

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra pěstování lesů

**Radiální růst borovice lesní ve
vztahu ke klimatu a stanovištním
podmínkám**

Diplomová práce

Autor: Bc. Tereza Dudová

Vedoucí práce: doc. Ing. Lukáš Bílek, Ph.D.

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Tereza Dudová

Lesní inženýrství
Lesní inženýrství

Název práce

Radiální růst borovice lesní ve vztahu ke klimatu a stanovištním podmínkám

Název anglicky

Radial growth of Scots pine with respect to climate and site conditions

Cíle práce

Cílem práce je vyhodnotit radiální růst dospělých jedinců borovice lesní ve vztahu ke klimatickým podmínkám a charakteru stanoviště.

Metodika

Metodika:

- Získání detailního přehledu prostřednictvím publikovaných informací k danému tématu
- Založení sítě zkusných ploch ve vhodně zvoleném gradientu trofnosti stanovišť
- Popis porostní struktury na zvolených stanovištích
- Odebrání reprezentativního počtu vzorků pro přírůstové analýzy stromů
- Porovnání radiálního růstu borovice ve vztahu ke stanovišti a průběhu klimatických podmínek
- Formulování závěrů práce a doporučení pro vhodný management borových porostů na daných stanovištích

Doporučený rozsah práce

Minimálně 50 normovaných stran textu bez příloh

Klíčová slova

růst, klimatická změna, bonita, vitalita, přirozená borová stanoviště, stres

Doporučené zdroje informací

- Bílek L., Remeš J., Švec O., Vacek Z., Šticha V., Vacek S., Javůrek P. (2017): Ekologicky orientované pěstování borových porostů v podmínkách nižších až středních poloh. Jiloviště-Strnady. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. 48 p. ISBN 978-80-7417-149-9.
- Mikeska M., Vacek S., Prausová R., Simon J., Minx T., Podrázský V. et al. (2008): Typologické vymezení, struktura a management přirozených borů a borových doubrav v ČR. Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce. 447 s. ISBN 978-80-87154-20-5.
- Pretzsch H., del Río M., Ammer Ch., Avdagic A., Barbeito I., Bielak K., Brazaitė G., Coll L., Dirnberger G., Drössler L., Fabrika M., Forrester D.I., Godvod K., Heym M., Hurt V., Kurylyak V., Löff M., Lombardi F., Matović B., Mohren F., Motta R., den Ouden J., Pach M., Ponette Q., Schütze G., Schweig J., Skrzyszewski, J., Sramek V., Sterba H., Stojanović D., Svoboda M., Vanhellemonit M., Verheyen K., Wellhausen K., Zlatanov T., Bravo-Oviedo A. (2015): Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe. *European Journal of Forest Research* 134: 927–947.
- Vacek S., Vacek Z., Bílek L., Simon J., Remeš J., Hůnová I., Král J., Putalová T., Mikeska M. (2016): Structure, regeneration and growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands with respect to changing climate and environmental pollution. *Silva Fennica* 50(4) article id 1564. 21 p. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1564>.
- Vacek S., Vacek Z., Remeš J., Bílek L., Hůnová I., Bulušek D., Putalová T., Král J., Simon J. (2017): Sensitivity of unmanaged relict pine forest in the Czech Republic to climate change and air pollution. *Trees* 31(5): 1599-1617. DOI 10.1007/s00468-017-1572-0.
-

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Lukáš Bílek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra pěstování lesů

Elektronicky schváleno dne 5. 6. 2019

prof. Ing. Vítězslav Podrázský, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 02. 05. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Radiální růst borovice lesní ve vztahu ke klimatu a stanovištním podmínkám“ vypracovala samostatně pod vedením doc. Ing. Lukáše Bílka, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědoma, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 15. 6. 2020

.....

Poděkování

Děkuji Správě Chráněné krajinné oblasti Český Ráj a Ing. Jiřímu Joklovi za umožnění terénního měření a také za dobrý přístup k materiálům. Velmi děkuji doc. Ing. Lukáši Bílkovi, Ph.D. za jeho vstřícný přístup a rady při zhotovení této práce. Dále děkuji kolegům Ing. Jakobovi Brichtovi a Ing. Václavovi Šimůnkovi z Katedry pěstování lesů za rady a školení ohledně dendrochronologické analýzy a zpracování dat. V neposlední řadě děkuji mé rodině a blízkým, hlavně Aleně Dudové, Petrovi Dudovi a Vojtěchu Burianovi za celkovou podporu během studia.

Abstrakt

Pro ověření vlivu klimatických podmínek a stanoviště na radiální růst borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) byly v oblasti Českého Ráje na severočeské pískovcové plošině vybrány tři zkusné plochy o rozměrech 30 x 30 m. Zhodnoceny byly porostní charakteristiky, v oddenkové části kmenů borovic byly odebrány radiální vývrty, na kterých byl patrný přírůst od počátku růstu stromu. Do analýzy vstoupily dále klimatické charakteristiky za období 1961–2019 z 25 km vzdálené meteorologické stanice v Liberci. Pomocí softwaru DendroClim byly potvrzeny rozdíly v růstu borovice v závislosti na srážkách a teplotách. Na radiální přírůst borovice měly pozitivní vliv srážky v červnu a červenci. Vysoký průběh teplot ve vegetačním období negativně ovlivnil přírůst v následujícím roce. Pozitivně se projevoval rychlý nárůst teplot v předjaří, kdy je ale v půdě relativní dostatek vody ze zimních srážek. Průměrný radiální přírůst byl nejvyšší na živných stanovištích, klesal v gradientu podmínek kyselých stanovišť a nejnižší byl na stanovišti exponovaném.

Klíčová slova: klimatická změna, vitalita, soubor lesních typů, stres, CHKO Český ráj

Abstract

To verify the influence of climatic conditions and habitats on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris*), three experimental sites with the size of 30 x 30 m were selected on the North Bohemian sandstone plateau in the Český ráj area. The vegetation characteristics in the rhizome part of the pine trunks were evaluated, and radial boreholes were taken, on which an increase from the beginning of tree growth was evident. The analysis also included climatic characteristics for the period 1961–2019 from a meteorological station 25 km away in Liberec. Differences in pine growth were influenced by precipitation and temperature and confirmed using DendroClim software. Precipitation in June and July had a positive effect on the radial growth of pine trees. The high course of temperatures in the growing season negatively affected the growth in the following year. The rapid increase in temperatures in the early spring had a positive effect, when there is relatively enough water in the soil from winter precipitation. The average radial increase was highest in the nutrient habitats, decreased in the gradient of acidic habitat conditions and was lowest in the exposed habitat.

Key words: climate change, vitality, group of forest site types, stress, protected landscape area Český ráj

Obsah

1.	Seznam tabulek	10
2.	Seznam obrázků	10
3.	Seznam grafů	11
1	Úvod a cíle práce	13
2	Literární Rešerše	14
2.1	Borovice lesní – Systematika, morfologie, areál	14
2.1.1	Systematické zařazení dřeviny	14
2.1.2	Morfologie	15
2.1.3	Výskyt a přirozený areál rozšíření	18
2.2	Ekologické nároky borovice lesní	22
2.2.1	Půdní nároky	22
2.2.2	Klimatické nároky	25
2.2.3	Ekotypy borovice lesní	26
2.2.4	Konkurence a směsi dřevin v borových porostech	27
2.2.5	Přirozená obnova	28
2.3	Hospodářský význam borovice lesní	30
2.3.1	Význam ve světě	30
2.3.2	Význam v ČR	31
2.4	Pěstební charakteristiky borovice lesní	32
2.4.1	Hospodářské způsoby	32
2.4.2	Obnovní postupy	33
2.4.3	Růst a přírůst borovice lesní	35
2.4.4	Dendrochronologie, tloušťkový růst, letokruhy	36
2.5	Ohrožení a odolnost borových porostů	37
2.5.1	Ohrožení borovice lesní	38
2.6	Charakteristika zájmového území (CHKO Český ráj)	42

2.6.1	Přehled typů ZCHÚ v ČR se zvláštním zřetelem na CHKO	42
2.6.2	Chráněná krajinná oblast Český ráj	42
2.6.3	Klimatická charakteristika	43
2.6.4	Geologie území a půdní charakteristiky	44
2.6.5	Druhovú skladba lesů.....	45
2.6.6	Výzkumné lokality a jejich význam v rámci CHKO.....	46
3	Metodika	49
3.1	Výběr a založení zkusných ploch.....	49
3.2	Sběr dat v terénu.....	55
3.3	Zpracování dat.....	56
3.3.1	Datování letokruhů	56
3.3.2	Sběr a analýza klimatických dat	58
3.3.3	Vyhodnocení porostních charakteristik a stanovení přírůstů.....	59
4	Výsledky	60
4.1	Popis porostní struktury	60
4.2	Dendrometrické veličiny vzorkovaných borovic	63
4.2.1	Tloušťka.....	63
4.2.2	Výška	64
4.2.3	Věk.....	67
4.3	Vývoj radiálního přírůstu jedinců	68
4.4	Vliv klimatu na radiální růst borovic	70
4.5	Výsledek doplňkového šetření	75
4.5.1	Analýza borovic na hradě Valdštejn.....	75
5	Diskuse.....	77
6	Závěr	80
7	Seznam literatury a použitých zdrojů	81
7.1	Internetové zdroje.....	93

8	Seznam příloh	94
9	Přílohy.....	95

1. Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Přehled zkusných ploch</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka 2: Sumární porostní charakteristiky na zkusných plochách ZP 1–ZP 3.</i>	<i>63</i>
<i>Tabulka 3: Změřený počet letokruhů a datace prvního změřeného letokruhu.....</i>	<i>75</i>

2. Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Nákres borovice lesní (Pinus sylvestris), Il. Jiří Málek, pub. VLS ČR, s.p.</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 2 Přirozený areál borovice lesní, zdroj: http://www.euforgen.org/species/pinus-sylvestris/.....</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 3: Mapa rozšíření acidofilních borů v ČR (KOLBEK, CHYTRÝ 2010)</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek 4: Zastoupení borovice lesní v krajích podle NIL 2, členění NUTS 3, (ÚHUL 2016),..</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 5: Procentuální zastoupení borovice lesní v rámci jednotlivých okresů v ČR, (stav k roku 2006, VÚLHM HELEBRANDOVÁ a kol. 2020).</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 6: Zastoupení borů (lesní vegetační stupeň 0 – bory) v ČR.....</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 7: Zastoupení borů (lesní vegetační stupeň 0 – bory) v ČR.....</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 8: Schéma forem hospodářských způsobů a jejich cílových stavů.....</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 9: Vyznačená zkusná plocha č.1. Zdroj: Tereza Dudová, březen 2020, foceno dronem.</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 10: Náhled na zkusnou plochu č.1 z ptačí perspektivy. Zdroj: Tereza Dudová, březen 2020, foceno dronem.....</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 11: Vyznačená zkusná plocha č.2. Zdroj: Tereza Dudová, březen 2020, foceno dronem.</i>	<i>51</i>
<i>Obrázek 12: Náhled do borového porostu se smrkovým podrostem (ZP2). Zdroj: Tereza Dudová, březen 2020, foceno dronem.</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 13: Náhled na zkusnou plochu č.2 z ptačí perspektivy. Zdroj: Tereza Dudová, březen 2020, foceno dronem.....</i>	<i>52</i>
<i>Obrázek 14: Vyznačená zkusná plocha č.3. Zdroj: Tereza Dudová, březen 2020, foceno dronem.</i>	<i>53</i>
<i>Obrázek 15: Náhled na zkusnou plochu č.3 z ptačí perspektivy. Zdroj: Tereza Dudová, březen 2020, foceno dronem.....</i>	<i>54</i>

Obrázek 16: Vývrty jednotlivých borovic odebrané Presslerovým nebozezem a připravené po zbroušení na vlastní analýzu.	54
Obrázek 17: Označení stromu na zkusné ploše. Zdroj: Tereza Dudová.	55
Obrázek 18: Odběr vzorku Presslerovým nebozezem, zdroj Tereza Dudová.	56
Obrázek 19: (vlevo) Měření šířky letokruhů binolupou Olympus na měřicím stole LINTAB™(RINNTECH®). (vpravo) Pohled na vzorek stereolupou s nitkovým křížem. Zdroj: Tereza Dudová.	57
Obrázek 20: Křivka růstu v jednotlivých letech (osa y 0,01 mm).	57
Obrázek 21: Křivka růstu v jednotlivých letech pro vzorek č. 1 (osa y 0,01 mm).....	75
Obrázek 22: Křivka růstu v jednotlivých letech pro vzorek č. 2 (osa y 0,01 mm).....	76
Obrázek 23: Křivka růstu v jednotlivých letech pro vzorek č. 3 (osa y 0,01 mm).....	76

3. Seznam grafů

Graf 1: Zastoupení dřevin na zkusné ploše č.1 (ZP 1).....	60
Graf 2: Histogram tloušťek na zkusné ploše č.1 (ZP 1; 0,09 ha).....	61
Graf 3: Zastoupení dřevin na zkusné ploše č.2 (ZP 2).....	61
Graf 4:Histogram tloušťek na zkusné ploše č.2 (ZP 2;0,09 ha).....	61
Graf 5: Zastoupení dřevin na zkusné ploše č.3 (ZP 3).....	62
Graf 6: Histogram tloušťek na zkusné ploše č.3 (ZP 3; 0,09 ha).....	62
Graf 7: Průměrné výčetní tloušťky měřených borovic na založených zkusných plochách.	64
Graf 8: Průměrné výšky měřených borovic na založených zkusných plochách.	65
Graf 9: (vlevo) Průměrná výška nasazení koruny a (vpravo) průměrná výška koruny u měřených borovic na založených zkusných plochách.	65
Graf 10: Stadiální výškový grafikon měřených borovic na ZP 1.	66
Graf 11: Stadiální výškový grafikon měřených borovic na ZP 2.	66
Graf 12: Stadiální výškový grafikon měřených borovic na ZP 3.	67
Graf 13: Průměrný věk měřených borovic na založených zkusných plochách s odstraněnými extrémními hodnotami. Zleva ZP1, ZP2, ZP3.....	68
Graf 14: Souhrnné porovnání radiálních přírůstků na ZP 1–ZP 3.	68
Graf 15: Krabicový graf celkového průměrného přírůstu na jednotlivých zkusných plochách..	69
Graf 16 Krabicový graf celkového běžného přírůstu na jednotlivých zkusných plochách.....	70
Graf 17: Výstup ze softwaru DendroClim–Standardizované chronologie šířky letokruhů borovice lesní na založených výzkumných zkusných plochách ZP1, ZP2 a ZP3 s přidaným spline a hloubkou vzorku za období 1961–2019. Hodnoty pochází z detrendovaných dat, z toho vyplývá, že nemají růstový trend.	71

<i>Graf 18: Výstup ze softwaru DendroClim–Standardizované chronologie šířky letokruhů borovice lesní na založených výzkumných zkusných plochách ZP1, ZP2 a ZP3 s přidaným spline a hloubkou vzorku za období 2004–2019. Hodnoty pochází z detrendovaných dat, z toho vyplývá, že nemají růstový trend.</i>	<i>72</i>
<i>Graf 19: Hodnoty korelačních koeficientů regionální chronologie indexu letokruhů borovice lesní s měsíčními teplotami od května předchozího roku (velká písmena) do září běžného roku (malá písmena) pro období 1961–2019 na založených výzkumných zkusných plochách ZP1, ZP2 a ZP3. Statisticky významné hodnoty ($\alpha = 0,05$) jsou označeny v grafu kulatým symbolem.</i>	<i>73</i>
<i>Graf 20: Hodnoty korelačních koeficientů regionální chronologie indexu letokruhů borovice lesní s měsíčními srážkami od května předchozího roku (velká písmena) do září běžného roku (malá písmena) pro období 1961–2019 na založených výzkumných zkusných plochách ZP1, ZP2 a ZP3. Statisticky významné hodnoty ($\alpha = 0,05$) jsou označeny v grafu kulatým symbolem.</i>	<i>74</i>

1 Úvod a cíle práce

Borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) je po smrku naší druhou nejrozšířenější dřevinou. Její původní rozšíření, je spíše než na klimatu, závislé především na specifických půdních podmínkách přirozených borových stanovišť, případně na oglejených chudých stanovištích nižších a středních poloh. V důsledku plošného zavádění intenzivní lesní kultury byla borovice pěstována především tam, kde mohla být hospodářsky výhodnější alternativou ke smrku.

Po více než 200 let dokázal smrk velmi dobře naplňovat náročné zadání společnosti s odpovídajícím ekonomickým zhodnocením pro vlastníka lesa. V podmínkách probíhající změny klimatu se jeho vyšší zastoupení v následném hospodářském lese jeví na většině plochy ČR jako problematické. Jeho, byť částečné nahrazení jinými dřevinami, přesto není snadným rozhodnutím.

V současnosti také borové porosty trpí četnými projevy chřadnutí, nicméně pravdou zůstává, že borovice je naší původní dřevinou. A pokud budou v budoucnu zvýhodněny dřeviny dobře snášející vysokou míru radiace, stejně jako nevyrovnanost srážek, borovice lesní je dřevinou, kterou by se lesnická praxe měla znovu intenzivně zabývat i mimo oblasti typicky borových stanovišť.

Probíhající změna klimatu představuje pro lesy a lesnictví náročnou zkoušku, důsledkům vysokých teplot, nevyrovnanosti srážek a lokálním klimatickým excesům jsou vystaveny všechny dřeviny bez rozdílu. V podmínkách velmi rychlých změn přírodního prostředí je zapotřebí znovu ověřovat a zjišťovat vliv vnějších faktorů na růstovou odezvu dřevin.

Předkládaná diplomová práce má za cíl přispět k současnému poznání vyhodnocením radiálního přírůstu borovice lesní ve vztahu ke klimatickým faktorům a vlastnostem stanoviště na příkladu třech zkusných ploch založených v oblasti Českého ráje.

2 Literární Rešerše

2.1 Borovice lesní – Systematika, morfologie, areál

2.1.1 Systematické zařazení dřeviny

Říše: rostliny (*Planta*)

Podříše: cévnaté rostliny (*Tracheobionta*)

Oddělení: jehličnany (*Pinophyta*)

Třída: jehličnany (*Pinopsida*)

Řád: borovicotvaré (*Pinales*)

Čeleď: borovicovité (*Pinaceae*)

Rod: borovice (*Pinus*)

Druh: borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.)

Rod *Pinus* je v rámci rostlin nahosemenných (*Pinophyta*) nejrozsáhlejším rodem. Obsahuje přibližně sto druhů široce rozšířených na celé severní polokouli a v některých subtropických a tropických oblastech (ARNOLD a kol. 1999). Rozšířil se z původního kontinentu Laurasie před více než 150 miliony let, během období Křídy (KEELEY 2012). Rod je rozdělen na dva monofyletické podrody (subgenus *Pinus* a subgenus *Strobus*) (BUSINSKÝ 1999).

Podrod *Strobus* (syn. *Haploxyton*) zahrnuje tzv. „měkké borovice“. Jehlice jsou na brachyblastu převážně po pěti, ale často mají kolísavý počet, v rozmezí 1-5. Každá jehlice má jeden cévní svazek. Pochvy svazečků jehlic jsou opadavé. Semenné šupiny šišek jsou většinou v apofýze relativně zesílené a bez hrotu. Semena jsou bezkřídlá nebo s malým zbytkovým lemlem (limby), případně s křídlem. Přejechod mezi jarním a letním dřevem je pozvolný (BUSINSKÝ 1999).

Podrod *Pinus* (syn. *Diploxyton*), zahrnuje tzv. „tvrdé (smolnaté či žluté) borovice“. Jehlice jsou po 2-3 na brachyblastu. Jen vzácně jsou jehlice po 5-8 ve svazečku. Každá jehlice má dva cévní svazky. Pochvy svazečků jehlic jsou převážně vytrvalé. Semenné šupiny šišek bývají v apofýze zesílené, často s hrotem. Oddělitelné křídlo objímá semeno

„klíšťkovitě“, v křídle bývá očko. Přejchod mezi jarním a letním dřevem je náhlý. Podrod *Pinus* zahrnuje asi 2/3 druhů z celého rodu (BUSINSKÝ 1999).

Latinský název některých borovic *Pinus* (původně i jiných jehličnatých dřevin) pochází z názvu picnus (latinsky pix, picis = smůla, pryskyřice; v překladu tedy přibližně „pryskyřici poskytující“; nebo z keltského pin = kopec či hlava a z latinského názvu pinie). Anglicky pine, francouzsky pin (snad také keltského původu), německy Kiefer nebo Fihre, rusky sosna, polsky sosna (MUSIL 2003).

2.1.2 Morfologie

Jedná se o velmi odolnou, rychle rostoucí dvoujehličnatou eurasijskou borovici. Mezi stromovými dřevinami má nejrozsáhlejší areál s největší ekologickou amplitudou. Těžiště areálu je v severní Asii. Horní věk borovice je zpravidla 300 let (SVOBODA 1953). ÚRADNÍČEK a CHMELARĚ (1995) uvádějí, že na exponovaných místech, kde chybí konkurence, se může dožívat i 500 let.

Borovice je strom dosahující výšky 30 až 45 m a výčetní tloušťky až 1 m. Má průběžný válcovitý kmen (např. tzv. třeboňské borovice z Čech), nebo častěji krátký pokroucený, záhy se dělicí do několika hlavních kosterních větví (zejména borovice v tzv. reliktních borech na skalních hranách) (VĚTVIČKA 2003). Na extrémních stanovištích může být i podstatně nižší, někdy dokonce jen keřovitého vzrůstu (např. na hranici tundry a lesotundry) (SVOBODA 1953).

Koruna je v mládí kuželovitá, tvořená pravidelně přeslenitě vyrůstajícími větvemi, později několikapatrová. Při vrcholu je polokulovitá, zaoblená, nižší patra z převisajících větví jsou nepravidelně chomáčovitá (VĚTVIČKA 2003).

Jedním z nejvýznačnějších znaků borovice lesní je její kůra. V mládí je hladká, šedozelená, pak dostává nápadnou oranžovou až červenou barvu. Na větvích se tato červená kůra loupe v šupinách a odpadáva. Hlavní kmen v pozdějším věku ve spodní části rozpukává v hluboké brázdy a tmavne (RUSSEL, CUTLER 2003).

Jehlice vyrůstají ve svazečcích na zkrácených větývkách po dvou, opadávají po 2–3 letech, jsou 3–8 cm dlouhé, 1–1,8 cm široké, špičaté, rovné nebo mírně podél podélné osy stočené, nejčastěji šedozelené, ale místně (zvl. u kultivarů) jinak zbarvené, často

voskově ojíňené, na okraji jemně pilovité. Pupy jsou hnědočervené, až 12 mm dlouhé, mírně smolnaté nebo suché (VĚTVIČKA 2003).

Borovice má mohutný kořenový systém s kolmo jdoucím hlavním kůlovým kořenem (1,5–3 m hluboko, v suchých, písčitých půdách ještě hlouběji), z něhož vyrážejí kořeny postranní (HRABÁK, PORUBA 2005). Kořenový systém velmi dobře kotví nadzemní část v zemi. Borovice lesní netrpí vývraty a je proto považována za stabilizační dřevinu vhodnou pro porostní kostry a okraje lesa (MUSIL 2003). Charakter půdy však může ovlivnit tvar kořenů. K morfologickým odchylkám tvaru kořenového systému dochází zejména na silně zamokřených půdách nebo na mělkých půdách, kde dřevina roste na skále. Hlavní kořen pak krní a vyrážejí kořeny postranní, čímž se mění systém hlubokokořenný na mělkokořenný (HRABÁK, PORUBA 2005).

Jehličnany jsou stromy větrosnubné. Jejich květy obyčejně unikají pozornosti, protože celý proces opylování se odehrává v korunách stromů. Nekvetou každý rok, ale po určitých i několikaletých přestávkách. Je tomu tak proto, že strom na tvorbu květů a později semen vyčerpá všechny zásobní látky, které opět několik let shromažďuje (HRABÁK, PORUBA 2005).

Jako stará vývojová skupina, patří jehličnany mezi nahosemenné. Název je odvozen od stavby jejich samičího květu. Mají obdobně jako jehnědokvěté listnáče takzvané jednopohlavné květy: jedny květy produkují jen buňky samičí (vajíčka) a druhé buňky samčí (pyl). Jehličnany jsou většinou jednodomé – oba typy květů jsou na jednom stromě různě rozmístěny. Samičí květ mívá podobu šištice složené ze šupin zvaných plodolisty, na nichž volně leží vajíčko. Proto název nahosemenné na rozdíl od ostatních krytosemenných, kde vajíčko bývá v plodolistu uzavřeno. Pylová zrnka jsou u jehličnanů produkována v samčích květech – prašnicích (HRABÁK, PORUBA 2005). Pylová zrnka borovice jsou jednobuněčná. Mají dvouvrstevnou buněčnou stěnu. Vnější vrstva je nafouklá ve dva postranní vzdušné vaky, které umožňují unášení pylových zrněk v proudu vzduchu (STŘIHAVKOVÁ 1978).

Postavení květů na stromě je podřízeno způsobu opylování. Samičí květy jsou nahloučeny v koruně, zatímco samčí bývají na obvodu její dolní části. Je to účelné postavení, protože vzduch, který se u země prohřívá, stoupá mezi korunami vzhůru, strhává s sebou pyl a unáší ho k samičím květům (HRABÁK, PORUBA 2005).

Borovice kvete v květnu. Samčí šištice jsou vejčité, až 8 mm dlouhé, světle žluté. Samičí jsou po 1–2 na konci loňských letorostů, jsou vejčité kulovité, růžové (Obrázek 1).

Šišky vyrůstají na krátkých stopkách a při dozrání se stácejí dolů. Zprvu jsou zelené, později hnědnou, zralé jsou šedohnědé, kuželovité, u báze zaoblené, souměrné (aktimorfní). Velikost šišek je u populací z různých částí Evropy ustálená, ale navzájem velmi různá (délka 3,5 – 6 cm). Štítky plodních šupin jsou kosočtverečné, mírně jehlancovité, na osluněné straně poněkud klenutější. Pupek je malý a plochý, štítek variabilní – plochý, klenutý nebo vypuklý (VĚTVIČKA 2003).

Semena jsou asi 4 mm velká, nahnědlé křídlo je 10–20 mm dlouhé. Třetím rokem se matně šedé šišky otevírají a zralá semena se uvolňují (VĚTVIČKA 2003). Před uvolněním leží volně na břišní straně zdřevnatělé šupiny. Za větrného počasí semena vypadávají z rozevřených šišek a vzdalují se šroubovitým letem daleko od mateřské rostliny. Šroubovitě otáčení během letu, podmíněné nesouměrností blanitého křídla, umožňuje mělké zaseknutí semen do příhodného podkladu (STŘIHAVKOVÁ 1978).

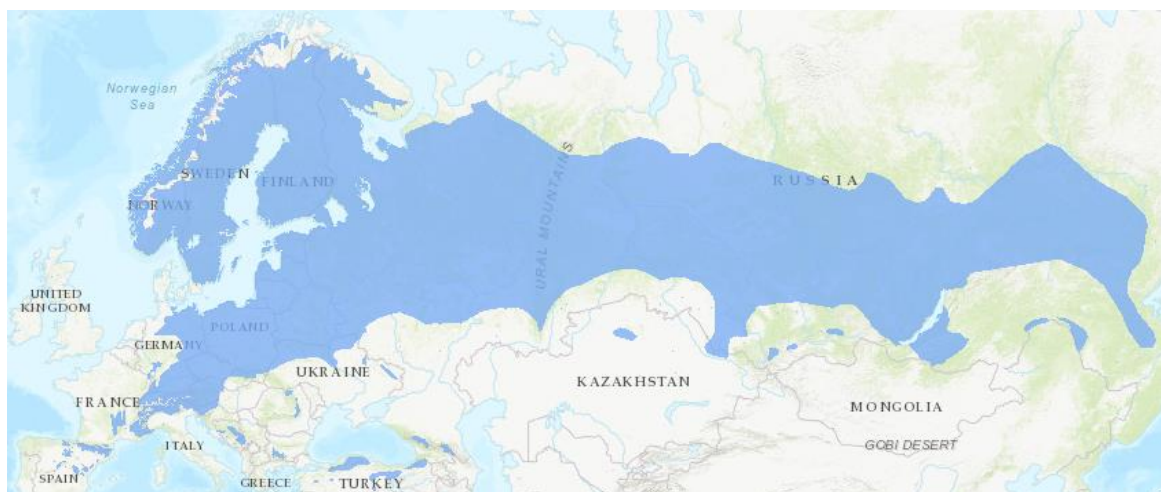
K odkvětu dochází v červnu až počátkem července. I když je borovice lesní jednodomá, může na některých stromech převládat jedno pohlaví (MUSIL 2003).



Obrázek 1: Nákres borovice lesní (*Pinus sylvestris*), Il. Jiří Málek, pub. VLS ČR, s.p.

