

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra pěstování lesů



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Srovnání proveniencí borovice černé s vybranými
proveniencemi borovice lesní v arboretu Sofronka,**

Městské lesy Plzeň

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Matyáš Kerschlager

Vedoucí práce: prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.

2026

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Matyáš Kerschlager

Lesní inženýrství

Název práce

Srovnání proveniencí borovice černé s vybranými proveniencemi borovice lesní v arboretu Sofronka, Městské lesy Plzeň

Název anglicky

Comparison of Provenances of Black Pine with Selected Provenances of Scots Pine in Arboretum Sofronka, Plzeň Municipal Forests

Cíle práce

Cílem práce je srovnání proveniencí borovice černé (*Pinus nigra*) s určeným blokem proveniencí borovice lesní (*Pinus sylvestris*) v arboretu Sofronka ve vlastnictví ML Plzeň. Práce je součástí široké inventarizace výsadeb daného arboreta zaměřeného na rod *Pinus*. Dílčími cíli je aktualizace literárního přehledu týkajícího se borovice černé, zpracování problematiky pěstování borovice lesní a experimentální část, vyhodnocující výškovou a tloušťkovou strukturu dílčích výzkumných ploch, produkční potenciál proveniencí a stabilitu porostů. Závěrem je cílem práce návrh další péče o výsadby, které se zatím vyvíjely bez výchovných zásahů..

Výsledkem bude:

- Zhodnocení možností pěstování borovice černé v České republice,
- Zhodnocení stavu a růstu jednotlivých proveniencí borovice černé na lokalitě Sofronka v rámci série I,
- Srovnání produkčního potenciálu borovice černé s borovicí lesní,
- Zhodnocení kvality dendrometrických parametrů jednotlivých proveniencí a jejich potenciálu využití v podmínkách ČR,
- Návrh pěstební péče pro správu arboreta.

Metodika

Metodika:

- 1) Zhodnocení literatury vztahující se k tématu ekologie, rozšíření a pěstování borovice černé a borovice lesní zejména v domácích podmínkách,
- 2) Opětovné měření ploch série I provenienčního pokusu s borovicí černou na lokalitě Sofronka, ML Plzeň, měření paralelního bloku proveniencí borovice lesní,
- 3) Stanovení základních dendrometrických parametrů, celkové výšky a výčetní tloušťky jednotlivých stromů v rámci jednotlivých výsadeb, zhodnocení produkčního potenciálu jednotlivých proveniencí obou druhů,
- 4) Doporučení pro využití výsledků pro pěstování porostů borovice černé.

Časový harmonogram:

Rekognoskace ploch – jaro, léto 2025

Zpracování literární rešerše – listopad 2025

Zhodnocení a měření na jednotlivých plochách – konec vegetační sezony 2025

Zpracování výsledků – leden, únor 2026

Předložení rukopisu DP – březen 2026

Konzultant práce: Ing. Jan Stejskal, Ph.D.



Doporučený rozsah práce

Min. 50 normostran odborného textu

Klíčová slova

Borovice černá, borovice lesní, pěstování, provenience, kvalita, arboretum Sofronka

Doporučené zdroje informací

- ENESCU C.M., DE RIGO D., CAUDULLO G., MAURI A., HOUSTON DURRANT T. 2016. Pinus nigra in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz J, de Rigo D, Caudullo G, Houston Durrant T, Mauri A (eds) European atlas of forest tree species. Publ. Off. EU, Luxembourg, pp 015–138.
- JANSSEN E., KINT V., BONTEMPS J.D., ÖZKAN K., MERT A., KÖSE N. et al. (2018) Recent growth trends of black pine (Pinus nigra JF Arnold) in the eastern mediterranean. For. Ecol. Manage. 412:21–28.
- 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 silvestris L.) vs. introduced pines – case study and problem review. Journal of Forest Science, 66 (5): 197–207.
- 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.
- VÍTÁMVÁS, J., PODRÁZSKÝ, V., VACEK, Z., 2020: Arboreta – lesnické laboratoře? Příklad výsadeb různých druhů borovic v arboretu FLD ČZU v Kostelci nad Černými lesy. Lesnická práce, 99, č. 11, s. 27–29.
- WOHLGEMUTH, T., GOSSNER, M. M., CAMPAGNARO, T., MARCHANTE, H., VAN LOO, M., VACCHIANO, G., CASTRO-DIEZ, P., DOBROWOLSKA, D., GAZDA, A., KEREN, S., KESERU, Z., KOPROWSKI, M., LA PORTA, N., MAROZAS, V., NYGAARD, P.H., PODRÁZSKÝ, V., PUCHALKA R., REISMAN-BERMAN, O., STRAIGYTE, L., YLIOJA, T., POTZELSBERGER, E., SILVA, JS. 2022: Impact of non-native tree species in Europe on soil properties and biodiversity: a review. NeoBiota, 78, 45–69.
- ZEIDLER, A. 2007. Zhodnocení vybraných vlastností dřeva borovice černé (Pinus nigra Arnold.). Zprávy lesnického výzkumu 52: Special Issue.

Předběžný termín obhajoby

2025/26 LS – FLD

Vedoucí práce

prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra pěstování lesů

Elektronicky schváleno dne 24. 04. 2025

doc. Ing. Lukáš Bílek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 07. 2025

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 23. 03. 2026

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Srovnání proveniencí borovice černé s vybranými proveniencemi borovice lesní v arboretu Sofronka, Městské lesy Plzeň 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 diplomovou 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 diplomové 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 souladu s GDPR.

V Praze dne 1. 4. 2026

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu prof. Ing. Vilémovi Podrázskému, CSc. za jeho odborné vedení, cenné rady a čas, který mi věnoval při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji panu Ing. Janu Kaňákovi, Ph.D. za poskytnutí podkladových materiálů a konzultace při sběru dat v prostředí arboreta Sofronka. V neposlední řadě patří velké poděkování mé rodině a přítelkyni za jejich trpělivost a podporu během celého studia.

Srovnání proveniencí borovice černé s vybranými proveniencemi borovice lesní v arboretu Sofronka, Městské lesy Plzeň

Souhrn

V souvislosti s probíhající změnou klimatu a rostoucím ohrožením lesů ve střední Evropě je potřeba hledat alternativní postupy v pěstování lesů a využívání dřevin, které mohou přizpůsobení ke klimatické změně zvládat lépe než dřeviny původní. Významný produkční i adaptační potenciál může představovat středomořská borovice černá (*Pinus nigra* J. F. Arnold). Její růstové parametry a schopnost přežití v klimatických podmínkách České republiky byly v této práci porovnány s naší původní borovicí lesní (*Pinus sylvestris* L.).

Cílem práce bylo zhodnotit produkční potenciál, dendrometrické parametry a kvalitu kmene u celkem 16 proveniencí obou druhů (11 proveniencí borovice černé, 5 proveniencí borovice lesní). Součástí hodnocení bylo posouzení možností využití borovice černé v našem lesním hospodářství a návrh doporučení pro další pěstební péči ve zkoumané lokalitě.

Výzkum probíhal v arboretu Sofronka, kde jsou výzkumné plochy ponechané bez pěstebních zásahů a podléhají pouze přírodnímu výběru. Měřeny byly výčetní tloušťky a výšky. Byla rovněž hodnocena kvalita kmene. Naměřené hodnoty byly následně dále zpracovány v programu MS Excel a programu R. Na základě těchto hodnot byly dále zkoumané provenience hodnoceny a porovnávány.

Výsledky potvrdily statisticky významné rozdíly mezi testovanými skupinami. Nejlepších individuálních výsledků dosáhla borovice černá provenience Koekelare, u níž však byla zaznamenána vysoká mortalita (92 %). Z hlediska hektarové zásoby ($956 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) a vysoké kvality kmene (1,67) se jako nejúspěšnější projevila provenience borovice černé Les Bares.

Provenience borovice černé, které dosáhly v bezzásahovém režimu arboreta lepších výsledků než provenience borovice lesní, vykazují lepší přizpůsobivost a bylo by možné je využít v pěstování lesů na území České republiky, což by ovšem mělo být ověřeno navazujícími studiemi s aplikací výchovných zásahů v hospodářských lesích.

Klíčová slova: Borovice černá, borovice lesní, pěstování, provenience, kvalita, arboretum Sofronka

Comparison of Provenances of Black Pine with Selected Provenances of Scots Pine in Arboretum Sofronka, Plzeň Municipal Forests

Summary

In connection with ongoing climate change and the growing threat to forests in Central Europe, there is a need to seek alternative methods of forest cultivation and utilization of tree species that can cope with climate change better than native tree species. The Mediterranean black pine (*Pinus nigra* J. F. Arnold) may represent significant production and adaptation potential. In this study, its growth parameters and ability to survive in the climatic conditions of the Czech Republic were compared with those of our native Scots pine (*Pinus sylvestris* L.).

The aim of the study was to evaluate the production potential, dendrometric parameters, and trunk quality of a total of 16 provenances of both species (11 provenances of black pine, 5 provenances of Scots pine). The evaluation included an assessment of the possibilities of using black pine in our forestry and a proposal for recommendations for further cultivation care in the studied location.

The research was conducted in the Sofronka arboretum, where the research areas are left without cultivation interventions and are subject only to natural selection. The diameter at breast height and height were measured. The trunk quality was also evaluated. The measured values were then further processed in MS Excel and R. Based on these values, the provenances were further evaluated and compared.

The results confirmed statistically significant differences between the tested groups. The best individual results were achieved by black pine, provenance Koekelare, which, however, showed high mortality (92 %). In terms of stock per hectare ($956 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) and high trunk quality (1,67), black pine, provenance Les Bares, proved to be the most successful.

Black pine provenances that achieved better results in the arboretum's non-intervention regime than Scots pine provenances show better adaptability and could be used in forest cultivation in the Czech Republic, but this should be verified by follow-up studies with the application of silvicultural interventions in commercial forests.

Keywords: Black pine, Scots pine, silviculture, provenance, quality, Sofronka arboretum

Obsah

1	Úvod a cíl práce.....	11
2	Literární rešerše.....	13
2.1	Rod <i>Pinus</i>	13
2.2	Arboretum Sofronka	13
2.3	Borovice lesní	15
2.3.1	Popis druhu	15
2.3.2	Ekologie	15
2.3.3	Rozšíření	16
2.3.4	Pěstování.....	17
2.3.5	Vlastnosti a využití dřeva	19
2.3.6	Škodliví činitelé	20
2.4	Borovice černá.....	24
2.4.1	Popis druhu	24
2.4.2	Ekologie	24
2.4.3	Rozšíření	25
2.4.4	Pěstování.....	26
2.4.5	Vlastnosti dřeva	27
2.4.6	Využití dřeva.....	27
2.4.7	Škodliví činitelé	28
2.5	Porovnání borovice lesní a borovice černé z hlediska citlivosti k disturbancím.....	29
2.5.1	Porovnání v podmínkách České republiky	30
3	Metodika	31
3.1	Charakteristika výzkumné lokality	31
3.2	Popis výzkumných ploch.....	31
3.3	Sběr dat.....	33
3.4	Zpracování dat.....	36
4	Výsledky.....	37
4.1	Růstové parametry	40
4.2	Hektarová produkce a porostní hustota.....	43
4.3	Stabilita a kvalita	47
5	Diskuze	49
5.1	Růstové parametry, individuální dimenze stromů a jejich stabilita	49
5.2	Porostní produkce a kvalita kmene	51

5.3	Volba vhodné provenience.....	53
5.4	Doporučení pěstebních zásahů	55
5.4.1	Návrh modelového zásahu na nejproduktivnější ploše borovice černé – Les Bares.....	56
5.4.2	Návrh modelového zásahu na nejproduktivnější ploše borovice lesní – Vítkův kámen	59
6	Závěr	61
7	Seznam literatury a použitých zdrojů.....	63
8	Seznam příloh.....	70

1 Úvod a cíl práce

V současné době, kdy stále častěji v průběhu roku dochází k extrémním teplotním jevům a projevům sucha, je potřeba hledat vhodné alternativy hospodaření v našich lesích. Jak sděluje Kuznetsova (2025), od začátku 21. století došlo k výraznému globálnímu nárůstu teplot. Tento vývoj má značně negativní dopad mimo jiné i na lesní ekosystémy. Extrémně vysoké teploty spolu s nedostatečným množstvím srážek ve vegetační sezóně mohou způsobovat chřadnutí a odumírání lesních porostů, případně zapříčinit snížení obranyschopnosti vůči napadení sekundárními škůdci, ať už z řad hmyzu, nebo houbových patogenů. Nejvíce ohroženými porosty se v tomto ohledu stávají stejnorodé porosty smrku ztepilého, který má v našich lesích největší zastoupení. Značné potíže vznikají i při zalesnění rozsáhlých holin vzniklých v důsledku kůrovcové kalamity. Na těchto plochách dochází k rychlé a extrémní změně mikroklimatických poměrů, a ne každá dřevina může v těchto podmínkách úspěšně odrůstat.

Odpovědí na tyto měnící se podmínky může být aplikace adaptačních principů na klimatickou změnu. Jako jedna z cest se jeví také využití introdukovaných dřevin. Ty mohou pomoci při obnově lesa, zabránit erozi půdy, a zároveň mohou nabídnout navýšení produkce dříví. Právě zvýšení produkce bylo jedním z důvodů, proč vůbec započala před více než 200 lety introdukce druhů rodu *Pinus* na naše území, jak uvádí Podrázský et al. (2020). Jedním z druhů tohoto rodu, který by bylo možné v našich podmínkách využít je borovice černá. Její přirozený areál se nachází převážně v oblasti Středomoří, přičemž jeho severní okraj dosahuje blízko našim podmínkám, konkrétně do sousedního Rakouska. Vzhledem k poloze přirozeného areálu lze předpokládat, že by tato borovice měla být adaptována na sušší a teplejší klima. Historicky se tato dřevina na našem území již úspěšně uplatnila při zalesňování kalamitních holin po rozsáhlém odumírání lesů v důsledku sucha na přelomu 19. a 20. století.

Při využití introdukovaných dřevin je potřeba klást důraz na volbu vhodné provenience, jelikož v rámci druhu panuje široká genetická a fenotypová variabilita v závislosti na původních geografických podmínkách. Jednotlivé provenience mohou vykazovat odlišnou odolnost vůči abiotickým i biotickým činitelům. Taktéž se mohou lišit růstovými parametry a kvalitou dřeva. Pro zjištění, jaké konkrétní provenience se do současných podmínek České republiky hodí nejlépe, představuje arboretum Sofronka ideální výzkumné zázemí. Arboretum disponuje jednou z největších sbírek zástupců rodu *Pinus* na eurasijském kontinentu. Specifikem tohoto výzkumného objektu je přístup ke spravování jednotlivých ploch, který spočívá v tom, že zkoumané porosty jsou ponechány volnému průběhu přírodních procesů. Vzhledem k absenci výchovných zásahů a jakékoliv chemické ochrany podléhají stromy pouze přírodnímu výběru.

To poskytuje jedinečnou příležitost studovat evoluční přizpůsobivost a úmrtnost jednotlivých proveniencí.

Cílem práce bylo porovnat provenience borovice černé s určeným blokem proveniencí borovice lesní v arboretu Sofronka ve vlastnictví ML Plzeň. Práce je součástí široké inventarizace výsadeb daného arboreta zaměřeného na rod *Pinus*. Dílčími cíli je aktualizace literárního přehledu týkajícího se borovice černé, zpracování problematiky pěstování borovice lesní a experimentální část, vyhodnocující výškovou a tloušťkovou strukturu dílčích výzkumných ploch, produkční potenciál proveniencí a stabilitu porostů. Závěrem práce je návrh další péče o výsadby, které se zatím vyvíjely bez výchovných zásahů.

2 Literární rešerše

2.1 Rod *Pinus*

Rod *Pinus* představuje velký ekologický a hospodářský potenciál po celém světě (Álvarez-Álvarez et al., 2018). S více než stovkou uznaných druhů se jedná o nejrozsáhlejší rod jehličnatých dřevin. Tento rod představuje jednu z nejrozsáhlejších složek mnoha přirozených lesních ekosystémů napříč tropickým, mírným, boreálním a subalpínským pásmem (Podrázský et al., 2020). Ekonomický význam borovic spočívá v jejich využití jako zdroje dřeva, celulózy, pryskyřice a paliva (Olsson et al., 2018). Borovice jsou často využívány k introdukci na nová území díky své přizpůsobivosti daným regionům a podmínkám prostředí (Álvarez-Álvarez et al., 2018). Tato přizpůsobivost je zapříčiněna odolností vůči extrémním podmínkám prostředí, na druhou stranu se ale borovice většinou vyznačují nízkou konkurenceschopností. Proto jsou borovice přirozeně přizpůsobeny k přežití v podmínkách, ve kterých jiné dřeviny přežívají velice obtížně. Díky tomu se borovice mohou jevit jako perspektivní druhy k využití v extrémních klimatických podmínkách v současném klimatu střední Evropy. Vysokou odolnost vykazují zejména vůči nedostatku srážek a mají také toleranci ke znečištění ovzduší (Podrázský et al., 2020).

2.2 Arboretum Sofronka

Arboretum Sofronka vzniklo jako pracoviště státní příspěvkové organizace, kterou byl Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti se sídlem v Praze, jejímž zřizovatelem je Ministerstvo zemědělství České republiky. V roce 2010 ovšem toto pracoviště přešlo pod Správu veřejného statku města Plzně do Úseku lesů, zeleně a vodního hospodářství jako Oddělení pro vzdělávání, veřejnost, vědu a výzkum. Arboretum založil v roce 1956 Ing. Karel Kaňák, CSc., který zde postupně vybudoval sbírku světového sortimentu rodu *Pinus*.

Pozemek arboreta se nachází na severním okraji Plzně, obklopen rekreačními rybníky a na počátku přilehlých rozsáhlých lesních porostů. Sadební materiál používaný pro výsadbu v arboretu byl vypěstován ve vlastní školce, osivo na tento materiál bylo získáváno soukromou cestou od vědeckých a výzkumných pracovníků z institucí z různých států, díky osobním kontaktům zakladatele arboreta. Specifickým znakem tohoto arboreta je ponechávání volného průběhu přírodním procesům po celou dobu růstu zde zkoumaných dřevin. Ve výsadbách nebylo využito hnojení ani chemické ochrany. Do výsadeb nebylo zasahováno žádnými

výchovnými zásahy. Díky těmto způsobům ponechání přirozenému vývoji lze získat unikátní informace o vnitřních schopnostech a evoluci zkoumaných druhů v přirozených i změněných podmínkách prostředí. Zdejší výzkum neklade důraz na produkci dřevní suroviny. Z poznatků získaných v tomto arboretu lze zjistit, jaké druhy úspěšně přežívají místní podmínky. Tyto druhy je pak možné pěstovat na většině lokalit střední Evropy. Arboretum Sofronka tedy není klasickým arborem budovaným v duchu zahradní architektury, ale v duchu lesnických vlastností a cílů. Výsadby byly prováděny v klasických sponech 1×1 m až 2×2 m, jednotlivé provenience jsou vysázeny ve čtvercích či obdélnících s počtem sazenic v rozmezí 100 až 200 kusů. Díky velkému počtu vzorků populací je možné studovat variabilitu druhů v rámci celého území jejich rozšíření.

Od založení arboretum disponovalo jednou z největších sbírek borovic na eurasijském kontinentu, bylo zde vysázeno 68 druhů borovic. Do dnešní doby 16 druhů z původních 68 dokázalo úspěšně přežít, přizpůsobit se a nadále se přirozeně zmlazovat. Druhy, které adaptaci na zdejší podmínky nezvládly, uhynuly buď hned po první zimě, nebo během několika následujících let. U přeživších druhů byla studována biologie, životní strategie a šíření po ústupu posledního zalednění, což poskytlo unikátní informace a mimo jiné tím bylo prokázáno, že každý z těchto druhů prochází evolucí v souvislosti s evolucí svého areálu a tím i v souvislosti s evolucí lesních společenstev, ve kterých se vyskytuje. Z toho byla odvozena nová forma vědy zabývající se studiem dřevin, a to evoluční dendrologie. Sofronka se tak stala jedinečným pracovištěm, které se zabývá evolucí lesa aplikovanou v ekosystémovém pojetí zacházení s lesem, způsobem, který využívá přirozených vlastností rostlinných druhů, přičemž plně respektuje jejich roli v sukcesi a tím i jejich přizpůsobivost.

Dalším zajímavým poznatkem zjištěným díky arboretu Sofronka bylo, že posuzováním kvality sazenic podle rychlosti růstu v mládí se dopouštíme omylu, který může představovat ztrátu na produkci v budoucnu. Tímto výběrem dochází k upřednostnění části populace, která má výrazný pionýrský charakter, tedy rychlý růst v mládí, brzké ukončení růstu a brzký nástup plodnosti, a především nižší produkce na úkor populace klimaxového charakteru, jenž se vyznačuje pomalejším růstem v mládí, který ovšem trvá delší dobu a má tím pádem vyšší produkci. Arboretum má i vzdělávací účel pro laickou i odbornou veřejnost. Rovněž bylo arboretum v historii cílem mnoha významných návštěv z celého světa. Lze tak říct, že význam arboreta Sofronka již daleko přesáhl hranice našeho státu, budiž tomu příkladem zařazení do mezinárodního seznamu nejvýznamnějších botanických zahrad a arboret v centrálním registru v Readingu (Anglie). Současným vedoucím výzkumného objektu je Ing. Jan Kaňák, PhD., který arboretum převzal po svém otci (Kaňák, 2016).

2.3 Borovice lesní

2.3.1 Popis druhu

Borovice lesní dorůstá průměrně do výšky 23 až 27 m, nicméně je schopna dosáhnout i výšky přes 40 m. Co se týče délky života, může se dožít až 400 let (Houston Durrant et al., 2016). Jeden z nejstarších zaznamenaných jedinců tohoto druhu je evidován v Laponsku a je údajně starší než 750 let (Wallenius et al., 2010).

Kůra v horní části kmene má červenooranžovou barvu, zatímco v dolní části je barva hnědá až šedohnědá, často je silná a rozpraskaná. Jehlice rostou ve svazečcích po dvou, mají modrozelenou až šedozelenou barvu, jsou mírně zkroucené s délkou 5 až 7 cm a na stromech vytrvávají 2 až 6 let. Jehlice jsou anatomicky přizpůsobeny, aby se dokázaly vyrovnat s mrazem a suchem, čemuž napomáhá vosková vrstva na povrchu. Dále mají silnou stěnu a zanořená stomata. Všechny tyto faktory chrání jehlice před ztrátou vody.

Borovice lesní je jednodomý a větrosnubný druh. Samčí květy mají žlutou či růžovou barvu, samičí květy mají růžovofialový odstín. Šišky dokončují svůj vývoj rok po opylení, jejich velikost se pohybuje v rozmezí 5 až 8 cm. K rozevření šišek a uvolnění okřídlených semen je zapotřebí střídání suchého a vlhkého počasí (Houston Durrant et al., 2016). Kvetení může nastupovat již ve věku 15 let u solitérních stromů, u roubovanců ještě dříve, ve věku 6 až 8 let, zatímco v zapojených porostech k němu dochází až ve věku 25 až 30 let. Semenné roky jsou v našich podmínkách poměrně časté. Přírozená obnova je však limitována v boreálních oblastech, kde je dozrávání semen omezeno krátkým vegetačním obdobím a semenné roky s bohatou úrodou se mohou vyskytovat jednou či dvakrát za 100 let (Mátyás et al., 2004).

2.3.2 Ekologie

Borovice lesní se řadí mezi pionýrské dřeviny. Dokáže se přirozeně zmlazovat na plochách po velkých přírodních nebo člověkem způsobených disturbancích, za předpokladu, že na daném stanovišti je nízká konkurence buřeně a nízký tlak zvěře (Mátyás et al., 2004). Preferuje slunná stanoviště, avšak zvládá i lehké zastínění a roste obvykle na stanovištích chudých na živiny. Díky výrazné toleranci k suchu a odolnosti vůči mrazu nemá borovice lesní vysoké nároky na podmínky stanoviště a zásobení vodou. Roste na chudých písčitých půdách a je schopna osidlovat i kyselá horská stanoviště. Na úrodných stanovištích není schopna konkurovat jiným druhům. Znečištění ovzduší je pro ni velmi škodlivé, stejně tak příliš dobře nesnáší slané mořské větry (Houston Durrant et al., 2016). V podmínkách klimatické změny,

tedy s postupným oteplováním, lze předpokládat, že se její areál bude posouvat směrem na sever a na jihu ustupovat (Benito Garzón et al., 2008). Borovice lesní často roste v rozsáhlých nesmíšených porostech. Ve smíšených porostech ji lze často pozorovat ve společnosti s duby (*Quercus* spp.), buky (*Fagus* spp.), břízami (*Betula* spp.), smrkem (*Picea* spp.), modřínem opadavým (*Larix decidua*), jedlí bělokorou (*Abies alba*) a dalšími borovicemi (*Pinus* spp.). Žádný z těchto druhů však borovici lesní nedoprovází v celém jejím rozsáhlém areálu (Houston Durrant et al., 2016). V rámci druhu vznikla velká genetická variabilita díky vysokému migračnímu potenciálu pylu a semen. Díky souvislému areálu dochází u borovice lesní k plynulému přechodu variability v rámci druhu, přinejmenším u adaptivních znaků. Růstové a fenologické znaky jsou určovány především teplotními podmínkami ve vegetačním období. Oproti severským populacím mají jižní a přímořské populace delší vegetační cykly a jsou méně otužilé (Mátyás et al., 2004).

