

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra pěstování lesa



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Možnosti pěstování borovice černé v České republice –
zhodnocení proveniencí v arboretu Sofronka – ML Plzeň**

Bakalářská práce

Matyáš Kerschlager

prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Matyáš Kerschlager

Lesnictví

Ochrana a pěstování lesních ekosystémů

Název práce

Možnosti pěstování borovice černé v České republice – zhodnocení proveniencí v arboretu Sofronka, ML Plzeň

Název anglicky

Potential of Cultivation of Black Pine in the Czech Republic – Evaluation of Provenances at the Arboretum Sofronka, ML Plzeň

Cíle práce

Cílem práce je zpracování literární rešerše s problematikou borovice černé: ekologie, růst, pěstování a ochrana, využití dřevní suroviny. Dále je cílem práce rekonstrukce a zhodnocení série I. provenienčních ploch založených v arboretu, kvantifikace zásoby porostů a zhodnocení možnosti pěstování uvedeného druhu borovice a vhodných proveniencí v podmínkách České republiky. Práce je součástí rozsáhlého výzkumu rodu *Pinus* na dané lokalitě.

Výsledkem bude:

- Zhodnocení možnosti pěstování borovice černé v České republice,
- Zhodnocení stavu a růstu jednotlivých proveniencí borovice černé na lokalitě Sofronka v rámci série I,
- Zhodnocení kvality dendrometrických parametrů jednotlivých proveniencí a jejich potenciálu využití v podmínkách ČR.

Konzultant: Ing. Josef Gallo, Ph.D.

Metodika

- 1) Zhodnocení literatury vztahující se k tématu ekologie, rozšíření a pěstování borovice černé zejména v domácích podmínkách,
- 2) Obnova ploch série I provenienčního pokusu s borovicí černou na lokalitě Sofronka, ML Plzeň.
- 3) Stanovení základním dendrometrických parametrů, celkové výšky a výčetní tloušťky jednotlivých stromů v rámci jednotlivých výsadeb,
- 4) Výpočet dendrometrických parametrů a zhodnocení kvality jednotlivých proveniencí,
- 5) Doporučení pro využití výsledků pro pěstování lesa.

Časový harmonogram:

Rekognoskace ploch – jaro, léto 2023

Zpracování literární rešerše – listopad 2023

Zhodnocení a měření na jednotlivých plochách – konec vegetační sezony 2023

Zpracování výsledků – leden, únor 2024

Předložení rukopisu BP – březen 2024



Doporučený rozsah práce

min. 30 normovaných stran odborného textu

Klíčová slova

Borovice černá, pěstování, provenience, kvalita, arboretum Sofronka

Doporučené zdroje informací

- BALÁŠ, M., BAŽANT, V., BORŮVKA, V., DIMITROVSKÝ, K., FULÍN, M., KUNEŠ, I., KUPKA, I., MELICHAROVÁ, L., MONDEK, J., PODRÁZSKÝ, V., PRKNOVÁ, H., REŠNEROVÁ, K., ŠÁLEK, L., VACEK, O., VACEK, Z., ZEIDLER, A. 2019. Silvicultural, Production and Environmental Potential of the Main Introduced Tree Species in the Czech Republic. Lesnická práce, vydavatelství a nakladatelství, Kostelec nad Černými lesy: 186 s.
- PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J. 2006. Aspekty pěstování lesů a lesnictví v ČR v budoucím období. Lesnická práce, 85 (12): 19 – 22.
- 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 silvestris* L.) vs. introduced pines – case study and problem review. Journal of Forest Science, 66 (5): 197 – 207.
- VÍTÁMVÁS, J., PODRÁZSKÝ, V., VACEK, Z., 2020: Arboreta – lesnické laboratoře? Příklad výsadb 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., KEŠERU, Z., KOPROWSKI, M., LA PORTA, N., MAROZAS, V., NYGAARD, P.H., PODRÁZSKÝ, V., PŮCHALKA 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.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra pěstování lesů

Elektronicky schváleno dne 3. 5. 2023

doc. Ing. Lukáš Bílek, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 1. 2024

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 02. 04. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Možnosti pěstování borovice černé v České republice – zhodnocení proveniencí v arboretu Sofronka – ML 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 bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

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

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

V Praze dne 3. 4. 2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval prof. Ing. Vilémovi Podrázskému, CSc, za vedení práce, jeho trpělivost a rady. Dále bych chtěl poděkovat všem členům mé rodiny za jejich podporu a toleranci. V neposlední řadě bych rád poděkoval své přítelkyni, která mě podržela v těžkých chvílích.

Možnosti pěstování borovice černé v České republice – zhodnocení proveniencí v arboretu Sofronka – ML Plzeň

Souhrn

Tato práce se zabývá zhodnocením výsadby proveniencí borovice černé vysazených v arboretu Sofronka, které zde byly vysazené roku 1961. Arboretum bylo založeno roku 1956 Ing. Karlem Kaňákem CSc., nachází se na severním okraji Plzně. Průměrná roční teplota na této lokalitě je 7,6 °C a průměrný roční úhrn srážek 569 mm/rok. V arboretu je mírný svah s jižní expozicí, půdy jsou zde především písčité.

Borovice černá je jehličnatá dřevina z rodu *Pinus*. Jedná se o středomořský druh tohoto rodu a na území České republiky je druhem nepůvodním. Borovice černá se osvědčila u nás ale i v evropských zemích při zalesňování extrémních stanovišť, degradovaných půd, bývalých zemědělských půd či půd ovlivněných lidskou činností.

Bylo zkoumáno 10 proveniencí borovice černé, u nichž byly měřeny obvody a výšky, které byly následně zpracovány pro účel porovnání a zhodnocení úspěšnosti růstu těchto proveniencí. U jedinců, kteří se vyskytovali na ploše, ovšem neměli asimilační aparát a jednalo se tedy o strom mrtvý nebyla měřena výška, ale pouze obvod. Výsledkem této práce jsou porostní dendrometrické veličiny, podle kterých byla hodnocena úspěšnost výsadby. Obvody byly přepočítány na tloušťky jednotlivých stromů. Z tlouštěk bylo možné vypočítat kruhovou základnu (g). Z kruhové základny (g), výšky stromu (h) a výtvarnice (f) byly určeny objemy (V) jednotlivých stromů. Díky vypočtení objemu, bylo možné určit objem středního kmene pro danou plochu. Výzkumné plochy byly obdélníkové se dvěma různými výměrami. Větší plocha měla výměru 26x15 m (390 m²) a menší plocha měla 13x15 m (195 m²). Podle velikosti ploch a zásoby dané výzkumné plochy byly vypočteny zásoby na hektar pro jednotlivé provenience. Rovněž byla hodnocena hustota jedinců na ploše a jejich mortalita, tedy kolik jedinců zemřelo na ploše od původní výsadby. Na menších plochách bylo původně vysázeno 100 sazenic a na větších 200 sazenic. Dále byla hodnocena kvalita tvaru kmene známkami 1-5, kdy 1 znamená kmen průběžný bez nerovností, 2 byla pro kmeny s menšími nervnostmi, 3 pro kmeny prohnuté či zakroucené, 4 pro kmeny kde se tvořil dvoják, troják atd..., 5 pro stromy mrtvé (suché bez asimilačního aparátu).

Nejlepší výsledky porostních charakteristik byly zaznamenány u provenience LES BARES, která dosáhla nejvyšší zásoby na hektar, a to 889 m³/ha, byl zde zaznamenáno spoustu jedinců s kvalitním kmenem, průměr kvality byl zaznamenán na 1,96. Mortalita na této ploše byla také jedna z nejnižších (61 %) a právě díky hustotě jedinců na ploše, zde bylo dosaženo takto vysoké zásoby. Nejlepší individuální výsledky byly zaznamenány u provenience KOEKELARE, kde byla nejvyšší střední výška (29,93 m), největší střední tloušťka (23,57 cm) a největší objem středního kmene (0,75 m³).

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

Potential of Cultivation of Black Pine in the Czech Republic – Evaluation of Provenances at the Arboretum Sofronka, ML Plzeň

Summary

This thesis deals with the evaluation of the planting of black pine provenances planted in the Sofronka Arboretum in 1961. The arboretum was founded in 1956 by Ing. Karel Kaňák CSc., located on the northern outskirts of Pilsen. The average annual temperature at this location is 7,6 °C and the average annual rainfall is 569 mm/year. The arboretum has a gentle slope with a southern exposure, the soils are mainly sandy.

Black pine is a coniferous tree of the genus *Pinus*. It is a Mediterranean species of this genus and is non-native to the Czech Republic. Black pine has proved its worth in this country and in European countries in afforesting extreme habitats, degraded soils, former agricultural soils or soils affected by human activity.

Ten provenances of black pine were investigated and their girths and heights were measured and then processed to compare and evaluate the growth success of these provenances. Individuals that were present in the plot, but did not have an assimilative apparatus and were therefore a dead tree, were not measured for height but only for girth. This work resulted in stand dendrometric variables by which the success of the planting was evaluated. The girths were converted to individual tree thicknesses. From the thicknesses it was possible to calculate the circular base (g). From the circular base, tree height, and height (f), the volumes (V) of each tree were determined. By calculating the volume, it was possible to determine the volume of the mean trunk for a given area. The study plots were rectangular with two different areas. The larger plot had an area of 26x15 m (390 m²) and the smaller plot had an area of 13x15 m (195 m²). According to the size of the plots and the stock of a given research area, the stock per hectare was calculated for each provenance. The density of individuals in the plot and their mortality, i.e. how many individuals have died in the plot since the original planting, were also assessed. Smaller plots were initially planted with 100 seedlings and larger plots with 200 seedlings. Furthermore, the quality of the trunk progression was evaluated with grades 1-5, where 1 meant a continuous trunk with no unevenness, 2 was for trunks with minor nervousness, 3 for trunks bent or twisted, 4 for trunks where twin, triple etc... were formed, 5 for dead trees (dry without assimilation apparatus).

The best results for stand characteristics were recorded for the LES BARES provenance, which achieved the highest stock per hectare, 889 m³/ha, with many individuals with good quality trunks, the average quality being recorded at 1,96. The mortality rate in this plot was also one of the lowest (61 %) and it is thanks to the density of individuals in the plot that this high stock was achieved. The best individual results were recorded for the KOEKELARE provenance, which had the highest mean height (29,93 m), the greatest mean thickness (23,57 cm) and the greatest mean stem volume (0.75 m³).

Keywords: Black pine, cultivation, provenance, quality, arboretum Sofronka

Obsah

1. Úvod.....	13
2. Cíl práce.....	15
3. Literární rešerše	16
3.1 Rod Pinus.....	16
3.2 Introdukce borovic do Čech	16
3.3 Popis borovice černé	17
3.3.1 Rozšíření	17
3.3.2 Ekologie	19
3.4 Využití borovice černé	20
3.4.1 Využití ve světě	20
3.4.2 Využití v České republice	21
3.5 Pěstování borovice černé	21
3.5.1 Obnova	21
3.5.2 Výchova mladých porostů	22
3.5.3 Výchova starších porostů	23
3.6 Škůdci na borovici černé a ochrana	23
3.6.1 Houbové patogeny	23
3.6.2 Hmyzí škůdci	25
3.7 Zkoumané provenience borovice černé ve svém původním areálu.....	26
3.7.1 Bulharsko (PIRIN)	26
3.7.2 Španělsko (CAZORLA, OLETTÉ).....	27
3.7.3 Jižní Francie (ST. GUILHEM)	27
3.7.4 Korsika (MARGÉZE, PALNÉCA)	28
3.7.5 Maďarsko (KUNADÁCS)	28
3.7.6 Slovinsko (KRŠKO)	29
3.7.7 Belgie (KOEKELARE)	29
3.8 Arboretum Sofronka.....	30
4. Metodika.....	31
4.1 Oblast výzkumu	31
4.2 Výzkumné plochy.....	33
4.2.1 Provenience zastoupené na plochách.....	35
4.3 Získávání dat.....	35
4.4 Zpracování dat.....	36

4.4.1	Výpočty	36
5.	Výsledky	38
5.1	ST. GULHEM.....	38
5.2	CAZORLA.....	40
5.3	PIRIN	42
5.4	MARGHÉZE	46
5.5	PALNÉCA.....	48
5.6	KRŠKO	50
5.7	KUNADÁCS.....	52
5.8	OLETTÉ.....	54
5.9	KOEKELARE	56
5.10	LES BARES	58
5.11	Porovnání výsledků	60
5.11.1	Porovnání objemů středního kmene	60
5.11.2	Porovnání zásoby na hektar	61
5.11.3	Porovnání středních výšek a středních tloušťek.....	62
6.	Diskuze	63
6.1	Zhodnocení výsadby proveniencí	63
6.2	Porovnání výsledků výzkumů	65
7.	Závěr	67
8.	Literatura	68

1. Úvod

Lesní ekosystémy České republiky jsou v posledních letech značně ovlivňovány klimatickou změnou. Může docházet k degradaci a rozpadům původních společenstev. V České republice se rovněž nalézají člověkem degradované plochy např. po těžbě uhlí, jak zmiňuje Vacek et al., (2021). Pokud chceme tyto plochy rekultivovat a znovu zalesnit mohly by nám v tomto ohledu vypomoci některé nepůvodní druhy dřevin. Právě v této problematice by mohly pomoci výsledky této práce, která se zabývá výzkumem úspěšnosti výsadby různých proveniencí borovice černé v arboretu Sofronka u Plzně.

Jedná se o jedinečné arboretum i ze světového hlediska, které se zaměřuje na výzkum druhů rodu *Pinus*. Arboretum se nezaměřuje svým výzkumem na to, jak dosáhnout u jednotlivého druhu co nejvyšší produkce, ale zkoumá se zde, jak jednotlivé druhy rodu *Pinus* a jejich provenience reagují svým růstem na klimatické podmínky České republiky. Dochází zde pouze k přírodnímu výběru a výsadby borovic zde nejsou žádným způsobem chráněny proti abiotickým či biotickým činitelům, kteří mohou borovice u nás napadat.

Tato studie je zaměřena na druh borovice černé (*Pinus nigra Arn.*). Jedná se o středomořský druh borovice se širokým evropským areálem, který je blízký České republice. Tento druh byl již ve 20. století na našem území vysazován. Byl použit především k osídlení extrémních stanovišť (Podrázský et al., 2020). Pro tento účel se borovice černá osvědčila i v jiných evropských zemích, kde byla vysazována na mělké či písčité půdy a díky svému kořenovému systému zpevňovala tyto půdy. Bylo tak předcházeno erozi půd. V Maďarsku byla borovice černá vysazována na krasové louky, kde opět napomáhala chránit a zpevňovat mělké půdy (Veress, 2010). Ve svém původním areálu je borovice černá pěstována ve směsích buď s jinými druhy borovic, či s listnatými stromy. Její dřevní materiál je v těchto oblastech komerčně vysoce žádán, jak říká Barbéro et al., (1998).

V této práci byla zhodnocena úspěšnost růstu deseti proveniencí borovice černé, na základě výzkumu, který proběhl v roce 2022 před začátkem vegetačního období. Výzkum byl zaměřen na zjištění dendrometrických veličin a jejich následné využití k získání porostních charakteristik výzkumných ploch v arboretu Sofronka. Tyto hodnoty byly využity k porovnání úspěšnosti růstu jednotlivých proveniencí, a také ke srovnání s již vzniklými pracemi, zabývajícími se podobnou problematikou. Rovněž

byly shromážděny informace z vědeckých prací zabývajících se borovicí černou jak ve světě, tak na území České republiky.

2. Cíl práce

Cílem práce je zpracování literární rešerše s problematikou borovice černé: ekologie, růst, pěstování a ochrana, využití dřevní suroviny. Dále je cílem práce rekonstrukce a zhodnocení série I. provenienčních ploch založených v arboretu, kvantifikace zásoby porostů a zhodnocení možnosti pěstování uvedeného druhu borovice a vhodných proveniencí v podmínkách České republiky. Práce je součástí rozsáhlého výzkumu rodu *Pinus* na dané lokalitě.

Výsledkem bude:

- Zhodnocení možnosti pěstování borovice černé v České republice,
- Zhodnocení stavu růstu jednotlivých proveniencí borovice černé na lokalitě Sofronka v rámci série I,
- Zhodnocení kvality dendrometrických parametrů jednotlivých proveniencí a jejich potenciálu využití v podmínkách ČR.

3. Literární rešerše

3.1 Rod *Pinus*

Rod *Pinus* má vysoký ekologický a hospodářský význam po celém světě, zahrnuje 110-120 druhů, které jsou rozšířeny od tropických po boreální oblasti severní polokoule (Price et al., 1998). S více než stovkou uznaných druhů je tak nejpočetnějším jehličnatým druhem. Druhy rodu *Pinus* slouží jako dobré indikátory klimatu (Gagen et al., 2004). Předpokládá se, že centrem původu borovic byl západ Severní Ameriky, nebo východní Asie (Wang et al., 2000). Do paleogénu se pak vyvinuly všechny dosud rozpoznané poddruhy (Axelrod, 1986) a ústup do izolovaných oblastí nejspíše poskytl podnět ke vzniku nových poddruhů, ke kterým docházelo už v raných a středních fázích vývoje tohoto druhu (Millar, 1998). Tento rod zasahuje do většiny podnebných pásů a stává se dominantní složkou mnoha přirozených lesních ekosystémů (Richardson, 1998). Borovice jsou ve srovnání s ostatními druhy dobře adaptovány na extrémní stanoviště včetně suchem zatížených lokalit (Seidl et al., 2016).

3.2 Introdukce borovic do Čech

Již před více než 200 lety započala introdukce druhů rodu *Pinus* na naše území (Brusinský, Velebil, 2011). Tyto druhy byly především využívány jako okrasné, a to hlavně v zámeckých parcích (Brusinský, 2004). Až později měly introdukované dřeviny sloužit ke zvýšení dřevní produkce lesních porostů, a to hlavně pro zvýšení výnosu (Poleno et al., 2009). Dalším faktorem pro vnášení nepůvodních druhů bylo velké období sucha v 19. a 20. století, kdy bylo snahou využít stres snášející schopnosti některých druhů borovic, konkrétně například borovice černé (Stolina et al., 1985). Problém také představovalo znečištění ovzduší v sedmdesátých a devadesátých letech dvacátého století (Šindelář 1979), kdy se pozornost zaměřila především na borovici pokroucenou (*Pinus contorta*) a z domácích druhů na borovici kleč (*Pinus mugo*). Introdukce vhodných dřevin, také mohla pomoci v řešení problematiky člověkem degradovaných lokalit. Jelikož většina nepůvodních druhů borovic má nepravidelný režim příjmu vláhy, kterou získávají pouze v zimním období, jsou tak dobře připravené na delší suchá období (Hereš et al. 2012). Vezmeme-li v potaz původ a pozitivní znaky,

některé druhy borovic, mezi něž by mohla patřit i borovice černá, mohou představovat náhradní dřeviny pro využití v českém lesnictví (Bartoš a Kacálek, 2012).

3.3 Popis borovice černé

Borovice černá (*Pinus nigra* Arn) je terciární reliktní druh patřící do čeledi středomořských borovic (Vidakovic, 1991). Tyto borovice jsou významným druhem v lesním hospodářství středomořských oblastí (Bogunic, et al., 2007). Borka tohoto druhu je šedočerná až žlutohnědá, kořenový systém se zakládá na masivním křovém kořenu, který sahá do hloubky. Jehlice jsou dlouhé 7-16 cm, poměrně tuhé, rostoucí po dvou ve svazečku. Šišky jsou dlouhé 5-9 cm (Kaňák, 2016). Tento druh dosahuje výšky až 40 m. Koruna bývá široká a v zapojených porostech nasazená vysoko. Borovice černá začíná plodit průměrně již ve 20.-30. roce svého života, kdy vrcholí i její růst. V našich podmínkách klíčivost jejích semen nepřekračuje 70 % (Mergl et al., 1984).

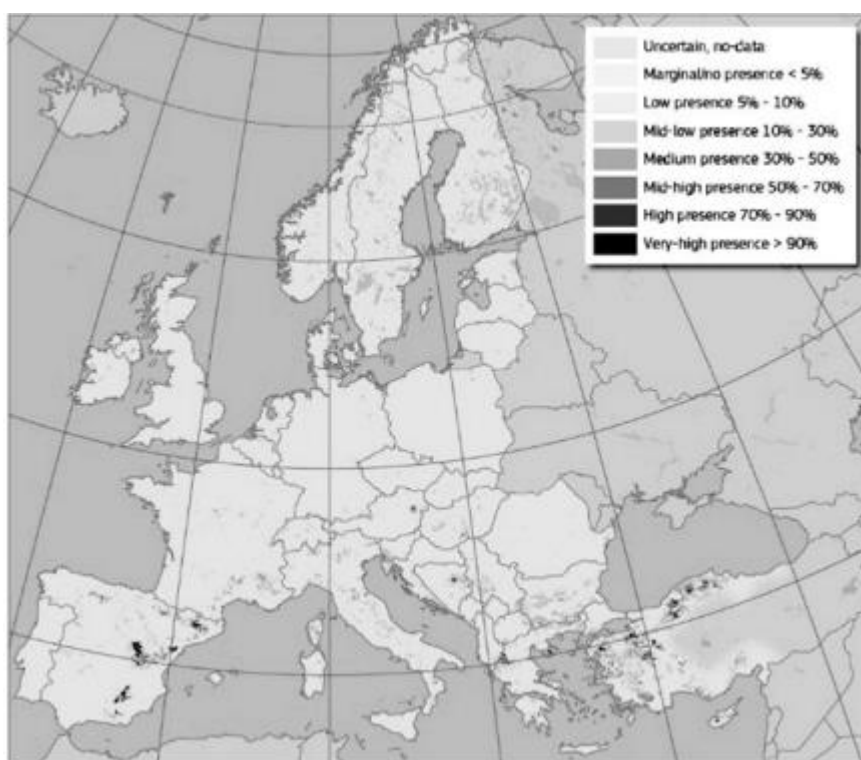
3.3.1 Rozšíření

Borovice černá (*Pinus nigra* Arn.) je cirkummediteránní druh borovice, jehož přirozený areál sahá od Španělska a severní Afriky až po Rakousko, Turecko a Kypr. Jedná se o druh, který se vyskytuje v širokém spektru podmínek prostředí. Je tolerantní k chudým půdám a také se vyskytuje v široké škále klimatických podmínek napříč svým geografickým areálem (Arbez a Miller, 1971). Borovice černá je vysoce žádaný komerční druh. Je vysazována v celém svém původním areálu. Výškově se nejvíce lesy s výskytem borovice černé nacházejí v horských oblastech mezi 1000 a 1500 m n. m. Populace borovice černé jsou rozdílné a prezentují se vysokou morfologickou, fyziologickou, genetickou a ekologickou variabilitou (Barbéro et al., 1998; Giovanelli et al., 2017).