2.1.3 Výskyt a přirozený areál rozšíření

Borovice lesní má nejrozlehlejší areál ze všech druhů borovic na světě. Je rozšířena ve značné části Eurasie, těžištěm jejího areálu je západní Asie (MUSIL 2003), odkud sahá přes Sibiř, až po Skotsko (*Obrázek 2*). Odtud pochází anglický název „Scots pine“ (VERMEULEN 1997). Je to jediná původní borovice severní Evropy (KINGSBURY 2015). Nejzápadněji se borovice vyskytuje na severozápadě Pyrenejského poloostrova (5° – 7° z. d.). Nejvýchodněji na pobřeží Ochotského moře v Rusku (140° v. d.) (MUSIL, HAMERNÍK 2007). Jedná se o vzdálenost přibližně 14 000 km (GIERTYCH, MÁTYÁS 1991). Nejjižnější místo areálu zasahuje do nejvyššího španělského mediteránního pohoří Sierra Nevada (37° s. š.) a nejsevernější místa výskytu jsou na hranici tundry a lesotundry na severu Skandinávie (70° s. š.) (MUSIL, HAMERNÍK 2007). Tato vzdálenost je asi 2 700 km. Od Skandinávie po poloostrov Kola se severní hranice drží arktické hranice lesa. Jižní hranice je směrem na východ ovlivněna vlhkostními a edafickými podmínkami a antropogenními vlivy. Oproti jiným borovicovitým nevystupuje borovice lesní tolik do hor a proniká většinou nejdále do stepí. Avšak na některých jižních stanovištích může růst i ve vyšších nadmořských výškách. Obvykle bývají tato území izolována a borovice lesní je zde reliktem z doby ledové. Takováto území se nachází v pohořích na Pyrenejském poloostrově, v Grampianech, na Balkánském poloostrově, v severních Apeninách, na Kavkaze, na poloostrově Krym a v severní Anatolii (GIERTYCH, MÁTYÁS 1991). Ve dvou takovýchto izolovaných refugiích na Pyrenejském a Apeninském poloostrově přežily podle výzkumu dva odlišné haploidní genotypy borovice. Tyto populace mají pravděpodobně podobné klimatické nároky – citlivost k nižším zimním teplotám a menší náročnost na vodu (CHEDDADI a kol. 2006).



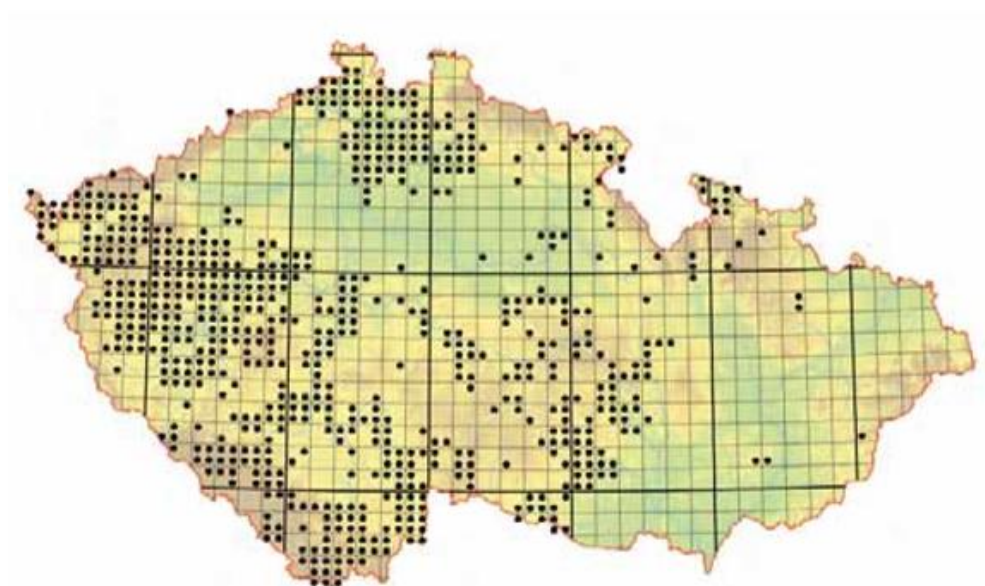
Obrázek 2 Přirozený areál borovice lesní, zdroj: <http://www.euforgen.org/species/pinus-sylvestris/>.

Největší rozšíření borovice ve střední Evropě spadá do období preboreálu a boreálu (8000 let př. n. l.), v pozdějších obdobích byla vytlačena expanzí smrku, buku a jedle na reliktní stanoviště (HEJNÝ a kol. 1997). Původní rozšíření borovice v Evropě dnes těžko určit, protože rozsáhlá kultura hospodaření obměnila ráz evropských lesů a to zejména v nižších polohách (POLENO, VACEK 2009). VĚTVIČKA (2003) uvádí, že ve srovnání s jinými světadíly není Evropa příliš bohatá na původní stromy. Ty, co tu posledních 5000–6000 let rostou, lze počítat jen na desítky druhů. Z přibližně 50 rodů jehličnatých dřevin je dnes domácích v Evropě jen osm.

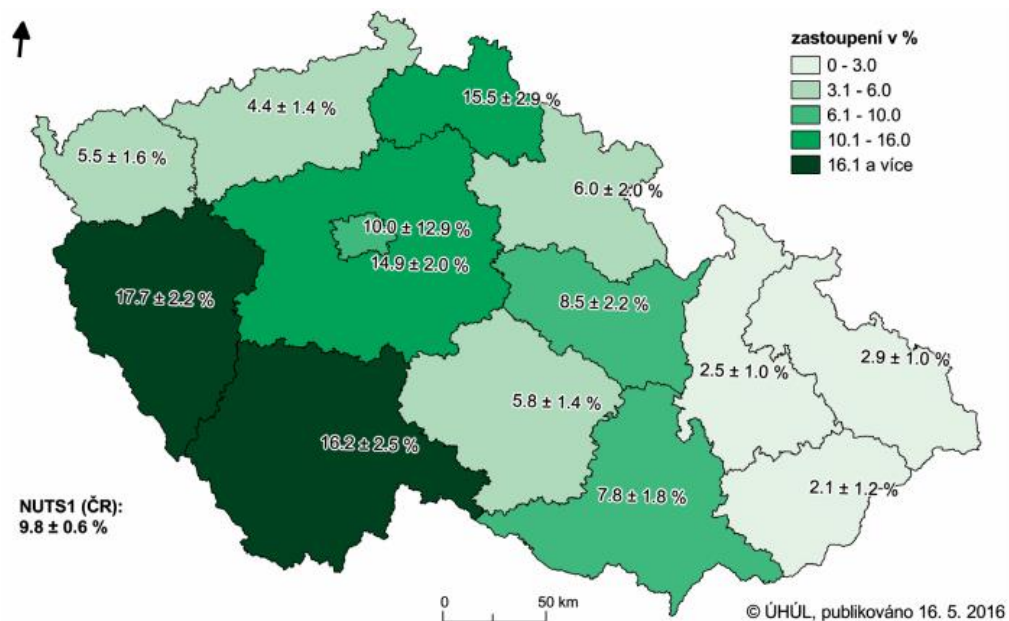
Na území ČR byla borovice lesní původně rozšířena převážně v mezofytiku. Na Šumavě dosahovala v nejvyšších polohách v montánním stupni výšek lehce přes 1 000 m n. m, vyskytovala se tu ale pouze roztroušeně (MUSIL, HAMERNÍK 2007).

V současnosti je rozšíření borovice dáno její velmi širokou tolerancí k prostředí a také jejím hospodářským významem (SLOUP 2010). Borovice se šířila přirozenou obnovou na místa, kde byl les zničen a borovice zde neměla velkou konkurenci. Již od 18. století probíhalo šíření pomocí umělé obnovy (POLENO, VACEK 2009). Na konci 18. století byla u nás borovice lesní s rozvojem lesního hospodářství hojně využívána, později ji však nahradil smrk ztepilý (SLOUP 2010). V Čechách a na Moravě tvoří rozsáhlé lesní komplexy, vzniklé lidskými vlivy, zejména na místě kyselých doubrav až bučin (ŠINDELÁŘ 1992, MIKESKA, VACEK a kol. 2008). Původní čisté borové porosty jsou dnes rozšířeny jen ostrůvkovitě na extrémních reliktních stanovištích, souvislé lesní pásmo tu nevytváří (MUSIL 2003).

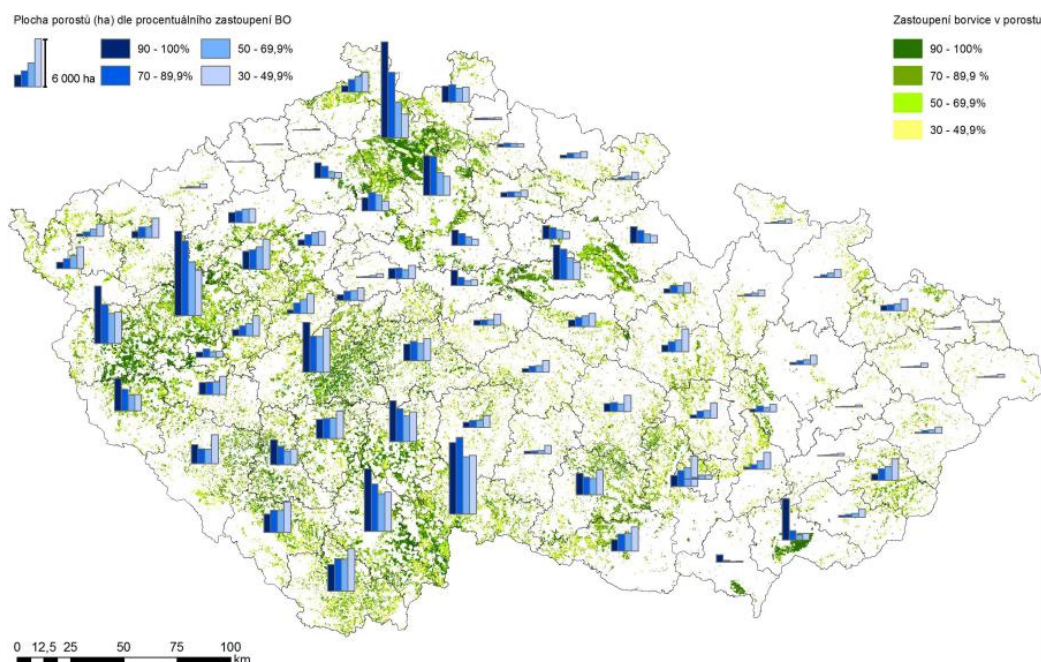
Zastoupení borovice činilo v roce 2018 v ČR 16,2 % z celkové plochy porostní půdy, oproti roku 2000 se její plocha snížila z předchozích 453 159 ha na 422 243 ha, tj. o 1,4 %. Podle rekonstruované skladby přirozených lesních společenstev by borovice v českých lesích tvořila pouze 3,4 %. Zároveň byla stanovena doporučená hodnota podílu borovice lesní na 16,8 %. Doporučená dřevinná skladba představuje ekonomicky, ekologicky a funkčně optimalizované zastoupení dřevin, které zaručuje vyvážené plnění produkčních a mimoprodukčních funkcí lesa (MZE 2018). Zastoupení borovice v ČR je tedy poměrně vysoké (16,2 %, tj. pětinasobné ve srovnání s rekonstruovanou přirozenou skladbou lesů), vyšší je ve střední Evropě pouze v Německu a Polsku (MIKESKA a kol. 2008).



Obrázek 3: Mapa rozšíření acidofilních borů v ČR (KOLBEK, CHYTRÝ 2010)



Obrázek 4: Zastoupení borovice lesní v krajích podle NIL 2, členění NUTS 3, (ÚHUL 2016),
 NUTS3: Nomenklatura územních statistických jednotek vztahena na jednotlivé kraje ČR



Obrázek 5: Procentuální zastoupení borovice lesní v rámci jednotlivých okresů v ČR, (stav
 k roku 2006, VÚLHM HELEBRANDOVÁ a kol. 2020).

2.2 Ekologické nároky borovice lesní

2.2.1 Půdní nároky

Borovice lesní si zachovala dominanci v přírodních podmínkách pouze na podloží pískovců a písčítých sedimentů (MIKESKA 2006). Roste na chudých, písčítých podkladech dostatečně zásobených vláhou, příp. až na bažinatých, převážně rozlehlých porostech v pásmu smrku (SVOBODA 1953), dále na mělkých písčítých až kamenitých sušších půdách, vzniklých na silikátových horninách, ale i na vápencích a také na hadcích (tam je často hlavní či dokonce jedinou stromovitou dřevinou). V extrémních podmínkách se vyskytuje i na podloží rašelin a bažin a na skalnatých výhozech různých kyselých hornin (MIKESKA 2006, KUČERA 1999), avšak zde roste obvykle hůře, mnohdy zakrsle. Z úrodnějších půd (kde by rostla výborně) je v přirozených porostech vytlačena konkurencí druhů tolerantnějších k zastínění. Často vytváří silnější vrstvu opadu a surového humusu (MUSIL 2003).

Potřeba vody u borovice lesní může být kryta z větších hloubek než u jiných dřevin. Proto může růst i na stanovištích (na povrchu) extrémně suchých. Nejúspěšnější obnova vzniká na holé nebo jen velmi málo zastíněné ploše s odkrytou minerální půdou, bez souvislé vrstvy surového humusu (MUSIL 2003).

Převážně na suchých písčích vznikaly požáry, které pomáhaly k rozšiřování populace borovice (MIKESKA 2006).

Bory na písčítých terasách a přirozené skalní bory mají charakter ochranného lesa, borové kultury jsou ale pěstovány v polohách přirozených borů na písčítých terasách jen velmi málo (NEUHÄUSLOVÁ 1998).

Bory na skalních výstupech nacházíme po celé Evropě. V daných oblastech jsou tvořeny podle nadmořské výšky kromě borovice lesní ještě borovicí pyrenejskou (*Pinus uncinata* Ram.), borovicí limbou (*P. cembra* L.), borovicí černou (*P. nigra* A.), borovicí kleč (*P. mugo* T.) nebo borovicí rumelskou (*P. peuce* G.) (KUČERA 1999).

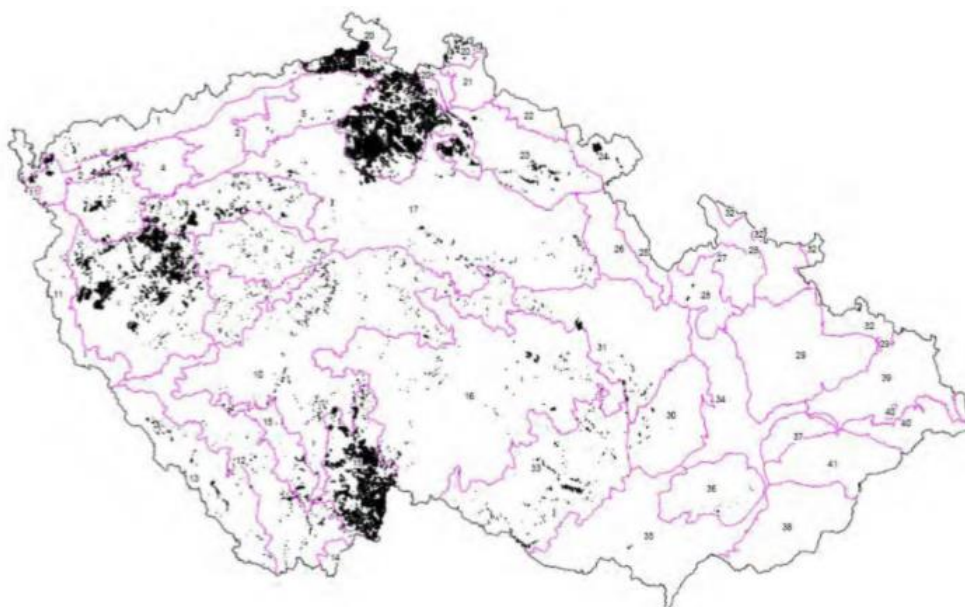
Ve střední Evropě rozlišujeme tři skupiny borů:

- Kontinentální východoevropské až jihosibiřské bory vyskytující se v kontaktu se subxerofilními doubravami na štěrkopísčitých terasách větších řek. Mají i okrajové rozšíření v Alpách kde se vážou na srážkový stín vnitroalpských údolí.

- Oligotrofní bory, které náleží k boreálním jehličnatým lesům, kde tvoří skupinu zahrnující primární reliktní bory písčitých půd, silikátových skal a rašelinné bory.

- Reliktní bory se vyskytují na opukových, dolomitových a vápencových horninách. Rozšíření reliktních borů zasahuje z Balkánu přes Alpy až do střední Evropy.

Zatímco první a třetí skupina borů se na území České republiky vyskytuje okrajově, oligotrofní bory mají u nás běžné zastoupení (MIKESKA 2006, KUČERA 1999).

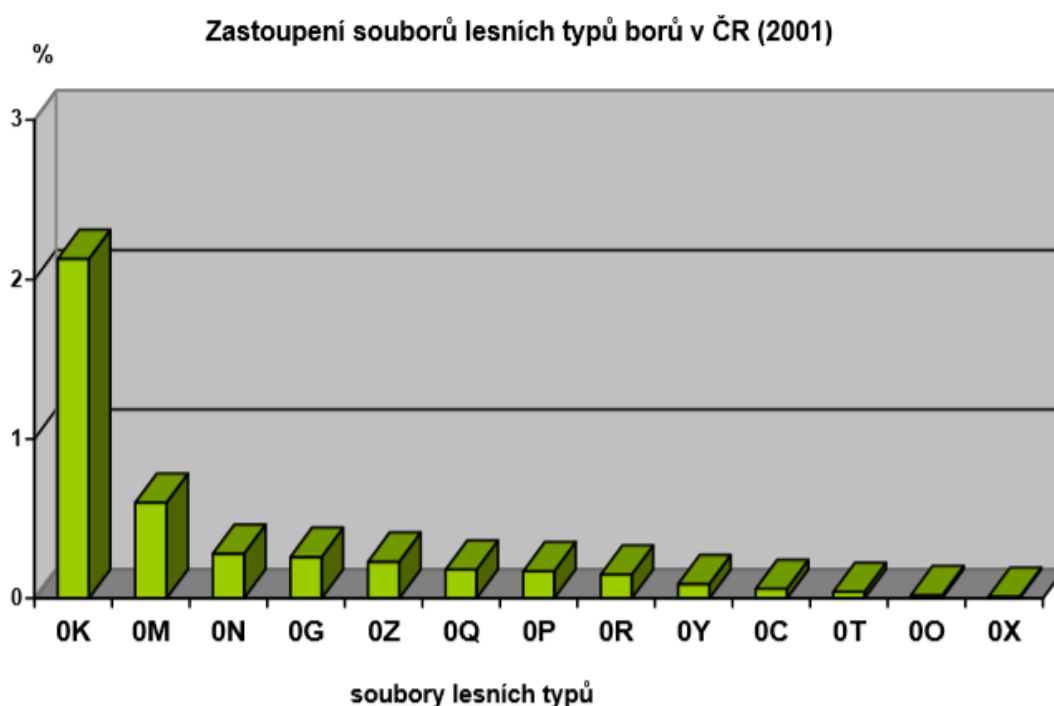


Obrázek 6: Zastoupení borů (lesní vegetační stupeň 0 – bory) v ČR

(GIS – ÚHÚL Brandýs n. L. 2005).

Lesnicko-typologická klasifikace ÚHÚL dělí borovici na 13 souborů lesních typů do azonálního lesního vegetačního stupně 0 – bory (Obrázek 6). Pod pomocným číslem 0 jsou označována společenstva borů a společenstva s přirozeně vysokým podílem borovice, která jsou svým růstem vázána na specifická pískovcová podloží, dále podloží hadců, vápenců, v extrémních podmínkách rašelin a reliktně se vyskytují na skalnatých

výchozech různých kyselých hornin. Těmi 13 soubory jsou jmenovitě 0C, 0G, 0K, 0M, 0N, 0O, 0P, 0Q, 0R, 0T, 0X, 0Y a 0Z. Soubor lesního typu 0K – kyselý (dubový - bukový) bor má v lesním vegetačním stupni 0 největší zastoupení (Obrázek 7). Převážná část LVS 0 se vyskytuje v rozpětí klimatu 3. a 4. LVS. V některých kyselých souborech 1. LVS má borovice také své zastoupení. Najdeme ji především v borové doubravě (1M), březové doubravě (1Q) popřípadě kyselé doubravě (1K, 1I, 1S). Další přirozenou příměs tvoří ve vodou ovlivněných i neovlivněných chudých kategoriích (M, Q, R) nebo v jednotlivých extrémních typech do 6. LVS (6M, 6Q – typy s borovicí). Výjimečně se pak objevuje v 7. LVS (7Q, 7P, 7G, 7R) (MIKESKA 2007; POLENO, VACEK 2009).



Obrázek 7: Zastoupení borů (lesní vegetační stupeň 0 – bory) v ČR
(GIS – ÚHÚL Brandýs n. L. 2005).

Na extrémních stanovištích je borovice schopna plnit půdoochranné a rekultivační úlohy (MUSIL 2003). Na skalnatých místech dokáže klíčit ve štěrbinách kolmých stěn a vodu získává jen ze srážek, které se zadržují ve skalních spárách. Stromy jsou zde vystaveny větru a velkým výkyvům teplot. Habitus borovice je v těchto případech jiný. Kmeny bývají mnohdy pokroucené, nízké, s malým tloušťkovým přírůstem (HRABÁK, PORUBA 2005).

Významné, popř. i dominantní druhy borových porostů jsou například Vřes obecný (*Calluna vulgaris* L.), Bělomech sivý (*Leucobryum glaucum* H.), Dutohlávka (*Cladonia* spp.), Metlička křivolaká (*Avenella flexuosa* L.), Brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus* L.), Brusnice brusinka (*Vaccinium vitis-idaea* L.), Dvouhrotec chvostnatý (*Dicranum scoparium* H.), Dvouhrotec Bergerův (*Dicranum undulatum* B.), Třtina rákosovitá (*Calamagrostis arundinacea* L.) Kostřava ovčí (*Festuca ovina* L.), Ostružiník křovitý (*Rubus fruticosus* agg.), Hasivka orličí (*Pteridium aquilinum* L.) (VIEWEGH 1999).

2.2.2 Klimatické nároky

Borovice lesní je adaptována na velmi široký klimatický rozsah. Roste na územích s délkou vegetační doby 90-120 dnů (výjimečně i méně), s průměrnými ročními srážkami 200-1780 mm. Převážnou část areálu je možno charakterizovat jako kontinentální nebo alespoň kontinentálně laděnou (MUSIL 2003).

Borovici najdeme na drsném severu i v teplých vinorodých krajích (HRABÁK, PORUBA 2005). Klimatypy Verchojanského pohoří na Sibiři (teplotní minimum až -64 °C) přežívají na téměř trvale zmrzlých půdách (permafrost, pergelisol), kde vegetační doba nepřekračuje 90 dnů. Naopak jiné klimatypy borovic rostou ve vegetační době dlouhé až 200 dnů a snášejí vysoké denní teploty. Jedná se např. o jih Španělska, kde je tepelná suma 3-4× větší než na severu (MUSIL 2003).

Ve vyšších nadmořských výškách na chudých stanovištích se může borovice lesní vyskytovat roztroušeně nad horní hranicí lesa, nejvyšších poloh dosahuje v jižních pohořích (Alpy – 2 400 m n. m., Kavkaz – 2 600 m n. m), ale převážně se vyskytuje pod ní (GIERTYCH, MÁTYÁS 1991).

2.2.3 Ekotypy borovice lesní

SVOBODA (1953) člení borovici lesní do 3 skupin, na klimatypy stepní, horské a severské. KAŇÁK (1994, 2011) rozlišuje borovice z hlediska rozšíření v České republice na dva hlavní přirozené ekotypy borovice lesní – tzv. náhorní (horský, klimaxový) ekotyp vyšších poloh, považovaný za reliktní a tzv. chlumní (nížinný, pionýrský) ekotyp nízkých poloh, považovaný za evolučně mladší.

MIKESKA a kol. (2008) rozlišují ekotypy borovice podrobněji podle lesních vegetačních stupňů na nížinný (1. – 2. LVS), chlumní (3. – 4. LVS), náhorní (5. – 6. LVS) a horský (7. – 8. LVS) ekotyp. V areálu svého přirozeného rozšíření je ekotyp nejodolnější a nejstálější formou. ŠINDELÁŘ a kol. (2005) popisuje v rámci oblastí v prostorově úzce vyhraněných rajonech tzv. „lokální ekotypy“.

ŠINDELÁŘ (1981) již v minulosti stručně charakterizoval regionální české populace borovice lesní. V současnosti tvoří borovice lesní v České republice několik samostatných obvodů, sdružených většinou kolem původních hojnějších výskytů. V lesnické praxi jsou proto někdy vylišovány regionální populace, které se vyznačují určitými typickými vlastnostmi a jsou hodnoceny se zřetelem na některé růstové charakteristiky, příp. i jakost dřeva. Tyto populace se tak rozlišují a označují jako borovice jihočeská (třeboňská), která je ceněna zejména pro její tvárnost kmene a jakost dřeva (časté stejnoměrné letokruhy), dále např. borovice šumavská (stožecká), polabská, západočeská, týništská (východočeská), severočeská, na Moravě svratecká (oblast Českomoravské vrchoviny), heraltická (oblast Nížkého Jeseníku), záhorská (rohatecká, hodonínská), dále karpatská (v nižších polohách Bílých Karpat a v oblasti Ždánického lesa). Tyto posledně jmenované oblastní populace borovice lesní se řadí již spíše k borovici karpatské, jejíž ostrůvkovité výskyty jsou zastoupeny ve větším podílu ve Slovenské republice (ŠINDELÁŘ a kol. 2007).

Vedle regionálních populací borovice lesní vylišovaných na základě geografických charakteristik míst původu bývají navíc podle lesního vegetačního stupně, resp. nadmořské výšky lokality původu rozlišovány na jedné straně tzv. borovice pahorkatin a na druhé straně borovice náhorní (horská). Oba typy jsou charakterizovány zejména vlastnostmi kmene, koruny, příp. některými dalšími morfologickými charakteristikami, dále růstem a adaptací na podmínky prostředí (ŠINDELÁŘ a kol. 2007).

2.2.4 Konkurence a směsi dřevin v borových porostech

Až počátkem holocénu získala s konečnou platností krajina "lesní" charakter (přesněji v preboreálu, 8300-6800 let př. Kr.). V tehdejších lesích tzv. "světlé tajze" dominovaly borovice a břízy, s vtroušenou osikou, jalovcem, jeřábem, vrbami, břízou trpasličí (či zakrslou) a s druhy řádu vřesovcotvarých. Celkový charakter porostů se dá přirovnat k dnešním boro-březovým a březo-borovým lesům severské tajgy. Později (v boreálu, 6800–5500 let př. Kr.) začalo s dalším oteplením velké obohacování druhové skladby lesa. Na naše území se začal rozšiřovat dub, jilm, lípa, javor a líska. Smíšené doubravy dosáhly maxima rozšíření v klimatickém optimu holocénu (atlantikum, 5500–2500 let př. Kr.) (JANKOVSKÁ 1997). Původní vegetace s borovicí a břízou začala „ustupovat“ tj. omezovat své zastoupení na extrémní lokality (MUSIL 2003).

V současnosti roste ve směsích s borovými porosty především dub zimní (*Quercus petraea* L.), samozřejmě stále hojně bříza bělokorá (*Betula pendula* R.), dále lípa malolistá (*Tilia cordata* M.), habr obecný (*Carpinus betulus* L.) nebo javor babyka (*Acer campestre* L.). Vzácněji přistupují bříza karpatská (*Betula carpatica* W.), hrušeň planá (*Pyrus pyraeaster* L.), jeřáb břek (*Sorbus torminalis* L.), muk (*S. aria* L.) i jeřáb ptačí (*S. aucuparia* L.), střemcha obecná (*Prunus padus* L.), třešeň ptačí (*Prunus avium* L.), třešeň mahalebka neboli višně turecká (*Prunus mahaleb* L.), krušina olšová (*Frangula alnus* M.), svída (dřín) obecná (*Cornus mas* L.), ptačí zob obecný (*Ligustrum vulgare* L.), dříšťál obecný (*Berberis vulgaris* L.), jmelí bílé (*Viscum album* subsp. *Austriacum* L.) (poloparazit). Z konifer borovicí lesní někdy doprovází jedle bělokorá (*Abies alba* M.), borovice blatka (*Pinus uncinata* L.), smrk ztepilý (*Picea abies* L.) nebo jalovec (*Juniperus* L.) (MUSIL 2003).

U nesmíšených borových porostů může mít opad degradační účinky na tvorbu půd (KONIAS, MOTTL 1951; PEŘINA, VINTROVÁ 1958), proto je pěstování borových porostů vhodné především ve směsích s listnatými dřevinami. Například příměs dubu je vhodná na vysychavých, chudých a kyselých stanovištích. Příměs buku je vhodná od třetího lesního vegetačního stupně. Směs borovice s bukem je ale obtížné současnou výsadbou založit. Buk, především v mládí, nedokáže udržet přiměřené růstové tempo borovice (VACEK a kol. 2006). Lípa má významný pozitivní vliv na vývoj lesa a ve směsi s borovicí je vhodná na příznivějších stanovištích (MAES, VAN VUURE 1989;

HOMMEL, DE WAAL 2003). Příměs břízy je vhodná na zonálních stanovištích a příměs habru v nižších polohách. Stanoviště ovlivněná vodou jsou vhodná pro příměs jedle (VACEK a kol. 2006). Z dřevin introdukovaných je vhodná především v rozvolněných porostech formou podsadby příměs douglasky (ŠINDELÁŘ, BERAN 2004).

