

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Diplomová práce**

**2020**

**Martin Šultys**

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ochrany lesa a entomologie



Vliv faktorů prostředí na výskyt *Gemmamyces piceae* na  
smrku ztepilém v Krušných horách (LS Klášterec)

Diplomová práce

Autor: Ing. Martin Šultys

Vedoucí práce: doc. Ing. Vítězslava Pešková, Ph.D.

2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Ing. Martin Šultys

Lesní inženýrství

Lesní inženýrství

Název práce

**Vliv faktorů prostředí na výskyt *Gemmamyces piceae* na smrku ztepilém v Krušných horách**

Název anglicky

**Effect of environmental factors on occurrence rate of *Gemmamyces piceae* on Norway spruce in the Ore Mountains**

---

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je zhodnotit vliv stanovištních faktorů a dendrometrických veličin na výskyt patogenu *Gemmamyces piceae* na trvalých výzkumných plochách smrku ztepilého v Krušných horách.

### Metodika

Na trvalých výzkumných plochách v porostech smrku ztepilého v Krušných horách na LS Klášterec nad Ohří bude hodnocen rozsah poškození kloubnatkou smrkovou. Hodnocení bude zahrnovat posouzení míry napadení smrků kloubnatkou smrkovou podle stanovené klasifikace (kategorie 0 – 4), dále bude zaznamenáno postavení hodnoceného stromu v porostu: okraj/porostní nitro. Budou stanoveny základní dendrometrické veličiny. V rámci trvalých výzkumných ploch budou instalovány datalogery Minikin THi pro zaznamenávání teploty a vlhkosti vzduchu. Datalogger bude instalován ve výšce 2 m ve středu trvalé plochy.

Na základě získaných dat bude provedena analýza vlivu faktorů prostředí (stanovištních – LVS, obohacené/neobohacené vodou; porostních – věk, zakmenění) na míru napadení smrku ztepilého patogenem. Ze získaných výsledků budou stanoveny rozdíly v poškození stromů podle uvedených stanovištních podmínek a vyhodnocen vliv faktorů na rozsah infekce patogenem.

## Doporučený rozsah práce

50-60

## Klíčová slova

kloubnatka smrková, *Lophodermium piceae*, *Lirula macrospora*, smrk ztepilý, defoliace, Krušné hory, patogen

---

## Doporučené zdroje informací

- Butin H. 1995. Tree diseases and disorders. Causes, biology and control in forest and amenity trees. Oxford University Press, New York, Tokyo: 252 s.
- Černý K., Pešková V., Soukup F., Havrdová L., Strnadová V., Zahradník D., Hrabětová M. 2016. Gemmamyces bud blight of *Picea pungens*: a sudden disease outbreak in Central Europe. *Plant Pathology*, 65 (8): 1267–1278.
- Jaklitsch W. M., Voglmayr H. Three former taxa of Cucurbitaria and considerations on Petrakia in the Melanommataceae. *Sydowia*, 2017, 69: 81 s.
- Pešková V., Modlinger R., Soukup F., Ručková J. 2016. Nárůst napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou v Krušných horách. *Lesnická práce* 95 (2): 46-47.
- Pešková V., Tomášková I., Samek M., Modlinger R., 2018. Rozvoj kloubnatky smrkové na smrku ztepilém v Krušných horách a vliv na jeho fyziologické pochody. In: A. Kunca (ed.). Aktuálně problémy v ochraně lesa 2018, Zborník ref. z 27. ročníka medzinár. konf., Nový Smokovec, 1. – 2. 2. 2018, NLC Zvolen: 91 – 95.
- Petrzik K., Koloniuk I., Sarkisova T., Hrabáková L. 2016. 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 Springer-Verlag Wien*, 161 (5): 1405-1409.
- Shoemaker R. A. 1967. *Cucurbitaria picea* and associated Sphaeropsidales parasitic on spruce buds. *Canadian Journal of Botany* 45: 1243-1248.
- Sinclair W., Lyon H. H. 2005. Diseases of Trees and Shrubs. Comstock Pub. Associates: 660.
- Slodičák M., Balcar V., Novák J., Šrámek V., Borůvka L., Derco D., Detz E., Fadrhonicová V., Fiala P., Hadaš P. et al., 2008. Lesnické hospodaření v Krušných horách. *Lesy České republiky*, s. p. Hradec Králové, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady: 480 s.
- Zi-Qing Z., Xue-Wei W. 1995. A taxonomic study of fungi associated with spruce bud blight in China. *Mycotaxon* 53: 371-76
- 

## Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FLD

## Vedoucí práce

doc. Ing. Vítězslava Pešková, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra ochrany lesa a entomologie

Elektronicky schváleno dne 25. 10. 2019

**prof. Ing. Jaroslav Holuša, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2020

**prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 01. 03. 2020

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vliv faktorů prostředí na výskyt *Gemmamyces piceae* na smrku ztepilém v Krušných horách (LS Klášterec) vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Vítězslavy Peškové, Ph.D., a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, 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 Chomutově dne 11. 6. 2020

Podpis autora

Rád bych tímto vyjádřil poděkování doc. Ing. Vítězslavě Peškové, Ph.D. za její cenné rady, doporučení a trpělivost při vedení mé diplomové práce. Taktéž bych chtěl poděkovat Ing. Michalovi Samkovi za vstřícnost, ochotu a pomoc při získání potřebných informací a podkladů.

## Abstrakt

Nejvýznamnějším houbovým patogenem smrku posledních deseti let specifickým pro pohoří Krušných hor je bezesporu kloubnatka smrková. V uplynulé dekádě došlo k jejímu bezprecedentnímu namnožení v porostech smrku pichlavého, které postupně plošně odumírají. S ohledem na vzrůstající výskyt tohoto patogenu na smrku ztepilém panují oprávněné obavy i o porosty této hlavní hospodářské dřeviny.

Cílem práce bylo na základě tříletého monitoringu v letech 2017 – 2019 na 27 trvalých plochách na LHC Klášterec, k tomuto účelu založených, zhodnotit dynamiku infekce v porostech a dále identifikovat porostní charakteristiky a podmínky prostředí, které k šíření patogenu mohou přispívat.

Z výsledků výzkumu vyplývá, že na trvalých výzkumných plochách došlo k procentuálnímu nárůstu napadených jedinců v porostech smrku ztepilého, kdy v roce 2017 bylo v průměru napadeno 21 % jedinců v porostu, ale v roce 2019 to bylo téměř 45 % jedinců. Mortalita smrku ztepilého v důsledku napadení kloubnatkou smrkovou zaznamenána nebyla. Dále bylo zjištěno, že porostní charakteristikou, která má pozitivní vliv na úroveň napadení, je věk porostů. V nejstarší věkové kategorii (61+) bylo v roce 2019 zaznamenáno nejvyšší procento napadených jedinců a největší intenzita napadení. V interakci s ovlivněním stanoviště vodou je to pak také zakmenění porostu. Na vodou ovlivněných stanovištích s rostoucím zakmeněním rostl i podíl napadených jedinců. Na vodou neovlivněných stanovištích byl podíl napadení jedinců nejnižší při zakmenění 0,7. Při nižších i vyšších hodnotách zakmenění se podíl napadených jedinců zvyšoval.

Zjištěné skutečnosti poukazují na závažnost situace. Patogen, příčiny jeho šíření a působení na hostitele musí být podrobeny dalšímu hodnocení, aby bylo možné stanovit pěstební opatření ke zmírnění jeho dopadů. Lze jen doufat, že onemocnění nebude mít podobný průběh jako u porostů smrku pichlavého.

Klíčová slova: kloubnatka smrková, smrk ztepilý, defoliace, Krušné hory, patogen, *Gemmamyces piceae*

## Abstract

In the Ore mountains, the most important pathogenic fungi of spruce in the last ten years is undoubtedly the spruce bud blight (*Gemmamyces piceae*). In the past decade, it has multiplied unprecedentedly in the tree stands of blue spruce, which are gradually dying out. In view of the growing occurrence of this pathogen on Norway spruces, there are legitimate concerns about the tree stands of this most important species.

The object of this thesis was on based three-year monitoring between 2017 and 2019 inside 27 permanent sampling areas at forest district Klášterec, established for this purpose. In order to evaluate the dynamics of infection in stands and further identify tree stand characteristics and environmental conditions that may contribute to the spread of the pathogen.

The percentage of infested individuals in the tree stands of Norway spruces found in the sampling areas was in 2017 on average 21% whereas in 2019 it was almost 45%. Mortality of Norway spruce due to bud blight infestation has not been recorded. Furthermore it was found that the tree stand characteristic, which has an unfortunately positive effect on the level of infestation, is the age of stands. Indeed, the highest percentage of infected individuals and the highest intensity of infection recorded was found in the oldest age category (61+ years). There is an interaction with waterlogging and also density (stocking) of the stand. In waterlogging area the proportion of infested individuals increased with increasing density of stands. In areas unaffected by water, the proportion of infestation of individuals was lowest at value density of tree stands 0,7. At lower and higher values density of stands, the proportion of infested individuals increased.

The findings point out to the seriousness of the situation. The pathogen, the causes of its spread and its effects on the host must be subjected to further evaluation in order to determine cultivation measures to mitigate its effects. One can only hope that the disease in the stands of Norway spruce will not have a similar course as in the tree stands of blue spruce.

Key words: *Gemmamyces* bud blight, Norway spruce, defoliation, Ore Mountains, pathogen



## Obsah

1	Úvod.....	12
2	Cíle práce.....	14
3	Rozbor problematiky .....	15
3.1	Patogen <i>Gemmamyces piceae</i> (Borthw.) Casagr.....	15
3.2	Nomenklatura a taxonomie patogenu .....	15
3.3	Biologie patogenu .....	16
3.4	Životní cyklus a ekologie patogenu.....	18
3.5	Symptomy poškození.....	19
3.6	Hostitelské dřeviny.....	20
3.7	Mezidruhové vztahy.....	21
3.8	Areál rozšíření .....	21
3.9	Rozvoj patogenu na smrku ztepilém v Krušných horách .....	23
4	Charakteristika výzkumné lokality .....	24
4.1	Geomorfologie .....	24
4.2	Geologie .....	25
4.3	Klima.....	26
4.4	Pedologie.....	27
4.5	Antropogenní vlivy .....	28
5	Metodika.....	31
5.1	Založení a hodnocení trvalých zkusných ploch.....	31
5.2	Statistické zpracování dat.....	33
6	Výsledky.....	35
7	Diskuze.....	41
8	Závěr .....	48
9	Seznam literatury a použitých zdrojů.....	50
9.1	Seznam literatury .....	50
9.2	Ostatní zdroje .....	53
	Seznam příloh.....	55

## Seznam obrázků

Obr. č. 1: Morfologie kloubnatky smrkové. a) infikovaný pupen, b)+c) perithecium z čelního pohledu, d) perithecium z bočního pohledu, e) piknidy, f)+j) řez peritheciem v detailu, g)+h) vřecka i)+u) konidie, n)-t) askospory (převzato z Jaklitsch a Voglmayr, 2017) .....	17
Obr. č. 2: Současný evidovaný výskyt kloubnatky smrkové v ČR (Převzato ze Zýka a kol., 2018) .....	23
Obr. č. 3: Geomorfologické členění studijní lokality (dle Demek a kol., 2016) .....	25
Obr. č. 4: Geologická skladba výzkumné lokality (převzato z ČGS, 2015) ..	26
Obr. č. 5: Klimatická klasifikace studijní lokality (dle Quitta, 1971).....	27
Obr. č. 6: Mapa půdních typů v rámci výzkumné lokality (ČGS, 2012) .....	28
Obr. č. 7: Srovnání procentuálního napadení jedinců smrku ztepilého po jednotlivých letech, střední tučná úsečka – medián, šedý obdélník – rozpětí kvartilů x25-x75, úsečky – 1,5 násobek interkvartilového rozpětí .....	35
Obr. č. 8: Procentuální podíl napadených jedinců smrku ztepilého v jednotlivých kategoriích v letech 2017 - 2018 .....	36
Obr. č. 9: Procentuální podíl napadených jedinců smrku ztepilého dle zakmenění porostu a jeho ovlivnění vodou .....	38
Obr. č. 10: Procentuální podíl napadených jedinců smrku ztepilého dle kategorie napadení a věkové kategorie .....	39

## Seznam tabulek

Tab. č. 1: Klasifikace klimatu (dle Quitta, 1971).....	26
Tab. č. 2: Použitá klasifikační stupnice míry napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou .....	32
Tab. č. 3: Podíl napadených jedinců smrku ztepilého v jednotlivých kategoriích v letech 2017 – 2018 v [%] .....	37
Tab. č. 4: Podíl napadených jedinců smrku ztepilého dle zakmenění porostu a jeho ovlivnění vodou [%] .....	37
Tab. č. 5: Podíl napadených jedinců smrku ztepilého dle kategorie napadení a věkové kategorie [%].....	39

## **Seznam použitých zkratk**

AEQ - apparent quantum efficiency

ČGS – Česká geologická služba

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČZU – Česká zemědělská univerzita v Praze

FAR – fotosynteticky aktivní radiace

LCP – light compensation point

LHC – lesní hospodářský celek

LHP – lesní hospodářský plán

LS – lesní správa

LVS – lesní vegetační stupeň

PR proteiny - Pathogen-Related proteins

RTK GNSS – Real-time kinematic global navigation satellite systems

ÚHÚL – Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem

UJEP – Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem

VÚLHM, v.v.i. – Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti

# 1 Úvod

Lesní hospodářství, dnes již prakticky na území celé České republiky, čelí aktuálně bezprecedentní kůrovcové kalamitě, za jejíž hlavní příčinu jsou označovány klimatické změny a jejich průvodní jevy, kterými jsou nedostatek a nevyrovnanost srážek v průběhu roku, období mimořádných veder a vyšší četnost extrémních jevů, jako jsou např. bořivé větry. V důsledku toho se v posledních několika letech vyskytla období dlouhotrvajícího sucha, která vedla ke zvýšenému výskytu nebo gradacím celé řady hmyzích škůdců, zejména pak lýkožrouta smrkového a lýkožrouta lesklého. Aktuální výhledy nejsou příliš optimistické. Konec kůrovcové kalamity je s ohledem na neznámý vývoj počasí a nedostatek těžebních kapacit v nedohlednu. Na vývoji počasí je odvislá i úspěšnost obnovy kalamitních ploch. Kromě hmyzích škůdců sucho vytváří podmínky pro vaskulární mykózy a houbové choroby asimilačního aparátu (ALLEN a kol., 2010). Všechny tyto vlivy navíc mohou fungovat synergicky. Lesní hospodářství tak čelí řadě výzev. Již teď je zřejmé, že pro udržitelnost plnění všech funkcí lesa je třeba uvažovat o změně druhové skladby lesních porostů, protože se v důsledku klimatických změn počítá s posunem vegetačních pásem a zmenšením území vhodných pro pěstování smrku jako naší hlavní hospodářské dřeviny (ČERMÁK a kol., 2016).

Krušné hory, které jsou studijní lokalitou v této práci, si již jednou velkou krizí prošly, a to v souvislosti s imisní kalamitou oxidů síry, která v 70. – 90. letech minulého století způsobila odumírání lesních porostů smrku ztepilého. Tato kalamita již odezněla po odsíření elektráren, ale depozice těchto škodlivin v půdě bude působit nejspíš i řadu dalších let. Ještě před stávající kůrovcovou kalamitou a krizí v lesnickém hospodaření se v Krušných horách objevila další hrozba v podobě houbového patogenu kloubnatky smrkové. Ta způsobila za méně než desetiletí na řadě míst v Krušných horách plošné odumírání porostů náhradních dřevin se smrkem pichlavým, které byly vysazovány na imisních plochách. Ač bylo počítáno s jejich postupnou přeměnou na cílové porosty, na vzniklou situaci nebyl nikdo připraven. Zkušenost s působením kloubnatky smrkové na smrk pichlavým, zjištěný výskyt a postupné šíření na smrk ztepilém budí obavy o smrkové porosty v Krušných horách a perspektivu jeho pěstování. Na LHC Klášterec je aktuálně asi 52 % plochy lesa s porosty smrku ztepilého a na příští decennium činí plocha k zalesnění touto dřevinou asi 70 %. Přestože, procento zalesnění smrkem ztepilým bude s ohledem na výše uvedenou kůrovcovou kalamitu a klimatické změny spíše menší, nadále zůstane smrk, alespoň na náhorní plošině Krušných hor LHC Klášterec hlavní

hospodářskou dřevinou, byť podmínky pro jeho pěstování se změní a bude muset být pěstován ve směsích s bukem nebo dubem (ČERMÁK a kol., 2016)

Z výše uvedených důvodů se společnost Lesy České republiky s.p., majoritní správce lesa v PLO Krušné hory, rozhodla podpořit výzkum zaměřený na působení patogenu kloubnatky smrkové na smrku ztepilém v Krušných horách. Tento výzkum, zahrnující studium ekologie, fenologie patogenu a vlivů na fyziologii hostitelské dřeviny, je zaměřen i na vývoj napadení a stanovištní a porostní charakteristiky, které šíření patogenu mohou ovlivňovat, což je i tématem předkládané práce.