Borovice černá je rozšířena nejvíce ve vysokohorských oblastech Středomořské pánve. Největší areál zabírá v Turecku, kde pokrývá rozlohu přibližně 2,5 miliónu hektarů (Specht et al., 1988). Většina populace turecké borovice trpí v létě nedostatkem vody. Ze zprávy IPCC (2001) vychází, že sucho představuje jeden z nejzávažnějších problémů v Evropě, jelikož četnost horkých dnů během 20. století narostla. Tato situace výrazně ovlivňuje přírodní i antropogenně podmíněné ekosystémy.

Evropské paleografické studie ukázaly, že společenstva jehličnatých dřevin na jižních poloostrovech přežila dobu ledovou. V důsledku této skutečnosti mají borovice na Balkánském poloostrově větší genetickou rozmanitost než v jiných částech Evropy, kde po zalednění došlo k opakovanému osídlení (Dobrinov et al., 1982). Borovice černá není na Pyrenejském poloostrově původní, je již dlouho naturalizovaným druhem a přirozeně se rozšířila do mnoha oblastí v západním Středomoří (Barbéro et al., 1998). Dnešní areál borovice černé je z velké části důsledkem četného rozšiřování a úbytku přímo či nepřímo ovlivněn lidskou činností (Richardson a Rundel, 1998).

V České republice se borovice černá vyskytuje zejména v Českém krasu, Brdech, Kladenské pahorkatině, na Křivoklátsku, v Českém středohoří, Podkrušnohoří, předhoří Českomoravské vrchoviny, na Hodonínsku a Ostravsku, ojediněle pak i v dalších oblastech (Beran, Šindelář 1996). Křivánek (2006) uvádí, že borovice černá zaujímá na našem území plochu 3689 ha.



Obrázek 1: Areál borovice černé v Evropě (Enescu et al., 2016)

3.3.2 Ekologie

Borovice černá je druh, který má vysokou proměnlivost, co se týče nároků na půdní a klimatické podmínky. Vyskytuje se tedy na velmi rozdílných půdách a bioklimatech. Provenience jsou přizpůsobeny na půdy od podzolových písků až po vápence (Isajev et al., 2004). Různé studie (Jagielska et al., 2007; Lucic et al., 2010; Seho et al. 2010; Giovanelli et al., 2017) odhalily variabilitu v rámci druhu v růstové schopnosti a odlišné reakci na klima s cílem vybrat provenience nejlépe přizpůsobené klimatickým podmínkám, které v budoucnu přijdou. Borovice černá je známá svou poměrně vysokou rozrůzněností i mezi jednotlivými proveniencemi. Je považován za tolerantní druh, který poměrně dobře regeneruje pod clonou svého druhu (Retana et al., 2002). Borovice černá vykazuje vyšší toleranci k zastínění než borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a obsazuje stanoviště v nižších nadmořských výškách (Ruiz de la Torre, 1971). Navíc se zdá, že sukcese v lesích mírného pásma je řízena rozdíly v dostupnosti světla a toleranci k zastínění, omezení vody, které je však důležité i pro rozšíření lesních druhů ve středomořských rostlinných společenstvech (Zavala, 2000).

Pro správný růst druhu je důležitý dostatečný přísun srážek během vegetačního období. Nedostatečná vodní zásoba v podmínkách vysokých teplot je příčinou nízkého ročního přírůstu (Martin-Bennito et al., 2008). Obecně lze pozorovat inverzní vztah mezi růstem letokruhů stromů a vysokou teplotou ve stejných měsících. Výsledky ukázaly, že teplota není limitujícím faktorem pro stromy na hlubokých půdách a ve vysokých nadmořských výškách na severních svazích submediteránní oblasti. Vliv srážek je během vegetačního období v nižších nadmořských výškách homogennější (Sevgi a Akkemik, 2007). Do budoucna mohou zvyšující se teploty zajistit delší vegetační období a prodloužit tak fotosyntetickou činnost (Wullshleger et al., 2002). Avšak zvýšení teplot zvýší evapotranspiraci, což může vést k poklesu půdní vlhkosti ve vegetačním období (Linares et al., 2009). To může být na mělkých půdách kritické pro přežívání mladých jedinců borovice. Úhrn srážek bude hrát důležitou roli, protože extrémní sucha by mohla mít nepříznivý dopad na celkový růst a přežívání stromů (Granier et al., 2007). Suchá a horká léta také mohou přispět negativním vlivem na přežívání tím, že oslabené stromy budou snadněji napadnutelné houbovou infekcí *Diplodia pinea* (Igmándy a Pagony, 1998).

Výsledky studie (Trájer et al., 2015) probíhající v Maďarsku ukázaly, že *Pinus nigra* sice zvládá růst na mělkých půdách, bohatých na karbonáty, ale rychlost růstu se

zvyšovala s hloubkou půdy, na tom se shodují se studií Sabaté et al. (2002), která prokázala, že když mají kořeny přístup do větší hloubky v půdě, v případě druhů *Pinus* je takto pozitivně ovlivněn konečný výnos dřeva díky lepšímu příjmu vody.

U některých proveniencí borovice černé je zjištěn negativní vztah ke květnovým srážkám, což potvrzuje výsledky získané ve středních Apeninách (Itálie) (Alma et al., 2014). Nadměrné srážky v květnu a červnu mohou bránit tloušťce buněčných stěn, a tím i šířce letokruhů (Oberhuber et al., 1998). Vyšší teploty v zimním období (leden, únor) pozitivně ovlivňují vylučování hormonů dormance, což způsobuje dřívější aktivaci kambia a tím pádem i prodloužení vegetačního období (Cerber a Chaloner, 1990). Srážky během předchozího podzimu mají pozitivní vliv na růst v následujícím roce, zatímco vysoké teploty mají vliv negativní. Borovice černá vykazuje větší citlivost na vysoké teploty během předchozího podzimu v důsledku jejich vlivu na akumulaci sacharidů a tvorbu kambialní zóny (Martin-Bennito et al., 2013).

3.4 Využití borovice černé

3.4.1 Využití ve světě

Borovice černá je od počátku úmyslného vnášení do lesních porostů využívána přednostně na extrémnějších stanovištích. Například byla využívána k zalesnění krasových oblastí v Maďarsku. Jednalo se o zalesnění dolomitových luk již koncem 20. století. Borovice zde zaujala pozici dominantního prvku v krajině a hraje důležitou roli při ochraně a obnově tenké vrstvy půdy (Veress, 2010). Avšak výsadba tohoto druhu zde měla i negativní dopad, protože působila degradaci rostlinných i živočišných společenstev dolomitových pastvin (Csontos et al., 1996). Mimo jiné jsou porosty borovice černé vystaveny zvýšenému nebezpečí požárů, zejména ve věkové třídě 61-80 let (Cseresnyés et al., 2006).

Ve Slovinsku je využívána jako přípravná a výchovná dřevina pro porosty dubů (*Quercus*), kde duby pod korunami borovic zmlazují lépe než pod listnáči (Zlatanov et al., 2010; Mosandl et al., 1998). Borovice černá se dále osvědčila při kolonizaci degradovaných půd, které díky svému kulovému kořenovému systému vhodně zpevňuje (Burylo et al., 2009).

Své využití má poddruh *ssp. laricio*, který díky své toleranci zasolených půd dokáže růst a podporovat stabilitu pobřežních dun podél Středozemního moře (Fajron, 2013). Ve Španělsku byl historicky dřevní materiál z borovice černé využíván

především jako stavební. V současnosti lze nalézt její dřevo v mnoha historických budovách nebo ve vracích lodí (Alejano a Martínez, 1996). Je také používána v městských výsadbách, díky své odolnosti vůči znečištění vzduchu (Fajron, 2013).

V Apeninách je borovice černá využívána především k obnovení lesních porostů na půdách, jež mají nízkou úrodnost, nebo na bývalých zemědělských půdách, které jsou degradované nadměrným využíváním (Amorini 1983). Tento proces se nazývá v dané oblasti renaturalizace (Cantiani a Pivosi 2008).

3.4.2 Využití v České republice

U nás borovice černá nemá příliš velký hospodářský význam, ale spíše význam biologický. Osvědčila se v zalesňování extrémních lokalit, kde nejsou příznivé podmínky pro jiné dřeviny. Jedná se o místa, kde jsou vysoké teploty a suché půdy. Významnou je též v okrasném sadovnictví a krajinářství díky tomu, že patří k dřevinám, které jsou odolné vůči znečištění ovzduší (Mergl et al., 1984). Borovice černá se osvědčila i během procesu rekultivace ploch po těžbě uhlí (Vacek et al., 2021). Tato značně zdevastovaná místa zabírají v České republice více než 1 400 km², což je více než rozloha národních parků (1 200 km²) (Vacek et al., 2012).

3.5 Pěstování borovice černé

3.5.1 Obnova

Častým názorem je, že ekologické lesnické systémy by měly vycházet z přirozených procesů (Coates a Burton, 1997). Proto je přirozená obnova zásadní, především v případě španělské borovice černé, která je velmi často považována za choulostivou (Tíscar, 2004; Del Cerro et al., 2005). Příprava půdy má řadu pozitivních účinků na uchycení semenáčků, vhodná příprava zvýší teplotu půdy (Örlander, 1987) a zároveň upravuje dostupnost vody v půdě (Bassman, 1989). Při obnově hraje roli půdní vlhkost, která ovlivňuje růst a nepřímo ovlivňuje biologické a chemické procesy v rostlině (Del Cerro et al., 2006). V současné době se dostává do popředí zájem na přípravu stanoviště jako prostředek ke zlepšení zásobení kořenové zóny vodou (Fleming et al., 1998). Toho lze dosáhnout odstraněním konkurenční vegetace, zvýšením zásoby

vody v půdě nebo podporou rozsáhlejšího rozvoje kořenů sazenic (Flint a Childs, 1987). Teplota a vlhkost půdy jsou nejspíše klíčovými okolnostmi, které určují a řídí proces klíčení. Na teplotu a vlhkost půdy působí také intenzita světla. Vliv světla je přizpůsoben tomu, jak vypadá struktura korun hlavního porostu, která určí budoucí průběh obnovy (Page et al., 2001). Kácení a těžba dříví, které naruší půdní povrch, mají příznivý vliv na přirozenou obnovu korsické borovice (*Pinus nigra ssp. laricio*) (Kerr, 2000). Minerální půda představuje nejlepší podklad pro klíčení semen, jelikož lépe vede vodu než organická hmota (Béland et al., 2000), navíc dochází k odstranění vrstvy bylin, které představují zábranu bránící kontaktu opadaných semen s půdou (Gonzalez-Martinez a Bravo 2001). Někteří autoři (Garcia, 1957; Rubio Gimeno, 1963 a Guardia 1988) uvádějí, že nejčastějšími příčinami selhání obnovy porostů borovice černé jsou: predace semen, suchá léta opakující se nejméně po dobu tří let, nadměrná pastva.

Závažnou komplikaci během umělé obnovy představuje hlavně oteplování, což je třeba zohlednit při výsadbě borovice černé spolu s výběrem vhodného stanoviště, nadmořské výšky a orientací svahu. Borovice černá je poměrně odolný druh vůči klimatickým extrémům, jak v oblastech velmi vlhkých stanovišť nacházejících se ve vysokohorských oblastech až po polosuchá stanoviště ve střední Anatolii (Saatcioglu, 1976; Mayer a Aksoy, 1998).

3.5.2 Výchova mladých porostů

Výzkum týkající se prvních výchovných zásahů v porostech borovice černé, který se uskutečnil ve Itálii zjistil, že největší vliv na vývoj porostu měla prořezávka s největší intenzitou. Rozsah prořezávky by neměl být limitován pouze na počet jedinců, ale zaměřit se především na odstranění jedinců nekvalitních, kteří nemají předpoklady pravidelného a kvalitního růstu. Borovici černé jakožto světlo milné dřeviny, prospívají již v mládí úrovněvé zásahy, které optimalizují světlo v korunách. Když se v mládí přistoupí k silnějším zásahům, oddálí se tak nutnost provedení zásahu druhého a podpoří se přírůst. Zásahy slabé intenzity vyčerpají svůj přírůstový potenciál v období kratším než 10 let. Prořezávky jsou nezbytnou investicí pro vytvoření vhodné struktury porostu, který dosahuje ekologické rovnováhy (Cantiani a Pivosi 2008).

3.5.3 Výchova starších porostů

V probírkových porostech je dobré zaměřit se především na pozitivní výběr a podporovat kvalitní jedince, aby se výchova zaměřila především na zvýšení kvality a produkce. Ke zvýšení stability porostu nejlépe přispívají probírky se silnou intenzitou (Cantiani et al., 2010).

3.6 Škůdci na borovici černé a ochrana

3.6.1 Houbové patogeny

Mezi nejvýznamnější patogeny napadající borovici černou, které páchají nejvíce škod se řadí *Mycosphaerella pini*, *Sphaeropsis sapinea*, *Cenangium ferruginosum* a příležitostně pak i *Armillaria* ssp a sypavky rodu *Lophodermium*. Výzkum probíhající v Srbsku pozoroval a identifikoval 41 druhů hub, které napadaly zdejší plantáže s výsadbou borovice černé (Karadžić a Milijašević, 2008).

3.6.1.1 *Mycosphaerella pini*

Mycosphaerella pini se svým jednoletým životním cyklem představuje největší hrozbu pro infekci v květnu a červnu. Právě v tomto období je nutná ochrana. Inkubační doba se v přírodních podmínkách liší v závislosti na klimatických podmínkách. Obvykle se však jedná o rozmezí 4-6 měsíců. První příznaky napadení, tedy změna barvy špičky jehlic, se objevují na loňském ročníku jehlic. Na obou stranách jehlice později vznikají červené pruhy. V únoru příštího roku jehlice nekrotizuje, a když jsou příznivé podmínky, koncem února vznikají fyziologicky zralé konidie, k jejichž uvolnění dochází až ke konci března. Tento houbový patogen působí velké ztráty ve výsadbách *Pinus nigra*. Nejlepší obranou je fungicidní postřik, nejlépe se při ochraně projeví měďnaté fungicidy. Jejich aplikace by měla probíhat právě na začátku května a v červnu, kdy dochází k největšímu napadání (Karadžić, 1987, 1996).

3.6.1.2 *Sphaeropsis sapinea*

Sphaeropsis sapinea představuje největší hrozbu pro druhy borovic, konkrétně se vyskytuje na 48 druzích, přičemž nejnáchylnější jsou *Pinus radiata*, *Pinus nigra*, *Pinus sylvestris*, *Pinus ponderosa*, *Pinus resinosa*, *Pinus mugo*, *Pinus pinaster* a *Pinus*

elliotti. Nejvíce napadá druhy introdukované, druhy pěstované v umělých výsadbách a v městské zeleni (Milijašević, 1994). Příznaky, kterými se tato choroba projevuje jsou vadnutí pupenů, kadeřavost, zakrtnění a odumírání nejmladšího ročníku jehlic, také odumírání vrcholových výhonů, popřípadě celých částí korun, rakovina kůry, hniloba kořenového krčku na mladých rostlinách, ve školce dochází až k úmrtí (Karadžić a Stojadinović, 1988). K infekci dochází hlavně v letních měsících, první viditelné příznaky jsou hnědé nekrózy a výron pryskyřice. Pyknidy s vyzrálými konidii se mohou tvořit na výhonech, jehlicích i šiškách (Karadžić a Milijašević, 2008). Vhodnou ochranou proti této chorobě je včasná kontrola s kombinací vhodných chemických opatření. Chemickou obranu se doporučuje aplikovat ve školkách a v městské zeleni, nejúčinnější přípravky jsou na bázi mědi a Benomilu (Karadžić et al., 1995).

3.6.1.3 *Cenangium ferruginosum*

Cenangium ferruginosum je jednou z nejrozšířenějších hub na světě, způsobuje odumírání větví, popřípadě pak celých stromů, napadá mnoho druhů rodu *Pinus*. Nebezpečnou se stává především, když dojde k fyziologickému oslabení jedince, například v důsledku intenzivního sucha. K napadení tímto patogenem nejčastěji dochází na mělkých, skeletovitých půdách. Když nedojde k včasnému odstranění již odumřelých stromů a jejich částí, patogen se tak porostem bude šířit dál. Životní cyklus u této houby je jednoletý, ovšem k infekci může docházet během celého roku. Apothecia se vytvářejí na kůře, především na malých větvích, které následně odumírají. V silně napadených porostech borovice černé (*Pinus nigra*) a borovice lesní (*Pinus sylvestris*) ve Zlatiboru se osvědčila metoda přímé ochrany, kde došlo k odřezání napadených větvíček a následného ošetření měďnatým vápnem, nebo Benlatem, k dalšímu odumírání u ošetřených stromů již nedocházelo (Karadžić et al., 1990).

3.6.1.4 *Armillaria* ssp. (václavka)

Armillaria ssp. vytváří plodnice u paty kmene, působí hnilobu kořenů jak na jehličnatých, tak i na listnatých stromech. Mycelium proniká pod kůru napadených stromů, houba se na okolní stromy dokáže rozšiřovat pomocí kořenovitých útvarů zvaných rhizomorfy. V porostech lesních dřevin působí největší škody hlavně v mladých porostech, kde hubí mladé jehličnany až do prvního prořezání. Nejlepší

obranou je zbavit les všech zdrojů infekce, tedy odstranit staré pařezy (Karadžić a Milijašević, 2008).

3.6.2 Hmyzí škůdci

Mezi četné hmyzí škůdce na borovici černé se řadí bourec borový (*Dendrolimus pini*) a také lýkožrout *Ips pini*. Bourec borový je můra (*Lepidoptera, Lasiocampidae*), která škodí na borovicích a způsobuje opad jehličí. Ačkoliv je hlavní hostitel borovice lesní (*Pinus sylvestris*) od čehož se odvíjí i jeho přirozený areál, který se shoduje s výskytem borovice lesní (Hardin a Suazo, 2012), tak borovice černá (*Pinus nigra Arn.*) je taktéž náchylná k napadení tímto druhem (De Rigo et al., 2016). Největší škody způsobují housenky, které požírají jehlice na hostitelských dřevinách a způsobují značnou defoliaci, tedy ztrátu jehlic (Hardin a Suazo, 2012). Když je míra defoliace silná, či se v průběhu let opakuje, může dojít až k úplnému úhynu stromu (Molet, 2012). *Dendrolimus pini* se tedy živí především jehlicemi, ale spase i výhonky a pupeny (Skrzecz, 2020). Dospělci se objevují uprostřed léta a jejich život trvá přibližně 10 dní (Lesniak, 1976). Larvy se líhnou od konce léta do začátku podzimu, přesouvají se buďto plazením, nebo přelétají na vláknech hedvábí unášenými větrem. Larvy během svého vývoje projdou sedmi až osmi instary, larvy čtvrtého až pátého instaru slezou ze stromu do hrabanky, kde prezimují (Hardin a Suazo, 2012). Kontrola výskytu škůdce by měla probíhat v porostech náchylných k napadení, v zimě zjišťováním hustoty larev v půdě, na jaře pomocí lepových pásek připevněných na stromech. Porosty, které by měli podléhat kontrole jsou starší až přestálé lesy, s monokulturní skladbou, bez výskytu keřového a bylinného patra (Skrzecz et al., 2020).

Ips pini se vyskytuje v celé Severní Americe, obvykle nalétá do klestu vzniklém při těžbě dřeva, dále na vyvrácené stromy, ale pokud se vyskytuje ve vysokých hustotách, je schopen napadat mladé porosty, nebo vršky starších jedinců (Poland a Borden, 1994). Kolonizace stromu probíhá stejně jako u *Ips typographus*, samci započnou napadení a uvolněním agregčních feromonů lákají na strom obě pohlaví (Robins a Reid, 1997). *Ips pini* přenáší několik druhů hub mezi něž se řadí i *Sphaeropsis sapinea* (Klepzig et al., 1991).

3.7 Zkoumané provenience borovice černé ve svém původním areálu

Pro borovici černou je v současnosti uznáváno šest hlavních poddruhů. Jedná se o: *Pinus nigra ssp. nigra*, *salzmanii*, *dalmatica*, *pallasiana*, *laricio* a *mauretanica* (Quézel a Medail, 2003). Přizpůsobení dřevin na klima zahrnuje jak genetickou adaptaci populací, tak schopnost jedinců absorbovat změny prostředí přizpůsobením fenotypové reakce. Schopnosti přizpůsobení lesních dřevin na klimatické změny dosti závisí na genetické variabilitě a geografickém původu (Mátyás, 1996). Korsické, italské a sicilské provenience rostou špatně na vápencích, kde borovice vyžaduje hluboké půdy. Naopak turecké rostou dobře na půdách vápenitých. Studie prokázala, že *ssp. salzmanii* je citlivá na nedostatek srážek během jara (Amodei et al., 2013). Ve Francii bylo zjištěno, že poddruh *laricio* je druh velice citlivý na sucha a změna klimatu může v budoucnu znamenat snížení stavu lesního porostu (Ammodei et al., 2013). V Bulharsku se zdá, že poddruh *pallasiana* je dobře přizpůsoben vysokým letním teplotám, na druhou stranu odolává i nízkým teplotám v zimním období (Yurukov, 2003). Borovice černá vykazuje vysokou morfologickou, fyziologickou a ekologickou rozrůzněnost (Richardson, 1998). O taxonomii evropské borovice černé dosud nepanuje všeobecná shoda (Bogunic et al., 2007), avšak obecně lze předpokládat, že *Pinus nigra ssp. salzmanii* je rozšířena především ve Španělsku (Tíscar, 2004).

3.7.1 Bulharsko (PIRIN)

V Bulharsku se borovice černá vyskytuje asi na 7 % území, které zde zabírají jehličnaté lesy (Alexandrov, 2000). Pozorovaná provenience vznikla izolací ve studovaném regionu. To naznačuje, že tato populace je stará a lze předpokládat minimální ovlivnění člověkem (Willis, 1994). Pravděpodobné je, že v období zalednění oblasti byl omezen pohyb genetického materiálu pouze na výměnu mezi střední a nejnižší částí jednoho pohoří z důvodu vzniku ledových bariér. Během tohoto období byla populace v horních částech oddělena a schopnost výměny genetického materiálu byla limitována pouze na tuto izolovanou část. Studie, která probíhala v Bulharsku pomocí analýzy terpenů rozlišila čtyři skupiny, které odpovídají zeměpisným polohám v Bulharsku. Rozdělení těchto skupin potvrdilo, že v období glaciálního tlaku povodí řek Marica, Mesta a Struma a horské útvary Rodopy, Rila, Pirin, Slavanica, Sr. Gora a Svatá Planina, představovaly klíčové prvky zachování genofondu borovice černé. Rozdíly v genetice mezi populacemi borovice na poměrně malém území ukazuje, že je důležité zahrnout

genetickou strukturu populace do plánu výsadby, aby byla zachována genetická variabilita (Naydenov et al., 2006).

