

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa



Vliv prostředí na přírůst borovice

Bakalářská práce

Autor: Ivana Fleischlingerová

Vedoucí práce: Ing. Vojtěch Čada, Ph.D.

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ivana Fleischlingerová

Lesnictví
Lesnictví

Název práce

Vliv prostředí na přírůst borovice

Název anglicky

Environmental control over growth of pine

Cíle práce

Cílem práce bude shrnout dosavadní znalosti o vlivu nejrůznějších faktorů prostředí na přírůst borovic. Speciální pozornost bude kladena na původní druhy borovic v ČR. Bude popsán význam získaných znalostí pro praktický management lesa.

Metodika

Cíle práce budou splněny na základě rozboru literatury (literární rešerše) – bude použita zejména aktuální domácí a zahraniční vědecká literatura. Struktura práce bude odpovídat standardním požadavkům na tento typ práce na Fakultě lesnické a dřevařské, České zemědělské univerzity v Praze.

Harmonogram zpracování:

Březen 2018 — Zadání BP

Léto 2018 — Studium literatury

Prosinec 2018 — Odevzdání osnovy práce a kostry literárních zdrojů školiteli

Zima 2018/2019 — Příprava textu BP

Březen 2018 — Konzultace finální podoby práce se školitelem

Duben 2018 — Předložení práce

Doporučený rozsah práce

30 – 40 stran

Klíčová slovaLetokruhová analýza, produkce, dendrochronologie, *Pinus sylvestris*.**Doporučené zdroje informací**

- Babst, F., Poulter, B., Trouet, V., Tan, K., Neuwirth, B., Wilson, R., Carrer, M., Grabner, M., Tegel, W., Levanić, T., Panayotov, M., Urbinati, C., Bouriaud, O., Ciais, P., Frank, D., 2013. Site- and species-specific responses of forest growth to climate across the European continent. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 22, 706–717.
- Dobbertin, M., 2005. Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *Eur. J. For. Res.* 124, 319–333.
- Edvardsson, J., Rimkus, E., Corona, C., Šimanauskienė, R., Kažys, J., Stoffel, M., 2015. Exploring the impact of regional climate and local hydrology on *Pinus sylvestris* L. growth variability – A comparison between pine populations growing on peat soils and mineral soils in Lithuania. *Plant Soil* 392, 345–356.
- Frelechoux, F., Buttler, A., Schweingruber, F.H., Gobat, J.-M., 2000. Stand structure, invasion, and growth dynamics of bog pine (*Pinus uncinata* var. *rotundata*) in relation to peat cutting and drainage in the Jura Mountains, Switzerland. *Can. J. For. Res.* 30, 1114–1126.
- Leonelli, G., Pelfini, M., Battipaglia, G., Cherubini, P., 2009. Site-aspect influence on climate sensitivity over time of a high-altitude *Pinus cembra* tree-ring network. *Clim. Change* 96, 185–201.
- Levanić, T., Gričar, J., Gagen, M., Jalkanen, R., Loader, N.J., McCarrroll, D., Oven, P., Robertson, I., 2008. The climate sensitivity of Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] in the southeastern European Alps. *Trees* 23, 169–180.
- Mäkinen, H., Nöjd, P., Kahle, H., Neumann, U., Tveite, B., Mielikainen, K., Röhle, H., Spiecker, H., 2002. Radial growth variation of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe. *For. Ecol. Manage.* 171, 243–259.
- Mellert, K.H., Prietzel, J., Straussberger, R., Rehfuess, K.E., Kahle, H.P., Perez, P., Spiecker, H., 2008. Relationships between long-term trends of air temperature, precipitation, nitrogen nutrition and growth of coniferous stands in Central Europe and Finland. *Eur. J. For. Res.* 127, 507–524.
- Speer, J.H., 2010. *Fundamentals of Tree-ring Research*. University of Arizona Press.
- Stoll, P., Weiner, J., Schmid, B., 1994. Growth variation in a naturally established population of *Pinus sylvestris*. *Ecology* 75, 660–670.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Vojtěch Čada, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2019

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2019

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 18. 02. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vliv prostředí na přírůst borovice“ vypracovala samostatně pod vedením Ing. Vojtěcha Čady, Ph.D., a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých 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 15. 6. 2020

Podpis autora

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Vojtěchovi Čadovi, Ph.D., za jeho konzultace, cenné rady, čas a trpělivost nad vedením vznikající této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat rodině, a především mému příteli za podporu a trpělivost.

Vliv prostředí na přírůst borovice

Abstrakt

Borovice lesní (*Pinus sylvestris*) je významná hospodářská dřevina, kterou ovlivňuje spousta faktorů prostředí, které mohou ovlivnit její přírůst. A právě tímto tématem se z největší části zabývá má bakalářská práce, která kompletně tyto faktory shrnuje a může být inspirací pro vhodný pěstební postup.

V první části práce se zabývám obecným popisem borovice zahrnující systematiku, rozšíření, a především ekologickými nároky.

V druhé části, která je nejdůležitější částí mé práce se zabývám vlivem prostředí na přírůst borovice. Rozdělují si tyto vlivy prostředí na abiotické a biotické. Z abiotických faktorů kladu důraz na klimatické podmínky, které stromy mohou ovlivnit negativním způsobem i pozitivním. Zjišťuji, že každý druh borovice může na dané změny reagovat odlišně. Dále nesmím opomenout na sucho a s ním spojené srážky, kterých je nedostatek. Dalšími důležitými faktory ovlivňující prostředí jsou: světlo, teplota, půda, sníh nebo požáry. Z biotických faktorů se zaměřuji právě na antropogenní, kdy člověk mění biodiverzitu krajiny, dochází k erozím půdy nejen v lesích, ale také vede ke globálním změnám klimatu.

Dále se zmiňuji o dendrochronologii, kterou obecně vysvětluji a rozdělují do třech kategorií, které jsou: chronologická, behaviorální a environmentální. Dále se zaměřuji především na dendroklimatologii.

V závěru mé práce se věnuji důsledkům pro management lesa, kde popisují, jaký je nejvhodnější postup pěstování borovice, aby nadále prospívala a udržela si svou působnost v lesích.

Ze získaných informací obecně platí, že by se borovice v budoucnu měla vysazovat na sušších stanovištích a upustit tak od stanovišť úrodných, které mohou být vhodnější pro náročnější dřeviny.

Klíčová slova

Letokruhová analýza, produkce, dendrochronologie, *Pinus sylvestris*

Environmental control over growth of pine

Abstract

Scots pine (*Pinus sylvestris*) is an important economic tree, which is influenced by many environmental factors that can affect its growth. And this topic is mostly dealt with by my bachelor's thesis, which completely summarizes these factors and can be an inspiration for a suitable cultivation procedure.

In the first part in this work I deal with a general description of pine, including systematics, distribution, and especially ecological demands.

In the second part, which is the most important part of my work, I deal with the influence of the environment on the growth of pine. I divided these environmental influences into abiotic and biotic. When I was solving the problem with abiotic factors, I emphasize the climatic conditions that trees can be affected in a negative and positive way. I find that each species of pine can react differently to given changes. Furthermore, I must not forget the drought and the associated rainfall, which is in short supply. Other important factors affecting the environment are: light, temperature, soil, snow or fires. Of the biotic factors, I focus on the anthropogenic, where humans change the biodiversity of the landscape, soil erosion occurs not only in forests, but also leads to global climate change.

I also mention dendrochronology which I generally explain into three categories, which are: chronological, behavioural and environmental. I also focus mainly on dendroclimatology.

At the end of my work, I deal with the consequences for forest management, when I described what is the most appropriate procedure for growing pine to continue to thrive and maintain its presence in forests.

From the information obtained, it is generally true, that should be planted in the future, pine should be planted in drier habitats, thus abandoning fertile habitats that may be more suitable for more demanding tree species.