Práce shrnuje dosavadní znalosti o houbovém patogenu a o jeho šíření a vlivu na smrkové porosty v Krušných horách. V experimentální části je pak zaměřena na progresi výskytu houbového patogenu v porostech smrku ztepilého na LHC Klášterec v letech 2017 – 2019 a dále na hodnocení vlivu faktorů prostředí, které by dle předpokladů zjištěných z dosavadních studií mohly šíření patogenu pozitivně ovlivňovat.

## 2 Cíle práce

Hlavním cílem diplomové práce bylo zhodnocení možného vlivu vybraných stanovištních faktorů a porostních charakteristik na výskyt patogenní houby *Gemmamyces piceae* na smrku ztepilém na 27 trvalých výzkumných plochách v lesním hospodářském celku Klášterec v přírodní lesní oblasti PLO1 - Krušné hory. Za tímto účelem probíhalo tříleté hodnocení úrovně napadení smrku ztepilého ve vegetačních sezónách let 2017, 2018 a 2019. Konkrétní stanovištní faktory a porostní charakteristiky byly voleny s ohledem na dosavadní poznatky o šíření patogenu zejm. na smrku pichlavém publikované v literatuře. Trvalé zkusné plochy pak byly umisťovány tak, aby v rámci studijní lokality byly pokud možno zastoupeny všechny kombinace stanovištních faktorů a porostních charakteristik. Hodnocení probíhalo za podpory grantové služby podniku Lesy České republiky, s.p. S ohledem na tříletou časovou řadu poskytuje tato práce rovněž základní informace o průběžném vývoji napadení smrku ztepilého a poukazuje na možné trendy vývoje budoucího.

Očekávaným přínosem diplomové práce je identifikování faktorů prostředí, porostních charakteristik, nebo jejich kombinací, které mohou být významné s ohledem na predikci šíření infekce kloubnatky smrkové ve smrkových porostech LHC Klášterec a také s ohledem na možné zhoršování jejich zdravotního stavu a produktivity. Tyto poznatky mohou být využitelné pro formulaci navazujících monitorovacích a výzkumných aktivit. Poznatky o vlivu porostních charakteristik pak mohou být vhodné též pro formulaci preventivních pěstebních opatření proti šíření a negativním vlivům houbové infekce.

### 3 Rozbor problematiky

#### 3.1 Patogen *Gemmamyces piceae* (Borthw.) Casagr.

*Gemmamyces piceae* (Borthw.) Casagr. - kloubnatka smrková, v ČR dříve prakticky neznámý druh vřeckovýtrusé houby, je v posledním desetiletí jedním z nejobávanějších houbových patogenů, zejména pokud jde o hraniční oblast Krušných hor. Zde způsobuje plošné a rychlé odumírání porostů náhradních dřevin se zastoupením smrku pichlavého, který je vůči ní obzvláště citlivý (MODLINGER a PEŠKOVÁ, 2017). Spadá do kategorie parazitických hub označovaných jako tzv. spásači (debiliators), které způsobují chronické infekce. V případě kloubnatky smrkové se jedná o infekci (léze) pupenů letorostů, které zpomalují, blokují obnovu asimilačního aparátu, která může vést k defoliaci koruny až úplnému odumření stromů.

Rychlým rozpadem uvedených porostů náhradních dřevin na velkých plochách zejm. v rámci LS Litvínov a LS Klášterec, který kloubnatka smrková způsobila, došlo k výraznému oslabení ekologických funkcí lesa. V podmínkách Krušných hor (klimatické podmínky, depozice kyselých dešťů v půdě, vysoké stavy spárkaté zvěře) se na takto velkých plochách les obtížně zakládá, jedná se proto do značné míry i o problém ekonomický. Podobný případ epidemického rozšíření výše uvedeného rozsahu a dopadů není dosud znám (SOUKUP a PEŠKOVÁ, 2009). Zvláště alarmující je pak zjištěné rychlé šíření kloubnatky smrkové na domácím smrku ztepilém (PEŠKOVÁ a kol., 2016), který ve vyšších lesních vegetačních stupních Krušných hor tvoří hlavní dřevinu v lesních porostech.

#### 3.2 Nomenklatura a taxonomie patogenu

Kloubnatka smrková, s ohledem na skutečnost, že vytváří dvě morfologicky odlišná stádia, byla nejprve popsána jako dva samostatné druhy. Pohlavní stádium (tzv. teleomorfa) bylo prvně popsáno v roce 1909 na základě nálezů ve Skotsku pod jménem *Cucurbitaria piceae* Brothw. (BROTHWICK, 1909). Nepohlavní stadium (tzv. anamorfa) pak bylo nezávisle popsáno v Rusku pod jménem *Megaloseptoria mirabilis* Naumov (NAUMOV, 1927). Experimentálně potvrdil vztah mezi teleomorfním a anamorfním stadiem CASAGRANDE (1969), který druh zařadil do nově popsaného rodu *Gemmamyces* Casagrande. V rámci klasifikace byla kloubnatka řazena do čeledi *Cucurbitariaceae* a řádu *Pleosporales* (zďovkotvaré). Na základě molekulárních metod (analýza genových sekvencí) použitých v souběžně probíhajících studiích (ČERNÝ a kol., 2016; JAKLITSCH a VOGLMAYR, 2017) byla



kloubnatka smrková přeřazena z čeledi Cucurbitariaceae (kloubnatkovité) do čeledi Melanommataceae (černěnkovité). Zároveň tak bylo potvrzeno pojmenování druhu *Gemmamyces piceae* Brothw., o kterém do té doby byly pochybnosti (ZÝKA a kol., 2018)

### **Taxonomické zařazení kloubnatky smrkové (*Gemmamyces piceae*)**

říše: *Fungi*

podříše: *Dikarya*

kmen: *Ascomycota*

podkmen: *Pezizomycotina*

třída: *Dothideomycetes*

podtřída: *Pleosporomycetidae*

Řád: *Pleosporales*

Čeleď: *Melanommataceae*

Rod: *Gemmamyces*

### **3.3 Biologie patogenu**

Kloubnatka smrková vytváří dvě vývojová stádia, pohlavní a nepohlavní, která jsou morfologicky odlišná (SOUKUP a PEŠKOVÁ, 2009). Plodnice pohlavního stádia (perithecia) jsou obvykle seskupena na malých bazálních stromatech, jsou kulovitého až ampuliformního tvaru, stopkatá nebo přitisklá, černavá o velikosti 0,25 – 0,5 mm. V nich obsažená vřecka, bitunikátního, válcovitého až kyjovitého tvaru, měřící v průměru 183,4 x 25,5  $\mu\text{m}$ , produkují zdřovité askospory, které jsou bezbarvé, později hnědnoucí, o rozměrech 40,7 x 15,3  $\mu\text{m}$  (ZÝKA a kol., 2018). Podobných rozměrů a tvarů dosahují i plodnice nepohlavního stádia, tzv. pyknidy, vytvářející se rovněž na bazálním stromatu. Mají kulovitý až vejcovitý tvar, hnědou až černou barvu a rozměry 0,35 – 0,95 mm. Konidiogenní buňky (analogie k vřeckům) jsou samostatné, nebo jsou integrované v tzv. konidioforech. Mají lahvicovitý tvar a měří cca 7,8 x 4,5  $\mu\text{m}$ . Tyto útvary produkují bezbarvé, červovité, často zahnuté konidie měřící v průměru 188,1 x 6,1  $\mu\text{m}$ , které mají v průměru 18 přihrádek (ZÝKA a kol., 2018). Vzhled popisovaných plodnic a spor je patrný z obrázku č. 1.



Obr. č. 1: Morfologie kloubnatky smrkové. a) infikovaný pupen, b)+c) perithecium z čelního pohledu, d) perithecium z bočního pohledu, e) pycnidy, f)+j) řez peritheciem v detailu, g)+h) vřečka i)+u) konidie, n)-t) askospory (převzato z JAKLITSCH a VOGLMAYR, 2017)

### 3.4 Životní cyklus a ekologie patogenu

Poznatky o životním cyklu kloubnatky jsou uvedeny v pracích (ČERNÝ a kol., 2016; ŠEFL, 2013; ZÝKA a kol., 2018). Patogen se vyvíjí na pupenech dřevin rodu *Picea*. První symptomy napadení pupenů patogenem jsou patrné v první polovině dubna. Tou dobou se objevují první hnědavé skvrny (léze) na špičce pupenů nebo na bocích pod krycími šupinami. Tyto skvrny se postupně rozrůstají a za vlhka se jejich povrch může pokrýt bělavým myceliem (ZÝKA a kol., 2018). Na přelomu května a června se začínají objevovat pyknidy produkující konidie (ZÝKA a kol., 2018; ŠEFL, 2013). Jejich produkce vrcholí koncem června a července a snižuje se až do září. Dobu zrání konidií dle ŠEFLA (2013) činí 18 dní. Bazální stroma pohlavního stádia se objevuje na odumřelých pupenech mezi již odumřelými pyknidami v závěru kalendářního roku. Postupně se vyvíjejí perithecia, a to v průběhu ledna. Vřečka se vyvíjejí v průběhu května. Askospory dosahují zralosti v průběhu července až září s kulminací v srpnu (ZÝKA a kol., 2018). Z uvedeného popisu vyplývá, že životní cyklus patogenu je dvouletý. V prvním roce se na infikovaném pupenu vytvářejí nepohlavní výtrusy (konidie) v druhém roce potom pohlavní výtrusy (askospory). V dalších letech tak lze v souvislosti s popsáním životním cyklem v rámci jednoho stromu respektive na jednotlivých větvích nalézt ve vegetační sezóně oba typy plodnic.

K šíření patogenu na hostitele dochází pomocí nepohlavních a pohlavních spor, tj. konidií a askospor. ZÝKA a kol. (2018) ve své studii předpokládají, že dominantní způsob šíření je pomocí konidií. K němu by mělo docházet za vlhkého počasí vlivem srážek (ČERNÝ a kol., 2016). Stejný autor uvádí, že na tento způsob šíření poukazuje i jejich velikost, nitkovitý a prohnutý tvar. Naopak k šíření askospor by mělo s ohledem k jejich anatomii docházet pomocí větru. Do jara následujícího roku přežívá patogen v pupenech ve formě hyf, vyloučit nelze ani možnost přežití ve formě askospor (ZÝKA a kol., 2018). Dle zjištění Černý a kol. 2016 je kloubnatka výrazně chladnomilným druhem. Při pěstování v kultuře byla jako minimální teplota růstu zjištěna 0 °C, optimum je mezi 13-18 °C a maximum při 25 °C. To koresponduje s jeho rozšířením v ČR, tedy převážně v horských oblastech. Prvotní průzkumy na smrku pichlavém (PEŠKOVÁ a SOUKUP, 2009) ukazovaly na možný pozitivní vliv vysoké vzdušné vlhkosti a srážek. POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011), jež rovněž prováděli průzkumy na porostech smrku pichlavého v Krušných horách, identifikovali možný vliv reliéfu, kdy nejvíce zasažené porosty byly na rovinách a vrcholových partiích. Tito autoři rovněž uvádějí, že zásadním faktorem je množství srážek a vysoká vzdušná vlhkost. Jako další faktor zmiňují nadmořskou výšku, a to konkrétně vrstevnici 700 m

n. m., nad kterou může oblačnost dosahovat až k povrchu země a je zde častější výskyt mlh. Dále zmiňují možný vliv zápoje porostů, nadmořskou výšku, zamokření, stáří porostů, množství dostupných živin. Výzkum prováděný UJEP shrnuje ŠEFL (2013). Kromě hodnocení napadání porostů smrku pichlavého byly měřeny hodnoty vlhkosti a teploty vzduchu. Tato měření ukázala, že průběh teplot a vlhkosti nemohou být jediným faktorem ovlivňujícím rozvoj napadení. Zároveň se neprokázala hypotéza, že vývoj patogenu je závislý na sumě efektivních teplot. Navazující výzkumy UJEP shrnuje SCHOŘÁLKOVÁ (2015). Tyto výzkumy poukazují na možný vliv srážek v měsících srpnu a září na snížení infekce v následujícím roce s ohledem na možné vymývání spor z pupenů a dále možný vliv výrazného poklesu teplot v době před zahájením a ukončením fyziologické aktivity houby, výrazné poklesy teplot v květnu a v září. Nakonec přehledová práce ČERNÝ a kol. (2016) jako možné faktory ovlivňující rychlost šíření patogenu uvádí vyšší vlhkost vzduchu, hustotu koruny a její nasazení (nižší koruny více napadené). Rizikové by měly být rovněž letní deště (CORKE, 1955 in ČERNÝ a kol., 2016). Úspěšnost a rychlost šíření kloubnatky smrkové na smrku pichlavém v letech 2009 - 2013, resp. na smrku ztepilém (2014 - dosud) a faktory prostředí, které ji ovlivňují, však prozatím nebyly uspokojivě zjištěny.

S počínajícím epidemickým šířením patogenu na smrku pichlavém v Krušných horách se pozornost začala zaměřovat na predikci vývoje epidemie a stanovení priorit při zpracování porostů náhradních dřevin. Se zjištěným nárůstem infekce na domácím smrku ztepilém od roku 2014 (PEŠKOVÁ a kol., 2016) se naléhavost poznání těchto nároků ještě zvýšila. Dosavadní poznatky o ekologických nárocích lze čerpat z výzkumů a hodnocení prováděných Fakultou životního prostředí UJEP, Fakultou lesnickou a dřevařskou v Praze a Výzkumným ústavem lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.

### **3.5 Symptomy poškození**

Choroba se projevuje několika symptomy. Tyto symptomy byly popsány pro smrk pichlavý. Prvním je odumírání pupenů a s ním spojené růstové deformace. Podrobně je popisuje například ŠEFL (2013). Poškození (drobné rezavé až hnědé léze) se začínají objevovat těsně pod krycími šupinami pupenů a postupně prorůstají k ose pupenu. Nejprve poškozují primordia jehlic a pokud infekce pokračuje dále, tak zasahuje i primordia pokožky budoucího letorostu. Mycelium houby může pronikat i pod ně a poškozovat dělivá pletiva – meristémy. ZÝKA a kol. (2018) udává, že u smrku pichlavého většina pupenů, pokud jsou napadeny, odumírá ještě před vyrašením. Rašící pupeny jsou pak pokroucené, což způsobuje jejich stáčení

podél nekrotizující části pupenu. V případě, že v průběhu infekce dojde k inhibici růstu houby, může rašící letorost přežít. ŠEFL (2013) popisuje i vzácnější projevy infekce, kdy dojde k růstu letorostu bez jehlic, nebo letorostu s náhradním korkovým pletivem. Odumírání pupenů iniciuje tvorbu bočních pupenů adventivních, což má za následek charakteristické „cik-cak“ větvení, podle kterého lze na napadení kloubnatkou usuzovat i z větší vzdálenosti. Zde je však třeba upozornit, že podobné projevy má i napadení letorostů korovnicemi rodu *Sacchiphantes*.

Pro potvrzení infekce kloubnatou je pak nezbytné zjistit přítomnost infikovaných pupenů. Při déle trvající infekci, odumírání pupenů a absenci nových letorostů, dochází postupně k řídnutí koruny stromů, jak opadávají starší jehlice, které již nejsou nahrazeny. Strom pak v průběhu několika vegetačních sezón postupně chřadne, až zcela odumírá. U smrku ztepilého jsou symptomy napadení srovnatelné, jen prozatím nebylo zjištěno odumření jedinců způsobené touto houbovou infekcí a celkově lze konstatovat, alespoň dle dosavadního monitoringu, že má infekce prozatím slabší průběh. Dalším rozdílem je umístění infekce pupenů v rámci koruny. Zatímco v případě smrku pichlavého byly zasaženy nejprve spodní partie koruny, u smrku ztepilého se infikované pupeny nacházejí spíše ve vrcholových partiích (PEŠKOVÁ A KOL., 2016).