Spodní patro borových porostů vyžaduje na většině stanovišť pro zdárný vývoj stinné nebo polostinné dřeviny (POLENO, VACEK 2009). Ve srovnání se smíšenými porosty mají vyšší potenciál výnosu borové monokultury, avšak je u nich také riziko vyšších ztrát (SOUČEK, TESAŘ 2008).

2.2.5 Přirozená obnova

Borovice lesní je neobyčejně přizpůsobivá, má značnou ekologickou amplitudu, je tolerantní jak teplu, tak k nízkým teplotám i suchu (POLENO, VACEK 2009). Úspěch přirozené obnovy je závislý na klíčení, úrodě semen i fruktifikaci (BÄßLER 2003).

Přirozenou obnovu může při nízkých srážkách ohrozit růst na diluviálních písčích s hlubokou spodní vodou, neboť borovice je známa vysokou spotřebou vody. Rozhodujícím faktorem pro přirozenou obnovu je roční rozložení srážek. Rostoucí nerovnoměrnost srážek má vliv na posun vegetačního klidu a ohrožuje přirozenou obnovu borovice, zatímco rovnoměrné rozložení zajistí i při nižší úrovni srážek potřebné množství vody (HAEFEMANN 2004).

Klíčení probíhá nejlépe za plného nebo částečného světla, nejčastěji na osvětlených holinách (ZERZÁN 2008). Příznivé půdní podmínky představuje obnažená minerální půda bez souvislé vrstvy surového humusu a bez přízemní vegetace (PLÍVA 2000) nebo promíchání půdy s organickým substrátem (MIRSCHERL a kol. 2011). Nálet může vznikat také v devastovaných lesích nebo po požárech (MUSIL 2003). Úspěšnost přirozené obnovy se proto v minulosti připisuje požárům, lesní pastvě, polaření nebo hrabání steliva (SVOBODA 1953; ŠINDELÁŘ 2004). V extrémních případech je borovice schopna klíčit a růst i ve štěrbinách holých skal. Řadí se mezi dřeviny pionýrské, tudíž dřeviny schopné osídlovat nejruznější volné plochy (MUSIL 2003). Nevhodným prostředím pro klíčení je naopak vrstva humusu, semenáčky v ní za přísušku kvůli nedostatku vody hynou (PLÍVA, PRŮŠA 1969).

Mimo areál přirozeného rozšíření je známá např. extrémně vysoká přirozená obnova introdukované borovice lesní v jezerních státech severovýchodní části USA a jihovýchodní Kanady, kde roste na písčitéjších stanovištích (spáleniště, opuštěná zemědělská půda, volné plochy podél komunikací), často i v porostech borovice vejmutovky. Do jisté míry tato až agresivní obnova připomíná invazní chování americké vejmutovky v prostředí našich českých Labských pískovců (MUSIL 2003).

Přirozená obnova borovice má nespočet nesporných výhod a dává základ budoucímu zdravému porostu. Jedná se o nejlevnější a nejpřirozenější zalesnění s ověřeným genetickým materiálem, je zaručen příznivý a přirozený vývoj kořenové soustavy a příroda má možnost provést selekci vývoje nevhodných jedinců z 10 násobného množství jedinců než při umělé obnově. Také zde nehrozí nebezpečí napadení jedinců klikorohem borovým jako při umělé obnově, protože zde chybí pařezy, na kterých klikoroh provádí první rok svého života žír (ŠINDELÁŘ 2004).

Přes veškeré výhody se ve střední Evropě využívá přirozená obnova borovice jen zřídka, ve větším rozsahu se uplatňuje pouze ve skandinávských zemích (až do 25 %), kde jsou vhodnější podmínky (ŠINDELÁŘ 2004).

V případě, kdy dostatečná semenná úroda koinciduje s příznivým průběhem počasí na jaře a v létě, nastupuje přirozená obnova (BÍLEK a kol. 2017; KARLSSON, NILSSON 2004). Borovice může při dobrém osvětlení plodit každým druhým rokem, tudíž semenný rok hraje méně významnou roli (ÚRADNÍČEK a kol. 2001). Na 1 ha nalétne při plné úrodě obnovované plochy do vzdálenosti 50–100 m (MUSIL, HAMERNÍK 2003) 3–7 miliónů borových semen (POLENO, VACEK 2009). Pokud jsou příznivé povětrnostní podmínky, semena dolétnou až 1 km od mateřského porostu. Vzejít tedy může za vhodných podmínek až 150 000 semenáčků na 1 ha (ZERZÁN 2008). V dalších letech přirozeně probíhá autoredukce, která tento počet přirozeně snižuje, čímž může do období nárůstů až mlazin uhynout z původního počtu až 95 % (POLENO, VACEK 2009).

Příznivé podmínky pro klíčení a vzházení mohou představovat porosty lišejníků a mechů, které za jistých okolností představují ochranu před vysycháním půdy. Jedná se zejména o rody *Hypnum*, *Hylocomium* a *Dicranum* (ŠINDELÁŘ 2004; MIKESKA 2008). Naopak limitujícím faktorem pro použití přirozené obnovy v HS 13, v SLT 0K a 0M je v prvních dvou až třech letech stáří nárostu výskyt buřeně (DANČÁKOVÁ 2008).

Z různých druhů buřenež znemožňují klíčení a ujímání semenáčků zejména trávy (KORPEL' 1991) a také podrost borůvky a vřesu (MIKESKA a kol. 2008).

2.3 Hospodářský význam borovice lesní

2.3.1 Význam ve světě

V lesích Evropy je borovice jednou z hlavních hospodářských dřevin. Zaujímá 31 % lesní plochy (SPIECKER a kol. 2004). V České republice zaujímá plochu přes 420 tis. ha, což představuje 16,2 % plošného zastoupení (MZE 2018) a vyšší je ve střední Evropě pouze v Německu a Polsku (MIKESKA a kol. 2008).

Borovice lesní vytváří světlé lesy s rozmanitou přízemní flórou. Jedním z nejznámějších je Kaledonský les ve Skotsku, který je nyní výrazně zredukován, protože byl po staletí bezohledně těžen jak místními obyvateli, tak britskými kolonizátory. (KINGSBURY 2015). Tato důležitá hospodářská dřevina, pěstovaná po staletí, má značnou vnitrodruhovou proměnlivost. Ve světě se pěstuje řada okrasných kultivarů, odlišných vzrůstem (např. cv. *Fastigiata*), zbarvením jehlic (cv. *Aurea*) nebo monstrozitou (cv. *Globosa Viridis*) (VĚTVIČKA 2003).

Dřevo rychle rostoucí borovice lesní je odolné, snadno se zpracovává a je nejoblíbenějším materiálem pro výrobu světlého nábytku. Je bohatě pryskyřičné, tudíž ve vodě velmi trvanlivé, na suchu o něco méně. Tradičně se používalo na stavbu lodí, protože vysoký obsah pryskyřice chrání dřevo před hnilobou (KINGSBURY 2015).

Zpracování borovice je podobné jako u smrku. Hojně je borové dřevo využíváno na vlákninu a pilařskou kulatinu, dále na telegrafní sloupy, pražce nebo například každoročně na vánoční stromky (MUSIL, HAMERNÍK 2007). V USA je borovice lesní preferovanou dřevinou pro výrobu vánočních stromků na plantážích (MUSIL 2003). Speciálním využitím borovic je již od pradávna tzv. smolaření, neboli těžba pryskyřice (MUSIL, HAMERNÍK 2007). Z borovicové pryskyřice, získávané zraňováním kmenů nebo loupáním kůry, se dlouho vyráběl terpentýn (barvy, laky, leštidla), ale uplatnění našel i zbytkový materiál známý jako kalafuna. Destilací dřeva se připravoval dehet a následně černá lodní, nebo také ševcovská smůla, loučový olej, silice. Spalováním silně smolnatého

dřeva pařezů i kořenů se získávaly saze, které sloužily k výrobě domácí tuše i tiskařské černi (LEUGNEROVÁ 2007). Přestože má v současnosti různé průmyslové využití, dříve se používala hlavně ke zvýšení přilnavosti, například tanečníci si ji nanášeli na boty, houslisté na smyčce a gymnasté na ruce.

Antiseptická pryskyřice či mladé jehlice se hojně používaly k léčbě dýchacích potíží. Americkým indiánům sloužila při léčení plicních infekcí, pomocí řady produktů získaných z tohoto stromu se léčily i revma a artritida (KINGSBURY 2015).

2.3.2 Význam v ČR

V České republice stojí borovice lesní svým lesnickým významem mezi jehličnany hned za smrkem. Na extrémních stanovištích je schopna plnit půdoochranné a rekultivační schopnosti. Dřevo je měkké, lehké a pružné, ale méně houževnaté než smrkové. Je křehčí, ale více nestejněměrné a hůře štěpné než smrkové (SVOBODA 1953; MUSIL, HAMERNÍK 2007). Dřevo borovice je rozlišené na červenohnědé jádro a žlutavou běl a se svými ostře výraznými letokruhy poskytuje výborný truhlářský a stavební materiál (ÚRADNÍČEK a kol. 2001). Dodnes se borové dřevo, díky své odolnosti a zároveň lehkosti, používá zejména na výrobu dveří, oken a okenic a různého nábytku. Také se výborně uplatňuje na trámoví, podvaly a podložky pod podlahy. Velkou nevýhodou je silné zanášení nástrojů či brusiva při broušení a obrábění, jádrová část dřeva se hůře lepí a také mořidla či nátěry přijímá borovice hůře než smrk. (PATŘIČNÝ 2005).

Borovice mají využití i v sadovnictví a u výsadeb podél komunikací, ale nesnášejí průmyslové oblasti a prostředí větších měst (MUSIL, HAMERNÍK 2007). V lidovém léčitelství se používá nálev z pupenů, který podporuje odhlehování (např. při bronchiálních katarrech), působí též močopudně a ve formě koupelí zlepšuje prokrvení. Borovice mají tedy celkově příznivý vliv na zdraví, protože uvolňují fytoncidní látky (ÚRADNÍČEK a kol. 2001). Terpentýnová silice získávaná ze dřeva borovic se využívá v aromaterapii, dá se inhalovat nebo se může přidávat se do masť na revma, na které pomáhá také borový olej (*oleum pini sylvestris*) získávaný z borového jehličí (WAGENFUHR 2002). Z macerovaných čerstvých mladých jehlic se v minulosti připravovalo tkanivo zvané „sosnovka“ nebo „lesní vlna“, které sloužilo k výrobě kobereců, pokrývek nebo jako vycpávkový materiál (LEUGNEROVÁ 2007).

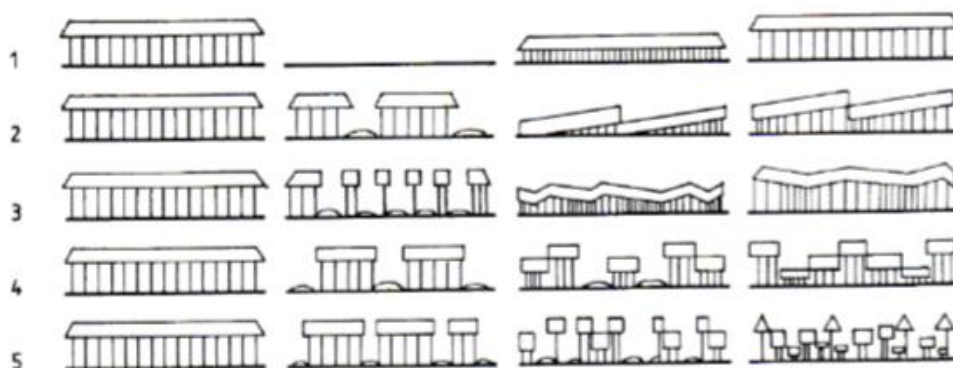
2.4 Pěstební charakteristiky borovice lesní

2.4.1 Hospodářské způsoby

Hospodářské způsoby obnovy lesa jsou rozlišeny dle MZe č. 83/1996 Sb. na způsob holosečný, násečný, podrostní a výběrný a jsou zakresleny na *Obrázku 8*. Charakter stanoviště bývá rozhodujícím kritériem při výběru hospodářského způsobu a je vyjádřen hlavně souborem lesních typů, rozlohou, dřevinnou skladbou, expozicí, věkem, zakmeněním, technologickou dostupností porostu, hodnotovým přírůstem a zdravotním stavem (POLENO, VACEK 2009). Podle konkrétních podmínek prostředí se rozlišují také obnovní postupy přirozené obnovy. Patří mezi ně clonný způsob obnovy, přirozená obnova z výstavků, z porostních okrajů a na holinách obnova z bočního náletu (ŠINDELÁŘ 2004).

THOMASIUS a SCHMIDT (1996) rozlišují hlavní obnovní způsoby na výběrný, holosečný s přirozenou obnovou, holosečný s umělou obnovou, dále dělí obnovní způsoby na clonnou seč s přirozenou obnovou, skupinovitý s přirozenou obnovou a skupinovitý s umělou obnovou.

Pokud chceme docílit smíšeného porostu, je výhodné obnovní postupy kombinovat. Pro stinné dřeviny je vhodné zvolit clonnou seč, zatímco slunné dřeviny upřednostňují holosečnou obnovu. Časově a prostorově se dají vhodně kombinovat dvě i více základních obnovních sečí, jimiž jsou např. Bavorská kombinovaná seč, skupinovitá seč clonná a holá, Wagnerova clonná okrajová seč nebo např. Gayerova seč, Hartig-Heyerova, Bádenská, Kravčinského, Konšelova a další (POLENO, VACEK 2009).



Obrázek 8: Schéma forem hospodářských způsobů a jejich cílových stavů.

Hospodářský způsob pasečný: (forma: 1 holosečná, 2 násečná, 3 podrostní),

Hospodářský způsob výběrný: (forma: 4 skupinovitá, 5 stromová) (KORPEL' a kol. 1991).

2.4.2 Obnovní postupy

Obnova lesních porostů se obecně člení na umělou (síše nebo sadba), přirozenou a kombinovanou. V roce 2018 bylo v České republice obnoveno celkem 25 320 ha lesa, uměle 21 245 ha (z toho 2 076 ha jen borovice) a 4 075 ha přirozenou obnovou (Mze 2018).

Borovice lesní vyžaduje vzhledem ke svým biologickým vlastnostem specifický přístup k výchovným zásahům. Borové porosty na výchovné zásahy reagují spíše pomaleji a oproti smrkovým porostům celkově méně výrazně. Při slabém zásahu můžeme uvnitř mladých porostů negativně ovlivnit mikroklimatické podmínky, naopak při silně intenzivním zásahu může dojít k dlouhodobějšímu poklesu přírůstu nebo dokonce k celkové ztrátě objemové produkce (SLODIČÁK a kol. 2013).

V rozlehlých oblastech Skandinávie, ale i v podmínkách České republiky, byly po většinu 20. století u borovice, jako světlomilné dřeviny, používány metody holosečného hospodaření (ULBRICHOVÁ a kol. 2018). Vzhledem k vlastnostem borovice byla obnova spjata převážně s holosečným obnovním postupem a celoplošnou přípravou půdy (ULBRICHOVÁ a kol. 2017). Jemnějším postupům obnovy nebyla v minulosti věnována u borových porostů velká pozornost. Tyto postupy byly využívány společně s výběrnými principy pouze u stínomilných jehličnanů s monopodiálním růstem, za které můžeme považovat jedli bělokorou či smrk ztepilý (BÍLEK a kol. 2017). Jemnějším postupům obnovy se věnují také VACEK a PODRÁZSKÝ (2006) a označují je souhrnně jako

obnovní postupy přírodě blízké. V Evropě se můžeme setkat v současnosti s příklady maloplošného až výběrného hospodaření s borovicí lesní, zejména jako horské dřeviny, v podmínkách jižní Evropy. Ve střední Evropě se tyto postupy omezují spíše na menší majetky či specifické podmínky vyvolané zvýšenými požadavky na mimoprodukční funkce lesa (BÍLEK a kol. 2017).

Kdysi převládající názor, který spojoval borovici výlučně s holou sečí již neplatí (KOŠULIČ 2010). V rámci rozmanitých podmínek borového hospodářství lze přirozenou obnovu docílit holosečným obnovním způsobem s různou velikostí a orientací sečí, násečným způsobem, kotlíkovou sečí a velkoplošným i maloplošným clonným obnovním způsobem s přechodem až do skupinovitého nebo jednotlivého výběru. Paušální rozhodnutí o univerzálně nejvhodnějším postupu však učinit nelze (BÍLEK a kol. 2017).

K základním principům pěstování borovice zejména v ochranných lesích, patří úprava velikosti holé seče, případně její odmítnutí, uplatňování maloplošných až výběrných principů hospodaření s dlouhou dobou obnovy s cílem vytvářet trvale diferencované, zdravé porosty, které jsou v maximální míře schopné plnit především půdoochrannou a protierozní funkci (BÍLEK a kol. 2017).

Obnovovat se může borovice lesní i v mírnějším zástínu, ale v rámci porostních mezer reaguje poměrně silně na různou dostupnost světla, zejména celkovou výškou, nadzemní biomasou, listovou plochou a přírůstem. Podobně reaguje relativně výrazně v případě okrajové seče na vzdálenost od porostního okraje. Dokonce má borovice s ohledem na morfologii jehlic větší flexibilitu v reakci na světelné podmínky, než smrk ztepilý (DE CHANTAL, a kol. 2003), což zvyšuje její konkurenceschopnost v rámci porostní mezery (BÍLEK a kol. 2017).

Naprostá většina současných borových porostů v našich lesích v rozpětí všech věkových tříd byla založena výsadbou na holinách nebo sítí (POLANSKÝ 1956), dříve převážně na bývalých pastvinách nebo v selských lesích (MEZERA 1952).

Přirozená obnova borovice byla a doposud je využívána jen výjimečně (POLENO, VACEK 2009). Při přirozené obnově nejčastěji vzniká nový porost autoreprodukcí ze semen mateřského porostu. Podmínkou využití tohoto způsobu je fenotypická vhodnost obnovovaného porostu (MIKESKA a kol. 2008). Plocha porostů obnovovaných přirozeným zmlazením se v České republice od roku 1986 (705 ha) postupně navyšuje

(MÍCHAL a kol. 1992), v roce 2018 činila 4 075 ha (Mze 2018). Přírozené obnově se podrobněji věnuje *Kapitola 3.2.5*.

Nejčastější způsob obnovy borových porostů je **obnova umělá**. K umělé obnově borovice je možné využít různé postupy a seče různých velikostí, protože je tolerantní i ke 100 % relativnímu ozáření (NÁROVCOVÁ, NÁROVEC 2013). Borové sazenice i semenáčky odrůstají na borových doubravách i na holosečích o ploše 2 ha (NÁROVCOVÁ, NÁROVEC 2012). V roce 2018 byla plocha s umělou obnovou borovice, včetně zalesnění pod porostem 2076 ha, což činí 9,8 % celkové plochy uměle obnoveného porostu lesních dřevin v ČR (MZE 2018).

Umělá obnova lépe zaručí genetickou kvalitu nového porostu, cílovou skladbu dřevin, plánování prostorové skladby, rychlejší odrost kultur z dosahu zvěře a buřene. Výchova je méně nákladná (MAURER 2009). Při použití nekvalitního sadebního materiálu nebo špatném provedení zalesňovacích prací může dojít po výsadbě ke zvýšené mortalitě sazenic (NÁROVCOVÁ, NÁROVEC 2012), což se jeví jako nevýhoda umělé obnovy, stejně jako menší možnost selekce během výchovy a zvýšené náklady na zalesnění (MAURER 2009). Může dojít i k tzv. šoku sazenic z výsadby, kdy dochází k poškození kořenového systému při transportu či výsadbě (POLENO, VACEK 2009).

Prostokořenná a krytokořenná sadba či síše jsou způsoby umělého založení porostu borovice, nejčastěji je používána sadba prostokořenná (SLODIČÁK a kol. 2013).

Možné je také kombinovat v rámci jedné obnovované plochy či v rámci jednoho porostu umělou obnovu s přírozenou, pak většinou tvoří základ nového porostu přírozené zmlazení, doplněné v mezerách uměle dřevinami obnovního cíle (POLENO 1994). Pokud chceme zmlazovat borovice v úzkých kulisách bočním náletem (ŠINDELÁŘ 1997), doporučuje se postup opačný; nejdříve vysadit do skupin či hloučků dřeviny, tvořící příměs, zbytek plochy pak ponechat přírozené obnově.

2.4.3 Růst a přírůst borovice lesní

Hustý zápoj obnovu přírozeně potlačuje, ale nárost může být přibližně 10 let k zastínění tolerantní (COBAN a kol. 2016), po uvolnění korunového zápoje může relativně rychle zvýšit svůj přírůst (EREFUR a kol. 2011). Při zvláštních podmínkách však

(zvláště ve vztahu k přísuškům) může mít na četnost obnovy korunový zápoj kladný dopad (STUIVER a kol. 2016; PUKKALA a kol. 1993). Může např. pomoci udržet v porostu více vlhkosti a ve svrchních částech půdy zvýšit dostupnost půdní vláhy.

Nižší tloušťkový přírůst je s každoročním úbytkem srážek viditelný na přirozeně sušších stanovištích (DRAGOUN a kol. 2015), protože borovice reaguje výrazně (na rozdíl od jiných dřevin, které rostou v humidních podmínkách), na lepší zásobení vodou, a to zvětšením tloušťkového přírůstu. Hospodaření s vodou má proto v borových porostech svůj zvláštní význam (JURČA a kol. 1973).

Loupání, ohryz a ranové hniloby způsobují ztráty na kvalitě dřevní hmoty i na přírůstu, snižují mechanickou stabilitu porostu a jsou důvodem dalších možných poškození, způsobených hlavně klimatickými a biotickými činiteli (ČERMÁK, JANKOVSKÝ 2006).

2.4.4 Dendrochronologie, tloušťkový růst, letokruhy

Základním předpokladem dendrochronologie je existence radiálního přírůstu a vlastnost stromů vytvářet jednoznačně oddělené a datovatelné vrstvy dřeva (MELVIN 2004; DRÁPELA, ZACH 1995).

U dřevin v oblastech s výraznou sezonalitou podnebí vznikají dva odlišné typy dřeva během jednoho roku, tvořící dohromady letokruh. Nejlépe rozeznatelná hranice letokruhu je na vzorcích z jehličnanů, které tvoří stále stejný typ buněk, jejichž forma se během vegetační sezóny mění. Nejprve vznikají široké tenkostěnné tracheidy–tzv. jarní dřevo, ke konci vegetačního období jsou tracheidy zploštělé a tlustostěnné–tzv. letní dřevo. Podíl jarního dřeva bývá větší (SCHWEINGRUBER 2007).

O něco hůře lze poznat letokruhy kruhovitě pórovitých listnáčů (např. dub nebo jasan) a již velice obtížné je rozlišení růstových vrstviček u listnáčů roztroušeně pórovitých (např. buk, javor, lípa, bříza) (DRÁPELA, ZACH 1995).

Kromě klasické veličiny–šířky letokruhu, lze zjišťovat i jiné letokruhové parametry jako např. maximální hustota pozdního dřeva, jizvy, traumatické kanálky nebo stresem vyvolané ostatní strukturní změny pletiv) (COOK, KAIRIUKSTIS 1990).

Diferenciace a proces tvorby buněk v meristémech dřevin je ovlivněn celým souborem faktorů proměnných (vlhkost v půdě, počasí, minerální výživa, konkurenční

vztahy), stejně jako víceméně stálých (poloha, půda, klima), až náhodných (sesuvy, vichřice, napadení a infekce). Letokruhy nenesou rozhodně jediný typ informace, a proto je nezbytné pro co nejpřesnější interpretaci rozvíjení dílčích disciplín dendrochronologie. SCHWEINGRUBER (1996) v této souvislosti uvádí několik oblastí a témat, ve kterých studium letokruhů nabývá nesmírné důležitosti. Dopad antropogenního znečištění v hustě obydlených oblastech či blízkosti zdrojů emisí, letokruhy jako indikátory procesů nepříznivě ovlivňujících zdraví stromů, vliv environmentálních podmínek na stromový růst ve 20. století, vzorky letokruhů jako záznamy globální dendroklimatologie či stresové historie.

Borovice lesní má jako jehličnan dřevo složené převážně z tracheid, které tvoří pravidelné radiální řady, větší bývá podíl jarního dřeva. Mezi jarním a letním dřevem vytváří letokruhy s poměrně ostrým přechodem. Přítomny jsou vertikálně i horizontálně orientované pryskyřičné kanálky. Dřeňové paprsky jsou složeny z parenchymatických buněk a příčných tracheid (VINTER 2009).

Tloušťkový růst borovice lesní začíná v našich klimatických podmínkách v květnu a končí začátkem září. Ve vyšších nadmořských výškách tento proces začíná i končí později (ŠEBÍK, POLÁK 1990).

2.5 Ohrožení a odolnost borových porostů

HLAVNÍ FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PRODUKCI A RŮST LESA

Les poskytuje mnoho významných funkcí, je jedním s nejsložitějších ekosystémů na Zemi a je také hlavním klimaxovým biotopem na našem území. Mnoho přírodních procesů je jím ovlivněno a řízeno. Jeho růst a vývoj souvisí s mnoha faktory, ať už vnitřními, tj. genetickými dispozicemi, či biotickými a abiotickými, na nich je závislá jeho struktura, produkce a samotná existence (SCHWEINGRUBER 1996). Jedny z nejdůležitějších limitujících faktorů jsou dle PHILIPSONA (1971) faktory klimatické. Principy relativní efektivity faktorů prostředí formuloval SCHWERDTFEGER (1963) takto:

- a) Účinnost faktoru je o to větší, čím více je jeho intenzita vzdálena od optima.
- b) Uvnitř komplexu faktorů prostředí je vždy nejúčinnější ten faktor, který je nejvíce vzdálený od optima.

Zvýšit obsah tolerance může do jisté míry lesní ekosystém nebo někteří jedinci fyziologickou adaptací v závislosti na věku jedinců. Se zvyšujícím věkem se zvyšuje tolerance k nízkým teplotám (POLENO, VACEK 2007).

2.5.1 Ohrožení borovice lesní

K borovici je vázáno mnoho škodlivých organismů, hlavně ze skupin listožravého a podkorního hmyzu a řada houbových chorob. Borovice je známa citlivostí na klimatické jevy a na mělkých půdách snáší hůře dlouhodobé sucho (HELLEBRANDOVÁ a kol. 2020). Zejména v mladším věku trpí borovice polomy mokrým sněhem. Borové porosty vyžadují správné založení a následnou výchovu (POLENO, VACEK 2007).

Abiotické ohrožení

Díky hlubokým kořenům může borovice čerpat vodu i z větší hloubky, tudíž jí běžné sucho, kdy je nedostatek vody jen na povrchu nebo těsně pod ním, nevádí. Je odolná při růstu i ve velmi suché půdě (MUSIL, HAMERNÍK 2007). Dlouhodobé extrémní sucho s poklesem spodní vody však snáší špatně a může to ovlivnit i její přežití. Poslední dobou dochází ke kalamitnímu prosychání borovic na mnoha místech, hlavně na suchých lokalitách na jižně či západně orientovaných stanovištích. Borovice odumírá ve všech věkových stadiích, ať už jde o semenáčky z přirozeného zmlazení, výsadby a zajištěné kultury nebo mýtné porosty (SOUKUP, PEŠKOVÁ 2004). Vzhledem ke klimatickým změnám, kdy se mění rozložení srážek během roku a zároveň narůstá počet a intenzita extrémních srážek přes 150 mm/den, při kterých se voda nedostane pod povrch půdy, rychle odteče a nedoplní podzemní zásoby vody, se bude zatížení borových porostů s velkou pravděpodobností zvyšovat (SOUKALOVÁ, JEŽÍK 2015).

Dalším abiotickým činitelem, který je hrozbou pro křehké dřevo borovice, je jinovatka a těžký sníh, který často způsobuje vrcholové zlomy (ÚRADNÍČEK, RIEDMILLER 2009). Na vlhkých stanovištích není také odolná vůči větru (POLENO, VACEK 2009), vadí jí též znečištění v průmyslových oblastech a velkých městech (MUSIL, HAMERNÍK 2007). Velkou zátěží pro borovice je společné působení zvýšené koncentrace SO₂ s extrémně suchým počasím s vysokými teplotami, což je dobře viditelné na extrémních stanovištích v režimu bezzásahovosti (VACEK a kol. 2017).

