

Česká zemědělská univerzita
Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra ochrany lesa a myslivosti



**Zhodnocení vlivu obranných opatření proti lýkožroutu smrkovému
(*Ips typographus*) v podmínkách po velkoplošné větrné kalamitě
v modelovém území**

Autor: Bc. Josef Svoboda
Vedoucí práce: prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

PROHLÁŠENÍ:

PROHLAŠUJI, ŽE JSEM TUTO DIPLOMOVOU PRÁCI VYPRACOVAL SAMOSTATNĚ A POD VEDENÍM PROF. ING. MARKA TURČÁNIHO, PHD. A POUŽIL JSEM POUZE PUBLIKACE, KTERÉ JSOU ŘÁDNĚ CITOVÁNY.

.....

BC. JOSEF SVOBODA

PODĚKOVÁNÍ:

Tímto bych chtěl poděkovat panu prof. Ing. Marku Turčánimu, PhD., doc. RNDr. Tomáši Hlásnému, PhD., a Tomáši Sýsovi, za všechny konzultace, odbornou pomoc a cenné rady.

OBSAH

ABSTRAKT	6
1. ÚVOD	7
2. CÍLE PRÁCE	8
3. ROZBOR PROBLEMATIKY	9
3.1 LÝKOŽROUT SMRKOVÝ – OBECNÁ CHARAKTERISTIKA	9
3.2 NÁCHYLNOST A REZISTENCE HOSTITELSKÝCH STROMŮ VŮČI NAPADENÍ LÝKOŽROUTEM SMRKOVÝM .	16
3.3 PARAZITOIDI LÝKOŽROUTA SMRKOVÉHO	20
3.4 HOSPODÁŘSKÝ VÝZNAM A MANAGEMENT LÝKOŽROUTA SMRKOVÉHO	22
4. POUŽITÉ METODICKÉ POSTUPY	32
4.1 METODIKA TERÉNNÍHO ŠETŘENÍ	32
4.2 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT	35
5. CÍLOVÉ ÚZEMÍ	37
6. VÝSLEDKY	43
6.1 CELKOVÝ ROZSAH ZPRACOVANÝCH DAT	43
6.2 ANALÝZA NAPADENÍ POROSTŮ LÝKOŽROUTEM SMRKOVÝM V REVÍRU PEKELSKO	44
7. ZÁVĚRY A DISKUSE.....	56
POUŽITÁ LITERATURA.....	58
OBRAZOVÁ PŘÍLOHA	65

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá managementem lýkožrouta smrkového při jeho přemnožení na LHC Ledec nad Sázavou a to na revírech Pekelsko a Vostojávka po vichřici Kyril a vichřici Ivan. Větrné kalamity zasáhly revíry v letech 2007 a následně 2008. V roce 2008 nebyla zcela zpracována větrná kalamita a došlo ke gradaci kůrovce, který pokračoval i přes veškerá obranná opatření i v letech 2009 a 2010. Zmapováno bylo území obou revírů od prvního úderu větru 2007 až po kůrovcovou kalamitu v roce 2010. Výsledky GPS měření byly převedeny do geostatických analýz dat spolu s daty o nahodilých těžbách a obranných opatřeních na mapovaných územích. Vytvořená databáze údajů popisujících napadení porostů lýkožroutem smrkovým v území LHC Ledec nad Sázavou a základnímu vyhodnocení těchto údajů. Nashromážděné data byly o odchycích lýkožrouta do feromonových lapačů, objemů nahodilých těžeb v důsledku poškození větrem, napadení kůrovcem nebo z jiných důvodů, rozsahu napadených porostních stěn apod. Veškerá data jsou prostorově vztažena formou souřadnic zaměřených pomocí GPS.

Abstract

This thesis deals with the management of the spruce bark beetle outbreak in the LHC Ledec Sazavou on the coalfields and Pekelsko Vostojávka a gale and storm Kyril Ivan. Wind Beats calamity struck in 2007 and 2008th In 2008, wind power has been fully processed and there was a calamity of bark beetle gradation, which continued in spite of all defensive measures in the years 2009 and 2010. Was mapped to the two districts since the first blow of wind from 2007 to the bark beetle calamity in 2010. The results of GPS measurements were converted into geostatic analysis of data together with data on the incidental harvesting and defensive measures to mapped areas. Create a database of information describing the bark beetles attack spruce stands in the LHC over Ledec Sazavou and basic evaluation of these data. Data were collected on the capture of the bark beetle pheromone traps, random felling volumes due to wind damage, bark beetle infestation, or for other reasons, contested the extent of stand walls, etc. All data are spatially referenced by GPS coordinates oriented.

1. Úvod

Lýkožrout smrkový (*Ips typographus*) je nejvážnějším škůdcem smrkových porostů v Evropě. Již v 17. a pak 18. a 19. století jsou zprávy o jeho kalamitní přemnožení v původních lesích střední Evropy. Ve 20. století našel příhodné podmínky pro svůj vývoj zvláště ve smrkových monokulturách, jimiž byly nahrazeny či postupně změněny původní smíšené lesy.

Ve střední Evropě patří mezi nejvýznamnější škůdce starších smrkových porostů. Je to typický sekundární škůdce, který v první řadě napadá čerstvě vytěžené smrkové dříví, polomy a fyziologicky oslabené stojící stromy (imisemi, suchem, václavkou apod.). Časová a prostorová dynamika napadení smrkových porostů lýkožroutem již byla studována, získané poznatky jsou však značně nekompletní. Tato diplomová práce se snaží vytvořit databázi dat o postupu napadení porostů lýkožroutem smrkovým v LHC Ledec nad Sázavou, provést základní analýzu těchto dat a poskytnou je ve vhodné podobě pro další výzkum.

Za poslední čtyři roky se přehnal přes revíry na LHC Ledec nad Sázavou tři větrné kalamity. První se přehnal orkán Kyril a to v noci z 18. na 19. ledna 2007 jeho ničivá síla způsobila polomy a vývraty, které se zpracovávaly téměř po celý rok. Na jaře roku 2008 se přehnal vichřice Emma následovaná 25. června Ivanem, který na LHC Ledec nad Sázavou způsobil daleko větší živelné škody než dvě předchozí. Jeho ničivá síla dopadla nejvíce na revíry Vostojávka a Pekelsko. Takto ničivou sílu nikdo nepředpokládal a s tím vznikly problémy se zpracováním, neboť stávající firma nebyla připravena na tak obrovskou zakázku pohybující se v řádech desetitisíců kubiků těžby. Bylo vyhlášeno nové výběrové řízení a průtahy s ním spojené stály drahocenný čas potřebný ke zpracování tak rozsáhlé kalamity. Práce začaly, až po třech měsících od úderu vichřice Ivan a to má v této oblasti obrovské následky spojené s nárůstem populace lýkožrouta smrkového. Jeho nárůst v posledních letech dokumentuje tato práce, která se zabývá managementem tohoto škůdce, při jeho přemnožení na těchto revírech. Zaměřování pomocí GPS technologie spočívá v přesné lokalizaci ohnisek aktivity škůdce a dává tak obraz o jeho šíření v období 2007 – 2010. Toto měření probíhá společně s lokalizací všech obranných opatření a těžeb, které na revírech proběhly.

Vytvořená databáze skýtá východisko pro komplexní analýzu šíření kůrovce v uvedeném území, a v případě dostupnosti dat LHP, také k vyhodnocení porostních predispozic k napadení smrkových porostů kůrovcem. Významnou skutečností je poškození porostů větrem, výsledky dalšího výzkumu proto mohou být přínosné i pro návrh pokalamitního managementu území.

2. Cíle práce

Práce se zaměřuje na možnosti managementu kůrovce v oblasti postižené orkámem Kyril v Lesní správě Leděč nad Sázavou. Cílem práce je využít data lesních hospodářských plánů, lesní hospodářské evidence a zejména výsledků podrobného terénního šetření pro vyhodnocení časové a prostorové dynamiky napadení smrkových porostů kůrovcem a vyvození závěrů a doporučení umožňujících optimalizaci managementu kůrovce. Časové cíle práce jsou následující:

1. zpracovat rozbor problematiky týkající se managementu kůrovce v územích postižených větrnými kalamitami a poukázat na problémy a nedostatky využívaných postupů
2. vytvořit databázi obsahující data, které podrobně popisují prostorové rozložení všech opatření ochrany lesa, realizované v území LS Leděč n. Sázavou za období 2007-2010
3. s využitím nástrojů popisné statistiky a GIS vyhodnotit časový vývoj napadení porostů lýkožroutem smrkovým a výsledky přiměřeně interpretovat

3. Rozbor problematiky

3.1 Lýkožrout smrkový – obecná charakteristika

Lýkožrout smrkový – *Ips typographus* (L.) (Col.: Curculionidae, Scolytinae) se vyvíjí především na smrku spolu s dalšími příbuznými druhy kůrovců rodu *Ips*. Lýkožrouta smrkového je možné zaměnit pouze s lýkožroutem menším (*Ips amitinus*) nebo lýkožroutem severským (*Ips duplicatus*), kteří se s ním často vyskytují společně. Oba doprovodné druhy jsou však průměrně menší.

Vývojový cyklus lýkožrouta smrkového je následující. Během rojení vyhledávají dospělí brouci nové potravní zdroje důležité pro další vývoj. Do optimálního materiálu, kterým jsou zlomy a vývraty vzniklé během zimního období, se zavrtávají nejdříve samečci. Ti nejprve budují 2-4 dny tzv. snubní komůrku. Do připravené komůrky začne sameček lákat samičky, se kterými se páří. Počet nalákaných samiček se pohybuje od 1 do 5, nejčastěji však 2 až 3. Následně začnou samičky ze snubní komůrky hlodat mateřské chodby, které mají po bocích zářezy, kam jsou kladena jednotlivá vajíčka. Mateřské chodby jsou rovné, nezprohýbané (čímž se liší od požerků *Ips amitinus*), 6-12 cm dlouhé, 3-3,5 mm široké (čímž se liší od požerku *Ips duplicatus*, které jsou kratší a užší) a sledují podélnou osu kmene. Samička denně naklade 1-2 vajíčka, která přikrývá drtinkami. Klazení vajíček trvá 7-10 dní. Drtinky vzniklé při budování mateřské chodby jsou samičkou vytlačovány do snubní komůrky, odkud je sameček vyhazuje ven z požerku. Mateřské chodby bývají opatřeny také větracími otvory. Při jarním rojení bývají první vajíčka kladena 3-8 dní, v letním často i druhý den po závrtu brouka. Po vyklazení vajíček dospělci většinou hynou, samičky však mohou zakládat i sesterské pokolení. To je založeno na novém místě po krátkém regeneračním žíru. Takto vzniklý požerek je bez snubní komůrky. Martinek (1956, 1961) zjistil, že samičky mohou zakládat až 3 sesterská pokolení. Po 6-18 dnech se z vajíček líhnou larvy, které kolmo na mateřskou chodbu začnou hlodat larvové chodby. Doba vývoje larev je silně závislá na počasí. Na konci larvové chodby je kukelní komůrka s kuklou, na kterou může navazovat i požerek úživného žíru. Vzniká tak charakteristický požerek. Čerstvě vylíhlí brouci jsou zpočátku bílí, ale postupně žloutnou a dále tmavnou a z podkůry se prokousávají kulatými výletovými otvory. Těsně poté, co se vylíhnou mladí světlí brouci, začnou vyhledávat potravu k pohlavnímu dospívání. Tento žír se nazývá úživný neboli zralostní. Zralostní žír probíhá v případě dostatku potravy přímo v místě vývoje larvy (pak požerek zralostního žíru navazuje na kukelní kolébku) nebo se brouk odebírá ke zralostnímu žíru na jiné místo. Po ukončení

zralostního žiru brouci pohlavně dospívají a hromadně se rojí. Za normálních podmínek trvá celkový vývoj 6-10 týdnů.

Vajíčko - oválné, lesklé, bílé, 0,6-1,0 mm dlouhé

Larva – beznohá, rohlíčkovitá zahnutá, bělavá, s hnědavou silně chitinizovanou hlavou. Čerstvě vylíhlá larva (1. instar) je necelé 2 mm dlouhá, v poslední fázi vývoje (3. instaru) měří 5-7 mm

Kukla – bílá, volného typu (jsou patrné všechny budoucí vnější orgány – nohy tykadla atd.), na konci zadečku se dvěma trny, 5-6 mm dlouhá

Dospělec – válcovitý, 4,0-5,5 mm dlouhý, černohnědý, lesklý. Prohloubenina v zadní zkosené části krovek je matně lesklá, jemně tečkovaná, po stranách se čtyřmi páry zoubků: horní dva jsou malé, třetí je největší, před špičkou rozšířený a čtvrtý opět malý. Mezirýží na krovkách jsou netečkovaná. Ojedinelé tečky se objevují pouze na bočních mezirýžích. Brouk má na celém těle dlouhé odstálé řídké žluté ochlupení. Samička má čelo a přední okraj štítu hustěji ochlupené, středový hrbolek na čele je menší než u samečka (Zahradník 2004).

Lýkožrout smrkový (*Ips typhographus*) obývá areál rozšíření zahrnující Evropu a Asii. Je to původně horský druh, dnes však běžně žije na pahorkatinách i v nížinách (Skuhřavý 2002). Místo nejzápadnějšího výskytu jsou Pyreneje na španělsko-francouzských hranicích, nejvýchodněji je hranice japonský ostrov Hokkaidó. Severní hranice v Asii tvoří jižní oblast arktické tundry na 68°-69° stupni severní šířky, hranice jižního areálu probíhá nejsevernějším Kazachstánem, Mongolskem a severní Čínou (Skuhřavý 2002).

Živnou dřevinu tvoří v Evropě smrk ztepilý (*Picea abies*), na západní Sibiři smrk sibiřský (*Picea obovata*), na východě pak *Picea jezoensis*. V rámci areálu rozšíření velké množství druhů rodu *Picea*, *Pinus* a *Abies*. V Evropě, včetně České republiky, se objevuje na původních i introdukovaných druzích smrku, na modřínu, někdy na borovici nebo jedli (Skuhřavý 2002).



Obr. 1: Lýkožrout smrkový, larva (Foto: Horák 2010)



Obr. 2: Lýkožrout smrkový, kukla (Foto: Deml. 2010)



Obr. 3: Lýkožrout smrkový, imago (Foto: Dvořák. 2008)

Bioregulační komplex kůrovce – vnitro a mezidruhové soupeření

Lýkožrout smrkový (*I. typographus*) patří mezi druhy kůrovců, kteří ke svému vývoji kolonizují živé stromy svým hromadným náletem, řízeným prostřednictvím agregačního feromonu. Proto, aby bylo napadení úspěšné, musí být denzita brouků dostatečná k překonání odolnostního potenciálu stromu (Raffa & Berryman 1983).

Rostoucí hustota obsazení kmene však ovlivňuje i míru přežívání potomstva díky stoupající konkurenci o lýko a kanibalismu larev (Thalenhorst 1958). Samice lýkožrouta smrkového řeší tuto situaci časnějším opuštěním matečné chodby a založením sesterského pokolení, ale také snížením počtu kladených vajíček (Anderbrant 1990). Reprodukční úspěch lýkožrouta smrkového je odlišný probíhá-li kladení na stojících živých stromech či na ležících pokácených stromech (Hedgren & Schroeder 2004).

Dynamiku populace lýkožrouta smrkového ovlivňuje řada faktorů. Z biotických zdravotní stav porostů a z abiotických je to zejména teplota a srážky, vnitrodruhová a mezidruhová konkurence, mortalita způsobená predátory, parazitiody a patogeny (cf. Skuhravý 2002). Míra vlivu jednotlivých faktorů na populační dynamiku lýkožrouta smrkového podle gradační fáze (latentní, extenzivní a intenzivní) stanovil Thalenhorst (1958).

Jedna ze základních úvah o populační dynamice lýkožrouta je množství jedinců kolonizujících pouze jeden strom. Plocha kůry, která je k dispozici jednotlivým rodinám lýkožrouta smrkového se zmenšuje se stoupající hustotou, stejně významně ubývá i počet nakladených vajíček mateřskými samicemi (Thalenhorst 1958, Anderbrant 1990). Na základě studia 85 kmenů ze třech ohnisek, v místě s maximální hustotou náletu stanovil Martínek (1956) za typické, napadení v rozmezí 150-300 závrťů na 1 m² (s pravděpodobností 85%) a 301 až 500 matečných chodeb na 1 m² (s pravděpodobností 72%). Za optimální hustotu však Wermelinger (2004) považuje 500 matečných chodeb na m². Tato hustota by měla zaručovat nejvyšší počet přežívajících potomků. Obecně platné je, že se vrůstající hustotou roste i vliv vnitrodruhové konkurence na mortalitu (Begon a kol. 1997).

Nejvýznamnějším činitelem, který ovlivňuje, populační růst lýkožrouta smrkového považuje Martínek (1961) počet sesterských rojení. On jako významné pak považuje pouze ty faktory, které ovlivňují úspěšnost a množství sesterských pokolení. Počty sesterských přerojování jsou podle něj klimaticky podmíněny a nezávisí na populační hustotě. Názory na počet vajíček vykladených jednou samicí panuje v odborné literatuře značná nejednotnost. Podle Martíňka (1961) za klimaticky průměrných let přistupuje ve střední Evropě k první sesterské snůšce 2/3

samic původního počtu rodičovských brouků, druhou sesterskou snůšku pak prodělá 1/3 samic z těch které kladly při prvním sesterském přerojení. Martínek (1956) udává maximální počet vajíček u prvního sesterského rojení ve výši 122 kusů, počet vajíček během prvního sesterského rojení je podle Martíňka (1961) a je vždy vyšší než při prvním kladení. Pfeffer (1954) uvádějící počet vajíček v rozmezí 20-100 kusů v závislosti na tom zda samice prodělala sesterské rojení, průměrný počet stanoví na 60. Wermelinger (2004) uvádí velikost snůšky až do 80 vajíček na jednu samici. Anderbrant (1990) považující velikost sesterské snůšky závislou na výši prvního kladení. Počet kladených vajíček podle Zumra (1995) klesá s rostoucí nadmořskou výškou a pohybuje se mezi 25 (1200m n. m.) až 83 (500m n. m.).

Martínek (1961) dále upozorňuje, že v sesterských rojeních je kladeno větší množství (30%) vajíček (často ve skupince na konci mateřské chodby), která se dále nevyvíjejí. Thalenhorst (1958) na základě proměření plochy přehledných požerků a vydělením počtem příslušných larválních chodeb došel, k hodnotě 1,4cm² nutných pro výživu jedné jediné larvy. V ploše 1,4cm² jsou kromě části matečné chodby připadající na jednu larvu zahrnuty i neproduktivní prostory mezi jednotlivými larválními chodbami. Pokud hustota závrtů kolísá průměrně mezi 1,8-2,8 na 1dm² a průměrná hustota mateřských chodeb činí 303-465 na m², dosahovala mortalita larev vlivem vnitrodruhové konkurence cca 47-74% (celková mortality byla 68-85%) Švihra (1973).

Na prostorové konkurenci je přeměna z dospělé larvy v kuklu a mladého brouka nezávislá (Thalenhorst 1958). Na základě známého počtu larev při různých denzitách a příslušné mortalitě se maximum mladých brouků vyvine při 50 matečných chodbách na 1000cm² (Thalenhorst 1958).

Vyhledávání hostitelské dřeviny

Lýkožrout smrkový je agresivní druh kůrovců napadající smrk ztepilý, *Picea abies*. V malých populačních hustotách kolonizuje čerstvě polámané smrkové dřevo, ve vyšších napadá žijící stromy. Kolonizaci zahajují jednotliví samci, kteří vybírají hostitele. Způsob vyhledání vhodného hostitele ke kolonizaci je předmětem dlouhotrvající odborné diskuse (Byers a kol.1988). V obecné rovině je však všeobecně přijímán názor, že kůrovci vyhledávají hostitelský strom na základě hostitelských atraktantů a zrakových podnětů. Na rozdíl od mnoha druhů kůrovců však způsob vyhledávání hostitele u lýkožrouta smrkového není jednoznačně objasněn. Navzdory převládajícímu obecnému názoru, že jsou to hostitelské terpeny, které lýkožrouta smrkového k hostiteli navádějí, bylo překvapivě prokázáno, že tento druh je málo nebo vůbec hlavními terpenickými látkami atrahován (Byers 1988, Schlyter

1987a). Hlavní smrkové terpeny také nezvyšují atraktivitu agregačního feromonu lýkožrouta smrkového.

