

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**

**Excelentní tým pro mitigaci**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Přesná kvantifikace napadení smrku pichlavého (*Picea pungens*)  
vlivem kloubnatky smrkové (*Gemmamyces piceae*)**

**Bc. Miroslava Tomášová**

Vedoucí:

**Ing. Roman Modlinger, Ph.D.**

Konzultant:

Mgr. et Mgr. Ing. Daniel Baťa

**Praha 2020**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Miroslava Tomášová

Lesní inženýrství  
Lesní inženýrství

Název práce

**Přesná kvantifikace napadení smrku pichlavého (*Picea pungens*) vlivem kloubnatky smrkové (*Gemmamyces piceae*).**

Název anglicky

**Detailed quantification of the infestation level caused by bud blight (*Gemmamyces piceae*) on the blue spruce (*Picea pungens*).**

---

### Cíle práce

Cílem práce je přesné zjištění počtu napadených pupenů v koruně smrku pichlavého, při různé úrovni defoliace a porovnání distribuce napadení mezi vybranými jedinci.

### Metodika

Na výzkumné ploše se smrkem pichlavým v Krušných horách budou vybrány tři jedinci s různou úrovní napadení kloubnatkou smrkovou a defoliace (nenapadené: defoliace do 20 %, stupeň napadení 0 – 1; středně napadené: defoliace 30 – 40 %, stupeň napadení 2; silně napadené: defoliace 50 – 60 %, stupeň napadení 3 – 4). Napadení kloubnatkou bude hodnoceno podle stupnice PEŠKOVÁ et al. (2016) a defoliace podle standardů ICP-Forests (BOSSHARD 1986). Tyto stromy budou pokáceny a na všech větvích nacházejících se ve vnějším kuželu koruny viditelném z nadíru, bude zjištěn počet zdravých a napadených pupenů. Hodnocen bude vždy okrajový úsek větví o délce 50 cm. Zaznamenána bude rovněž délka a tloušťka větve, vzdálenost větve od vrcholu koruny a orientace větve vůči světovým stranám. Vyhodnocena bude distribuce napadení kloubnatkou smrkovou v korunách stromů s ohledem na stupeň napadení.

**Doporučený rozsah práce**

40 – 60 stran

**Klíčová slova**

kloubnatka smrková, smrk pichlavý, zdravotní stav, ochrana lesa, patogeny

---

**Doporučené zdroje informací**

BOSSHARD, W. (ed): Kronenbilder, mit Nadel- und Blattverlustprozenten. Birmensdorf, 1986, 98 S.

ČERNÝ, K.; PEŠKOVÁ, V.; SOUKUP, F.; HAVRDOVÁ, L.; STRNADOVÁ, V.; ZAHRADNÍK, D.; HRABĚTOVÁ, M.:  
Gemmamyces bud blight of *Picea pungens*: a sudden disease outbreak in Central Europe. Plant Pathology, British Society for Plant Pathology, 2016, 12 p.

PEŠKOVÁ V., MODLINGER, R., SOUKUP, F., RUČKOVÁ, J. Nárůst napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou v Krušných horách. Lesnická práce, 2016, vol. 95 no. 2, s 46-47.

SOUKUP, F.; PEŠKOVÁ, V. *Gemmamyces piceae* (Borthw.) Casagr. kloubnatka smrková. Lesní ochranná služba, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, Praha, 2009, 4 s.

ZÝKA, V.; ČERNÝ, K.; STRNADOVÁ, V.; HRABĚTOVÁ, M.; HAVRDOVÁ, L.; ROMPORTL, D. Predikce poškození porostů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou v Krušných horách. Mapa s odborným obsahem, VÚKOZ, v. v. i. Certifikováno Ministerstvem zemědělství ČR. VÚKOZ, v. v. i., Průhonice, 48 s

---

**Předběžný termín obhajoby**

2019/20 LS – FLD

**Vedoucí práce**

Ing. Roman Modlinger, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Excelentní tým pro mitigaci

**Konzultant**

Mgr. et Mgr. Ing. Daniel Baťa

---

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2020

**prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.**

Vedoucí ústavu

---

Elektronicky schváleno dne 3. 3. 2020

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 05. 03. 2020

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Přesná kvantifikace napadení smrku pichlavého (*Picea pungens*) vlivem kloubnatky smrkové (*Gemmamyces piceae*) vypracovala samostatně pod vedením Ing. Romana Modlingera, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 15.06. 2020

Miroslava Tomášová

## **Poděkování**

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu práce Ing. Romanovi Modlingerovi, Ph.D. za vstřícný přístup při vedení mé diplomové práce. Velké poděkování patří za pomoc při sběru dat Ing. Zdenku Roučovi, Danu Tyšerovi, Ing. Karoline Bjelkové a Ing. Michalovi Samkovi. V neposlední řadě bych chtěla poděkování mé sestře MVDr. Zuzaně Tomášové a Andree Lepiešové za morální podporu při psaní práce.

Miroslava Tomášová

## OBSAH

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>PROHLÁŠENÍ</b> .....                                                  | <b>4</b>  |
| <b>PODĚKOVÁNÍ</b> .....                                                  | <b>5</b>  |
| <b>ANOTACE</b> .....                                                     | <b>7</b>  |
| <b>ANNOTATION</b> .....                                                  | <b>8</b>  |
| <b>SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK</b> .....                                    | <b>9</b>  |
| <b>ÚVOD</b> .....                                                        | <b>10</b> |
| <b>1 CÍL PRÁCE</b> .....                                                 | <b>12</b> |
| <b>2 LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....                                         | <b>13</b> |
| 2.1 POROSTY NÁHRADNÍCH DŘEVIN V KRUŠNÝCH HORÁCH .....                    | 13        |
| 2.2 MORFOLOGIE, ROZŠÍŘENÍ A EKOLOGICKÉ NÁROKY SMRKU PICHLAVÉHO .....     | 18        |
| 2.3 ŠKODLIVÍ ČINITELÉ OVLIVŇUJÍCÍ ZDRAVOTNÍ STAV SMRKU PICHLAVÉHO.....   | 20        |
| 2.4 KLOUBNATKA SMRKOVÁ.....                                              | 22        |
| 2.4.1 <i>Systematické zařazení a morfologie kloubnatky smrkové</i> ..... | 25        |
| 2.4.2 <i>Biologie kloubnatky smrkové</i> .....                           | 27        |
| <b>3 METODIKA</b> .....                                                  | <b>28</b> |
| <b>4 VÝSLEDKY</b> .....                                                  | <b>31</b> |
| <b>DISKUSE</b> .....                                                     | <b>38</b> |
| <b>ZÁVĚR</b> .....                                                       | <b>41</b> |
| <b>5 LITERATURA</b> .....                                                | <b>42</b> |

## **Anotace**

Práce zahrnuje přehled bionomie houbového patogenu kloubnatky smrkové (*Gemmamyces piceae*) a ekologie smrku pichlavého (*Picea pungens*), včetně historie jeho lesnického využití v České republice. Kloubnatka smrková se během poslední dekády stala jedním z nejvýznamnějších škůdců smrku pichlavého, o čemž svědčí i její zásadní role při odumírání porostů této dřeviny v Krušných horách. Experiment se zaměřil na přesné zjištění počtu napadených pupenů v koruně smrku pichlavého, při různé úrovni defoliace a porovnání distribuce napadení mezi vybranými jedinci. Výzkumná plocha byla založena v Krušných horách na lesní správě Litvínov v blízkosti vodní nádrže Fláje. Na ploše byli vybráni tři jedinci smrku pichlavého s různou úrovní defoliace a napadení kloubnatkou smrkovou (nenapadené, středně napadené a silně napadené). Po jejich pokácení byly počítány pupeny na všech větvích viditelných z nadiru a zařazeny do kategorie zdravý, nově napadený, staré napadení a jiná příčina napadení. K statistickému vyhodnocení byl použit generalizovaný lineární model se smíšenými efekty. Celkem bylo spočteno 188 855 pupenů. Byly zjištěny významné rozdíly v počtu zdravých a napadených pupenů mezi stromy s různou úrovní defoliace. Jako významný faktor ovlivňující distribuci napadení v koruně stromu se ukázala zejména vzdálenost od vrcholu kmene. Výstupy této práce by měly posloužit hlavně jako podklad pro další výzkum pokročilé diagnostiky kloubnatky smrkové pomocí metod dálkového průzkumu Země (DPZ).

### **Klíčová slova:**

kloubnatka smrková, smrk pichlavý, zdravotní stav, ochrana lesa, patogeny

## **Annotation**

The thesis comprises an overview of the fungal pathogen *Gemmamyces piceae* and ecology of blue spruce (*Picea pungens*) including its brief history and practical use in forestry management in the Czech Republic. In the last decade, *Gemmamyces piceae* has become one of the most dominant pathogen of blue spruce which also demonstrate serious die back of blue spruce in Ore Mountains where *Gemmamyces piceae* plays crucial role. The experiment was focused on exact determination of the number of infested buds in the crown of blue spruce at different levels of defoliation and also comparison of the distribution of infestation among selected individuals. Research area was located in Ore Mountains in the forest district Litvinov near by the water reservoir Flaje. Three individuals of spruce with different stages of defoliation and infestation (uninfested, slightly and heavily infested) were selected in the area. After their felling, the buds on all branches visible from the nadir were counted and classify into category – healthy, newly infested, old infested and other cause of infestation. Statistical analysis was made by generalized linear mixed effects model. In total 188 855 buds were counted. Significant differences in the number of healthy and infested buds were found between trees with different levels of defoliation. The distance from the top of the trunk proved to be an important factor influencing the distribution of infestation in the tree crown. Outputs of this study may serve as a basis for more sophisticated research of *Gemmamyces piceae* using remote sensing methods in the future.

### **Key words:**

Gemmamyces bud blight, blue spruce, health condition, forest pest management, pathogen



## Seznam obrázků a tabulek

### Seznam obrázků:

Obr. č. 1: Napadený pupen kloubnatkou smrkovou

Obr. č. 2: Mapa České republiky a vyznačeným místem výzkumné plochy

Obr. č. 3: Vzorky větví, které již byly spočítány a označeny

Obr. č. 4: Zkoumaní zdravý strom

Obr. č. 5: Krabicový graf procenta pupenů

Obr. č. 6: Bodový graf distance pupenů od terminálu

Obr. č. 7: Krabicový graf orientace pupenů

### Seznam tabulek:

**Tab. 1:** Popisné statistiky zjištěného zdravotního stavu pupenů, podle hodnocených typů stromů.

**Tab. 2:** Výsledky analýzy rozptylu pro generalizovaný lineární model se smíšenými efekty (GLMM). Závisle proměnnou byl podíl pupenů na odebrané části větve.

**Tab. 3:** Porovnání úrovní faktorů pupen a strom pomocí kontrastů

## Úvod

Kloubnatka smrková (*Gemmamyces piceae*) je invazně se šířící patogen, který infikuje hlavně smrk pichlavý (*Picea pungens*) a způsobuje jeho odumírání. Negativní vliv této houby byl zaznamenán zejména v porostech náhradních dřevin Krušných hor, kde významně ovlivňuje jejich zdravotní stav (ZÝKA et al. 2018). Jednou z hlavních příčin závažnosti vzniklých škod byla především masivní výsadba rozsáhlých homogenních porostů smrku pichlavého, krátce po imisně-ekologické kalamitě v 80-tých letech minulého století (MODLINGER et al. 2019). Smrk pichlavý byl pro oblast imisní kalamity vybrán z důvodu předpokládané tolerance k znečištění ovzduší (BURIÁNEK 2004). Poškození vegetace důsledkem lidské činnosti je dlouhodobé a jeho písemné zmínky sahají až do 14. století. V průběhu druhé poloviny 20. století byl hlavním problémem oxid siřičitý který v zimním období doprovázel také fluorovodík. Přímé poškození lesních porostů bylo nepravidelné a to v návaznosti na inverzní a mrazové situace. Pokles tohoto výrazného znečištění můžeme datovat do roku 2005 a od této doby do současnosti je přímý vliv imisí na zdravotní stav lesních porostů minimální. Hrozbou pro lesy v Krušných horách ale zůstávají acidifikující depozice, které mají za následek nevyvážený poměr živin v půdách lesních porostů. Nicméně od roku 2005 můžeme považovat situaci s acidifikací půd za relativně stabilní (ŠRÁMEK et al. 2015). V roce 2007 byla v Krušných horách poprvé zaznamenán nový patogen smrku pichlavého – kloubnatka smrková, která způsobila významnější poškození až o dva roky později tedy v roce 2009 (SOUKUP & PEŠKOVÁ 2009). Od té doby se kloubnatka smrková značně rozšířila, takže se s ní můžeme setkat prakticky v celých Krušných horách (ZÝKA et al. 2018), ale velmi často i na okrasných stromech v intravilánech měst a obcí v celé České republice.