Dalším významným vlivem kloubnatky smrkové je její vliv na fyziologii napadených dřevin, a to konkrétně na efektivitu fotosyntézy. Tomuto tématu se na *Picea abies* věnovala VLNIEŠKOVÁ (2017). Zkoumána byla rychlost asimilace v závislosti na intenzitě fotosynteticky aktivní radiace (FAR). Bylo zjištěno, že při vyšších intenzitách FAR, vykazovaly dřeviny smrku ztepilého s vyššími stupni napadení kloubnatkou, nižší rychlosti asimilace. Tento rozdíl byl však statisticky nevýznamný. Efektivita fotosyntézy, tj. množství kvantového výtěžku, pak byla mezi napadenými a nenapadenými jedinci porovnávána pomocí AEQ (apparent quantum yield). Bylo zjištěno, že takto vyjádřená efektivita fotosyntézy má s vyšším stupněm napadení klesající tendenci. Dále byl testován tzv. LCP – light compensation point (kompenzační bod fotosyntézy). Tento bod nastává ve chvíli, kdy je roven příjem a výdej CO<sub>2</sub> rostlinou. Tedy kdy je asimilace rovna disimilaci (transpiraci). Více napadené dřeviny měly tento bod výše položený, tzn., že začaly transpirovat při vyšších hodnotách ozáření, než dřeviny méně napadené.

### 3.6 Hostitelské dřeviny

Mezi hostitelské dřeviny, jak již bylo uvedeno, se řadí zejména rod *Picea*. Jejich dosud zjištěné spektrum shrnuje ČERNÝ A KOL. (2016). Jedná se

o u nás nepůvodní druhy *Picea asperata* Mast., *P. glauca* (Moench) Voss, *P. pungens* Engelm., *P. schrenkiana* Fisch. & C.A. Mey., *P. sitchensis* (Bong.) Carrière. Výskyt na severoamerických smrcích *P. glauca*, *P. pungens*, *P. sitchensis* byl potvrzen na území Severní Ameriky i v Evropě (ZÝKA a kol., 2018). PEŠKOVÁ a kol., 2016 uvádí z Krušných hor ojedinělý nález i na evropském *Picea omorika* z roku 2015 na LS Klášterec (revír Vejprty). Na domácím smrku *Picea abies* je výskyt prvně popsán ve Finsku v roce 1950 (KUJALA in ZÝKA a kol., 2018), po kterém následují další průběžné nálezy na různých místech Evropy. V České republice je výskyt na *Picea abies* hlášen sporadicky z Krušných hor od roku 2009 (MODLINGER a PEŠKOVÁ, 2017), a postupně pak z Jizerských hor, Lužických hor, Šumavy a Kralického Sněžníku. Pravděpodobně se vyskytuje i v dalších oblastech (ZÝKA a kol., 2018). Dále je výskyt udáván i na rodu *Abies*, a to konkrétně *Abies alba* a *A. mordmaniana* (BUTIN, 1989). Tento výskyt je však považován za sporný (ZÝKA a kol., 2018).

### 3.7 Mezidruhové vztahy

Kromě výše uvedených hostitelských dřevin, se kterými interaguje *G. piceae* jako parazit, byl z mezidruhových vztahů dále popsán výskyt mykoviru *Cucurbitaria piceae partitivuris*, který spadá do rodu *Betapartivirus* čeledi *Partitiviradea* (PETRZIK a kol., 2016). Ten byl zjištěn v sebraných vzorcích bazálního stromatu *Gemammyces piceae* z Orlických a Krušných hor. Autoři v témže zdroji uvádějí, že mezidruhový vztah nelze prozatím charakterizovat jako symbiotický nebo patogenní. Dle posledních zjištění (PETRZIK in ZÝKA a kol., 2018) ovlivňuje přítomnost viru růstové charakteristiky *Gemammyces piceae* v kultuře a pravděpodobně také její fitness.

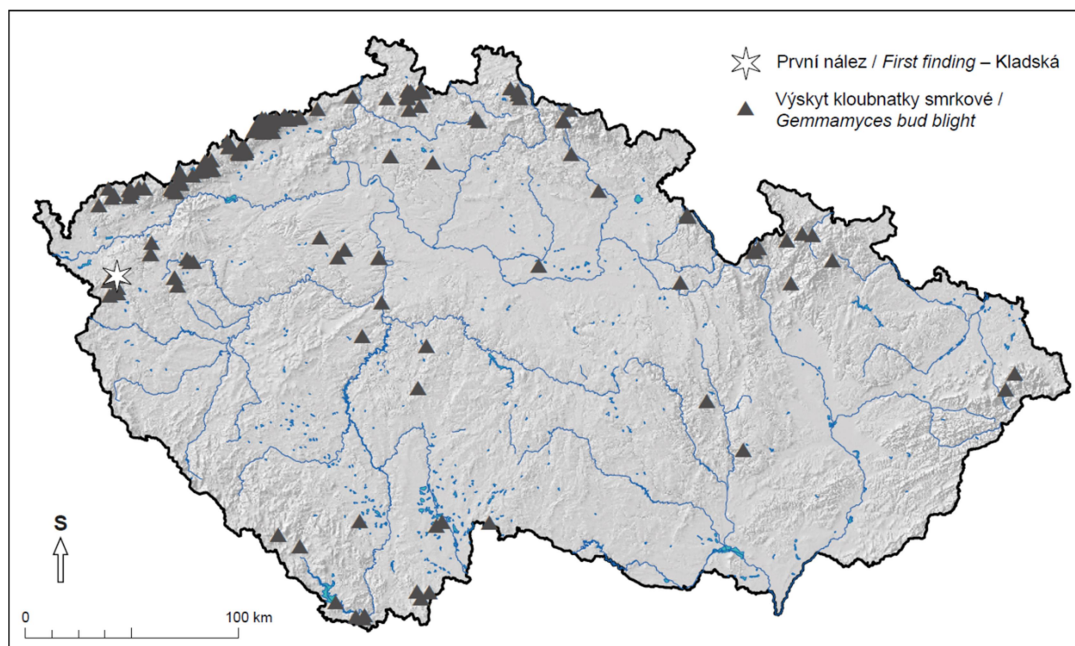
### 3.8 Areál rozšíření

Původní areál kloubnatky smrkové nebyl dosud spolehlivě určen, předpokládá se, že by jí mohla být východní Asie (ZÝKA a kol., 2018), kde byla kloubnatka popsána v pohoří Ťan-Šan na přirozených porostech *Picea schrenkinana* a zároveň je odsud popsán dosud jediný další známý zástupce rodu *Gemammyces*, a to konkrétně *Gemammyces pipeicola* (YUAN a WANG, 1995). Odtud byla houba pravděpodobně zavečena do dalších dosud známých míst výskytu, jejichž výčet uvádí ve své práci ČERNÝ a kol. (2016). Jedná se o evropské země – Česká republika, Dánsko, Finsko, Irsko, Itálie, Rakousko, Německo, Švýcarsko, Slovinsko, Rusko (západní oblasti Ruska - Novgorod a Petrohrad) a Švédsko. Vůbec první výskyt na území Evropy je

doložen ze Skotska z roku 1909, jak je již výše zmíněno. Mimo území Evropy je výskyt kloubnatky hlášen od roku 2013 z Aljašky z okrasné výsadby smrku pichlavého v přístavu Hover (ADAMS a EVERHART in ZÝKA a kol. 2018).

První nález kloubnatky smrkové z území ČR je zmíněn KÖCKEM (1918), a to konkrétně v roce 1909 z okrasných výsadeb smrku pichlavého v okolí loveckého zámečku Kladská. Zároveň zmiňuje hypotézu, že k zavlečení patogenu mohlo dojít společně s dřevinami introdukovanými z okrasných školek v Německu a Nizozemí. Údaje o výskytu kloubnatky po 20. letech 20. století v literatuře chybí, přestože střední Evropa je některými autory považována za centrum výskytu (CORKE 1955, in ZÝKA a kol. 2018). K další introdukci a plošným výsadbám smrku pichlavého docházelo v hraničních pohořích ČR (zejm. Krušných a Jizerských horách) od 70. let 20. století v souvislosti se zakládáním porostu náhradních dřevin na imisních holinách, při kterých bylo využíváno i smrkových exotů (SLODIČÁK a kol., 2008). Sadební materiál byl pěstován ze semen dovezených ze Severní Ameriky. Výskyt kloubnatky byl však opětovně zaznamenán až v roce 2007 v Krušných horách na LS Litvínov (POSPÍŠIL a KILB in ZÝKA a kol., 2018). Následné šetření provedené VÚLHM, v. v. i., Lesní ochrannou službou ukázalo na 40 % poškození porostů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou v roce 2009 (SOUKUP a PEŠKOVÁ, 2009). V roce 2017 pak úroveň napadení ve zbývajících porostech smrku pichlavého v Krušných horách dosahovala 75 % (ČERNÝ a kol., 2017). Po zjištění výskytu kloubnatky smrkové v Krušných horách byl její výskyt následně potvrzen i na řadě dalších míst od nížin (min. 220 m n. m. Kundratice v Polabí) až po vrcholky hor (max. 1144 m n. m. na Kralickém Sněžníku) (ZÝKA a kol., 2018). Současný výskyt kloubnatky smrkové v ČR ilustruje obr. č. 2.

Potvrzení výskytu kloubnatky smrkové až v roce 2007, přestože byla hostitelská dřevina smrk pichlavý hojně vysazována do porostů náhradních dřevin od 70. let minulého století, je dáván do souvislosti s kyselými dešti oxidů síry, které měly působit fungistaticky. Tato hypotéza byla stanovena na základě vývoje snižování emisí oxidu síry v letech 1992 – 1998 v souvislosti s instalací technologií na odsíření hnědouchelných elektráren v Podkrušnohorské pánvi a modelovaného počátku epidemie kloubnatky odvozeného z vývoje poškození porostů smrku pichlavého mezi roky 2009 a 2013, který byl stanoven krátce před rok 2000 (ČERNÝ a kol., 2016). Experimentálně tuto hypotézu ověřil ČERNÝ a kol. (2016). Kmeny *Gemmamyces piceae* pěstované na růstových mediích s různými koncentracemi síry vykazovaly již při nízkých koncentracích síry prakticky stoprocentní inhibici klíčení spor.



Obr. č. 2: Současný evidovaný výskyt kloubnatky smrkové v ČR (Převzato ze ZÝKA a kol., 2018)

### 3.9 Rozvoj patogenu na smrku ztepilém v Krušných horách

První zjištěný výskyt kloubnatky smrkové na smrku ztepilém lze datovat přibližně do stejného období jako na smrku pichlavém, a to konkrétně do roku 2009 (MODLINGER a PEŠKOVÁ, 2017). V následujících letech se vždy jednalo pouze o jednotlivé nálezy zjištěné v rámci monitoringu výskytu patogenu na smrku pichlavém. To platí až do roku 2013, kdy PEŠKOVÁ a SOUKUP (2013) udávají jednotlivě napadené pupeny na několika jedincích a silné napadení pouze na jednom jedinci v rámci LS Klášterec a jednom jedinci LS Litvínov. V rámci LS Litvínov popisuje totožně stav ŠEFL (2013). V roce 2014 v rámci monitoringu výskytu patogenu na smrku pichlavém byl však registrován nárůst napadení smrku ztepilého (PEŠKOVÁ a SOUKUP, 2015). Stále se jednalo pouze o napadení jednotlivých pupenů, ale s ohledem na četnost výskytu autoři vyslovují obavu o možný nárůst poškození smrku ztepilého. Na základě těchto zjištění se v následujících letech zintenzivnil monitoring patogenu na smrku ztepilém, který probíhal v roce 2015 na LS Klášterec a LS Litvínov ve 49 porostech na celkem 1427 jedincích (PEŠKOVÁ a kol., 2016). Tento monitoring potvrdil předchozí obavy. Téměř polovina šetřených stromů vykazovala nějaký stupeň napadení a téměř ¼ stromů byla napadena silně (více než na jedné větvi).



## 4 Charakteristika výzkumné lokality

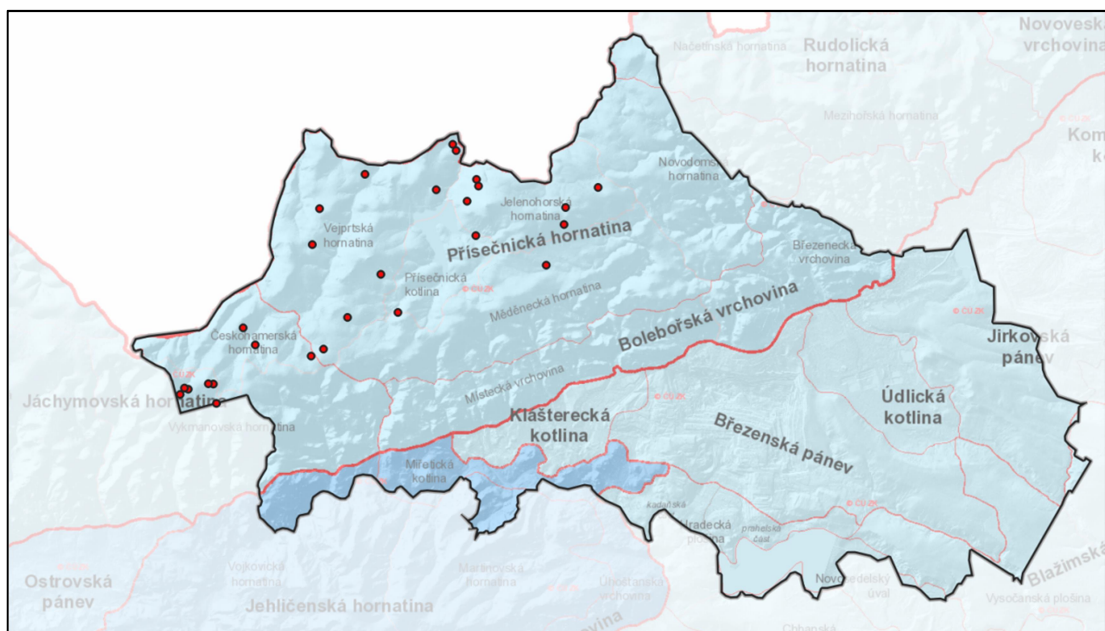
Výzkum probíhal na LS Klášterec respektive na Lesním hospodářském celku Klášterec. Lesní hospodářský celek zaujímá 3 přírodní lesní oblasti stanovené na základě rozdílných geomorfologických, geologických a klimatických podmínek PLÍVOU a ŽLÁBKEM (1986) a později převzaté do lesnické legislativy. Konkrétně se jedná o přírodní lesní oblast Krušné hory, Doupovské hory a Podkrušnohorské pánve. Výzkumná lokalita se omezuje pouze na přírodní lesní oblast Krušné hory, tedy na chladnější střední a vyšší polohy, ve kterých je těžiště výskytu kloubnatky smrkové v regionu resp. v ČR (ZÝKA a KOL., 2018) a je plošně zastoupen smrk ztepilý. Níže jsou rozvedeny geomorfologické, geologické a klimatické charakteristiky, na základě kterých byla tato přírodní lesní oblast vymezena, a další přírodní podmínky a antropogenní vlivy, které jsou pro studijní lokalitu charakteristické.

### 4.1 Geomorfologie

Geomorfologické charakteristiky jsou významné zejména s ohledem na nadmořskou výšku, sklonitost terénu a expozici ke světovým stranám. Sklonitost terénu je zásadní pro vývoj půd, kdy na rovinách a v terénních depresích se vytvářejí vodou ovlivněné půdní typy a dochází k akumulacím. K opačným dějům pak na svažitéch pozemcích. Expozice ke světovým stranám pak má význam s ohledem na teplotní charakteristiky. Severní polohy jsou chladnější. V říčních údolích pak může docházet k teplotním zvrátům (inverzím). Geomorfologie tak zásadním způsobem ovlivňuje rozložení lesních typů a mikroklimatické charakteristiky.

Dle geomorfologické hierarchické klasifikace ČR (DEMEK a kol., 2006) spadá studijní lokalita do provincie České vysočiny, Krušnohorské soustavy (III), podsoustavy Krušnohorské hornatiny (IIIA), celku Krušných hor (IIIA-2), podcelků Klínovecké (IIIA-2A) a Loučenské hornatiny (IIIA-2B), okrsků Přísečnické (IIIA-2B-1) a Jáchymovské hornatiny (IIIA-2A-2). Celek Krušných hor je charakteristický výškovou členitostí 200 – 500 m. Jeho rozloha je přibližně 1600 km<sup>2</sup>, Průměrná výška dosahuje 707 m n. m., průměrný sklon pak hodnoty 7°. Z uvedených údajů vyplývá, že se jedná o nepříliš členité pohoří, které autoři (DEMEK a kol., 2006) označují jako plochou hornatinu. Nejvíce členitou částí je jihovýchodní oblast Jáchymovského a Krušnohorského zlomového svahu s výškovým rozdílem 500 – 600 m. Tento zlom, tvořící hranici s navazujícími geomorfologickými jednotkami (Mostecká pánev, Doupovské hory), je na několika místech přerušen údolními potoky.

