

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta lesnická  
a dřevařská**

**Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu vybraných borovic  
v Arboretu FLD v Kostelci nad Černými lesy**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Veronika Chrenová**

**Vedoucí práce: Ing. Václav Bažant, Ph.D.**

**2016**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Veronika Chrenová

Lesnictví

Název práce

**Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu vybraných borovic v Arboretu FLD v Kostelci nad Černými lesy**

Název anglicky

**Seasonal dynamics of the radial increment of chosen pines in Arboretum FFWS in Kostelec nad Černými lesy**

---

### **Cíle práce**

Cílem bakalářské práce je vyhodnocení sezónní dynamiky tloušťkového přírůstu na vybraných druzích borovic.

### **Metodika**

3/14 osazení dendrometrů

3/14 10/14 sledování fenologických

fází 9/14 literární rešerše

12/14 analýza dat

2/15 pracovní verze

BP 3/15 odevzdání BP

## **Doporučený rozsah práce**

40 normostran textu, přílohy

## **Klíčová slova**

Arboretum FLD v Kostelci nad Černými lesy, tloušťkový přírůst, Pinus, borovice, fenologie

---

## **Doporučené zdroje informací**

BEDNÁŘOVÁ E., KUČERA J., 2002: Phenological observations of two spruce stands (Picea abies/L./Karst.) of different age in the years 1991-2000. Ekológia 21/1, 98-106 s.

DRÁPELA K., ZACH J., 1995: Dendrometrie. MZLU v Brně, 152 s.

FRITTS H.C., 1976: Tree rings and climate. London, New York, San Francisco, Academic Press, 567 s.

KAMLEROVÁ K., SCHEJBALOVÁ H., 2006: Vliv klimatických faktorů na sezónní dynamiku tloušťkového přírůstu smrku ztepilého. In: Rožnovský J., Litschmann T., Vyskot I. (ed): Fenologická odezva proměnlivost podnebí, Brno, 6 s.

MUSIL I., HAMERNÍK J., 2003: Jehličnaté dřeviny. (Lesnická dendrologie 1) Česká zemědělská univerzita, Praha FLE, 232 s.

ROČEK I., MUSIL I., CHALUPA V., 1998: Arboretum Lesnické fakulty České zemědělské univerzity v Praze Kostelec nad Černými lesy. Praha, Fakulta lesnická a dřevařská, Česká zemědělská univerzita v Praze, 79 s.

ŠEBÍK L., POLÁK L., 1990: Naúka o produkci dřeva. Priroda, Bratislava, 322 s.

---

## **Předběžný termín obhajoby**

2015/16 LS – FLD

## **Vedoucí práce**

Ing. Václav Bažant, Ph.D.

## **Garantující pracoviště**

Katedra ekologie lesa

---

Elektronicky schváleno dne 11. 11. 2014

**doc. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 10. 3. 2015

**prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 21. 04. 2016

---

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu vybraných borovic v Arboretu FLD v Kostelci nad Černými lesy vypracovala samostatně pod vedením Ing. Václav Bažanta, Ph.D. a všechnu použitou literaturu jsem uvedla do seznamu zdrojů.

Jsem si vědoma, že zveřejněním bakalářské 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 20. dubna 2016

.....

Podpis autor

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce Ing. Václavu Bažantovi, Ph.D., za odborné vedení, trpělivost a čas, který mi věnoval při jejím zpracování. Dále děkuji rodině za podporu při psaní této práce i po celou dobu studia.

## **Abstrakt**

Tématem této bakalářské práce je hodnocení ročního tloušťkového přírůstu, jeho dynamiky a vývoje během vegetačního období v letech 2013 - 2015 u vybraných třech druhů borovic v Arboretu FLD v Kostelci nad Černými lesy. V těchto třech letech byl pomocí dendrometru DRL26A pozorován tloušťkový přírůst s přesností na 1 mikrometr u těchto konkrétních druhů - borovice lesní (*Pinus sylvestris*), borovice pokroucená (*Pinus contorta*), a borovice vejmutovka (*Pinus strobus*). V roce 2014 byl pozorován také vývoj fenologických fází na těchto dřevinách. Data z dendrometru (přírůst a teplota vzduchu) byla pomocí softwaru Mini32 zpracována a společně s údaji o vlhkosti půdy získanými z meteorologické stanice na území arboreta převedena do grafů a byla hodnocena vzájemná závislost měřených veličin a jejich reakce přírůstu na proměny ostatních hodnot. Zpracovaná data ukázala, že přírůst závisí především na vlhkosti půdy a že největší potenciál v podmínkách arboreta má borovice vejmutovka.

Klíčová slova: Arboretum FLD v Kostelci nad Černými lesy, tloušťkový přírůst, Pinus, borovice, fenologie

## **Abstract**

The theme of this thesis is to evaluate the annual radial increment, its dynamism and development during the vegetation period between 2013-2015 in three selected species of pine trees in the Arboretum FLD in Kostelec nad Černými lesy. In these three years has been by using the EMS Dendrometer Increment Sensor DRL26A observed radial increments with the accuracy of 1 micrometer for those specific species - Scots pine (*Pinus sylvestris*), lodgepole pine (*Pinus contorta*) and Eastern White pine (*Pinus strobus*). In 2014, there was also observed development of phenological phases in these trees. Data from dendrometer (radial increment and air temperature) were processed by software Mini32 and with data about soil moisture (from weather station on the territory of the arboretum) had been transformed into charts and was evaluated interdependence of measured quantities and the reactions of increment on changes at other values. Processed data showed that the increment depends mainly on soil moisture and the greatest potential in the conditions of the arboretum has Eastern white pine.

Key words: Arboretum in Kostelec nad Černými lesy, diameter increment, Pinus, pine, phenology

# Obsah

1. Úvod.....	14
2. Literární rešerše .....	15
2.1. Arboretum v Kostelci nad Černými lesy .....	15
2.1.1. Přírodní poměry arboreta .....	15
2.1.2. Evidence genofondu.....	16
2.1.3. Periodické revize sbírky.....	17
2.2. Fenologie .....	17
2.3. Dendrochronologie .....	19
Dendroekologie .....	20
Dendroklimatologie .....	20
Dendroklimatografie .....	20
Dendrogeomorfologie .....	20
Dendrohydrologie .....	20
Dendroarcheologie .....	20
2.3.1. Tloušťkový přírůst .....	20
2.3.1.1. Druhy tloušťkových přírůstů .....	21
Přírůst běžný.....	21
Přírůst běžný celkový .....	21
Přírůst průměrný.....	21
2.3.1.2. Měření tloušťkového přírůstu.....	22
<b>Měření tloušťkového přírůstu dendrometrem DRL26A.....</b>	<b>22</b>
2.3.1.3. Průběh tloušťkového přírůstu .....	23
2.3.1.4. Faktory ovlivňující tloušťkový růst a přírůst.....	23
2.4. Charakteristika rodu <i>Pinus L.</i> - borovice.....	25
2.4.1. Charakteristika borovice lesní ( <i>Pinus sylvestris</i> ) .....	27
2.4.1.1. Ekologické nároky.....	27



2.4.1.2. Popis .....	28
2.4.1.3. Morfologie.....	29
2.4.1.4. Proměnlivost.....	31
2.4.1.5. Rozšíření.....	32
2.4.1.6. Porosty .....	33
2.4.1.7. Škodliví činitelé.....	33
2.4.1.8. Upotřebení .....	33
2.4.2. Charakteristika borovice pokroucené ( <i>Pinus contorta</i> ).....	33
2.4.2.1. Ekologické nároky.....	33
2.4.2.2. Popis .....	34
2.4.2.3. Morfologie.....	35
2.4.2.4. Proměnlivost.....	36
2.4.2.5. Rozšíření.....	37
2.4.2.6. Porosty.....	37
2.4.2.7. Škodliví činitelé.....	39
2.4.2.8. Upotřebení .....	39
2.4.3. Charakteristika borovice vejmutovky ( <i>Pinus strobus</i> ).....	40
2.4.3.1. Ekologické nároky.....	40
2.4.3.2. Popis .....	40
2.4.3.3. Morfologie.....	42
2.4.3.4. Proměnlivost.....	43
2.4.3.5. Rozšíření.....	43
2.4.3.6. Porosty.....	44
2.4.3.7. Škodliví činitelé.....	44
2.4.3.8. Upotřebení .....	46
<b>3. Metodika .....</b>	<b>48</b>
3.1. Osazení dendrometrů DRL26A .....	48

3.2. Postup instalace dendrometru DRL26A: .....	48
3.3. Fenofáze .....	49
3.4. Zpracování dat.....	49
3.4.1. Práce se softwarem Mini32 .....	49
3.4.1.1. Infračervené spojení (IR).....	49
3.4.2. Základní nastavení.....	50
3.4.3. Pokročilá nastavení.....	50
3.4.4. Zpracování dat v programu Microsoft Excel 2016 .....	51
<b>4. Výsledky .....</b>	<b>52</b>
4.1. Borovice lesní .....	52
4.1.1. Borovice lesní v roce 2013.....	52
4.1.2. Borovice lesní v roce 2014.....	54
4.1.3. Borovice lesní v roce 2015.....	55
4.2. Borovice pokroucená .....	56
4.2.1. Borovice pokroucená v roce 2013 .....	56
4.2.2. Borovice pokroucená v roce 2014 .....	57
4.2.3. Borovice pokroucená v roce 2015 .....	58
4.3. Borovice vejmutovka.....	59
4.3.1. Borovice vejmutovka v roce 2013 .....	59
4.3.2. Borovice vejmutovka v roce 2014 .....	60
4.3.3. Borovice vejmutovka v roce 2015 .....	61
4.4. Srovnání přírůstků borovic .....	62
4.4.1. Srovnání přírůstu borovic v roce 2013.....	62
4.4.2. Srovnání přírůstu borovic v roce 2014.....	63
4.4.3. Srovnání přírůstků borovic v roce 2015.....	64
4.5. Srovnávací tabulka.....	65
4.6. Fotodokumentace průběhu fenologických fází v roce 2014.....	66

4.6.1. Borovice lesní .....	66
4.6.2. Borovice pokroucená .....	68
4.6.3. Borovice vejmutovka .....	70
<b>5. Diskuze .....</b>	<b>72</b>
5.1. Porovnání borovic v roce 2013 .....	72
5.2. Porovnání borovic roce 2014.....	72
5.3. Porovnání borovic v roce 2015.....	73
<b>6. Závěr.....</b>	<b>74</b>
<b>7. Seznam literatury a použitých zdrojů .....</b>	<b>75</b>

## **Seznam grafů**

**Graf č. 1:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice lesní pro rok 2013 v závislosti na klimatických podmínkách. (str. 52)

**Graf č. 2:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice lesní pro rok 2014 v závislosti na klimatických podmínkách. (str. 54)

**Graf č. 3:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice lesní pro rok 2015 v závislosti na klimatických podmínkách. (str. 55)

**Graf č. 4:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice pokroucené pro rok 2013 v závislosti na klimatických podmínkách. (str. 56)

**Graf č. 5:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice pokroucené pro rok 2014 v závislosti na klimatických podmínkách. (str. 57)

**Graf č. 6:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice pokroucené pro rok 2015 v závislosti na klimatických podmínkách. (str. 58)

**Graf č. 7:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice vejmutovky pro rok 2013 v závislosti na klimatických podmínkách. (str. 59)

**Graf č. 8:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice vejmutovky pro rok 2014 v závislosti na klimatických podmínkách. (str. 60)

**Graf č. 9:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice vejmutovky pro rok 2015 v závislosti na klimatických podmínkách. (str. 61)

**Graf č. 10:** Srovnání přírůstu borovic v roce 2013. (str. 66)

**Graf č. 11:** Srovnání přírůstu borovic v roce 2014. (str. 63)

**Graf č. 12:** Srovnání přírůstu borovic v roce 2015. (str. 64)

## **Seznam obrázků**

- Obr. č. 1:** Rozdělení arboreta na jednotlivá oddělení (Bažant a Prknová, 2014). (str. 17)
- Obr. č. 2:** Dendrometr DCL26A (str. 22)
- Obr. č. 3:** Začátek rašení u borovice lesní (11.4.2014). (str. 62)
- Obr. č. 4:** Otevírání pupenů u borovice lesní (18.4.2014). (str. 62)
- Obr. č. 5:** Konec rašení prašníků u borovice lesní (8.5.2015). (str. 63)
- Obr. č. 6:** Konec sypání pylu u borovice lesní(8.6.2014). (str. 63)
- Obr. č. 7:** Vyrašení z ½ u borovice pokroucené (11.4.2014). (str. 64)
- Obr. č. 8:** Rašení prašníku u borovice pokroucené (1.5.2014). (str. 64)
- Obr. č. 9:** Konec rašení prašníků u borovice pokroucené (8.5.2014).(str. 65)
- Obr. č. 10:** Konec sypání pylu u borovice pokroucené (1.6.2014). (str. 65)
- Obr. č. 11:** Počátek rašení u borovice vejmutovky (11.4.2014). (str. 66)
- Obr. č. 12:** Rašení prašníků z ½ u borovice vejmutovky (8.5.2014). (str. 66)
- Obr. č. 13:** Konec sypání pylu u borovice vejmutovky (8.6.2014). (str. 67)

## **Seznam tabulek**

- Tab. č. 1:** Klimatické poměry, Kostelec – Truba (Roček, 1998). (str. 13)
- Tab. č. 2:** Průměrné a extrémní taxační hodnoty borovice pokroucené (*P. contorta*) v Idaho a Montaně (Musil, 2007). (str. 31)
- Tab. č. 3:** Srovnávací tabulka přírůstků borovic a jejich fází v jednotlivých letech. (str. 61)

# 1. Úvod

Cílem této bakalářské práce je vyhodnocení sezónní dynamiky tloušťkového přírůstu v závislosti na klimatických podmínkách. Je zaměřena na 3 konkrétní druhy borovic na území Arboreta v Kostelci nad Černými lesy. Jedná se o borovici lesní (*Pinus sylvestris*), borovici pokroucenou (*Pinus contorta*) a borovici vejmutovku (*Pinus strobus*).

Tato práce se skládá ze 2 částí. V první teoretické části se zabývám popisem Arboreta v Kostelci nad Černými lesy, fenologií, dendrochronologií, tloušťkovým přírůstem a jeho měřením, popisem charakteristiky samotného rodu *Pinus* a následným popisem charakteristiky konkrétních druhů borovic. Druhá praktická část je věnována výsledkům, diskuzi a závěru.

Arboretum v Kostelci nad Černými lesy je určeno jak ke vzdělávání studentů České zemědělské univerzity, dále v textu již jen ČZU, tak i široké veřejnosti. Každoročně jsou v arboretu pořádány dny otevřených dveří. Arboretum skýtá velkou škálu domácích dřevin, ale především cizokrajných.

Rod *Pinus* je nejpočetnějším rodem rostlin nahosemenných. Zahrnuje vždyzelené stromy, méně často keře, s přeslenitým větvením. Jehlice vyrůstají na malých zkrácených výhonech, brachyblastech, nejčastěji po 2, 3 či 5 jehlicích ve svazečku (Musil, 2007).

S měřením tloušťkového přírůstu bylo započato v březnu roku 2013, kdy byly v arboretu osázeny dendrometry na jeden reprezentativní strom (se střední tloušťkou kmene) z každého zkoumaného druhu. Jedná se o unikátní snímač DRL26A, který zaznamenává přírůst a teplotu vzduchu celoročně každou hodinu (dle nastavení). Bylo hodnoceno vždy jen období od 25.3. do 25.10., kdy je vegetační sezóna. Ve výsledcích se porovnávají data z dendrometru (přírůst a teplota vzduchu) s daty z meteostanice (půdní vlhkostí). Data byla vyhodnocena v programu Mini 32, který byl vytvořen k tomuto účelu.

V roce 2014 se začal pozorovat i průběh fenologických fází, které byly pozorovány každý týden během vegetační sezóny a byla prováděla fotodokumentace.

## **2. Literární rešerše**

### **2.1. Arboretum v Kostelci nad Černými lesy**

Arboretum v Kostelci nad Černými lesy, dále jen arboretum, se rozkládá na pozemcích Školního lesního podniku ČZU v Praze, a od roku 1954 slouží též jako didaktické zařízení Fakultě lesnické a dřevařské této univerzity. Arboretum skýtá jednu z nejbohatších sbírek dřevin v České republice. Je zde zastoupena spousta významných, často i unikátních exotických druhů, kterým se ve zdejších podmínkách nejen daří kvést a plodit, ale i přirozeně rozmnožovat. Arboretum je cenné pro studium biologie introdukovaných stromů i keřů. Slouží jako genofundová základna ke množení vzácných druhů (Roček a kol., 1998).

V arboretu se pěstují v podstatě pouze dřeviny (stromy, keře, polokeře, keříky a dřevité liány). Přes relativně krátkou dobu jeho působení se zde nashromáždil bohatý sortiment nejen botanických druhů, ale i kultivarů (Roček a kol., 1998).

Asi 2/3 všech pěstovaných taxonů pochází z reprodukčního materiálu, který byl získán mezinárodní výměnou semen, plodů, ale i řízků a roubů (Roček a kol., 1998).

#### **Historie arboreta**

Arboretum založil prof. Dr. Ing. Pravdomil Svoboda, DrSc., tehdejší vedoucí katedry dendrologie a geobotaniky Fakulty lesnické ČVUT (Roček a kol., 1998). Vedl ho od založení až do roku 1962. Od roku 1963-1986 převzal vedení arboreta doc. Jaromír Pokorný CSc. Po jeho odchodu byl pověřen vedením arboreta Ing. Jiří Holata. Od roku 1996 na arboretum odborně dohlížel doc. Ing. Ivan Musil, CSc., později byl vystřídán Ing. Gabrielou Leugnerovou. V současnosti na arboretum dohlíží Ing. Václav Bažant, PhD. (Bažant a Prknová, 2014).

#### **2.1.1. Přírodní poměry arboreta**

Arboretum je situováno přibližně 3 km severně od Kostelce nad Černými lesy. Nachází se v nadmořské výšce od 300-345 m n. m., na jižně exponovaném svahu. Jeho zeměpisné souřadnice jsou 14° 51' východní délky a 50° 01' severní šířky. Začínalo se na ploše původní pastviny o rozloze 4 ha. Až v roce 1989 se

plocha arboreta zvětšila na 12,38 ha. Půdní podklad je tvořen křídovým a permským pískovcem, který směrem do údolí překrývá různá vrstva hlinité spraše. Větší část arboreta se řadí do souboru lesních typů kyselé bukové doubravy a menší dolní část do souboru svěží dubové bučiny. Se zřetelem na jižní expozici a půdní podklad je většina plochy hodně suchá a rostliny jsou náchylné k přísuškům (Roček a kol., 1998). Od roku 2013 má Arboretum přímo na ploše vlastní automatickou meteorologickou stanici (Bažant a Prknová, 2014).

Meteostanice zaznamenává teplotu (v 1 m, ve 2 m a v půdě), průměrné denní teploty (v 1 m, ve 2 m a v 0,3 m nad zemí), vlhkost, napětí, srážky atd. Tyto veličiny jsou zaznamenávány každou hodinu.

