, Zdeněk, et al. Production potential, biodiversity and soil properties of forest reclamations: Opportunities or risk of introduced coniferous tree species under climate change. *European Journal of Forest Research*, 2021, 140: 1243-1266

VACEK, Zdeněk; VACEK, Stanislav; CUKOR, Jan. European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises and management strategies. *Journal of Environmental Management*, 2023, 332: 117353

VACEK, Zdeněk, et al. Domácí vs. introdukované jehličnaté dřeviny: produkce a biodiverzita porostů na rekultivovaných plochách po těžbě uhlí. *Proceedings of Central European Silviculture*, 2018, 198.)

VACEK, Z., CUKOR, J., VACEK, S., GALLO, J., BAŽANT, V., & ZEIDLER, A. (2023). Role of black pine (*Pinus nigra* JF Arnold) in European forests modified by climate change. *European Journal of Forest Research*, 142(6), 1239-1258.

VACEK, Z., ZEIDLER, A., CUKOR, J., VACEK, S., BORŮVKA, V., ŠIMŮNEK, V., ... & GALLO, J. (2023). Sustainable biomass production of introduced spruce species plantations under climate change. *Trees*, 37(6), 1781-1799.

VACEK, Z., & VACEK, S. (2023). Challenges and risks of Serbian spruce ([pančič] purk.) in the time of climate change—a literature review. *Central European Forestry Journal*, 69(3), 152-166.

WALI M.K. (1999): Ecological succession and the rehabilitation of disturbed terrestrial ecosystems.; *Plant and soil*, 213; 195-220

Obrázky

Antonín Forest Arboretum with the selected stands. In: *ResearchGate* [online]. 2023 [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Antonin-Forest-Arboretum-with-the-selected-stands-Broadleaved-stands-are-marked-light_fig1_376891631

Areál rozšíření borovice černé. In: *Wikipedie* [online]. 2024 [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Borovice_%C4%8Dern%C3%A1#/media/Soubor:Pinus_nigra_map.png

Areál rozšíření borovice lesní. In: *Wikipedie* [online]. 2022 [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Borovice_lesn%C3%AD#/media/Soubor:Pinus_sylvestris_range.svg

Areál rozšíření borovice pokroucené. In: *Wikipedie* [online]. 2021 [cit. 2024-03-22]. Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Borovice_pokroucen%C3%A1#/media/Soubor:Pinus_contorta_s_ubspecies_range_map_2.png

Areál rozšíření borovice těžké. In: *Wikipedie* [online]. 2021 [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Borovice_t%C4%9B%C5%BEk%C3%A1

Jezero Medard. In: LEITGEB, Jiří. *30 let čekáit* [online]. 2016 [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: <https://30let.ckait.cz/stavba-18-jezero-medard-libik.html>

Požární riziko v krajině. In: *Fakta o klimatu* [online]. 2024 [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/explainery/vliv-klimatu-na-extremy-cesko>

Přírodní lesní oblast č. 2 – Podkrušnohorské pánve. In: *ÚHÚL* [online]. 2022 [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: <https://www.uhul.cz/nase-cinnost/prirodni-lesni-oblast-c-2-podkrušnohorské-panve-chebska-a-sokolovska-panev/>