Biotické ohrožení

Množství houbových chorob, napadajících borové dříví, závisí z velké míry na počasí. Napadení podkorním hmyzem u evidovaného borového dříví bylo v roce 2018 evidováno přibližně na 69 492 m³. Závažným problémem je také okus zvěří, ale v porovnání s jinými dřevinami je borovice poškozována méně (POLENO, VACEK 2009) a jen v mládí, kdy je její kůra ještě hladká (ÚRADNÍČEK, RIEDMILLER 2009). Borovice po loupání netrpí hnilobou, rány se obvykle rychle zavalí, reakcí na loupání však klesá kvalita dříví (ČERVENÝ 2009).

Škůdci a choroby

Borovice hostí během vývoje mnohem více druhů hmyzu, než naše ostatní jehličnany, neboť patří k jednomu z nejsvětlo milnějších taxonů.

Mezi škůdce, napadající mladší borové porosty, patří housenky osenic (*Agrotis spp.*), ožirající právě vzešlé semenáčky a ponravy chroustů (*Melolontha spp.*), které žírem poškozují kořenový systém, což může způsobit až totální mortalitu semenáčků (BERÁNEK 2008).

Ploskohřbetka sazenicová (*Acantholyda hieroglyphica Christ*) napadá starší stromky ve věku cca 2-5 let (BERÁNEK 2008). Přestože je defoliace nápadná, zdravotní stav poškozených sazenic zpravidla nepoškodí (HOLUŠA, LIŠKA 2005). Svou barvou na sebe upozorní korovnice borová (*Pineus pini L.*), která saje na jehlicích, větvičkách nebo kmíncích. Napadené jehlice žloutnou a lámou se. Při silném postižení opadávají, mohou odumírat i celé výhonky.

Převážně u umělé obnovy borovic je častou hrozbou klikoroh borový (*Hylobius abietis L.*) a lýkohub borový (*Hylastes ater Payk.*). Dospělci provádí žír v okolí kořenového krčku sazenic a mohou jejich zdravotní stav značně ohrozit. Poškozené sazenice při napadení roní pryskyřici nebo se kříví, při silném napadení kmínku stromky často hynou (BERÁNEK 2008).

Štítěnky patří do jedné z nejnápadnější skupiny škůdců borovic. Tento savý hmyz svým sáním způsobuje opadávání jehlic. Při silném napadení mohou odumírat větvičky i celé větve.

Další škůdci:

Škůdci na jehlicích borovice

Bejlmorka borová (*Thecodiplosis brachyntera*), tmavoskvrnáč borový (*Bupalus piniarius*), obaleč prýtový (*Rhyacionia buoliana*), obaleč pryskyřičný (*Retinia resinella*), bourovec borový (*Dendrolimus pini*), bekyně mniška (*Lymantria monacha*), sosnokaz borový (*Panolis flammea*), lišaj borový (*Sphinx pinastri*), hřebenule ryšavá (*Neodiprion sertifer*), hřebenule borová (*Diprion pini*), ploskohřbetka sosnová (*Acantholyda nemoralis*) (KŘÍŠTEK a kol. 2002).

Škůdci žijící v lýku borovice

Smolák mlazinový (*Pissodes notatus*), smolák sosnový (*Pissodes pini*), smolák borový (*Pissodes piniphillus*), lýkožrout borový (*Ips sexdentatus*), lýkožrout dvojzubý (*Pityogenes bidentatus*), lýkožrout čtyřzubý (*Pityogenes quadridens*), lýkožrout vrcholkový (*Ips acuminatus*), lýkohub sosnový (*Tomicus piniperda*), lýkohub menší (*Tomicus minor*), krasec borový (*Melanophila cyanea*), kozlíček dazule (*Acanthocinus aedilis*), tesařík korový (*Rhagium inquisitor*), tesařík borový (*Spondylis buprestoides*) (KŘÍŠTEK a kol. 2002):

Mezi nejčastější **choroby borovice lesní** patří sypavky, které se projevují ztrátou asimilačního aparátu. Nejčastějším původcem choroby je sypavka borová, jejíž příčinou je houba skulinatec borový *Lophodermium pinastri* (Schrad.) Chev., nebo *Lophodermium seditiosum* Minter, Staley et Millar. Vývoj sypavek podporuje zvýšená vlhkost prostředí (JANKOVSKÝ 2003). Mladé borovice, které nejsou ještě odrostlé přizemní vrstvě vegetace, především na záhonech ve školkách, mohou být sypavkami významně ohroženy (ŠRŮTKA 2003). Do kultur se sypavka často dostane díky již infikovanému sadebnímu materiálu nebo při nedodržení správné technologie ochrany. Starší borové porosty nákazu sypavkou lépe překonají, pokud jsou již dobře zakořeněné a bez útlaku buřeně, nicméně jí také velmi trpí. (JANKOVSKÝ 2003).

Mezi významné parazitické houby lze u nás zařadit také rzi. Rez sosnokrut (*Melampsora pinitorqua* Rostr.) nejvíce ohrožuje mladé borovice ve školkách a výsadbách, ty při opakované či silné nákaze mohou zcela odumřít. Pokud nákazu přežijí, jsou trvale poškozeny růstovou deformací (snížená kvalita dřeva, metlovitost a rozkošatění, esovité zkroucení) (SOUKUP 1999). Rez borová napadá naopak borovice ve středním a vyšším věku. Je vyvolána dvěma druhy, *Endocronartium pini* a *Cronartium asclepiadeum*.

Nejčastěji způsobuje zasychání a odumírání vrcholku. Dochází též k silnému výronu pryskyřice (POLENO, VACEK 2009).

Nejrozšířenějším druhem u nás je václavka smrková (*Armillaria ostoyae* (Romagn.) Ve středních a nižších polohách může za většinu kořenových hnilob, převážně na smrku, někdy však i na borovici. Na ostatních listnatých a jehličnatých dřevinách se na našem území také běžně vyskytuje, ale tam nepůsobí větší škody (JANČAŘÍK, JANKOVSKÝ 1999).

Na více než 35 druzích rodu *Pinus* byl zjištěn houbový patogen *Sphaeropsis sapinea* (Fr.) Dyko et Sutton. Způsobuje nápadné prosychání borovice černé (*Pinus nigra*). Jeho škodlivost je významnější v teplejších krajích, může se vyskytnout i na jiných jehličnanech (SOUKUP, PEŠKOVÁ 2004). Patogen působí poškození různých částí stromu ve všech vývojových stádiích, je přenosný osivem, kde následně působí hnilobu semen, redukci klíčení, zahnívání nových kořínků či opadání mladých semenáčků, u starších semenáčků působí hnilobu kořenového krčku a mladých letorostů. Vhodné podmínky rozšířily tento patogen téměř po celém území naší republiky (ZAPLETALOVÁ, BAJEROVÁ 2012).

Houba kornice borová (*Cenangium ferruginosum*) napadá starší borovice oslabené suchem. Bývá sice označována za spíše slabého parazita, ale i tak může způsobovat odumírání borovic na velké ploše (PEŠKOVÁ, SOUKUP 2011).

2.6 Charakteristika zájmového území (CHKO Český ráj)

2.6.1 Přehled typů ZCHÚ v ČR se zvláštním zřetelem na CHKO

CHKO je označení pro velkoplošné zvláště chráněné území (VZCHÚ), na které se vztahuje nižší stupeň ochrany, než jaký platí pro národní parky (ZIEGLER 2009). Cílem ochrany je především snaha o uchování a obnovu základních přírodních hodnot a charakteristických krajinných rysů daného území (PELC 2000).

V České republice je vymezeno 25 CHKO. Jejich rozloha zabírá 13,82 % území ČR. První velkoplošnou chráněnou krajinnou oblastí se stala právě CHKO Český ráj (ZIEGLER 2009).

2.6.2 Chráněná krajinná oblast Český ráj

Chráněná krajinná oblast Český ráj (dále jen CHKO Český ráj) tvoří harmonicky utvářená kulturní krajina s významným zastoupením lesů a dalších společenstev přirozeného i kulturního původu s výskytem vzácných a zvláště chráněných druhů rostlin a živočichů. Krajina na rozhraní středních, severních a východních Čech, zhruba v prostoru mezi městy Mnichovo Hradiště, Turnov, Semily a Jičín, je pro svou malebnost a krásu nazývána Českým rájem.

V území s výraznou geomorfologií, zejména s charakteristickým výskytem pískovcových skalních měst, dalo tisícileté osídlení a mnohasetleté hospodaření vzniknout ekologicky a esteticky jedinečné kulturní krajíně, výjimečné v rámci celé ČR. V ní se mozaikovitě střídají lesy, zemědělské pozemky, vodní toky a plochy s různým stupněm ovlivnění člověkem s menšími sídly i jednotlivými stavbami. Krajinu spoluvytvářejí historicky cenné stavby, hrady, zámky, kostely i památky místní lidové architektury.

Unikátní charakter krajiny byl v roce 1954 důvodem pro vyhlášení CHKO Český ráj, která byla vůbec prvním územím vyhlášeným v této kategorii na území Československa. Ochrana v kategorii CHKO byla vyhlášena pro území 92 km² mezi Turnovem, Mnichovým Hradištěm a Sobotkou. Určitý rozpor mezi rozlohou CHKO a obecným vnímáním území Českého ráje byl odstraněn až novým vyhlášením v roce 2002, kdy došlo k podstatnému rozšíření CHKO (na dnešních 181 km²) (PLÁN PÉČE 2014).

2.6.3 Klimatická charakteristika

Území je poměrně teplé a přitom dostatečně zásobené srážkami. CHKO Český ráj leží podle QUITTA, E. (1971) v nejteplejších a nejsušších klimatických jednotkách mírně teplé klimatické oblasti. Turnov, který se dá považovat za centrum regionu, má průměrný roční úhrn srážek 692 mm. Průměrná roční teplota se pohybuje od 7,0 do 8,0 °C.

Nejchladnějším měsícem roku je leden (průměrná měsíční teplota vzduchu $-2,0$ až $-3,0$ °C) a nejteplejším červenec (17 až 18 °C). Denní, měsíční a roční proměnlivost teploty vzduchu je značná. Průměr lednových denních teplotních extrémů kolísá mezi hodnotami $-5,7$ až $+0,3$ °C a průměr červencových denních teplotních extrémů mezi hodnotami $11,8$ až $24,5$ °C. Průměr lednových měsíčních extrémů leží v intervalu od $-16,0$ do $+6,5$ °C a průměr červencových měsíčních extrémů v intervalu od $6,6$ do $32,0$ °C. Nejnižší teploty vzduchu mohou klesat v lednu a v únoru pod $-30,0$ °C a v prosinci pod $-28,0$ °C. Absolutní minimum ($-34,0$ °C) bylo zaznamenáno v Karlovicích na severním okraji CHKO 11. 2. 1929. Nejvyšší teploty vystupují od května do září nad $30,0$ °C a v dubnu a říjnu nad $25,0$ °C (MACKOVČIN 2002).

Mezo a mikroklíma je značně ovlivněno reliéfem, který vede ke vzniku teplotních inverzí v kaňonech a extrémních podmínkách na skalních hranách (CULEK 1996; MACKOVČIN 2002).

Podle MRKÁČKA (1998) je Český ráj znám různorodými klimatickými poměry, avšak výkyvy teplot v kraji jsou považovány za malé. Klimatické poměry prokazatelně ovlivňují výskyt některých živočichů.

Z hlediska hydrologické sítě se nachází Český ráj na velice bohatém místě. Tomuto napomáhá jednak řeka Jizera, ale také lidé, a to vybudováním rybníků (ZIEGLER 2009).

Průměrný roční srážkový úhrn vystupuje na jednotlivých srážkoměrných stanicích na 633 – 701 mm. V jednotlivých letech i v ročním průběhu jsou však aktuální srážkové úhrny velmi nevyrovnané. Nejdeštivějším měsícem roku může být červen, červenec i srpen. V těchto měsících spadne v průměru 76 až 81 mm srážek. Z pozorování srážkoměrných stanic v blízkém okolí vyplývá, že i v prostoru CHKO Český ráj se ve všech měsících roku vyskytují případy denních srážkových úhrnů, jež svou hodnotou dosahují úrovně příslušných dlouhodobých měsíčních průměrů. Nejméně atmosférických srážek spadne v průměru v únoru až březnu (35 až 41 mm) (MACKOVČIN 2002).

2.6.4 Geologie území a půdní charakteristiky

Geomorfologicky a geologicky je Český ráj hodnocen jako velice rozmanité území. Nejvýznamnějším útvarem jsou zde druhohorní kvádrové pískovce místy proniknuté terciárními vulkanity. Ze třetihor pocházejí také reliktu fluviálních štěrkopísků, ze čtvrtohor uloženiny fluviálních sedimentů, reliktu spraší, suťových plášťů a smíšených svahovin. Pískovcový georeliéf je na území České tabule unikátem. Proto byla Chráněná krajinná oblast Český ráj vyhlášena především pro ochranu geomorfologického fenoménu – makro, mezo i mikroforem. Na rozmanitých horninách středního turonu až coniacu s drobnými tělesy neovulkanitů vznikl pestrý georeliéf (MACKOVČIN 2002).

Podle regionálně-geomorfologického členění České republiky náleží CHKO Český ráj k podsoustavě Severočeské tabule, k celku Jičínská pahorkatina. Její centrální část leží ve střední části Turnovské pahorkatiny, převážně na Vyskeřské vrchovině, což je tabule s povrchem mírně tektonicky ukloněným k JZ a J. Základní horninou je souvrství coniackých jemnozrnných až středně zrnitých křemenných kvádrových pískovců mocných 100 až 120 m, které spočívají na vápnito-jílovitých prachovcích (opukách) svrchního turonu. Povrch ploché vrchoviny tvoří strukturně denudační plošiny, nad které se zvedají sopečné suky na žilách a vypreparovaných výplních sopouchů (Mužský 463 m n. m., Vyskeř 466 m n. m. a nejvyšší Trosky 488 m n. m.).

Do plochého povrchu tabule se zařezává hustá síť údolí různých tvarů. Údolí jsou často strukturně kontrolována puklinami a zlomy. Kvádrové pískovce jsou propustné, proto je značná část údolí suchá. Prameny se objevují až v místech, kde eroze dosáhne nepropustného podloží prachovců (Přírodní rezervace Podtrosecká údolí).

Zvětráváním a odnosem kvádrových pískovců vznikla charakteristická skalní města tvořená skalními věžemi a pilíři, jež oddělují soutěsky. Odnos písčitých zvětralin probíhá podél puklin zejména sufózí. Na křížovatkách puklin se vyvinuly sufózní závrtky. S počtem asi 500 se CHKO Český ráj řadí k územím nejbohatším na tyto útvary na světě (MACKOVČIN 2002).

V Českém ráji se nachází řada skalních měst. Jsou jimi například Hruboskalské skalní město (PR), Prachovské skály (PR), Klokočské skály u Turnova, skalní města podtroseckých údolí, Prachovské skály u Jičína, Příhrazské skály a Drábské světničky (ZIEGLER 2009).

Skalní stěny a srázy se nachází nejen ve skalních městech, ale i podél vodních toků (příklad PR Údolí Plakánek). „Opilý les“ u Dnebohu je příkladným následkem sesuvů, které vznikají narušením okrajů strukturních plošin (BÍNA 2012).

Trosky, jedinečný vypreparovaný dvojsopouch z olivinického nefelenu, je symbolem Českého ráje. Dalšími výraznými neovulkanity jsou vrcholy Mužský, Vyskeř a Kozákov. Kozákov jako geologicky a mineralogicky významná lokalita je součástí geomorfologického celku Ještědsko-kozákovský hřbet. Na jeho geologické stavbě se podílejí horniny tří útvarů–permu, křídly a neogénu.

Nepřehlédnutelným a známým geologickým a geomorfologickým útvarem celé chráněné oblasti jsou Suché skály se statutem národní přírodní památky, jako v případě Kozákova. Nacházejí se v severovýchodní části oblasti. Původně vodorovné svrchnokřídové sedimenty české křídové tabule byly při tektonických pohybech ve třetihorách a čtvrtohorách vztyčeny podél lužického zlomu a zvětráváním získaly dnešní podobu nápadného skalního hřebene (MACKOVČIN 2002).

2.6.5 Druhovú skladba lesů

Společenství lesa je nutno vnímat jako multifunkční a nenahraditelný krajinnotvorný komponent. Má své zákonitosti, podle nichž rostliny a živočichové žijí ve vysoce organizovaném symbiotickém celku. Vlivem antropogenní činnosti prodělaly lesy v Českém ráji v historii výrazné změny, a to v jejich celkové rozloze, ale i v jejich složení. Tyto změny přinesla hlavně přítomnost utvářejícího faktoru této oblasti–člověka a jeho činnosti. Lesy častěji zastoupené listnatými stromy, převážně dubem a bukem, pokrývaly téměř celé území Českého ráje.

Počátky lesního hospodářství přinesly rozšiřování borovice a smrku a s tím související ústup původních lesů. Dříve byla jednou z hlavních dřevin jedle bělokorá. Bohužel dnes roste velmi vzácně. Od konce 19. století zde byla také implementována koncepce introdukce, nejvyužívanějšími zástupci jsou douglaska, vejmutovka a jedle obrovská. Na lehkých písčitých půdách v Českém ráji převažuje v dnešní době borovice lesní, na vlhčích místech smrk ztepilý a z listnáčů zde nejčastěji roste buk, dub, bříza a olše. Za nejcennější a největší listnaté porosty jsou považovány bukové lesy v údolí Jizery. (MRKÁČEK 1998).

V dávné minulosti byl Český ráj územím pralesů. S osídlováním člověk postupně les kácel a krajinu změnil na mozaiku lesů, rybníků, luk a polí.

Do poloviny 18. století se lesy obnovovaly samy–přirozeným zmlazením. Vyšší potřeba dřeva vedla k intenzivním těžbám a nutnosti umělého zalesňování.

Problémem lesů v Českém ráji je jejich intenzivní obhospodařování a značně pozměněná druhová skladba. Přirozené lesy jsou zastoupeny na malých plochách. Jde například o zbytky reliktních borů ve skalních městech.

Na písčitých půdách a temenech pískovcových skal mají svůj domov reliktní skalní bory. Borovice lesní zde při vysokém stáří dorůstá jen do výšky několika metrů a bývá často bizarního, pokřiveného růstu. Velké nebezpečí představuje invaze severoamerické borovice vejmutovky. Ta vytlačuje původní borovici lesní a mění chemismus půdy (WEB1).

V potenciální vegetaci převažují acidofilní doubravy s autochtonní borovicí. Na severu doubravy přecházejí do acidofilních bučin, Na hranách pískovcových skal jsou ostrůvky reliktních borů. Reliktní bory ve skalních městech jsou blízké přirozené skladbě a vyskytují se v souvislých segmentech (CULEK 1996). Proměna původních porostů počala během kolonizace této oblasti ve 12. a 13. století, kdy ovšem nebyla ještě výrazná. Velký dopad měly rozsáhlé polomy v 18. a 19. století a dále škody způsobené suchem a kalamitou Bekyně mnišky v letech 1920–1924. Kalamitní plochy byly zalesňovány borovicí a smrkem a tyto dřeviny byly vysazovány postupně na celém území (MACKOVČIN 2002).

2.6.6 Výzkumné lokality a jejich význam v rámci CHKO

V této kapitole uvádím specifika a zajímavosti daných lokalit v širších souvislostech, a to jak ve vztahu k přírodním, tak i kulturním hodnotám daných území.

Vlastní charakteristika a popis zkusných ploch (dále jen ZP 1–3), které byly založeny v rámci řešení této diplomové práce, je uveden v kapitole Metodika (*4.1 Výběr a založení zkusných ploch*).

Hruboskalsko (ZP 1)

Území Hruboskalska je také přírodní rezervací. Tato oblast je považována za jednu z nejatraktivnějších a nejznámějších oblastí Českého ráje. Vznikla usazením pískovců na dně druhohorního moře a je charakterizována impozantními skalními věžemi, vysokými až 60 m. Vzhledem k malé odolnosti pískovce a stálému působení řady vlivů mají různé tvary a formy jako skalní brány, převisy, tunely a výklenky, jež vznikají zvětráváním (RUBÍN 2006), nejznámější skalní věže jsou např. Kapelník, Maják či Dračí skály. Dále se zde nachází kaňony a rozsedliny, např. Myší díra pod zámek Hrubá skála. Zkusná plocha č. 1 byla založena v Pelešanech, poblíž jednoho z nejstarších hradů Českého Ráje, hradu Valdštejn. Nedaleko je také zámek Hrubá skála, v oblasti nazvané „Údolíčka“ pak Kopicův statek, velmi dobře zachovalá ukázka lidové architektury, u pramenných vývěřů podél tzv. Angrovy stezky stojí lázně Sedmihorky. V oblasti města najdeme mnohá lesní prameniště a tůně.

Žehrov (ZP 2)

Druhá výzkumná plocha se nachází nedaleko obory Žehrov. Již v roce 1829 předložil svijanský lesní úřad Jeho Jasnosti knížeti Carlu Rohanovi projekt na založení obory v žehrovském lesním revíru. Po jeho schválení byl do poloviny roku 1831 díl lesa o ploše 517 jiter a 1218 čtverečních sáhů (necelých 298,5 ha) ohrazen zčásti zdí, zčásti sekanými latěmi. Dnes má obora výměru 306 hektarů a je zaměřena na chov muflonů a dančí zvěře (WEB2).

Žehrovem protéká řeka Žehrovka, která je významným zdrojem vody v okolí. V údolích Žehrovky se můžeme setkat s naším nejhojnějším čolkem horským (*Triturus alpestris*). Řád žab je zde reprezentován rosničkou zelenou (*Hyla arborea*) (MRKÁČEK 1998).

V povodí Žehrovky najdeme řadu vzácných druhů rostlin, jako např. bleduli jarní (*Leucojum vernum*), kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*), suchopýr úzkolistý (*Eriophorum angustifolium*), krušík bahenní (*Epipactis palustris*) nebo orchidej prstnatec májový (*Dactylorhiza majalis*) (MRKÁČEK 1998).

U Žehrova, v přírodní památce V Dubech, je evidován výskyt suchozemského plže vrkoče Geyerova (*Vertigo geyeri*) patřícího k našim nejmenším měkkýšům, jenž je zařazen v červeném seznamu mezi kriticky ohrožené druhy. Uvedený druh byl v této

lokalitě zaznamenán poprvé v roce 1991. Od té doby, co došlo k vysušení prameniště Žehrovky, bohužel vrkoč Geyrovův téměř vymizel (MYŠÁK a kol 2012).

Příhrazské skály (ZP 3)

Blízko třetí zkusné plochy, u Mnichova Hradiště, se nachází rozsáhlá pískovcová skalní oblast Příhrazské skály. Přírodní rezervace s charakteristickým komplexem skalních měst leží na okraji pískovcové skalní plošiny a čedičového vrchu Mužský. Dominantou skalního města je bizarní skalní útvar pojmenovaný Kobylí hlava.

Lesy zabírají podstatnou část území a jsou vedle pískovcových skalních masivů charakteristickým znakem této oblasti. Zajímavé jsou fragmenty přirozených borových doubrav a také reliktní bory, které spolu s doubravami tvoří kostru původní druhové skladby. Značná část porostů je složena z jehličnanů (zejména borovice lesní), popřípadě jde o smíšené porosty. Mezi listnáči převažují buk, bříza a dub. Původní charakter porostů byl proměňován zaváděním nepůvodních hospodářských dřevin borovice vejmutovky, dubem červeným a akátem (CHKO a kol.)

Hrad Valdštejn - (doplňkové šetření)

Hrad Valdštejn, představující jednu z nejnavštěvovanějších památek Turnovska, jehož počátky spadají do 13. století a jehož archeologizace započala mezi léty 1509 až 1582, kdy jej soudobé prameny hodnotí jako zříceninu, sloužil od počátku 18. století poustevníkům. Později vznikla kaple sv. Jana Nepomuckého, částečně asi zbudovaná z trosek hradních objektů (MACEK, NOVOSADOVÁ 1988). Třetí skalní blok představuje nejdochovalejší část středověké zástavby na lokalitě (GABRIEL, MACEK 1992).

Narůstající turistický ruch a soustavné zvyšování kyselosti ovzduší vedou ke stále častějšímu narušování reliktního sídlení na pískovcích. Situace Českého ráje, z tohoto hlediska kritická, vyvolává potřebu zvýšené péče o jednotlivé lokality (MACEK, NOVOSADOVÁ 1988).

3 Metodika

3.1 Výběr a založení zkusných ploch

Zkusné plochy byly vybrány tak, aby se blížily svým věkem, ale stanovištní podmínky byly rozdílné. Jedná se většinou o převážně borové porosty, místy s příměsí smrku ztepilého, buku lesního, dubu zimního a dalších dřevin. Přehled vybraných porostních a stanovištních charakteristik je uveden v níže (*Tabulka 1*)

Tabulka 1: Přehled zkusných ploch

Číslo ZP	Označení ZP	porost	rozloha	GPS	PLO	Nadmořská výška m.n.m.	HS	LT
1	Pelešany	125 B 10 a	900 m ²	50.5690031N, 15.1613556E	18	349	413	3N4
2	Žehrov	524 C 9 a	900 m ²	50.5216725N, 15.1081861E	18	277	233	2K5
3	Příhrazy	503 F 9a	900 m ²	50.5290883N, 15.0837403E	18	250	253	1V2

Popis porostní struktury na zkusné ploše č. 1 (ZP 1)

První zkusná plocha byla založena u obce Pelešany. Porost je situován na prudkém svahu se severovýchodní expozicí a skládá se převážně z borovice lesní (71 %) s příměsí buku lesního, břízy bělokoré, jeřábu ptačího, dubu zimního, modřínu opadavého a smrku ztepilého. V porostu je také přítomna introdukovaná borovice vejmutovka, s jejímž rychlým šířením mají lesníci problémy nejen v Českém ráji. Podmínky pro vznik a odrůstání přirozené obnovy nejsou na této ploše nijak zvláště příznivé, zmlazení je ovlivňováno vlivem hojně rostoucí přízemní vegetace.

Bylinné patro má relativně velkou pokryvnost, dominuje v něm brusnice borůvka a kapradina. Spodní etáž je na zkusné ploše tvořena vtroušeným jeřábem ptačím, bukem lesním a dubem zimním. Horní etáž tvoří borovice a modřín.

Tato zkusná plocha byla založena v listopadu roku 2019, náleží k lesnímu typu 3N4–kamenitá kyselá dubová bučina borůvková a nachází se na hospodářském souboru

41–hospodářství exponovaných stanovišť středních poloh. Zkusná plocha s výměrou 0,09 ha (30x30 m) je situována ve značně členitém terénu. Lesnická mapa z hospodářské knihy a fotografie náhledu do porost je uvedena v příloze (*Příloha 1,2*). Fotografie (*Obrázek 9, 10*) jsou foceny dronem a zobrazují náhled na plochu z ptačí perspektivy.



Obrázek 9: Vyznačená zkusná plocha č.1. Zdroj: Tereza Dudová, březen 2020, foceno dronem.



Obrázek 10: Náhled na zkusnou plochu č.1 z ptačí perspektivy. Zdroj: Tereza Dudová, březen 2020, foceno dronem.

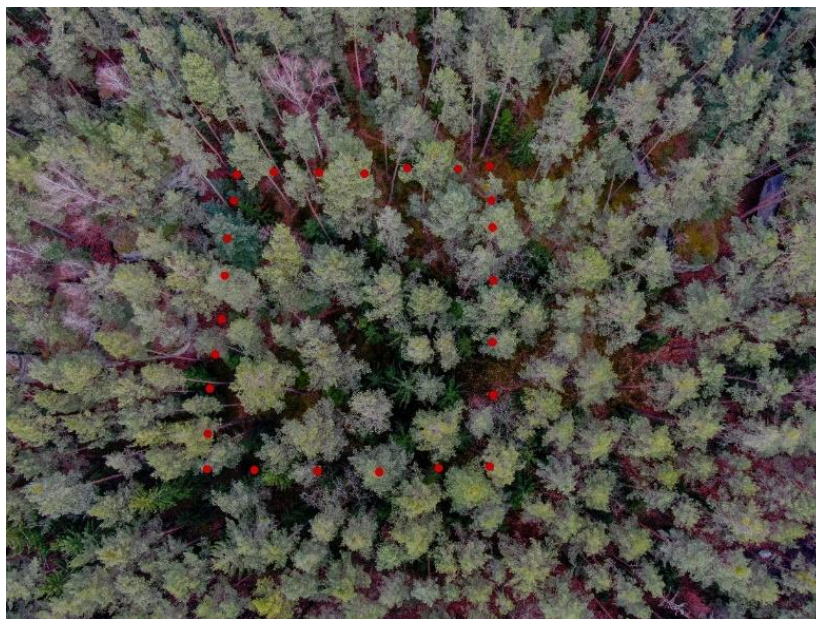
Zkusná plocha č. 2 (ZP 2)

Zkusná plocha číslo 2 byla založena u obce Žehrov, v blízkosti obory se stejným názvem. Porost se skládá převážně z borovice lesní se zastoupením 76 %, s příměsí smrku ztepilého (19 %), břízy bělokoré (2 %) a místy se zde vyskytuje opět introdukovaná borovice vejmutovka (3 %). Oproti ostatním plochám je zde nejlepší podmínka pro přirozené zmlazení. Zmlazuje se zde přirozeně borovice, dub i smrk.