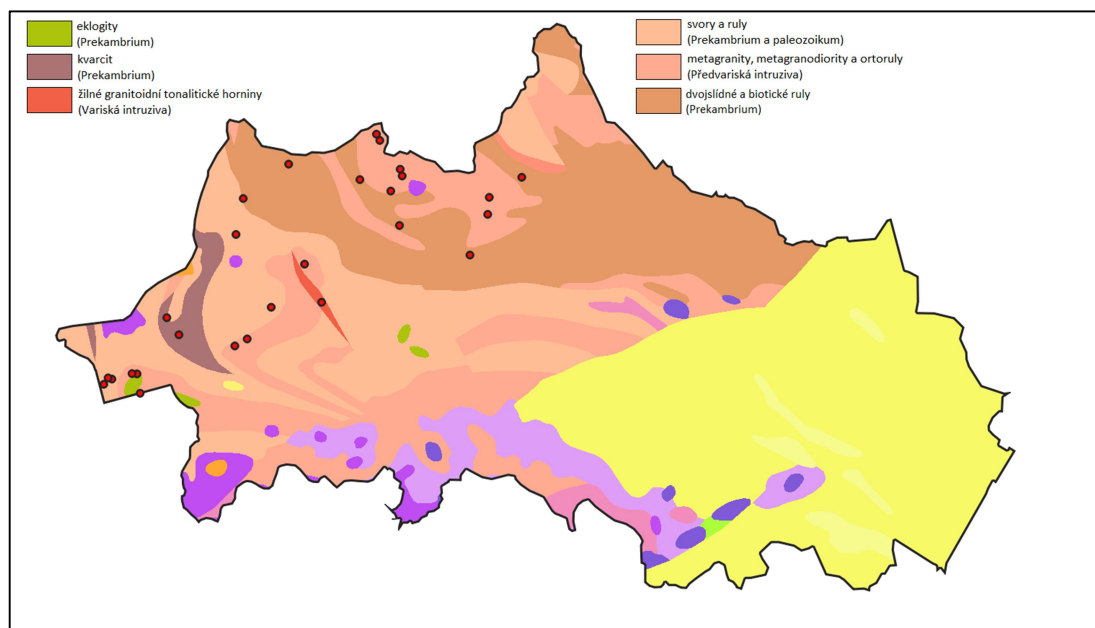
Všechny trvalé zkušné plochy jsou však umístěny až nad Krušnohorským zlomem. To je patrné z obr. č. 3. Klínovecká hornatina je charakteristická rozlehlými zbytky zarovnaných povrchů – holoroviny a mělkými úvalovitými údolími (DEMEK a kol., 2006). Nejvyšší horou je Klínovec s nadmořskou výškou 1244 m n. m. Loučenská hornatina má srovnatelnou charakteristiku. Nejvyšší horou je Jelení Hora (994 m n. m.).



Obr. č. 3: Geomorfologické členění studijní lokality (dle DEMEK a kol., 2016)

## 4.2 Geologie

Krušné hory jsou součástí Českého masivu vzniklého v rámci variského vrásnění v intervalu 380 - 300 milionů let před přítomností. Na jeho stavbě se podílejí horniny prekambričského a paleozoického stáří. V rámci rajonizace Českého masivu spadají Krušné hory do oblasti sasko-durynské (CHLUPÁČ a kol., 2002). Studijní lokalita pak v celém rozsahu do tzv. Krušnohorského krystalinika, které je tvořeno metamorfovanými sedimenty (fylity, svory, pararuly) a z migmatitů, ortorul, granitů. Úplné zastoupené hornin v geologické stavbě výzkumné lokality je patrné z obr. č. 4. Dle kategorizace hornin s ohledem na půdní reakci a minerální sílu půdy, kterou uvádí VAVŘÍČEK a KUČERA (2015) se jedná o kyselé horniny s vysokým zastoupením křemičitanové složky, minerálně středně bohaté (žuly, ruly), minerálně slabé (svory) až minerálně chudé (kvarcit). Na revíru Klínovec se lokálně vyskytuje eklogit, který je z pohledu této klasifikace řazen mezi horniny minerálně bohaté a bazické.



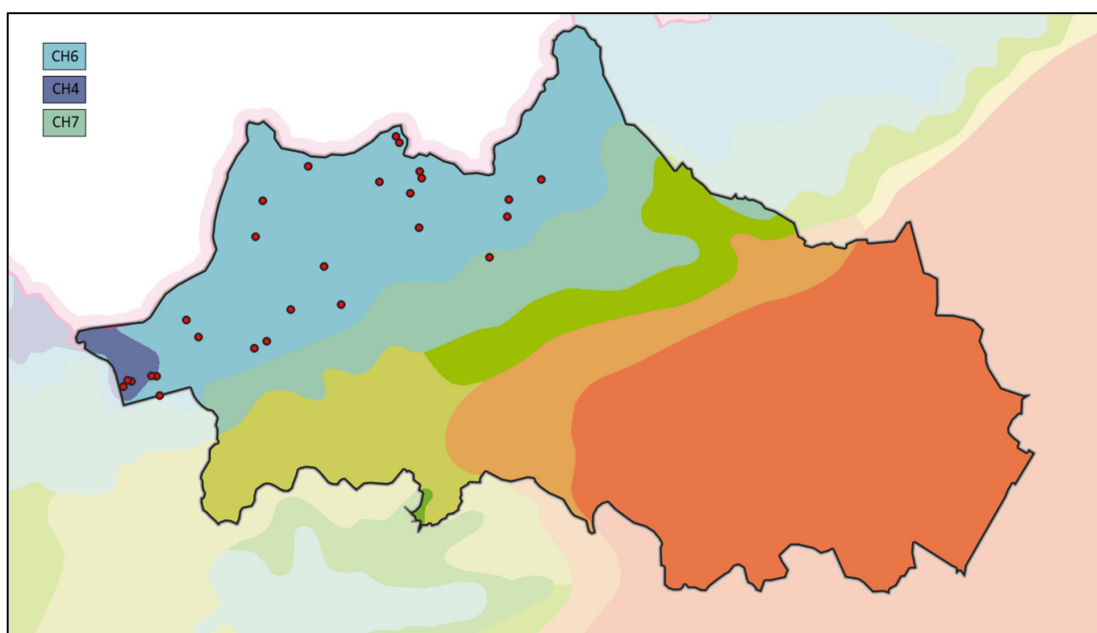
Obr. č. 4: Geologická skladba výzkumné lokality (převzato z ČGS, 2015)

### 4.3 Klima

Dle klasifikace klimatu dle QUITTA (1971), jakožto nejpoužívanější klasifikace v ČR, spadá studijní lokalita do chladné oblasti, přičemž jsou zastoupeny všechny podoblasti tedy CH4, CH6 a CH7. Trvalé zkušné plochy jsou nejvíce zastoupené v oblasti CH6 méně pak v CH7 (1 plocha) a v CH4 (4 plochy), což je patrné z obrázku č. 5. Charakteristiky (teplotní, srážkové), na základě, kterých byly klimatické podoblasti vymezeny (Tab. č. 1).

Tab. č. 1: Klasifikace klimatu (dle QUITTA, 1971)

charakteristika	CH4	CH6	CH7
letní dny (část dne $\geq 25^{\circ}\text{C}$ )	0-20	10-30	
dni s dosaženou teplotou $10^{\circ}\text{C}$	80-120	120-140	
mrazové dny (část dne $\leq 0^{\circ}\text{C}$ )	160-180	140-160	
ledové dny (celý den $\leq 0^{\circ}\text{C}$ )	60-70		5-60
prům. teplota leden	-6 - -7	-4 - -5	-3 - -4
prům. teplota duben	2-4		4-6
prům. teplota červenec	12-14	14-15	15-16
prům. teplota říjen	4-5	5-6	6-7
počet dní se srážkami $\geq 1\text{mm}$	120-140	140-160	120-130
srážkový úhrn vegetační období	600-700		500-600
srážkový úhrn zimní období	400-500		350-400
dny se sněhovou pokrývkou	140-160	120-140	100-120
počet jasných dní	130-150	150-160	
počet dní zatažených	30-40	40-50	



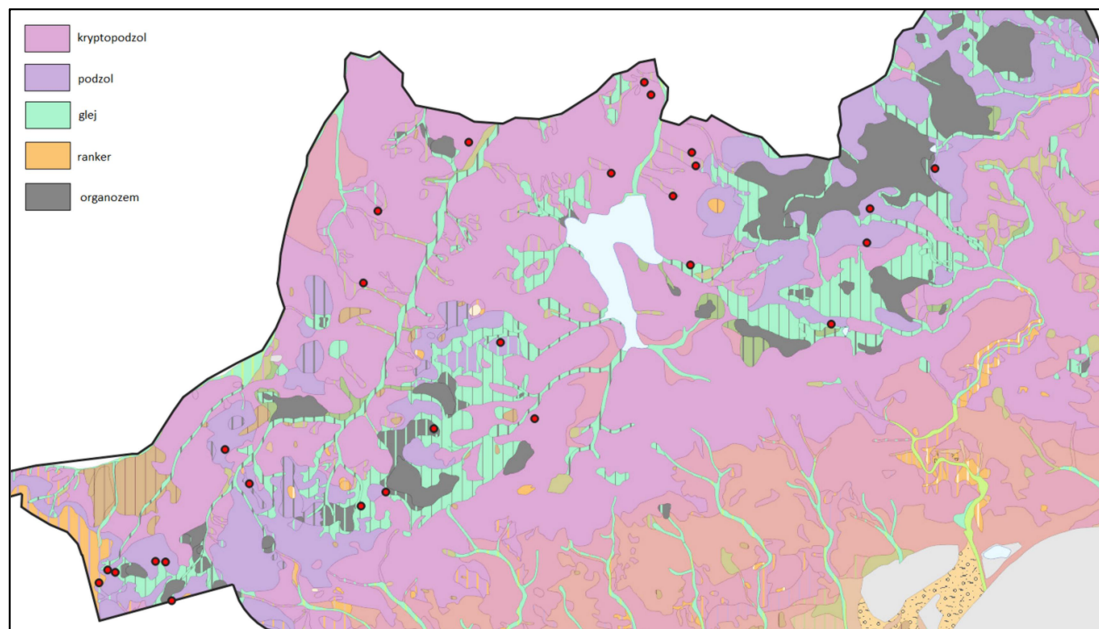
Obr. č. 5: Klimatická klasifikace studijní lokality (dle QUITTA, 1971)

Vegetační doba má délku mezi 100 – 120 dny (Klínovec 80-100 dní). Teplotní gradient se uvádí pro Krušné hory 0,56 °C na 100 výškových metrů (SAMEK a KRÁTKÝ, 1960). Pro oblast jsou charakteristické teplotní inverze na náhorní plošině Krušných hor v terénních pokleslinách a v uzavřených údolích. Průměrná roční teplota dle údajů ČHMÚ (2019a) dosahuje 6 °C. Srážkové úhrny v zájmové oblasti neklesají pod hranici 700 mm/rok (ČHMÚ, 2019b). Z uvedených údajů o průměrné roční teplotě a průměrných ročních srážkách vychází Langův dešťový faktor 116, proto lze o oblasti hovořit jako o humidní až perhumidní. Proudění větru převládá z jihozápadního, západního a severozápadního směru, četností se blíží téměř 2/3 případů pozorování proudění vzduchu HEGER (1957).

#### 4.4 Pedologie

Podle mapy půdní typologie (ČGS, 2012) se na náhorní plošině Krušných hor, do které v rámci LS Klášterec spadají všechny výzkumné plochy, vyskytuje nejvíce (ve 2/3 případů) půdní typ podzolu a kryptopodzolu v modálních, glejových nebo oglejených subtypech. Méně častý je pak výskyt gleje v histickém subtypu. Jedna zkušební plocha je dle uvedené pedologické mapy umístěná na organozemi fibrické, a jedna plocha (revír Klínovec) na rankeru. Konkrétní rozložení půdních typů v rámci výzkumných ploch je patrné z obr. č. 6. Dle typologického systému Ústavu pro hospodářskou úpravu lesa pak na LHC Klášterec převládají soubory lesních typů (SLT)

kyselé řady s 55 %. Nejčastěji zastoupeným SLT je kyselá smrková bučina – 6K (LHP LHC Klášterec, 2019). V místech, kde jsou situovány jednotlivé zkušné plochy, je pak kromě kyselé řady zastoupeny i vodou ovlivněné ekologické řady (oglejená, podmáčená a rašelinná).



Obr. č. 6: Mapa půdních typů v rámci výzkumné lokality (ČGS, 2012)

#### 4.5 Antropogenní vlivy

Počátky ovlivnění lesních porostů Krušných hor lze datovat do počátku 12. století. Do té doby bylo toto pohraniční pohoří pravděpodobně pokryté téměř neporušenými lesy (ÚHÚL, 1999). Následuje první zásadní exploatace lesa, a to v souvislosti s hornickou kolonizací Krušných hor. Rozvoj dolů a hutí si vyžádal velké množství dříví (stavební, důlní, na dřevěné uhlí). Další vliv na stav lesů měla pastva, která byla v lesích povolena. Období rozvoje hornictví v regionu Krušných hor bylo na vrcholu v 15. a 2. polovině 16. století. V té době byly lesy na Přísečnicku (část dnešního LHC Klášterec) zcela zničeny a region se potýkal s nedostatkem dřeva. Do této doby lze tedy datovat počátky cíleného lesnického hospodaření (ÚHÚL, 1999). Jednalo se však hlavně o zákazy a regulace (omezení těžeb a pastvy v lesích). K přechodnému zotavení lesů došlo v období 30leté války v 17. století. Od 18. století pak začíná plánovitě lesní hospodářství ovlivněné německou lesnickou školou (ÚHÚL, 1999). Obnova lesa byla nejprve prováděna hlavně sítí, postupně však převládla obnova sadbou. Podobně jako v jiných regionech ČR nakonec zcela převládl smrk ztepilý. V 19. století pak začínají první odvodňování zamokřených lokalit sítí (ÚHÚL, 1999). V průběhu tří století tak došlo k zásadní změně druhové skladby lesa z lesů smíšených na

převážně smrkové monokultury. Smrk ztepilý se tak stává edifikátorem, který ovlivňuje svou přítomností podmínky prostředí, např. snižuje půdní reakci.

Dalším zásadním antropogenním vlivem, který ovlivnil stav lesa i prostředí, bylo poškození porostů imisemi oxidů síry v 2. polovině 20. století v souvislosti s provozem hnědouhelných elektráren v podkrušnohorské pánvi. Přímý vliv na lesní porosty byl prvně zjištěn v roce 1947. Došlo k poškození asimilačního aparátu dřevin a tyto porosty již nezregenerovaly (SLODIČÁK a kol., 2008). Přímé poškození porostů emisemi oxidu síry dosahovalo největší intenzity na přelomu 70 – 80 let a ustalo až na přelomu století v souvislosti s odsířením hnědouhelných elektráren. Aktuálně je tak zásadní ovlivnění zdravotního stavu lesa i při nepříznivých povětrnostních stavech (dlouhotrvající inverze) přímým působením oxidů síry nepravděpodobné (ŠRÁMEK, NOVOTNÝ a kol., 2015). Reakcí na přímé poškozování porostů a nárůst exhalačních těžeb, který v Krušných horách dosahoval až 0,5 mil. m<sup>3</sup>/rok (SLODIČÁK a kol., 2008), byla tvorba porostů náhradních dřevin rezistentních vůči imisnímu zatížení. Z celkové plochy exhalačních těžeb odhadovaných v Krušných horách na 40 tis. ha (ŠRÁMEK a kol., 2014) bylo porosty náhradních dřevin zalesněno celkem asi 33 tis. ha lesa (POKORNÝ a ŠPLÍCHALOVÁ, 2011). Na dřevinné skladbě porostů náhradních dřevin se nejvíce uplatňovala bříza bělokorá (plošný podíl 18 %), smrkové exoty, zejm. smrk pichlavý (13 %), modřín opadavý (8 %) a jeřáb ptačí s plošným podílem asi 6 % (SLODIČÁK a kol., 2008). Lesní správa Klášterec patří společně s LS Litvínov k lesním celkům s nejvyšším zastoupením porostů náhradních dřevin. Naopak trvajícím problémem, s ohledem na výživu a vitalitu lesních porostů, je přetrvávající depozice oxidů síry v půdě, které postupně na významu nahrazují depozice oxidu dusíku (ŠRÁMEK a kol., 2015). Tyto depozice způsobují trvale nízkou půdní reakci, nedostupnost živin a zvyšování obsahu toxických prvků např. hliníku a olova (SLODIČÁK a kol., 2008). Depozice oxidu dusíku navíc způsobuje eutrofizaci půdy a prohlubuje tak problém s nedostatkem biogenních prvků (hořčík, vápník) a výživou rostlin (SLODIČÁK a kol., 2008).