Klimatické poměry jsou nejlépe vystiženy z let 1960 – 1995, které byly naměřeny na blízké meteorologické stanici Kostelec – Truba (368 m n. m.):

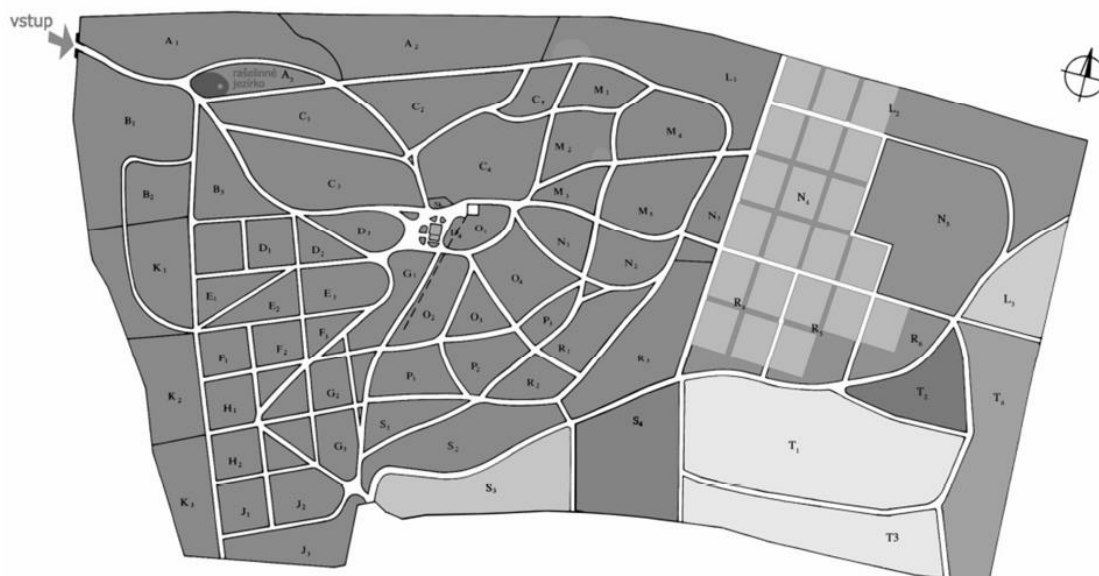
**Tab. č. 1:** Klimatické poměry, Kostelec – Truba (Roček a kol., 1998).

Průměrná roční teplota	8,14 °C
Průměrná teplota v lednu	-1,92 °C
Průměrná teplota v červenci	17,82 °C
Maximální dosažená teplota (12.7.1991)	40,80 °C
Minimální dosažená teplota (8.1.1985)	-28,50 °C
Průměrné roční srážky	662,60 mm
Nejvlhčí rok (1977)	890,00 mm
Nejsušší rok (1990)	426,80 mm

### 2.1.2. Evidence genofondu

Celé arboretum je rozděleno na menší plošné jednotky (oddělení), jejichž hranice jsou vymezeny převážně cestami. Každé oddělení je označeno velkým písmenem a číslicí (A1 – T4). Každé nové dřevině se v rámci oddělení přiřadí nové číslo.





**Obr. č. 1:** Rozdělení arboreta na jednotlivá oddělení (Bažant a Prknová, 2014).

Stromoví jedinci jsou číslováni jednotlivě. Když jde o skupinu stejného druhu a původu, je číslování prováděno formou zlomku, ve jmenovateli je uvedeno pořadové číslo stromu. Skupiny stromů stejného druhu, kde se jedinci od sebe obtížně rozeznávají, jsou označeny jedním evidenčním číslem a počtem jedinců ve skupině. Plechový štítek s evidenčním číslem se umísťuje ve výšce očí z jižní strany dřeviny (Bažant a Prknová, 2014).

### 2.1.3. Periodické revize sbírky

Vývoj a růst dřevin se hodnotí revizemi každých 5 let. Je prováděna kontrola taxonomického zařazení dřevin, měření taxačních veličin (průměr, výška a korunová projekce), zaznamenávána plodnost, kvetení, výskyt přirozeného zmlazení, záznamy úhynů a klasifikace dřevin podle jejich významnosti pro sbírku. (Bažant a Prknová, 2014).

## 2.2. Fenologie

Fenologie studuje viditelné fáze růstového cyklu dřevin, jejich načasování, dobu trvání a jejich vývoj v závislosti na místních podmínkách prostředí (nástup a ukončení fází, změny ve výskytu, možný vliv znečištění ovzduší na porosty, zejména s ohledem na dobu a trvání expozice). Získané výsledky slouží k hodnocení aktuálního stavu jednotlivých stromů a vlivu podmínek prostředí

(změny a výkyvy meteorologických faktorů). Takto získaná data jsou užitečná k hodnocení vlivu jakékoliv změny klimatu na lesní ekosystémy. Hlavně v souvislosti s dalšími daty v rámci intenzivního monitoringu (meteorologické parametry, přírůst a zdravotní stav, chemismus půdního roztoku a depozice) (Fenologie, 2015).

Výsledky fenologického pozorování a fenologická data jistým způsobem vyjadřují povahu klimatu v určité oblasti a skýtají z hlediska ekologie cenné informace o průběhu a trvání vegetačního období. Nejdůležitější význam na nástup a proces fenofází vedle genetických vlastností má teplota a vlhkost půdy, teplota vzduchu, radiace či jiné meteorologické elementy (Kulhavý, 2009).

Fenologie květu je ovlivněna mnoha faktory životního prostředí, mezi hlavní patří teplota a fotoperioda, které je dobré studovat, protože jsou to spolehlivé signály sezón. Přesná detekce těchto podnětů v oblasti životního prostředí a výsledná odezva rostlin umožňují nastat květu, pokud jsou klimatické podmínky pro reprodukci nejvhodnější. Tak, prostředky a podmínky ukládají zezdola nahoru selektivní síly na fenologii (Elzinga et al., 2007).

Fenofáze nastávají každý rok, ovšem v různých termínech a s nestejnou intenzitou, jelikož charakterizují časově proměnlivé podmínky prostředí, v první řadě průběh povětrnosti v jednotlivých letech. Jednotlivé fenofáze se vlivem počasí mohou posunout a zhoršit následující vývoj rostlin. Pozorování a vyhodnocování fenologických fází rostlin může sloužit jako bioindikátor klimatických změn. Fenologická pozorování mohou být charakteristická pro klimatickou oblast s průměrnou délkou vegetačního období se zřetelem na ekologické vlastnosti dřevin a skýtat základy pro tvorbu fenologických map. Biologické hranice jsou vyjádřeny fenofázemi, v rámci kterých jsou zkoumány požadavky rostlin na podmínky vnějšího prostředí (Kulhavý, 2009).

Fenologická pozorování jsou jedny z nejcitlivějších údajů při identifikaci druhů rostlin. Zkoumají, jak rostliny reagují na regionální klimatické podmínky a změny (Chmielewski and Rötzer 2001). Fenologie se nedávno ukázala jako důležitá pro ekologický výzkum, a to především díky svému značnému příslibu řešení důležitých otázek v globálním modelování, monitorování a změnách klimatu

(Schwartz, 1999).

### **Fenologické fáze (fenofáze)**

Fenofáze jsou vývojové fáze rostlin, opakující se periodicky každý rok v průběhu jedné vegetační sezóny a jsou morfolologicky lehce rozlišitelné, např. rašení pupenů, počátek olistování, kvetení, tvorba plodů, zrání a žloutnutí listů. Délka a trvání fenofází závisí na průběhu počasí v období vývoje rostlin (Kulhavý, 2009).

## **2.3. Dendrochronologie**

Dendrochronologie je vědní obor, který se zabývá studiem a datováním letokruhů (Fritts, 1976). Název dendrochronologie pochází ze dvou řeckých slov, dendron (strom) a chronos (čas) (Drápela a Zach, 1995). Dendrochronologie je cenný nástroj ke studiu proměnlivosti klimatu v minulosti a zvyšuje naše poznatky různorodosti klimatu v krátkém čase. Využívá časové řady pomocí letokruhů, obsahuje soubor technik, pomocí nichž mohou být roční růstové vrstvy přiřazeny k určitému kalendářnímu roku. Historie změn v životech stromů mohla být rekonstruována s využitím různých vlastností letokruhů. Letokruhové vlastnosti zahrnují šířku, velikost buněk, hustotu dřeva, složení stopových prvků a radioaktivních a stabilních izotopových poměrů. Vnější podmínky životního prostředí ovlivňují fyziologické procesy, které řídí růst stromů. Roční tloušťkový přírůstek vytváří trvalý záznam těchto účinků (Touchan and Huges, 1999).

Dendrochronologie se skládá z několika podoborů – dendroekologie, dendroklimatologie, dendroklimatografie, dendrogeomorfologie, dendrohydrologie a dendroarcheologie (Drápela a Zach, 1995). Časové řady měření růstu letokruhů trvají několik století a slouží jako záznamy klimatických podmínek v minulosti (Cook et al., 1999). Tyto záznamy nám poskytují poznání četnosti a závažnosti klimatických nepravidelností v minulosti, jako je sucho a období dešťů, a mohou být použity k předvídaní pravděpodobnosti takových událostí v budoucnu (Touchan, 2008). Práce na tropické dendrochronologii v poslední dekádě ukázala, že mnoho druhů má potenciál pro rozvoj růstových modelů (Roednaal and Zuidema, 2010).

## **Dendroekologie**

Dendroekologie využívá datovaných letokruhů ke zkoumání ekologických problémů a životního prostředí (Drápela a Zach, 1995).

## **Dendroklimatologie**

Dendroklimatologie využívá datovaných letokruhů k rekonstrukci a studování klimatu současného, i v minulosti (Drápela a Zach, 1995). Při rekonstrukci klimatu je úspěšnější kombinace druhů než pouze jeden druh (García et al., 2009).

## **Dendroklimatografie**

Dendroklimatografie využívá datovaných letokruhů k rekonstrukci a mapování prostorových klimatických změn (Drápela a Zach, 1995).

## **Dendrogeomorfologie**

Dendrogeomorfologie využívá datovaných letokruhů ke studiu geomorfologických procesů (Drápela a Zach, 1995).

## **Dendrohydrologie**

Dendrohydrologie využívá datovaných letokruhů pro studium hydrologických procesů, např. historie povodí a změny toku řek, atd. (Drápela a Zach, 1995).

## **Dendroarcheologie**

Dendroarcheologie využívá datovaných letokruhů k datování různých historických událostí, stáří archeologických nálezů apod. (Drápela a Zach, 1995).

### **2.3.1. Floušťkový přírůst**

Strom zvětšuje každoročně floušťku vznikem nového pláště dřeva a kůry, pomocí dělivých pletiv (kambia a felogenu). Vrstva kambia je navazována na poslední vrstvu pláště. Směrem dovnitř vytváří novou vrstvu dřeva a směrem ven novou vrstvu kůry. Jarní dřevo je tvořeno v první polovině vegetačního období tenkostěnnými širokými buňkami. Letní dřevo je tvořeno na konci vegetačního

období silnostěnnými užšími buňkami. Jarní a letní dřevo ztvárňují letokruh, který se vytvoří za jedno vegetační období. Rozeznávání hranice letokruhu je umožněno díky rozdílu odlišnosti letního tmavšího, obvykle užšího dřeva a jarního světlejšího, většinou širšího dřeva. Tato odlišnost je nejlépe pozorovatelná na jehličnanech a kruhovitě pórovitých listnáčích (např. dub, jilm, jasan...). Rozeznávání letokruhů u roztroušeně pórovitých listnáčů je mnohem složitější (javor, habr, olše...) (Drápela a Zach, 1995).

### **2.3.1.1. Druhy tloušťkových přírůstů**

#### Přírůst běžný

Rozdíl dvou hodnot růstové veličiny za určitý časový interval. Podle délky intervalu rozeznáváme: přírůst běžný roční, přírůst běžný periodický (pro danou krátkou periodu – zpravidla 5 nebo 10 let), přírůst běžný úhrnný (pro celou délku intervalu od počátku růstu do stanoveného okamžiku). Zvláštním případem jsou okamžité přírůsty (pro velmi krátký časový interval  $t \rightarrow 0$ ) počítané jako první derivace růstové funkce dané růstové veličiny. Využívají se pro podrobná šetření (Simanov, 2008).

#### Přírůst běžný celkový

Objemový běžný přírůst vztahující se k hlavnímu i podružnému (probírkovému) porostu. Vypočítá se jako běžný přírůst pro daný časový interval zvětšený o součet objemu probírek do daného věku. Rozeznáváme přírůst běžný celkový periodický a přírůst běžný celkový roční (Simanov, 2008).

#### Přírůst průměrný

Přírůst vypočítaný jako podíl hodnoty veličiny v daném věku a počtu roků. Dělíme ho na přírůst průměrný roční (věkový), tj. hodnota veličiny od počátku růstu dělená celkovým počtem roků a na přírůst průměrný periodický, tj. běžný přírůst periodický dělený počtem roků periody. Zpravidla se používá k výpočtu běžného přírůstu celkového (Simanov, 2008).

#### Přírůst průměrný celkový

Průměrný přírůst vztažený k hlavnímu i podružnému (probírkovému) porostu. Vypočítá se jako součet průměrného přírůstu hlavního porostu a průměrné

probírky (podíl součtu všech probírek a příslušného věku) (Simanov, 2008).

### **2.3.1.2. Měření tloušťkového přírůstu**

Tloušťka se měří obvykle ve výčetní tloušťce 1,3 m nad patou kmene. Tloušťkový vývoj je možné pozorovat, až když strom dosáhne této výšky. Záleží na dřevině a podmínkách růstu, obvykle se jedná o stromy ve věku od 5-15 let, běžně ve věku zhruba 10 let (Drápela a Zach, 1995).

#### **Měření tloušťkového přírůstu dendrometrem DRL26A**

Jedná se o snímač sloužící k dlouhodobému a přesnému sledování změn v průměru kmene stromu o tloušťce větší než 8 cm v průměru. Je to velice efektivní nástroj pro měření v terénu. Obsahuje informace o růstu, zaznamenává vodní stres a mrznutí. Z technického hlediska nevyžaduje údržbu a má zanedbatelnou spotřebu energie ve srovnání s jinými měřicími přístroji. Spolu s měřením vlhkosti půdy vytváří realistický obraz, jak reagují stromy na nepříznivá suchá období. Velkou výhodou je snadné získávání dat z přístroje pomocí infraportu a velká kapacita baterie, která vydrží až 5 let (při měření každou hodinu) (Kučera, 2015).



**Obr. č. 2:** Dendrometr DRL26A

### **2.3.1.3. Průběh tloušťkového přírůstu**

Sledování tloušťkového přírůstu v jednotlivých letech je umožněno díky letokruhům. V našich klimatických podmínkách tvorba letokruhů na kmenech jehličnatých dřevin začíná v polovině května a trvá přibližně do poloviny září. Z hlediska tloušťkového růstu je možné i jehličnaté dřeviny rozdělit do dvou skupin (Šebík a Polák, 1990).

V první skupině, která je svými vlastnostmi podobná kruhovitě pórovitým dřevinám, jsou borovice, douglaska a částečně i modřín. U borovice začíná tloušťkový růst ke konci dubna a v prvních dnech května a letní dřevo vzniká v červenci a srpnu. Činnost kambia končí začátkem září. U tloušťkového růstu je rozdílný pouze začátek. Dříve začíná u mladých borovic. Stromy přirůstají asi 4-5 měsíců (Šebík a Polák, 1990).

V druhé skupině jsou jedle a smrk. U těchto dřevin začíná tloušťkový růst později, většinou v polovině května., v hustějším porostu až koncem května. Od začátku června se tvoří letní dřevo. Tloušťkový růst u této skupiny trvá 3-3,5 měsíce (Šebík a Polák, 1990).

I během dne jsou patrné rozdíly v průběhu tloušťkového přírůstu. Největší tloušťkový přírůst byl zjištěn před východem slunce. Přírůst je postupně snižován zvyšující se transpirací po východu slunce a nejmenší je odpoledne. Po skončení transpirace opět vzrůstá. Za deštivého počasí je transpirace nízká a tyto rozdíly jsou zanedbatelné. Obvod stromu se zmenšuje při výparu vody z jehličí (listí) se snižující se vzdušnou vlhkostí a zvyšujícím slunečním zářením. Kvůli transpiraci je snižován obvod nezdřevnatělých buněk nového letokruhu (Šebík a Polák, 1990).

### **2.3.1.4. Faktory ovlivňující tloušťkový růst a přírůst**

Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující růst a přírůst patří vlastnosti dřeviny, stanovištní a klimatické podmínky, sociální postavení stromu v porostu a poškození biotickými a abiotickými činiteli. U rychle rostoucích světlomilných dřevin (např. borovice, bříza...) tloušťkový přírůst nejprve intenzivně vzrůstá a vrcholí v mladém věku a potom velice rychle klesá. Naopak u stínomilných dřevin je tloušťkový přírůst značně pomalejší, avšak trvá déle a vrcholí mnohem později (Šebík a Polák,

1990).

Na tloušťkový přírůst má zásadní vliv sociologické postavení v porostu. I přes menší rozdíly výšek jsou rozdíly v tloušťkovém růstu velké. Je možné sledovat vztah mezi produkčním prostorem stromu a jeho tloušťkou na výzkumných probírkových plochách různě vychovávaných porostů. Jedná se o vzájemné srovnávání tloušťkového růstu stromů, které mají na začátku stejnou tloušťku. Zjistilo se, že v důsledku zvětšování stromového rozestupu se tloušťkový přírůst zvětšoval jen do určitého stromového rozestupu. Při dalším zvyšování rozestupu mezi stromy už nebyl zaznamenán následný přírůst (Šebík a Polák 1990).

Každá dřevina reaguje na uvolnění různým zvětšením přírůstu. U slunných dřevin (např. borovice, modřín) se jedná o nepatrné zvětšení přírůstu, zatímco u stinných a polostinných dřevin se tloušťkový přírůst může po silné probírce zvýšit až o 20 % a více. U dlouhodobě potlačených stinných dřevin můžeme pozorovat výrazný a dlouhodobý nárůst šířky letokruhů díky výhodnějším podmínkám, které nastaly kvůli výchovným zásahům, či náhodou. Šířka letokruhů je také ovlivňována množstvím výživných látek, které strom v daném roce vytvoří. Porucha ve výživě stromu se ihned projeví zmenšením tloušťkového přírůstu. Roční tloušťkový přírůst se tedy může zmenšit následkem poškození korun stromů hmyzími škůdci, odstraňováním lesního odpadu, či v důsledku extrémního letního sucha (Šebík a Polák, 1990). Při velkých změnách růstových podmínek může dojít ke zvětšení či zmenšení přírůstu, ale i k nepravidelné tvorbě letokruhů, a to se může projevit buď vytvořením dvojitého letokruhu nebo tím, že se v určeném roce měřitelně veliký letokruh nevytvoří vůbec (Drápela a Zach, 1995). Dvojitě letokruhy se vytváří v roce, ve kterém po holožiru následuje na listnatých dřevinách letní pučení nebo když po suchém létě začíná dlouhotrvající období dešťů a teplý podzim. Naopak na chybějících letokruzích se podílí chudá stanoviště a suchá léta. Také jsou mnohem náchylnější podúrovňové stromy (Šebík a Polák, 1990). Dvojitě nebo chybějící letokruhy jsou velmi problémové při datování letokruhových řad (Drápela a Zach, 1995).

Velký vliv na tloušťkový přírůst má počasí běžného roku, především od května do září. Hlavně u borovice a smrku jsou velmi dobře pozorovatelné suché roky. Právě velmi suchá léta mají na svědomí zmenšování přírůstu, především



v měsících největšího růstu. To trvá ještě následující léta. V tomto období dochází mnohdy k odumírání povrchových kořenů, tudíž je zmenšená kořenová soustava hůře zastává zásobování vodou. Letokruhy zaznamenávají veškeré změny životních podmínek stromu a lze z nich vyčíst celý život stromu. Popisují celé klimatické dějiny určitého místa (Svoboda, 1952).

Některé dřeviny, např. smrk, extrémní počasí zasáhne silně, naopak např. buk mnohem méně, u modřínu jsou extrémní vlivy počasí nepozorovatelné. U stromů rostoucích ve vysokých nadmořských výškách se tloušťkový přírůst v suchých letech zvyšuje, protože je zde dostatek vlhkosti. Stromy rostoucí na jižních svazích mají větší přírůst ve vlhkých letech, zatímco stromy rostoucí na severních svazích lépe přirůstají za suchých let (Šebík a Polák, 1990).

#### **2.4. Charakteristika rodu *Pinus L.* - borovice**

Borovice jsou výrazně světlomilný rod. Jedná se většinou o pionýrské druhy, osidlující druhotně narušené holé plochy, např. po požárech, na odtěžených plochách v místech bývalých lomů či erodovaných plochách, kde jsou součástí prvotních sukcesních stádií. Na těchto místech se jim výborně daří, dokud je nevystřídají dřeviny pokročilejších stádií sukcese, mající výrazně větší konkurenční schopnost, především co se týče světelných podmínek. Ekologická plasticita borovicím umožňuje výskyt na primárních stanovištích, které jsou pro jiné dřeviny nevhodné k růstu, např. skalní výchozy, písčité duny na pobřežích, vysoké horské polohy a rašeliniště. Soliterní jedinci většiny druhů borovic bývají dlouhou dobu nízce zavětveni, pokud však rostou v zápoji, rychle shazují spodní větve a kmen zůstává holý. Borovice lesní (*P. sylvestris*), borovice černá (*P. nigra*), borovice Banksova (*P. banksiana*) nebo borovice osinatá (*P. aristata*) patří k výrazně světlomilným druhům, zatímco mnoho zástupců pravých pětijehličných borovic, např. borovice vejmutovka (*P. strobus*) a borovice drobnokvětá (*P. parviflora*) částečně stín tolerují, obnovují se i na méně osluněných stanovištích, převážně v lesních porostech (Businský, 2011).