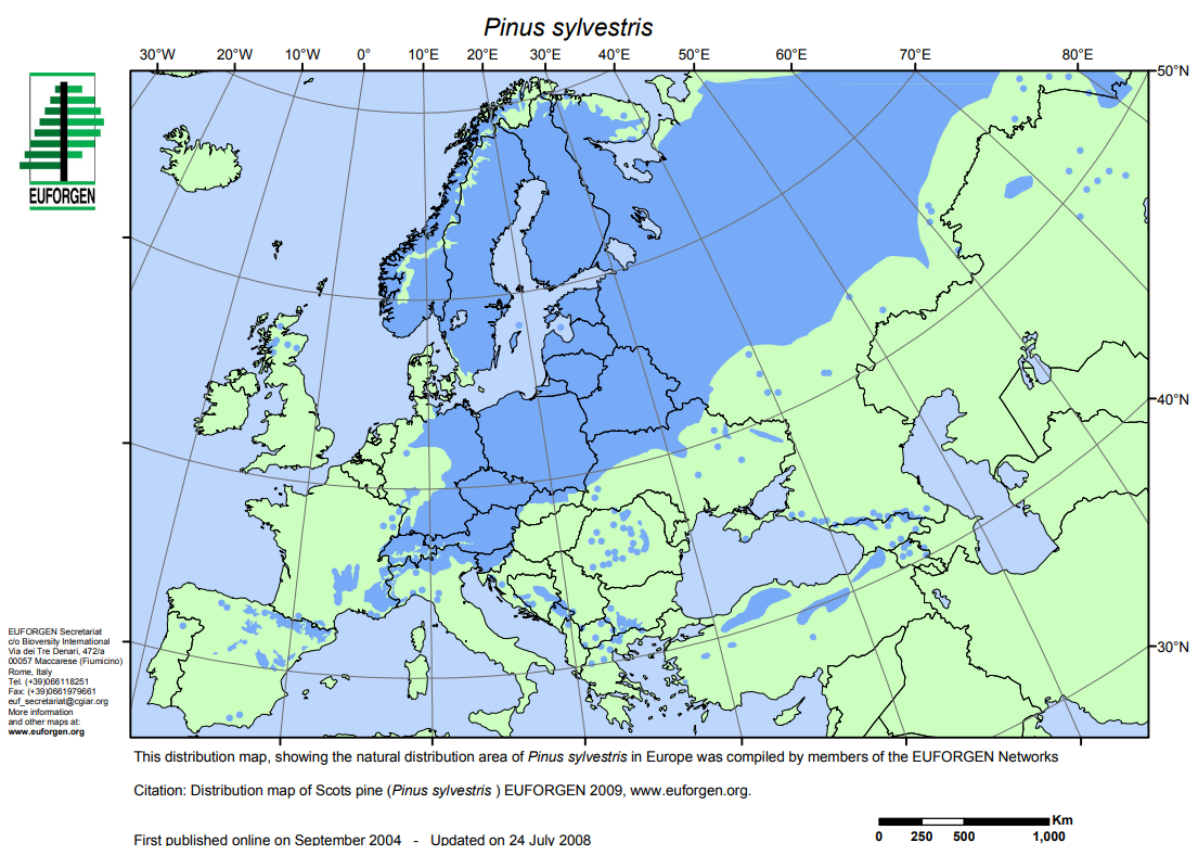
2.3.3 Rozšíření

Borovice lesní je nejrozšířenějším druhem rodu *Pinus* na světě, mezi jehličnany se jedná o druhý nejrozšířenější druh hned po jalovci obecném (*Juniperus communis*). Dokáže růst v širokém rozmezí nadmořských výšek, od hladiny moře až po nadmořskou výšku 2 700 m. Na území Evropy roste borovice lesní na ploše přesahující 28 milionů hektarů, což představuje více než 20 % produkční plochy lesů (Houston Durrant et al., 2016). Borovice lesní je široce rozšířena napříč celým eurasijským kontinentem, v zeměpisné šířce od 37° s. š. do 70° s. š. (Mátyás et al., 2004) a od 8° z. d. ve Španělsku po 141° v. d. v Rusku. Areál borovice lesní se rozléhá přes vzdálenost 14 000 km. Přírozené lesy tohoto druhu se vyskytují ve všech členských státech Evropské unie (Mason & Alía, 2000). Na severní hranici boreálního lesa je schopna přežít v místech, kde je méně než 100 dní bez mrazu a roční srážky nepřesahují 300 mm. Ve stepích střední Asie je její rozšíření omezováno délkami období sucha. V jižní Evropě a Malé Asii jsou její výskyty omezeny na horské pásmo. Na Balkáně a ve Španělsku je rozšířena do nadmořských výšek do 2 200 m n. m. a na Kavkaze dokonce do 2 700 m n. m. (Mátyás et al., 2004). Téměř 80 % plochy borových lesů Evropy se nachází ve skandinávských státech, ve Švédsku a Finsku (Mason & Alía, 2000).

Plocha borových porostů po celé Evropě během 20. století narůstala, ovšem v posledních desetiletích se na některých územích růst buď stabilizoval, anebo začal klesat. Například v Belgii byla borovice lesní nahrazena borovicí černou, která zde vykazovala větší produktivitu. Stejně tak ve Finsku byla borovice lesní nahrazena smrkem ztepilým (*Picea abies*). Dále

docházelo k přeměnám čistých borových porostů na složitější struktury, tedy na smíšené či listnaté lesy (Mason & Alía, 2000).

Původní porosty borovice lesní jsou v České republice spíše vzácností. Autochtonní borovice je jednotlivě rozšířena na extrémních a reliktních stanovištích. Nicméně po smrku ztepilém se na našem území jedná o druhou nejvýznamnější lesní dřevinu. Díky své adaptaci na širokou škálu klimatických podmínek, s vysokou tolerancí k nízké půdní vlhkosti, kdy dokáže růst jak na vysychajících stanovištích, tak na zamokřených, má borovice lesní předpoklady k odolávání klimatickým extrémům (Gallo et al., 2020). Na území České republiky roste borovice lesní na ploše 416 287 ha, přičemž její zastoupení v druhové skladbě představuje 15,9 %. Celková zásoba dřeva borovice lesní je 113,9 mil. m³ hroubí b. k. (Ministerstvo zemědělství, 2024).



Obrázek 1 - Mapa přirozeného areálu borovice lesní v Evropě (EUFORGEN, 2008)

2.3.4 Pěstování

Jak uvádějí Slodičák et al. (2013), první výchovné zásahy v porostech borovice lesní by se měly zaměřovat na odstranění předrostlíků a obrostlíků, tedy jedinců, kteří se nadměrně větví a předrůstají ostatní. Období prvního výchovného zásahu by mělo přijít ve věku, kdy lze tyto nežádoucí jedince rozpoznat a kdy zároveň dochází k zapojování porostů. To lze předpokládat

ve věkovém rozmezí 5 až 9 let. Na bohatších stanovištích bude růst rychlejší a k zapojení porostů dojde v nižším věku než na stanovištích chudších. Nejvýznamnější roli hrají silné zásahy v mladém věku, nejčastěji ve fázi zapojujících se mlazin. V tomto stádiu výchovné zásahy nejvíce ovlivní tloušťkový přírůst a stabilitu porostů. Podle zmíněných autorů je doporučeno provádět zásahy s intervalem 6 až 10 let při dosažení horní výšky (h_0) 5, 10 a 17 m. Při těchto zásazích by mělo dojít k odstranění nekvalitních jedinců do věku 30 až 40 let, čímž by mělo být dosaženo stability a zlepšení kvality porostů. Další zásahy již tyto aspekty příliš neovlivní, proto by měla být následná výchova zaměřena na odstraňování podružného porostu.

Nejčastějším hospodářským způsobem aplikovaným při obnově porostů borovice lesní byl holosečný způsob, ovšem stále větší význam byl přikládán clonným sečím nepravidelným i rovnoměrným. Probírky měly charakter podúrovňových probírek. Průměrná doba obmýti se ve většině evropských zemích blížila hodnotě 100 let. Pro zvýšení biodiverzity bylo ponecháváno více starých porostů. V některých případech byly ponechávány jednotlivé stromy po dvě obmýti nebo déle (Mason & Alía, 2000).

Díky nízkým nárokům na stanoviště je borovice lesní ideálním druhem pro umělou obnovu. V souladu s tím se s jejím osivem obchodovalo a používalo se po celé Evropě po staletí. Tím, že nebylo rozlišováno osivo a nedbalo se na jeho původ, docházelo někdy k markantní ztrátě kvality. To vedlo k provádění provenienčních výzkumů dávno před tím, než byly k dispozici současné genetické znalosti (Mátyás et al., 2004). Borovice lesní byla prvním druhem, u kterého byly provenienční výzkumy provedeny (Mason & Alía, 2000).

Jak ve svých modelech výchovy doporučují Slodičák et al. (2013), borovice lesní by měla být pěstována v nediferencovaných porostech. V současné době probíhající změny klimatu je však nutné hledat pro porosty borovice lesní i alternativní pěstební opatření, aby byly odolnější a dokázaly se lépe přizpůsobit novým podmínkám. Dosavadní přístup k pěstování borovice lesní vyplývá z jejich ekologických nároků, konkrétně z vysokých nároků na světlo. To vedlo k pěstování stejnověkových porostů, což má ovšem za následek snížení jejich odolnosti vůči biotickým a abiotickým činitelům. Porosty borovice lesní často bývají obhospodařovány pasečnými způsoby hospodaření, konkrétně holosečemi (Szmyt, 2024). Pro zvýšení rezistence a resilience je nutné aplikovat aktivní adaptační opatření, mezi něž se řadí podpora druhové rozmanitosti, podpora strukturální rozmanitosti a genetické diverzity a přeměna vysoce ohrožených porostů (Brang et al., 2014). Od 90. let minulého století došlo v cílech evropského lesního hospodářství k posunu od důrazu na produkci dřeva směrem k víceúčelovým cílům. Ty zahrnují udržení a zvýšení biologické rozmanitosti, ochranu genetických zdrojů, prevenci

globálního oteplování (např. fixací oxidu uhličitého) a poskytování sociálních služeb jako je rekreace (Mason & Alía, 2000).

Různé studie v evropských zemích prokázaly, že adaptační principy lze při hospodaření úspěšně využívat i v porostech borovice lesní (Szmyt, 2024). Například ve Skotsku bylo pro nástup přirozené obnovy a vytvoření strukturně diverzifikovaných porostů využíváno maloplošných holosečných těžeb (Heitzman, 2003). Na západní Ukrajině docházelo k úspěšné přirozené obnově při využití vícero různých metod sečí, ať už se jednalo o maloplošné holoseče, clonné seče či skupinovitě výběrné seče (Lavnyy et al., 2022). Lesníci ze Spojených států amerických mají dlouholeté zkušenosti s využíváním alternativních přístupů k hospodaření ve světlomilných borových lesích, přičemž jako nejúčinnější přístup se zde osvědčila skupinovitě výběrná seč (Guldin, 2011). Jak ve své práci uvádí Szmyt (2024), v Polsku je v současné době doporučován skupinovitě výběrný způsob hospodaření pro tvorbu strukturně rozrůzněných lesů, ve kterých dominují světlomilné dřeviny, jako borovice lesní. Postup obnovní těžby je založen na vytváření jednotlivých sečí s průměrnou šířkou 20 až 30 m. Tyto seče se v následných krocích rozšiřují s ohledem na požadavky náletů pod krytem mateřského porostu a opakují se v intervalu 10 let. Výběr těžených stromů je posuzován na základě různých kritérií, ať už se jedná o vitalitu jedince, dosažení cílové tloušťky nebo nutnost uvolnění náletu. Každý těžební zásah plní několik cílů současně, tedy těžbu dřeva, podporu obnovy porostu a vytváření komplexní struktury porostu.

Zmíněná polská studie (Szmyt, 2024) potvrdila, že skupinovitě výběrný způsob hospodaření v porostech borovice lesní má pozitivní přínos pro vytváření rozmanité struktury porostu. Tento alternativní způsob hospodaření umožnil nástup přirozené obnovy a její další vývoj. Následně došlo ke změně tloušťkového rozdělení směrem k negativnímu exponenciálnímu rozdělení prezentovaného Liocurtovou křivkou. Taktéž došlo ke zvýšení produktivity borových porostů. Z těchto poznatků vyplývá, že skupinovitě výběrný způsob by mohl být v širší míře uplatňován, zejména v cenných porostech ohrožených nepříznivým vlivem klimatických změn.

2.3.5 Vlastnosti a využití dřeva

Borovice lesní je jedním z nejvýznamnějších druhů v komerčním lesnictví, obzvláště pak v severských zemích. Dřevo borovice lesní se dá snadno opracovat, řadí se k nejpevnějším jehličnatým dřevinám, přičemž má rovněž dobrý poměr pevnosti k hmotnosti. Její dřevo se dá využít mnoha způsoby, ať už jako stavební a konstrukční řezivo, nebo na výrobu nábytku, buničiny a papíru. Díky své vysoké odolnosti vůči vlhkosti se borové dřevo v minulosti hojně

využívalo k výrobě důlních vzpěr, vodních kol a základových pilot. Samotná borovice lesní byla také často využívána k rekultivaci krajiny a ke zpevnění stanovišť se sypkými písky díky své toleranci k chudým půdám (Houston Durrant et al., 2016). Nejvyšší produkce dřeva borovice lesní byla zaznamenána v severských zemích, dále v Německu a Španělsku. V jižních zemích, konkrétně ve Španělsku a Francii, byla zaznamenána poměrně nízká produkce na hektar, ovšem dřevo borovice lesní je zde vysoce ceněno pro svou barvu a texturu a používá se na výrobu dýh (Mason & Alía, 2000).

Mechanické vlastnosti dřeva, jako je podélná tuhost a pevnost, značně ovlivňují potenciál konečného využití řeziva. Pěstební postupy jsou možným nástrojem k ovlivnění mechanických vlastností dřeva. Lze je ovlivnit usměrňováním vývoje koruny a růstu stromu, tedy především úpravou hustoty porostů (Auty et al., 2016). Tvar kmene, koruny a míra zavětvení taktéž závisí na daném území, kde borovice roste. Například provenience ze severní Evropy a Sibiře a obecně z vyšších nadmořských výšek, mají přímé kmeny s ideálním kuželovitým tvarem koruny a jemnými větvemi. Růstové vlastnosti mohou být negativně ovlivněny nevhodnými pěstebními postupy v minulosti. Od tvaru kmene a dynamiky jeho růstu se následně odvíjejí i mechanické vlastnosti dřeva, a dokonce i jeho chemické složení. Tyto aspekty se pak mohou lišit v závislosti na geografickém původu (Mátyás et al., 2004).

Jak ve své práci zmiňují Auty et al. (2016), mezi pěstební opatření, která ovlivňují vlastnosti dřeva, patří počáteční hustota při výsadbě porostu, intenzita a intervaly probírek a věk obmýtí. Nastavení počáteční hustoty a následné výchovné zásahy mohou ovlivnit vlastnosti dřeva především díky jejich účinku na podíl juvenilního dřeva. Juvenilní dřevo vzniká v blízkosti živé části koruny stromu a má nižší hustotu. Je proto považováno za méně kvalitní, neboť se vyznačuje horšími mechanickými vlastnostmi a větší mírou sesychání. Stromy vysazené ve větších sponech nebo rostoucí v nižších porostních hustotách mají obecně vyšší podíl juvenilního dřeva. Dle závěru zmíněné studie mělo prodloužení doby obmýtí největší vliv na snížení podílu juvenilního dřeva. Nejvhodnějšími pěstebními opatřeními pro minimalizaci podílu juvenilního dřeva jsou tak zakládání porostů v menším sponu, odklad probírek až po ukončení období juvenilního růstu a prodloužení doby obmýtí.

2.3.6 Škodliví činitelé

Různé choroby a škůdci představují největší problémy v rozsáhlých stejnorodých porostech, jelikož tyto porosty poskytují ideální podmínky pro další šíření škodlivých organismů. Pro sazenice jsou velkou hrozbou houbové patogeny rodů *Fusarium* a *Alternaria*, které mohou způsobovat vysokou úmrtnost (Houston Durrant et al., 2016). Borovice lesní může

být rovněž postihnuta červenou sypavkou borovic (*Mycosphaerella pini* syn. *Dothistroma septosporum*) (Drenkhan et al., 2012). Další problém pro sazenice představuje hmyzí škůdce klikoroh borový (*Hylobius abietis*), který patří mezi nejvýznamnější škůdce napadající nejen borovice, ale výsadby všech jehličnanů v Evropě. Houbové patogeny, které poškozují starší jedince, se řadí do rodů václavek (*Armillaria* spp.) a chorošů (*Fomes* spp.) způsobující hnilobu v bázi kmene či kořenovou hnilobu (Houston Durrant et al., 2016). Borovice lesní může být taktéž napadena lýkožroutem smrkovým (*Ips typographus*), který může přenášet různé houbové patogeny na svém těle (Kirschner et al., 2001). Starší monokulturní porosty jsou více ohroženy napadením lýkožroutem vrcholkovým (*Ips acuminatus*) a s ním spojenými houbovými chorobami (Gallo et al., 2020). Defoliaci v korunách borovic mohou způsobovat larvy některých motýlů (*Lepidoptera*), mezi nejškodlivější se řadí tmavoskvrnák borový (*Bupalus piniarius*), sosnokaz borový (*Panolis flammea*) a bekyně mniška (*Lymantria monacha*). Další druhy způsobující defoliaci jsou hřebenulovití (*Diprionidae*), konkrétně hřebenule borová (*Diprion pini*) a hřebenule ryšavá (*Neodiprion sertifer*). Ztráta jehličí po napadení zmíněnými druhy snižuje vitalitu stromu, ten se pak stává náchylný k napadení dalšími škůdci (Houston Durrant et al., 2016). V rámci druhu byla zaznamenána variabilita ve znacích odolnosti vůči houbovým patogenům, jako jsou sypavky (*Lophodermium* spp.), která je vyšší v západních a pobřežních částech areálu, zatímco jihovýchodní lesostepní populace jsou výrazně náchylné k napadení těmito patogeny. Lze pozorovat i geografickou variabilitu vůči napadení hmyzími škůdci. Středoevropské populace jsou náchylné k napadení klikorohem a motýly, ale jsou odolnější proti obalečům (*Tortricidae*) a pilatkám (*Tenthredinidae*) (Mátyás et al., 2004). Porosty borovice lesní bývají dále poškozovány polomy sněhem, větry a požáry. Ve střední Evropě bývají narušení menšího rozsahu, a následuje po nich vývoj ke smíšenému porostu borovic s listnatými dřevinami (Mason & Alía, 2000).

Mezi nejvýznamnější houbové patogeny v podmínkách České republiky se řadí kornice borová (*Cenangium ferruginosum*), václavka smrková (*Armillaria ostoyae*) a *Sphaeropsis sapinea* způsobující prosychání výhonů borovic. Možnosti aktivní obrany proti těmto patogenům jsou značně omezeny a spočívají především v důsledném zdravotním výběru. Ten zahrnuje včasné odstraňování nejen borových souší, ale i slině prosychajících jedinců se ztrátou asimilačního aparátu přesahující 50 %. Následně je nutná likvidace těžebních zbytků, nejlépe spálením, aby byl eliminován možný zdroj dalšího šíření infekce. Ve školkách a v čerstvých výsadbách lze použít i ochranu chemickou. Největší hrozbu pro sazenice a výsadby představuje patogen *Sphaeropsis sapinea*. Mezi hlavní druhy podkorního hmyzu napadajícího borovice v České republice se řadí lýkožrout vrcholkový (*Ips acuminatus*), lýkožrout lesklý (*Pityogenes*

chalcographus), lýkohub sosnový (*Tomicus piniperda*), lýkohub menší (*Tomicus minor*) a krasec borový (*Phaenops cyanea*). Ochrana proti těmto zástupcům podkorního hmyzu spočívá jednak v kontrole, ať už okulární prohlídkou během pochůzky porostem nebo za využití lapáků a lapačů. Následně je nutné včas zpracovat atraktivní dříví, tedy vývraty, zlomy, stojící pahýly, čerstvě vytěžené stromy a těžební zbytky (Pešková et al., 2016).

Jedním z nejvýznamnějších abiotických škodlivých činitelů je sucho. To představuje jeden z největších problémů pro všechny druhy dřevin po celé Evropě. Na jeho následky dochází k odumírání stromů. To následně ovlivňuje uhlíkovou bilanci a další ekosystémové funkce. Změna klimatu zvyšuje frekvenci a intenzitu suchých období. Stres způsobený suchem vytváří předpoklady ke vzniku požárů, poškození stromů škůdci a chorobami. Tím se snižuje odolnost a vitalita evropských lesů. V reakci na tyto události je zapotřebí nové strategie hospodaření v lesích ke zvýšení jejich odolnosti vůči suchu (Aldea et al., 2022). Výzkumy ukazují, že míra globálního oteplování ve 20. století činila 0,11 °C za 10 let, zatímco ve 21. století se zvýšila na 0,35 °C za 10 let (Kuznetsova, 2025). Očekávané klimatické změny, které mohou prodlužovat období sucha, představují největší hrozbu pro populace na jižních hranicích oblasti rozšíření, ale také pro populace ve vysokých nadmořských výškách. Lze předpokládat, že tento vývoj klimatu zapříčiní posun oblasti, kde lze borovici lesní pěstovat, směrem na sever (Mátyás et al., 2004).

Dalším významným škodlivým abiotickým činitelem v borových porostech je mokrý sníh, především pak v nižších polohách, kde působí značné škody. Míra odolnosti vůči poškození sněhem ale i větrem je obvykle posuzována pomocí štíhlostního kvocientu, tedy poměrem výšky a tloušťky. Jak ve své studii shrnují Novák et al. (2013), hodnoty štíhlostního kvocientu nad 95 (resp. 0,95) již poukazují na nestabilní kmeny, přičemž hodnoty nad 120 indikují kmeny velmi nestabilní. Riziko snížení stability bylo těmito autory následně potvrzeno v rámci výše zmíněné studie, jelikož téměř všechny stromy na jejich výzkumných plochách vykazovaly štíhlostní kvocient vyšší než 100.

Jak zmiňují ve studii Aldea et al. (2022), pěstování smíšených porostů zvyšuje odolnost vůči suchu, jelikož ve smíšených porostech jednotlivé stromy efektivněji využívají vodu a světlo, než tomu tak je v porostech stejnorodých. To může vést k vyššímu růstu a výnosu, zvýšení stability a zlepšení mimoprodukčních funkcí lesa. Výše zmíněný výzkum prokázal, že borovice lesní má vyšší odolnost k suchu než smrk ztepilý, který spolu s ní dominuje ve většině lesů Evropy. Stejně jako je tomu na území České republiky, kde jsou borovice lesní se smrkem ztepilým dvě dřeviny s nejvyšším podílem zastoupení (Ministerstvo zemědělství, 2024). Bylo prokázáno, že smrk ztepilý obnovuje svůj průměrný přírůstek po epizodě sucha rychleji než

borovice lesní, ovšem není to do takové míry, aby tato rychlejší regenerace dokázala nahradit ztrátu na přírůstu. Rovněž bylo prokázáno, že jedinci rostoucí ve smíšených porostech vykazují vyšší odolnost. Monokulturní porosty borovice lesní byly odolnější než monokulturní smrkové porosty (Aldea et al., 2022).

Další problém představují škody způsobené zvěří. V některých částech rozšíření vedly škody okusem ke změně druhové skladby. Řešením bylo oplocení výsadeb a snížení stavů zvěře, což pozitivně ovlivnilo přirozenou obnovu populací borovice lesní a zvýšení zakmenění a následné rozšíření těchto porostů. V řadě případů bylo potřeba zřízení roubovaných semenných sadů k dodávce osiva jednotlivých vysoce zranitelných zdrojů (Mátyás et al., 2004).

Vzhledem k tomu, že borovice lesní je jednou z nejdůležitějších evropských dřevin v lesním hospodářství, je potřeba chránit její genofond. Byť se genetická ochrana může zdát jako úkol s nízkou prioritou, její nutnost je podpořena široce prokázanou genetickou diverzitou mezi jednotlivými populacemi. Tato rozmanitost je podmíněna jak geografickým původem, tak vlivy dlouhodobého pěstování, a její zachování je klíčové v kontextu probíhající klimatické změny. Pro ochranu genofondu je důležitá inventarizace a evidence autochtonních porostů. V centrální oblasti evropského rozšíření, kde po dlouhou dobu byla borovice lesní obnovována uměle, mohlo v mnoha oblastech dojít ke ztrátě místně adaptovaných přirozených populací. Porosty, které vznikly z osiva neznámého původu, mohou představovat hrozbu genetického znečištění okolních přirozených populací. Největší význam nesou lokálně adaptované populace v extrémních stanovištních podmínkách, kterými mohou být vysoké nadmořské výšky, pobřežní prostředí, extrémní podmínky boreálních lesů, skalnatá stanoviště, či semiaridní stanoviště. Původní zachované populace z těchto stanovišť sice vykazují menší přizpůsobivost při přenosu do jiných podmínek, ovšem lokálně bývají lepší. Původní porosty vybrané pro ochranu genofondu mohou sloužit pro porovnávání s člověkem vysazenými lesy (Mátyás et al., 2004).

2.4 Borovice černá

2.4.1 Popis druhu

Borovice černá je jehličnatá dřevina, řadící se mezi borovice s jehlicemi ve svazku po dvou. Její areál je různě rozčleněn po Evropě a v Malé Asii. Hlavní těžišť jejího areálu je v oblasti Středomoří. Tento druh borovice může dorůst výšky až 40 metrů. Kůra borovice černé je nejčastěji šedohnědá až černá, což zapříčinilo i vznik druhového jména „černá“ (lat. *nigra*). Koruna u mladých borovic je kuželovitá, ve stáří se přetváří na deštníkovou (Enescu et al., 2016). Jehlice jsou dlouhé 8 až 19 cm a na stromě vydrží 3 až 4 roky, výjimečně až 8 let. Borovice černá je jednodomá. Samčí květy lze rozeznat díky jejich žluté barvě, samičí jsou naopak načervenalé. Šišky mají délku 4 až 9 cm a šířku 2 až 4 cm a jsou zbarvené žlutohnědě. V jedné šišce se může nalézat 30 až 40 semen. Tato semena jsou šedá, 5 až 7 mm dlouhá s křídlem o délce 19 až 26 mm (Isajev et al., 2004). Tento druh je geneticky a fenotypicky výrazně rozrůzněn a rozlišuje se často na těchto 6 poddruhů: *Pinus nigra* ssp. *salzmannii*, *Pinus nigra* ssp. *laricio*, *Pinus nigra* ssp. *nigra*, *Pinus nigra* ssp. *pallasiana*, *Pinus nigra* ssp. *dalmatica*, *Pinus nigra* ssp. *mauretanica*. Rozlišování poddruhů hraje důležitou roli při výběru reprodukčního materiálu během hospodaření při probíhající změně klimatu (Vacek et al., 2023). Na území České republiky byl nejčastěji vysazován poddruh *nigra*, jelikož má přirozený areál nejbližší našim podmínkám, a to v Rakousku (Zeidler, 2007).