Key words

Growth ring analysis, production, dendrochronology, *Pinus Sylvestris*

Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíl práce	10
3. Borovice lesní.....	11
3.1. Systematika	11
3.2. Rozšíření	12
3.3. Ekologické nároky	15
4. Vliv prostředí na přírůst borovic	16
4.1. Klimatické podmínky.....	16
4.2. Srážky.....	18
4.3. Světlo, teplota, sucho	18
4.4. Půda.....	19
4.5. Sníh	20
4.6. Požáry.....	21
4.7. Antropogenní vlivy	21
4.7.1. Dusičnany NO ₃	23
4.6.2. Oxid uhličitý CO ₂	23
4.6.3. Oxid siřičitý SO ₂	24
4.6.4. Ozon O ₃	25
5. Dendrochronologie.....	26
6. Důsledky pro management lesa	28
7. Závěr	29
8. Seznam použitých zdrojů	30
8.1. Knižní zdroje.....	30
8.2. Vědecké články	31
8.3. Ostatní zdroje	35

Seznam obrázků

Obrázek 1: Areál přirozeného výskytu borovice lesní (*Pinus sylvestris*) 12

Obrázek 2: Přirozená obnova v NP České Švýcarsko (8 let po požáru). Foto: Ivana Fleischlingerová..... 21

Obrázek 3: Bývalý porost poškozený imisemi, nyní holina v Beskydech roku 1995... 22

1. Úvod

Tato práce shrnuje dosavadní znalosti o vlivu faktorů prostředí na přírůst borovic s důrazem na borovici lesní. Pozornost je také kladena na další druhy borovice. V České republice jsou autochtonní pouze tyto 3 druhy borovice: již zmíněná borovice lesní (*Pinus sylvestris*), borovice blatka (*Pinus rotundata*), borovice kleč (*Pinus mugo*).

Ve své práci se zabývám vlivem teploty vzduchu, srážkami v různých nadmořských výškách a na různých stanovištích, a především antropogenními vlivy. Dále je kladena pozornost na ekologické nároky dřevin.

Je velmi důležité zabývat se právě tímto tématem. Borovice je hned po smrku druhým stromem, který v České republice odumírá nejvíce. Může za to především podkorní hmyz, který způsobuje největší kalamity. Dále také vlivy prostředí, kdy už ani borovice nesnáší sucho tak dobře jako dříve, protože nebyvalo tak extrémní.

Na závěr poskytuje základy o dendrochronologii a s ní spojenou letokruhovou analýzu, a přehled o důsledcích pro management lesa a společně s ním doporučení pro další postupy v pěstování borovic.

Právě studium faktorů ovlivňující přírůst borovice v různých prostředí může být určitou předpovědí budoucího rozšíření této dřeviny a dále nám může dát pohled na přizpůsobení této významné hospodářské dřeviny, které bude nadále odolávat klimatickým změnám.

2. Cíl práce

Cílem práce bude shrnout dosavadní znalosti o vlivu nejrůznějších faktorů prostředí na přírůst borovic. Speciální pozornost bude kladena na původní druhy borovic v ČR. Bude popsán význam získaných znalostí pro praktický management.

3. Borovice lesní

Borovice lesní (*Pinus sylvestris*) je poměrně rychle rostoucí strom s jehlicemi ve svazečku po dvou. Výškový růst obvykle dokončuje ve stáří 70–120 let, kdy její výška dosahuje 10–40 m. Může dosáhnout stáří 200 až 400 let. Na severní polokouli je nejrozšířenější jehličnatou dřevinou. Díky své nenáročnosti, rychlému růstu a kvalitě dřeva patří borovice lesní k nejčastěji pěstovaným evropským jehličnanům společně se smrkem ztepilým (Štursa, 2016).

Koruna borovice může být štíhlá s jemnými větvemi, ale většinou převažuje deštníková koruna se silnými větvemi (Musil, Hamerník, 2007). Na rozdíl od smrku nemá korunu až k zemi, má specifický tvar s menší apikální dominancí (Nárovec, 1998).

V mladém věku má kmen a větve charakteristické oranžově okrové zbarvení a kůra se odlupuje v tenkých šupinách. Borka je velmi silná, šedohnědé barvy, na řezu červenohnědá a je rozpraskaná (Štursa, 2016). Borka s přibývajícím věkem stromu mění svůj vzhled od lasturovitého přes šupinatého k deskovitému typu (již klesá tloušťkový přírůst). Děje se tak na základě oddělování vnější části borky a rychlosti tloušťkového přírůstu (Hejtmánek, 1953).

Kořenový systém borovice je charakteristický svým kúlovým kořenem, který dosahuje do hloubky až 1,5–3 m (v půdách suchých a písčitých může ještě hlouběji). Objevují se boční a horizontální kořeny, chůdovité kořeny vznikají na pohyblivých písčích. Borovice je právem považována za zpevňující dřevinu, která v zemi dobře kotví nadzemní část a netrpí tak vývraty (Musil, Hamerník, 2007). Pokud je vysazena na bažinaté půdě zakořeňuje mělce (Úradníček, 2009).

Dále může docházet k vrcholovým zlomům z důvodu křehkého dřeva trpící tíhou sněhu a námrazy. Nikdy netvoří výmladky a nedokáže zakořenit z řízků (Úradníček, 2009).

3.1. Systematika

Borovice patří do rodu *Pinus*, který dělíme na 2 podrody:

- 1. Podrod *Pinus*** – jsou „tvrdé borovice“ s jehlicemi po 2–3 ve svazečku. Přechod mezi jarním a letním dřevem je náhlý.

- 2. Podrod Strobis** – „měkké borovice“ s jehlicemi převážně po 5 ve svazečku.
Přechod mezi jarním a letním dřevem je pozvolný.
(Musil, Hamerník 2007)

3.2. Rozšíření

Areál borovice lesní se na jihu až jihozápadě Evropy rozkládá od Pyrenejského, Balkánského poloostrova až ke Skandinávii. Pokračuje přes Sibiř až do Malé a Střední Asie a dále se rozkládá až za polární kruh. Borovice roste v nížinách i v horských oblastech, kde se vyskytuje až ve výškách 2100 m n. m. v Pyrenejích a Alpách do výšek 1300 m n. m. (Štursa, 2016).



Obrázek 1: Areál přirozeného výskytu borovice lesní (*Pinus sylvestris*) v Evropě

Zdroj: Remeš. Areál přirozeného výskytu borovice lesní. In: Volba dřevin, tvorba směsí 2019-2020 [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: moodle.czu.cz

Borovice lesní se v České republice přirozeně vyskytuje převážně ostrůvkovitě v oblasti pahorkatin a na extrémních stanovištích skal a sutí. V nejnižších polohách se vyskytovala na písčích, mělkých a suchých půdách, ale vyskytuje se také na rašeliništích (Úradníček, 2009). Avšak na rašelinných půdách a bažinách roste obvykle hůře než na skalních stěnách, kde roste většinou zakrsle z důvodu špatného růstu (Musil, Hamerník, 2007).

Dokáže růst také na vápencích a hadcích, kde je často jedinou stromovitou dřevinou. Na úrodnějších půdách je v přirozených porostech vytlačena konkurencí, která je odolnější ke zastínění. (Musil, Hamerník, 2007). Dále vyklíčí i ve štěrbinách holých skal a při vysazení na hlubších živných stanovištích dosahuje velkých rozměrů. Prostupuje všemi výškovými stupni i horizontálními pásy (Svoboda, 1953).

Roste v čistých borových porostech, ale i ve smíšených společně s dubem, smrkem nebo břízou (Štursa, 2016). Vhodnou směsí také může být buk, kdy tato kooperace dosahuje výborných výsledků v severní borové části Německa (v ČR je tato směs zatím málo uplatňována) (Remeš, 2020).