Borovice jsou méně náročné až vyloženě nenáročné na úrodnost a hloubku půdy. Většina druhů však upřednostňuje nezhutněné, lehčí půdy. Některé rostou na extrémně suchých stanovištích, jiné na zamokřených. Na vnějším vzhledu a vitalitě

se projeví kvalita a hloubka půdy. Jsou také celkem odolné vůči znečištění ovzduší. Do městského prostředí se hodí borovice Banksova (*P. banksiana*), borovice pokroucená (*P. contorta*), borovice rumelská (*P. peuce*), borovice černá (*P. nigra*) či borovice vejmutovka (*P. strobus*). Naopak jinak přizpůsobivá borovice lesní (*P. sylvestris*) není tolerantní k nadměrnému znečištění vzduchu. Mezi druhy dobře snášející extrémní půdní podmínky patří borovice pokroucená (*P. contorta*), borovice tuhá (*P. rigida*) či borovice Banksova (*P. banksiana*). Málokterým borovicím se daří na místech s vyšší hladinou podzemní vody. Hodně druhů se vyskytuje na písčitých půdách, dokonce na dunách mořských pobřeží, jiným se daří na půdách s vyšším obsahem humusu. Většině borovic půdy s vyšším obsahem vápníku nesvědčí, výjimkou je však borovice bělokorá (*P. heldreichii*) (Businský, 2011).

V prvním roce života má semenáček nejprve přeslen 3-18 jehlicovitých děloh, na něž navazují jednotlivé, pilovité primární jehlice umístěné ve spirále, přibližně do 3 let se tedy nejedná o jehlice ve svazečcích. Samčí šištice se vytvářejí na bázi letorostů, na místě brachyblastů, v dolní části koruny; samičí pod vrcholovým pupenem, převážně v horní, dostatečně osvětlené, části stromu. V době květu jsou semenné šupiny na bázi srostlé s podpůrnou šupinou a mají nejčastěji červenou barvu. Přibližně rok po opylení dochází v mírném klimatickém pásu k oplodnění samičích šištic. V době květu bývají semenné šupiny obvykle červené; na bázi srostlé s šupinou podpůrnou. Šišky od té chvíle znovu rostou do finální velikosti a po opylení dozrávají 15.-16. měsíc ve 2.-3. kalendářním roce, výjimečně již v 1. roce. Povrch zralých šišek je tvořen především štítky semenných šupin, apofýzami, které mají na vrcholu pupek, případně i s hrotem. Jsou to důležité určovací znaky jednotlivých taxonů (Musil, 2007). Podpůrné šupiny jsou zakrnělé v době zralosti (Hecker, 1991 in Musil).

Dozrálé šišky se otevírají samy; serotinní šišky však mohou zůstat uzavřeny mnoho let. Prázdné šišky zůstávají ještě několik týdnů až roků na stromě. Výjimku tvoří šišky borovic řazených mezi limby, které se neotevírají samy vůbec a opadávají vcelku. Semena mají obvykle křídlo, méně často jsou bezkřídla (např. limby, pinie). Křídlo je buď oddělitelné, např. u borovice lesní (*Pinus sylvestris*) nebo přirostlé, např. u borovice vejmutovky (*Pinus strobus*). Je popsáno více než

100 druhů borovic rostoucích především jen na severní polokouli, od mořské hladiny po 4000-4300 m n.m. (nejvýše vystupují v Číně), od tropů až téměř po subarktickou oblast. Pouze borovice Merkusova (*Pinus merkusii*) překračuje v horách Sumatry rovník - a jen asi 4 druhy jsou keřovité. Celkový areál rodu *Pinus* je na severní polokouli druhý největší, po dubu (cca 600 druhů). Téměř 2/3 druhů rostou v Americe, zbývající 1/3 v Eurasii. Do severní Afriky zasahují 4 taxony, pátým je endemit Kanárských ostrovů. V Evropě je původních 12-13 druhů - tři borovice 5-jehličné a devět či deset 2-jehličných. V ČR rostou autochtonně pouze 3 druhy: borovice lesní (*P. sylvestris*), borovice blatka (*P. rotundata*) a borovice kleč (*P. mugo*); nejhojněji se ještě vyskytuje hybrid *P. rotundata* a *P. mugo* (*P. x pseudopumilio*) (Musil, 2007).

Rod *Pinus* dělíme obvykle na dva podrody. 1. podrod *Pinus* tzv. "tvrdé (smolnaté či žluté) borovice", mající na brachyblastu ve svazečku 2-3 jehlice, s náhlým přechodem mezi jarním a letním dřevem. Vzácněji mohou mít po 5-8 jehlicích ve svazečku. Každá jehlice má dva cévní svazky. Z celého rodu zahrnuje podrod *Pinus* přibližně 2/3 druhů. 2. podrod *Strobus*, tzv. "měkké borovice", mající na brachyblastu ve svazečku 5 jehlic, s pozvolným přechodem mezi jarním a letním dřevem. Každá jehlice má po jednom cévním svazku (Musil, 2007).

Nejlépe prozkoumanými oblastmi z hlediska druhového bohatství rodu *Pinus* byly na začátku 20. století Evropa a Severní Amerika. V Evropě je domácích 11 druhů, zatímco v USA je jich téměř trojnásobek, 30 druhů (Businský, c2008).

Na jihozápadě Spojených států v horách roste proslulá borovice osinatá (*Pinus aristata*), která drží rekord v nejvyšším dosaženém známém věku. Je malého vzrůstu, protože roste velice pomalu, a bylo u ní napočítáno 4, 5 tis. letokruhů (Chmelař, 1981).

#### **2.4.1. Charakteristika borovice lesní (*Pinus sylvestris*)**

Borovice lesní byla v arboretu vysazena v roce 1992.

##### **2.4.1.1. Ekologické nároky**

Borovice lesní (*Pinus sylvestris*) je výrazně světlomilná dřevina, tudíž

netoleruje zastínění. Jedná se o velmi odolnou, rychle rostoucí eurasijskou borovicí, se 2 jehlicemi ve svazečku.

Je to naše běžná domácí dřevina, významná především lesnicky, vysazována zpravidla v monokulturách. V polopřirozených smíšených lesních porostech je častokrát příměsí, kde je ovšem její původnost na lokalitě, jakožto populace, sporná. V zahradnictví a krajinářství je významná hlavně jako kosterní dřevina vhodná i na extrémní stanoviště. Patří k nejvhodnějším jehličnanům k vysazování na devastovaných půdách v našich podmínkách, je však méně odolná vůči znečištění ovzduší (Businský, 2011).

Má nejrozsáhlejší areál ze stromovitých dřevin, s největší ekologickou amplitudou. Těžištěm jejího areálu je severní Asie. Má velice široký klimatický rozsah. Vyskytuje se na územích s vegetační dobou od 90-200 dnů (málokdy i méně) a průměrnými srážkami od 200-1780 mm. Většina jejího areálu se dá považovat za kontinentální či alespoň kontinentálně laděná. Jedná se o vyšší strom, dorůstající výšky až 40 m, s výčetní tloušťkou až 1 m. Na hranici tundry s lesotundrou, tedy v extrémních stanovištních podmínkách může být i podstatně nižšího vzrůstu, dokonce jen keřovitého.

Dosahuje věku kolem 300 let, ale může dosáhnout i mnohem vyššího (Musil, 2007).

#### **2.4.1.2. Popis**

V severní a severovýchodní části evropského areálu má spíše štíhlou, jemně se větvící korunu, v části střední a jižní převažují jedinci s klenutou až deštníkovitou korunou, se silnými větvemi. Především v severní a severovýchodní části areálu mají borovice přímý kmen, větvený až v horní čtvrtině. Křivolaký kmen bývá často na extrémních stanovištích. V dolní části je krytý silnou, rozpukanou borkou, v horní části se tenká borka odlupuje v papírovitých lístcích a je rezavě červená či oranžová. Hrubší borka bývá úzce šupinovitá, lasturovitá či široce deskovitá. Dřevo je měkké, mající širokou běl a hnědočervené jádro. Hercynskou borovicí bývá označována borovice s průběžným, přímým kmenem, krátkými, jemnými větvemi a úzkou korunou. Je rozšířená v pahorkatinách a horách hercynské části českých zemí, karpatskou borovicí je pak označována borovice v karpatské části. Hornorýnskou borovicí bývá označována borovice s nerovným kmenem, silnými větvemi a širokou, zploštělou deštníkovitou korunou nakloněnou

ve směru větru. Jedná se o druhotně rozšířenou borovici v hornorýnské nížině, odtud exportovanou darmšadtskými luštinami po celé Evropě, tedy i k nám (Musil, 2007).

Kořenový systém je mohutný, se zachovalým křivým kořenem, zasahujícím do hloubky až 3 m, ještě hlouběji v suchých a písčitéch půdách. Díky tomu může získávat vodu z větších hloubek, na rozdíl od jiných dřevin a růst na extrémně suchých stanovištích. Často bývají přítomny i boční kořeny. Do 20 cm pod půdním povrchem rostou horizontální kořeny. Na stanovištích s pohyblivými písky vznikají i chůdovité kořeny. Borovice lesní je považována za zpevňující dřevinu, jelikož je dobře ukotvena v zemi, a proto netrpí vývraty (Musil, 2007).

Vyskytuje se na mělkých, chudých, sušších, písčitéch až kamenitých půdách, které vznikly převážně na silikátových horninách, ale výjimkou není ani vápenec či hadec. Na hadcích tvoří hlavní, někdy dokonce jedinou stromovitou dřevinu. Může růst také na bažinných a rašelinných půdách, ale daří se jí zde o poznání hůře a často roste zakrsle. Obvykle tvoří silnější vrstvu opadu a humusu.

Borovice lesní se nejlépe obnovuje na holé, či na velmi dobře osvětlené ploše s odkrytou minerální půdou bez souvislé vrstvy humusu. Obnovovat pomocí náletu se může i ve zdevastovaných porostech či po požárech. Může ovšem vyklíčit a vyrůst ve štěrbinách skal (Musil, 2007).

#### **2.4.1.3. Morfologie**

V květnu a začátkem června dochází k odkvětu. Na některých stromech může být jedno pohlaví převládající, přestože je borovice lesní jednodomou dřevinou. Již v pozdním létě předchozího roku jsou vytvořeny základy samčích šištic, na bázi pupenu připraveného na prodlužovací růst v následujícím roce. Vyrůstají nejčastěji na krátkých bočních větvičkách, v dolní části koruny. Pyl je z každého stromu vypouštěn téměř všechn a na jeho příjem jsou připravené téměř všechny samičí šištice v období 2-3 dnů. Většina stromů kvete 1-2 dny ve stejném porostu společně. V každé provenienci je však doba květu odlišná (Musil, 2007).

Šupiny samičích šištic nedlouho po opylení tloustnou. V tomto období se samičí šištice otáčejí zpět. Když na podzim dosáhnou velikosti lískového oříšku,

bývají nazývány jako tzv. konelety. Pyl, který naklíčí je 12 měsíců ve fázi dormance. Za tuto dobu se konelety zvětšují a déle, než po ročním opylení klíčící pyl znovu začíná růst a oplodní vajíčko. V červnu 2. roku dochází k náhlému zvětšení a na začátku léta se z oplodněného vajíčka stává šiška, měřící 3-6 cm. Semeno dospěje a šišky dozrají na začátku října 2. roku. Za příznivých klimatických podmínek, kdy se střídají suchá období s vlhkými, vylétává ze šišek malé množství semen již na konci 2. roku, tedy v říjnu-prosinci (Musil, 2007).

Šišky se však otevírají hlavně před začátkem jara následujícího roku. V průběhu léta tohoto roku opadají prázdné šišky. Celý tento cyklus může být delší u severských populací. Má světle hnědá až černá semena. Prázdna semena mají světlejší barvu. Kilogram čistých semen obsahuje 74-245 tisíc kusů. Průměrná hmotnost 1000 ks bývá 6,3 g. Jižní provenience mají přibližně dvakrát tak velká semena, než provenience severní. Semena jsou životaschopná až 15 let, jsou-li dobře skladována. Stářím se však snižuje jak kvalita, tak klíčivost. Ke zmlazení může dojít i 1 km od mateřského porostu za příznivého proudění vzduchu. Přibližně každý 3. a 6. rok je zaznamenána dobrá úroda. Nejčastěji dochází ke květu borovice lesní kolem 15. roku, mnohem déle v zápoji (mezi 30. a 40. rokem), avšak za příznivých podmínek může začít kvést již mezi 5. a 8. rokem. Nejméně do 200 let je strom schopen produkovat šišky plné životaschopných semen, ovšem u starších jedinců jejich kvalita klesá. Klíčí nejlépe za plného slunečního světla. V prvním roce semenáčku se již mohou objevit jehlice ve svazečcích, ale primární jehlice vyrůstají zpravidla jednotlivě. Růst borovice je v mládí velmi rychlý, za rok může přirůst až kolem 80 cm. Jižnější provenience rostou rychleji, než provenience sibiřské a skandinávské. Největší přirůst mívá mezi 15. a 25. rokem a přestává kolem 100 let. Prodlužovací růst výhonů v průběhu roku má borovice obvykle monocyklického charakteru, tzn. že na jaře je celkem krátký a mezi květnem-červnem končí. Poté se záhy vytvoří terminální pupen a laterální pupeny, které nejčastěji vyraší až v následujícím roce. Ani dicyklický růst však není výjimečný, k narašení čerstvě vytvořených pupenů či dokonce k vyrašení nových výhonů dochází v období od 2. poloviny června do září. Takto vznikají z terminálního pupenu tzv. jánské výhony, popřípadě z laterálních pupenů proleptické. Borovice lze přimět k rychlejšímu růstu, když odstraníme pod terminálním pupenem pupeny laterální (Musil, 2007).

#### 2.4.1.4. Proměnlivost

Taxon borovic má obrovskou diverzitu. Například velká variabilita růstu, která se liší podle místa původu i podle stanoviště, je pro hospodářství velmi významnou. Ze severu na jih je velikost semen a růst v průměru větší, ale zároveň klesá odolnost vůči mrazu. Pro zalesňování v hospodářských lesích je velmi důležitý vhodný výběr původu osiva a sadebního materiálu, což dosvědčují provenienční pokusy. Například provenience, které jsou nejrychleji rostoucí ve střední Evropě v pokusných výsadbách dosáhly 2,5\* větší výšky a vyprodukovaly až 15\* více dřeva, než nejpomaleji rostoucí provenience. Přesto přenos materiálu není vhodný do vzdálenějších oblastí s drsnějšími klimatickými podmínkami. Borovice lesní se kříží s borovicí blatkou (*P. rotundata*), borovicí klečí (*P. mugo*), údajně i s borovicí černou (*P. nigra*), v kulturách též s borovicí Banksovou (*P. banksiana*) a borovicí hustokvětou (*P. densiflora*) (Musil, 2007).

Podle P. Svobody (1953) in Musil 2007 se borovice rozdělují do 3 kategorií: severské, horské a stepní klimatypy:

##### 1. Borovice severské

Patří sem borovice převážně nížinných klimatypů se souvislým areálem, severně od Labe (a Sály) a od severního úpatí sudetských pohoří a Karpat, pokračuje na sever od severní hranice ukrajinských a jihoruských stepí, dále na východ Sibiří až po oblast jakutského klimatypu včetně. Řadí se sem i kaledonský bor, jeden z nejzápadnějších klimatypů, rostoucí v nadmořské výšce 300-500 m, v izolovaných ostrůvcích v subalpínském stupni Skotské hornatiny.

##### 2. Borovice stepní

Jedná se o borovice užšího, nesouvislého pásma podél jihovýchodní hranice evropské části areálu, podél jeho jižní hranice západosibiřské části. Některé ekotypy rostou i na zasolenějších lesostepních až stepních půdách.

##### 3. Borovice horské

Zaujímají zbylé území jižní a střední části areálu, roztroušeně a izolovaně především v horských oblastech, v extrémních podmínkách, od suchých po rašelinná

stanoviště. Jsou to zbytky z počátku mladších čtvrtohor původního většího rozšíření.

#### 2.4.1.5. Rozšíření

Borovice lesní má maximální výskyt v severní části areálu, jedná se o severskou borovici, kde roste především v nížinách na chudých, písčitých až bažinatých půdách, které jsou dostatečně zásobeny vláhou, převážně v rozlehlých porostech smrkového pásma. V severní Evropě zasahuje dále na sever než smrk a v lese převládá. Na Sibiři však severněji zasahuje smrk sibiřský (*Picea obovata*). Borovice lesní roste na rozsáhlém území, rozkládajícím se od severní tundry po jižní stepi, v evropské části Ruska. Největším jejím výskytem je ovšem Sibiř, kde se nachází od nížin až po dolní část hor - až po 1570 m.n.m. K jejímu tak hojnému zastoupení v evropské i sibiřské tajze dopomáhají především přirozeně vznikající požáry. Borovice lesní je pionýrská dřevina a díky své silnější borce, hlubšímu kořenovému systému a schopnosti obnovovat se na minerální půdě spálenišť vůči požárům, je odolnější než smrk (Musil, 2007).

Přirozené zastoupení borovice v lesích je 5,4%, současné 17,6% a doporučené velmi podobné jako současné-16,8%. Těžištěm původního rozšíření borovice lesní je mezofytikum, vzácně se dále vyskytuje i v termofytiku. V oreofytiku a termofytiku se jedná o azonální výskyt. Borovice autochtonního původu u nás můžeme nalézt jen na reliktních extrémních stanovištích, jako jsou např. balvanité svahy, sutě, písky, písečné přesypy, suché a mělké stanoviště a vlhké lemy rašelinišť. Daří se jí na hadcích Českomoravské vrchoviny a Slavkovského lesa, na balvanitých svazích Šumavy, na písčitých rašelinných půdách Třeboňska, ve skalních městech a na pískovcových skalách severních a severovýchodních Čech, v zaříznutých údolích řek Dyje, Oslavy, Rokytné a Jihlavy, dále na výspách Dražanské vrchoviny, sutích Hrubého Jeseníku a vápencových skalách jižní Moravy. Nejnižší se vyskytuje v polabských doubravách na chudých vátých písčích. V tomto případě se jedná o reliktní bory. V preboreálu převládala ve střední Evropě, ale časem jí z lepších stanovišť s úrodnějšími půdami vytlačily dřeviny tolerantnější k zástínu. Zůstala jen na reliktních extrémních stanovištích, které nebyly tak příznivé pro růst náročnějších stínomilnějších druhů (Musil, 2007).



#### **2.4.1.6. Porosty**

U nás je doprovázena hlavně dubem zimním (*Quercus petraea*), dále pak břízou bělokorou (*Betula pendula*), lípou malolistou (*Tilia cordata*), habrem obecným (*Carpinus betulus*) a javorem babykou (*Acer campestre*) (Musil, 2007).

#### **2.4.1.7. Škodliví činitelé**

V mládí dochází k poškozování zvěří. Borovice má křehké dřevo, proto nejsou výjimkou ani vrcholové zlomy, které zapříčiňuje těžký mokrý sníh nebo námraza. Ulomený vrchol je nahrazen laterálními pupeny. Je velmi citlivá na znečištěné ovzduší. Velmi nebezpečné pro ni bývá přemnožení klikoroha, sypavky či václavky. Při poranění kmene roní hodně pryskyřice (Musil, 2007).

#### **2.4.1.8. Upotřebení**

Borovice je mezi jehličnany druhým nejvýznamnějším lesnickým druhem, hned po smrku. Na extrémních stanovištích plní půdoochranné a rekultivační funkce. Uplatňuje se i v sadovnictví a ve výsadbách podél komunikací, netoleruje ovšem větší města a průmyslové oblasti. Má podobné upotřebení jako smrk, využívá se například na vlákninu a pilařskou kulatinu, dále na telegrafní sloupy, pražce atd. Také je oblíbeným vánočním stromkem. Speciálně je využívána na těžbu pryskyřice (Musil, 2007). Díky své trvanlivosti se používá ve vodním stavitelství (Chmelař, 1981).