2.4.2 Ekologie

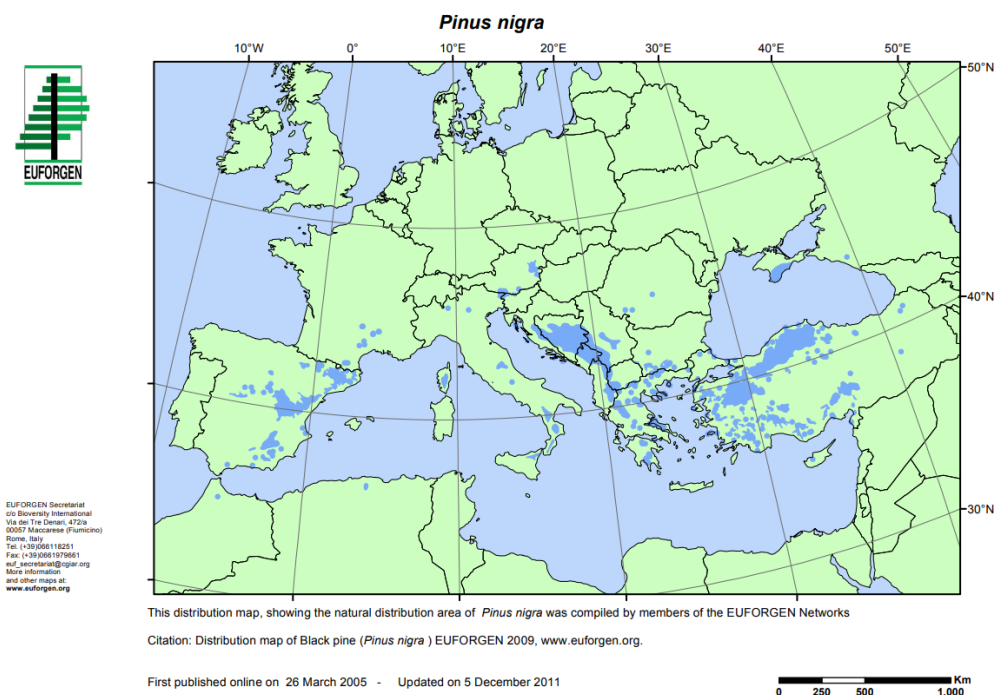
Borovice černá má poměrně širokou ekologickou amplitudu. Její výskyt je zaznamenán v nadmořských výškách od 350 m n. m. až do 2200 m n. m., ovšem její optimální výškové rozmezí je mezi 800 až 1500 m n. m. Co se týče půdních podmínek, borovice černá roste na podzolových pískách a na vápencovém podloží, často v závislosti na regionu a klimatu (Farjon & Filer, 2013). Jedná se o světlomilný druh, který dokáže růst na extrémně suchých, ale i vlhkých stanovištích. Má značnou toleranci k teplotním výkyvům. Borovice černá vykazuje vyšší toleranci k zastínění než borovice lesní. Roste v porostech monokulturních, či ve směsích s listnatými dřevinami, nebo jinými jehličnany, zejména pak s jinými druhy borovic jako je borovice lesní (*Pinus sylvestris*), borovice kleč (*Pinus mugo*), borovice halepská (*Pinus halepensis*), borovice pinie (*Pinus pinea*) a borovice Heldreichova (*Pinus heldreichii*) (Enescu et al., 2016). Tolerance k suchu borovice černé je podpořena vyšším obsahem draslíku v jehlicích. Na druhou stranu, vysoká hladina podzemní vody je pro tento druh limitující (Vacek

et al., 2023). Jak ukázal výzkum ve východním Středomoří, růst borovice černé nejvíce závisí na dostupnosti vláhy na jaře a v létě. Od 70. let 20. století je v této oblasti zaznamenáván patrný pokles vitality porostů, za jehož nejpravděpodobnější příčinu lze považovat narůstající sucho, které přetrvává od zmíněného období. Vzhledem k tomu, že borovice černá tvoří v této oblasti rozsáhlé nesmíšené porosty, je možné, že v budoucnu v tomto regionu bude docházet k poklesu produktivity. Pro zlepšení produkce zde bude potřeba kombinovat různá opatření, ať už se jedná o výběr genotypů odolných vůči suchu, nižší hustotu porostů, změnu druhové skladby nebo věkové rozrůznění porostů (Janssen et al., 2018).

V současnosti je tento druh považován za možnou náhradu některých původních jehličnatých dřevin ve střední Evropě. Výhodou borovice černé je, že dokáže růst na extrémních stanovištích. Taktéž je velice efektivní při zalesnění na degradovaných a erozí ohrožených půdách, kde její kořeny napomáhají zpevnit půdu do hloubky a snížit tak riziko eroze půdy (Enescu et al., 2016). Ve světě se takto osvědčila například v oblasti jihozápadních Alp, kde ve společenství s listnatými stromy (*Quercus pubescens*, *Acer opalus* a *Sorbus aria*) slouží ke snížení půdní eroze, snížení rizika sesuvu půdy a pro rekultivaci krajiny (Burylo et al., 2009; Isajev et al., 2004; Vallauri et al., 2002). Poddruh borovice černé, konkrétně borovice korsická (ssp. *laricio*), který má zvýšenou toleranci vůči slanému prostředí, byl využit pro zalesnění a stabilizaci dun na pobřeží Severního moře. Na území České republiky byla borovice černá využita, spolu s druhy borovic pocházejícími ze Spojených států amerických, na zalesnění po dlouhém období sucha, které způsobilo kalamitu na přelomu 19. a 20. století (Podrázský et al., 2020).

2.4.3 Rozšíření

Areál borovice černé v současné době zaujímá rozlohu přes 3,5 milionu hektarů (Isajev et al., 2004). Jedná se o jeden z nejrozsáhlejších druhů na Balkáně a v Malé Asii. Vůbec největší zastoupení má na území Turecka, kde se vyskytuje na ploše větší než 2,5 milionu hektarů (Sevgi & Akkemik, 2007). Z Evropy byla také introdukována do Severní Ameriky již v 18. století. Vzhledem k vývoji klimatu, kdy se předpokládá postupné oteplování, lze očekávat rozšíření borovice černé směrem na sever v oblasti střední Evropy, jelikož ve středomořských oblastech se kvůli oteplování zvyšuje vodní stres, což má negativní vliv na růst této borovice (Enescu et al., 2016). Borovice černá je u nás nejběžněji pěstovaný introdukovaný druh borovice. Tento druh byl před poslední dobou ledovou rozšířen i na našem území (Kaňák, 2016). Na území České republiky zaujímají porosty borovice černé plochu 3 490 ha se zásobou 803 611 m³ (b. k.) a průměrným věkem 96,58 let (Novotný et al., 2024).



Obrázek 2 - Mapa přirozeného areálu borovice černé v Evropě (EUFORGEN, 2011)

2.4.4 Pěstování

V našich podmínkách bývá nejčastěji doporučováno pěstovat borovici černou v nejteplejších a nejsušších oblastech, zvláště pak na skalnatých vápencových podkladech. Doporučuje se využívat borovici černou jako dřevinu přípravnou (Zeidler, 2007). Při výsadbě hraje zásadní roli také volba provenience, kdy některé provenience mohou mít výrazné růstové parametry, ale na druhou stranu mohou být citlivější k biotickým a abiotickým stresorům nebo půdním podmínkám (Vacek et al., 2023).

Hospodaření v lesních porostech by mělo brát v potaz probíhající klimatickou změnu. Účinným krokem k adaptaci na klimatickou změnu je pěstování druhově smíšených porostů, které jsou ve srovnání s monokulturami stabilnější vůči klimatickým výkyvům nebo znečištění ovzduší. Zejména pak nesmíšené porosty borovice černé mohou značně zvyšovat riziko šíření požáru kvůli silné vrstvě organické hmoty a vyšším teplotám hoření ve srovnání se smíšenými porosty. Příměs jednotlivých dřevin může zvýšit produkční kapacitu. Pozitivní účinky ve smíšených porostech s borovicí černou závisí jak na klimatických a přírodních podmínkách, tak na následné výchově porostů. Borovici černé vyhovuje pěstování ve směsích s duby (*Quercus* spp.), buky (*Fagus* spp.) a jedlemi (*Abies* spp.) (Vacek et al., 2023).

Výchova porostů borovice černé začíná v mlazinách, kde se uplatňuje negativní výběr v úrovni a nadúrovni, tedy odstranění předrůstavých jedinců. Pěstebními zásahy mezi 15. a 30.

rokem stáří by mělo dojít ke snížení hustoty porostu na 1 300 až 1 500 jedinců na hektar. Následující zásahy by měly pokračovat v intervalech po 10 až 15 letech, kdy dochází k přechodu na výběr pozitivní s důrazem na zvyšování stability porostů pomocí silnějších zásahů. Probírkami se pokračuje až po dosažení mýtního věku, přičemž u borovice černé je doporučována doba obmýtí 80 až 100 let. Tento druh má poměrně vysoký produkční potenciál, přičemž vůbec největší přírůsty jsou zaznamenány v Turecku, kde se jedná o přírůst až $7,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ (Marchi et al., 2018; Vacek et al., 2023). Podle studie autorů Vacek et al. (2021) dosáhla borovice černá v podmínkách České republiky ve srovnání s dvanácti původními a introdukovanými dřevinami třetího nejvyššího přírůstu hned za borovicí lesní (*Pinus sylvestris*) a douglaskou tisolistou (*Pseudotsuga menziesii*).

2.4.5 Vlastnosti dřeva

Dřevo borovice černé je měkké a má vysoký obsah pryskyřice. Běl je široká, jádro je tmavší a velmi pryskyřičné. Vzhledem se dřevo podobá dřevu borovice lesní, ovšem oproti borovici lesní má dřevo borovice černé nižší pevnost a hrubší texturu (Vacek et al., 2023). V porovnání se dřevem borovice lesní je její dřevo pružnější. Dále je značně měkké, lehké a bohaté na pryskyřici. Díky zvýšenému obsahu pryskyřice je toto dřevo trvanlivější. Obsah pryskyřice se uvádí okolo 18 %, přičemž v jádru dosahuje až 20 %. Kvalita dřeva závisí na přírodních růstových podmínkách a areálu, ze kterého pochází. Dřevo mimo přirozený areál se často vyznačuje nižší kvalitou než dřevo původem z přirozeného areálu (Zeidler, 2007). K získání vysoce kvalitního dřeva je potřeba prodloužit dobu obmýtí. Kvalita dřeva může být odlišná i mezi jednotlivými poddruhy. Za zdroj nejkvalitnějšího dřeva se považuje poddruh *laricio* (Vacek et al., 2023). Poddruh *nigra* má nižší kvalitu dřeva než poddruh *laricio*, zejména pak na chudých půdách (Zeidler, 2007).

2.4.6 Využití dřeva

Dřevo borovice černé je v našem zpracovatelském průmyslu využíváno jen okrajově. Této dřevině se dostalo pozornosti především v souvislosti se zvýšeným odumíráním porostů v některých oblastech České republiky (Zeidler, 2007). Dřevní materiál z borovice černé byl historicky využíván pro stavbu lodí. Dřevo z borovice černé je taktéž využíváno ve stavebnictví, například na výrobu dveří, schodišť a obložen. Rovněž se hodí k výrobě nábytku, ale také jako palivové dříví. Borovice černá je taktéž využívána jako okrasná dřevina v městských parcích a výsadbách jednak díky jejímu vzhledu, ale také její toleranci ke

znečištění (Enescu et al., 2016). To byl mimo jiné jeden z důvodů introdukce druhů rodu *Pinus* do Čech a na Moravu, která započala před více než 200 lety. Původně bylo hlavním důvodem introdukce využití těchto dřevin v zámeckých parcích pro okrasu (Podrázský et al., 2020). Později se začaly tyto druhy vysazovat i v lesích pro zvýšení výnosů z lesa díky vysoké produkci introdukovaných druhů (Poleno et al., 2009). Díky vysokému obsahu pryskyřice byla borovice černá v dřívější době využívána také k těžbě pryskyřice, přičemž v Dolním Rakousku se výše výtěže pohybovala v průměru 3 kg na kmen za rok (Zeidler, 2007).

2.4.7 Škodliví činitelé

Klimatická změna významně ovlivňuje vitalitu lesních ekosystémů. Nejvíce se jedná o faktory jako nerovnoměrné rozložení srážek, období s velmi vysokými teplotami, extrémní povětrnostní podmínky nebo nárůst populací hmyzích škůdců, kteří působí jako sekundární činitelé. Mladší stromy jsou schopné zvládat nedostatky vláhly lépe než stromy starší. Dopady změny klimatu jsou nejhorší v nížinných porostech, kde vysoké teploty a dlouhotrvající období sucha vedou k poklesu růstu (Vacek et al., 2023). Studie autorů Vacek et al. (2021) porovnávající odolnost dřevin na území České republiky vůči nepříznivým klimatickým faktorům zjistila, že borovice černá dokáže být velice odolná. Ze 12 studovaných jehličnatých dřevin byl růst borovice černé (*Pinus nigra*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*), borovice pokroucené (*Pinus contorta*) a douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii*) nejméně ovlivněn nízkými srážkami a vysokými teplotami.

Velké problémy pro porosty borovice černé mohou představovat jednak houbové choroby, ale také různí hmyzí škůdci. Z patogenů lze jmenovat houby *Dothistroma pini*, *Lophodermella* spp. a *Sphaeropsis sapinea*, které mohou způsobovat vážné poškození jehlic (Enescu et al., 2016). Červená sypavka borovic (*Mycosphaerella pini* syn. *Dothistroma septosporum*) byla limitující pro výsadby borovice černé ve Spojeném království, a to do takové míry, že borovici černou je zde doporučeno nevysazovat (Farjon & Filer, 2013). Další problém může představovat patogen *Brunchorstia pinea* způsobující odumírání jehlic a rakovinu. Mezi významné hmyzí škůdce patří bourovec borový (*Dendrolimus pini*). Velkou hrozbu také představuje karanténní škodlivý organismus háďátko borové (*Bursaphelenchus xylophilus*), které je původcem vadnutí borovic. Borovice černá je taktéž hostitelem kůrovce *Ips pini* (Enescu et al., 2016), který se dle databáze EPPO (2024) v Evropě nevyskytuje. Je ovšem evidován jako karanténní škůdce a jeho zavlečení by mohlo představovat značné problémy pro borové porosty. Mezi další hmyzí škůdce napadající borovici černou se řadí lýkohub menší (*Tomicus minor*) a lýkohub sosnový (*Tomicus piniperda*), kteří nejčastěji působí jako

sekundární škůdci napadající již oslabené stromy. Další značný problém pro borovici černou může představovat bourovčík jižní (*Thaumetopoea pityocampa*). V důsledku probíhající klimatické změny došlo k zesílení přemnožování tohoto škůdce, zejména pak v monokulturních porostech borovice černé (*Pinus nigra*) a borovice přímořské (*Pinus pinaster*) (Vacek et al., 2023).

V původním areálu borovice černé byl v současnosti pozorován nárůst teplot a nerovnoměrnost přísunu srážek, což v důsledku zvyšuje riziko vzniku požáru. Požáry mají předpoklady značně poškodit lesní porosty. V oblasti Středomoří borovice černá po požárech špatně regeneruje a dochází zde k nástupu popožárových druhů, mezi které patří vytrvalé trávy, borovice přímořská (*Pinus pinaster*), borovice halepská (*Pinus halepensis*), dub cesmínovitý (*Quercus ilex*) a dub kermesový (*Quercus coccifera*) (Roiron et al., 2013). Všechny tyto druhy jsou odolnější proti ohni než borovice černá, jejíž odolnost spočívá především v její silné borce (Vacek et al., 2023).

2.5 Porovnání borovice lesní a borovice černé z hlediska citlivosti k disturbancím

Od minulého století dochází k oteplování. Ve střední Evropě jsou zaznamenávány vlny veder, u nichž lze předpokládat v budoucnu navýšení frekvence (Kundzewicz et al., 2019). Dochází nejen k nárůstu teplot, ale i ke snížení srážek v zimě. Taktéž byl pozorován posun maximálních srážek z jara na podzim. Všechny tyto faktory ovlivňují růst rostlinných druhů, přičemž každý z nich se s touto změnou může vyrovnávat odlišným způsobem (Nechita et al., 2022). Období mezi lety 2011 a 2020 je považováno za nejteplejší desetiletí v historii měření. Vyšší frekvence suchých období může vést nejen ke chřadnutí, ale také ke snížení obranyschopnosti stromů vůči různým škůdcům, což v důsledku vede ke ztrátě někdy i rozsáhlých ploch lesů (Benisiewicz et al., 2024). Výsledky rumunské studie autorů Nechita et al. (2022) naznačují, že borovice lesní je citlivější k suchým obdobím a vyžaduje více vody než borovice černá. Oba druhy mají silnou závislost na množství vody v půdě a atmosféře. Druhově specifická reakce ukázala, že borovice lesní má rovněž nižší resilienci. Studie autorů Benisiewicz et al. (2024) pojednává o odumírání porostů borovice lesní na jihu Polska, kde porosty odumíraly na následky výrazných suchých epizod s vysokou teplotou. Dle závěru ve výzkumu autorů Nechita et al. (2022) lze předpokládat, že oteplování v budoucnu zvýší stres suchem a povede k chřadnutí porostů.

S probíhající klimatickou změnou souvisí i nárůst frekvence a intenzity lesních požárů. Rok 2022 byl v Evropské unii druhým nejhorším rokem z hlediska spálené plochy. V posledních letech odolnost lesa vůči vzniku požáru klesla, přičemž další obavy vzbuzuje i následná obnova lesa po požáru. Vznik požáru také podporuje předchozí narušení porostů biotickými či abiotickými činiteli, přičemž největší význam mají větrné kalamity, které navyšují v lesích četnost potenciálního paliva. Borovice lesní je díky svému kořenovému systému, silné kůře a vysoké rychlosti regenerace adaptována pouze na požáry nízké intenzity (Leonardos et al., 2024). Borovice černá je odolnější vůči ohni než borovice lesní díky své tlustší kůře, silnějším jehlicím a vyššímu nasazení koruny (Valor et al., 2020).

2.5.1 Porovnání v podmínkách České republiky

V podmínkách České republiky je pro borovici černou nejvýznamnějším faktorem působícím odumírání nedostatek vláhy, zejména v období jarního přirůstání a tvorby jehlicí. Při pěstování mimo svůj původní areál je na tyto výkyvy velmi citlivá a projevuje se u ní stres z přesazení. Ten nastává 1 až 3 roky po výsadbě a je umocněn jejím mělkým kořenovým systémem v našich podmínkách, což zvyšuje citlivost k suchu. Stromy oslabené suchem se navíc stávají primárním cílem většiny ze zhruba 33 druhů kůrovců napadajících borovice (Urban, 2000).

Na začátku tisíciletí docházelo k odumírání borovice černé na Moravě a ve Slezsku. Původcem odumírání byl houbový patogen *Sphaeropsis sapinea*, který stromy masivně napadal po oslabení suchem, zejména v 90. letech. Oslabené stromy byly následně napadány podkorním hmyzem. Borovice černá byla v minulosti masivně vysazována na degradovaných a suchých stanovištích, kde jiné dřeviny selhávaly. Tato vlna odumírání ukazuje, že je potřeba tyto lokality a porosty aktivně chránit (Jankovský & Pavlíčková, 2003). Při porovnávání růstu obou borovic v podmínkách České republiky borovice lesní vykazovala vyšší produkci než borovice černá (Vacek et al., 2021).

Další významný pohled na problematiku růstového potenciálu a přežívání introdukovaných dřevin v podmínkách České republiky nabízí studie autorů Podrázský et al. (2025) z arboreta Truba. Zde bylo hodnoceno 16 druhů jehličnanů, včetně borovice černé a domácí referenční borovice lesní ve věku 40 let. Lokalita, která byla předmětem výzkumu je charakteristická vysychavým půdním podkladem a výskytem častých přísušků, což vytváří vhodné podmínky pro sledování reakce daných dřevin na sucho. Studie potvrdila, že borovice v těchto sušších podmínkách vykazují znatelně lepší vitalitu než druhy smrků a jedlí. Borovice černá se na tomto území projevila vyšší mírou přežívání prezentovanou celkovou vyšší hustotou porostu, než byla zjištěna u borovice lesní.

3 Metodika

3.1 Charakteristika výzkumné lokality

Terénní výzkum probíhal na pokusných plochách v arboretu Sofronka. Jak uvádí Kaňák (2016), toto arboretum je specifické svým přístupem k péči o zde zkoumané druhy. Není zde využíváno výchovných zásahů, stejně tak nejsou aplikována hnojiva ani chemická ochrana. Výsledky získané v těchto podmínkách poukazují na to, jakým způsobem jsou různé druhy borovic schopny přežívat v místním prostředí a v klimatu České republiky. Dle informací z webu arboreta (Arboretum Sofronka, 2025), průměrný roční úhrn srážek na tomto území činí 525 mm a průměrná roční teplota zde je 7,3 °C. Data pocházejí z meteorologické stanice nacházející se přímo v arboretu (Plzeň-Bolevec).

Arboretum je situováno v rozmezí nadmořských výšek 330 až 350 m n. m. na mírném svahu s jižní expozicí. Spodní část výzkumného objektu je mrazovou kotlinou. Složení půdy z permokarbonských hlinitých písků a arkózy je specifická nedostatečnou tepelnou akumulací. To má za následek vysokou četnost extrémních teplot. Vegetačním typem na tomto území jsou acidofilní doubravy (Kaňák, 2016).

3.2 Popis výzkumných ploch

Výzkum byl zaměřen na dvě dřeviny, konkrétně na borovici lesní a borovici černou. Borovice černá byla zastoupena na jedenácti plochách jedenácti proveniencemi. U borovice lesní bylo zkoumáno pět proveniencí na pěti plochách. Výsadba veškerých zkoumaných ploch jak borovice černé, tak borovice lesní proběhla v roce 1961. V době měření bylo stáří dřevin na výzkumných plochách 64 let. Tyto výzkumné plochy se v arboretu nacházejí v části J. Jejich konkrétní pozice lze vidět na obrázku č. 3 a přehled zkoumaných proveniencí v tabulce č. 1 a 2. Při zakládání výzkumných ploch byl pro borovici černou zvolen spon 1,3 m × 1,5 m, což odpovídá počáteční hustotě 5 128 jedinců na 1 hektar. Borovice lesní byla vysazena v hustším sponu 1 m × 1 m s hektarovým počtem 10 000 jedinců. Výměra větších výzkumných ploch činila 390 m², zatímco menší plochy byly o výměře 195 m². Schémata současného rozmístění jedinců na jednotlivých výzkumných plochách jsou podrobně zpracována v přílohách č. I až XVI.

Tabulka 1 - Přehled zkoumaných proveniencí borovice černé dle Kaňáka (2016)

Dřevina	Provenience	Původ	Poloha	Velikost plochy (m ²)
Borovice černá	Foret d'Oletté	Pyreneje	J75	390
Borovice černá	Koekelare	Belgie	J76	390
Borovice černá	Krško područje	Jugoslávie	J84	390
Borovice černá	Kunadács	Maďarsko	J83	390
Borovice černá	Les Bares	Francie	J69	390
Borovice černá	Marghéze	Korsika, Francie	J91	390
Borovice černá	Palnéca	Korsika, Francie	J92	390
Borovice černá	Pirin I	Bulharsko	J68	390
Borovice černá	Pirin II	Bulharsko	J100	195
Borovice černá	Sierra de Cazorla	Španělsko	J99	195
Borovice černá	St. Guilhem-le-Désert	Francie	J98	390

Tabulka 2 - Přehled zkoumaných proveniencí borovice lesní dle Kaňáka (2016)

Dřevina	Provenience	Původ	Poloha	Velikost plochy (m ²)
Borovice lesní	Čertova stěna	Československo	J27	195
Borovice lesní	La Matte des Angles	Francie	J49	195
Borovice lesní	Malenovice	Československo	J16	195
Borovice lesní	St. Nizier de Fornas	Francie	J60	195
Borovice lesní	Vítkův kámen	Československo	J38	195

3.3 Sběr dat

Sběr dat probíhal v roce 2025 po skončení vegetační sezóny. Měření probíhalo v tříčlenné pracovní skupině (2 měřiči a 1 zapisovatel). Zkoumána byla borovice lesní a borovice černá. V rámci širšího sběru dat pro správu arboreta byla měřena i borovice pokroucená (*Pinus contorta*) a borovice rumelská (*Pinus peuce*). Měřeny byly výčetní tloušťky, výšky a byl hodnocen tvar kmene. Výčetní tloušťky byly měřeny lesnickým obvodovým pásmem Richter (viz obr. č. 4) s nelineární stupnicí pro přímý odečet průměru a byly zaznamenávány s přesností na 1 mm. Výšky byly měřeny laserovými výškoměry Haglof Vertex Laser VL402 a TruPulse 200B (viz obr. č. 5). Hodnoty byly zaznamenány s přesností na 0,1 m. Kvalita tvaru kmene byla posuzována dle následující stupnice: známka 1 pro přímý rovný kmen, známka 2 pro kmen lehce zakřivený, známka 3 pro kmeny silně zakřivené, známka 4 pro dvojáky, trojáky a více rozvětvené. Stupnice byla stanovena vedoucím práce a je používána správou arboreta.

Rovněž byly zaznamenávány pozice jednotlivých stromů do zápisníků poskytnutých správcem arboreta Ing. Janem Kaňákem, Ph.D. Každé výzkumné ploše, na které rostla jedna provenience, byl přiřazen terénní zápisník, do nějž byly zaznamenávány naměřené hodnoty.



Obrázek 4 - Lesnické obvodové pásmo se stupnicí pro přímý odečet průměru (Richter, 5 m), použité při měření výčetních tloušťek ($d_{1,3}$)



Obrázek 5 - Jeden z použitých přístrojů pro měření výšek stromů – TruPulse 200B

3.4 Zpracování dat

Vyhodnocení naměřených hodnot bylo provedeno v programu MS Excel a programovém prostředí R (R Core Team). Z výčetních tloušťek byla stanovena výčetní kruhová základna pro každý měřený strom, poté byla stanovena hektarová výčetní kruhová základna (G) pro jednotlivé provenience. Následně z výčetních kruhových základen a výšek byl vypočten objem jednotlivých stromů v m^3 za využití hodnoty výtvarnice z Taxačního průvodce (1983), která platí pro borovici lesní ($f = 0,435$). Poté byla stanovena hektarová zásoba (V) jednotlivých proveniencí v $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Z objemu jedinců byl stanoven objem středního kmene (v) v m^3 . Z výčetních tloušťek a z naměřených výšek byly stanoveny střední hodnoty, tedy průměrná výčetní tloušťka (DBH) a střední porostní výška (h) pro všechny provenience. Tyto střední hodnoty posloužily jako reprezentativní při porovnávání jednotlivých proveniencí. Taktéž byl vypočten procentuální podíl úhynu (mortalita) od počátečního počtu při výsadbě a hektarový počet stromů (N).

Dále byla stanovena hodnota štíhlostního kvocientu (HDR) pro jednotlivé stromy a následně i střední hodnota pro každou zkoumanou provenienci v $\text{cm} \cdot \text{m}^{-1}$. Pro porovnání kvality kmene všech proveniencí byla vypočtena střední hodnota ze známek kvality kmene. Čím více se střední hodnota známky blížila známce 1, tím vyšší byla kvalita kmene dané provenience.

Vzhledem k tomu, že na plochách borovice černé se jednalo o druhé měření, bylo možné stanovit hodnotu průměrného periodického přírůstu (PPP) přepočtenou na plochu 1 ha. První měření probíhalo před začátkem vegetační sezóny roku 2022 v rámci zpracování bakalářské práce (Kerschlager, 2024). Pro zkoumané plochy borovice lesní nebyla k dispozici žádná historická data.

Rozdíly mezi jednotlivými proveniencemi z hlediska porovnání výšek, výčetních tloušťek, objemů, štíhlostního kvocientu a známek kvality kmene byly hodnoceny v programovém prostředí R (R Core Team). Před samotným porovnáním byla ověřena normalita rozdělení dat pomocí Shapiro-Wilkova testu. Shoda rozptylů mezi testovanými skupinami byla ověřena Bartlettovým testem. U zkoumaných veličin nedošlo ke splnění těchto předpokladů. Důvodem byla vysoká mortalita na některých výzkumných plochách, což mělo za důsledek nevyrovnaný počet jedinců. Pro porovnání byl využit neparametrický Kruskal-Wallisův test. V případě zjištění statisticky průkazných rozdílů ($p < 0,05$) byl proveden neparametrický post hoc test, konkrétně Fisherův LSD test, pro vícenásobné párové porovnání. Aby se předešlo zvýšenému riziku chyby při velkém množství porovnávaných dvojic, byla aplikována Bonferroniho korekce p-hodnoty.

4 Výsledky

Souhrnný přehled všech hodnocených dendrometrických, produkčních a kvalitativních vlastností pro zkoumané provenience borovice černé a borovice lesní je uveden v tabulkách č. 3 a 4. V následujících podkapitolách jsou podrobněji analyzovány dílčí výsledky.

