

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra ochrany lesa a entomologie

Diplomová práce

2018

Mgr. et Mgr. Bc. Daniel Baťa

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ochrany lesa a entomologie

Analýza prostorové distribuce napadení porostů
smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou
(*Gemmamyces piceae*) v Krušných horách

Diplomová práce

Autor: Mgr. et Mgr. Bc. Daniel Baťa

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

2018

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Mgr. Daniel Baťa

Lesní inženýrství

Název práce

Analýza prostorové distribuce napadení porostů smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou (*Gemmamyces piceae*) v Krušných horách

Název anglicky

Spatial distribution analysis of the Norway spruce stands attacked by the bud blight *Gemmamyces piceae* in the Ore Mountains

Cíle práce

Zhodnotit vliv vybraných faktorů prostředí na stupeň napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou. Vytvořit mapu prostorové distribuce napadení kloubnatkou v zasaženém území.

Metodika

Pro tvorbu mapy bude využito hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou realizované na 50 trvalých plochách založených v oblasti Krušných hor. Zjištěný stupeň napadení bude interpolován na okolní porosty smrku ztepilého a zobrazen v tematické mapě. Na základě dat získaných z trvalých ploch a LHE bude provedena analýza vlivu faktorů prostředí na míru napadení smrků patogenem. Využity budou faktory stanovištní – LVS, ovlivněné/neovlivněné vodou a porostní – věk, zakmenění. Výsledky analýzy budou použity při zobrazení v další tematické mapě.

Doporučený rozsah práce

50-60

Klíčová slova

Gemmamyces piceae, Picea abies, Picea pungens, defoliace, Krušné hory, houbový patogen

Doporučené zdroje informací

- Balcar V., Vacek S., Henžlík V. 1994. Dynamika poškození lesních porostů v horských oblastech. Stav Horských lesů Sudet v České republice. Strnady, Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 73–91.
- Butin H. 1995. Tree diseases and disorders. Oxford University Press, Oxford: 232.
- 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.
- Marek L. 2015. Prostorové a vícerozměrné statistické analýzy epidemiologických dat. Univerzita Palackého, Olomouc, 2015: 169.
- Modlinger R., Pešková V. 2017. Aktuální výskyt vybraných škodlivých činitelů v porostech náhradních dřevin v Krušných horách. In: Knížek M. (ed.): Škodliví činitelé v lesích Česka 2016/2017 – Praktická ochrana lesa v současných podmínkách. Sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí. Průhonice, 19. 4. 2017. Zpravodaj ochrany lesa: 60–61.
- Pešková V., Modlinger R. 2015: Stav napadení smrku pichlavého a ztepilého kloubnatkou smrkovou. Lesnická práce, 94(3): 48–49.
- Sinclair, W., Lyon, H. H. 2005: Diseases of Trees and Shrubs. Comstock Pub. Associates: 660.
- Slodičák M., Balcar V., Novák J. 2008. Lesnické hospodaření v Krušných Horách. Hradec Králové, LČR; Strnady Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti: 480.
- Soukup F., Pešková V. 2009. Gemmamyces piceae (Borthw.) Casagr. kloubnatka smrková. Lesnická práce, 88 (12), Příloha: 1–4.
- Yuan Z.-Q., Wang X.-W. 1995. A taxonomic study of fungi associated with spruce bud blight in China. Mycotaxon, 53: 371–376.
-

Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Vítězslava Pešková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ochrany lesa a entomologie

Konzultant

Mgr. Jiří Trombik

Elektronicky schváleno dne 20. 11. 2017

prof. Ing. Jaroslav Holuša, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 2. 2018

prof. Ing. Marek Turčáni, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 18. 04. 2018

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Analýza prostorové distribuce napadení porostů smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou (*Gemmamyces piceae*) v Krušných horách 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 Praze dne 18. 4. 2018

Rád bych na tomto místě poděkoval doc. Ing. Vítězslavě Peškové, Ph.D. za trpělivé a vstřícné vedení, a rovněž za poskytnutí dat, která byla nezbytným vstupem pro zpracování této práce.

Abstrakt

V roce 2008 byla na území České republiky po téměř půl století útlumu znova objevena kloubnatka smrková (*Gemmamyces picea*). Po její prvotní gradaci na smrku pichlavém (*Picea pungens*) byly nálezy napadení hlášeny stále častěji i na smrku ztepilém (*P. abies*). Vzhledem k postupujícímu napadení na smrku ztepilém, byl Grantovou agenturou Lesů České republiky, s. p. podpořen čtyřletý projekt zaměřený na monitoring a výzkum patogenu. Celkem bylo mezi léty 2016-2017 v Krušných horách založeno 90 trvalých zkusných ploch s cílem provádět zde opakující hodnocení stupně napadení. Cílem této práce bylo na základě výsledků prvního roku hodnocení provést analýzu variability dosažených hodnot napadení ve vztahu k přírodním podmínkám a porostním charakteristikám. V přípravné fázi byly posouzeny jednotlivé charakteristiky samostatně, následně byla provedena analýza v softwaru Weka v. 3.8.2 s využitím klasifikačního algoritmu J48. S využitím nejpřesnějšího klasifikačního modelu byla vytvořena mapová vrstva napadení porostů v Krušných horách. Výsledkem bylo zjištění, že nejsilnějším determinantem pro napadení je věk porostů. Nejvíce napadené jsou porosty ve věku 30-60. Druhým nejvýznamnějším faktorem při klasifikaci se ukázala poloha stanoviště uvnitř nebo vně ohniska napadení (LS Litvínov) a vliv ovlivnění stanoviště vodou, které v nižších nadmořských výškách, v údolích a na rovinách působí pozitivně, na hřbetech a ve vyšších nadmořských výškách negativně. Významně se se rovněž projevovala nadmořská výška. Porosty jsou méně napadené pod úrovní 750 m n. m. a procento napadených stromů opět klesá nad hranicí 920 m n. m. Jako významné se rovněž ukázaly některé atributy související s geomorfologií např. Topographic Position Index, sklon nebo expozice. Na základě kombinace výsledků a informací dostupných v literatuře byla vyslovena hypotéza, že by hlavním determinantem poškození smrků ztepilých v oblasti mohl být výskyt pozdních a časných mrazů, poškozujících rašící pupeny a nevyzrálé letorosty.

Klíčová slova: *Gemmamyces*, kloubnatka smrková, Krušné hory, smrk pichlavý, smrk ztepilý

Abstract

In 2008, a gemmamyces bud blight (*Gemmamyces picea*) has been discovered in the Czech Republic after a half century of disappearance. After its initial spread on Colorado blue spruce (*Picea pungens*) the infestation was reported more frequently on Norway spruce (*P. abies*). Due to the spreading infestation on Norway spruce a four-year project focused on the pathogen monitoring and research was supported by the Grant Agency of Forests of the Czech Republic, State Enterprise. In order to perform a recurring assessment of the infestation 90 permanent forest plots were established in the Ore Mountains between 2016 and 2017. The aim of this work was to analyze the relationship between the degree of infestation obtained after the first year of evaluation and the natural conditions and vegetation characteristics of the permanent forest plots. The individual characteristics were assessed separately in the initial phase and then an analysis was performed in Weka v. 3.8.2 software using the J48 classification algorithm. Using the most accurate classification model a map layer of infestation in the Ore Mountains was created. As a result, it was found that the age of stands was the strongest determinant for classification. The most affected are those aged 30-60. The second most significant factor were the location within or outside of the outbreak zone and the influence of water on the plot. Classification trees show that water can affect plots positively at lower altitudes, valleys and plains and be negative factor at higher altitudes. Third level of classification rules were connected with geomorphology and altitude. The stands are less infested below 750 m and the maximum percentage of affected trees on the plot drops again above 920 m. Some other attributes related to geomorphology, such as Topographic Position Index, or exposure have also proved to be significant in some models. From the combination of the results and information from the reference literature it was assumed that the main determinant of damage to the Norway spruce in the area would be the occurrence of late and early frosts. That can cause damage of the growing buds and immature shoots.

Key words: bud blight, Ore Mountains, Colorado Blue Spruce, *Gemmamyces*, *Cucurbitaria*

SEZNAM ZKRATEK

LHP	Lesní hospodářský soubor
LS	Lesní správa
LVS	Lesní vegetační stupeň
PSK	Porostní skupina
SLT	Soubor lesních typů
SMP	Smrk pichlavý
RMSE	Root mean square error – Odmocnina ze střední kvadratické chyby
TPI	Topographic Position Index
TZP	Trvalá zkusná plocha
ÚHÚL	Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem
VÚLHM, v. v. i.	Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.

OBSAH

1	ÚVOD.....	11
1.1	Cíl práce.....	12
2	ROZBOR PROBLEMATIKY.....	13
2.1	Současné poznatky o kloubnatce smrkové.....	13
2.2	Životní cyklus patogenu.....	15
2.3	Vliv patogenu na hostitele.....	16
2.4	Poznatky z dosavadního výzkumu.....	18
2.5	Faktory ovlivňující výskyt a intenzitu napadení stromů kloubnatkou smrkovou.....	22
3	POPIS LOKALITY.....	24
4	METODIKA A VSTUPNÍ DATA.....	29
4.1	Příprava mapových podkladů.....	29
4.2	Založení zkusných ploch a hodnocení stupně napadení.....	31
4.3	Vstupní analýza výsledků hodnocení intenzity napadení v roce 2017.....	32
4.4	Metodika zpracování dat.....	47
5	VÝSLEDKY.....	49
5.1	Výběr nejvhodnějšího klasifikačního modelu.....	50
5.2	Klasifikace a tvorba mapových výstupů.....	56
6	DISKUZE.....	58
6.1	Použitá data a metody hodnocení.....	58
6.2	Srovnání výsledků hodnocení s poznatky jiných autorů.....	60
6.3	Hypotézy o faktorech podmiňujících rozšíření kloubnatky smrkové.....	62
6.4	Doporučení pro další výzkum.....	64
7	ZÁVĚR.....	66
8	LITERATURA.....	67
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	73
	SEZNAM TABULEK.....	78
	SEZNAM PŘÍLOH.....	79

1 ÚVOD

Lesnictví a lesy obecně stojí neustále před novými výzvami vyplývajícími ze změn vnějšího prostředí. Vzhledem k délce výrobního cyklu, kterým je lesnictví charakterizováno, musí lesníci, více než jiné obory, plánovat, neboť svými činy v současnosti přebírají zodpovědnost, za stav lesů a přírodního prostředí generací následujících. Jedním z nejdiskutovanějších problémů současné doby je globální klimatická změna. Byť se názory na příčinu tohoto fenoménu liší, jeden fakt je neoddiskutovatelný, změny v přírodním prostředí dopadají na lesy a ovlivňují jejich zdravotní stav. Kromě zvyšující se teploty, která může negativně ovlivnit fenologii porostů, se mění také rozložení srážek v průběhu roku, zvyšuje se riziko extrémních jevů (kroupy, silný vítr, ...). V neposlední řadě změny klimatických podmínek také podporují změny v areálech rozšíření patogenů (FIELD et al., 2014).

V Krušných horách se na počátku 21. století objevila pro lesnický sektor nová výzva. Náhlé rozšíření kloubnatky smrkové v porostech smrku pichlavého během jednoho decennia nenávratně poškodilo porosty této dřeviny zejména v centrální části přírodní oblasti Krušné hory. Od roku 2009 jsou reportovány rovněž nálezy na našem domácím smrku ztepilém (SOUKUP A PEŠKOVÁ, 2009). Počet napadených stromů i míra jejich poškození od té doby výrazně narostly.

S ohledem na výzvy plynoucí z klimatické změny je jakýkoliv další stresový faktor smrku ztepilého problematický a jejich společné působení může mít v budoucnu velmi vážné dopady na produkci porostů. V současné době ještě nebylo hlášeno letální napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou, k omezení produkce a oslabení stromů však nepochybně dochází (TOMÁŠKOVÁ a KUBÁSEK, 2016). Vzhledem k závažnosti této hrozby se Grantová agentura Lesů České republiky s. p., rozhodla podpořit čtyřletý projekt zaměřený na napadení smrků ztepilých kloubnatkou smrkovou. Projekt se zabývá jak výzkumem samotného patogenu, jeho fenologií a působením na fyziologii hostitele, tak monitoringem progresu napadení a jeho vztahu intenzity napadení k přírodnímu prostředí.

Předložená práce prezentuje dosavadní znalosti o patogenu a podává přehled o dosavadním výzkumu v oblasti Krušných hor. V části zaměřené na výzkum v rámci projektu představuje použitou metodiku a analyzuje data prvního roku hodnocení napadení. Velkým přínosem současného výzkumu je množství monitorovacích ploch. Díky němu hodnocení zahrnuje různé kombinace atributů přírodního prostředí a výzkum tak může přinést větší vhled do zákonitostí rozšíření současného napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou a potvrdit nebo vyvrátit některé hypotézy vycházející ze starších výzkumů.

1.1 Cíl práce

Hlavním cílem práce bylo zhodnocení vlivu vybraných faktorů prostředí na stupeň napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou, jehož intenzita a rozsah byla hodnocena za podpory Grantové agentury Lesů České republiky s. p. Provedené hodnocení, probíhající v roce 2017 v bezprecedentním rozsahu v přírodní lesní oblasti Krušné hory, tvořilo jeden z hlavních vstupních zdrojů této práce. Pro naplnění hlavního cíle bylo nutné provést zhodnocení závislostí mezi napadením a charakteristikami přírodního prostředí a stanovit nejpravděpodobnější model závislostí. Následně bylo využito výsledků analýzy k vytvoření mapy prostorové distribuce napadení v zájmovém území. Přínosem vytvoření této mapy je zejména odhad rozsahu současného napadení v oblasti Krušných hor, a zároveň podklad pro další monitoring, neboť mapa poškození vycházející z roku 2017 se může stát základem pro monitoring změny poškození v dalších letech. Zároveň může být využito nových poznatků o vztahů mezi intenzitou napadení a přírodním prostředím ke stanovení nových vědeckých hypotéz a z toho vycházejících nových výzkumných aktivit.

Kromě naplnění hlavního cíle bylo vedlejším záměrem zhodnotit informace o preferencích kloubnatky smrkové z hlediska přírodního prostředí, které vycházejí ze starší literatury, tedy především ze zkušeností z napadení smrku pichlavého.

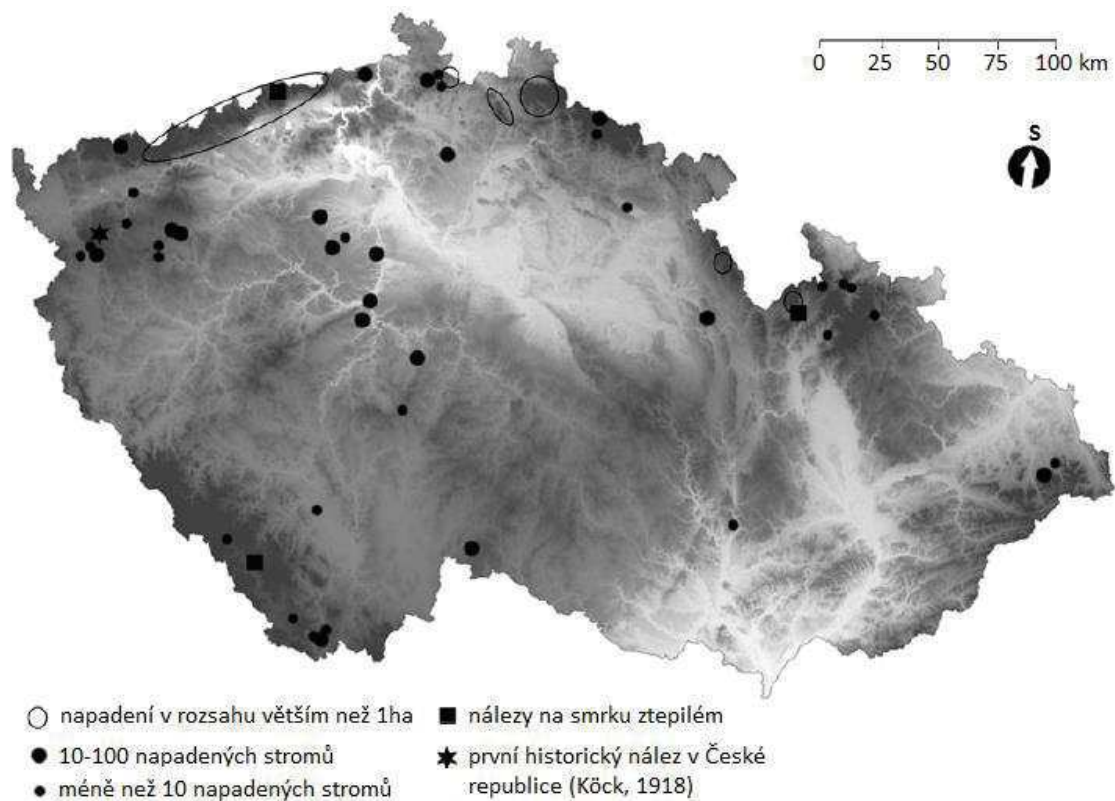
2 ROZBOR PROBLEMATIKY

2.1 Současné poznatky o kloubnatce smrkové

Kloubnatka smrková (*Gemmamyces piceae* (Borth.) Casagrande) je v současném taxonomickém pojetí řazená mezi vřeckovýtrusné houby řádu Pleosporales, čeledi Melanommatacea (JAKLITSCH et al., 2017). Poprvé byla popsána v roce 1909 Borthwickem jako *Cucurbinata picea* (BORTHWICK, 1909). Borthwick ve své práci rovněž zmiňuje nejstarší doložené napadení kloubnatkou smrkovou na smrku *Picea pungens* var. *glauca* v Abercairney (Perthshire, Skotsko) z roku 1906 (BORTHWICK, 1909 in ČERNÝ et al., 2016). Anamorfní stádium, které poprvé popsal NAUMOV v roce 1925, bylo pojmenováno *Megaloseptoria mirabilis*. (NAUMOV, 1925 in ČERNÝ et al., 2016). Vazbu mezi oběma stádii potvrdil Casagrande experimentálním výzkumem v roce v roce 1969 (CASSAGRANDE, 1969). Na podkladě jeho práce začala být kloubnatka smrková řazena do nového rodu *Gemmamyces*.

Původní domovinou této houby je zřejmě východní Asie. Výskyt v pohoří Ťan-šan na *Picea schrenkinana* popisuje YANG & WANG (1995) a vyskytuje se zde také jediný další zástupce rodu *Gemmamyces*, *G. piceicola*, rovněž na *P. schrenkiana* (YANG & WANG, 1995). Do současné doby došlo k rozšíření do řady dalších zemí. Výskyt v různých zemích ve své práci shrnuje ČERNÝ et al. (2016) – Česká republika, Čínská lidová republika, Dánsko, Finská republika, Irsko, Itálie, Rakouská republika, Republika Slovinsko, Ruská federace (Novgorod a Petrohrad), Skotsko, Spolková republika Německo, Švýcarská konfederace, Švédské království. Napadení stromů *P. pungens* je hlášeno i z Aljašky (WINTON, 2017).

V České republice poprvé o tomto patogenu informoval Köck v roce 1918, který zmiňuje, že podobné příznaky se na dřevinách již vyskytly v roce 1909. Köck ve své práci zvažuje, že patogen mohl být introdukován s rostlinami importovanými z Německa a Nizozemí (KÖCK, 1918 in ČERNÝ et al., 2016). Po opakovaném hlášení výskytu v desátých a dvacátých letech 20. století se patogen vytrácí [například v publikaci Lesnická fytopatologie z roku 1976 není vůbec tato houba zmíněna (ČERNÝ, 1976)] a opakovaně se objevuje až na počátku 21. století. Podle logistického modelu, založeného na datech výzkumných ploch z roku 2014, mohla epidemie započít krátce před rokem 2000, patrně jako důsledek snížení kyselosti dešťových srážek (ČERNÝ et al., 2016). Výskyt v České republice shrnuje obrázek č. Obr. 1.



Obr. 1 Výskyt kloubnatky smrkové (*Gemmamyces piceae*) na porostech *P. pungens* v České republice (převzato z ČERNÝ et al., 2016).

Mezi známé hostitele patří zejména u nás nepůvodní druhy smrku *P. asperata*, *P. engelmannii*, hybridech *P. engelmannii x glauca*, *P. glauca*, *P. omorica*, *P. pungens*, *P. schrenkiana*, *P. sitchensis* (ČERNÝ et al., 2016; PEŠKOVÁ et al., 2016). Výskyt na našem domácím smrku *P. abies* byl poprvé zmíněn v roce 1946 (KUJALA, 1950 in ČERNÝ et al., 2016). Méně častý a méně významný je výskyt na jedlích *Abies alba* a *A. nordmanniana* (SOUKUP a PEŠKOVÁ, 2009).

Mezi nedávné objevy patří rozpoznání mykoviru rodu *Betapartitivirus* z čeledi *Partitiviradea* ve vzorcích bazálního stromatu získaného z *P. pungens* v Krušných a Orlických horách (PETRZIK et al., 2015). Vztah mezi kloubnatkou a tímto virem bude teprve nutné prozkoumat. Dle autorů v současné době není zřejmé, zda je virus symbiontem nebo patogenem.



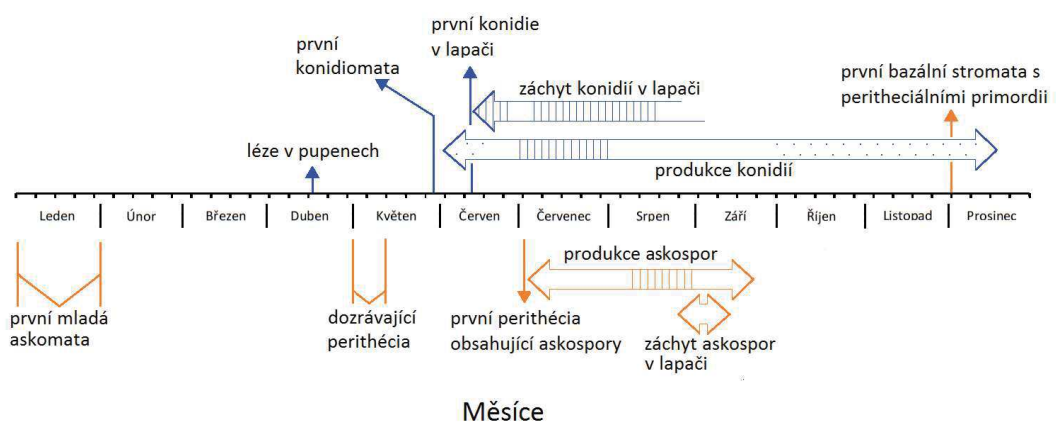
Obr. 2 Pupeny napadený kloubnatkou smrkovou (*Gemmamyces piceae*) (zdroj: V. Pešková).

2.2 Životní cyklus patogenu

Jedním ze základních předpokladů pro pochopení zákonitostí šíření patogenu a jeho nebezpečnosti je poznání jeho životního cyklu. Soulad životního cyklu s přírodními podmínkami je nutností pro úspěšné šíření, a naopak nepříznivé podmínky mohou šíření tlumit nebo mu úplně zamezovat. V případě kloubnatky smrkové se životním cyklem v přírodních podmínkách zabývají především novější práce z oblasti Krušných hor. Z prací vyplývá, že vývoj patogenu je dvouletý. V prvním roce se na přelomu jara a léta napadené pupeny nejprve pokrývají pavučinovým hnědým později korkovým, tuhým černým bazálním stromatem ŠEFL (2013). Na něm se záhy vytvářejí kulovité povrchové pyknidy konidiového stádia velikosti okolo 500 μm (Obr. 2) (SOUKUP a PEŠKOVÁ, 2009). Plodnice pohlavního stádia (teleomorfy), které produkují askospory, se obvykle vyvíjejí na přelomu léta a podzimu, většinou na stejném místě (PEŠKOVÁ et al., 2016). PEŠKOVÁ a SOUKUP (2013) uvádějí, že při terénním průzkumu v Krušných horách se jim jen ojediněle podařilo nalézt fertillní plodnice jak s konidii, tak s askosporami zároveň. Toto zjištění je v souladu s informací publikovanou ČERNÝ et al. (2016), který uvádí, že teleomorfy se typicky vyvíjejí až následující rok po napadení a produkci konidií. K infekci pupenů může dojít jak konidii, tak askosporami (CASAGRANDE, 1969,

SOUKUP a PEŠKOVÁ, 2009). Produkce konidií probíhá během celé vegetační sezóny, i když na jednotlivých stanovištích obvykle pouze po krátkou dobu (PEŠKOVÁ et al., 2016). Vrcholem sporulace konidií dle terénních šetření v roce 2015 byl konec července. Vrchol produkce askospor byl zaznamenán v srpnu (ČERNÝ et al., 2016). Zjištění této práce shrnuje Obr. 3.

Šíření konidiami je zřejmě zajišťováno převážně rozstříkáním kapek deště. V menší míře působí šíření pohyb bezobratlých živočichů nebo jiných zvířat. Naproti tomu askospory, charakteristické tlustými stěnami, jsou schopné přežít v nehostinnějších podmínkách a šíří se především větrem. Napadení, s ohledem na vrchol sporulace, probíhá nejčastěji v létě, nicméně příležitostné napadení z nově vyrostlých pyknid na jaře není možné vyloučit. Patogen může přežít ve formě mycelia ve tkáni pupenů (SCHNEIDER et DAEBELER, 1968 in ČERNÝ et al., 2016) nebo možná za šupinami pupenů v podobě askospor (ČERNÝ et al., 2016). Je pravděpodobné, že patogen je schopný růstu i v teplých periodách zimy, nicméně tento růst je pomalý. Optimální teplotou k růstu je 13-18 °C, patogen má tedy psychrofilní povahu (ČERNÝ et al., 2016).



