

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ochrany lesa a entomologie

**Vliv větrných disturbancí na populace lýkožrouta smrkového (*Ips  
typographus* L.)**

Disertační práce

Autor: Ing. Roman Modlinger

Školitel: doc. Ing. Jaroslav Holuša, Ph.D.

Praha 2013

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma „**Vliv větrných disturbancí na populaci lýkožrouta smrkového (*Ips typographus* L.)**“ vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací a doporučení školitele.

Souhlasím se zveřejněním disertační práce dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách, v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne 22. 8. 2013

Podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji doc. Ing. Jaroslavu Holušovi, Ph.D. (FLD ČZU v Praze) za metodické vedení práce, prof. RNDr. Milanu Melounovi, DrSc. (Univerzita Pardubice), za seznámení s moderními metodami statistického zpracování dat, Ing. Karlu Kupkovi, Ph.D. et Ph.D. (Trilobite, s. r. o.), za poskytnutí beta verze statistického programu QC.Expert 3.2 s vylepšenou tvorbou neuronových sítí a poskytnutí konzultací k aplikaci metod NN a PLS-R. Pralesnímu týmu „Modrá kočka“ (VÚKOZ, v. v. i.) jsem vděčný za důvěru, s níž mi poskytl dosud nepublikovanou mapu stromové situace Boubínského pralesa, jmenovitě pak Mgr. Dušanu Adamovi, Ph.D., za vytvoření bufferů v prostředí ArcGIS. Dále jsem velice zavázán kolegovi Ing. et Ing. Petru Novotnému, Ph.D. (VÚLHM, v. v. i.), za pečlivé pročtení rukopisu a četné formální i obsahové připomínky. Za pomoc při terénních šetřeních v Boubínském pralesu bych rád poděkoval Bc. Zuzaně Žákové a Bc. Tomáši Rubešovi (ČZU v Praze), Ing. Pavlu Matouškovi, Ph.D. (ČIŽP), Ing. Janu Liškovi a Ing. Miloši Knížkovi, Ph.D. (VÚLHM, v. v. i.). V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své ženě Jitce, synovi Františkovi i oběma babičkám za trpělivost, se kterou snášeli množství času věnovaného disertační práci.

Roman Modlinger

## Abstrakt

V disetrační práci jsou porovnávány vztahy mezi větrem a lýkožroutem smrkovým (*I. typographus* L.) na několika prostorových a časových úrovních. Na základě hlášení lesního personálu za období 1964–1991 bylo křížovou korelační funkcí mezi časovými řadami prokázáno zvýšení početnosti lýkožrouta následkem větrných polomů se zpožděním 1–3 roky, ale také vznik škod větrem jako následek porušení stability porostů po kůrovcových těžbách se stochastickým zpožděním 1–5 let.

Pro období 2006–2010 byly pomocí FA odhaleny skryté vztahy mezi abiotickými a biotickými škodlivými činiteli jako coarse-scale a fine-scale disturbance, které ovlivňují množství kůrovcových těžeb. Analýzou PCA a CLU byly kraje České republiky rozčleněny podle převažujícího charakteru škodlivých činitelů. K predikci očekávaného objemu kůrovcového dříví byly použity MLR, PLS a NN. Nejlepších výsledků dosáhla metoda MLR s Boxovou-Coxovou transformací:  $\text{Podkor } A = 0,038 * \text{NPaNPR} + 0,245 * \text{vítr } A-1 + 1,036 * \text{podkor } A-1 - 0,131 * \text{podkor } A-2 - 0,113 * \text{vítr } A-2$ .

Hodnocením počtu výletových otvorů *I. typographus* na ležících kmenech v Boubínském pralese v souvislosti s vichřicí Emma byl zjištěn významný vliv tloušťky kmene na jejich obsazení. Pomocí lineární interpolace bylo zjištěno maximálně 29 000 výletových otvorů na celém hodnoceném kmeni. Byl nalezen významně vyšší počet výletových otvorů na vývratech, které měly v okruhu 25 m přítomný feromonový lapač.

V Boubínském pralese byla pomocí MLR, CLU a DA s využitím mapy stromové situace zjišťována míra rizika různých typů polomů z hlediska reprodukce lýkožrouta smrkového a vývoje napadených stromů v nejbližším okolí polomu. Identifikováno bylo pět různě rizikových skupin. Největší riziko představují rozsáhlé smrkové polomy uvnitř okolního smrkového porostu. Minimální riziko naopak představují jednotlivé stromy velkých dimenzí pod listnatým porostem a také větší polomy slabších dimenzí, které padly uvnitř smíšeného porostu s převahou listnáčů. Nalezené vztahy umožní lépe posoudit riziko vzniku přemnožení podkorního hmyzu po větrné disturbanci v lesních rezervacích ponechaných samovolnému vývoji.