### **2.4.2. Charakteristika borovice pokroucené (*Pinus contorta*)**

Borovice pokroucená byla v arboretu vysazena v roce 1991.

#### **2.4.2.1. Ekologické nároky**

Borovice pokroucená (*Pinus contorta*) je jehličnan s největší ekologickou amplitudou Severní Ameriky, mající nejméně 4 variety. Má vícečláňkové letorosty, což je způsobeno dicyklickým či polycyklickým délkovým přírůstem za jednu vegetační sezónu. Obvykle má po 2 jehlicích ve svazečku (málokdy po 2 a 3) (Musil, 2007).

Patří ke světlomilným pionýrským dřevinám, velmi netolerantní k zástínu, s nízkou konkurenční schopností, v ostatních směrech je nenáročná. Borovice

pokroucená je velmi proměnlivá dřevina (Musil, 2007).

Dobře roste na mírných svazích, v pánvích, či kotlinách, ale i na drsnějších, kamenitých stanovištích a na příkrých, vlhkých svazích a horských hřebenech, zahrnující holé šterky. Častěji se vyskytuje na severních a východních expozicích. Podnebí v jejím areálu je dosti variabilní, převážně ve směru S-J i V-Z. Minimální teploty klesají až k  $-57\text{ }^{\circ}\text{C}$  a maximální teploty stoupají až k  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$  i výše. Červencová minima ve vyšších nadmořských výškách častokrát klesnou pod bod mrazu. Semenáčky borovice pokroucené jsou ovšem ke škodám, způsobeným mrazem, celkem odolné. Mnohdy přežívají také v mrazových kotlinách, kde jiné druhy nepřežijí. Srážky se zde pohybují od 250 (v dolních polohách vnitrozemí) do 500 mm i více za rok (na severním pobřeží) (Musil, 2007).

#### **2.4.2.2. Popis**

Jedná se o strom dorůstající výšky až 30 m, běžněji však do 25 m, s výčetní tloušťkou až 50 cm. Může se dožít až 500 let. Její kmen je plnodřevný, válcovitý, mající tekou borku a štíhlou korunu. Má variabilní, zpravidla mělce rozložený kořenový systém, kvůli němuž bývá náchylná k vývrátům.

V porostu se hůře čistí, ale větve jsou tenké a výrazně nezhoršují kvalitu dřeva (Musil, 2007).

Roste na různých půdách, zpravidla však na vlhkých, nedostatečně propustných. Nejlépe se jí daří na půdách, které vznikly na žulách, hlinitých břidlicích a hrubozrnných sopečných horninách. Častokrát se vyskytuje i na půdách vyvinutých na glaciálních morénových hlínách nejrůznějšího složení, na aluviích a deluviích s vyrovnanou vlhkostí a pórovitostí. Je mnohokrát jedinou dřevinou stromovitého vzrůstu, která je schopna růst na neplodných půdách. Hnojivářské pokusy ukázaly, že výrazného zvýšení růstu téhle borovice lze dosáhnout dusíkatým hnojením. Nevyhovují jí suché půdy na vápencových podkladech (Musil, 2007).

**Tab. č. 2:** Průměrné a extrémní taxační hodnoty borovice pokroucené (*P. contorta*) v Idaho a Montaně (Musil, 2007). (\* průměr při zemi)

Stáří (roky)	Výška (m)	Výčetní průměr (cm)	Zásoba (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Počet jedinců (ks.ha <sup>-1</sup> )
80	18	20,6	285,6	1 030
140	25,3	26,7	448,7	680
<b>Extrém:</b>				
70	1,2	2,5 *	-	247000

### 2.4.2.3. Morfologie

Velmi brzy dochází ke květu a plození, mezi 5. a 10. rokem, ve školce byly pozorovány samčí šištice dokonce na dvouletých semenáčcích. Samčí šištice jsou světle žluté až oranžové s délkou 0,8-1,4 cm. Jsou tvořeny převážně v dolní části koruny na starších laterálních větvích. Samičí šištice jsou červeno-purpurové s délkou 1-1,2 cm, přibližně po 2-5 v přeslenech. Jsou tvořeny převážně v horní části koruny na hlavních větvích. Častým jevem je dvoudomost, kdy se na jednom jedinci vyskytují pouze samčí nebo samičí šištice (Musil, 2007).

Od poloviny května do polovina června, podle polohy, je velká úroda. Má šišky dvojího typu, podobně jako u borovice Banksovy (*P. banksiana*): jak serotinní, tak nesorotinní. Serotinní se otevírají většinou s mnohaletým zpožděním, zpravidla po požáru a nesorotinní, které se otevírají ihned po dozrání a zcela úplně. Dozrávají od srpna do října 2. roku. V tomto období se se z purpurově zelených šišek stávají světle hnědé. Když dozrají, zůstanou na stromě, prázdné či plné, ještě mnoho let. Ročně vylétí ze serotinních šišek 100 000-200 000 semen na hektar, zásoba semen však může být až 10\* vyšší, kdežto v místech, kde převládají nesorotinní šišky, se roční výlet pohybuje od 35 000 až více než 1 200 000 semen na hektar. Ve Skalnatých horách, česky též označovaných Skalistých, má jedna šiška kolem 10-24 vyvinutých semen, na jednom dospělém úrovňovém stromě je přibližně několik set až tisíc šišek. Serotinní šišky jsou právě v těchto horách poměrně běžné, přesto jsou tak variabilní, že jejich podíl může klesnout i pod 50 %, zatímco v pobřežních a jihozápadních populacích se vyskytují pouze vzácně či zcela chybí (Musil, 2007).

Semena má celkem malá, varieta latifolia, obsahující v 1 kg osiva kolem 207 000 čistých semen. Ve školkách není potřebná stratifikace osiva. S dobrou úrodou se setkáme 1\* za 1-3 roky. Borovice pokroucená produkuje velké množství semen.

Nejlépe klíčí na zcela osvětlené minerální půdě, bez vegetace. Když má semeno příznivé podmínky, tedy teploty od 8-26 °C a odpovídající vlhkost, klíčí rychle a dosahuje téměř 100 % klíčivosti. Semenáčky bývají tolerantní k extrémním teplotám, avšak klíčení a přežívání brání zástin, nedostatek vláhy a konkurence. Semeno dobře vyklíčí i na organických materiálech, limitujícím je však nedostatek vláhy (Musil, 2007).

Zrychlení výškového přírůstu nastává v přirozených porostech dřívě, než u jiných dřevin, s výjimkou jiných druhů borovic a modřínů. Ve 20 letech se průměrná výška stromu pohybuje od 2-8 m, v závislosti na stanovišti (Musil, 2007).

#### **2.4.2.4. Proměnlivost**

Podle Musila (2007) je borovice pokroucená velmi proměnlivá dřevina, zpravidla se zeměpisně dělí na 4 variety:

##### *1. P. contorta var. latifolia*

Jedná se převážně o vnitrozemský typ rostoucí od 490-3660 m n. m., je sem zahrnován pobřežní typ, vyskytující se od 0-610 m n. m. Tato varieta osidluje nejrozsáhlejší areál, u nás je zřejmě vysazována nejčastěji, někdy se může zaměnit s podobnou var. *murryana*. Stromy střední velikosti, mající obvykle tenkou kůru. Plodí brzy a poměrně pravidelně, mají tvrdé, těžké, asymetrické šišky s vystouplými apofýzami. Zůstávají na stromech mnoho let a bývají serotinní. Jejich drobná semena, zůstávající v uzavřených šiškách, si udržují vitalitu mnoho let, rychle klíčí, nepotřebují žádnou předosevní přípravu a následný růst semenáčku zůstává taktéž rychlý. Na severním okraji této variety (teritorium Yukonu) existuje typ s velkým výskytem brachyblastů se 3 jehlicemi ve svazečku a malým zastoupením serotinních šišek.

##### *2. P. contorta var. murryana*

Je typickou varietou americké části pohoří Sierra Nevada a dalších kalifornských pohoří. V tomto druhu dorůstá největších výčetních tloušťek. Má pouze neserotinní šišky, takže nemá žádnou vazbu na přírodní požáry. Její šišky jsou lehké, symetrické, opadávající brzy po otevření. U nás se vyskytuje pouze vzácně, pěstuje se pouze v parcích a na rekultivovaných výsypkách.

### 3. *P. contorta* var. *contorta*

Typ, vyskytující se v části pobřeží Tichého oceánu. Patří sem zpravidla malé stromy s výškou do 9 m a výčetní tloušťkou do 45 cm. Má zakřivený kmen s hustou nepravidelnou korunou, skládající se z "pokroucených" větví. Šišky této variety jsou lehké a neserotinní.

### 4. *P. contorta* var. *bolanderi*

Tento typ se nachází pouze na úzkém pruhu vysoce acidických podzolovaných půd v Kalifornii. Jsou zde zařazeny zakrslé stromy, mající těžké, hrbolaté, serotinní šišky.

#### 2.4.2.5. Rozšíření

Je rozšířena v západní části Severní Ameriky, ve Skalnatých horách a Pacifickém pobřeží. Její areál se rozprostírá od Kalifornie po jihovýchodní Aljašku a kanadské teritorium Yukon, od pobřeží Tichého oceánu na východ až po pohoří Black Hills. Lesy v Severní Americe, kde je borovice pokroucená dominantní se rozkládají na 26 mil. ha, z toho je téměř 77% v USA. I v Yellowstonském národním parku je borovice pokroucená jednou z hlavních dřevin. V místech se stejným areálem se kříží s příbuznou borovicí Banksovou (*P. banksiana*) a vzniká kříženec *P.x murraybanksiana* (Musil, 2007).

Tento severoamerický druh se nejvíce podobá na první pohled naší borovici blatce, se kterou se může snadno zaměnit. Na rozdíl od blatky má však zřetelné ostny na šupinách šišek (Businský, 2011).

Podle A. M. Svobody (1976) se borovice pokroucená introdukovala do Čech v roce 1865 na Hluboké nad Vltavou.

#### 2.4.2.6. Porosty

Borovice pokroucená se vyskytuje jak ve směsích, tak v rozsáhlejších nesmíšených porostech. Na severu svého areálu roste převážně se smrkem sivým (*Picea glauca*), dále s osikou (*Populus tremula*), případně s břízou papírovitou (*Betula papyrifera*). Hojně se vyskytuje ve vysokých polohách, kde také roste

jedlovec Mertensův (*Tsuga mertensiana*), smrk Engelmannův, jedle plstnatoplodá, jedle nádherná (*A. magnifica*), borovice bělokmenná (*P. albicaulis*) a borovice osinatá (*P. aristata*). Ve východní části areálu, ve středních polohách, roste v nižším zastoupení s douglaskou sivou (*Pseudotsuga glauca*), modřínem západoamerickým (*Larix occidentalis*), jedlí obrovskou (*Abies grandis*), borovicí pohorskou (*P. monticola*), borovicí ohebnou (*P. flexilis*), smrkem pichlavým (*Picea pungens*), dále v osikovém typu, v nižších polohách s borovicí těžkou (*P. ponderosa*). V severní pacifické pobřežní části roste porostech se zeravem obrovským (*Thuja plicata*), jedlovcem západním (*Tsuga heterophylla*), douglaskou tisolistou (*Pseudotsuga menziesii*), cypřiškem Lawsonovem (*Chamaecyparis lawsoniana*), sekvojí vřdyzelenou (*Sequoia sempervirens*), kdežto v jižní části s borovicí Jeffreyovou (*P. jeffreyi*) (Musil, 2007).

Porosty borovice pokroucené mají výjimečnou regenerační schopnost. Tento druh je schopen tvořit, navzdory své světlomilnosti, extrémně husté porosty, nálety desítek až stovek tisíc ks.ha<sup>-1</sup> za vyloučení ostatních druhů, na obnažených minerálních půdách připravených požárem či na exponovaných stanovištích. Takto vytvořené porosty mohou zůstat husté přes 100 let. Pokud se mezitím neodehraje požár, odstartuje pozvolná výměna borovice pokroucené především za druhy tolerantnější k zástínu. V nižších polohách k této záměně dochází již v 80-100 letech původního porostu, ve vyšších polohách to však může trvat o mnoho déle, až do 400 let. Vznikající stejnověké, husté porosty pravděpodobně souvisí s výskytem serotinních šišek, uskladňujících miliony kusů semen na hektar po mnoho let, které jsou schopny klíčit ihned na „popožárových semeništích“. Výběr požárem tu zřejmě prospívá serotinním šiškám. Na těžných plochách v oblasti původního areálu je pro přirozenou obnovu doporučena holoseč, clonné seče zpravidla nedostačují. Zdrojem osiva bývá i těžební odpad, větve se zavřenými šiškami, který se musí pálit dřívě, než jsou šišky otevřeny.

Opakující se požáry hrají velkou roli v sukcesním procesu této borovice, protože likvidují semena jiných dřevin zásobené v půdě. Borovice pokroucená požár nicméně přestojí za pomoci uložených semen v serotinních šiškách. Na těchto plochách se tato borovice posléze stává dominantní, převážně na suchých, chladných lokalitách, kde vznikají stejnověké porosty s podrostem stínomilnějších dřevin, ty v průběhu 100-

200 let borovici pokroucenou nahrazují. Převážně ve vyšších polohách, na příliš chudých půdách pro stínomilnější dřeviny, se vyskytuje tato borovice i trvale a tvoří zde edafický klimax. Tam, kde borovice pokroucená zůstane jako jediná stromovitá dřevina, která je schopna růstu v daných podmínkách, se stává klimaxovou dřevinou (Musil, 2007).

#### **2.4.2.7. Škodliví činitelé**

V přirozeném areálu borovice pokroucené je jejím největším hmyzím nepřitelem kůrovec *Dendroctonus ponderosae*. Dalším závažným škůdcem je poloparazitický keřík z čeledi ochmelovitých *Arceuthobium americanum*, v několika oblastech napadá přes 50 % porostů. Snižuje růst a kvalitu dřeva hostitele a následně způsobuje jeho smrt. V Krušnohoří v pokusných výsadbách způsobuje největší problém vysoký stav jelení zvěře (Musil, 2007).

K vegetativnímu množení je možné použít roubování, další snadnou metodou je zakořeňování řízků, především s pomocí simulátorů. Ve volné přírodě se dá pozorovat i výmladkování (Musil, 2007).

Pro využití borovice pokroucené v imisních oblastech jsou zajímavé převážně provenience, které pocházejí z přirozených lokalit s tisíciletou selekcí vulkanickou činností, z areálu var. *latifolia* (Kaňák J., 1999 in Musil, 2007).

#### **2.4.2.8. Upotřebení**

Borovice pokroucená je v západní Americe významná z hlediska jak dřevovýrobního, tak krajinářského a vodohospodářského. Využívá se ve stavebnictví, na obklady, sloupy, pražce, vlákninu, atd. V minulosti místní Indiáni používali tyče na stavbu svých příbytků a šťavnatou vnitřní kůru k obživě. Evropu zaujala svou schopností růst na chudých, rekultivovaných stanovištích, v chladných oblastech. Zkouší se také vysazovat na imisních holinách, protože to vypadá, že v Krušných horách je jednou z mála dřevin, které jsou schopny vytvořit souvislý hodnotný přípravný porost, pod nímž se mohou vysázet původní cílové dřeviny. V šedesátých letech 20. století bylo mnoho výsadeb provedeno ve Švédsku (Musil, 2007).

### **2.4.3. Charakteristika borovice vejmutovky (*Pinus strobus*)**

Borovice vejmutovka byla vysazena v roce 1992 stejně jako borovice lesní.

#### **2.4.3.1. Ekologické nároky**

Z hlediska zastínění patří ke středně tolerantním dřevinám. V podrostu roste i při 80 % zastínění, ale na úkor svého výškového přírůstu, který dosahuje pouze přibližně 45 % z plné relativní ozářenosti. Kvůli svému pomalému počátečnímu růstu je nejohroženější v nejmladším věku. Její areál se nachází v mírně teplém, z velké části humidním klimatu, s červencovými průměrnými teplotami od 18-23 °C a ročním úhrnem srážek od 510-2030 mm. Co se týče pedologie, je celkem nenáročná a roste téměř na všech půdách ve svém areálu. Nejlépe roste na písčítých, dobře propustných stanovištích s nízkou až střední úrodností, kde jí původní listnaté dřeviny neovládají konkurovat. V pokusu s 10 původními dřevinami jí přerostl pouze liliovník tulipánokvětý (*Liriodendron tulipifera*), pouze na nejbohatších stanovištích. Vejmutovka tvoří klimaxové porosty, v závislosti na půdě, pouze na sušších písčitéjších půdách. V celém svém areálu však může tvořit příměs klimaxových porostů jiných dřevin. Může přerůst doprovozné stromy až o 12-15 m. Vykazuje větší úspěch, co se týče objemu a ceny, na písčito-hlinitých půdách, především chudších na živiny, než ostatní americké dřeviny. Dobře se jí ovšem daří i na jemnozrnějších půdách, nekonkurují-li listnaté druhy v obnovní době. V severní části svého areálu je obvykle pionýrským druhem. Výborně se zmlazuje na písčítých stanovištích, kde lehce konkuruje ostatním dřevinám. Tato místa jsou pro pěstování vejmutovky v Americe ekonomicky výhodná. Nalétá v podobě pionýrského druhu na zemědělskou půdu nechanou ladem, pokud není plná buřeně a je dobře propustná, dále na plochy po požárech nebo polomech. Při umělých obnovách je doporučována clonná seč, eventuálně kombinovaná s narušením půdního povrchu obnovovaného porostu (Musil, 2007).

#### **2.4.3.2. Popis**

Borovice vejmutovka (*Pinus strobus*) je největší a nejrychleji rostoucí jehličnan severovýchodní části Severní Ameriky. Jedná se o vysoký strom, dorůstající výšky 24-48 m, v Evropě 25-42 m. Nejvyšší strom známý v Evropě je evidován na Ostravsku. Patří mezi borovice s 5 jehlicemi ve svazečku. Je jednou z



nejproduktivnějších a nejcennějších dřevin. Dříve byla označována „králem borovic“. Na konci 19. století byla většina rozlehlých lesů vytěžena. Velké škody také napáchala neúmyslně zavlečená euroasijská rez vejmutovková (*Cronartium ribicola*) (Musil, 2007).

Rez vejmutovková je významný houbový parazit, který omezuje pěstování vejmutovky v Česku. Patří k významným houbovým škůdcům na 5-jehličných borovicích, v ČR se jedná hlavně o vejmutovku (Soukup, 2000).

Vejmutovka byla do Evropy přivezena kapitánem G. Weymouthem v roce 1605. Úspěšně introdukována však byla až v roce 1705 v Anglii na panství vikomta Weymoutha, po kterém je pojmenována (Musil, 2007). Podle Ing. Antonína Mariána Svobody, CSc. (1976) je její introdukce v České republice (Hluboš) datována v roce 1812.

Jedná se o jednu z nejčastěji pěstovaných amerických dřevin mírného pásu severní polokoule (mimo areál jejich přirozeného výskytu). V současnosti je nejvíce pěstována v Německu a v Česku. Podle Musila (1984) in Musil, 2007 se v České republice pěstuje přibližně na 2000 ha redukované lesní ploše. V minulosti byla jednou z nejnadějnějších introdukovaných jehličnanů, dnes už tomu tak není kvůli zvyšujícím se škodám, které působí rez vejmutovková (*Cronartium ribicola*). V některých evropských zemích se dokonce kvůli této dvoubytné rzi přestala pěstovat úplně. Dalším důvodem, proč se od ní upustilo je, že se na některých lokalitách České republiky, jako jsou např. Labské pískovce a další skalní města, Nymburská kotlina a na jiných místech střední Evropy, vejmutovka stává nebezpečným invazním druhem, který vytlačuje původní druhy (Musil, 2007).