Řešení problému s trvale nepříznivou půdní reakcí spočívá v melioraci půd, a to jak chemické, tak biologické. Chemická meliorace je zajišťována prováděním leteckého vápnění. V oblasti Krušných hor bylo v 80tých až 90tých letech provedeno vápnění lesů v rozsahu asi 62 tis. ha lesní půdy (SLODIČÁK a kol., 2008), a to v dávce od 1,3 do 2,7 t/ha. Vápnění se týkalo hlavně západní části Krušných hor (LS Kraslice, LS Horní Blatná), kde je nižší půdní reakce dána i geologickým podložím. S ohledem na pozorované žloutnutí smrkových porostů, indikující problém s výživou rostlin, které se objevilo na přelomu tisíciletí, byla zahájena nová etapa vápnění Krušných hor (ŠRÁMEK a kol., 2014). V této etapě probíhající mezi lety 2000 – 2006 bylo na LS Klášterec provedeno letecké vápnění přibližně na 5000 ha lesní půdy.

K vápnění byl použitý dolomitický vápenec, který je charakteristický zvýšeným podílem obsahu hořčíku, který je v půdách v nedostatku. Vápnění uvedenou formou probíhá s přestávkami až do současnosti dle metodiky ŠRÁMEK a kol. (2014), která určuje plochy vápnění s ohledem na potřebu úpravy půdní reakce a s ohledem na minimalizaci rizik spojených s vápněním. Dle údajů lesní hospodářské evidence LS Klášterec bylo na LHC Klášterec v roce 2018 provedeno vápnění 1119 ha lesa v roce 2019 pak 423 ha lesa. Pozitivní efekty vápnění (pokles kyselosti, saturace sorpčního komplexu bázemi, nárůst obsahu hořčíku a vápníku) jsou pozorovatelné v humusové vrstvě půdy a trvají v období 2 – 5 let od provedeného vápnění. Biologická meliorace spočívá ve výsadbě vhodných dřevin s melioračními účinky, tj. příznivý vliv opadu dřevin na půdní vlastnosti (obsah živin, lepší formy humusu) a schopnost čerpat živiny z nižších vrstev půdy (SLODIČÁK a kol., 2008). Mezi tyto dřeviny, které se mohou v Krušných horách uplatnit, patří břízy, olše, jeřáb, osika a vrby.

## 5 Metodika

### 5.1 Založení a hodnocení trvalých zkusných ploch

Na území LS Klášterec bylo založeno celkem 27 trvalých zkusných ploch. Výběr jednotlivých trvalých zkusných ploch probíhal tak, aby v rámci zájmového území (LS Klášterec) bylo zastoupeno maximum kombinací faktorů prostředí, které by mohly dle dosavadních poznatků ovlivňovat intenzitu napadení kloubnatkou smrkovou. Těmito faktory pro výběr trvalých zkusných ploch byly věk a zakmenění porostů, nadmořská výška vyjádřená v LVS, ovlivnění stanoviště vodou a míra ovlivnění stanoviště imisemi vyjádřená pásmem ovlivnění imisemi dle platné legislativy. Tyto údaje byly až na výjimky převzaty z LHP LHC Klášterec s platností od roku 2009 do roku 2018. Přehled trvalých zkusných ploch s přiřazením uvedených faktorů prostředí je uveden v příloze č. 1. S ohledem na skutečnost, že předmětné údaje LHP jsou údaje stanovené jako průměrné pro popisovanou porostní skupinu a nepodchycují tak variabilitu v rámci porostní skupiny nebyl výběr konkrétních porostních skupin v rámci LHC pro založení zkusných ploch prováděn náhodně. Byly proto vybírány porostní skupiny po zhodnocení vnitřní variability sledovaných faktorů a dále bylo při výběru přihlíženo k tvaru porostní skupiny, dostupnosti pro vlastní hodnocení a její členitosti.

V terénu byly v jednotlivých porostech plochy vytyčovány tak, aby v nich byly co nejhomogennější podmínky. Plochy byly v ideálním případě vytyčeny v čtvercovém nebo obdélníkovém půdorysu. Jednotliví jedinci smrku ztepilého byli označeni po obvodu kmene cca ve výčetní výšce pořadovými čísly v trvalé zkusné ploše, a to za použití spreje. V porostech věkové kategorie 1 byly navíc na větev doplněny kovovým štítkem s pořadovým číslem. Poloha jednotlivých zkusných ploch je patrná z přílohy č. 2, způsob značení dřevin na trvalých zkusných plochách pak z přílohy č. 5.

V rámci každé zkusné plochy bylo vybráno mezi 50 – 57 jedinci smrku ztepilého pro hodnocení rozsahu napadení kloubnatkou smrkovou. Celkový počet hodnocených jedinců byl v roce 2017, kdy došlo k založení zkusných ploch roven 1412. Vlivem mortality dřevin, provedených nahodilých těžeb nebo poškození znemožňující další hodnocení (např. korunové zlomy), na některých trvalých zkusných plochách počty jedinců v průběhu hodnocení klesaly, avšak minimální počet hodnocených jedinců byl vždy 30. Celkový počet hodnocených jedinců v roce 2019 byl 1298.



Vizuální hodnocení míry napadení u každého jedince smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou bylo prováděno ve vegetační sezóně v období od července do října pomocí 5stupňové klasifikační stupnice (Tab. č. 2) převzaté z (PEŠKOVÁ a kol., 2016). Zároveň se stanovovala pro každého jedince míra defoliace koruny, která byla vyjádřena procentuálně v intervalech po 5 % (UNECE 2006). Je prováděna vizuálně a je proto zatížena určitou chybou, která vyplývá ze subjektivního vlivu hodnotitele. Chyba byla minimalizována tím, že každý strom hodnotili 3 posuzovatelé a byla použita průměrná hodnota (PEŠKOVÁ a LANDA, 2014). Dále byla stanovena poloha stromu na okraji, či uvnitř porostu. Poloha jedince byla jednou ze zkoumaných proměnných, které by mohly ovlivňovat míru napadení jedinců kloubnatkou, avšak mimo tuto práci.

Tab. č. 2: Použitá klasifikační stupnice míry napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou

Kategorie	Popis napadení
0	bez napadených pupenů
1	napadeny jednotlivé pupeny nebo maximálně jednotlivé větve
2	napadení více větví, maximálně do 1/3 koruny
3	napadení více jak 1/3 koruny, maximálně do 2/3
4	strom napaden z více jak 2/3, počínající prořezávání koruny vlivem opakovaného víceletého napadení pupenů

Na vybraných zkusných plochách byly dále instrumentálně měřeny teplota vzduchu a vzdušná vlhkost, jako další faktory, které by mohly ovlivňovat šíření patogenu. Tato měření byla prováděna v půlhodinovém intervalu a zaznamenávání naměřených údajů pak v hodinovém intervalu, a to jako průměr dvou naměřených hodnot. Využity k tomu byly přístroje Datalogger Minikin THi od firmy EMS Brno. Tyto dataloggery byly vždy umístěny doprostřed trvalé zkusné plochy na dřevěný hranol do výšky 2 m nad povrchem terénu. Celkem se jednalo o 11 ploch a jejich přehled je uveden v příloze č. 1. Umístění dataloggerů bylo realizováno na konci vegetační sezóny roky 2017 (srpen a září) a měření probíhalo do srpna roku 2019. Zachycen tak byl průběh teplot a vlhkosti v průběhu dvou vegetačních sezón a dvou období vegetačního klidu. Výjimkou z výše uvedeného jsou zkusné plochy v porostech 272A5 a 275B5 (viz příloha č. 1), kde byly dataloggery instalovány až na začátku vegetační sezóny roku 2018.

Údaje o lesních vegetačních stupních, ovlivnění stanoviště vodou, věk a pásmo ohrožení imisemi dle vyhl. č. 78/1996 Sb., o stanovení pásma ohrožení lesů pod vlivem imisí, které byly vybrány jako další možné faktory ovlivňující napadení *Picea abies*, byly převzaty z lesního hospodářského plánu LHC Klášterec s platností od 1. 1. 2009 - 31. 12. 2018. Ovlivnění

vodou bylo převzato z Typologického systému Ústavu pro hospodářskou úpravu lesa, tak jak je stanovuje pro jednotlivé soubory lesních typů.

Podle věku porostů (resp. hodnocené etáže) byly trvalé zkusné plochy rozděleny do 3 věkových kategorií. Věková kategorie 1 zahrnovala porosty stáří 0-30 let, věková kategorie 2 porosty stáří 31-60 a věková kategorie 3 porosty stáří 61+.

Pro vyjádření zakmenění porostů na zkusných plochách, jakožto další testované proměnné, která by mohla ovlivňovat stupeň napadení porostů kloubnatkou, se ve zkusných plochách provádělo přesné zjištění jejich plochy pomocí RTK GNSS. Zaměřeny byly všechny lomové body zkusné plochy (zpravidla 4), ze kterých se pak v prostředí GIS spočetla plocha polygonu. Konkrétní poloha lomových bodů byla určována tak, aby ve výsledné ploše byly zaujaty i průměty korun okrajových jedinců. Dále se provádělo svěrkování všech stromů ve zkusné ploše (věkové kategorie 2 a 3) pomocí průměrky ve výčetní výšce 130 cm. Na základě těchto měření a následných výpočtů (poměr zjištěné kruhové základny s kruhovou základnou tabulkovou) se pro zkusné plochy 2 a 3 kategorie stanovilo skutečné zakmenění zkusné plochy. Údaje o zakmenění stanovených LHP nemohly být převzaté, protože se jedná o průměrný údaj za celou porostní skupinu, a pro konkrétní zkusnou plochu by se tak mohlo jednat o nepřesný údaj.

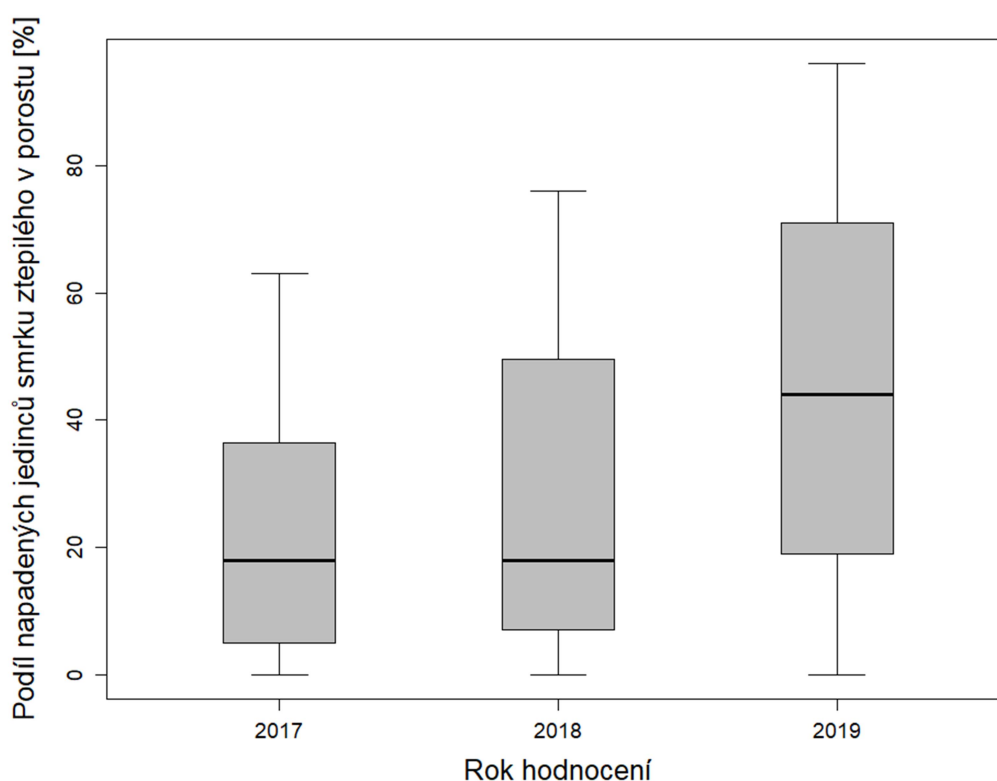
## 5.2 Statistické zpracování dat

K vyhodnocení napadení porostů kloubnatkou smrkovou byl použit generalizovaný lineární model s negativně binomickým rozdělením. Vliv jednotlivých faktorů na úroveň napadení byl testován pomocí analýzy rozptylu aplikovanou na získaný negativně binomický model. Postup tvorby modelu byl zvolen na základě PEKÁR a BRABEC (2009). V první fázi testování byly do modelu zahrnuty všechny faktory tj. věková kategorie porostu, pásmo ovlivnění imisemi, lesní vegetační stupeň, ovlivnění stanoviště vodou a zakmenění porostu, a to včetně jejich interakce druhého řádu. Postupnou redukcí nevýznamných parametrů byl získán výsledný model. Následně byla provedena kontrola základních předpokladů použitého poissonovského modelu. Vzhledem k přítomnosti silné overdispersion byla použita korekce na nestálost rozptylu - quasipoisson model. Ten však při výpočtu selhal. Použit byl tedy obecnější negativně binomický model, který poskytl již akceptovatelné výsledky (koeficient determinace = 0,62). Podrobný výpočet tohoto lineárního modelu je uveden v příloze č. 3.

Ze sezónních dat o průběhu teplot a vlhkosti vzduchu měřených dataloggerem Minikin THi od firmy EMS Brno v půlhodinových intervalech byly pro účely grafického znázornění jejich průběhu a interpretace vypočteny 24hodinové průměry. Graf o průběhu denních teplot vzduchu za monitorované období je uveden v příloze č. 4.

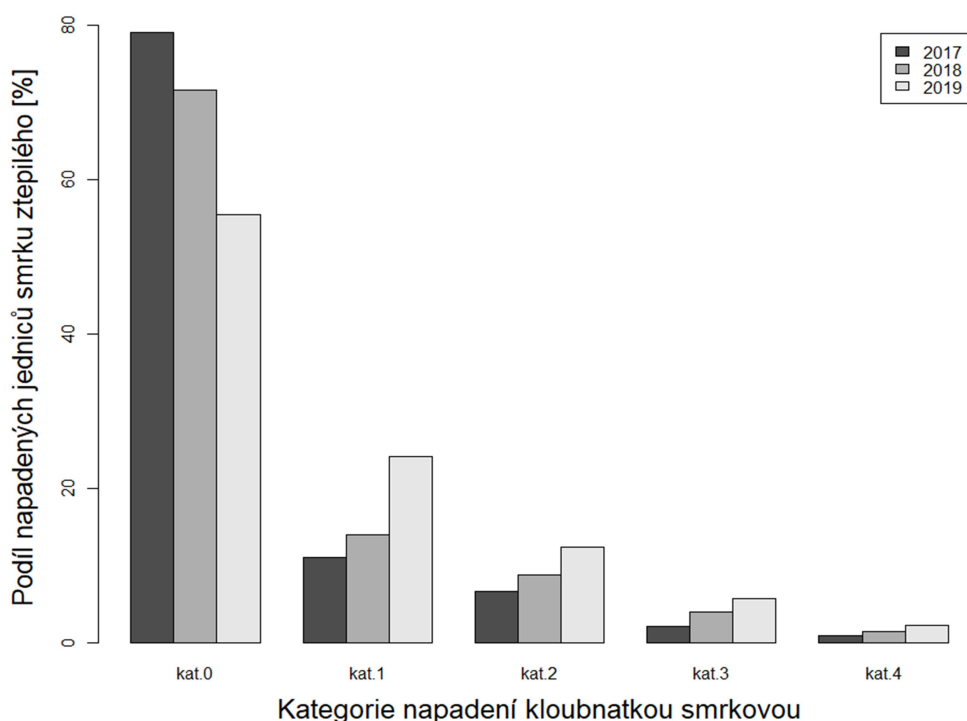
## 6 Výsledky

Souhrnné výsledky hodnocení napadení jedinců smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou v jednotlivých porostech v letech 2017 – 2019 ukazují jednoznačný trend nárůstu napadení, což je patrné z obr. č. 7. V roce 2017 se v porostech pohybovalo procento napadení přibližně v intervalu od 0 do 60 %, přičemž těžiště napadení bylo na úrovni 20 %. V roce 2018 došlo sice k procentuálnímu nárůstu horní hranice dosahovaného % napadených jedinců v porostech na přibližných 75 %, ale těžiště napadení zůstalo nezměněné na úrovni 20%. K významnému nárůstu pak došlo zejména v roce 2019, kdy se intenzita napadení přesouvá nad 40 % a horní hranice dosahovaného % napadených jedinců k úrovni téměř 90 %. Trend postupného nárůstu napadených jedinců v porostech lze sledovat i zprůměrovaním dat o napadení v jednotlivých letech v jednotlivých porostech. Průměrné napadení v roce 2017 dosahovalo 21 %, v roce 2018 to bylo 28 % a v roce 2019 pak vzrostlo až na 45 %.