Obr. 3 Schéma životního cyklu patogenu (šrafované šipky znázorňují období zvýšeného výskytu, tečkované vyjadřují sporadický výskyt; modrá barva je asociována s nepohlavním stádiem, oranžová s pohlavním stádiem) (sestaveno autorem dle ČERNÝ et al., 2016).

2.3 Vliv patogenu na hostitele

Napadení hostitele patogenem může mít celou řadu projevů. Typickým projevem napadení kloubnatkou smrkovou je výskyt bazálního stromatu na pupenech. Díky napadení dochází buď k úplnému přerušení růstu výhonu a jeho odumření nebo ke změně jeho morfologie. Výhony jsou zduřelé, silně zkrácené, často ohnuté. Výhony, které nebyly napadeny tak silně, aby odumřely, mají často netypické postavení a vyrůstají do nejrůznějších směrů. Po odumření terminálního pupenu výhonu často přebírají jeho funkci boční pupeny, což vede ke vzniku pro napadení kloubnatkou smrkovou typickému

vzhledu koruny. Díky tomuto projevu je možné na napadení usuzovat i okulárním posouzením ze země. Napadení je možné zaměnit s projevy napadení korovnicí rodu *Sacchiphantes*.

Dalším projevem napadení je snížení listové plochy asimilačního aparátu postižených stromů. Vlivem napadení pupenů dochází k redukci nebo úplnému potlačení schopnosti obnovovat asimilační aparát, což při přetrvávající infekci vede až k odumření hostitele. Letálnost napadení pro jednotlivé pupeny zmiňuje PEŠKOVÁ a SOUKUP (2013), kteří při terénních setřeních v Krušných horách zjistili, že houba byla schopna zahubit i pupeny, u nichž plodnice nepokrývaly ani 50 % povrchu. Z hlediska proliferace je zřejmě rozhodující napadení apikálního meristému. ČERNÝ et al. (2016) zmiňují, že v některých případech, kde nebyl apikální meristém pupenu poškozen, dokázaly přežít napadení.

Méně nápadný je vliv patogenu na fyziologii hostitele. U jednotlivých typů patogenů, i u konkrétních druhů, jsou vyvinuty rozličné způsoby ovlivňování vnitřního prostředí hostitele, na což hostitel opět může reagovat rozličným způsobem. Podrobněji se vlivu napadení kloubnatkou na smrkové porosty v oblasti Krušných hor věnovala např. VLNIEŠKOVÁ (2017). Nové výsledky z pokračujících měření přináší PEŠKOVÁ et al. (2018). Předmětem měření byly fotosyntetické parametry zjišťované gazometrickým přístrojem, světelná křivka a fluorescence. Pozornost byla rovněž věnována hlavním fotosyntetickým pigmentům v asimilačním aparátu různě postižených smrků. Měření bylo odhaleno, že napadené smrky ztepilé mají nižší rychlost asimilace i kvantový výtěžek o 5-10 %. U napadených jedinců rovněž poklesla efektivita využití vody, vyjádřená jako poměr mezi asimilovaným uhlíkem a transpirací (VLNIEŠKOVÁ, 2017; PEŠKOVÁ et al., 2018). Spektrofotometrické hodnocení pigmentů prokázalo pokles chlorofylu *a* i chlorofylu *b*, a také karotenoidů. Pokles obsahu pigmentů byl různý u různých stupňů napadení. Nejmenší obsah byl u všech pigmentů při poškození kategorie 1 (viz stupnice tabulka Tab. 2). V dalších kategoriích (2-4) docházelo k mírnému nárůstu obsahu, průměr byl však vždy nižší než u zdravých jedinců. Zvyšování obsahu pigmentů v kategorii 3 a 4 autoři vysvětlují různou dobou napadení stromu patogenem. Obsah pigmentů totiž reaguje na napadení patogenní houbou se zpožděním (LOBATO et al., 2010 in PEŠKOVÁ et al., 2018).

Dosavadní výsledky výzkumu z Krušných hor ukazují, že pro výsadby *P. pungens* je kloubnatka smrková v této oblasti limitujícím faktorem. V práci PEŠKOVÁ et al. (2016) je uveden graf znázorňující vývoj napadení smrku pichlavého v letech 2009-2015. Z grafu je patrné, že průměrný podíl napadení vzrostl z hodnoty 33 % v 2009 na hodnotu blízkou 80 % v roce 2015. POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011) odhadují, že doba přežití stromu v nepříznivých podmínkách při rozvoji napadení je 7-10 roků. U smrku ztepilého je možné říci, že dochází k nárůstu počtu napadených jedinců (PEŠKOVÁ et al., 2018),

nicméně vliv napadení je zatím v rovině omezení asimilační plochy a s tím spojeného oslabení. Letální napadení zatím nebylo detekováno.

2.4 Poznatky z dosavadního výzkumu

V této podkapitole je podrobněji věnována pozornost dostupným informačním zdrojům se zvláštním zřetelem na způsob hodnocení a nalezené vztahy mezi výskytem patogenu a jeho prostředním. Zdroje jsou rozděleny do dvou skupin. První skupinu představuje výzkum prováděný pracovníky Výzkumného ústavu lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i. (VÚLHM, v. v. i.) a pracovníky České zemědělské univerzity v Praze, který soustavně zkoumá kloubnatku smrkovou od roku 2009. Druhou skupinou jsou práce, které vznikly na katedře ekologie Univerzity Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem.

Pozornost výzkumníků se na kloubnatku smrkovou obrátila v roce 2008, kdy pracovníci ÚHÚL v rámci terénního šetření detekovali v některých lokalitách v Krušných horách významné zhoršení zdravotního stavu smrku pichlavého (POSPÍŠIL a POSPÍŠIL, 2011). Na podkladě jejich zjištění se problematikou začal zabývat VÚLHM, v. v. i. a v roce 2009 byl publikován první článek o kloubnatce smrkové od útlumu jejího výskytu ve druhé polovině 20. století (SOUKUP a PEŠKOVÁ, 2009). Autoři uvádějí, že *G. piceae* se v regionálním měřítku vyskytuje zejména na lokalitách s vysokými srážkami a trvale vysokou vzdušnou vlhkostí. Ve střední a popř. jižní Evropě jsou nálezy hlášené z vyšších nadmořských výšek. Jejich vlastní šetření napadení na *P. pungens* však neprokázalo preferenci lokalit stratifikovanou podle nadmořské výšky, expozice nebo stáří. Ani mezi přehoustlými nebo naopak rozvolněnými porosty nebyl téměř rozdíl.

O dva roky později POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011) prezentovali na semináři Škodliví činitelé v lesích Česka 2010/2011 referát o kloubnatce smrkové. Poškození stromů rozdělili na dvě fáze. V počáteční fázi jsou napadeny spodní části koruny do 1/2-2/3, špička stromu má normální barvu i větvení. V pokročilé fázi je strom napaden celý, dochází k prosvětlování koruny a větvení nemá standardní tvar. Pro hodnocení poškození použili zastoupení silně poškozených jedinců v porostu. Silně poškozený strom je ve fázi pokročilého napadení, zasahující až k vrcholu a má poškozeno 90-100 % pupenů. Pro klasifikaci stanovili čtyři stupně poškození:

Stupeň 0 – porosty nepoškozené, na žádném stromu v porostu nejsou příznaky poškození

Stupeň 1 – porosty mírně poškozené, v porostu je 1-10 % silně poškozených jedinců

Stupeň 2 – porosty poškozené, v porostu je 11-50 % silně poškozených jedinců

Stupeň 3 – porosty silně poškozené, v porostu je více jak 50 % silně poškozených jedinců

V roce 2008 provedli s touto stupnicí hodnocení na 85 plochách v lesních hospodářských celcích (LHC) Červený Hrádek, Litvínov a Telnice. Poškození bylo zjištěno na 74 plochách (stupeň 1 34 %, stupeň 2 13 %, stupeň 3 40%). V roce 2010 šetření opakovali na 36 stejných plochách a dále na 203 odlišných plochách na LHC Klášterec, Červený Hrádek, Jezeří, Košťany, Litvínov, Telnice. Městské lesy Jirkov, Městské lesy Chomutov.

V příspěvku se autoři dále věnovali vlivu prostředí (fyzickogeografického a porostního) na napadení smrku pichlavého. Nejvíce napadených stromů bylo na rovinách a vrcholech. Nejvíce poškozených ve třetím stupni našli v oblastech s výskytem mlhy 90-120 dní (12 %), největší poškození prvního stupně bylo nalezeno v oblastech s výskytem mlhy 120-150 dní (27 %), procento výskytu stupně poškození 2 byl v obou oblastech shodný (8 %). V oblastech s výskytem mlhy méně než 90 dní bylo napadení ve všech věkových stupních jen 2 %, nad 150 dnů v souhrnu ve všech stupních poškození 7 %. POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011) uvádějí, že faktorem podmiňujícím vznik infekce by mohly být vysoké srážky, a vysoká vzdušná vlhkost nad vrstevnicí 700 m, kde oblačnost často dosahuje až k zemi. Těžiště napadení bylo detekováno v třetím věkovém stupni u mladších i starších porostů je podíl napadených jedinců nižší. Hodnocení napadení dle expozice stanoviště neprokázalo existenci trendu nebo vzorce napadení.

PEŠKOVÁ a SOUKUP (2013), v návaznosti na nálezy z roku 2009, pokračovali v monitoringu rozšíření a škod způsobených touto houbou. K hodnocení napadení *P. pungens* byla využita následující stupnice:

1. kategorie slabý výskyt patogenu – nerašící pupeny do 25 % (≥ 1)
2. kategorie středně silný výskyt patogenu – nerašící pupeny od 25-75 % ($< 1 - > 3$)
3. kategorie – silný výskyt patogenu – nerašící pupeny více než 75 % ($\leq 3 - > 4$)
4. kategorie – smrtelný výskyt patogenu (4) – odumřelé stromy

Hodnocení probíhalo v letech 2009-2013 ve 20 porostech na LS Litvínov a 14 na LS Klášterec. Pro jednotlivé porosty bylo napadení průměrováno. Přednostně byly vybírány porosty, kde hodnocení probíhalo v minulých letech. V některých porostech bohužel v průběhu doby došlo k rekonstrukci.

V tomto článku PEŠKOVÁ a SOUKUP (2013) zmiňují, že situace se horší na obou lesních správách, přičemž LS správa Litvínov je na tom hůře ve všech letech šetření. Je potřeba dodat, že v posledním roce zjišťování se poškození na LS Klášterec nad Ohří přiblížilo poškození na LS Litvínov. Během šetření se rovněž zaměřili na napadení *P. abies*, v roce

2013 konstatovali, že našli poškozené pouze jednotlivé pupeny a silně napadené pouze dva stromy (1 strom na LS Klášterec a 1 strom na LS Litvínov).

Pokračování monitoringu za rok 2014 shrnují PEŠKOVÁ a SOUKUP (2015). Monitoring stavu *P. pungens* byl rozšířen na 24 porostů na LS Litvínov a 15 na LS Klášterec). Celkové výsledky naznačily mírné zlepšení stavu u stromů *P. pungens*, naopak zhoršení bylo pozorováno u *P. abies*, kde došlo k nárůstu počtu stromů s vyšším podílem zasažených pupenů. Pro hodnocení byly využita stejná stupnice jako v PEŠKOVÁ a SOUKUP (2013). ZAHRADNÍK et al. (2015) ve stejném sborníku uvádí, že kloubnatka smrková již významně poškodila cca 50 % ploch náhradních porostů *P. pungens*.

O rok později PEŠKOVÁ et al. (2016) informují o postupujícím nárůstu napadení. V tomto roce bylo ve 49 porostech (LS Klášterec nad Ohří a LS Litvínov) hodnoceno 1427 jedinců. Hodnocení probíhalo ve stupnicích:

0. kategorie – bez napadení;
1. kategorie – napadeny jednotlivé pupeny nebo maximálně 1 větev;
2. kategorie – napadení do 1/3 koruny;
3. kategorie – napadení do 2/3 koruny;
4. kategorie – strom napaden z více než 2/3 a objevuje se počínající defoliace.

Z výsledku vyplynulo, že 48 % stromů vykazovalo nějakou kategorii napadení [1. – 320 stromů (22 %); 2. – 244 stromů (17 %); 3. – 99 stromů (7 %), 4. – 24 stromů (2 %)]. Výsledky dále ukázaly, že vyšší procento napadených pupenů se objevuje ve vrcholových partiích stromů. Což je odlišnost oproti napadení SMP, kde patogen primárně napadal spodní partii koruny PEŠKOVÁ et al. (2016).

V roce 2016 byl také vydán článek ČERNÝ et al. (2016), který zevrubně shrnuje penzum dosavadních znalostí o této houbě. Kromě toho autoři provedli vlastní šetření životního cyklu patogenu (Obr. 3) a provedli laboratorní pokusy s cílem získat materiál pro popis morfologie a provedení genetického rozboru vzorků.

Výsledky pokračujícího monitoringu z roku 2016 uveřejnili MODLINGER a PEŠKOVÁ (2017). Opětovné šetření zdravotního stavu smrku ztepilého bylo provedeno ve stejných zájmových porostech jako v roce 2015 (PEŠKOVÁ a SOUKUP, 2016; PEŠKOVÁ et al., 2016). Z celkových 1332 hodnocených stromů ve 46 porostech bylo kloubnatkou napadeno 40 %, což, jak uvádí autoři, bylo sice mírné zlepšení, ale vzhledem ke zvýšení rozptylu hodnot nelze toto považovat za obecný trend. Pro hodnocení byla využita stejná stupnice jako v PEŠKOVÁ et al. (2016).

V roce 2010 byla na Univerzitě Jana Evangelisty Purkyně (UJEP) zahájena série výzkumných studentských výzkumných prací. Jejím výsledkem bylo pět publikací. V roce 2009 prováděla výzkum JANŮ (2010) o dva roky později JUŘIČKOVÁ (2012). Práce

se zaměřily na sledování vývoje vývojových stádií patogenu ve vztahu k mikroklimatu. Monitoring probíhal v okolí Flájské přehrady na třech lokalitách. Výsledky měření shrnul ŠEFL (2013).

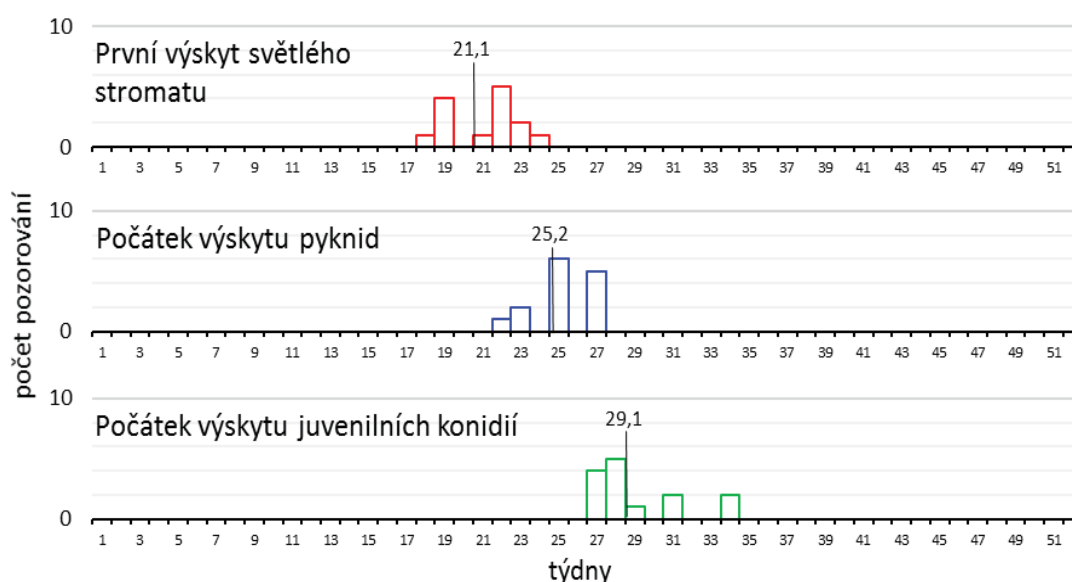
Pro monitoring byly zvoleny porosty smrku pichlavého ve věku 23-45 let v různých nadmořských výškách, hustotě porostu a s různou geomorfologií. Pupeny byly v porostech kontrolovány každých 14 dní. V době výskytu plodnic, byly rovněž odebírány vzorky plodnic pro laboratorní hodnocení. V bioskupinách byla měřena teplota v 15:00 (UTC+1) v roce 2009 a 15:00 (UTC+2) v roce 2011. Měření teploty sloužila především pro výpočet sumy efektivních teplot. Měřena byla také vlhkost. Pro hodnocení stupně napadení *P. pungens* byla použita dvě kritéria, míra prorůstání pupenů a defoliace. Pro obě kritéria využívá stupnice v kategoriích: do 30 %, 31-50 %, 51-70 %, 71 % a více. Hodnocení celé bioskupiny vychází ze stupnice POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011). Přičemž za silně poškozené stromy byly považovány jedinci, u kterých proliferace pupenů nepřekročila hodnotu 30 %.

Výsledky měření ukázaly, že průběh teploty a vlhkosti nemůže být jediný faktor ovlivňující rozvoj napadení, protože některé lokality, byť měly velmi podobný průběh teplot a vlhkosti vykazovaly různý stupeň napadení. Hypotéza, že vývojová stadia jsou vázána na sumu efektivních teplot se neprokázala. Rovněž parametr vlhkosti nevykázal jednoznačně definovatelný vztah mezi naměřenými hodnotami a pozorovanými vývojovými stadii. V roce 2011 například byl výskyt prvních pyknid zaznamenán ve stejnou dobu na nejchladnější lokalitě jako na lokalitách teplejších.

Jedním ze zjištění týkajících se životního cyklu patogenu bylo, že juvenilní konidie se vyskytují 18 dní před výskytem vyvinutých konidií (hodnocení ukončení vývoje bylo provedeno na základě velikosti konidií).

Na výše uvedený výzkum JANŮ (2010) a JUŘIČKOVÁ (2012) navázal výzkum MIKOLÁŠEK (2014) a SCHOŘÁLKOVÁ (2015), kteří prováděli výzkum na čtyřech plochách v okolí Flájské přehrady v letech 2013, resp. 2014. V některých místech již došlo k rekonstrukcím porostů. V těchto případech byly zkusné plochy založeny v blízkosti tak, aby data bylo srovnatelná s předchozími hodnoceními. Výsledky za všechny čtyři roky výzkumu shrnuje SCHOŘÁNOVÁ (2015). Autorka uvádí, že nižší defoliace byla pozorována v případě, kdy se v období srpna a září předchozího roku vyskytovaly srážky, což dle autorky může být způsobeno vymýváním spor z ovzduší a smýváním z pupenů. Proliferace pupenů se jevila nižší v případě, kdy před zahájením fyziologické aktivity a na konci fyziologické aktivity předchozího roku byl zaznamenán výrazný pokles teplot. Z publikovaných grafů teplot (SCHOŘÁNOVÁ, 2015) vyplývá, že záporných hodnot může teplota dosáhnout ještě v polovině května a znovu v polovině září. Závislost výskytu jednotlivých stádií na sumě efektivních teplot se neprokázalo.

Práce SCHOŘÁLKOVÁ (2015) rovněž shrnuje fenologické údaje za předchozí tři zjišťování provedené JANŮ (2011), JUŘIČKOVÁ (2013) a MIKOLÁŠ (2014). Výsledky všech prací shrnuje Obr. 4. Celkem bylo za čtyři roky hodnocení prováděného na 7 plochách, nasbíráno 14 datových sad, ze kterých byl sestaven histogram (Obr. 4). Juvenilní konidie byly zjišťovány z roztlaku napadených pupenů. Histogram je v souladu s pozorováními publikovanými v ČERNÝ et al. (2016). Dle ŠEFL (2013) se zralé konidie vyskytovaly zhruba 18 dní po výskytu juvenilních konidií. To by v případě porovnání výsledků na Obr. 3 a Obr. 4 ukázalo, že plochy zkoumané studenty UJEP byly mírně zpožděné proti zaznamenanému maximálnímu výskytu konidií ČERNÝM et al. (2016). Posun mohl být způsoben jiným rokem měření nebo rozdíly v nadmořské výšce zkusných ploch [studenti UJEP cca 750-920 m n. m., ČERNÝ et al., (2016) 530 m n. m.].



Obr. 4 Histogram zjištěného výskytu vývojového stádia patogenu kloubnatky smrkové na smrku pichlavém v oblasti přehrady Fláje v letech 2010-2013 a 2014 s vyznačeným mediánem [zdroj: Janů (2011), Juříčková (2013), Mikoláš (2014) a Schořálková (2015)].

2.5 Faktory ovlivňující výskyt a intenzitu napadení stromů kloubnatkou smrkovou

Pro výběr vhodných parametrů pro stratifikaci ploch a pro následné vyhodnocení výsledků je nezbytné se opřít o znalosti ekologických nároků houby. V dostupných pracích zabývajících se kloubnatkou smrkovou je uváděno několik faktorů, které by mohly mít dopad na šíření kloubnatky, a které by mohly ovlivňovat závažnost napadení. S ohledem na průběh šíření kloubnatky v Krušných horách se autoři nejprve věnovali smrku pichlavému a většina zjištěných poznatků se tak vztahuje k této dřevině.

V jedné z prvních prací, zveřejněné po roce 2000, tj. po novém rozšíření patogenu od jeho útlumu v druhé polovině 20. století, SOUKUP a PEŠKOVÁ (2009) zmiňuje, že nebylo prokázáno, že by kloubnatka smrková upřednostňovala lokality dle nadmořské výšky, expozice nebo stáří. Autoři rovněž nezaznamenali, že by kloubnatka upřednostňovala rozvolněné nebo zapojené porosty.

Na základě výzkumu napadení smrku pichlavého, který byl proveden pracovníky Ústavu pro hospodářskou úpravu lesa Brandýs nad Labem (ÚHÚL) POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011) byly stanoveny následující parametry podmiňující potenciální vznik infekce v Krušných horách:

- vysoká vzdušná vlhkost nad vrstevnicí 700 m n. m., kde oblačnost často dosahuje k zemi;
- s klesající nadmořskou výškou klesá poškození;
- husté zapojení vytváří příznivé podmínky pro šíření onemocnění;
- snížená vitalita SMP nedostatečnou výživou nebo zamokřením;
- vyšší věk (nejvyšší napadení v nejstarších porostech).

Přehledová práce ČERNÝ et al. (2016) uvádí, že napadení postupuje rychleji v postech s vyšší vlhkostí vzduchu, u stromů s hustší korunou a nižší korunou, optimální teplota pro růst patogenu je 13-18 °C. Dle CORKE (1955 in ČERNÝ et al., 2016) by riziko napadení měly zvyšovat letní deště. Autoři také uvádí, že choroba byla reportována z plantáží vánočních stromků z nížinných poloh. Je tedy zřejmé, že vrstevnice 700 m, kterou uvádí POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011) není limitující hranicí.

Novějších prací zaměřenou na smrk ztepilý je PEŠKOVÁ a SOUKUP (2016). Autoři uvádějí, že kloubnatka u smrku ztepilého poškozuje spíše vyšší části koruny, na rozdíl od předchozích zkušeností s napadením smrků pichlavých

3 POPIS LOKALITY

Zájmovou oblastí předložené diplomové práce byla přírodní lesní oblast 1 - Krušné hory. Tato přírodní lesní oblast (PLO) se nachází na severozápadě České republiky, kde zabírá především oblast Krušných hor a Smrčín. Typickou charakteristikou je výrazně protažený tvar. Délka PLO 1 je asi 145 km, zatímco šířka se pohybuje v nejširších místech okolo Karlových Varů kolem 20 km.

Přírodní lesní oblasti ustanovené v roce 1986 (PLÍVA a ŽLÁBEK, 1986) byly vymezeny jako územní celky, jejichž charakteristika vychází zejména z geomorfologie, geologie a klimatických podmínek.

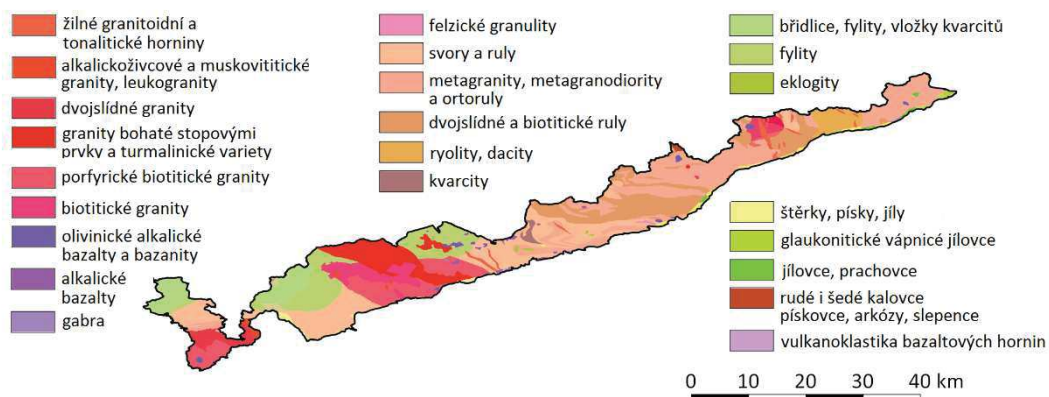
Geomorfologické charakteristiky byly při klasifikaci zvoleny zejména s ohledem na jejich vliv na distribuci typologických jednotek a mikroklima. Jak již bylo zmíněno, z hlediska geomorfologického členění je přírodní lesní oblast tvořena převážně geomorfologickými celky Krušných hor a Smrčín, jejich vzájemnou polohu a členění na geomorfologické okrsky ukazuje Obr. 5.