9 Samostatné přílohy



Příloha č. 1 – práce v terénu – zdroj: vlastní foto



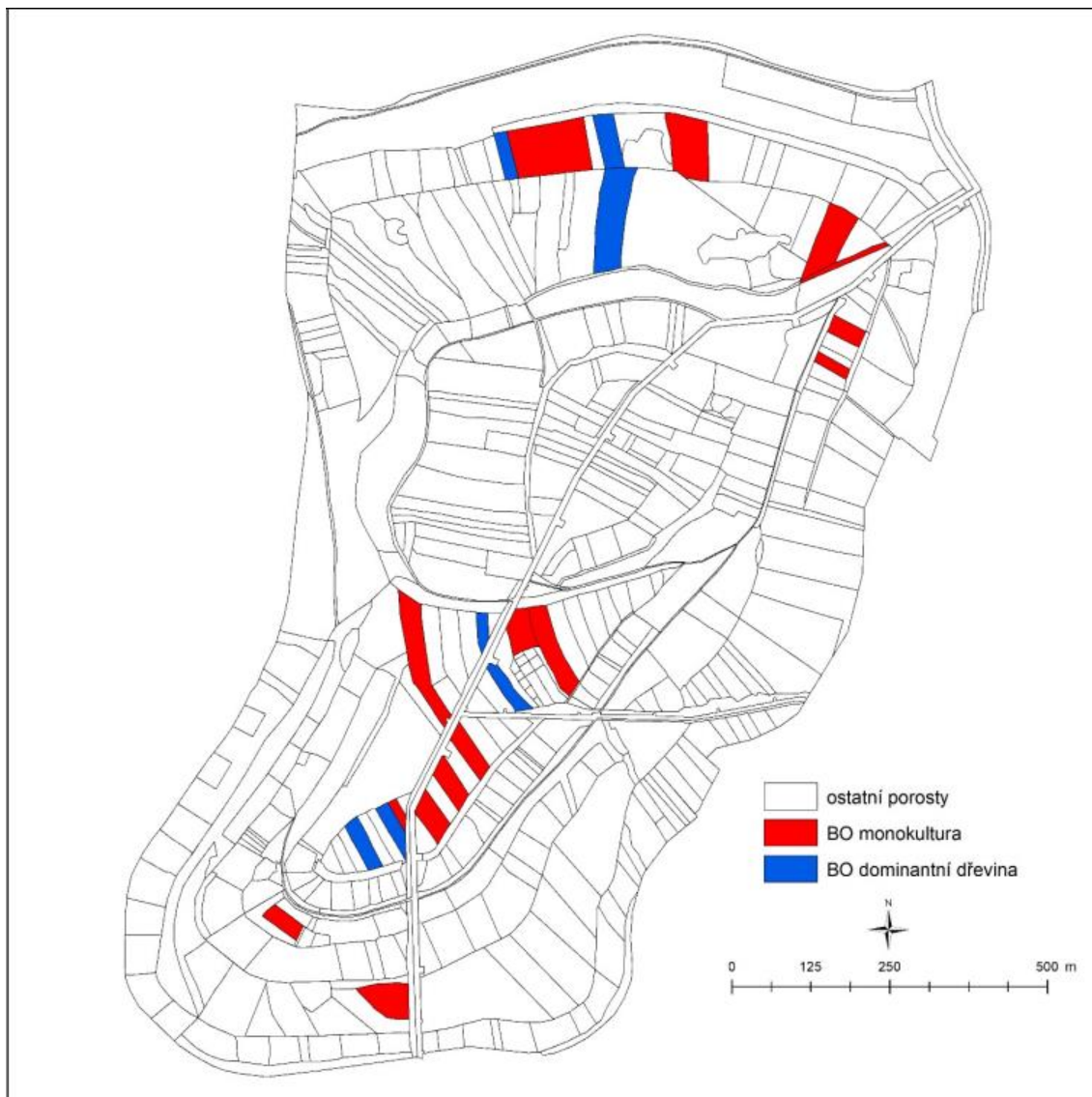
Příloha č. 2 – interiér porostu borovice lesní – zdroj: Podrázský a kol. 2019