Obr. č. 7: Srovnání procentuálního napadení jedinců smrku ztepilého po jednotlivých letech, střední tučná úsečka – medián, šedý obdélník – rozpětí kvartilů  $x_{25}$ - $x_{75}$ , úsečky – 1,5 násobek interkvartilového rozpětí

Pokud datový soubor o napadení jedinců smrku ztepilého kategorizujeme podle stanovených kategorií napadení (viz metodika tab. č. 2) lze v průběhu třech let sledovat pokles nenapadených jedinců (kategorie 0) z 79 % v roce 2017 až na 55 % v roce 2019. Ve všech ostatních kategoriích (kategorie 1 - 4), které zahrnují jedince smrku ztepilého s určitou mírou napadení, je trend v průběhu třech let monitoringu přesně opačný. Nárůsty v jednotlivých kategoriích jsou v průběhu let spíše vyrovnané. U kategorie 2 se jedná o meziroční nárůst 2-3 %, u kategorie 3 o meziroční nárůst 2 % a u kategorie 4 o meziroční nárůst asi 1 %. Výjimku tvoří skokový nárůst jedinců v kategorii 1, kdy mezi roky 2018 – 2019 došlo k 10 % nárůstu napadených jedinců, v předchozím meziobdobí to přitom bylo o 3 %, což se nijak významně neliší od trendů v ostatních kategoriích napadení. Rok 2019 lze tedy označit za významný z pohledu nárůstu nově infikovaných jedinců a šíření infekce. Meziroční úbytek jedinců bez napadení se mezi roky 2018 – 2019 pohyboval dokonce na úrovni přes 16 %, což je v porovnání s předchozím obdobím (2017 - 2018) dvojnásobná hodnota. Jinak data ukazují na spíše pozvolný vývoj patogenu. Se vzrůstající kategorií napadení se snižují meziroční % nárůsty takto napadených jedinců, z čehož lze usuzovat, že patogen nemá prozatím progresivní vývoj a nejvíce napadených jedinců příliš nepřibývá. Graficky jsou uvedené trendy patrné z obr. č. 8 a popisně pak v tab. č. 3.



Obr. č. 8: Procentuální podíl napadených jedinců smrku ztepilého v jednotlivých kategoriích v letech 2017 - 2019

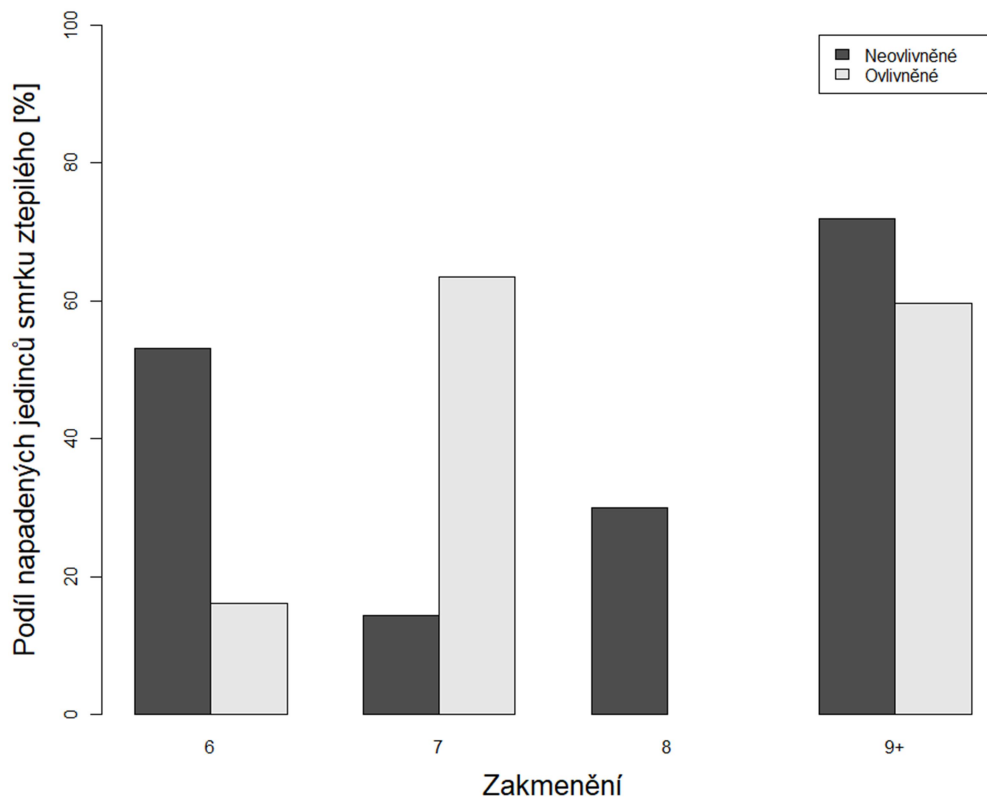
Tab. č. 3: Podíl napadených jedinců smrku ztepilého v jednotlivých kategoriích v letech 2017 – 2019 [%]

<b>kategorie</b>	<b>r. 2017</b>	<b>r. 2018</b>	<b>r. 2019</b>
0	79,07	71,65	55,45
1	11,09	14,05	24,15
2	6,72	8,82	12,37
3	2,21	4,00	5,71
4	0,91	1,47	2,31

Podíl napadených jedinců se na LHC Klášterec statisticky významně lišil podle věkové kategorie. Starší porosty byly napadeny více, v mlazinách bylo napadení minimální. Zakmenění ani vodní režim stanoviště neměly samostatně vliv na napadení kloubnatkou, ale významná byla jejich interakce. Na stanovištích neovlivněných vodou bylo nejnižší napadení kloubnatkou v porostech se zakmeněním kolem hodnoty 7 a směrem do plného zakmenění se zvyšovalo. Pokles zakmenění pod 7 však neznamenal snížení napadení, ale naopak jeho zvýšení. Na stanovištích ovlivněných vodou však byly tyto rozvolněnější porosty napadeny pouze slabě, zatímco porosty s vyšším zakmeněním byly napadeny silně. Popisně jsou zjištěné skutečnosti vyjádřeny v tab. č. 4 a graficky pak na obr. č. 9 .

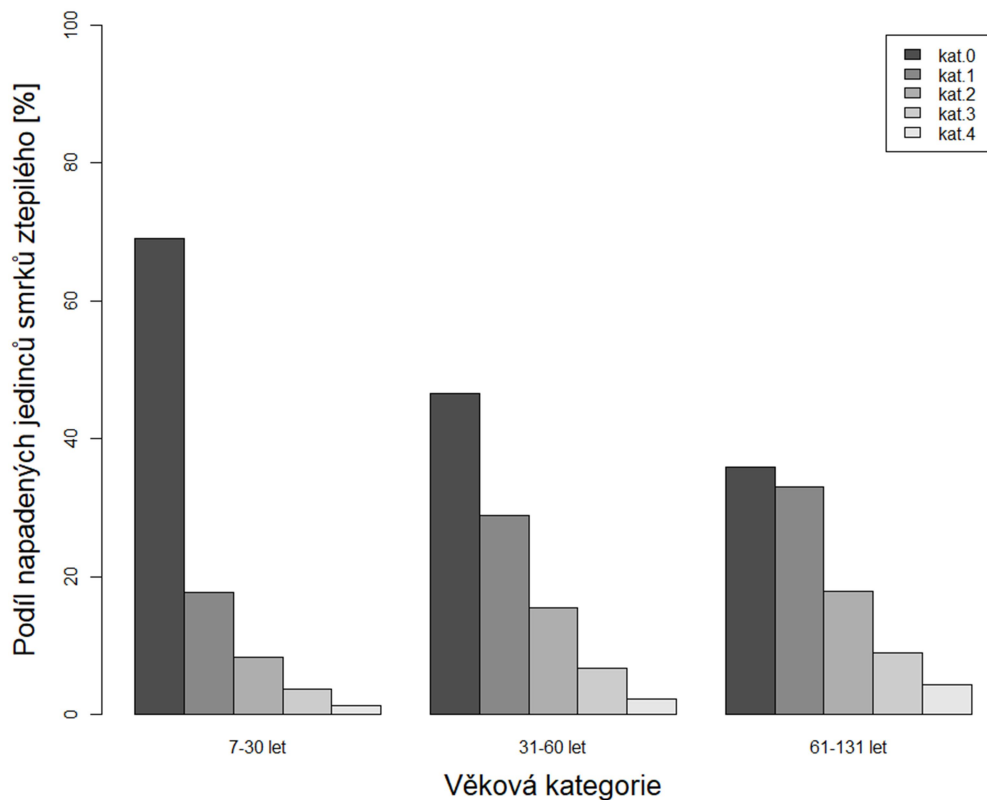
Tab. č. 4: Podíl napadených jedinců smrku ztepilého dle zakmenění porostu a jeho ovlivnění vodou [%]

	<b>zakmenění porostu</b>			
	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9+</b>
porosty neovlivněné vodou	53,17	14,39	29,96	72,00
porosty ovlivněné vodou	16,18	63,51	-	59,63



Obr. č. 9: Procentuální podíl napadených jedinců smrku ztepilého dle zakmenění porostu a jeho ovlivnění vodou

Kategorizujeme-li datový soubor dle kategorie napadení (0-4) a dle věkových kategorií (viz metodika) ukazuje se jednoznačný trend, že se vrůstajícím věkem (věkovou kategorií) roste podíl napadených jedinců smrku ztepilého (Obr. č. 10). V první věkové kategorii se blíží podíl napadených jedinců 30 %, naopak ve třetí věkové kategorii, již přesahuje 60 %. Z toho lze vypozařovat, že jedinci vyššího stáří jsou náchylnější k infekci houbovým patogenem.



Obr. č. 10: Procentuální podíl napadených jedinců smrku ztepilého dle kategorie napadení a věkové kategorie

Obdobný trend lze sledovat u dalších kategorií napadení (1-4). Zde se vzrůstající věkovou kategorií dochází k nárůstu zastoupení jedinců v jednotlivých kategoriích napadení a to bezvýjimečně. Například u stupně napadení 2 je ve věkové kategorii 1 zastoupeno asi 18 % jedinců, ale ve věkové kategorii 3 už je zastoupeno 33 % jedinců. Z tohoto trendu lze opět usuzovat, že starší jedinci mají větší náchylnost k infekci a mohou být patogenem více zasaženi. Graficky jsou trendy patrné z obr. č. 10 a popisně pak v tab. č. 5.

Tab. č. 5: Podíl napadených jedinců smrku ztepilého dle kategorie napadení a věkové kategorie [%]

		věková kategorie		
		1	2	3
kategorie napadení	0	68,99	46,62	35,94
	1	17,68	28,93	33,00
	2	8,25	15,54	17,89
	3	3,69	6,70	8,89
	4	1,38	2,21	4,28



Monitoring teploty vzduchu uvnitř porostů ukázal na skutečnost, že teplota není veličinou, která by v rámci zkusných ploch vykazovala větší variabilitu. Jak je patrné z přílohy č. 4 rozdíly průměrných denních teplot mezi jednotlivými zkusnými plochami se pohybovaly řádově v jednotkách °C. Po většinu sledovaného období (srpen 2017 – srpen 2019) zpravidla nepřesahovaly 3 °C. Převažující dobu pak oscilovaly v intervalu 1 °C. Výjimkou byla krátká období okolo 1 týdne na podzim roku 2017 (12. - 20. 10.) a v zimě roku 2019 (13. - 19. 2.), kdy rozdíly teplot mezi některými zkusnými plochami přesahovaly i 10 °C. Zajímavější je porovnání průběhu teplot v jednotlivých letech, zejména pokud jde o nástup prvních mrazů a délku období, po kterou se mrazy vyskytovaly. V roce 2017 (vyjádřeno denními průměry) se první dny s teplotou pod bodem mrazu objevují 12. 11. Jejich trvání pak končí 1. 4. 2018. V navazujícím mimo-vegetačního období (2018/2019) se pak první dny s průměrnou denní teplotou pod bodem mrazu objevily o 14 dní dříve (28. 10. 2018) a poslední mrazová epizoda přišla 15. 5. 2019, tedy o měsíc a půl později, než v období předchozím.

## 7 Diskuze

Hodnocení napadení porostů smrku ztepilého na LHC Klášterec v letech 2017 – 2019 ukázalo nárůst nově napadených jedinců a rozvoj infekce. Zajímavý je zejména významný nárůst napadených jedinců v roce 2019, kdy došlo k prozatím bezprecedentnímu 16 % nárůstu a k navýšení průměrného napadení jedinců v porostech na 45 %, oproti jinak pozvolnému trendu. V roce 2015 a 2016 se prováděl systematický monitoring napadení porostů smrku ztepilého na LS Litvínov a LS Klášterec na základě zjištěného výskytu napadení smrku ztepilého v roce 2014 (MODLINGER a PEŠKOVÁ, 2017). Hodnocení napadení smrku ztepilého bylo realizováno podle stejné metodiky jako v této práci, a jednalo se o souhrnné výsledky za LS Klášterec a LS Litvínov. V roce 2015 činilo průměrné napadení v 49 zkoumaných porostech 48 %, v roce 2016 pak v 46 zkoumaných porostech 40 %. Tato data ukazují, spíše na to, že míra napadení zůstává přibližně stejná a osciluje mezi 40 % – 50 % napadenými jedinci v porostu. V tomto hodnocení jsou však zahrnuty i údaje za LS Litvínov, která, jak vyplývá z dostupných zdrojů o výskytu patogenu na smrku pichlavém (POSPÍŠIL a POSPÍŠIL, 2011; PEŠKOVÁ a SOUKUP, 2016) i na smrku ztepilém (PEŠKOVÁ a kol., 2019), je dlouhodobě nejpostiženější částí PLO1 - Krušné hory. Pokud by byly z uvedeného monitoringu (MODLINGER a PEŠKOVÁ, 2017) vybrány jen data za LS Klášterec, lze očekávat snížení podílu napadených jedinců. V letech 2009 – 2013 byl dle dalších zdrojů rozsah napadení spíše ojedinělý, a porosty smrku ztepilého se vůči infekci jevíly jako rezistentní (SOUKUP a PEŠKOVÁ, 2009; PEŠKOVÁ a SOUKUP 2013).

Zajímavé by bylo objasnit, co způsobilo 16 %, tedy více než dvojnásobný úbytek jedinců bez infekce pupenů mezi roky 2018 - 2019 v porovnání s roky 2017 – 2018. Odpověď na tuto otázku by mohlo poskytnout měření mikroklimatických charakteristik v porostech (zaznamenání průběhu teplot a fenologie smrku pomocí fotopastí) v kombinaci s odběry vzorků pro stanovení poškození pupenů mrazem. Tento výzkum byl zahájen v roce 2019 v rámci výzkumného grantu od společnosti Lesy České republiky, s.p. (PEŠKOVÁ a kol., 2019) a mohl by potvrdit vliv časných a pozdních mrazů, které jsou udávány některými autory jako možný faktor pro poškození pupenů a následné šíření infekce kloubnatky smrkové (SCHOŘÁLKOVÁ, 2015; BAŤA, 2018). Předpokládá se totiž možný pozitivní vliv poškození pupenů mrazem na infekci patogenem. Výskyt pozdních mrazů na jaře roku 2019 byl zjištěn i při měření teplot prováděných v rámci této práce. Poslední mrazová epizoda byla na LHC Klášterec zaznamenána ještě 15. května, které předcházela ještě mrazová epizoda 4. května. Tyto mrazové epizody přišly tedy v období, kdy už pupeny smrku ve

zdejších podmínkách dle údajů nejbližší fenologické stanice ČHMÚ na Měděnci bezpečně raší. Navíc je třeba podotknout, že se jedná o teploty vzduchu spočtené jako 24 hodinové průměry, tudíž mrazy musely v uvedených obdobích trvat nezanedbatelnou část dne. URBAN (2014) přitom udává, že k poškození pletiv stromů, smrku ztepilého nevyjímaje, může dojít již při teplotách od -2 do -3 °C v trvání 2 – 3 hodiny. Rezistentnější vůči mrazu mají být nové letorosty smrku ztepilého až od délky 5 cm (LANGVALL a kol., 2001).