Diplomová práce je zaměřena zejména na přesnou kvantifikaci výskytu kloubnatky smrkové na smrku pichlavém. Znalosti o ekologii patogenu jsou velice důležité pro pochopení jeho nároků a tím i predispozice určitých jedinců či stanovišť. Další neméně významný důvod pro bližší studium tohoto patogenu je, že představuje hrozbu i pro náš autochtonní smrk ztepilý (*Picea abies*), na kterém se od roku 2015 začala rovněž masivně vyvíjet (PEŠKOVÁ et al. 2016). Považovala jsem za důležité poučit se o ekologii druhu právě z jeho výskytu na smrku pichlavém. Důležitou motivací pro mne byla i to, že získané výsledky budou dále

využity pro další sledování rozšíření kloubnatky smrkové pomocí metod dálkového průzkumu Země (DPZ).

## 1 Cíl práce

Cílem diplomové práce je přesné zjištění počtu napadených pupenů v koruně smrku pichlavého, při různé úrovni defoliace a porovnání distribuce napadení mezi vybranými jedinci. Pro realizaci diplomové práce byly na výzkumné ploše v Krušných horách vybrány tři jedince smrku pichlavého (*Picea pungens*) s různou úrovní defoliace a napadení kloubnatkou smrkovou. Vybrané stromy následně pokácet a přítomnost patogenu v rámci koruny kvantifikovat. Nedílnou součástí diplomové práce je vyhodnocení faktorů ovlivňujících distribuci kloubnatky na hodnocených jedincích smrku pichlavého.

## 2 Literární rešerše

### 2.1 Porosty náhradních dřevin v Krušných horách

Krušné hory patří mezi významné hornatiny České republiky, svědčí o tom i mapa Klaudia Ptolemaia ze 2. století n.l., která byla v zahraničí známa již v antice (DEMEK et al. 2006). Tyto hory dříve známe jako Rudohoří jsou téměř 130 km dlouhé a 40 km široké horské pásmo (DAVID et al. 2010). Svému dnešnímu pojmenování vděčí výrazu „krušení“, což je archaický výraz pro odlamování horniny, které bylo spojeno s dolováním rud v dané části střední Evropy (ŠTURSA 2007). Krušné hory se rozprostírají podél česko-německé hranice a dělí se na hornatinu Klínoveckou a Loučenskou. Svoji rozlohou zasahují do dvou krajů Ústeckého a Karlovarského (DAVID et al. 2010). Klínovecká část Krušných hor je relativně vyšší částí pohoří (PRŮŠA 1990). V dané části se nachází také nejvyšší vrch Klínovec s nadmořskou výškou 1 244 m (ŠTURSA 2007).

Krušné hory jsou klimaticky velice pestré a proměnlivé, zlomové oblasti směrem do českého vnitrozemí náleží do mírně teplé oblasti, náhorní plošiny patří do oblasti chladné. Průměrné roční teploty se pohybují v rozmezí od 2,7 do 6 °C, průměrný roční úhrn srážek se nachází v rozpětí 514 – 1 150 mm. Ze všech českých pohoří mají Krušné hory zřetelně nejméně srážek (VACEK 2003). Převažuje tady západní proudění vzduchu což má za následek výrazné ovlivnění klimatu sousedních oblastí jako jsou podkrušnohorské pánve a Žatecko, kde se vytváří takzvaný srážkový stín (DAVID et al. 2010). Vegetační doba je dlouhá 150 dnů v nejvyšších polohách jen ca 80 dnů. Exponované jižní svahy a silný vítr, který působí na relativně mělkou a plytkou půdu, vytváří rozsáhlé vysychavé lokality (VACEK 2003).

Geologická rozmanitost zájmového území je značná, zároveň se zde nachází bohatá ložiska nerostných surovin. Krušné hory jsou většinou tvořeny proterozoickými metamorfity (svory, ruly) a místy mladšími magmatity (žuly, čediče) (VRÁBLÍKOVÁ 2007). Krušné hory jsou rovněž bohaté na rašeliniště, které byly a jsou z velké části těžena (BALÁK 2004).

Výšková stupňovitost půd je v Krušných horách výrazná, zastoupeny jsou různé typy půd od podhorských až po typicky horské. V nejnižších polohách jsou to kambizemě, které přecházejí do kryptopodzolů a v nejvyšších polohách jsou to podzoly. Časté gleje a organozemě se vyskytují ve sníženinách náhorních plošin. Na mírných svazích ovlivněných vodou se nacházejí pseudogleje. Strmé svahy jsou zase pokryté rankery a litozeměmi, podél toků se vyskytují fluvizemě. Všeobecně se jedná o země písčitohlinité až hlinité, oligotrofní až mezotrofní. Ve velké míře jsou půdy degradované lidskou činností, což má za následek jejich vysokou kyselost (VACEK 2003).

Rostlinstvo v Krušných horách má charakter typické mezotrofní až uniformní oreofytní flóry středních a vyšších poloh. V důsledku imisního poškození nastaly změny ve složení výskytu četných druhů. Na rozsáhlých holinách převažovala hlavně vrbovka úzkolistá (*Epilobium angustifolium* L.). Znatelný je hlavně ústup borůvky (*Vaccinium myrtillus*) a značný výskyt třtiny chloupkaté (*Calamagrostis villosa*). Vliv na složení rostlinných společenstev mělo také vápnění a hnojení, uplatňované v značném rozsahu po řadu desetiletí. Právě díky těmto zásahům došlo v Krušných horách k šíření starčku Fuchsova (*Senecio ovatus*), maliníku (*Rubus idaeus*) a kostravy nejvyšší (*Festuca altissima*) (VACEK 2003).

Přírozená vegetace se vertikálně člení na květnaté bučiny, které se nacházely na úpatí svahů a bikové bučiny, které na ně navazovaly (VACEK 2003). Dnes tyto přírozené bučiny můžeme najít jenom ojediněle a to na prudkých svazích v údolí hor (BÁRTOVÁ et al. 1999). Acidofilní horské bučiny se táhly po hlavním hřebě Krušných hor a klimaxové smrčiny se nacházely pouze v okolí Klínovce. Náhorní plošiny, které byly ovlivněny vodou pokrývaly podmáčené smrčiny a přechodové rašeliny. Rozsáhlejší vodoteče lemují luhy a olšiny, suťové lesy jsou na prudkých svazích (VACEK 2003). V těchto horách se nacházejí také typicky vyvinutá vrchoviště, kde kromě druhů běžně se vyskytujících můžeme najít také borovici blatku (*Pinus rotundata*), břízu trpasličí (*Betula nana*), rojovník bahenní (*Ledum palustre*) a ostřice mokřadní (*Carex limosa*) (BÁRTOVÁ et al. 1999).

Stav lesů v Krušných horách začal člověk ovlivňovat ve 12. a 13. století a to hornickou činností. Bylo potřeba zvýšeného množství dřeva pro doly a hutě. Dalším problémem bylo povolení horníkům pást dobytek v lesích což ničilo

přirozené zmlazení. Od poloviny 16 století byli tyto činnosti přísně regulovány horními řády. To však nestačilo a v roce 1754 byl vydán patent „Lesní řád pro Čechy“, který nařídil povinnost zalesnit vykácené plochy. Teprve v roce 1780 přichází plánované lesní hospodaření a rozsáhlé holiny byly zalesněny. Dnes jsou hospodářské lesy na ploše 60,7 %, lesy ochranné 4,9 % a lesy zvláštního určení 34,4 % (VACEK 2003).

Ve 2. polovině 20. století zasáhla Krušný hory imisní kalamita, která nemá v Evropě obdoby. Po roce 1960 byli dosažené kalamitní rozměry, které vyvrcholili v rocích 1970 – 1985 (VRÁBLÍKOVÁ 2007). V daném období se pohybovalo množství nahodilých těžeb od 60 % do 90 % z celkových ročních těžeb. Zlepšování imisní situace nastalo po procesu odsiřování tepelných elektráren. Tyto změny měly to rychlý a pozitivní dopad na zdravotný stav zdejších lesních porostů, ten ale netrval dlouho. Konkrétně v letech 1995 a 1996 v zimním období došlo k inverzní situaci, která měla za následek nárůst koncentrace imisí. Důsledkem byl vznik poškození mladých smrkových porostů. Poslední epizoda akutního poškození imisemi je varováním do budoucna, že výskyt takovéto klimatické anomálie ve spojitosti s dalšími faktory může způsobit odumírání oslabených porostů (FRÝDL et al. 2011).

Na začátku osmdesátých let klesal počet exhalčních těžeb, což nebylo důsledkem zlepšené kvality ovzduší, ale proto, že většina hřebene Krušných hor již byla odtěžena. Výrazný pokles imisí oxidu siřičitého v dané oblasti byl v letech 1990 až 2000 a to až o 87 %. Od roku 1998 nebyla na žádné stanici naměřená kritická hodnota  $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  průměrné roční hodnoty, která může kriticky ovlivnit lesní ekosystémy a přirozenou vegetaci (ŠRÁMEK et al. 2015). Tento pokles mírně postupuje až do dnes a to také u oxidu dusíku. Emise amoniaku, které pocházejí především ze zemědělství se naopak drží na setrvalých hodnotách. Důležité je, že poškození Krušných hor nepochází jenom z jejich okolí, ale škodí jim také imise ze vzdálenějších částí Čech a zahraničí (ŠRÁMEK et al. 2015).

Měření oxidu siřičitého poukazují nato, že až na lokální naměřené zátěže, nejsou v oblasti západních Krušných hor lesní porosty vystavené přímým koncentracím imisí poškozujícím rostlinná pletiva. Jelikož hrozba akutního poškození vegetace v 90-tých letech postupně ustupovala, byly sníženy počty stanic imisního

monitoringu. Momentálně je v Krušných horách v provozu pouze jedna stanice a to ČHMÚ Přebuz (ŠRÁMEK et al. 2015). Situace v této části hor, kde vývoj v posledních desetiletích nebyl tak špatný jako ve východní části pohoří, vyvolává poněkud obavy, neboť zde dochází k žloutnutí jehlic v starších porostech, které je doprovázeno snížením růstu (LOMSKÝ et al. 2002).

Průběh imisního poškození ve východním Krušnohoří měl podobný charakter, ale byly zde naměřeny vyšší hodnoty škodlivých látek. Na rozdíl od západních Krušných hor se zde ještě stále předpokládá mírné až středně silné riziko výskytu nového poškození lesních porostů. K akutnímu poškození lesní porostů by však již dojít nemělo (ŠRÁMEK et al. 2015).

Troposférický ozón je v současní době považován za největší škodlivinu, která působí na lesní porosty a jeho koncentrace za posledních sto let několikanásobně vzrostla. Na rozdíl od jiných škodlivin není produkován přímo, ale fotochemickými reakcemi v atmosféře, za pomoci ultrafialového záření. Nejrizikovější ve střední Evropě jsou horské lesy, kde mohou být jeho hodnoty trvale zvýšené a v kombinaci s drsnějším klimatem dost nepříznivé. Působení ozonu škodí hlavně buňkám a to tím, že působí na buněčné stěny, membrány a vnitřní struktury buňky (ŠRÁMEK et al. 2015). V Krušných horách je riziková blízkost průmyslových oblastí, které mohou sloužit jako zdroj prekurzorů. Listnaté dřeviny v náhradních porostech jsou také nevýhodou, protože jsou citlivější než jehličnaté dřeviny. Mezi relativně citlivé patří bříza a z důvodu rozsáhlých březových porostů v dané lokalitě, je působením ozonu ohrožená řada lesních porostů. Viditelným symptomem poškození ozónem je skvrnitost listů, které ale příští rok regenerují a nevedou k nenávratnému poškození. Ozon však negativně působí na celkovou energetickou bilanci stromů. Kvůli pravidelnému měření koncentrace ozonu je prokázáno, že i když je koncentrace vysoká poslední roky hodnoty klesají (ŠRÁMEK et al. 2015).

Další roli v poškozování lesních ekosystémů hrají atmosférické depozice to znamená vstup látek se srážkami do půdy. Významné jsou hlavně depozice vodíkových iontů, dusíku a síry. Význam má také depozice těžkých kovů (olovo, kadmium). Po významném poklesu koncentrace siřičitanů jsou depozice antropogenních látek největší hrozbou pro Krušné hory (ŠRÁMEK et al. 2015).