Oproti tomu bylo zjištěno, že lýkožrout smrkový je velmi odpuzován nehostitelskými vůněmi. Tato fakta vedou k formulaci hypotézy, že lýkožrout smrkový může nalézt vhodný strom ke kolonizaci víceméně náhodně během dispersního letu po vylíhnutí. Zastánci této teorie svůj názor opírají o tyto fakta: bylo prokázáno, že po vylíhnutí se lýkožrouti smrkový rozptylují v lesním porostu a mohou doletět až 40 km od místa vylíhnutí. Experimenty v letových komorách prokázaly, že dispersní let jednotlivců není kontinuální, ale je přerušován periodami odpočinku. Zastánci “teorie náhodného výběru” soudí, že během odpočinkových period mohou kůrovci navštívit i několik potenciálně vhodných hostitelských stromů a vyhodnotit jejich potenciál pro případnou kolonizaci na základě chemických (tzv. “close-range”) informací. V kůře mnoha stromů lze najít početné evidence o takových “kůrovčích návštěvách” načaté a opuštěné otvory. Má se totiž za to, že po přistání na strom závisí jejich rozhodnutí o vhodnosti stromu pro kolonizaci na složení respektive toxicitě smrkových terpenů a na přítomnosti zatím blíže nespecifikovaných pozitivních chemických a taktilních podnětů. Popsaný způsob vyhledávání hostitelského stromu je velmi odlišný od všeobecně vžitě představy, že lýkožrout smrkový si vybírá stromy vhodné pro kolonizaci na základě přítomnosti na dálku působících (long-range) specifických primárních atraktantů. Tuto “teorii náhodného výběru” podporuje fakt, že navzdory poměrně velkému úsilí, se doposud nepodařilo přesvědčivě prokázat, že hlavní terpeny smrku jsou pro lýkožrouta smrkového atraktivní. Hlavní terpeny smrku taktéž nezvyšují atraktivitu agregačního feromonu. Jakkoliv jsou uvedená data přesvědčivá, existenci primárních atraktantů nevyklučují. Teoreticky je možné spekulovat o možnosti, že se na vyhledávání hostitelského stromu podílejí doposud neznámé těkavé látky (Tømmerås & Mustaparta 1987). Elektrofyziologické studie provedené zmíněnými autory jasně ukazují, že na tykadlech lýkožrouta smrkového existují četné čichové receptory, které specificky reagují na těkavé látky uvolňované z kůry hostitelských i nehostitelských stromů (Mustaparta 1979, Tømmerås 1985).

Kolonizace hostitele

Když, dojde ke zvolení hostitelského stromu samci, začínají tvořit snubní komůrku a produkují agregační feromon, který láká samice k páření a obě pohlaví k další kolonizaci. Úspěšná kolonizace stromu závisí na populační hustotě kůrovců a také na odolnosti stromu. Odolnost smrků tradičně koreluje s obsahem pryskyřice, která se uvolňuje z pryskyřičných kanálků během zavrtávání brouků do kůry. Lepkává pryskyřice představuje pro ně fyzickou bariéru, která brání postupu hlodajících kůrovců. Ve vyšších koncentracích jsou pryskyřičné terpeny pro lýkožrouta smrkového toxické a repelentní. Toxicita je různá pro různé terpeny a v některých studiích, rezistence stromů vůči kůrovcům koreluje s vysokým obsahem myrcenu a limonenu. Například v jiných studiích se však podobné korelace nepodařilo prokázat a to především proto, že složení pryskyřice smrků je extrémně variabilní díky své genetické a fenotypické variabilitě, která odráží “zkušenost jednotlivých stromů” respektive specifické rozdíly ve fyziologii dané odlišnými biotickými a abiotickými podmínkami stanoviště. Pryskyřice, která se uvolňuje z pryskyřičných zásob bezprostředně po poranění nebo vniknutí patogenu představuje takzvanou primární respektive konstitutivní rezistenci. Kromě tohoto byla u smrků popsána ještě sekundární schopnost obrany vyvolaná patogenem nebo hmyzem v případě, že primární obranný systém selhal nebo nebyl dostatečně efektivní. Tato vedlejší nebo indukovaná obrana je soustředěna endogenními fytohormony a vede k tvorbě dalších pryskyřičných kanálků (traumatic resin ducts) a další produkci terpenů. Obrana indukovaná může být specifická pro konkrétní patogenní organismus a indukovaná pryskyřice může mít rozdílné chemické složení od uspořádané. Obecně se soudí, že se posloupný systém rezistence vyvinul s ohledem na energetickou náročnost a limitované zdroje uhlíku pro syntézu terpenů. Podle teorie má strom možnost “volby” rozmístění zdrojů do růstu nebo do obrany, podle toho, zda je nebo není ohrožen. Pokud není ohrožen, roste, pokud je ohrožen, využije všechny dostupné zdroje k obraně. Všechny formy rezistence souvisí samozřejmě s fyziologií stromu a dalšími biogenními a abiogenními faktory (Turčáni 2007).

3.2 Náchylnost a rezistence hostitelských stromů vůči napadení lýkožroutem smrkovým

Přirozená obrana stromu

Nejdůležitější příčinou chřadnutí dřevin v ČR je nedostatek vody a následná nízká obranyschopnost proti napadení fytofágy, v našich případech se jedná o kůrovce především o lýkožrouta smrkového. Obranou metodou je pryskyřice obsahující pro kůrovce toxické terpenoidy a fenolické látky. Při zavrtávání kůrovce dochází k výronu takzvané druhotné pryskyřice, která má za následek zastavení prvního náporu kůrovce (Mahffay 2004). Pryskyřice proudí pod tlakem v pryskyřičných kanálcích, vytváří mechanické a zároveň toxické bariéry, kterými se brání proti napadení (Hulcr 2003). Terpeny jsou uhlovodíky vytvářené při syntéze oleopryskyřice (Mahffay 2004).

Oleopryskyřice se hromadí v xylému jako běžný produkt fyziologických procesů. Oleopryskyřice obsahují především diterpeny (pryskyřičné kyseliny), malé množství těkavých monoterpenů a sesquiterpenů. Monoterpeny se skládají z deseti atomů uhlíku, kde je jeden hlavní uhlovodíkový řetězec. Sesquiterpeny jsou vytvářeny z patnácti atomů uhlíku a diterpeny obsahují dvacet atomů uhlíku (Mahffay 2004).

Při oslabení nedostatkem vody je strom napaden kůrovcem dostává se do biogenního stresu. Napětí se zvyšuje a strom se brání, vypouští množství toxické oleopryskyřice. Studie Lópeze (2007) poukazuje na to, že kůrovec je schopen využít některé látky z oleopryskyřice a syntetizovat agregační či antiagregační feromony. Ze studie dále plyne, že monoterpeny (+)- α -pinene, (-)- β -pinene a (+)-3-carene jsou pro kůrovce vysoce toxické, na kůrovce však také působí velmi atraktivně. Podle práce Wallen a Raffa v Mahaffay (2004) bylo zjištěno, že různé úrovně koncentrací monoterpenů především α -pinene zpomalují či odpuzují kůrovce od napadení stromu. Vysoké koncentrace α -pinene jsou inhibitory kolonizace, kde na druhou stranu střední koncentrace způsobují synergismus, kde se již kůrovec může zavrtat a vytvořit galerie (Wallen & Raffa in Mahffay 2004). Bylo prokázáno, že samičky *Dendroctonus frontalis* reagují na vyšší koncentrace monoterpenů produkovaných oslabenými stromy, samičky jsou schopny rozlišit oslabený strom od zdravého (Mahffay 2004).

Rovnováha mezi uhlíkem a živinami (carbon/nutrient balance - CNB) a rozložení růstu rostlinných částí (growth differentiation balance - GDB) vytváří hypotézy záměny jednosměrného prosazování růstu za obranu. Při vodním stresu dochází ke snížení růstu,

fotosyntézou syntetizovaný uhlík tak může vytvářet druhotné sloučeniny (Bryant 1983; Herms & Mattson 1992 in Turtola & Manninen 2003).

Koncentrace celkových monoterpenů a pryskyřičných kyselin je vyšší ve vzorcích dřeva borovice (*Pinus sylvestris*) než u smrku (*Picea abies*) (Turtola & Manninen 2003). Hlavní monoterpeny jsou u borovice (*Pinus sylvestris*) α -pinene a 3-carene, zatímco u smrku dominuje α -pinene a β -pinene. U smrku (*Picea abies*) se jedná o 71% z celkového množství terpenů. Porovnáním hodnot koncentrací monoterpenů stresovaného porostu a vitálního nebylo dosaženo statisticky významných výsledků (Turtola & Manninen 2003).

Stresové faktory lesních porostů ve vztahu k napadení lýkožroutem smrkovým

Hlavní předpoklad pro růst populací lýkožrouta smrkového představuje dostupnost vhodných potravních zdrojů (Wermelinger 2004). Další faktory jsou počasí, přirození nepřátelé a aplikované kontrolní opatření. Přemnožení mohou vzniknout zejména v smrkových porostech poškozených větrem, sněhem, stresovaných suchem nebo znečištěným ovzduším (Schroeder & Eidmann 1993; Grodzki et al. 2004). Větrné kalamity jsou mimořádně významným faktorem vzniku přemnožení, protože vytvářejí značné objemy potravních zdrojů v podobě zlámaných a vyvrácených kmenů (Wichman & Ravn 2001). Někteří autoři potvrdili náchylnost smrkových porostů na napadení lýkožroutem smrkovým po vystavení slunečnímu záření, po uvolnění zápoje, například v důsledku poškození větrem, těžbou nebo po defoliaci (Lobinger & Skatulla 1996; Jakuš 1998). Nadmořská výška a obsah živin v půdě (zejména dusíku, fosforu a hořčíku), mohou také významně ovlivnit náchylnost stromů na napadení lýkožroutem smrkovým (Nef 1994; Dutilleul et al. 2000). Pravděpodobnost napadení porostů závisí od dostupnosti vody, rozsahu porostních stěn s jižní a západní orientací, infekcí kořenovými hnilobami, věku porostu a zastoupení smrku v porostu (Lexer 1995, 1997; Netherer & Nopp-Mayr 2005). Vzhledem k aktuálnosti problematiky vodního stresu, jako predispozičního faktoru napadení porostů kůrovcem, rozebereme tuto problematiku podrobněji.

Vodní stres a rezistence stromů

Dle Luštince a Žárského (2003) kteří, popisují stres jako stav fyziologické zátěže organismu vyvolaný jedním nebo několika mimořádně nepříznivými vnějšími vlivy (nebo podmínkami). Vodní deficit vyvolává v rostlině stres, který může postihnout všechny její funkce (Luštinec & Žďárský 2003). Nejprve je zasažen dlouhivý růst buněk a dochází k poklesu turgoru. Turgor je nejcitlivější fyzikální indikátor změny vodního potenciálu buňky (Luštinec &

Žďárský 2003). Vodní potenciál (Ψ_w) je základní veličinou vodního režimu rostlin, která nám popisuje volnou energii pro konání práce vyjádřenou v jednotkách tlaku (Luštinec & Žďárský 2003). Gradient vodního potenciálu je hnací silou pohybu vody v rostlině. Voda se vždy pohybuje z místa s vyšším vodním potenciálem do míst s nižším vodním potenciálem (Luštinec & Žďárský 2003). Dálkový pohyb vody v rostlině se uskutečňuje transpiračním proudem (sap flow) a kořenovým vztlakem. Podle práce Luštinec a Žďárský (2003) rozdělíme transpirační proud do čtyř etap: v první etapě se voda pohybuje z půdy do xylému kořene. Ve druhé etapě se pohybuje vodivými drahami xylému do listů. Ve třetí proniká listovými pletivami. Ve čtvrté defunduje v podobě páry mezibuněčnými prostory do vnější atmosféry. Nejsou-li po několik dnů nebo týdnů srážky, rostlina omezuje svoji spotřebu vody tím, že otevírá průduchy méně a na kratší dobu (Larche 1988). Zde hovoříme o stomatární transpiraci, která uvádí do pohybu transpirační proud (Luštinec & Žďárský 2003).

Změny v obsahu vody v pletivech v důsledku nerovnováhy mezi příjmem a výdejem vnímají rostliny citlivě a snaží se je vyrovnávat. Vodní deficit vyvolává v rostlině stres, který může postihnout všechny její funkce. Při vysychání se postupně zhoršuje příjem vody kořenovým systémem, což vede ke snižování jejího obsahu v rostlině a k charakteristickým stresovým symptomům (Luštinec & Žárský 2003). Hodnota vodního potenciálu půdy, při které není rostlina schopna udržet pozitivní turgor, je prahovou hodnotou rezistence rostliny (Luštinec & Žárský 2003). Špatná dostupnost vody je limitujícím faktorem probíhající fotosyntézy a upravuje poměr uhlíku mezi kořeny a novými výhony (Teskey 1987 in Turtola 2003). Bylo prokázáno, že nízký obsah vody v pletivech stromu má vliv na snížení obranyschopnosti jehličnatých porostů vůči napadání fytofágy, hlavním příkladem může být oslabení toku pryskyřice (Turtola 2003). U většiny druhů borovic a smrku jsou diterpeny a v menším množství těkavé monoterpeny a sesquiterpeny hlavními sloučeninami přírodní pryskyřice (Croteau & Johnson 1985 in Turtola 2003).

Vliv vodního stresu na přirozenou obranu stromu

U stresovaných stromů v porostní stěně se dá očekávat snížení fotoprotektivní funkce fotosyntetického aparátu (Šibeň a kol. 2008). Vliv vodního stresu na cílový porost byl zkoumán na základě měřených hodnot vodního potenciálu. Ani v jednom případě neklesly hodnoty vodního potenciálu pod hodnotu $-0,6$ MPa. U zdravých, dobře zavlažovaných stromů se pohybuje vodní potenciál od $-0,2$ do $-0,6$ MPa (Šibeň a kol. 2008). Stromy, které trpí suchem, mají hodnotu vodního potenciálu (ψ) od $-1,5$ až do -5 MPa (Šibeň a kol. 2008). Důležitou poznámkou je i fakt, že pokud klesá vodní potenciál půdy, musí taktéž klesat vodní

potenciál rostliny. Strom je schopen přijímat vodu z půdy pouze tehdy, je-li vodní potenciál kořene menší než vodní potenciál půdy. Při poklesu vodního potenciálu asimilačních orgánů od -1 do -2 MPa dochází k vážným metabolickým změnám (Šibeň a kol. 2008).

Studie úlohy vodního stresu ve fyziologii stromu byla simulována u dvou fiktivních modelových porostů (Šibeň a kol. 2008). Vliv sucha byl kvantifikován na základě rozdílu potenciální evapotranspirace (PET) a aktuální transpirace. Potenciální výpar podle metody Turca byl porovnán s aktuálním výparem (transpirací), fiktivní porost byl sestaven ze stromů porostní stěny a z jedinců uvnitř porostu. Tento ukazatel je v klimatologii nazýván jako „relativní výpar“ a je definován jako rozdíl mezi potenciálním a aktuálním výparem (Šibeň a kol. 2008). Z výzkumu plyne, že porostní stěna transpiruje intenzivněji především ve dnech s vysokou radiací, dochází k prohloubení mezi potenciálním výparem a aktuální transpirací. Tento výzkum byl prováděn v červenci, kdy docházelo k frekventovanému výskytu bouřek s maximálními denními úhrny srážek 6-8 mm. Během výzkumu nebyla zaznamenána redukce transpirace, právě díky srážkovým epizodám (Šibeň a kol. 2008). Při detailnější analýze na úrovni denního chodu byl však zaznamenán deficit vody především během extrémních teplot (Šibeň a kol. 2008). Analýza na úrovni denního chodu tedy ukázala, že všechny stromy během extrémně teplých dnů trpí poledním deficitem vody. Znamená to, že stromy nestíhají doplňovat kořenovým systémem ztráty vody použité pro intenzivnější transpiraci a u stromu se projeví deficit vody. Průduchy se zavírají a klesá transpirace. Po poledním ochlazení strom doplní potřebnou vodu z půdních zásob a transpirace pokračuje bez zvláštních změn. Při nedostatku vody v půdě však může dojít k nezvratným změnám přerušení vodního sloupce ve vodivém xylému tzv. zavzdušnění vodních sloupců, což je nezvratné poškození. Takovéto příhody mohou oslabit strom vůči biotickým škůdcům (fytofágům) (Šibeň a kol. 2008).

3.3 Parazitoidi lýkožrouta smrkového

Značná specifická parazitoidů, kteří napadajících larvičky i dospělý hmyz kůrovce, je dána tím, že samičky s velkou pravděpodobností lokalizují svého hostitele pomocí agregačního feromonu, typického pro každý druh kůrovce. Někteří ektoparazitoidi larviček kůrovce jsou vázáni pouze na určité hostitelské druhy (např. *Coeloides bostrichorum* jen na *I. typographus*). Tyto parazitoidi tak následují svého preferovaného hostitele do jiných lokalit. Pokud se například lýkožrout smrkový z nutnosti přemístí na jiný jehličnan než na smrk, následují ho i ti parazitoidi vyskytující se většinou pouze na smrku (např. *Coeloides bostrichorum*, *Tomicobia seitneri*, *Ropalophorus clavicornis*) (Turčáni & Čapek 2000).

Parazitoid lokalizuje kůrovce dvěma způsoby: nejdříve parazitoid vyhledá napadený strom, aby pak lokalizoval hostitele ve vhodném stádiu vývoje. Hymenoptera, parazitující kůrovce jsou tak nalákáni primárními atraktanty, které vylučuje nemocný a oslabený strom, napadený kůrovci. K tomuto nalákání pak dále přispívají i agregační feromony samotného kůrovce. Zdá se však, že tyto feromony příliš nepřitahují ektoparazitoidy larev (Mills & Schlup 1989). Pokud samička najde strom napadený kůrovci, začne hostitele hledat pomocí svých tykadel. Předpokladem je, že k detekci kůrovce používá parazitoid různé techniky, jako jsou mechanické dále zvukové vibrace způsobené hostitelem, pach nebo infračervené záření. Avšak u parazitoidů lýkožrouta smrkového se potvrzuje pouze reakce na těkavé látky, kdy parazitoidi reagovali zejména na uhlovodíkové terpeny, které vylučují napadené stromy. Tyto těkavé látky nejsou tak vylučovány pouze hostitelem, ale jsou výsledkem komplexu hostitel – dřevina – popř. symbiotické houby (Křístek & Urban 2004).

Například někteří parazitoidi využívají i jiné způsoby útoku; bylo pozorováno, jak samičky *R. tutela* čekaly, až jiný parazitoid lokalizuje hostitele a poté ho vytěsnily a samy nakladly vajíčka. Samičky *Ropalophorus clavicornis* si zas nejdříve nacházejí stromy, které mohou být atraktivní pro kůrovce a tam pak vyčkávají (Hougardy & Grégoire 2003).

Také je často diskutovaný účinek parazitoidů na populaci kůrovce. Tak například byl zjištěn téměř 90ti procentní úhyn kůrovce smrkového napadeného současně parazitoidy i predátory. Dle jiných zdrojů, které uvádějí vypuštění 7 druhů různých parazitoidů v letech 1995 - 1997, se parasitismus v dané oblasti zvýšil ze 6% na 20% a v souvislosti s tím se tak snížilo napadení stromů a s tím spojená hustota kůrovcové populace (Kenis a kol. 2004).

K hlavním regulátorům populace kůrovce patří larvální endoparazitoidi, jejichž vliv se projevuje teprve při překročení určité hranice populační hustoty. Bylo prokázáno, že vliv

larválních ektoparazitoidů (společně s rivalitou mezi jedinci ve stádiu larvy) je tím větší, čím více se zvyšuje hustota populace. Jde o takzvanou opožděnou numerickou reakci, přemnožení kůrovce má za následek zvýšení populační hustoty parazitoida (Křístek & Urban 2004). Rozmnožený parazitoid tak následně snižuje populační hustotu kůrovce. Přemnožení parazitoida se pak snižuje v momentě, kdy samičky nejsou schopny vyklást všechna svá vajíčka z důvodu nedostatečného množství hostitelů (Křístek & Urban 2004). Sachtlebeň (1952) uvádí, že snůška kůrovce je po parazitaci redukována až o 30%. Tato hodnota je ovlivněna celou řadou činitelů a závisí tak i na druhu parazitoida.