Krušné hory mají nadmořskou výšku hornatin, nicméně povrch v těchto oblastech je spíše méně členitý DEMEK et al. (2006) charakterizují Krušné hory souslovím „plochá hornatina“ (stř. výška 707,6 m n. m.). Nejčlenitější oblastí je jihovýchodní okraj PLO, kde je jednotka ohraničena příkrým zlomovým svahem spadajícím do podkrušnohorských pánví. Tento svah je silně rozčleněn činností vodních toků stékajících do podkrušnohorských pánví. Celkově mají Krušné hory charakter jednostranně ukloněného kerného pohoří (DEMEK et al., 2006). V náhorních plošinách jsou patrné zbytky holoroviny. V příhodných podmínkách se vyvinula horská vrchoviště (např. Přebuzská hornatina, Flájská hornatina). V geomorfologické oblasti Smrčiny, která tvoří výrazně menší část PLO 1, je charakter povrchu pahorkatinný až vrchovinný. Objevují se zde rovněž zbytky třetihorního zarovnaného povrchu, avšak méně často než v Krušných horách. Oblast je rozčleněna na svém okraji vlivem vodních toků. V severní části, zejména Studánecké vrchovině a Hranické pahorkatině, se terén stává méně členitým a více zaobleným.



Obr. 5 Geomorfologické členění přírodní lesní oblasti – Krušné hory (DEMEK et al., 2006).

Druhým faktorem posuzovaným při vymezení PLO je geologie. Z geologického hlediska náleží PLO Krušné hory převážně do sasko-durynské oblasti, která k nám zasahuje svojí jihovýchodní částí (CHLUPAČ et al., 2002). Větší část tvoří Krušnohorské krystalinikum, na které na jihozápadě navazuje oblast krušnohorského plutonu. Tato oblast je přepůlena na dvě podoblasti tvořící karlovarský pluton (zejména okrsek Přebuzská hornatina, částečně Jindřichovická hornatina) a smrčinský pluton (okrsek Blatenská vrchovina a Vojtanovská pahorkatina). Mezi těmito oblastmi je nasunuta oblast durynsko-vogtlanského paleozoika, které zabírá i severní polovinu Ašského výběžku, dále Lubskou vrchovinu a částečně Jindřichovickou hornatinu. Zastoupení jednotlivých hornin v oblasti ukazuje Obr. 6.



Obr. 6 Geologická mapa přírodní lesní oblasti Krušné hory (převzato z Česká geologická služba, 2017).

Zvětrávání matečné horniny ovlivňuje jednak zrnitost, hloubku a transportní procesy, ale také kyselost půdy a obsah chemických prvků. Z tohoto pohledu můžeme půdy rozdělit dle minerální síly (KLIMO, 2000). V PLO Krušné hory dominují dva typy – horniny minerálně středně bohaté (žuly, ruly, fylit), horniny minerálně slabé – (svory, ryolity), ostrůvkovitě se vyskytují půdy minerálně velmi bohaté – (čediče, gabra, eklogit) (KLIMO,

2000). VAVŘÍČEK a KUČERA (2015) vymezují ještě skupinu horniny minerálně chudé – (např. kvarcit), které bychom také mohli ostrůvkovitě najít ve střední části PLO Krušné hory.

Posledním ze tří hlavních posuzovaných faktorů při vymezení PLO byly klimatické faktory. PLÍVA a ŽLÁBEK (1986) uvádějí, že PLO 1 Krušné hory náleží převážně do okrsku C1, nejvyšší polohy oblasti do okrsku C3, okraje do B10 a B8. Označení vychází z Atlasu podnebí Československé republiky (HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 1958) a popis jednotlivých okrsků představuje tabulka 1.

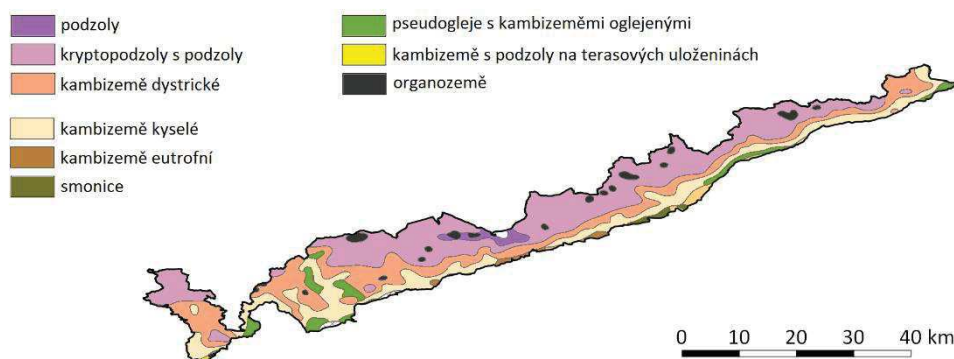
Tab. 1 Klimatické okrsky vyskytující se v zájmové oblasti (Hydrometeorologický ústav, 1958).

Označení okrsku	Počet letních dnů	Červencová teplota (1901-1950)	
B8	<50	>15 °C	Mírně teplý*, vlhký**, vrchovinový, do 1000 m n. m.
B10	<50	>15 °C	Mírně teplý, velmi vlhký*, vrchovinový, do 1000 m n. m.
C1	<50	<12-15 °C	Mírně chladný
C3	<50	<10 °C	Studený, horský

Pozn.: * Dle průměrné lednové teploty, ** Vlhkost stanovena dle Končekova indexu zavlažení.

Gradient srážek v oblasti má klesající tendenci od hranic s Německem směrem do podkrušnohorských pánví. Srážky nad 1000 mm.rok⁻¹ se vyskytují v severní části Flájské hornatiny, a dále severní části Přebuzké a Jáchymovské hornatiny. Většina PLO 1 má průměrné srážky nad 700 mm.rok⁻¹ (ČHMÚ). Při srovnání map průměrné teploty vzduchu za období 1961-1990 a 1981-2010 je patrné, že dochází k nárůstu teplot. Patrný je posun zejména v oblasti západních krušných hor a Smrčín o cca 1 °C (ČHMÚ).

Tři výše popsané faktory se významně podílejí na vzniku půd. Dle PLÍVA a ŽLÁBEK (1986) v dané přírodní lesní oblasti mají hlavní zastoupení podzoly (30 %), které je možné najít na chudých stanovištích, dále horské hnědé půdy (28 %) (dnes kryptopodzol) a v nižších polohách oligotrofní hnědé půdy (22 %) (dnes kambizemě dystrické). Menší zastoupení má dále pseudoglej (9 %), glej (5 %) a rašeliništní půda (3 %) (dnes organozem) (obr. 7). Celkem 63 % rozlohy PLO řadí autoři do kyselé řady. Díky vlivu podloží mají stanoviště v této PLO potenciál být přirozeně kyselá. Situaci však významně zhoršil vliv exhalací (viz níže), což má výrazný negativní dopad na dostupnost živin pro vegetaci. (TOMÁŠKOVÁ a KUBÁSEK, 2015)



Obr. 7 Mapa půdních typů přírodní lesní oblasti Krušné hory (převzato z ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, 2016).

Porosty v oblasti Krušných hor byly ve druhé polovině 20. století významně poškozeny imisemi, zejména oxidem siřičitým a vysokými koncentracemi fluorovodíku zejména v zimním období. Výraznější škody na lesních porostech byly zaznamenány po zimě roku 1946/1947 (ŠRÁMEK et al., 2015). Oxid siřičitý, díky přímému působení na asimilační aparát dřevin a nepřímým působením na chemismus půd, následně (spolu s další imisní zátěží) způsobil plošné odumření porostů na cca 40 tis. ha (ŠRÁMEK et al., 2014). Přičemž 33 tis. ha bylo zalesněno náhradními dřevinami (POKORNÝ a ŠPLÍCHALOVÁ, 2011). Jednou z náhradních dřevin byl i smrk pichlavý. Rozšíření porostů se zastoupením této dřeviny ukazuje Obr. 9 formou červeně podbarvených ploch. Je patrné, že největšího plošného rozsahu zaujímají tyto porosty na LS Klášterec a LS Litvínov. Dle údajů LHP 1999-2001 byla plošná výměra porostů se SMP 8500 ha, tedy zhruba 13 % rozlohy (POSPÍŠIL a POSPÍŠIL, 2011).

V posledních desetiletích dochází k poklesu znečištění ovzduší. Mezi léty 1990 a 2000 poklesly emise SO_2 v oblasti severních Čech o 87 %. Informace na stránkách ČHMÚ potvrzují klesající trend i po roce 2000, když uvádí, že mezi léty 2000 a 2016 došlo v České republice k dalšímu cca 40-50% poklesu v závislosti na imisní charakteristice (ČHMÚ, 2017). ŠRÁMEK et al. (2015) uvádí, že přímé imisní znečištění prakticky dnes přestalo ovlivňovat zdravotní stav porostů. Trvalým problémem zůstává pH půdního prostředí. Přestože depozice SO_2 významně poklesla, vliv na stanoviště ještě přetrvává. Bohužel trvale zůstává zvýšená depozice NO_x a amonných iontů NH_4^+ (ŠRÁMEK et al., 2014), které dále okyselování přispívají.

Reakcí na nízkou hladinu pH, negativně ovlivňující výživu porostů bylo provedení leteckého vápnění. Tyto zásahy s cílem příznivě ovlivnit chemismus půdy probíhaly v osmdesátých letech v oblasti lesní správy Kraslice a Horní Blatná s použitím dávky cca $2,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Protože na konci 90. let se opakovaně v těchto oblastech vyskytlo žloutnutí

smrkových porostů, bylo vápnění prováděno znova a tak bylo vápnění v roce 1999 obnoveno (ŠRÁMEK et al., 2014). Ve východním Krušnohoří probíhalo vápnění intenzivněji než v západní části. V 70-80. letech bylo provedeno vápnění na některých plochách i dvakrát. Obnoveno bylo vápnění po roce 2000 na LS Červený hrádek, Litvínov, Děčín. Nově probíhalo vápnění především v letech 2000-2002, na LS Litvínov pak ještě v letech 2006-2008. I přes provedená vápnění se medián aktivního pH(H₂O) deset let od vápnění pohyboval v horizontu B (v hloubce cca 30 cm) okolo hodnot 4,3 (ŠRÁMEK et al., 2014).

4 METODIKA A VSTUPNÍ DATA

S ohledem na cíle předložené práce byla použita data a metodiky tří odlišných typů, odpovídajících jednotlivým fázím zpracování. Těmito fázemi byly: příprava, založení zkusných ploch a hodnocení stupně napadení, analýza prostorových vazeb. Základním datovým vstupem druhé a třetí fáze byla data z fáze předcházející. V této kapitole jsou postupně představeny jednotlivé datové zdroje a způsob jejich získání a zpracování.

4.1 Příprava mapových podkladů

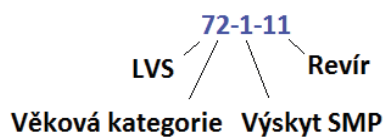
Primárním vstupním datovým souborem byl datový set lesních hospodářských plánů (LHP), který poskytly Lesy České republiky s. p. pro potřeby výzkumného projektu Grantové služby LČR. Soubor obsahoval grafická (mapová) i atributová data LHP lesních správ: Děčín, Františkovy Lázně, Horní Blatná, Klášterec, Kraslice a Litvínov, a to až po úroveň jednotlivých dřevin v etáži, celkem asi pro 48 tis. porostních skupin. Součástí těchto dat byla také porostní a obrysová mapa v rastrové podobě. Cílem této fáze bylo vybrat vhodné porosty pro založení trvalých zkusných ploch a vytvořit mapové podklady pro mapování v terénu.

Před výběrem samotných zkusných ploch byla provedena analýza a rozčlenění porostních ploch do skupin. Pro snadnější analýzu byl u porostů vytvořen významový identifikátor, který zohledňoval zájmové parametry porostních skupin (PSK), tedy takové parametry, u kterých z předchozích zkušeností a rešerše literatury vyplynulo, že by mohly mít vliv na rozsah rozšíření patogenu a závažnost jeho projevů. Těmito parametry byly:

1. Věk – Porostní skupiny byly rozčleněny do tří věkových kategorií 0-30, 30-60, 60 a starší (nebylo to 61 a starší).
2. Ovlivnění stanoviště vodou – Porostní skupiny byly na základě údajů o souborech lesních typů (SLT) rozčleněné na ovlivněné a neovlivněné vodou. Pro odlišení byla využita Typologická tabulka ÚHÚL (ÚHÚL, 2003).
3. Vzdálenost od porostní skupiny se zastoupením *P. pungens* – Klasifikace byla provedena do dvou stupňů, přičemž hranicí byla vzdálenost 200 m.
4. Přírodní podmínky související s nadmořskou výškou – Posledním faktorem bylo rozdělení zkusných ploch podle lesních vegetačních stupňů (LVS).

Výsledná podoba identifikátoru byla následující:

Věková kategorie: 0-30 označení 1,
30-60 označení 2,
60+ označení 3.



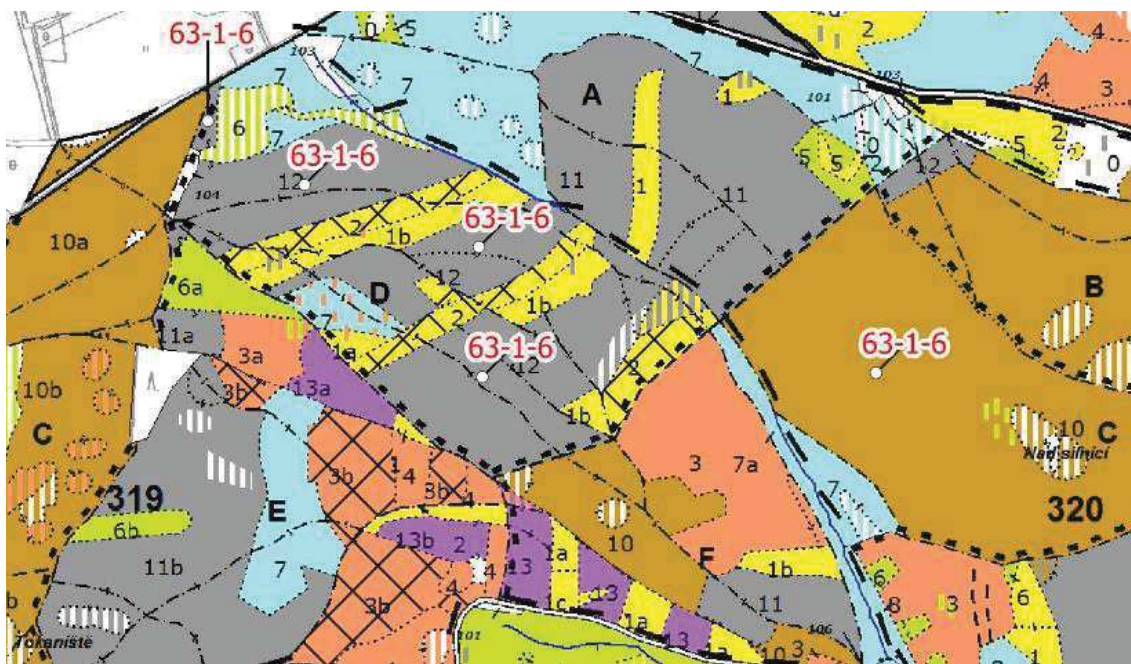
Barva popisu: Modrá barva popisu reprezentuje vodou ovlivněné PSK/etáže (kategorie – V, O, P, Q, G, R);

červená barva popisu reprezentuje vodou neovlivněné PSK/etáže (kategorie S, M, K, Z) (viz Obr. 8).

Výskyt smrku pichlavého: 0 – PSK/etáže se zastoupením SMP se nevyskytují v okolí 200 m od hranice porostní skupiny,

1 – PSK/etáže se zastoupením SMP se vyskytuje v okolí 200 m od hranice porostní skupiny.

Revír: označení revíru v datech Lesů České republiky, s. p.



Obr. 8 Příklad porostní mapy doplněné o identifikátor porostních skupin a zvýraznění porostu se zastoupením smrku pichlavého.

Cílem tohoto rozčlenění bylo vybrat umístění porostních skupin takovým způsobem, aby na každé ze zasažených lesních správ bylo zastoupeno co největší množství kombinací výše zmíněných faktorů. Protože se po prvotním rozčlenění ukázalo, že potenciálních ploch je velmi mnoho, bylo dodatečně stanoveno další výběrové kritérium, kterým byla velikost porostní skupiny. Pro dodatečnou volbu tohoto kritéria byly dva důvody. Prvním bylo zmenšení počtu porostních skupin, ze kterých bylo nutné vybírat vhodné porosty na monitoring. Druhým důvodem bylo umístování zkusných ploch uvnitř porostů. Uvnitř větších porostů bylo pravděpodobnější, že budou nalezeny vhodné podmínky pro založení trvalé zkusné plochy (viz dále). Finální výběr byl tedy proveden s využitím porostních skupin větších než 10 ha. Pro terénní šetření byly vytvořeny sady porostních

map s doplněným identifikátorem u porostních skupin potenciálně vhodných pro založení trvalé zkusné plochy (Obr. 8). Celkem rozsah mapového díla přesáhl 400 mapových listů.

4.2 Založení zkusných ploch a hodnocení stupně napadení

Po přípravě dat byla zahájena druhá fáze analýzy. Jak již bylo uvedeno výše, vstupními daty pro tuto fázi byly připravené mapové soubory. Na základě těchto dat byl proveden expertní výběr umístění trvalé zkusné plochy. Tento proces nebyl automatizován ze dvou důvodů:

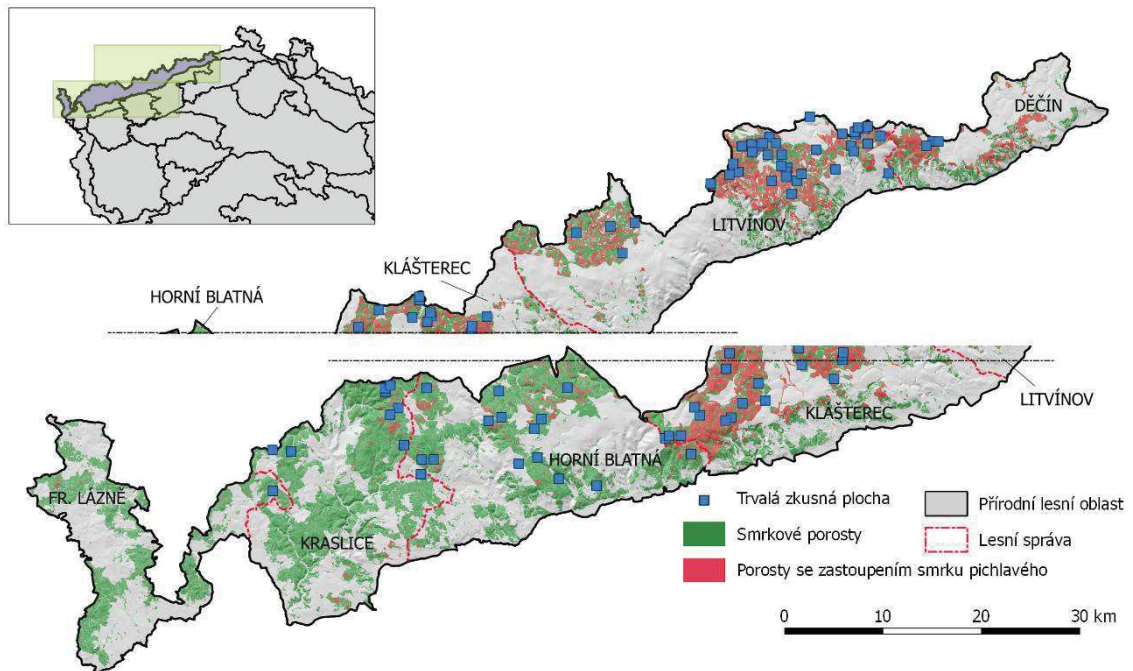
1. způsob vymezení porostní skupiny v LHP – v datech lesních hospodářských plánů jsou data PSK, která má více částí vztažena k jednomu datovému záznamu. Vzniká tedy datový objekt typu multipolygon. V případě takovéto porostní skupiny tak mohla nastat situace, kdy jedna část multipolygonu představujícího PSK zdědila informace o vzdálenosti od porostu SMP z jiné části PSK. Tuto situaci nebylo možné vyřešit jednoduchým rozdělením členitých skupin na jednotlivé polygony, protože atributová data jsou průměrována pro PSK jako celek a po rozdělení by nemusela odpovídat vzniklým samostatným polygonům.
2. při tvorbě každého mapového díla dochází ke generalizaci, proto atributy PSK vždy vyjadřují nějaký průměrný, nebo převažující stav. Je proto vždy nutné posoudit, jakou dané atributy mohou mít proměnlivost v rámci dané PSK.
3. Nakonec, v případě automatizovaného výběru by mohlo dojít k situaci, kdy vhodná část PSK z hlediska atributů nebude vhodná z hlediska tvaru nebo polohy (např. bude příliš úzká, členitá, nebo nedostupná).

Finální rozložení zkusných ploch bylo tedy provedeno expertním odborným vyhodnocením situace nad mapou a se znalostí místních podmínek.

Na základě výše popsanych parametrů (podkapitola 4.1) byly v období léta a podzimu 2017 založeny trvalé zkusné plochy. Pro zkusnou plochu byly vybírány skupiny stromů tvořené 50 jedinci, které vykazovaly co nejhomogennější přírodní podmínky. V terénu byl při hodnocení brán zřetel na to, jak daná plocha reprezentuje přírodní podmínky vyjádřené v identifikátoru porostní skupiny. S ohledem na další měření (např. stanovení velikosti ploch), která budou na trvalých zkusných plochách v následujících letech probíhat, byl volen čtvercový nebo obdélníkový tvar.

Následně byly ve starších porostech sprejem označeny jednotlivé stromy zahrnuté do trvalé zkusné plochy. U mladších porostů bylo provedeno označení sprejem a jedinec byl označen kovovým štítkem s číslem. U každé zkusné plochy bylo provedeno GPS zaměření.

V letech 2016-2017 bylo založeno celkem 90 trvalých zkusných ploch. Jejich rozložení na jednotlivých lesních správách zobrazuje mapa na Obr. 9.



Obr. 9 Rozložení trvalých zkusných ploch v přírodní lesní oblasti Krušné hory založených v roce 2016-2017.

4.3 Vstupní analýza výsledků hodnocení intenzity napadení v roce 2017

Hodnocení intenzity napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou probíhalo v průběhu července – října, na založených trvalých zkusných plochách. Pro hodnocení byla využita stupnice shodná s PEŠKOVÁ et al. (2016). Posuzován byl tedy zdravotní stav jednotlivců a následně byl stanoven podíl napadených stromů na dané trvalé zkusné ploše. Pro správnou aplikaci analytických metod a zhodnocení jejich výsledků (viz kapitola 5), bylo nutné provést vstupní analýzu získaného datového souboru z hlediska rozsahu hodnot, jejich variability a charakteru vazeb mezi výsledky hodnocení a jednotlivými atributy přírodního prostředí.

Tab. 2 Klasifikační stupnice pro hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou využitá při hodnocení porostů v roce 2017.