Borovice byla převládající dřevinou po skončení doby ledové a se zlepšováním klimatických podmínek byla vytlačena na extrémní stanoviště stinnými dřevinami, kde ji ostatní dřeviny nemohly konkurovat. Můžeme tedy všechny přirozený výskyt nazvat reliktním borem (Remeš, 2020). Reliktní bory jsou ve Slavkovském lese, v Polabí, na Šumavě, Třeboňské pánvi, Dražanské a Českomoravské vrchovině, v údolí řeky Jihlavy, Oslavy, Rokytne a Dyje (Úradníček, 2009).

Svoboda (1953) rozděluje areál rozšíření borovice do 3 klimatypů: severského, stepního a horského.

- **Severský klimatyp** – borovice rostoucí převážně v nížinách, mají souvislý areál severně od řeky Labe, úpatí sudetského pohoří a Karpat, a dále na sever od hranic ukrajinských a jihoruských stepí, a pokračuje dále až na východ Sibíře. Její dřevo je silnější než u borovic pěstovaných na jižnějších územích.
- **Stepní klimatyp** – borovice rostoucí v užším, nesouvislém pásmu podél jihovýchodní hranice Evropy a podél záposibiřské části. Mohou růst na zasolenějších lesostepích a stepních půdách. Odolává horkým létům a chladným zimám. Snáší extrémní sucho.

- **Horský klimatyp** – klimatyp borovic, který pokrývá zbylé území jižní a střední části areálu. V horských oblastech se vyskytují izolovaně a roztroušeně. Dále se vyskytují na extrémních stanovištích – sucho a rašeliniště. Dobře snáší méně úrodné půdy a úspěšně vzdoruje mrazu a návalu sněhu.

Výčet významnějších ekotypů regionální populace borovice lesní v České republice:

- **Bulovecká borovice** – přímý kmen s širokým jádrem.
- **Třeboňská borovice** – rovný kmen s krátkou korunou, kvalitní dřevo.
- **Náhorní ekotyp** – protáhlejší koruna s jemnými větvemi, tmavá borka, různě vysoké kořenové náběhy, tvrdší jehlice. Špatně snáší dlouhotrvající sucho. Vhodná pro těžko zalesňované holiny Vyskytuje se např. na Sokolovsku.
- **Lánská** – štíhlý kmen s jemnými větvemi, kvalitní dřevo. Je odolná pozdním mrazům a vůči zlomům způsobeným sněhem.
- **Heraltická** – klasický „smrkový“ habitus, dosahuje 40 m výšky. Červená borka v místě koruny. Výskyt v oblasti Opavska, Krnovska.
- **Rozvadovská borovice** – plnodřevný kmen s jemným zavětvením, vyskytuje se na rašelinných půdách.
- **Borovice na vátých píscích** – schopná růst na čistých vátých píscích, velmi dobře odolná suchu.
- **Hadcové bory** – roste na hadcovém podloží, má svůj typický tvar a velikost. Nachází se ve Slavkovském lese.
- **Chlumní borovice** – středočeské borovice, vyskytující se roztroušeně. Dokáže také růst na hadci. Výskyt např. na Dobříši, Konopišti nebo v Zbraslavi.
- **Stožecká borovice** – nachází se na Šumavě společně se smrkem na oglejených horských stanovištích (Horní Planá) nebo na podmáčených horských stanovištích (Vyšší Brod).

(Čáp et al, 2016)

Další ekotypy: českoleská borovice (pánevní ekotyp), západočeská borovice (písky na permu), severočeská borovice (křída) (Čáp et al, 2016).

Současné zastoupení borovice v českých lesích dle Zelené zprávy z roku 2018 je:

- Přirozená: 3,4 %
- Současná: 16,4 %
- Doporučená: 16,8 %

3.3. Ekologické nároky

Borovice je světlomilná dřevina, která netoleruje zastínění ostatních dřevin a není schopná zmlazovat v zástinu (Úradníček, 2003). V přirozených porostech na úrodnějších půdách často chybí právě z důvodu, že nedokáže konkurovat stínomilným dřevinám (Musil, Hamerník, 2007). Je vhodná pro zakládání porostů na holých plochách (Úradníček, 2003).

Je adaptována na velmi široké rozmezí klimatických podmínek. Délka vegetační doby je 90–200 dnů, s průměrnými ročními srážkami 200–1780 mm. Borovice může být zásobena vodou z větších hloubek než ostatní dřeviny, proto může růst i na extrémně suchých stanovištích (Musil, Hamerník, 2007).

Je zároveň nenáročná na klimatické podmínky. Je odolná mrazu i horku, kdy dokáže snášet i extrémní tepelné podmínky. Snáší horká léta stepních oblastí v Rusku i těžké mrazy na Sibiři. Naopak je citlivá na změnu vláhly jako smrk (Úradníček, 2003).

Borovice lesní má v populaci zastoupení klimaxových, přechodných i pionýrských genotypů (Šindelář, 1981). Nejčastěji je však pionýrskou dřevinou, která je schopna růst na nejrůznějších volných plochách, které jsou devastované nebo po požárech (Musil, Hamerník, 2007). I přesto, že dokáže osidlovat nejrůznější volné plochy, není příliš vhodná k výsadbám do větších měst a průmyslových oblastí, kde je znečištění ovzduší i na borovici velmi vysoké. I další dva druhy domácích borovic, blatka a kleč, snášejí imise hůře (Úradníček, 2003).

4. Vliv prostředí na přírůst borovic

Faktory prostředí, které mají vliv na přírůst stromů jsou dvou typů: biotické a abiotické. Biotické faktory zahrnují působení ostatních živých organismů (hmyz, okus zvěří, kompetice s ostatními stromy, žloutnutí stromů, působení člověka atd.). Naopak abiotické faktory zahrnují působení vnějších podmínek okolí jako je např. klima, srážky, vítr nebo sníh (Lévêque, 2003).

Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující přírůst patří klimatické podmínky a s nimi spojená teplota, a dále především voda, která je nepostradatelná pro všechny živé organismy. Druhové složení lesů a produktivita jsou ovlivňovány zásobením stanoviště vodou (Kozłowski, 1982).

Úmrtí stromů spojená s podnebím jsou vyvolaná fyziologickým stresem, napadením hmyzu, větrnými kalamitami nebo požáry (Allen et al, 2010).

Mimo jiné je také vliv prostředí na přírůst borovic zkomplikován zvýšeným výskytem patogenů jako je rez borová, kterou borovice bývá napadena ve středním a vyšším věku. Je to závažné onemocnění vyvolané 2 typy rzí a to: rzí vejmutovkovou (*Cronartium asclepiadeum*) a neevropským druhem *Endocronartium pini*. Dochází tak k odumírání stromu a následné prosvětlení porostu (Remeš, 2020).

4.1. Klimatické podmínky

Podnebí vždy formovalo do jisté míry podobu našich lesů, ale z důvodu lidské činnosti dochází během posledních 200–300 let k výrazným změnám světového klimatu. Úmrtnost lesů z důvodu změn klimatu je vážným problémem, kterému čelíme nejen v lesnictví. I přesto se většina lesů bude muset změnám klimatu přizpůsobit bez jakýchkoliv pomocných zásahů člověka (Sturrock et al, 2011).

Se změnami klimatu často souvisí větší a intenzivnější lesní disturbance, např. zvýšený výskyt patogenů a podkorního hmyzu napadající stromy. Do budoucna se předpokládá, že rozsah těchto narušení se bude z důvodu častějších vln sucha a jiných abiotických stresorů dále zvyšovat (Sturrock et al, 2011).