Vejmutovka patří k dlouhověkým dřevinám. Dožívá se 200-450 let. Mívá často nepravidelnou korunu, v mládí kuželovitou, ve starším věku rozloženější. Kmen má obvykle rovný, borku v mládí tenkou a hladkou, později hrubší, s podélnými rýhami. Často se můžeme setkat se zakrnělým hlavním kořenem, který bývá nahrazen 3-5 velkými kořeny, směřujícími do všech stran. Tyto kořeny dobře ukotvují strom v půdě a chrání ho proti ničivým větrům, pokud jsou dobře vyvinuty. Známe je časté dorůstání kořenů sousedících stromů v místech přirozeného rozšíření vejmutovky. Ve zkoumaných porostech byl tento úkaz prokázán u 30-67% jedinců.

Dalo by se říct, že tito jedinci fungují jako jeden organismus, pravděpodobně je tím oslaben konkurenční vliv. Úplná konkurenční schopnost je pozorována u mladých podrostů a nárostů, přibližně do jejich 5. -10. roku (Musil, 2007).

Ještě nedávno nebyla moc známa přirozená obnova vejmutovky v lesních porostech, ovšem především v CHKO Labské pískovce byla vejmutovka zdomácněna před více než 30 lety. Dnes je v této oblasti invazním druhem, vytlačujícím původní dřeviny. K něčemu podobnému došlo i v městských lesích Hradce Králové a v menším množství i v plzeňských městských lesích, kde měla na přelomu 19. a 20. století nahradit s dalšími americkými druhy, s borovicí Banksovou (*P. banksiana*) a borovicí těžkou (*P. rigida*), po tzv. sypavkové kalamitě borovici lesní (Businský, 2011).

#### **2.4.3.3. Morfologie**

Samčí šištice rostou zpravidla na bazální části nových výhonů v dolní části koruny, vyrašených na starších laterálních výhonech. Mají oválný tvar, s délkou 8-10 mm a v době zralosti jsou obvykle světle hnědé. Na jednom stromě šištice dosahují zralosti týden, i několik týdnů před vrcholným rozvojem samičích šištic. Samičí šištice se objevují dříve, než samčí, které se objevují až na starších jedincích. Samičí šištice zpravidla vyrůstají v horní části koruny na vrcholovém konci hlavních větví. V době květu mají zelenou barvu a délku 5-40 mm. V květnu-červnu dojde k opylení, k oplodnění však dochází až 13 měsíců poté. Na starších rostlinkách ve věku 5-10 let se tvoří první samičí šištice, mnohem více šištic však můžeme zaregistrovat až tehdy, když rostliny dosahují výšky kolem 6 m. Samičí šištice dozrají v šišky ve 2. roce a otevrou se v srpnu-září. V tu dobu se zen zelených šištic stávají žlutozelené až světle hnědé šišky. Semeno bývá pevně srostlé s dlouhým křídlem. Dobrou úrodu můžeme očekávat 1\* za 3-5, dokonce i za 10 let. V jedné šišce lze nalézt 0-73 zdravých semen. 1 kg čistého osiva obsahuje přibližně 60 000 semen. První šišky se objevují ve věku 5-10 let, největší úroda však bývá až ve věku 20-30 let (Musil, 2007).

K rozsevu semen dochází na podzim ve 2. roce, zpravidla během měsíce po dozrání šišek. Odkřídlená semena jsou schopna dolétnout až 60 metrů od mateřského stromu, na volné ploše dokonce přes 200 m. Ve školkách by se měla

održovat dvouměsíční předosevní příprava osiva kvůli přirozeně probíhajícímu procesu v přírodě. V Americe vejmutovku významně rozšiřují veverka, zahrabávající si její semena do půdy ve formě zásob (Musil, 2007).

Semena mohou jak přežívat, tak klíčit na rozrušené i nerozrušené vrstvě hrabanky. Nebude se jim však dařit na suchých minerálních půdách či půdách zarostlých. Nové semenáčky budou úspěšně růst v úplném osvětlení, ale i pod zástínem horní etáže původního porostu, pokud se jim dostane nejméně 20 % relativního oslunění. Zpočátku můžeme očekávat pomalý výškový přírůst, ve 3 letech může dosahovat výšky pouze 13 cm, v 5 letech jen pouhých 30 cm, mezi 8. - 10. rokem mezi 130-140 cm, od 10. roku však dochází k rychlému přírůstu. Tloušťkový růst probíhá až do věku přibližně 250 let. Mezi 10. -15. rokem dochází k maximálnímu ročnímu výškovému přírůstu, který činí 90-137 cm. Ve zhoršených podmínkách k němu dochází o 10 let později, tedy mezi 20. -25. rokem a je přibližně o polovinu menší. Poté dochází k poklesu, který se v 55 letech snižuje až na 30 cm (Musil, 2007).

#### **2.4.3.4. Proměnlivost**

Provenienční pokusy ukázaly, že přestože severské populace rostou pomaleji než jižní populace, jsou odolnější ke znečištění ovzduší a vůči škodám způsobeným sněhem a mívají tmavěji zelené jehlice. Také je možné, že existuje provenience, která je rezistentní vůči rzi vejmutovkové (Musil, 2007).

Kříží se s evropskou borovicí rumelskou (*P. peuce*) či s borovicí himalájskou (*P. wallichiana*). Tito kříženci mohou být odolní, nebo alespoň odolnější, ke rzi vejmutovkové než samotná vejmutovka (Musil, 2007).

#### **2.4.3.5. Rozšíření**

Vejmutovka je rozšířená ve východní části Severní Ameriky. Zaujímá areál od severovýchodního Mexika až po jihovýchodní Kanadu. Centrem jejího rozšíření jsou jižní a severovýchodní části Appalačského pohoří a oblast Velkých jezer (Musil, 2007).

#### 2.4.3.6. Porosty

Bývá doprovázena jedlí balzámovou (*Abies balsamea*), smrkem červeným (*Picea rubens*), borovicí Banksovou (*P. banksiana*), borovicí tuhou (*P. rigida*), dále javorem cukrovým (*Acer saccharum*), břízami (*Betula*), ořechovcemi (*Carya*), jasanem (*Fraxinus*), liliovníkem (*Liriodendron*), střemchou pozdní (*Prunus serotina*), dubem bílým (*Quercus alba*) a jilmem americkým (*Ulmus americana*) (Musil, 2007).

#### 2.4.3.7. Škodliví činitelé

Mladá vejmutovka, mající tenkou borku, bývá ohrožována požáry. Kvůli často opakujícím se požárům může být ohroženo i přirozené zmlazení. Naopak je celkem tolerantní ke znečištěnému ovzduší, nemůže v tom sice konkurovat např. borovici černé (*P. nigra*), ale je odolnější než borovice lesní (*P. sylvestris*) či smrk ztepilý (*Picea abies*). Velké škody působí zvěř (okusem, vytloukáním, ohryzem a loupáním), ale i mokrý těžký sníh či ledovka. Mezi nejvýznamnější škůdce dnešních amerických vejmutovkových porostů, které se objevily i v evropských kulturách patří václavka (*Armillaria*), hnědák Schweinitzův (*Phaeolus schweinitzii*), ale především již mnohokrát zmíněná rez vejmutovková (Musil, 2007).

Nechtěná introdukce rzi vejmutovkové (*Cronartium ribicola*) do Ameriky má zajímavou historii. Ve 2. polovině 19. století v Americe výrazně poklesly pilařsky vysoce ceněné vejmutovkové zásoby dřeva. Díky tomu se zvýšila poptávka na zalesňování touto borovicí. V Americe byly však nevýhodné ceny sadebního materiálu, takže se na konci 19. století začaly dovážet sazenice i z Evropy, aniž by byly dodržovány fytokaranténní předpisy. Rez vejmutovková se do Ameriky dostala spolu s těmito sazenicemi, na tuto borovici v Evropě zřejmě přešla z mezihostitelských druhů rodu *Ribes* (převážně černého rybízu). Za původní hostitele jsou považovány borovice limba (*P. cembra*) a borovice sibiřská (*P. sibirica*), na kterých nebylo větší poškození pozorováno (Musil, 2007).

Rez vejmutovková patří k nejvážnějším houbovým škůdcům vejmutovky nejen v Česku. Nejvíce ohrožuje nejmladší stromy. Hlavně semenáčky a sazenice, napadené touto rzí, zpravidla přežijí jen několik málo let. Čím je vejmutovka při napadení starší, tím se její šance na přežití (resp. přežívání) zvyšuje, jestliže není

napadený kmen. Starší jedinec obvykle není ohrožen přímo na životě (Soukup, 2000).

Pravděpodobně od roku 1898 byl v Americe vysazován infikovaný materiál, v roce 1906 byla tato rez zjištěna na rybíz, v roce 1909 na pěstovaných vejmutovkách a od roku 1915 je evidována i na borovicích ve volné přírodě. Proti rzi se podnikla obranná opatření. Tehdy se odhadovalo, že hodnota zásoby dřevní hmoty v hospodářských lesích s ohroženými 5 jehličnatými borovicemi činí více než miliardu dolarů. Obranná opatření probíhala v letech 1909-1967 a jednalo se o nejrozsáhlejší ochranu lesa v americkém lesnictví jak z hlediska trvání, tak i z hlediska počtu zapojených osob a finančních a materiálových nákladů, které činily přibližně více než 150 mil. dolarů (Musil, 2007).

Hlavní útok se týkal kulturně i planě rostoucích keřů rodu *Ribes*, které byly ničeny na ploše více než 8 mil. ha (někdy i opakovaně), ve více než 30 státech východní a západní části USA. Toto vymýcení bylo provedeno uvnitř porostů s 5 jehličnými, tzv. „bílymi“ borovicemi a v jejich okolí do vzdálenosti až 550 m. Jarní výtrusy, infikující pouze druhy rodu *Ribes* ovšem mohou být účinné až do vzdálenosti 550 km. Bylo prokázáno, že 33 taxonů rodu *Ribes*, z 53 testovaných, mohlo být mezihostitelem této rzi. Za jednoho z nejnebezpečnějších mezihostitelů je považován rybíz černý (*Ribes nigrum*), hojně pěstovaný i v Americe, produkující 70\* větší množství spor než další testované druhy (Musil, 2007).

Navzdory všem opatřením se rez vejmutovková šířila na východě i západě USA v mnoha vlnách, v závislosti na průběhu počasí během roku. Suchá období byla pro rozšiřování rzi nepříznivá, přesto vyvolávala iluzi, že je mechanické, později i chemické vymýcení úspěšné. Od počátku panovaly pochybnosti, zda je tento boj užitečný, ale názory, že by vymýcení mělo být soustředěno pouze na potenciálně cenné lokality v silně ohrožených zónách, převážily až po 2. světové válce. Mezi lokalitami s opakovanými zásahy a lokalitami bez zásahu se však nepotvrdily průkazné rozdíly ve výskytu rzi. Ani antibiotické fungicidy se neseťkaly s větším úspěchem (Musil, 2007).

Celkový boj proti rzi vejmutovkové v USA by se dal označit za neúspěšný až na začátek genetického šlechtění 5 jehličných borovic k této rzi rezistentních. Také bylo stanoveno pořadí „bílych“ amerických borovic podle míry odolnosti ke rzi

vejmutovkové. Nejdolnější borovicí je borovice Balfourova (*P. balfouriana*), po ní následují borovice osinatá (*P. aristata*), borovice mexická (*P. ayacahuite*), borovice ohebná (*P. flexilis*), borovice vejmutovka (*P. strobus*), borovice pohorská (*P. monticola*), borovice Lambertova (*P. lambertiana*) a jako nejméně odolná vyšla borovice bělokmenná (*P. albicaulis*). V roce 1994 byl v Kanadě odstartován nový projekt ochrany proti rzi, zahrnující reintrodukci vejmutovky na Novém Foundlandu. V minulosti se zde jednalo o dominantní dřevinu, ale v průběhu 20. století zde došlo k devastaci rzi (Musil, 2007).

Vejmutovka by se měla optimálně sázet se smrkem černým (*Picea mariana*) v poměru 30:70 a před vysázením by se měl založit kontrolovaný požár nebo provést lehká či těžká skarifikace, kvůli úbytku mezihostitelů a odstranění organické hmoty. Dále by se pro výsadbu měly upřednostňovat střední a horní části svahů, teplejší a sušší jižní expozice s dobře propustnými půdami a vyvětřovat infikované jehlice před prorostením rzi do kmene. Dobré výsledky prokázal nový fungicid Bayleton, který při použití zcela ochránil plochu před novým napadením, a biologická ochrana pomocí dvou druhů hub, které vytlačují rez z listů rybízu (Musil, 2007).

Nejvhodnějším způsobem vegetativního množení je roubování, za použití výběru dospělých jedinců na 3-4 letou podnož. Z 2-6 let starých matečných rostlin se na konci zimy odebírají poslední letorosty, které se mohou zakořeňovat jako malé řízky (Musil, 2007).

#### **2.4.3.8. Upotřebení**

Vejmutovka se hodí k zalesňování holých ploch, je to rychle rostoucí dřevina, ke krajinářským účelům, včetně pěstování vánočních stromků, nevdí jí letní zastříhování výhonů kvůli hustějšímu habitu. V sadovnictví se též cení její estetická hodnota. Má měkké dřevo se střední pevností, které se dá snadno opracovávat. Má široký rozsah využití, nejvíce jako stavební dříví, vláknina, na výrobu překližek, nábytku, zápalek a k dřevomodelářským účelům. V USA byla vejmutovka nejlepším jehličnatým dřevem 300 let. I nyní je pilaři velmi oblíbenou dřevinou v místech jejího většího výskytu. Je také využívána pro dehet, který je používán jako antiseptikum. Britské Královské loďstvo mělo až do Americké revoluce (1775-1783) vyhrazeno právo na vejmutovkové dříví vhodné na lodní stožáry (Musil, 2007). Mimo lesnické

využití je u nás vejmutovka velmi dlouhodobě oblíbenou jehličnatou dřevinou, běžně vysazovanou v parcích a zahradách, přestože je náchylná k napadení rzí vejmutovkovou a dalšími houbovými patogeny a škůdci, především v mladším věku. Je u nás zcela mrazuvzdorná (Businský, 2011). Je vhodná k použití tam, kde by se ostatním borovicím kvůli vlhkosti nedařilo (Kavka, 1968 in Businský, 2011.)

### 3. Metodika

Informace o přírůstu a teplotě byly získány z dendrometru a informace o půdní vlhkosti byly získány z meteostanice, nacházející se přímo na území arboreta.

#### 3.1. Osazení dendrometrů DRL26A

Dendrometry byly instalovány 25.3.2013 dle návodu výrobce s orientací na sever. Osazovaly se na jeden reprezentativní strom (strom se středním kmenem) každého druhu popisovaných borovic v teoretické části. Nejprve bylo třeba lehce očistit kmen v prsní výšce, kam se snímač dat instaluje, po celém obvodu kmene, aby odlamováním nečistot nebo částí borky při instalaci nebo po ní, nedošlo k posunutí polohy přístroje nebo dokonce poškození. Snímač se na kmen stromu upevnil 12 mm širokým nerezovým páskem.

#### 3.2. Postup instalace dendrometru DRL26A:

1. Ustříhnout pásek asi o 25 cm delší, než je obvod kmene. Během instalace je třeba dbát opatrnosti, aby nedošlo k poškození pásku – zohýbáním apod.
2. Jeden konec pásku přeložit a překlad upevnit za čep na přístroji ( - snímači dat). Překlad musí být rovný.
3. Obtočit pásek zachycený za čep na přístroji kolem kmene a protáhnout prostorem mezi snímačem a kmenem.
4. Následně pásek obtočit i kolem hlavy snímače a provléknout jej pod držící tyčinku na přístroji.
5. Otočit hlavou přístroje proti směru hodinových ručiček tak, aby se pásek utáhl minimálně o 5 mm.
6. Část pásku, která přesahuje držící tyčinku, přehnout přes tyčinku tak, aby pásek držel přístroj.
7. Ujistit se, zda je pásek dostatečně utažený a stupnice na přístroji je správně umístěna.
8. Tímto krokem končí samotná instalace snímače dat, je však ještě nutné propojit přístroj se softwarem.
9. Následuje aktivace infračerveného (IR) připojení, které je jediným způsobem propojení snímače dat a softwaru Mini32. Připojení se aktivuje přiložením magnetické hlavy IrDA/USB kabelu k přístroji. Během toho je



nutné postupovat tak, aby nedošlo k posunutí polohy přístroje, tím by se měření narušilo.

Přístroj se nastaví pomocí programu Mini32, s jehož pomocí se získaná data z přístroje následně zpracují. Snímač dat nemá žádný vypínač. Po zapnutí a nastavení ukládání dat začíná ukládání dat do softwaru Mini32.

### **3.3. Fenofáze**

Od března 2014 se začalo s pozorováním průběhu fenologických fází na reprezentativních jedincích vybraných druhích borovic. Fenologické fáze se pozorovaly každý týden v průběhu vegetační sezóny (od března do listopadu).

### **3.4. Zpracování dat**

#### **3.4.1. Práce se softwarem Mini32**

##### **3.4.1.1. Infračervené spojení (IR)**

Infračervené spojení musí být navázáno předtím, než se v softwaru zvolí „Download“, „Data“ nebo „Configuration“. IR spojení se aktivuje přiložením magnetické hlavy IrDA/USB kabelu ke snímači dat.

IR komunikace se ukončí buď zavřením programu Mini32 nebo přerušením paprsku na více než 30 sekund (to může být způsobeno buď překážkou nebo příliš velkou vzdáleností IR snímače, který je propojený kabelem k počítači, a dendrometrem (snímačem dat)).

Během komunikace se musí dodržovat správná poloha a vzdálenost magnetické hlavy kabelu a IR senzoru na přístroji. Správná poloha je označena na snímači dat jako „IrDA“, ale štítek je spíše orientační. Spojení by mělo zůstat funkční i na několik centimetrů. V manuálu se můžeme dočíst, že asi 1 cm nad štítkem vede optická osa, od níže při vychýlení 45° na vzdálenost 60 cm zůstává spojení mezi snímačem a vysílačem signálu aktivní.

IrDA/USB kabel se skládá ze silného magnetu a infračerveného vysílače na jedné straně a USB přípojkou na druhé straně. Magnetická hlava kabelu má dvě LED diody, které indikují proces komunikace. Červená dioda indikuje signál

přicházející z počítače, zelená LED dioda sleduje signál, který přichází ze snímače dat. Vzhledem k tomu, že je elektronika snímače dat po většinu času mezi následující měření v klidovém režimu (spánku), je třeba ji aktivovat magnetickou hlavou. Magnetické pole zapíná jazýčkový kontakt, který se nachází v blízkosti IR přístupového bodu. Systém je probuzen na 30 sekund a čeká na komunikaci.

Mini32 je software určený nejen pro nastavení dendrometru, ale také k manipulaci s daty a jejich zpracování. Ke stahování dat a jejich ukládání slouží volba „Download“. Všechny data se ukládají do složky XY\_2005\_04\_28.hex, kde XY je kód zařízení (uložený v základním nastavení) a zbytek je datum počítače. Tento soubor \*.hex obsahuje uložená data a úplné informace o nastavení včetně posledního napětí baterie (důležité pro kontrolu, zda nedochází baterie) v komprimovaném formátu pro rychlý přenos do počítače. Vzhledem k tomu, že tento formát není použitelný pro další zpracování dat, je soubor následně převeden do jiného formátu – \*.dcv (XY\_2005\_04\_28.dcv). Tento soubor obsahuje stejné informace jako soubor \*.hex. Soubor \*.dcv a je obvykle čtyřikrát větší než soubor \*.hex, ale je vhodný pro rychlé a snadné zpracování dat jako průměrování času, vykreslování grafů, statistické zpracování atd. Při chybě nebo neúmyslném znehodnocení výsledků při práci s \*.dcv souborem, lze snadno z \*.hex souboru vytvořit nový a předchozí nahradit. Proto je třeba vždy původní soubory \*.hex archivovat.

### **3.4.2. Základní nastavení**

Nastaví se interval měření a dvoumístný kód přístroje. V programu se vybere volba „Configuration“ a pomocí IrDA/USB kabelu se naváže IR spojení snímače a softwaru. V „Configuration“ se zadá popis stromu, interval snímání dat a aktivuje se snímání dat. Volbou „Put“ se získají data do snímače dat.

### **3.4.3. Pokročilá nastavení**

Pokročilá nastavení jsou k nalezení pod volbou „More“ (vpravo nahoře na hlavní stránce programu). Zde lze například resetovat datalogger - vrátí se tak na výchozí hodnoty, změní se čas dataloggeru a bude smazána i paměť.