Kategorie	Popis poškození
0	Bez napadených pupenů
1	Napadeny jednotlivé pupeny nebo max. jednotlivé větve
2	Napadení více větví, max. do 1/3 koruny
3	Napadení více jak 1/3 koruny do max. 2/3 koruny.
4	Strom napaden z více než 2/3. Počínající defoliace (proředění korun vlivem opakovaného víceletého napadení pupenů kloubnatkou smrkovou)

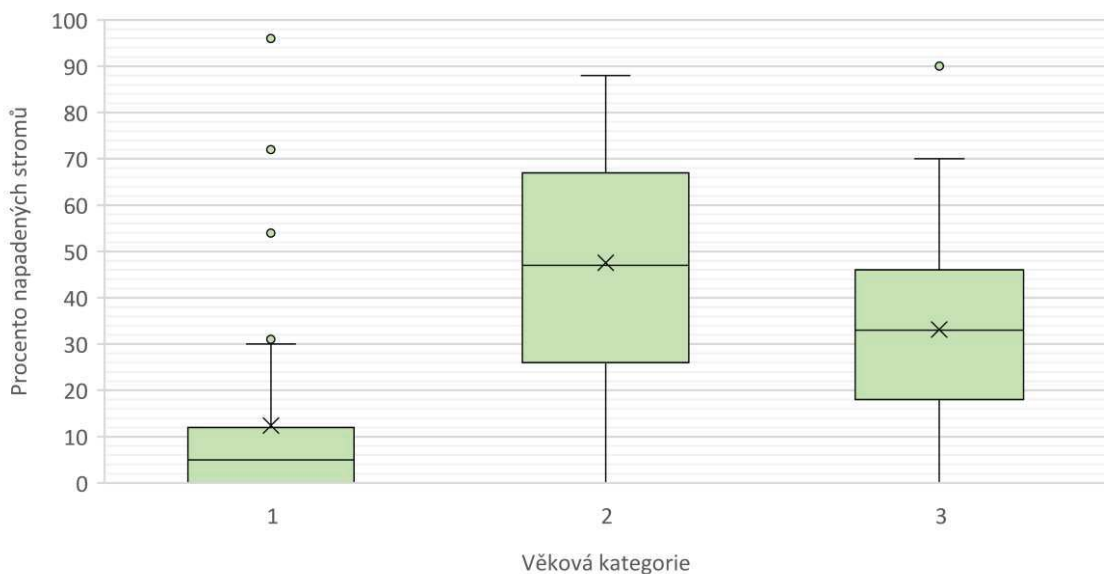
Celkem byl v roce 2017 na zkusných plochách zhodnocen zdravotní stav 4587 stromů, výsledky hodnocení shrnuje tabulka Tab. 3. Nejvíce stromů bylo hodnoceno na LS Litvínov, která se v současné době jeví jako ohnisko šíření nákazy. Podíl napadených stromů kategorie 2, 3 a 4 je zde nejvyšší ze všech lesních správ. Výsledky dále ukazují, že kloubnatka smrková je v současné době rozšířená v celé PLO 1. Napadení kategorie 1 v rozmezí 8-19 % bylo detekováno na všech lesních správách. Z dostupných údajů o počtu napadených stromů v jednotlivých kategoriích byl vypočten vážený průměr pro danou zkusnou plochu, který může v budoucnu sloužit i pro hodnocení vývoje napadení na dané zkusné ploše. Pro srovnání jednotlivých lesních správ byly tyto hodnoty průměrovány i pro celou lesní správu. Výsledky potvrdily, že nejhůře postiženou oblastí je LS Litvínov.

Tab. 3 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou v PLO 1 v roce 2017 (PEŠKOVÁ et al., 2018).

Kat.	Lesní správa [% / počet stromů]						
	Děčín	Fr. Lázně	Horní Blatná	Kláštevec	Kraslice	Litvínov	Celkem
0	84 / 123	78 / 39	76 / 550	80 / 993	69 / 318	61 / 1195	70 / 3218
1	8 / 11	14 / 7	15 / 104	10 / 127	19 / 86	15 / 286	14 / 621
2	5 / 7	8 / 4	7 / 48	6 / 77	9 / 43	15 / 300	10 / 479
3	3 / 4	0 / 0	3 / 19	2 / 29	2 / 11	7 / 133	4 / 196
4	0 / 0	0 / 0	0 / 2	1 / 13	1 / 4	3 / 54	2 / 73
Celkem	3 / 145	1 / 50	16 / 723	27 / 1239	10 / 462	43 / 1968	100/4587
Vážený průměr	0,27	0,30	0,36	0,30	0,44	0,65	0,47

4.3.1 Výsledky hodnocení ve vztahu k atributům použitým pro výběr porostních skupin

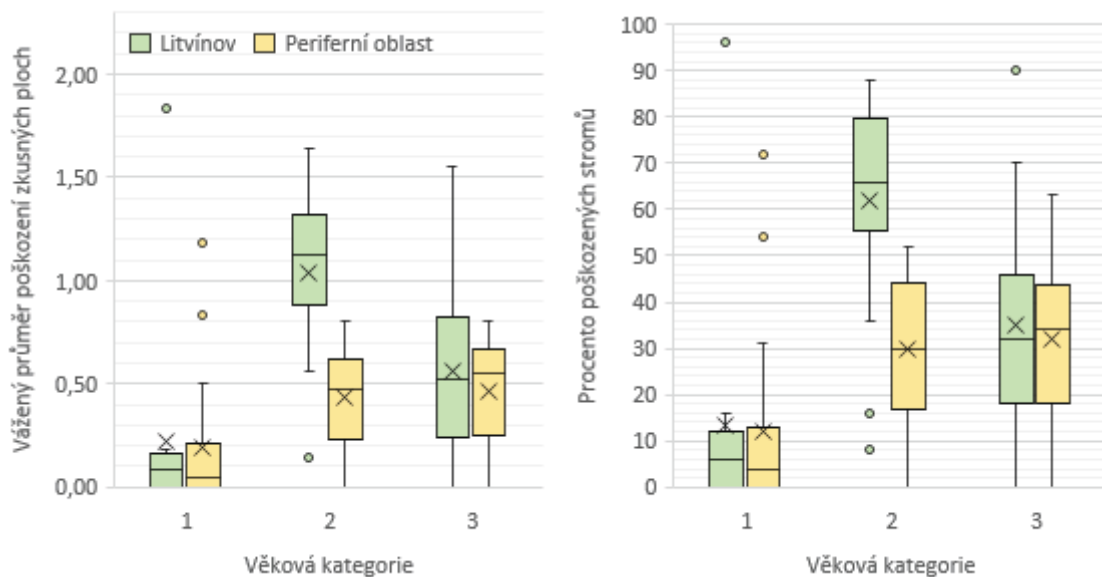
V následujícím textu je proveden rozbor výsledků hodnocení za rok 2017 pro vybrané charakteristiky. Těmito charakteristikami jsou zejména atributy použité pro výběr porostních skupin pro umístění trvalých zkusných ploch, a dále dvě charakteristiky dostupné v datech LHP, které by rovněž mohly vysvětlovat část variability v datech (pásmo imisního ohrožení, zakmenění). U každé charakteristiky je uvedena hodnota za celý soubor dat a dále hodnoty bez věkové kategorie 1. Vyčlenění této věkové skupiny bylo provedeno s ohledem na možné ovlivnění výsledků mladými porosty, které ještě nebyly vystaveny infekčnímu tlaku, a nedošlo u nich k napadení. Posledním typem srovnání bylo srovnání ohniska napadení a periferní oblasti. Za ohnisko napadení kloubnatkou smrkovou je možné označit lesní správu Litvínov, a to jednak s odkazem na nejstarší nálezy kloubnatky smrkové na smrku ztepilém, a jednak s ohledem na prostorovou variabilitu napadení pozorovanou v mapě. Toto rozlišení bylo provedeno s cílem prověřit, zda vyčlenění ohniska, kde patogen působí delší dobu, může přinést vyšší vypovídací schopnosti modelů závislostí mezi napadením a přírodními podmínkami.



Obr. 10 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v oblasti PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle věkových kategorií (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky představují odlehle hodnoty).

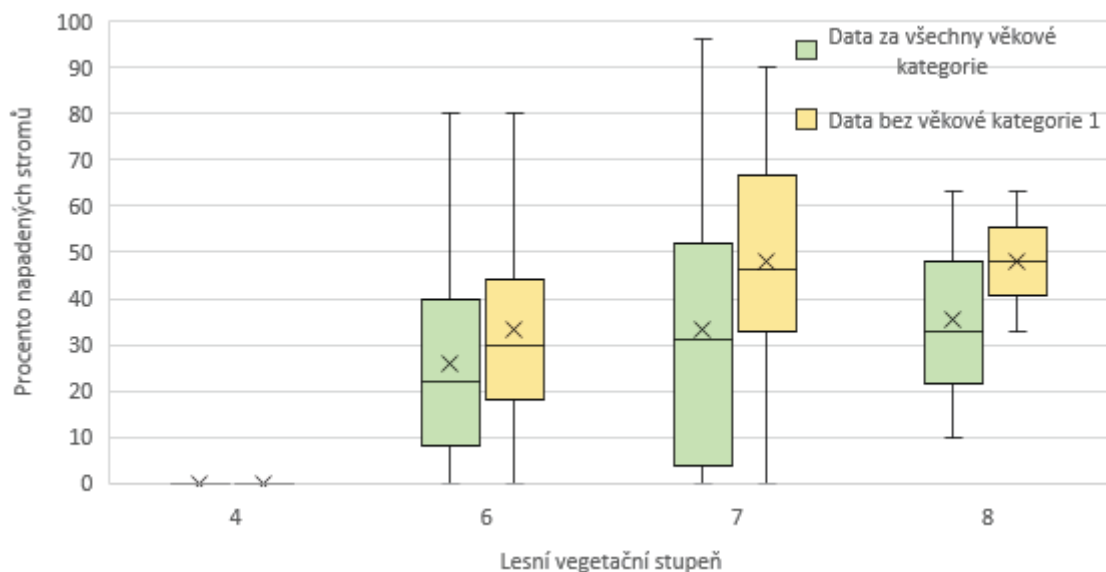
Výsledky napadení dle věkových kategorií ukazují, že nejvíce napadených stromů vykazuje druhá věková kategorie (obr. 10). Naopak nejméně je napadena první věková kategorie. Při samostatném vylišení LS Litvínov se ukazuje, že napadení druhé věkové

třídy je mnohem větší než napadení třetí věkové třídy (Obr. 101). Pokud bychom akceptovali hypotézu, že LS Litvínov je jádrovou oblastí napadení, kde k rozvoji napadení došlo nejdříve, pak výsledky mohou naznačovat, že věková třída 2 je náchylnější k progresi patogenu. Tento předpoklad by byl v souladu s tím, co uvádí ČERNÝ et al. (2016) ze zkušeností z napadení smrku pichlavého, kde houba rychleji postupuje u smrku s hustší a níže nasazenou korunou. Při analýze odchýlených hodnot zejména ve věkové kategorii 1 nebyla nalezena jednotící charakteristika – ovlivnění vodou, vzdálenost od porostů/etází se SMP, pásmo imisního ohrožení, zakmenění, jsou u těchto trvalých zkusných ploch proměnlivé.



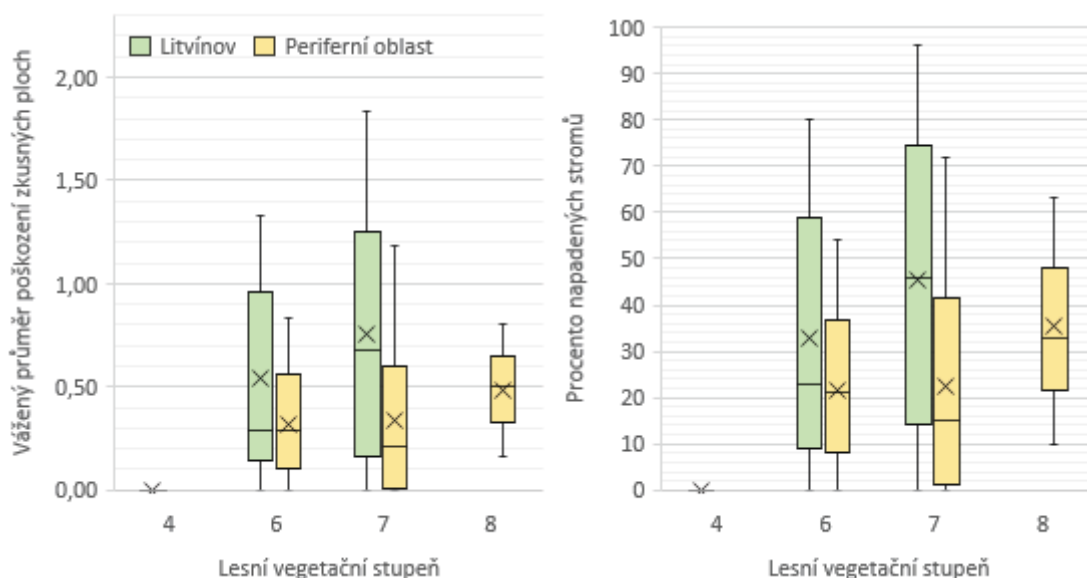
Obr. 11 Srovnání výsledků hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách na LS Litvínov a okolních lesních správách v roce 2017 rozdělené dle věkových kategorií (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky představují odlehlé hodnoty).

Při analýze míry napadení z hlediska LVS se ukázalo, že jeden porost, který byl zařazen do hodnocení ve 4. LVS (LS Litvínov) nebyl napaden. U ostatních LVS byl pozorován mírný nárůst napadení mezi 6. LVS a 7. LVS, rozdíl mezi 7. LVS a 8. LVS byl minimální (viz Obr. 12). S ohledem na výsledky porovnání napadení ve věkových skupinách bylo provedeno srovnání procenta napadených stromů v jednotlivých LVS bez zahrnutí věkové kategorie 1. Po odstranění těchto porostů se ukázalo, že došlo k nárůstu napadení ve všech LVS. Tento nárůst nebyl rovnoměrný. Mezi 6. a 7. LVS došlo k nárůstu napadení, naopak mezi 7. a 8. LVS došlo k vyrovnání výsledků. Tyto výsledky by mohly ukazovat na silnější působení některého klíčového atributu se vzrůstající nadmořskou výškou, například výskyt pozdních nebo časných mrazů.



Obr. 12 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkušných plochách v oblasti PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle lesních vegetačních stupňů (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí).

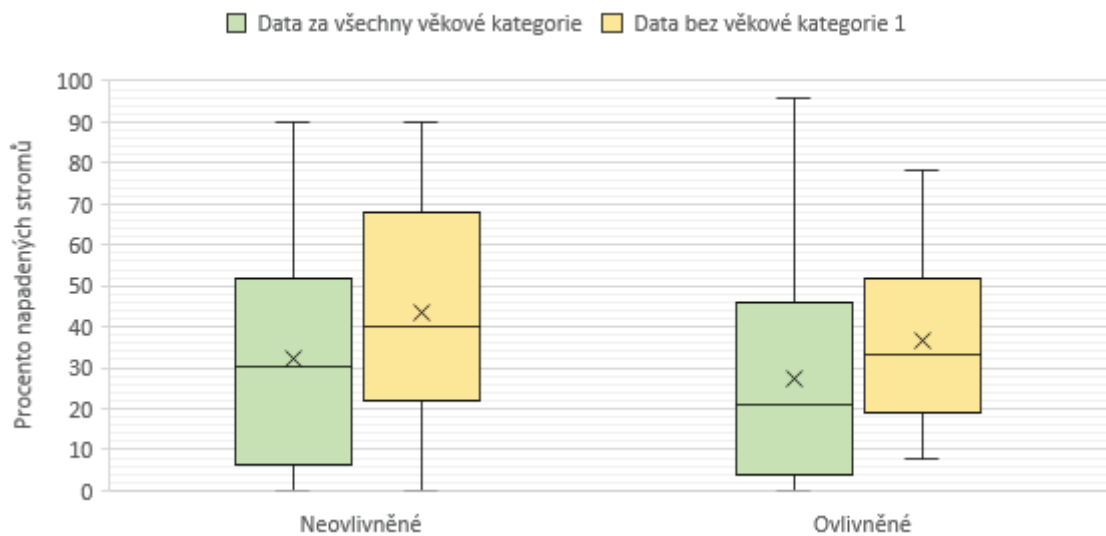
Srovnání proměnlivosti napadení na LS Litvínov a v okolních lesních správách ukázalo (obr. 13), že v těchto oblastech nedochází ke stejnému vývoji průměrného napadení s měnící se lesní vegetační stupňovitostí. Zatímco v celém souboru dat byl pozorován nárůst poškození mezi 6. a 7. LVS, u dat v periferní oblasti není tento trend tak výrazný a projevil se až v 8. LVS. Podobně jako v případě věkových kategorií lze předpokládat, že napadení u porostů 6. a 7. LVS na LS Litvínov má rychlejší progresi.



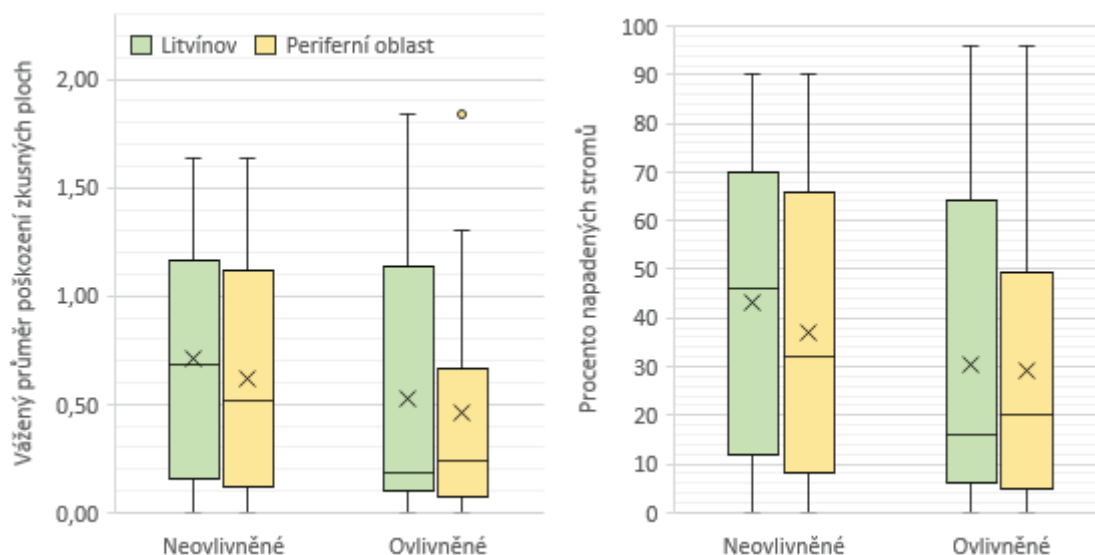
Obr. 13 Srovnání výsledků hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkušných plochách na LS Litvínov a okolních lesních správách v roce 2017 rozdělené dle lesních vegetačních stupňů (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí).

Dalším posuzovaným atributem byla vlhkost stanoviště. Na základě dostupných dat lesních hospodářských plánů byly porosty rozděleny na ovlivněné a neovlivněné vodou, podle jejich zařazení do souboru lesních typů. Ukázalo se, že medián procenta napadených stromů je vyšší u vodou neovlivněných stanovišť (obr. 14). Na jedné straně mohla vyšší vlhkost na těchto stanovištích přispívat k šíření patogenu, na druhou stranu dostupnost vody v určité míře napomáhá stromům lépe zvládat stres [abiotický – vlny veder a období s nedostatkem srážek, biotický – produkce metabolitů pro boj s patogenem (TOMÁŠKOVÁ a KUBÁSEK, 2016)].

Při srovnání rozdílu v datech mezi trvalou zkusnou plochou (TZP) na vodou neovlivněných stanovištích a vodou ovlivněných stanovištích s ohledem na ohniska napadení kloubnatkou smrkovou a její periferie se ukazuje, že je zachován podobný poměr poškození (obr. 15). Z tohoto chování lze usuzovat, že ovlivnění stanoviště vodou může hrát pozitivní roli při napadení porostů a tento potenciál se nemění s ohledem na věk nebo dobu napadení. Je nutné zmínit, že obě kategorie vykazují výskyt odlehlých hodnot, což ukazuje na vliv nějakého silnějšího faktoru. Například na zamokřených biotopech s mělkým půdním profilem, může v suchých letech dojít k vyschnutí a tím pádem k utlumení pozitivního působení vlhčího stanoviště. V některých případech může naopak dojít ke zvýšení celkového stresu v případě, kdy stromy nejsou na pokles hladiny spodní vody připraveny (mělký kořenový systém).

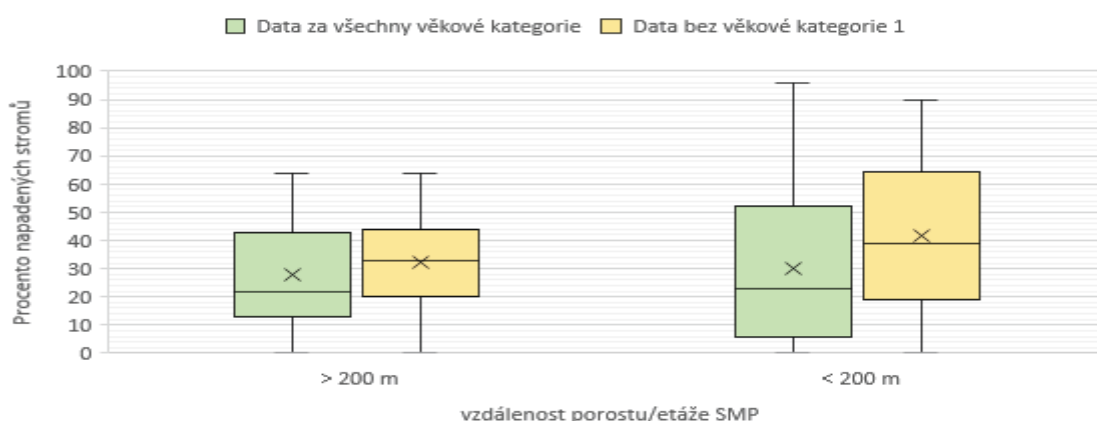


Obr. 14 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v oblasti PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené na stanoviště ovlivněná a neovlivněná vodou (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí).

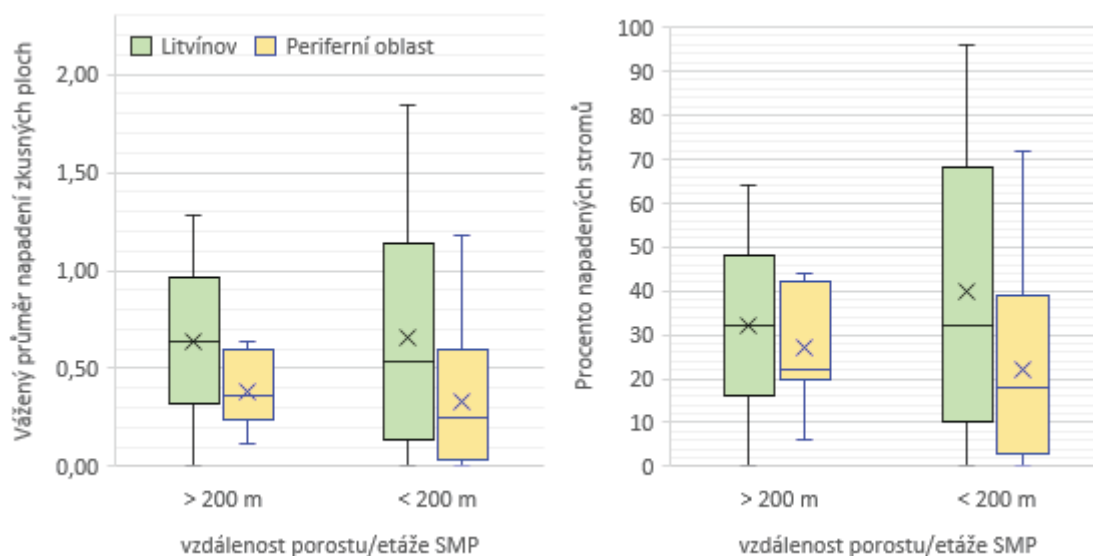


Obr. 15 Srovnání výsledků hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách na LS Litvínov a okolních lesních správách v roce 2017 rozdělené dle stanoviště na ovlivněná a neovlivněná vodou (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky představují odlehle hodnoty).

Posledním atributem využívaným pro výběr porostů pro založení trvalých zkusných ploch byl výskyt porostů nebo etází SMP ve vzdálenosti 200 m kolem dané porostní skupiny. Obr. 16 a Obr. 17 ukazují, že při zahrnutí všech porostů má medián i průměr srovnatelnou hodnotu. Při vyloučení věkové kategorie 1 hodnota poškození stoupne, avšak míra napadení zůstává pro obě skupiny rozdělené podle vzdálenosti shodná. Konečně, při srovnání dat z ohniska a periferní oblasti, je patrné, že ani v tomto případě není v datech významnější rozdíl. Z těchto zjištění lze usuzovat, že parametr vzdálenost od porostu nebo etáže se zastoupením SMP na hranici 200 m, není významným atributem determinujícím náchylnost k napadení.



Obr. 16 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v oblasti PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle vzdálenosti porostů/etází se zastoupením SMP od porostu, kde probíhalo hodnocení (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí).

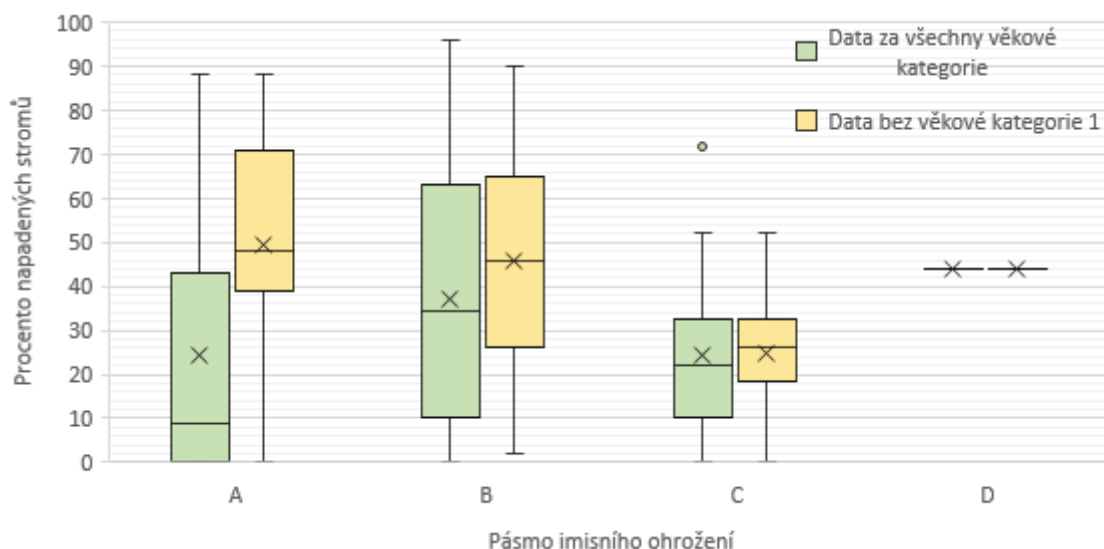


Obr. 17 Srovnání výsledků hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách na LS Litvínov a okolních lesních správách v roce 2017 rozdělené dle vzdálenosti porostů/etáží se zastoupením SMP od porostu, kde probíhalo hodnocení (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí).