3.7.2 Španělsko (CAZORLA, OLETTE)

Rozsáhlé lesy v motánně mediteránní vegetační zóně Katalánska jsou tvořeny směsí dřevin borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) a borovice černé (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzamii*). Tyto lesy zde zaujímají rozlohu 267 000 ha (Gracia et al., 2000). Zdejší lesní komplex plní různé funkce, jedná se o produkci dříví na výrobu kůlů, pilařské kulatiny a stavebního dřeva. Za zmínku jistě stojí ekologický význam, kterým je udržování biodiverzity a ochrana půdy. Také plní funkci sociální, jako je rekreace, venkovská turistika a sběr hub (Gonzalez et al., 1997). Oblast jižního Španělska je ovlivněna jak středomořským, tak atlantickým klimatem, tato oblast tedy představuje jižní, respektive západní hranici rozšíření několika druhů. Jedná se o významné místo pro ekologickou a klimatologickou studii (Tíscar, 2011). V této oblasti se nachází pohoří Cazorla, jež bylo zdrojem stavebního dřeva zejména z borovice černé pro konstrukci lodí přinejmenším již od středověku (Araque Jiménez, 2007). Borovice černá je ceněna pro kvalitu svého dřeva na stavební využití (Fernández-Golfinet et al., 2001). Proto lze dnes borovici černou z pohoří Cazorla nalézt v mnoha historických stavbách v západním Středomoří, a také ve vracích lodí napříč celým světem. Borovice černá v pohoří Cazorla představuje reliktní lesy (Alejano a Martínez, 1996), i přesto, že zde po století probíhala intenzivní těžba, ve většině oblastí pohoří byly v nejvyšších polohách blízko 2 000 m n. m. nalezeny stromy, které dosahovaly stáří až 1 000 let (Creus, 1998). Výškový výskyt borovice černé v této oblasti se pohybuje v rozmezí od zhruba 1 000 do 2 000 m n. m. (Domínguez-Delmás et al., 2013).

3.7.3 Jižní Francie (ST. GUILHEM)

Oproti Španělsku, kde *Pinus nigra* ssp. *salzamii* roste na ploše přibližně 350 000 ha, ve Francii se vyskytuje jen v několika roztroušených populacích a jejich rozloha je odhadována zhruba na 3 000 ha. Tento areál je pouhým pozůstatkem značně většího rozšíření na počátku čtvrtohor (Vernet et al., 2005). *Pinus nigra* ssp. *salzamii* je odolná vůči suchu a přizpůsobivá vůči různým půdním typům a klimatickým podmínkám (Quezél a Barbéro, 1988).

3.7.4 Korsika (MARGÉZE, PALNÉCA)

Francouzský ostrov Korsika je z velké části zalesněn a tvoří tak výjimečnou studijní oblast díky dvěma původním druhům borovic, kterými jsou borovice přímořská (*Pinus pinaster*) a borovice černá (*Pinus nigra ssp. laricio*). Terén na zmíněném ostrově se vyznačuje silnými výškovými gradienty na krátkých vzdálenostech. Borovice černá je zde rozšířena ve vyšších oblastech až k horní hranici lesa. Zdejší porosty nejsou přirozené z důvodu dlouhodobého osídlení této oblasti a velkého antropogenního vlivu (Häussera et al., 2019). Avšak staré lesy borovice černé ve vyšších polohách by bylo možné považovat za zbytky přirozeného lesa korsických hor (Pausas et al., 2008). V nižších polohách byly staré lesy nahrazené novými smíšenými lesy, kde se ve směsi pěstují borovice černá a borovice přímořská především za účelem zisku (Häussera et al., 2019). Borovice černá je dlouhověký druh, může dosahovat stáří až 900 let, stromy na této věkové hranici byly nalezeny v monokulturních porostech na Korsice (Szymczak et al., 2014). Vztah mezi klimatem a růstem, který lze odvodit z šíře letokruhů borovice černé na horní hraně lesa v korsických horách, naznačují, že růst letokruhů je ovlivněn především letními srážkami a pak méně únorovou – březnovou teplotou (Szymczak et al., 2014). Po dřevě borovice černé je mnohem vyšší poptávka. Dřevina je ovšem také náročnější na vodu než borovice přímořská; s poklesem dostupnosti vody v nižších nadmořských výškách by se spodní hranice rozšíření borovice černé mohla posunout směrem nahoru, což by dále omezilo rozšíření tohoto druhu (Häussera et al., 2019).

3.7.5 Maďarsko (KUNADÁCS)

Borovice černá není v Maďarsku původním druhem, pokrývá zde však 3,4 % celkové zalesněné plochy. Její výsadba zde započala v 19. století, především na stanovištích s mělkými půdami a slabým potenciálem peněžního výnosu, aby pokryla písčité půdy v nížinách a zarůstala holé plochy v horách (Móriz et al., 2018). V Maďarsku se na písčitých půdách nachází nadpoloviční většina (55 %) porostů borovice černé (Kotlay, 2000). Poskytují zde důležitou ekosystémovou službu tím, že ony písčité půdy chrání před erozí větrnou a vodní. Tyto porosty zde oslabilo období sucha v 90. letech 20. století, následované napadením houbovými patogeny, které vedlo k úhynu jedinců se sníženou vitalitou (Kotlay et al., 2013). Proto jsou zdejší porosty do budoucna ohrožené očekávaným nárůstem četností extrémního sucha (Móriz et al., 2018). V Maďarsku probíhal výzkum (Móriz et al., 2018), zaměřený na sledování

snížení vitality borovice černé v důsledku letního sucha. Tato studie prokázala, že v průběhu posledních desetiletí byla borovice schopna čím dál méně regenerovat. Je možné konstatovat, že riziko ztráty vitality kvůli nárůstu četnosti suchých období je velké na mělkých půdách s nízkou kapacitou vody v půdě.

3.7.6 Slovinsko (KRŠKO)

Ve Slovinsku byla využívána borovice černá k zalesnění degradovaných stanovišť. Sice není dřevinou původní, ale osvědčila se při obnově na mělkých vápenitých kamenitých půdách. Na území Slovinského krasu se šířila dále přirozeně a zaujímá zde rozlohu asi 16 000 ha. V současné době porosty borovice černé po celé Evropě stárnou a jsou více náchylné k požárům a podléhají různým abiotickým narušením, napadení hmyzem a nověji i chorobám (Porthogesi et al., 2013; Sánchez-Salguero et al., 2013).

Ve Slovinsku má borovice černá význam jako dřevina přípravná a výchovná pro porosty dubů, především pro duhy dub zimní (*Quercus petraea*), dub cer (*Quercus cerris*) a dub pýřitý (*Quercus pubescens*) (Šercelj, 1996). Jsou zde zakládány porosty se směsí borovice černé (*Pinus nigra*) a borovice lesní (*Pinus sylvestris*) v blízkosti semenných stromů rodu *Quercus*. Pro úspěšnou obnovu tohoto druhu se v borových porostech pravidelným prořezáváním vytvářejí mezery a pod korunami borovic vzniká předstunutá obnova dubů, které se zde daří lépe v porovnání s obnovou pod porosty stromů listnatých (Zlatanov et al., 2010; Mosandl et al., 1998).

3.7.7 Belgie (KOEKELARE)

V Belgii většina vlámských lesů (asi 60 %) roste na písčitých půdách. Na přibližně 30 % těchto ploch se nachází nepůvodní borovice černá. Jedná se o provenienci pocházející z francouzské Korsiky. Své místo zde zaujala hlavně díky své nízké citlivosti na sucho, dostupnosti vhodných proveniencí a také díky vysoké rychlosti růstu. Porosty borovice byly sice oslabené v důsledku silných mrazů v 80. letech 20. století a následně napadeny houbovými infekcemi způsobenými *Brunchorista pinea* a *Sphaeropsis sapinea*, ale většina porostů se zvládla zotavit a v současnosti dokáží produkovat poměrně velký objem dříví. Dokonce zde dochází i k nadprůměrné produkci, tento zvýšený přírůstek by mohl být zapříčiněn nadbytkem dusíku v lesních ekosystémech (Spiecker et al., 1996; Zöttl, 1990).

3.8 Arboretum Sofronka

Arboretum Sofronka, jehož kořeny sahají až do roku 1956 bylo založeno Ing. Karlem Kaňákem CSc. Pozemek nacházející se na severním okraji Plzně je již od svého vzniku zaměřen na výzkum růstu jednotlivých druhů borovic. Arboretum neplní pouze funkci výzkumnou, ale také funkci naučnou, tím že je častým cílem odborných exkurzí, či návštěv široké veřejnosti. Součástí arboreta je i skleník, kde dochází k produkci roubovanců využitelných především v okrasných výsadbách. Jedná se ovšem i o produkci roubovanců z výběrových stromů, které slouží k zachování variability původního genofondu. Veškerý sadební materiál, který zde byl využíván, získával přímo zakladatel, díky dobrým osobním vztahům s ostatními vědci a lesníky ze světa. Specialitou tohoto arboreta je, že zkoumá růst a vývoj jednotlivých druhů přirozenou cestou. Na výzkumných plochách nebyly nikdy prováděny výchovné zásahy, nebylo použito chemických látek na obranu proti škůdcům a patogenům a vše bylo ponecháno přírodnímu výběru. U druhů, které s úspěchem přežívají v tamních podmínkách, lze konstatovat, že je možné jejich pěstování v klimatických podmínkách České republiky. Výzkumné plochy nebyly zakládány jako v běžném arboretu, kde stromy plní spíše estetickou funkci, ale měly simulovat podmínky podobné hospodářským lesům a byly vysazovány v klasických sponech 1x1 m, respektive 2x2 m. Na jednu výzkumnou plochu bylo vysazeno 100 až 200 sazenic. Od založení arboreta až po současnost zde bylo vysazeno 68 druhů. V současné době je možno za reprezentativní vzorky považovat především 16 druhů borovic, které se zdárně přizpůsobily podmínkám našeho podnebí, nadále plodí, a dokonce se dokáží přirozeně zmlazovat. Každý druh se přizpůsoboval ke klimatickým podmínkám po svém, tedy procházel vývojem propojeným s vývojem prostředí a ostatních lesních společenstev. Díky tomu byla odvozena nová forma dendrologie, a to dendrologie evoluční. Arboretum svým významem přesahuje hranice našeho státu, bylo zařazeno na seznam nejvýznamnějších botanických zahrad a arboret v centrálním registru Readingu (Kaňák, 2016).

4. Metodika

4.1 Oblast výzkumu

Terénní výzkum probíhal v arboretu Sofronka v Plzni. Arboretum bylo založeno v roce 1956 Karlem Kaňákem. Už od svých počátků se toto arboretum zaměřuje na rod *Pinus*. Průměrný roční úhrn srážek, získaný z meteorologické stanice Plzeň-Bolevec, jež se nachází přímo v arboretu, z let 1969-2023 činí 569 mm/rok. Průměrná roční teplota ve stejném období je 7,6 °C. Svah je zde mírný s jižní expozicí. Byla zde provedena analýza půdních podmínek. Půda byla především písčité, se zhruba 30 % skeletu. Nejvíce se v půdě vyskytoval slepenec. Humusová vrstva byla určena na typ MOR. U organického horizontu byly k rozeznání dvě vrstvy, a to 2 cm opadu (jehličí a mech), 5 cm drť a měl, na organický horizont navazoval již svrchní půdní horizont s mocností 2 cm.



Obrázek 2: Detail půdní sondy

4.2 Výzkumné plochy

Výzkumné plochy, na kterých probíhal sběr dat, se v arboretu nacházejí v oddělení J, bylo jich zde 11. Výsadba proběhla v roce 1961. Devět z těchto ploch má výměru 15x26 m (3,9 aru), dvě zbývající mají rozlohu 15x13 m (1,9 ar). Na těchto i všech ostatních plochách byl praktikován pouze přírodní výběr, neprobíhaly zde žádné výchovné zásahy.



Obrázek 3: Mapa Arboreta Sofronka a jeho výzkumných ploch (Zdroj: Kaňák 2016), červeně ohraničené jsou výzkumné plochy *Pinus nigra*

4.2.1 Provenience zastoupené na plochách

Tabulka 1: Provenience borovice černé

Provenience	Plocha	Velikost plochy (ar)	Země původu
ST. GUILHEM	J98	3,9	jižní Francie
CAZORLA	J99	1,95	Španělsko
PIRIN	J100	1,95	Bulharsko
MARGHÉZE	J91	3,9	Korsika
PALNÉCA	J92	3,9	Korsika
KRŠKO	J84	3,9	Maďarsko
KUNADÁCS	J83	3,9	Slovinsko
OLETTÉ	J95	3,9	Španělsko
KOEKELARE	J76	3,9	Belgie
PIRIN 2	J68	3,9	Bulharsko
LES BARES	J69	3,9	západní Francie

4.3 Získávání dat

Měření dat probíhalo v roce 2022 před začátkem vegetační sezóny, na více plochách zároveň v pracovních skupinách. Současně probíhal výzkum pro více druhů borovic. Zkoumány byly dendrometrické veličiny a následně byl hodnocen kvalitativní stav kmene. Pokud se jednalo o strom mrtvý, tedy suchý, bez asimilačního aparátu, byla jeho pozice pouze zaznamenána do protokolu a změřen jeho obvod. U mrtvých stromů nebyla měřena výška z toho důvodu, aby jejich hodnoty neovlivnily výslednou statistiku. Obvody byly měřeny ve výčetní výšce (1,3 m), obvodovým pásmem s přesností na 1 mm. Výšky se měřily pomocí výškoměru Laser technology ForestPro MapStar. Naměřená data se zaznamenávala v terénu do protokolů, ke každé ploše pro každou provenienci byl přiřazen jeden protokol. Do protokolů se zaznamenávala pravidelnost průběhu tvaru kmene, tedy jeho kvalita, stupnice hodnocení vypadá následovně:

- Číselná stupnice kvality kmene:
 - 1 = průběžný rovný kmen
 - 2 = kmen lehce zakřivený, mírné nepravidelnosti
 - 3 = kmen silně zakřivený, více nepravidelností
 - 4 = dvoják, troják...
 - 5 = strom mrtvý

4.4 Zpracování dat

Data získaná v terénu byla následně elektronicky zpracována v MS Excel, kde byly vytvořeny i jednotlivé grafy. Z naměřených obvodů byla matematicky vypočítána tloušťka stromů. Díky získané tloušťce bylo možné vypočítat kruhovou základnu a následně i objem stromů a objem příslušící celé ploše. Pro výpočet objemu stromů, byla použita výtvarnice z Taxonomického průvodce ÚHÚL, která platí pro borovici lesní (*Pinus sylvestris*). Pro porovnání zásob mezi proveniencemi byl použit objem středního kmene, jelikož na každé ploše byl rozdílný počet jedinců, proto by porovnání celkových objemů nebylo dostačující. Porovnány byly i zásoby na hektar a počet jedinců na hektar. Byla také posouzena mortalita jedinců od počáteční výsadby, tedy kolik procent stromů na dané výzkumné ploše ubylo, jelikož se jednalo o přirozený vývoj bez výchovných zásahů. Dále byly porovnávány střední výšky a střední tloušťky. Pro každou provenienci byla vytvořeno rozdělení výšek, kdy stromy byly zařazeny do výškových stupňů po 2 m. Stromy byly rovněž zařazeny do tloušťkových stupňů, které měly rozsah 4 cm.

4.4.1 Výpočty

Z naměřených hodnot byly vypočteny následující dendrometrické veličiny, které sloužily k porovnání a zhodnocení úspěchu růstu jednotlivých proveniencí:

- Střední výčetní tloušťka (cm): průměr všech naměřených výčetních tloušťek (značeno: d)
- Střední výška (m): průměr všech naměřených výšek (značeno: h)
- Kruhová základna (m²): značená g, kdy $g = \pi \cdot d^2 / 4$
- Objem jednotlivého stromu (m³): za pomoci výtvarnice (f=0,435), kdy $V = h \cdot g \cdot f$
- Objem středního kmene (m³): průměr objemů všech měřených stromů

- Zásoba na hektar (m^3/ha): v přepočtu z velikosti výzkumných ploch (0,039 ha, 0,0195 ha)
- Počet jedinců na hektar (N/ha): přepočet z počtu jedinců nacházejících se na jedné ploše
- Mortalita (%): kolik jedinců procentuálně ubylo od původní výsadby, kde na menších plochách bylo vysazeno 100 sazenic a na větších 200 sazenic
- Průměrná kvalita kmene: průměr hodnot pro kvalitu kmene jednotlivého stromu

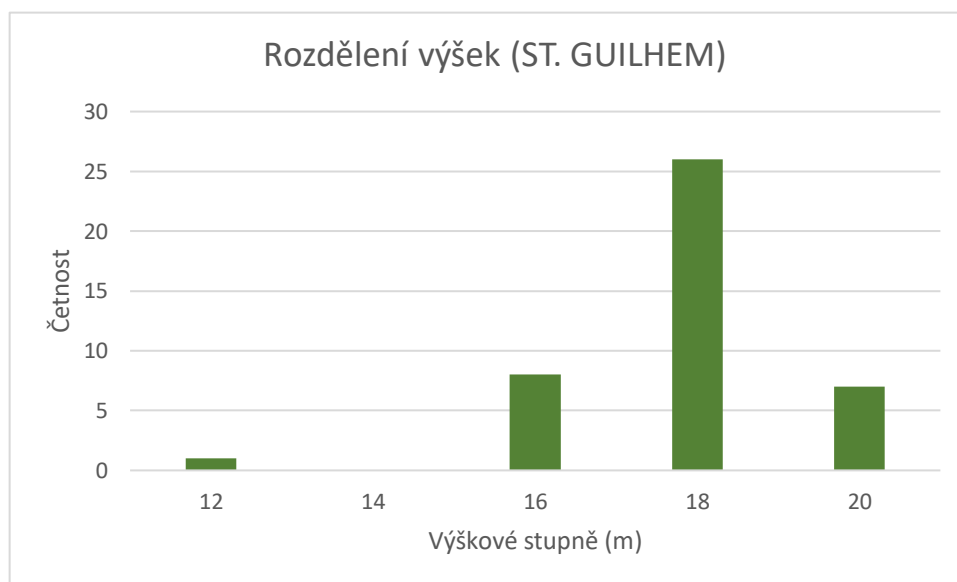
5. Výsledky

5.1 ST. GULHEM

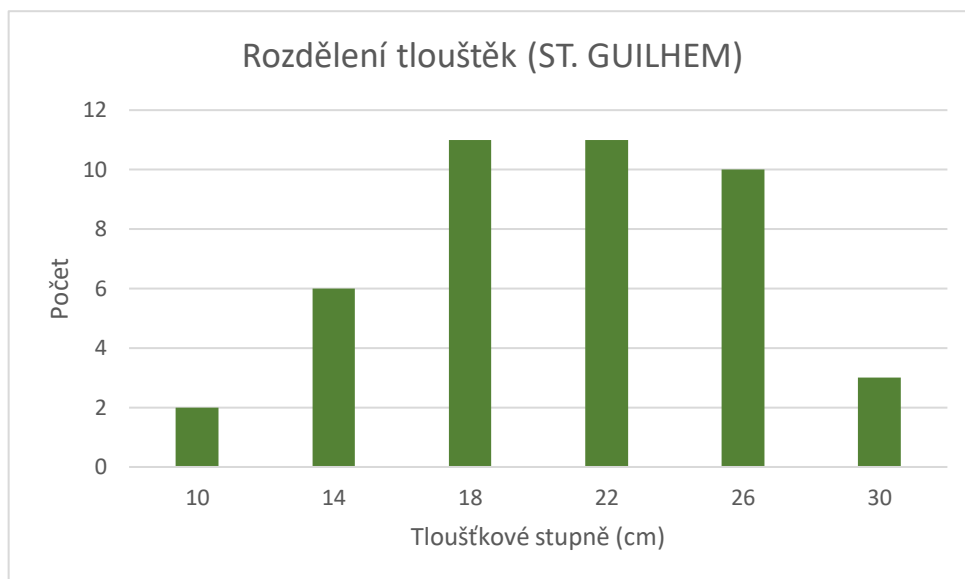
Na první zkusné ploše s proveniencí ST. GUILHEM s rozměry 15x26 m (0,039 ha) byla naměřena střední výška 17,67 m. Jak je zřejmé z grafu č. 1, tak právě výškový stupeň 18 měl největší zastoupení. Střední tloušťka dosáhla velikosti 20,97 cm. Na této ploše se v současnosti vyskytovalo 43 jedinců, z toho byl ovšem jeden mrtvý. Od počáteční výsadby na výzkumné ploše tedy zahynulo 158 stromů (79 %). Současný počet jedinců v přepočtu na hektar je 1 077. Objem středního kmene je 0,28 m³ a zásoba na hektar 315 m³.