**Klíčová slova:** lýkožrout smrkový, *Ips typographus*, vítr, disturbance, populační dynamika, predikční modely, polom

## Abstract

The relations between wind and spruce bark beetle (*I. typographus* L.) on several levels in space and time are compared in this PhD thesis. Based on the information received from forest services within the period of 1964–1991, the increase of the abundance of the spruce bark beetle as a consequence of the windfalls with a delay of 1–3 years was established by using the cross-correlation between the time series, as well as the incurred losses as a consequence of stand stability deterioration following the loggings with a stochastic delay of 1–5 years.

In the course of 2006–2010, a hidden dependence between abiotic and biotic forest damaging agents as coarse-scale and fine-scale disturbance influencing the volume of bark beetle loggings was revealed using FA. The regions of the Czech Republic were divided according to prevailing nature of the forest damaging agents using PCA and CLU analysis. To predict the anticipated volume of the spruce wood infested by bark beetle, MLR, PLS and NN were used. The method MLR with Box – Cox transformation achieved best results, see: *inner bark volume yearA* = 0.038\**nature reserves area* + 0.245\**wind volume yearA-1* + 1.036 \**inner bark volume yearA-1* – 0.131\**inner bark volume yearA-2* – 0.113\**wind volume yearA-2*.

After assessing the number of emergence holes of the *I. typographus* on laying trunks in Boubín primeval forest following the storm Emma, a significant influence of the thickness of the trunk on their occupancy was ascertained. By means of the linear interpolation, maximum 29 000 emergence holes on the whole evaluated tree was ascertained. A significantly higher number of the emergence holes was found on the windthrows with a feromone trap within a 25 m radius.

In Boubín primeval forest a risk implication of various windfall types in light of the reproduction of the spruce bark beetle and of the infested trees development in the nearest windfall surroundings was established using MLR, CLU and DA and stem position map. Five different vulnerability groups were identified. The heaviest risks are represented by vast spruce windfalls inside the surrounding spruce stand. On the contrary, the individual trees of big size under the broadleaf stand and also greater windfalls of smaller tree size that have fallen inside the mixed stand with prevailing broadleaved trees represent minimal risk. The established relations enable better assessing of the risk of the spruce bark beetle outbreak after the wind disturbance in forest reserves with non-intervention policy.