4.3.2 Výsledky hodnocení ve vztahu k dalším atributům

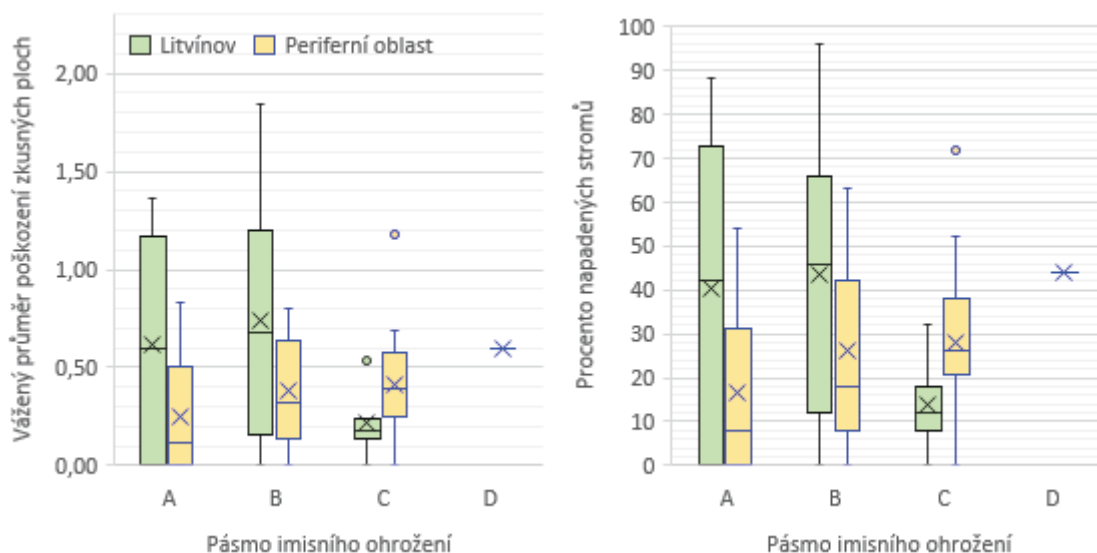
Nad rámec atributů uvedených v podkapitole 4.3.1, které sloužily pro výběr vhodných porostních skupin pro založení trvalých zkusných ploch, byly v rámci studia literatury nalezeny další atributy, které byly autory dávány do vztahu s napadením kloubnatkou smrkovou v Krušných horách (např. POSPÍŠIL a POSPÍŠIL, 2011; SOUKUP a PEŠKOVÁ, 2009). Protože tyto atributy byly ve většině případů uvedeny ve vztahu k napadení smrku pichlavého, bylo provedeno ověření jejich vlivu na napadení smrku ztepilého. Pro získání všech atributů odvozených od digitálního modelu terénu byla využita datová sada SRTM DEM s rozlišením 100 m (GISAT, s.r.o., 2007).

Jedním z doplňkových atributů bylo zařazení plochy do pásma imisního ohrožení. Z literatury zabývající se obecně fytopatologií a fyziologií lesních dřevin (např. TOMÁŠKOVÁ a KUBÁSEK, 2016) vyplývá, že dlouhodobě stresovaný a strádající jedinec by měl být náchylnější k napadení patogeny vzhledem k předpokládané snížené schopnosti produkovat obranné látky, případně vytvářet obranná pletiva. Charakteristika pásma imisního ohrožení je jedním z parametrů, který jeden z typů stresu představuje.



Obr. 18 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v oblasti PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle pásma ohrožení lesů imisemi (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky představují odlehlé hodnoty).

Z grafu vyplývá (Obr. 18), že pásmo ohrožení lesů imisemi nedává pro kompletní soubor dat jednoznačné výsledky. Očekávaným trendem by měl být postupný pokles napadení směrem k nižším stupňům imisního zatížení. Tento trend se však projevuje jen u porostů věkové kategorie 2 a 3. Z takového porovnání je patrné, že pro mladší porosty nehraje pásmo ohrožení významnou roli. Tento fakt lze vysvětlit poklesem imisního zatížení po roce 1990 (viz kapitola 3), vlivem kterého současné porosty věkové kategorie 1 prakticky nebyly imisní kalamitou zasaženy. Je nutné uvést, že rozptyl hodnot v každé kategorii je velký. Vliv pásma imisního ohrožení na celkovou variabilitu tak lze hodnotit pouze jako částečný. Srovnání periferní oblasti s LS Litvínov ukazuje (obr. 19), že napadení na lesní správě Litvínov je výrazně větší v pásmu imisního ohrožení A a B. U pásma imisního ohrožení C je hodnota v jádrové oblasti nižší, což může ukazovat na klesající vliv faktoru imisního zatížení v oblastech pásma C.



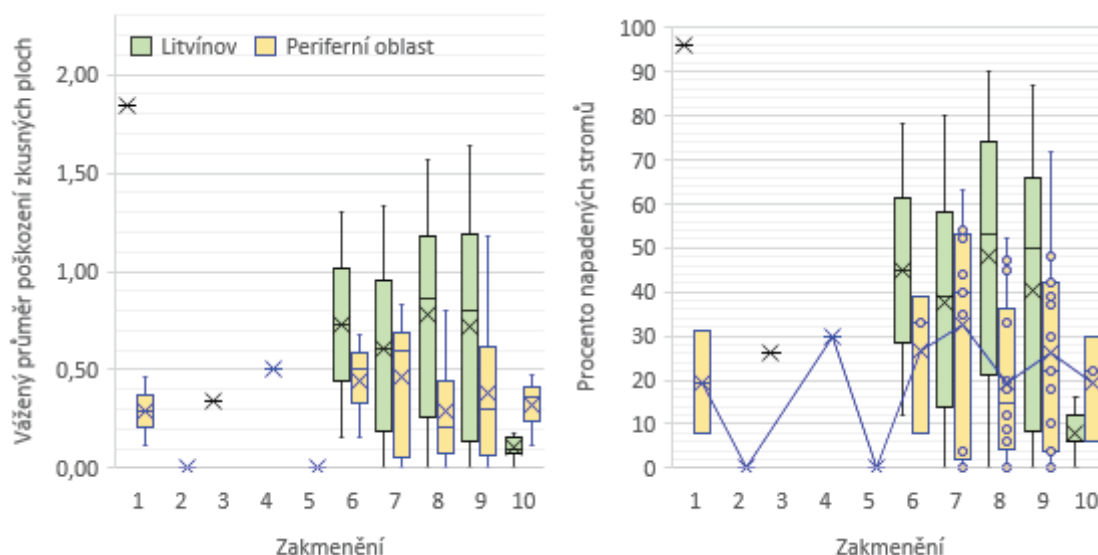
Obr. 19 Srovnání výsledků hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách na LS Litvínov a okolních lesních správách v roce 2017 rozdělené dle pásem imisního ohrožení lesů (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky představují odlehlé hodnoty).

Druhým atributem doplněným z LHP, jehož bylo využito pro hodnocení míry napadení stromů, bylo zakmenění. Vzhledem k množství kategorií (1-10) se v některých kategoriích vyskytoval jen jeden nebo žádný záznam. V případě využití kompletního datového souboru se u stupně zakmenění 6-9 pohybuje napadení okolo hodnoty 26-36 % (obr. 20). Hodnota napadení v případě zakmenění 2 a 5 náleží mladým porostům věkové kategorie 1. Pokles hodnoty v případě plného zakmenění je rovněž způsoben mladými porosty. Při srovnání s datovým souborem, kde byla data mladých porostů odstraněna, je patrné, že průměr poškození má klesající trend od zakmenění šest. Medián ovšem tento trend nerespektuje a spíše osciluje.

Na následujícím grafu (obr. 21) je patrné, že v ohnisku napadení bylo zjištěno vyšší poškození porostů ve všech stupních zakmenění s výjimkou stupně 10. Pokles hodnoty napadení v případě plného zakmenění na LS Litvínov je způsoben tím, že plné zakmenění dosahují jen porosty věkové kategorie 1, které mají obecně nízké hodnoty napadení. Při srovnání stupňů zakmenění s více záznamy je zřejmé, že míra napadení u stupňů zakmenění 6-9 nevykazuje jednoznačný trend ani v ohnisku napadení ani v okolí. Při zhodnocení rozsahu rozdílu horních a dolních kvartilů je rovněž patrné, že u zakmenění stupně 6-9 se z velké části překrývají. V rámci analýzy byl sestaven graf seskupující některé stupně dohromady (viz Obr. 29 příloha č. 1). Tento graf dobře ukazuje překrývající se oblasti interkvartilových rozpětí a pouze mírný pokles průměrných hodnot napadení u PSK s vyšším zakmeněním.



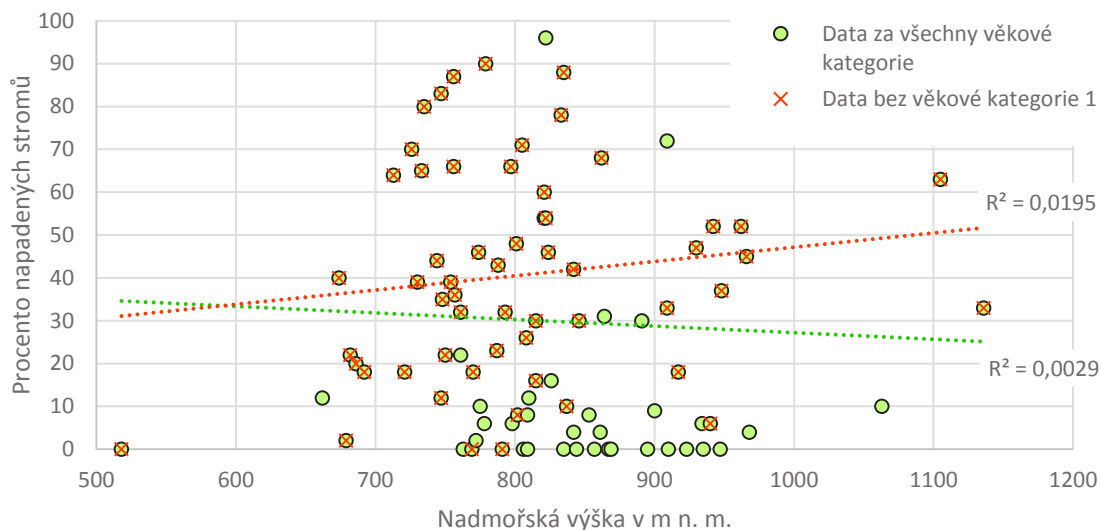
Obr. 20 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v oblasti PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle zakmenění hodnocených porostů (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí).



Obr. 21 Srovnání výsledků hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách na LS Litvínov a okolních lesních správách v roce 2017 rozdělené dle zakmenění (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí).

Prvním atributem odvozeným z datové sady SRTM DEM byla nadmořská výška. Tento atribut ve vztahu k poškození smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou uvádí např. POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011). Z grafu vyjadřujícího závislost hodnoty napadení na nadmořské výšce (Obr. 22) je patrné, že nadmořská výška má pouze slabý vliv na porosty věkové kategorie 1, které se v grafu z větší části nachází v blízkosti osy x . Variabilita datového souboru je vysoká a proložení grafu lineárním trendem ukazuje, že takový trend vysvětluje pouze 0,29 % variability v datech a celková závislost je klesající. Po odstranění věkové kategorie 1 se predikce zlepšila ($R^2=0,0195$) a vykazovaná závislost

změní trend. POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011) ve své práci zmiňují výškovou hranici okolo 700 m n. m. U vyšších nadmořských výšek by podle autorů mohlo docházet ke zvyšování úrovně napadení z důvodu vyššího výskytu přízemních mlh. V grafu (obr. 22) je vidět, že pod hranicí 700 m n. m. se vyskytují hodnoty nižší, než nad hranicí 700 m n. m. Podobnou hranici je možné pozorovat u nadmořské výšky 900 m n. m., od které se již všechny hodnoty kromě jedné udržují pod hranicí 55 %.



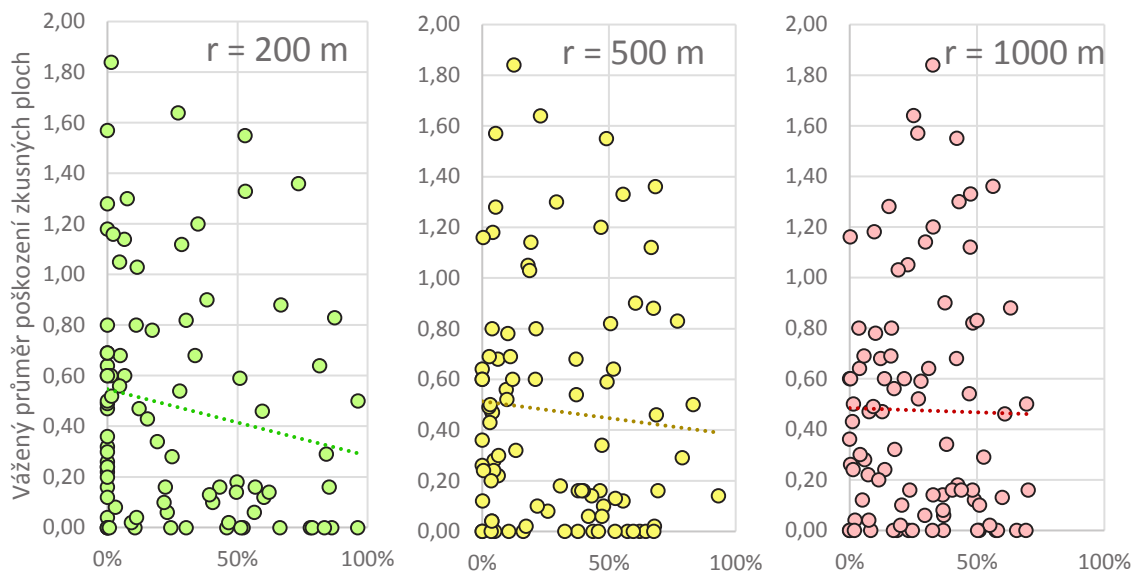
Obr. 22 Srovnání hodnocení poškození smrku ztepilého s nadmořskou výškou trvalé zkusné plochy v Krušných horách v roce 2017.

V rámci výběru porostních skupin pro založení zkusných ploch byl využit atribut vzdálenost od porostu nebo etáže se zastoupením SMP s hranicí 200 m, neboť existoval předpoklad, že tyto porosty budou hrát roli v míře infekčního tlaku houby na smrk ztepilý. Tento atribut, jak se ukázalo, nepodává jednoznačnou informaci vysvětlující variabilitu v napadení nebo míře napadení (viz podkapitola 4.3.1). Z důvodu přesnějšího ověření, této skutečnosti byly pro vyjádření vztahu mezi výskytem porostů SMP v okolí hodnocených ploch vypočteny další dva atributy, u kterých byla rovněž posouzena závislost – vzdálenost TZP od porostů SMP a procento plochy se zastoupením SMP v definovaném okolí.

Výše popisovaný atribut, použitý pro výběr porostních skupin k umístění zkusných ploch, má jednu nevýhodu pro následné hodnocení zkusných ploch. U velkých porostních skupin mohlo dojít k situaci, že jeden okraj porostní skupiny již byl blíže než 200 m (a porostní skupina byla tedy příslušně označena), ale umístění samotné zkusné plochy bylo ve vzdálenosti větší. Z tohoto důvodu byl datový set doplněn o nový atribut, kterým byla skutečná vzdálenost zkusné plochy od okraje porostní skupiny se zastoupením SMP. Z analýzy grafů vzdálenosti jednotlivých zkusných ploch od porostů se zastoupením SMP vyplývá, že silnější vztah je u starých porostů (věková kategorie 2 a 3) a na LS Litvínov.

V periferní oblasti dochází ke změně trendu, což vzhledem k podstatě tohoto parametru ukazuje na vliv jiných proměnných, které ovlivňují výslednou závislost natolik, že jde proti očekávanému chování (pokles se vzrůstající vzdáleností) (obr. 30 a 31 příloha č. 1) Druhým typem atributu, který byl vypočten ve třech variantách vzdálenosti, bylo procento plochy, kterou zabíraly porosty se zastoupením SMP v kruhové oblasti o definovaném poloměru (200 m, 500 m a 1000 m). Důvodem pro výpočet tohoto parametru byla hypotéza, že výskyt jedné malé porostní skupiny se zastoupením SMP nebude způsobovat tak velký infekční tlak, jako když bude zkusná plocha kompletně obklopena porostními skupinami SMP.

Výsledky porovnání těchto atributů jsou zobrazeny na Obr. 23. Z výsledků vyplývá, že existuje slabá nepřímá závislost mezi procentem zastoupení porostních skupin se zastoupením SMP a mírou napadení. Tato závislost je rovněž opačné orientace, než odpovídalo hypotéze.



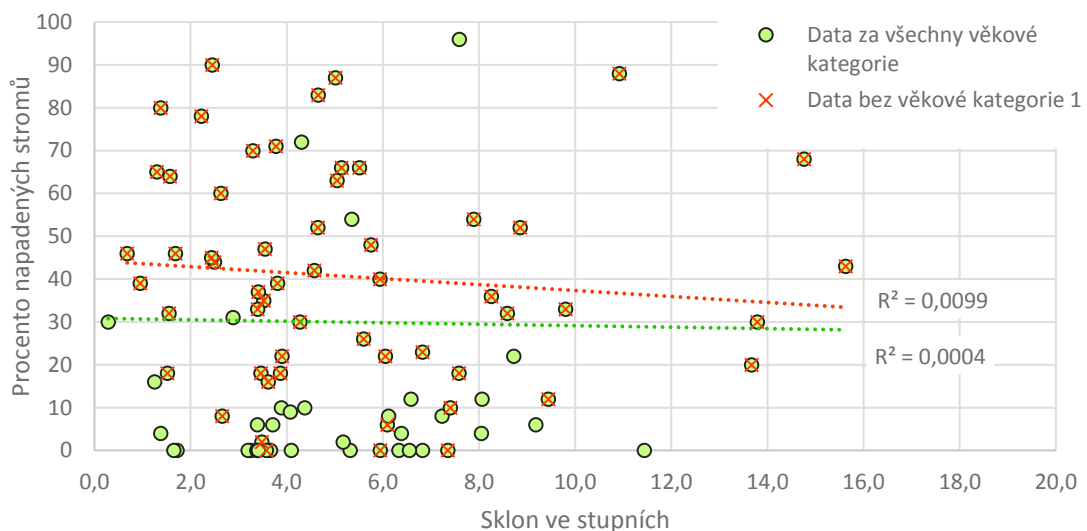
Obr. 23 Srovnání výsledků hodnocení poškození smrku ztepilého provedeného v Krušných horách v roce 2017 a procentuální zastoupení porostů se zastoupením smrku pichlavého v kruhové oblasti okolo zkusné plochy o poloměru 200, 500 a 1000 m.

Jak uvádí literatura (např. TOMÁŠKOVÁ a KUBÁSEK, 2016), tak dostupnost živin může být podstatným faktorem pro schopnost jedince zvládat stres. Pro posouzení závislosti mezi dostupností živin a mírou napadení, byla využita mapa půdních typů v měřítku 1:50 000 (ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, 2012). Provedené srovnání ukázalo (viz Obr. 32 a Obr. 33 příloha č. 1), že půdní typy nejsou jednoznačným determinantem míry napadení porostů. Mapa využitá pro toto hodnocení obsahuje kromě půdních typů také jejich variety a subvariety. Z těch vyplývalo, že i potenciálně bohatší půdy (v tomto případě kambizem) se na trvalých zkusných plochách vyskytují ve své nenasyčené variantě. Tato skutečnost,

tj. nenasyčenost a kyselost celkového půdního prostředí, mohla zapříčinit celkové shlazení případného vlivu typu půdy na napadení.

Dalšími doplňujícími atributy odvozenými z datového souboru SRTM DEM byly atributy související s geomorfologickou členitostí terénu v okolí trvalých zkušných ploch. Hypotézou bylo, že vlivem rozdílného osvětlení nebo vlivem stékání studeného vzduchu mohou vzniknout specifické podmínky, které mohou podpořit nebo naopak potlačit rozvoj patogenu. Z tohoto důvodu byly z datové sady SRTM DEM vypočteny informace o sklonu, expozici (rozdělení na 4 a 8 směrů) a Topografic Position Index (TPI) (GUISAN et al., 1999). Na základě kombinace hodnot sklonu a TPI byla ještě provedena klasifikace dle tvaru terénu (rovina, údolí, svah, hřbet).

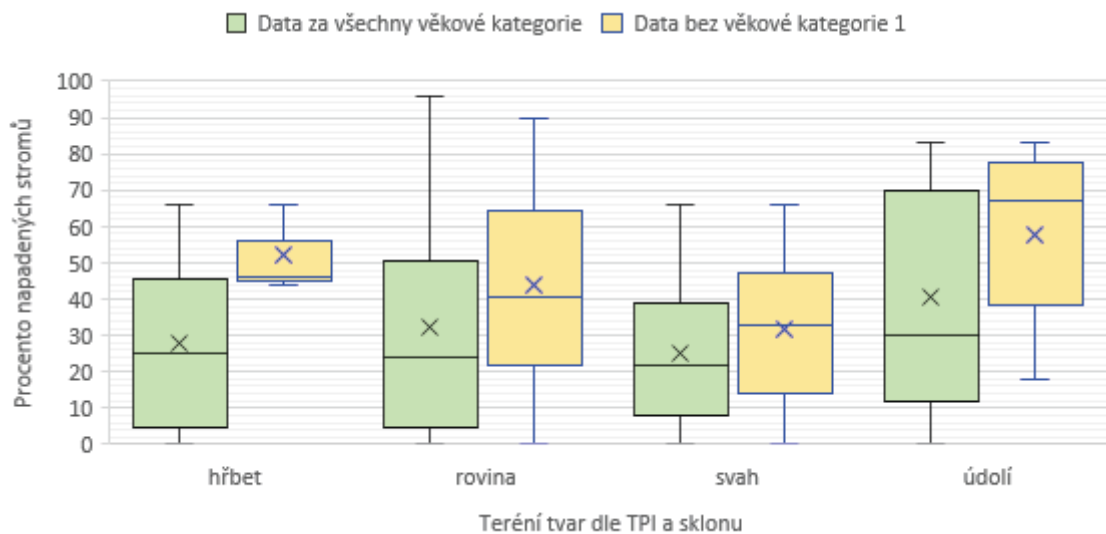
Z analýzy vyplynulo, že téměř polovina zkušných ploch (42/90) je na plochách se svažností do 4°. Graf závislosti napadení na sklonu je uveden na Obr. 24. Tento graf ukazuje, že v případě využití sklonu jako samostatného parametru je koeficient determinace nižší než 1 %.



Obr. 24 Srovnání hodnocení poškození smrku ztepilého v Krušných horách v roce 2017 se sklonem stanoviště odvozeného ze SRTM DEM 100 (GISAT, S. R. O., 2007).

Posouzení vlivu expozice bylo provedeno ve dvou variantách – pro osm směrů dělených po 45° a pro čtyři směry po 90°. Výsledky tohoto srovnání ukazují Obr. 34-Obr. 37 v příloze č. 1. U obou typů dělení je patrný mírný pokles hodnoty mediánu napadení od východu na jih a od severu na západ. Jižní a západní orientace tak vykazují v obou grafech nižší úroveň střední hodnoty než severní a východní orientace. Odchylnou je hodnota směru jihozápad, kde střední hodnota napadení výrazně převyšuje sousední směry po obou stranách.