V lesních oblastech, kde je extrémní sucho je zvýšená evapotranspirace, která způsobuje vodní stres a vede k negativnímu dopadu sucha na růst lesů (Vicente – Serrano et al, 2010). Transpirace závisí na teplotě, proudění vzduchu a nasycení vzduchu vodní

párou. Lze tedy předpokládat, že by se transpirace měla také nadále zvyšovat v závislosti na změnách průměrné teploty a vlhkosti vzduchu. Avšak přímé důkazy v tomto ohledu stále chybí (Pokorný, 1999).

Vzhledem k budoucím předpovědím, kdy bude neustále docházet ke klimatickým změnám projevujících se zvyšujícím globálním oteplováním a poklesem množství srážek, lze očekávat nárůst stresových podmínek. Zejména v suchých oblastech ovlivní růst dřevin a celkově jejich přežití (Vicente – Serrano et al, 2010).

Nově vysazené stromy již reagují na změnu klimatu, kdy nejsou již tak odolné jako v dřívějších dobách. Z toho důvodu jsou zranitelnější vůči úmrtnosti a celkovému vymizení. K vymírání borovic tak může dojít i v prostředích, kde v současné době nemají problém s nedostatkem vody (Allen et al., 2010).

Studie o dendroklimatologickém srovnání borovic porovnávala, jaký vliv má klima na radiální růst u borovice lesní (*Pinus sylvestris*), která je původní v České republice s nepůvodním druhem borovicí vejmutovkou (*Pinus strobus*), která zpravidla osidluje pískovcové oblasti, kde bývá člověkem nejčastěji vysazována. Borovice lesní reagovala pozitivně na vysoké teploty v únoru/březnu, zatímco borovice vejmutovka reagovala negativně jak na vysoké teploty, tak na nízké srážky (Mácová, 2008).

V další studii byla zkoumána citlivost klimatu lesů pomocí modelové stromové sítě napříč Evropou až severní Afrikou. Bylo zjištěno, že produktivita lesů je ve velkém měřítku především poháněna měsíční až sezónní regulací klimatu. Avšak výsledky zdůrazňují druhově specifické reakce na průběh klimatu. Dále bylo prokázáno, že vliv klima z předchozí vegetační doby může výrazně ovlivnit nadcházející růst stromů, a to zejména v oblastech, kde jsou drsné klimatické podmínky (Babst et al, 2013).

Ve vrcholových oblastech je také velmi důležitá borovice kleč (*Pinus mugo*), která může významně měnit mikroklimatické podmínky. Na půdách se sezonní sněhovou pokrývkou působí na aktivitu střídavého rozmrzání a zmrznutí půdy, a teplotní extrémy. Zároveň svým tlakem větví je schopna měnit strukturu půdy (Tremml, Křížek, 2006).

4.2. Srážky

Borovice rostoucí na písčitých půdách jsou často v srážkově chudých oblastech, které nejvíce trpí intercepcí. Proto je důležité, aby ve věku 10 let došlo k silnému podúrovňovému zásahu, který na delší dobu zvýší podkorunové srážky o 2–8 % a zajistí tak stabilnější růst dřeviny (Kantor et al, 2013). Lze předpokládat, že si nejen borovice lesní nedostatek vody v půdě kompenzuje zvyšujícím se množstvím oxidu uhličitého v atmosféře (Pokorný, 1999).

V případě, kdy je srážek dostatek a zároveň dochází ke zvýšení teploty, může tento proces pozitivně ovlivnit přírůst stromů v Evropě (Mäkinen et al, 2002). I v České republice se výskyt srážek prozatím mění jen svou dynamikou, ale celkové úhrny srážek se nemění (Kyselý et al, 2003).

4.3. Světlo, teplota, sucho

Dostatek světla ovlivňuje především výkon asimilačních orgánů. Borovice má mnohem vyšší propustnost slunečního záření než např. smrk. Proto jsou velmi omezené možnosti, jak pomocí výchovných zásahů zvýšit přísun světla, protože borovice nesnáší zastínění (Kantor et al, 2013).

Je také velmi omezené, jak ovlivnit teplotu v porostech. Avšak po výchovných zásazích bylo zjištěno, že se teplota snižuje v okolí koruny, a naopak v části kmene a svrchních půdách se teplota zvyšuje (Kantor et al, 2013). Teplota půdy je mimo jiné důležitým faktorem pro fotosyntézu (Speer, 2010). Právě na území České republiky je statistickými analýzami potvrzeno, že dochází ke zvyšování teploty vzduchu (Kyselý et al, 2003).

V nedávné době byla na celém světě pozorována odchylka mezi šířkou letokruhů a vlivem určité teploty daného prostředí. Z dendroklimatické analýzy provedené ve středních Alpách v Itálii na borovici limbě (*Pinus cembra*) se zjistilo, že růst je ovlivněn klimatem v daném čase. Obecně roste divergence mezi šířkou letokruhů a mezi záznamy letních teplot, a to zejména u jedinců orientovaných na jihozápad. Naopak chronologie z lokalit směřující na sever vykazovaly v průběhu času stabilnější vztah. Měsíční analýza odhalila pokles citlivosti, která byla ovlivněna hlavně změnami vztahu způsobenými červnovými teplotami (klesala korelace u dřevin vyskytujících se na jihu a západu), zatímco stromy rostoucí na severu vykazovaly větší citlivost červnových teplot.

Údaje tak naznačují, že ve vysokých nadmořských výškách nízké teploty na začátku vegetačního období již růst neovlivňují (Leonelli, 2009).

Borovice je také často poškozována extrémním suchem, kdy dochází k prosychání koruny. Jehlice mají rezavou barvu a postupně opadávají. Takto oslabené stromy jsou často napadány podkorním hmyzem (Uhlířová, Kapitola, 2004). Naopak defoliace přímo způsobená hmyzem je zaznamenána téměř ihned na první pohled, avšak přírůst stromu může reagovat se zpožděním (Dobbertin, 2005).

Zvýšením opakování, délkou trvání, nebo závažností sucha a tepelného stresu, které jsou způsobené změnou klimatu, by mohlo v mnoha regionech dojít k zásadní změně složení, ale i struktury a biografii lesů (Allen et al, 2010).

4.4. Půda

Borovice lesní je schopna růst na různých typech půdy, avšak na rašeliništích se jí obvykle tolik nedaří. Studie probíhala na území Litvy a porovnávala, zdali má borovice lesní potenciál kvalitně růst na rašeliništích, nebo je v růstu úspěšnější na minerálních půdách. Výzkum následně ukázal, že borovice rostoucí na minerálních půdách jsou především ovlivněny zimními a počátečními letními teplotami. Naopak u stromů rostoucích na rašeliništích byla zjištěna složitější reakce, pravděpodobně s vyskytující se víceletou syntézou proměnlivosti vlhkosti a následnou měnící se hydrologií. Výsledky tak skutečně poukazují na to, že borovice sice není vhodná pro výsadbu na rašelinných půdách, ale i přesto je jednou z mála dřevin, které dokáží obstojně růst právě na rašelinných půdách (Edvardsson, 2015).

Další studie zkoumala borovici zobanitou (*Pinus uncinata*) a borovici blatku (*Pinus rotundata*) a jejich úspěšnost na rašeliništích v pohoří Jura, ve Švýcarsku. Borovice byly zkoumány na třech lokalitách s odlišným složením půdy a to na:

- I. Centrální část rašeliniště
- II. Povrchy půdy nacházející se na okraji nebo poblíž rašelinišť
- III. Přejídné polohy růstu borovic

Struktura populace byla charakteristická svým složením půdy. Borovice rostoucí přímo na rašeliništích s vysokým obsahem vody byly rozptýlené a rostly nerovnoměrně po celém porostu, a dosahovaly menšího vzrůstu. Naopak borovice rostoucí na okraji

nebo poblíž rašelinišť byly vysoké, rovnoměrně rozmístěné a mladší stromy vykazovaly vysokou míru růstu. Stromy rostoucí v přechodných situacích dosahovaly vyšších rozměrů, ale dřeviny stále rostly nerovnoměrně, ačkoliv byl porost vícevrstvý. Tyto tři lokality tedy dokazují, že stromy rostoucí právě na okraji rašelinišť jsou více ovlivněny půdou než klimatickými podmínkami (Freléchoux, 2000).