Zkusná plocha s výměrou 0,09 ha (30x30m) v porostu 524 C 9 a je vyznačena na *Obrázku 11*, pořízeným dronem. Další fotografie *Obrázek 12* zobrazuje náhled do porostu, *Obrázek 13* je fotografie z ptáčích perspektivy, focena dronem. Horní etáž je tvořena borovicí a podrost tvoří převážně smrk ztepilý.

Zkusná plocha byla založena v listopadu roku 2019, náleží k lesnímu typu 2K5 – kyselá buková doubrava borůvková na chudých půdách stinných poloh. a nachází se na hospodářském souboru 23 - hospodářství kyselých stanovišť nižších poloh

Kolem této zkusné plochy se na skalních výchozech nachází reliktní bor 0Z4. Porostní mapa a náhled do porostu je v příloze (*Příloha 3,4*).



Obrázek 11: Vyznačená zkusná plocha č.2. Zdroj: Tereza Dudová, březen 2020, foceno dronem.



Obrázek 12: Náhled do borového porostu se smrkovým podrostem (ZP2). Zdroj: Tereza Dudová, březen 2020, foceno dronem.



Obrázek 13: Náhled na zkusnou plochu č.2 z ptačí perspektivy. Zdroj: Tereza Dudová, březen 2020, foceno dronem.

Zkusná plocha č. 3 (ZP 3)

Třetí zkusná plocha se nachází v obci Příhrazy. Porost se skládá převážně z borovice lesní se zastoupením 82 %, s příměsí smrku ztepilého (7 %), dubu zimního (5 %), třešně ptačí (4 %) a javor klen s jeřábem ptačím tvoří 1 % zastoupení. Přestože jeřáb i třešeň jsou z produkčního hlediska dřeviny málo zajímavé, můžou dobře plnit funkci dřevin zápojných. Zkusná plocha s výměrou 0,09 ha (30x30m) v porostu 503 F 9a je vyznačena na fotografii níže (Obrázek 14). Další fotografie z dronu (Obrázek 15) zobrazuje náhled na plochu v širším měřítku.

Zkusná plocha byla založena v listopadu roku 2019, náleží k lesnímu typu 1V2–vlhká habrová doubrava bršlicová a nachází se na hospodářském souboru 25–hospodářství živných stanovišť nižších poloh. Porostní mapa a foto z porostu je uvedena v příloze (Příloha 5,6). Z fotografií bylo zjištěno výrazné napadení jmelím bílým.



Obrázek 14: Vyznačená zkusná plocha č.3. Zdroj: Tereza Dudová, březen 2020, foceno dronem.



Obrázek 15: Náhled na zkusnou plochu č.3 z ptáčí perspektivy. Zdroj: Tereza Dudová, březen 2020, foceno dronem.

Doplňkové šetření–hrad Valdštejn

U tří solitérních jedinců na hradě Valdštejn byla provedena dendrochronologická analýza. Odběr vzorků byl proveden Presslerovým přírůstovým nebozezem, 40 cm nad zemí. Po přípravě vzorků (Obrázek 16) bylo pro analýzu vývrvtů vybraných jedinců použito dendrochronologické datování, které je detailně popsáno níže, v kap. 4.3 *Zpracování dat*. Při odběru vzorků nebylo přírůstovým nebozezem dosaženo dřene stromu; skutečný věk jedinců bude tedy vyšší, z důvodu nezměřených letokruhů ve středové části. Opakované vzorkování bylo zamítnuto z důvodu minimalizace poškození jedinců. Fotografie vzorkovaných jedinců jsou uvedeny v příloze (Příloha 7,8)



Obrázek 16: Vývrvtý jednotlivých borovic odebrané Presslerovým nebozezem a připravené po zbroušení na vlastní analýzu.

3.2 Sběr dat v terénu

V každém porostu byla založena jedna zkusná plocha o velikosti 30 x 30 m. Záměrně byly z měření vyloučeny porostní okraje a části porostů s větší příměsí jiných dřevin. Jeden z okrajů zkusné plochy je vždy označen dřevěným kolíkem a vrchní část kolíku je nabarvena výraznou oranžovou barvou. Ostatní okraje zkusné plochy jsou označeny lesnickým sprejem v podobě pruhu ve výčetní výšce na kmeni hraničního nebo nejbližšího stromu.

U všech zaujatých stromů byla změřena průměrkou výčetní tloušťka s přesností na mm (viz obr. č. x?), výška a výška nasazení koruny s přesností na 0,1 m (výškoměr Vertex IV). Na každé zkusné ploše (dále jen ZP 1–3) bylo měřeno necelých 60 jedinců (ZP1–59, ZP2–59, ZP3–57). Pro každou ZP o velikosti 0,09 ha, byla vypočítána kruhová základna, zásoba v m³ bez kůry, zakmenění, zastoupení a další dendrometrické veličiny.

Odběr vzorků se prováděl tzv. Presslerovým přírůstovým nebozezem (*Obrázek 18*) ve výšce 40 cm nad zemí. Vzorky mají podobu vývrtu, což je úzký váleček odebraný ze stromu ve směru kolmém na podélnou osu kmene (DRÁPELA, ZACH 1995).

Na každé ze tří zkusných ploch bylo odebráno 30 vzorků dominantních a kodo-
dominantních jedinců borovice lesní. Každý strom byl označen pořadovým číslem od jedné do třiceti, pro následnou lepší orientaci na zkusné ploše (*Obrázek 17*).



Obrázek 17: Označení stromu na zkusné ploše. Zdroj: Tereza Dudová.

Celkem bylo tedy odebráno 90 vzorků–vývrtů. Vývrty, úzké tyčinky, o průměru 5 mm byly upevňovány do připravených dřevěných destiček s drážkami o přesné šíři vzorku. Každý odebraný vzorek byl do drážky vlepen lepidlem, silně přitisknut a ihned nadepsán pořadovým číslem stromu a stanoviště, aby se předešlo případné záměně vzorků jednotlivých stanovišť.

Všechny stromy byly v místě vývrtu ošetřeny proti vniknutí dřevokazného hmyzu a hub stromovým balzámem a štěpařským voskem.



Obrázek 18: Odběr vzorku Presslerovým nebozezem, zdroj Tereza Dudová.

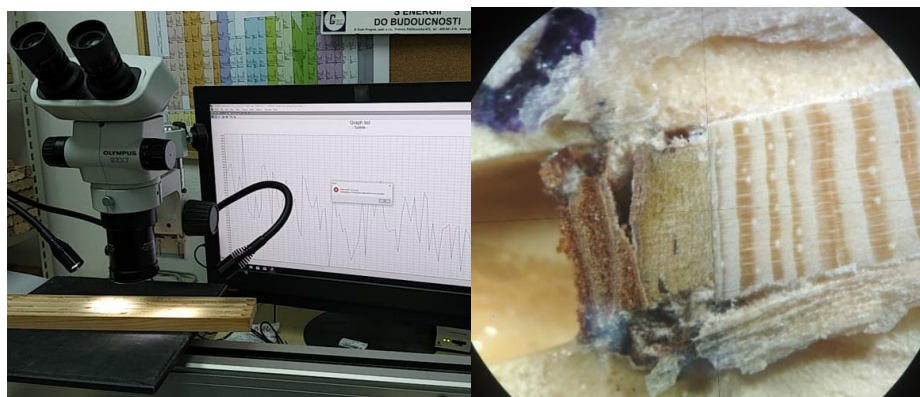
3.3 Zpracování dat

3.3.1 Datování letokruhů

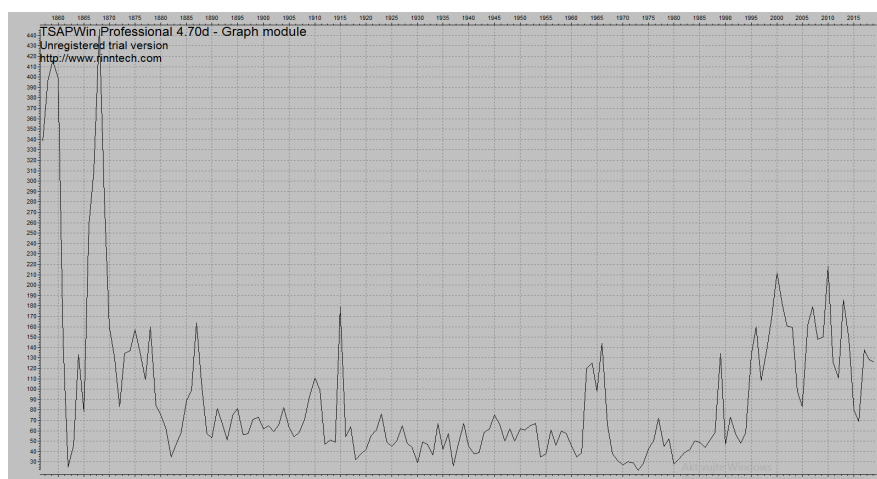
Před samotným měřením byly vzorky v laboratoři Fakulty lesnické a dřevařské zbroušeny a vyhlazeny brusnými papíry různých zrnitostí, díky čemuž bylo možné vyleštit povrch vzorků. Správně zbroušený a vyleštěný vzorek může být použit na následné měření pomocí měřicího stolu.

Pro změření a analýzu dendrochronologických vývrtů byl použit software TSAP-Win (RINNTECH®). Pomocí měřicího stolu LINTAB™(RINNTECH®) byly od kůry ke středu měřeny tloušťky jednotlivých letokruhů s přesností na 0,01 mm. Měřicí stůl (*Obrázek 19, vlevo*) je vybaven posuvným šroubovým mechanismem a impulsmetrem,

který do počítače zaznamenává interval posunu desky stolu ve formě křivek, které popisují šířku jednotlivých letokruhů (Obrázek 20). Poslední částí měřicí aparatury je na stativu umístěná stereolupa s nitkovým křížem (Obrázek 19, vpravo).



Obrázek 19: (vlevo) Měření šířky letokruhů binolupou Olympus na měřícím stole LINTAB™ (RINNTECH®). (vpravo) Pohled na vzorek stereolupou s nitkovým křížem.
Zdroj: Tereza Dudová.



Obrázek 20: Křivka růstu v jednotlivých letech (osa y 0,01 mm).

I při zvýšené pozornosti u měření letokruhů je možné udělat chybné čtení letokruhu, způsobené vynecháním špatně viditelného potlačeného letokruhu, nebo přičtením nepravého letokruhu, který je způsoben negativními vlivy během přírůstu (vlivy jako nedostatek vody, změny teploty, poranění). Tyto nepravé letokruhy bývají velmi podobné skutečným letokruhům. Po provedení základního měření byla proto data opravena o přebytečné či chybějící letokruhy v softwaru CDendro (Cybis.se). Tato oprava chybného měření se nazývá datování (anglicky „crossdating“), kdy pomocí referenční křivky (referenční křivka je průměrná letokruhová křivka složená ze vzorků s navzájem vysoce korelujících datových křivek stanoviště) jsou označeny vývrty, které mají v sobě chybné

měření. Chybné měření se odstraní opětovným přeměřením vývrtnu tak, aby došlo k vysoké korelaci vůči referenční křivce.

Změřené křivky letokruhových sérií jsou ovlivněny tzv. růstovým trendem (způsobený věkem stromu) a tento trend je individuální pro každý jednotlivý strom. Právě z tohoto důvodu se obecně přistupuje k tzv. detrendaci. Aby bylo možné vytvořit průměrnou křivku přírůstu pro celý porost, je třeba přistoupit k odstranění tohoto individuálního růstového trendu jedince. Detrendování zde bylo provedeno pomocí negativně exponenciální funkce s proloženým *splinem* 1/3 věku vzorku. Hodnoty byly vyrovnány funkcí „chron“. V R programu (R Core Team 2014) byl použit balíček *dpLR* (BUNN, MIKKO 2018). Data všech změřených letokruhových sérií byla následně převedena do jednotlivých tabulek sešitu MS Excel.

3.3.2 Sběr a analýza klimatických dat

Údaje o průměrných ročních teplotách, teplotách vegetačního období, teplotách mimo vegetační sezónu, teplotách v jednotlivých měsících a ročním součtu srážek, součtu srážek za vegetační období, srážkách mimo vegetační období a srážkách v jednotlivých měsících v letech 1961–2019, byly použity k popisu vývoje teploty a srážkových podmínek. Zdroj meteorologických dat byl získán z historických dat Českého hydrometeorologického ústavu a pro tuto práci byla použita data pro Liberecký kraj. Za tato historická data je zodpovědný odbor klimatologie, který data měří, ukládá, vyhodnocuje a archivuje a také metodicky řídí staniční síť klimatologických, srážkoměrných a agrometeorologických stanic na území České republiky (WEB 4).

K analýze vztahu mezi klimatickými parametry a tloušťkovým přírůstem byly použity průměrné měsíční teploty vzduchu a průměrné měsíční úhrny srážek z období 1961–2019. *DendroClim 2002* (*DendroLab*) byl použit pro analýzu dendrochronologických křivek s měsíčními klimatickými podmínkami, s využitím funkce „*response and correlation*“ v měsících od května do září (BIONDI, WAIKUL 2004).

Analýzy ze softwaru *DendroClim* byly rozděleny do dvou částí „loňského a letošního přírůstu (květen loňského přírůstu–září letošního přírůstu). Tomuto rozdělení

předchází skutečnost, že růst stromů je často ovlivněn podmínkami z předcházejícího období tloušťkového přírůstu (DRÁPELA, ZACH 1995).

3.3.3 Vyhodnocení porostních charakteristik a stanovení přírůstů

Výčetní kruhová základna byla vypočtena dle vzorce: $G_{1,3} (m^2) = d_{1,3}(cm)^2 \times \pi / 40000$

Zastoupení dřevin bylo vypočteno dle vzorce: $z (\%) = RPD / RPP \times 100$, kde RPP je relativní plocha dřeviny získaná jako podíl $G_{dřeviny}$ na G_{tab} . Součet relativních ploch dřevin (RPD) je relativní plocha porostu (RPP)

Zakmenění je vypočteno dle vzorce $q (\%) = RPP / SPP \times 100$

Zásoba na jednotlivých zkusných plochách byla stanovena jako součet hmot jednotlivých stromů zjištěných ve hmotových tabulkách ULT. Pro přepočítání na hmotu hroubí bez kůry byla uplatněna srážka 10 % u jehličnanů a 15 % u listnáčů. Následně byla zásoba dřevin přepočtena na 1 ha.

Běžný roční radiální přírůst (CBP) je vyjádřen tloušťkou letokruhu (mm) vytvořeného za jedno vegetační období. Radiální vývrty byly odebrány z výšky 40 cm, kvůli objektivnějšímu stanovení věku jedince. Pro charakteristiku běžného přírůstu na zkusné ploše v daném roce byl použit aritmetický průměr tlouštěk letokruhů příslušného roku ze třiceti vzorkovaných borovic na ploše.

Průměrný radiální přírůst (CPP) vzorkovaných borovic na zkusné ploše byl získán jako podíl délky vývrtů (mm) v příslušném roce a odpovídajícího kumulativního věku. Přírůsty byly počítány pro období 1961–2019.

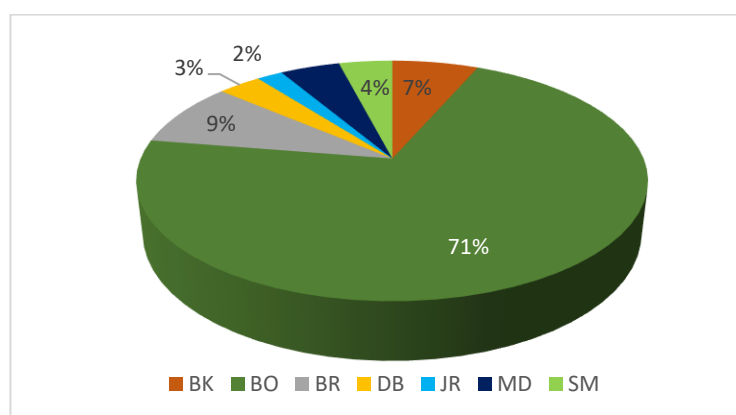
4 Výsledky

4.1 Popis porostní struktury

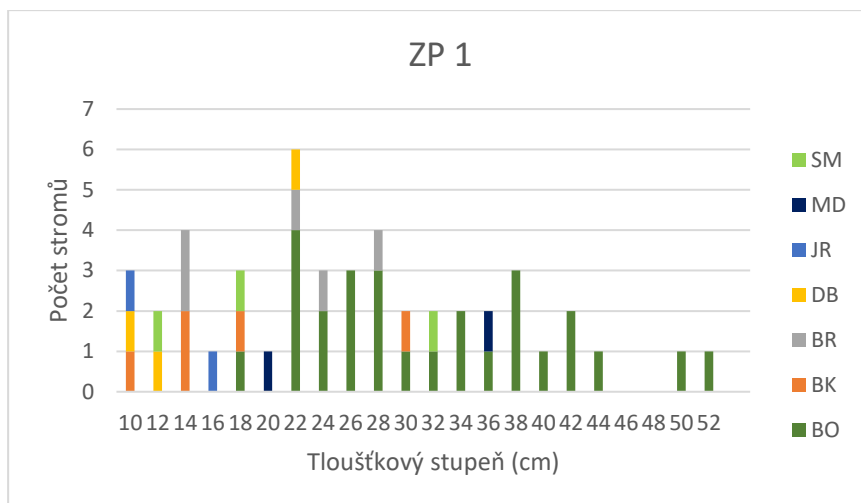
Zkusné plochy (ZP) 1 Pelešany, ZP 2 Žehrov a ZP 3 Příhrazy, byly záměrně vybrány jako reprezentanti odlišných stanovištních podmínek. Zastoupeny jsou exponovaná stanoviště středních poloh (CHS 41–ZP 1), kyselá stanoviště nižších poloh (CHS 23–ZP 2) a živná stanoviště nižší poloh (CHS 25–ZP 3).

V následujících tabulkách a grafech jsou uvedeny výsledky zjištěných porostních charakteristik pro každou ze tří založených zkusných ploch.

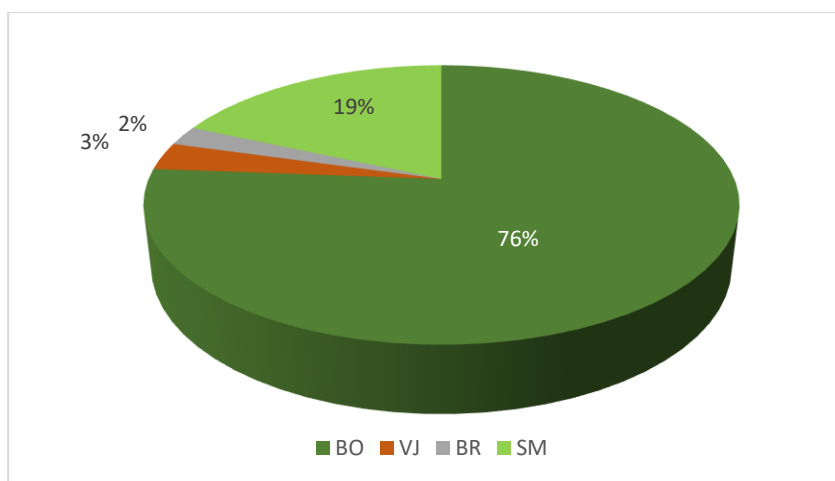
Grafy 1–6 znázorňují zastoupení dřevin na zkusných plochách. Hlavní dřevinou je borovice, jejíž zastoupení se pohybuje v rozmezí 71–82 %. Nejméně přimíšených dřevin je na ZP 2. Naopak nejvíce přimíšených dřevin se nachází v ZP 1. Dále byl pro jednotlivé zkusné plochy vytvořen histogram změřených tloušťek.



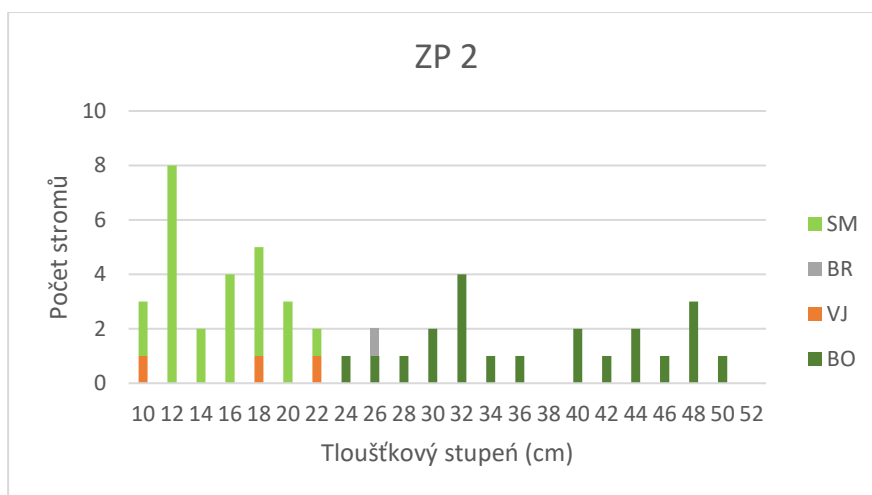
Graf 1: Zastoupení dřevin na zkusné ploše č.1 (ZP 1)



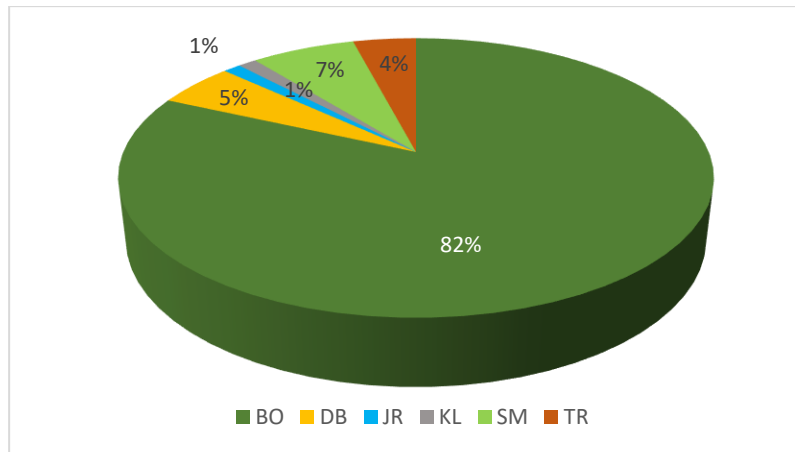
Graf 2: Histogram tloušťek na zkusné ploše č.1 (ZP 1; 0,09 ha)



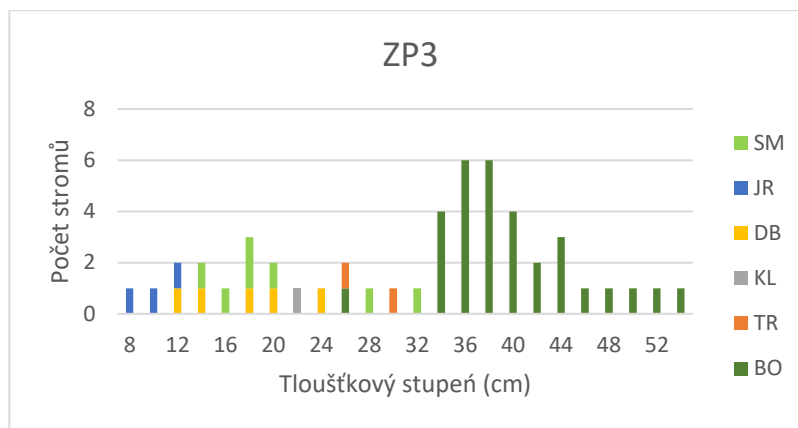
Graf 3: Zastoupení dřevin na zkusné ploše č.2 (ZP 2)



Graf 4: Histogram tloušťek na zkusné ploše č.2 (ZP 2; 0,09 ha)



Graf 5: Zastoupení dřevin na zkusné ploše č.3 (ZP 3).



Graf 6: Histogram tloušťek na zkusné ploše č.3 (ZP 3; 0,09 ha).

V *Tabulce 2* jsou uvedeny pro přehled cílové hospodářské soubory a soubor lesních typů, dále přirozená dřevinná skladba, výčetní kruhová základna, dále je uvedena zjištěná zásoba (m³/ha) pro jednotlivé ZP, včetně podílu jednotlivých dřevin a také je uvedeno zakmenění a procentuální zastoupení, které je vyobrazeno v předchozích grafech.

Tabulka 2: Sumární porostní charakteristiky na zkusných plochách ZP 1–ZP 3.

Zkusná plocha	Přirozená dřevinná skladba	Dřevina	G (m ² /ha)	Zásoba (m ³ hr.b.k/ha)	Zastoupení (%)	Zakmenění (%)
ZP 1	BK 6, DB 3, JD 1, (BO)	celkem	31,41	327,16		80
SLT: 3N		BK	1,38	12,37	7	
CHS: 41		BO	24,67	269,29	71	
		BR	1,87	11,98	9	
		DB	0,53	1,93	3	
		JR	0,30	0,68	2	
		MD	1,46	17,88	5	
		SM	1,19	13,03	4	
ZP 2	DB 7, BK 3, (LP, BR, BO)	celkem	31,47	308,55		76
SLT: 2K		BO	25,83	271,62	76	
CHS: 23		BR	0,68	5,31	3	
		SM	0,56	28,59	2	
		VJ	4,40	3,03	18	
ZP 3	DB 4-6, JS 2, JL 1, HB 1-2, LP 1-2, (JV, OL)	celkem	47,32	545,44		107
SLT: 1V		BO	41,54	503,43	82	
CHS: 25		DB	1,26	7,73	5	
		JR	0,22	0,58	1	
		SM	0,35	21,62	1	
		TR	2,68	9,47	7	
		KL	1,27	2,61	4	

Pozn.: přirozená dřevinná skladba převzata z Oblastního typologického elaborátu pro PLO 18 (zdroj: ÚHÚL).

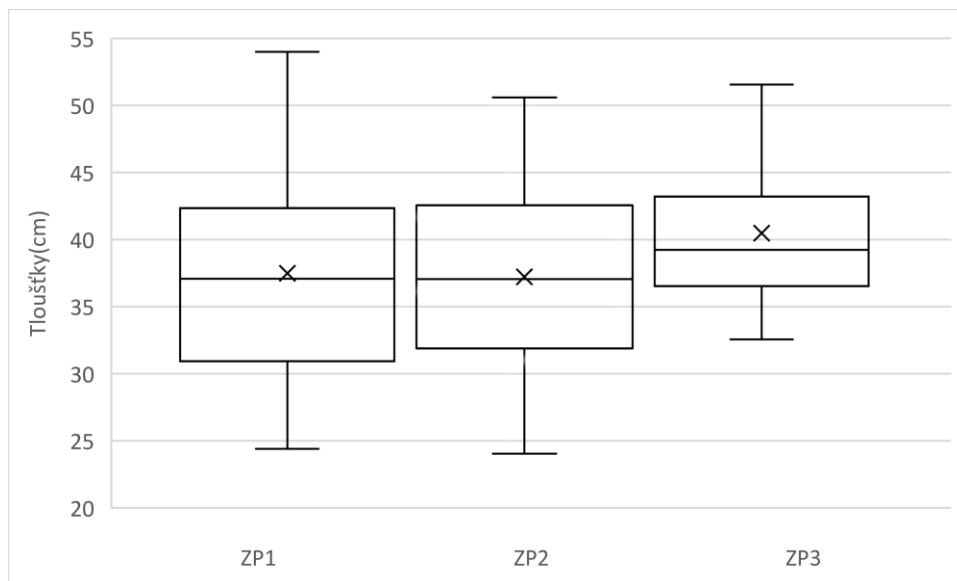
4.2 Dendrometrické veličiny vzorkovaných borovic

V rámci tří zkusných ploch ZP 1 (CHS 41), ZP 2 (CHS 23) a ZP 3 (CHS 25), byla naměřena data 90 jedinců borovice lesní, vždy po 30; jedincích na každé ploše.