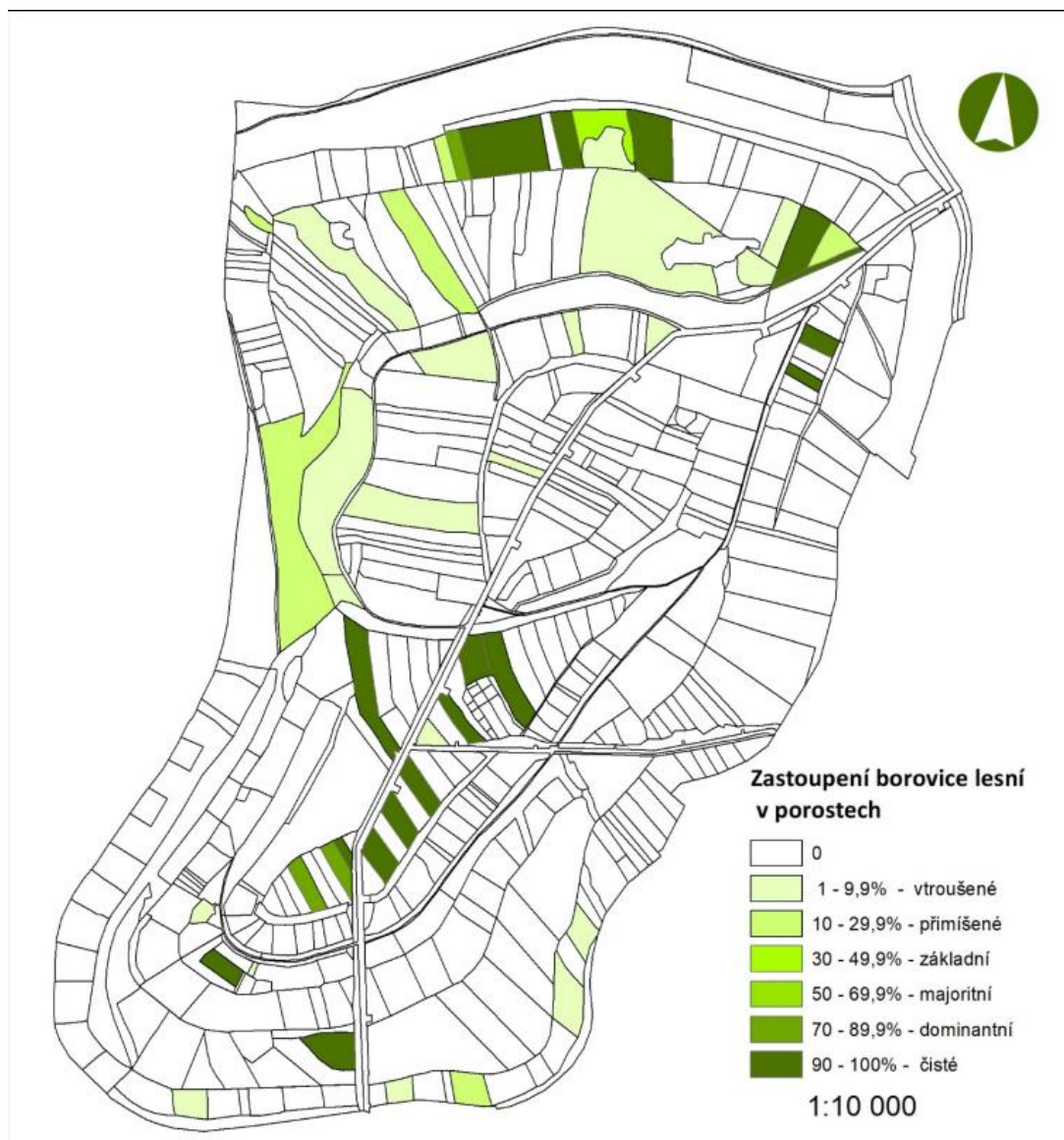
Příloha č. 3 – mokřad nacházející se na území arboreta – zdroj: vlastní foto