**Key words:** eight-toothed spruce bark beetle, wind, disturbances, population dynamics, prediction models, windbreak

# O B S A H

<b>PROHLÁŠENÍ</b> .....	<b>1</b>
<b>PODĚKOVÁNÍ</b> .....	<b>2</b>
<b>ABSTRAKT</b> .....	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>4</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>2 CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>11</b>
<b>3 LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....	<b>12</b>
3.1 VÍTR JAKO ŠKODLIVÝ ČINITEL.....	12
3.2 LÝKOŽROUT SMRKOVÝ.....	17
3.2.1 <i>Zoologické zařazení a popis druhu</i> .....	17
3.2.2 <i>Výskyt a hostitelské dřeviny</i> .....	18
3.2.3 <i>Přehled bionomie</i> .....	19
3.2.4 <i>Interakce hostitelský strom × lýkožrout smrkový</i> .....	21
3.2.5 <i>Populační dynamika lýkožrouta smrkového a interakce s polomy</i> .....	23
3.3 PŘEHLED KALAMIT V ČR.....	25
3.4 HISTORIE EVIDENCE VÝSKYTU LESNÍCH ŠKODLIVÝCH ČINITELŮ V ČR.....	30
<b>4 METODIKA</b> .....	<b>35</b>
4.1 KVANTIFIKACE ČASOVÉHO ODSUPU MEZI ŠKODAMI ZPŮSOBENÝMI VĚTREM A LÝKOŽROUTEM SMRKOVÝM.....	35
4.2 IDENTIFIKACE VZÁJEMNÝCH VZTAHŮ MEZI RŮZNÝMI ŠKODAMI ABIOTICKÉHO A BIOTICKÉHO PŮVODU A VYMEZENÍ REGIONŮ S OBDOBNOU STRUKTUROU EVIDOVANÝCH ŠKOD.....	37
4.3 VYTVOŘENÍ MODELU UMOŽŇUJÍCÍHO PREDIKCI OBJEMU KŮROVCOVÝCH TĚŽEB NA ZÁKLADĚ KONKRÉTNÍHO DOPADU VĚTRNÉ KALAMITY.....	39
4.4 KVANTIFIKACE REPRODUKČNÍHO ÚSPĚCHU LÝKOŽROUTA SMRKOVÉHO V RŮZNÝCH ČÁSTECH LEŽÍCÍCH STROMŮ.....	45
4.5 STANOVENÍ RIZIKA OHROŽENÍ LESNÍCH POROSTŮ LÝKOŽROUTEM SMRKOVÝM PO VĚTRNÉ KALAMITĚ V ZÁVISLOSTI NA TYPU A KVANTITĚ VZNIKLÉHO POLOMU.....	48
<b>5 VÝSLEDKY</b> .....	<b>55</b>
5.1 KVANTIFIKACE ČASOVÉHO ODSUPU MEZI ŠKODAMI ZPŮSOBENÝMI VĚTREM A LÝKOŽROUTEM SMRKOVÝM.....	55
5.2 IDENTIFIKACE VZÁJEMNÝCH VZTAHŮ MEZI RŮZNÝMI ŠKODAMI ABIOTICKÉHO A BIOTICKÉHO PŮVODU A VYMEZENÍ REGIONŮ S OBDOBNOU STRUKTUROU EVIDOVANÝCH ŠKOD.....	62
5.3 VYTVOŘENÍ MODELU UMOŽŇUJÍCÍHO PREDIKCI OBJEMU KŮROVCOVÝCH TĚŽEB NA ZÁKLADĚ KONKRÉTNÍHO DOPADU VĚTRNÉ KALAMITY.....	65
5.3.1 <i>Model 1: Regrese – původní data</i> .....	65
5.3.2 <i>Model 2: Regrese – transformovaná data</i> .....	67
5.3.3 <i>Model 3: Parciální nejmenší čtverce</i> .....	69
5.3.4 <i>Model 4: Neuronová síť</i> .....	70
5.3.5 <i>Výběr nejvhodnější varianty modelu</i> .....	72
5.4 KVANTIFIKACE REPRODUKČNÍHO ÚSPĚCHU LÝKOŽROUTA SMRKOVÉHO V RŮZNÝCH ČÁSTECH LEŽÍCÍCH STROMŮ.....	75
5.4.1 <i>Porovnání vybraných vývrátů a odlomů</i> .....	75

5.4.2	<i>Analýza všech hodnocených vývratů</i> .....	77
5.5	STANOVENÍ RIZIKA OHROŽENÍ LESNÍCH POROSTŮ LÝKOŽROUTEM SMRKOVÝM PO VĚTRNÉ KALAMITĚ V ZÁVISLOSTI NA TYPU A KVANTITĚ VZNIKLÉHO POLOMU .....	80
<b>6</b>	<b>DISKUZE</b> .....	<b>91</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>102</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>106</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>122</b>





# 1 Úvod

Naprostá většina lesů na území ČR je dnes podstatně ovlivněna přímými či nepřímými lidskými zásahy. Původní přírodní lesní klimaxové ekosystémy s bohatou diverzitou byly aktivitami člověka postupně plošně zredukovány nebo přeměněny na většinou stejnověkové porosty s více než 50% zastoupením smrku. Smrkové porosty se dnes navíc z velké části nepřírozeně nacházejí v pahorkatinách, kde je úhrn srážek nižší, než tato dřevina dlouhodobě vyžaduje (JANČAŘÍK 1998). Současné lesy jsou vystaveny rovněž působení různých znečišťujících látek, jejichž depozice se v čase kumulativně navyšují a kvalitativně i kvantitativně se mění (FABIÁNEK 2004). Lesní porosty jsou proto dlouhodobě stresovány a ztrácejí schopnost svými vnitřními autoregulačními mechanismy v dostatečné míře bránit aktivizaci škodlivých činitelů (JANČAŘÍK 1998). V souvislosti s projevy současné fáze dlouhodobějších změn klimatu se navíc stále větší část autorů shoduje, že budou narůstat extrémní meteorologické události, mj. četnost a síla větrných bouří a orkánů, což má z hlediska dopadů na lesní hospodářství mimořádný význam.