Přesné načasování vývinu je důležité, aby se fáze hostitele i parazitoida vyskytovaly ve stejný čas a to je zajištěno krátkou hibernací larvy parazitoida, popříkladě určitými hormony nebo souběhem environmentálních podmínek. Parazitoidi mají stejný nebo dokonce i větší počet generací do roka než kůrovec, a proto často neuplatní všechna vytvořená vajíčka. Parazitoidi i jejich hostitelé tak sdílejí stejnou potravní oblast a proto se stává, že při přemnožení jednoho nemá druhý dostatek výživy a migruje do jiné oblasti. Také si musíme uvědomit, že parazitoidi nepůsobí na populaci kůrovce sami, a proto vlivy jednotlivých přirozených kůrovcových nepřátel se navzájem částečně ruší (Křístek & Urban 2004).

Porovnáme-li roli jednotlivých predátorů a parazitoidů v populační hustotě kůrovce, zjistíme, že predátoři se vyskytují hlavně na rostoucí straně křivky populační hustoty, zatímco parazitoidi dominují až v dalším roce, kdy se zvyšuje mortalita hostitele. Po postupném snižování populace kůrovce byl zaznamenán také úbytek parazitoidů (Wermelinger 2002). Značné množství parazitoidů reaguje na stejné chemické látky jako jejich hostitel, to znamená, že s odchytom kůrovce do feromonových pastí zároveň odchytíme i velké procento parazitoidů (Nebeker a kol. 1984). Je tak nutné najít jak optimální kombinaci feromonových látek, tak přiměřenou četnost jednotlivých aplikací. Vezměme v úvahu, že méně než 10% populace Lýkožrouta smrkového přezimuje v polenech, na rozdíl od parazitoidů, u nichž je toto procento daleko větší. Pro uchování populace parazitoidů musíme tedy omezit odstraňování polen po vylétnutí kůrovce (Weslien 1992).

3.4 Hospodářský význam a management lýkožrouta smrkového

Čeď kůrovci (Scolytidae) celosvětově zahrnuje kolem 5800 známých druhů. Přestože jsou kůrovci všeobecně vnímáni jako škodlivý hmyz, jen velmi malá část ze zmíněného celkového počtu druhů má natolik agresivní životní strategii, že je schopna napadat živé stromy a způsobovat jejich zánik. Tyto druhy ovšem mají značný ekonomický význam, a to především v jehličnatých lesích severního boreálního a mírného pásu.

Největší pozornost na sebe poutá skupina kůrovců kambiofágů, a to především vzhledem k negativním ekonomickým dopadům jejich působení v hospodářsky využívaných lesích. Jejich životní strategie není ale zcela stejná a jednotná, tak například existují zde druhy, u kterých může jejich vývoj proběhnout v živých dřevinách bez toho, aby je zahubili *Dendroctonus micans*, *Dendroctonus valens*, *Dendroctonus terebrans*, které bychom mohli nazvat parazity, dále druhy silně agresivní, které dosti běžně nebo dokonce pravidelně napadají a hubí zdravé stromy *Dendroctonus ponderosae*, *Dendroctonus frontalis* ze Severní Ameriky, kteří mají k hostiteli vztah parazitoidů, a pak je tu dále největší skupina těch, kteří napadají stromy oslabené, anebo za určitých okolností (vysoká populační hustota nebo výhodné klimatické podmínky například horko a sucho) také vizuálně zdravé dřeviny. Mezi tyto druhy u nás patří například *Ips typographus*, *Ips duplicatus*, *Pityogenes chalcographus*, *Polygraphus poligraphus*, *Pityokteines spinidens*, *Scolytus ratzeburgi*, *Scolytus intricatus*, *Leperisinus fraxini* a další (Turčáni 2007).

Lýkožrout smrkový je nejvážnější škůdce smrkových porostů v Evropě. Počátkem 17. a pak 18. a 19. století jsou zprávy o jeho kalamitních, přemnožení v původních lesích střední Evropy. Nalezl ve 20. století příhodné podmínky pro svůj vývoj ve smrkových monokulturách, jimiž byly nahrazeny či postupně změněny původní smíšené lesy. Ve střední Evropě jsou doposud známy 3 velké kalamity. Kalamita z let 1868-1878 zachvátila část Bavorska, Rakouska a především oblast, která se rozprostírá v jihozápadní části dnešní České republiky. Poté následovala druhá katastrofální kalamita z let 1942-1953, která zachvátila Německo a střední Evropu. Dále následovala další z období 1970-2000. Škody způsobené těmito kalamitami čítají několik milionů m³ vytěženého dřeva (Skuhravý 2002).

Z širší oblasti Evropy došlo za posledních 200 let k obrovskému přemnožení kůrovce kromě kalamity z Německa, Rakouska, Česka, Švédska a Norska také ve Francii, Švýcarsku, severní Itálii, v Srbsku, Bosně a Hercegovině, Rumunsku, dále na Ukrajině, v Pobaltských republikách, na severu Evropy v rozsáhlé oblasti smrkovo-listnatých lesích Ruska od 55° do 63° severní šířky, v Puralí a v západní a východní části Sibiře (Skuhravý 2002).

Je to typický sekundární škůdce, který v první řadě napadá čerstvě vytěžené smrkové dříví, polomy a fyziologicky oslabené stojící stromy (imisemi, suchem, václavkou apod.). Ve střední Evropě se řadí mezi nejvýznamnější škůdce starších smrkových porostů. Nejčastěji se vyskytuje ve smrkových porostech nad 60 let a to především v osluněných porostních stěnách. Když je přemnožen a nenalézá dostatek vhodného materiálu pro založení potomstva, napadá i zdravé stromy (Zahradník & Knížek 2000).

Podle způsobu poškození je lýkožrout smrkový fyziologický škůdce. Významně je spojen se zdravotním stavem porostů, s dostupným materiálem pro jeho namnožení a také s průběhem počasí. Časný nástup jara, abnormálně teplé a dlouhé léto urychlují jeho vývoj a ve svém důsledku se mohou zmnožit i počty generací (Zahradník & Knížek 2000).

Obranné a ochranné opatření proti lýkožroutu smrkovému

Výskyt lýkožrouta smrkového se ve stavu latence (stejně jako při přemnožení) kontroluje v porostech s alespoň 20% výskytem smrku, které jsou starší než 60 let (při kalamitním výskytu i v mladších porostech) pravidelnými pochůzkami a také pomocí lapačů a lapáků.

Ochrana proti kůrovci ve své podstatě spočívá v kombinaci preventivních, kontrolních a obranných opatření (Göthlin a kol. 2000). Účinnost obrany je odvislá o charakteru porostů, ve kterých se kůrovci přemnožují. Ve smrkových monokulturách se musí uplatňovat opatření mnohem pravidelněji a intenzivněji než ve smíšených přírodě bližších listnato-jehličnatých porostech. Způsob klasické asanace napadených kmenů bylo donedávna ruční odkornění klasickým škrabákem. Změnou ve způsobu asanace přineslo široké využívání insekticidů (Dedek & Pape 1990, Bombosch a kol. 1992, Bombosch & Dedek 1994). V případě kůrovce bohužel lze aplikovat jen insekticidy s téměř výlučně požerovým, méně kontaktním účinkem a nízkou selektivitou. Povoleno je, používání pouze schválených přípravků uvedených v aktuálním „Seznamu povolených přípravků na ochranu rostlin“.

Nadějným příspěvkem proti kůrovci do ochrany lesů se staly agregační feromony s lapači, které částečně nahrazují lapáky. Jejich velkou výhodou je ušetření zdravých stromů, které by bylo nutné na lapáky pokácet, což může do značné míry posloužit i ke zvýšení statické stability porostních stěn, hodnocením vlivu na flukтуаční dynamiku se zabývali autoři v několika studiích (Jakuš & Blaženeč 2002), ale jednoznačnost jejich efektivity zatím chybí (Lobinger 1995).

Alternativou, klasickému lapákům je nástup mechanizovaného odkorňování s pomocí adaptérů na motorové pily vyšší třídy s částečným odstraněním kůry. Je to čistě mechanický proces s

minimem negativních důsledků ovlivňujících jiné skupiny organismů než podkorní hmyz, ale i o účinnou možnost eliminovat aktivitu tzv. sesterských generací kůrovců. Jako obrana proti přemnožení menších druhů se může uplatnit i mobilní štěpkovací technika.

Souběžně s těmito metodami jsou studovány i možnosti využití entomopatogenních hub, virů, popřípadě antiagregačních feromonů (Vaupel & Zimmermann 1996, Kreutz 2001) a „Metoda sterilního hmyzu“ (Turčáni a Vakula, 2008). Výsledky strategií z hlediska praktického použití přinášejí ve většině případů, zatím nejednoznačné výsledky. Okolo známých a provozně užívaných postupů jsou hledány nové další metody ochrany proti kůrovcům, které by mohly být aplikovány jen za určitých podmínek, a to i v chráněných územích a v částech s nižším stupněm ochrany, tak v běžných hospodářských lesích.

Při základním stavu, kde objem kůrovcového dříví nepřesáhl v předchozím roce v průměru 1m³ na 5ha plochy smrkového porostu, se může lýkožrout smrkový kontrolovat pouze pochůzkami. Smrkové lapáky nebo feromonové lapače určené ke kontrole se instalují na nejohroženější místa (osluněné porostní stěny, místa po zpracování kůrovcového dříví apod.), a to nejméně v počtu jeden lapač nebo lapák na 5 hektarů. U stromových lapáků lákají kůrovce primární atraktanty (uhlovodíkové terpeny), které se uvolňují z vadnoucích stromů. Lapáky první série se kácí v březnu a slouží k zachycení kůrovců první generace i přerostujících se imag sesterské generace. V horských oblastech s dlouhotrvající sněhovou pokrývkou se kladou většinou před začátkem zimy, nejpozději však do konce dubna. Lapáky druhé série se připravují nejpozději týden před předpokládaným začátkem letního rojení (druhá generace) lýkožrouta smrkového. Lapáky první série se umísťují v okrajích porostů, dvě třetiny z počtu lapáků na výsluní a jedna třetina v polostínu. Lapáky druhé série se obvykle kácejí do polostínu. Kvůli udržení i zvýšení atraktivnosti se lapáky zakrývají po celé délce větvemi a podložením se zvětšuje jejich účinná plocha. Na lapáky se vybírají zdravé stromy, nejlépe se šupinatou borkou, bez prosmolů. Lapáky se pravidelně kontrolují v intervalu deseti dnů. Průběžně se sleduje intenzita napadení a stupeň vývoje, aby asanace lapáků mohla být provedena včas a v případě silného výskytu byly včas pokládány další série lapáků. Taktéž při stanovení jejich počtu pro zachycení jarního rojení se vychází z kalamitního základu, a to obdobně jako při stanovení počtu feromonových lapačů nebo otrávených lapáků. Při stanovení počtu stromových lapáků pro zachycení letního rojení se vychází ze stupně napadení lapáků první série po jarním rojení. Zjistí-li se slabý stupeň napadení (do 0,5 závrtu na 100cm² kůry), není třeba tak lapáky druhé série pokládat, při středním napadení (od 0,5 do 1,0 závrtu na 100cm² kůry) se počet lapáků druhé série snižuje

na polovinu a při silném napadení (více než 1,0 závrtu na 100cm² kůry) se klade stejný počet lapáků jako v sérii druhé. K takto, určenému množství se přidají ještě jeden až dva lapáky na každý částečně nebo zcela vylétnutý napadený strom. Pro zachycení přerojujících se imag, která zakládají sesterské pokolení, se připravují ještě další lapáky, byl-li na lapácích první, popřípadě druhé série zjištěn střední nebo silný stupeň napadení, a to v počtu 1/5, popř. 1/10 již položených lapáků. Lapáky pro zachycení přerojujících se imag se položí ihned po ukončení jarního, popřípadě letního rojení. Stejným způsobem se přikročí k přípravě lapáků v případě, pokud lze v teplém závěru léta očekávat rojení a založení třetí generace lýkožrouta smrkového (Zahradník 2004).



(Foto: Svoboda. 2010)

Obr. 4: Lapáky ve větvích

Otrávené lapáky, kterými jsou skácené a odvětvené smrky nebo jejich části (optimální délka 4m) ošetřené těsně před rojením lýkožrouta insekticidem a opatřené feromonovou návnadou na zastíněné straně lapáku. Popřípadě se mohou použít i jednometrová polena sestavená do trojnožek, s odparníkem umístěným pod vrcholem. Výhodou trojnožek je maximální využití lapací plochy, snadnější manipulace i možnost přípravy a ošetření polen insekticidy centrálně na skladech. K preventivnímu postřiku otrávených lapáků lze použít zádové nebo traktorové postřikovače. Po čtyřech až pěti týdnech, současně s výměnou feromonového odparníku se ošetření opakuje, takto ošetřené otrávené lapáky slouží v průběhu

celého vegetačního období. Pro správné stanovení počtu a rozmístění otrávených lapáků platí stejné zásady jako pro použití feromonových lapačů. Vzdálenost feromonové návnady od nejbližšího smrku nesmí klesnout pod 6 m. Účinnost otrávených lapáků se kontroluje pouze namátkově; zjišťuje se, zda se škůdce nevyvíjí pod kůrou a lapáky a jejich feromonové odpárníky nejsou překryty buření. Přednostně se otrávené lapáky využívají na nepřístupných místech, kde nelze zajistit pravidelné kontroly (Zahradník 2004).



(Foto: Svoboda. 2010)

Obr. 5: Otrávená trojnožka

U vybraných napadených nebo ohrožených porostů, v nichž se v běžném roce předpokládá další kůrovcová těžba v období od května do září, se feromonové lapače ani lapáky neumísťují a feromonové odpárníky se umísťují přímo na smrky ztepilé. Odpárníky se vyvěšují těsně před počátkem rojení lýkožrouta smrkového, popřípadě kdykoliv v období do konce letního rojení v porostech ohrožených kůrovcem. Odpárníky se upevňují ve výši 1,5 m na neosluněnou stranu smrku ztepilého v porostní stěně, a to přednostně v místech očekávaného náletu, tj. na osluněné stěně. Mezi stromy s odpárníky se udržuje vzdálenost 10 až 20m. Zakládání umělých kůrovcových ohnisek v místech vhodných pro těžbu a přibližování nesmí být v rozporu biologickými nároky lýkožrouta smrkového. Počet odpárníků vyvěšených v porostu se stanoví podle kalamitního základu stejně jako počet

lapačů nebo lapáků. Počet nalétnutých stromů a stav vývoje lýkožrouta smrkového se musí kontrolovat v intervalu sedm až deset dnů. Výsledky dosavadních pokusů ukazují, že v některých případech brouci nalétávali jen na stromy s odparníky, v dalších případech až na pět i šest nejbližších stromů. Počet napadených stromů se zvyšuje v porostech s vysokou populační hustotou lýkožrouta smrkového a naopak je nižší v porostech, kde lýkožrout smrkový není přemnožen nebo kde je atraktivní hmota, vývraty a polomy. Je-li počet stromů silně nalétnutých lýkožroutem smrkovým menší než počet stromů opatřených odparníkem, přemístí se odparníky těsně před zpracováním nalétnutých smrků ztepilých na předpokládaný nový porostní okraj. S těžbou a přibližováním nalétnutých stromů je nejlépe začít v období larválního stadia lýkožrouta smrkového kdy lze napadené dříví výhodně odvézt na sklad a tam zahubit odkorněním. Jsou-li v požercích již kukly a mladí brouci, je nutné hmotu asanovat v lese. Tento způsob využití odparníků umožňuje ušetřit lapače, které lze využít v ostatních porostech. Dále může metoda přispět ke snížení počtu jednotlivě roztroušených napadených smrků ztepilých, jejichž zpracování a asanace přináší těžkosti. Kontrolovaný nálet lýkožrouta smrkového umožňuje včas těžit napadené dříví a asanovat ho odkorněním. Tak je dosaženo úspor insekticidů i práce spojené s chemickou asanací, vyhledáváním a těžbou rozptýlených kůrovcových stromů (Švestka a kol., 1998).



(Foto: Svoboda. 2010)

Obr. 6: Feromonové odparníky na smrku ztepilém

Nárazové lapače je nutno instalovat tak, aby nárazová plocha byla nejlépe ve výšce ramen. Lapač nesmí být skryt v buřeni, kterou je nutno po celou dobu instalování lapače odstraňovat, tak aby se nesnížilo proudění vzduchu i odpar lákavé látky. Lapače se kontrolují v intervalech sedmi, až deseti dnů. *Feromonové lapače, které jsou určeny k obraně se umísťují, do ohnisek výskytu kůrovce s rozestupy minimálně 20m.* Vzdálenost od porostní stěny či smrku ztepilého staršího 40 let je 10m až 25m. Při výpočtu množství lapačů se vychází z takzvaného kalamitního základu, do něhož se zahrnuje středně a silně napadané dříví v posuzované lokalitě za období od 1. srpna do 31. března. Při tom se rozlišuje hmota včas zpracovaná, ze které noví brouci nestačili vylézt, a hmota lýkožroutem částečně nebo zcela opuštěná. Pro zachycení jarního rojení se počet lapačů stanoví jako 1/8 včas zpracovaných stromů, k čemuž se připočítá na každý částečně nebo zcela opuštěný strom další lapač. Při stanovení počtu lapačů pro zachycení letního rojení se vychází ze stupně odchyty v jarním rojení (Zahradník 2004).

- stupeň odchyty slabý (do 1 000 ks), mohou se lapače přemístit na vhodnější lokalitu,
- stupeň odchyty střední (1 000 až 4 000 ks) zůstává počet lapačů stejný,
- stupeň odchyty silný (nad 4 000 ks), doporučuje se počet přiměřeně zvýšit.



(Foto: Svoboda. 2010)

Obr. 7: Feromonový lapač

K takto určenému počtu se přidá jeden lapač na každý částečně nebo zcela lýkožroutem smrkovým opuštěný strom. Stupeň odchyty se určuje pro každý lapač, popřípadě skupinu sdružených lapačů samostatně a nelze z nich počítat průměrné hodnoty. Sdruženým lapačům určených k obraně se rozumí jejich seskupení po 2 až 3 ks; vzdálenost mezi nimi je 5 až 6 m a vzdálenost od porostní stěny či smrku ztepilého staršího 40 let nesmí klesnout pod 15 metrů. Stupeň odchyty při letním rojení se hodnotí jako slabý při úlovku méně než 500 brouků, jako střední při odchyty 500 až 1500 brouků a jako silný při odchyty více než 1500 lýkožrouců (Zahradník 2004).

Využití biopreparátů na bázi entomopatogenních hub

Entomopatogenní houby byly zkoumány pro svou účinnost v boji proti širokému spektru hmyzích škůdců (Goettel a kol. 2000; Butt a kol. 2001). Spousta entomopatogenních hub je v přírodě relativně běžná. Často vyvolávají přirozené hromadné nákazy v populacích hmyzu, čímž se řadí mezi významné mikroorganismy regulující hmyzí populace (Butt & Goettel 2000). Houbové onemocnění zpravidla vyvolávají vitální a virulentní konidie uchycené na těle hostitele (Boucias a kol. 1988). Klíčící konidie může na konci klíčku vytvářet různé penetrační struktury (např. zduřelá špička klíčku, apresorium nebo extracelulární pouzdro), z těchto struktur se dále formuje penetrační hyfa, která proniká do těla hostitele (Sosa-Gomez a kol. 1997). Po proniknutí invazní hyfy do těla hostitele patogen zpravidla rychle kolonizuje tělní dutinu, kde vytváří jedno nebo vícebuněčná hyfová tělíška (blastospory) (Inglis a kol. 2001). Smrtí hostitele dochází k ukončení parazitické fáze patogena a začíná fáze saprotrofní. Pokud jsou, vhodné podmínky dochází bezprostředně po usmrcení hostitele k prorůstání houby na povrch těla usmrceného hostitele (tzv. proliferace) a na vzdušném myceliu se vytváří fruktifikační orgány. Saprotrofní fáze patogena končí úplnou sporulací. K šíření patogenadochází pomocí konidií rozšiřovaných nejčastěji pasivně například voda, proudění vzduchu nebo přímým kontaktem zdravých jedinců s jedinci infikovanými (Osborne & Landa 1992).