Další možností je „RAM clear“, čili mazání paměti. To se provádí, pokud je paměť plná nebo jsou zaznamenaná data nesmyslná nebo zavádějící – když je

snímač přesunut na jiné místo. Před mazáním paměti je třeba se ujistit, zda jsou data úspěšně uložena.

HCM je požadavek na kopii paměti. Celý obsah paměti se uloží do souboru. Používá se v případě problému s převodem dat po jejich stažení, které může vzniknout vlivem poškození struktury dat v důsledku vnějších faktorů. V takovém případě je doporučeno poslat soubor výrobci k dekodování.

„Password“ – nastavením čtyřmístného hesla zabráníme neautorizované změně nastavení.

Je dobré si pod volbou „More“ → „Preference“ → „Czech“ → „OK“ nastavit nabídku „Help“ v českém jazyce. Pro uživatele, který se s tímto programem setkává poprvé je to velice nápomocné.

Po nastavení české nápovědy se lze přesunout k exportu dat do programu Microsoft Excel 2016. Postupoval je následující:

1. Přes volbu „Files“ vložíme data (již ve formátu \*.dcv).
2. Volbou „Drawing“ → „Draw“ lze nahlédnout na zobrazená data v grafu.
3. Pokud se jeví náhled v pořádku, můžeme přistoupit k exportu dat. Zvolíme „Export“ → „Excel file“ → „Used channels only“ → „Next“
4. Data se vyexportují do programu Microsoft Excel 2016 a můžeme s nimi začít ihned pracovat a propojit je s daty půdní vlhkosti získanými z meteostanice.

#### **3.4.4. Zpracování dat v programu Microsoft Excel 2016**

V tomto programu máme vyexportované veličiny z dendrometru (přírůst a teplotu) a přidáme potřebná data z meteostanice (půdní vlhkost) Následně z těchto dat vytvoříme spojnicový graf zobrazující změny těchto hodnot v průběhu sezóny.

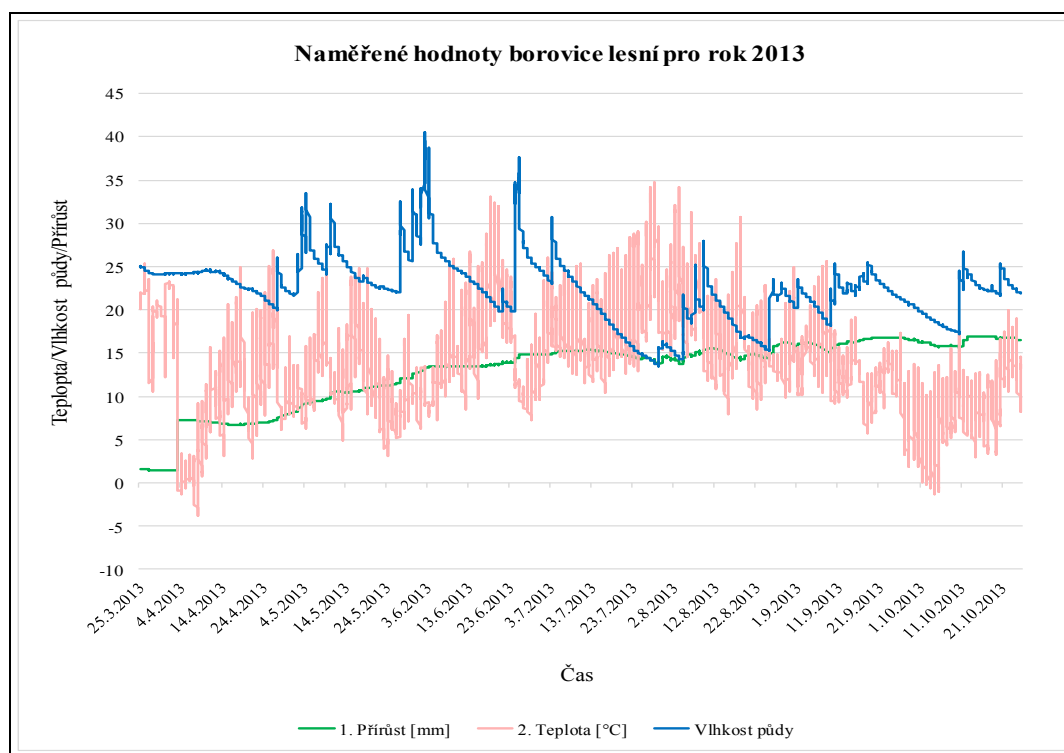
## 4. Výsledky

Výsledky této bakalářské práce jsou znázorněny v 9 grafech. Všechny 3 druhy borovic mají 3 grafy z let 2013-2015, ve kterých je znázorněna závislost přírůstu na vlhkosti půdy a teplotě vzduchu.

Data z dendrometru za období 25.3.2013-3.4.2013 (14.00 hodin) pro přírůst a teplotu nelze brát v úvahu, protože probíhalo ustálování dendrometr po instalaci.

### 4.1. Borovice lesní

#### 4.1.1. Borovice lesní v roce 2013



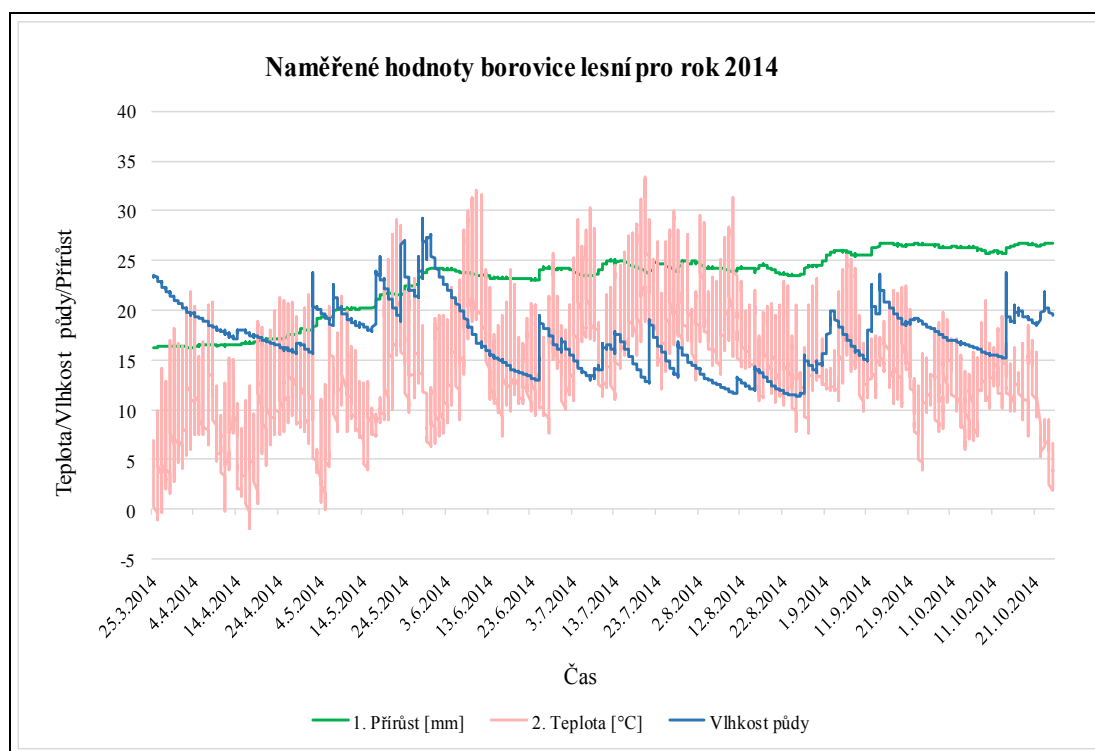
**Graf. č. 1:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice lesní pro rok 2013 v závislosti na klimatických podmínkách.

V grafu č. 1 můžeme začátek přírůstu u borovice lesní v roce 2013 datovat na konec dubna. Přírůst kulminoval v polovině října a konec nastal v posledním týdnu v říjnu.

V dubnu, kdy průměrná teplota byla ještě relativně nízko, (na začátku měsíce několikrát v noci klesla pod 0 °C) je přírůst minimální, přesto tvoří 8%

ročního přírůstu. Na konci měsíce již začíná přírůst zvolna stoupat a v květnu dosahuje hodnot rovnajících se více než polovině přírůstu za rok. Vlhkost půdy a teplota se oproti dubnu také zvyšuje. Na začátku června strom stále výrazně přirůstal, ale po první čtvrtině měsíce asi na dva týdny přírůst ustal (pravděpodobně kvůli ztrátě vlhkosti). Navzdory tomu červnový přírůst tvoří více než 1/5 ročního tloušťkového přírůstu, díky dostatečnému množství vláhy na začátku a náhlé dotaci vodou na konci měsíce. V červenci vlhkost výrazně klesá a teplotní průměr je nejvyšší za vegetační období, díky tomu se tloušťkový přírůst úplně zastavuje. Dokonce se podle měření dostává na zápornou hodnotu. V srpnu sice průměr vlhkosti nepřesahuje vláhu z července, avšak voda v půdě je poměrně časově rovnoměrně rozložena a teploty jsou také nižší, proto se přírůst výrazně zvyšuje. V září pak přírůst výrazně poklesl a přestože na začátku října ještě došlo k nárůstu vlhkosti a strom na to reagoval náhlým přírůstem, poté už k přírůstu v měřeném období nedocházelo.

#### 4.1.2. Borovice lesní v roce 2014

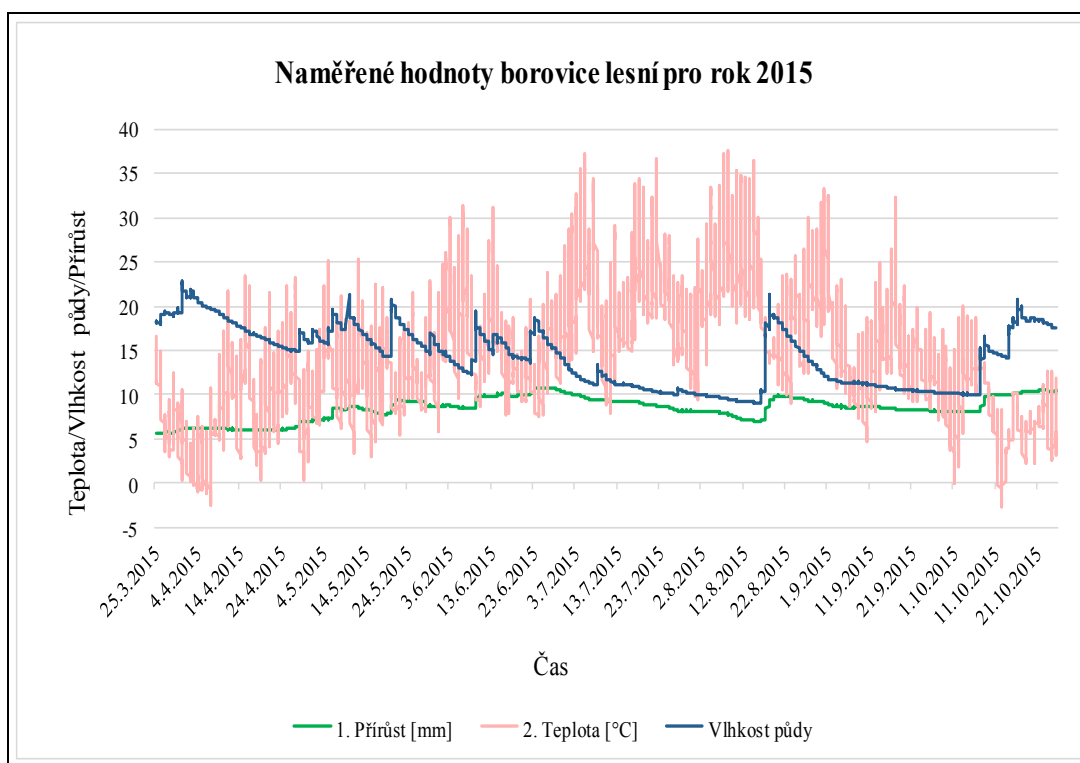


**Graf č. 2:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice lesní pro rok 2014 v závislosti na klimatických podmínkách.

V grafu č. 2 lze začátek přírůstu u borovice lesní v roce 2014 pozorovat přesně v polovině dubna. Přírůst kulminoval v polovině září a konec nastal v 2. polovině října.

Poslední týden v březnu stoupají teploty a klesá vlhkost, přírůst je tedy minimální. Zhruba v posledních deseti dubnových dnech začíná křivka tloušťkového přírůstu výrazněji stoupat a tento trend lze pozorovat až do konce května. V první polovině června stouply teploty o 20-25°C, díky čemuž začala vlhkost rapidně klesat a přírůst byl v tomto měsíci nulový. Protože vlhkost v následujících dvou měsících příliš nestoupala a teploty byly nejvyšší, za toto vegetační období je přírůst poměrně malý. V září díky tomu, že vlhkost asi 2 týdny stoupala, se přírůst zvyšoval a tvoří 11% z celého roku. V říjnu tloušťka stromu stále stoupá, ale už jen málo.

### 4.1.3. Borovice lesní v roce 2015



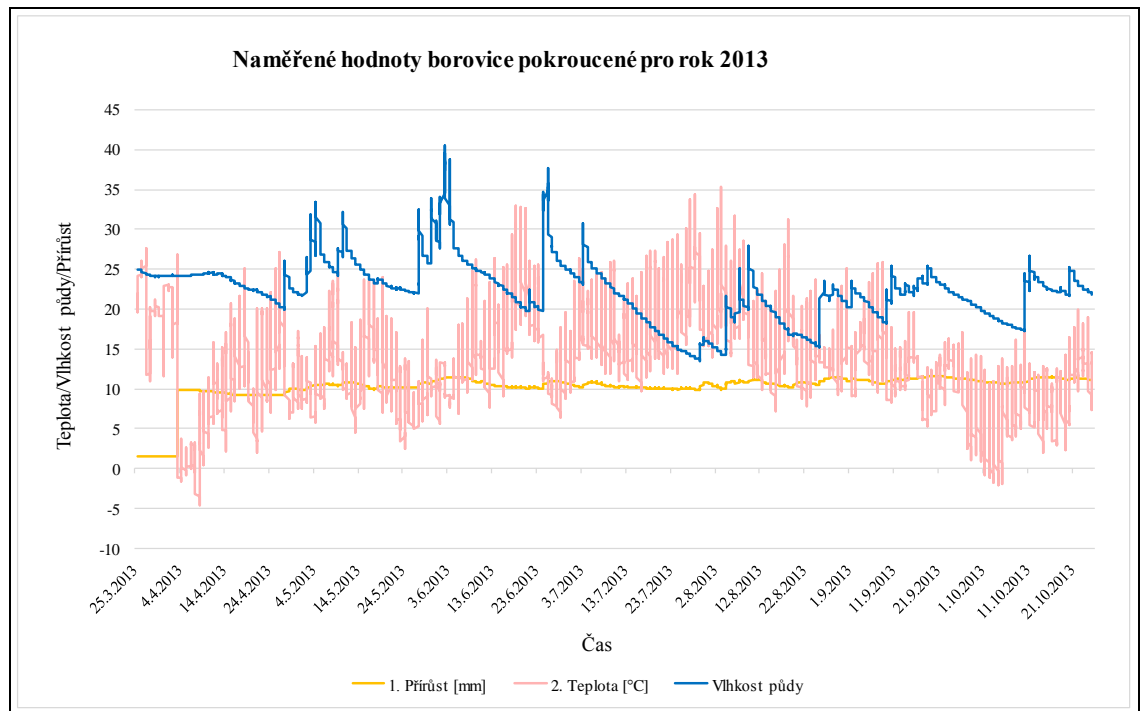
**Graf č. 3:** Sezónní dynamika tloušťkového přrůstu u borovice lesní pro rok 2015 v závislosti na klimatických podmínkách.

V grafu č. 3 můžeme začátek přrůstu u borovice lesní v roce 2015 pozorovat na konci března. Přrůst kulminoval v posledním týdnu v červnu a konec nastal ke konci října.

Pokud se podíváme na křivku půdní vlhkosti v grafu, tak můžeme pozorovat, že od března do září klesá. Na jaře nebyly hodnoty teploty vyšší, než je v těchto měsících obvyklé, takže přrůst stoupá. Nejvyšší přrůst v tomto roce byl v květnu a červnu. V červenci a srpnu byly teploty mimořádně vysoké, proto křivky půdní vlhkosti a přrůstu dosahují nižších hodnot. Celý tento rok křivka přrůstu kopíruje křivku vlhkosti, takže vidíme, že když se na konci srpna snížila teplota a zvýšila vlhkost, přrůst na to reaguje také zvýšením. Díky tomuto neobvyklému průběhu teplot a vlhkosti potom říjnový tloušťkový přrůst tvoří téměř polovinu ročního přrůstu stromu.

## 4.2. Borovice pokroucená

### 4.2.1. Borovice pokroucená v roce 2013



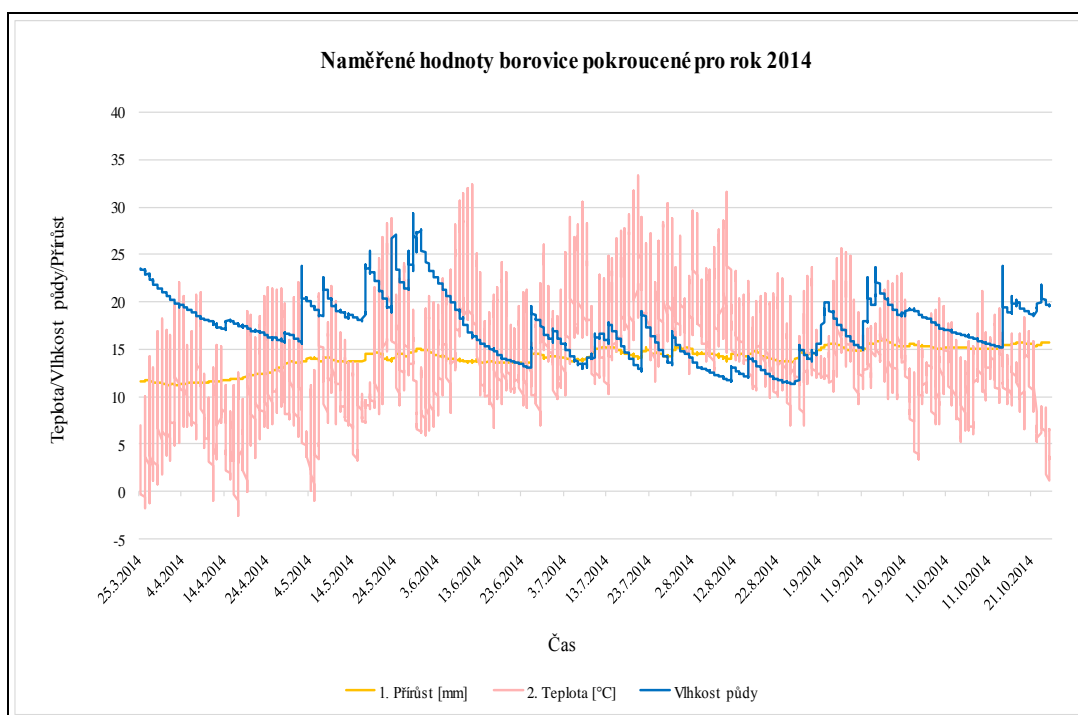
**Graf č. 4:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice pokroucené pro rok 2013 v závislosti na klimatických podmínkách.

V grafu č. 4 můžeme začátek přírůstu u borovice pokroucené v roce 2013 pozorovat na konci dubna. Přírůst kulminoval v 1 červnovém týdnu a konec nastal koncem října.

Celkem strom přirostl pouze o 1,3 mm. Přírůst přesně reaguje na změny vlhkosti a je v průběhu sezóny konstantní. Přestože je dostatek vláhy, tak jejím zvýšením strom stále reaguje zvýšením přírůstu.