Ze zaznamenaných sezónních dat lze však prozatím konstatovat, že infekce se sice rozšiřuje, ale nedochází k nějak významnému zhoršování zdravotního stavu dřevin. V dalších kategoriích napadení dochází k posunu v řádu nižších jednotek procent. V kategorii 4, do které spadají jedinci, u nichž je již možné pozorovat proředování korun (počátek odumírání) je prozatím pouze 2,3 % hodnocených jedinců (údaje roku 2019). Porovnáme-li tyto údaje s vývojem infekce u smrku pichlavého (PEŠKOVÁ a kol., 2016), lze konstatovat, že průběh onemocnění u smrku ztepilého je prozatím výrazně mírnější. Tento zdroj totiž uvádí v porostech smrku pichlavého v rámci monitoringu napadení v letech 2009 až 2015 nárůst podílu nerašících pupenů z průměrných 35 % v roce 2009 na 80 % v roce 2015. Letální jedinci smrku ztepilého, jejichž příčinou by byla infekce kloubnatkou smrkovou, nebyly v průběhu monitoringu zaznamenány, zatímco v případě porostů smrku pichlavého byli takový jedinci pozorováni hned v prvních letech systematického monitoringu v Krušných horách (PEŠKOVÁ a SOUKUP, 2013). Podobně jako na LHC Klášterec se situace s napadením porostů smrku ztepilého vyvíjí i v dalších částech PLO Krušné hory. PEŠKOVÁ a kol., 2019 udávají v letech 2017 – 2018 na všech monitorovaných lesních správách Lesů České republiky, s.p. (LS Děčín, LS Františkovy Lázně, LS Horní Blatná LS Kraslice a LS Litvínov) poměrně vysoký meziroční nárůst podílu napadených jedinců v porostech, a to od 5 do 10 %. K meziročnímu posunu v kategoriích vyjadřujících stupeň napadení dochází podobně jako na LHC Klášterec v řádu jednotek procent. V nejvyšší kategorii napadení 4 bylo v roce 2018 největší zastoupení na LS Litvínov s 2,4 % jedinců v porostech. Mortalita jedinců smrku ztepilého v důsledku napadení patogenem nebyla na žádné LS zjištěna. Přílišný optimismus však není na místě. Situace by se mohla zhoršit, pokud budou trvat bezprecedentními projevy počasí posledních několika let. STENLID a OLIVA (2016) dávají míru mortality hostitelské dřeviny způsobenou patogenem do souvislosti se dvěma faktory. Jedná se o nedostatek koevoluce hostitelské dřeviny s patogenním organismem a dále o nedostatečnou evoluci (adaptací) hostitelské dřeviny v daných podmínkách prostředí. V našem případě nabývají oba tyto faktory vysokých hodnot. Kloubnatka smrková je patogen introdukovaný do Evropy pravděpodobně na začátku minulého století a k většímu šíření v podmínkách ČR začalo docházet až v posledním desetiletí. O koevoluci patogenu a

hostitele se tak nelze bavit. O adaptaci smrku na klimatické poměry posledních pěti let s ohledem na jejich bezprecedentní charakter a známou nízkou toleranci smrku vůči teplu a suchu rovněž tak. Alespoň teoretický předpoklad pro mortalitu je tak poměrně vysoký. Zohlednit je rovněž třeba fakt, že kromě kloubnatky smrkové mohou vitalitu smrku ztepilého ovlivňovat i další biotičtí činitelé a působit synergicky.

V rámci této práce bylo zjištěno, že nejvyšší podíl napadených jedinců se vyskytoval v porostech s nejvyšší věkovou kategorií 61+, a to konkrétně 63 %. S klesající věkovou kategorií klesal i celkový podíl napadených jedinců. V kategorii 31 – 60 let to bylo 53 %, v kategorii 0 – 30 let pak 31 % jedinců. To potvrzuje dříve vyslovenou hypotézu, že starší porosty smrku ztepilého jsou kloubnatkou smrkovou napadeny více (MODLINGER a PEŠKOVÁ, 2017; PEŠKOVÁ a SOUKUP 2016). K podobným závěrům došel i ZÝKA a kol. (2018) při monitoringu napadení porostů smrku pichlavého v Krušných horách. Stáří porostu nebylo přímo hodnocenou porostní charakteristikou. Nicméně hodnocena byla výška porostu, která je na stáří porostu nepochybně závislá. Porosty se vzrůstající výškou vykazovaly vyšší poškození. K podobnému závěru na smrku pichlavém došli také POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011), kteří uvádějí největší poškození porostů smrku pichlavého ve čtvrtém věkovém stupni. Porovnáme-li výsledky této práce s monitoringem výskytu patogenu na smrku ztepilém dle totožné metodiky, který probíhá od roku 2017 v rámci celé PLO Krušné hory (PEŠKOVÁ a kol., 2018; PEŠKOVÁ a kol., 2019) lze pozorovat rozdíl. V rámci celé PLO je nejpostiženější věková kategorie 31 - 60 let. Podíl napadených jedinců v porostech v nejvyšší věkové kategorii se mu však dosti přibližuje. Například dle hodnocení z roku 2018 je ve věkové kategorii 31 – 60 let napadeno asi 48 % a ve věkové kategorii 61+ asi 37% jedinců v porostu. V celkovém porovnání je pak podobně jako u pozorování v rámci LHC Klášterec nejméně postižená věková kategorie 0 – 30 let s 20 % napadených jedinců v roce 2018.

Vliv dalších hodnocených porostních a stanovištních charakteristik (zakmenění porostu, LVS, ovlivnění stanoviště vodou, pásmo ohrožení imisemi) byl na základě analýzy získaných dat z jednotlivých porostů vyhodnocen jako statisticky nevýznamný. Tyto proměnné byly vybrány na základě předchozích výzkumů, které byly zaměřeny na vývoj a příčiny napadení porostů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou.

Zakmenění porostů bylo v předchozích studiích uváděné, jako jeden z faktorů, který by mohl mít vliv na šíření patogenu na smrku pichlavém. Pozitivní vliv zakmenění a konkurence dřevin v porostu uvádí ZÝKA a kol. (2018), ale jeho možný vliv je zmíněn i ve starších pracích (POSPÍŠIL a POSPÍŠIL, 2011). Tyto charakteristiky porostů by měly vytvářet jednak příznivé mikroklimatické podmínky pro rozvoj patogenu (ZÝKA a kol., 2018) a dále v případě konkurence omezovat zdroje dostupné pro jednotlivé jedince.

SOUKUP a PEŠKOVÁ (2009), kteří prováděli první šetření výskytu kloubnatky v porostech smrku pichlavého, rozdílly mezi porosty s rozvolněným nebo přehoustlým zápojem neregistrovali. V rámci této práce se průkazný vliv zakmenění na intenzitu napadení porostů smrku ztepilého neprojevil. Monitoring výskytu patogenu na smrku ztepilém dle totožné metodiky, který probíhá od roku 2017 v rámci celé PLO Krušné hory (PEŠKOVÁ a kol., 2018; PEŠKOVÁ a kol., 2019) ukázal na vyšší podíl napadených jedinců v porostu při zakmenění 8 s téměř 65 % napadených jedinců v roce 2017 a téměř 70 % v roce 2018. Následují porosty se zakmeněním 7 a podílem napadených jedinců 60 %. Porosty se zakmeněním 9 a 10 pak vykazovaly podíl napadení o 20 a více % menší. Efekt zakmenění na šíření patogenu se tak zdá být zatím nejednoznačný. Obecným předpokladem by mohlo být, že se vzrůstajícím zakmeněním se posouvají mikroklimatické charakteristiky v porostu směrem k vyšší relativní vlhkosti a nižším teplotám, alespoň pokud jde o srážky bohaté v jarním období, kdy dochází i k infekci pupenů, jelikož díky hustotě porostu je omezen vliv slunečního záření a proudění větru na snížení vlhkosti (ZÝKA a kol., 2018). Zároveň lze u porostů s vyšším zakmeněním předpokládat silnější vnitrodruhovou konkurenci, resp. menší dostupnost živin v půdě pro jedince v porostu, které tak mohou být k infekci náchylnější, jelikož mohou selhávat obranné reakce dřevin jako např. zvýšená akumulace PR proteinů (PRELL a DAY, 2001). Naopak nelze zcela vyloučit pozitivní vliv vyššího zakmenění porostů na mírnění dopadů časných a pozdních mrazů, jelikož hustota porostu snižuje z pohledu mikroklimatu teplotní výkyvy (LATIMER a ZUCKERBERG, 2016). Jak bylo výše uvedeno, tyto mrazy by mohly způsobovat poškození pupenů, které by pak mohly být náchylnější k infekci patogenem.

Nebyla potvrzena závislost míry napadení porostů na lesních vegetačních stupních, které jsou vymezeny na základě nadmořské výšky a průměrných ročních teplot a srážek za období 1961-2010. Zkusné plochy se nacházely v 6. až 8. LVS. K podobným závěrům došli v rámci monitoringu napadení porostů smrku pichlavého SOUKUP a PEŠKOVÁ (2009), POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011), kteří ale vztahovali míru napadení přímo k nadmořské výšce. POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011) a dále např. ŠEFL (2013) udávají u smrku pichlavého spodní výškovou hranici, od které se objevují rozdíly v napadení kloubnatkou v 700 m n. m. Pod touto hranicí dochází ke snížení intenzity napadení. V rámci této práce se však všechny zkusné plochy nacházejí od cca 650 m n. m. výše, proto nebylo možné potencionální analogii i pro porosty smrku ztepilého potvrdit. Z dřívějšího monitoringu napadení porostů smrku ztepilého na LS Klášterec (PEŠKOVÁ a kol., 2016), který probíhal v 6. a 7. LVS rovněž nevyplývají rozdíly v napadení porostů na základě této stupňovitosti. V rámci dalšího monitoringu napadení porostů smrku ztepilého na LS Klášterec by bylo pro kontrolu vhodné doplnit porosty v nižší nadmořské výšce. Tím by se zachytil případný rozvoj infekce v nižších

vegetačních stupních, přestože jej s ohledem na dosavadní poznatky o ekologii patogenu, který je výrazně chladnomilný (ZÝKA a kol., 2018), a také s ohledem na klimatické změny a predikovaný posun vegetačních pásem minimálně i jeden stupeň nahoru (ČERMÁK a kol., 2016), nelze příliš očekávat. Toto tvrzení podporuje i monitoring výskytu patogenu na smrku ztepilém dle totožné metodiky, který probíhá od roku 2017 v rámci celé PLO Krušné hory (PEŠKOVÁ a kol., 2018; PEŠKOVÁ a kol., 2019) na škále od 4. do 8. vegetačního stupně (5 LVS není zastoupen). V roce 2017 se v porostech v 4. LVS infekce kloubnatkou nevyskytovala vůbec, v roce 2018 pouze u 2 % jedinců, a to v nejnižší kategorii s registrovaným patogenem (kategorie 1). Je nutné uvést, že celkově byly šetřeny pouze dva porosty v tomto LVS. V rámci dalších hodnocených LVS tohoto monitoringu bylo možné pozorovat postupný nárůst celkově napadených jedinců v porostu s rostoucím LVS. Nelze však pozorovat nějaký výrazný trend nebo zlom.

Další posuzovanou charakteristikou prostředí, bylo ovlivnění stanoviště vodou. Dle ZÝKA a kol. (2018) je v porostech smrku pichlavého jednou z vysvětlujících charakteristik pozitivně ovlivňujících napadení kloubnatkou právě ovlivnění stanoviště vodou, a to z důvodu udávané nižší úživnosti pro glejovou a rašelinou ekologickou řadu. Nižší úživnost pak může přispívat k vyšší náchylnosti porostů k napadení patogenem, kvůli slabší obranné reakci. Vodou ovlivněná stanoviště by pak také měla mít přirozeně vlhčí mikroklima příznivé pro rozvoj patogenu. V posledních teplých a na srážky chudých letech (ŠRÁMEK a NOVOTNÝ, 2019) se stává výrazným a pravděpodobně převládajícím stresovým faktorem sucho, jehož působení může být navíc předpokladem k působení dalších škůdců. Vodou ovlivněná stanoviště by tak mohla být paradoxně kloubnatkou zasažena méně, jelikož v průběhu vegetačního období lze očekávat větší dostupnost vody v půdě a menší stresování porostů suchem. Výsledky této práce ale neukázaly, že by ovlivnění stanoviště vodou mělo v podmínkách LHC Klášterec samostatně vliv na napadení porostů kloubnatkou smrkovou. Monitoring výskytu patogenu na smrku ztepilém dle totožné metodiky, který probíhá od roku 2017 v rámci celé PLO Krušné hory (PEŠKOVÁ a kol., 2018; PEŠKOVÁ a kol., 2019) také neukázal na zásadní rozdíly v zasažení porostu patogenem s ohledem na jeho ovlivnění vodou. Lze hovořit pouze o mírném trendu vyššího napadení porostů na vodou neovlivněných stanovištích, což je v rozporu s předpokládanou vyšší vlhkostí mikroklimatu na vodou ovlivněných stanovištích a jejich nižší úživnosti, které by měly poskytovat příznivější podmínky pro rozvoj patogenu, jak předpokládá ZÝKA a kol. (2018). S ohledem na výše zmíněnou několikaletou epizodu sucha však může být tento vliv potlačen. Pro exaktnější posouzení tohoto faktoru by však bylo vhodné ověřit údaje o typologii stanoviště převzaté z LHP, resp. z něj odvozované ovlivnění stanoviště vodou na každé zkusné ploše půdní sondou. Typologická mapa, ze které se při odvozování lesních typů v LHP

vychází, nebývá dostatečně podrobná, aby vždy spolehlivě vystihovala variabilitu půdních typů resp. ovlivnění stanoviště vodou.

Vliv umístění porostu v pásmu ohrožení imisemi nebyl rovněž průkazný. Zkusné plochy byly založeny v nejhroženějších pásmech A a B. ČERNÝ a kol. (2016) potvrdili hypotézu, že rozvoj kloubnatky smrkové lze dávat do souvislosti s odsířením elektráren v Podkrušnohorské pánvi. Vysoké koncentrace oxidu siřičitého v atmosféře a jeho přenos na dřeviny působily plošně jako fungicid. Nabízela by se tedy negativní závislost mezi stupněm ohrožení imisemi a šířením patogenu, tedy že ve stupni ohrožení imisemi A se bude kloubnatka šířit nejméně. Zde je však třeba poznamenat, že po odsíření elektráren se přímé poškození lesních porostů imisemi oxidů síry i v dříve nejexponovanějších částech Krušných hor jeví jako neprůkazné a koncentrace oxidu siřičitého v regionu je jen nepatrně vyšší oproti republikovému průměru. Nějaké zásadní přímé působení oxidu siřičitého nelze proto předpokládat. Opačně, tzv. pozitivně, by mohla působit přetrvávající depozice této škodliviny v půdě, jelikož s nižší půdní reakcí, jsou méně dostupné mikroelementy v půdě (LUCAS a DAVIS, 1961) a naopak může docházet k nárůstu toxických prvků, např. hliníku ve formě  $Al^{3+}$  (ŠRÁMEK a FADRHOŇSOVÁ, 2011). Nejvyšší kyselou depozici lze předpokládat v nejhroženějším pásmu imisemi, tedy v pásmu A. Nižší dostupnost výživy rostlin je stresovým faktorem, který by se mohl projevit na úrovni napadení porostů. Ani pozitivní vliv pásma ohrožení na napadení kloubnatkou, ale nebyl v rámci této práce potvrzen. Totéž lze konstatovat o výsledcích monitoringu výskytu patogenu na smrku ztepilém dle totožné metodiky, který probíhá od roku 2017 v rámci celé PLO Krušné hory (PEŠKOVÁ a kol., 2018; PEŠKOVÁ a kol., 2019). Z dat za roky 2017 i 2018 vyplývá, že v nejhroženějším pásmu A bylo napadení kloubnatkou nejnižší, následuje pásmo ohrožení imisemi C a nejvyšší napadení jedinců v porostu bylo v pásmu ohrožení B. V roce 2018 bylo v rámci celé PLO v pásmu ohrožení A napadeno konkrétně 24 % jedinců, v pásmu ohrožení C 38 % jedinců a v pásmu ohrožení B 40 %. Je však třeba poznamenat, že pro úplné vyloučení vlivu kyselé depozice v půdě by bylo potřeba provést rozborů půdy, které by stanovily její skutečnou hodnotu. Údaje o imisním ohrožení dle vyhlášky 78/1996 Sb., lze brát pouze jako předpoklad zvýšené kyselé depozice a v rámci tvorby LHP jsou ještě generalizovány pro jednotlivá oddělení a o skutečné depozici mnoho nevyovídají. V tomto ohledu by také bylo potřeba zaměřit se na vápnění porostů prováděné v Krušných horách. To kyselou depozici v půdě nijak zásadně neovlivňuje, ale po přechodnou dobu lze pozorovat jeho pozitivní vliv na dostupnost živin v podobě  $Ca^{2+}$  a  $Mg^{2+}$  (ŠRÁMEK a kol., 2014; FIALA a kol., 2017), ač jiní autoři (VAVŘÍČEK a KUČERA, 2015) uvádějí převládající negativní vliv vápnění. V každém případě, pokud nejsou údaje o vápnění podchyceny, mohou být výsledky zkreslené.