Stejně jako lze v populacích lýkožrouta smrkového zaznamenávat, přítomnost různých druhů parazitů a predátorů, vyskytují se v jeho populacích tohoto i různé druhy entomopatogenních mikroorganismů, to znamená organismů schopných vyvolávat primární onemocnění u různých vývojových stádií škůdce. U populací lýkožrouta smrkového (*I. typographus*), byl zaznamenán výskyt entomopatogenních virů, bakterií, prvoků, a zejména různých druhů entomopatogenních hub. Každá z uvedených skupin patogenů představuje v široké škále interakčního systému „hostitel–patogen“ unikátní biologický model, jehož

poznání je základním předpokladem pro případné využití v praktické ochraně proti tomuto škůdci. (Landa a kol. 2007).

Entomopatogenní houba *B. bassiana* je typickým představitelem nejen entomopatogenní, ale i saprotrofní mykoflóry půd a na celém území České republiky a patří k nejčastěji zaznamenávaným druhům mitosporických hub. V zahraničí je registrována řada biopreparátů formulovaných na bázi konidií nebo blastospor *B. bassiana* a využívají se v praktické biologické ochraně proti různým škůdcům třeba polních plodin a v ochraně rychlené zeleniny a okrasných květin. Biopreparáty na bázi *B. bassiana* jsou využívány i v ochraně lesních porostů proti některým druhům škůdců, včetně lýkožrouta smrkového (Landa a kol. 2007).

Složku, která je účinná u většiny biopreparátů na bázi entomopatogenních hub tvoří konidie nebo blastospory. Konidie jsou produkovány buď formou povrchových kultivací na tekutých živných půdách, nebo na pevných přirozených substrátech a biotechnologie kdy jejich produkce imituje přirozený cyklus, při kterém je zprvu vytvořena povrchová myceliální biomasa a na konci cyklu se na vzdušném myceliu tvoří konidie. Blastospory entomopatogenních hub jsou produkovány ve fermentačních biotechnologiích (submerzní kultivace v tekuté živné půdě) a využívají tak fenoménu změny morfologické formy patogena po proniknutí do semi-aerobních podmínek tělní dutiny. Přes určité zásadní odlišnosti jsou však biopreparáty na bázi konidií nebo blastospor stejné v tom, že obsahují konkrétní počet vitálních, virulentních infekčních jednotek schopných vyvolat přímo infekci, které jsou doplněny o inertní nebo nutritivní složky. Nejčastěji jsou takovéto biopreparáty finalizovány do formy smáčivých, ve vodě rozpustných prášků (WP) nebo granulí (WDG), v poslední době se již také objevují i olejové suspenzní koncentráty. Na aplikaci lze použít standardní aplikační techniku.

Biopreparáty využívány na bázi *B. bassiana* proti lýkožroutu smrkovému je rozšířeno zejména v Německu, Rakousku a Švýcarsku a na experimentální úrovni je tato houba zkoušena v dalších zemích například USA, Austrálie, Finsko a Polsku. Nejčastěji je *B. bassiana* aplikována formou vodních suspenzí spor na povrch napadených stromů, nebo stromových lapáků. V laboratorních studiích výsledky a provozních aplikace dokazují, že v porovnání s většinou ostatních druhů entomopatogenních hub vykazuje *B. bassiana* po aplikaci na dospělé lýkožrouta smrkového nejen nejvyšší virulenci, ale i zjevně největší adaptaci na tohoto hostitele ve smyslu autodiseminace (samošíření), to je schopnosti patogena šířit se prostřednictvím přirozených mechanismů odrážejících populační chování hostitele.

Příkladem pro praktické využívání tohoto jevu je unikátní forma aplikace *B. bassiana*, při které je práškový koncentrát spor patogena aplikován přímo do sběrné části feromonového lapače, který je upraven tak, aby byla zachována jeho atraktantní funkce, nicméně dospělci lýkožrouta smrkového nejsou natrvalo odchyceni sběrnou částí lapače. Cílem této aplikace je kontaminovat povrch těla dospělců lýkožrouta smrkového vysokou dávkou spor a zajistit tak nejen usmrcení konkrétního jedince kontaminovaného při průchodu lapačem, ale zároveň podpořit i šíření nákazy v lokální populaci. Praktické výsledky prokázaly, že tato forma využití biopreparátů na bázi *B. bassiana* je velmi účelná zejména v situacích, kdy od aplikace není očekáván okamžitý účinek, ale perspektiva dlouhodobějšího potlačování populací škůdce lýkožrouta smrkového (Landa a kol. 2007).

4. Použité metodické postupy

4.1 Metodika terénního šetření

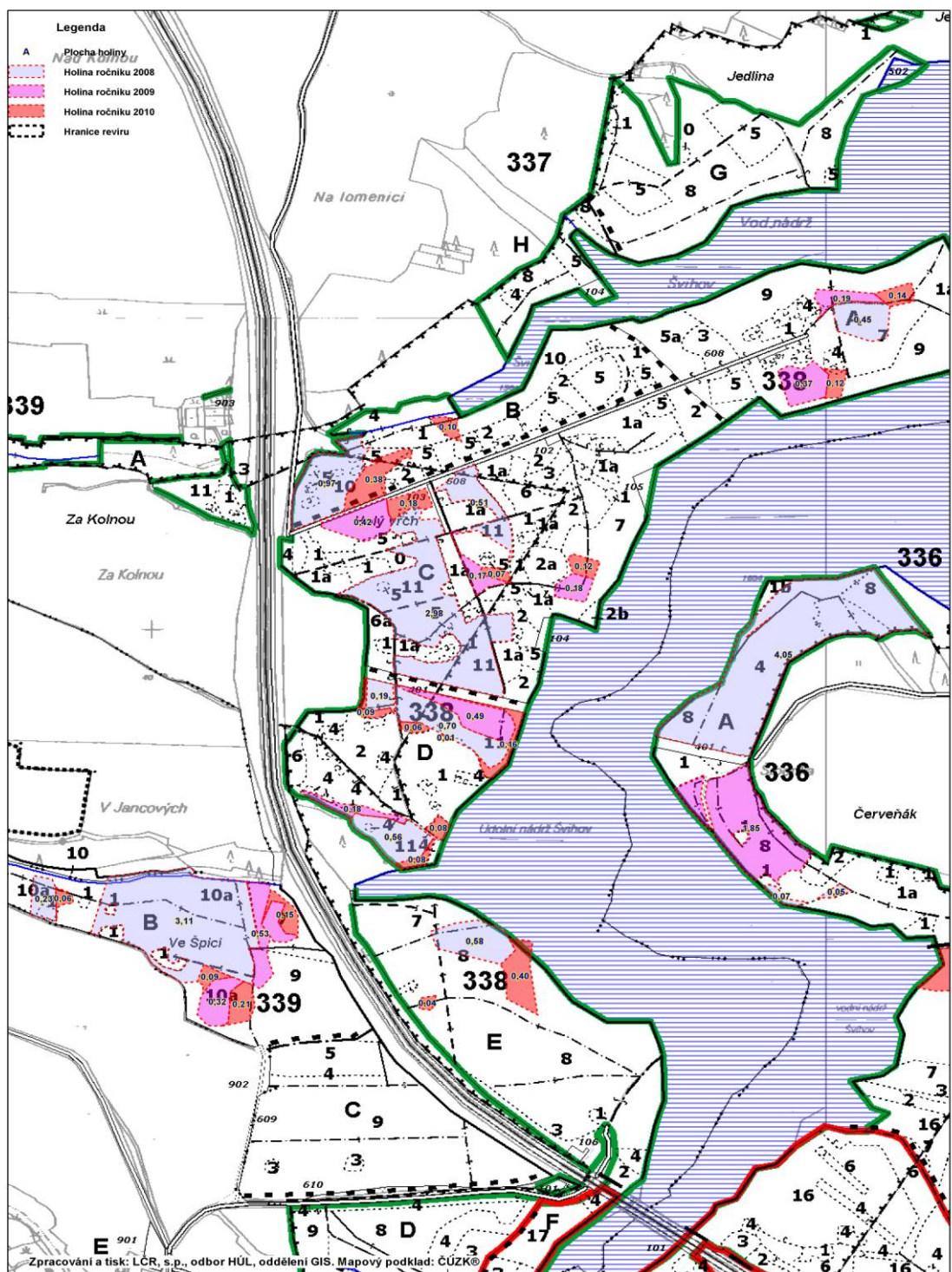
Terénní šetření spočívá v systematickém procházení všech porostů na obou revírech s přístrojem GeoXH, jenž zaměřuje svojí polohu pomocí GPS družic. Tento přístroj vyniká vysokou přesností v řádech desítek centimetrů, svým uživatelským softwarem s podporou zobrazení rastrových map, dále je vybaven dotykovým barevným displejem s výbornou čitelností na přímém slunci je určen pro profesionální využití v lesnictví. Vlastní měření s GeoXH v terénu probíhá tak, že se cílové plochy obchází po svém obvodu, kde dojde, k vychýlení ze směru měří se bod a zadá, se do GPS souřadnic, poté následuje ukládání dalších bodů, až je celá cílová plocha obejita je polygon uzavřen. Takto se zaměřováním polygonů pokračuje ve všech porostech na revírech Vostojávka a Pekelsko. Měření je limitováno klimatickými podmínkami (mlha, hustá oblačnost), dále pak zastíněním v porostech a v hlubokých stržích. Z důvodů eliminace těchto nepříznivých vlivů měření probíhalo od podzimu do jara (opad listů v porostech a příznivější klimatické podmínky). Dalším důležitým faktorem podporujícím toto období vhodné pro zaměření ploch je ukončení vývoje lýkožrouta smrkového, tím nedochází k navyšování dalších těžeb nově napadených stromů. Toto ke vzniku polygonů.

Obranná opatření byla vkládána do vzniklých polygonů buď jako body (lapače), nebo jako linie (lapáky, stojící feromonové lapáky a otrávené lapáky). Každý uložený bod (lapač) má své číslo, ke kterému je přiřazen odchyt lýkožrouta smrkového v průběhu roku, po jednotlivých kontrolách. Linie (lapáky, stojící feromonové lapáky a otrávené lapáky) má zaevidována počet lapáků, datum umístění a datum asanace.

Měření probíhalo za tři roky (2008, 2009 a 2010). První měření proběhlo v roce 2008 po vichřici Ivan, dva zaměstnanci lesní správy Ledeč nad Sázavou zaměřovali kalamitní porosty z důvodu přesnějších informací o škodách na porostech revíru Vostojávka. Další vlnu měření jsem prováděl já v roce 2009 a to na vzniklých plochách po kůrovcové kalamitě roku 2009 na obou revírech a to od podzimu do jarních měsíců v roce 2010, kdy jsem ještě doměřoval vichřici Ivan a Kyril (dle zalesněných kalamitních ploch) na revíru Pekelsko, na revíru Vostojávka pouze vichřici Kyril. Poté následovalo zaměření porostů napadených kůrovcem v roce 2010 a to od podzimu 2010 do jara 2011. Za tyto roky byly přesně zaevidovány veškeré těžby, a obranná opatření, které byly provedeny na revírech Vostojávka a Pekelsko od roku 2007, 2008, 2009 a 2010. Celkem tedy 78 oddělení na ploše o 2872 hektarech v mimořádně členitém terénu.

Podklady k obranným opatřením a těžbám jsou z evidence obranných opatření a těžeb LHC Ledec nad Sázavou a to pro revíry Vostojávka a Pekelsko mnou zpracované do elektronické podoby.

Lýkožrouci jsou odchyťováni do feromonových lapačů typu Theysohn, které byly navnazeny feromonovými odparníky IT Ecolure v letech 2007, 2008, 2009 a 2010. Odběry byly vykonávány v 7 až 10 denních intervalech. Tato data byla prostorově umístěna na základě informací o porostní skupině, ve které byl lapač instalován. Stejně byla polohově vztažena data o nahodilých těžbách za tyto roky.



Obr. 8: Ukázka výstupu z GPS měření. Na obrázku je zachyceno zaměření ploch přenosnou GPS stanicí, kde šedé plochy představují porosty zasažené vichřicí Ivan v roce 2008, růžové plochy znázorňují kůrovcovou kalamitu v roce 2009 a červené plochy zachycují postup kůrovcové kalamity v roce 2010. Čísla uprostřed každé plochy značí velikost vzniklé holiny.

4.2 Statistické zpracování dat

Jak bylo uvedeno výše, cílem analytické části práce je na základě výběrových bodově lokalizovaných dat, zejména nahodilých těžeb a dat z feromonových lapačů, vytvořit série map prostorové distribuce populace kůrovce vztahených k jednotlivým rokům, a tyto mapy interpretovat; a určit a tak interpretovat vztahy mezi počty odchyťů lýkožrouta do feromonových lapačů a objemy nahodilých těžeb. Těmto cílům je přizpůsoben použitý metodický aparát, který dále stručně popíšeme.

Použité metody

Pro geostatistické modelování byli použité nástroje strukturní analýzy (modelování variogramu) a optimální prostorové predikce s využitím ordinálního krigování (ISAACS & SRIVASTAVA 1989). Variografická analýza slouží na vyjádření míry prostorové závislosti studovaného jevu. Geostatistický pojem prostorové závislosti vyjadřuje chování uvažovaného jevu způsobem, kde při hodnocení vztahu mezi dvěma tzv. regionalizovanými proměnnými (jako regionalizované proměnné označujeme proměnné, které mají jednoznačně definovanou svou polohu v prostoru) separovanými vektorem h , získáme hodnotu autokorelace vyšší, než při velikosti vektoru $h \cdot n$, kde n vyjadřuje celočíselný násobek velikosti vektoru h (ISAACS & SRIVASTAVA 1989, HLÁSNÝ 2005). Základním nástrojem této analýzy je variogram, definován jako

$$2\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

kde n je počet párů RP a $z(x_i)$ a $z(x_i + h)$ jsou jednotlivé regionalizované proměnné separované vektorem h .

Pro určení vztahů mezi počty odchyťů lýkožrouta do feromonových lapačů a objemy nahodilých těžeb byla použita technika křížového variogramu (crossvariogramu), cílem které je popsat charakter prostorové kontinuity dvou proměnných.

Technika ordinálního krigování slouží pro odhad neznámé hodnoty náhodné proměnné Z v určitém bodu prostoru x v rámci studovaného regionu. Samotný odhad je váženou lineární kombinací dostupných dat $z(x_\alpha)$ v bodech x_α , v rámci účinného okolí odhadu u neznámé hodnoty $Z^*(x)$ v bode x , a příslušných vah ω_α :

$$Z^*(x) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} \omega_\alpha z(x_\alpha)$$

Při analýze dat jsme kromě ordinálního krigování využili vícerozměrnou nelineární formu geostatistických prostorových predikcí – krigování s externím driftem (MATHERON 1973). V tomto případě využíváme vztah primární bodově lokalizované proměnné (např. nahodilé těžby) k sekundární proměnné v rastrové reprezentaci, se kterou primární proměnná lineárně koreluje. V případě dat týkajících se kůrovce se nabízí využití modelu reliéfu v rastrové reprezentaci jako podpůrné (sekundární) proměnné.

Další analýza byla založena na hodnocení vztahů mezi údaji o dynamice kůrovce znázorněné formou map odvozených některou z technik krigování. Byly určeny meziroční difference (přírůstky/úbytky) aktivity kůrovce v území a byla hodnocena globální prostorová dynamika kůrovce v hodnoceném období.

5. Cílové území

Geologické podloží

Práce byla realizovaná v území LHC Ledec nad Sázavou. Po geologické stránce spadá území LHC Ledec nad Sázavou (bez ohledu na dvě lesní oblasti) do krystalinika jižní části Českého masivu (Stejskal 1956). Na území zasahují dvě lesní oblasti. Převažuje oblast 16 – Českomoravská vrchovina, výlučně její oblast 16a – vlastní vrchovina, ze západu sem malou částí proti toku Želivky proniká oblast 10 – Středočeská pahorkatina s podoblastí 10a – Středočeský pluton.

Enkláva Středočeské pahorkatiny kolem Sázavy a Želivky přísluší do oblasti Posázaví, která se dělí na rulovou pahorkatinu Zbraslavickou s převládajícími biotitickými a silimaticko-biotitickými pararulami s vložkami amfibolitů a částečnými překryvy diluviálních hlín a na rulovou pahorkatinu Vlašimsko-humpoleckou, tvořenou stejnými pararulami s ostrůvky žuly. Do Posázaví patří dále ještě žulová vrchovina Světelská, tvořená dvojslídnu hrubozrnnou žulou a dvojslídnu žulou středně až drobně zrnitou. Na jihu sem zasahuje ještě Pelhřimovská vrchovina, a to její vlastní rulová část.

Charakteristika půdních poměrů

Nadpoloviční většinu půdních typů tvoří půdy průměrné povahy, a to hnědé půdy-kambizemě, po stránce půdního druhu hlinitopísčité, méně písčitohlinité, středně hluboké, až častěji hluboké. Nacházejí se většinou na svazích. Náleží k nim ovšem různé půdní subtypy a variety. Na chudším podloží jsou vytvořeny světle okrově zbarvené podzolované, oligotrofní a digotrofní hnědé půdy. Digomezotrofní hnědé půdy představují přechod poměrně živnými, již intenzivněji hnědě zbarveným mezotrofním hnědým půdám. Nejbohatší eutrofní hnědé půdy mají jen velmi malé zastoupení.

V oblasti tohoto celku, stejně jako v celém regionu Českomoravské vrchoviny, mají ve srovnání s jinými lesními oblastmi poměrně značné zastoupení půdy v různém stupni ovlivnění vodou, ať již atmosférickými srážkami, či hladinou spodní vody. Je to způsobeno výskytem značného množství diluviálních hlín, překrývajících vlastní rulové podloží. Na těchto hlínách vznikají z velmi jemných zvětralin půdy po fyzikální stránce nepříznivé, totiž poměrně těžké, hlinité až jílovitohlinité i těžší, špatně propustné, hluboké či velmi hluboké, s malým množstvím skeletu. Voda v nich během roku kolísá, až stagnuje a vytváří zprvu illimerizovaný, posléze pseudoglejový půdní profil. Nacházejí se zde tedy illimerizované – luvizemě, dále hnědé, místy i podzolové pseudogleje, poměrně hojné jsou i pravé

pseudogleje. Na rozdíl od hnědých půd – kambizemí se půdy pseudoglejové povahy vyskytují na rozsáhlých plošinách negativních tvarů či na velmi mírných svazích. Jsou rozšířeny na revírech Dolní Kralovice, Leděč nad Sázavou, Bohdaneč a Vostojavka.

Okrajové, mozaikovitě, jsou zastoupeny vlastní hydromorfní půdy s vysokou hladinou spodní vody, tedy hnědé a pravé gleje a semigleje, v terénních skleslinách zcela ojediněle rašelinné gleje.

Na skaliskách a příkrých svazích v údolí Sázavy a Želivky, případně i v údolích menších vodotečí se v nepatrné míře uplatňují nevyvinuté půdy – syrozemě či litozemě, rankery a rendziny. Na dolnokralovických hadcích jsou rendziny s poměrně vysokým obsahem hořčíku.

Reliéf

Základním rysem reliéfu Českomoravské vrchoviny je rozdíl mezi její menší ústřední částí, totiž Žďárskými a Jihlavskými vrchy a většími okrajovými částmi, k nimž náleží i území LHC. Tyto okrajové části se od Žďárských a Jihlavských vrchů stupňovitě snižují a mají spíše ráz pahorkatin s plošnými rozvodními částmi, prořezanými úzkými a hlubokými údolím, tedy například průnikem údolí řek Sázavy a Želivky. Tato údolí a území mezi nimi se ovšem po stránce vzrůstových poměrů, jak již bylo výše řečeno, řadí do Středočeské pahorkatiny.

Klimatické poměry

Území spadá do klimatické oblasti B (mírně teplá oblast), okrsků B3 (mírně teplý, mírně vlhký, s mírnou zimou) a B5 (okrsek mírně vlhký, mírně teplý). Okrsek B3 je mírně teplý, mírně vlhký, s mírnou zimou, pahorkatinou, proniká na území LHC proti toku Želivky a Sázavy a zabírá zhruba totéž území, které je kolem těchto řek tvořeno hranicí Středočeské pahorkatiny. Okrsek B5 je mírně vlhký, mírně teplý, vrchovinný, zaujímá ostatní převážnou část LHC a je tedy charakteristický pro lesní oblast Českomoravské vrchoviny.