Tabulka 2: Výsledky měření provenience ST. GUILHEM

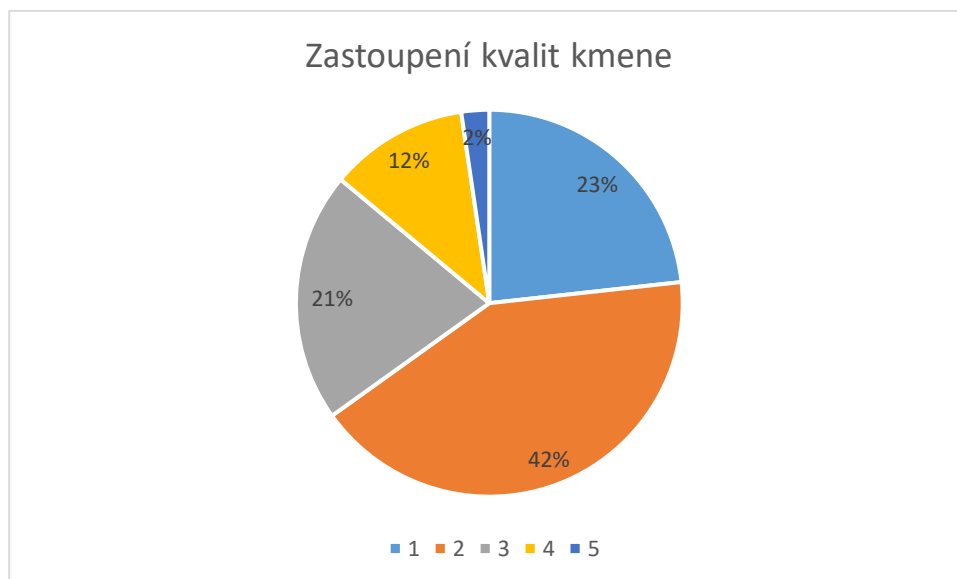
Střední tloušťka (cm)	Střední výška (m)	Objem stř. kmene (m ³)	Celkový objem (m ³)	Zásoba na ha (m ³ /ha)	Počet jedinců na ha (N/ha)	Mortalita (%)	Průměrná kvalita kmene
20,97	17,67	0,28	12,28	315	1077	79	2,28



Graf 1: Rozdělení výšek provenience ST. GUILHEM



Graf 2: Zastoupení tloušťkových stupňů provenience ST. GUILHEM



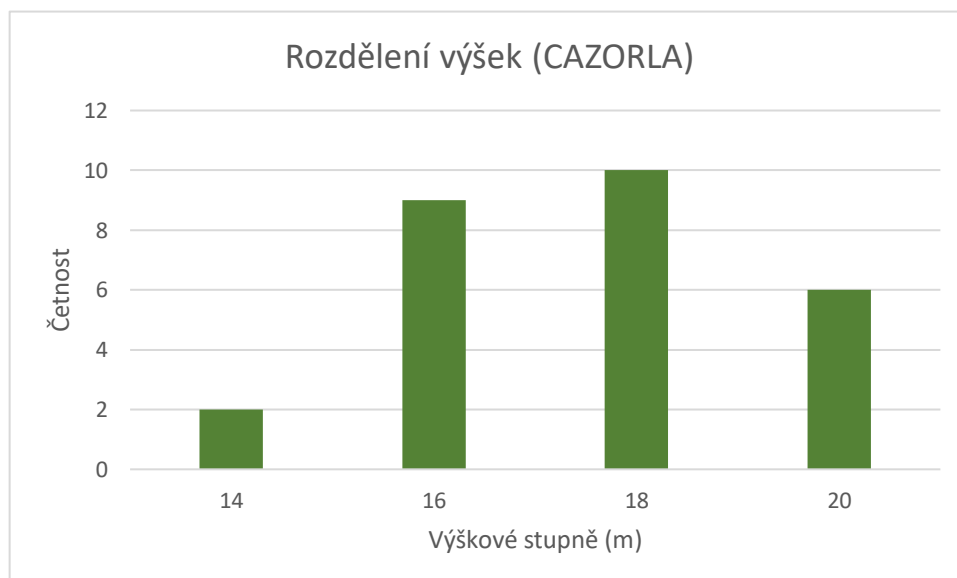
Graf 3: Kvalita kmene provenience ST. GUILHEM

5.2 CAZORLA

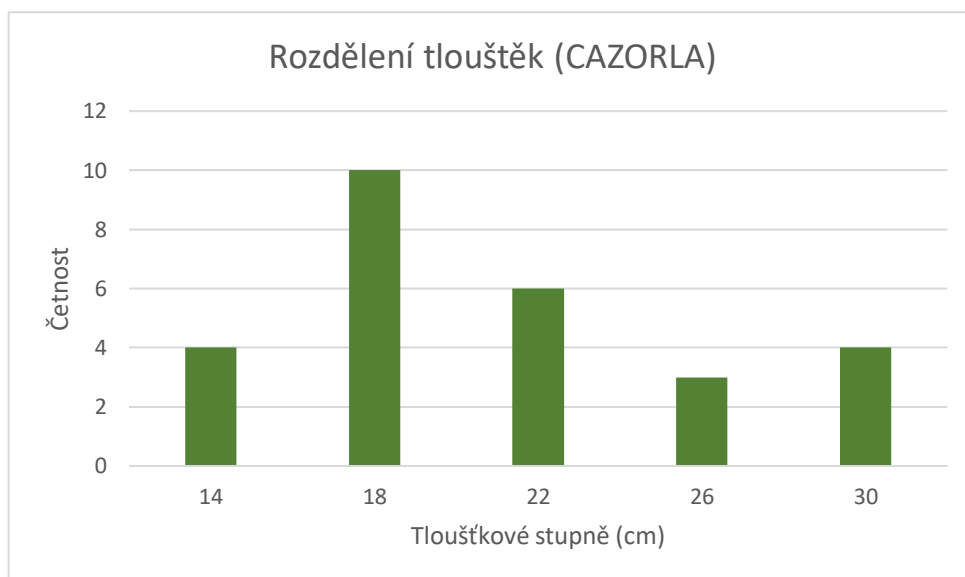
Provenience CAZORLA na výzkumné ploše o rozměrech 15x13 m (0,0195 ha) vykazovala dost podobné výsledky jako provenience předchozí, se střední výškou 17,37 m a střední tloušťkou 20,81 cm. Objem středního kmene byl 0,28 m³. Na ploše se nacházelo 27 jedinců, došlo zde tedy k mortalitě 73 %. Od počáteční výsadby tedy zahynulo 73 stromů. Nyní počet jedinců na hektar činí 1 385. Zásoba na hektar byla 389 m³.

Tabulka 3: Výsledky měření provenience CAZORLA

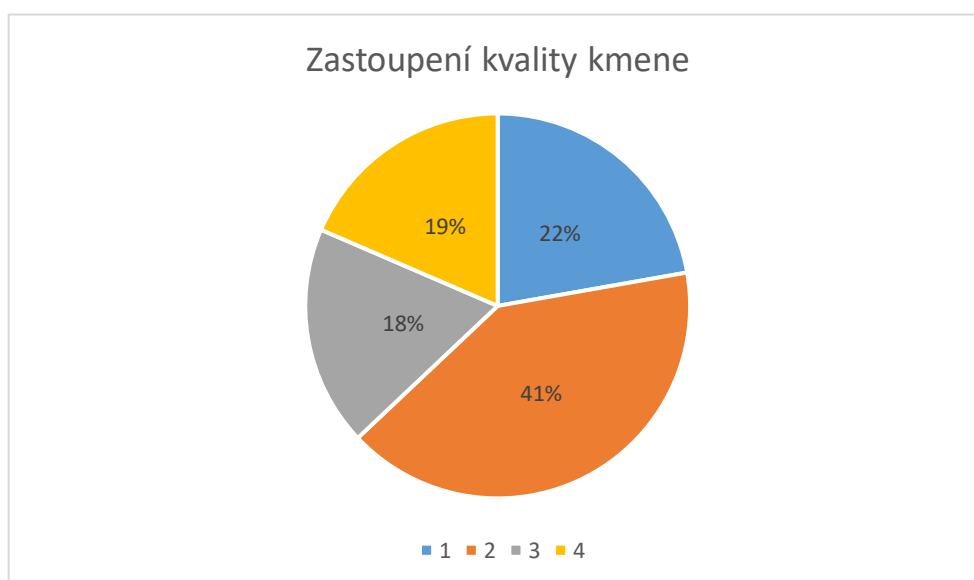
Střední tloušťka (cm)	Střední výška (m)	Objem stř. kmene (m ³)	Celkový objem (m ³)	Zásoba na ha (m ³ /ha)	Počet jedinců na ha (N/ha)	Mortalita (%)	Průměrná kvalita kmene
20,81	17,37	0,28	7,58	389	1385	73	2,33



Graf 4: Rozdělení výšek provenience CAZORLA



Graf 5: Zastoupení tloušťkových stupňů provenience CAZORLA



Graf 6: Kvalita kmene provenience CAZORLA

5.3 PIRIN

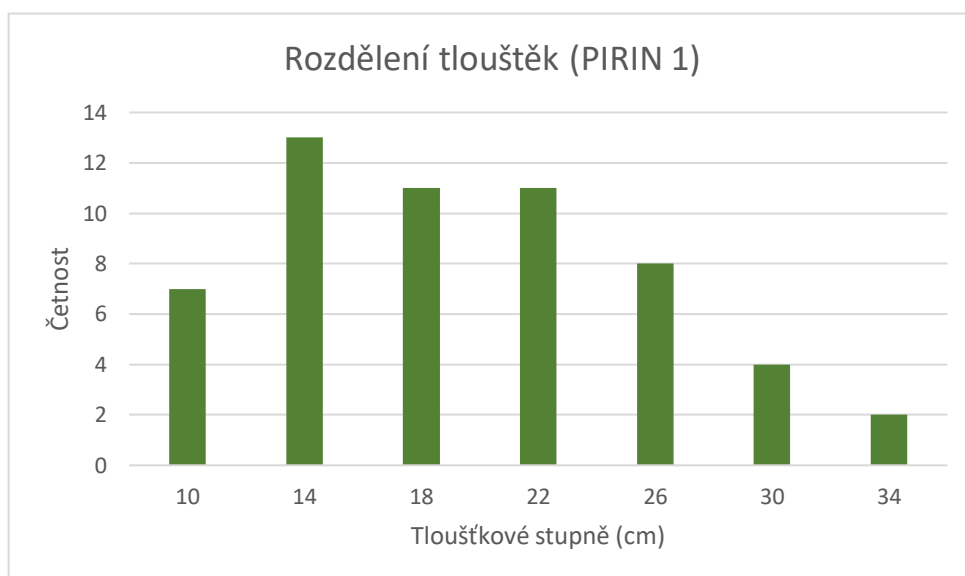
Provenience PIRIN se nacházela hned na dvou výzkumných plochách. Plocha označená PIRIN 1 měla menší rozměr, tedy 15x13 m (0,0195 ha). Zde střední výška dosáhla velikosti 19,33 m a střední tloušťka 20,46 cm. Celkový objem je 16,48 m³ a zásoba na hektar 845 m³, což je více než dvojnásobek oproti předchozím výzkumným plochám. Mortalita zde byla také značně nižší, dosáhla hodnoty 52 %. Počet jedinců na hektar čítá 2 462 kusů. Plocha s označením PIRIN 2 byla co se rozměrů týče větší, jednalo se o výměru 26x15 m (0,039 ha). Střední tloušťka (18,17 cm) a střední výška (18,61 m) byly nižší než na ploše první. Menší byl i objem středního kmene, který se lišil o 0,4 m³, činil tedy 0,25 m³. To se odráží i na zásobě na hektar, která byla téměř poloviční (467 m³) a blížila se svou hodnotu spíše k předchozím proveniencím. Mortalita byla větší než na ploše PIRIN 1, jelikož od výsadby na ploše zahynulo 71 % jedinců. Počet jedinců na hektar je také proto výrazně nižší (1 487 ks).

Tabulka 4: Výsledky měření provenience PIRIN

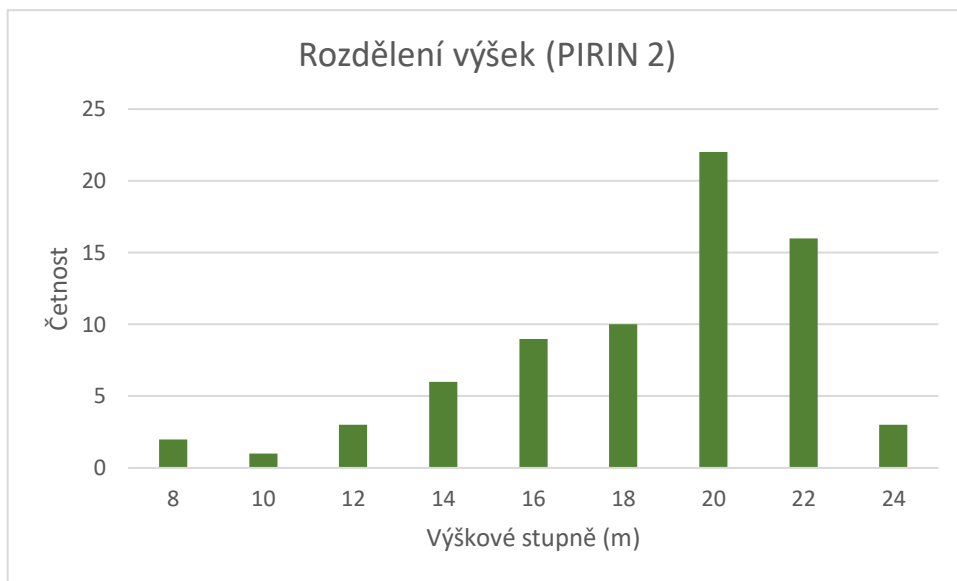
Plocha	Střední tloušťka (cm)	Střední výška (m)	Objem stř. kmene (m ³)	Celkový objem (m ³)	Zásoba na ha (m ³ /ha)	Počet jedinců na ha (N/ha)	Mortalita (%)	Průměrná kvalita kmene
1	20,46	19,33	0,29	16,48	845	2462	52	2,54
2	18,17	18,61	0,25	18,23	467	1487	71	2,61



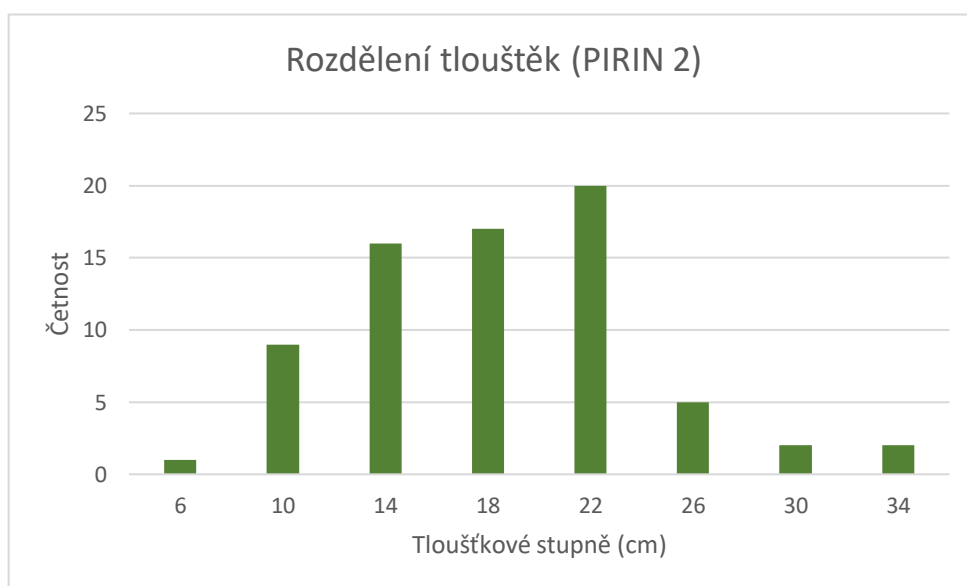
Graf 7: Rozdělení výšek provenience PIRIN (VP – 0,0195 ha)



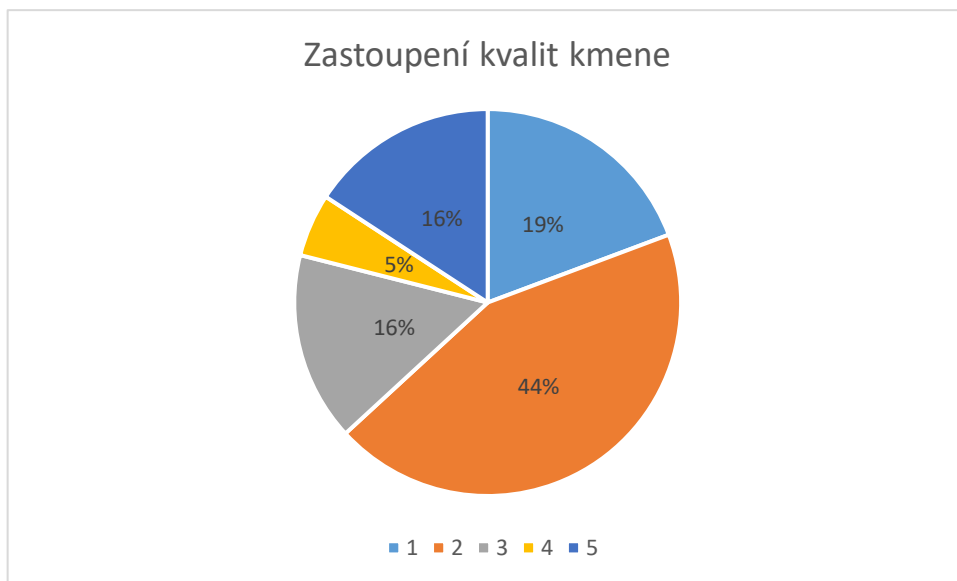
Graf 8: Tloušťkové stupně provenience PIRIN (VP – 0,0195 ha)



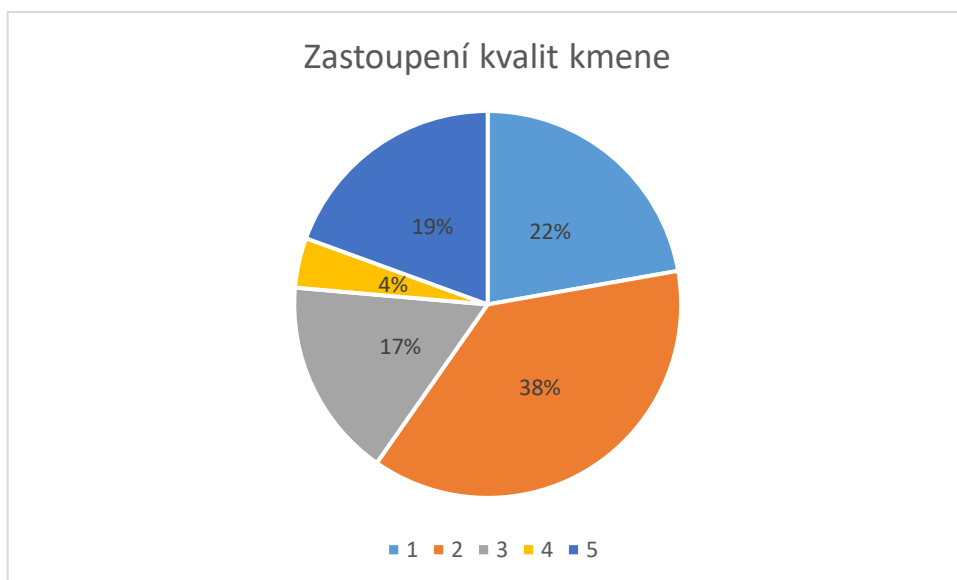
Graf 9: Rozdělení výšek provenience PIRIN (VP – 0,039 ha)



Graf 10: Tloušťkové stupně provenience PIRIN (VP – 0,039 ha)



Graf 11: Kvalita kmene provenience PIRIN (VP – 0,0195 ha)



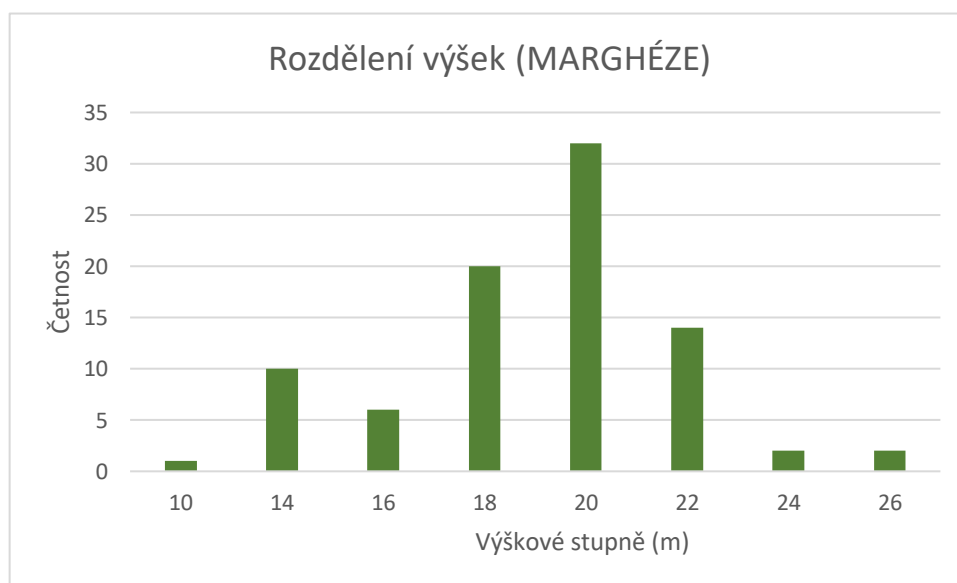
Graf 12: Kvalita kmene provenience PIRIN (VP – 0,039 ha)

5.4 MARGHÉZE

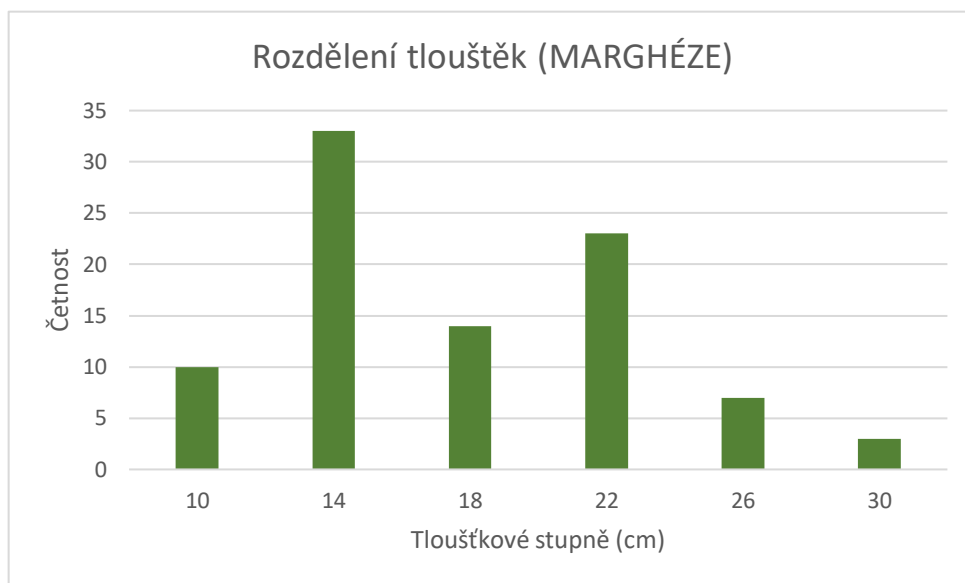
Na ploše pro provenienci MARGHÉZE dosáhla střední tloušťka hodnoty 17,68 cm a střední výška 18,83 m. Celkový objem stromů na ploše byl 20,39 m³, s objemem středního kmene 0,23 m³ a zásobou na hektar 523 m³. Mortalita na této ploše čítala 63 %. Nachází se zde 90 jedinců, což činí 1 923 jedinců na hektar. Tato výzkumná plocha byla obdélníková, s rozměry 26x15 m (0,039 ha).