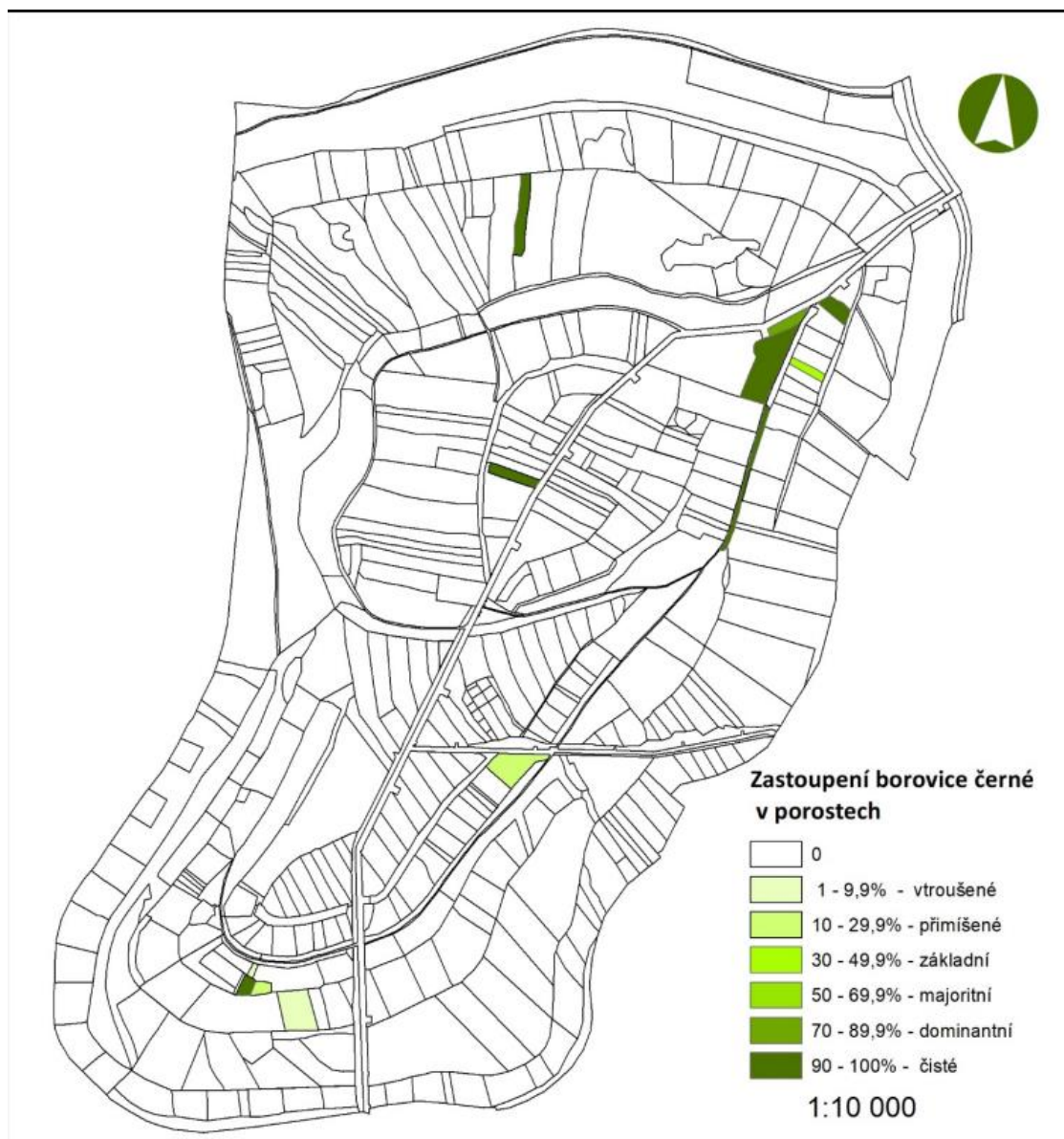
Příloha č. 4 – výřez porostní mapy arboreta Antonín – zdroj: Porostní mapy LČR