V teplejším okrsku B3 činí 8 °C i více, ve vegetačním období 13- 14 °C, v okrsku B5 se pohybuje mezi 6-7 °C, ve vegetačním období 12-13 °C. Délka vegetační doby kolísá mezi 130 až 150 dny. V Ledči nad Sázavou 365 m je teplota 7,2 °C, v Dolních Kralovicích 365 m 7,9°C, v Lipnici 592 m 6,6 °C a v Humpolci 510 m 7,0 °C. Srážky kolísají mezi 650 až 750 mm, se stoupající nadmořskou výškou a v některých inverzních polohách přibývají. Tak v Ledči nad Sázavou činí 651 mm, v Dolních Kralovicích 690 mm, v Humpolci 665 mm a ve Skále 530 m 741 mm. Nebezpečí Nárazových větrů přichází v úvahu v nepříliš zvlněném terénu na uléhavých, střídavě zamokřovaných půdách s převahou měkokořeničího smrku, především na revírech Bohdaneč a Chraňbož.

Lesní vegetace

Práce byla realizovaná s využitím dat ze dvou revírů – Pekelsko a Vostojávka. Revír Pekelsko je s výjimkou několika hektarů drobných lesíků tvořen středně velkými komplexy lesa. Revír leží v západní části lesní správy, při severním okraji sousedí s revírem Vostojávka, při východním okraji s revírem Melechov, na jihu sousedí s revírem Dolní Kralovice. Základem rozdělení lesa je aktualizované původní rozdělení z minulého LHP, které bylo na základě požadavků vlastníka upraveno. Revír je rozdělen na oddělení 301 - 342.

Revír 03Pekelsko	Porostní plocha	Bezlesí	Lesní pozemky	Jiné pozemky	Celkem	Ostatní pozemky	Úhrnem
	1425,80	11,35	1437,15	10,72	1447,87	22,67	1470,54

Tab. 1: Charakteristika využití území v revíru Pekelsko

Revír Pekelsko se nachází v dvou přírodních lesních oblastech, a to v PLO16 – Českomoravská vrchovina a PLO 10 – Středočeská pahorkatina. Plochy v členění na porostní plochu, bezlesí, jiné a ostatní pozemky jsou uvedeny v Tabulce 2.

PLO	Porostní plocha	bezlesí	Lesní pozemky	Jiné pozemky	Celkem	Ostatní pozemky	Úhrnem
10	1391,77	11,15	1402,92	10,58	1413,50	22,03	1435,53
16	34,03	0,20	34,23	0,14	34,37	0,64	35,01
Celkem	1425,80	11,35	1437,15	10,72	1447,87	22,67	1470,54

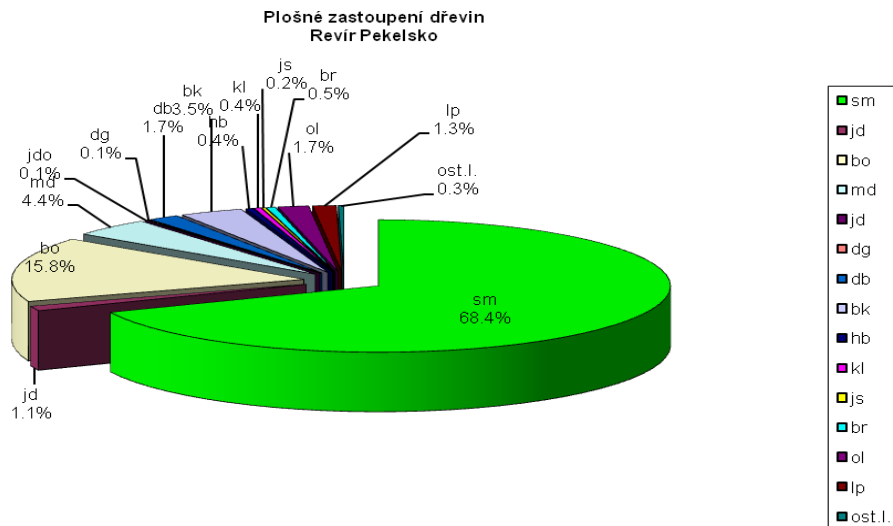
Tab. 2: Charakteristika přírodní lesních oblastí v revíru Pekelsko

Lesní vegetační stupně jsou v úzkém vztahu ke klimatickým a orografickým poměrům a charakterizují lesy, které jsou do nich zařazeny. V rámci vymezených zonálních lesních vegetačních stupňů jsou některé extrazonální lesní typy. Jsou to převážně vodou ovlivněné lesní typy. Z databáze LHP jsou na revíru Pekelsko následující lesní vegetační stupně.

NÁZEV	Lesní vegetační stupeň	Plocha ha Porostní půda	%
Bory	0	57,06	4,0
Dubový	1	5,33	0,4
Bukodubový	2	0,00	0,0
Dubobukový	3	931,94	65,3
Bukový	4	431,47	30,3
Celkem		1425,8	100

Tab. 3: Plošný přehled lesních vegetačních stupňů v revíru Pekelsko

Současná dřevinná skladba revíru je vypočtena z plošného podílu dřevin. Převažující dřevinou je smrk 68,4 %, druhý nejvýznamnější jehličnan je borovice – 15,08 % a modřín 4,4 %. Z listnáčů má nejvyšší zastoupení buk – 3,5 %. Po buku má největší zastoupení z listnáčů olše a dub každý 1,7%. Další listnáče jsou zastoupeny pouze okrajově. Celkově mají jehličnany plošné zastoupení 89,9 %, listnáče 10,1 % (Obr. 9).



Obr 9: Současná dřevinná skladba revíru Pekelsko

Revír Vostojávka je s výjimkou několika hektarů drobnějších lesních částí tvořen převážně komplexy lesa. Revír leží v severozápadní části lesní správy, na severu sousedí s revírem Bohdaneč, ve východní části s revírem Hradecko a na jihu sousedí s revíry Melechov a Pekelsko.

Revír 02 Vostojávka	Porostní plocha	bezlesí	Lesní pozemky	Jiné pozemky	Celkem	Ostatní pozemky	Úhrnem
	1372,41	11,50	1383,91	13,85	1397,76	4,45	1402,21

Tab. 4: Charakteristika využití území v revíru Vostojávka

Vostojávka začíná oddělením 201 a končí u oddělení 238. Revír Vostojávka se nachází také ve dvou přírodních lesních oblastech, a to v PLO16 – Českomoravská vrchovina a PLO 10 – Středočeská pahorkatina. Plochy v členění na por. plochu, bezlesí, jiné a ostatní pozemky jsou uvedeny v následující Tabulce 5.

PLO	Porostní plocha	Bezlesí	Lesní pozemky	Jiné pozemky	Celkem	Ostatní pozemky	Úhrnem
10	484,50	5,23	489,73	7,64	497,37	3,00	500,37
16	887,91	6,27	894,18	6,21	900,39	1,45	901,84
celkem	1372,41	11,50	1383,91	13,85	1397,76	4,45	1402,21

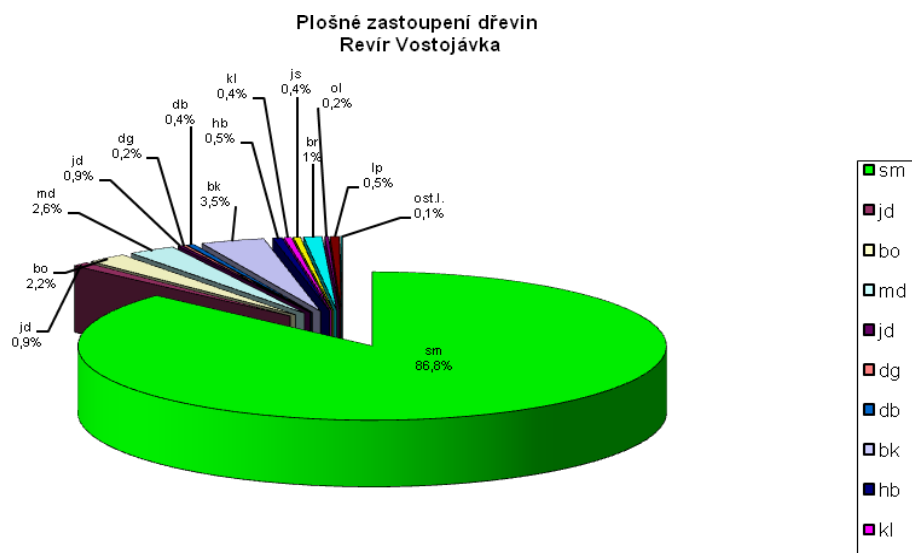
Tab. 5: Charakteristika přírodní lesních oblastí revíru Vostojávka

V rámci vymezených zonálních lesních vegetačních stupňů jsou některé extrazonální lesní typy. Jsou to převážně vodou ovlivněné lesní typy. Z databáze LHP jsou na revíru Vostojávka následující lesní vegetační stupně.

NÁZEV	Lesní vegetační stupeň	Plocha ha Porostní půda	%
Bory	0	4,61	0,3
Dubový	1	8,85	0,6
Bukodubový	2	2,47	0,2
Dubobukový	3	437,09	31,9
Bukový	4	851,43	62,0
Jedlobukový	5	67,96	5,0
Celkem		1372,41	100

Tab. 6: Plošný přehled lesních vegetačních stupňů v revíru Vostojávka

Převažující dřevinou je smrk – 86,8 %. Druhý nejvýznamnější jehličnan je modřín – 2,6 % a borovice 2,2%. Z listnáčů má stejně jako u předešlého revíru nejvyšší zastoupení buk – 3,5 %. Po buku má největší zastoupení z listnáčů bříza - 1,0 % a na třetím místě je lípa – 0,5 %. Další listnáče jsou zastoupeny pouze okrajově. Celkově mají jehličnany plošné zastoupení 92,7 %, listnáče pouze 7,3 % (Obr 10)



Obr. 10: Současná dřevinná skladba revíru Vostojávka

6. Výsledky

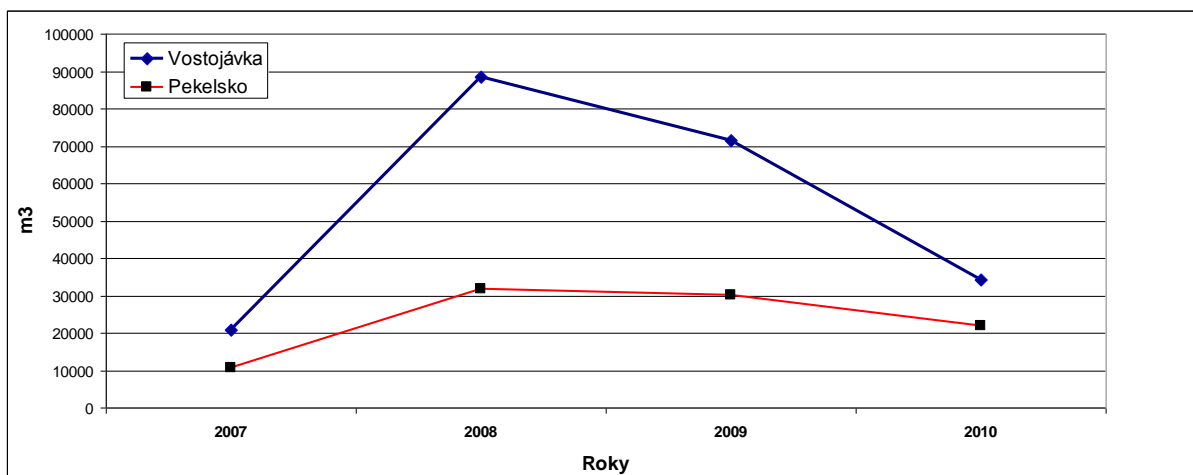
6.1 Celkový rozsah zpracovaných dat

Vytvoření základní databáze, která byla dále analyzována, bylo realizováno v souladu metodickými postupy popsány výše. Zde uvádíme základní popisné charakteristiky dat, které byly zpracované. Zbytek dat je přiložen k této práci na CD nosiči. Prostorová analýza dat byla realizovaná jen v revíru Pekelsko, kde byla data komplexnější.

Rozsah realizovaných opatření v revírech Pekelsko a Vostojávka je uvedený v Tab. 7 a na Obr 11. Je možné vidět nárůst obranných opatření, každým rokem stoupá počet lapáků a lapačů. Jediné obranné opatření, které nebylo znovu instalováno, jsou otrávené lapáky, které se v na revíru Vostojávka neosvědčily a to pro špatně zvolený technologický postup výroby harvestory, neboť došlo k jejich brzkému vyschnutí a staly se tak pro kůrovce neatraktivními. Těžby začaly narůstat od roku 2008, kdy oba revíry byly zasaženy vichřicí Ivan a ta způsobila devastaci porostů a vytěžená hmota celkem za oba revíry činila 120 101 m³. V roce 2009 klesly těžby na 101 485 m³, ale nebyly to živelné těžby jako předešlého roku, nýbrž vypukla naplno kůrovcová kalamita na obou revírech. Další rok 2010 skončil se součtem těžeb za oba revíry na čísle 56 240 m³ vytěženého dřeva, je to značný pokles oproti předchozím letům a značí tak ústup kůrovcové kalamity.

Rok	Revír	Položeno lapáky ks.	Stojící lapáky zřízeno ks.	Otrávené lapáky ks.	Lapače ks.
2007	Vostojávka	35	0	0	25
	Pekelsko	26	0	0	7
2008	Vostojávka	126	0	0	78
	Pekelsko	10	0	0	9
2009	Vostojávka	651	659	1195	1072
	Pekelsko	133	0	0	37
2010	Vostojávka	4052	2017	0	961
	Pekelsko	4817	696	0	95

Tab. 7: Plošný přehled obranných opatření na revírech Vostojávka a Pekelsko



Obr 11: Plošný přehled nahodilých těžeb na revírech Vostojávka a Pekelsko

6.2 Analýza napadení porostů lýkožroutem smrkovým v revíru Pekelsko

V revíru Pekelsko bylo terénním měřením získáno značné množství dat (Tab. 8), ze kterých jsme podrobněji analyzovali data o nahodilých těžbách. V této kapitole prezentuji statistické charakteristiky nahodilých těžeb po jednotlivých letech za období 2007-2010 a prostorovou distribuci těžeb v důsledku napadení porostů kůrovcem a poškození větrem. Pro tento účel jsme využili sérii map vytvořených v prostředí GIS. Na závěr jsou prezentovány mapy napadení porostů kůrovcem v revíru Pekelsko za roky 2009-2010 vytvořené prostorovou interpolací dat o nahodilých těžbách.

	Ferom. lapáky 1V	Lapáky 1V přikáceno	Lapáky 2V	Lapáky 2V přikáceno	Lapače	Ips ve stěnách	Kyřil 07	Těžba*
2010	9	80	82	42	95	180	–	548
2009	23	20	2	–	29	–	–	482
2008	10	–	–	–	9	–	–	168
2007	18	–	4	–	7	–	113	208

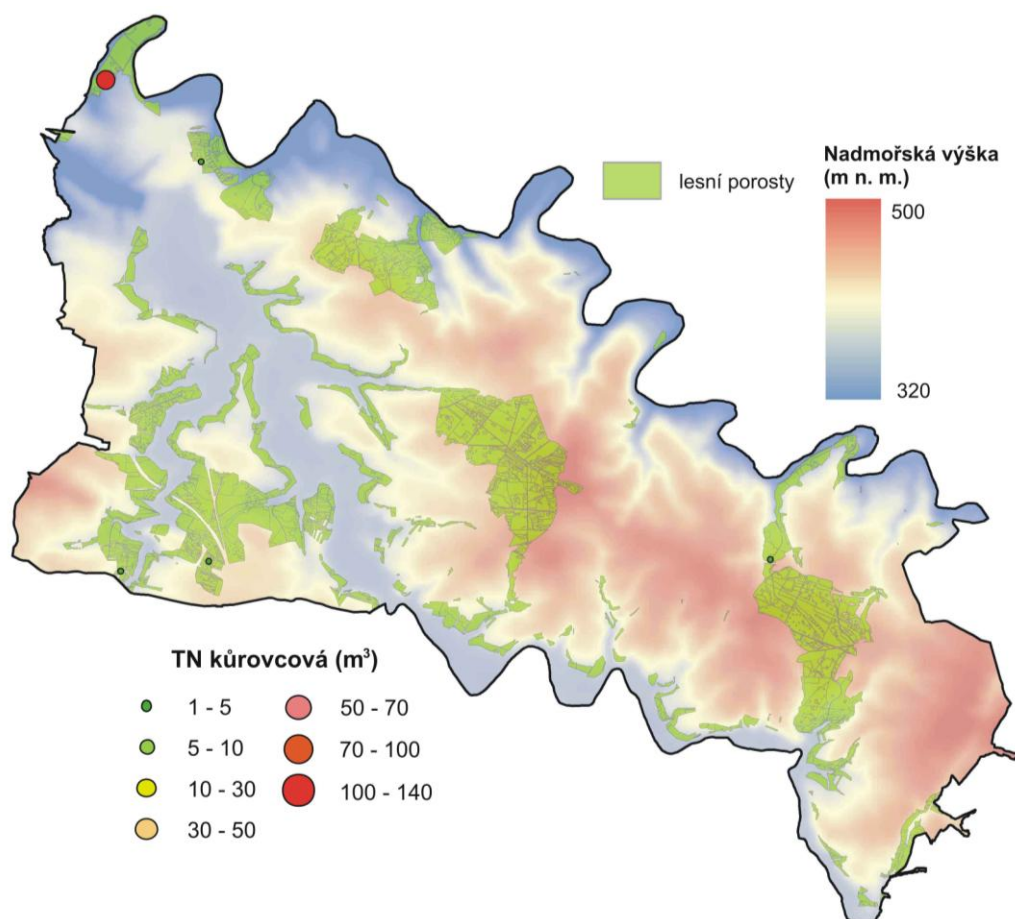
Tab. 8: Přehled počtů záznamů u jednotlivých typů dat dostupných v rocích 2007-2010 v revíru Pekelsko. * počet záznamů o všech typech shodných těžeb, které se v daném roce realizovali

Rok 2007

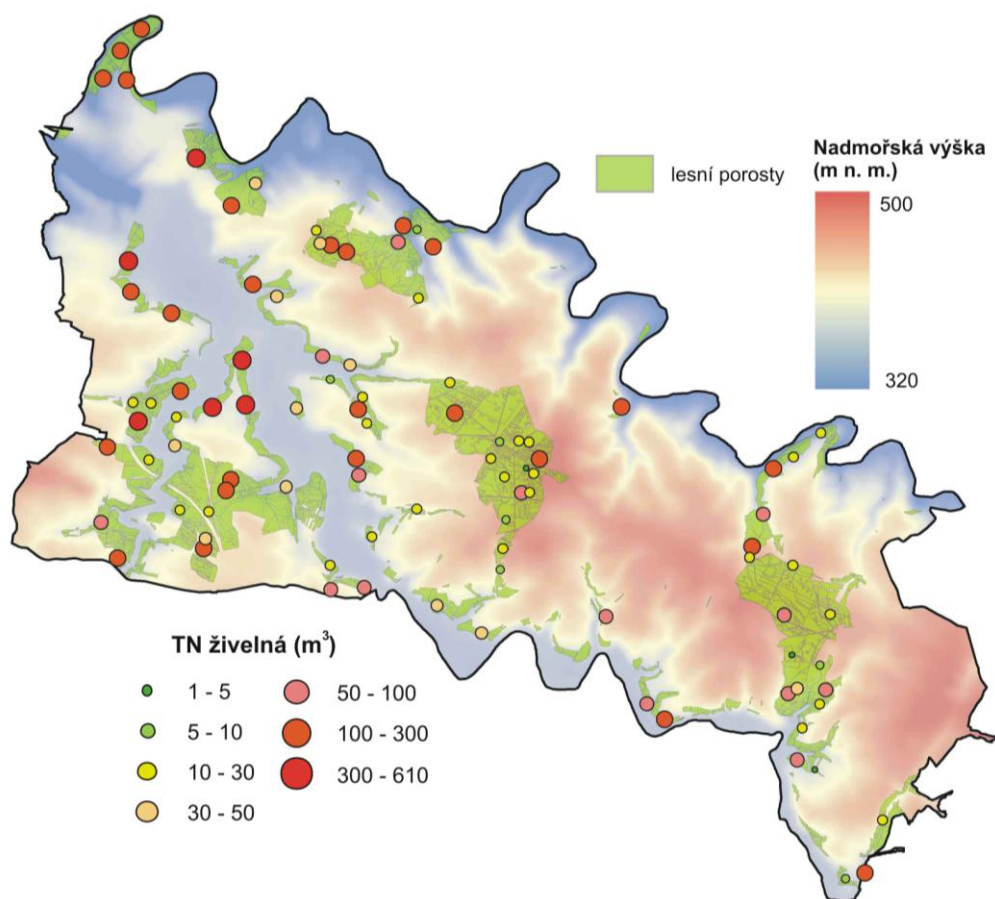
	Počet dílců *	Průměr	Medián	Suma	Min	Max	Spodní kvartil	Horní kvartil	Kvantil 10%	Kvantil 90%	Sm. odch.
TN kůrovcová	5	30	4	152	3	138	3	4	3	138	60
TN živelná	97	101	46	9770	1	609	17	153	8	266	118
TN lapáky	11	14	2	156	1	138	1	2	1	3	41