Tabulka 3 - Přehled výsledků veličin jednotlivých proveniencí borovice černé

Dřevina	Provenience	DBH (cm)	h (m)	G (m ² ·ha ⁻¹)	v (m ³)	V (m ³ ·ha ⁻¹)	HDR (m·cm ⁻¹)	N (ks·ha ⁻¹)	Mortalita (%)	Kmen
Borovice černá	Foret d'Oleté	22,08 ^{bc}	21,71 ^{ab}	58,07	0,41 ^{bc}	576	1,03 ^{bcd}	1410	73	1,84 ^b
Borovice černá	Koekelare	33,74^a	24,34^a	38,54	1,02^a	420	0,75^c	410	92	2,31 ^{ab}
Borovice černá	Křiško podružčije	21,42 ^{bcd}	20,77 ^{bc}	64,58	0,37 ^{bcd}	616	1,02 ^{cd}	1667	68	2,08 ^{ab}
Borovice černá	Kunadács	23,63 ^b	21,50 ^{ab}	76,22	0,49 ^b	774	0,97 ^{cd}	1564	70	2,00 ^{ab}
Borovice černá	Les Bares	22,99 ^b	22,88^a	90,54	0,48 ^b	956	1,05 ^{bc}	2000	61	1,67 ^b
Borovice černá	Marghéze	18,91 ^{cd}	19,98 ^{cd}	58,93	0,27 ^{cd}	531	1,11 ^{abc}	1974	62	1,56^b
Borovice černá	Palnéca	24,84 ^{ab}	22,13 ^{ab}	58,30	0,54 ^{ab}	595	0,94 ^{cde}	1103	79	1,74 ^b
Borovice černá	Pirin I	20,27 ^{bcd}	20,01 ^{bcd}	48,60	0,31 ^{bcd}	452	1,06 ^{bc}	1436	72	2,02 ^{ab}
Borovice černá	Pirin II	20,94 ^{bcd}	20,47 ^{bc}	94,03	0,35 ^{bcd}	891	1,03 ^{bcd}	2513	51	2,08 ^{ab}
Borovice černá	Sierra de Cazorla	20,6 ^{bcd}	17,7 ^d	49,33	0,29 ^{bcd}	399	0,89 ^{de}	1385	73	2,22 ^{ab}
Borovice černá	St. Guilhem-le-Désert	21,21 ^{bcd}	18,19 ^d	38,29	0,30 ^{bcd}	311	0,90 ^{de}	1026	80	2,05 ^{ab}

Poznámka: DBH: střední výčetní tloušťka, h: střední výška, G: výčetní kruhová základna přepočtena na velikost 1 ha, v: objem středního kmene, V: zásoba přepočtena na velikost 1 hektaru, HDR: střední hodnota štihlостního kvocientu, N: počet jedinců přepočtený na velikost 1 ha. Odlišná písmena v horním indexu označují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti $\alpha = 0,05$, písmena jsou přiřazena sestupně dle velikosti naměřených hodnot, u dendrometrických parametrů (DBH, h, v) představují nejvyšší hodnoty (skupina a) nejlepší produkční výsledky. U HDR a kvality kmene je nejlepší výsledek prezentován nejnižší hodnotou, nejvyšší kvalitu a stabilitu vykazují provenience zařazené do abecedně pozdějších skupin (HDR – e, Kmen – b). Tučně jsou označeny hodnoty s nejlepšími výsledky.

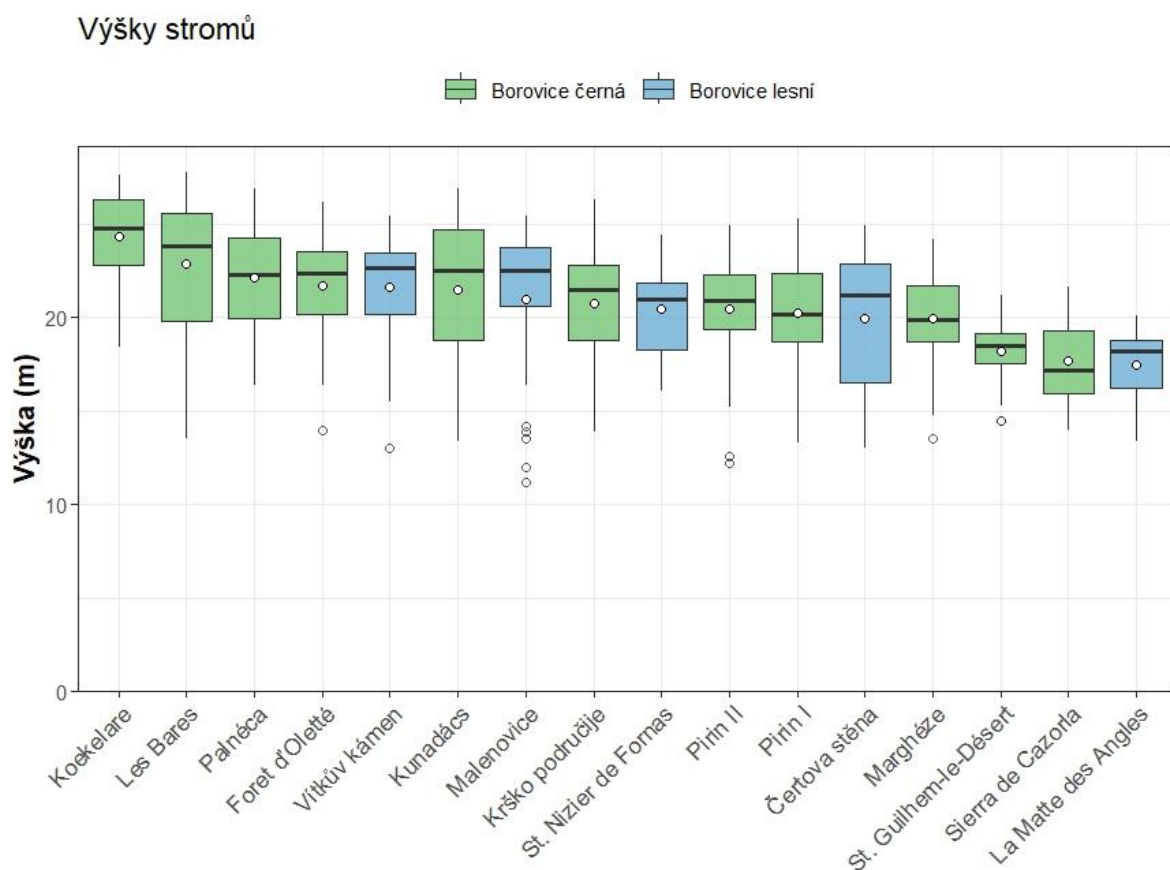
Tabulka 4 - Přehled výsledků jednotlivých veličin pro borovici lesní

Dřevina	Provenience	DBH (cm)	h (m)	G (m ² ·ha ⁻¹)	v (m ³)	V (m ³ ·ha ⁻¹)	HDR (m·cm ⁻¹)	N (ks·ha ⁻¹)	Mortalita (%)	Kmen
Borovice lesní	Čertova stěna	18,95 ^{cd}	19,98 ^{bcd}	38,67	0,30 ^{bcd}	370	1,11 ^{abc}	1231	88	2,04 ^{ab}
Borovice lesní	La Matte des Angles	16,2 ^d	17,45 ^d	18,19	0,20 ^d	144	1,13 ^{abc}	718	93	1,69 ^b
Borovice lesní	Malenovice	21,44^{bcd}	20,98 ^{abc}	61,97	0,38^{bcd}	599	1,02^{bcd}	1590	84	2,35 ^a
Borovice lesní	St. Nizier de Fornas	17,02 ^d	20,5 ^{bc}	45,10	0,23 ^d	417	1,27 ^a	1846	82	1,58^b
Borovice lesní	Vítkův kámen	19,38 ^{bcd}	21,66^{ab}	63,66	0,30 ^{bcd}	621	1,15 ^{ab}	2051	79	1,63 ^b

Poznámka: DBH: střední výčetní tloušťka, h: střední výška, G: výčetní kruhová základna přepočtena na velikost 1 ha, v: objem středního kmene, V: zásoba přepočtena na velikost 1 hektaru, HDR: střední hodnota štíhlостního kvocientu, N: počet jedinců přepočtený na velikost 1 ha. Odlišná písmena v horním indexu označují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti $\alpha = 0,05$, písmena jsou přiřazena sestupně dle velikosti naměřených hodnot, u dendrometrických parametrů (DBH, h, v) představují nejvyšší hodnoty (skupina a) nejlepší produkční výsledek. U HDR a kvality kmene je nejlepší výsledek prezentován nejnižší hodnotou, nejvyšší kvalitu a stabilitu vykazují provenience zařazené do abecedně pozdějších skupin (HDR – e, Kmen – b). Tučně jsou označeny hodnoty s nejlepšími výsledky.

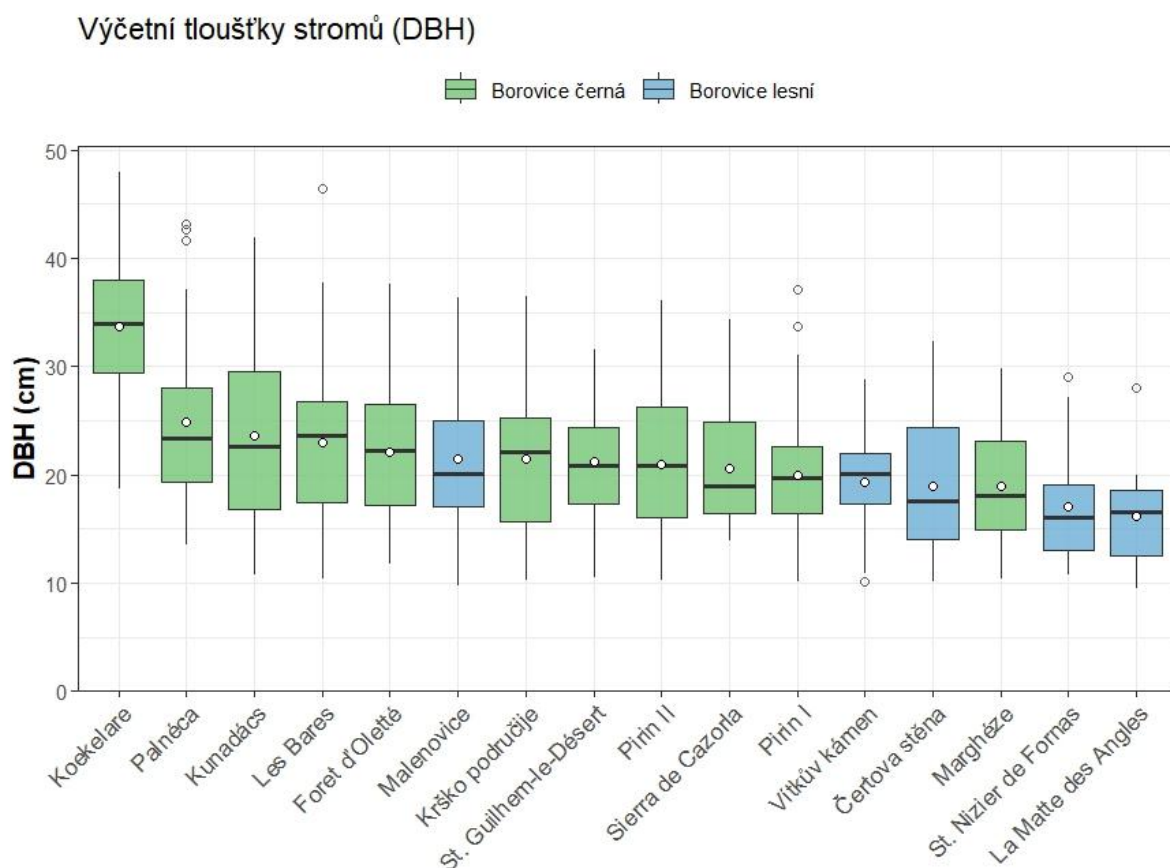
4.1 Růstové parametry

Detailní rozdělení naměřených výšek a rozdíly mezi jednotlivými proveniencemi shrnuje graf č. 1. Průkazně nejvyšších hodnot naměřených výšek dosáhly provenience borovice černé, konkrétně Koekelare (24,34 m) a Les Bares (22,88 m). Další statisticky významnou skupinu s nadprůměrnými hodnotami tvořily u stejného druhu provenience Palnéca (22,13 m), Foret d'Oletté (21,71 m) a Kunadács (21,50 m). Do této skupiny se také řadila provenience Vítkův kámen (21,66 m), jejíž střední hodnota představovala výškové maximum v rámci všech zkoumaných ploch borovice lesní. Signifikantně nejnižší hodnoty výšek byly zjištěny u proveniencí borovice černé St. Guilhem-le-Désert (18,19 m) a Sierra de Cazorla (17,70 m). Absolutně nejnižší hodnoty výšek z celého hodnoceného souboru pak dosáhla francouzská provenience La Matte des Angles (17,45 m).



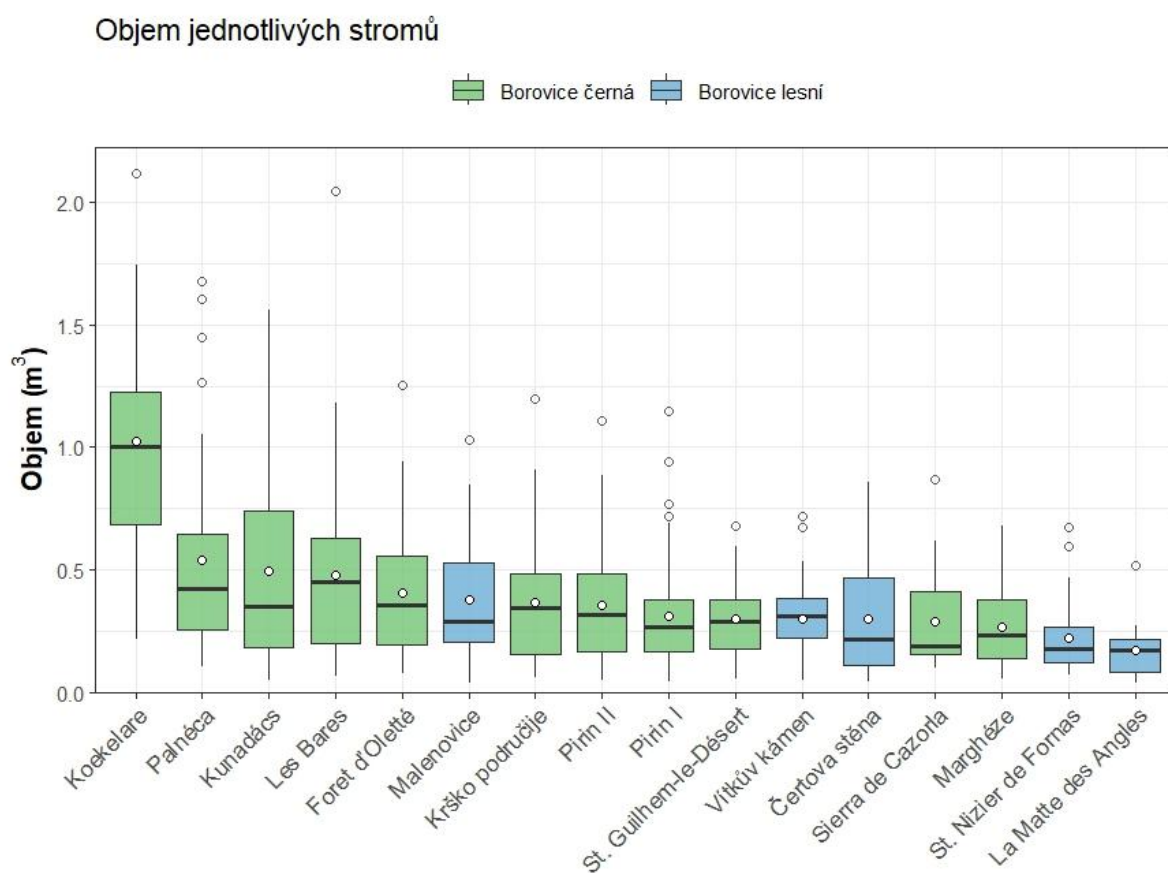
Graf 1 – Porovnání variability výšek jednotlivých proveniencí borovice černé a borovice lesní. Pozn.: Bílý bod označuje střední hodnotu.

Vzhledem ke specifickým podmínkám a aplikaci přírodního výběru v arboretu, kde na výzkumných plochách nebyly prováděny výchovné zásahy, mělo na výčetní tloušťku (DBH) největší vliv uvolňování prostoru v důsledku mortality. Rozdíly mezi výčetními tloušťkami zkoumaných proveniencí jsou shrnuty v grafu č. 2. Statisticky nejvyšších dimenzí dosáhla provenience borovice černé Koekelare (33,74 cm). Následovala provenience Palnéca se střední výčetní tloušťkou 24,84 cm, která dle statistického porovnání představovala přechodné hodnoty. Průkazně se nelišila od nejmohutnější provenience Koekelare, ale zároveň nebyl prokázán výrazný rozdíl od proveniencí Kunadács (23,63 cm) a Les Bares (22,99 cm). Ačkoliv se tyto dvě provenience se svými hodnotami od nejmohutnější již významně lišily, stále dosahovaly nadprůměrných hodnot v rámci celého zkoumaného souboru. U zkoumaných ploch borovice lesní byla nejvyšší střední hodnota výčetní tloušťky zjištěna u provenience Malenovice (21,44 cm). Naopak prokazatelně nejnižších výčetních tloušťek dosahovaly francouzské provenience borovice lesní, konkrétně St. Nizier de Fornas (17,02 cm) a La Matte des Angles (16,20 cm).



Graf 2 - Porovnání variability výčetních tloušťek jednotlivých proveniencí borovice černé a borovice lesní. Pozn.: Bílý bod označuje střední hodnotu.

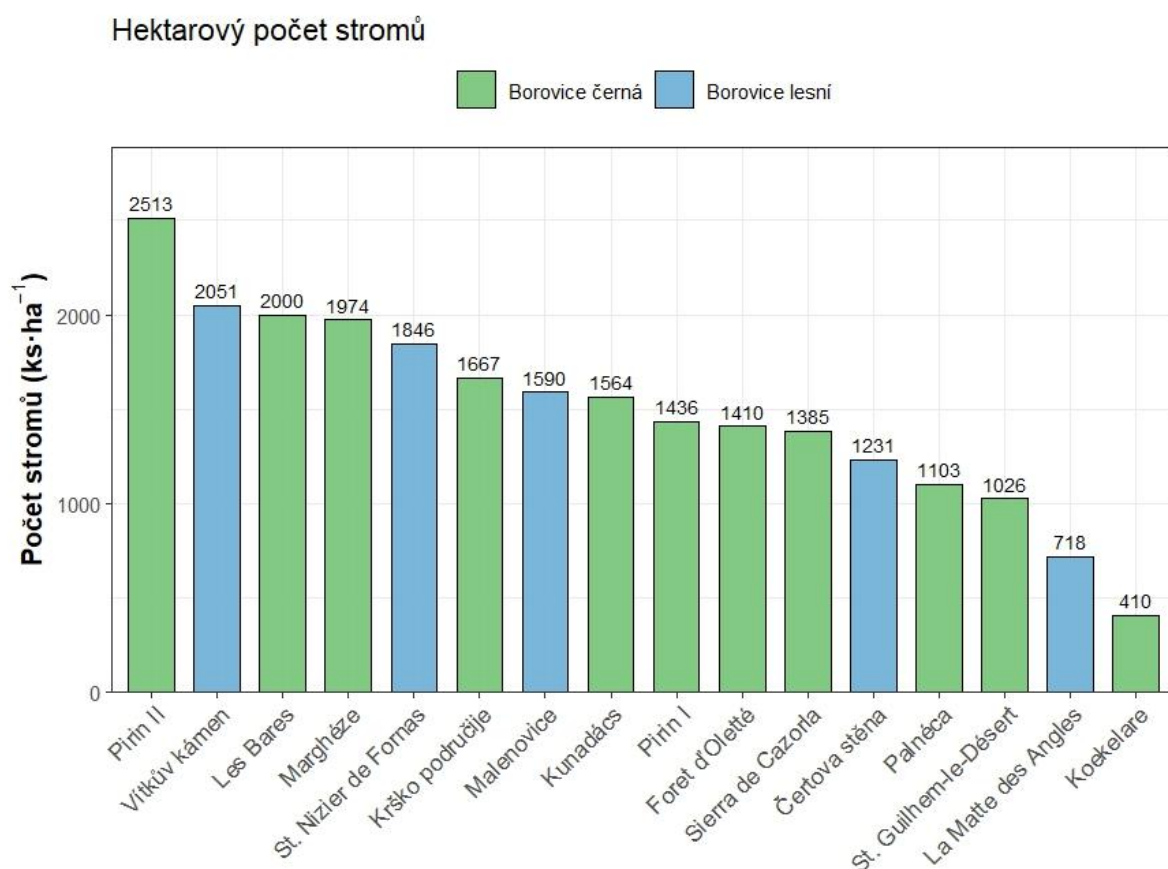
Zjištěné rozdíly mezi tloušťkami a výškami se promítly do výsledného objemu jednotlivých stromů. Rozptyl těchto hodnot všech zkoumaných proveniencí přehledně znázorňuje graf č. 3. Statisticky největších objemů dosahovaly stromy na ploše s proveniencí borovice černé Koekelare s objemem středního kmene ve výši $1,02 \text{ m}^3$. Provenience Palnéca ($0,54 \text{ m}^3$) u téhož druhu reprezentovala statistický přechod mezi skupinami, přičemž se výrazně nelišila od hodnot nejobjemnější provenience Koekelare a zároveň nevykazovala výrazný rozdíl oproti proveniencím Kunadács ($0,49 \text{ m}^3$) a Les Bares ($0,48 \text{ m}^3$), jejichž hodnoty se ovšem od provenience Koekelare již významně lišily. V rámci zkoumaných ploch borovice lesní byla zjištěna nejvyšší hodnota objemu středního kmene u provenience Malenovice ($0,38 \text{ m}^3$). Naopak prokazatelně nejnižších objemů dosahovali jedinci na plochách francouzských proveniencí St. Nizier de Fornas ($0,23 \text{ m}^3$) a provenience La Matte des Angles ($0,20 \text{ m}^3$).



Graf 3 – Porovnání variability objemů jednotlivých proveniencí borovice černé a borovice lesní. Pozn.: Bílý bod označuje střední hodnotu.

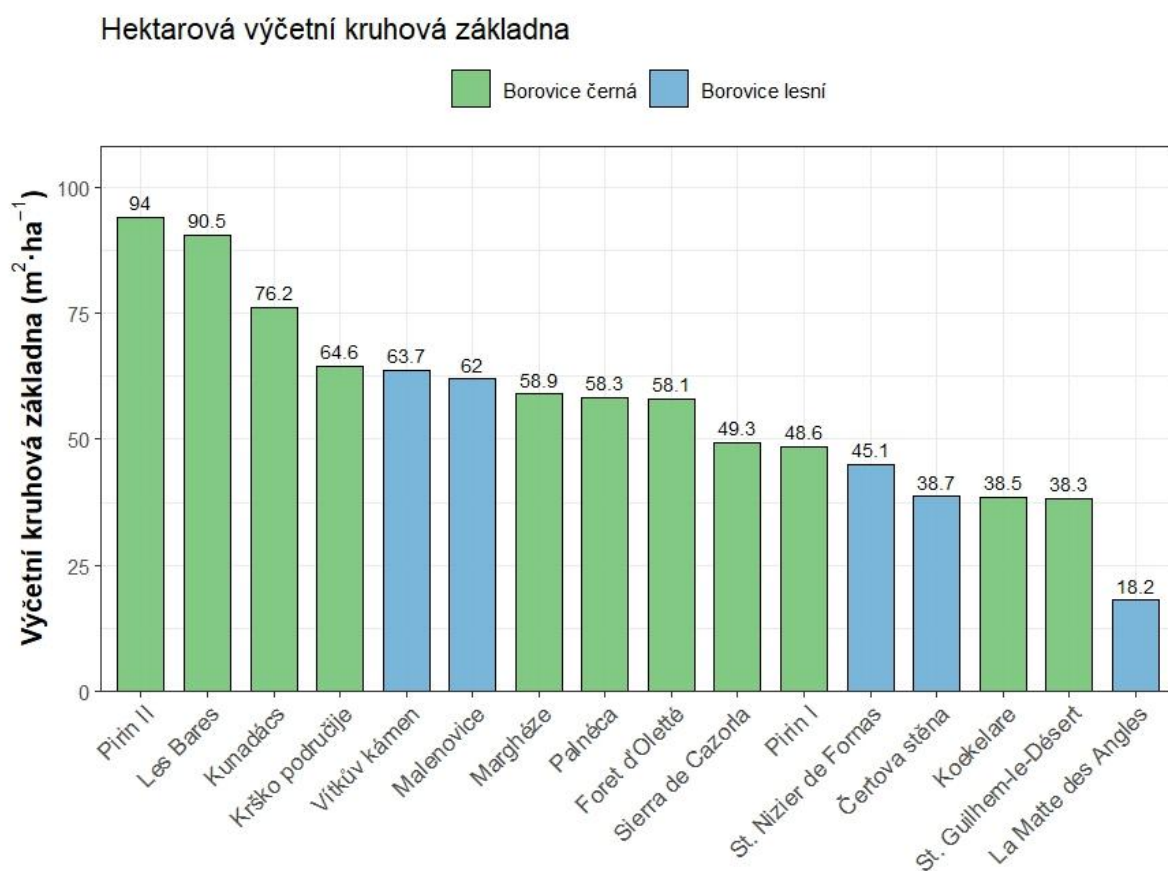
4.2 Hektarová produkce a porostní hustota

V předchozí podkapitole byly zhodnoceny růstové parametry jednotlivých stromů. Nicméně produkční potenciál proveniencí na úrovni porostu byl ovlivněn schopností přežívání. Vzhledem k tomu, že v arboretu Sofronka nedochází ke klasické výchově zkoumaných dřevin, klíčovou roli při formování hektarových zásob hraje mortalita a schopnost přežít v místních podmínkách. Z hlediska porovnání počtu jedinců na hektar (graf č. 4) a s tím související mortality byl na výzkumných plochách zjištěn nejvyšší počet jedinců na hektar u borovice černé provenience Pirin II ($2\,513 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$, mortalita 51 %). Ta ovšem dosáhla takového výsledku pouze na ploše o menší výměře. Dále byla zaznamenána vysoká porostní hustota u borovice lesní provenience Vítkův kámen ($2\,051 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$, mortalita 79 %) a u borovice černé provenience Les Bares ($2\,000 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$, mortalita 61 %). Nejvyšší mortalita mezi proveniencemi borovice lesní byla zjištěna u provenience La Matte des Angles (93 %), která ovšem měla vyšší porostní hustotu ($718 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$) než borovice černá provenience Koekelare ($410 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$), u níž byla zjištěna mortalita 92 %.