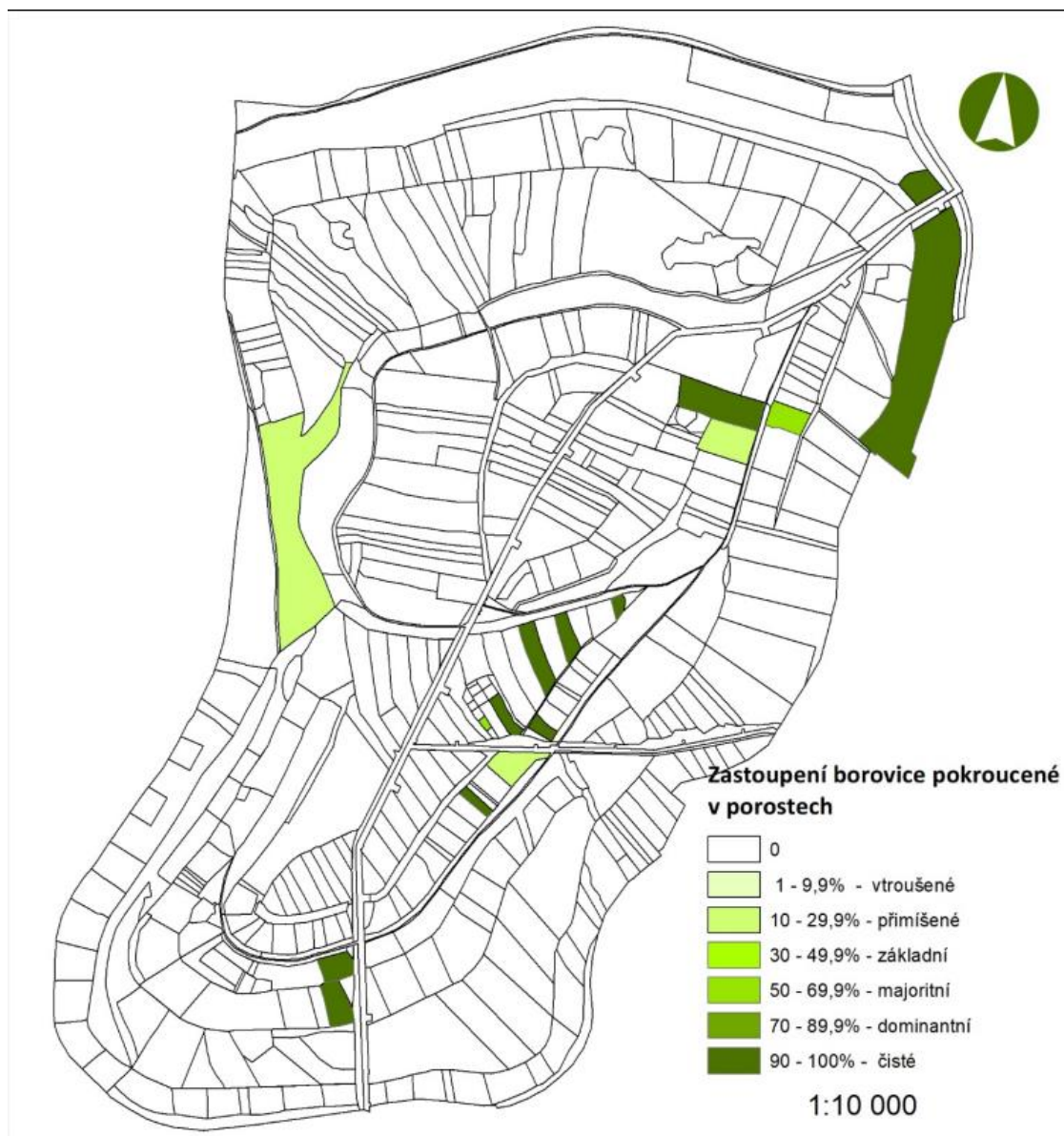
Příloha č. 5 – výřez porostní mapy arboreta Antonín s vyznačenými porosty s dominancí borovice lesní – zdroj: Podrázský a kol. 2019