Tab. 9: Popisné charakteristiky vybraných nahodilých těžeb v revíru Pekelsko v roce 2007

*v případě, že těžba byla realizovaná v rámci jednoho roku v tom samém dílci vícekrát, byla spočtena suma těchto těžeb. Uvedená hodnota tedy vyjadřuje počet dílců s těžbou, nikoli počet záznamů o těžbě



Obr. 12: Distribuce porostů s evidovanou nahodilou těžbou v důsledku kůrovce v revíru Pekelsko v roce 2007

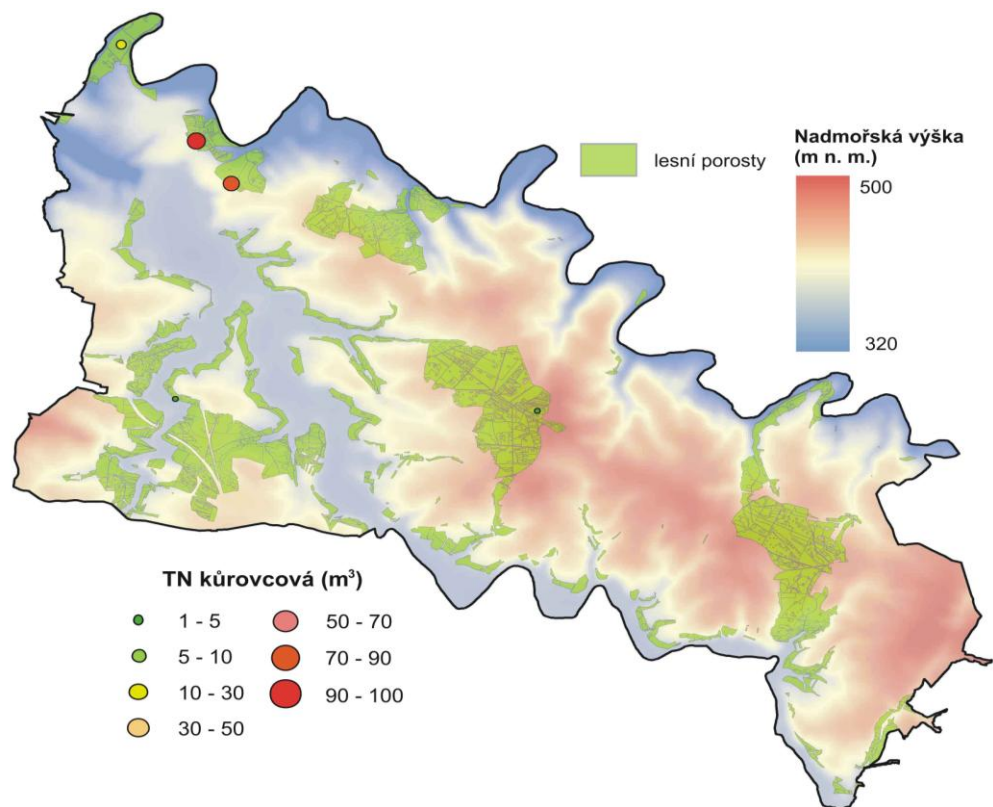


Obr. 13: Distribuce porostů s evidovanou nahodilou těžbou živelnou v revíru Pekelsko v roce 2007

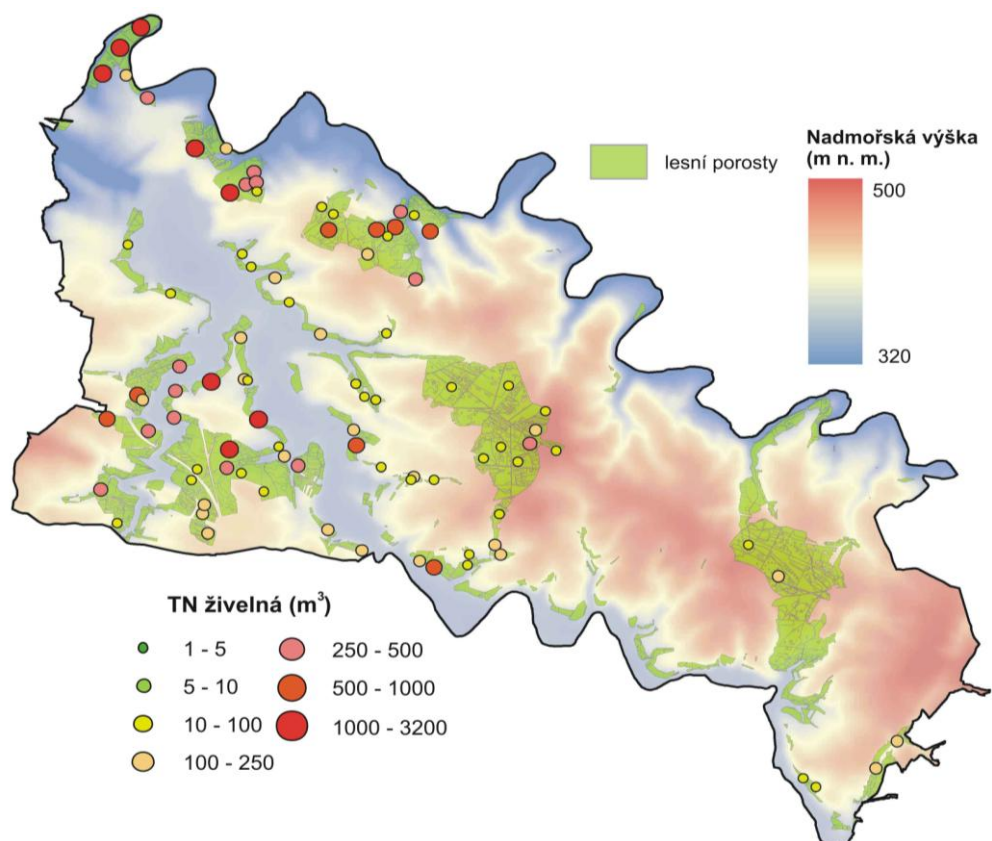
Rok 2008

	Počet dílců	Průměr	Medián	Suma	Min	Max	Spodní kvartil	Horní kvartil	Kvantil 10%	Kvantil 90%	Sm. odch.
TN kůrovcová	5	40	26	202	3	92	4	76	3	92	41
TN živelná	90	335	132	30 109	10	3 139	66	327	31	765	538
TN lapáky	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Tab. 10: Popisné charakteristiky vybraných nahodilých těžeb v revíru Pekelsko v roce 2008



Obr. 14: Distribuce porostů s evidovanou nahodilou těžbou v důsledku kůrovce v revíru Pekelsko v roce 2008

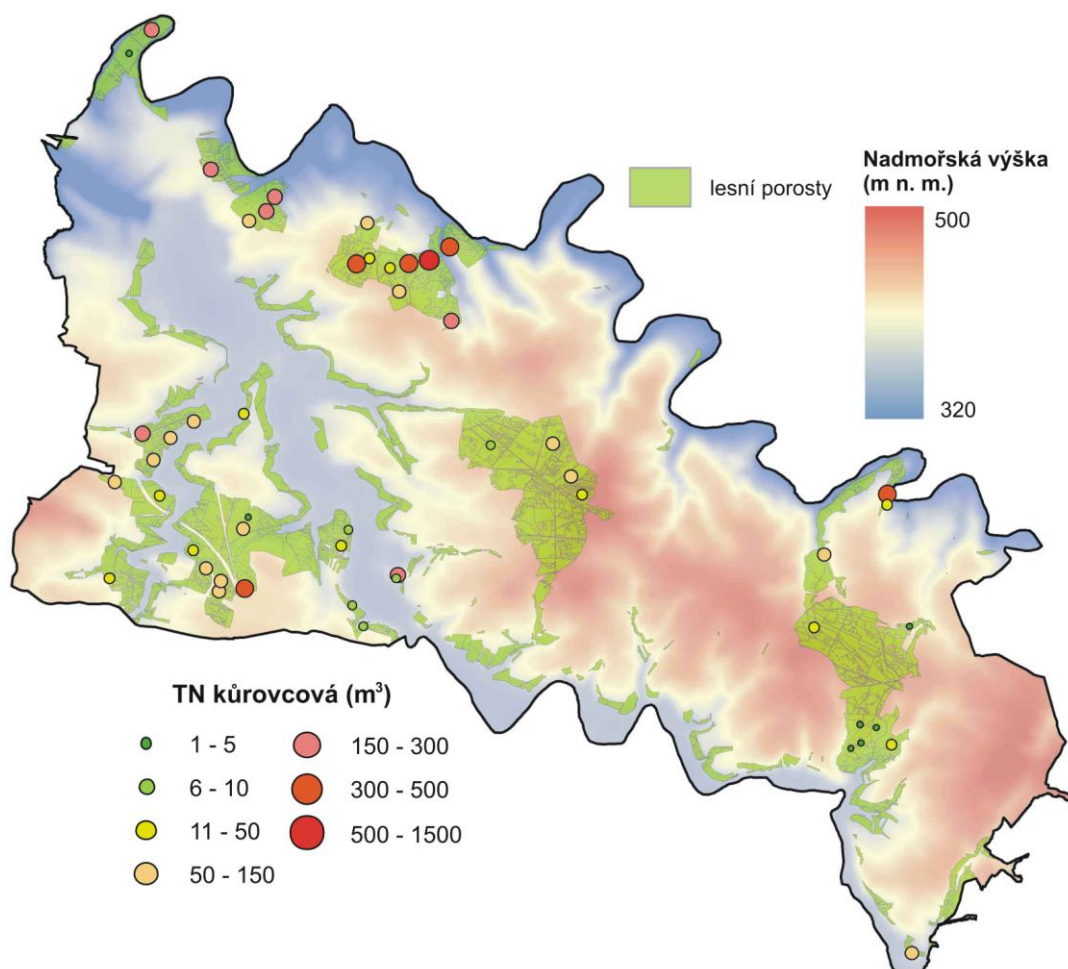


Obr. 15: Distribuce porostů s evidovanou nahodilou těžbou žívnou v revíru Pekelsko v roce 2008

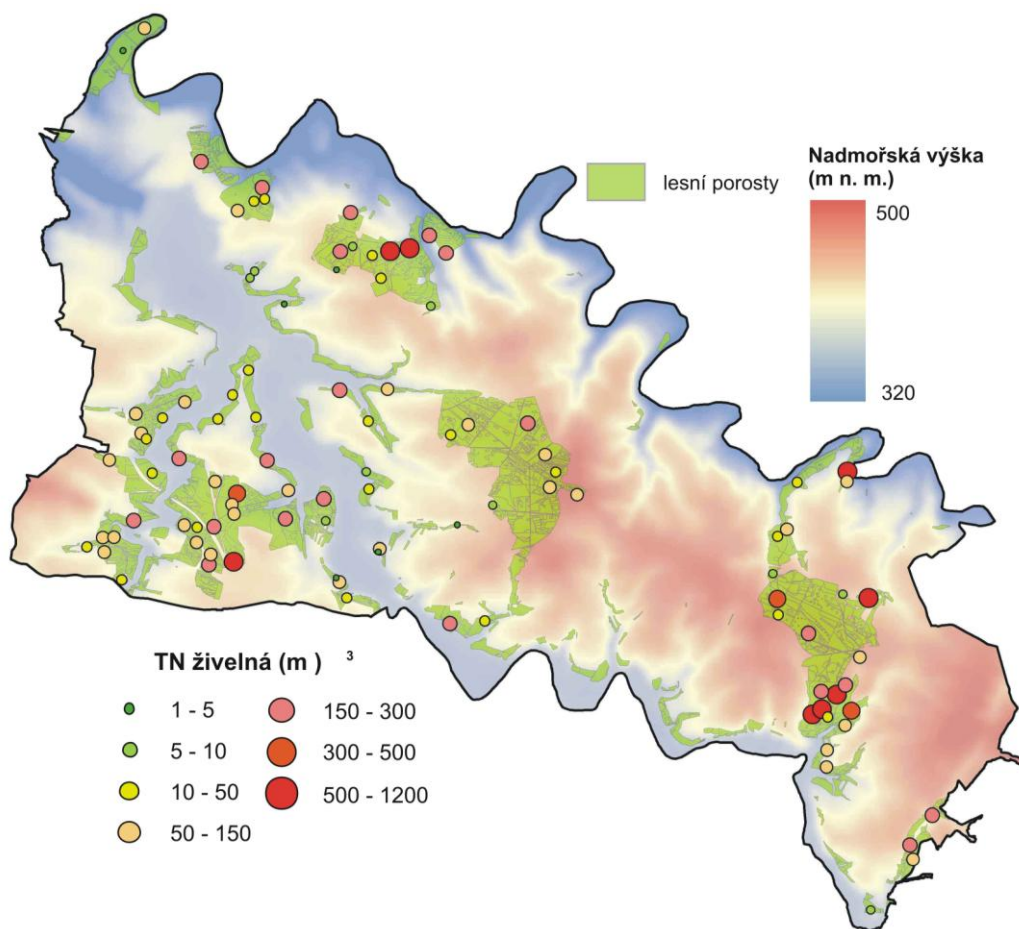
Rok 2009

	Počet dílčů*	Průměr	Medián	Suma	Min	Max	Spodní kvartil	Horní kvartil	Kvantil 10%	Kvantil 90%	Sm. odch.
TN kůrovcová	205	173	98	35 535	2	1 435	31	210	10	432	221
TN živelná	367	154	55	56 646	1	2 319	15	157	4	390	287
TN lapáky	65	22	12	1 426	2	200	5	27	4	53	29

Tab. 11: Popisné charakteristiky vybraných nahodilých těžeb v revíru Pekelsko v roce 2009



Obr. 16: Distribuce porostů s evidovanou nahodilou těžbou v důsledku kůrovce v revíru Pekelsko v roce 2009

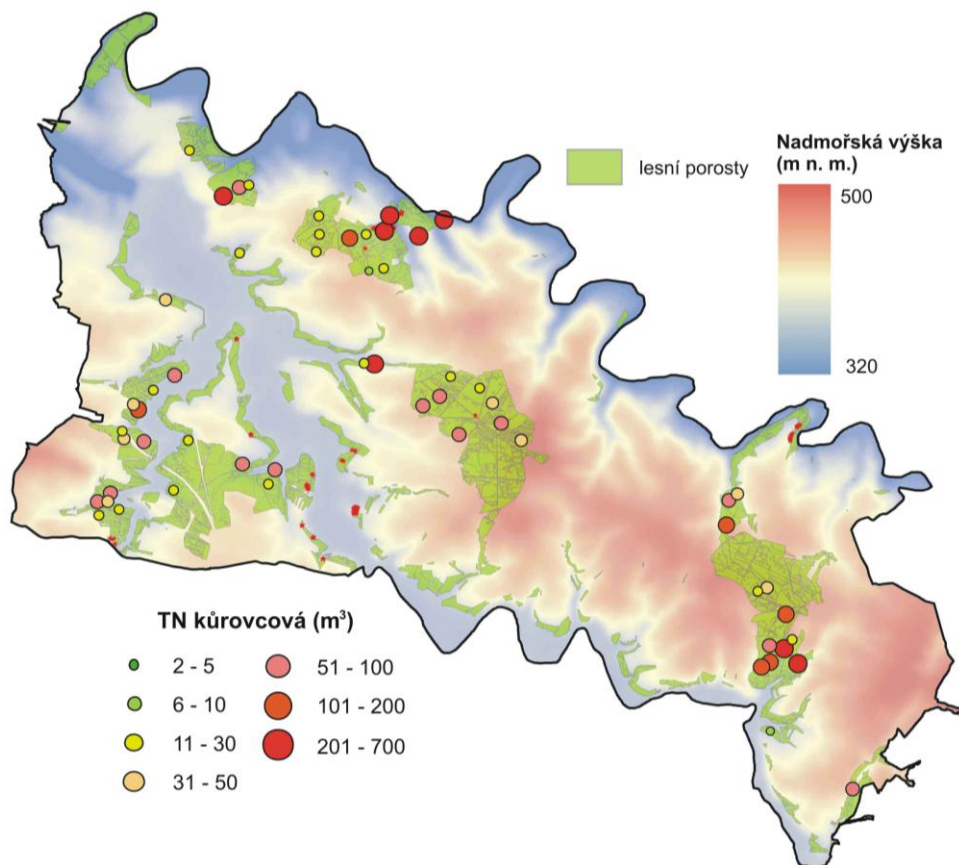


Obr. 17: Distribuce porostů s evidovanou nahodilou těžbou živelnou v revíru Pekelsko v roce 2009

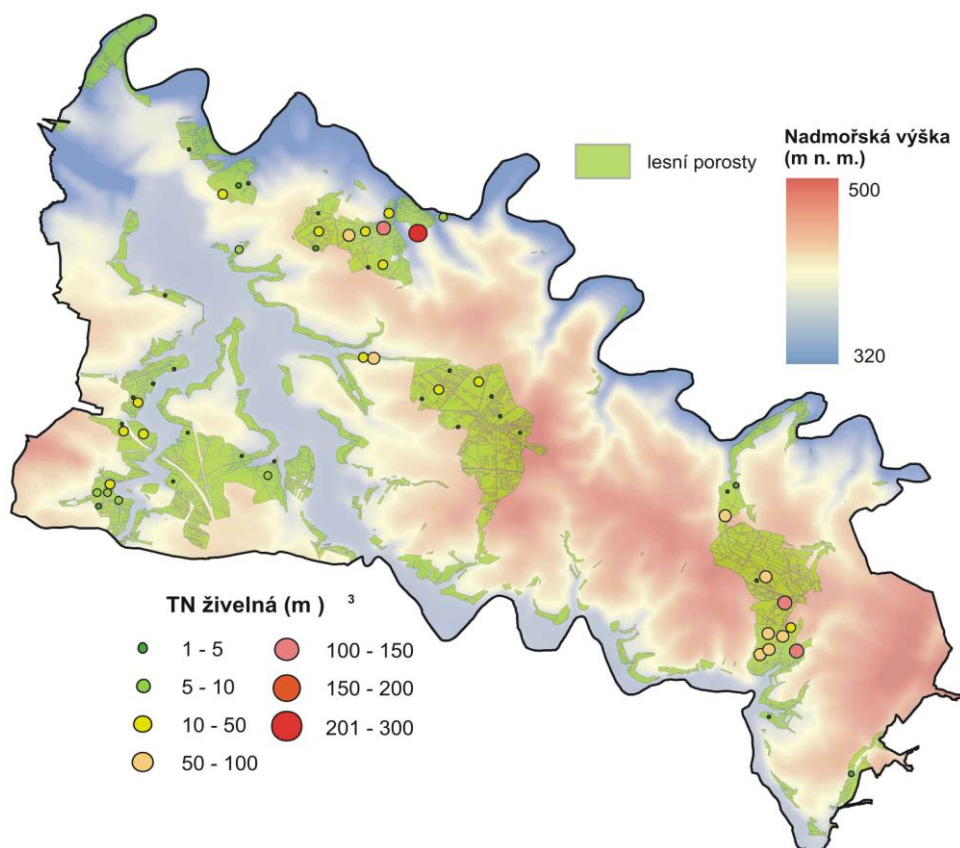
Rok 2010

	Počet dílčů*	Průměr	Medián	Suma	Mín	Max	Spodní kvartil	Horní kvartil	Kvantil 10%	Kvantil 90%	Sm. odch.
TN kůrovcová	60	90	49	5414	7	681	25	89	19	223	116
TN živelná	109	23	10	2538	0	255	3	28	1	71	36
TN lapáky	82	135	87	11 088	0	780	31	192	20	299	144