Abiotické i biotické kalamity představují nejen finanční ztráty v plánovaném lesním hospodářství, ale komplikují rovněž snahu o rychlou přeměnu druhové skladby lesů a přechod k přírodě bližším hospodářským způsobům. Každoročně lze cca 30 % celkového těžebního etátu přičíst na vrub škodlivých činitelů, avšak v období kalamit se může tento podíl navýšit i na 90 % (PEŘINA 1987). Nejvýznamnějšími původci nahodilých těžeb jsou vzhledem k druhové skladbě lesů na českém území bořivý vítr (spolu se sněhem a námrazou až 80 % nahodilých těžeb) a podkorní hmyz na smrku. Rozsáhlé disturbance, které abiotičtí činitelé vyvolávají, pak bývají jednou z častých příčin gradací podkorního hmyzu.

K dlouhodobě nejvýznamnějším druhům hmyzu poškozujícím lesní porosty patří v našich podmínkách lýkožrout smrkový (*Ips typographus* L.). Během kůrovcových kalamit bylo v průběhu 19. a 20. století vytěženo více než 30 mil. m<sup>3</sup> dřeva (SKUHRAVÝ 2002). Hromadný nálet tohoto škůdce je spouštěn semiochemikáliemi, přičemž existuje přímý vztah mezi odolností stromu a jeho úspěšným napadením (RAFFA & BERRYMAN 1983). Z hlediska vzniku škod má zásadní význam i populační dynamika druhu, kterou ovlivňuje řada faktorů, které lze jako komplex velmi obtížně postihnout. Jednotlivá přemnožení se vyznačují téměř konstantní délkou s vysoce proměnlivým

mezigradačním obdobím (ØKLAND & BJORNSTAD 2006), což vychází i z existence dvou v různých obdobích převažujících typů zdrojů materiálu vhodných pro larvální vývoj, tj. stojících (běžná situace) či ležících (větrná kalamita) stromů.

Polomová hmota je snadno dostupný, ale pomíjivý zdroj. Využívání stojících stromů je závislé zejména na lokální populační hustotě brouků a je ovlivňováno fyziologickým stavem stromů, resp. jejich schopností bránit se ataku lýkožroutů (LIEUTIER 2004). Lze tedy hovořit o dvou úrovních populačních hustot druhu – epidemické a neepidemické, resp. o dvou nosných kapacitách prostředí, oddělených nestabilním prahem (JAROŠÍK 2005). V některých případech mohou rozsáhlé polomy způsobit nárůst populačních hustot nad práh potřebný ke kolonizaci stojících stromů. V období nízkého počtu brouků je odolnost naprosté většiny stojících stromů vůči napadení agresivními druhy kůrovců dostatečná. Některé stromy jsou však fyziologicky oslabené, tj. s nižší odolností, a během dlouhého období nízkých populačních hustot jejich podíl v porostech stoupá. Přístup k oběma typům zdrojů (ležících kmenů a oslabených stojících stromů) může způsobit rychlý populační růst (ØKLAND & BJORNSTAD 2006). Díky zvyšování hustoty populace lýkožrouta pak může úměrně narůstat i počet stromů vhodných k napadení.

V kontextu uvedených informací je možno zvolené téma disertační práce považovat za vysoce aktuální. Význam této problematiky dokládá i skutečnost, že realizace části prací využívajících historické údaje o gradacích lýkožrouta smrkového byla podpořena Národní agenturou pro zemědělský výzkum v rámci projektu QH81136 „Studium a optimalizace skutečné efektivity obranných opatření proti lýkožroutu smrkovému v různých gradačních fázích“ řešeného v letech 2009–2012 na pracovištích FLD ČZU v Praze a VÚLHM, v. v. i., Strnady. V průběhu prací na tomto výzkumném úkolu byla pořízena databáze údajů o výskytu lýkožrouta smrkového a škodách způsobených větrem v období 1964–1991. Zpracování takto objemných dat vyžadovalo značné teoretické zázemí z oblasti matematické statistiky. Vhodný metodický postup početního řešení některých dílčích kroků byl proto postupně nalézán a modifikován v průběhu tříletého licenčního studia statistického zpracování experimentálních dat na Univerzitě Pardubice pod vedením prof. RNDr. Milana Melouna, DrSc. Druhá část disertační práce pak souvisí s aktuálně řešeným výzkumným projektem NAZV QJ1230371 „Dynamika šíření kůrovcovitých v přirozeně disturbovaném smíšeném temperátním lese na různých prostorových škálách“, na kterém se společně podílejí pracoviště VÚLHM, v. v. i., Strnady a VÚKOZ, v. v. i., Průhonice.

Hlavním smyslem předkládané práce je především přispět k objasnění vybraných otázek, jejichž řešení má konkrétní praktický dopad do oblasti lesního hospodářství v oboru ochrany lesa, což bylo i hlavní motivací autora vedoucí k výběru tématu.