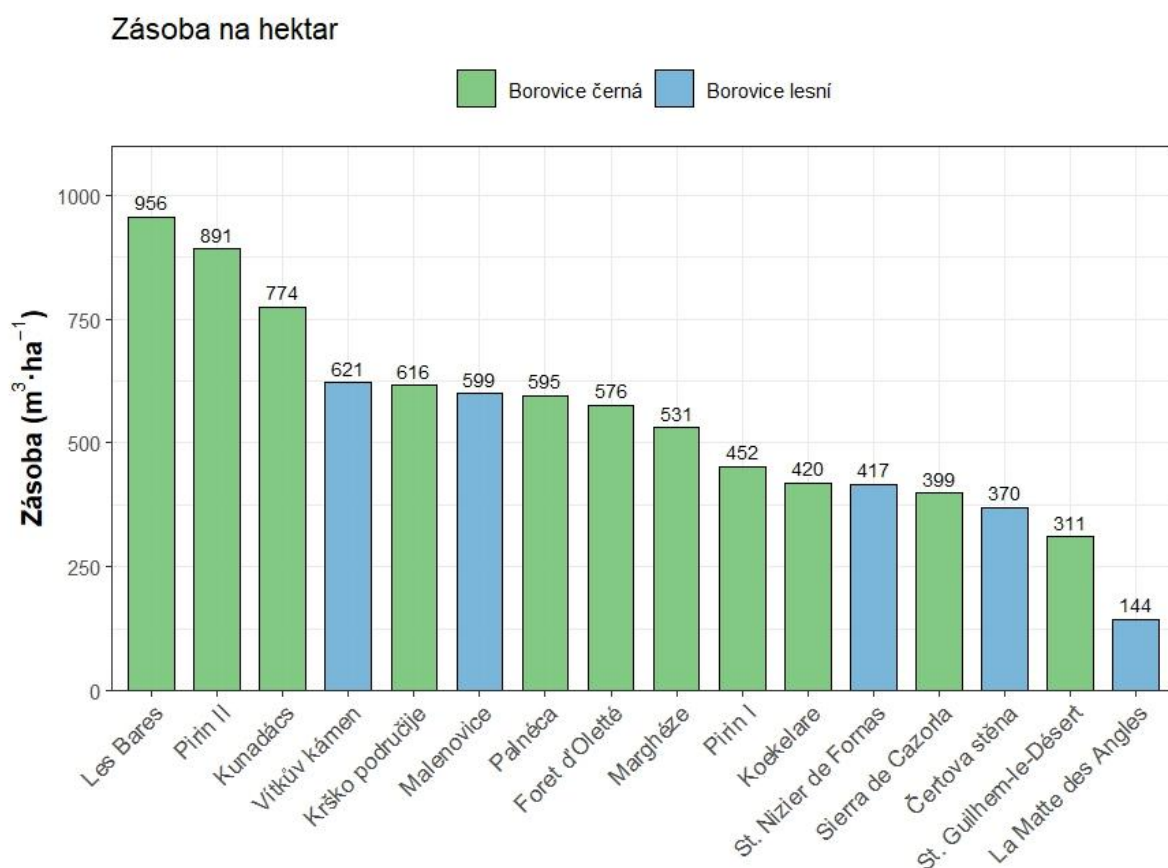
Graf 4 - Porovnání počtu stromů přepočtených na velikost 1 hektaru jednotlivých proveniencí borovice černé a borovice lesní

Rozdíly zjištěné v hektarových počtech stromů se promítají i do hodnot celkové výčetní kruhové základny. Její absolutně nejvyšší hodnota byla zjištěna u provenience borovice černé Pirin II ($94 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$), která opět takto vysoké hodnoty dosáhla pouze na výzkumné ploše s menší výměrou (J100, výměra: 195 m^2). Následně byla vysoká hodnota hektarové výčetní kruhové základny i u provenience Les Bares ($90,5 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$). Vůbec nejnižší hektarová výčetní kruhová základna byla zjištěna na ploše borovice lesní s francouzskou proveniencí La Matte des Angles ($18,2 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$). Detailní rozdělení kruhových základen přepočtených na plochu jednoho hektaru je shrnuto v grafu č. 5.



Graf 5 – Porovnání výčetních kruhových základen přepočtených na plochu jednoho hektaru jednotlivých proveniencí borovice černé a borovice lesní

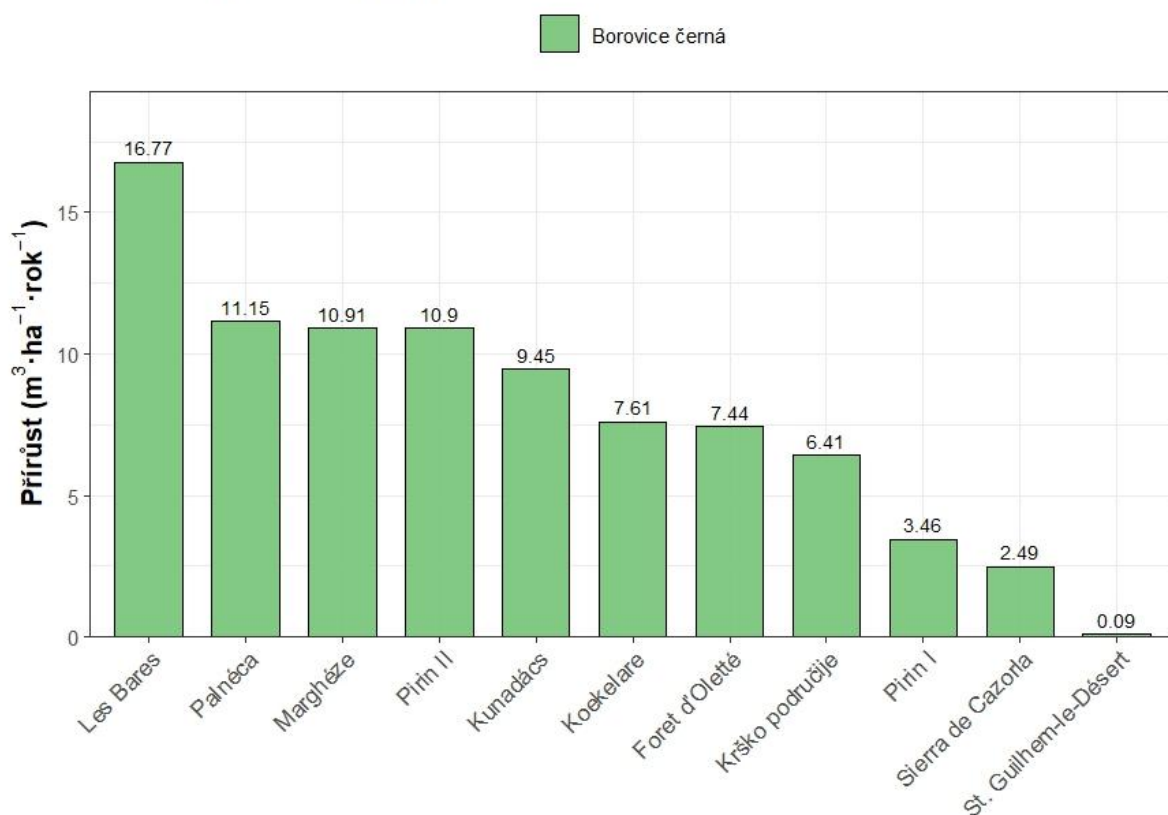
Porovnání výsledné zásoby hodnocených výzkumných ploch přepočtené na plochu jednoho hektaru reprezentuje graf č. 6. Nejvyšší hodnota této veličiny byla zjištěna u provenience borovice černé Les Bares ($956 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Dále dosahovaly vysokých hodnot i provenience Pirin II ($891 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), Kunadács ($774 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) a Krško područije ($616 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Na výzkumných plochách s borovicí lesní dosahovaly nejvyšších hodnot provenience původem z území bývalého Československa, konkrétně Vítkův kámen ($621 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) a Malenovice ($599 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Vůbec nejnižší hektarová zásoba byla zaznamenána u provenience borovice lesní La Matte des Angles ($144 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$).



Graf 6 - Porovnání hektarových zásob jednotlivých proveniencí borovice černé a borovice lesní

Pro zhodnocení současné růstové dynamiky zkoumaných ploch borovice černé byl na základě opakovaného měření stanoven průměrný periodický přírůst zásoby (PPP). Vzhledem k absenci dat pro zkoumané plochy borovice lesní byla analýza provedena pouze pro provenience borovice černé. Během hodnocených čtyř uplynulých vegetačních období byl zaznamenán vůbec nejvyšší PPP u provenience Les Bares ($16,77 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$). Vysoká dynamika růstu byla dále zjištěna u proveniencí Palnéca ($11,15 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$), Marghéze ($10,91 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) a Pirin II ($10,90 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$). Nejnižší průměrný periodický přírůst byl zaznamenán na ploše provenience St. Guilhem-le-Désert ($0,09 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$), kde došlo téměř ke stagnaci růstu.

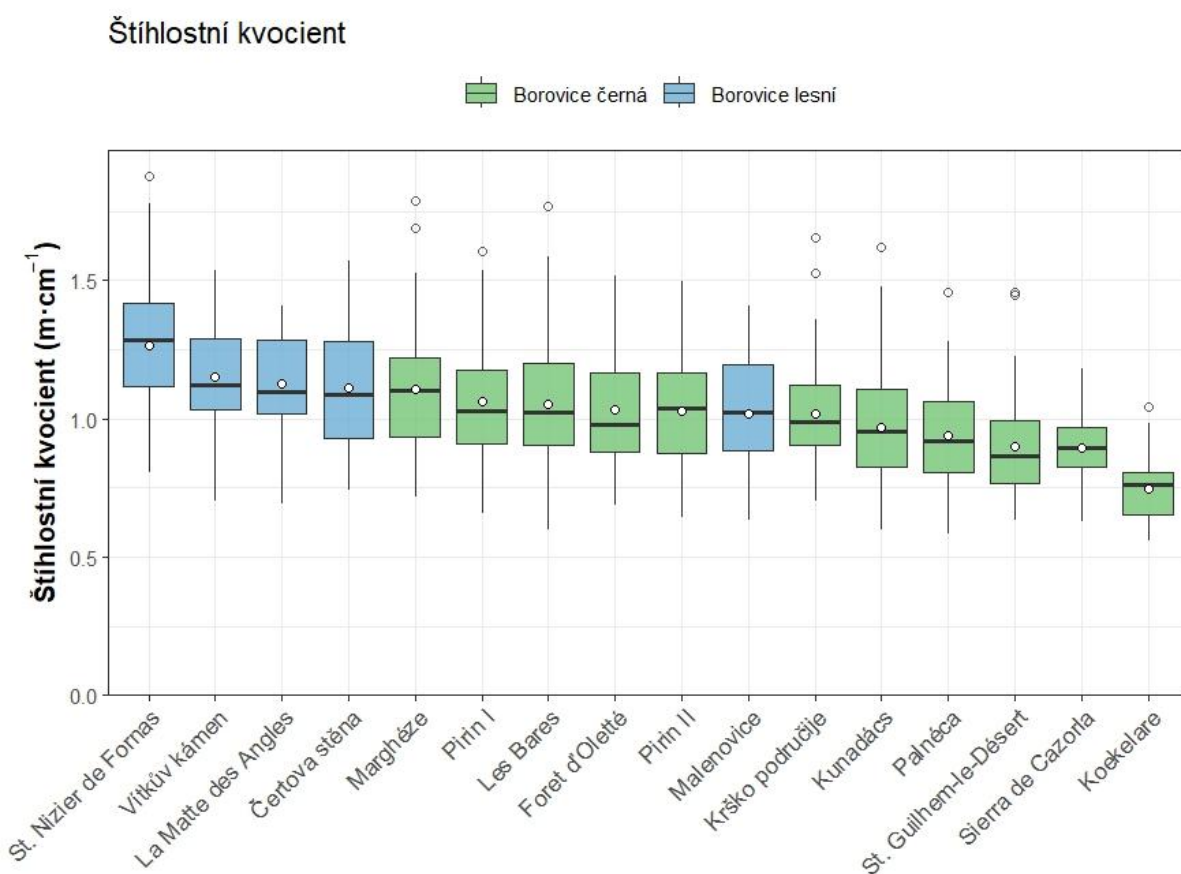
Průměrný periodický přírůst



Graf 7 - Porovnání průměrného periodického přírůstu přepočteného na velikost 1 ha pro jednotlivé provenience borovice černé

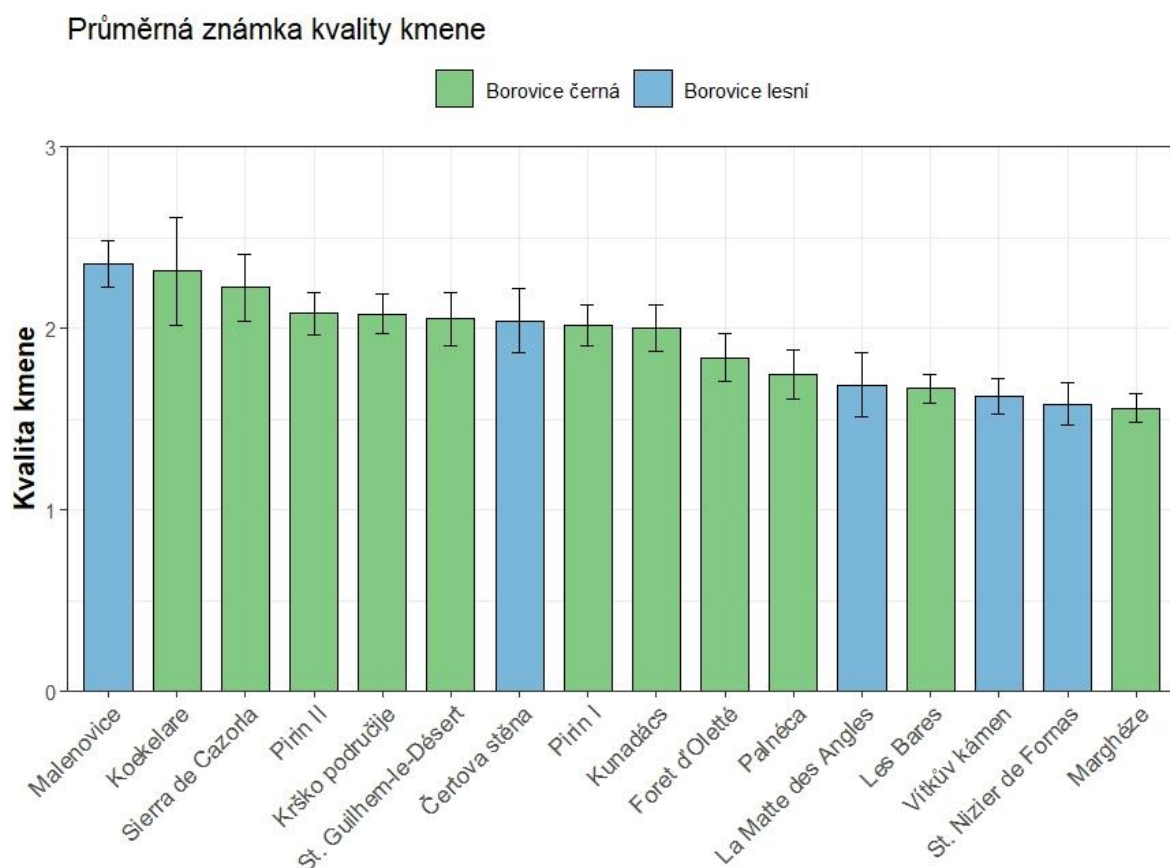
4.3 Stabilita a kvalita

Rozdílná mortalita na výzkumných plochách způsobila i rozdílné podmínky růstu přeživších jedinců, což přímo ovlivnilo stabilitu jednotlivých stromů i celých porostů. Vzájemný poměr výčetních tlouštěk a výšek je prezentován štíhlostním kvocientem, jehož hodnoty byly porovnány v grafu č. 7. Prokazatelně nejnížší, a tedy nejpříznivější hodnota štíhlostního kvocientu byla zjištěna u proveniencie borovice černé Koekelare (0,75). Dalšími proveniencemi v rámci zkoumaného souboru, které se svými nízkými hodnotami výrazně lišily od ostatních, byly Sierra de Cazorla (0,89) a St. Guilhem-le-Désert (0,90). Naopak signifikantně nejvyšší a také nejrizikovější hodnota byla zjištěna u francouzské proveniencie borovice lesní St. Nizier de Fornas (1,27).



Graf 8 - Porovnání variability štíhlostních kvocientů jednotlivých proveniencí borovice černé a borovice lesní. Pozn.: Bílý bod označuje střední hodnotu.

Hodnocení kvality kmene, které je zobrazeno v grafu č. 8, přineslo statisticky průkazné rozdíly mezi zkoumanými proveniencemi. Vzhledem ke stanovené stupnici hodnocení se nejvyšší kvalita kmene odráží v nejnižší průměrné hodnotě známky. Do skupiny s výrazně nejlepším hodnocením se zařadily u provenience borovice černé Marghéze (1,56), která dosáhla vůbec nejlepšího výsledku, dále provenience Les Bares (1,67) a Palnéca (1,74). Z proveniencí borovice lesní se do této skupiny řadily Vítkův kámen (1,63), St. Nizier de Fornas (1,58) a La Matte des Angles (1,69). Většina zbývajících zkoumaných ploch byla zařazena do široké přechodné skupiny, kde figurovaly provenience obou zkoumaných druhů s rozpětím známek 2,00 až 2,31. Vůbec nejhorší hodnocení kvality kmene, které bylo dle statistického testu označeno za významně odlišné od všech ostatních výzkumných ploch, obdržela provenience borovice lesní Malenovice (2,35).



Graf 9 - Porovnání průměrných známek kvality kmene jednotlivých proveniencí borovice černé a borovice lesní

5 Diskuze

Výsledky zjištěné na výzkumných plochách v arboretu Sofronka jsou v následujících podkapitolách porovnány s dosud publikovanými studiemi, které se zabývaly obdobným tématem. Pozornost je věnována zhodnocení individuálního růstového potenciálu a posouzení stability stromů. Následuje porovnání porostní produkce, která byla v režimu arboreta bez výchovných zásahů ovlivněna pouze mortalitou. Závěr diskuze shrnuje význam volby vhodné provenience a formuluje doporučení výchovných zásahů.

5.1 Růstové parametry, individuální dimenze stromů a jejich stabilita

Hodnocení průměrných růstových charakteristik potvrdilo, že borovice černá má v našich podmínkách vysoký produkční potenciál. Z hlediska průměrných individuálních rozměrů dosahovala nejlepších výsledků provenience Koekelare. Na ploše této provenience byla ovšem zaznamenána jedna z nejvyšších mortalit (92 %). Přeživší jedinci tak mohli efektivně využít uvolněný růstový prostor, což se projevilo vytvořením individuální stability, vyjádřené nejnižším štíhlostním kvocientem (0,75). Díky minimální kompetici dosáhli tito jedinci vysokých individuálních výsledků, tedy průměrné výčetní tloušťky (33,74 cm), střední výšky (24,34 m) a objemu středního kmene (1,02 m³). Tato dynamika růstu ovšem negativně ovlivnila tvárnost kmene, v důsledku čehož byla zjištěna jedna z vůbec nejhorších průměrných známek kmene (2,31).

Diametrálně odlišné výsledky byly zjištěny u provenience borovice lesní La Matte des Angles. Tato provenience původem z Francie se na místní podmínky adaptovala velice špatně. Byla zde zaznamenána nejvyšší mortalita (93 %) ze všech zkoumaných proveniencí. Nicméně jedinci, kteří na ploše zůstali, nedokázali uvolněný prostor růstově využít tak dobře, jako výše zmíněná provenience borovice černé. Byla zde zjištěna statisticky výrazně nejnižší střední výška (17,45 m), nejnižší průměrná výčetní tloušťka (16,20 cm) a nejnižší objem středního kmene (0,20 m³). Obdobný průběh růstu vykazovala i druhá francouzská provenience borovice lesní, St. Nizier de Fornas. Ačkoliv zde nebyla zaznamenána tak vysoká mortalita (82 %), jedinci nedokázali dostupný prostor efektivně zužítkovat. To se odrazilo v nejnižší individuální stabilitě v rámci celého zkoumaného souboru, reprezentované nejvyšší průměrnou hodnotou štíhlostního kvocientu (1,27). Je tedy velice pravděpodobné, že tyto provenience se do našich podmínek nehodí. Případně by při jejich pěstování musel být kladen vysoký důraz na výchovné zásahy.

Při porovnání produkce proveniencí lze konstatovat, že většina ploch borovice černé převyšovala borovici lesní jak ve výčetní tloušťce, tak v objemu středního kmene. Tyto závěry se však lehce liší od výsledků studií Podrázského et al. (2020; 2025), které hodnotily introdukované druhy borovic na stanovištích s obdobnými podmínkami a ve shodném režimu bez výchovných zásahů. Z uvedených prací vyplývá, že jak ve věku 34 let (Podrázský et al., 2020), tak ve věku 40 let (Podrázský et al., 2025) vykazovala borovice černá nižší hodnoty středních výčetních tloušťek a výšek než borovice lesní. Příčina těchto rozdílů mohla spočívat v odlišných hustotách a sponech při zakládání těchto výzkumných ploch. Ve studiích Podrázského et al. (2020; 2025) byla pro obě dřeviny aplikována shodná hustota při výsadbě ($2\,500\text{ ks}\cdot\text{ha}^{-1}$) se čtvercovým sponem $2\text{ m} \times 2\text{ m}$. Naproti tomu v arboretu Sofronka měla borovice černá nižší hustotu při výsadbě a větší spon než borovice lesní. Tím u borovice lesní vznikla již po výsadbě vyšší konkurence mezi jedinci. Jelikož hustota nebyla výchovnými zásahy nijak regulována, silný konkurenční tlak o světlo zvýšil výškový růst, což vedlo k přeštíhlení jedinců. Díky vhodnějším prostorovým podmínkám tak mohly některé provenience borovice černé borovici lesní překonat v celkové produkci.

Při porovnání zjištěných hodnot štíhlostního kvocientu s limity, které pro borové porosty uvádějí Novák et al. (2013), lze za stabilní ($\text{HDR} < 0,95$ resp. 95) považovat celkem čtyři provenience borovice černé. Konkrétně se jedná o Koekelare (0,75), Sierra de Cazorla (0,89), St. Guilhem-le-Désert (0,90) a Palnéca (0,94). Střední hodnoty štíhlostního kvocientu u všech zbývajících proveniencí již tuto kritickou mez přesahují a lze u nich očekávat sníženou odolnost vůči abiotickým činitelům. Vysoké hodnoty štíhlostního kvocientu se odráží od dlouhodobé absence výchovných zásahů a počáteční hustoty jedinců při založení výzkumných ploch. Přeštíhlení by bylo potřeba při pěstování v lesích předejít včasnými zásahy s vhodnou intenzitou. V již zmiňované studii (Podrázský et al., 2025) byla u borovice černé zjištěna hodnota štíhlostního kvocientu indikující, že dřeviny na výzkumné ploše jsou stabilní, stejně tak jako u borovice lesní. To do jisté míry znovu zvýrazňuje vliv hustoty porostu při výsadbě a volbu sponu, nicméně v této studii byly zkoumané o 24 let mladší než v arboretu Sofronka. Ovšem díky dostatečnému prostoru již při založení porostu lze předpokládat, že zkoumané dřeviny si zde vybudovanou individuální stabilitu v průběhu růstu udrží i nadále.

5.2 Porostní produkce a kvalita kmene

Zatímco individuální rozměry kmenů mohou být dány genetickým založením jednotlivých proveniencí, celková hektarová produkce je výsledkem přirozené mortality a přizpůsobivosti zkoumaných proveniencí. Tento jev lze prezentovat na příkladu provenience Koekelare. Ta sice dosáhla signifikantně nejvyšších individuálních dimenzí, ovšem v důsledku vysoké mortality měla nejnižší hektarový počet jedinců ($410 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Zajímavé srovnání z hlediska celkové produkce a adaptability poskytly dvě výzkumné plochy borovice černé provenience Pirin. Tyto provenience pocházejí ze stejného pohoří v Bulharsku. Ačkoliv se individuální dendrometrické parametry od sebe příliš neliší a střední výčetní tloušťky, střední výšky a objem středního kmene se liší v řádu desetin či setin, rozdíl byl zaznamenán v celkové mortalitě. Na menší výzkumné ploše (Pirin II, $0,0195 \text{ ha}$) byla zjištěna vůbec nejnižší mortalita ze všech zkoumaných proveniencí (51 %). Díky tomu zde porost dosahoval nejvyšší hektarové výčetní kruhové základny ($94,03 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) a maximální hektarové porostní hustoty ($2\,513 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$). Tato plocha dále vynikala i vysokou hektarovou zásobou ($891 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) a vysokým průměrným periodickým přírůstem ($10,90 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) za poslední čtyři uplynulé vegetační sezóny. I přes vysokou hustotu porostu zde střední hodnota štíhlostního kvocientu (1,03) nedosahovala tak rizikových hodnot jako u borovice lesní, ačkoliv již přesahovala kritickou hranici stability. Průměrná kvalita kmene (2,08) řadila tuto provenienci do přechodné skupiny mezi nejlépe a nejhůře hodnocenými kmeny.

Oproti tomu na větší ploše (Pirin I, $0,039 \text{ ha}$) dosáhla mortalita 72 %, což se projevilo v poklesu počtu jedinců na hektar ($1\,436 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$). Zásoba na hektar zde byla $452 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, což ještě více zvýrazňuje, jak velkou roli hrála mortalita při formování zásoby. Dále zde byl zaznamenán značně nižší průměrný periodický přírůst ($3,46 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) oproti ploše Pirin II. Z těchto výsledků je patrné, že i v rámci jedné provenienční oblasti se mohou jednotlivé populace vyznačovat rozdílnou mírou tolerance vůči abiotickým a biotickým činitelům. Shodné individuální dendrometrické parametry naznačují, že obě populace mají podobný růstový potenciál, který může být podmíněn geneticky. Díky prokázané vysoké odolnosti by bylo možné provenienci Pirin II v našich podmínkách využít například na extrémních stanovištích, kde není cílem pouze produkce, ale především vytvoření vegetačního krytu, zpevnění půdy a zmírnění eroze.

Vůbec nejvyšší počet jedinců na hektar u borovice lesní byl zaznamenán na ploše s proveniencí Vítkův kámen ($2\,051 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$). Ovšem jak již bylo zmíněno, kvůli vysoké počáteční hustotě při založení výzkumné plochy byla u této provenience zaznamenána jedna z nejvyšších

průměrných hodnot štihlостního kvocientu (1,15). To u jedinců na této ploše indikuje sníženou stabilitu a riziko poškození abiotickými činiteli, jako jsou vítr či mokřý sníh. Ačkoliv se tato plocha vyznačovala druhou nejvyšší četností jedinců na hektar, její celková produkce ($621 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) zaostávala se srovnatelně hustou proveniencí borovice černé Les Bares ($2\,000 \text{ ks} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Provenience Les Bares dominovala v produkčních ukazatelích. Byla zde zjištěna nejvyšší hektarová zásoba ($956 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) a nejvyšší průměrný periodický přírůst od posledního měření ($16,77 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$). Provenience Les Bares vynikala i v jiných ohledech. Pro tuto provenienci byla zjištěna statisticky výrazně vyšší střední výška (22,88 m) než u ostatních proveniencí. Taktéž průměrné hodnocení kvality kmene v rámci této proveniencie se řadilo do skupiny s výrazně lepším hodnocením, konkrétně s průměrnou známkou 1,67. Tyto výsledky se do značné míry shodují i se studií Novotného et al. (2024), jež hodnotila sérii devíti proveniencí borovice černé původem ze sedmi zemí. V tomto výzkumu, který probíhal v mírně suchých a mírně teplých podmínkách ve středních Čechách, figurovala i proveniencie Les Bares. Ve věku 51 let, tedy v době měření, byla u této proveniencie zjištěna nejvyšší střední výška. Tato proveniencie se řadila mezi nejvyšší již v předešlých měřeních ve věku 27 a 41 let. Svůj dominantní růst si tedy na tomto území udržovala dlouhodobě. Rovněž pro ni byla naměřena jedna z nejvyšších středních výčetních tloušťek. Dále byla hodnocena jako jedna z proveniencí s nejtvrnějším kmenem a vynikala i v hodnocení zdravotního stavu. Lze tedy usuzovat, že ze zkoumaných proveniencí se v rámci druhu borovice černé jeví Les Bares jako jedna s největším potenciálem pro využití v českém lesnictví. Při aplikaci vhodných výchovných zásahů představuje velký potenciál pro zakládání stabilních a vysoce produktivních porostů na méně příznivých stanovištích.