Vápnění lesních porostů bylo prováděno z důvodu akutního žloutnutí jehlic u smrkových porostů. Žloutnutí jehlic obecně poukazuje na nedostatek bazických prvků a to především vápníku a hořčíku. Od roku 2000 bylo vápněno téměř 30 tisíc hektarů lesa vápnitým dolomitem s vysokým obsahem hořčíku ( $3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) (ŠRÁMEK et al. 2015).

Půdní prostředí je v Krušných horách jedním z limitujících faktorů pro standardní lesní hospodaření. Jedním z největších problémů je nedostatek bazických živin a nízká přístupnost fosforu a to hlavně v poměru k dusíku, který je relativně dobře zastoupený a do porostu se dostává ve formě atmosférických depozic. Nedostatek zmiňovaných živin je problémem hlavně v západní části Krušných hor v té východní lze ale očekávat zvýšený odběr živin z důvodu nárůstu biomasy na imisních holinách (ŠRÁMEK et al. 2015).

Specifika hospodaření v Krušných horách vycházejí zejména z imisního poškození, které postihlo hlavně jejich východní část. V průběhu imisní kalamity bylo vytěženo 40 000 ha lesa a z toho 35 000 ha tvoří porosty náhradních dřevin, které bude v budoucnu potřeba přeměnit. Smrkových exot bylo kolem roku 2000 ještě cca 8 000 ha a silně poškozených březových porostů je 13 000 ha. Při zavádění cílových dřevin je doporučeno dle podmínek stanoviště podsadby, prosadby nebo vkládání maloplošných skupinových či pruhových prvků (VACEK 2003).

Vznik porostů náhradních dřevin datujeme do 70. až 80. let, a to v oblastech Krušných hor, které zasáhla imisní kalamita. Porosty, které zasáhla tato kalamita byli převážně smrkové monokultury a nebylo možné je nahradit adekvátními cílovými dřevinami. Za tím vším musíme hledat hlavně potřebu zachování základních ekologických funkcí lesa jako je půdoochranná funkce a vodohospodářská. Samozřejmě tyto porosty nebyly tak stabilní a nemohly nahradit všechny produkční a mimoprodukční funkce lesa, které plní právě pěstování cílových dřevin. Pro tyto důvody bylo cílem pěstovat dřeviny s ohledem na původní skladbu a na aktuální podmínky pro růst (SLODIČÁK et al. 2008). Zakládání porostů náhradních dřevin mělo tedy hlavně funkci přípravnou a měly vytvořit příznivé podmínky právě pro cílové dřeviny. Samotná přeměna těchto porostů je však složitá, a to z několika důvodů – jejich rozloha, věková

nerovnováha, nestejná kvalita a samozřejmě špatná ekologická rovnováha samotných Krušných hor (SLODIČÁK et al. 2008).

Porosty náhradních dřevin tvoří hlavně dřeviny jako je bříza, jeřáb, smrk pichlavý, modřín, olše zelená a další. Vysazeny byly také některé borové exoty například borovice pokroucená. Jak vyplývá z předcházejícího výčtu, byly zde dřeviny, které jsou domácí, ale se strategií pionýrského růstu, ale také introdukované dřeviny. Zastoupení bylo hlavně u neopadavých jehličnanů, kde se očekávalo, že nahradí alespoň z části produkční funkce. U listnatých dřevin mělo jít o zlepšení půdních poměrů a rychlé zalesnění volných ploch (SLODIČÁK et al. 2008).

## 2.2 Morfologie, rozšíření a ekologické nároky smrku pichlavého

Smrk pichlavý je pomalu rostoucí dřevina, střední velikosti konkrétně dorůstá do výšky 21-27 (-38) m o výčetní tloušťce 0,6 (-1,54) m (MUSIL & HAMERNÍK 2007). Habitus je pravidelného kuželovitého tvaru se žlutohnědými větvemi (KLIKA et al. 1953). Kmen má šedohnědou barvu a brázditou borku, na které jsou přeslenovitě uspořádané silné větve (VĚTVIČKA 2017). Letorosty jsou relativně tlusté s výraznými výstupky na kterých jsou poměrně dlouhé a ostře pichlavé jehlice pokryté vrstvičkou vosku (MUSIL & HAMERNÍK 2007). Toto bodavé jehličí by mohlo vyvolat domněnku, že dřevina bude odolná vůči okusu zvěří, což ale pravda není (PILÁT 1964), BURIÁNEK et al. (2004) tvrzení vyvrací a odolnost vůči okusu potvrzuje. Letorosty mají žlutohnědou až oranžovou barvu, pupeny jsou bez pryskyřice a barvu mají taky žlutohnědou s volně přitisklými šupinami (KOBLIŽEK 2006).

Kořenový systém smrku pichlavého je poměrně dost mělký a to hlavně z důvodu jeho přizpůsobení na stanoviště s vlhkou půdou. Fakt, že má takovýto kořenový systém by mohl vzbudit dojem častých vývrátů co ale není pravda a právě naopak tato dřevina vývraty netrpí. Smrk pichlavý odkvétá mezi květnem a červnem. Samčí šištice jsou červenavé eventuálně i žlutozelené a samičí mají zpočátku bledě zelenou barvu až do doby než semenné šupiny dozráním zčervenají (MUSIL & HAMERNÍK 2007). Po odkvětu se do čtyřech týdnů šištice skloní dolů a

šišky dorostou do plné velikosti. Šišky jsou měkké s tenkými semennými šupinami světle hnědé barvy. Dozrávají v srpnu a semeno vypadává v dubnu až květnu prvního roku. Semeno spadlé na zem klíčí okamžitě bez stratifikace. Strom plodí každé 2-3 roky po dosažení 20 let a jeho vrchol plodnosti je v rozmezí od 50-150 let (MUSIL & HAMERNÍK 2007).

Smrk pichlavý je druh dřeviny rostoucí původně v Severní Americe na jižních Skalisticích horách (KLIKA et al. 1953). Výskyt je převážně v nadmořských výškách mezi 1800 a 3300 m n.m., obvykle podél horských potoků nebo na vlhkých svazích orientovaných na sever. Tento druh roste v malých rozptýlených hájích, zejména v blízkosti toků ve smíšení s *Pinus contorta*, *P. ponderosa*, *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* nebo *Populus tremuloides*. Je to téměř všude neobvyklá složka subalpínského lesa, někdy se vyskytuje i mimo ní podél potoků mezi vyprahlejšími svahy pokrytými pelyňky (*Seriphidium tridentatum*) (FARJON & FILER 2013). Kromě náročnosti na vodu je relativně náročný na světlo kdy u bočního zastínění v kultuře způsobuje zasychání větví. Z výše uvedeného vyplývá, že smrku pichlavému vyhovuje hlavně vlhké a chladné klima (MUSIL & HAMERNÍK 2007), dle GREGOROVÉ et al. 2006 je schopny odolat i mrazu a snese až -40 °C. Výhodou této dřeviny je přizpůsobivost růstu jak v suché tak vlhké půdě. Odolnost vůči znečištěnému ovzduší není tak velká, což potvrzuje jeho masová výsadba v Krušných horách, kde se tato vlastnost nepotvrdila (VĚTVIČKA 2017).

V roce 1862 se smrk pichlavý začal pěstovat v Evropě a na území České republiky byla jeho první introdukce doložena v roce 1910 a to konkrétně v Krušných horách (Jezeří). Důvod proč byl poprvé vysazován právě tady je jeho očekávaná odolnost vůči imisně poškozenému ovzduší, což později přispělo k jeho využití na založení porostů takzvaných náhradních dřevin (BURIÁNEK et al. 2004). KLIKA (1931) doporučuje jeho výsadbu v lesních porostech, kde se nedaří našemu smrku ztepilému a kvůli jeho odolnosti vůči kouřovým plynům také v městských parcích.

Dřevo ze smrku pichlavého, ale není významnou surovinou pro dřevozpracující průmysl a to z důvodu křehkosti a sukovitosti. Zpracovává se tedy hlavně jako vláknina nebo řezivo. Hlavní využití dřeviny je v okrasném sadovnictví jako již

bylo zmíněno. Velkou oblibu má pro jeho estetický vzhled využití jako vánoční stromek (MUSIL & HAMERNÍK 2007).

### 2.3 Škodliví činitelé ovlivňující zdravotní stav smrku pichlavého

V porostech náhradních dřevin Krušných hor jsou ty se smrkem pichlavým velice významně poškozeny (ŠRÁMEK et al. 2015). Introdukované smrky v těchto oblastech jsou z 97 % smrky pichlavé pocházející ze severní Ameriky. Výsadby tohoto smrku byly hlavně ve východních částech Krušných hor a to od počátku šedesátých let (SLODIČÁK et al. 2008). Zpočátku tvořily plochu téměř 9 tisíc hektarů časem se rozloha porostů výrazně snížila a v roce 2015 tvořily zhruba 6 609 ha (ŠRÁMEK et al. 2015). Ze začátku bylo jeho pěstování hodnoceno velice kladně (dobrý zdravotní stav, nízká mortalita, růstový stav byl průměrný), dokonce i na plochách, které byly imisemi vysoce poškozeny. Vitalita se mu dokonce zvyšovala pomocí vápněním nebo případným hnojením. Jedna z příčin chřadnutí těchto porostů bylo odstranění humusových vrstev při připravování půd a její odstraňování do valů. Tento počín výrazně zhoršil obsah živin v půdách (SLODIČÁK et al. 2008).

Dřevinu poškozují hlavně biotičtí činitelé z toho nejvíce houbové patogeny, co se týče abiotických faktorů ty nejsou tak významné. Zahrnují je především zlomy v horní části koruny anebo pozdní mrazy. Vlivem rozvolněných ploch po rekonstrukcích porostů se zvyšuje také počet vývrátů. Když pomíneme nevhodnou výsadbu na rašelinných stanovištích, je primární defoliace velmi nízká.

Škody biotického původu jsou u tohoto smrku z pohledu druhů škůdců relativně nízké. Výskyt hmyzu, který způsobuje škody na listech je v tomto případě bezvýznamný, zjištěné bylo poškození letorostů obalečem konkrétně *Zeiraphera ratzeburgiana* (ŠRÁMEK et al. 2015). Z řádu motýlů může také škodit nepůvodní druh makadlovka *Coleotechnites piceaella*, která má významnější škody spíše v městské zeleni (ZÚBRIK & KUNCA 2011). Důležitý je také sekundární výskyt lýkožroutů z důvodů napadení po infekci houbovým patogenem, které pak může způsobit až odumření jedince. Ze zmíněných lýkožroutů je to hlavně lýkožrout lesklý (*Pityogenes chalcographus*) a na některých místech se může vyskytovat

lykohub smrkový (*Denroctonus micans*), u kterého byl zaznamenán nárůst zřejmě z důvodu narůstajících území s chřadnoucími dřevinami. Lykožrout smrkový (*Ips typographus*) byl zaznamenán jenom s velmi nízkými počty. Na odumřelých stromech byl ve velkých počtech zjištěn *P. chalcographu*, který ale nezpůsobil následné napadení okolního smrku ztepilého. Kromě těchto škůdců se vyskytují také lykožrout obecný (*Pityophthorus pityographus*), lýkožrout mnohozubý (*Orthotomicus laricis*), lýkožrout menší (*Ips amitinus*), lýkohub obecný (*Hylurgops palliatus*), zástupci korohlodů rodu *Cryphalus* a skrytohlodů rodu *Crypturgus*, z nosatcovitých brouků smoláci rodu *Pissodes*. Tyto vyjmenované druhy se také řadí mezi sekundárních škůdců ale významově dané dřevině nezpůsobují škody (LIŠKA et al. 2015). Zmiňovaný druh *I. amitinus* dle KULY et al. (2013) napadá spíše kmeny zastíněné, ale vývoj probíhá lépe na osvětlených částech, pokles populace byl zaznamenán s nárůstem objemu stromů. Výskyt savého hmyzu byl zjištěn jenom občas a to kolonie mšice smrkové (*Elatobium abietinum*) u ní bylo na jaře v roce 2015 zaznamenáno masívní přemnožení v podhůří Krušných hor. Na některých lokalitách byly zaznamenány nepatrné příznaky svilušky smrkové (*Oligonychus ununguis*). Hojný je aj výskyt kambioxylofágů jako sekundárních škůdců a to hlavně *P. chalcographus* a *D. micans*.