4.2.1 Tloušťka

V rámci zkoumaných zkusných ploch se pohybují změřené výčetní tloušťky vzorkovaných borovic v rozmezí 24,4–54,1 cm. Průměrná tloušťka činí na ZP 1 37,4 cm

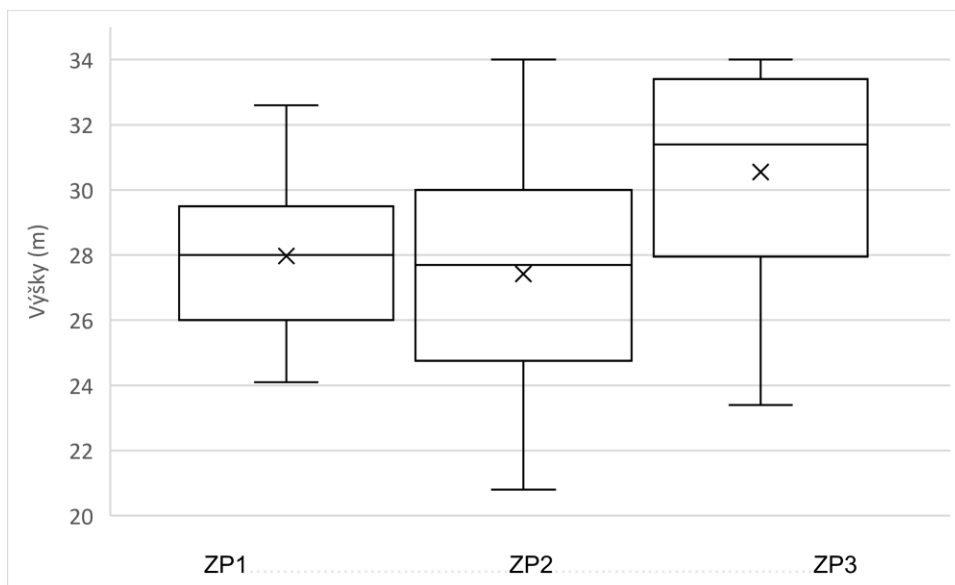
(střední hodnota 37 cm), na ZP 2 37,2 (37 cm) a na ZP 3 40,5 (39,2 cm) (*Graf 7*). Zatímco ZP 1 a ZP 2 jsou si v tloušťkách podobny, ZP 3 vykazuje větší tloušťkové dimenze.



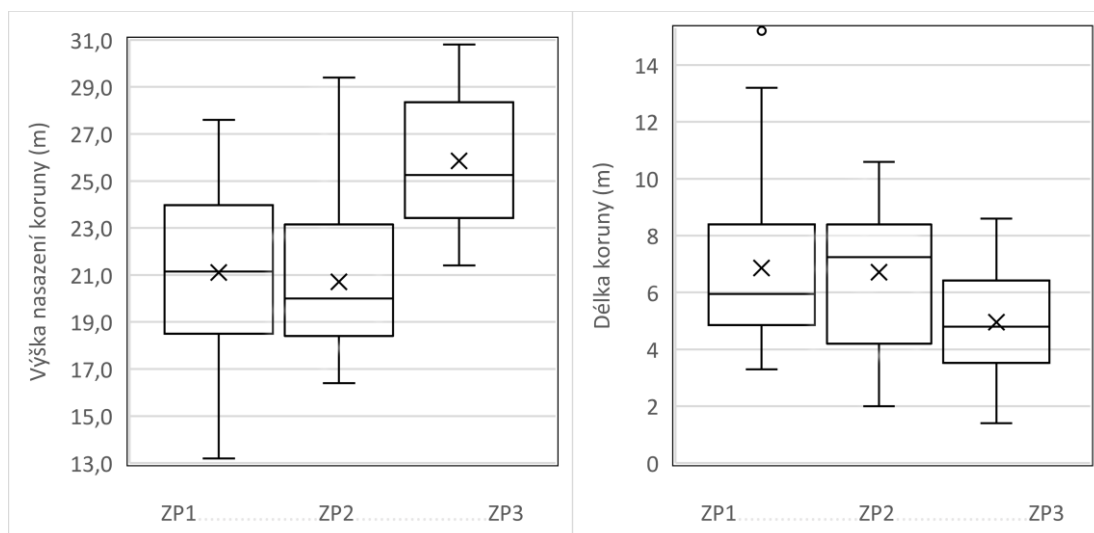
Graf 7: Průměrné výčetní tloušťky měřených borovic na založených zkusných plochách.

4.2.2 Výška

Naměřené výšky se na jednotlivých zkusných plochách pohybují v rozmezí 20,8–36 m. Výška nasazení koruny je v průměru nejnižší na ZP 2 v 20,7 m a nejvyšší na ZP 3 v 25,9 m (*Graf 9, vlevo*). Sousední graf (*Graf 9, vpravo*) zobrazuje průměrné délky koruny a potvrzuje, že čím výše je nasazení koruny, tím kratší korunu jedinec má. Na ZP 1 je průměrná výška i střední hodnota měřených jedinců 28 m, podobně je tomu i na ZP2 27,4 (střední hodnota 27,7 m). Nejvyšší jedinci o průměrné výšce 30,6 m (31,4 m) byli naměřeni na ZP 3. Nejvyšší hodnoty v *Grafu 8*, souhlasí s předchozím *Grafem 7*, který u ZP 3 značí také největší hodnoty–tloušťky.

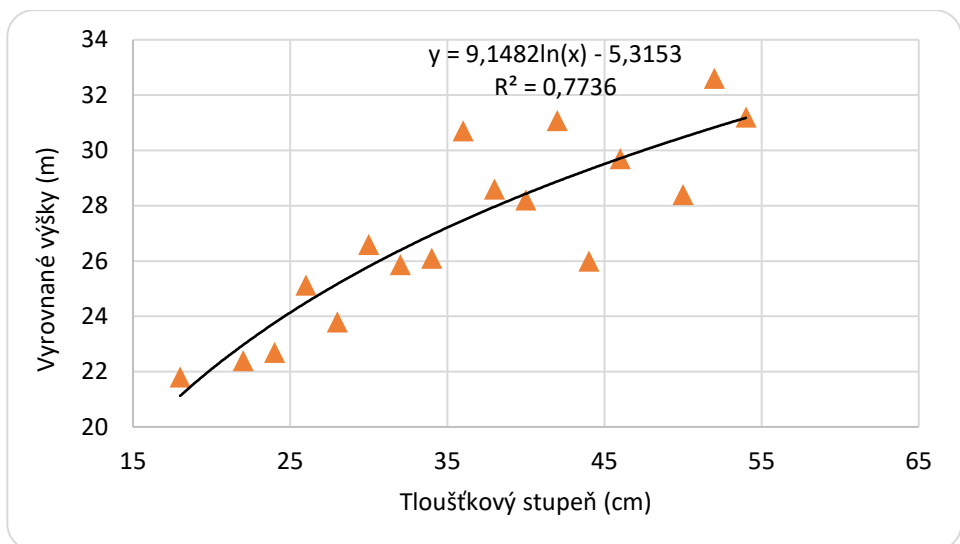


Graf 8: Průměrné výšky měřených borovic na založených zkusných plochách.

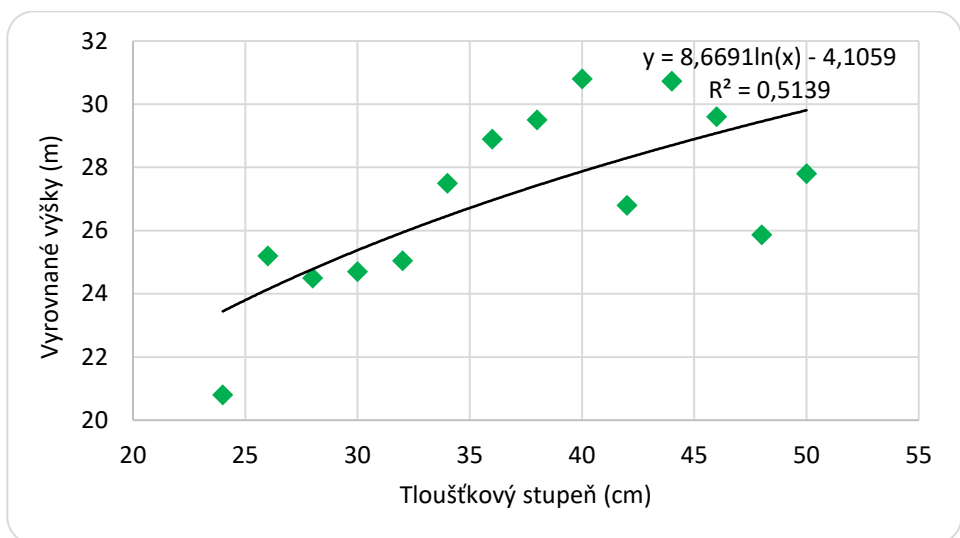


Graf 9: (vlevo) Průměrná výška nasazení koruny a (vpravo) průměrná výška koruny u měřených borovic na založených zkusných plochách.

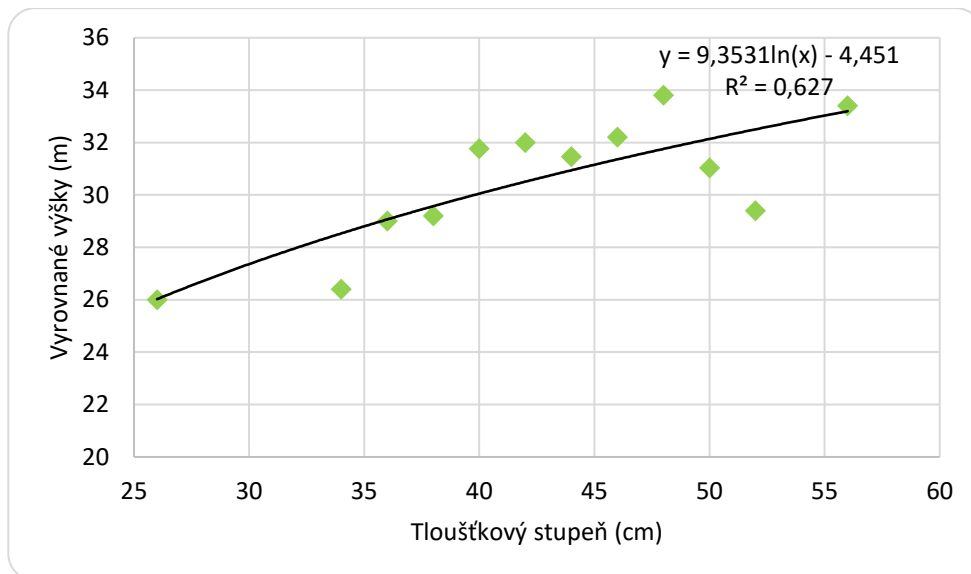
V následujících grafech (Graf 10, 11, 12) jsou u sledovaných borovic zvlášť pro jednotlivé plochy zobrazeny stadiální výškové grafikony. Tloušťky byly zařazeny do tloušťkových stupňů a výšky vyrovnány plynulou křivkou.



Graf 10: Stadiální výškový grafikon měřených borovic na ZP 1.



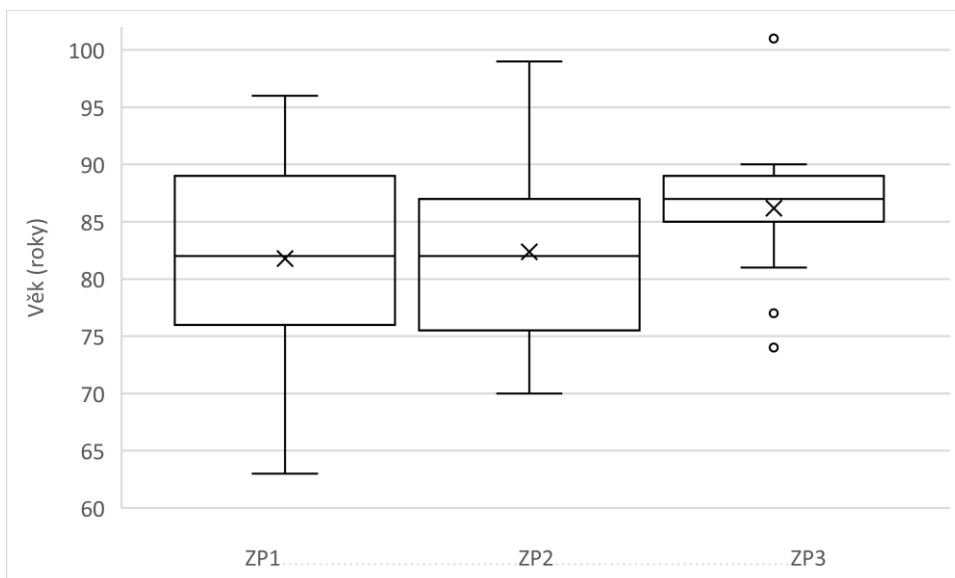
Graf 11: Stadiální výškový grafikon měřených borovic na ZP 2.



Graf 12: Stadiální výškový grafikon měřených borovic na ZP 3.

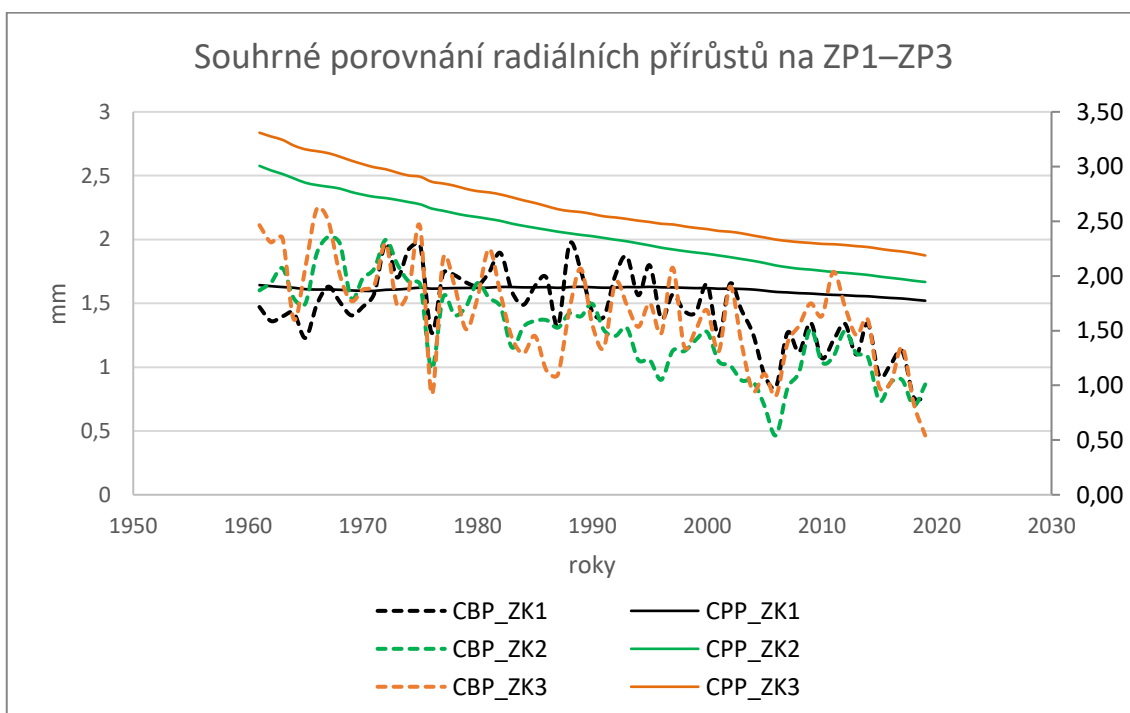
4.2.3 Věk

Analýzou dendrochronologických vývrtů odebraných ve výšce 40 cm byl zjištěn přesný věk u 90 sledovaných borovic. Věk je na zkusných plochách rozdílný, pohybuje se v rozpětí 52–174 let. Nejstarší jedinci se nachází na ZP1 a dle jejich věku 174, 167 a 160 let se nejspíše jedná o výstavky z minulého porostu. Tito jedinci vykazují extrémní hodnoty, výrazně převyšující průměrný věk. U ZP 2 tvoří naopak 52 letý nejmladší jedinec odlehlou (extrémní) hodnotu výrazně pod průměrem. Na ZP 1 je průměrný věk 90 let (střední hodnota 84), na ZP 3 je průměr věku 86 (87) let a nejmladší ze sledovaných ploch je ZP 2 s průměrným věkem 81 (82) let. Po odstranění extrémních hodnot, je plocha ZP1 věkově podobná ploše ZP 2 (82) let (*Graf 13*). ZP 3 odstranění odlehlých hodnot téměř neovlivnilo.



Graf 13: Průměrný věk měřených borovic na založených zkusných plochách s odstraněnými extrémními hodnotami. Zleva ZP1, ZP2, ZP3.

4.3 Vývoj radiálního přírůstu jedinců

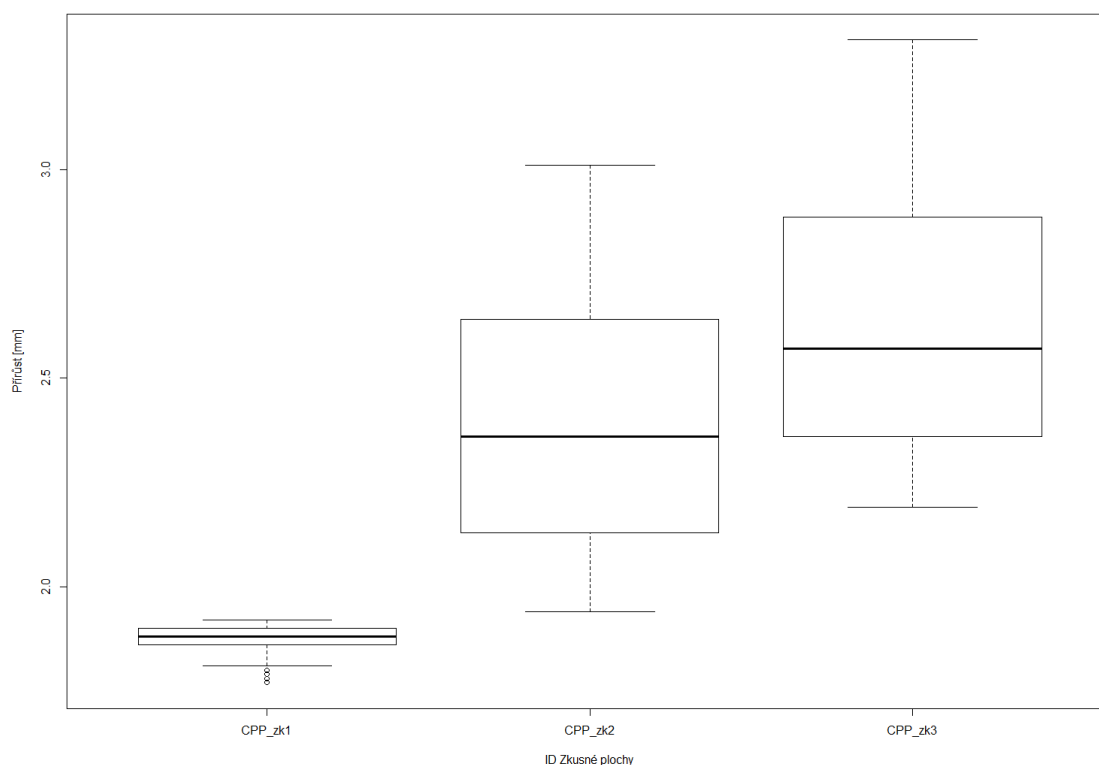


Graf 14: Souhrnné porovnání radiálních přírůstů na ZP 1–ZP 3.

Graf 14 znázorňuje průběh celkového běžného a celkového průměrného radiálního přírůstu (CBP a CPP) zjištěných odebráním vývrtů z 90 stromů ve výšce 40 cm. Z grafu je patrné, že na:

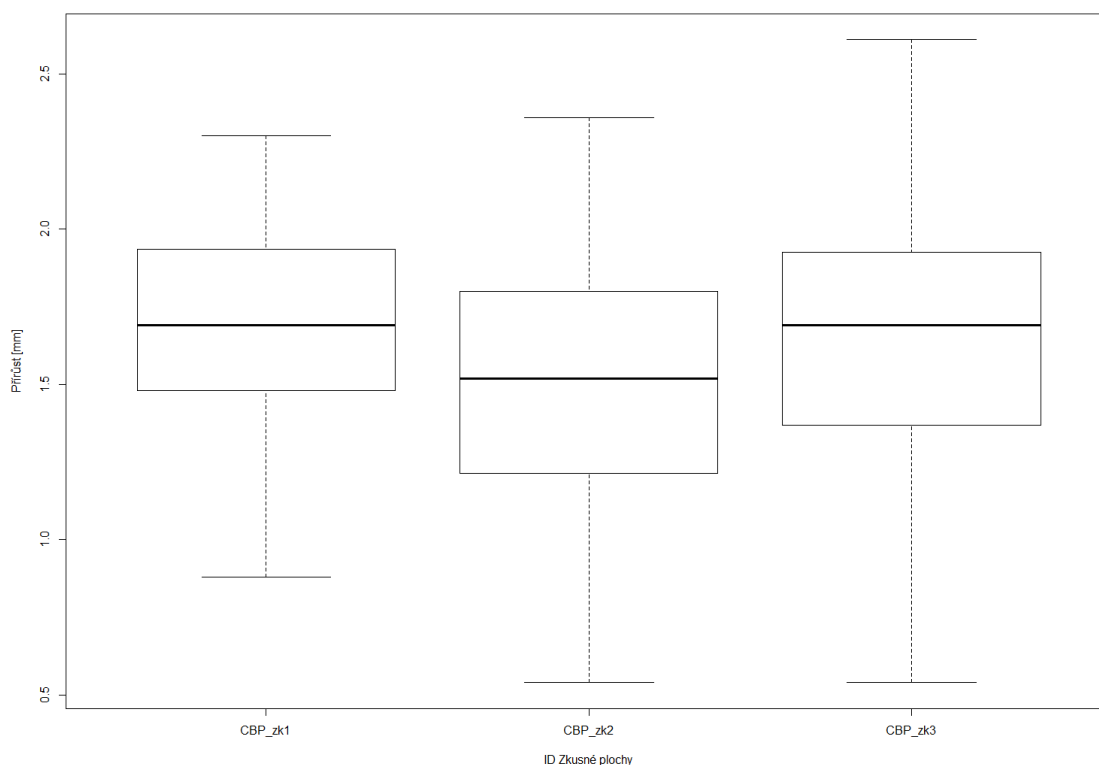
–ploše ZP 1 se v rozmezí let 1970–1995 CBP pohybuje na úrovni CPP a někde v tomto období také dochází ke kulminaci přírůstu. Uplynulých 20–25 let se však CBP pohybuje pod úrovní CPP.

–plochách ZP 2 a ZP 3 se kolísající průběh CBP trvale pohybuje pod křivkou CPP, což je příznakem toho, že ke kulminaci přírůstu došlo již dříve, tedy před rokem 1961.



Graf 15: Krabicový graf celkového průměrného přírůstu na jednotlivých zkusných plochách.

Graf 15 porovnává jednotlivá stanoviště dle průměrného přírůstu na datech v časové řadě období 1961–2019. Je patrný rozdíl a tento přírůst se postupně zvyšoval od stanovišť exponovaných, přes stanoviště kyselá a největší byl na stanovištích živných.



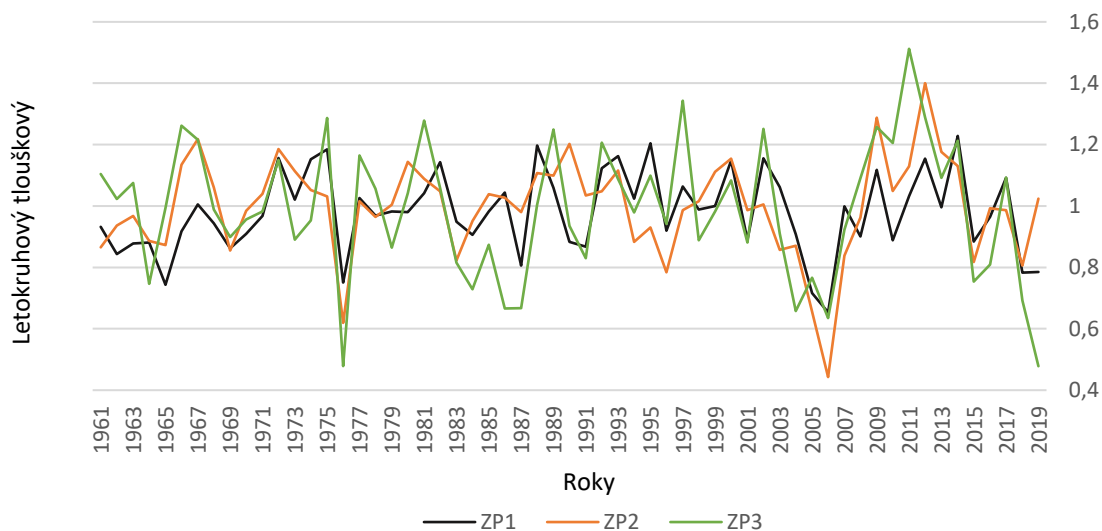
Graf 16 Krabicový graf celkového běžného přírůstu na jednotlivých zkusných plochách.

4.4 Vliv klimatu na radiální růst borovic

V následujícím *Grafu 16* jsou zobrazeny průměrné stanovištní letokruhové křivky, které vypovídají o radiálním růstu borovice lesní na všech třech sledovaných zkusných plochách. Letokruhové křivky ukazují, že hodnoty u studovaných zkusných ploch se vyvíjely mírně odlišně. Významnou shodu zpomalení přírůstu na všech plochách můžeme pozorovat hlavně v letech 1976 a 2006. Během těchto období je značně potlačena schopnost přírůstu borovice na všech třech studovaných zkusných plochách. Naopak významné podmínky pro přírůst vykazovala borovice po suchém období po roce 2006. Vrchol největších přírůstů vidíme v letech 2011–2013.

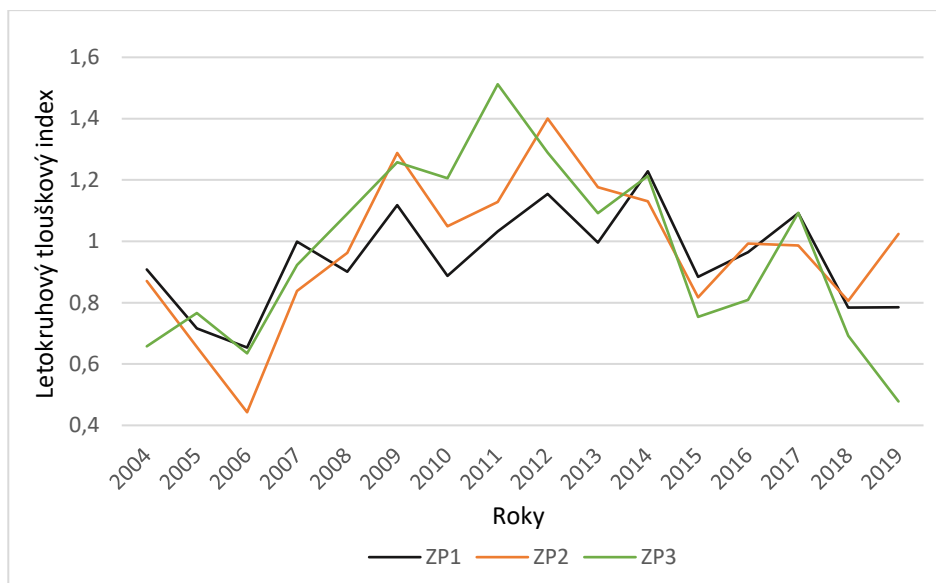
Průměrná stanovištní křivka ZP 1 ukazuje na nepravidelné střídání příznivých a nepříznivých období. Hlavní produkční snížení přírůstu ZP 2 probíhalo kolem let 2004–2007. Po vlivu sucha pak v letech 2012–2013 borovice nejvíce přirůstala. Periodicita přírůstu borovice probíhá při střednědobých výkyvech v cyklech 5–10 let. Standardizovaná průměrná stanovištní letokruhová řada borovice lesní na ZP3 ukazuje,

že na této lokalitě na první pohled docházelo k větším výkyvům v přírůstu oproti dalším dvěma plochám. Na grafu jsou opět velmi patrné značné poklesy růstu kolem let 1976 a 2006, shodné pro všechny plochy. Je třeba u ZP 3 zmínit také pokles radiálního růstu v období 1983–1988 a zásadní a zároveň aktuální zpomalení růstu v roce 2019. Tento pokles přírůstu není u ostatních ploch natolik výrazný. U ZP 3 můžeme říci, že je radiální růst borovice výrazně ovlivněn velmi suchým rokem, kterým 2019 dle hydrometeorologických dat bezpochyby je.



Graf 17: Výstup ze softwaru DendroClim–Standardizované chronologie šířky letokruhů borovice lesní na založených výzkumných zkušných plochách ZP1, ZP2 a ZP3 s přidaným spline a hloubkou vzorku za období 1961–2019. Hodnoty pochází z detrendovaných dat, z toho vyplývá, že nemají růstový trend.

Na *Grafu 17* vidíme průměrné letokruhové stanovištní křivky za období posledních 15 let. V roce 2019 je patrný výrazný pokles přírůstu u ZP 3.