Z interakcí jednotlivých proměnných měla na napadení porostů smrku ztepilého patogenem prokázaný vliv kombinace faktorů zakmenění a ovlivnění stanoviště vodou, ač samostatně tyto faktory nevykazovaly statisticky průkazný vliv.



## 8 Závěr

V rámci této diplomové práce byl sledován vývoj napadení porostů smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na LHC Klášterec v období let 2017 – 2019 a dále zhodnocení možného vlivu vybraných stanovištních faktorů a porostních charakteristik na šíření tohoto patogenu.

Výsledky práce poukazují na pokračující šíření infekce kloubnatky smrkové v porostech smrku ztepilého na LHC Klášterec v posledních třech letech. Toto šíření bylo zaznamenáno jak v rámci korun jednotlivých jedinců, které má spíše plouživý charakter, tak i v celkovém nárůstu napadených stromů v porostech. To probíhá rychlejším tempem, jako zvláště závažný se jeví zjištěný nárůst napadených jedinců v roce 2019, který byl o více než 16 %, v roce 2018 to bylo přitom 7 %.

Ze zkoumaných porostních charakteristik a podmínek prostředí, které by mohly ovlivňovat míru infekce porostů smrku ztepilého, byly zjištěny stáří porostu a dále interakce ovlivnění stanoviště vodou se zakmeněním porostů. Starší porosty jsou kloubnatkou smrkovou napadány více. Na vodou ovlivněných stanovištích se vzrůstajícím zakmeněním je situace analogická. Na vodou neovlivněných stanovištích je nejnižší napadení pro zakmenění 7, při nižších a vyšších hodnotách zakmenění pak dochází k nárůstu napadení. Vliv lesních vegetačních stupňů a imisního zatížení se neprokázal.

Z uvedených výsledků vyplývá, že možnou příčinu šíření kloubnatky lze hledat spíše než v trvalých podmínkách prostředí (půdní reakce, nadmořská výška) v porostních charakteristikách (stáří a zakmenění porostů). S ohledem na zjištěné rozdíly v meziročních nárůstech nově napadených jedinců nelze vyloučit i podstatný vliv sezonality (průběhu počasí).

Zjištěná progresa onemocnění porostů smrku ztepilého mezi roky 2017 - 2019 ukazuje na potřebu dalšího monitoringu jejich zdravotního stavu. Ostatní výsledky ukazují směr, kterým by se mohl ubírat další výzkum příčin šíření kloubnatky smrkové. Zajímavé by bylo zejména potvrdit již dříve vyslovenou hypotézu, že úspěšnost šíření patogenu může souviset s poškozením pupenů smrku ztepilého časnými a pozdními mrazy.

Z výsledků předložené práce není možné uvést jednoznačná a konkrétní doporučení pro lesnické hospodaření a praxi. Lze však konstatovat, že s ohledem na identifikované ohrožení starších porostů a porostů s vyšším zakmeněním, se jako řešení nabízí postupná věková a druhová diferenciacie smrkových porostů, tj. používání maloplošných obnovních prvků a navýšení zastoupení jiných druhů dřevin, které se

doporučují i s ohledem na mírnění dopadů klimatických změn. S ohledem na rychlost, s jakou šíření infekce v porostech prozatím probíhá, však nelze příliš doufat, že by mu jakákoliv pěstební opatření aktuálně zabránila. Rozhodující tak bude progresse infekce u již napadených jedinců. V tomto směru jsou však na LS Klášterec výsledky prozatím optimistické. V nejvyšší kategorii, u které je možné pozorovat proředování koruny dřevin (počátek jejich odumírání), se v posledním roce výzkumu nacházely jen 2 % jedinců. Odumření smrku ztepilého v důsledku napadení kloubnatkou dosud nebylo zjištěno.

## 9 Seznam literatury a použitých zdrojů

### 9.1 Seznam literatury

ALLEN, C. D. a kol. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*. 2010, (259), 660-684.

BAŤA, D. Analýza prostorové distribuce napadení porostů smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou (*Gemmamyces piceae*) v Krušných horách. Praha, 2018. diplomová práce (Ing.). ČZÚ v Praze. Fakulta lesnická a dřevařská, 79 s.

BUTIN, H. a LONSDALE, D. *Tree diseases and disorders: causes, biology, and control in forest and amenity trees*. New York: Oxford University Press, 1995, 252 s. ISBN 0198549326.

CASAGRANDE, F. Ricerche biologiche e sistematiche su particolari ascomiceti pseudosferiali. *Journal of Phytopathology*. 1969, 66(2), 132-136.

ČERNÝ, K., PEŠKOVÁ, V., SOUKUP, F., HAVRDOVÁ, L., ZAHRADNÍK, D. a HRABĚTOVÁ, M. *Gemmamyces* bud blight of *Picea pungens*: A sudden disease outbreak in Central Europe. *Plant Pathology*. 2016, 65(8), 1267-1278.

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

HEGER A. *Ochrana smrčín proti škodám větrem*. Praha: SZN, 1957. 96 s.

CHLUPÁČ, I. *Geologická minulost České republiky*. Praha: Academia, 2002. 436 s. ISBN 80-200-0914-0.

JAKLITSCH, W. M. a VOLGMAYR H. Three former taxa of Cucurbitaria and considerations on Petrakia in the Melanommataceae. *Sydowia*. 2017, 69, 81-95.

KÖCK, G. Ein für Österreich neuer Schädling auf *Picea pungens*. *Österreichische Garten-zeitung*. Wien, 1918,13, 147-148.

LANGVALL, O., NILSSON, U., ÖRLANDER, G. Frost damage to planted Norway spruce seedlings influence of site preparation and seedling type. *Forest Ecology and Management*, 2001, 141, 223-235.

LATIMER, CH. E. a ZUCKERBERG, B. Forest fragmentation alters winter microclimates and microrefugia in human-modified landscapes. *Ecography*, 2016, 40, 158-170.

LUCAS R. E. a DAVIS J. Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. *Soil Science*, 1961, 92, 177–182.

MODLINGER, R. a PEŠKOVÁ, V. Aktuální výskyt vybraných biotických škodlivých činitelů v porostech náhradních dřevin Krušných hor. In: KNÍŽEK, M. Škodliví činitelé v lesích Česka 2016/2017: sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí. Průhonice: Lesní ochranná služba, 2017, 60–61. ISBN 1211-9342.

NAUMOV, N. A. Mikologicheskie zametki. O neskol'kikh novykh ili maloizvestnykh vidakh. *Bolezni Rastenij*. 1925, 14, 137-149.

PEŠKOVA V. a LANDA J. Dlouhodobé sledování makromycetů v kyselé doubravě a hodnocení jejich významu. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2014, 59 (4): 160–166.

PEKÁR, S. a BRABEC, M. Moderní analýza biologických dat. Praha: Scientia, 2009. 226 s. ISBN 978-80-86960-44-9.

PEŠKOVÁ, V. a SOUKUP, F. Houbové choroby v lesích Česka v roce 2014. In KNÍŽEK, M. Škodliví činitelé v lesích Česka 2014/2015: sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí, Praha: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. Jíloviště-Strnady: Lesní ochranná služba 2015, 17-18. ISBN 978-80-7417-091-1

PEŠKOVÁ, V. a SOUKUP, F. Houbové choroby v lesích Česka v roce 2015. In KNÍŽEK, M. Škodliví činitelé v lesích Česka 2015/2016: sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí, Praha: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. Jíloviště-Strnady: Lesní ochranná služba 2016, 20-22. ISBN 978-80-7417-107-9.

PEŠKOVÁ, V. a SOUKUP, F. Současná situace v porostech smrku pichlavého v Krušných horách. *Lesnická práce*, 2013, 92 (10), 46–47.

PEŠKOVÁ, V., MODLINGER, R., SOUKUP, F., RUČKOVÁ, J. Nárůst napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou v Krušných horách. *Lesnická práce*, 2016, 95 (2), 46–47.

PETRZIK, K., KOLONIUK, I., SARKISOVA, T. a 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 Springer*. 2016, 161(5), 1405–1409.

PLÍVA, K. a ŽLÁBEK, I. Přírodní lesní oblasti ČSR. Praha: SZN, 1986. 113 s.

POKORNÝ, R. a ŠPLÍCHALOVÁ, L. Srovnání rekonstrukce vybraných porostů náhradních dřevin v Krušnohoří clonnou sečí a holosečí. In: *Proceedings of Central European Silviculture – 12th International Conference*. 2011, s. 69–80.

POSPÍŠIL, F. a POSPÍŠIL, J. Poškození smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou v Krušných horách. In KNÍŽEK, M. Škodliví činitelé v lesích Česka 2010/2011: sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí, Praha: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti. Jíloviště-Strnady: Lesní ochranná služba 2011, 76-78. ISBN 978-80-86461-12-0.

PRELL, H. H. a DAY, P. R. Plant-fungal pathogen interaction. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2001. 214 s.

QUITT, E. Klimatické Oblasti Československa. Brno: Geografický ústav ČSAV, 1971. 73 s.

SAMEK, V. a KRÁTKÝ, J. Lesní typy východní části Krušných hor. Praha: VÚLHM, 1960. 174 s.

SCHOŘÁLKOVÁ, I. Ekologická studie houbového patogena, kloubnatky smrkové (*Gemmamyces piceae* [Borthw.] Casagr.) v porostech smrku pichlavého v oblasti Flájské přehrady. Ústí nad Labem, 2015. diplomová práce (Ing.). UJEP v Ústí nad Labem. Fakulta životního prostředí. 101 s.

SLODIČÁK, M. a kolektiv Lesnické hospodaření v Krušných horách: Forestry management in the Krušné hory Mts. Hradec Králové: Lesy České republiky, 2008. Edice Grantové služby LČR. 480 s. ISBN 978-80-86945-04-0.

SOUKUP, F. a PEŠKOVÁ, V. *Gemmamyces piceae* (Borthw.) Casagr. Kloubnatka smrková. Lesnická práce: Lesní ochranná služba. Praha, 2009, (12), 1–4.

STENLID, J. a OLIVA J. Phenotypic interactions between tree hosts and invasive forest pathogens in the light of globalization and climate change. *Phil.Trans. R. Soc. B.* 2016, 371.

ŠEFL, J. Kloubnatka smrková (*Gemmamyces piceae*) ve vybraných porostech v oblasti Flájské přehrady v letech 2010 a 2012. *Studia Oecologia*, Ústí nad Labem: UJEP, 2013, (7), 59-70.

ŠRÁMEK V., NOVOTNÝ, R. Povětrnostní podmínky a abiotická poškození v roce 2018. In: KNÍŽEK, M. Škodliví činitelé v lesích Česka 2018/2019: sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí. Průhonice: Lesní ochranná služba, 2019, 9-13. ISBN 978-80-7417-186-4.

ŠRÁMEK, V. a FADRHOŇSOVÁ, V. Životnost a množství kořenů smrku ztepilého na plochách mezinárodního monitoringu ICP Forests v České republice. *Zprávy lesnického výzkumu*. Jíloviště: VÚLHM, 2011, (56), 58-67.

ŠRÁMEK, V. a kol. Vápňení lesů v České republice. Praha: Ministerstvo zemědělství ve spolupráci s Výzkumným ústavem lesního hospodářství, 2014, 91 s. ISBN 978-80-7434-150-2.

ŠRÁMEK, V., BALCAR, V., BURIÁNEK, V., HAVRÁNEK, F., JURÁSEK, A., LIŠKA, J., NOVÁK, J. a SLODIČÁK, M. Lesnické hospodaření v Krušných horách: aktualizace studie. Jíloviště: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, 2015, 196 s.

URBAN, G. The effect of frost condition on forest management based on the example of the July 1996 period at Hala Izerska in the Izera Mountains. *Leśne Práce Badawcze*, 2014, 75, 4, 367-374.

VAVŘÍČEK, D. a KUČERA, A. Lesnická pedologie pro posluchače LDF Mendelu v Brně. Mendelova univerzita, Lesnická a dřevařská fakulta, 2015. 184 s.

VLNIEŠKOVÁ, T. Vybrané fyziologické parametry smrku ztepilého po napadení kloubnatkou smrkovou. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita. Praha, 2017, 89 s.

YUAN, Z-Q. a WANG, Z-W. A taxonomic study on fungi associated with spruce bud blight in China. *Mycotaxon*. 1995, 53, 371–376.

ZAHRADNÍK, P., HOLUŠKA, J., KNÍŽEK, M., LIŠKA, J., LUBOJACKÝ, J., PEŠKOVÁ, V., VELÉ, V. a ZAHRADNÍKOVÁ, M. Výsledky výzkumu útvaru LOS uplatnitelné v praxi. In: KNÍŽEK, M. Škodliví činitelé v lesích Česka 2014/2015: sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí. Jíloviště-Strnady: Lesní ochranná služba, 2015, 47-58. ISBN 978-80-7417-091-1.

ZÝKA, V., ČERNÝ, K., STRNADOVÁ, V., ZAHRADNÍK, D., HRABĚTOVÁ, M., HAVRDOVÁ, L. a ROMPORTL, D. Predikce poškození porostů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou v Krušných horách: specializovaná mapa s odborným obsahem. Průhonice: VÚKOZ, v.v.i., 2018. 48 s. ISBN 978-80-87674-29-1.

## 9.2 Ostatní zdroje

ČERMÁK, P. a kol. Katalog lesnických adaptačních opatření [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2016 [cit. 2020-04-19]. Dostupné z: [http://www.frameadapt.cz/coajdfadlf/uploads/2016/11/KATALOG\\_dvoustranky\\_FINAL.pdf](http://www.frameadapt.cz/coajdfadlf/uploads/2016/11/KATALOG_dvoustranky_FINAL.pdf)

České geologická služba. Půdní mapa 1 : 50 000 [online]. Brno, 2012 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: [https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Pudy/pudni\\_tpy50/MapServer/WmsServer](https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Pudy/pudni_tpy50/MapServer/WmsServer)

Česká geologická služba. Geologická mapa České republiky 1 : 50 000 [online]. Brno, 2015 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/arcgis/services/Geologie/geocr50/MapServer/WMSServer>

Český hydrometeorologický ústav. Mapy charakteristik klimatu - Průměrná roční teplota vzduchu v roce 2019 [online]. Praha, 2019 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/T\\_2019.gif](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/T_2019.gif)

Český hydrometeorologický ústav. Mapy charakteristik klimatu - Úhrn srážek v roce 2019 [online]. Praha, 2019 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/SRA\\_2019.gif](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/images/SRA_2019.gif)

Lesní hospodářský plán LHC Klášterec s platností od 1.1.2009 do 31.12.2018. Lesy České republiky. s.p., 2009.

UNECE 2006. Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE, CLRTAP, ICP Forests.

Ústav pro hospodářskou úpravu lesů. Oblastní plán rozvoje lesů - Přírodní lesní oblast 1 Krušné hory. Plzeň: ÚHÚL, 1999.

Ústav pro hospodářskou úpravu lesa. [online]. ÚHÚL, 2019 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: [http://www.uhul.cz/images/typologie/tabulka\\_LT\\_2019\\_tisk.pdf](http://www.uhul.cz/images/typologie/tabulka_LT_2019_tisk.pdf)

Vyhláška Ministerstva zemědělství o stanovení pásem ohrožení lesů pod vlivem imisí. In: Sbírka zákonů. ročník 1996, číslo 78.

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1 – Popis a charakteristiky zkusných ploch

Příloha č. 2 – Situační zakres rozložení zkusných ploch v rámci výzkumné lokality

Příloha č. 3 – Výpočet lineárního modelu

Příloha č. 4 – Graf průběhu průměrných denních teplot za sledované období (srpen 2017 – srpen 2019)

Příloha č. 5 - Fotodokumentace