Studie dále zkoumala rozdíly v růstu borovice lesní v Curychu na přirozeně vzniklém porostu ve vztahu k věku, velikosti a místní konkurenci. Došlo se tak k výsledkům, kdy se potvrdilo, že prostorové složení bylo náhodné, velikostní variabilita se v průběhu vývoje porostu snížila, ačkoliv nedocházelo k prořezávkám. Důvodem bylo, že hustota porostu byla nízká, a i když byla zjištělná konkurence, v průběhu 45 let vývoje porostu byla relativně stále slabá a symetrická. V konkurenci tedy neexistovala žádná počáteční výhoda a mladší stromy tak byly schopny v růstu dostihnout starší stromy, jejichž relativní tempo růstu klesalo (Stoll et al, 1994).

Dále bylo zjištěno, že borovice rostoucí na vlhkých, hlubších půdách mají silnější borku než na půdách suchých a chudých na živiny. Dle výzkumu je prokázáno, že borovice rostoucí ve Slavkovském lese mají silnější borku a větší průměrnou šířku šupin než borovice rostoucí v Karpatech (Hejtmánek, 1953).

4.5. Sníh

U borovic dochází k častým vrcholovým zlomům způsobených těžkým mokřým sněhem a námrazou (Musil, Hamerník, 2007). Borovice lesní je po smrku ztepilém druhou nejčastěji sněhem poškozovanou dřevinou i přesto, že je spíše vysazována v nižších polohách, kde sníh není tak častý. V borových porostech pak tak dochází k vrcholovým a kmenovým zlomům, ohnutí kmenů a k vývratům u stanovišť ovlivněných vodou (Novák et al, 2013).

Mladé stromy se ohýbají, deformují a lámou, zatímco starší jedinci se lámou v kmenové části nebo v různých částech koruny, kdy dochází k přetížení. Účinek přetížení může být podpořen silným větrem nebo oslabením dřevokaznou houbou (Uhlířová, Kapitola, 2004).

4.6. Požáry

Lesní požár je nekontrolovatelné hoření, které může vzniknout v lese a dále se šířit po porostu nebo může vzniknout mimo les a teprve poté se rozšířit do lesa. Může dojít ke třem druhům lesních požárů a to jsou: požáry podzemní, pozemní a korunové (Holuša et al, 2018).

V borových lesích na pískovcích často dochází k požárům, které lze v současnosti brát jako přirozenou součást těchto biotopů. Borové lesy vykazují značnou rezistenci k požárům, které podporují zmlazení a druhovou biodiverzitu. Není tedy potřeba je uměle zalesňovat (Adámek, Hadincová, 2018). Řízené požáry by tak mohly být i v České republice vhodným opatřením pro ekologickou obnovu borových lesů, jak je tomu např. ve Skandinávii (Kuuluvainen et al, 2002).



***Obrázek 2:** Přirozená obnova v NP České Švýcarsko (8 let po požáru). Foto: Ivana Fleischlingerová*

4.7. Antropogenní vlivy

Antropogenní faktory silně ovlivňují lesy po celém světě. Nejvýznamnější vlivy jsou: znečištění ovzduší, degradace půd nebo změny v lesních ekosystémech (Lomský,

Šrámek, 2004). Na správnou vitalitu stromu se také podílí zvyšující se kyselé složení a depozice dusíku (Dobbertin, 2005).

Borovice nepříznivě reagují na znečištění ovzduší způsobené člověkem (Musil, Hamerník, 2007). Znečištění ovzduší kriticky ovlivňuje nejen borovice, ale celé lesní ekosystémy po celém světě. Dochází tak ke změnám půdních podmínek a cyklování uhlíku (Čada et al, 2016).

V případě silnějšího znečištění ovzduší dochází k opadu jehlic a následně odumření celého stromu. I přesto borovice odolávají imisím více než smrk (Úradníček, 2003). Akutní poškození imisemi se u nejmladších stromů projevuje přítomností nekrotických vrcholcích jehličí. Nově vyrašené výhony mají hnědofialové zbarvení a jsou proschlé (Uhlířová, Kapitola, 2004).



Obrázek 3: *Bývalý porost poškozený imisemi, nyní holina v Beskydech roku 1995*

Zdroj: Imisní holina (Beskydy, 1995). In: Atlasposkozeni.mendelu.cz [online]. [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <http://atlasposkozeni.mendelu.cz/atlas/363-imise.html>

Dále přírůst velmi ovlivňují emise skleníkových plynů (Allen et al, 2010). Na vytváření skleníkového efektu se nejvíce podílí oxid uhličitý společně s vodní párou. Tyto plyny mají radiační vlastnosti, kdy propouští krátkovlnnou sluneční radiaci na povrch země, a zároveň pohlcují a vyzařují dlouhovlnnou tepelnou radiaci z ohřátého zemského povrchu. Tuto tepelnou radiaci vyzařují všemi směry, tedy i zpět na zemský povrch. Z tohoto důvodu neustále dochází k oteplování naší Země, v současné době se průměrná teplota země zvyšuje cca na 15 °C (Marek, 2011).

4.7.1. Dusičnany NO₃

V letech 1950–2000 bylo testováno, zdali obsah dusíku v jehlicích je příčinou možného zrychlení výškového růstu. Během pozorovacího období bylo prokázáno, že právě přítomnost dusíku byla nejdůležitějším faktorem zrychlení růstu (Mellert et al, 2008).

Během studování účinků, kdy sazenice borovice lesní byly hnojeny nutričními roztoky obsahujícími nízkou, optimální a dvě zvýšené hladiny dusičnanu amonného (NH₄NO₃), se na konci vegetačního období zvýšila koncentrace dusíku v jehlicích. Dále se zvýšila délka jehlic, obsah vody v jehlicích a počet pupenů (Kainulainen et al, 1996).

Do budoucna je zapotřebí neustále snižovat koncentraci dusíku z důvodu způsobení vyššího výskytu kyselých dešťů a dále ze znečištění vodních toků. Ke snížení by mohlo pomoci provádět plynulé obnovy porostů a zároveň neponechávat příliš přestálé stromy bez zajištění jejich obnovy (Vícha et al, 2012).

4.6.2. Oxid uhličitý CO₂

K zrychlení růstu pravděpodobně také přispívá zvyšující se množství oxidu uhličitého v naší atmosféře (Mellert et al, 2008). Před průmyslovou revolucí, která byla zahájena v 17. století, dosahovala v atmosféře koncentrace oxidu uhličitého hodnoty 280 ppm (Speer, 2010). V současné době existují modely globální cirkulace, které měří a stanovují koncentraci CO₂ v zemské atmosféře. Tato koncentrace se neustále zvyšuje (roční přírůst 0,5 %). V časovém horizontu několika desítek let se může zvýšit až dvojnásobně (Pokorný, 1999). Nyní se tato hodnota zvýšila na 380 ppm (Speer, 2010).

Avšak se předpokládá, že koncentrace CO₂ má pouze vedlejší význam pro růst stromu (Mellert et al, 2008). Naopak studie, která porovnávala spoustu dalších jiných studií prokázala, že právě společný vliv přítomnosti CO₂ a zvyšující se teploty, má pozitivní vliv na aktivitu jehlic a biomasu (Vicente – Serrano et al, 2010).