Tabulka 5: Výsledky měření provenience MARGHÉZE

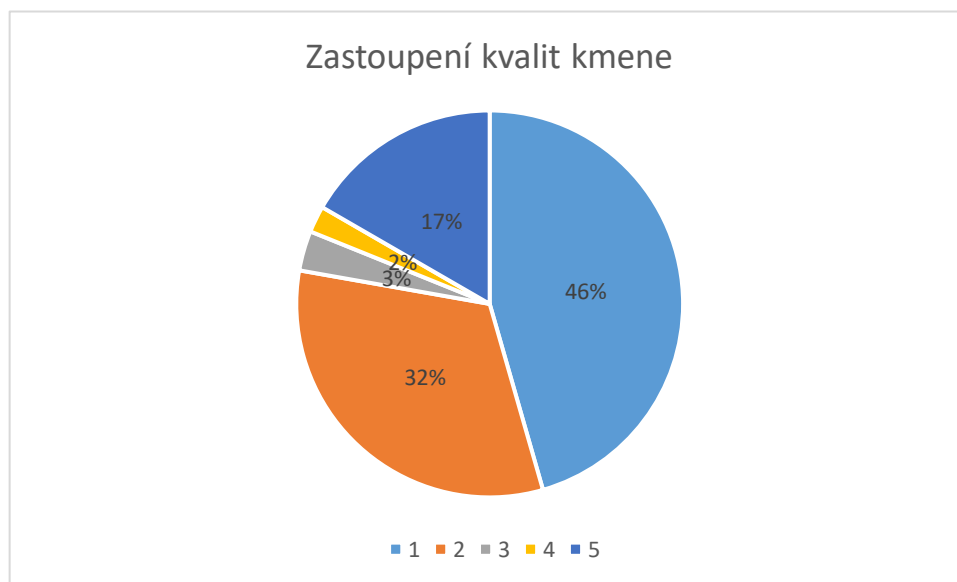
Střední tloušťka (cm)	Střední výška (m)	Objem stř. kmene (m ³)	Celkový objem (m ³)	Zásoba na ha (m ³ /ha)	Počet jedinců na ha (N/ha)	Mortalita (%)	Průměrná kvalita kmene
17,68	18,83	0,23	20,39	523	1923	63	2,12



Graf 13: Rozdělení výšek provenience MARGHÉZE



Graf 14: Tloušťkové stupně provenience MARGHÉZE



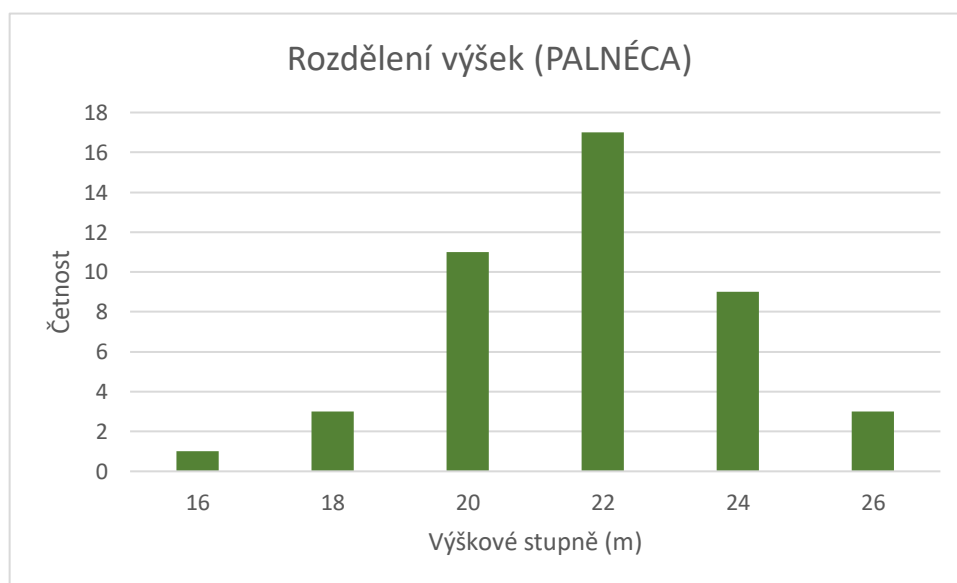
Graf 15: Kvalita kmene provenience MARGHÉZE

5.5 PALNÉCA

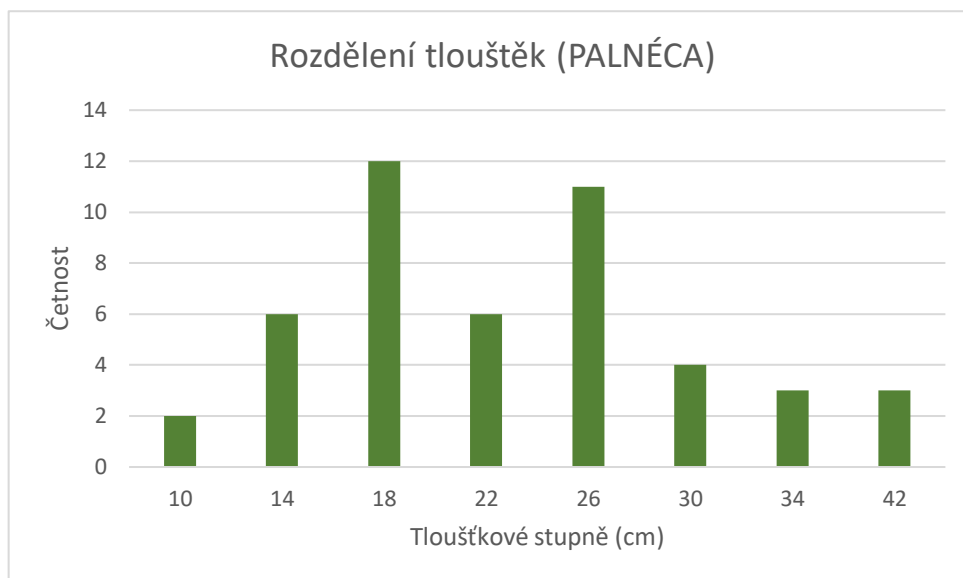
Výzkumná plocha s proveniencí PALNÉCA měla rozměry 26x15 m (0,039 ha). Střední tloušťka je 23 cm a střední výška 21,8 m. To už je poměrně rozdíl od předchozích ploch, znát je to především na objemu. Objem středního kmene činil 0,46 m³ a zásoba na hektar byla 552 m³. Mortalita, k níž došlo na výzkumné ploše byla opět celkem vysoká, jednalo se o úbytek 78 % jedinců. Počet živých stromů činil 1 128 jedinců na hektar.

Tabulka 6: Výsledky měření provenience PALNÉCA

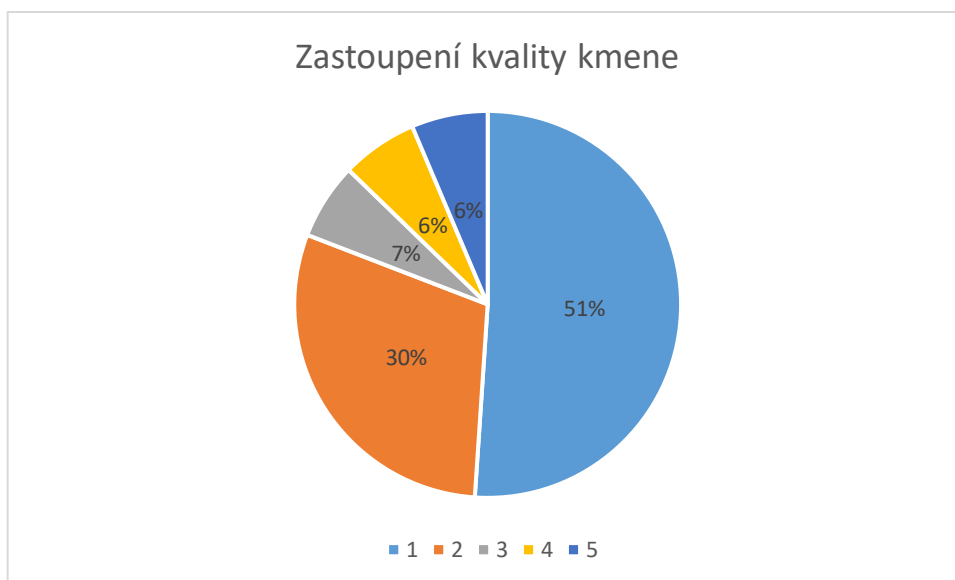
Střední tloušťka (cm)	Střední výška (m)	Objem stř. kmene (m ³)	Celkový objem (m ³)	Zásoba na ha (m ³ /ha)	Počet jedinců na ha (N/ha)	Mortalita (%)	Průměrná kvalita kmene
23	21,8	0,46	21,51	552	1128	78	1,87



Graf 16: Rozdělení výšek provenience PALNÉCA



Graf 17: Tloušťkové stupně provenience PALNÉCA



Graf 18: Kvalita kmene provenience PALNÉCA

5.6 KRŠKO

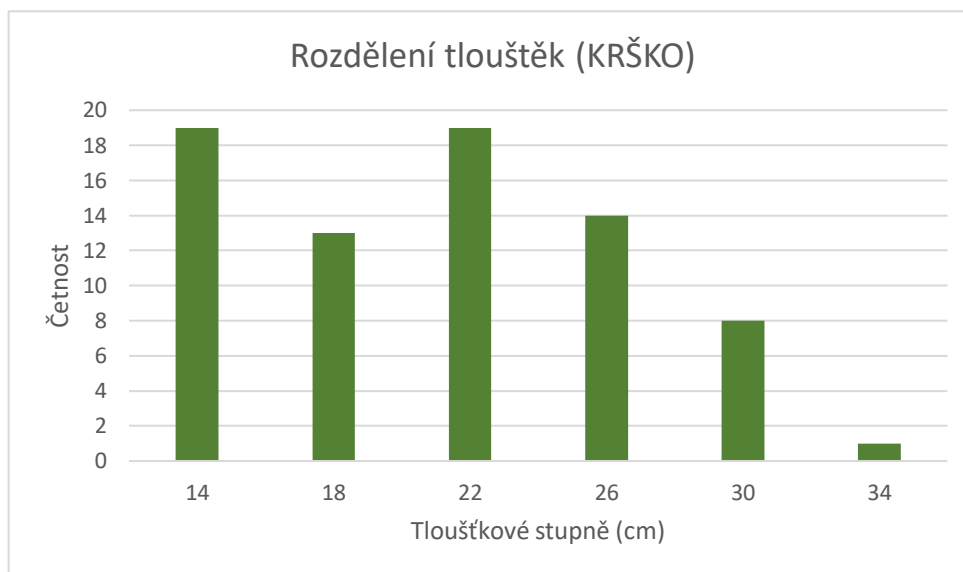
Provenience KRŠKO na výzkumné ploše o rozměrech 26x15 m (0,039 ha), dosáhla střední tloušťky 21,27 cm a střední výšky 20,59 m. Zásoba na hektar se opět pohybovala ve vyšších jednotkách, jedná se o 661 m³/ha a objem středního kmene byl 0,35 m³. Mortalita na této výzkumné ploše byla nadpoloviční, konkrétně se jedná o 65 %. Současný počet jedinců na hektar je 1 821 ks.

Tabulka 7: Výsledky měření provenience KRŠKO

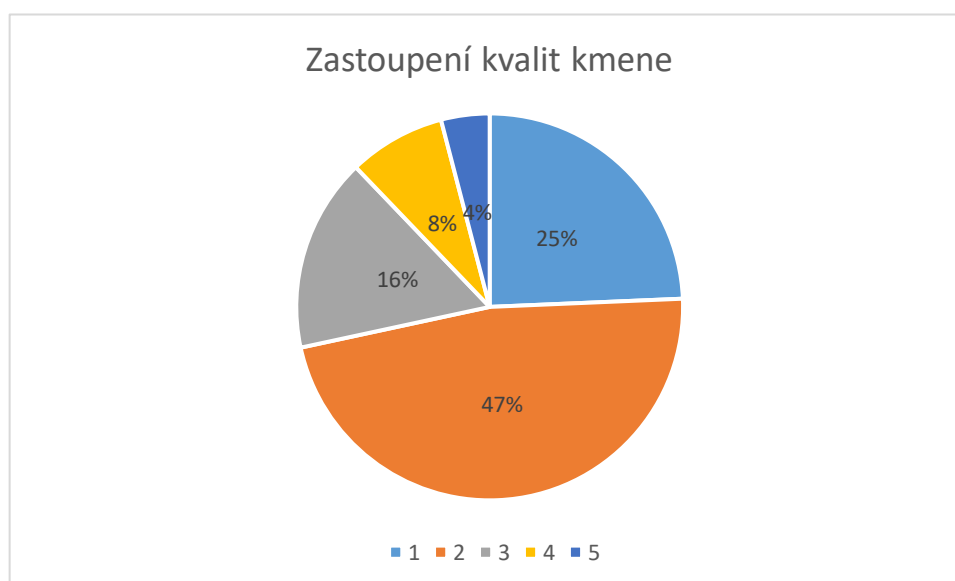
Střední tloušťka (cm)	Střední výška (m)	Objem stř. kmene (m ³)	Celkový objem (m ³)	Zásoba na ha (m ³ /ha)	Počet jedinců na ha (N/ha)	Mortalita (%)	Průměrná kvalita kmene
21,27	20,59	0,35	25,77	661	1821	65 %	2,20



Graf 19: Rozdělení výšek provenience KRŠKO



Graf 20: Tloušťkové stupně provenience KRŠKO



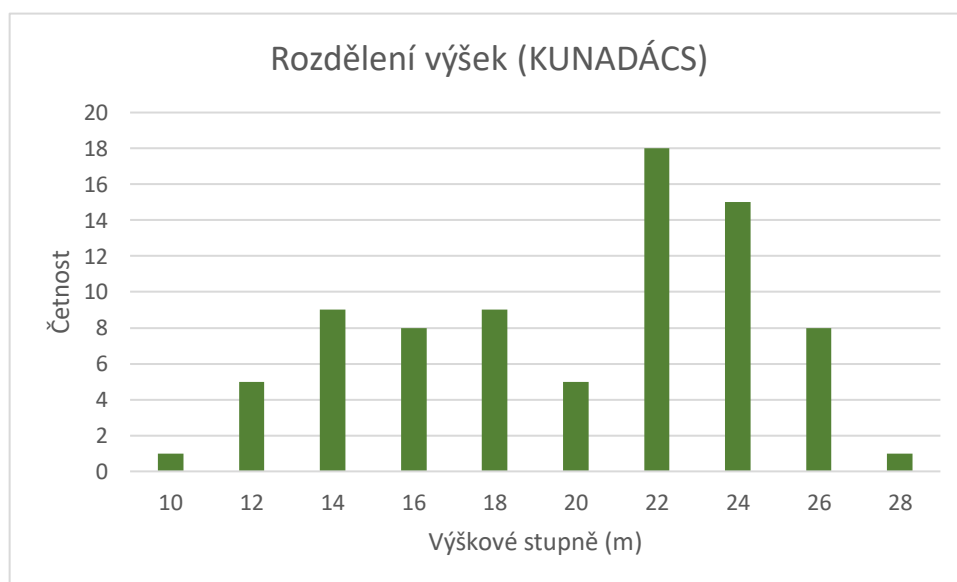
Graf 21: Kvalita kmene provenience KRŠKO

5.7 KUNADÁCS

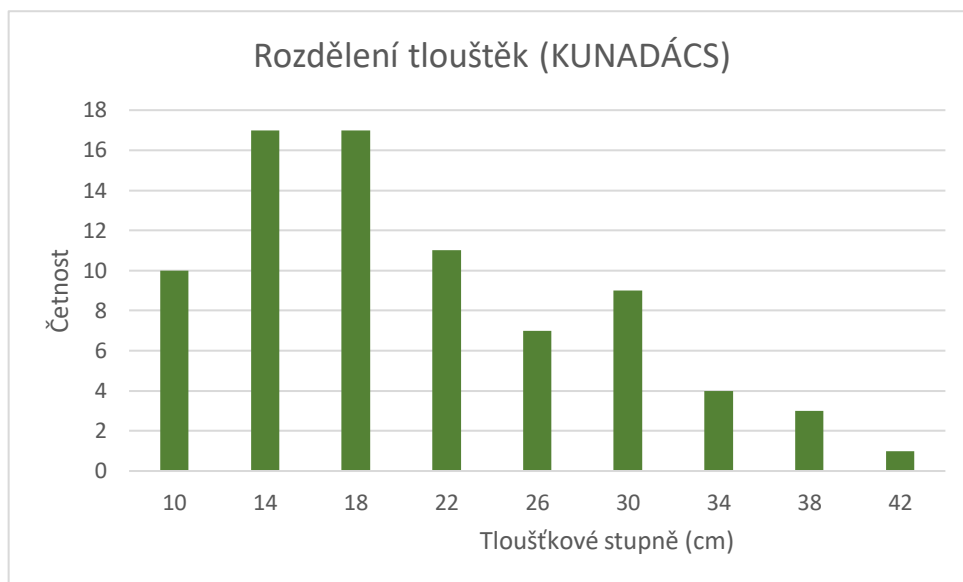
Pro plochu s proveniencí KUNADÁCS (0,039 ha), byla vypočtena střední tloušťka 20,97 cm a střední výška 19,90 m. Objem středního kmene byl 0,38 m³. Celková zásoba na hektar činila 778 m³. Mortalita zde byla nadpoloviční, tedy 67 %, počet živých jedinců na hektar byl 1 718 ks.

Tabulka 8: Výsledky měření provenience KUNADÁCS

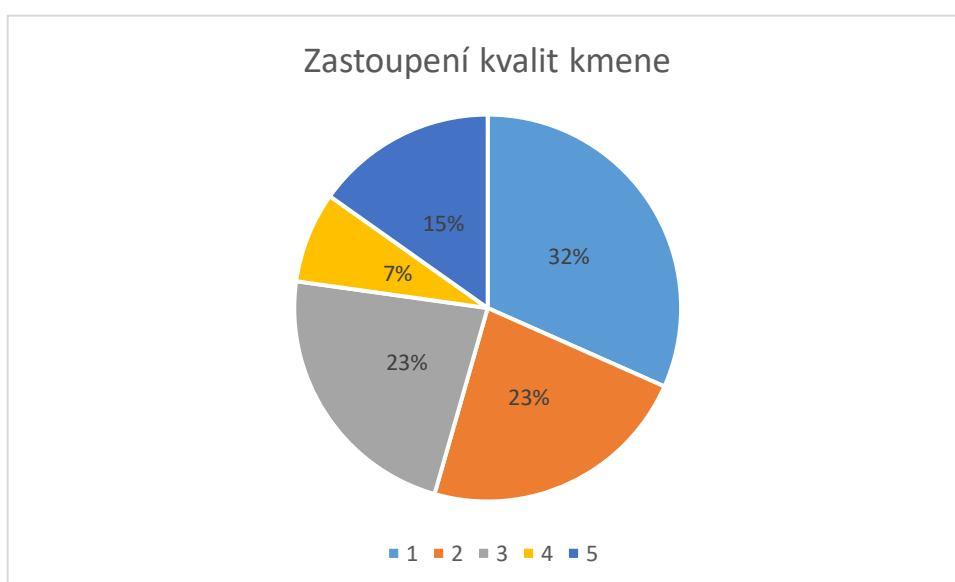
Střední tloušťka (cm)	Střední výška (m)	Objem stř. kmene (m ³)	Celkový objem (m ³)	Zásoba na ha (m ³ /ha)	Počet jedinců na ha (N/ha)	Mortalita (%)	Průměrná kvalita kmene
20,97	19,90	0,38	30,35	778	1718	67 %	2,52



Graf 22: Rozdělení výšek provenience KUNADÁCS



Graf 23: Tloušťkové stupně provenience KUNADÁCS



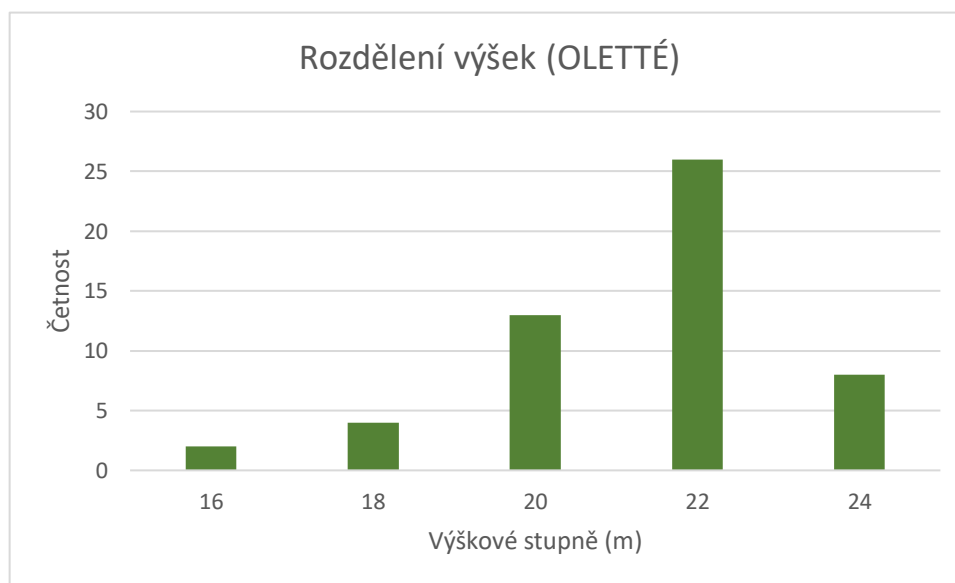
Graf 24: Kvalita kmene provenience KUNADÁCS

5.8 OLETTÉ

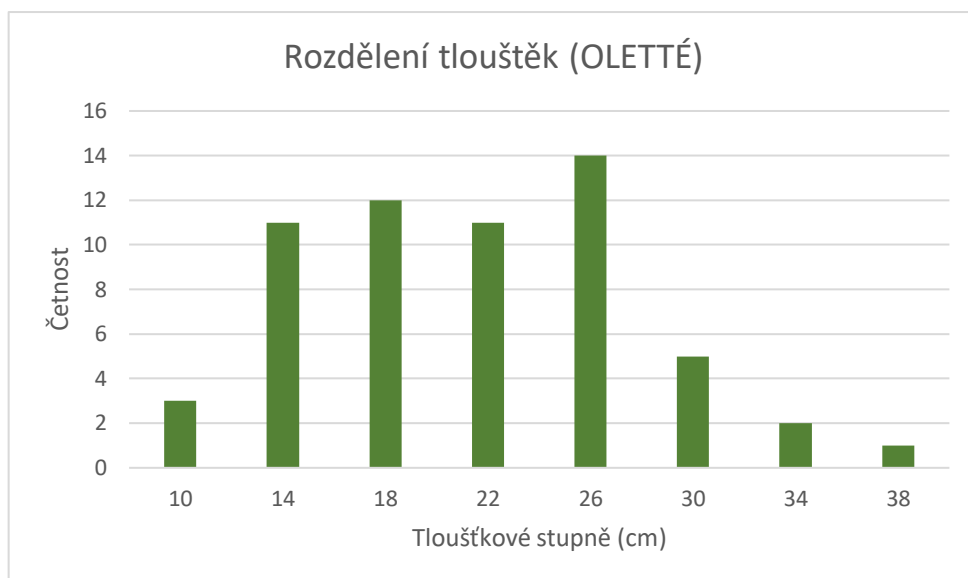
Na výzkumné ploše s proveniencí OLETTÉ byla spočtena střední tloušťka 21,41 cm a střední výška 21,33 m. Zásoba na hektar byla nadprůměrná a to 546 m³/ha. Přičemž objem středního kmene činil 0,36 m³. Mortalita byla znovu nadpoloviční, konkrétně činila 73 %. Pro tuto výzkumnou plochu vychází, že počet živých jedinců na hektar byl 1 385 ks.