Nejvýznamnějším biologickým škůdcem z houbových patogenů je kloubnatka smrková (*Gemmamyces piceae*), která rapidně ovlivnila zdravotný stav porostů smrku pichlavého. Detailní průzkum centrálních a východních Krušných hor v roce 2015 prokázal, že intenzita jejího napadení vzrostla a dokazuje to fakt, že u sledovaných jedinců bylo napadeno 90 % až 60 % pupenů. Ne všude je její výskyt tak silný, a na některých plochách jsou jedinci s nízkým výskytem, to znamená, že napadení pupenů je do 30 %. Přítomnost tohoto patogenu, je ale celoplošná a také narůstá jeho infekční tlak na porosty této dřeviny. Výskyt kloubnatky smrkové u smrku pichlavého je hlavně ve spodních partiích jedince, u smrku ztepilého naopak napadá horní části koruny (LIŠKA et al. 2015). Kromě kloubnatky se na smrku pichlavém vyskytuje také sypavka smrková (*Lophodermium piceae*) a houba (*Sirococcus conigenus*) (LIŠKA et al. 2015). Konkrétně u *S. conigenus* může nastat odumírání semenáčků, rakoviny kmínků, větví anebo zasychání letorostů, to je možné pozorovat také u dospělých stromů. Během léta vytváří

tmavohnědé plodnice s pyknidy na odumřelých výhonech nebo na suchých jehlicích. Konidie jsou dvoubuněčné a uvolňují se za vlhkého počasí. Po napadení patogenem *L. piceae* jsou první příznaky skvrny na jehlicích s proužky červenofialové až červenohnědé barvy. Po napadení zůstávají jehlice nějakou dobu na stromě, po jejich opadnutí dokončí svůj vývoj na zemi, kde se na nich objeví černé příčné linie. Nakonec se vytvoří pyknidy a vřeckaté plodnice (PEŠKOVÁ & MODLINGER 2015). Vliv těchto dvou hub způsobuje pokroucení a následné odumření výhonů co ale není tak významné poškození jako u napadení *G. piceae*. Ale v případě kdy dojde k napadení v kombinaci nepříznivých vlivů jako je počasí a nevhodné stanoviště, může být zdravotní stav jedince ohrožen (LIŠKA et al. 2015).

Sucho jako abiotický škodlivý činitel, pozitivně působí na nárůst škodlivého vlivu václavky smrkové (*Armillaria ostoyae*). Tento druh patogenu nenapadá jenom smrky infikované kloubnatkou jeho poškození se může projevit také u jedinců s velmi málo pozorovatelnou poruchou zdravotního stavu. Úmrtnost jedinců na které se podílela václavka smrková lze odhadnout na třetinu z celkových počtů odumřelých smrků pichlavých (LIŠKA et al. 2015).

Biotické poškození u porostů smrku pichlavého lze považovat za nejvýznamnější aspekt odumírání jedinců. Silně zasažené porosty mají míru sekundární defoliace u mnoha jedinců až 70 – 80. Strom, který byl takto vysoce napaden zpravidla po několika letech odumře.

Z výše uvedeného vyplývá, že porosty smrku pichlavého jsou plošně poškozovány kloubnatkou smrkovou, která od počátku tohoto desetiletí působí intenzivním infekčním tlakem. Tyto důvody vedly následně k plošnému vytěžení napadených jedinců nebo k silnému proředění porostů. V souvislosti z těžbou poškozených stromů a vznikem pasek dochází na založených výsadbách k poškození klikorohem borovým (*Hylobius abietis*). Příležitost pro vývoj larev tohoto brouka byly hlavně pařezy z vytěžených stromů (LIŠKA et al. 2015).

## 2.4 Kloubnatka smrková

Na smrku pichlavém byl daný patogen poprvé popsán ve Skotsku v roce 1906 a to pod názvem *Cucurbitaria piceae* Borthw. Charakteristickým symptomem

napadení bylo poškození pupenů a jejich následné usychání. V Rusku popsali jeho nepohlavní stadium pod názvem *Megaloseptoria mirabilis* Naumov. Taxonomické zařazení bylo řešeno multigenovou sekvenční analýzou a ta poukázala na to, že patogen nepatří do čeledě *Cucurbitariaceae* a byl zařazen do čeledi *Melanommataceae* pod názvem *Gemmamyces piceae* Borthw (ČERNÝ et al. 2016).

Patogen se na území evropských států objevil v Anglii, České republice, Dánsku, Finsku, Itálii, Irsku, Německu, Rakousku, Rusku (Novgorod, Petrohrad), Slovinsku, Švédsku, Švýcarsku a Walesu. Výskyt převážně v severní a západní části Evropy poukazuje na teplotní nároky houby. Mimo Evropu byl výskyt zjištěn také v Číně a doloženy jsou i výskyty na Aljašce. Jak již bylo zmíněno je organizmus výrazně chladnomilný (minimum růstu při 0 °C, optimum při 13–18 °C, max. při 25 °C) (ČERNÝ et al. 2016).

Česká republika má první zaznamenaný výskyt kloubnatky v okrasných výsadbách u loveckého zámečku Kladská v roce 1909. Po roce 2000 evidujeme větší množství nových lokalit a ty nejsilnější byly spojeny s plošnou výsadbou *P. pungens* v Krušných horách (ZÝKA et al. 2018). Současný stav napadených porostů smrku pichlavého v Krušných horách kloubnatkou lze považovat za velice silný zničené a v praxi poukazuje na potřebu účelně poškozené porosty rekonstruovat (PEŠKOVÁ et al. 2016). Během aktuálního výzkumu bylo také zjištěno několik rezistentních genotypů smrku pichlavého, ale další pěstování a šlechtění porostů smrku pichlavého pravděpodobně nemá v dané oblasti smysl (ČERNÝ et al. 2016).

Od roku 2009 probíhá monitoring šíření této houby, do roku 2013 bylo zjištěno kromě napadení smrku pichlavého, který vykazoval poškození i ze 75 %, výskyt na smrku ztepilém byl jenom na pár jedincích který měli infikované pupeny jednotlivě. Na LS Litvínov byl ale po roce 2014 zaznamenán nárůst v poškození smrku ztepilého. Patogen byl na LS Klášterec zjištěn také na smrku sivém (*Picea glauca*) a smrku omorika (*Picea omorica*) jednalo se jenom o jednotlivě napadené pupeny (PEŠKOVÁ et al. 2016).

Kloubnatka smrková upřednostňuje při napadení hlavně porosty ve středním věku a to v horských lokalitách (PEŠKOVÁ & ČÍŽKOVÁ 2015). Přítomnost tohoto

patogenu na hostiteli není bezprostředně ohrožující, jestliže je počet napadených a odumřelých pupenů nízký, tak růst stromu nebývá významně ohrožen. Když se ale napadení rozšíří na  $\frac{3}{4}$  celkového počtu pupenů, a tento tlak infekce trvá několik let po sobě nebo jsou infikovány všechny pupeny, je stav kritický. Takový průběh má za následek rašení tzv. „spících“ pupenů a i ty jsou však časem napadeny a usychají. Strom následně přestává rašit a neobnovuje svůj asimilační aparát což vede k jeho odumření. Na lokalitách s vysokou vzdušnou vlhkostí má odumírání zrychlený trend z důvodu výskytu houby *S. conigenus* a *L. piceae*. Šetření v napadených porostech smrku pichlavého v roce 2014 vykazovalo poměrné zlepšení, a to hlavně kvůli příznivému počasí během vegetační doby, stromy tehdy působili lepším zdravotním dojmem, nelze však předpokládat, že dojde k samovolnému ozdravení porostů smrku pichlavého (PEŠKOVÁ & MODLINGER 2015).

Obrana vůči kloubnatce smrkové je odlišná podle toho, kde napadený jedinec roste (lesní školka, výsadby vánočních stromků, kultury, mlaziny nebo porosty starších věkových skupin) (SOUKUP & PEŠKOVÁ 2009). V případě napadení ve školce je boj s houbou docela jednoduchý a úspěšný, a to hlavně likvidací infikovaného sadebního materiálu (větvky s odumřelými pupeny), při silném infekčním tlaku, je potřeba preventivních fungicidních ošetření (MODLINGER et al. 2019). Aplikaci fungicidního postřiku, je třeba uskutečnit ještě před rašením, a to v intervalu 14 dní, opakujeme jej 2 až 4 krát (PEŠKOVÁ & ČÍŽKOVÁ 2015). Dle ZÝKY et al. (2018) je možné využít kontaktní fungicid na bázi síry v průběhu léta což je doba šíření spor. Účinnost fungicidních přípravků, ale nebyla zatím testována. V lesních porostech, ve kterých je již rozšíření houby *G. piceae* intenzivní, lze doporučit pouze odstraňování silně infikovaných jedinců. Tímto postupem snížíme infekční tlak houby na ještě nenapadené a zdravé stromy v porostech. Termín v kterém je nejvhodnější napadené jedince z porostů odstraňovat spadá do začátku vegetační doby, konkrétně do konce března. Důvod tohoto termínu je počátek sporulace houby a po které dochází k následné infekci čerstvě narašených pupenů (PEŠKOVÁ & MODLINGER 2015).





Obr. č. 1: Napadený pupen kloubnatkou smrkovou (foto: R. Modlinger)

#### 2.4.1 Systematické zařazení a morfologie kloubnatky smrkové

Podle PEŠKOVÉ & ČÍŽKOVÉ (2015) zařazujeme kloubnatku do vřeckovýtrusných hub (*Ascomycota*), třídy *Dothideomycetes*, řádu zdřovkotvarých (*Pleosporales*) a čeledi kloubnatkovitých (*Cucurbitariaceae*). KLÁN (1989) popisuje oddělení *Ascomycota* jako houby, kde je společným znakem vřecko (*ascus*) a uvnitř tohoto vřecka jsou umístěné askospory. Vegetativní stélka je podle KALINY & VÁNI (2005) tvořena přehrádkovaným myceliem (vláknité hyfy). V takovém případě je hyfa rozdělena na vícejaderné, dvoujaderné nebo jednojaderné úseky. Bičíkaté stádia u těchto hub chybí a dikaryotická fáze je většinou přítomna, to znamená, že je časově i prostorově oddálena plazmogamie i karyogamie (KALINA & VÁNA 2005). Většinou jsou u vřeckovýtrusných hub zvláště tvořeny samičí pohlavní orgány tedy askogonia a samčí pohlavní orgány – antheridia (KLÁN 1989). Ve vřečkách se tvoří endogenně meiospory (KALINA & VÁNA 2005), které vznikly meiózou tedy redukčním dělením (KLÁN 1989).

Charakteristikou třídy *Dothideomycetes* jsou plodnice s askolokulárním vývojem a obecně nazývaná askostroma. Vřecka jsou bitunikátní či fisitunikátní, spory má tato třída většinou vícebuněčné a někdy zdřovitě mnohobuněčné (KALINA & VÁŇA 2005).

Řád *Pleosporales* má askostromata většinou s jednou dutinou a mycélium tmavé barvy. Konidie jsou přítomny jednobuněčné nebo vícebuněčné, a můžou být tmavě zbarvené nebo bez barvy a vznikají na tmavých konidioforech. Oplození probíhá cestou gametangiogamie, spermatizace nebo somatogamie. Askostroma tedy plodnice je reprezentovaná dutinou nebo dutinami a ty se vytvořily ve stromatu a postupně vyplnily vřeckami a pseudoparafýzami, které vrostly do dutin. U plodnice většinou chybí diferencovaná stěna a má tvar typického pseudoperithecia, to znamená hruškovitého nebo kulovitého tvaru, mohou však mít také modifikované tvary (hysterothecia, myriothechia, thyriothechia) (KALINA & VÁŇA 2005).

U jedinců napadených kloubnatkou smrkovou je průběh infekce velmi specifický a tak si ji s jiným patogenem pravděpodobně nespleteme. Pupeny které kloubnatka smrková infikuje začínají nejprve natékat, zduří se a také se můžou spirálovitě skroutit. Když se infekce opakuje může na terminálních pupenech vznikat na nově vyrašených výhonech deformace, která připomíná tzv. „vykloubení“. Zjara jsou napadené pupeny pokryté černou tuhou krustou (bazálním stromatem houby), z níž čteně vyrůstají drobné šedočerně hnědé až černě zbarvené kulovité plodnice (průměr do 1 mm), které mohou pokrývat klidně i celý pupen. Tyto plodnice jsou dobře viditelné pouhým okem případně slabou lupou (SOUKUP & PEŠKOVÁ 2009).