Lesní dřeviny nepotřebují jen zachytit sluneční záření, ale především potřebují schopnost vázat vzdušný CO₂ v procesu fotosyntézy, ale zároveň jej uložit na další časové období do své biomasy. Z výsledku měření koeficientu efektivity využití vody tak vyplývá, že při zdvojnásobení koncentrace oxidu uhličitého se počet látkového množství (mol), spotřebovaného na asimilaci jednoho molu, způsobí snížení koncentrace CO₂. Tento proces je spojen s otevíráním a zavíráním průduchů. U borovice lesní tak došlo k zvýšení efektivity využití vody (Pokorný, 1999).

Pokud dochází ke snížení teploty vzduchu, rychlost vstřebávání oxidu uhličitého je do značné míry zpomalena (Speer, 2010).

4.6.3. Oxid siřičitý SO₂

Vysoká koncentrace SO₂ v ovzduší společně s vlivem kyselých dešťů způsobuje úhyn stromů a výrazně poškodila desítku hektarů lesů v ČR (Hruška et al, 2009).

Borovice je téměř totožně citlivá na působení oxidu siřičitého jako je smrk. Právě SO₂ u borovic způsobuje akutní poškození jehlic (Riding, Percy, 1985). U borovice lesní dále způsobuje nekrózy a pomalejší růst. Stromy, které ztrácí více než 50 % svých jehlic, jsou viditelně zakrnělé (Shaw et al, 1993).

Při výzkumu působení SO₂ na sazenice borovice smolné (*Pinus resinosa*) bylo zjištěno, že při zvýšeném působení oxidu siřičitého bylo poškození sazenic mnohem větší než na místech, kde byla koncentrace nižší. V místech, kde byla přítomnost SO₂ nižší byly sazenice poškozeny pouze v kořenové části (Norby, Kozłowski, 1981).

Vědci dále zkoumali pokles emisí síry v Krušných horách roku 1989, kdy došlo ke snížení emisí až o 90 %, měl pokles z počátku pozitivní vliv na porostní podmínky a zdravotní stav porostu. Avšak v roce 1995 byly pozorovány určité změny, které způsobily poškození dřevin jako je reznutí posledního ročníku jehličí nebo defoliaci jehlic. Některé změny vedly až k odumření stromů z důvodu přímé vysoké koncentrace SO₂ (Lomský, Šrámek, 2004).

4.6.4. Ozon O₃

Ozon může nepříznivě ovlivnit růst stromů a jeho kritická úroveň je překročena v mnoha částech Evropy (Matyssek, Innes, 1999). Současné odhady ztrát výnosů z lesních těžeb se v Evropě pohybuje kolem 10 % (Broadmeadow, 1998). Změny vyvolané O₃ se zdají být rozhodující, protože ovlivňují konkurenceschopnost, náchylnost k útokům parazitů a následně mohou vést ke ztrátě genetické rozmanitosti (Matyssek, Innes, 1999).

Znečištění ovzduší, zejména ozonem, je ve východní a jihovýchodní Asii považováno za ještě závažnější, než je v Evropě a Severní Americe. Právě zvýšení koncentrace ozonu může mít nepříznivý vliv na vysoce druhou bohatost lesních porostů v Asii. Přestože jsou k dispozici některé prokazatelné informace o působení ozonu na dřevinách, je situace ve většině zemích Asie prozatím málo objasněná (Koike et al, 2013).

Za posledních deset let se zvýšila koncentrace ozonu v Německu a zvýšil se tak rozsah a závažnost nového poškození lesa. Nyní zaznamenaná koncentrace v horských lokalitách Německa je téměř totožně vysoká s vyskytující se koncentrací ve Spojených státech, kde je již známo, že právě ozon způsobuje poškození jejich lesů. Dosud však existuje málo důkazů, které by prokázaly, že právě v Německu za poškození může jen působení ozonem (Ashmore et al, 1985).

5. Dendrochronologie

Dendrochronologie je jednou z nejdůležitějších environmentálních technik, která slouží k zaznamenávání přírodních ekologických procesů. Pomocí této metody lze monitorovat změny v znečištění prostředí (Speer, 2010). Dendrochronologie se zabývá získáváním a využíváním údajů z letokruhových sérií stromů, které se v průběhu života ukládaly do dřeva větví a kmenů (Sequens, 2007).

Dendrochronologie datuje minulé události podmínek prostředí právě měřením letokruhů. Poskytuje přesná data podle kalendářního roku a kvalitativní ekologickou rekonstrukci v rámci dané sezony až století. Má tři kategorie:

- Chronologickou – datování konkrétních jednotek v dané časové posloupnosti.
- Behaviorální – informace o minulém lidském chování (zacházení se stromy jako s přírodním zdrojem, s dřevem jako surovinou, doba těžby).
- Environmentální – informace o životním prostředí (podle lokality výskytu, geologického složení, dendroklimatická analýza).

(Taylor, Aitken, 1997)

Speer dendrochronologii rozděluje následovně:

- Dendroarcheologie – zjišťuje stáří určitých předmětů pomocí datování šířky letokruhů z dřevěných archeologických nálezů nebo historických staveb.
- Dendroklimatologie – zkoumá vliv klíma na přírůst stromu a dokáže z šířky letokruhu zpětně určit jaké klíma bylo v minulém časovém období.
- Dendroekologie – využití letokruhů k zjištění ekologických problémů a životního prostředí.
- Dendrogeomorfologie – sleduje, jaké růstové dopady stromů mají na působení geomorfologických procesů.
- Dendrochemie – analyzuje minerály, které se nachází v letokruzích a následně může zkoumat znečištění ovzduší v minulých letech.

(Speer, 2010)

Sucho, které sužovalo Evropu v roce 2003 se také téměř okamžitě zaznamenalo v přírůstech letokruhů (Dobbertin, 2005). Zkoumané borovice v Itálii, které jsou citlivé na teplotu, vytvořily průměrnou roční šířku letokruhu, což mělo za následek silné odchylky od teplotního záznamu. Toto zjištění nadále podtrhuje důležitost zkoumat vliv klima na letokruhy a pomoci tak vysvětlit řešení s problémem divergence (Leonelli, 2009).

6. Důsledky pro management lesa

Ze zjištěných informací vyplývá doporučení, které má usměrnit pěstování borovic na sušší stanoviště, zahliněných překryvů, kde by došlo k záměně mezi smrkem. Dále by bylo vhodné upustit od pěstování borovic na úrodných stanovištích, která by mohla být využívána jinými dřevinami (Remeš, 2020).

V České republice se dřevinné zastoupení borovice lesní nebude v současnosti příliš měnit (Kaňák et al, 2004).

Výsledky výzkumu z oblasti Městských lesů Doksy, s. r. o., naznačují, že před výsadbou borovice je důležité, aby byly těžební zbytky v porostu rozdrčeny a rozptýleny po celé ploše. Také na chudých stanovištích, kde došlo k cílenému přihnojení dřevěným popelem došlo také ke zlepšení růstu sazenic. Naopak, pokud je klest spálen nebo odvezen z místa výsadby a nedojde tak k přihnojení popelem, byl růst sazenic do značné míry snížený. Avšak je třeba dodat, že se růst sazenic v průběhu let může změnit (Remeš et al, 2016).

Kromě kvality půdy bylo prokázáno, že nejmladší borové porosty potřebují dostatečně hustý porost k zajištění správného tvaru kmene (Nárovcová et al, 2004).

U nepůvodních výsadeb borovice kleče je třeba se zaměřit na unikátní strukturu půdy, která je vázaná na procesy spojené s mrazem a sněhem (Treml, Křížek, 2006).