#### 4.2.2. Borovice pokroucená v roce 2014

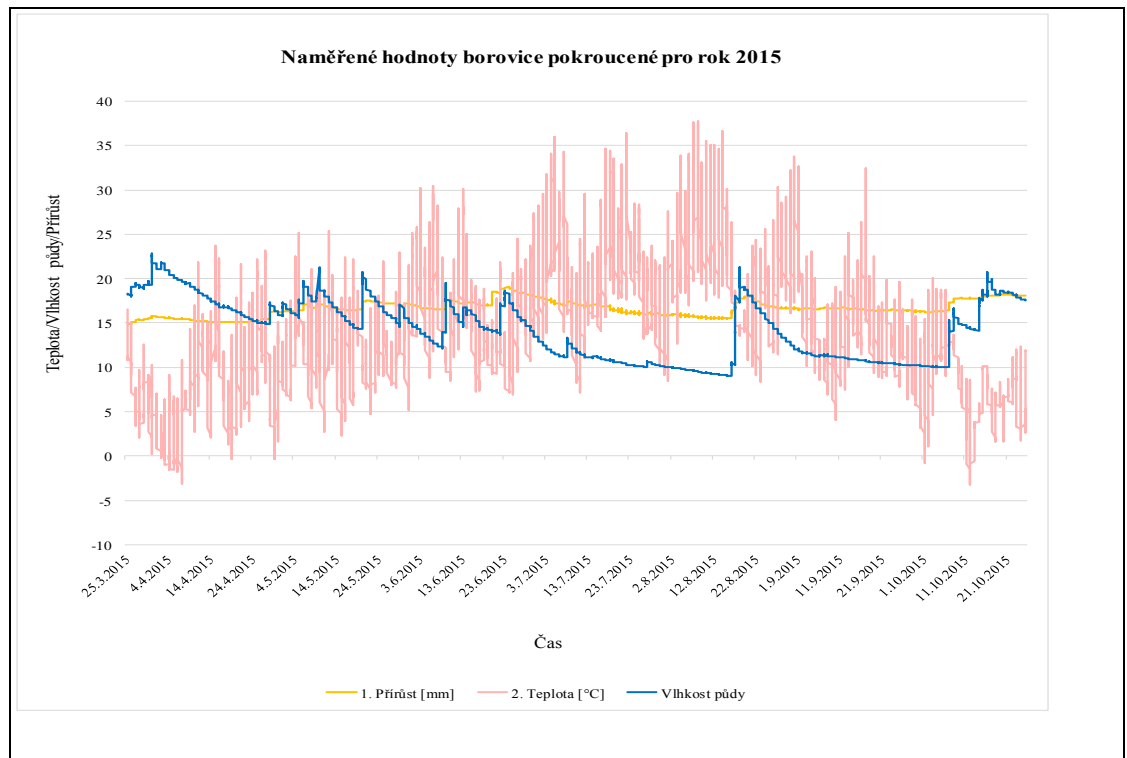


**Graf. č. 5:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice pokroucené pro rok 2014 v závislosti na klimatických podmínkách.

V grafu č. 5 můžeme začátek přírůstu u borovice pokroucené v roce 2014 pozorovat v polovině dubna. Přírůst kulminoval v polovině září a konec nastal ke konci října.

Přírůst začal v březnu a o něco více pokračoval v květnu. Tyto dva měsíce dohromady tvoří přes 90 % ročního přírůstu. V červnu kvůli náhlému nárůstu teploty a snížení vlhkosti strom ztrácí na tloušťkovém přírůstu. V červenci byly teploty stále vysoké, ale konstantní stejně jako vlhkost, proto přírůst opět stoupá. V srpnu vlhkost klesla na minimum za měřené období, proto je i přírůst nejnižší. V září a říjnu kmen opět přirůstá.

### 4.2.3. Borovice pokroucená v roce 2015



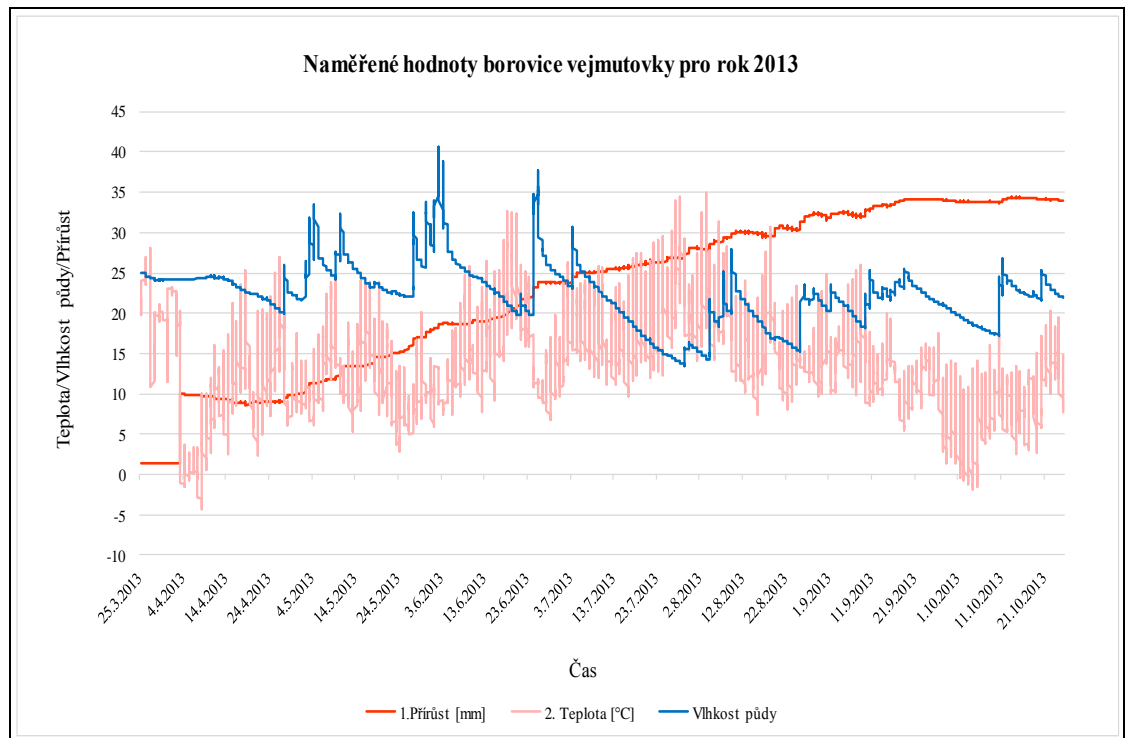
**Graf. č. 6:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice pokroucené pro rok 2015 v závislosti na klimatických podmínkách.

V grafu č. 6 můžeme začátek přírůstu u borovice pokroucené v roce 2015 zařadit na konec března. Přírůst kulminoval v posledním červnovém týdnu a konec nastal ke konci října.

Na grafu je vidět, že do června, kdy byly teploty mezi 15 °C, strom poměrně přirůstal. Od července do poloviny srpna (kdy došlo k výraznému oteplení a úbytku srážek) kmen nepřirůstal vůbec. Nárůst přírůstu lze pozorovat v polovině srpna a října se zvyšující se vláhou. Přírůst během celého vegetačního období nebyl příliš velký.

## 4.3. Borovice vejmutovka

### 4.3.1. Borovice vejmutovka v roce 2013

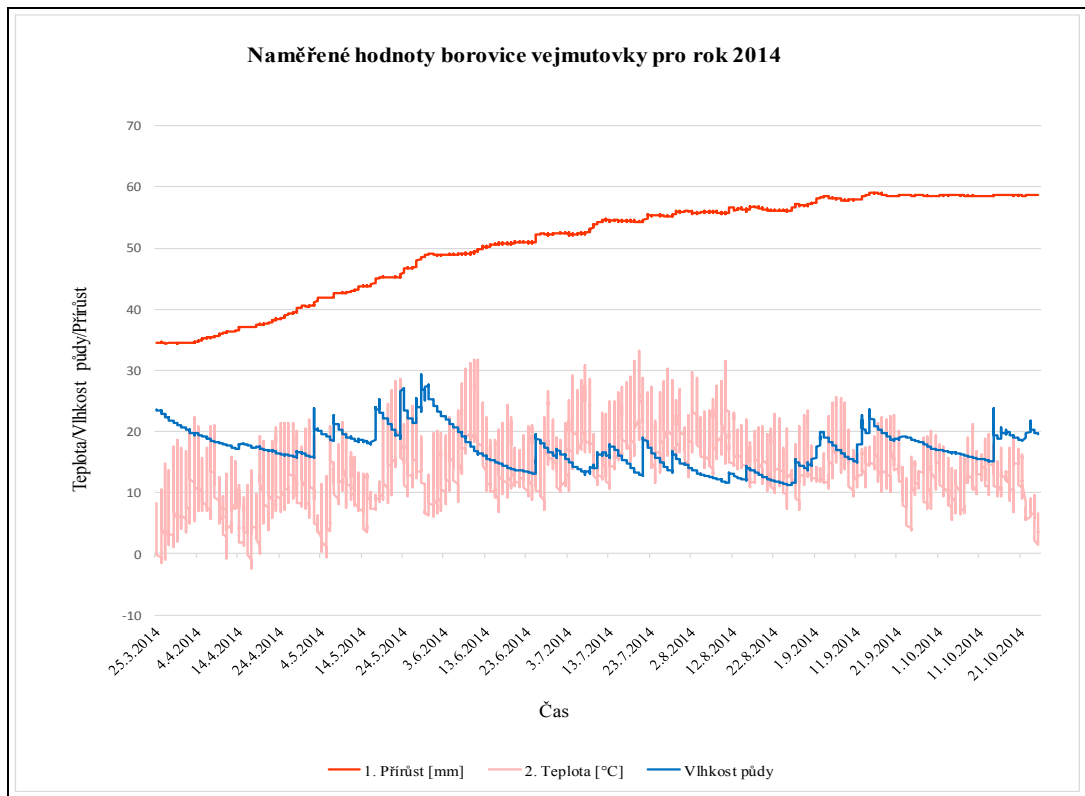


**Graf. č. 7:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice vejmutovky pro rok 2013 v závislosti na klimatických podmínkách.

V grafu č. 7 můžeme začátek přírůstu u borovice vejmutovky v roce 2013 pozorovat na začátku května. Přírůst kulminoval v 1. říjnovém týdnu a konec nastal ke konci října.

V měsících s nejvyšší vlhkostí (duben, září, říjen) má strom i největší přírůst. V teplých měsících, kdy byla i nižší vlhkost, přírůst klesá a v říjnu už je minimální.

### 4.3.2. Borovice vejmutovka v roce 2014

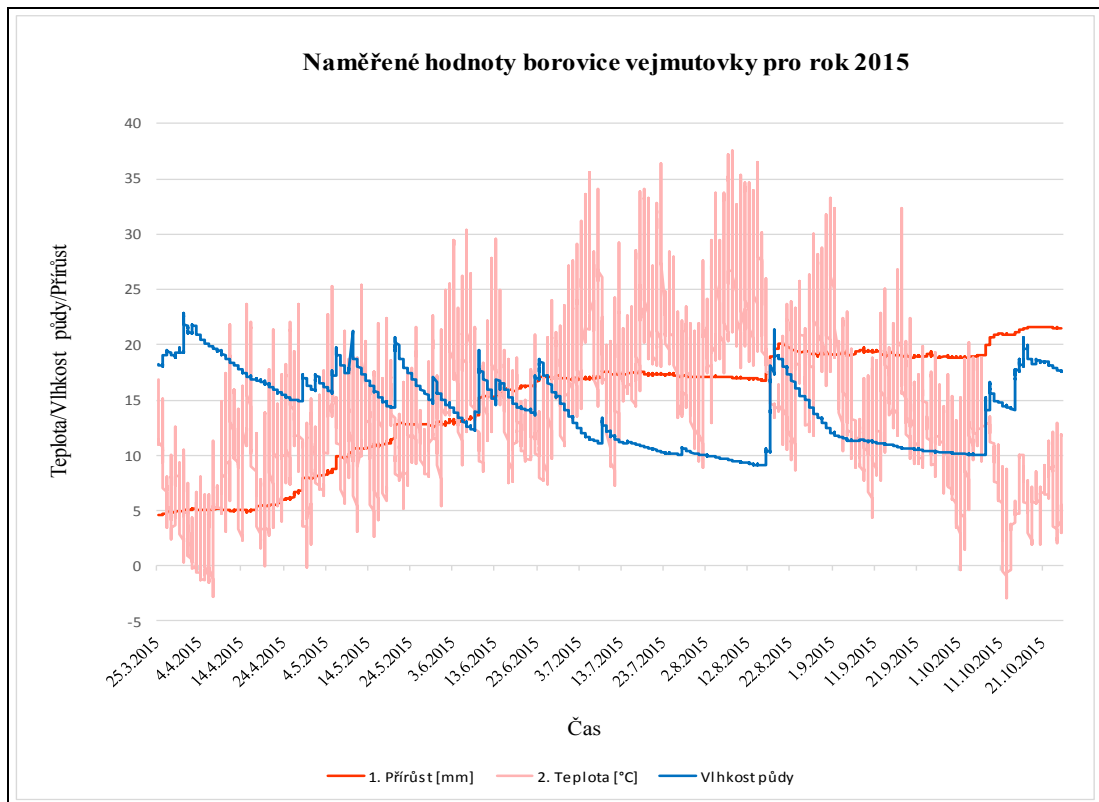


**Graf. č. 8:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice vejmutovky pro rok 2014 v závislosti na klimatických podmínkách.

V grafu č. 8 můžeme začátek přírůstu u borovice vejmutovky v roce 2014 pozorovat v 1. dubnovém týdnu. Přírůst kulminoval přesně v polovině září a konec přírůstu nastal v polovině října.

V roce 2014 probíhal u vejmutovky od dubna do července poměrně značný přírůst (navzdory klesající vlhkosti). V srpnu, kdy panovaly vysoké teploty a vlhkost byla nejnižší za celé pozorované období v tomto roce, se přírůst výrazně snížil a klesal až do října, přestože vlhkost se zvyšovala.

### 4.3.3. Borovice vejmutovka v roce 2015



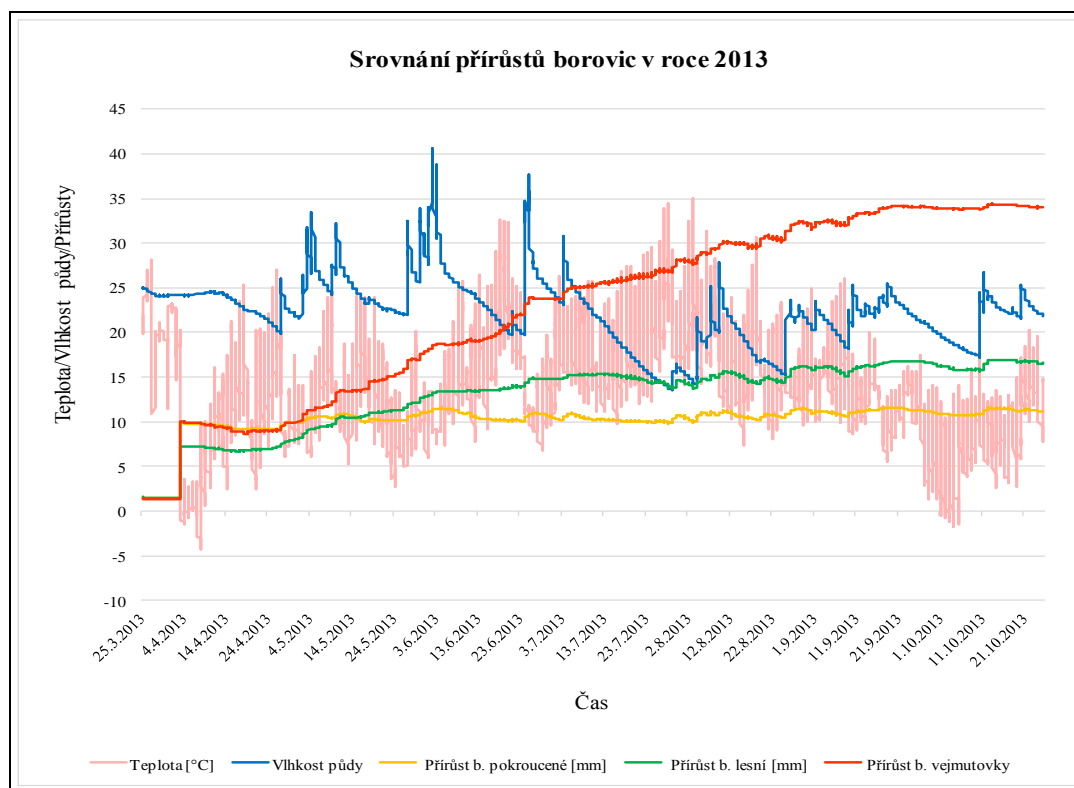
**Graf. č. 9:** Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu u borovice vejmutovky pro rok 2015 v závislosti na klimatických podmínkách.

V grafu č. 9 můžeme začátek přírůstu u borovice vejmutovky v roce 2015 pozorovat v posledním březnovém týdnu. Přírůst kulminoval koncem října a konec přírůstu nastal o pár dní později.

Největší přírůst měla vejmutovka opět v dubnu, květnu a červnu, poté se přírůst zpomaloval, tentokrát výrazněji. Stejně jako u ostatních dřevin v tomto roce se přírůst zintenzivnil opět na dva týdny v druhé polovině srpna, kdy teploty klesly a naopak vlhkost výrazně stoupla. V září pak znovu klesá a v říjnu se ještě zvyšuje a tvoří 15% z celého ročního přírůstu stromu.

## 4.4. Srovnání přírůstů borovic

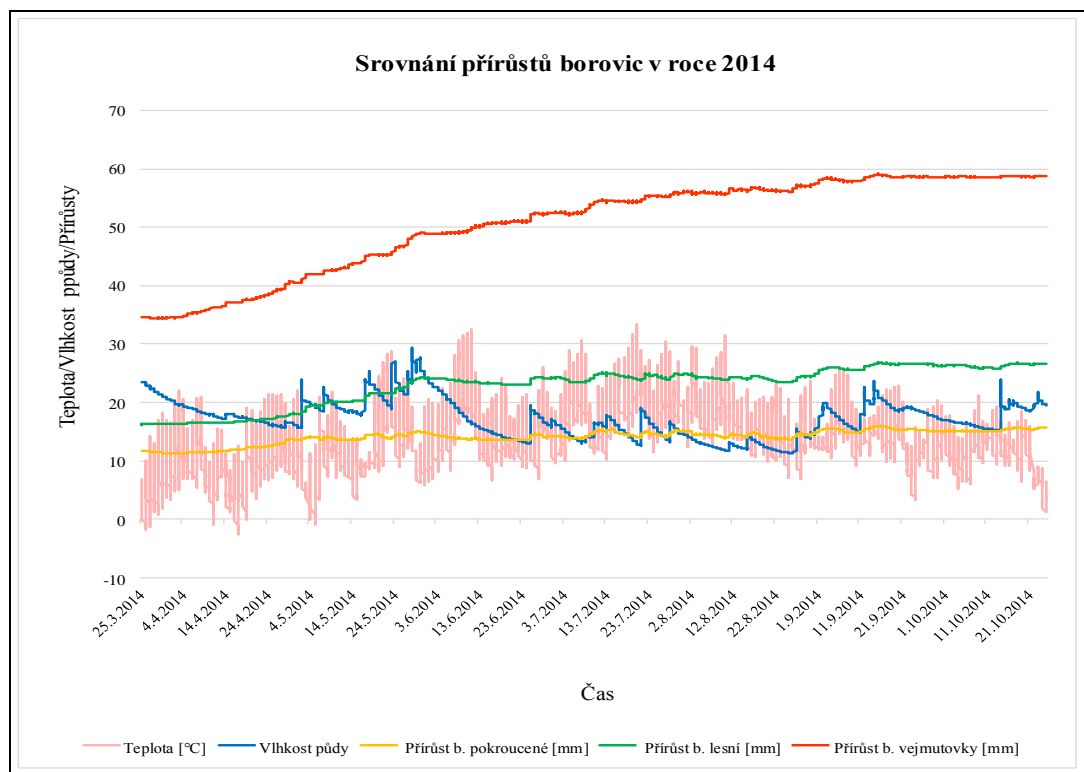
### 4.4.1. Srovnání přírůstu borovic v roce 2013



**Graf č. 10:** Srovnání přírůstu borovic v roce 2013.

V grafu č. 10 je zřetelné, že v roce 2013 borovice pokroucená téměř nepřiřostla. O poznání lépe je na tom borovice lesní, která má mírně stoupající tendenci. Obě borovice několikanásobně přerostla borovice vejmutovka, která v tomto roce přiřostla více než 24 mm.