Tabulka 9: Výsledky měření provenience OLETTÉ

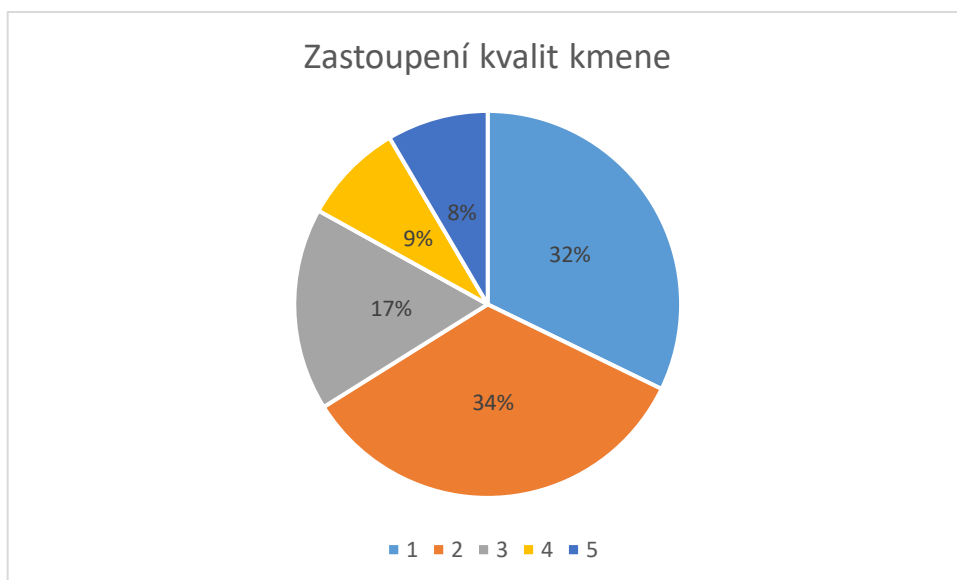
Střední tloušťka (cm)	Střední výška (m)	Objem stř. kmene (m ³)	Celkový objem (m ³)	Zásoba na ha (m ³ /ha)	Počet jedinců na ha (N/ha)	Mortalita (%)	Průměrná kvalita kmene
21,42	21,33	0,36	21,31	546	1385	73	2,27



Graf 25: Rozdělení výšek provenience OLETTÉ



Graf 26: Tloušťkové stupně provenience OLETTÉ



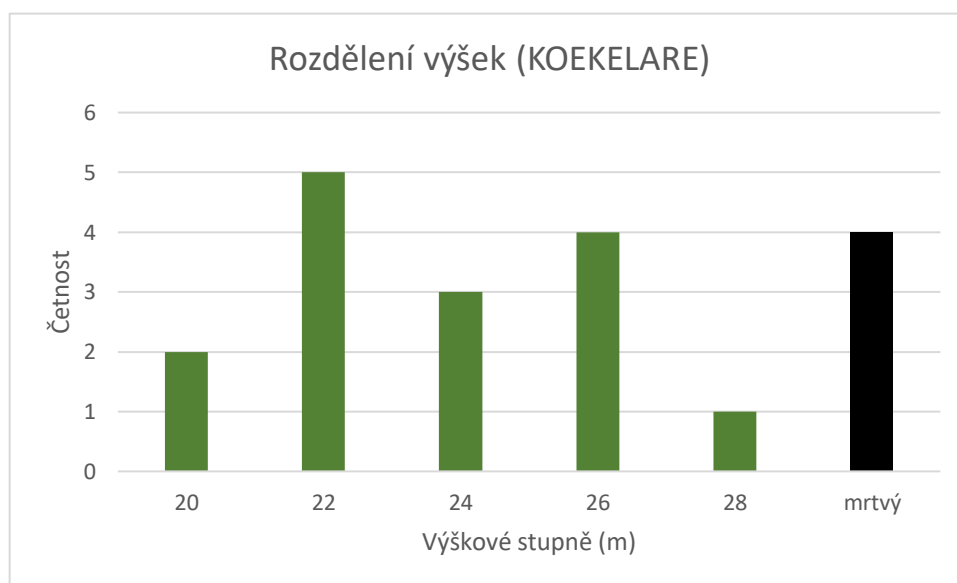
Graf 27: Kvalita kmene provenience OLETTÉ

5.9 KOEKELARE

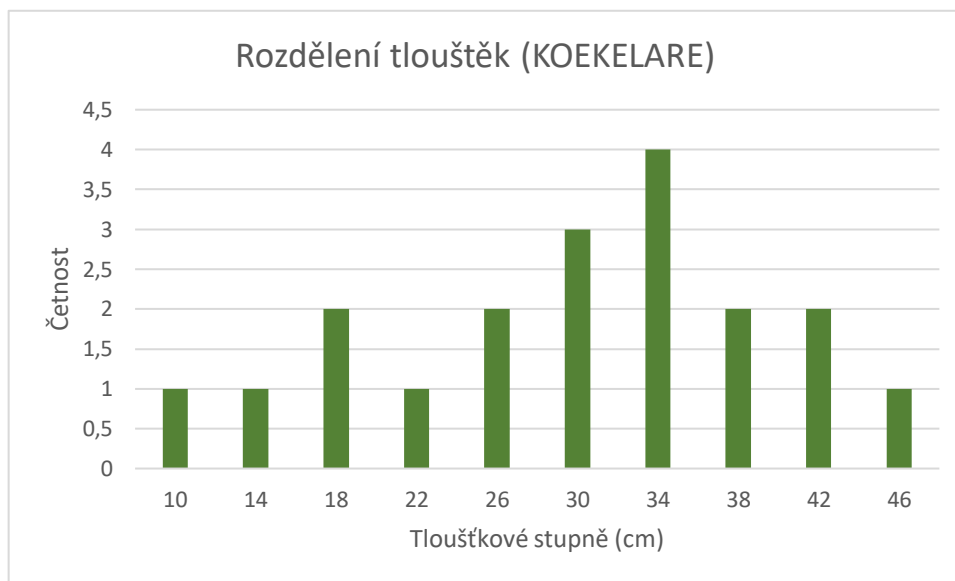
Na výzkumné ploše s proveniencí KOEKELARE (rozloha 0,039 ha) byla naměřena nejvyšší střední tloušťka (29,93 cm) i střední výška (23,57 m), jak je možné pozorovat v grafech 28 a 29, kde lze vidět zastoupení ve vysokých stupních tlouštěk i výšek. Objem středního kmene byl také největší, a to 0,75 m³, bohužel zde došlo k vysoké úmrtnosti (92 %). Je tedy možné se domnívat, že díky vzniklému prostoru zde jedinci nabývali na síle, ale hodně se i větvali, jelikož zde byl velký výskyt dvojáků. Kvůli vysoké mortalitě je tak nízký počet jedinců na hektar (410 ks/ha) a zásoba na hektar je 487 m³/ha.

Tabulka 10: Výsledky měření provenience KOEKELARE

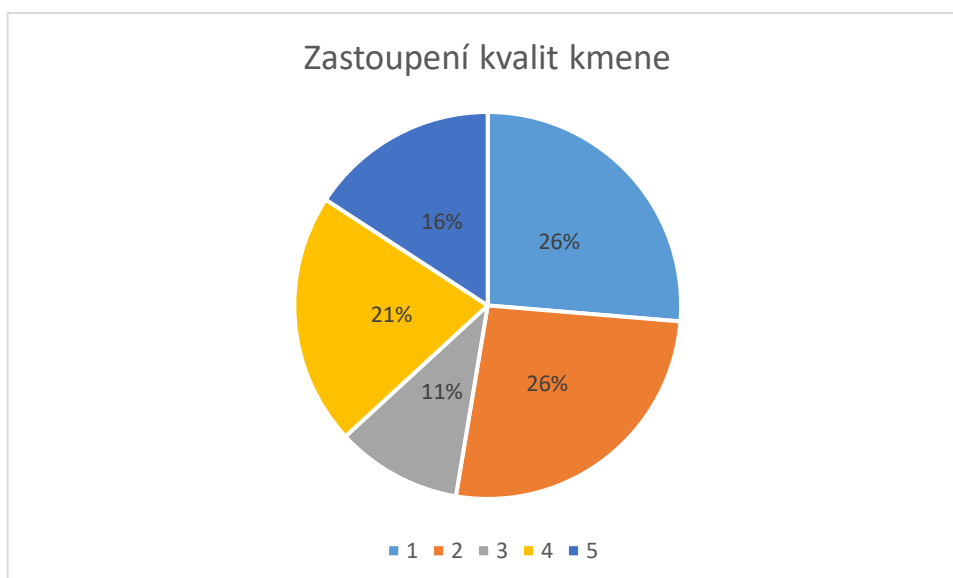
Střední tloušťka (cm)	Střední výška (m)	Objem stř. kmene (m ³)	Celkový objem (m ³)	Zásoba na ha (m ³ /ha)	Počet jedinců na ha (N/ha)	Mortalita (%)	Průměrná kvalita kmene
29,93	23,57	0,75	14,29	367	410	92	2,74



Graf 28: Rozdělení výšek provenience KOEKELARE



Graf 29: Tloušťkové stupně provenience KOEKELARE



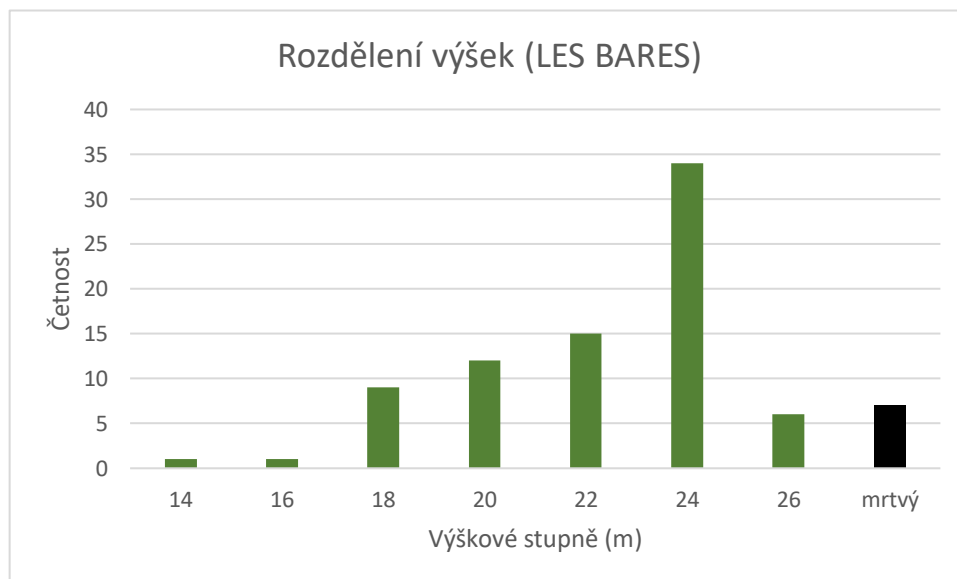
Graf 30: Kvalita kmene provenience KOEKELARE

5.10 LES BARES

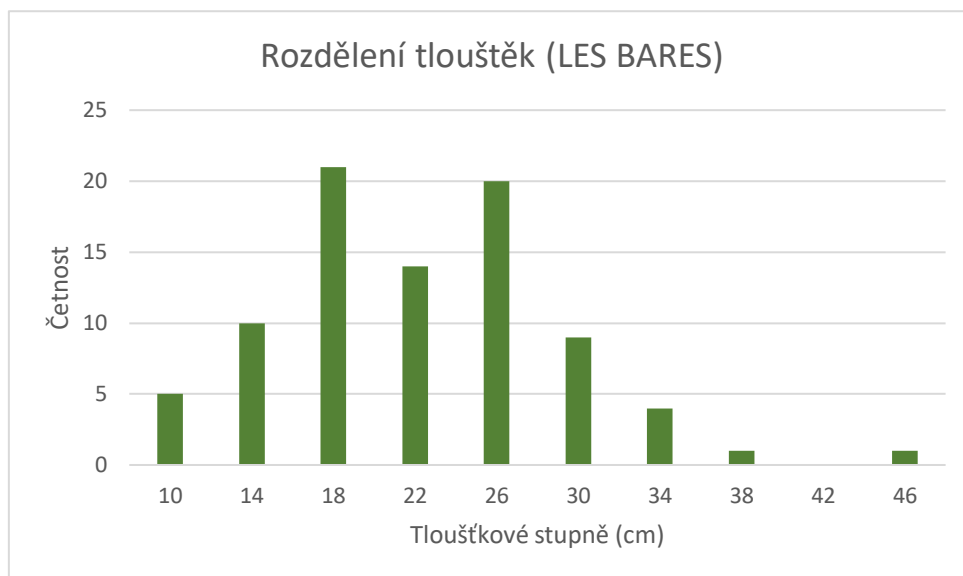
Na výzkumné ploše s proveniencí LES BARES s rozlohou 0,039 ha, byla spočtena střední tloušťka 21,90 cm, střední výška 22,23 m. Zásoba na hektar byla oproti ostatním plochám dost vysoká, a to 889 m³/ha s objemem středního kmene 0,41 m³. Mortalita zde nebyla tak vysoká jako u ostatních zkoumaných ploch, avšak stále přesahovala polovinu přesně 61 %. Současný počet živých jedinců na hektar činil 2 000 ks.

Tabulka 11: Výsledky měření provenience LES BARES

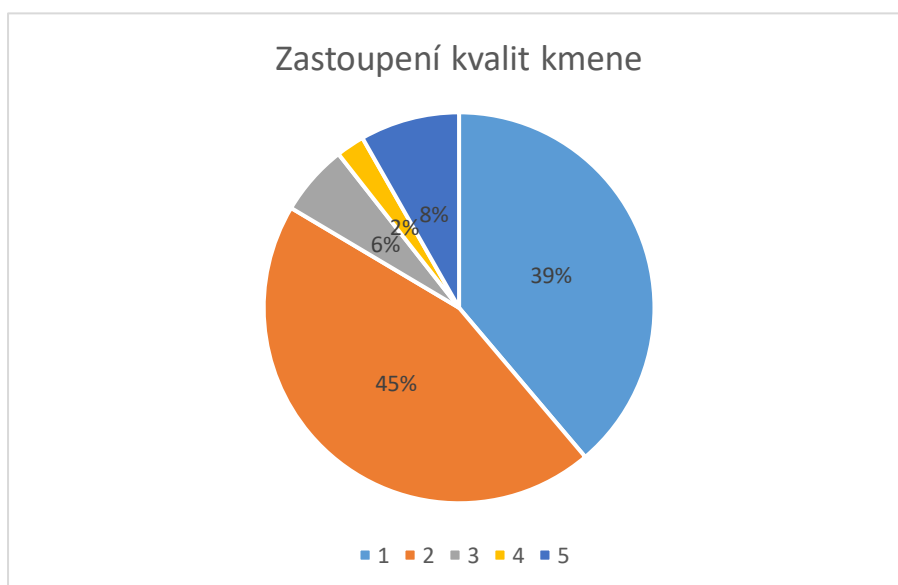
Střední tloušťka (cm)	Střední výška (m)	Objem stř. kmene (m ³)	Celkový objem (m ³)	Zásoba na ha (m ³ /ha)	Počet jedinců na ha (N/ha)	Mortalita (%)	Průměrná kvalita kmene
21,90	22,23	0,41	34,67	889	2000	61	1,96



Graf 31: Rozdělení výšek provenience LES BARES



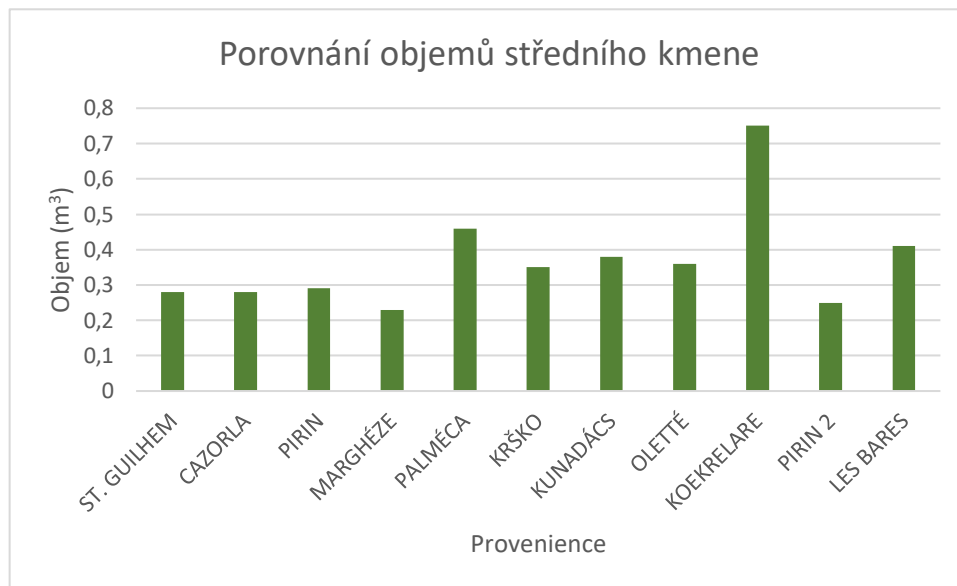
Graf 32: Tloušťkové stupně provenience LES BARES



Graf 33: Kvalita kmene provenience LES BARES

5.11 Porovnání výsledků

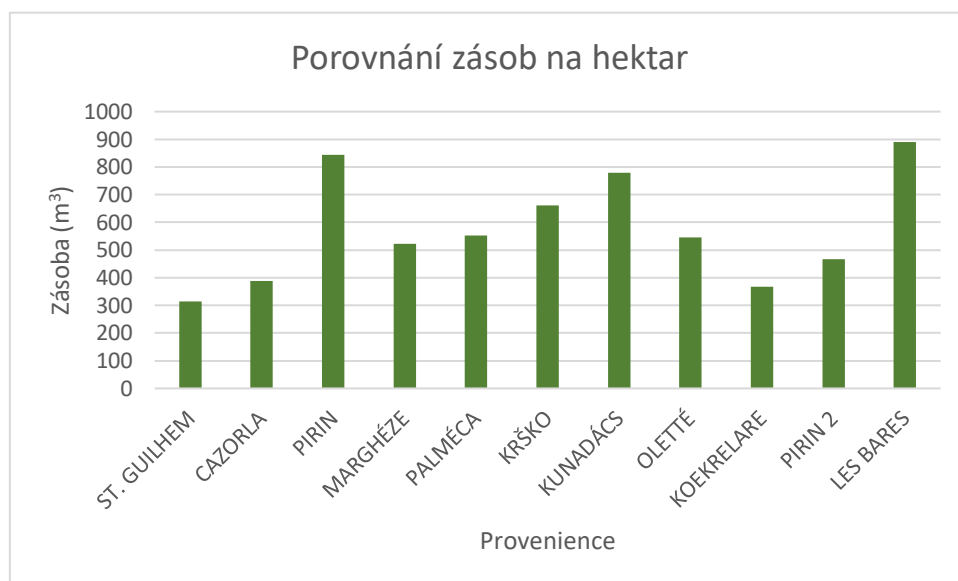
5.11.1 Porovnání objemů středního kmene



Graf 34: Porovnání objemů středního kmene pro všechny provenience

Z grafu 34 je zřejmé, že svým objemem středního kmene $0,75 \text{ m}^3$ provenience KOEKELARE značně převyšuje ostatní. Avšak, jak je patrné z tabulky 10, tak právě u této provenience došlo k vysoké mortalitě, a tudíž i velkému rozvolnění korun, to mohlo mít pozitivní vliv na přírůst. Průměrný objem středního kmene pro všechny výzkumné plochy byl $0,37 \text{ m}^3$, tedy mezi nadprůměrné hodnoty lze zařadit i objem středního kmene u proveniencí PALNÉCA ($0,46 \text{ m}^3$) a LES BARES ($0,41 \text{ m}^3$). Jinak se hodnoty pohybovaly v rozmezí $0,23 \text{ m}^3 - 0,38 \text{ m}^3$.