Cílem zachování borových porostů je udržení dřevo-produkční funkce a celkové produkce dřeviny. Snížení intercepce a zlepšení vláhových poměrů, a vytvoření takového mikroklimatu, který zlepší půdní podmínky a koloběh živin (Remeš, 2020). Intercepční ztráty lze dočasně snížit výchovnými zásahy v mladých porostech (v dospělých porostech již nemají na snížení takový vliv) ke zlepšení vodohospodářského a produkčního významu (Remeš, Ulbrichová et al, 1999).

Dále je důležité se snažit snížit negativní dopady na naše lesy způsobené změnou klimatu a to tím, abychom se především zabývali půdoochranými opatřeními a zvýšením retenční kapacity (Rožnovský, 2016).

7. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřila na faktory ovlivňující prostředí při přírůstu borovic. Speciální pozornost jsem kladla na klimatické podmínky, kdy neustále dochází ke zvyšování teploty. Naopak např. v České republice nedochází ke snižování srážek, ale ke změnám lesní dynamiky. Dále dochází ke zvyšování evapotranspirace, která vede ke zvyšování vodního stresu a má následný dopad na růst porostu. Borovice je také do značné míry postižena suchem, kdy dochází k prosychání koruny a může vést až k úhynu stromu.

I přesto, že borovice dokáže růst na všech typech půd bylo zjištěno, že na rašeliništích se jí příliš nedaří, ale i přesto je jednou z mála dřevin, která dokáže na tomto stanovišti uspět. Především byla zkoumaná oblast v Litvě a ve Švýcarsku, kde bylo zjištěno, že se borovicím nejlépe daří na okraji, popřípadě poblíž rašelinišť.

V praktickém managementu lesa by se měli především soustředit, aby byla borovice vysazována na původních stanovištích, které mohou být i chudší a bohatá stanoviště tak přenechat náročnějším dřevinám.

Ve své práci se zabývám z mého pohledu nejdůležitějšími vlivy prostředí, ale i přesto je určitě ještě mnoha dalších vlivů, které možná ani nebyly popsány. Je také nespočet provedených studií, které by si zasloužily větší pozornost.

Dále bych chtěla zmínit, že zjištěné informace nebylo příliš lehké zjistit a zpracovat, a to z důvodu, že je mnohem větší pozornost kladena na vliv prostředí na přírůst smrku než borovice. Proto si i tato problematika zaslouží další zkoumání, aby nejen naše lesy, ale i lesy po celém světě nepřišly právě o borovici lesní a její další druhy.

8. Seznam použitých zdrojů

8.1. Knižní zdroje

LÉVÊQUE, C. *Ecology from ecosystem to biosphere*. Enfield, NH: Science Publishers, c2003. ISBN 15-780-8294-3.

MAREK, M.V. Uhlík v ekosystémech České republiky v měnícím se klimatu. Praha: Academia, 2011. Živá příroda. ISBN 978-80-200-1876-2.

MUSIL, I., HAMERNÍK, J. *Jehličnaté dřeviny: přehled nahosemenných i výtrusných dřevin: lesnická dendrologie I*. Praha: Academia, 2007. ISBN 978-80-200-1567-9.

NÁROVEC, V. Pěstební péče v mladých kulturách borovice lesní: I. Zásady pěstební péče v nejmladších borových kulturách s vysokým podílem jedinců s pozdněsezónním růstem proleptických výhonů. Opočno, 1998.

SPEER, J. H. *Fundamentals of Three-ring Research*. Tucson: The University of Arizona Press, 2010. ISBN 978-0-8165-2684-0.

SVOBODA, P. *Lesní dřeviny a jejich porosty*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1953.

ŠTURSA, J. *Dřeviny: opadavé i stálezelené v ilustracích Věry Ničové*. Praha: Aventinum, 2016. Artia (Aventinum). ISBN 978-80-7442-082-5.

TAYLOR, R. E., AITKEN, M. J. *Chronometric dating in archaeology*. New York: Plenum Press, c1997. ISBN 03-064-5715-6.

UHLÍŘOVÁ, H., KAPITOLA, P. Poškození lesních dřevin: (Gymnospermae). Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2004. ISBN 80-863-8656-2.

ÚRADNÍČEK, L. *Lesnická dendrologie I.: (Gymnospermae)*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2003. ISBN 80-715-7643-3.

ÚRADNÍČEK, L. *Dřeviny České republiky. 2., přeprac. vyd.* Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2009. ISBN 978-808-7154-625.

8.2. Vědecké články

ADÁMEK, M., HADINCOVÁ, V. Dlouhodobý vývoj vegetace pískovcových borů po požáru a možnosti jejich požárového managementu. *Ekologická obnova v České republice II*. Praha: Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2018, 35-39.

ALLEN, C. D., MACALADY, A. K., CHENCHOUNI, H., BACHELET, D., McDOWELL, N., VENNETIER M., KITZBERGER, T., RIGLING A., BRESHEARS, D.D., HOGG, E.H., GONGALEZ, P., FENSHAM R., ZHANG, Z., CASTRO, J., DEMIDOVA, N., LIM, J-H., ALLARD, G., RUNNING, S.W., COBB, N. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*. 2010, 259(4), 660-684.

ASHMORE, M.R., BELL, J.N.B., RUTTER, A.J. Role of ozone in forest damage in West Germany. *Ambio*. 1985, 14(2), 81-87.

BABST, F., POULTER, B., TROUET, V., Tan, K., Neuwirth, B., Wilson, R., Carrer, M., Grabner, M., Tegel, W., Levanic, T., Panaytov, M., Urbinati, C., Bouriaud, O., Ciasis, P., Frank, D. Site - and species-specific responses of forest growth to climate across the E uropean continent. *Global Ecology and Biogeography*. 2013, 22, 706-717.

BROADMEADOW, M. *Ozone and forest trees*. Cambridge University Press. 1998, 139(1), 123-125.

ČADA, V., ŠANTRŮČKOVÁ, H., ŠANTRŮČEK, J., KUBIŠTOVÁ, L., SEEDRE, M., SVOBODA, M. Complex Physiological Response of Norway Spruce to Atmospheric Pollution – Decreased Carbon Isotope Discrimination and Unchanged Tree Biomass Increment. *Frontiers in Plant Science*. 2016.

DOBBERTIN, M. Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: a review. *European Journal of Forest Research*. 2005, 124(4), 319-333.

EDVARDSSON, J., RIMKUS, E., CORONA, CH., ŠIMANAUSKIENĖ, R., KAŽYS, H., STOFFEL, M. Exploring the impact of regional climate and local hydrology on *Pinus sylvestris* L. growth variability – A comparison between pine populations growing on peat soils and mineral soils in Lithuania. *Plant and Soil*. 2015, 392, 345-356.

FRELÉCHOUX, F., BUTTLER, A., SCHWEINGRUBER, F. H., GOBAT, J.-M. Stand structure, invasion, and growth dynamics of bog pine (*Pinus uncinata* var. *rotundata*) in relation to peat cutting and drainage in the Jura Mountains, Switzerland. *Canadian Journal of Forest Research*. 2000, 30(7), 1114-1126.

HEJTMÁNEK, J. Příspěvek k otázce proměnlivosti borky u borovice lesní. *Preslia*. 1953, XXV, 75-86.

HOLUŠA, J., BERČÁK, R., LUKÁŠOVÁ, K., HANUŠKA, Z., AGH, P., VANĚK, J., KULA, E., CHROMEK, I. Lesní požáry v České republice - definice a rozdělení. *Zprávy lesnického významu*. 2018, 63(2), 102-111.

HRUŠKA, J., OULEHLE, F., KRÁM, P., SKOŘEPOVÁ, I. Účinky kyselého deště na lesní a vodní ekosystémy: 2. Vliv depozic síry a dusíku na půdy a lesy. *Živa*. 2009, 3, 141-144.