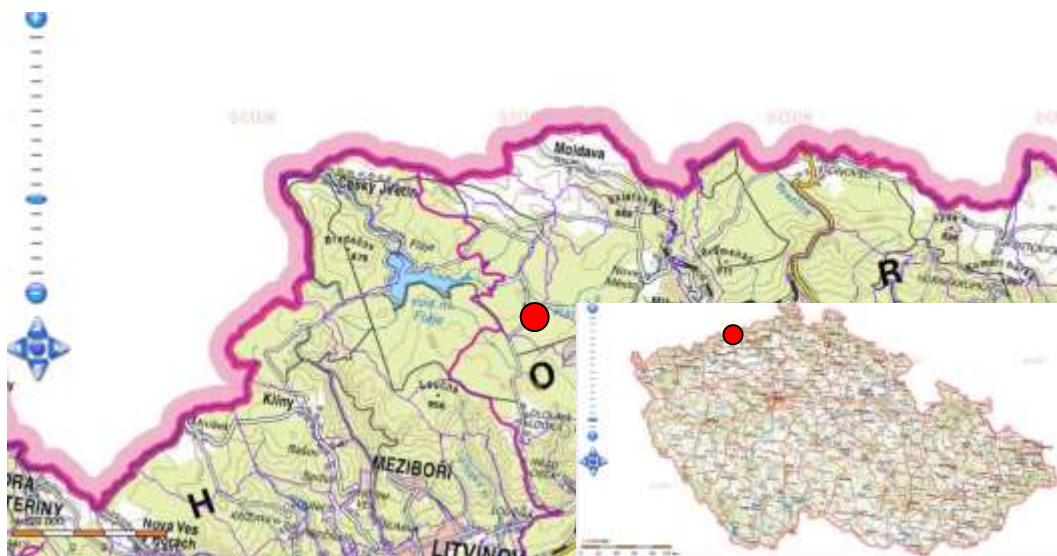
Podobně mohou odumírat pupeny při poškození abiotickými faktory. Tyto pupeny rovněž na jaře nevyraší a po čase změní barvu na hnědou a následně nato zaschnou. Toto poškození má za nejčastější příčinu časný mráz s tím se však nejčastěji setkáváme v lesních školkách nebo plantážích vánočních stromků. Rozdíl s napadením *G. piceae* je tedy v tom, že taktoe poškozené pupeny nikdy nezčernají (SOUKUP & PEŠKOVÁ 2009).

## 2.4.2 Biologie kloubnatky smrkové

K infekci kloubnatkou smrkovou dochází v průběhu vegetačního období a to od konce jara, kdy se začíná tvořit již zmíněná černá krusta. Na napadených pupenech se nejprve tvoří plodnice konidiového stádia – povrchové pyknidy, přisedlé, nespojitě, v trsech, lysé, tmavě hnědé až šedočerné, víceméně kulovité, o velikosti kolem 500  $\mu\text{m}$  v průměru, s kruhovitým otvorem o průměru 40–60  $\mu\text{m}$ . Stěna těchto pyknid je tvořena z více stěn, které jsou tenkostěnné v počtu od 8 do 12, a jejich barva je hnědá. Konidie jsou vláknité a mnohobuněčné, rozměr je (150–) 220–320 x 5–8  $\mu\text{m}$ . Tvarově jsou na konci zaokrouhlené a na bázi zkosené, barvu nemají. Vyrůstají z palisádovitě uspořádaných konidioforů a to jednotlivě (SOUKUP & PEŠKOVÁ 2009). *M. mirabilis* má extrémně dlouhé konidie, které ve zralosti zaplňují prakticky celou pyknidu. Poté vyrůstají plodnice pohlavního stadia Perithecia, tyto teleomorfy mají podobné rozměry jako pyknidy. Barevně jsou tmavší až do černohnědé, tvarově kulovitá jsou přisedlá nebo na kratším stonku. Když dozrají mají otvor s průměrem 30–50  $\mu\text{m}$  a stěna je o něco silnější než u pyknid a to z důvodu tlustostěnných buněk na povrchu. Vřečka jsou dvojitěnná, kuželovitá s rozměry 180–250 x 25–30  $\mu\text{m}$  obsahující 8 askospor. Tyto spory jsou protáhlé kuželovité až vřetenovité mají 5 až 8 přepážek a jednu podélnou přepážku až na koncové buňce (SOUKUP & PEŠKOVÁ 2009). Velikost těchto výtrusů je v rozmezí 35–50 x 12–15  $\mu\text{m}$ , barvu mají tmavě hnědou. V peritheciu najdeme také přítomné početné množství pseudoparafýz. Na odumřelých pupenech můžeme po dobu trvání celé vegetační doby najít plodnice s pyknidami i peritheciemi, které přetrvávají na pupenech i další rok. Plodnice jsou však sterilní a mají zašedlou barvu nebo jsou porostlé epifytickými řasami. Konidie najdeme prakticky po dobu celé vegetační doby a askospory se vyskytují na konci léta a na podzim. Oba typy výtrusy mohou infikovat výhony s nově rašícími pupeny (SOUKUP & PEŠKOVÁ 2009).

### 3 Metodika

Výzkumná plocha na které probíhal experiment se nachází na území lesní správy Litvínov nedaleko vodní nádrže Fláje v Krušných horách. Hlavní část sběru dat se konala v roce 2019 konkrétně v měsíci červenci.



Obr. č. 2: Mapa České republiky a vyznačeným místem výzkumné plochy (zdroj: ČÚZK)



Obr. č. 3: Vzorky větví, které již byly spočítány a označeny (foto: R. Modlinger)



Při započetí výzkumu bylo důležité vybrat tři vhodné jedince napadené kloubnatkou a to zdravý, chřadnoucí a odumírající strom („zdravý“: defoliace do 20%, stupeň napadení 0 – 1; „chřadnoucí“: defoliace 30 – 40%, stupeň napadení 2; „odumírající“: defoliace 50 – 60%, stupeň napadení 3 – 4). Pro toto hodnocení jedinců jsme použili klasifikaci pro jednotlivé stupně napadení kloubnatkou smrkovou dle PEŠKOVÉ et al. (2016), která má následující charakteristiky: 0 – Bez napadených pupenů; 1 – Napadeny jednotlivé pupeny nebo max. jednotlivé větve; 2 – Napadení více větví, max. do 1/3 koruny; 3 – Napadení více jak 1/3 koruny do max. 2/3 koruny; 4 – Strom napaden z více než 2/3, proředění korun vlivem opakovaného víceletého napadení pupenů kloubnatkou smrkovou. Úrovně defoliace byly hodnoceny podle standardů ICP-Forests (BOSSHARD 1986).



Obr. č. 4: Zkoumaní zdravý strom (foto: R. Modlinger)

Takto vybraní jedinci byli následně pokáceni a na všech větvích nacházejících se ve vnějším kuželu koruny viditelném z nadiru byly odebrány vzorky větví.

Na každém stromu byly ještě před pokácením vyznačeny hlavní světové strany. Odběr vzorků následně probíhal od vrcholu do vzdálenosti kolem 10 m, kde končila viditelnost horního kužele koruny z nadiru. Při odběru větve byla zaznamenána vzdálenost od vrcholu stromu a orientace k světové straně. Dále byla zjištěna délka větve a změřen průměr větve v místě spojení s kmene (s vynecháním náběhu větve). Z každé větve byl pak odebrán různý počet (1.-11.) koncových úseků letorostů o délce 50 cm. Na nich byl zjištěn počet zdravých pupenů, kloubnatkou nově napadených pupenů, starých pupenů odumřelých vlivem kloubnatky a dále počet pupenů odumřelých z jiných příčin.

K statistickému vyhodnocení byl použit generalizovaný lineární model se smíšenými efekty. Jelikož data nabývala četnostního charakteru bylo použito Poissonovy distribuční funkce. Vzhledem k odběru dat ze stejného stromu a větve byla příslušnost k těmto dvěma faktorům zadána jako nested proměnná (PEKÁR & BRABEC, 2009). Statistické vyhodnocení bylo provedeno v programu R (R CORE TEAM 2018). Pro kombinaci poissonovské distribuční funkce a nested designu bylo potřeba použít balíčku *nlme* (PINHEIRO et al., 2020), s funkcí *lme4*, která neobsahuje stanovení p-value. Testování významnosti proměnných pak proběhlo postupem dle ACKERMAN (2018). Významnost jednotlivých faktorů byla stanovena na obvyklých hladinách významnosti  $\alpha < 0,05$  \*;  $\alpha < 0,01$  \*\*;  $\alpha < 0,001$  \*\*\*.

## 4 Výsledky

Během hodnocení zdravotního stavu vybraných jedinců smrku pichlavého bylo celkem revidováno 188 855 pupenů. Strom chřadnoucí a zdravý, měl celkový počet pupenů na hodnocených úsecích podobný (cca 52 000, Tab. 1), odumírající strom vykazoval výrazně nižší hodnotu cca 15 000 pupenů. Počet odebraných vzorků větví nebyl na hodnocených stromech stejný, nejvíce bylo odebráno na chřadnoucím stromě naopak nejméně na stromě odumírajícím (Tab. 1). Průměrný počet pupenů na odebraném vzorku lépe ukazuje rozdíly mezi jednotlivými stromy (odumírající 131, chřadnoucí 179, zdravý 217), variabilita mezi vzorky byla výrazně vyšší u stromů méně poškozených (směrodatná odchylka viz Tab. 1). Nejvyšší počet nepoškozených pupenů byl zaznamenán u zdravého jedince a nejméně u stromu odumírajícího, rozdíl v počtu zdravých pupenů mezi těmito dvěma stromy byl markantní cca 30 000 (Tab. 1). Pupy napadené v předchozím období byly stejně četné u stromu odumírajícího a zdravého (Tab. 1), při porovnání průměrných hodnot však byla četnost pupenů se starým napadením u stromu klasifikovaného jako zdravý, výrazně nižší. Nejvyšší četnost pupenů se starým napadením (zhruba trojnásobný počet) byla zjištěna na stromě chřadnoucím, tomu odpovídala i vysoká průměrná hodnota (Tab. 1). Absolutní počet pupenů, které byly nově napadené kloubnatkou, byl paradoxně velmi vysoký na zdravém a chřadnoucím stromě (okolo 9 000 ks, Tab. 1), strom odumírající měl počet nově napadených pupenů cca poloviční, ovšem průměrný počet těchto pupenů na odebraném vzorku byl vysoký. U stromu zdravého byla průměrná hodnota na stejné úrovni, ovšem s mnohem vyšším rozptylem (Tab. 1). Pupenů odumřelých z jiných příčin než je napadení kloubnatkou (*Sirococcus conigenus*, mráz, zaschnutí pupenů a další) bylo z celkového počtu kolem 6%. Absolutní i průměrná hodnota byla u stromu chřadnoucího a zdravého prakticky stejná, nižší absolutní počet vykazoval strom odumírající, ovšem průměrná hodnota pupenů odumřelých z jiných příčin, byla nejvyšší (Tab. 1).