Z hlediska celkové produkce nelze opomenout ani proveniencie Krško područije z bývalé Jugoslávie, Kunadács ze Slovinska, Palnéca a Marghéze z Korsiky. Provenience Palnéca dosáhla druhé nejvyšší střední výčetní tloušťky (24,84 cm). I přes vyšší mortalitu (79 %) se její hektarová zásoba dostala na $595 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ a průměrný periodický přírůst v nedávném období dosahoval $11,15 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$. Navíc se díky průměrné známce 1,74 řadila do skupiny s prokazatelně lepší kvalitou kmene. U proveniencie Kunadács byla zjištěna hektarová zásoba $774 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ s průměrným periodickým přírůstem $9,45 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, avšak průměrná kvalita kmene (2,00) zde byla nižší. Podobný trend byl zaznamenán u proveniencie Krško područije s hektarovou zásobou $616 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, průměrným periodickým přírůstem $6,41 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ a průměrnou známkou kvality kmene (2,08).

Specifickou růstovou dynamiku prokázala provenience Marghéze. Ačkoliv z této čtveřice dosáhla nejnižší hektarové zásoby ($531 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) a nejmenší střední výčetní tloušťky (18,91 cm), dosáhla vysokého průměrného periodického přírůstu ($10,91 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$). Tento fakt naznačuje, že by tato provenience mohla mít pozdější nástup kulminace růstu a stále představuje značný produkční potenciál, spojený s vysokou odolností a přizpůsobivostí, které se odrážejí v relativně nízké mortalitě (62 %). Dále se vyznačovala produkcí kvalitních tvárných kmenů s nejlepší průměrnou známkou (1,56) z celého zkoumaného souboru. Negativním důsledkem vysoké hustoty přeživších jedinců je však zvýšená průměrná hodnota štíhlostního kvocientu (1,11), přičemž stromy na této ploše vkládají svoji růstovou energii především do výškového přírůstu, čímž dochází k jejich přestíhnutí. Tento problém by mohl být vyřešen sérií vhodných pěstebních zásahů.

Z celkového hodnocení vyplývá, že by tyto čtyři provenience bylo možné využít v našich lesích, jelikož se zdá, že během svého růstu se dobře přizpůsobily podmínkám výzkumných ploch v arboretu. Ovšem bylo by potřeba klást důraz na včasné výchovné zásahy a usměrnit porostní hustotu takovým směrem, aby netrpěla kvalita kmene a mohlo dojít ke zužitkování produkčního potenciálu, který provenience Krško područije, Kunadács, Palnéca a Marghéze představují.

5.3 Volba vhodné provenience

Výsledky získané v rámci výzkumu v arboretu Sofronka jasně ukazují, že při úvahách o využití introdukovaných dřevin nelze pouze nahradit domácí dřevinu introdukovaným druhem. Je potřeba vybrat co nejvhodnější provenienci, prověřenou již několika výzkumy prováděnými na různých lokacích. To odpovídá i tvrzení studie autorů Vacek et al. (2023), kde je apelováno na to, že volba vhodné provenience hraje při obnově lesa zásadní roli.

Z naměřených hodnot je patrné, že v rámci druhu panuje vysoká rozrůzněnost nejen v růstových dimenzích, ale i v kvalitativních znacích, a především v celkové adaptabilitě na lokální klimatické podmínky. Vhodnou provenienci proto nelze volit jen na základě individuálních růstových parametrů. Je nezbytné komplexně zhodnotit více faktorů, jako je přirozená mortalita, celková hektarová produkce a kvalita kmene, což jasně dokládá příklad provenience Koekelare. Bylo by totiž chybné volit provenienci pro pěstování v našich lesích pouze na základě nadprůměrných hodnot střední výčetní tloušťky a střední výšky. Jako skutečně perspektivní pro budoucí pěstování a adaptaci na klimatickou změnu se jeví spíše taková provenience, která sice nedosahuje individuálních maxim, ale díky vysoké odolnosti vůči biotickým a abiotickým stresorům vykazuje nízkou mortalitu, a tím pádem zajistí vysokou

celkovou zásobu. Schopnost přežít a přizpůsobit se méně příznivým podmínkám bude v kontextu klimatické změny naprosto stěžejní. Kromě již zmíněných faktorů je při pěstování nutné zohlednit i kvalitu kmene, jelikož cena dříví je výrazně ovlivněna i jeho kvalitou. Pro zajištění bezpečné produkce je zásadní rovněž budování porostní stability prostřednictvím výchovných zásahů, což potvrzují i Podrázský et al. (2020), podle kterých je k dosažení cílové produkce nezbytná nejen volba vhodné provenience, ale i včasná a důsledná aplikace správných pěstebních postupů.

Pro širší uplatnění borovice černé v českém lesním hospodářství v budoucnu nebude stačit spoléhat pouze na její odolnost proti suchu, ale cíleně vybírat a nadále testovat konkrétní provenience, takové v rámci jejichž růstu dochází ke kombinaci vysoké porostní produkce, vysoké adaptability a nízké úmrtnosti, spolu s produkcí kvalitních kmenů s vyrovnaným růstem bez defektů.

Při detailnějším srovnání s borovicí lesní se může zdát, že některé provenience borovice černé působily jako mnohem úspěšnější. Ovšem z tohoto dílčího výsledku nelze vyvodit závěr, že by domácí borovice lesní byla plošně nevhodná pro další pěstování v našich lesích. V nedávných studiích (Podrázský et al., 2020; Podrázský et al., 2025; Vacek et al., 2021) borovice lesní svými růstovými a produkčními schopnostmi předčila borovici černou, byť ne však markantně. Výsledky zjištěné v rámci této studie do větší míry zdůrazňují důraz na volbu vhodné provenience i v rámci pěstování původních dřevin. Výrazně nejhorších výsledků v porovnání jak v rámci zkoumaných proveniencí borovice lesní, tak i v porovnání s proveniencemi borovice černé, dosahovala borovice lesní původem z Francie. Ať už se jedná o nejvyšší mortalitu provenience La Matte des Angles, nebo nejvyšší hodnoty štíhlostního kvocientu u provenience St. Nizier de Fornas. Na druhou stranu provenience z území bývalého Československa, dokázaly svou produkční schopností překonat většinu zkoumaných proveniencí borovice černé. Konkrétně se jedná o provenienci Vítkův kámen a provenienci Malenovice. Na těchto plochách byla zjištěna poměrně vysoká hektarová zásoba (Vítkův kámen: $621 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$; Malenovice: $599 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), a to i navzdory mortalitě pohybující se kolem 80 %.

Vysoký produkční potenciál borovice lesní potvrzují i výsledky souběžně probíhajícího výzkumu na stejné lokalitě (Prunerová, 2026). V totožných podmínkách arboreta Sofronka bylo analyzováno dalších dvanáct proveniencí borovice lesní různého geografického původu. U osmi z nich byla zjištěna hektarová zásoba přesahující hodnotu $500 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Jako absolutně nejproduktivnější se ukázala provenience Bolehošť z České republiky s celkovou hektarovou zásobou $888 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Vysoká hodnota byla dále zaznamenána na ploše s lokální proveniencí

Bolevec ($695 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Následně byla zjištěna vysoká produkce proveniencí původem z bývalé Jugoslávie (Slovenija: $763 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), Finska (Kerimäki: $734 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), Bulharska (Pirin: $684 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$; Tešelj: $573 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$; Devin: $561 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) a Ruska (Bologoe: $573 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Nejnížší produkci a nejvyšší mortalitu vykazovaly provenience ze Španělska a Norska. Ačkoliv uvedené vitální provenience disponují velkou produkční schopností, u všech byla zjištěna nadkritická hodnota štíhlostního kvocientu v rozmezí 1,05 až 1,22. Tato skutečnost se shoduje se závěry Slodičáka et al. (2013) a Podrázského et al. (2020) a znovu důrazně upozorňuje na důležitost včasných výchovných zásahů, bez nichž nelze u takto produktivních proveniencí zajistit odpovídající stabilitu porostu a bezpečnost produkce.

5.4 Doporučení pěstebních zásahů

Porosty na zkoumaných plochách se vyvíjely po dobu 64 let bez výchovného zásahu. Pokud by bylo v současném stavu přistoupeno k realizaci pěstebních opatření, bylo by nezbytné dodržet určité pěstební zásady. K porostům na výzkumných plochách by bylo potřeba přistupovat jako k porostům s opožděnou, respektive zanedbanou výchovou. Jak bylo zjištěno, na výzkumných plochách s proveniencemi borovice lesní hodnoty štíhlostního kvocientu (HDR) výrazně přesahují kritickou hranici statické stability ($\text{HDR} > 0,95$, resp. 95). Obdobný trend lze pozorovat i u ploch s borovicí černou. Výjimku tvoří pouze provenience Koekelare, Palnéca, Sierra de Cazorla a St. Guilhem-le-Désert, jejichž střední hodnota spadá pod mez indukující stabilní porost dle Nováka et al. (2013).

Samotné výchovné zásahy musí být prováděny s maximální obezřetností. V zanedbaných porostech již nelze zápoj výrazněji rozvolňovat, jelikož silnější zásahy by mohly ohrozit stabilitu porostu. První výchovný zásah by proto měl být pouze slabé intenzity a primárně zaměřen na odstranění jedinců s nejnižší stabilitou, tedy s nejvyšší hodnotou štíhlostního kvocientu. Vyhledání takových jedinců by měly usnadnit podklady vzniklé v rámci této studie, díky nimž je známa poloha stromu a jeho individuální štíhlostní kvocient. Na plochách, kde hodnoty štíhlostního kvocientu indikují stabilní kmeny, je potřeba postupovat taktéž s jistou opatrností, vzhledem k tomu, že zde doposud nedošlo k žádnému výchovnému zásahu. I na těchto plochách by se postupovalo v rámci negativního výběru se zaměřením na odstranění potlačovaných nekvalitních jedinců a s nejnižší individuální stabilitou. Zásahy na těchto plochách by byly obdobné intenzity jako na výše zmíněných, ovšem interval mezi jednotlivými zásahy by mohl být delší.

Další zásahy by měly následovat v krátkých intervalech, zhruba po pěti letech od předchozího zásahu. Každému dalšímu zásahu by mělo předcházet terénní šetření

s vyhodnocením průměrného periodického přírůstu. Tím bude ověřeno, zda zbývající stromy na uvolnění reagovaly tloušťkovým přírůstem, čímž by došlo k postupnému budování individuální stability. Během prvních dvou až tří zásahů by měl být aplikován především negativní výběr. Při něm je taktéž nezbytné dbát na pozici a prostorové rozmístění těžených stromů, aby nevznikaly příliš velké mezery mezi jedinci ponechanými v porostu.

Teprve po částečné stabilizaci by bylo možné přejít k pozitivnímu výběru. Volba cílových jedinců by probíhala na základě individuálních růstových dimenzí a také na základě známky hodnocení kvality kmene. Počet cílových jedinců by se měl pohybovat v rozmezí 150 až 250 ks·ha⁻¹, což na plochách s větší výměrou (390 m²) činí 6 až 10 jedinců, zatímco na menších plochách (195 m²) to odpovídá 3 až 5 jedincům.

Vzhledem k tomu, že borovice černá i borovice lesní patří mezi světlomilné dřeviny s podobnými ekologickými nároky, byly by navrhované pěstební postupy pro oba druhy obdobné. Závěrem je nutné podotknout, že výše uvedená doporučení jsou modelově aplikovatelná pro lesy s běžným hospodářským režimem. Vzhledem k zaměření arboreta Sofronka není realizace těchto zásahů nutná ani žádoucí, jelikož by došlo k narušení podstaty probíhajícího výzkumu, tedy narušení vývoje přirozené dynamiky studovaných populací.

5.4.1 Návrh modelového zásahu na nejproduktivnější ploše borovice černé – Les Bares

Na ploše s proveniencí Les Bares byla zaznamenána nejvyšší hektarová zásoba ze všech zkoumaných ploch, stejně tak i nejvyšší průměrný periodický přírůst. Lze tedy konstatovat, že si tato provenience i v současném věku udržuje vysoký produkční potenciál. Včasným a vhodně provedeným výchovným zásahem by bylo možné do budoucna zajistit bezpečnost produkce a podpořit stabilitu porostu.

Podrobné údaje k navrhovanému modelovému zásahu shrnují tabulky č. 6 a 7. K těžbě byli primárně navrženi jedinci s rizikovou hodnotou štíhlostního kvocientu, konkrétně v rozmezí hodnot 1,02 až 1,54. Dále byly vybrány vitální stromy s vysokým objemem a s nejlepší známkou pro kvalitu kmene. K těmto jedincům by bylo možné do budoucna přistupovat jako ke stromům cílovým. Ty by byly systematicky uvolňovány v rámci pozitivního výběru. Probírkové indexy vypočtené na základě porovnání středních hodnot výčetní tloušťky, výšky a objemu středního kmene naznačují, že navrhovaný zásah by měl charakter podúrovňové probírky.

Realizací tohoto modelového opatření by došlo ke snížení výčetní kruhové základny o 14 % na hodnotu 77,45 m²·ha⁻¹. Odstraněním netvárných a potlačených jedinců by došlo k plošnému zvýšení průměrného hodnocení kvality kmene na známku 1,56. Zcela stěžejním

efektem z hlediska ohrožení porostu abiotickými činiteli by bylo snížení průměrného štíhlostního kvocientu ke kritické mezi, a to na hodnotu 0,96. Díky uvolnění růstového prostoru by zbývající jedinci mohli svůj růstový potenciál přeměnit především na tloušťkový přírůst, čímž by se individuální stabilita i nadále zvyšovala.

Z hlediska zachování stability porostu jsou v rámci návrhu prozatím ponecháni někteří jedinci s méně kvalitním růstem, tzv. dvojáky. Tito jedinci sice vykazují kmenové defekty, nicméně díky zaznamenané velké výčetní tloušťce a vysoké stabilitě by v porostu plnili důležitou zpevňovací funkci. Prostorové rozmístění stromů a detailní schéma navrženého modelového zásahu reprezentuje obrázek č. 4.

Tabulka 6 - Porovnání dendrometrických veličin před a po navrhovaném zásahu, na ploše provenience borovice černé Les Bares

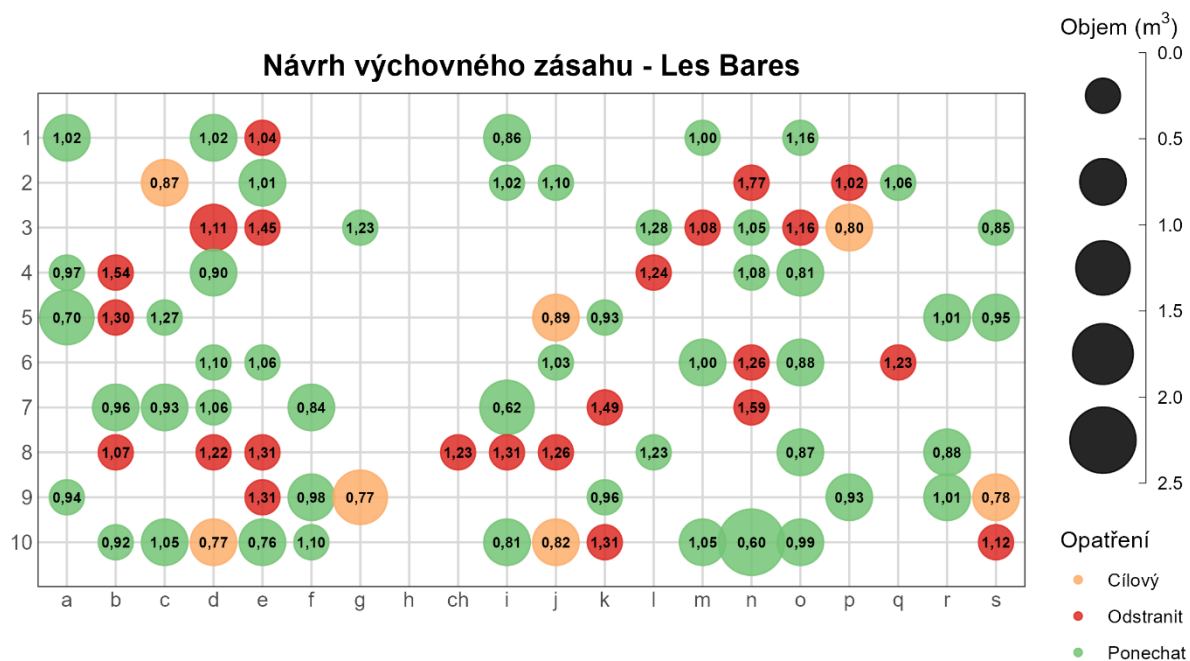
Před zásahem		Po zásahu	
N (ks·ha ⁻¹):	2000	N (ks·ha ⁻¹):	1410
G (m ² ·ha ⁻¹):	90,54	G (m ² ·ha ⁻¹):	77,45
V (m ³ ·ha ⁻¹):	956	V (m ³ ·ha ⁻¹):	840
v (m ³):	37,29	v (m ³):	32,44
HDR (m·cm ⁻¹):	1,05	HDR (m·cm ⁻¹):	0,96
Kmen:	1,67	Kmen:	1,56

Pozn.: N: počet jedinců na 1 hektar, G: výčetní kruhová základna přepočtená na velikost 1 hektaru, V: hektarová zásoba, v: celkový objem na ploše, HDR: štíhlostní kvocient, Kmen: střední známka kvality kmene

Tabulka 7 - Porovnání středních hodnot výčetní tloušťky, výšky a objemu pro podružný porost a hlavní porost se spočtenými probírkovými indexy pro modelový zásah na ploše provenience borovice černé Les Bares

Podružný porost		Hlavní porost		Probírkové indexy	
DBH (cm):	16,51	DBH (cm):	25,70	I _d	0,64
h (m):	19,97	h (m):	23,73	I _h	0,84
v (m ³):	0,21	v (m ³):	0,59	I _v	0,36

Pozn.: DBH: střední výčetní tloušťka, h: střední výška, v: objem středního kmene



Obrázek 6 - Schéma navrženého modelového zásahu na ploše borovice černé provenience Les Bares

Pozn.: velikost bodů reprezentuje objem rozdělený do pěti tříd, číslo uvnitř bodu představuje hodnotu stíhlostního kvocientu daného jedince, pozice vyplývají z terénního zápisníku.

5.4.2 Návrh modelového zásahu na nejproduktivnější ploše borovice lesní – Vítkův kámen

V případě nejproduktivnější zkoumané plochy borovice lesní je nezbytné k pěstebním opatřením přistupovat s maximální opatrností. Vzhledem k tomu, že průměrná hodnota štíhlostního kvocientu na této ploše výrazně převyšuje kritickou mez, nelze aplikovat jeden silný zásah k odstranění všech nestabilních jedinců. Razantní rozvolnění zápoje by navýšilo riziko poškození či rozvrácení celého porostu z důvodu nízké individuální stability zbývajících jedinců.

Z těchto důvodů byl modelový návrh zaměřen primárně na odstranění nejméně kvalitních a potlačovaných jedinců. Ti vlivem silné kompetice v důsledku vysoké hustoty porostu využili svou růstovou energii k výškovému růstu, což vedlo k jejich značnému přestíhnutí. Ačkoliv takto slabý zásah nedokáže okamžitě snížit průměr štíhlostního kvocientu pod kritickou mez, představuje v dané situaci jediné pěstební opatření, které posílí celkovou stabilitu. Předpokladem je, že mírné uvolnění korunového prostoru umožní ponechaným stromům postupně navýšit tloušťkový přírůst a vybudovat si lepší individuální stabilitu. Na tento první krok by proto měl navázat nejlépe do pěti let další výchovný zásah slabé intenzity.

První modelový zásah by redukoval hodnotu hektarové výčetní kruhové základny o 13 %, tedy na výslednou hodnotu $55,47 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1}$. Odstraněním potlačených jedinců by došlo ke zlepšení průměrné kvality kmene na známku 1,52. Rovněž byli identifikováni vitální jedinci s největší výčetní tloušťkou, největším objemem, nejlepšími hodnotami známek kvality kmene a relativně nejlepší stabilitou, ke kterým by bylo do budoucna přistupováno jako ke stromům cílovým, a byly by následně uvolňovány v rámci pozitivního výběru.

Podrobné parametry navrhovaného zásahu jsou shrnuty v tabulkách č. 8 a 9. Vypočtené probírkové indexy, vycházející z porovnání středních dendrometrických veličin podružného a hlavního porostu, indikují, že se jedná o podúrovňovou probírku. Prostorové rozmístění cílových stromů a jedinců navržených k těžbě je znázorněno schématem na obrázku č. 5.

Tabulka 8 - Porovnání dendrometrických veličin před a po navrhovaném zásahu, na ploše borovice lesní provenience Vítkův Kámen

Před zásahem		Po zásahu	
N (ks·ha ⁻¹):	2051	N (ks·ha ⁻¹):	1590
G (m ² ·ha ⁻¹):	63,66	G (m ² ·ha ⁻¹):	55,47
V (m ³ ·ha ⁻¹):	621	V (m ³ ·ha ⁻¹):	546
v (m ³):	12,11	v (m ³):	10,64
HDR (m·cm ⁻¹):	1,15	HDR (m·cm ⁻¹):	1,09
Kmen:	1,63	Kmen:	1,52

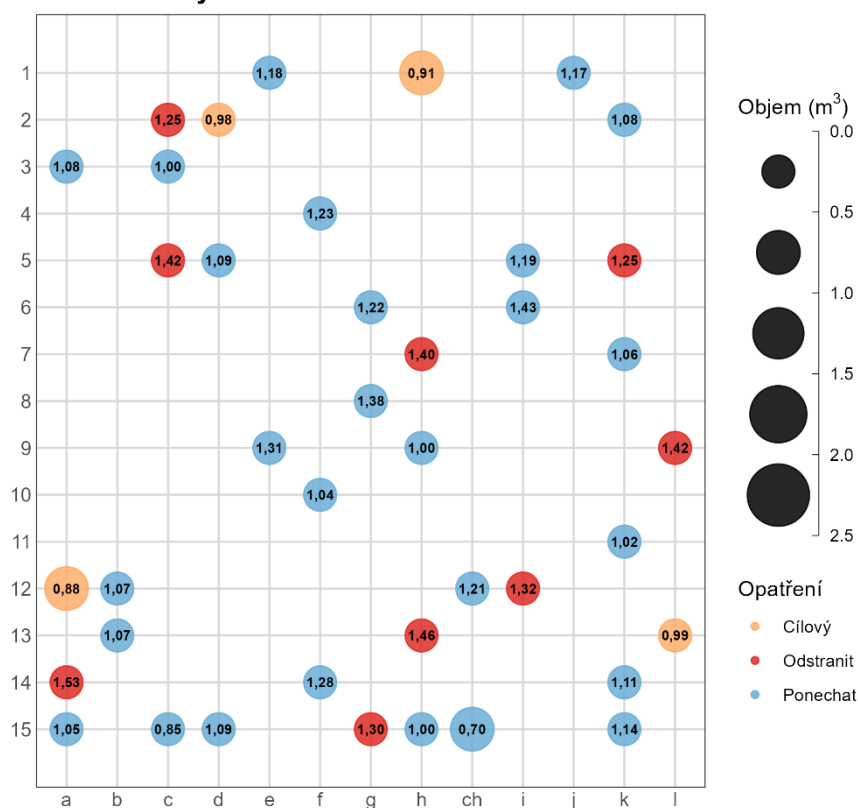
Pozn.: N: počet jedinců na 1 hektar, G: výčetní kruhová základna přepočtená na velikost 1 hektaru, V: hektarová zásoba, v: celkový objem na ploše, HDR: štihlостní kvocient, Kmen: střední známka kvality kmene

Tabulka 9 - Porovnání středních hodnot výčetní tloušťky, výšky a objemu pro podružný porost a hlavní porost se spočtenými probírkovými indexy pro modelový zásah na ploše borovice lesní provenience Vítkův Kámen

Podružný porost		Hlavní porost		Probírkové indexy	
DBH (cm):	14,78	DBH (cm):	20,72	I _d	0,71
h (m):	20,11	h (m):	22,11	I _h	0,91
v (m ³):	0,16	v (m ³):	0,34	I _v	0,47

Pozn.: DBH: střední výčetní tloušťka, h: střední výška, v: objem středního kmene

Návrh výchovného zásahu - Vítkův kámen



Obrázek 7 - Schéma navrženého modelového zásahu na ploše borovice lesní provenience Vítkův kámen

Pozn.: Velikost bodů reprezentuje objem rozdělený do pěti tříd, číslo uvnitř bodu představuje hodnotu štihlостního kvocientu daného jedince, pozice vyplývají z terénního zápisníku.

6 Závěr

Výzkum realizovaný v rámci této diplomové práce se zabýval zhodnocením vybraných výsadeb borovice černé a borovice lesní a jejich vzájemným srovnáním. Cílem byla komplexní analýza těchto porostů, které se vyvíjely po dobu 64 let ve specifickém režimu arboreta Sofronka. Na základě zjištěných dendrometrických a kvalitativních parametrů byl definován jejich produkční potenciál, stabilita, kvalita a možnost uplatnění v lesnické praxi.

Výsledky prokázaly výrazné rozdíly v přizpůsobivosti a produkčním potenciálu zkoumaných proveniencí. Jak bylo zjištěno, hned několik proveniencí borovice černé se vyznačovalo vysokou mírou přizpůsobivosti spojenou s vysokou produkcí. Z hlediska klimatických podmínek České republiky se u tohoto druhu jeví jako nejvhodnější provenience Les Bares, u níž byla zaznamenána nejvyšší celková produkce i nejvyšší průměrný periodický přírůst za poslední čtyři vegetační sezóny. Tato provenience rovněž vynikala i v kvalitativním hodnocení kmene. Mezi další perspektivní provenience se zařadila Pirin II, která prokázala mimořádnou adaptabilitu, což se projevilo nízkou mortalitou. Z produkčního hlediska lze dále vyzdvihnout provenience Kunadács, Krško područije, Palnéca a Marghéze. Jako nejméně vhodné se ukázaly španělská provenience Sierra de Cazorla a francouzská St. Guilhem-le-Désert. U nich byla v rámci zkoumaného souboru borovice černé zjištěna nejnižší produkce i jeden z nejnižších průměrných periodických přírůstků, přičemž u francouzské provenience došlo k téměř úplnému zastavení růstu.