Tab. 12: Popisné charakteristiky vybraných nahodilých těžeb v revíru Pekelsko v roce 2010



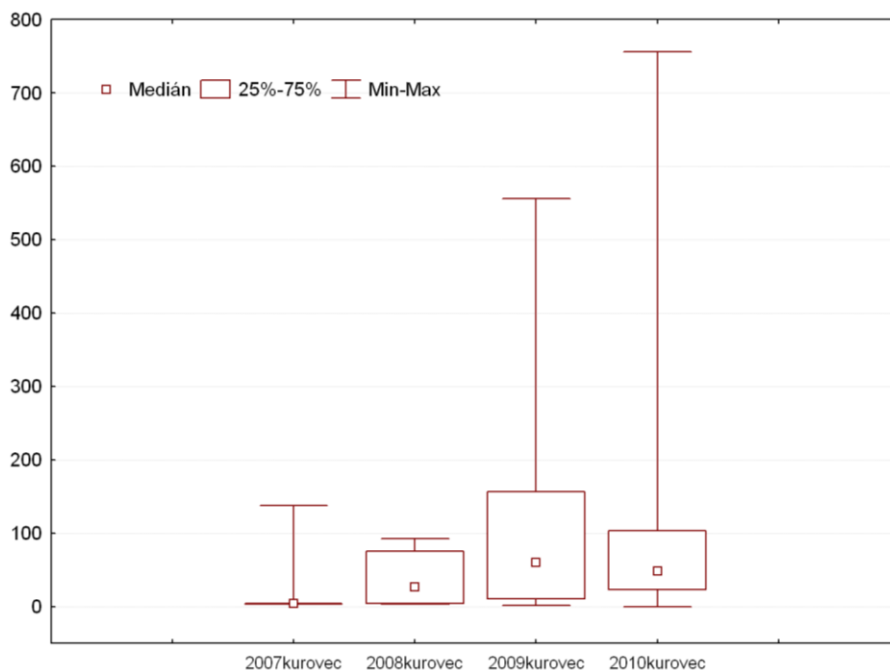
Obr. 18: Distribuce porostů s evidovanou nahodilou těžbou v důsledku napadení kůrovce v revíru Pekelsko v roce 2010



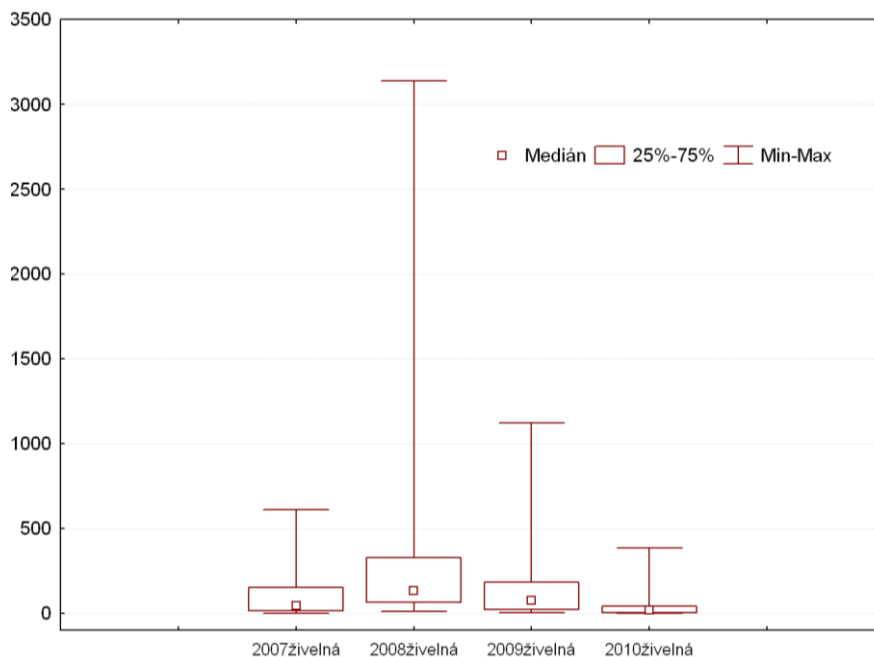
Obr. 19: Distribuce porostů s evidovanou nahodilou těžbou živelnou v revíru Pekelsko v roce 2010

Časový vývoj objemů nahodilých těžeb

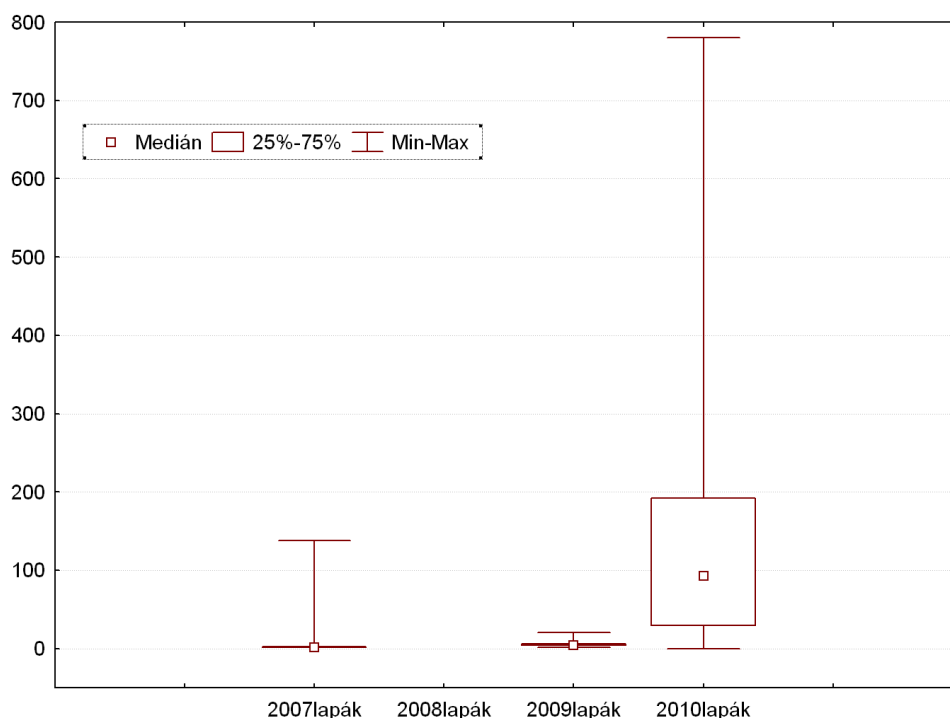
Vývoj objemů nahodilých těžeb v čase vhodně popisuje aktivitu daného činitele (těžby v důsledku napadení biotickým nebo abiotickým činitelem) nebo intenzitu realizovaných opatření (těžba nahodilá – lapáky). Tyto informace jsou pomocí krabicových grafů prezentované na (Obr. 20, 21 a 22.).



Obr. 20: Časový vývoj objemů nahodilých těžeb v důsledku napadení porostů kůrovcem v revíru Pekelsko, LHC Ledec nad Sázavou (m³)



Obr. 21: Časový vývoj objemů nahodilých těžeb živelných v revíru Pekelsko, LHC Ledec nad Sázavou (m³)



Obr. 22: Časový vývoj objemů nahodilých těžeb – lapáky – v revíru Pekelsko, LHC Leděč nad Sázavu (m³)

Je možné vidět, že zatímco nahodilé těžby živelné kulminovaly v roce 2008 (obr. 21), kůrovcové těžby kulminovali s jednoletým zpožděním (2009) (obr. 20). Tím došlo pochopitelně ke zvýšení kalamitního základu, který se projevil v nárůstu objemu obranných opatření. Proto objem lapáků použitých na studovaném revíru kulminuje v roce 2010 (obr. 22)

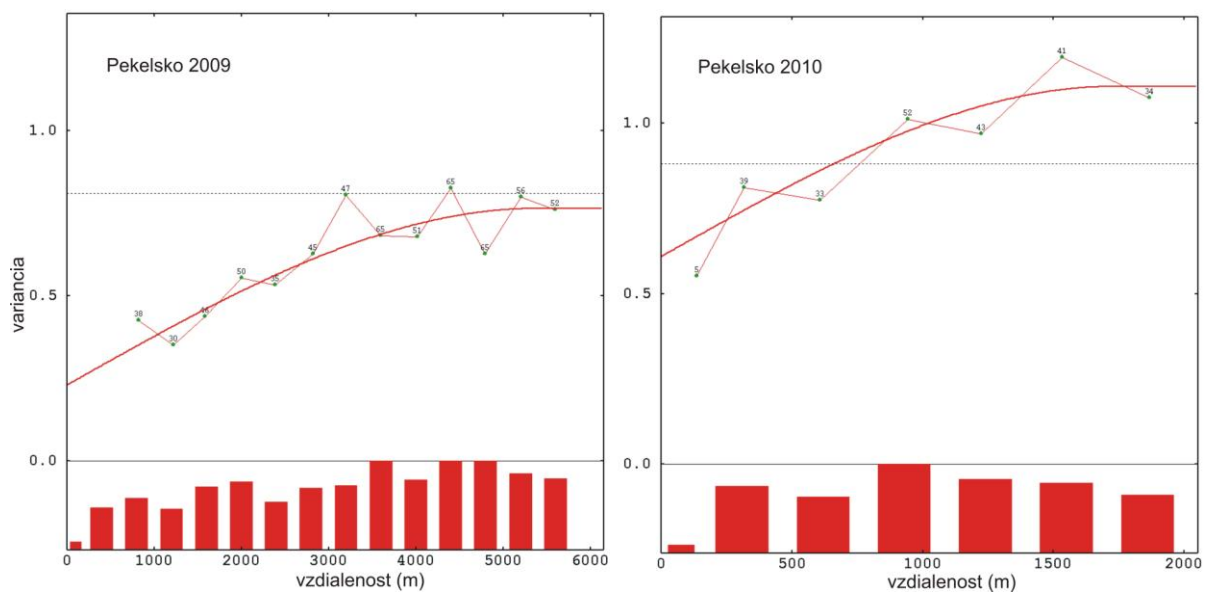
Geostatická analýza dat o nahodilých těžbách

Závěrečnou analýzou, pomocí které zachytíme distribuci kůrovce v revíru Pekelsko, je prostorová interpolace dat o nahodilých těžbách v důsledku napadení porostů kůrovcem. Pro tento účel byly využity výše popsané metody geostatistiky – variogram a krigování. Analyzovali jsme jen data o nahodilých těžbách v důsledku napadení porostů kůrovcem, při kterých je možné předpokládat jistou spojitost v prostoru vyplývající z ohniskovitěho šíření biotických činitelů. V případě nahodilé těžby živelné takovéto chování nelze předpokládat. Analyzované byly roky 2009-2010, kdy byl k dispozici dostatek dat pro tuto analýzu.

Variografická analýza poukazuje na specifické prostorové charakteristiky aktivity kůrovce v cílovém území. Z každé proměnné (proměnná představuje data o těžbách za jeden rok) bylo před analýzou odstraněno 1 – 5 prostorové nekonzistentních hodnot, která narušovala uspořádání (celkovou prostorovou strukturu) zbytku prostorově relativně konzistentních

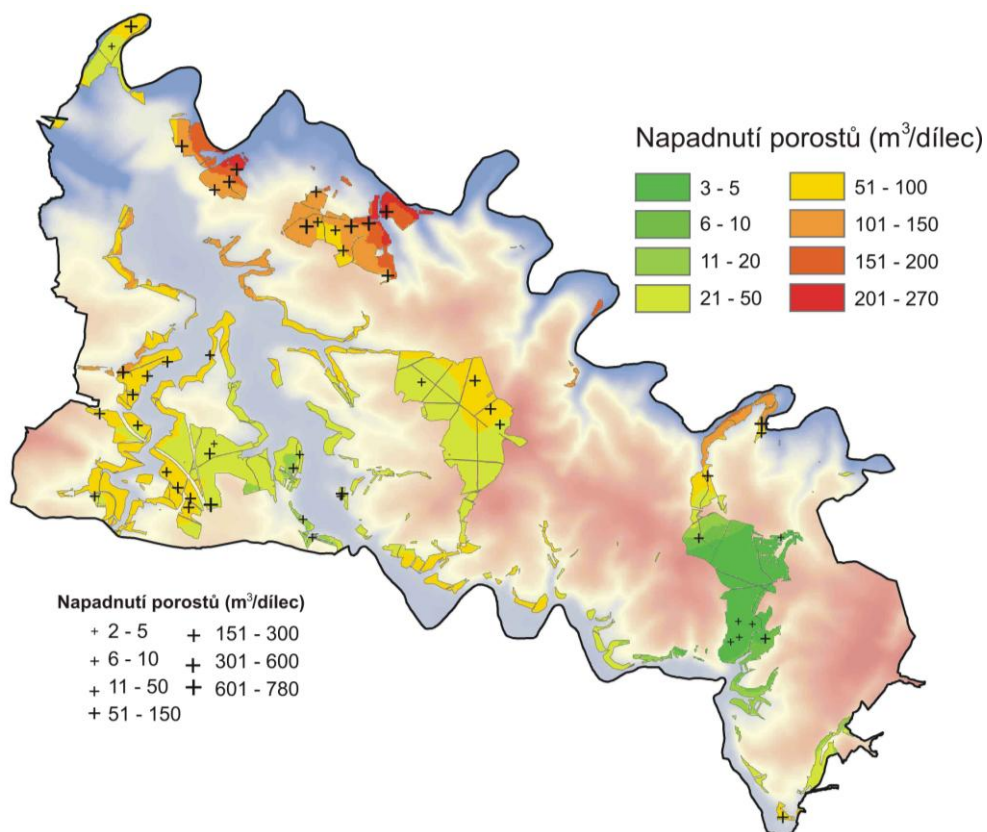
hodnot. Ve všech případech byla pro proložení empirických hodnot použita kombinace sférického variogramu s nugetovým efektem (diskontinuitou v počátku), vyjadřující prostorovou variabilitu zdrojových dat na malých vzdálenostech, příp. chyby, jimiž jsou data zatížena.

Je možné vidět, že variogramy zkonstruované z dat pro roky 2009-2010 jsou přiměřeně strukturované, je přítomný charakteristický nárůst variability při menších vzdálenostech (Obr. 23). Variogram v roce 2009 se stabilizuje ve vzdálenosti přibližně 5 km, což naznačuje přítomnost jistých prostorových struktur napadení porostů kůrovcem. V roce 2010 je naopak hodnota, při které se variogram stabilizoval nízká – přibližně 1500 m, z čeho vyplývá značná fragmentace napadení porostů. Nugetový efekt variogramu (nespojitosť v počátku) představuje 40-60% celkové variability dat, což je s ohledem na charakter dat obvyklá hodnota. Variogramy byly konstruovány z transformovaných dat (normální rozdělení, rozsah -1 – 1).

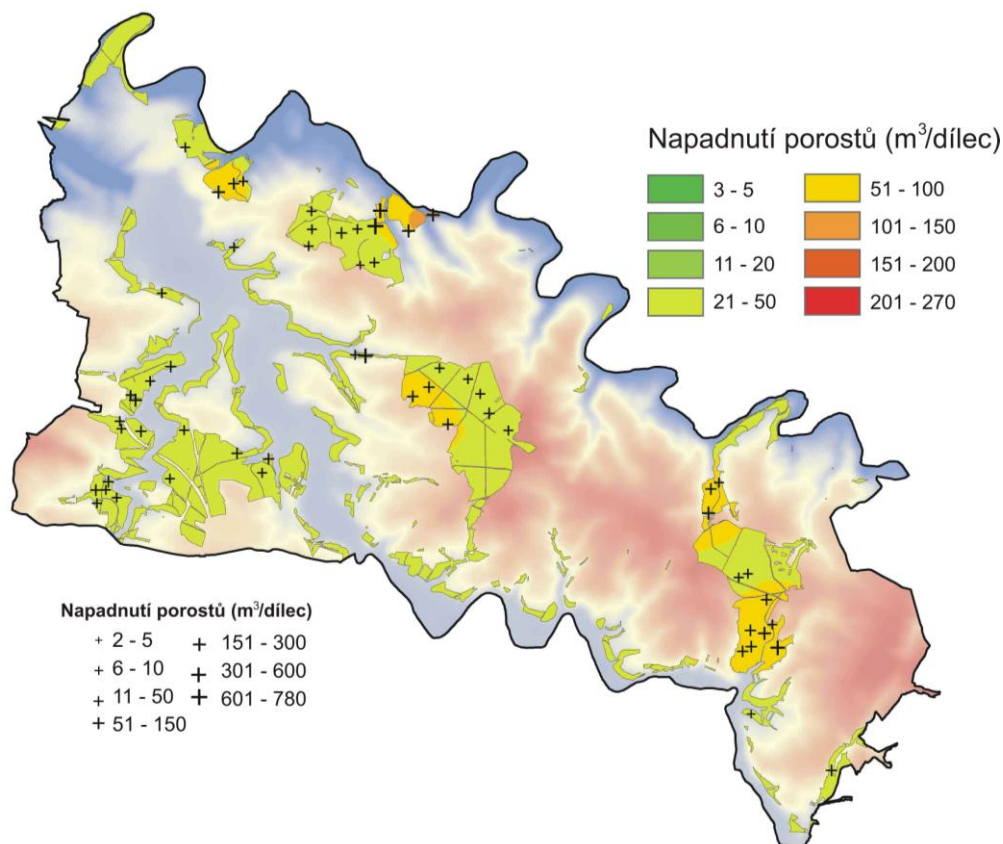


Obr. 23: Variogramy objemů nahodilých těžeb v důsledku napadení kůrovcem v revíru Pekelsko v rocích 2009-2010. Sloupcový graf vyjadřuje počty párů hodnot použitých pro výpočet daného hodnoty variogramu.

Prezentované variogramy představují důležitý vstup do prostorové interpolace metodami krigování. Na výsledku interpolace se odrážejí mírou prostorové spojitosti nebo fragmentace vytvořených map. S ohledem na očekávaný vztah intenzity napadení porostů s nadmořskou výškou, jsme jako podpůrnou proměnnou při interpolaci využili elevaci cílového území. Vytvořené mapy za roky 2009-2010 jsou uvedené na (Obr. 24 a 25). Na obou mapách jsou pro zobrazení použity stejné kategorie, čímž je umožněné korektní porovnání map.



Obr. 24: Mapa distribuce populace kůrovce v revíru Pekelsko v roce 2009 odvozena prostorovou interpolací s podporou údajů o nadmořské výšce



Obr. 25: Mapa distribuce populace kůrovce v revíru Pekelsko v roce 2010 odvozená prostorovou interpolací s podporou údajů o nadmořské výšce

V prvním pokalamitním roce 2009 nastal obrovský nárůst kůrovcových těžeb na revíru Pekelsko, které se na konci ve svém součtu vyrovnaly vichřici Ivan předešlého roku, kdy živelné těžby překročily hranici 30000 metrů krychlových. Tento nárůst kůrovcových těžeb byl zapříčiněn pozdním zpracováním větrné kalamity předešlého roku, kde byly nejmasivněji napadány porosty poškozené vichřicí a to podél řeky Sázavy a při levém ramenu vodní nádrže Švihov (Obr. 24). Jde vesměs o porosty, které jsou ve věku sto a více let a hlavní dřevinou je smrk. Tyto porosty byly narušeny a napadány kůrovcem tak masivně, že došlo k jejich úplnému domýcení nebo vytěžení smrku ve směsi s borovicí. To vysvětluje pokles těžeb u těchto porostních skupin oproti roku 2010. V roce 2010 naopak došlo ke zvýšenému podílu těžeb ve vyšších oblastech revíru a to jednak z důvodů rozsáhlého nasazení obranných opatření (4817 položených lapáků a 696 stojících lapáků), které byly umístěny převážně v těchto porostech. Na straně druhé, se jedná o rozsáhlé plochy, kde převažuje smrk a logicky dochází k jeho napadání kůrovcem, neboť porosty v nižších polohách revíru byly zcela vytěženy, nebo převládající dřevinou v těchto směsích se stala borovice a tak kůrovec postupuje do vyšších poloh. V nižších polohách dochází k napadání porostů mladších než třicet let, nejvíce v oblasti kolem levého ramene vodní nádrže Švihov (Obr. 25).