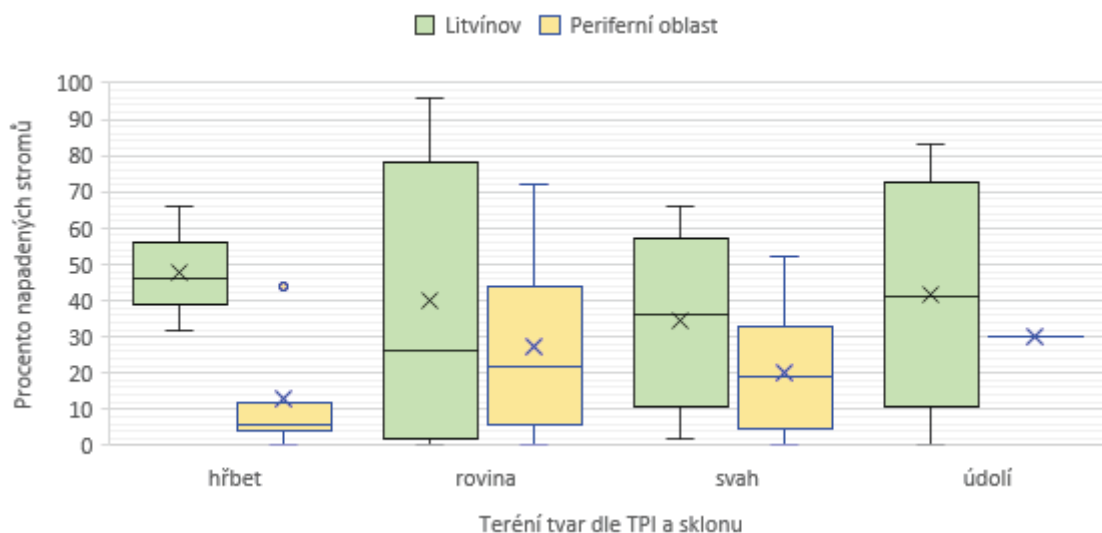
Pro klasifikaci terénních tvarů bylo využito indexu TPI a sklonu vypočteného z dat SRTM DEM 100. Index TPI je vypočítán jako rozdíl mezi výškou středu filtrovacího okna a průměrem výšky v daném okně. V případě této práce se tedy jedná o okolí 300x300 m. Pozitivní hodnoty TPI tak představují místa, která jsou vyšší (vrcholy, hřebeny, hřbety), hodnoty blízké nuly jsou oblasti rovinaté nebo s konstantním sklonem, a konečně hodnoty záporné představují údolí, závrtky atd. Ke klasifikaci bylo využito stejného přístupu, jaký použil REU et al. (2013), který pro klasifikaci využil směrodatné odchylky TPI (σ). Výsledkem byly celkem čtyři kategorie: hřeben ($TPI > \sigma$), svah ($TPI - \sigma - \sigma$, sklon $> 5^\circ$), rovina ($TPI - \sigma - \sigma$, sklon $< 5^\circ$), údolí ($TPI < -\sigma$).



Obr. 25 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v oblasti PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle terénního tvaru (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí).

Při pohledu na graf výsledků hodnocení ve vztahu k terénním tvarům (Obr. 25) se ukazuje, že střední hodnoty nejsou odlišné. Pro všechny věkové kategorie dohromady je rozmezí mediánu od 25-30 % napadených stromů. Při vyloučení věkové kategorie 1 dojde ke zvětšení rozdílů, a u kategorie „údolí“ a „hřbet“ dojde k nárůstu mediánu. Nejmenší střední hodnoty byly zaznamenány v „kategorii“ svah.

Při pohledu na graf srovnání ohniska napadení s periferií (obr. 26) je patrné, že míra napadení v jednotlivých kategoriích v rámci jedné oblasti se příliš nemění. Z tohoto grafu tedy nevyplývá, že by například v porostech na LS Litvínov docházelo ke zhoršování podmínek na některých stanovištích vlivem specifického tvaru terénu.



Obr. 26 Srovnání výsledků hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkušných plochách na LS Litvínov a okolních lesních správách v roce 2017 rozdělené dle typů terénu (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky představují odlehlé hodnoty).

4.4 Metodika zpracování dat

Posouzení závislostí mezi proměnnými navzájem a analýza jejich vztahu k hodnotám napadení smrků ztepilých kloubnatkou smrkovou, byla provedena s využitím softwaru určeného pro dolování dat. Pro analýzu datového souboru byl využit program Weka ve verzi 3.8.2. Tento software je vyvíjen University of Waikato na Novém Zélandu a je volně dostupný pro stažení a použití (GNU General public license).

V rámci softwaru Weka je dostupná řada algoritmů pro analýzu dat, hledání asociačních pravidel nebo shlukování. Z tohoto důvodu byla nejprve testována přesnost jednotlivých algoritmů a reakce na změny vstupních podmínek (změny v počtu intervalů klasifikované třídy, změny v počtu použitých vstupních atributů). Protože cílem této práce bylo vytvoření mapy napadení porostů kloubnatkou smrkovou, byly využity klasifikační algoritmy, jejichž výstupem je set pravidel pro dělení datového souboru do uživatelem stanovených tříd.

Po výpočtu algoritmu jsou v programu Weka zobrazeny výsledky validace modelu ve formě několika statistik. Jednou z hlavních bylo v tomto případě procento správně zatříděných záznamů na základě křížové validace. Ta je provedena tak, že je soubor dat rozdělen na definovaný počet podsouborů (v našem případě bylo využito základní nastavení deseti testování). Tyto podsoubory jsou následně využívány k budování a testování modelu tak, že jeden soubor slouží pro ověření správnosti a ostatní slouží pro tvorbu modelu. Výsledné hodnoty testování modelu odpovídají průměru z tohoto testování. Dalšími statistikami testování je například odmocnina ze střední kvadratické

chyby (RMSE), relativní střední kvadratická chyba. V rámci záznamu o vypočteném modelu je také zobrazena matice záměn, která ukazuje, jak by se změnila původní klasifikace dat, kdyby byl nově vypočtený model aplikován (správně zatříděné záznamy se nacházejí na diagonále).

S využitím hodnot přesnosti klasifikace a hodnoty RMSE byl zvolen nejpřesnější algoritmus, který byl dále využit pro klasifikaci. Při hledání vhodného nastavení vstupních podmínek modelu (tj. zejména rozdělení klasifikační třídy na příslušný počet požadovaný počet intervalů a vstupní atributy pro výpočet modelu) byla opět využita hodnota přesnosti klasifikace, RMSE a matice záměn. Volba jednotlivých vstupních parametrů, a i výsledné hodnocení jednotlivých modelů, bylo prováděno s ohledem na vstupní rozbor dat provedený v podkapitole 4.3.

Výsledná mapová kompozice byla sestavena v programu QGIS 2.18 „Las Palmas“, který je dostupný pod licencí GNU GPLv2 (jedná se tedy rovněž o volně dostupný software). V tomto programu byly provedeny jak interpolace, tak i tvorba tematické mapy dle zadání. Kritériem pro volbu interpolační techniky byl zejména požadavek, aby výsledný povrch co nejvíce odpovídal výsledkům hodnocení v místech TZP, a zároveň aby nepřekračoval logický rozsah hodnot 0-100 %. S ohledem na tato kritéria bylo výsledné hodnocení přesnosti interpolace provedeno na statistického zhodnocení odchylek mezi interpolovanou vrstvou a hodnotami na TZP.

5 VÝSLEDKY

V předchozí kapitole byla věnována pozornost vstupní analýze dat. Vztah mezi jednotlivými atributy přírodního a porostního prostředí ve vztahu k zjištěnému napadení je významným zdrojem informací pro evaluaci výsledných modelů. Zhodnocení závislosti mezi jednotlivými atributy a mírou napadení ukázalo odlišné chování některých atributů ve vztahu k výskytu v jádrové oblasti napadení a v okolí, a rovněž ukázalo slabou vypovídací schopnost některých samostatně použitých atributů. Jako silná se ukázala vazba na věkovou kategorii porostů.

Pro tvorbu modelů byla na počátku použita všechna data, tj. všechny získané atributy. V rámci zpracování se později ukázalo, že některé atributy je nutné upravit. Popis těchto úprav je uveden v textu u dané metody. Definice jednotlivých atributů je uvedena v tabulce č. Tab. 4.

Tab. 4 Přehled atributů využitých pro analýzu.

Popis proměnné	Jednotka	Kategorie	Název proměnné v modelech
Expozice (45°)		S (337,5°-22,5°), SV (22,6°-67,5°), V (67,6°-157,5°), JV (112,6°-157,5°), J (157,6°-202,5°), JZ (202,6°-247,5°), Z (247,6°-292,5°), SZ (292,6°-337,5°)	aspect45
Expozice (90°)		S (316°-45°), V (46°-135°) J (136°-225°), Z (225°-315°)	aspect90
Lesní vegetační stupeň		1-9	LVS
Lesní správa „jádro“		Jádro (LS Litvínov), Okolí (ostatní lesní správy)	jadro
Nadmořská výška	m n. m.		SRTM_DEM
Ovlivnění vodou		0 – neovlivněná, 1 – ovlivněná	voda
Pásmo imisního ohrožení		A, B, C, D,	imise
Sklon	stupně		sklon
TPI	index		TPI
Tvar terénu		H – hřbet S – svah R – rovina U – údolí	Terentvar
Věková třída porostu		1 – 0-30 roků 2 – 30-60 roků 3 – 60 a více let	vekkat

Popis proměnné	Jednotka	Kategorie	Název proměnné v modelech
Vzdálenost od porostů/etáží SMP v metrech	m		SMPdist
Vzdálenost o porostů/etáží SMP menší nebo větší než 200 m		0 - vzdálenost větší, 1 - vzdálenost menší	SMP200
Zastoupení porostů smrku pichlavého v okolí (R=200 m)	%	0-100	plocha200
Zastoupení porostů smrku pichlavého v okolí (R=500 m)	%	0-100	plocha500
Zastoupení porostů smrku pichlavého v okolí (R=1000 m)	%	0-100	plocha1km
Zakmenění		1-10	zakm
Napadení	%	0-100	napadeni
Diskretizované napadení		1 – 0-4 napadených stromů, 2 – 5-16, 3 – 16-33, 4 – 33-54, 5 – 54-96	NJ5classNap*
Vážený průměr napadení	bezrozměrná veličina	0-4	
Zakmenění upravené		6-10	zakmUPR

* Pozn.: Pro modelování v programu Weka byla provedena diskretizace na pět tříd za pomoci Jenksových přirozených zlomů (Jenks Natural Breaks)

5.1 Výběr nejvhodnějšího klasifikačního modelu

Před započítím klasifikace je nutné, v případě, že klasifikovaná třída není tvořena nominálními hodnotami, provést diskretizaci. V tomto případě se jednalo o údaje o počtu napadených stromů. Po prvotní zkoušce klasifikace v programu Weka s využitím různých klasifikátorů (zhruba 200 vygenerovaných modelů) se ukázalo několik skutečností:

1. Algoritmus J48, v případě využití shodných proměnných reprezentujících přírodní podmínky TZP, dává nejlepší výsledky ze všech klasifikačních algoritmů. Srovnání ukazuje Tab. 5. Proto bylo pro finální selekci atributů a tvorbu klasifikačních pravidel využíváno tohoto klasifikátoru.

Tab. 5 Příklad výsledků klasifikace v programu Weka 3.8.2 pro klasifikační třídu „napadení“.

Název klasifikačního algoritmu	Správně klasifikované případy [%]	RMSE	Název klasifikačního algoritmu	Správně klasifikované případy [%]	RMSE
J48	60,67	0,3711	RandomForest	47,78	0,3976
JRIP	56,67	0,4019	OreR	47,78	0,5110
Locally weighted learning	55,56	0,3839	REPTree	47,78	0,4069
DecisionStump	54,44	0,3925	ZeroR	40,0	0,4244
LMT	52,22	0,3941	HoeffdingTree	37,78	0,4772
SimpleLogistic	52,22	0,3941	NaiveBayes	37,78	0,4872
MultiClassClassifier	51,11	0,4610	IBk	37,78	0,5449
BayesNet	50,00	0,4177	RandomTree	35,56	0,5538
MultilayerPerception	50,00	0,4508	KStar	32,22	0,5600

2. Výsledky jsou vždy závislé na množství klasifikovaných kategorií a na rozložení intervalů. Pro diskretizaci klasifikační třídy bylo využito pěti intervalů, v souladu s HAVRDOVÁ et al. (2016), kteří se zabývali klasifikací porostů ohrožených nekrózou jasanu. Pro rozdělení do jednotlivých intervalů byla zvažována dvě pravidla: Jenksovy přirozené zlomy (JENKS, 1977) a dělení podle kvantilů. První pravidlo dělí soubor dat dle pravidla, že variabilita uvnitř skupin je co nejnižší a variabilita mezi skupinami co nejvyšší, čímž jsou zohledněny přirozené shluky dat. Druhým pravidlem bylo dělení dle kvantilů. Dělení dle kvantilů, které použili např. HAVRDOVÁ et al. (2016), je vhodné pro klasifikaci vysoce distribuovaných dat, má však nevýhodu v tom, že opomíjí přirozené shlukování dat. Tato nevýhoda se ukázala v případě diskretizace klasifikační třídy „procento napadených stromů“, kdy po provedené klasifikaci do pěti tříd zůstala jedna třída bez záznamu. Srovnání několika modelů se shodnými vstupními daty ale rozdílným rozdělením klasifikační třídy ukazuje tabulka Tab. 6. Je patrné, že při využití menšího počtu tříd (klasifikovaná třída: napadení, dělení atributů: kvantily) je vždy vypovídací schopnost modelu vyšší. Vzhledem k tomu, že záměrem bylo klasifikovat napadení do pěti tříd, bylo pro tvorbu modelu využito dělení dat pomocí přirozených zlomů.

Tab. 6 Srovnání výsledků různě diskretizované klasifikační třídy „napadení“ a „vážený průměr napadení“ klasifikačním algoritmem J48.

Klasifikovaná třída	Dělení atributů	Správně klasifikované případy [%]	RMSE	Využité atributy
Napadení	Kvantily	65,56	0,3732	distSMP, TerenTvar
Napadení	Přir. zlomy	46,67	0,4047	sklon, TPI, SRTM_DEM,
Vážený průměr	Kvantily	42,22	0,4111	aspect90, veckat
Vážený průměr	Přir. zlomy	53,33	0,3796	LVS, voda, jadro, zakm
Napadení	Kvantily	65,56	0,3717	distSMP,
Napadení	Přir. zlomy	46,67	0,4194	TerenTvar
Vážený průměr	Kvantily	50,00	0,3963	TPI, SRTM_DEM, veckat, LVS,
Vážený průměr	Přir. zlomy	52,22	0,3741	voda, jadro, zakm
Napadení	Kvantily	65,56	0,3691	TPI, SRTM_DEM,
Napadení	Přir. zlomy	47,78	0,4094	veckat, LVS,
Vážený průměr	Kvantily	48,89	0,3999	voda, jadro, zakm
Vážený průměr	Přir. zlomy	55,56	0,3660	
Napadení	Kvantily	62,22	0,3851	SRTM_DEM,
Napadení	Přir. zlomy	51,11	0,3869	veckat, LVS,
Vážený průměr	Kvantily	47,78	0,3786	voda, jadro
Vážený průměr	Přir. zlomy	48,89	0,3720	
Napadení	Kvantily	66,66	0,3708	plocha500, TerenTvar, sklon,
Napadení	Přir. zlomy	43,33	0,2441	TPI, SRTM_DEM,
Vážený průměr	Kvantily	45,56	0,4092	aspect90, veckat, LVS, voda, jadro,
Vážený průměr	Přir. zlomy	55,56	0,3725	imise, zakm

Z výše provedeného porovnání klasifikačních algoritmů (tab. 5) v programu Weka 3.8.2 je patrné, že nejlepších výsledků dosahuje algoritmus J48. Tento algoritmus, odvozený od algoritmu C4.5 (QUINLAN, 1993), patří do kategorie rozhodovacích stromů. Výhodou rozhodovacích stromů je, že dokáží pracovat s nominálními, atributovými i textovými informacemi. Algoritmus dokáže rovněž pracovat s daty, kde se u některých záznamů vyskytují chybějící hodnoty. Dělení dat je založeno na hodnotě entropie. Cílem algoritmu

je rozdělit datový soubor tak, aby entropie co nejvíce poklesla. Když je takové pravidlo nalezeno, stává se z něj uzel dělení a algoritmus pokračuje znovu s jednotlivými podsoubory dat. Dělení je zastaveno v momentě, kdy entropie podsouboru klesne na nulu (soubor je homogenní), nebo dokud není dosaženo hodnoty minimálního počtu záznamů v daném podsouboru.

V rámci výběru jednotlivých atributů ke klasifikaci byl algoritmus opakovaně spuštěn s různým nastavením vstupních atributů. Kromě informací o přesnosti modelu bylo nutné věnovat pozornost i faktické správnosti modelu. Pro hodnocení bylo využito především informací z analýzy dat, která předcházela zpracování v programu Weka. Možný výskyt nepřesností klasifikačních pravidel je v tomto případě způsoben komplexitou přírodního prostředí, která způsobuje, že vstupní datový set nepokrývá všechny možné kombinace atributů s dostatečnou četností. Z tohoto důvodu musí být do evaluace modelu zapojen i uživatel, aby se znalostí dat odstranil z modelu některé zjevné nepřesnosti. Příkladem takového špatného zařazení může být výsledek níže uvedeného modelu (Obr. 27).

```

Instances: 90
Attributes: 19
  distSMP
  SMP200
  plocha1km
  plocha500
  plocha200
  Terentvar
  TPI
  SRTM_DEM_C
  aspect90
  EI5napad
  vekkát
  LVS
  voda
  jadro
  imise
  zakm
Test mode: 10-fold cross-validation
Classifier model (full training set)

J48 pruned tree
-----
vekkát = 1
  plocha500 <= 68.26
    zakm = 1: 3 (2.07/1.07)
    zakm = 2: 1 (2.07)
    zakm = 3: 1 (0.0)
    zakm = 4: 1 (0.0)
    zakm = 5: 1 (1.03)
    zakm = 6: 3 (1.03/0.03)
    zakm = 7: 1 (4.14)
    zakm = 8
      TPI <= 0.625: 1 (2.14)
      TPI > 0.625: 3 (2.0)
    zakm = 9
      voda = 0: 3 (2.07/1.07)
      voda = 1: 1 (6.21)
    zakm = 10: 3 (7.24/2.24)
  plocha500 > 68.26: 4 (4.0/1.0)
vekkát = 2
  jadro = 0
    TPI <= 1.375: 4 (9.0)
    TPI > 1.375
      distSMP <= 20: 1 (2.0/1.0)
      distSMP > 20: 3 (2.0)
  jadro = 1: 5 (16.0/4.0)
vekkát = 3: 4 (27.0/7.0)

=== Summary ===
Correctly Classified Instances 60 66.6667 %
Incorrectly Classified Instances 30 33.3333 %
Kappa statistic 0.5308
Mean absolute error 0.2358
Root mean squared error 0.3704
Relative absolute error 65.4342 %

```

Obr. 27 Příklad výstupu algoritmu J48 s výskytem faktických chyb.

Na výsledku tohoto modelu je patrné, že se jedná o model s vysokou mírou správně zařazených ploch (jedná se o nejvyšší dosaženou hodnotu). Při podrobnějším pohledu na výsledky tvorby rozhodovacího stromu jsou však patrné dva problémy.

1. Červené šipky na obrázku Obr. 27 ukazují na klasifikační pravidla související s výskytem smrku pichlavého v okolí hodnocených ploch. Prvním zvláštností je, že procento výskytu smrku pichlavého v okolí se projevuje na napadení negativně (se vzrůstajícím procentem se zvyšuje napadení) a naopak u věkové kategorie 2, s větší blízkostí klesá množství napadení. Samotné pravidlo, že větší blízkost porostů se zastoupením smrku pichlavého by mělo vést k nižšímu napadení, je proti logické závislosti mezi infekčním tlakem a mírou napadení. Z tohoto pohledu se tedy jedná

o nevhodný atribut. Ten v rámci dostupných dat vysvětluje jejich vnitřní variabilitu, ale z hlediska reálného použití dat by však přinášel do modelu nepřesnosti.

2. Fungováním rozhodovacích stromů založených na algoritmu C4.5 se snaží najít optimální dělení souboru dat, a čím hlouběji se v dělení nachází, tím méně významné atributy jsou pro dělení používány. Vzhledem ke zmenšujícímu se počtu záznamů v každé dělené skupině vzrůstá náchylnost k ovlivnění dat díky specifickému (extrémnímu) chování zbývajících záznamů podsouboru dat. Tento problém je na Obr. 27 označen modrou šipkou. Zde je patrné, že u věkové kategorie 1, v případě, že porosty smrku pichlavého tvoří v okolí zkusné plochy méně než 68,32 %, je důležitým parametrem napadení hodnota zakmenění. Z modelu vyplývá, že k významnému kvalitativnímu posunu ve schopnosti odolávat napadení kloubnatky smrkové by mělo docházet mezi stupni zakmenění 1 a 2. Ze znalosti toho, co vyjadřuje zakmenění, je patrné, že mezi třídou 1 a 2 není tak velký rozdíl, aby způsobil zatřídění porostů do 1. a 3. kategorie napadení. Vypovídací schopnost modelu při použití takového rozhodovacího kritéria může být vysoká, avšak v případě aplikace do reálných podmínek by docházelo k nepřesné klasifikaci.

Z tohoto důvodu byla provedena ještě poslední úprava dat před započítáním výběru nejvhodnějšího modelu pomocí algoritmu J48, a tou bylo nastavení hodnot zakmenění u porostních skupin se zakmeněním 1-5 na „neznámou“ hodnotu. Tím bylo docíleno toho, že tyto stupně zakmenění nebyly využívány jako rozhodovací pravidlo.

Pro výběr nejvhodnějšího stromu bylo provedeno testování s různým použitím atributů. Výsledky testování shrnuje tabulka 9 v příloze č. 2. Bylo provedeno modelování celkem na 225 modelech. Z výsledného modelování byl vybrán model s největší přesností klasifikace (model č. 221), který je uveden na obr. 28.


```

J48 pruned tree
-----
vekkat = 1: 1 (34.0/11.0)
vekkat = 2
|   jadro = 0
|   |   SRTM_DEM_C <= 750: 2 (3.0)
|   |   SRTM_DEM_C > 750: 3 (10.0/3.0)
|   |   jadro = 1
|   |   |   sklon <= 4.65547: 5 (8.0/3.0)
|   |   |   sklon > 4.65547: 4 (8.0/2.0)
|   |   vekkak = 3
|   |   |   voda = 0: 3 (17.65/8.65)
|   |   |   voda = 1
|   |   |   |   SRTM_DEM_C <= 923: 2 (7.35/2.35)
|   |   |   |   SRTM_DEM_C > 923: 4 (2.0)
|   |
|   Number of Leaves :      8
|
|   Size of the tree :      14
|
|   Time taken to build model: 0 seconds
|
|   === Stratified cross-validation ===
|   === Summary ===
|
|   Correctly Classified Instances      54          60.0000 %
|   Incorrectly Classified Instances    36          40.0000 %
|   Kappa statistic                     0.5593
|   Mean absolute error                 0.2547
|   Root mean squared error            0.3988
|   Relative absolute error            70.6853 %
|   Root relative squared error        93.9600 %
|   Total Number of Instances          90
|
|   === Confusion Matrix ===
|
|   a  b  c  d  e  <-- classified as
|   23  0  5  1  0  | a = 1
|   6   8  3  0  1  | b = 2
|   2  3 16  1  0  | c = 3
|   2  0  2  8  2  | d = 4
|   1  0  1  0  5  | e = 5

```

Obr. 28 Výsledný nejpřesnější model klasifikace provedené v programu Weka algoritmem J48 na podkladě údajů o hodnocení napadení kloubnatkou smrkovou na trvalých zkušných plochách v Krušných horách v roce 2017.

V rámci budování různých modelů s různými kritérii se ukázalo, že výsledné modely mají mnohdy stejnou podobu a využívají například stejné hranice pro rozdělování dat. Jako nejsilnější rozhodovací pravidlo byl vždy použit údaj o věkové kategorii. Druhým nejsilnějším rozhodovacím pravidlem bylo u modelů s nejpřesnější klasifikací (viz příloha č. 4): rozdělení na jádrovou oblast a okolí, ovlivnění stanoviště vodou a orientace ke čtyřem světovým stranám. Dalšími upřesňujícími atributy ve třetí a nižší úrovni byly především údaje o nadmořské výšce nebo geomorfologii (sklon, tvar terénu, nebo index TPI).

5.2 Klasifikace a tvorba mapových výstupů

Grafické zpracování výsledků bylo poslední částí předložené práce. V souladu se zadáním byly vytvořeny vypočteny dva typy mapových vrstev. Prvním byla interpolovaná vrstva procenta napadení, druhým napadení stromů kloubnatkou smrkovou vypočtené pro jednotlivé porostní skupiny. Všechny výpočty související s klasifikací jednotlivých porostních skupin a tvorba výsledných mapových výstupů byla prováděna v programu QGIS 2.18 „Las Palmas“.

5.2.1 Interpolace výsledků hodnocení

Prvním výstupem byla mapa interpolovaných výsledků hodnocení. Interpolačních metod pro tvorbu spojitých povrchů je mnoho. V rámci dostupného softwaru byly na výběr: interpolace založená na spline křivkách, interpolace založená na inverzní vážené vzdálenost (Inverse Distance Weighting - IDW) a kriging. Pro výslednou interpolaci byla zvolena metoda IDW a to ze dvou důvodů. Zaprvé, cílem interpolace bylo zachovat co možná nejvíce hodnoty zjištěné v daném místě hodnocení, a zadruhé výsledek interpolace by neměl přesahovat logické rozpětí (0-100 %). Metoda TIN Plate Spline byla použita pro porovnání. Výsledky získané pomocí spline křivek ukázaly, že výsledkem je mapová vrstva, která je mnohem více shlazená než výsledky metody IDW. Rovněž takový výstup obsahoval místa mimo logický rozsah 0-100 %. V tomto případě se však hodnoty mimo rozsah vyskytovaly převážně za hranicemi PLO 1, takže hodnocení interpolace v zájmové oblasti neovlivnily. Pro hodnocení byly vyzkoušeny metody IDW s váhou vzdálenosti 2 a 3. (v tabulce 7 označeno jako IDW1, respektive IDW 2). Vzdálenost, ve které jsou posuzovány body, byla nastavena na 1000 m. Při nižší vzdálenosti se na shlazené vrstvě objevovalo mnoho nepřirozených zlomů. Porovnání klasifikace s původními hodnotami napadení ukázalo, že nejvhodnější metodou je použití IDW s váhou vzdálenosti 3.