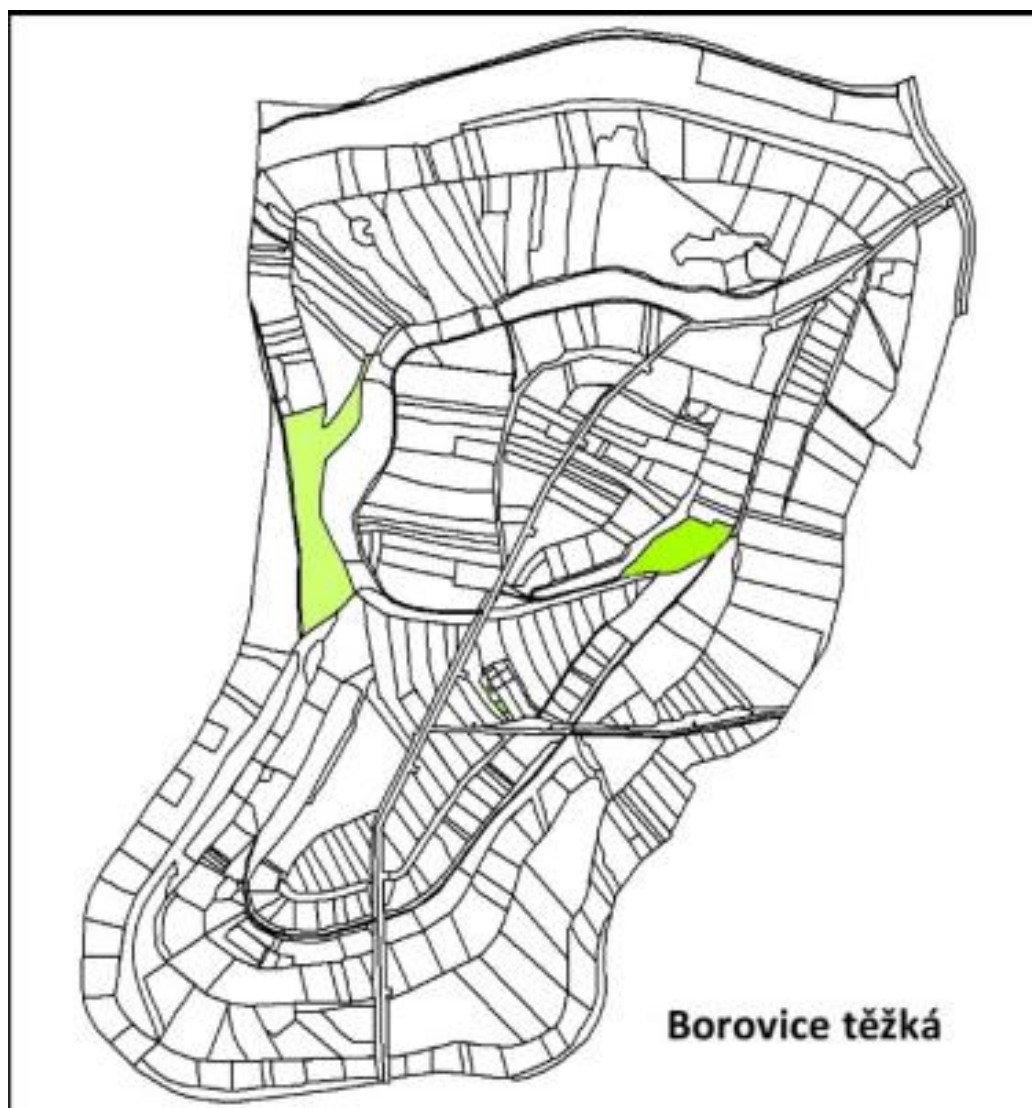
Příloha č. 6 – zastoupení borovice lesní v porostech na výsypce Antonín – zdroj: Podrázský a kol. 2019



Příloha č. 7 – zastoupení borovice černé v porostech na výsypce Antonín – zdroj: Podrázský a kol. 2019



Příloha č. 8 – zastoupení borovice pokroucené v porostech na výsypce Antonín – zdroj: Podrázský a kol. 2019



Příloha č. 9 – zastoupení borovice těžké v porostech na výsypce Antonín – zdroj: Podrázský a kol. 2019