Při srovnání produkčního potenciálu borovice lesní a borovice černé, výsledky této studie indikují lepší růstové parametry u vybraných proveniencí borovice černé. Tento výsledek byl však do jisté míry ovlivněn specifickými podmínkami arboreta a odlišnou hustotou výsadby při založení ploch. Nicméně nejlepší provenience domácí borovice lesní se dokázaly borovici černé produkčně vyrovnat a v některých případech ji i převýšit. Zkoumaný soubor ovšem potvrdil, že pro úspěšnou adaptaci lesů na klimatickou změnu nelze využít jen dřevinu s předpoklady pro růst v nepříznivých podmínkách. Zásadní je výběr vhodné provenience, jelikož variabilita v rámci druhu hraje často významnější roli než variabilita mezidruhová.

Z hlediska kvality a tvárnosti kmene se jako nejvíce perspektivní provenience jeví Marghéze, Les Bares a Palnéca pro borovici černou, a provenience Vítkův kámen pro borovici lesní. Naopak u borovice černé provenience Koekelare a borovice lesní provenience Malenovice byla zaznamenána největší náchylnost k tvoření netvárných kmenů či růstových defektů a tím i nejhorší průměrné známky kvality kmene. Absence aktivních a systematických výchovných zásahů v uplynulých letech se negativně promítla do celkové stability dřevin na

výzkumných plochách. Většina hodnocených jedinců překročila kritickou mez štíhlostního kvocientu, což činí tyto porosty náchylnými k poškození abiotickými činiteli.

Vysoké průměrné hodnoty štíhlostního kvocientu poukazují na nutnost provádění výchovných zásahů. Porosty na některých zdejších výzkumných plochách sice dosahují vysoké produkce a kvality, nicméně bezpečnost této produkce je do budoucna ohrožena, jelikož se většina ze zkoumaných porostů z hlediska stability jeví jako nestabilní. Pokud by byl v těchto porostech realizován výchovný zásah, bylo by nutné postupovat s maximální obezřetností. Tyto zásahy by měly být primárně založeny na negativním výběru zaměřeném na odstranění nejméně stabilních jedinců. Při realizaci těžby je nezbytné brát v potaz i rozmístění stromů na ploše, aby nedošlo k vytvoření až příliš velkých mezer v korunovém zápoji. Po zajištění stability porostů na výzkumných plochách s nejvýraznější produkcí a vysokou kvalitou kmenů by bylo možné přistoupit k pozitivnímu výběru a systematicky uvolňovat budoucí mýtní stromy, tzv. cílové jedince, kteří se vyznačují nejlepšími individuálními růstovými dimenzemi a rovněž výjimečnou kvalitou kmene. Tito jedinci by měli být pravidelně rozmístěni po ploše v počtu v rozmezí 150 až 250 ks·ha⁻¹.

7 Seznam literatury a použitých zdrojů

Aldea, J., Ruiz-Peinado, R., del Río, M., Pretzsch, H., Heym, M., Brazaitis, G., Jansons, A., Metslaid, M., Barbeito, I., Bielak, K., Hylen, G., Holm, S. -O., Nothdurft, A., Sitko, R., & Löf, M. (2022). Timing and duration of drought modulate tree growth response in pure and mixed stands of Scots pine and Norway spruce. *Journal of Ecology*, 110(11), 2673-2683.

<https://doi.org/10.1111/1365-2745.13978>

Álvarez-Álvarez, P., Pizarro, C., Barrio-Anta, M., Cámara-Obregón, A., Bueno, J., Álvarez, A., Gutiérrez, I., & Burslem, D. (2018). Evaluation of Tree Species for Biomass Energy Production in Northwest Spain. *Forests*, 9(4), 160. <https://doi.org/10.3390/f9040160>

Auty, D., Achim, A., Macdonald, E., Cameron, A. D., & Gardiner, B. A. (2016). Models for Predicting Clearwood Mechanical Properties of Scots Pine. *Forest Science*, 62(4), 403-413.

<https://doi.org/10.5849/forsci.15-092>

Arboretum Sofronka. (2025). Arboretum Sofronka – celosvětová sbírka borovic a areál pro vzdělávání v přírodě. Retrieved February 17, 2026, from <https://www.sofronka.cz/o-nas.php>

Benisiewicz, B., Pawełczyk, S., Niccoli, F., Kabala, J. P., & Battipaglia, G. (2024). Drought Impact on Eco-Physiological Responses and Growth Performance of Healthy and Declining *Pinus sylvestris* L. Trees Growing in a Dry Area of Southern Poland. *Forests*, 15(5), 741.

<https://doi.org/10.3390/f15050741>

Benito Garzón, M., Sánchez de Dios, R., & Sainz Ollero, H. (2008). Effects of climate change on the distribution of Iberian tree species. *Applied Vegetation Science*, 11(2), 169-178.

<https://doi.org/10.3170/2008-7-18348>

Brang, P., Spathelf, P., Larsen, J. B., Bauhus, J., Boncina, A., Chauvin, C., Drossler, L., Garcia-Guemes, C., Heiri, C., Kerr, G., Lexer, M. J., Mason, B., Mohren, F., Muhlethaler, U., Nocentini, S., & Svoboda, M. (2014). Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry*, 87(4), 492-503.

<https://doi.org/10.1093/forestry/cpu018>

- Burylo, M., Rey, F., Roumet, C., Buisson, E., & Dutoit, T. (2009). Linking plant morphological traits to uprooting resistance in eroded marly lands (Southern Alps, France). *Plant and Soil*, 324(1-2), 31-42. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-9920-5>
- Drenkhan, R., Hantula, J., Vuorinen, M., Jankovský, L., & Müller, M. M. (2012). Genetic diversity of *Dothistroma septosporum* in Estonia, Finland and Czech Republic. *European Journal of Plant Pathology*, 136(1), 71-85. <https://doi.org/10.1007/s10658-012-0139-6>
- Enescu, C. M., De Rigo, D., Caudullo, G., Mauri, A., Houston Durrant, T., & Mauri, A. (2016). *Pinus nigra* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In J. San-Miguel-Ayanz, D. Rigo, G. Caudullo, & T. Houston Durrant (Eds.), *European atlas of forest tree species* (pp. 126-127). Publication Office of the European Union. https://www.researchgate.net/publication/299470596_Pinus_nigra_in_Europe_distribution_habitat_usage_and_threats
- EUFORGEN. (2011). *Distribution map of Pinus nigra*. European forest genetic resources programme. Retrieved February 14, 2026, from <https://www.euforgen.org/species/pinus-nigra>
- EUFORGEN. (2008). *Distribution map of Pinus sylvestris*. European forest genetic resources programme. Retrieved February 14, 2026, from <https://www.euforgen.org/species/pinus-sylvestris>
- EPPO. (2024). *Ips pini - distribution*. EPPO Global Database. Retrieved February 4, 2026, from <https://gd.eppo.int/taxon/IPSXPI/distribution>
- Farjon, A. (2018). The Kew Review: Conifers of the World. *Kew Bulletin*, 73(1). <https://doi.org/10.1007/s12225-018-9738-5>
- Farjon, A., & Filer, D. (2013). An Atlas of the World's Conifers: An Analysis of their Distribution, Biogeography, Diversity and Conservation Status. In *An Atlas of the World's Conifers: An Analysis of Their Distribution, Biogeography, Diversity and Conservation Status* (2013 ed.). BRILL. <https://doi.org/10.1163/9789004211810>

Gallo, J., Bílek, L., Šimůnek, V., Roig, S., & Bravo Fernández, J. A. (2020). Uneven-aged silviculture of Scots pine in Bohemia and Central Spain: comparison study of stand reaction to transition and long-term selection management. *Journal of Forest Science*, 66(1), 22-35. <https://doi.org/10.17221/147/2019-jfs>

Guldin, J. M. (2011). Experience with the selection method in pine stands in the southern United States, with implications for future application. *Forestry*, 84(5), 539-546. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpr035>

Heitzman, E. (2003). “New Forestry” in Scotland. *Journal of Forestry*, 101(1), 36-39. <https://doi.org/10.1093/jof/101.1.36>

Houston Durrant, T., de Rigo, D., & Caudullo, G. (2016). *Pinus sylvestris* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, & A. Mauri (Eds.), *European Atlas of Forest Tree Species* (pp. 132-133). Isajev, V., Fady, B., Semerci, H., & Andonovski, V. (2004). *EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for European black pine (Pinus nigra)*. Bioversity International. <https://hal.inrae.fr/hal-02830135v1>

Jankovský, L., & Pavlíčková, D. (2003). Chřadnutí borovice černé na Moravě a ve Slezsku. *Lesnická práce*, 82(3). <https://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-82-2003/lesnicka-prace-c-03-03/chradnuti-borovice-cerne-na-morave-a-ve-slezsku>

Janssen, E., Kint, V., Bontemps, J. -D., Özkan, K., Mert, A., Köse, N., Icel, B., & Muys, B. (2018). Recent growth trends of black pine (*Pinus nigra* J.F. Arnold) in the eastern mediterranean. *Forest Ecology and Management*, 412, 21-28. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.01.047>

Kaňák, J. (2016). *Arboretum Sofronka: 1956-2016*. RAMAP.

Keleş, S. Ö. (2023). Dendrometric and Wood Anatomical Properties of *Pinus sylvestris* and *Quercus petraea* in Managed and Unmanaged Forests. *CERNE*, 29. <https://doi.org/10.1590/01047760202329013266>

Kerschlager, M. (2024). *Možnosti pěstování borovice černé v České republice – zhodnocení proveniencí v arboretu Sofronka – ML Plzeň* [Bakalářská práce]. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská.

Kirschner, R., Begerow, D., & Oberwinkler, F. (2001). A new *Chionosphaera* species associated with conifer inhabiting bark beetles. *Mycological Research*, 105(11), 1403-1408. <https://doi.org/10.1017/s0953756201005019>

Kundzewicz, Z. W., Szwed, M., & Pińskwar, I. (2019). Climate Variability and Floods—A Global Review. *Water*, 11(7), 1399. <https://doi.org/10.3390/w11071399>

Kuznetsova, N. F. (2025). Resilience of Scotch Pine Trees to Drought at Different Reproductive and Life Stages. *Contemporary Problems of Ecology*, 18(7), 1182-1190. <https://doi.org/10.1134/s1995425525700635>

Lavnyy, V., Spathelf, P., Kravchuk, R., Vytseha, R., & Yakhnytsky, V. (2022). Silvicultural options to promote natural regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Western Ukrainian forests. *Journal of Forest Science*, 68(8), 298-310. <https://doi.org/10.17221/73/2022-jfs>

Leonardos, L., Gnilke, A., Sanders, T. G. M., Shatto, C., Stadelmann, C., Beierkuhnlein, C., & Jentsch, A. (2024). Synthesis and Perspectives on Disturbance Interactions, and Forest Fire Risk and Fire Severity in Central Europe. *Fire*, 7(12), 470. <https://doi.org/10.3390/fire7120470>

Marchi, M., Paletto, A., Cantiani, P., Bianchetto, E., & De Meo, I. (2018). Comparing Thinning System Effects on Ecosystem Services Provision in Artificial Black Pine (*Pinus nigra* J. F. Arnold) Forests. *Forests*, 9(4), 188. <https://doi.org/10.3390/f9040188>

Mason, W. L., & Alía, R. (2000). Current and future status of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in Europe. *Forest Systems*, 9, 317-335. <https://doi.org/10.5424/690>

Mátyás, C., Ackzell, L., & Samuel, C. J. A. (2004). *Technical guidelines for genetic conservation and use for Scots pine (Pinus sylvestris)*. International Plant Genetic Resources Institute. <https://www.euforgen.org/publications/publication/pinus-sylvestris-technical-guidelines-for-genetic-conservation-and-use-for-scots-pine>

Ministerstvo zemědělství. (2024). *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2023*. Ministerstvo zemědělství. <https://eagri.cz/public/portal/mze/lesy/lesnictvi/zprava-o-stavu-lesa-a-lesniho-hospodarstvi>

Nechita, C., Iordache, A. M., Costinel, D., Botoran, O. R., Dănilă, G., Ionete, R. E., & Varlam, M. (2022). A Tree Ring Proxy Evaluation of Declining Causes in *Pinus sylvestris* L. and *Pinus nigra* J.F. Arnold in Northeastern Romania. *Forests*, 13(2), 336. <https://doi.org/10.3390/f13020336>

Novák, J., Dušek, D., & Slodičák, M. (2013). Výchova porostů borovice lesní a poškození sněhem. *Zprávy lesnického výzkumu*, 58(2), 147-157. https://www.vulhm.cz/zlv_online_detail/vychova-porostu-borovice-lesni-a-poskozeni-snehem/

Novotný, P., Čáp, J., Fulín, M., & Dostál, J. (2024). Zhodnocení růstu proveniencí borovice černé (*Pinus nigra* Arnold) ve středních Čechách ve věku 51 let. *Zprávy lesnického výzkumu*, 68(4), 217-225. <https://doi.org/10.59269/zlv/2023/4/709>

Olsson, S., Grivet, D., & Cid-Vian, J. (2018). Species-diagnostic markers in the genus *Pinus*: evaluation of the chloroplast regions matK and ycf1. *Forest Systems*, 27(3), e016. <https://doi.org/10.5424/fs/2018273-13688>

Pešková, V., Soukup, F., & Knížek, M. (2016). Biotičtí škodliví činitelé na borovici a sucho. *Lesnická práce*, 2016(4), 1-8.

Podrázský, V., Trojan, V., Vacek, Z., Černý, J., Vacek, S., Cukor, J., Kupka, I., Jůnová, L., & Plassová, M. (2025). Testování růstového potenciálu introdukovaných dřevin pro budoucí lesnictví Střední Evropy: zkušenosti z pěstování 16 druhů dřevin v Arboretu Truba. *Zprávy lesnického výzkumu*, 70(2), 93-101. <https://doi.org/10.59269/zlv/2025/2/761>

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. <https://doi.org/10.17221/42/2020-jfs>

Poleno, Z., Vacek, S., & Podrázský, V. (2009). *Pěstování lesů* (III., Praktické postupy pěstování lesů). Lesnická práce.

Prunerová, D. (2026). *Vyhodnocení pěstebního stavu vybraného souboru proveniencí borovice rumelské (Pinus peuce) a srovnání s vybraným souborem proveniencí borovice lesní (Pinus sylvestris) v arboretu Sofronka (netištěno)* [Diplomová práce]. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská.

Roiron, P., Chabal, L., Figueiral, I., Terral, J. -F., & Ali, A. A. (2013). Palaeobiogeography of *Pinus nigra* Arn. subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco in the north-western Mediterranean Basin: A review based on macroremains. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 194, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2013.03.002>

Sevgi, O., & Akkemik, U. (2007). A dendroecological study on *Pinus nigra* Arn. at different altitudes of northern slopes of Kazdaglari, Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 28(1), 73-75. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17717989>

Slodičák, M., Novák, J., & Dušek, D. (2013). *Výchova porostů borovice lesní: certifikovaná metodika*. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti.

Szmyt, J. (2024). Group-selection system as alternative management of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests facing climate change. *European Journal of Forest Research*, 144(1), 133-148. <https://doi.org/10.1007/s10342-024-01746-1>

Urban, J. (2000). K příčinám nadměrného hynutí borovice černé. *Lesnická práce*, 79(11). <https://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-79-2000/lesnicka-prace-c-11-00/k-pricinam-nadmerneho-hynuti-borovice-cerne>

Ústav hospodářské úpravy lesů Brandýs nad Labem. (1983). *Taxační průvodce*.

Vacek, Z., Cukor, J., Vacek, S., Linda, R., Prokūpková, A., Podrázský, V., Gallo, J., Vacek, O., Šimůnek, V., Drábek, O., Hájek, V., Spasić, M., & 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(5), 1243-1266. <https://doi.org/10.1007/s10342-021-01392-x>

Vacek, Z., Cukor, J., Vacek, S., Gallo, J., Bažant, V., & Zeidler, A. (2023). Role of black pine (*Pinus nigra* J. F. Arnold) in European forests modified by climate change. *European Journal of Forest Research*, 142(6), 1239-1258. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01605-5>

Vallauri, D., Aronson, J., & Barbéro, M. (2002). An Analysis of Forest Restoration 120 Years after Reforestation on Badlands in the Southwestern Alps. *Restoration Ecology*, 10(1), 16-26. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2002.10102.x>

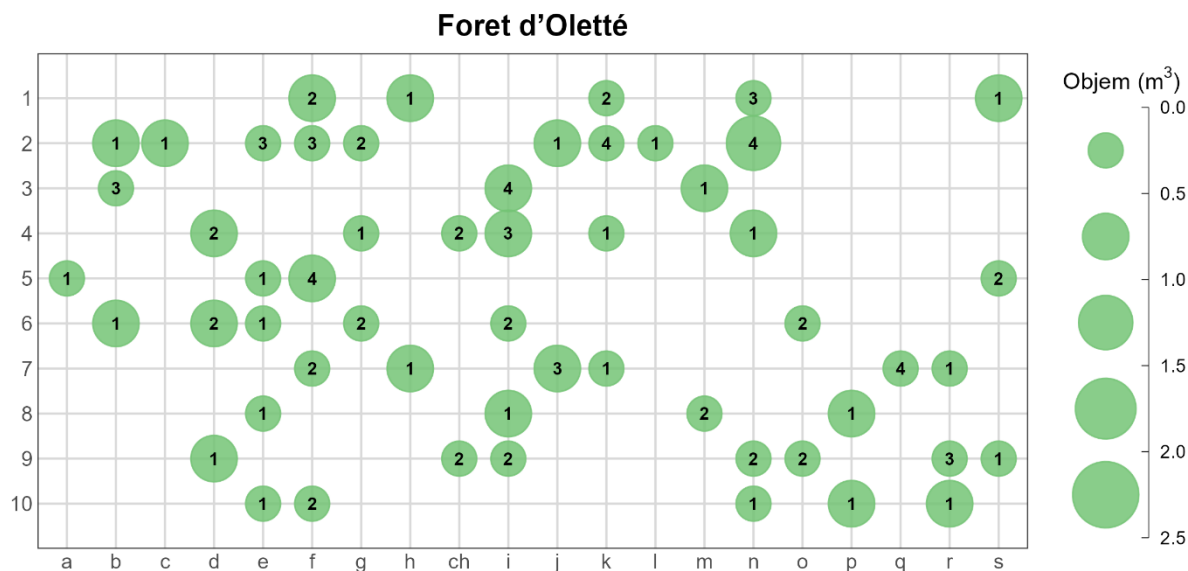
Valor, T., Battipaglia, G., Piqué, M., Altieri, S., González-Olabarria, J. R., & Casals, P. (2020). The effect of prescribed burning on the drought resilience of *Pinus nigra* ssp. *salzmannii* Dunal (Franco) and *P. sylvestris* L. *Annals of Forest Science*, 77(1), 13. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0912-1>

Wallenius, T. H., Kauhanen, H., Herva, H., & Pennanen, J. (2010). Long fire cycle in northern boreal *Pinus* forests in Finnish Lapland. *Canadian Journal of Forest Research*, 40(10), 2027-2034. <https://doi.org/10.1139/X10-144>

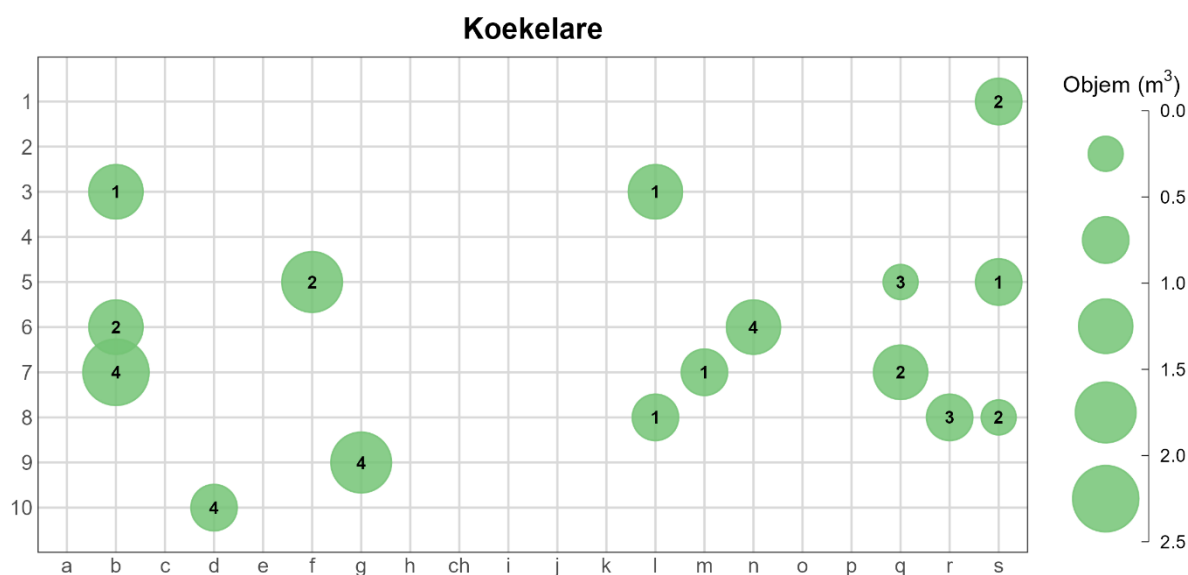
Zeidler, A. (2007). Zhodnocení vybraných vlastností dřeva borovice černé (*Pinus nigra* Arnold.). *Zprávy lesnického výzkumu*, 52(Speciální číslo), 14-20. https://www.vulhm.cz/zlv_online_detail/zhodnoceni-vybranych-vlastnosti-dreva-borovice-erne-pinus-nigra-arnold/

8 Seznam příloh

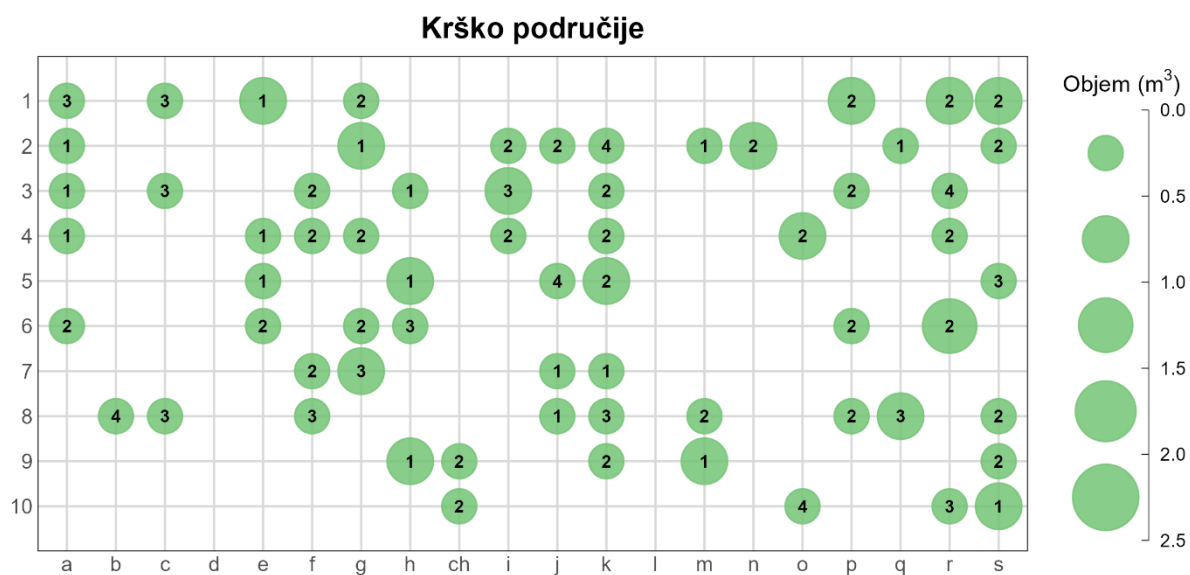
Příloha č. I: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše provenience borovice černé Foret d'Oletté s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)



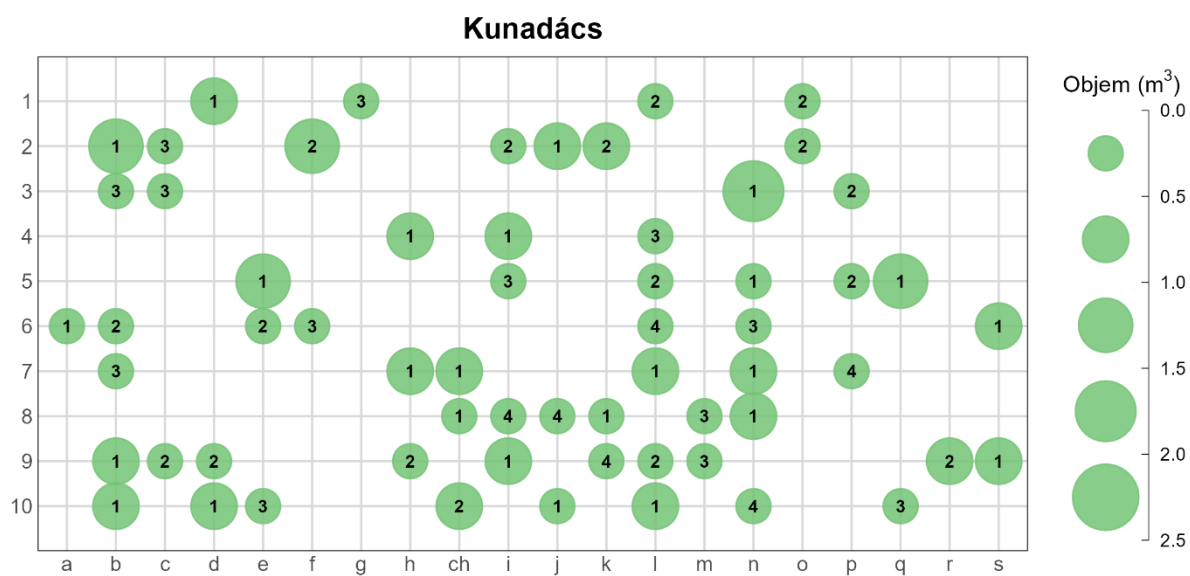
Příloha č. II: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše provenience borovice černé Koekelare s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)



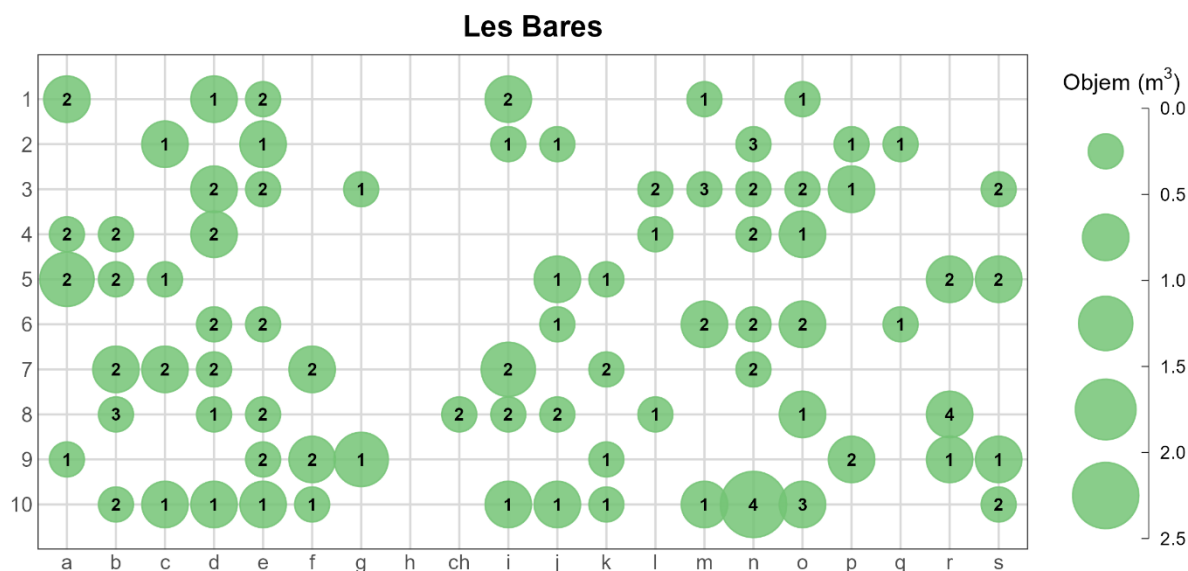
Příloha č. III: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše provenience borovice černé
Krško područije s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)