Tab. 7 Srovnání přesnosti interpolace metodami IDW a TIN Plate Spline.

	průměr	medián	max	min	směr. odchylka
TIN1	-0,12	-0,07	10,99	-10,83	2,16
IDW1	-0,01	0,00	0,06	-1,08	0,24
IDW2	0,00	0,00	0,02	-0,01	0,00

Následně byla s využitím výsledné interpolované vrstvy sestavena mapa, která tvoří přílohu č. 3. Výsledek ukazuje výskyt nejvyšších úrovní napadení v oblasti LS Litvínov, naopak LS Františkovy lázně zabírající oblast Smrčín vykazovala napadení blízké nule.

Výsledky interpolace zároveň ukázaly, nedostatky datového vstupu pro využití interpolačních technik. Dostupná data o hodnocení napadení ukazují na velkou variabilitu napadení mezi, byť blízkými, porostními skupinami. Pro interpolaci, která by dobře zohledňovala tuto variabilitu, by musely být nastaveny kratší vzdálenosti pro hledání bodů. V takovém případě je ale výsledkem nespojitá interpolovaná vrstva, protože v některých oblastech není dostatek bodů.

5.2.2 Tematická mapa poškození porostů

Výsledkem algoritmu J48 bylo nalezení nejvhodnějšího rozhodovacího stromu, popisujícího variabilitu dat hodnocení. Na základě takto stanovených rozhodovacích pravidel byla provedena klasifikace dostupných dat porostů na LS Děčín, Františkovy Lázně, Horní Blatná, Klášterec a Litvínov. Protože součástí hledání nejvhodnějších parametrů bylo doplnění některých parametrů mimo údaje LHP, např. nadmořská výška, sklon, TPI atd., bylo nutné doplnit tyto údaje ke všem polygonům LHP. Výpočet hodnot pro PSK a jejich části byl proveden průměrem nadmořské výšky ze SRTM DEM a odvozené vrstvy sklonitosti s rozlišením 100 m. Protože v daném datovém souboru mohla nastat situace, kdy měla jedna porostní skupina více částí a ty se mohly nacházet v různých geomorfologických podmínkách, bylo před výpočtem provedeno dělení na jednotlivé polygony. V mapě tak mohou být jednotlivé části PSK nyní reprezentovány různou mírou poškození. Výslednou mapovou vrstvu tvořilo 88592 polygonů.

Výsledky byly zpracovány formou atlasu v měřítku 1:20 000. Zpracováno bylo celkem 169 mapových listů, které jsou součástí elektronické přílohy. Součástí přílohy č. 5 a 6 je ukázka dvou oblastí, ohniska napadení (LS Litvínov) a periferní oblasti (přílohy č. 5 a 6).

Tab. 8 Počet porostů zařazených do jednotlivých stupňů napadení.

Napadené stromy [%]	Třída napadení	Lesní správa					
		Děčín	Fr. Lázně	H. Blatná	Klášterec	Kraslice	Litvínov
0-9	1	2029	4537	8968	7307	7545	7199
10-26	2	531	4402	2822	1073	5699	581
27-48	3	1118	4447	12517	5735	7469	1660
49-72	4	0	0	513	27	93	1150
73-100	5	0	0	0	0	0	1170
Celkový počet polygonů *		3678	13386	24820	14142	20806	11760

Pozn.: * Při tvorbě mapového výstupu byly porostní skupiny rozděleny na jednotlivé polygony.

6 DISKUZE

Cílem této kapitoly je kriticky zhodnotit data metody použité v této práci, komentovat dosažené výsledky ve vztahu k údajům v dostupné literatuře, dále představit hypotézu možného faktoru napadení stromů kloubnatkou smrkovou, a nakonec nastínit potenciální oblasti dalšího výzkumu. S ohledem na tento cíl je kapitola rozdělena do čtyř tematických podkapitol.

6.1 Použitá data a metody hodnocení

Výsledky jakéhokoliv modelování jsou vždy závislé na kvalitě dat. S ohledem na proměnlivost přírodního prostředí je vždy velmi náročné homogenně a v dostatečném množství zdokumentovat všechny možné kombinace atributů, které se mohou v přírodě vyskytnout. I v případě této práce se vyskytly některé kombinace atributů, kde pro skutečné posouzení napadení nebylo dostatečné množství záznamů. Tato skutečnost mohla způsobit ovlivnění výsledku modelování díky tomu, že nebyly objeveny specifické projevy chování patogenu asociované s unikátní kombinací podmínek přírodního prostředí.

Jedním z atributů, u kterého k takové situaci mohlo dojít je zakmenění. Například rozšíření počtu zkusných ploch v porostech 2. a 3. věkové třídy s plným zakmeněním by mohlo pomoci odhalit, zda má zakmenění pozitivní nebo negativní vliv na rozvoj napadení. Pozitivní působení by mohlo být způsobeno menšími výkyvy teploty, jak dokazuje například LATIMER a ZUCKERBERG (2016), nebo naopak by husté porosty mohly usnadňovat šíření patogenu.

Dalším parametrem s menším množstvím záznamů byly porosty nižších LVS, jejichž začlenění do analýzy by pomohlo lépe definovat vztah mezi rozšířením patogenu a jeho vazbou na vertikální proměnlivost prostředí.

U jiných atributů by vylepšení přenosnosti jejich vypovídací hodnoty mohly přinést doplňující informace. Jedním z parametrů používaných v analýze bylo ovlivnění stanoviště vodou. Tento parametr se ukázal mít dvojitý vliv na procento napadených stromů. V nižších nadmořských výškách, v údolích a rovinách vykazovaly porosty na vodou ovlivněných stanovištích menší úroveň napadení, porosty na vodou ovlivněných stanovištích ve vyšších nadmořských výškách měly vyšší úroveň napadení. Pro posouzení skutečného významu tohoto atributu by bylo vhodné provést zjišťování skutečné dostupnosti vody na daném stanovišti. Přestože je stanoviště označeno jako vodou ovlivněné, může být dostupnost vody pro stromy variabilní.

Hodnocení vlivu půdního prostředí bylo provedeno s využitím mapy půdních typů. Toto hodnocení neprokázalo jednoznačný vliv půdních typů na míru napadení. V práci byla pro toto hodnocení využívána data získaná z mapy půdních typů 1:50 000 (ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, 2012). Toto měřítko by pro hodnocení topických podmínek mohlo být nedostatečné a mohlo by způsobit shlazení skutečných rozdílů. Pro potvrzení skutečného vztahu mezi výživou porostů a hodnotami napadení by bylo nutné provést podrobnější pedologický průzkum včetně chemické analýzy.

Rovněž parametr zakmenění používaný v analýze by mohl být zpřesněn v rámci terénních šetření. Využití zakmenění z dat LHP má dva aspekty, které je nutné vzít při posouzení v úvahu. Jednak zakmenění je proměnlivá charakteristika, která několik let po schválení LHP již nemusí odpovídat realitě, a jednak zakmenění je uváděno zvlášť pro etáže. Z hlediska mikroklimatických podmínek ovšem zakmenění jednotlivých etáží nepůsobí samostatně a mělo by být pro dosažení co největší přesnosti uvažováno společně. Pokud by například hlavním faktorem napadení byl mráz, pak kombinace dvou etáží s nízkým zakmeněním může vytvářet porost natolik hustý, že bude odolávat vlivu mrazu snadněji než jednoetážový porost s vyšším zakmeněním.

Vylepšení kvality vstupních dat by mohlo být provedeno i v samotném hodnocení napadení porostů. Zejména v hustých starších porostech je hodnocení ze země problematické. Pokusy s dronem ukázaly, že vyhodnocení napadení není ani v takovémto případě snadné, neboť hodnocení probíhá proti tmavému pozadí a výsledný obraz splývá. Lze předpokládat, že při využití dalších vstupních zdrojů hodnocení by míra napadení spíše vzrostla, neboť by byly odhaleny i méně napadené stromy.

V neposlední řadě by vylepšení modelu mohlo být provedeno s využitím dalších vstupních dat. V předložené práci nebyly zhodnoceny vlivy provedeného leteckého vápnění. Pro dané hodnocení nebyly v rámci projektu dostupné datové vstupy. Pokud by takové vstupy měly být v budoucnu využívány, bylo by vhodné znát plošný rozsah provedených zásahů, rok provedení a intenzitu. ŠEFL et al. (2014) a FIALA et al. (2017) uvádějí, že po deseti letech od provedeného vápnění nedošlo k významnému zvýšení pH prostředí, nicméně zlepšila se minerální výživa stromů. Vápnění tak mohlo přinést pozitivní efekt na schopnost jedince odolávat napadení. Pro úplnost je nutné dodat, že existují studie, které zmiňují negativní vliv vápnění (VAŠÍČEK a KUČERA, 2015) a rovněž FIALA et al. (2017) zmiňuje pokles obsahu draslíku na vápněných plochách.

V práci rovněž nebyly zohledněny samostatně klimatické charakteristiky prostředí. Klima se z dlouhodobého hlediska odráží v některých jiných použitých charakteristikách (půdní typ, biota, klimatické charakteristiky jsou používány i při vymezení LVS atd.), avšak samostatně nebylo hodnocení provedeno. Protože vyhodnocení klimatických

charakteristik je obvykle prováděno na průměrovaných datech, může při jejich použití dojít k vyloučení výkyvů meteorologických charakteristik, které ale mohou být pro případné napadení rozhodující (např. námraza, ledovka, pozdní mrazy, krupobití). Pro co nejpřesnější posouzení vlivu klimatických charakteristik by bylo vhodné vybudovat samostatný klimatický model pro oblast Krušných hor, který by zohledňoval specifika horské oblasti (BENISTON, 2006) a zároveň zohlednil vliv vegetačního pokryvu (LATIMER a ZUCKERBERG, 2016).

Další charakteristikou, která by mohla vysvětlit vysokou míru napadení u některých TZP ve vztahu k ostatním TZP s podobnými přírodními podmínkami, je nevhodná provenience. Na tuto charakteristiku je možné se zaměřit v dalším výzkumu. Podkladě pro výběr ploch k analýze mohou být výsledky hodnocení napadení provedeného v roce 2017, které pomohly odhalit TZP s anomálním napadením ve srovnání s podobnými TZP.

6.2 Srovnání výsledků hodnocení s poznatky jiných autorů

Na základě výše provedené analýzy výsledků hodnocení (podkapitola 4.3) lze ve vztahu k informacím publikovaným v dřívější literatuře říci, že u některých hypotéz došlo k potvrzení nebo odhalení stejných závislostí. V některých případech byla závislost nezřetelná, nebo nemohla být hodnocena a v jenom případě (zakmenění) se předpoklad nepotvrdil.

Jedním z atributů, který zhodnotili SOUKUP a PEŠKOVÁ (2009) je nadmořská výška. Dle jejich závěrů nebyl prokázán vliv nadmořské výšky na zasažené stromy. Ve větším datovém souboru, jehož analýzu prezentovali POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011), se projevil vliv hranice 700 m n. m., která by dle autorů mohla mít vliv na napadení s ohledem na častý výskyt mlh. V datech z hodnocení z roku 2017 se rovněž neukázala závislost mezi samostatně použitou nadmořskou výškou a napadením stromů, nicméně v datech se vyskytují dva zlomy, první mezi 700-750 m n. m. a druhý okolo 900 m n.m., ve kterých se mění hodnoty maximálního napadení. Je tedy možné předpokládat, že se v dané výšce mění působení jiných faktorů ovlivňující napadení.

Rovněž v případě expozice SOUKUP a PEŠKOVÁ (2009) uvádějí, že nebyl rozpoznán její vliv. V práci POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011) se udává napadení v jednotlivých kategoriích expozice ve 45° dělení. Hodnoty zde uvedené expozice jsou doplněné o typ „roviny“, který ovšem v práci není definován. Tato skutečnost znemožňuje srovnání, neboť při porovnání by byly srovnávány odlišné kategorie. Orientace v předložené práci byla vypočtena bez ohledu na sklon pro všechny TZP. Výsledky některých modelů s vysokou dosaženou přesností klasifikace (v rámci této práce) využívaly expozici jako jeden z atributů klasifikace (např. model č. 138 a 153 viz příloha č. 4).

Předposledním atributem uváděným v práci SOUKUP a PEŠKOVÁ (2009) byl věk porostů. Ani v tomto případě se autorům nepodařilo nalézt preferenci houby z hlediska jednotlivých kategorií. POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011) k dané charakteristice porostů uvádějí, že více napadeny byly nejstarší porosty smrku pichlavého. Je potřeba poznamenat, že v době počátku rozvoje napadení v oblasti Krušných hor měly výsadby smrku pichlavého okolo 30-35 let (POSPÍŠIL a POSPÍŠIL, 2011). Klasifikace použitá v této práci by je tedy řadila do druhé věkové třídy. Pokud přijmeme hypotézu, že oblast Litvínova je ohniskem napadení, pak po srovnání odpovídajících datových skupin je potřeba výsledky SOUKUP a PEŠKOVÁ (2009) a POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011) srovnávat spíše s oblastí periferie. Při tomto srovnání je patrné, že jsou hodnocení podobná, a toto srovnání posiluje teorii, že v případě vývoje napadení dochází k rychlejší progresi patogenu u stromů druhé věkové třídy. Tento závěr je rovněž v souladu se závěry uvedenými v POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011) a ČERNÝ et al. (2016), kteří uvádějí, že rychlejší rozvoj patogenu je spojen s vyšší hustotou koruny.

Posledním atributem porostů nebo prostředí uváděným v práci SOUKUP a PEŠKOVÁ (2009) je zakmenění stromů. Autoři v tomto případě neobjevili preferenci patogenu z hlediska stupně zakmenění. Hypotéza, kterou uvádí POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011), se na datech hodnocení za rok 2017 nepotvrdila. Autoři uvádí, že příznivější podmínky pro šíření panují v porostech s hustým zapojením. Provedené srovnání údajů o zakmenění naznačuje, že plně zakmeněné porosty by mohly vykazovat nižší úroveň napadení. Pro lepší porovnání by bylo nezbytné mít více informací o použité hodnotící škále v práci POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011). Hodnocení je zde provedeno pouze kvalitativně (přehouště-rozvolněné) a nelze ho tedy porovnat s číselnou hodnotou stupně zakmenění použitou v předložené práci.

Autoři POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011) zmiňují také vliv tvaru terénu, kdy udávají, že největší množství poškozených porostů bylo nalezeno na rovinách. Bohužel není stanoveno, jakým způsobem byly vylišeny jednotlivé typy terénu. Dle srovnání provedeného na základě hodnocení z roku 2017 se jeví, že menší napadení lze nalézt na svazích a rovinách, naopak vyšší se objevuje na hřebenech a v údolích (při porovnání datového souboru bez věkové kategorie 1).

POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011) rovněž uvádějí, že atributem podporujícím rozšíření patogenu mohla být snížená výživa nebo zamokření. Z grafů vytvořených na základě hodnocení provedeného v roce 2017 nebyla při porovnání hodnocení dle půdních typů prokázána jednoznačná závislost. Důvody pro tuto skutečnost mohou být dva. Jednak celková nenasycenost a kyselost prostředí, která rozdíl v dostupné výživě mezi jednotlivými půdními typy shlazuje, jednak generalizace mapy 1:50 000, která příliš málo reflektuje konkrétní stav půdy na TZP. Vliv zamokření vodou se naopak ukázal jako spíše pozitivní.

Porosty ovlivněné vodou v ohnisku napadení i v periférii a před odstraněním i po odstranění první věkové třídy, vykazovaly menší stupeň napadení.

V práci ČERNÝ et al. (2016) se uvádí vliv teploty na rozvoj patogenu. V práci je uvedeno, že optimálním rozmezím pro růst patogenu je 13-18 °C. Jinou klimatickou charakteristiku, konkrétně počet dnů s mlhou, uvádí POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011), kteří zmiňují, že nejvíce poškozené jsou porosty v oblasti, kde je zaznamenán výskyt mlh 120-150 dní v roce. Největší výskyt poškození „stupně 3“ (viz tab. 2) autoři zjistili v oblastech s výskytem mlh 90-120 dní v roce. Bohužel porovnání klimatických charakteristik nebylo provedeno, neboť klimatická data z oblasti Krušných hor nebyla v rámci prvního roku výzkumu dostupná.

6.3 Hypotézy o faktorech podmiňujících rozšíření kloubnatky smrkové

V dostupné literatuře se vyskytuje několik hypotéz, vysvětlujících, proč došlo k napadení smrků pichlavých a následně smrků ztepilých, a co způsobuje další rozvoj patogenu. Akceptovaným faktem v současné době zůstává odůvodnění, proč k napadení došlo právě nyní. Hypotézu poprvé uvedli již POSPÍŠIL a POSPÍŠIL (2011), kteří propuknutí kalamity na smrku pichlavém dali do souladu s poklesem kyselosti srážek, které působily fungicidně na spory hub. Rozdíl již panují v hypotézách vysvětlujících, co dále determinuje rozvoj napadení.

Některé práce se snaží dát do vztahu rozvoj napadení a vývoj sumy teplot nebo množství srážek ve specifické části roku (JANŮ, 2011; JUŘIČKOVÁ, 2013; MIKOLÁŠ, 2014; SCHOŘÁLKOVÁ, 2015). Jiné práce uvádějí vliv klimatických charakteristik [např. výskyt mlh (POSPÍŠIL a POSPÍŠIL, 2011)], snížení vitality (POSPÍŠIL a POSPÍŠIL, 2011) nebo třeba vliv porostních charakteristik (SOUKUP a PEŠKOVÁ, 2009; ČERNÝ et al., 2016). V žádném z dostupných zdrojů před rokem 2018 nebyla zmíněna a podrobněji rozebírána možnost, že determinantem pro napadení smrku pichlavých a následně napadení smrku ztepilého by mohl být vliv extrémních výkyvů teploty. Tuto skutečnost uvádí PEŠKOVÁ et al. (2018).

Výsledky modelování provedeného v rámci této práce nejsou v rozporu s hypotézou uvedenou v práci PEŠKOVÁ et al. (2018). Kombinace údajů o měření teploty na zkusných plochách uvedených v práci SCHOŘÁLKOVÁ (2015) v kombinaci s výsledky modelování naznačuje, že determinantem pro rozvoj napadení by mohl být vliv časných a pozdních mrazů v oblasti Krušných hor.

Prvním nepřímým důkazem je výskyt dvou hranic, ve kterých se mění úroveň napadení. Jednou z nich je nadmořská výška 750 m n.m. a druhou cca 920 m n. m. Dá se předpokládat, že v této oblasti se může nejsilněji projevovat vliv mrazu díky tomu, že se

vzrůstající nadmořskou výškou se oddaluje rašení smrku a zároveň s klesající nadmořskou výškou stoupá průměrná teplota. V oblasti 750-920 m n. m. tak může existovat přechodové pásmo, kde dochází k rašení tak brzy, že pupeny a nové letorosty mohou být ještě ohroženy pozdními nebo brzkými mrazy. URBAN (2014) na příkladu poškození porostů mrazem z oblasti Jizerských hor uvádí, že nad hranicí 750 m n. m. v oblastech s rovným terénem s mírnými depresemi, může za příhodných atmosférických podmínek (radiační podmínky, anticyklonální situace) vzniknout vlivem stékání studeného vzduchu do depresí bazén výrazně chladnějšího vzduchu. Na podobnou hranici i podobný tvar terénu ukazuje nejpřesnější vypočtený klasifikační model, ve kterém nad hranicí 750 m n. m. v místech o sklonu menším než $4,6^\circ$ bylo napadení smrku kloubnatkou nejvyšší. Dalším nepřímým důkazem může být zjištění SCHOŘÁLKOVÁ (2015), která ve své práci shrnuje poznatky z výzkumu studentů UJEP za čtyři roky měření, přičemž prezentuje rovněž výsledky měření teploty. Z těchto křivek je patrné, že se v oblasti mohou vyskytnout teploty pod bodem mrazu v období v polovině května a v polovině září. Autorka zároveň uvádí, že silnější napadení a nižší proliferace pupenů byla asociována s výrazným poklesem teplot v období počátku fyziologické aktivity.

ČERNÝ et al. (2016) ve své práci uvádějí, že dle vypočteného logistického modelu k rozvoji napadení na smrku pichlavém došlo krátce před rokem 2000. KULA a RYBÁŘ (1998) uvádí, že v roce 1997 došlo v Krušných horách po pozdním mrazu k poškození porostů břízy i smrku pichlavého. Pokud by byla hypotéza o vlivu pozdního mrazu platná, mohla by tato epizoda výskytu pozdního mrazu stát za rychlým rozvojem napadení v oblastech Krušných hor. V rámci dostupných zdrojů k mimořádným projevům počasí počátku roku 1997 v Krušných horách se objevují dvě další fakta podporující tuto hypotézu. ŠRÁMEK (1998) uvádí, že k poškození došlo zejména v oblasti mezi Klínovcem a Cínovcem, kde se dle interpolované mapy nachází oblast nejvyššího stupně napadení, a dále, že poškození břízy se vyskytlo zejména nad hranicí nízké inverzní oblačnosti, jejíž hranice se vyskytovala v rozmezí 600-800 m n. m. (ŠRÁMEK, 1998). Tato hranice tak zhruba odpovídá hranici nalezené v rámci využití klasifikačního modelu.

Pro podrobnější rozbor vztahu mezi rozvojem napadení a výskytem časných a pozdních mrazů, stejně tak jako pro rozbor vztahu mezi vývojem počasí v roce 1997 a rozvojem napadení smrků pichlavých, by bylo nutné analyzovat meteorologické údaje i z dalších let a tyto doplnit o údaje o fenologii stromů v dané oblasti.

Jak bylo uvedeno v předchozí podkapitole, součástí této práce nebylo pedologické šetření prováděné na zkusných plochách. Jako faktor poškození, a to působící samostatně nebo společně s výše prezentovanou hypotézou o vlivu pozdních mrazů, tak nelze vyloučit vliv výživy na porosty v dané oblasti. V celé oblasti se nacházejí kyselé půdy, přičemž

kyselost půdy je faktorem ovlivňující příjem minerálních prvků (TOMÁŠKOVÁ a KUBÁSEK, 2015).

V rámci hledání nejlepšího klasifikačního modelu se ukázalo, že ovlivnění stanoviště vodou může hrát v určitých případech kladnou roli. Možný vztah mezi atributem „ovlivnění stanoviště vodou“ a minerální výživou nelze vyloučit, protože lze předpokládat, že v terénních depresích je dostupnost živin vyšší (díky akumulaci mobilních prvků) než v místech s konvexním tvarem terénu.

Jedním z faktorů výživy, který rovněž v rámci předložené práce nebyl brán v potaz, bylo provedení vápnění porostů. V literatuře se lze setkat s pozitivním (ŠRÁMEK et al., 2014) i negativním (VAŠÍČEK a KUČERA, 2015) názorem na vliv vápnění na výživu porostů a vývoj vrstvy nadložního humusu. Pro posouzení celkového vlivu výživy by bylo potřeba mít detailní podklady o rozsahu a intenzitě vápnění, a dále také rozborů půdy. FIALA et al. (2017) prováděli v Krušných horách podobný výzkum. Dle jejich zjištění v případě Ca a Mg došlo k nárůstu obsahu v půdě i v asimilačních orgánech. Pokles byl zaznamenán u draslíku. Ten je pro rostliny důležitý pro vyžrávání pletiv (MENGEL et al., 2001), a dále je například nezbytný pro fungování svěracích buněk průduchů (TOMÁŠKOVÁ a KUBÁSEK, 2016). Celkově FIALA et al. (2017) uvádí lepší úroveň a vyrovnanost výživy na vápněných plochách.

6.4 Doporučení pro další výzkum

S ohledem na budoucí výzkum je možné doporučit, aby případná meteorologická pozorování probíhala již od začátku roku [např. výkyvy teploty nad 0° C byly zaznamenány již v lednu ŠRÁMEK, (1998)], a tato měření by zároveň měla v období počátku fyziologické aktivity probíhat s krokem cca 1-2 hodiny. URBAN (2014) uvádí zjištění dalších autorů týkající se náchylnosti k poškození stromů mrazem. Již hodnota mezi -2 a -3 °C trvající po dobu 3-4 hodin může významně poškodit a dehydratovat pletiva stromů, přičemž specificky jmenuje i smrk ztepilý. V případě využití průměrování například v termínech 7, 14 a 21 hodin (průměr teplot využíváný v klimatologii) nebo i tříhodinovým krokem (synoptické termíny), může dojít ke ztrátě důkazu o výskytu mrazové periody.

Pro vyvrácení nebo potvrzení hypotézy o vlivu mrazu by měla probíhat fenologická pozorování, a to nejméně v období od počátku fyziologické aktivity do dosažení délky nových letorostů min 5 cm. Od této délky dle LANGVALL et al. (2001) dochází ke zlepšení odolnosti smrků ztepilých proti mrazu. Pozornost by měla být rovněž věnována období podzimu a vlivu časných mrazů na pupeny a letošní letorosty (například z hlediska jejich vyžrálosti v období výskytu prvních mrazů). Podstatným obdobím z hlediska dostupných

klimatických údajů (např. SCHOŘÁLKOVÁ, 2015) se jeví září, kdy se již mohou první mrazy vyskytnout.

Pro finální posouzení vlivu výživy na napadení by bylo potřeba provést detailní rozbory půdy a obsahu živin v letorostech a jehličí. Následné srovnání výsledků mezi plochami vykazující nízké hodnoty napadení s plochami s vysokou hodnotou napadení by mohlo odhalit případnou závislost mezi výživou a mírou napadení.