**Tab. 1:** Popisné statistiky zjištěného zdravotního stavu pupenů, podle hodnocených typů stromů.

| PUPENY \ STROM               |                     | ODUMÍRAJÍCÍ | CHŘADNOUCÍ | ZDRAVÝ | Celkový součet |
|------------------------------|---------------------|-------------|------------|--------|----------------|
| Zdravé                       | Součet              | 2 889       | 25 024     | 33 364 | 61 277         |
|                              | Průměr              | 25          | 86         | 140    | 95             |
|                              | Směrodatná odchylka | 24          | 96         | 153    | 121            |
| Staré napadení kloubnatkou   | Součet              | 5 422       | 15 115     | 6 144  | 26 681         |
|                              | Průměr              | 47          | 52         | 26     | 41             |
|                              | Směrodatná odchylka | 43          | 39         | 31     | 39             |
| Nově napadené kloubnatkou    | Součet              | 4 768       | 9 048      | 9 657  | 23 473         |
|                              | Průměr              | 41          | 31         | 41     | 36             |
|                              | Směrodatná odchylka | 30          | 34         | 53     | 42             |
| Jiná příčina odumření pupenu | Součet              | 1 932       | 2 965      | 2 527  | 7 424          |
|                              | Průměr              | 17          | 11         | 11     | 12             |
|                              | Směrodatná odchylka | 28          | 25         | 11     | 22             |
| Celkový počet pupenů         | Součet              | 15 011      | 52 152     | 51 692 | 118 855        |
|                              | Průměr              | 131         | 179        | 217    | 185            |
|                              | Směrodatná odchylka | 69          | 143        | 192    | 157            |
| Počet odebraných vzorků      |                     | 115         | 291        | 238    | 644            |

Pro stanovení závislosti mezi zjišťovanými proměnnými a relativním počtem pupenů na odebraných vzorcích byl zkonstruován generalizovaný lineární model se smíšenými efekty (Tab. 2). Hlavním cílem bylo určit statistickou signifikanci mezi interakcemi faktorů resp. zejména jak se lišila kategorie zdravotního stavu pupenů podle třech hodnocených stromů, v kombinaci se vzdáleností od vrcholu stromu a orientaci k světovým stranám. Porovnání hlavního efektu faktorů strom, orientace a vzdálenost nemělo vzhledem k uspořádání testovaných dat smysl (relativní počet pupenů zařazený do čtyřech kategorií dával pro tyto proměnné vždy součet 100). Tyto faktory však byly v analýze ponechány, pro zachování možnosti testovat interakce faktorů, viz např. PEKÁR & BRABEC (2009). Testování hlavního efektu proměnné pupeny již smysl mělo. Tak jak již bylo patrné z absolutních počtů a průměrných hodnot (Tab. 1), podíl pupenů o různé vitalitě byl mezi vzorky odlišný (GLMM: Df=3;  $p < 0,001$ ; Tab. 2). Interakce mezi faktorem strom a pupen byla rovněž vysoce signifikantní (GLMM: Df=6;  $p < 0,001$ ; Tab. 2). Na odumírajícím stromě byl významně nižší počet zdravých pupenů proti pupenům nově napadeným i se starým napadením (Obr. č. 5). I další kombinace úrovní faktoru v rámci odumírajícího stromu byly statisticky



významně odlišné (viz Tab. 3). Nelišil se podíl nově napadených pupenů a pupenů odumřelých z jiných příčin, sice těch z jiných příčin bylo výrazně méně a pravděpodobně díky překrývajícimu se konfidenčnímu intervalu a poněkud vyššímu rozptylu u zjištěných proměnných došlo k potvrzení nulové hypotézy. Pro strom odumírající vlivem kloubnatky smrkové můžeme považovat za charakteristické nízký podíl zdravých pupenů a vyrovnaný podíl starého a nového napadení resp. podle modelu byl podíl nově napadených pupenů významně vyšší v porovnání se starými kloubnatkou napadenými pupeny.

Na chřadnoucím stromě byl nejvyšší podíl zdravých pupenů, který se statisticky významně odlišoval od všech ostatních úrovní faktoru pupeny (Tab. 3). U chřadnouceho stromu se rovněž významně nelišil poměr pupenů nově napadených kloubnatkou a pupenů odumřelých z jiných příčin. Model u chřadnouceho stromu predikuje nejnižší podíl pupenů se starým napadením. Pro strom chřadnoucí vlivem kloubnatky je charakteristický relativně vyšší podíl zdravých pupenů, nižší nové napadení a přítomnost starého napadení, které je spíše nižší než nové napadení.

Zdravý strom vykazoval statisticky významné rozdíly mezi všemi úrovněmi faktoru pupen (Tab. 3). Podle modelu je u zdravého stromu vyšší mortalita pupenů z jiných příčin než je napadení kloubnatkou. Staré napadení je minimální a procento nově poškozených pupenů je v porovnání s podílem zdravých pupenů zanedbatelné.

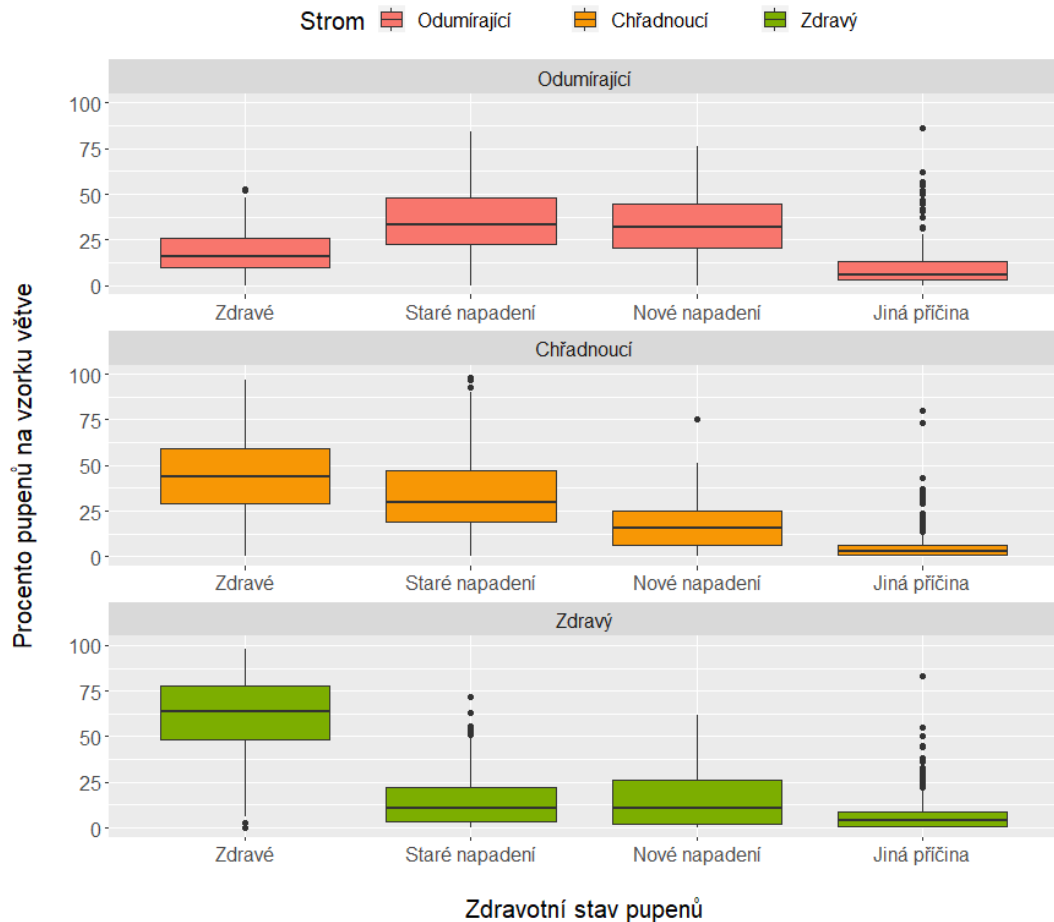
Při porovnání stejné kategorie pupenů napříč hodnocenými stromy byly prakticky ve všech případech zjištěny statisticky významné rozdíly, pouze podíl starých pupenů se neodlišoval mezi chřadnoucím a odumírajícím stromem (Tab. 3).

**Tab. 2:** Výsledky analýzy rozptylu pro generalizovaný lineární model se smíšenými efekty (GLMM). Závisle proměnnou byl podíl pupenů na odebrané části větve. Signifikance faktorů byla stanovena na hladinách významnosti  $\alpha < 0,05$  \*;  $\alpha < 0,01$  \*\*;  $\alpha < 0,001$  \*\*\*.

|                             | Df | Sum Sq  | Mean Sq | F value   | Chisq Chi | Df | Pr(>Chisq)   |
|-----------------------------|----|---------|---------|-----------|-----------|----|--------------|
| strom                       | 2  | 303,3   | 151,7   | 151,6573  | 7094,8    | 7  | 0,998        |
| orientace                   | 8  | 21,1    | 2,6     | 2,6401    | 31,159    | 3  | 1            |
| vzdálenost                  | 1  | 0,2     | 0,2     | 0,2005    | 12,897    | 17 | 0,9462       |
| pupeny                      | 3  | 15488,1 | 5162,7  | 5162,7097 | 442,35    | 25 | < 2e-16 ***  |
| strom : pupeny              | 6  | 6258,1  | 1043    | 1043,0089 | 779,19    | 4  | < 2e-16 ***  |
| strom : vzdálenost          | 2  | 8,4     | 4,2     | 4,1788    | 0,004     | 2  | 7,87E-07 *** |
| strom : orientace           | 16 | 25,2    | 1,6     | 1,5719    | 0,0251    | 8  | 0,7431       |
| orientace : pupeny          | 24 | 629,4   | 26,2    | 26,2234   | 0,0046    | 1  | < 2e-16 ***  |
| vzdálenost : pupeny         | 3  | 742,1   | 247,4   | 247,383   | 19613     | 3  | < 2e-16 ***  |
| strom : orientace : pupeny  | 48 | 745,7   | 15,5    | 15,5351   | 840,16    | 48 | < 2e-16 ***  |
| strom : vzdálenost : pupeny | 6  | 263,4   | 43,9    | 43,9052   | 269,81    | 6  | < 2e-16 ***  |

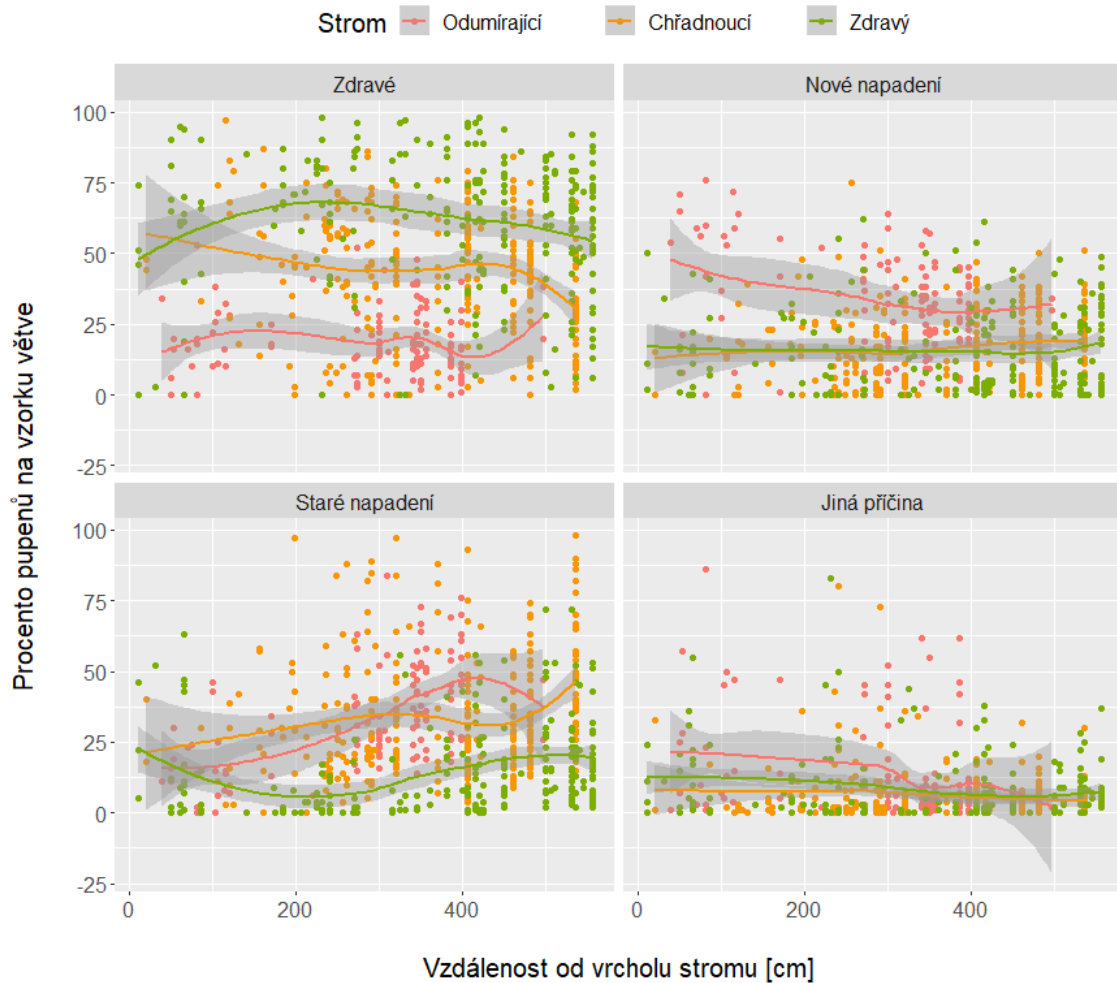
Tab. 3: Porovnání úrovní faktorů pupen a strom pomocí kontrastů

|             | bud_type       | ODUMÍRAJÍCÍ |               |                |              | CHŘADNOUCÍ |               |                |              | ZDRAVÝ |               |                |              |
|-------------|----------------|-------------|---------------|----------------|--------------|------------|---------------|----------------|--------------|--------|---------------|----------------|--------------|
|             |                | Zdravé      | Nové napadení | Staré napadení | Jiná příčina | Zdravé     | Nové napadení | Staré napadení | Jiná příčina | Zdravé | Nové napadení | Staré napadení | Jiná příčina |
| ODUMÍRAJÍCÍ | Zdravé         |             | ***           | ***            | ***          | ***        |               |                |              | ***    |               |                |              |
|             | Nové napadení  | ***         |               | ***            | /            |            | ***           |                |              |        | ***           |                |              |
|             | Staré napadení | ***         | ***           |                | ***          |            |               | /              |              |        |               | ***            |              |
|             | Jiná příčina   | ***         | /             | ***            |              |            |               |                | ***          |        |               |                | ***          |
| CHŘADNOUCÍ  | Zdravé         | ***         |               |                |              |            | ***           | ***            | ***          | *      |               |                |              |
|             | Nové napadení  |             | ***           |                |              | ***        |               | *              | /            |        | ***           |                |              |
|             | Staré napadení |             |               | /              |              | ***        | *             |                | *            |        |               | ***            |              |
|             | Jiná příčina   |             |               |                | ***          | ***        | /             | *              |              |        |               |                | ***          |
| ZDRAVÝ      | Zdravé         | ***         |               |                |              | *          |               |                |              |        | ***           | ***            | ***          |
|             | Nové napadení  |             | ***           |                |              |            | ***           |                |              | ***    |               | ***            | ***          |
|             | Staré napadení |             |               | ***            |              |            |               | ***            |              | ***    | ***           |                | ***          |
|             | Jiná příčina   |             |               |                | ***          |            |               |                | ***          | ***    | ***           | ***            |              |