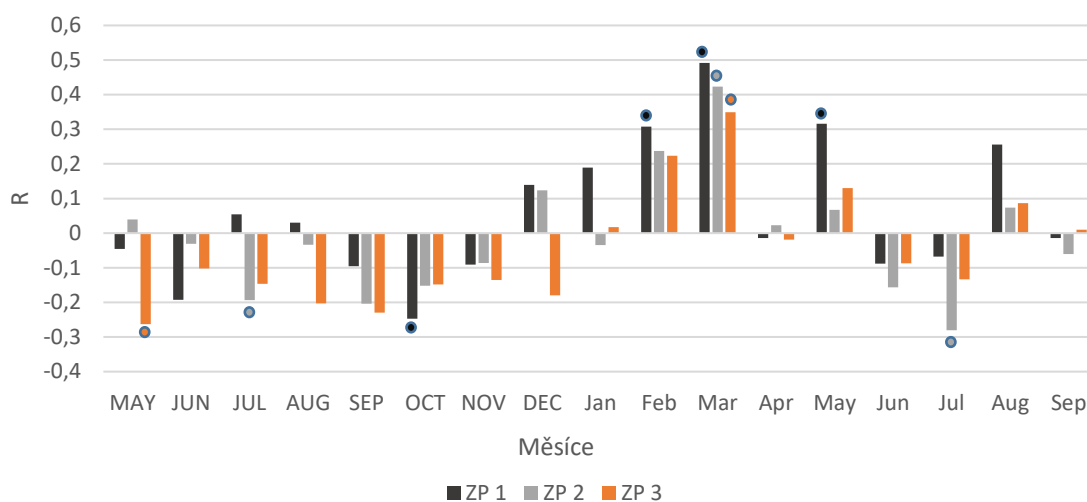
Graf 18: Výstup ze softwaru DendroClim–Standardizované chronologie šířky letokruhů borovice lesní na založených výzkumných zkušných plochách ZP1, ZP2 a ZP3 s přidáním spline a hloubkou vzorku za období 2004–2019. Hodnoty pochází z detrendovaných dat, z toho vyplývá, že nemají růstový trend.

Z hlediska měsíčních teplot vzduchu ve srovnání s průměrným ročním radiálním růstem je v *grafu 18* patrné, že borovice lesní zvyšuje svůj přírůst v závislosti na srážkách na konci zimního období a k nejprůzračivějšímu růstu využívá měsíc březen nadcházejícího roku, kde všechny plochy ZP 1, ZP 2 a ZP 3 reagovaly významně a byly zjištěny kladné ($P < 0,05$) hodnoty ($r = 0,35–0,49$).

Měsíce únor a květen běžného roku, vyšly významné jen pro ZP 1–únor ($r = 0,30$) a květen ($r = 0,32$). Naopak negativně koreluje na ZP1 teplota v říjnu předešlého roku ($r = - 0,25$).

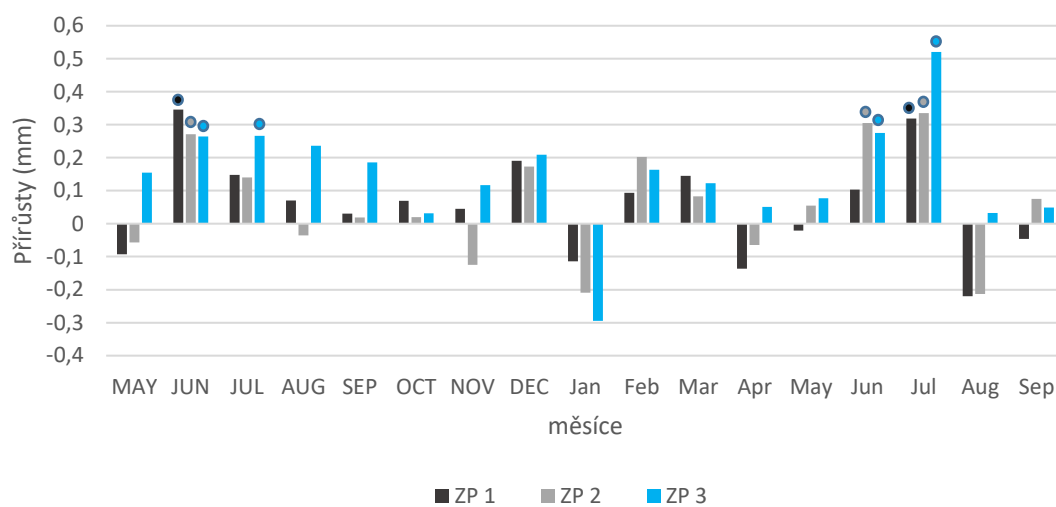
Korelace teploty a regionální měsíční chronologie u ZP2 ukazuje, že teploty nemají vždy pozitivní vliv na přírůst. Jak je popsáno výše, pozitivní vliv na přírůst má teplota v březnu, negativní korelace vyšla pro měsíc červenec minulého i nadešlého roku ($r = 0,19–0,28$).

U ZP3 ukazuje *graf 18* signifikantní zápornou korelaci pro měsíc květen v minulém roce. Na rozdíl od ostatních ploch je tedy v květnu viditelný na ZP3 významný negativní vliv teplot. Kladná korelace s průměrnými měsíčními teplotami vyšla signifikantní u ZP3 jen v březnu, kde je, jak již bylo psáno výše, kladný výsledek také u obou předchozích ploch.



Graf 19: Hodnoty korelačních koeficientů regionální chronologie indexu letokruhů borovice lesní s měsíčními teplotami od května předchozího roku (velká písmena) do září běžného roku (malá písmena) pro období 1961–2019 na založených výzkumných zkusných plochách ZP1, ZP2 a ZP3. Statisticky významné hodnoty ($\alpha = 0,05$) jsou označeny v grafu kulatým symbolem.

Účinek měsíčního součtu srážek na porostech 1–3 se během vegetačních období liší jen málo (Graf 19), dva měsíce vyšly pozitivně signifikantní na všech třech zkusných plochách. Prvním významným měsícem je červen předchozího roku, kde je pozitivní korelace u ZP 1, 2 i 3 ($r = 0,26 - 0,35$). Významný pozitivní vztah se posunul u ZP3 také na červenec předchozího roku ($r = 0,27$). Červen běžného roku je dalším významným měsícem, kdy byl výrazně prokázán pozitivní vztah 2 a 3ZP ($0,27; 0,26$). Na všech ZP se setkává pozitivní korelace v červenci běžného roku ($r = 0,32 - 0,52$). Statisticky nejvýznamnější je pro radiální růst borovice lesní tedy měsíc červenec v běžném roce (pozitivní hodnoty nejlépe vychází pro ZP1) a dále pro všechny ZP červenec roku předchozího. Celkově můžeme z grafu vyčíst, že dle průměrného ročního radiálního přírůstu reaguje borovice lesní na účinek srážek pozitivně. Mezi negativní měsíce se řadí leden a srpen, ale hodnoty nevyšly statisticky významně.



Graf 20: Hodnoty korelačních koeficientů regionální chronologie indexu letokruhů borovice lesní s měsíčními srážkami od května předchozího roku (velká písmena) do září běžného roku (malá písmena) pro období 1961–2019 na založených výzkumných zkusných plochách ZP1, ZP2 a ZP3. Statisticky významné hodnoty ($\alpha = 0,05$) jsou označeny v grafu kulatým symbolem.

4.5 Výsledek doplňkového šetření

4.5.1 Analýza borovic na hradě Valdštejn

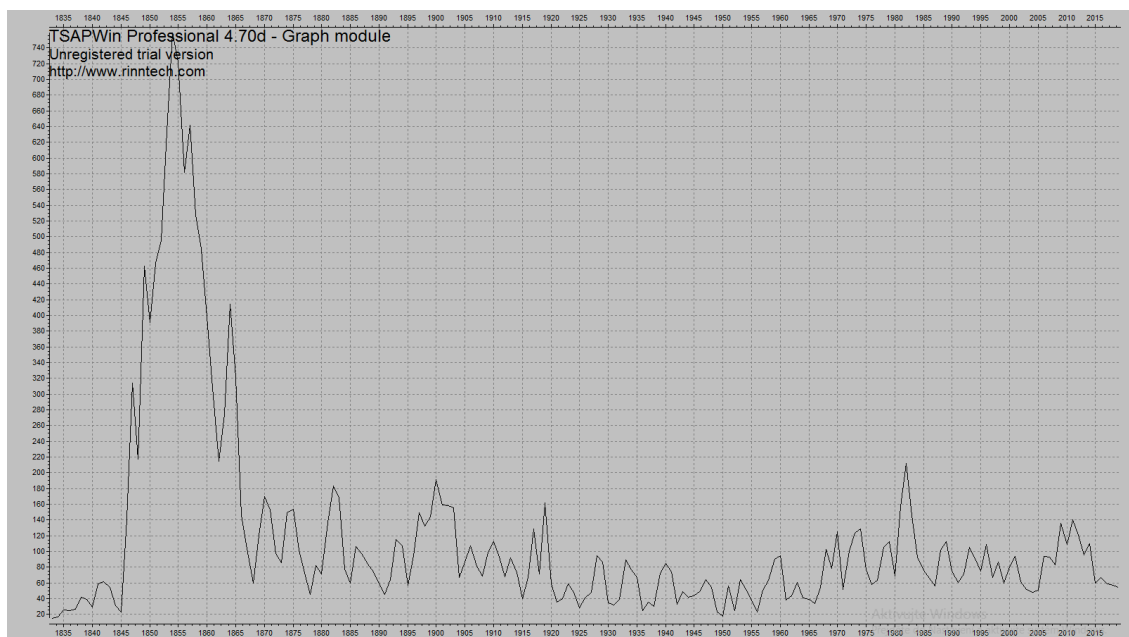
V tabulce x vidíme výsledky dendrochronologické analýzy tří jedinců borovice lesní, rostoucích na skalním výchozu hradu Valdštejn. Jedinec 1 a 3 se blíží věku 200 let

Díky skutečnosti, že odběr vzorků byl proveden ve výšce 40 cm nad zemí, je nutné kalkulovat i s dobou, než jedinec dosáhne inkriminované výšky 40 cm. Skutečný věk jedince 1 a 3 bude více než 200 let, věk jedince 2 se bude této hranici minimálně blížit.

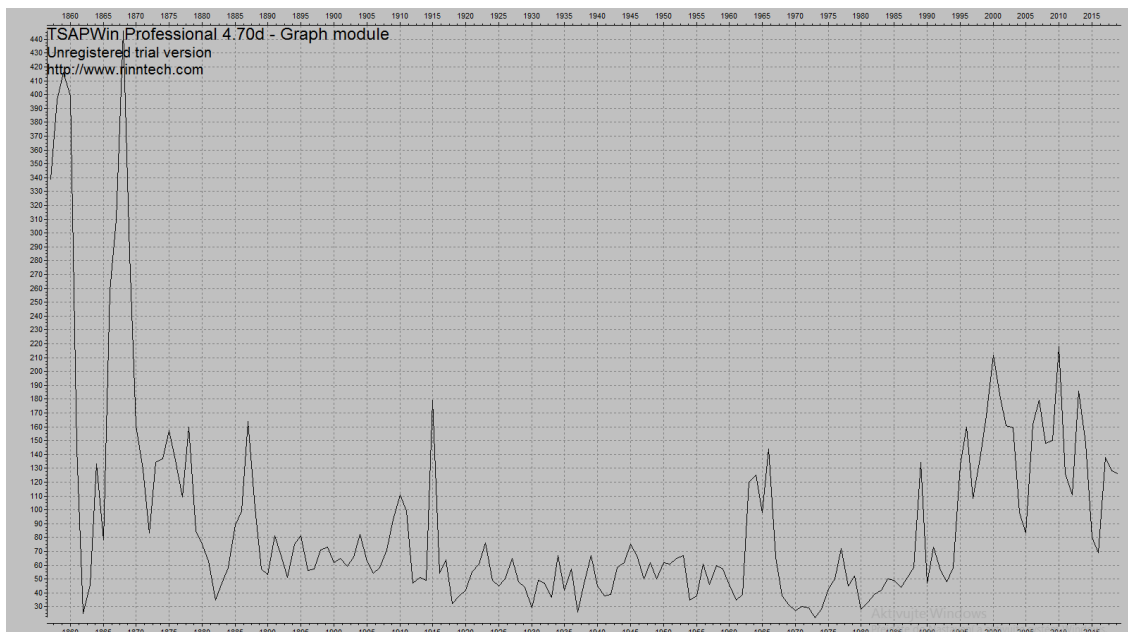
Tabulka 3: Změřený počet letokruhů a datace prvního změřeného letokruhu.

Jedinec	Počet letokruhů	Datace prvního změřeného letokruhu
1	187	1833
2	163	1857
3	198	1822

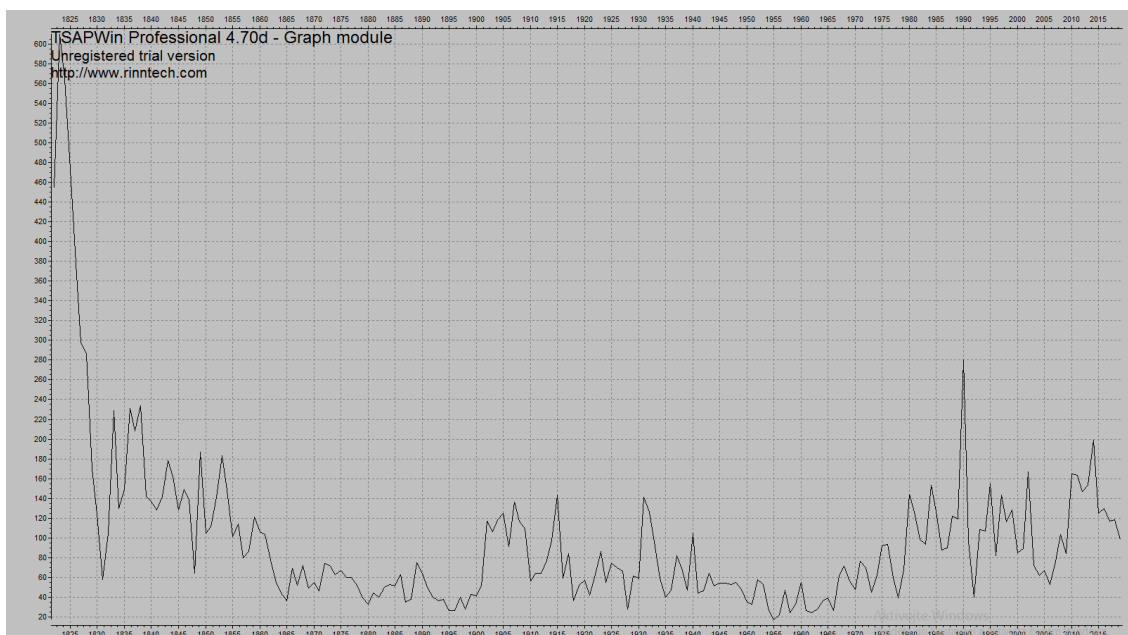
S ohledem na věk všechny měřené borovice vykazovaly dobrou vitalitu. Nebylo zaznamenáno žádné výrazné poškození dřeva, ani jeho odlišné zbarvení napříč letokruhy, které by naznačovalo poškození houbovými patogeny nebo jiný druh poškození. U všech sledovaných jedinců je navíc patrný trend zvyšování přírůstu v posledních přibližně třiceti letech (Obrázek 21–23).



Obrázek 21: Křivka růstu v jednotlivých letech pro vzorek č. 1 (osa y 0,01 mm).



Obrázek 22: Křivka růstu v jednotlivých letech pro vzorek č. 2 (osa y 0,01 mm)



Obrázek 23: Křivka růstu v jednotlivých letech pro vzorek č. 3 (osa y 0,01 mm)

5 Diskuse

Hlavním cílem práce je vyhodnotit vztah radiálního přírůstu borovice lesní ve vztahu ke klimatickým podmínkám a charakteru stanoviště. Pro tento účel byly na třech zkusných plochách, reprezentujících exponovanou, kyselou a živnou řadu nižších až středních poloh, odebrány vývrty z oddenkové části 90 dospělých jedinců borovice lesní. Odebráním vývrtu v oddenkové části je důvěryhodně stanoven věk jedince. Stěžejním výsledkem práce je vyhodnocení vlivu klimatických podmínek na radiální přírůst borovice. Analýza proběhla s pomocí specializovaného Softwaru Dendroclim 2002 s použitím datové řady klimatických charakteristik z meteorologické stanice v Liberci (vzdálenost 25 km). Ačkoliv se zdá tento software jako nejlepší varianta pro vyhodnocení mých výsledků, mohou být použity i jiné varianty vyhodnocení. LEHEČKOVÁ (2013) dala pro vyhodnocení přírůstů přednost analýze pomocí parciálních derivací, která jí dávala mnohem konzistentnější výsledky.

Výsledky ze softwaru byly porovnány se srážkami a teplotami. Prokázán byl pozitivní vliv srážek v měsících červen a červenec a to jak na přírůst v aktuálním roce, tak na přírůst v roce následujícím. Také VACEK a kol. (2016) potvrzuje na příkladu sítě ploch, založených ve Východních Čechách, těsnou závislost, zejména mezi radiálním přírůstem borovice a srážkami. Potvrzuje také pozitivní vztah mezi teplotou a přírůstem v měsíci březnu. Na všech mých ZP se objevuje pozitivní závislost na únorových a březnových teplotách, jež jsou nejvyšší na ZP 1. Reakce borovice na únorové a březnové teploty je popsána v různých studiích prováděných ve střední Evropě (WILCZYŃSKI, SKRZYSZEWSKI 2002; PÉREZ a kol. 2005; MÁCOVÁ, TICHÝ 2007; MÁCOVÁ 2008; FELIKSIK, WILCZYŃSKI 2009; KOPROWSKI a kol. 2012; LEHEČKOVÁ 2013).

Negativní závislost na lednových srážkách vyšla u všech tří lokalit, není však statisticky významná. Stejná reakce se vyskytuje u borovic rostoucích na jihozápadě Polska, které zkoumali WILCZYŃSKI, SKRZYSZEWSKI (2002). Tato zjištěná reakce na lednové srážky zatím není vysvětlena. MATÍAS a JUMP (2012) zjistili v posledních desetiletích na severní hranici Polska zvýšenou reprodukci a růst borovic, jako reakci na zvýšenou teplotu, zatímco na jižní hranici, vedlo zvýšené stresové období sucha ke snížení růstu a v některých případech k masivní úmrtnosti borovic. TAEGER a kol. (2013) i

GRACE a NORTON (1990) také uvádí, že nedostatek srážek v suchých letech výrazně zmenšuje přírůst dřevin a závisí významně i na načasování a délce trvání suchého období.

Významné poklesy v přírůstu na všech stanovištích, v časové ose 1961–2019, značí výskyt nějaké události společné všem zkusným plochám. Jedná se o roky 1976, 2006 a aktuálně i 2019. Pokles přírůstu v roce 1976 je nejspíše způsoben jedním z nejvýznamnějších případů sucha. O roce 1976, jako o velmi suchém období s nízkými přírůsty, se zmiňuje ve své práci LEHEČKOVÁ (2013). U ZP 3 je viditelný pokles růstu v letech 1986 a 1987. Tento pokles by mohl souviset s imisní kalamitou, která počátkem 80. let 20. století výrazně postihla hlavně klimaticky exponované vysoké polohy Jizerských hor a Krkonoš (VACEK a kol. 2007; KRÁL a kol. 2015). Po roce 1990 došlo k výraznému zlepšení této imisní situace, což by mohlo souviset s kladným výkyvem přírůstu. Dle DAŇHELKY a kol (2015) ze srovnání s průběhem pěti nejvýraznějších epizod sucha od roku 1961 vyplývá, že byl rok 1976, spolu s rokem 2015 vůbec nejsušší během letního období. Na tento rok navazuje další suchý rok 2006, kdy byl u ZP 2 vůbec největší pokles přírůstu za celé měřené období. Vrchol největších přírůstů je pro všechny ZP kolem roku 2011. Od tohoto roku přírůsty opět klesají. Dle VÝROČNÍ ZPRÁVY ČHMÚ (2019) je rok 2019 druhým nejteplejším rokem zaznamenaným v období od roku 1961. Vyšší průměrná roční teplota byla zaznamenána pouze v roce předchozím (2018), a to 9,6 °C. V tomto období vykazuje ZP 3, obdobně jako v roce 1976, nejnížší přírůst ze všech ploch. Je jen otázkou, zda se přírůst ustálí, nebo se bude při stále se zvyšujících teplotách nadále snižovat.

Vliv na radiální přírůst zdaleka nemá jen klima. BRICHTA (2018) ve výsledcích své práce uvádí, že dospělé borovice reagují velmi rychle na uvolnění, a to takřka bezprostředně, či do dvou let po momentu uvolnění. Více než polovina studovaných borovic reagovala na uvolnění hospodářsky významným tloušťkovým přírůstem. V případě mých zkusných ploch nebyl dle hospodářské evidence proveden dlouhou dobu výrazný výchovný zásah, a proto neměly borovice prostor pro nijak významný přírůst v reakci na uvolnění. Mezi další faktory ovlivňující přírůst může patřit konkurence a příměs dřevin v porostu, jejich zdravotní stav, imise nebo jmelí bílé.

V doplňkovém šetření na hradu Valdštejn byly odebrány vývrty ze tří borovic, nacházejících se na extrémním stanovišti skalního výchozu. Z dendrochronologické analýzy bylo zjištěno, že se věky borovic blíží k hodnotě 200 let a i přes svůj vysoký věk

vykazovaly dobrou vitalitu. Navíc je patrný trend zvyšování přírůstu v posledních přibližně třiceti letech. Naproti tomu borovice na živném stanovišti ZP 3 za posledních 10 let přírůst jen snižují.

Při srovnávání vývoje přírůstu na jednotlivých zkusných plochách nacházíme spolu s PRETZSCHEM (2015) argumenty pro větší zastoupení příměsí především listnatých dřevin původní dřevinné skladby. Plocha ZP 3 na stanovišti vlhkých habrových doubrav je příkladem produkčně výhodných podmínek z hlediska zásobení živinami a potenciálně i vodního režimu. Konstrukce přirozené dřevinné skladby nepočítá s příměsí borovice, přesto je současný porost tvořen téměř výhradně borovicí. Porost je plně zakmeněn, dosahuje největších tloušťek i výšek a má také největší zásobu na ha. Vyrovnaná křivka stadiálního výškového grafikonu je ze všech ploch nejvíce rovnoběžná s osou x, což svědčí o tom, že stromy dosahují podobné výšky, napříč tloušťkovými stupni. U této plochy je patrný největší propad běžného radiálního přírůstu, pod přírůst průměrný, což svědčí o brzké kulminaci radiálního přírůstu. V suchých obdobích posledních let je běžný radiální přírůst na ploše prakticky totožný s plochami ZP 1 a 2, které jsou méně trofné a mají potenciálně horší dostupnost vody v půdě. Na borovicích plochy ZP 3 je dále častý výskyt jmelí. To vše jsou příznaky snížené vitality porostu a z hospodářských opatření lze doporučit zvýšení zastoupení listnatých dřevin a snížení obmýtí u borovice.

Naproti tomu na ploše ZP 1, na stanovišti kamenitých kyselých dubových bučin, je k převažující borovici doplněno také 20 % přimýšených listnáčů, tvořících vitální střední vrstvu a podúroveň porostu. Z hlediska trofnosti se jedná o nejméně produkční plochu, nicméně konstrukce přirozené dřevinné skladby připouští, byť malou účast borovice. Ze stadiálního výškového grafikonu je patrná největší tloušťková a výšková rozrůzněnost. Plocha poskytuje vyrovnaný produkční výkon, protože křivka průměrného radiálního přírůstu je téměř rovnoběžná s osou x a běžný přírůst po dlouhý čas osciluje kolem hodnot průměrného přírůstu. Teprve v posledních 20 letech je běžný přírůst menší, než přírůst průměrný, i tak je ale na úrovni běžného přírůstu živinami lépe zásobené plochy ZP 3 na SLT 1V.

6 Závěr

V souladu se stanoveným cílem práce – vyhodnotit radiální růst dospělých jedinců borovice lesní ve vztahu ke klimatickým podmínkám a charakteru stanoviště, byla v CHKO Český ráj založena síť třech ploch reprezentujících odlišné typy stanovišť – exponovaná stanoviště středních poloh a kyselá i živná stanoviště nižších poloh. Na dospělých jedincích borovic byly odebrány radiální vývrty, jejichž analýzou bylo zjištěno, že:

- Radiální růst borovice je pozitivně ovlivněn srážkami zejména v měsících červen a červenec a to jak v roce předcházejícím, tak v roce ve kterém se příslušný přírůst vytvořil.
- Přírůst byl negativně ovlivněn teplým vegetačním obdobím předchozího roku, naopak pozitivně se projevil rychlý nástup teplého počasí v předjaří a začátkem jara v měsíci březnu.
- Při sledování vývoje běžného přírůstu v dlouhodobějším měřítku mezi lety 1961 až 2019, je patrné zpomalení růstu na všech sledovaných plochách v roce 1976 a v roce 2006, způsobené extrémním suchem. V období od roku 2006 bylo patrné zvýšení přírůstu s maximem v roce 2011. V uplynulých pěti letech však můžeme pozorovat postupné snižování přírůstu v důsledku teplého počasí a srážkového deficitu.
- V současné době se běžný přírůst borovice na všech plochách pohybuje pod přírůstem průměrným, porosty jsou tedy po kulminaci.
- Při srovnání vlivu stanoviště bylo prokázáno, že průměrný přírůst se postupně zvyšoval od stanovišť exponovaných, přes stanoviště kyselá a největší byl na stanovištích živných.
- V budoucnu bude pro dřeviny limitním faktorem dostupnost vody. Proto je při lesnickém hospodaření dobré zohlednit význam intercepce a dopřát borovicím v hlavní úrovni rozvolněnější korunový zápoj. Účelná se jeví významná příměs doprovodných dřevin původní skladby, především dřevin listnatých. Významnější zastoupení smrku jako doprovodné dřeviny v těchto porostech není příliš žádoucí.

7 Seznam literatury a použitých zdrojů

ARNOLD, M. L., BILGER M. R., BURKE J. R., HEMPEL A. L., WILLIAMS J. H.: *Natural hybridisation: how low can you go and still be important?* Ecology 1999, 80(2):371–381.

BÄßLER, H.: *Kiefern-Natur-verjüngung*. Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg und Landesforstanstalt Eberswalde, 2003, Berlin.

BIONDI, F., WAIKUL, K.: *DENDROCLIM2002 A C + + program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies*. Computers & Geosciences, 2004. 30:303–311.

BERÁNEK, J.: *Škůdci borovice lesní*. In: Přirozené zmlazování borovice. Sborník referátů z celostátního semináře. Mimoň, 17. září 2008. Česká lesnická společnost, 2008, 33–36.

BÍLEK, L., REMEŠ J., ŠVEC O., VACEK Z., ŠTÍCHA V., VACEK S., JAVŮREK P.: *Ekologicky orientované pěstování borových porostů v podmínkách nižších až středních poloh*. Lesnický průvodce 9, 2017, Strnady.

BÍNA, J., DEMEK, J.: *Z nížin do hor: geomorfologické jednotky České republiky*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2012, 343 s. Průvodce (Academia). ISBN 978-80200-2026-0.

BRICHTA, J.: *Vliv uvolnění na tloušťkový přírůst dospělých jedinců borovice lesní*. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta lesnická a dřevařská. Katedra pěstování lesů, 2018.

BUNN, A., KORPELA, M.: *Chronology Building in dplR*, 2018. 13 s.

BUSINSKÝ, R.: *Taxonomická studie agregátu Pinus mugo a jeho hybridních populací*. Acta Průhoniciana, 1999, 68:123-144.

COBAN, S. a kol.: *Interactions between canopy cover density and regeneration cores of older saplings in Scots pine (Pinus sylvestris L.) stands*. In: Forest Systems 2016. 25 (3). e073. 14 s

COOK, E.R., KAIRIUKSTIS, L.A.: *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental science*. 1st edition. Dordrecht: Kluwer, 1990. 394 s. ISBN 0-7923 0586-8.

CULEK, M.: *Biogeografické členění České republiky* (Biogeographical classification of the Czech Republic). Enigma, Praha 1996, 347.

ČERVENÝ, M.: *Pěstování lesa pod tlakem jelena siky*. Myslivost 2, 2009.

DANČÁKOVÁ, H.: *Přirozená obnova borovice lesní (Pinus sylvestris L.) na hospodářském souboru 13 (přirozená borová stanoviště) u VLS ČR s.p., Divize Mimoň*. In: Přirozené zmlazování borovice. Sborník referátů z odborného semináře konaného dne 17.9.2004 v Mimoni. Kostelec nad Černými Lesy: Lesnická práce s.r.o., 2008, s. 4–9. ISBN 978-80-02-02070-7

DAŇHELKA, J a kol.: *Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015–Předběžná zpráva* (The evaluation of drought in the area of Czech Republic in 2015–Preliminary report). CHMI, Prague, 2015.

DE CHANTAL, M., LEINONEN, K., KUULUVAINEN, T., CESCATTI, A.: *Early response of Pinus sylvestris and Picea abies seedlings to an experimental canopy gap in boreal spruce forest*. Forest Ecology and Management, 2003. 176:321–336.

DRÁPELA, K., ZACH, J.: *Dendrometrie (Dendrochronologie)*. 1. vydání. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1995. 149 s.

FELIKSIK, E., WILCZYŃSKI, S.: *The effect of climate on tree-ring chronologies of native and nonnative tree species growing under homogenous site conditions*. Geochronometria, 2009, 33.1: 49-57.

GIERTYCH, M., MÁTYÁS CS.: *Genetics of Scots Pine*. Elsevier, Amsterdam. 1991. 280 p.