5.11.2 Porovnání zásoby na hektar

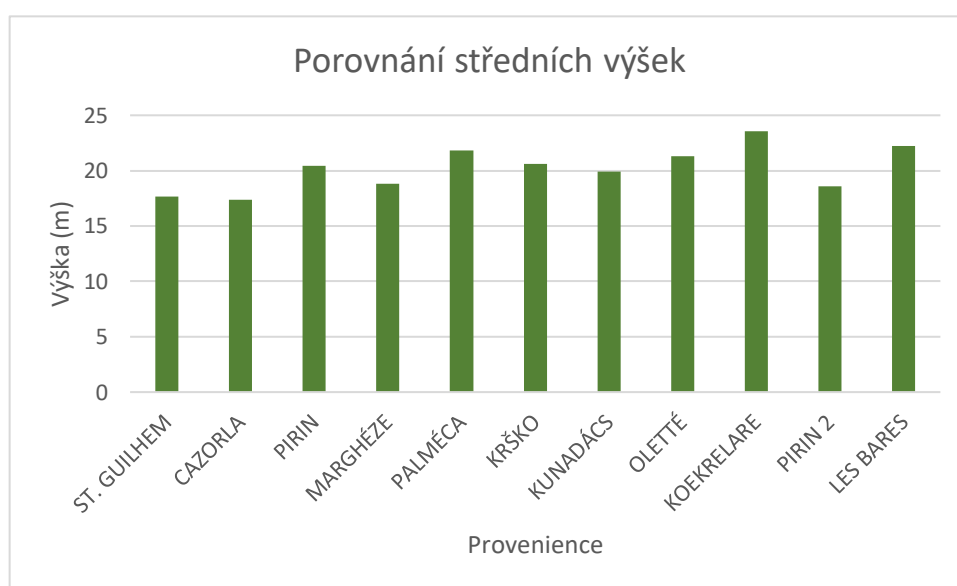


Graf 35: Porovnání zásob na hektar mezi jednotlivých proveniencí

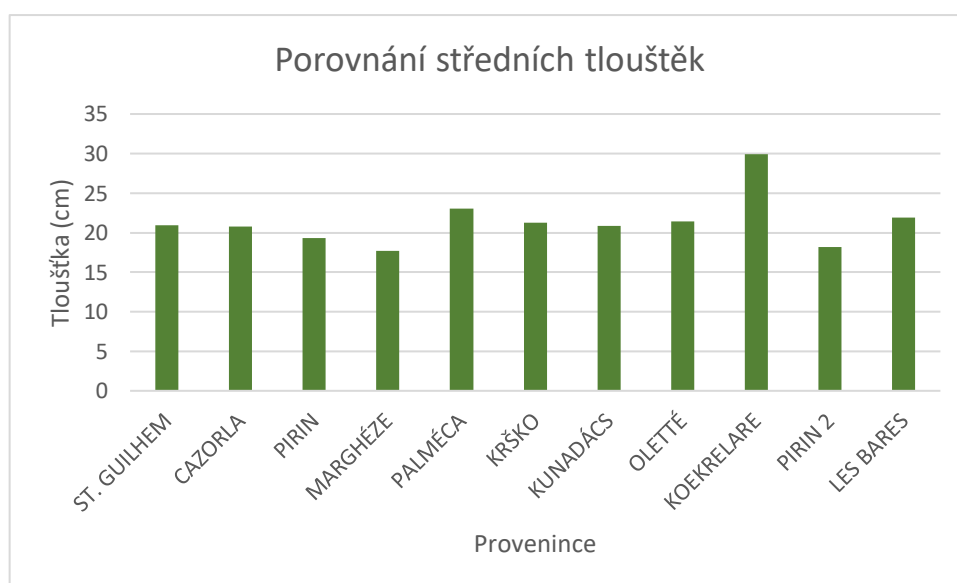
Průměrná zásoba na hektar pro všechny zkoumané plochy byla $576 \text{ m}^3/\text{ha}$. Z grafu 35 lze vyčíst, že nejvyšších hodnot dosahovaly provenience PIRIN, LES BARES a KUNADÁCS. Provenience PIRIN byla ovšem vysazena na dvou výzkumných plochách, kde na druhé s větší rozlohou, byla naměřena a spočtena téměř poloviční zásoba. Na ploše první, kde byla zásoba na hektar $845 \text{ m}^3/\text{ha}$ došlo k výrazně menší mortalitě, lze se tedy domnívat, že takto vysoká zásoba zde vznikla právě díky tomu, že na ploše bylo znatelně více jedinců. Porovnáme-li ostatní veličiny, tak výrazný rozdíl nepozorujeme. Střední tloušťka se liší o 2,29 cm a střední výška o 0,72 m, vyšší hodnota byla naměřena v obou případech na ploše menší, tedy PIRIN 1. Kde už je rozdíl výrazný, je právě výše zmíněná zásoba na hektar a také počet jedinců na hektar, kde na ploše PIRIN 1 bylo o 1077 stromů více než na PIRIN 2. Tento trend lze pozorovat i u ostatních ploch s vysokou zásobou, kde mortalita nebyla také natolik vysoká, tudíž na výzkumné ploše bylo pořád dost jedinců, díky čemuž zásoba na hektar převyšovala ostatní provenience. Na výzkumné ploše pro LES BARES byla mortalita 61 % a na ploše KUNADÁCS 67 %.

5.11.3 Porovnání středních výšek a středních tloušťek

Z grafu 36 lze vyčíst, že struktura středních výšek je poměrně homogenní, vyčnívá pouze provenience KOEKELARE, stejně tak jako v grafu středních tloušťek, díky čemuž dosáhla i největšího objemu středního kmene. Z hlediska středních výšek nejmenší hodnoty vykazovaly provenience ST. GUILHEM (17,67 m) a CAZORLA (17,37 m). Provenience LES BARES, KUNADÁCS a PIRIN 1 svými středními tloušťkami a výškami ostatní provenience nijak zvlášť nepřevyšovaly, tudíž lze tvrdit, že jejich vysoká zásoba na hektar se odvíjela především od vysokého počtu jedinců na výzkumné ploše.



Graf 36: Porovnání středních výšek jednotlivých proveniencí



Graf 37: Porovnání středních tloušťek jednotlivých proveniencí

6. Diskuze

6.1 Zhodnocení výsadby proveniencí

Přihlédneme-li k výsledkům, kterých bylo dosaženo v této studii, jeví se jako nejzdárnější výsadba s proveniencí LES BARES. Tato provenience ze západní Francie dosáhla vůbec nejlepších možných výsledků oproti ostatním proveniencím. Její zásoba na hektar byla 889 m^3 což je o 323 m^3 více než průměrná zásoba všech proveniencí. Mortalita zde byla také jedna z nejnižších (61 %), díky čemuž může být zásoba na hektar takto vysoká. Nižší mortalita byla zaznamenána pouze na ploše PIRIN 1, ovšem jedinci zastoupení na této ploše nedosahovali takových dimenzí. Provenience LES BARES totiž dosáhla objemu středního kmene $0,41 \text{ m}^3$, to je o $0,13 \text{ m}^3$ více než bylo naměřeno pro PIRIN 1. LES BARES má rovněž jednu z nejlepších hodnot kvality kmene, kdy její průměrná kvalita byla 1,96. Právě na této ploše bylo výrazně mnoho jedinců, jejichž kmen měl pravidelný průběh bez značných nerovností. Bylo zde zaznamenáno 39 % jedinců, jejichž kmen byl hodnocen číslem 1, tedy průběžný rovný kmen. Lépe hodnocený tvar kmene byl zaznamenán pouze pro provenienci PALNÉCA pocházející z francouzského ostrova Korsika. Jednalo se o hodnotu 1,87 se zastoupením 51 % kmenů hodnocených číslem 1. I u provenience PALNÉCA lze přepokládat, že v podmínkách našeho klimatu se jí daří, její zásoba na hektar byla 552 m^3 což je lehce pod průměrem všech výzkumných ploch. Objem středního kmene zde byl stanoven na $0,46 \text{ m}^3$ což je nepatrně větší než u LES BARES, nicméně mortalita na této ploše byla už značně vyšší a to o 17 %, z čehož lze usuzovat, že LES BARES naše klimatické podmínky zvládla lépe, protože zde nedocházelo k takovým ztrátám z hlediska přírodního výběru.

Další proveniencí, která na výzkumných plochách prosperovala byla KUNADÁCS ze Slovinska. Objem středního kmene dosáhl hodnoty $0,38 \text{ m}^3$, což je pouze o $0,03 \text{ m}^3$ méně než u výše zmíněné LES BARES. Mortalita na ploše pro KUNADÁCS byla o 7 % vyšší než pro LES BARES, takže i v tomto ohledu se tato provenience řadí mezi úspěšnější a nedocházelo zde k takovému úbytku jedinců. Nicméně kvalita kmene už byla poměrně horší než pro LES BARES. Průměrná hodnota kvality kmene byla 2,52. Vyskytovalo se zde poměrně hodně jedinců s křivým kmenem (hodnocených číslem 3), také dost dvojáků (hodnocených číslem 4) a také stromy mrtvé (hodnocené číslem 5). Toto je patrné na grafu číslo 24, kde právě tyto hodnoty, které

reprezentují nekvalitní průběh kmene, zabírají 45 %. Za úspěšnou lze považovat i výsadbu provenience KRŠKO, kde byla mortalita 65 % a zásoba na hektar 661 m^3 . Objem středního kmene byl $0,35 \text{ m}^3$. Průměrná kvalita kmene vycházela lépe než u provenience KUNADÁCS a to na 2,20.

Mohlo by se zdát, že i provenience PIRIN se řadí mezi úspěšnější se svou zásobou na hektar dosahující 845 m^3 , nicméně takové hodnoty dosáhla pouze na menší ploše (0,0195 ha), kde byla zaznamenána zároveň i nejmenší mortalita ze všech výzkumných ploch vůbec (52 %). Lze se domnívat, že právě díky tomu byla zásoba na hektar tak vysoká, jelikož objem středního kmene dosáhl hodnoty $0,29 \text{ m}^3$. Tato provenience byla zastoupená právě na dvou výzkumných plochách, kde na větší z nich (0,039 ha) už takto vysoké výsledky nebyly zaznamenány a zásoba na hektar vycházela na 467 m^3 , což je o 109 m^3 méně než průměrná zásoba na hektar.

Nejnižší hodnoty byly zjištěny u proveniencí ST. GUILHEM pocházející z jihu Francie a CAZORLA ze Španělska. U těchto proveniencí byla naměřena nejnížší střední výška (ST. GUILHEM: 17,67 m; CAZORLA 17,37 m) a rovněž i nejmenší zásoba na hektar (ST. GUILHEM: 315 m^3 ; CAZORLA 389 m^3) nižší zásoba na hektar, než pro CAZORLA byla neměřena pro provenienci KOEKELARE ovšem na této ploše byla velice vysoká úmrtnost jedinců.

Vůbec nejnížší hodnota střední tloušťky byla zaznamenána pro provenienci MARGHÉZE a to 17,68 cm. Tato provenience měla taktéž nejnížší objem středního kmene ($0,23 \text{ m}^3$). Ovšem výsledná zásoba na hektar byla o poznání vyšší než u ST. GUILHEM a CAZORLA, jelikož zde byla mortalita 63 %, to mohl být důvod pro to, že tato provenience měla $552 \text{ m}^3/\text{ha}$. Podobná hodnota zásoby na hektar byla zaznamenána pro provenienci OLETTÉ ($546 \text{ m}^3/\text{ha}$) ovšem zde byla mortalita o 10 % vyšší než u MARGHÉZE, nicméně růstové hodnoty na této ploše byly značně vyšší. Střední tloušťka byla 21,42 cm, střední výška 20,59 m a objem středního kmene $0,35 \text{ m}^3$, právě toto mohl být důvod, proč jsou na těchto dvou plochách podobné zásoby na hektar.

6.2 Porovnání výsledků výzkumů

V roce 2020 proběhl výzkum v arboretu Sofronka (Podrázský et al., 2020), kdy byly zkoumané provenience borovice černé (*Pinus nigra* Arn.) a borovice rumelské (*Pinus peuce*). Během hodnocení výsadby proveniencí borovice černé bylo dosaženo shodných výsledků, tedy že provenience LES BARES dosahuje nejlepších porostních výsledků. Bylo zde potvrzeno, že vysoká zásoba se odvíjí od hustoty zastoupení jedinců, tedy od výše mortality na výzkumné ploše. Čím více jedinců bylo na ploše, tím byla vyšší zásoba na hektar. To se projevilo i u proveniencí borovice rumelské (Podrázský et al., 2020).

V téže roce probíhal výzkum v Arboretu Fakulty lesnické a dřevařské. Toto arboretum se nachází nedaleko Kostelce nad Černými lesy v nadmořské výšce 300 až 345 m n. m. Průměrná roční teplota je zde zaznamenána na 8,6 °C a roční úhrn srážek na 660 mm. Výzkum byl zaměřen na 7 druhů borovic. Domácí borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) byla porovnávána s nepůvodními druhy borovic, kterými byly borovice těžká (*Pinus ponderosa* Douglas ex C.Lawson), borovice Jeffreyova (*Pinus jeffreyi* Balf.), borovice černá (*Pinus nigra* J.F.Arnold), borovice vejmutovka (*Pinus strobus* L.), borovice rumelská (*Pinus peuce* Griseb.) a borovice pokroucená (*Pinus contorta* Douglas). Co se produkce týče, tak nejvyšších hodnot zde dosáhla borovice těžká (*Pinus ponderosa*). Borovice vejmutovka dosahovala vysokých individuálních hodnot, ale jednalo se pouze o jednotlivé stromy, navíc zdejší výsadba této borovice, byla značně ovlivněna napadením rzí vejmutovkovou a došlo k decimaci výzkumných porostů. Produkci borovice černá lehce zaostávala za borovicí lesní, jednalo se však o minimální rozdíl. Rovněž produkce borovice černé na zdejších výzkumných plochách předstihovala produkci borovice rumelské, což se liší od výsledků získaných v arboretu Sofronka (Podrázský et al., 2020).

Souběžně byl uskutečněn i výzkum na lokalitě Arboretum-Sokolov (LČR s. p.), které se nachází na výsypce lomového pole. Nejvyšší nadmořská výška je zde 443,8 m n. m. Průměrná roční teplota byla zaznamenána na stanici ČHMÚ 4 km jihozápadně od Sokolova, jedná se o teplotu 7,3 °C a průměrný úhrn srážek je 611 mm/rok. Bylo zde sledováno 6 druhů borovic. Borovice černá spolu s borovicí lesní vykazovaly nejvyšší produkční parametry, ačkoliv borovice černá za borovicí lesní značně zaostávala. Nicméně ostatní sledované druhy borovic byly za těmito dvěma výrazně pozadu (Podrázský et al., 2020).

Vezmeme-li v úvahu výše zmíněné studie, ve výsledku vychází, že borovice černá na výzkumných plochách většinou svojí produkcí zaostává za borovicí lesní, ovšem vykazuje lepší hodnoty než ostatní nepůvodní druhy borovic (Podrázský et al., 2020). Borovice černá dokáže růst na různorodých půdách a je přizpůsobivá pro růst na chudých stanovištích (Arbez a Miller, 1971). Díky tomu jí lze využít pro kolonizaci již dříve degradovaných půd, kde svým kořenovým systémem dokáže zpevňovat tyto půdy (Burylo et al., 2009). Avšak tento druh borovice vykazuje vnitrodruhovou různorodost, kdy různé provenience mají odlišné nároky (Retana et al., 2002). Proto je potřeba dendroekologických studií, které zkoumají vliv prostředí na jednotlivé provenience, jak u borovice černé, tak u ostatních druhů tohoto rodu je pro výslednou produkci důležité zvolit vhodnou provenienci a správný pěstební postup (Podrázský et al., 2020).

7. Závěr

- Nejvyšší porostní hodnoty byly naměřeny pro provenienci LES BARES. Tato provenience měla jako celek jednu z nejvyšších hustot zastoupení na výzkumné ploše, nedošlo zde tedy k příliš vysoké mortalitě. Právě díky tomu dosáhla vysoké zásoby na hektar. Rovněž zde bylo zaznamenáno značné množství jedinců s průběžným kmenem a průměrná kvalita kmene byla jedna z nejvyšších.
- Nejvyšších individuálních hodnot dosáhla provenience KOEKELARE, kde byly naměřeny nejvyšší výšky a tloušťky. Právě u této provenience byla zaznamenána nejvyšší střední výška, střední tloušťka a objem středního kmene. Ovšem byla zde příliš vysoká mortalita, a tedy i výrazně nízká hustota jedinců na ploše.
- Nejnížší porostní hodnoty byly zaznamenány u provenience ST. GUILHEM. Byla zde zaznamenána nejnížší zásoba na hektar a po provenienci KOEKELARE rovněž nejnížší hustota jedinců na výzkumné ploše. Také zde byla zaznamenána jedna z nejmenších středních výšek.
- Ze zmíněných studií vyplývá, že nejvíce se borovice černá hodí pro pěstování na extrémních stanovištích, kde by se nepěstovala za účelem produkce, nýbrž jako ochrana těchto půd před erozí. Borovice černá dokáže růst na široké škále půd a již bylo prokázáno, že právě dříve degradované půdy dokáže vylepšovat svým kořenovým systémem.
- Z výsledků je patrné, že hodnoty, kterých jednotlivé provenience vykazují, se značně liší. Právě to potvrzuje tezi, že chceme-li borovici černou v našich podmínkách pěstovat, je nutné zvolit vhodnou provenienci a správný pěstební postup, tímto směrem je záhodné pokračovat v následujících výzkumech a studiích.

8. Literatura

Alejano, R., Martínez, E., (1996): Distribución de *Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii* en las Sierras Béticas. *Ecologia* 10:231–241.

Alexandrov, A., (2000): Genetic conservation of conifers in Bulgaria. *J. Balkan Ecol.* 3, 5-10.

Alma, P., Matteo, G., Carlo, U., (2014): Structural attributes tree-ring growth and climate sensitivity of *Pinus nigra* Arn. at high altitude: common patterns of possible treeline shift in central Apennines (Italy). *Dendrochronologia* 32, 210-219. Dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1125786514000502>

Amodei, T., Guibal, F., Fady, B., (2013): Relationship between climate and radial growth in black pine (*Pinus nigra* Arnold ssp. *salzmanii* (Dunal) Franco) from the south of France. *Ann. For. Sci.* 70, 41-47. Dostupné z <https://link.springer.com/article/10.1007/s13595-012-0237-9>

Amorini, E., (1983): Prove di diradamento nella pineta di pino nero di Monte della Modina sull'Appennino Toscano. *Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura*, 14: 101-148.

Araque Jiménez, E., (2007): Conducciones fluviales de madera desde las Sierras de segura y Cazorla (1849–1949). *Cuad Geogr* 40: 81–105.

Arbez, M., Miller, C., (1971): Contribution a' l'e'tude de la variabilite' ge'ographique de *Pinus nigra* Arn. *Ann. Sci. For.* 28, 23-49.

Axelrod, D. I., (1986): Cenozoic history of some western American pines. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 73, 565–641.

Barbéro, M., Lasiel, R., Quezél, P., Richardson, D. M., Romane, F., (1998): Pine of the other mediterranean bassin. In Richardson D. M. (Ed.) Ecological and biography of Pinus, Cambridge university Press, Cambridge.

Bartoš J., Kacálek D. (2011): Douglaska tisolistá – dřevina vhodná k zalesňování bývalých zemědělských půd. Zprávy lesnického výzkumu, 56 (Special Issue): 6–13. Dostupné z <https://www.vulhm.cz/files/uploads/2019/01/87.pdf>

Bassman J.H., (1989): Influence of two site preparation treatments on ecophysiology of planted *Picea engelmannii* × *glauca* seedlings. Can. J. For. Res 19, 1359-1370.

Beran, F., Šindelář, J. (1996): Další vývoj proveniencí borovice černé (*Pinus nigra* /Arnold/) na výzkumné ploše 41 – Roblín (přírodní lesní oblast 8b – Český kras). Lesnictví – Forestry, 42 (11): 500–509.

Béland, M., Agestame, E., Eko, P.M., Gemmel, P., Nilsson, U., (1999): Scarification and Seedfall affects Natural Regeneration of Scots Pine Under Two Shelterwood Densities and a Clear-cut in Southern Sweden. Scand. J. For. Res. 15, 247-255. Dostupné z <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/028275800750015064>

Bogunic, F., Muratovic, E., Ballian, D., Siljakyakovlev, S., Brown, S., (2007): Genome size stability among five subspecies of *Pinus nigra* Arnold s.l. Environmental and Experimental Botany 59, 354-3. Dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847206000487>

Brusinský R., Velebil J. (2011): Borovice v České republice. Výsledky dlouhodobého hodnocení rodu *Pinus* L. v kultuře v České republice. VÚKOZ, Průhonice: 180. (in Czech)

Brusinský R. (2004): Komentovaný světový klíč rodu *Pinus* L. – Závěrečná zpráva „Výzkum a hodnocení genofondu dřevin z aspektu sadovnického použití“, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Průhonice. (in Czech).

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): 31–42. Dostupné z <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-009-9920-5>

Cantiani, P., Piovosì, M. (2009): La gestione dei rimboschimenti di pino nero appenninici. I diradamenti nella strategia di rinaturalizzazione. *Annali CRA-SEL*, 35:35–42. Dostupné z <https://core.ac.uk/download/pdf/230658871.pdf>

Cantiani, P., Plutino, M., Amorini, E. (2010): Effects of silvicultural treatment on the stability of black pine plantations. *Annals of Silvicultural Research* 36: 49–58.

Cerber, G. T., Chaloner, W. G., (1990): Environmental influence on cambial activity. In Iqbal, M., (Ed), *The Vascular Cambium*. Research Studies Press Ltd. Taunton/John Wiley, Chichester, UK, pp. 159-189.

Coates, K. D., Burton, P. J., (1997): A gap-based approach for development of silvicultural systems to address ecosystem management objectives. *For. Ecol. Manage.* 99, 337–354.
Dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112797001138>

Cseresnyés, I., Csontos, P., Bózsing, E. (2006): Stand age influence on litter mass of *Pinus nigra* plantations on dolomite hills in Hungary. – *Can. J. Bot.* 84(3): 363–370.

Csontos, P., Horánszky, A., Kalapos, T., Lőkös, L. (1996): Seed bank of *Pinus nigra* plantations in dolomite rock grassland habitats, and its implications for restoring of the grassland vegetation. – *Annls hist.-nat. Mus. natn. hung.* 88: 69–78. Dostupné z http://publication.nhmus.hu/pdf/annHNHM/Annals_HNHM_1996_Vol_88_69.pdf

Creus, J., (1988): A propósito de los árboles más viejos de la Península, los *Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii* (Dunal) Franco de Puertollano-Cabañas, sierra de Cazorla, Jaén. *Montes* 54:68–76.

Del Cerro Barja, A., Lucas Borja, M. E., Navarro López, R., Andrés Abellán, M., García Morote, F.A., López Serrano, F.R., (2005): La regeneración de los montes de *Pinus nigra* Arn., en la Serranía de Cuenca: Un problema para la ordenación sostenible. IV Congreso Forestal Español, Zaragoza, 26-30 septiembre pp, 31.

Del Cerro Barja, A., Lucas Borja, M.E., Navarro López, R., Andrés Abellán, M., García Morote, F.A., López Serrano, F.R., (2006): Factores que influyen en la difícil regeneración de los montes de *Pinus nigra* Arn., en la Serranía de Cuenca. Montes N° 84, 33-39.

de Rigo, D., Bosco, C., San-Miguel-Ayanz, J., Houston Durrant, T., Barredo, J. I., Strona, G., Caudullo, G., Di Leo, M., Boca, R., (2016): Forest resources in Europe: an integrated perspective on ecosystem services, disturbances 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. e015b50+

Dobrinov, I., Doykov, G., Gagov, V., (1982): Forest Genetic Pool in Bulgaria. Zemizdat, Sofia, Bulgaria.

Domínguez-Delmás, M., Alejano-Monge, R., Wazny, T., García González, I., (2013): Radial growth variations of black pine along an elevation gradient in the Cazorla Mountains (South of Spain) and their relevance for historical and environmental studies. Eur J Forest Res 132:635–652.