Pro vyloučení vlivu nevhodné provenience by bylo vhodné provést analýzu údajů o původu reprodukčního materiálu nejvíce a nejméně poškozených porostních skupin a provést jejich srovnání. V případě nedostupnosti takovýchto podkladů se nabízí možnost provedení genetické analýzy.

7 ZÁVĚR

V rámci diplomové práce byla provedena analýza hodnocení napadení smrku ztepilého (*Picea abies*) kloubnatkou smrkovou (*Gemmamyces piceae*). Následně s využitím algoritmu J48 v prostředí softwaru Weka v. 3.8.2. byl nalezen klasifikační rozhodovací model definující nejsilnější pravidla pro zatřídění TZP dle poškození. Výsledky hodnocení napadení byly interpolovány a byla vytvořena tematická mapa napadení. S využitím rozhodovacích pravidel získaných v programu Weka byla provedena klasifikace porostních skupin a byl vytvořen atlas napadení porostů kloubnatkou smrkovou.

Nejsilnějším rozhodovacím pravidlem bylo vyhodnoceno zatřídění do věkové kategorie, následovalo ovlivnění stanoviště vodou a výskyt v ohnisku napadení (LS Litvínov). Ve třetí úrovni se mezi parametry klasifikace objevily atributy související s geomorfologií (nadmořská výška a sklon). Rozbor dat získaných při hodnocení i oba mapové výstupy ukazují, že hlavní oblastí napadení je oblast LS Litvínov, nicméně napadení se vyskytuje s různou intenzitou v rámci celého geomorfologického celku Krušné hory.

S ohledem na informace dostupné v literatuře, výsledky hodnocení napadení za rok 2017 a z něj odvozeného modelu, byla vyslovena hypotéza, že podstatným faktorem napadení smrků ztepilých i pichlavých může být vliv pozdních a časných mrazů. Pro potvrzení, nebo vyvrácení této hypotézy byly dále uvedeny možné oblasti dalšího výzkumu.

Přestože v současné době pominula potřeba výsadeb smrku pichlavého jakožto imisím odolného druhu, schopnost kloubnatky smrkové napadat i jiné druhy smrků, včetně naší nejdůležitější hospodářské dřeviny, dává výzkumu tohoto patogenu mimořádně silné opodstatnění a význam. Velké ohrožení představuje kloubnatka rovněž pro porosty *P. pungens* v severní Americe, které rostou v podmínkách podobných těm v Krušných horách (ČERNÝ et al., 2016). Výzkum tak v budoucnu může mít i mezinárodní přesah.

8 LITERATURA

BENISTON, M. *Mountain weather and climate: A general overview and a focus on climatic change in the Alps*. Hydrobiologia, 2006, vol 56, p. 3-16.

Hydrometeorologický ústav: *Atlas podnebí Československé republiky: měřítko 1:1000000: obecné kuželové konformní zobrazení*. 1. vyd. Praha: Hydrometeorologický ústav a Ústřední správa geodézie a kartografie, 1958, 13 s.

CASAGRANDE, F. *Ricerche biologiche e sistematiche su particolari ascomiceti pseudosferiali. Gemmamyces piceae parassita sulle gemme di alcune Picea spp.* Phytopathologische Zeitschrift. 1969, vol. 66, no. 2, s. 119-25.

ČERNÝ, A. *Lesnická fytopatologie*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1976, 347 s.

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

Česká geologická služba (2012): *Mapa půdních typů 1:50 000*. [online] Poslední úprava 1. 12. 2012. Praha: Česká geologická služba [cit. dne 29. 3. 2018]. Dostupné na WWW <http://mapy.geology.cz/arcgis/services/Pudy/pudni_typy50/MapServer/WmsServer>

Česká geologická služba (2016): *Mapa půdních typů 1:1 000 000*. [online] Praha: Česká geologická služba [cit. dne 29. 3. 2018]. Dostupné na WWW <http://mapy.geology.cz/arcgis/services/Inspire/Pudni_typy/MapServer/WMServer>

Česká geologická služba (2017): *Geologická mapa 1 : 500 000*. [online] Poslední úprava 18. 9. 2017. [cit. dne 21. 3. 2018]. Dostupné na WWW <https://mapy.geology.cz/arcgis/rest/services/Geologie/geologicka_mapa500/MapServer>

ČHMÚ. *Mapy charakteristik klimatu*. [online] Český hydrometeorologický ústav [cit. dne 21. 3. 2018]. Dostupné na WWW <<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-charakteristik-klimatu>>

DEMEK, J. (Ed.); MACKOVČIN, P. (Ed.); BALATKA, B.; BUČEK A.; CIBULKOVÁ, P.; CULEK, M.; ČERMÁK, P.; DOBIÁŠ, D.; HAVLÍČEK, M.; HRÁDEK, M.; KIRCHNER, K.; LACINA, J.; PÁNEK, T.; SLAVÍK, P.; VAŠÁTKO, J. *Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČR*. 2. upravené vydání. Brno: MŽP ČR, 2006, 582 s. ISBN 80-86064-99-9.

FIALA, P., REININGER, D., SAMEK, T. *Chemismus půdního prostředí a jehlic smrku ztepilého (Picea abies /L./ Karst.) ve vápněných a kontrolních porostech Krušných hor*. Zprávy lesnického výzkumu, vol. 62, no. 1, Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2017, s. 23-32.

FIELD, CH. B.; BAAROS, V. R.; DOKKEN, D. J.; MACH, K. J.; MASTRANDREA, M. D.; BILIR, T. E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K. L.; ESTRADA, Y. O.; GENOVA, R. C.; GIRMA, B.; KISSEL, E. S.; LEVY, A. N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P. R.; WHITE, L. L. (Eds.). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Cambridge (United Kingdom): Cambridge University Press, 1132 p. ISBN 978-1-107-64165-5

GISAT, s. r. o. *Data na stažení*. [online] 2007 [citováno dne 20. 2. 2018]. Dostupné na WWW <<http://www.gisat.cz/content/cz/produkty/data-ke-stazeni>>

GUISAN, A.; WEISS, S. B.; WEISS, A. D. *GLM versus CCA spatial modeling of plant species distribution*. Plant Ecology, 1999, vol. 143, no. 1, p. 107-122. ISSN 1385-0237

HAVRDOVÁ, L.; ZAHRADNÍK, D.; ČERNÝ, K.; CHUMANOVÁ, E.; ROMPORTL, D.; PEŠKOVÁ, V. *Mapa potenciálního poškození lesních prostou ČR nekrozou jasanu: Specializovaná mapa s odborným obsahem*. Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i., 2016, 27 s. ISBN: 978-80-87674-15-4

CHLUPÁČ, I.; BRZOBOHATÝ, R.; KOVANDA J.; STRÁNÍK, Z. *Geologická minulost České republiky*. Vyd. 1. Praha: Academia, 2002. 436 s. ISBN 80-200-0914-0.

KOLÁŘOVÁ, L. (Ed.). *Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2016*. [online] Český hydrometeorologický ústav, 2017. [cit. dne 26. 2. 2018] Dostupné na WWW <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/16groc/gr16cz/IV7_SO2_CZ.html>

KÖCK, G. *Ein für Österreich neuer Schädling auf Picea pungens*. Österreichische Garten-zeitung, Wien: K. K. Gartenbau-gesellschaft, 1918, vol. 13, s. 147–148.

JANŮ, S. *Ekologická studie houbového patogena, kloubnatky smrkové (Gemmamyces piceae [Borthw.] Cassagr.), v porostech smrku pichlavého v oblasti Flájské přehrady*. Diplomová práce, Ústí nad Labem: Fakulta životního prostředí, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2011, 69 s.

JENKS, G. F. (1977): *Optimal data classification for choropleth maps. Occasional Paper No. 2*. Lawrence (Kansas): Department of Geography and Meteorology, University of Kansas, 1977, 24 p.

JUŘIČKOVÁ, R. *Ekologická studie kloubnatky smrkové (Gemmamyces piceae [Borthw.] Cassagr.) ve vybraných lesních porostech na Krušných horách*. Diplomová práce, Ústí nad Labem: Fakulta životního prostředí, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2013 79 s.

KLIMO, E. *Lesnická pedologie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2000, 259 s.

KULA, E.; RYBÁŘ, V. *Proč odumírá bříza v Krušných horách?*. [online] Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce 1998, vol. 77, no. 1. [cit. dne 15.4.2018] Dostupné na WWW <<http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/da28f37425da72f7c12569e600723950/cda50b485eff2dbe8025683100441050?OpenDocument>>

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, vol. 141, p. 223-235.

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

LOBATO, A. K. S.; GONCALVES-VIDIGAL, M. C.; VIDIGAL FILHO, P. S.; ANDRADE, C. A. B.; KVITSCHAL, M. V.; BONATO, C. M. *Relationships between leaf pigments and photosynthesis in common bean plants infected by anthracnose*. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 2010, vol. 38, no. 1, p. 29–37.

MENGEL, K. E.; KIRBY, A.; KOSEGARTEN, H.; APPEL, T. *Principles of plant nutrition*. 5th edition. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001, 849 p. ISBN 978-94-010-1009-2

MIKOLÁŠ, M. *Ekologická studie kloubnatky smrkové (Gemmamyces piceae [Borthw.] Cassagr.) ve vybraných lesních porostech na Krušných horách*. Diplomová práce, Ústí nad Labem: Fakulta životního prostředí, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2014, 90 s.

MODLINGER, R.; PEŠKOVÁ, V. *Aktuální výskyt vybraných biotických škodlivých činitelů v porostech náhradních dřevin Krušných hor*. In: KNÍŽEK (Ed.): *Škodliví činitelé v lesích Česka 2016/2017 – Praktická ochrana lesa v současných podmínkách*. Sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí. Průhonice, 19. 4. 2017., 2017, s 60-61.

NAUMOV, N. A. *Mikologicheskie zametki. O neskolkich novykh ili maloizvestnykh vidach*. Bolezni Rastenij, 1925, vol. 14, s. 137-149.

PEŠKOVÁ, V.; SOUKUP, F. *Současná situace v porostech smrku pichlavého v Krušných horách*. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 2013, vol. 92, no. 10, s. 46-47.

PEŠKOVÁ, V.; SOUKUP, F. *Houbové choroby v lesích Česka v roce 2014*. In: KNÍŽEK, M. (ed.): *Škodliví činitelé v lesích Česka 2014/2015*. Sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí. Průhonice, 23. 4. 2015. Zpravodaj ochrany lesa, 2015, s. 17-18. ISBN 978-80-7417-091-1

PEŠKOVÁ, V.; SOUKUP, F. *Houbové choroby v lesích Česka v roce 2015* In: KNÍŽEK, M. (Ed.): *Škodliví činitelé v lesích Česka 2015/2016*. Sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí. Průhonice, 14. 4. 2016. 2016, s 20-22. ISBN 978-80-7417-107-9

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

PEŠKOVÁ, V.; TOMÁŠKOVÁ, I.; MODLINGER, R.; LORENC, F.; DUŠEK, D.; KACÁLEK, D.; VLNIEŠKOVÁ, T.; SAMEK, M.; BAŤA, D. *Vliv faktorů prostředí na napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou a návrh praktických postupů omezujících její šíření – Dílčí technická zpráva za rok 2017*. Praha: Fakulta lesnická a dřevařská, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2018, 46 s.

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

PLÍVA K.; ŽLÁBEK I. *Přírodní lesní oblasti ČSR*. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství ČSR, Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1986, 315 s.

POKORNÝ, R.; ŠPLÍCHALOVÁ, L. *Srovnání rekonstrukce vybraných porostů náhradních dřevin v Krušnohoří clonnou sečí a holosečí*. In: KACÁLEK, D., JURÁSEK, A., NOVÁK, J., SLODIČÁK, M (eds.) *Stabilizace funkcí lesa v antropogenně narušených a měnících se podmínkách prostředí*. 12. Mezinárodní symposium věnované diskuzi otázek pěstování lesů, Opočno, Dobruška, 28.-29. 6. 2011. 2011, 276 s. ISBN 978-80-7417-039-3

POSPÍŠIL, F.; POSPÍŠIL, J. *Poškození smrku pichlavého kloubnatkou v Krušných horách*. In. KNÍŽEK, M. (Ed.) *Škodliví činitelé v lesích Česka 2010/2011*. Sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí Průhonice, 12. 4. 2011. Strnady:

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., 2011, 78 s. ISBN 978-80-86461-12-0

QUINLAN, J. R. *C 4.5 Programs for Machine Learning*. Morgan Kaufmann Publishers. 1993, 270 p. ISBN:1-55860-238-0

DE REU, J.; BOURGEOIS, J.; BATS, M.; ZWERTVAEGHER, A.; GELORINI, V.; DE SMEDT, P.; CHU, W.; ANTROP, M.; DE MAEYER, P.; FINKE, P.; VAN MEIRVENNE, M.; VERNIERS, J.; CROMBÉ, P. *Application of the topographic position index to heterogenous landscapes*. *Geomorphology*, 2013, vol 186, s. 39-49.

ŠEFL, J. *Kloubnatka smrková (Gemmamyces picea) ve vybraných porostech v oblasti Flájské přehrady v letech 2010 a 2012*. *Studia Oecologica*, Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2013, vol. 7, no. 1, s. 59-70.

SCHOŘÁLKOVÁ, I. *Ekologická studie houbového patogena, kloubnatky smrkové (Gemmamyces piceae [Borthw.] Casagr.) v porostech smrku pichlavého v oblasti Flájské přehrady*. Diplomová práce, Ústí nad Labem: Fakulta životního prostředí, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2015, 69 s.

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

ŠRÁMEK, V. *Význam meteorologických faktorů při poškození břízy v Krušných horách v roce 1997*. [online] Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 1998, vol. 77, no. 4. [cit. dne 15. 4. 2018] Dostupné na WWW <<http://www.mzp.cz/ris/ais-ris-info-copy.nsf/da28f37425da72f7c12569e600723950/f09718a421b7a3e080256833003cddd3?OpenDocument>>

ŠRÁMEK, V.; NOVOTNÝ, R.; FIALA, P.; NEUDERTO VÁ-HELLEBRANDOVÁ, K.; REININGER, D.; SAMEK, T.; ČIHÁK, T.; FADRHO NSOVÁ, V. (2014): *Vápnění 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.; SLODIČÁK, M. *Lesnické hospodaření v Krušných horách – Aktualizace studie*. [online] Strnady: Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., 2015, 196 s. [cit. dne 10. 4. 2018] Dostupné na WWW <http://www.vulhm.cz/sites/File/Informatika/studie_krusne_hory.pdf>

TOMÁŠKOVÁ, I.; KUBÁSEK, J. *Fyziologie lesních dřevin I.: Fyziologie produkce a stresy rostlin*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze. 2016, 267 s. ISBN: 978-80-213-2608-8

ÚHÚL *Přehled lesních typů a souborů lesních typů v ČR*. [online] Brandýs nad Labem: Ústav pro hospodářskou úpravu lesu Brandýs nad Labem. Poslední úprava 27. 1. 2015. 2003 [cit. dne 23. 3. 2018] Dostupné na WWW <http://www.uhul.cz/images/typologie/tab_LT_web_F.pdf>

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, vol 75, no. 4, p. 367-374.

VAVŘÍČEK, D., KUČERA, A. *Lesnická pedologie pro posluchače LDF Mendelu v Brně*. [online] Brno: Lesnická a dřevařská fakulta. Mendelova univerzita v Brně, 2015, 184 s. Poslední úpravy 19. 2. 2015. [cit. dne 23. 3. 2018] Dostupné na WWW <https://akela.mendelu.cz/~xcepl/inobio/skripta/Zaklady_lesnicke_pedologie_old.pdf>

VLNIEŠKOVÁ, T. *Vybrané fyziologické parametry smrku ztepilého po napadení kloubnatkou smrkovou*. Diplomová práce. Praha: Fakulta lesnická a dřevařská, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2017, 89 s.

WINTON, L. *Forest & Grassland Health - Spruce Bud Blight* [online] Forest Service, United States Department of Agriculture, 2017. [cit. dne 17. 2. 2018] Dostupné na WWW <<https://www.fs.usda.gov/detailfull/r10/forest-grasslandhealth/?cid=FSEPRD535386&width=full>>

YUAN, Z.-Q.; WANG, X.-W. *A Taxonomic Study on Fungi Associated With Spruce Bud Blight in China*. *Mycotaxon*, 1995, vol 53, p. 371-376.

ZAHRADNÍK, P.; HOLUŠKA, J.; KNÍŽEK, M.; LIŠKA, J.; LUBOJACKÝ, J.; PEŠKOVÁ, V.; VÉLE, A.; ZAHRADNÍKOVÁ, M. *Výsledky výzkumu útvaru LOS uplatnitelné v praxi*. In: KNÍŽEK, M. (ed.): *Škodliví činitelé v lesích Česka 2014/2015*. Sborník referátů z celostátního semináře s mezinárodní účastí. Průhonice, 23. 4. 2015. Zpravodaj ochrany lesa, 2015, s. 47-58. ISBN 978-80-7417-091-1

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1 Výskyt kloubnatky smrkové (*Gemmamyces piceae*) na porostech *P. pungens* v České republice (převzato z ČERNÝ et al., 2016). 14
- Obr. 2 Pupeny napadený kloubnatkou smrkovou (*Gemmamyces piceae*) (zdroj: V. Pešková)..... 15
- Obr. 3 Schéma životního cyklu patogenu (šrafované šipky znázorňují období zvýšeného výskytu, tečkované vyjadřují sporadický výskyt; modrá barva je asociována s nepohlavním stádiem, oranžová s pohlavním stádiem) (sestaveno autorem dle ČERNÝ et al., 2016). 16
- Obr. 4 Histogram zjištěného výskytu vývojového stádia patogenu kloubnatky smrkové na smrku pichlavém v oblasti přehrady Fláje v letech 2010-2013 a 2014 s vyznačeným mediánem [zdroj: JANŮ (2011), JUŘICKOVÁ (2013), MIKOLÁŠ (2014) a SCHOŘÁLKOVÁ (2015)]. 22
- Obr. 5 Geomorfologické členění přírodní lesní oblasti – Krušné hory (DEMEK et al., 2006). 25
- Obr. 6 Geologická mapa přírodní lesní oblasti Krušné hory (převzato z ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, 2017). 25
- Obr. 7 Mapa půdních typů přírodní lesní oblasti Krušné hory (převzato z ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, 2016). 27
- Obr. 8 Příklad porostní mapy doplněné o identifikátor porostních skupin a zvýraznění porostu se zastoupením smrku pichlavého. 30
- Obr. 9 Rozložení trvalých zkusných ploch v přírodní lesní oblasti Krušné hory založených v roce 2016-2017. 32
- Obr. 10 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v oblasti PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle věkových kategorií (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky představují odlehlé hodnoty). 34
- Obr. 11 Srovnání výsledků hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách na LS Litvínov a okolních lesních správách v roce 2017 rozdělené dle věkových kategorií (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky představují odlehlé hodnoty). 35

- Obr. 12 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v oblasti PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle lesních vegetačních stupňů (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí). 36
- Obr. 13 Srovnání výsledků hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách na LS Litvínov a okolních lesních správách v roce 2017 rozdělené dle lesních vegetačních stupňů (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí). 36
- Obr. 14 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v oblasti PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené na stanoviště ovlivněná a neovlivněná vodou (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí). 37
- Obr. 15 Srovnání výsledků hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách na LS Litvínov a okolních lesních správách v roce 2017 rozdělené dle stanoviště na ovlivněná a neovlivněná vodou (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky představují odlehle hodnoty). 38
- Obr. 16 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v oblasti PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle vzdálenosti porostů/etáží se zastoupením SMP od porostu, kde probíhalo hodnocení (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí). 38
- Obr. 17 Srovnání výsledků hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách na LS Litvínov a okolních lesních správách v roce 2017 rozdělené dle vzdálenosti porostů/etáží se zastoupením SMP od porostu, kde probíhalo hodnocení (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí). 39
- Obr. 18 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v oblasti PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle pásma ohrožení lesů imisemi (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky představují odlehle hodnoty). 40
- Obr. 19 Srovnání výsledků hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách na LS Litvínov a okolních lesních správách v roce 2017 rozdělené dle pásem imisního ohrožení lesů (křížek reprezentuje průměr,

střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky představují odlehlé hodnoty).	41
Obr. 20 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v oblasti PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle zakmenění hodnocených porostů (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí).	42
Obr. 21 Srovnání výsledků hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách na LS Litvínov a okolních lesních správách v roce 2017 rozdělené dle zakmenění (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí).	42
Obr. 22 Srovnání hodnocení poškození smrku ztepilého s nadmořskou výškou trvalé zkusné plochy v Krušných horách v roce 2017.	43
Obr. 23 Srovnání výsledků hodnocení poškození smrku ztepilého provedeného v Krušných horách v roce 2017 a procentuální zastoupení porostů se zastoupením smrku pichlavého v kruhové oblasti okolo zkusné plochy o poloměru 200, 500 a 1000 m.....	44
Obr. 24 Srovnání hodnocení poškození smrku ztepilého v Krušných horách v roce 2017 se sklonem stanoviště odvozeného ze SRTM DEM 100 (GISAT, S. R. O., 2007)....	45
Obr. 25 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v oblasti PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle terénního tvaru (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí).....	46
Obr. 26 Srovnání výsledků hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách na LS Litvínov a okolních lesních správách v roce 2017 rozdělené dle typů terénu (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky představují odlehlé hodnoty).....	47
Obr. 27 Příklad výstupu algoritmu J48 s výskytem faktických chyb.	53
Obr. 28 Výsledný nejpřesnější model klasifikace provedené v programu Weka algoritmem J48 na podkladě údajů o hodnocení napadení kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v Krušných horách v roce 2017.	55
Obr. 29 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v oblasti PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené	

dle zakmenění hodnocených porostů (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí).	80
Obr. 30 Srovnání hodnocení poškození smrku ztepilého se vzdáleností trvalé zkusné plochy od porostů se zastoupením smrku pichlavého v metrech v Krušných horách v roce 2017.....	80
Obr. 31 Srovnání hodnocení poškození smrku ztepilého se vzdáleností trvalé zkusné plochy od porostů se zastoupením smrku pichlavého v metrech v Krušných horách v roce 2017.....	81
Obr. 32 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle půdního typu trvalé zkusné plochy odvozené z mapy půdních typů 1:50 000 (ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, 2012) (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky reprezentují odlehlé hodnoty).	81
Obr. 33 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle půdního typu trvalé zkusné plochy odvozené z mapy půdních typů 1:50 000 (ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA, 2012) (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí).	82
Obr. 34 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle expozice zkusné plochy vypočtené ze SRTM DEM 100 (GISAT, S. R. O., 2007) (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky reprezentují odlehlé hodnoty).	82
Obr. 35 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle expozice zkusné plochy vypočtené ze SRTM DEM 100 (GISAT, S. R. O., 2007) (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí).	83
Obr. 36 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle expozice zkusné plochy na osm směrů vypočtených ze SRTM DEM 100 (GISAT, S. R. O., 2007) (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky reprezentují odlehlé hodnoty).	83

Obr. 37 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou na trvalých zkusných plochách v PLO 1 – Krušné hory v roce 2017 rozdělené dle expozice zkusné plochy na osm směrů vypočtených ze SRTM DEM 100 (GISAT, s. r. o., 2007) (křížek reprezentuje průměr, střední linie polohu mediánu, konce úseček 1,5 interkvartilového rozpětí, kroužky reprezentují odlehlé hodnoty). 84

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Klimatické okrsky vyskytující se v zájmové oblasti (HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV, 1958).....	26
Tab. 2 Klasifikační stupnice pro hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou využitá při hodnocení porostů v roce 2017.....	33
Tab. 3 Výsledky hodnocení napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou v PLO 1 v roce 2017 (PEŠKOVÁ et al., 2018).	33
Tab. 4 Přehled atributů využitých pro analýzu.	49
Tab. 5 Příklad výsledků klasifikace v programu Weka 3.8.2 pro klasifikační třídu „napadení“	51
Tab. 6 Srovnání výsledků různě diskretizované klasifikační třídy „napadení“ a „vážený průměr napadení“ klasifikačním algoritmem J48.....	52
Tab. 7 Srovnání přesnosti interpolace metodami IDW a TIN Plate Spline.....	56
Tab. 8 Počet porostů zatříděných do jednotlivých stupňů napadení.....	57
Tab. 9 Výsledky testování přesnosti modelu.	85

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1 Doplnkové grafy hodnocení napadení kloubnatkou smrkovou
- Příloha č. 2 Výsledky algoritmu J48 při využití různých vstupních parametrů pro budování modelu
- Příloha č. 3 Výstup interpolace hodnot napadení smrku ztepilých kloubnatkou smrkovou na základě hodnocení provedeného v Krušných horách v roce 2017 – mapa Napadení smrku ztepilých kloubnatkou smrkovou
- Příloha č. 4 Výstupy nejpřesnějších rozhodovacích modelů [CD-RW]
- Příloha č. 5 Výstup klasifikace porostů metodou rozhodovacích stromů – mapový list C31
- Příloha č. 6 Výstup klasifikace porostů metodou rozhodovacích stromů – mapový list J8
- Příloha č. 7 Atlas napadení smrku ztepilého kloubnatkou smrkovou v Krušných horách v roce 2017 [CD-RW]