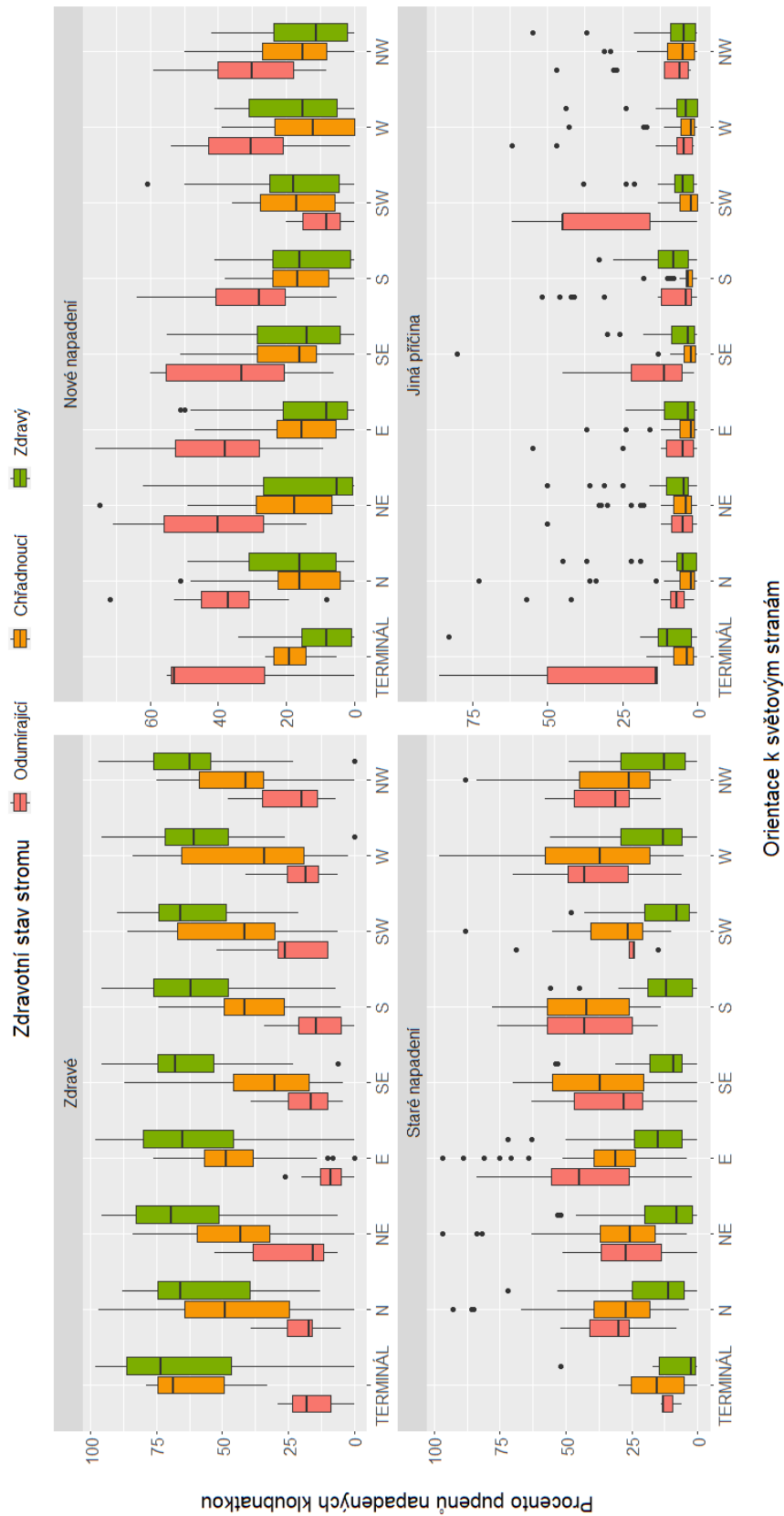
Obr. č. 5: Krabicový graf procenta pupenů

Faktor vzdálenost od vrcholu kmene byl statisticky významný jak v interakci s faktorem strom tak s faktorem pupen a stejně tak i v interakci těchto faktorů třetího řádu (Tab. 2). Výskyt zdravých pupenů se obecně snižoval se vzdáleností od vrcholu kmene naopak podíl starého napadení se s rostoucí vzdáleností od terminálního výhonu zvyšoval (Obr. č. 6). Kloubnatkou nově napadené pupeny nevykazovaly na stromě chřadnoucím a zdravém žádnou změnu podílu výskytu ve vztahu ke vzdálenosti, ale na odumírajícím stromě byl zřetelně patrný pokles výskytu s rostoucí vzdáleností od vrcholu kmene (Obr. č. 6). Pozoruhodné je také inverze pořadí splyne křivek v případě pupenů se starým napadením mezi chřadnoucím a odumírajícím stromem nebo pupenů odumřelých z jiné příčiny než je kloubnatka v případě stromu zdravého a chřadnoucího (Obr. č. 6).



Obr. č. 6: Bodový graf distance pupenů od terminálu

V případě faktoru orientace byl zjištěn statisticky významný vliv v interakci s faktorem pupen, ale nikoliv s faktorem strom (Tab. 2), vzájemná interakce třetího řádu však byla významná. Zaznamenaný trend vzhledem k světovým stranám není jednoznačný, v interakci pupenu a orientace nebyl žádný statisticky významný kontrast, vzhledem k terminálnímu výhonu stromu, ale zdá se, že největší rozdíly v četnosti pupenů zdravých a napadených se vyskytují na jižní a východní straně (Obr. č. 7).



Obr. č. 7: Krabicový graf orientace pupenů

## 5 Diskuse

Kloubnatka smrková je významný patogen smrku pichlavého v Krušných horách kde její epidemie vytváří abnormální tvary větví a to z důvodu infekce pupenů, které pak stimulují růst bočních pupenů. Pokud je napadení kloubnatkou rozsáhlé dochází k vysoké ztrátě pupenů strom odumírá (PETRZIK et al. 2016).

Z výsledku šetření byla vzdálenost větví od od vrcholu stromu významným faktorem ovlivňujícím distribuci napadení. Počet odebíraných větví z jednotlivých stromů byl rozdílný, a v případě stromu odumírajícího z důvodu silného napadení kloubnatkou, u stromu chřadnoucího a zdravého se může jednat o projev individuální variability, kterou by bylo možné kvantifikovat až po provedení stejného hodnocení na více jedincích.

Chřadnoucí strom měl vysoký počet nenapadených pupenů, ale zároveň i vysoký podíl pupenů se starým napadením. Vysoký podíl obou kategorií na chřadnoucím stromu může být spojen s masivním rašením tzv. „spících“ pupenů, jejichž tvorba je dle PEŠKOVÉ & MODLINGERA (2015) iniciovaná pokud napadení kloubnatkou zachvátí cca  $\frac{3}{4}$  koruny stromu. Výše uvedený jev by mohl být také vysvětlením pro celkovou četnost pupenů u stromu chřadnoucího a zdravého, kdy zdravý jedinec nemá potřebu tvorby nových pupenů, jelikož napadení kloubnatkou zatím nebylo tak silné a opakované.

Patogen je psychrofilní což mu v daných podmínkách Krušných hor vyhovuje, také má rád vlhké klima a stromy s hustější a nižší korunou (ČERNÝ et al. 2016). Tyto ekologické nároky by se mohly projevovat ve vyšším podílu napadení kloubnatkou smrkovou v hustějších partiích koruny a v částech bližších k povrchu Země. Kloubnatka smrková dle studie ČERNÉHO et al. (2016) tvoří konidiomata v témže roce vněmž došlo k infekci a askomata v následujících letech. Na okrajích větví se typicky vyskytovaly v mladých pupenech konidiomata a právě naopak dospělá askomata byla častěji nalezena v starších částí větví. Výskyt jednotlivých spor je časově oddělený a to nejprve na tvorbu konidiomat, které se tvoří hlavně v červnu zatímco vrchol produkce askomat je v srpnu. Transmise spor u konidii může být deštěm, dokonce na povrchu bezobratlých a askospory můžou být přenášeny větrem. Askospory se vyznačují svojí odolností díky

tloušťce buněčné stěny což jim umožňuje přežít nepříznivé podmínky. Infekce konidiami může přijít ihned a askospory přežívají delší dobu. Takže konidie jsou infekční částice schopné napadnou zdravé pupeny (ČERNÝ et al. 2016). Průměrné roční teploty v dané oblasti se pohybují v rozmezí od 2,7 do 6 °C což danému patogenu vyhovuje (VACEK 2003). V podobě mycelia může patogen přežít zimu v nakažených pupenech nebo jako forma intaktních askospor za pupenovými šupinami. Omezený vývoj je možný zaznamenat za teplého průběhu zimy. Dalším příznivým faktorem pro tento patogen je průměr ročních srážek v oblasti Krušných hor, ten se pohybuje mezi 800 až 1200 mm/rok (ČERNÝ et al. 2016).

Z pohledu náročnosti na teplo a vlhkost má smrk pichlavý rad vlhké a chladné klima dokonce dokáže odolávat extrémním mrazům (MUSIL & HAMERNÍK 2007), což je vlastně totožné s nároky klobnatky. Domovem tohoto smrku je severní Amerika a to převážně v nadmořských výškách 1 800 a 3 300 m, hlavně podél potoků a na vlhkých svazích které jsou orientovány na sever (FARJON & FILER 2013). Můžeme tedy konstatovat, že kdyby se kloubnatka smrková dostala do původního areálu dřeviny mohla by tam způsobit velmi značné škody protože by jí dané klimatické podmínky k růstu velmi vyhovovali. Mohlo by to vést k silnému plošnému napadení, kde dle PEŠKOVÉ & MODLINGERA (2015) je jediná obrana vůči tomuto patogenu odstranění napadených jedinců.

Důležité je, že daný patogen sám o sobě není tak škodlivý, aby jedinec hned po napadení odumřel (PEŠKOVÁ & MODLINGER 2015). Z výsledků lze také potvrdit, že zdravý strom měl pupeny napadeny jinými škodlivými činiteli a dokonce jejich četnosti převažovala nad počten pupenů napadených kloubnatkou.

Sběr dat pro daný experiment se konal v létě kdy je předpokládáno napadení jedinců konidiami. Počet zdravých pupenů se směrem od vrcholu snižoval, u starého napadení to ovšem bylo naopak, tam se míra napadení směrem k vrcholu stromu zvyšovala. Tento fakt mohl být ovlivněn konkrétní situací na výzkumné ploše, kde se v nižších částech mohlo zachytit více dešťových srážek, kde mohou být právě infekční spory. Odumírající jedinec však vykazoval relativně nízké počty nově napadnutých pupenů směrem od terminálu což by mohlo být následkem opakovaného víceletého napadení, kdy strom přestává vyhánět nově rašící pupeny, které jsou právě vhodné pro konidie. Nejvyšší variabilita v počtu

pupenů na jednom vzorku byla zjištěna u stromu chřadnoucího, což odpovídá tomu, že se v jeho koruně vyskytují větve z různou mírou postižení kloubnatkou smrkovou. Potvrdilo se také že orientace nemá výrazný statistický vliv na četnost napadených pupenů. Toto zjištění může poukázat právě na šíření spor patogenu kde je to deštěm, větrem nebo dokonce bezobratlými živočichy, takže napadení může přicházet z různých stran (ČERNÝ et al. 2016).