KAINULAINEN, P., HOLOPAINEN, J., POLOMÄKI, V., HOLOPAINEN, T. Effects of nitrogen fertilization on secondary chemistry and ectomycorrhizal state of Scots pine seedlings and on growth of grey pine aphid. *Journal of Chemical Ecology*. 1996, 22, 617-636.

KAŇÁK, J., NÁROVCOVÁ, J., NÁROVEC, V. Proměnlivost borovice lesní. *Lesnická práce*. 2004, 83(8), 422-423.

KOIKE, T., WATANABE, M., HOSHIKA, J., KITAO, M., MATSUMURA, H., RUNADA, R., IZUTA, T. Effects of Ozone on Forest Ecosystems in East and Southeast Asia. *Developments in Environmental Science*. 2013, 13, 371-390.

KOZŁOWSKI, T.T. Water Supply and Tree Growth. *Forestry Abstracts*. 1982, 43(2), 57-161.

KUULUVAINEN, T. Natural variability of forests as a reference for restoring and managing biological diversity in boreal Fennoscandia. *Silva Fennica*. 2002, 36(1), 97-125.

KYSELÝ, J., KAKOS, V., POKORNÁ, L. Povodně a extrémní srážkové úhrny v ČR a jejich časová proměnlivost. Ústav fyziky atmosféry AV ČR. In: Bioklimatologické pracovní dny. Funkciaenergetickej a vodnejbilanciev bioklimatologických systémoch, Račková Dolina, 2003, 6.

LIONELLI, G., BATTIPAGLIA, G., CHERUBINI, P. Site-aspect influence on climate sensitivity over time of a high-altitude *Pinus cembra* tree-ring network. *Climatic Change*. 2009, 96, 185-201.

LOMSKÝ, B., ŠRÁMEK, V. Different types of damage in mountain forest stands of the Czech Republic. *Journal of Forest Science*. 2004, 50(11), 533-537.

MÁCOVÁ, M. Dendroclimatological comparison of native *Pinus sylvestris* and invasive *Pinus strobus* in different habitats in the Czech Republic. *Preslia*. 2008, 80, 277-289.

MÄKINEN, H., NÖJD, P., KAHLE, H., NEUMANN, U., TVEITE, B., MIELIKAINEN, K., RÖHLE H., SPIECKER, H. Radial growth variation of Norway spruce (*Picea abies* (L) Karst.) across latitudinal and altitudinal gradients in central and northern Europe. *For. Ecol. Manage.* 2002, 171, 243-259.

MATYSSEK, R., INNES, J. L. Ozone - a Risk Factor for Trees and Forests in Europe? *Water, Air, and Soil Pollution*. 1999, 116, 199-226.

MELLERT, K.H., PRIETZEL, J., STRAUSSBERGER, R., REHFUESS, K.E., KAHLE, H.P., PEREZ, P., SPIECKER, H. Relationships between long-term trends of air temperature, precipitation, nitrogen nutrition and growth of coniferous stands in Central Europe and Finland. *Eur J Forest Res.* 2008, 127, 507-524.

NÁROVCOVÁ, J., NÁROVEC, V., ČERMÁK, M. Netvárnost borovice lesní v nejmladších kulturách. *Lesnická práce*. 2004, 83(8), 8-9.

NORBY, R. J., KOZLOWSKI, T. T. Response of *SO₂*-fumigated *Pinus resinosa* seedlings to postfumiigation temperature. *Canadian Journal of Botany*. 1981, 59(4), 470-475.

NOVÁK, J., DUŠEK, D., SLODIČÁK, M. Výchova porostů borovice lesní a poškození sněhem. *Zprávy lesnického výzkumu*. 2013, 58(2), 147-157.

POKORNÝ, R. Forests under Changed Climatic Conditions. *Životní prostředí*. 1999, 33(3), 130-134.

REMEŠ, J., BÍLEK, L., JAHODA, M. Vliv přípravy půdy a hnojení dřevěným popelem na růst sazenic borovice lesní. *Zprávy lesnického významu*. 2016, 61(3), 197-202.

RIDING, R. T., PERCY, K. E. Effects of SO₂ and other air pollutants on the morphology of epicuticular waxes on needles of *Pinus strobus* and *Pinus banksiana*. *New Phytologist*. 1985, 99, 555-563.

ROŽNOVSKÝ, J. Výskyty sucha na území ČR a změny klimatu. In: Knížek, Miloš, (ed.) Škodliví činitelé v lesích Česka ...: sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí : ... Praha: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, [199-]-. ISBN 978-80-7417-107-9.

SHAW, P. J. A., HOLLAND, M. R., DARRALL N. M., McLEOD, A. R. The occurrence of SO₂-related foliar symptoms on Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in an open-air forest fumigation experiment. *New Phytologist*. 1993, 123, 143-152.

STOLL, P., WEINER, J., SCHMID, B. Growth Variation in a Naturally Established Population of *Pinus Sylvestris*. *Ecology: Ecological Society of America*. 1994, 75, 660-670.

STURROCK, R. N., FRANKEL, S. J., BROWN, A. V., HENNON, P. E., KLIEJUNAS, J. T., LEWIS, K. J., WORRALL, J. J., WOODS, A. J. Climate change and forest diseases. *Plant Pathology*. 2011, 60, 133-149.

ŠINDELÁŘ, J. K otázce geneticky podmíněné proměnlivosti populace borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) na území ČSSR. *Lesnictví*. 1981, 27(5), 385-408.

TREML, V., KŘÍŽEK, M. Vliv borovice kleče (*Pinus mugo*) na strukturní půdy české části Vysokých Sudet. *Opere Corcontica*. 2006, 43, 45-56.

VICENTE-SERRANO, S. M., LASANTA, T., GRACIA, C. Aridification determines changes in forest growth in *Pinus halepensis* forests under semiarid Mediterranean climate conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2010, 150(4), 614-628.

VÍCHA, Z., LOCHMAN, V., BÍBA, M. Depozice dusíku v lesních porostech a jejich vliv na obsah nitrátů v odtékající vodě a na okyselování půdy. *Zprávy lesnického významu*. 2012, 57(4), 352-360.

8.3. Ostatní zdroje

Genetická charakterizace významných regionálních populací borovice lesní v České republice. In: ČÁP, J., FULÍN, M., NOVOTNÝ, P., CVRČKOVÁ, H., MÁCHOVÁ, P., TRČKOVÁ, O., POLÁKOVÁ, L., DOSTÁL, J., FRÝDL, J. Lesnický průvodce 19/2016 [online]. Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2016, s. 18-21 [cit. 2020-06-09]. ISBN 978-80-7417-132-1. ISSN 0862-7657. Dostupné z: https://www.vulhm.cz/files/uploads/2019/03/LP_19_2016.pdf

KANTOR, P., VRŠKA, T., DOBROVOLNÝ, L., NOVÁK, J. Pěstění lesů skripta – učební text [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/skripta/Pesteni_skripta.pdf

REMEŠ, J. Volba dřevin, tvorba směsí 2019-2020, Výchova hlavních dřevin 2019-2020 [přednášky]. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská. 2020.

REMEŠ, J., ULBRICHOVÁ, I., PODRÁZSKÝ, V. Dynamika a management lesních ekosystémů I.: Ekologie lesa (návody do cvičení). Praha, 1999. Návody do cvičení. Česká zemědělská univerzita v Praze.

SEQUENS, J. Dendrometrie [online]. Praha, 2007 [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: https://katedry.czu.cz/storage/3844_Souhrn_Dendrometrie.pdf. Skripta. Česká zemědělská univerzita v Praze.

Zpráva o stavu lesa a lesního hospodářství České republiky v roce 2018 [online]. In: Praha: Ministerstvo zemědělství, 2019, s. 111 [cit. 2020-03-31]. ISBN 978-80-7434-530-2. Dostupné z: http://www.uhul.cz/images/ke_stazeni/zelenazprava/ZZ_2018.pdf