7. Závěry a diskuse

V diplomové práci jsem se věnoval vytvoření databáze údajů popisujících napadení porostů lýkožroutem smrkovým v území LHC Ledec nad Sázavou a základnímu vyhodnocení těchto údajů. Shromážděná byla data o odchycích lýkožrouta do feromonových lapačů, objemů nahodilých těžeb v důsledku poškození větrem, napadení kůrovcem nebo z jiných důvodů, rozsahu napadených porostních stěn apod. Všechna data jsou prostorově vztažená formou souřadnic zaměřených pomocí GPS a v tabulkové podobě jsou na CD přiložená k této práci, jako materiál na další výzkum. Vytvořená databáze obsahuje velice podrobná data a o všech realizovaných opatřeních v uvedeném území, na základě čeho je dále možné různými statistickými postupy hodnotit účinnost těchto opatření.

Při zpracování kůrovcové kalamity, zejména po rozsáhlých větrných polomech, je jedním z hlavního problému enormní množství napadeného dříví, které musí být zpracováno často na rozlehlých územích (Grodzki et al. 2006). Krátkodobé prognózy založené na analýze vývoje velikosti populace kůrovce v několika předchozích letech mohou představovat klíčový podklad pro optimalizaci a efektivnější využití lidských a technických kapacit (Hlásny et al. 2010b). Jako východisko pro tuto optimalizaci může sloužit přímo mapa distribuce populace kůrovce vypracovaná pro předchozí rok, jak prezentujeme v této diplomové práci pro roky 2009-2010.

Podmínkou operativního využívání tohoto postupu je dostupnost co nejucelenějších dat o nahodilých těžbách, odchycích z feromonových lapačů a dalších opatřeních, které musí být vztažené na úroveň dílce a digitálně zpracované v jednotném formátu. Obzvláště v případě kalamitních situací je vedení kvalitní evidence problematické, návratnost této investice však může být značná. Bude-li tým expertů schopen operativně v zimním období zpracovat tyto data a vytvořit relativně spolehlivé mapy distribuce populace kůrovce pro celé kalamitní území, bude možné optimalizovat rozmístění obranných prvků v kritických oblastech už před prvním rojením následujícího roku.

Některé zajímavé interpretace skýtají výsledky variografické analýzy. Jak již bylo zmíněno, v roce 2009 se variogram stabilizuje až po vzdálenosti 5 km, zatímco v roce 2010 už při vzdálenosti 1,5 km. Toto koresponduje se skutečností, že podle grafu (Obr. 23) v roce 2009 gradace kulminovala a lýkožrout se intenzivně v území šířil. Důsledkem tohoto šíření je značně spojitá struktura napadení porostů v revíru. V roce 2009 je naopak dosah variogramu krátký, a co koresponduje se značně fragmentovaným charakterem napadení porostů. Tento

vývoj je pravděpodobně signálem retrogradace, kdy dochází k rozpadu jednotného napadení na izolované plošky, jak v důsledku procesu vnitřní regulace (vnitrodruhová konkurence, tlak patogenů a predátorů) probíhajících u retrogradační fáze, jakož i důsledek intenzivních kontrolních opatření. Tyto zjištění jsou v souladu s prací Hlásny et al. (2010a), kteří pozorovali podobné procesy v slovenské části Beskyd.

Použitá data o nahodilých těžbách a počtech jedinců lýkožrouta smrkového nepochybně obsahují informace, pomocí kterých je možné zrekonstruovat stav napadení porostů a distribuci populace kůrovce v jednotlivých rocích (Hlásny & Turčáni, odesláno). Význam této analýzy spočívá na jedné straně v lepším pochopení ekologie lýkožrouta smrkového a jeho chování v období po rozsáhlých větrných kalamitách, a na straně druhé v možnosti realizovat krátkodobé prognózy dalšího vývoje napadení pro potřeby realizace prostorové diferencovaných opatření ochrany lesa. Obdobný postup, avšak s využitím dat z feromonových lapačů realizovali Hlásny et al. (2010b) na území Tater. Další využití odvozených map napadení porostů lýkožroutem je vymezení zón intensity napadení, a aplikace diferencovaných opatření. Metodiku pro tento postup navrhl Hlásny et al. (2010c).

Použitá data jsou evidentně zatížená mnohými nedostatky, počínaje problémy při evidenci dat a konče jejich úpravou pro různé analýzy (Hlásny et al. 2009). Pro vyrovnání se s těmito nedostatky je zapotřebí validace výsledků modelování daty z nezávislého zdroje, kupříkladu vizuálním porovnáním se změnou stavu lesa odvozenou ze záznamů dálkového průzkumu Země (Nikolov et al. 2010). Vyvstává zde taktéž otázka na změny legislativy při povinnosti lesních subjektů vést evidenci nahodilých těžeb a dalších obranných a ochranných opatření, jakož i zpřístupňování těchto dat pro účely jejich kvalifikovaného vyhodnocení.

Použitá literatura

- Anderbrant O. 1986:** A model for the temperature and density dependent reemergence of the bark beetle *Ips typographus*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 40:81-88.
- Anderbrant O. 1990:** Gallery construction and oviposition of the bark beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) at different breeding densities. *Ecological Entomology* 15, 1-8.
- Begon M., Harper J. L., Townsend C. R. 1997:** Ekologie jedinci, populace a společenstva. Univerzita Palackého Olomouc, 949 s.
- Boucias D. G., Pendland J. C., Latgé J. P. 1988:** Effects of in vitro Passage of *Bauveria bassiana* on virulence to *Bemisia argentifolii*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 77: 280-283.
- Butt T. M., Goettel M. S. 2000:** Bioassays of Entomopathogenous Fungi. In: Navon A., Asher K.R.S. (Eds.): *Bioassays of Entomopathogenic Microbes and Nematodes*. CAB International, Walingford, UK: 95-140.
- Byers J. A. 1988:** Host-tree chemistry affecting colonization in bark beetles. *Chemical Ecology of Insects 2*. Chapman and Hall, New York, 154-213.
- Dedek W., Pape J. 1990:** Umweltschonendes Abschöpfen von Borkenkäfern in der DDR. *Allg. Forst. Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge* 45: 357-359
- Dutilleul P., Nef L., Frigon D. 2000:** Assessment of site characteristics as predictors of the vulnerability of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) stands to attack by *Ips typographus* L. (Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology* 124: 1–5
- Faccoli M. 2002:** Winter mortality in sub-corticolous populations of *Ips typographus* (Coleoptera, Scolytidae) and its parasitoids in the south-eastern Alps. *Journal of Pest Science* 75, 62-68.
- Faccoli M., Stergulc F. 2006:** A practical method for predicting the short-time trend of bivoltine populations of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology* 130, 61-66.
- Göthlin E., Schroeder L. M., Lindelow A. 2000:** Attacks by *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus* on windthrown spruces (*Picea abies*) during the two years following a storm felling. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 542-549.

- Grodzki W., McManus M., Knížek M., Meshkova V., Mihalcu V., Novotný J., Turčáni M., Slobodyan Y. 2004:** Occurrence of spruce bark beetles in forest stands at different levels of air pollution stress. *Environmental Pollution* 130 (1): 73–83.
- Grodzki, W., Jakuš, R., Lajzová, E., Sitková, Z., Maczka, T., Škvarenina, J., 2006:** Effects of intensive versus no management strategies during an outbreak of the bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col.: Curculionidae, Scolytinae) in the Tatra Mts. in Poland and Slovakia. *Annals of Forest Science* 63: 55–61.
- Hedgren P. O., Schroeder L. M. 2004:** Reproductive success of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) and occurrence of associated species: a comparison between standing beetle-killed trees and cut trees. *Forest Ecology and Management* 203, 241-250.
- Hlásny T. 2005:** Geoštatistický koncept priestorovej závislosti pre geografické aplikácie, *Geografický časopis*, 54, 2. 97-116.
- Hlásny T. Turčáni M.** Geostatistical analysis of bark beetle infestation in the northern Slovakia. *Journal of Pest Science*, odoslané.
- Hlásny, T., Vizi, L., Turčáni, M., Koreň, M., Kulla, L., Sitková Z. 2009:** Geostatistical simulation of bark beetle infestation for forest protection purposes. *Journal of Forest Science*, 55 (11): 518-525.
- Hlásny, T., Grodzki, W., Turčáni, M., Sitková, Z., Konôpka, B. 2010a:** Bark Beetle – the main driving force behind spruce forests decline. In: Hlásny, T., Sitková, Z. (eds.): *Spruce forests decline in the Beskids*. Zvolen: National Forest Centre – Forest Research Institute Zvolen & Czech University of Life Sciences Prague & Forestry and Game Management Research Institute Jíloviště – Strnady. 80-97.
- Hlásny T., Nikolov Ch., Vakula J., Zúbrik M., Ferenčík J., Konôpka B. 2010b:** Geoštatistická analýza vývoja populácie *Ips typographus* po vetrovej kalamite vo Vysokých Tatrách z roku 2004. In: Konôpka, B. (ed.) *Výskum smrečín destabilizovaných škodlivými činiteľmi*, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 86-95.
- Hlásny, T., Kulla, L., Barka, I., Turčáni, M., Sitková, Z., Koreň, M. 2010c:** The proposal of biotic hazard zones in selected spruce dominated regions in Slovakia, *Journal of Forest Science*, 56, 5, 236-242.

- Hougardy E., Grégoire J. C. 2003:** Cleptoparasitism increases host finding abilities in the polyphagous parasitoid species *Rhopalicus tutela* (Hymenoptera:Pteromalidae). Behavioural Ecology and Sociobiology, 55: 184-89.
- Hulcr J. 2003:** Kůrovci milácci evoluce. Spojenecká armáda lýkožroutů a hub proti stromu. Vesmír, 82: 692-696.
- Inglis G. D., Goettel M. S., Butt T. M., Strasser H. 2001:** Use of hyphomycetes fungi for managing insect pests. In: Butt T.M., Jackson C., Magan N. (Eds.): Fungi as Biocontrol agents-progress, problems and potential. CAB International, UK, 23-69.
- Jakuš R., Blaženec M. 2002:** Influence of proportion of (4S)-cisverbenol in pheromone bait on *Ips typographus* (Col., Scolytidae) catch in pheromone trap barrier and in single traps. Journal of Applied Entomology, 126: 306-311.
- Jakuš, R. 1998:** Types of bark beetle (Coleoptera: Scolytidae) infestation in spruce forest stands affected by air pollution, bark beetle outbreak and honey fungus (*Armillaria mellea*). Anzeiger für Schädlingskunde 71:41–49.
- Kenis M., Wermelinger B., Grégoire J. C. 2004:** Research on Parasitoids and predators of *Scolytidae* – a Review. Kluwer Academic Publisher, 237-290.
- Kreutz J. 2001:** Möglichkeiten einer biologischen Bekämpfung des Buchdruckers, *Ips typographus* L. (Col., Scolytidae), mit insektenpathogenen Pilzen in Kombination mit Pheromonfallen. Dissertation Naturwiss.-techn. Fakultät III, Universität des Saarlandes, Saarbrücken 132.
- Křístek J., Urban J. 2004:** Lesnická entomologie. Academia, Praha 445.
- Landa Z., Křenová Z, Vojtěch O 2007:** Lesnická práce 10.12-13.
- Larcher W. 1988:** Fyziologická ekologie rostlin. Academia, Praha, 361.
- Lexer M. J. 1995:** Beziehungen zwischen der Anfälligkeit von Fichtenbeständen *Picea abies* (L.) Karst.) für Borkenkäferschäden und Standorts- und Bestandesmerkmalen unter besonderer Berücksichtigung der Wasserversorgung. Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien: 210.
- Lexer, M. J. 1997:** Risikoanalyse und Ableitung waldbaulicher Massnahmen zur Beeinflussung des Borkenkäferisikos in Fichtenbeständen. FBVA, Berichte 95: 79–89.

- Lobinger G. 1995:** Einsatzmöglichkeiten von Borkenkäferfallen. Allg. Forst. Z. Waldwirtsch. Umweltvorsorge, 50: 198-201.
- Lopéz M. F., Carrillo V., Gómez Z., Shibayama M. 2007:** Effect of the alfa-pinene on the midgut cells from bark beetle *Dendroctonus valens*. USDA Forest Service Proceeding RMRS-P-45:37-40.
- Luštinec J., Žárský V. 2003:** Úvod do fyziologie vyšších rostlin. Karolinum, Praha, 262.
- Mahaffey L. A. 2004:** Terpenoids and Their Effects on Conifer Insects. Colorado State University, 97.
- Martínek V. 1956:** Číselné vyjádření hustoty náletu kůrovce *Ips typographus* L. na kmenech při přemnožení. Lesnictví XXIX (6): 411-425.
- Martínek V. 1961:** Problém natality a gradace kůrovce *Ips typographus* L. ve střední Evropě. Rozpravy ČSAV 71 (3): 77.
- Matheron, G. 1973:** The intrinsic random function and their applications. Advances in Applied Probability 5, 439-469.
- Mills N. J., Schlup J. 1989:** The natural enemies of *Ips typographus* in Central Europe: Impact and potential use in biological kontrol. Journal of Applied Entomology, 111: 33-43.
- Mustaparta H. 1979:** Chemoreception in the bark beetles of the genus *Ips*: synergism, inhibition and discrimination of enantiomers. In: Ritter FJ (ed) Chemical Ecology: Odor Communication in Animals. Elsevier/N. Holland, Amsterdam, 147-158.
- Nebeker T. E., Mizell R. F., Bedwell N. J. 1984:** Management of bark beetle populations: impact of manipulating predator cues and other control tactics. Chemical and Biological Controls in Forestry, 9: 125-131.
- Nef L. 1994:** Estimation de la vulnérabilité de pessiers aux attaques d'*Ips typographus* L. à partir de caractéristiques stationnelles. Silva Belgica 101: 7-14.
- Netherer S., Nopp-Mayr U. 2005:** Predisposition assessment systems (PAS) as supportive tools in forest management-rating of site and stand-related hazards of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains as an example for system application and verification. Forest Ecology and Management 207: 99-107.

- Nikolov C., Barka I., Ferenčík J., Hlásny T., Raši R., Vakula J., Zúbrik M., Fleischer P., Kunca A., Konôpka B. 2010:** Využitie geografických informačných systémov a diaľkového prieskumu Zeme pre hodnotenie zmien stavu lesa po roku 2004 vo Vysokých Tatrách. In: Konôpka, B. (ed.) Výskum smrečín destabilizovaných škodlivými činiteľmi, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 96-110.
- Osborne L. S., Landa Z. 1992:** Biological control of whiteflies with entomopathogenic fungi. Florida Entomology, 75(4): 456-471.
- Pfeffer A. 1954:** Kůrovec lýkožrout smrkový *Ips typographus* L. a boj proti němu. II vyd. Praha, 46.
- Pfeffer A., Příhoda A. 1950:** Vztah mezi kůrovci a houbami. Ochrana rostlin 23. 115-127.
- Raffa K. F., Berryman A. A. 1983:** The role of host plant resistance in the colonization behavior and ecology of bark beetles (*Coleoptera: Scolytidae*). Ecological Monographs 53, 27-49.
- Sachtlebeň I. 1952:** Die parasitische *Hymenopteren* des Fichtenborkenkafers *Ips typographus* L., Beitrage zur Entomologie, 2: 89-137.
- Schlyter F., Lundgren U. 1993:** Distribution of a bark beetle and its predator within and outside old growth forest reserves: no increase of hazard near reserves. Scandinavian Journal of Forest Research 8, 246–256.
- Schroeder L. M., Eidmann H. H. 1993:** Attacks of bark- and woodboring Coleoptera on snow-broken conifers over a two-year period. Scandinavian Journal of Forest Research 8: 257–265.
- Skuhrový V. 2002:** Lýkožrout smrkový (*Ips typographus* L.) a jeho kalamity (Der Buchdrucker und ihre seine Kalamitäten). Agrospoj, Praha, 196.
- Sosa-Gomez D. R., Boucias D. G., Nation J. L. 1997:** Attachment of *Metarhizium anisopliae* to the Southern Green Stink Bug *Nezera viridula* Cuticule and Fungistatic Effect of Cuticular Lipids and Aldehydes. Journal of Invertebrate Pathology 69: 31-39.
- Šibeň V., Hlásný T., Leontovyč R., Kulla L. 2008:** Rekonštrukcie nepôvodných lesných spoločenstiev ohrozených zmenou prírodných podmienok (najmä klímy) na ekologicky stabilnejšie ekosystémy. Správa pre priedbežnú oponentúru úlohy výskumu a vývoja. Zvolen, Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 69.

- Švihra P. 1973:** K populačnej dynamike lýkožrúta smrekového *Ips typographus* L. v oblasti Horehronia. Vedecké práce VÚLH Zvolen, 229-258.
- Thalenhorst W. 1958:** Grundzüge der Populationsdynamik des großen Fichtenborkenkäfers *Ips typographus* L. Schriftenr. Forstl. Fak. Univ. Göttingen 21, 126.
- Tømmerås B. Å. 1985:** Specialization of the olfactory receptor cells in the bark beetle *Ips typographus* and its predator *Thanasimus formicarius* to bark beetle pheromones and host tree volatiles. *Journal of Comparative Physiology* 157: 335-341.
- Turčáni M., Čapek M. 2000:** The results of study of parasitoids and insect predators of bark beetles in native Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in Slovensky raj Mts. *Forestry Journal*, 46: 92-381.
- Turčáni, M., Vakula, J. 2007.** The influence of irradiation on the behaviour and reproduction success of eight toothed bark beetle (*Ips typographus* L., 1758). *Journal of Forest Research* 53 (10): 31-37.
- Turčáni, M., Vakula, J., Hlásny T. 2006.** Analýza populácií podkôrných škodcov na Kysuciach, prognóza ďalšieho vývoja a rámcový návrh opatrení. Aktuálne problémy v ochrane lesa 2006. LVÚ Zvolen. 84-93.
- Turtola. S., Manninen. A. M., Rikala R., Kainulainen P. 2003:** Drought stress alters the concentration of wood terpenoids in scots pine and norway spruce seedlings. *Journal of Chemical Ecology*, 29: 1981-1995.
- Vaupel O., Zimmermann G. 1996:** Orientierende Versuche zur Kombination von Pheromonfallen mit dem Insektenpathogenen Pilz *Beauveria bassiana* (BALS.) VUILL. gegen die Borkenkäferart *Ips typographus* L. (*Col., Scolytidae*). *Anz. Schädlkd. Pfl anzenschutz Umweltschutz*, vol. 69, 175-179.
- Wermelinger B. 2002:** Development and distribution of predators and Parasitoids during two consecutive years of an *Ips typographus* (*Col., Scolytidae*) infestation. *Journal of Applied Entomology*, 126: 27-521.
- Wermelinger, B. 2004:** Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *Forest Ecology and Management* 202: 67–82.

- Weslien J. 1992:** The arthropod complex associated with *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytidae): species composition, phenology, and impact on bark beetle productivity. Entomologica.214.
- Wichmann L., Ravn H. P. 2001:** The spread of *Ips typographus* (L.) (Coleoptera,Scolytidae) attacks following heavy windthrow in Denmark analysed using GIS. Forest Ecology and Management 148: 31–39
- Zahradník P. 2004:**Ochrana smrčín proti kůrovcům. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce, 39: 7.
- Zahradník P., Knížek M. 2000:** Lýkožrout smrkový – *Ips typographus* (L.), Lesnická práce 10: 8.

Obrazová příloha



(Foto: Vichr. 2008)

Obr. 26: Porost 304 A07 zasažený vichřicí Ivan v roce 2008



(Foto: Vichr. 2008)

Obr. 27: Porost 314 C07 zasažený vichřicí Ivan v roce 2008



(Foto: Vichr. 2008)

Obr. 28: Porost 312 J04 zasažený vichřicí Ivan v roce 2008 a následné přemnožení kůrovce



(Foto: Svoboda. 2010)

Obr. 29: Porost 235 D11 kůrovcová kalamitní holina vzniklá v letech 2009 a 2010



(Foto: Svoboda. 2009)

Obr. 30: Porost 306 A09 zasažený kůrovcem v roce 2009



(Foto: Svoboda. 2010)

Obr. 31: Porost 306 A09 postup kůrovce v roce 2010



(Foto: Svoboda. 2009)

Obr. 32: Porost 306 A09 zasažený kůrovcem v roce 2009



(Foto: Svoboda. 2010)

Obr. 33: Porost 2010 postup kůrovce v roce 2010



(Foto: Svoboda. 2009)

Obr. 34: Porost 307 A12 zasažený kůrovcem v roce 2009



(Foto: Svoboda. 2010)

Obr. 35: Porost 307 A12 postup kůrovce v roce 2010