## 6 Závěr

Během šetření v Krušných horách na lesní správě Litvínov v blízkosti vodní nádrže Fláje byli porovnáni tři jedinci smrku pichlavého vykazující různou úroveň defoliace a vizuálního napadení kloubnatkou smrkovou. Celkem bylo spočteno 188 855 pupenů. Byly zjištěny významné rozdíly v počtu zdravých a napadených pupenů mezi stromy s různou úrovní defoliace. Jako významný faktor ovlivňující distribuci napadení v koruně stromu se ukázala zejména vzdálenost od vrcholu kmene. Počet zdravých pupenů se směrem od terminálního výhonu snižoval, intenzita poklesu počtu zdravých pupenů byla závislá na míře napadení jedince. Nově napadené pupeny se vyskytovaly u méně postižených jedinců spíše v dolní části koruny, u jedince odumírajícího dominantně ve vrcholové partii, což mělo přímou souvislost s dostupností pupenů. Staré napadení kloubnatkou smrkovou se vyskytovalo u všech tří jedinců hlavně ve spodní části koruny. Poměr nově napadených a odumřelých z jiných příčin se významně nelišil. Orientace vůči světovým stranám nevykazovala zcela jednoznačný vliv na přítomnost kloubnatky smrkové v koruně stromu, identifikován byl pouze dílčí významný rozdíl v počtu pupenů zdravých a napadených na jižní a východní straně stromu. Získané údaje přispívají k poznatkům o distribuci patogenu na napadených jedincích, jedná se o první studii, v které se tento typ šetření u kloubnatky smrkové uskutečnil. Výstupy této diplomové práce by měly posloužit hlavně jako podklad pro další výzkum pokročilé diagnostiky kloubnatky smrkové pomocí metod dálkového průzkumu Země (DPZ).

## 7 Literatura

ACKERMAN, L.M. Reporting statistics in prose. 2018, 1-13. <https://verbingnouns.github.io/notebooks/>

BALÁK, I. *Přírodní památky, rezervace a parky*. 1. vyd. Praha : Olympia, 2004. 188 s. ISBN 80-7033-826-1.

BÁRTOVÁ, Z.; BAUER, P.; BENDA, P.; BERGHAUEROVÁ, R.; CVRKOVÁ, M.; CHVÁTAL, P.; FARSKÝ, I.; HAMERSKÝ, R.; HENTSCHELOVÁ, H.; HONCŮ, M.; KINSKÝ, J.; KONŠNER, M.; KUBÁT, K.; KUNC, K.; KUNCOVÁ, J.; MORAVEC, P.; MOTLÍK, M.; ONDRÁČEK, Č.; RICHTEROVÁ, D.; ROBKOVA, D.; VELÍMSKÝ, T.; VONDRÁČEK, J.; VLAČIHA, V.; VOŽENÍLEK, P.; VÝBORNÁ, J. In: MACKOVČIN P., SEDLÁČEK M. (ed.): *Chráněná území ČR, svazek VIII*. Praha : AOPK ČR, 1999. 350 s. ISBN 80-86064-37-9.

BOSSHARD, W. (ed): *Kronenbilder, mit Nadel- und Blattverlustprozenten*. Birmensdorf, 1986, 98 s.

BURIÁNEK, V.; UHLÍŘOVA, H.; KAPITOLA, P.; FABIÁNEK, P.; PASUTHOVÁ, J.; BALCAR, V.; ŠRÁMEK, V.; SOUKUP, F.; LIŠKA, J.; ŠRŮTKA, P.; CISLEROVÁ, E.; HRADIL, K.; KNÍŽEK, M.; PEŠKOVÁ, V. *Poškození lesních dřevin*. 1. vyd. Kostelec nad Černými lesy : Lesnická práce, s.r.o. – nakladatelství a vydavatelství, 2004. 288 s. ISBN 80-86386-56-2.

ČERNÝ, K.; PEŠKOVÁ, V.; SOUKUP, L.; HAVRDOVÁ, L.; STRNADOVÁ, V.; ZAHARADNÍK, D.; HRABĚTOVÁ, M. *Gemmamyces bud blight of Picea pungens: a sudden disease outbreak in Central Europe*. *Plant Pathology*. 2016. no. 65, s. 1267-1278. DOI 10.1111/ppa.12513.

DAVID, P.; SOUKUP, V.; ČECH, L. *Velká turistická encyklopedie: Karlovarský kraj*. 1. vyd. Praha : Knižní klub, 2010. 256 s. ISBN 978-80-242-1941-7.

DEMEK, J.; MACKOVČIN, P.; BALATKA, B. *Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny*. 2. vyd. Brno : AOPK ČR, 2006. 582 s. ISBN 80-86064-99-9.

FARJON, A., FILER, D. *An Atlas of the World's Conifers*. 1. vyd. Boston : Brill, 2013. 585 s. ISBN 978-90-04-21180-3.

FRÝDL, J.; NOVOTNÝ, P.; IVANEK, O.; BURIÁNEK, V.; ČÁP, J. Možnosti pěstebního využití vegetativně udržovaných variant rezistentního krušnohorského smrku. 1 vyd. Jíloviště : Výzkumní ústav lesního hospodářství a myslivosti , v.v.i., 2011. 42 s. ISBN 978-80-7417-052-2.

GREGOROVÁ, B.; ČERNÝ, K.; HOLUB, V.; STRNADOVÁ, V.; ROM, J.; ŠUMPICH, J.; KLOUDOVÁ, K. Poškození dřevin a jeho příčiny. 1. vyd. Praha : AOPK, 2006. 504 s. ISBN 80-86064-97-2.

KALINA, T.; VÁŇA, J. *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství karolinum, 2005. 608 s. ISBN 9788024610368

KLÁN, J. *Co víme o houbách*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 310 s. ISBN 80-04-21143-7.

KLIKA, J. *Dendrologie jehličnaté*. 2. vyd. Brno : Novina, 1931. 212 s.

KLIKA, J.; ŠIMAN, K.; NOVÁK, A., F.; KAVKA, B. *Jehličnaté*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství ČSAV, 1953. 312 s.

KOBLÍŽEK, J. *Jehličnaté a listnaté dřeviny našich zahrad a parků*. 2. vyd. Tišnov : Sursum, 2006. 551 s. ISBN 80-7323-117-4.

KULA, E.; KAJFOSZ, R.; POLÍVKAB, J. Attractiveness of *Picea pungens* to the bark beetle species *Ips amitinus* (Eichh.) and *Pityogenes chalcographus* (L.). *Journal of Forest Science*. 2013, vol. 59. no. 12, s. 493-502. ISSN 1212-4834.

LIŠKA, J., PEŠKOVÁ, V., MODLINGER, R., KNÍŽEK, M. Ohrožení porostů náhradních dřevin Krušných hor biotickými škůdci - výsledky terénních šetrání v roce 2015. In: ŠRÁMEK, V.; BALCAR, V.; BURIÁNEK, V.; HAVRÁNEK, F.; JURÁSEK, A.; LIŠKA, J.; NOVÁK, M.; SLODIČÁK, M. *Aktualizace studie. Lesnické hospodaření v Krušných horách*. 1. vyd. Jíloviště : Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i. 2015. 38 - 64s.

LOMSKÝ, B.; MATERNA, J.; PFANZ, H. SO<sub>2</sub> – *Pollution and Forests Decline in the Ore Mountains*. 1. vyd. Jíloviště : Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i. 2002. 342 s. ISBN 80-86461-24-6.

MODLINGER, R.; PEŠKOVÁ, V.; SAMEK, M.; VÉLE, A. Kloubnatka smrková na smrku ztepilém v Jizerských horách a Krkonoších. *Krkonoše – Jizerské hory*. 2019, no 8, s. 22-23. ISSN 1214-9381

MUSIL, I.; HAMERNÍK, J. *Jehličnaté dřeviny*. 1. vyd. Praha : Academia, 2007. 352 s. ISBN: 978-80-200-1567-9.

PEKÁR, S.; BRABEC, M. *Moderní analýza biologických dat 1*, 1st ed. Scientia, Praha, Czech Republic, 2009, 225 s. ISBN 978-80-86960-44-9.

PEŠKOVÁ, V.; ČÍŽKOVÁ, D. *Lesnická fytopatologie*. 1. vyd. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2015. 109 s. ISBN 978-80-213-2603-3.

PEŠKOVÁ, V.; MODLINGER, R. Stav napadení smrku pichlavého a ztepilého kloubnatkou smrkovou. *Lesnická práce*. 2015, vol. 94, no. 3, 48-49 s. ISSN 0322-9254

PEŠKOVÁ, V.; MODLINGER, R.; SOUKUP, F.; RUČKOVÁ, J. Nárůst napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou v Krušných horách. *Lesnická práce*. 2016, vol. 95, no. 2, s. 46-47. ISSN 0322-9254.

PETRZIK, K.; KOLONIUK, I.; SARKISOVA, T.; HRABÁKOVÁ, L. Detection and genome sequence of a new betapartitivirus associated with *Cucurbitaria piceae* Borthw. fungus causing bud blight of spruce in the Czech Republic. *Arch Virol*. 2016. vol. 161, no. 5, s. 1405-1409. DOI 10.1007/s00705-015-2692-8.

PILÁT, A. Jehličnaté stromy a keře našich zahrad a parků. 1. vyd. Praha : Nakladatelství Československé akademie věd, 1964. 508 s.

PINHEIRO J, BATES D, DEBROY S, SARKAR D, R CORE TEAM 2020. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-148, <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>.

PRŮŠA, E. *Přirozené lesy České republiky*. 1. vyd. Praha : Ministerstvo lesního hospodářství a dřevozpracujícího průmyslu ČR ve Státním zemědělském nakladatelství, 1990. 246 s. ISBN 80-209-0095-0.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018 available from WWW: <https://www.R-project.org/>

SLODIČÁK, M.; BALCAR, V.; NOVÁK, J.; ŠRÁMEK, V. a kolektiv. *Lesnické hospodaření v Krušných horách*. 3. vyd. Hradec Králové : Lesy české republiky, s.p., 2008. 477 s. ISBN 978-80-86945-04-0.

SOUKUP, F.; PEŠKOVÁ, V. *Gemmamyces piceae* (Borthw.) Casagr.: kloubnatka smrková. *Lesnická práce*. 2009, vol. 88, no. 12, s. 1-4. ISSN 0322-9254.

ŠRÁMEK, V.; BALCAR, V.; BURIÁNEK, V.; HAVRÁNEK, F.; JURÁSEK, A.; LIŠKA, J.; NOVÁK, M.; SLODIČÁK, M. *Aktualizace studie. Lesnické hospodaření v Krušných horách*. 1. vyd. Jíloviště : Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i. 2015. 195 s.

ŠTURSA, J. *101 našich nejkrásnějších kopců a hor*. 1. vyd. Praha : Beta, 2007. 208 s. ISBN 978-80-7306-295-8.

VACEK, S. *Horské lesy České republiky*. 1. vyd. Praha : Ministerstvo zemědělství České republiky, 2003. 313 s. ISBN 80-7084-239-3.

VĚTVIČKA, V. *Stromy a keře, mé životní lásky*. 1. vyd. Praha : Aventinum s. r. o., 2017. 486 s. ISBN 978-80-7442-093-1.

VRÁBLÍKOVÁ, J. *Možnosti trvale udržitelného hospodaření v antropogenně postižené krajině: metodika pro praxi*. 1. vyd. Ústí nad Labem : Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2007. 123 s. ISBN 978-80-7044-935-6.

ZÚBRIK, M.; KUNCA, A. *Hmyz a huby našich lesů : atlas škôd na drevinách spôsobených hmyzími a hubovými škodlivými činiteľmi*. 1. vyd. Zvolen : Národné lesnícke centrum, 2011. 200 s. ISBN 978-80-8093-143-8.

ZÝKA, V.; ČERNÝ, K.; STRNADOVÁ, V.; ZAHRADNÍK, D.; HRABĚROVÁ, M.; HAVRDOVÁ, L.; ROMPORTL, D. *Predikce poškození porostů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou v Krušných horách*. 1. vyd. Průhonice : Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, veřejná výzkumná instituce, 2018. 47 s. ISBN: 978-80-87674-29-1.