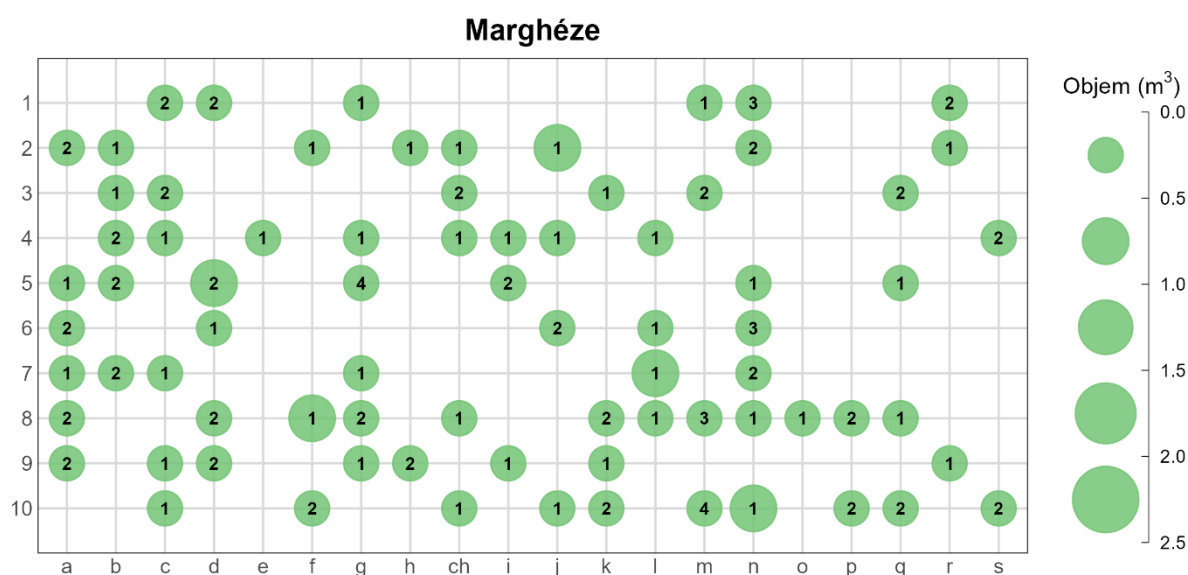
Příloha č. IV: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše provenience borovice černé
Kunadács s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)



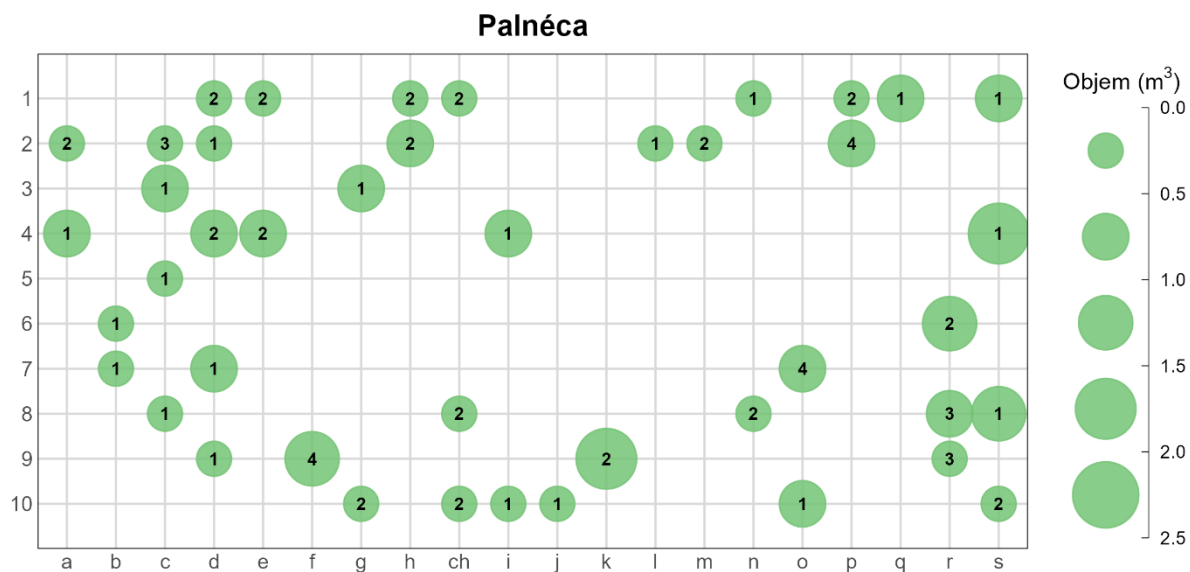
Příloha č. V: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše provenience borovice černé Les Bares s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)



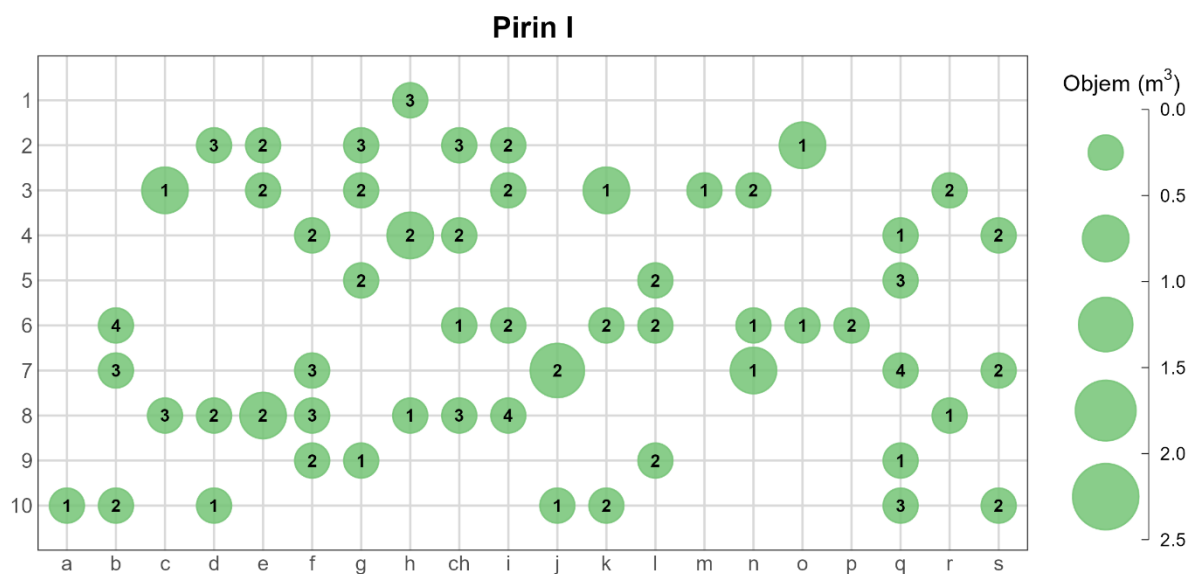
Příloha č. VI: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše provenience borovice černé Marghéze s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)



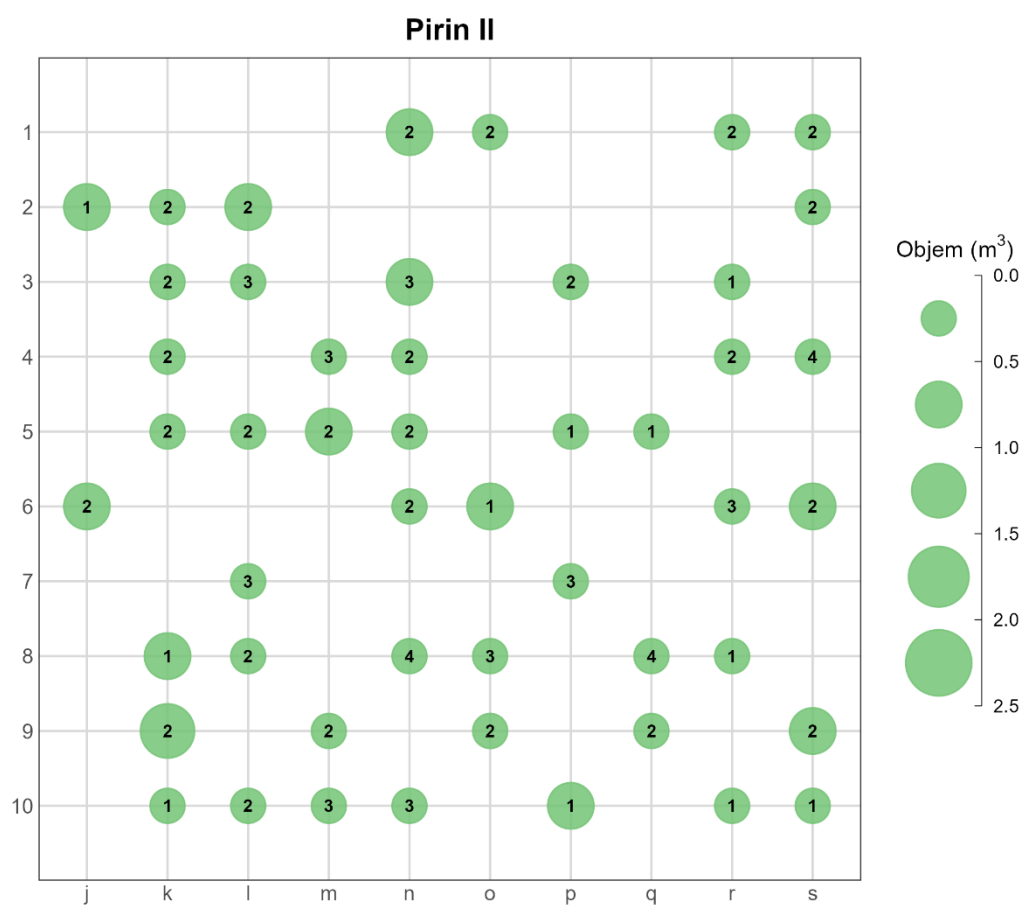
Příloha č. VII: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše provenience borovice černé
Palnéca s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)



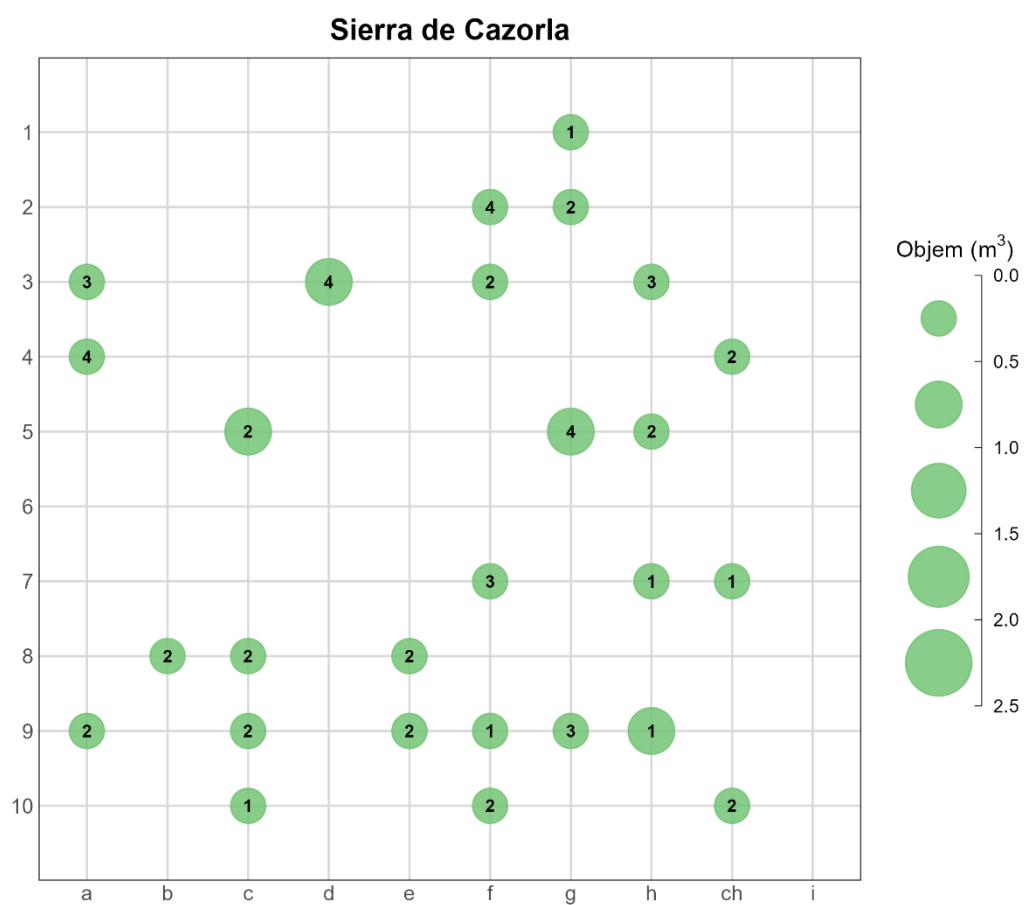
Příloha č. VIII: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše provenience borovice černé
Pirin I s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)



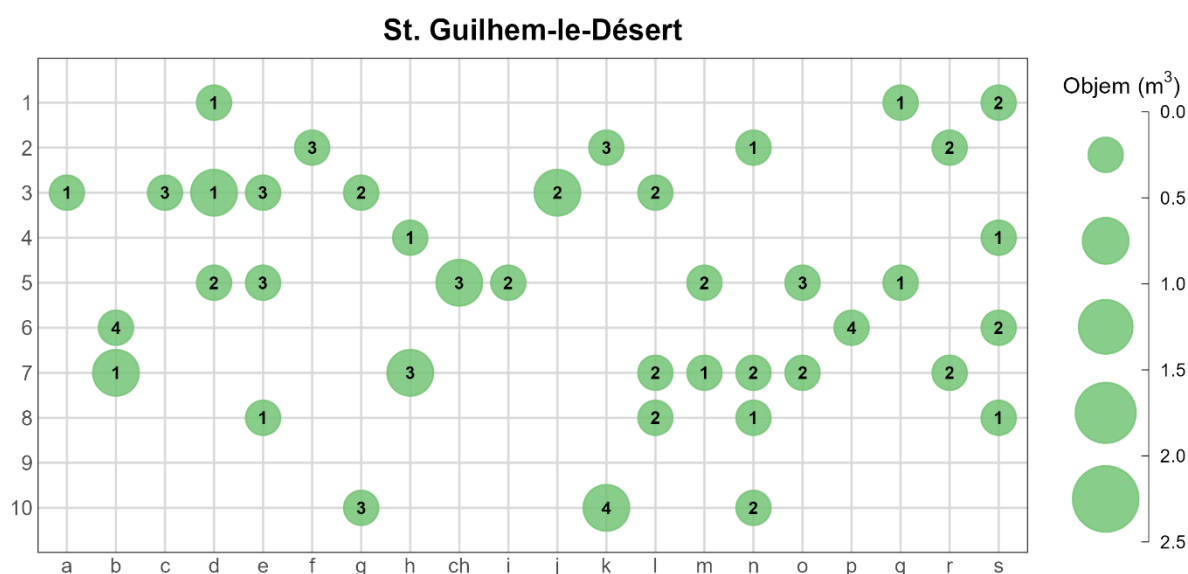
Příloha č. IX: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše provenience borovice černé Pirin II s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)



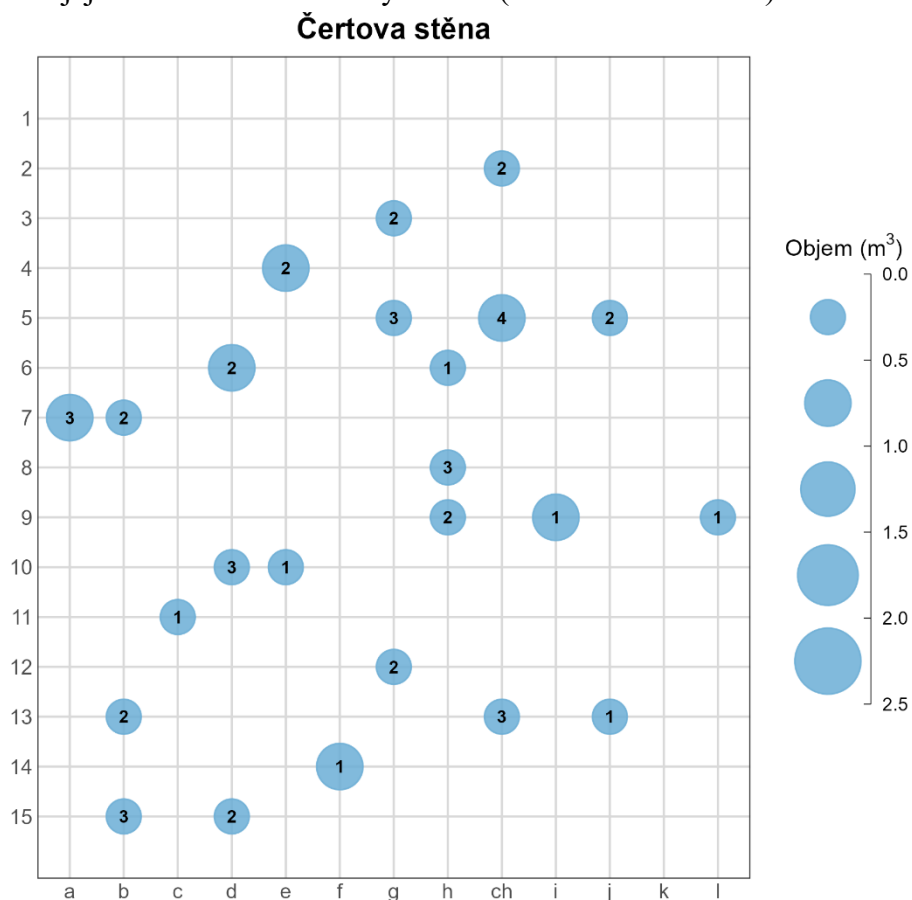
Příloha č. X: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše provenience borovice černé Sierra de Cazorla s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)



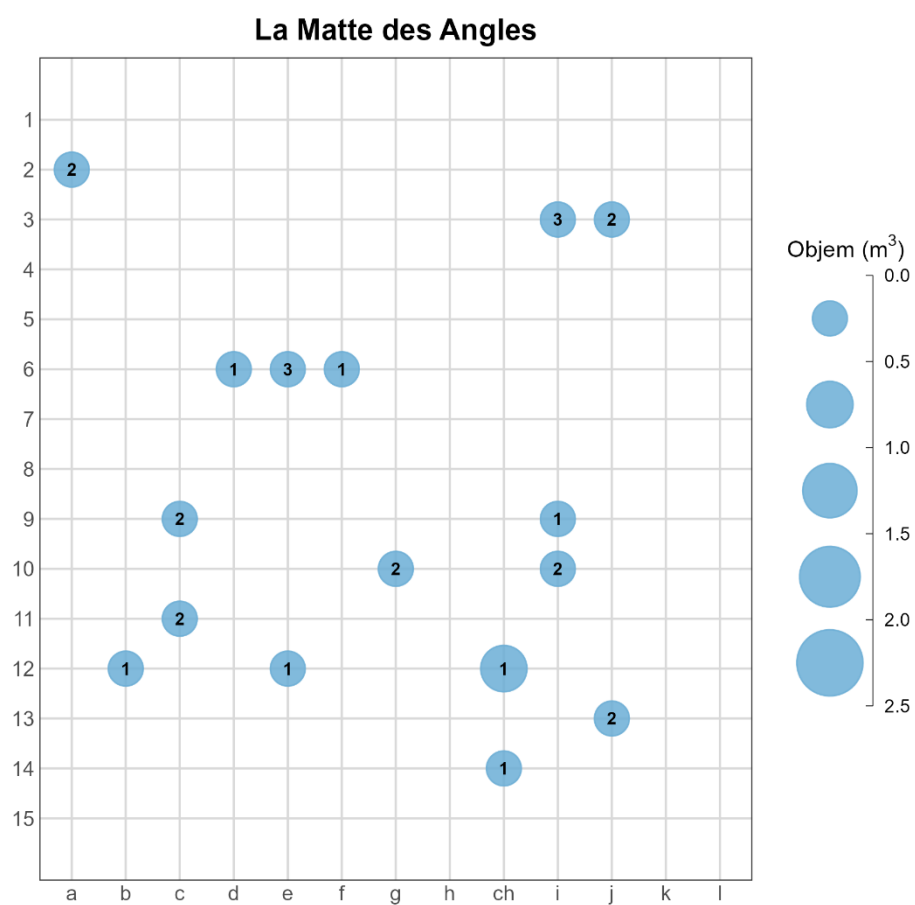
Příloha č. XI: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše provenience borovice černé St. Guilhem-le-Désert s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)



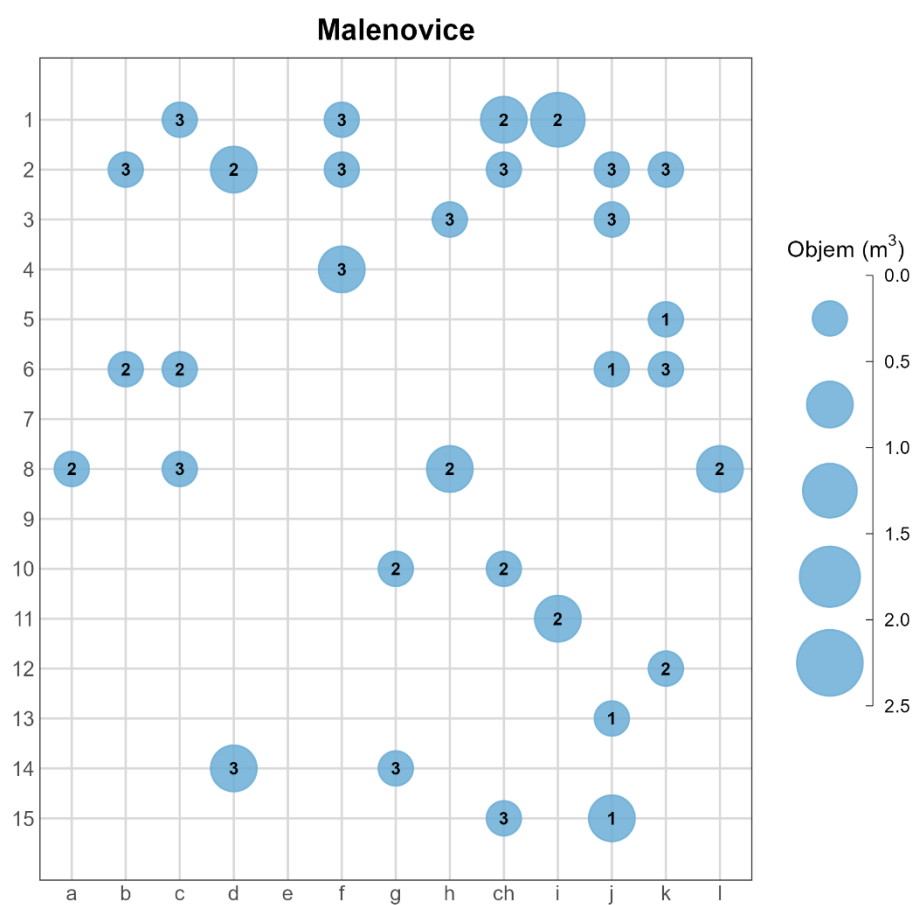
Příloha č. XII: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše provenience borovice lesní Čertova stěna s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)



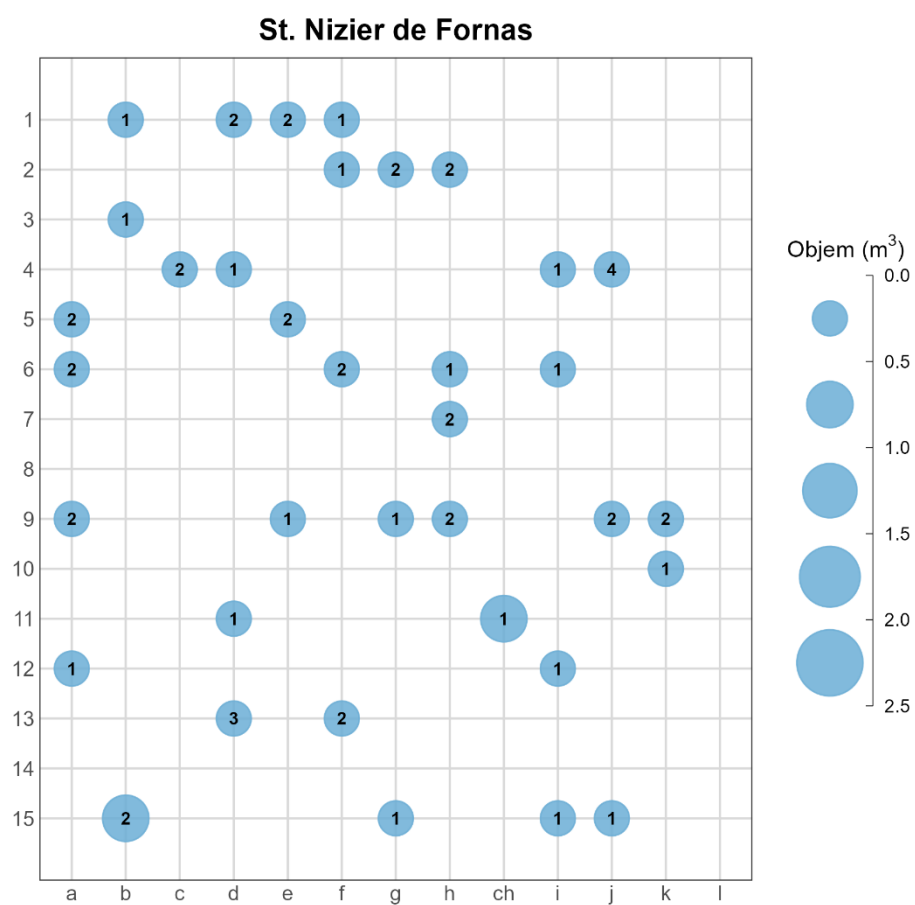
Příloha č. XIII: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše proveniencie borovice lesní La Matte des Angles s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)



Příloha č. XIV: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše provenience borovice lesní Malenovice s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)



Příloha č. XV: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše proveniencie borovice lesní St. Nizier de Fornas s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)



Příloha č. XVI: Schéma rozmístění jedinců na výzkumné ploše provenience borovice lesní Vítkův kámen s jejich hodnocením kvality kmene (známka uvnitř bodu)