Dostupné z <https://link.springer.com/article/10.1007/s10342-013-0700-7>

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.

Farjon, A., (2013): *Pinus nigra*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T42386A2976817.

Fernández – Golfín, J. I., Díez, M. R., Baonza, M. V., Gutiérrez, A., Hermoso, E., Conde, M., Vanden, V., (2001): Caracterización de la calidad y propiedades de la madera de Pino laricio (*Pinus nigra* Arn. ssp. *salzmannii*). Invest Agrar Sist Recur For 10(2):311–331. Dostupné z https://www.researchgate.net/profile/Juan-Fdez-Golfin/publication/233884191_Caracterizacion_de_la_calidad_y_las_propiedades_de_la_madera_de_Pino_Laricio_Pinus_nigra_Arn_Salzmannii/links/0fcfd507dab710b44000000/Caracterizacion-de-la-calidad-y-las-propiedades-de-la-madera-de-Pino-Laricio-Pinus-nigra-Arn-Salzmannii.pdf

Fleming, R.L., Black, T.A., Adams, R.S., Stathers, R.J., (1998): Silvicultural treatments, microclimatic conditions and seedlings response in southern interior clearcuts. Can. Jour. Soil Scien. 78(1), 115-126.
Dostupné z <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.4141/S97-042>

Flint, L.E., Childs, S.W., (1987): Effect of shading, mulching and vegetation control on Douglas-fir seedlings growth and soil water supply. For. Ecol. Manage. 18, 189–203.

Gagen, M., McCarroll, D., Edouard, J. L. (2004): Latewood width, maximum density, and stable carbon isotope ratios of pine as climate indicators in a dry subalpine environment, French Alps. – Arctic, Antarctic, Alpine Res. 36(2): 166–171.
Dostupné z [https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1657/1523-0430\(2004\)036\[0166:LWMDAS\]2.0.CO;2](https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1657/1523-0430(2004)036[0166:LWMDAS]2.0.CO;2)

García, E., (1957): El tratamiento del pino laricio en la serranía de Cuenca. Montes nº 75, 165-167.

Giovanelli, G., Roig, A., Spanu, I., Venderamin, G. G., Fady, B., (2017): A new set of nuclear microsatellites for an ecologically and economically conifer: the European Black Pine (*Pinus nigra* Arn.). Plant. Mol. Biol. Rep. 35., 379-388.
Dostupné z <https://link.springer.com/article/10.1007/s11105-017-1029-z>

Gonzalez, J. M., Arrufat, D., Meya, D., (1997): Modelos de gestión selvícola para masas irregulares de pino laricio en el Prepirineo Catalan, Revista Forestal Española 16, 14–20.

González-Martínez, S. C., Bravo, F., (2001): Density and population structure of the natural regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the High Ebro Basin (northern Spain). Ann. For. Scien. 58, 277-288. Dostupné z <https://www.afs-journal.org/articles/forest/abs/2001/03/gonzales/gonzales.html>

Guardia, G., (1988): Efectos de los fuegos en árboles y arbustos de los montes conquenses. Diputación Provincial de Cuenca. Castilla La Mancha.

Gracia, C. A. et al., (2000): Inventari Ecológic i Forestal de Catalunya. Regió Forestal IV. - Edicions CREA.

Granier, A., Reichstein, M., Breda, N., Janssens, I. A., Falge, E., Ciais, P., Grünwald, T., Aubinet, M., Berbigier, P., Bernhofer, C., Buchmann, N., Facini, O., Grassi, G., Heinesch, B., Ilvesniemi, H., Keronen, P., Knohl, A., Kostner, B., Lagergren, F., Lindroth, A., Longdoz, B., Loustau, D., Mateus, J., Montagnani, L., Nys, C., Moors, E., Papale, D., Peiffer, M., Pilegaard, K., Pita, G., Pumpanen, J., Rambal, S., Rebmann, C., Rodrigues, A., Seufert, G., Tenhunen, J., Vesala, I., Wang, Q. (2007): Evidence for soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003. – Agric. Forest Meteorol. 143: 123–145.
Dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192306003911>

Hardin, J. A., Suazo, A., (2012): New Pest Response Guidelines. Dendrolimus Pine Moths. United States Department of Agriculture, Animal and Plant Health Inspection Service, Plant Protection and Quarantine. 200 pp.

Häussera, M., Szymczaka, S., Garelb, E., Santonib, S., Huneaub, F., Bräuninga, A., (2019): Growth variability of two native pine species on Corsica as a function of elevation. Dendrochronologia 54 (2019) 49-55.
Dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1125786518301541>

Hereş, A.M., Martínez-Vilalta, J., López, B.C., (2012): Growth patterns in relation to drought-induced mortality at two Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) sites in NE Iberian Peninsula. *Trees*, 26: 621-630.

Dostupné z <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-011-0628-9>

Igmándy, Z. and Pagony, H. (1988): A fekete fenyő pusztulását okozó diplodiás-hajtásbetegség fellépése hazánkban. – *Növényvédelem* 24: 307–308.

Isajev, V., Fady, B., Semerci, H., Andonovski V., (2004): EUFORGEN Technical Guidelines for Genetic Conservation and Use of European Black Pine (*Pinus nigra*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 6 p.

Dostupné z <https://cgspace.cgiar.org/items/9a086395-196e-484f-86b6-67dbfb30e766>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Climatic change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability. Report of Working Group II for the fourth assessment report of the IPCC, Summary for Policy Makers (2001).

Dostupné z https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGII_TAR_full_report-2.pdf

Jageliska, A., Cwalina, M., Prus-Glowacki, W., (2007): Genetic diversity of black pine's stands (*Pinus nigra* Arn.). *SYLWAN* 151, 23-31.

Kaňák, J., (2016): Arboretum Sofronka.

Karadžić, D., (1987): Efikasnost nekih fungicida u suzbijanju gljive *Dothistroma pini* Hulbary u kulturama crnog bora, *Zaštita bilja* 179, vol. 38(1), Beograd (15-31).

Karadžić, D., (1996): Mogućnost suzbijanja patogene gljive *Mycosphaerella pini* u kulturama crnog bora, *Biljni lekar* 3, Beograd (258-262).

Karadžić, D., Knežević, M., Mihajlović, L., (1990): Uzroci sušenja crnog bora (*Pinus nigra* Arn.) u kulturama na Zlatiboru sa predlogom mera zaštite, *Zaštita bilja* 192, vol. 41(2), Beograd (191-200).

Karadžić, D., Milijašević, T., (2008): The most important parasitic and saprophytic fungi in austrian pine and scots pine plantations in serbia. Bulletin of the Faculty of Forestry 97: 147-170. Dostupné z <https://doiserbia.nb.rs/img/doi/0353-4537/2008/0353-45370897147K.pdf>

Karadžić, D., Stojadinović, B., (1988): Prilog poznavanju gljive *Sphaeropsis sapinea* Dyko et Sutton sa posebnim osvrtom na životni ciklus, Šumarstvo 5-6, SITŠIPDS, Beograd (17-27).

Karadžić, D., Zarubica, B., Milijašević, T., (1995): Mogućnosti suzbijanja patogene gljive *Sphaeropsis sapinea* u parkovima Beograda, Biljni lekar 6, Beograd (612-615).
Kerr, G., (2000): Natural regeneration of corsican pine (*pinus nigra* subsp. *laricio*) in Great Britain. Forestry 73(5), 479–487.

Klepzig, K. D., Raffa, K. F., Smalley, E. B., (1991): Association of an insect-fungal complex with red pine decline in Wisconsin. For. Sci. 37: 1119-1139.

Koltay, A., (2000): A magyarországi feketefenyő hajtáspusztulás történeti áttekintése. Erdészeti kutatások, 90, 247–254.

Koltay, A., Szakács, I., Horváth, A., (2013): Tömeges fenyőpusztulás a Keszthelyi-hegységben. Erdészeti lapok, 5, 145–147.

Křivánek, M., (2006): *Pinus nigra* Arnold, 1785. In: Mlíkovský, J., Stýblo, P. (eds.): Nepůvodní druhy fauny a flóry České republiky. Praha, ČSOP: 142–143.

Leśniak, A., (1976): Certain trophic and intrapopulation conditions of the pine moth (*Dendrolimus pini* L.) outbreaks. Ekologia Polska, 24(4):565-576.

Linares, J. C., Camarero, J. J., Carreira, J. A. (2009): Interacting effects of climate and forestcover changes on mortality and growth of the southernmost European fir forests. – Glob. Ecol. Biogeogr. 18: 485–497. Dostupné z <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1466-8238.2009.00465.x>

Lucic, A., Mladenovic-Drinic, S., Stavretovic, N., Isajev, V., Lavandinovic, V., Rakonjac, L., et al., (2010): Genetic diversity of Austrian pine (*Pinus nigra* ARNOLD) populations in Siberia revealed by RAPD. Arch. Biol. Sci. 62, 329-336.

Dostupné z

<https://rik.mrizp.rs/bitstream/handle/123456789/297/295.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Martin-Benito, D., Cherubini, P., del Rio, M., Canellas, I., (2008): Growth response to climate and drought in *Pinus nigra* Arn. trees of different crown classes. Trees (Berl.) 22 (3), 363-373. Dostupné z <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-007-0191-6>

Martin-Benito, D., Hans B., Isabel, C., (2013): Influence of drought on tree rings and tracheid features of *Pinus nigra* and *Pinus sylvestris* in mesic Mediterranean forest. Eur. J. For. Res. 132, 33-45. Dostupné z <https://link.springer.com/article/10.1007/s10342-012-0652-3>

Mayer, H., Aksoy, H. (1998): Türkiye Ormanları, Orman Bakanlığı Yayın no:038, Batı Karadeniz Ormançılık Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayın no. 2, Abant izzet Baysal Üniversitesi Basımevi, Bolu.

Mátyás, C., (1996): Climatic adaptation of trees: rediscovering provance tests. Euphytica 92, 45-54.

Mergl, J., a kolektiv (1984): Lesnická botanika. 130-131.

Miljašević, T., (1994): Sphaeropsis sapinea (Fr.) Dyko a Sutton – patogen *Pinus* vrsta u Jugoslaviji, monografija „Zaštita bilja danas i sutra“ (ur. Šestović M., Nešković K.N., Perić I.), Beograd, 637-652.

Millar, C. I., (1998): Early evolution of pines. In: Richardson, D.M. (Ed.), Ecology and Biogeography of *Pinus*. Cambridge University Press, Cambridge, MA, pp. 69–91.

Molet, T., (2012): CPHST Pest Datasheet for *Dendrolimus pini*. Dostupné z: <https://download.ceris.purdue.edu/file/3031>

Mosandl, R., Kleinert, A., (1998): Development of oaks (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) emerged from bird-dispersed seeds under old-growth pine (*Pinus silvestris* L.) stands. *For. Ecol. Manag.* 106, 35–44.

Dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112797002375>

Móricz, N., Garamszegi, B., Rasztovits, E., Bidló, A., Horváth, A., Jagicza, A., Illés, G., Vekerdy, Z., Somogyi, Z., Gálos, B., (2018): Recent Drought-Induced Vitality Decline of Black Pine (*Pinus nigra* Arn.) in South-West Hungary—Is This Drought-Resistant Species under Threat by Climate Change? *Forests* 2018, 9, 414.

Dostupné z <https://www.mdpi.com/1999-4907/9/7/414>

Naydenov, K. D., Tremblay, F. M., Fenton, N. J., Alexandrov, A., (2006): Structure of *Pinus nigra* Arn. populations in Bulgaria revealed by chloroplast microsatellites and terpenes analysis: Provenance tests. *Biochemical Systematics and Ecology* 34 562-574.

Dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305197806000494>

Oberhuber, W., Stumbock, M., Kofler, W., (1998): Climate-tree-growth relationships of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) exposed to soil dryness. *Trees* 13, 19-27. Dostupné z

<https://link.springer.com/article/10.1007/PL00009734>

Örlander, G., (1987): Effects of site preparation on the development of planted seedlings in northern Sweden. IUFRO SI: 05–12 Symposium. Lapland, Finland, pp. 1-7.

Dostupné z <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/521196>

Page, L.M., Cameron, A.D., Clarke, G.C., (2001): Influence of overstorey basal area on density and growth of advance regeneration of Sitka spruce in variably thinned stands. *For. Ecol. Manage.* 151, 25-35.

Dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112700006939>

Pausas, J. G., Llovet, J., Rodrigo, A., Vallejo, R., (2008): Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? – a review. *Int. J. Wildland Fire* 17, 713.

Podrázský, V., Vacek, Z., Novotný, S., Kaňák, J., (2020): Zhodnocení pokusných výsadb borovice černé v podmínkách ČR. Česká lesnická společnost, Nové poznatky ve výzkumu introdukovaných dřevin. 39-44.

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. J. For. Sci., 66: 197–207.

Dostupné z https://www.researchgate.net/profile/Josef-Gallo/publication/341782334_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/links/5ed652e792851c9c5e727445/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.pdf

Poland, T. M., Borden, J. H., (1994): Attack dynamics of *Ips pini* (Say) and *Pityogenes knechteli* (Swaine) (Coleoptera: Scolytidae) in windthrown lodgepole pine trees. J. Appl. Entomol. 117: 434 - 443.

Poleno Z., Vacek S., Podrázský V., Remeš J., Štefančík I., Mikeska M., Kobliha J., Kupka I., Malík V., Turčáni M., Dvořák J., Zatloukal V., Bílek L., Baláš M., Simon J. (2009): Pěstování lesů III. Praktické postupy pěstování lesů. [Silviculture III. Practical methods in silviculture]. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce: 952. (in Czech)

Portoghesi, L., Consalvo, M., Angelini, A., Ferrari, B., Barbati, A., Castaldi, C., Corona, P., (2013): Multifunctional management of mountain reforestations: Thoughts and perspectives from a case study in central Italy. Ital. J. For. Mt. Environ. 68, 305–315.

Dostupné z https://dspace.unitus.it/bitstream/2067/2586/1/IFM_Monte%20Genzana%20reforestations.pdf

Price R.A., Liston A., Strauss S.H. (1998): Phylogeny and systematics of Pinus. In: Richardson D.M. (ed): Ecology and Biogeography of Pinus. NY, USA, Cambridge University Press: 49–68.

Quézel, P., Barbéro, M., (1988): Signification phytoécologique et phytosociologique des peuplements naturels de Pin de Salzmann en France. Ecol Mediterr 14:41–63.
Dostupné z https://www.persee.fr/doc/ecmed_0153-8756_1988_num_14_1_1206

Quezel, P., Medail, F., (2003): Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Collection Environnement. Elsevier.

Retana, J., Espelta, J. M., Habrouk, A., Ordoñez, J. L., de Sola-Morales, F., (2002): Regeneration patterns of three Mediterranean pines and forest changes after a large wildfire in northeastern Spain. - Ecoscience 9: 89-97.
Dostupné z <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/11956860.2002.11682694>

Richardson D.M. (1998): Pine ecology and biogeography – An introduction. In: Richardson D.M. (ed.): Ecology and Biogeography of Pinus. NY, USA, Cambridge University Press: 3-46.

Robins, G. L., Reid, M. L., (1997): Effects of density on the reproductive success of pine engravers: is aggregation in dead trees beneficial? Ecol. Entomol. 22: 329–334.

Rubio Gimeno F., (1963): Ordenación y selvicultura en los montes de pino laricio. Su financiación. II asamblea técnica forestal, nº 46. Dirección General de Montes, Madrid.
Dostupné z <https://resjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2311.1997.00068.x>

Ruiz de la Torre, J., (1971): Árboles y arbustos de la España peninsular, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Madrid.

Saatcioglu, F. (1976): Silvikültürün Biyolojik Esasları ve Prensipleri. Ýst. Üni. Orman Fak. Yayın Nu:2187/222.

Sabaté, S., Gracia, C. A., Sánchez, A. (2002): Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. – *Forest Ecol. Manag.* 162 (1): 23-37.
Dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112702000488>

Sánchez-Salguero, R., Camarero, J. J., Dobbertin, M., Fernández-Cancio, Á., Vilà-Cabrera, A., Manzanedo, R. D., Zavala, M. A., Navarro-Cerrillo, R. M., (2013): Contrasting vulnerability and resilience to drought-induced decline of densely planted vs. Natural rear-edge *Pinus nigra* forests. *For. Ecol. Manag.* 310, 956–967.
Dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112713006646>

Seho, L., Kohnle, U., Albrecht, A., Lenk, E., (2010): Growth analyses of four provenances of European Black Pine (*Pinus nigra*) growing on dry sites in southwest Germany (Baden-Württemberg). *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 181, 104-116.
Seidel H., Schunk C., Matiu M., Menzel A. (2016): Diverging drought resistance of scots pine provenances revealed by infrared thermography. *Frontiers in plant science*, 7: 1247. Dostupné z <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2016.01247/full>

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.
Dostupné z https://www.jeb.co.in/journal_issues/200701_jan07/paper_13.pdf

Skrzecz, I., Ślusarski, S., Tkaczyk, M., (2020): Integration of science and practice for *Dendrolimus pini* (L.) management-a review with special reference to Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 455:117697.
Dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112719315993>

Specht, P. L., Ashton, D.H., Clifford, H. T., Olsvig-Whittaker, L., Robertson, D., Scarlett, N., Atkins, L., Dixon, K., Hobbs, R. J., Hopkins, A. J. M., Lamont, B. B., Struthers, R., Scheid, G. A., Zammit, C. A., Zedler, P. H., Gajardo, R. H., Montenegro, G., Amandier, L., Martinex, C., Floret, C., Romane, F., Trabaud, L., Arianoutsou, M.,

Kokkini, S., Orshan, G., Rabinovitz Vyn, A., Quezel, P., Catarino, F. M., Correia, A. I. V. D., Moll, E. J., Gracia, C. A., Merino J., (1988): Natural vegetation ecomorphological characters. In: Mediterranean type ecosystems: A data source book. (Ed: R.L. Specht.). Kluwer Academic Publishers. pp.14–62.

Spiecker H., Mielikäinen K., Köhl M., Skovsgaard J.P., (1996): Growth Trends in European Forests, Springer, Berlin.

Stolina M. et al. (1985): Ochrana lesa. Bratislava, Príroda: 480 (in Slovak).

Szymczak, S., Hetzer, T., Bräuning, A., Joachimski, M. M., Leuschner, H. H., Kuhlemann, J., (2014): Combining wood anatomy and stable isotope variations in 600-year-multiparameter climate reconstruction from Corsican black pine. *Quat. Sci. Rev.* 101, 146–158.

Dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277379114002856>

Šindelář J. (1979): První výsledky výzkumu proveniencí borovice černé v oblasti poškozené průmyslovými exhaláty. *Práce VÚLHM*, 54: 107–124. (in Czech).

Šercelj, A., (1996): The Origins and Development of Forests in Slovenia; Slovene Academy of Arts and Sciences: Ljubljana, Slovenia.

Tíscar Oliver P.A., (2004): Estructura, regeneración, y crecimiento de *Pinus nigra* en el área de reserva Navahondona-Guadahornillos (sierra de Cazorla, Jaén). Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

Tíscar Oliver, P.A., Linares, J.C. (2011): Structure and Regeneration Patterns of *Pinus nigra* subsp. *salzmannii* Natural Forests: A Basic Knowledge for Adaptive Management in a Changing Climate. *Forests* 2(4): 1013–1030.

Dostupné z <https://www.mdpi.com/1999-4907/2/4/1013>

Trájer, A., Bede-Fazekas, Á., Hammer, T., Padisák, J., (2015): Modelling the growth of young individuals of *Pinus nigra* on thin carbonate soils under climate change in Hungary, *Acta Botanica Hungarica* 57(3–4), pp. 419–442.

Dostupné z <https://real.mtak.hu/36985/1/034.57.2015.3-4.11.pdf>

Vacek, S., Moucha, P., Bílek, L., Mikeska, M., Remeš, J., Simon, J., Hynek, V., Šrůtka, P., Schwarz, O., Mánek, J., Baláš, M., Dort, M., Podrázský, V., Hejzman, M., Hejzmanová, P., Málková, J., Stonawski, J., Bednařík, J., Vacek, Z., Malík, K., Štícha, V., Bulušek, D., (2012): Péče o lesní ekosystémy v chráněných územích ČR. Ministerstvo životního prostředí České republiky, Prague

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: 1243–1266.
Dostupné z <https://link.springer.com/article/10.1007/s10342-021-01392-x>

Veress, M., (2010): Factors influencing solution in karren and on covered karst. – Hung. Geogr. Bull. 59(3): 289–306.
Dostupné z <https://ojs3.mtak.hu/index.php/hungeobull/article/view/3108/2357>

Vernet, J. L., Meter, A., Zéraïa, L., (2005): Premières datations de feux holocènes dans les monts de Saint-Guilhem-le-Désert (Hérault, France), contribution à l’histoire de la forêt relique de *Pinus nigra* Arnold ssp. *salzmanni* (Dun.) Franco. Géosciences 337:533–537.

Vidakovic, M., (1991): Conifers: Morphology and variation. Grafički Zavod Hrvatske, Zagreb, pp. 491-520.

Wang, X.-Q., Tank, D. C. & Sang, T. (2000): Phylogeny and divergence times in *Pinaceae*: evidence from three genomes. Molec. Biol. Evol. 17: 773–781.
Dostupné z <https://academic.oup.com/mbe/article/17/5/773/981059>

Willis, K., (1994): The vegetation history of the Balkans. Quat. Sci. Rev. 13, 769-788.
Dostupné z <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/027737919490104X>

Wullschleger, S. D., Tschaplinski, T. J., Norby, R. J. (2002): Plant water relations at elevated CO₂ – implications for water-limited environments. – *Plant Cell Environ.* 25(2): 319–331. Dostupné z <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1046/j.1365-3040.2002.00796.x>

Yurukov, S., (2003): *Dendrology*. University of Forestry Press Housen, Bulgarian, Sofia 212 pp.

Zavala, M. A., (2000): Constraints and trade-offs in Mediterranean plant communities: The case of Holm Oak-Aleppo Pine Forests, *Bot. Rev.* 66, 119–149.

Zlatanov, T., Velichkov, I., Lexer, M. J., Dubravac, T., (2010): Regeneration dynamics in aging black pine (*Pinus nigra* Arn.) plantations on the south slopes of the middle Balkan range in Bulgaria. *New For.* 40, 289–303.

Dostupné z <https://link.springer.com/article/10.1007/s11056-010-9200-5>

Zöttl, H. W., (1990): Remarks on the effects of nitrogen deposition to forest ecosystems, *Plant Soil* 128, 83-99.

Dostupné z <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00009399>