GRACE, J., NORTON, D. A., 1990: Climate and growth of *Pinus sylvestris* at its upper altitudinal limit in Scotland: evidence from tree growth-rings. *Journal of Ecology* 78: 601–610.

HAEFEMANN, E.: *Rückblick auf das Thema „Kiefern-Naturverjüngung“ – gesicherte Erkenntnisse, offene Fragen*. In: *Naturverjüngung der Kiefer, Erfahrungen, Probleme, Perspektiven*. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band XXI, 2004, Potsdam und Eberswalde.

HEJNÝ, S. (ed.) a kol: *Květena České republiky I*. Praha: Academia. 2.vyd. 1997. 557 s. ISBN 80-200-0643-5

HELLEBRANDOVÁ, K. N., KNÍŽEK, M., LIŠKA, J., ZAHRADNÍK, P.: *Dlouhodobé trendy výskytu biotických škodlivých činitelů vázaných na borovici, soubor map*. VÚLHM. 2020

HOLUŠA, J., LIŠKA J.: *Ploskohřbetky rodu Acantholyda na borovici*. Lesnická práce, 2005, VÚLHM Jíloviště Strnady.

HOMMEL, P. W. F. M.; WAAL, R. W.: *Rijke bossen op arme bodems. Alternatieve boomsoortenkeuze verhoogt soortenrijkdom ondergroei op verzuringgevoelige gronden*. *Landschap*. 2003, vol. 20, no. 4, s. 193–204.

HRABÁK, R., PORUBA, M.: *Les*. Aventinum sro Praha. 2005. 312 s. ISBN 80-86858-09-X

CHEDDADI, R. a kol.: *Imprints of glacial refugia in the modern genetic diversity of *Pinus sylvestris**. In: *Global Ecology and Biogeography*, 2006. 15.3: 271–282.

CHKO Český ráj–Kolektiv autorů: *Plán péče o Chráněnou krajinnou oblast Český ráj na období 2014–2023*. Turnov, 2014. Správa Chráněné krajinné oblasti Český ráj.

JANČAŘÍK, V., JANKOVSKÝ L.: *Václavka stále aktivní*. Lesnická práce č. 9., 1999

JANKOVSKÁ, V.: *Vývoj vegetace střední Evropy od konce poslední doby ledové do současnosti*. Lesnická práce, 1997, 11: 409-412.

JANKOVSKÝ, L.: Sypavky borovic. Sypavka borová–skulinatec borový, 2003

KANÁK, K.: *Náhorní varianta borovice lesní – nový taxon v lesním hospodářství*. In Sborník z celostátního semináře „vegetativní množení lesních dřevin a poznatky o náhorní variantě borovice lesní“, Kladská, 1994. Mze ČR, 3–8

KARLSSON, NILSSON: *The effects of scarification and shelterwood treatments on naturally regenerated seedlings in southern Sweden*. In: Forest Ecology and Management. 2005, (205). s.183-197

KEELEY, J. E.: *Ecology and evolution of pine life histories*. Annals of Forest Science, 2012, 69:445-453

KINGSBURY, N.: *Hidden Historie of Trees: The Secret Properties of 150 Species*. Timber Press, London, 2015, SB, 224 p., ISBN: 978-1-60469-617

KOLBEK, J., CHYTRÝ, M.: *Suché bory*. s. 331-340. In: CHYTRÝ, M. a kolektiv: *Katalog biotopů České republiky*. Ed. 2. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha, 2010. 445 s. ISBN 978-80-87457-02-3

KONIAS, H.; MOTTL, J.: *Dosavadní výsledky meliorace degradovaných lesních půd pod borovými porosty na diluviálních piscích v Opočně*. Československý les. 1951, vol. 31, no. 19, s. 419-420.

KOPROWSKI, M. a kol.: *Tree rings of Scots pine (Pinus sylvestris L.) as a source of information about past climate in northern Poland*. International Journal of Biometeorology, 2012, 56.1: 1-10.

KORPEL, Š. a kol.: *Pestovanie lesa*. Bratislava: Príroda. 1991, 1. vyd. 465 s. ISBN 8007-00428-9

KOŠULIČ, M.: *Cesta k přírodě blízkému hospodářskému lesu*. Brno, FSC ČR, 2010. 452 s. ISBN 978-80-254-6434-2

KOVÁČZ, B. a kol.: *Stand structural drivers of microclimate in mature temperate mixed forests*. In: *Agricultural and Forest Meteorology*. 2017, 234–235. s.11–21.

KRÁL, J., VACEK, S., VACEK, Z., PUTALOVÁ, T., BULUŠEK, D., ŠTEFANČÍK, I.: *Structure, development and health status of spruce forests affected by air pollution in the western Krkonoše Mts. in 1979–2014*. *Central European Forestry Journal*, 2015, 61.3: 175-187.

KŘÍŠTEK, J. a kol.: *Ochrana lesů a přírodního prostředí*. Matice lesnická, Písek, 2002

KUČERA, T.: *Reliktní bory, suťové a roklinové lesy*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 1999. 27 s. ISBN 80-86064-32-8

LEHEČKOVÁ, E.: *Citlivost letokruhových řad borovice lesní (Pinus sylvestris) ke klimatickým parametrům*. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze Přírodovědecká fakulta, 2013.

MAES, N.; VAN VUURE, T.: *De linde in Nederland: verspreiding, ecologie en toekomstmogelijkheden van de lindesoorten in Nederland en aangrenzende gebieden*. Stichting Kritisch Bosbeheer. Boxtel: Stichting kritisch bosbeheer, 1989. 166 s.

MACEK, P., NOVOSADOVA, J.: *Stavebně historický průzkum hradu Valdštejna*, strojopis SÚRP MO Praha, 1988.

MACKOVČIN, P.: *Chráněná území ČR.: Liberecko. III.*, Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2002.

MATÍAS, L., JUMP, A., S.: *Interactions between growth, demography and biotic interactions in determining species range limits in a warming world: the case of Pinus sylvestris*. Forest Ecology and Management, 2012, 282: 10-22.

MAUER, O.: *Zakládání lesů I*. Učební text. Brno: MZLU v Brně, 2009. 172.s.

MÁCOVÁ, M, a kol.: *Dendroclimatological comparison of native Pinus sylvestris and invasive Pinus strobus in different habitats in the Czech Republic*. Preslia, 2008, 80.3: 277-289.

MÁCOVÁ, M.; TICHÝ, T.: *Dendroclimatological comparison of invasive Pinus strobus and native Pinus sylvestris growing in the Czech Republic on ecological and geographical gradients. Sandstone landscapes*. Academia, Praha, 2007, 225-229.

MÁCHOVÁ, P., CVRČKOVÁ H., POLÁKOVÁ L., TRČKOVÁ O.: *Genetická variabilita vybraných populací borovice lesní v České republice*. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Jíloviště, Zprávy lesnického výzkumu, 2016. 61, 2016 (3): s. 223–229

MELVIN, T.: *Historical growth rates and changing climatic sensitivity of boreal conifers*. Norwich 2004. 271 p. PhD Thesis. University of East Anglia.

MEZERA, A.: *Biologie a pěstování borovice obecné Pinus silvestris*. In: Pěstování borových porostů. Soubor příspěvků z pracovních porad o pěstování borových porostů v ČSR v roce 1951. Nakladatelství Brázda. Praha, 1952. s. 52–82.

MIKESKA, M., VACEK, S. a kol.: *Lesnicko-typologické vymezení, struktura a management přirozených borů a borových doubrav v ČR*. Lesnická práce, 2008.

MIKESKA, M., VACEK, S. a kol.: *Výchova lesních porostů*. In: POLENO, Z., VACEK, S. a kolektiv.: *Pěstování lesů III*. Praktické postupy pěstování lesů, 1. Vyd. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2009. 951 s. ISBN 978-80-87154-34-2.

MIRSCHER, F. a kol.: *Driving factors for natural tree rejuvenation in anthropogenic pine (Pinus sylvestris L.) forests of NE Germany*. In: Forest Ecology and Management. 2011. 261. s. 683–694

MRKÁČEK, Z.: *Příroda v Českém ráji*. Turnov: RA, 1998, 103 s. ISBN 80-9016974-0.

MUSIL, I.: *Lesnická dendrologie I. Jehličnaté dřeviny, přehled nahosemenných (i výtrusných) dřevin*. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2003, 177 p. ISBN 80-213-0992-X

MUSIL, I., HAMERNÍK J.: *Lesnická dendrologie I.: Jehličnaté dřeviny: přehled nahosemenných i výtrusných dřevin*. Praha, Academia, 2007. 352 s.

MYŠÁK, J., HORSÁK M., HLAVÁČ J.: *Jedna špatná a jedna dobrá zpráva o vrkoči Geyerově – z červené knihy našich měkkýšů*. Živa. 2012, (2): 73-74. Dostupné také z: <http://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/jedna-spatna-a-jedna-dobra-zprava-ovrkoci-geyerov.pdf>

NEUHÄUSLOVÁ, Z. a kol.: *Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky*. Textová část. Praha: Academia, 1998. 341 s. ISBN 80-200-0687-7

PATŘIČNÝ, M.: *Dřevo krásných stromů*. Grad Publishing, a. s., Praha, 2005.

PELC, F. : *Program rozvoje chráněných krajinných oblastí*. SCHKO ČR, 2000, Úvod.

PÉREZ, P. J., KAHLE H. P., SPIECKER H.: *Growth trends and relationships with environmental factors for scots pine [Pinus sylvestris (L.)] in Brandenburg*. Investigación Agraria: Sistemasy Recursos Forestales, 2005, 14, s. 64–78.

PEŠKOVÁ, V., SOUKUP F.: *Cenangium ferruginosum Fr., kornice borová*. Lesnická práce, 2011, VÚLHM.

PEŘINA, V., VINTROVÁ, E.: *Vliv opadu na humusové poměry borových porostů na pleistocenních píscích*. Lesnictví. 1958, vol. 4, no. 8, s. 673–688.

PLÍVA, K., PRŮŠA, E.: *Typologické podklady pěstování lesů*. Praha, 1969. SZN.1. vyd. 401 s.

PLÍVA, K.: *Trvale udržitelné obhospodařování lesů podle souborů lesních typů*. Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem, 2000, 34 s.

POLANSKÝ, B. a kol.: *Pěstění lesů III*. 1. vyd. Praha: SPN, 1956. n.p. 595 s.

POLENO, Z., VACEK, S. a kolektiv.: *Pěstování lesů III*. Praktické postupy pěstování lesů, 1. Vyd. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2009. 951 s. ISBN 978-80-87154-34-2.

PRETZSCH, H. a kol.: *Growth and yield of mixed versus pure stands of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) analysed along a productivity gradient through Europe*. European Journal of Forest Research, 2015, 134.5: 927-947.

QUITT, E.: *Klimatické oblasti Československa*. Academia, 1971.

RINNTech TSAP-WINTM: Time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications. Heidelberg, 2010, Germany. Získáno z <http://www.rinntech.com>

RUBÍN, J. (ed.) a kol.: *Přírodní klenoty České republiky*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2006, 318 s. ISBN 80-200-1377-6.

RUSSELL, T., CUTLER, C.: *The world encyclopedia of trees*. Lorenz, 2003. 256 p. ISBN 9781843228462.

SCHWEINGRUBER, F. H.: *Tree Rings and Environment Dendroecology*. 1st edition. Stuttgart: Haupt, 1996. 609 s. ISBN 3-258-05458-4.

SCHWEINGRUBER, F. H.: *Wood Structure and Environment*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007. 279 p.

SLODIČÁK, M., NOVÁK, J., DUŠEK, D.: *Výchova porostů borovice lesní: certifikovaná metodika*. Strnady: VÚLHM, Lesnický průvodce, 2013.

SLOUP, M.: *Lesnické hospodaření – Historie, současnost a budoucnost v podmínkách střední Evropy*. Lesnická práce, 2010. 89: 34–36.

SOUKALOVÁ, E., JEŽÍK P.: *Dlouhodobá variabilita hladin podzemní vody*. Český hydrometeorologický ústav, Brno, 2015.

SOUKUP, F.: *Rez sosnokrut (Melapsora pinitorqua Rostr.)*. Lesnická práce 10, VÚLHM Jíloviště-Strnady, 1999.

SOUKUP, F. & PEŠKOVÁ, V.: *Odumírání borovice lesní v ČR v roce 2004 (Scots pine die-back in the CR in 2004)*. Lesnická práce, 2004, 83, 410-411.

SOUKUP, PEŠKOVÁ: *Sphaeropsis sapinea (Fr.) Dyko et Sutton (prosychnání borovic)*. Lesnická práce č. 9, VÚLHM Jíloviště – Strnady, 2004.

SPIECKER, H.; HANSEN, J.; KLIMO, E.; SKOVSGAARD, J. P.; STERBA, H.; TEUFFEL, K. (eds.): *Norway Spruce Conversion – Options and Consequences*. Leiden: European Forest Institute Research Report, 2004. 320 s

SOUČEK, J.; TESAŘ, V.: *Metodika přestavby monokultur na stanovištích přirozených smíšených porostů*. Jíloviště, Opočno: VÚLHM, 2008. 37 s.

STŘIHAVKOVÁ, H.: *Praktikum z botaniky*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1978. Praktické příručky pro učitele. ISBN (váz.).

SVOBODA, P.: *Lesní dřeviny a jejich porosty*. Část 1. SZN, Praha 1953, 1-412.

ŠEBÍK, L., POLÁK L.: *Náuka o produkci dřeva*. Příroda, Bratislava, 1990. 322 s.

ŠINDELÁŘ, J.: *Přirozená obnova borovice lesní*. In: Lesnická práce, 2004. 8. s. 417–419

ŠINDELÁŘ, J.; BERAN, F. *K některým aktuálním problémům pěstování douglasky tisolisté*. Jíloviště-Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2004. 34 s.

ŠINDELÁŘ, J.; FRÝDL, J.; NOVOTNÝ, P.: *Příspěvek k charakteristikám regionálních populací–ekotypů borovice lesní (Pinus sylvestris L.) v České republice*. Zprávy les. výzkumu, 2007, 52: 148-159.

ŠINDELÁŘ, J. a kol.: *Význam a možnosti využívání původních (autochtonních) populací lesních dřevin v ČR*. Lesnický průvodce. 2. Jíloviště-Strnady: VÚLHM. 2005. 51 s.

ŠINDELÁŘ, J.: *Proměnlivost borovice lesní (Pinus sylvestris L.) na území České a Slovenské republiky z hlediska rajonizace reprodukčního materiálu*. Lesnický průvodce. 2. Jíloviště-Strnady: VÚLHM. 1992. 58 s.

ŠRŮTKA, P.: *Sypavka borová, Lophodermium pinastri (Schrad.) Chev.* Lesnická práce č. 6, VÚLHM Jíloviště – Strnady, 2003.

TAEGER, S., ZANG, CH., LIESEBACH, M., SCHNECK, V., MENZEL, A.: *Impact of climate and drought events on the growth of Scots pine (Pinus sylvestris L.) provenances*. Forest Ecology and Management, 2013, 307: 30–42.

THOMASIUS, H., SCHMIDT, P.: *Wald, Forstwirtschaft und Umwelt*. Bonn, 1996.

ULBRICHOVÁ, I., JANEČEK, V., VÍTÁMVÁS, J., ČERNÝ, T., BÍLEK, L. : *Clonná obnova borovice lesní (Pinus sylvestris L.) Ve vztahu ke stanovištním a porostním podmínkám*. Zprávy lesnického výzkumu, 2018. 3:153-164.

ULBRICHOVÁ, I., BÍLEK, L., REMEŠ, J.: *Vliv zpracování těžebních zbytků na charakteristiky bylinného a keřového patra na přirozených borových stanovištích*. Zprávy lesnického výzkumu, 2017. 62, 2017, (3), 142-152.

ÚRADNÍČEK, L., CHMELÁŘ, J.: *Dendrologie lesnická, 1. část–Jehličnany*. Brno, MZLU, 1995, 130 s.

ÚRADNÍČEK, L. a kol.: *Dřeviny České republiky*, 1. vyd. Písek: Matice lesnická spol. s.r.o., 2001, 333 s. ISBN 80-86271-09-9.

ÚRADNÍČEK, L., RIEDMILLER, A.: *Dřeviny České republiky: treaties and international agreements registered or filed and recorded with the Secretariat of the United Nations*. 2. Lesnická práce, Kostelec nad Černými lesy, 2009.

VACEK, S. a kol.: *Zdravotní stav a dynamika lesních ekosystémů Krkonoš pod stresem vyvolaným znečištěním ovzduší*. Folia Forestalia Bohemica, Kostelec nad černými lesy, Lesnické práce s.r.o., 2007, 6, 216 s.

VACEK, S., PODRÁZSKÝ, V.: *Přírodě blízké lesní hospodářství v podmínkách střední Evropy*. Kostelec nad Černými lesy: ÚZPI Praha, 2006, ISBN 80-213-1561-X, 74 p.

VACEK, S., VACEK, Z., BÍLEK, L., SIMON, J., REMEŠ, J., HŮNOVÁ, I., MIKESKA, M.: *Structure, regeneration and growth of Scots pine (Pinus sylvestris L.) stands with respect to changing climate and environmental pollution*. Silva fennica, 2016, 50(4), 1564.

VACEK, Z. a kol.: *Okrajový efekt jako významný faktor ovlivňující přirozenou obnovu borovice lesní*. In: Borové hospodářství ve světle klimatických změn a rostoucího významu mimoprodukčních funkcí lesů. Sborník příspěvků z odborného semináře konaného v Praze dne 24.11.2017. Česká lesnická společnost, z. s. Praha, 2017, 23–30 s. ISBN 978-80-02-02769-0.

VERMEULEN, N.: *Encyklopedie stromů a keřů*, Rebo production, Lisse. 1997, ISBN 80-7234-007-7.

VĚTVIČKA, V., il.MAGET J., MATOUŠKOVÁ V., SKOUMALOVÁ A.: *Evropské stromy*, Vyd. 3.–Praha: Aventinum, 2003, 216 s.: 1 tab.; 20 cm–(edice: Průvodce přírodou), ISBN 80-7151-225-7.

VIEWEGH, J.: *Klasifikace lesních rostlinných společenstev (se zaměřením na Typologický systém ÚHÚL)*. Česká zemědělská univerzita, 2003.

VINTER, V.: *Rostliny pod mikroskopem*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. ISBN 978-80-244-2223-7.

WAGENFUHR, R.: *Dřevo –obrázkový lexikon*. Grad Publishing, a. s., Praha, 2002.

WILCZYŃSKI, S.; SKRZYSZEWSKI, J.: *The climatic signal in tree-rings of Scots pine (Pinus sylvestris L.) from foot-hills of the Sudetic Mountains (southern Poland)* Das klimatische Signal in den Jahrringen von Kiefern (Pinus sylvestris L.) im Sudeten-Vorland (Süd-Polen). *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 2002, 121.1: 15-24.

ZAPLETALOVÁ, E., BAJEROVÁ V.: *Původce chřadnutí a prosychání borovic*. Ministerstvo zemědělství, Praha, 2012.

ZERZÁN, M.: *Zkušenosti s přirozenou obnovou borovice lesní východočeského ekotypu v lesích města Hradec Králové*. In: *Přirozené zmlazování borovice*. Sborník referátů z odborného semináře konaného dne 17.9.2004 v Mimoní. Kostelec nad Černými Lesy: Lesnická práce s.r.o. 2008, s. 10–12. ISBN 978-80-02-02070-7.

ZIEGLER, V.: *Krásy i naděje české přírody*. 2009. Praha: FUTURA Praha, 2009. ISBN 978-80-86844-49.

7.1 Internetové zdroje

GABRIEL, F., MACEK, P.: *Stavební vývoj hradu Valdštejna*. 1992, [online]. [cit. 5. 1. 2020]. Dostupné z:

https://digilib.phil.muni.cz/bitstream/handle/11222.digilib/139990/2_ArchaeologiaHistorica_17-1992-1_17.pdf

LEUGNEROVÁ G.: *PINUS SYLVESTRIS* [online] [cit. 22. 4. 2020]. Dostupné z <https://botany.cz/cs/pinus-sylvestris/>

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ: *Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2018*. [online]. [cit. 11. 1. 2020]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/640937/Zprava_o_stavu_lesa_2018.pdf

WEB 1: CHKO Český ráj – lesy [online] [cit. 15. 1. 2020]. Dostupné z <http://ceskyraj.ochranaprirody.cz/charakteristika-oblasti/flora/lesy/>

WEB 2: Obora Žehrov – historie [online] [cit. 15. 1. 2020]. Dostupné z <https://www.trol-obora.cz/>

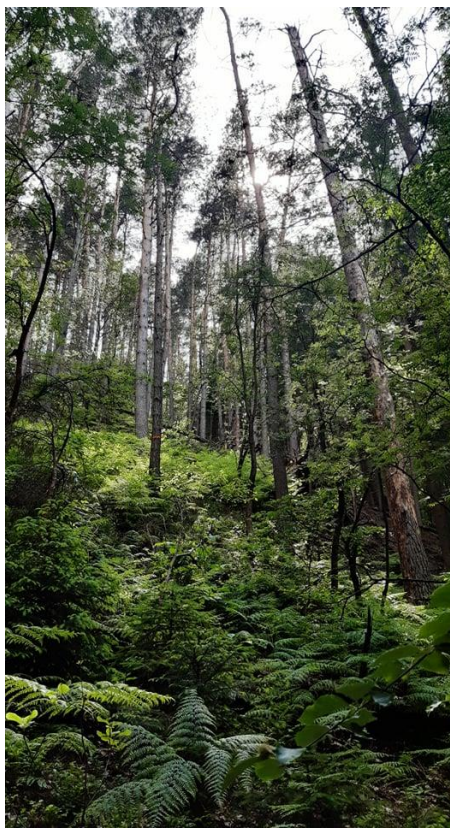
WEB 3: Odebírání vzorků [online] [cit. 2. 2. 2020]. Dostupné z <http://dendrochronologie.cz/cs/o-dendrochronologii/dendroarcheologie/>

WEB 4: Český hydrometeorologický ústav – Historická data [online] [cit. 1. 6. 2020]. Dostupné z <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty> a <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>

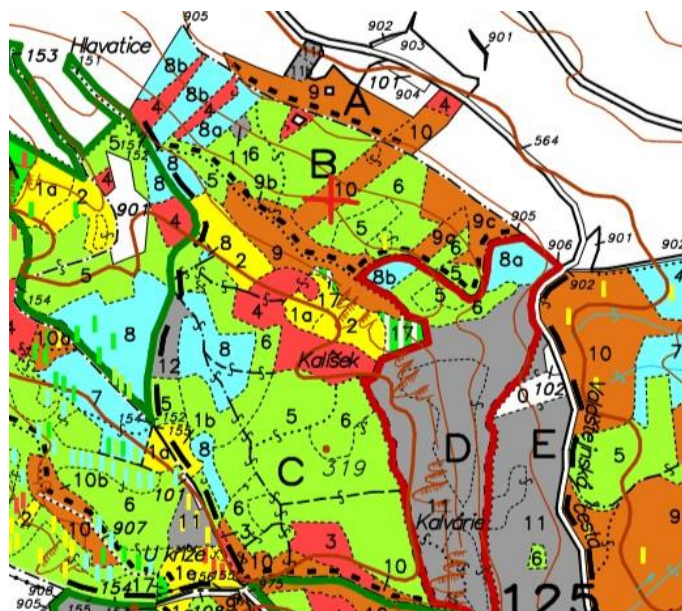
8 Seznam příloh

<i>Příloha 1: Náhled do porostu na kterém se nachází ZP 1.</i>	<i>95</i>
<i>Příloha 2: Porostní mapa s vyznačenou zkusnou plochou č.1 (M 1 : 5000).....</i>	<i>95</i>
<i>Příloha 3: Náhled do porostu na kterém se nachází ZP 2.</i>	<i>96</i>
<i>Příloha 4: Porostní mapa s vyznačenou zkusnou plochou č.2 (M 1 : 5000).....</i>	<i>96</i>
<i>Příloha 5: Náhled do porostu na kterém se nachází zkusná plocha č.3</i>	<i>97</i>
<i>Příloha 6: Porostní mapa s vyznačenou zkusnou plochou č.3 (M 1 : 5000).....</i>	<i>97</i>
<i>Příloha 7: Valdštejn - Borovice č. 1 (vpravo) a č. 2 (vlevo). Zdroj: Tereza Dudová</i>	<i>98</i>
<i>Příloha 8: Valdštejn - Pohled na borovice č. 1 (vlevo) a č. 2 (vpravo). Zdroj: Tereza Dudová..</i>	<i>98</i>

9 Přílohy



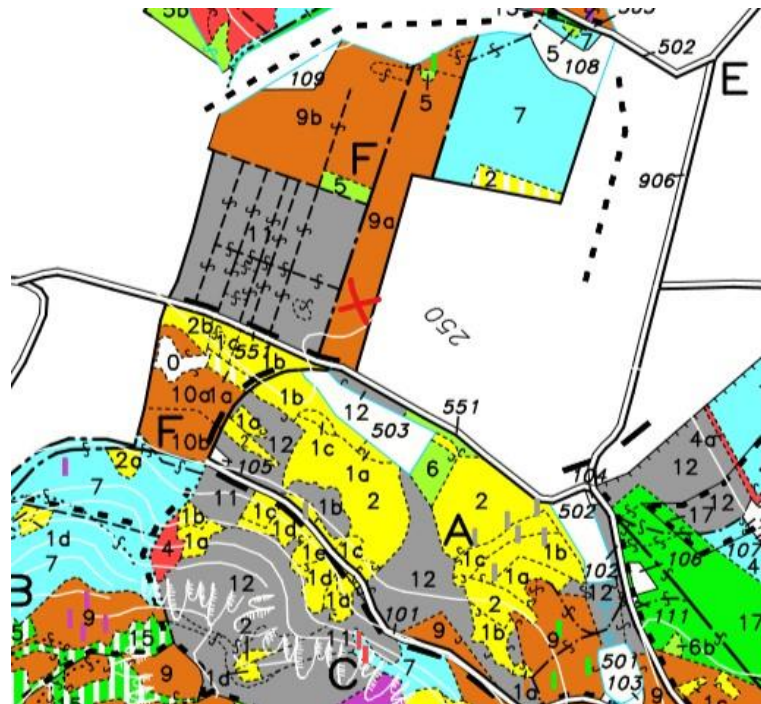
Příloha 1: Náhled do porostu na kterém se nachází ZP 1.



Příloha 2: Porostní mapa s vyznačenou zkušnou plochou č.1 (M 1 : 5000).



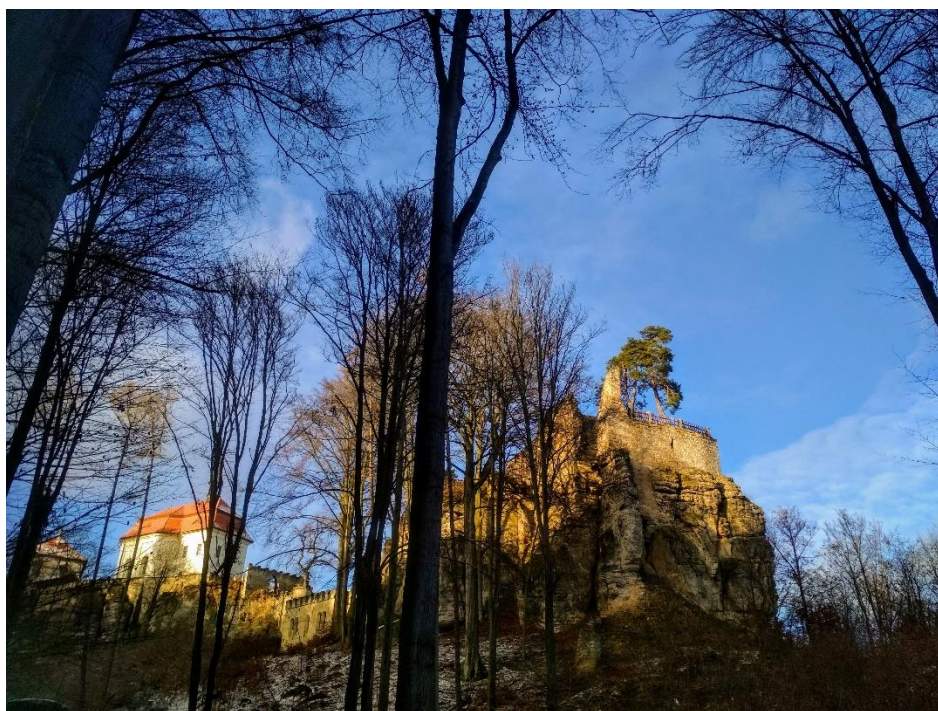
Příloha 5: Náhled do porostu na kterém se nachází zkusná plocha č.3



Příloha 6: Porostní mapa s vyznačenou zkusnou plochou č.3 (M 1 : 5000)



Příloha 7: Valdštejn - Borovice č. 1 (vpravo) a č. 2 (vlevo). Zdroj: Tereza Dudová



Příloha 8: Valdštejn - Pohled na borovice č. 1 (vlevo) a č. 2 (vpravo). Zdroj: Tereza Dudová