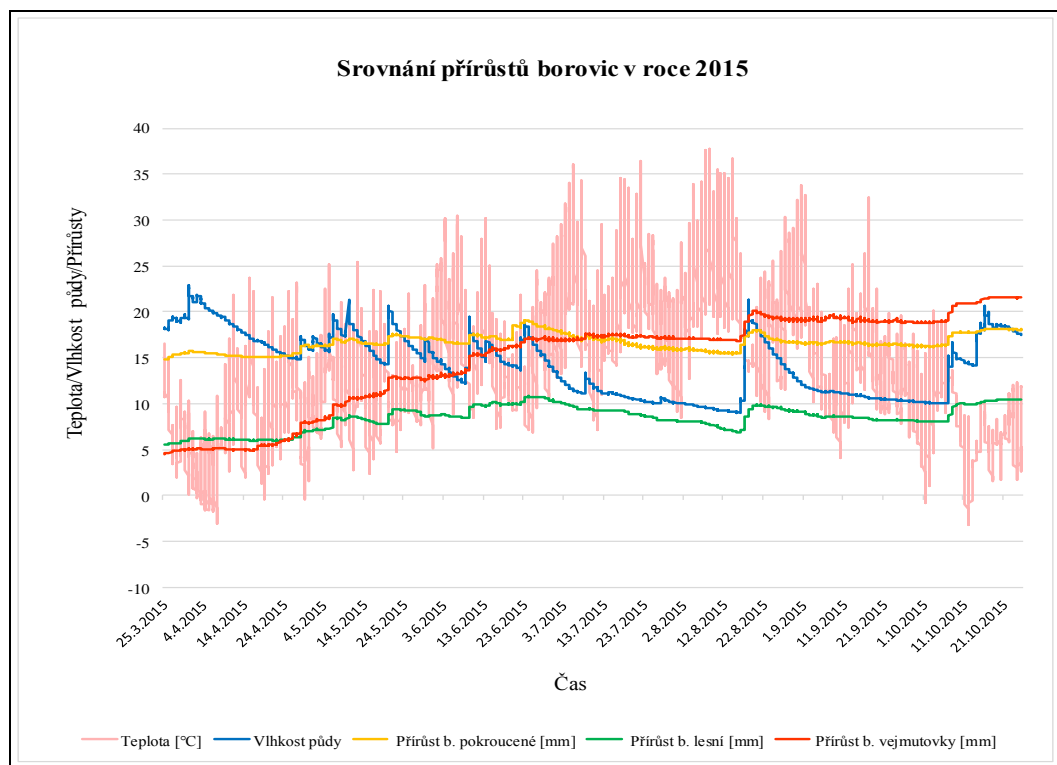
#### 4.4.2. Srovnání přírůstu borovic v roce 2014



**Graf č. 11:** Srovnání přírůstů borovic v roce 2014.

V grafu č. 11 můžeme pozorovat, že v roce 2014 borovice pokroucená má o poznání vyšší přírůst než v roce předchozím. Borovice lesní má velmi podobný přírůst jako v loňském roce. Borovice vejmutovka má opět několikanásobně větší přírůst než borovice lesní i borovice pokroucená.

#### 4.4.3. Srovnání přírůstů borovic v roce 2015



**Graf č. 12:** Srovnání přírůstů borovic v roce 2015.

V grafu č. 12 lze pozorovat, že v roce 2015 borovice pokroucená výrazněji reagovala na vlhkost půdy než předchozí roky. Přrůst má stále nejnižší ze všech tří druhů. Borovice lesní také výrazně kopíruje křivku vlhkosti půdy. Po celé 3 roky si udržuje střední pozici. Borovice vejmutovka křivku vlhkosti kopíruje nejméně, ale opět ve zvýšení přírůstu dominuje.



## 4.5. Srovnávací tabulka

**Tab. č. 3:** Srovnávací tabulka přírůstů borovic a jejich fází v jednotlivých letech.

		<b>Borovice lesní</b>	<b>Borovice pokroucená</b>	<b>Borovice vejmutovka</b>
<b>2013</b>	Začátek přírůstu	27.4.2013	28.4.2013	3.5.2013
	Kulminace přírůstu	18.10.2013	3.6.2013	5.10.2013
	Konec přírůstu	24.10.2013	22.10.2013	22.10.2013
	Celkový přírůst [mm]	9,33	1,30	24,01
<b>2014</b>	Začátek přírůstu	15.4.2014	16.4.2014	6.4.2014
	Kulminace přírůstu	17.9.2014	16.9.2014	15.9.2014
	Konec přírůstu	22.10.2014	23.10.2014	14.10.2014
	Celkový přírůst [mm]	10,37	4,44	24,24
<b>2015</b>	Začátek přírůstu	28.3.2015	30.3.2015	27.3.2015
	Kulminace přírůstu	24.6.2015	25.6.2015	21.10.2015
	Konec přírůstu	23.10.2015	23.10.2015	23.10.2015
	Celkový přírůst [mm]	4,29	2,45	16,97

V tabulce č. 3 jsou napsány konkrétní datумы začátků přírůstů, kulminací a konců přírůstů u všech 3 druhů borovic z let 2013-2015. Dále je zde zaznamenán celkový přírůst ve vegetačním období.

## 4.6. Fotodokumentace průběhu fenologických fází v roce 2014

### 4.6.1. Borovice lesní



**Obr. č. 3:** Začátek rašení u borovice lesní (11.4.2014).



**Obr. č. 4:** Otevírání pupenů u borovice lesní (18.4.2014).



**Obr. č. 5:** Konec rašení prašníků u borovice lesní (8.5.2015).

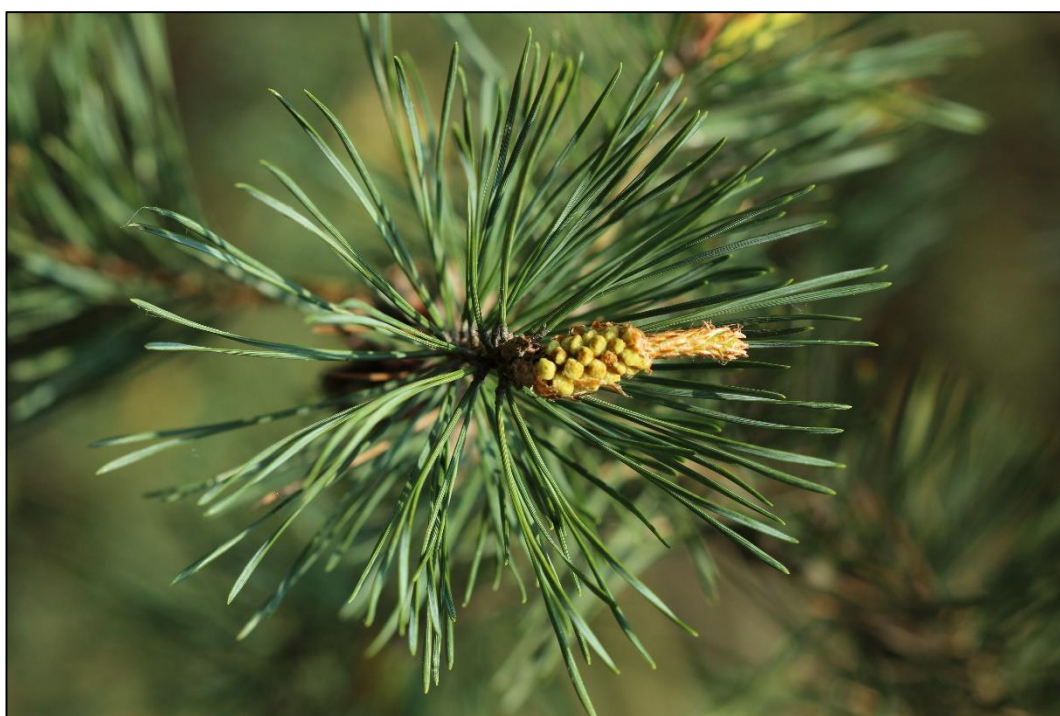


**Obr. č. 6:** Konec sypaní pylu u borovice lesní (8.6.2014).

#### 4.6.2. Borovice pokroucená



**Obr. č. 7:** Vyrašení z  $\frac{1}{2}$  u borovice pokroucené (11.4.2014).



**Obr. č. 8:** Rašení prašníku u borovice pokroucené (1.5.2014).



**Obr. č. 9:** Konec rašení prašníků u borovice pokroucené (8.5.2014).



**Obr. č. 10:** Konec sypání pylu u borovice pokroucené (1.6.2014).

#### 4.6.3. Borovice vejmutovka



**Obr. č. 11:** Počátek rašení u borovice vejmutovky (11.4.2014).



**Obr. č. 12:** Rašení prašníků z  $\frac{1}{2}$  u borovice vejmutovky (8.5.2014).



**Obr. č. 13:** Konec sypání pylu u borovice vejmutovky (8.6.2014).

## **5. Diskuze**

### **5.1. Porovnání borovic v roce 2013**

V roce 2013 nastal přírůst u borovice lesní, i u borovice pokroucené na konci dubna. U borovice vejmutovky začal přírůst zhruba o týden později. Kulminace přírůstu u borovice lesní nastala v polovině října, u borovice pokroucené však přírůst vrcholil mnohem dříve, a to začátkem června. Borovice vejmutovka měla nejvyšší přírůst na začátku října. Konec přírůstu nastal u všech borovic velmi podobně. U borovice lesní 24.10. a u borovice pokroucené a vejmutovky 22.10.

Nejvyššího přírůstu v roce 2013 dosáhla borovice vejmutovka, která se zvětšila o 24 mm, trojnásobně nižšího přírůstu dosáhla borovice lesní, s přírůstem přes 9 mm. Borovice pokroucená téměř nevyrostla, její přírůst v tomto roce činil pouze 1,3 mm.

### **5.2. Porovnání borovic roce 2014**

V roce 2014 začala borovice lesní přirůstat téměř o 14 dní dříve než v předchozím roce. Borovice pokroucená stejně jako v loňském roce začala přirůstat vzápětí po borovici lesní. Naproti tomu borovice vejmutovka začala přirůstat přibližně o 10 dní dříve než borovice lesní i pokroucená, což je přesně opačná situace než v roce 2013, kdy začala přirůstat o týden později. Kulminace přírůstu je u borovice lesní o měsíc dříve, než v předchozím roce. U borovice pokroucené přírůst vrcholí o den dříve, než u borovice lesní. Přírůst u borovice vejmutovky kulminoval o den dříve, než u borovice pokroucené. Takže nejdříve kulminovala borovice vejmutovka, posléze borovice pokroucená a nakonec borovice lesní. Konec přírůstu u borovice lesní nastal 22.10., u borovice pokroucené nastal o den později a u borovice vejmutovky v polovině října.

I v roce 2014 dosáhla nejvyššího přírůstu borovice vejmutovka, s přírůstem 24,24 mm, což je nejvyšší přírůst ze všech borovic za zkoumané období. Borovice pokroucená v tomto roce měla více, než trojnásobný přírůst, než v loňském roce, činil 4,44 mm. Borovice lesní přirostla v tomto roce o 10,37 mm, což je její nejvyšší přírůst stejně jako u obou dalších druhů. To je zřejmě způsobeno nejnižší teplotou ze všech 3 let.



### 5.3. Porovnání borovic v roce 2015

Začátek přírůstu v roce 2015 nastal u všech třech druhů na konci března, což je nejdříve ze všech 3 let. Nejdříve nastal u borovice vejmutovky 27.3., následovala borovice lesní 28.3. a nejpozději začal přírůst u borovice pokroucené, a to 30.3. Kulminace přírůstu nastala u borovice lesní 24.6., u borovice pokroucené o den později a u borovice vejmutovky až 21.10. U borovice lesní nastala kulminace přírůstu nejdříve ze všech roků. V roce 2014 přírůst vrcholil na začátku září a v roce 2013 v polovině října. U borovice pokroucené nastala kulminace dvakrát v červnu (v roce 2013 a 2015) a jednou v září (2014) a u borovice vejmutovky nastala dvakrát v říjnu (2013 a 2015) a jednou v září (2014). Přírůst u všech borovic skončil 23.10.

V roce 2015 dosáhla nejvyššího přírůstu opět bezkonkurenčně borovice vejmutovka, přestože dosáhla o 1/3 nižšího přírůstu, než předchozí roky. Borovice pokroucená přirostla v tomto roce 2,45 mm, což je z těchto 3 let střední hodnota. Naopak borovice lesní dosáhla nejnižšího přírůstu z těchto let. Činí pouze 4,29, přestože v předchozích dvou letech byl dvojnásobný. Pravděpodobně jsou nižší přírůsty způsobeny extrémními podmínkami v tomto vegetačním období, kdy teploty dosahovaly téměř až ke 40 °C.

## 6. Závěr

Sezónní dynamika tloušťkového přírůstu byla zkoumána na třech druzích borovic (borovici lesní, borovici pokroucené a borovici vejmutovce) v Arboretu v Kostelci nad Černými lesy. Výzkum probíhal v letech 2013-2015.

V arboretu nejvíce vyhovují podmínky borovici vejmutovce, která navzdory nepříznivým podmínkám měla každý rok suverénně nejvyšší přírůst. Přisuzuji to jejímu původnímu areálu rozšíření, který odpovídá klimatem našim podmínkám. Možná je klima původního areálu o něco teplejší, než klima střední Evropy, avšak pozorované roky byly pro Českou republiku z hlediska teplot nadprůměrné.

Borovice pokroucená ve všech třech letech přirůstala zdaleka nejméně, její reakce na změny vlhkosti jsou nejméně výrazné. Z toho se dá vyvodit, že borovice pokroucená není nejvhodnější produkční dřevinou v našich podmínkách, ale je velmi odolná a to z ní dělá potenciálně dobře využitelnou doplňkovou dřevinu.

Borovice lesní sice nemá tak vysoké přírůsty jako borovice vejmutovka ale reaguje na změnu vlhkosti půdy znatelněji, než borovice pokroucená. Právě tato „průměrnost“ dokazuje, že borovice lesní, jako naše domácí dřevina, na podmínky střední Evropy reaguje nejlépe – to z ní dělá vhodnou dřevinu do smíšených porostů.

Z výše uvedeného vyplývá, že borovice pokroucená nebude do našich lesů výrazněji introdukována. Naproti tomu, borovice vejmutovka má velký potenciál při vhodném hospodaření (výběr vhodného stanoviště, vhodné směsi....) stát se kvalitní produkční dřevinou v našich lesích. Borovice lesní měla sice průměrný přírůst, ale díky letitým zkušenostem s touto dřevinou v ČR víme, že se jedná o kvalitní meliorační a zpevňující dřevinu ve smíšených porostech, ale jde o druh dobře uplatnitelný i jako dominantní v hospodářském lese.

## 7. Seznam literatury a použitých zdrojů

1. BAŽANT, V., PRKNOVÁ H, 2014. *Index plantarum 2014: arboretum FLD v Kostelci nad Černými lesy*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 9788021324794.
2. BUSINSKÝ, R., VELEBIL J. 2011. *Borovice v České republice: výsledky dlouhodobého hodnocení rodu Pinus L. v kultuře v České republice = Pines in the Czech Republic : results from the long-term evaluation of the genus Pinus L. cultivated in the Czech Republic*. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví. ISBN 9788085116908.
3. BUSINSKÝ, R. c2008. *The genus Pinus L., pines: contribution to knowledge : a monograph with cone drawings of all species of the world by Ludmila Businská*. Ilustrace Ludmila Businská. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví. ISBN 9788086559933.
4. COOK, E. R., MEKO, D.M.; STAHL, D.W.; CLEVELAND, M.K. Drought reconstructions for the continental United States. *Journal of Climate*, 1999, 12, 1145–1162.
5. DRÁPELA, K, ZACH J. 1995. *Dendrometrie: (dendrochronologie)*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 8071571784.
6. ELZINGA J. A., BERNASCONIL G., ATLAN A., BIERE A., GIGORD L.; WEIS A. E.; Time after time: flowering phenology and biotic interactions. *Trends in Ecology & Evolution*, 2007, vol. 22, no. 8, p. 432-439.
7. Fenologie. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.: VULHM [online]. Jíloviště: VÚLHM v.v.i., 2015 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: [http://www.vulhm.cz/msl\\_uroven2\\_feno](http://www.vulhm.cz/msl_uroven2_feno)
8. FRITTS, H. C. 1976. *Tree rings and climate*. London: Academic Press. ISBN 0122684508.

9. GARCÍA-SUÁREZ, A. M.; BUTLER, C. J.; BAILLIE, M. G. L. Climate signal in tree-ring chronologies in a temperate climate: a multi-species approach. *Dendrochronologia*, 2009, 27.3: 183-198.
10. HECKER, U., 1991. Zur Biologie der Kiefernzapfen. Mitt. Dtsch. Dendrol. Ges., 80: 73-86.
11. CHMELARĚ, J. 1981. *Dendrologie s ekologií lesních dřevin*. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství.
12. CHMILEWSKI, F. M.; RÖTZER T. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agric For Meteorol*, 2001, 108: 101–112.
13. KAŇÁK, J., 1999. *Introdukované druhy borovic v Arboretu Sofronka a jejich testování ve stresových podmínkách Krušných hor*. Acta Průhoniciana, Průhonice, 68: 117-122.
14. KUČERA, J.. Denrometer Increment Sensor DRL 26A,B,C: User's Manual. Brno: Environmental Measuring Systems, 2015 [cit. 2016-04-17]. Dostupné také z: [http://www.emsbrno.cz/r.axd/pdf\\_v\\_DRL26\\_userman\\_u\\_pdf.jpg?ver](http://www.emsbrno.cz/r.axd/pdf_v_DRL26_userman_u_pdf.jpg?ver)
15. KULHAVÝ, J. 2009. *Ekologie lesa III*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN 9788073753559.
16. MUSIL, I. a J. HAMERNÍK. 2007. *Jehličnaté dřeviny: přehled nahosemenných i výtrusných dřevin: lesnická dendrologie I*. Vyd. 1. Praha: Academia. ISBN 9788020015679.
17. MUSIL, I., 1984. *Provenienční výzkum vejmutovky (Pinus strobus) a její pěstování v českých zemích*. Lesnictví. 30 (LVII), 1984 (7): 629-635.
18. ROČEK, I., MUSIL I., CHALUPA V, 1998. *Arboretum Lesnické fakulty České zemědělské univerzity v Praze Kostelec nad Černými lesy*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, Lesnická fakulta. ISBN 8021304138.

19. ROZEDNAAL D.M.A.; ZUIDEMA, P.A. Dendroecology in the tropics: A review. *Trees* 2010, 25, 3–16.
20. SCHWARTZ, M. D. Advancing to full bloom: planning phenological research for the 21st century. *Int. J. Biometeorol*, 1999, 42, 113–118.
21. SIMON J., VACEK S., 2008. *Výkladový slovník hospodářské úpravy lesů*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. ISBN 978-80-7375-131-9, 126 s.
22. SOUKUP F., 2000. Rez vejmutovková (*Cronartium ribicola*). *Lesnická práce*, 11/2000.
23. SVOBODA, A. M. 1976. *Introdukce okrasných jehličnatých dřevin*. Studie ČSAV, Academia Praha, 5: 1-123.
24. SVOBODA, P. 1952. *Nauka o lese*. 1. vyd. Praha: Přírodovědecké vydavatelství. Knihovna (Přírodovědecké vydavatelství).
25. SVOBODA, P. 1953. *Lesní dřeviny a jejich porosty*. Část 1. SZN, Praha: 1-412.
26. ŠEBÍK, L. a L. POLÁK. 1990. *Náuka o produkci dřeva: [celoštátní vysokoškolská učebnice pro lesnické fakulty vysokých škol]*. 1. vyd. Bratislava: Příroda. ISBN 8007002685.
27. TOUCHAN R., MECO D. M., ALOUI A., Precipitation reconstruction for Northwestern Tunisia from tree rings. *Journal of Arid Environments*, 2008.
28. TOUCHAN, R.; HUGHES M. K. Dendrochronology in Jordan. *Journal of Arid Environments*, 1999, 42: 291-303. Article No. jare. 1999.0507.