Formální úprava disertační práce vychází z pokynů platných pro zpracování tohoto typu prací na FLD ČZU v Praze<sup>1</sup>. Provádění nutných venkovních činností na území NPR Boubínský prales bylo umožněno Usnesením vlády ČR ze dne 4. 5. 2009 č. 584, o povolení výjimky ze základních ochranných podmínek CHKO Šumava a NPR Boubínský prales.

---

<sup>1</sup> *Pravidla pro zpracování teze disertační práce, autoreferátu a disertační práce uplatňované na FLD od 1. 8. 2013.*

## 2 Cíle práce

Předmětem předkládané disertační práce je snaha o nalezení uspokojivého řešení pěti následujících dílčích problémů, jejichž spojujícím prvkem je vzájemná vazba větrných disturbancí lesních porostů a následný vývoj populací kalamitního škůdce lýkožrouta smrkového.

1) pokusit se prostřednictvím matematicko-statistických metod stanovit časový odstup mezi výší škod způsobených větrem a lýkožroutem smrkovým.

2) identifikovat vzájemné skryté vztahy mezi různými příčinami škod abiotického a biotického původu a definovat regiony na území České republiky s obdobnou kvalitativní i kvantitativní strukturou evidovaných škod v lesích.

3) vytvořit model predikující na regionální úrovni předpokládaný objem kůrovcových těžeb na základě konkrétních dopadů větrné kalamity, který by mohl např. umožnit přesnější nastavení podmínek tendrů (výběrových řízení) na zadávání prací v lesích v období po kalamitě.

4) kvantifikovat reprodukční úspěch lýkožrouta smrkového v různých částech větrem vyvrácených či zlomených stromů.

5) stanovit míru ohrožení okolních lesních porostů lýkožroutem smrkovým podle typu a kvantitě polomové hmoty vzniklé po větrné kalamitě.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Vítr jako škodlivý činitel

Škody větrem se podílejí na celkové nahodilé těžbě ze 65–70 %, což představuje průměrně 1–2 mil. m<sup>3</sup> polomové hmoty ročně (MODLINGER 2009a).

Pojmem vítr je označováno proměnlivé horizontální proudění vzduchu určitým směrem (který je udáván světovou stranou, z níž vychází) a určitou rychlostí (uváděnou v m.s<sup>-1</sup>, km.h<sup>-1</sup> nebo přibližně s využitím Beaufortovy stupnice, viz tab. 1). K dalším významným charakteristikám větru patří jeho nárazovitost působená turbulencí (silná bývá za orografickými překážkami a při výskytu výstupných proudů) a dále tlak (HAVLÍČEK 1986). Vítr má i svou vertikální složku, která vzniká jako důsledek cirkulace, konvekce, obtékání překážek ap. (SOBÍŠEK 1993). Charakteristiky větru se v meteorologii standardně zjišťují ve výšce 10 m nad povrchem terénu (HAVLÍČEK 1986), v případě výskytu stromů však minimálně 4 m nad jejich vrcholy (KRŠKA & MUNZAR 1993).

Se stoupající nadmořskou výškou rychlost větru narůstá a především v horách může nabývat až charakteru vichřice (PETRÍK et al. 1986). Rychlost se rovněž zvyšuje v gradientu od zemského povrchu, přičemž závisí na jeho drsnosti (u země je tření největší) a charakteru tepelné stratifikace (PETRÍK 1986; PROŠEK & HAVLÍČEK 1986).

Z hlediska směru převládá v ČR v průběhu roku z. až sz. proudění, avšak ve výsledku je směr výrazně ovlivněn konfigurací terénu. Na podzim a začátkem zimy nastává častěji i proudění vanoucí od jihu a jihozápadu (ŠPÁNIK 1986). V západních Čechách se nejčastěji vyskytuje vítr z. a jz., v severních Čechách a na severní Moravě sz., na Ostravsku jz., v Moravské bráně sv. a jz. a na jižní Moravě jv. (PETRÍK et al. 1986); aktuálnější průměrnou roční distribuci směrů větru v ČR v podobě větrných růžic zpracovali TOLASZ et al. (2007). Čím jsou větry rychlejší, tím více se soustřeďují do určitého směru, který je nutno v každé oblasti určit individuálně, k čemuž lze využít např. i pařezy. Na 66 pozorovacích místech v ČR bylo zjištěno, že silné větry nad 5 °B přicházejí v 75 % ze západu, v 11 % z jihovýchodu, v 9 % od jihu a v 5 % od severu a severovýchodu (VICENA et al. 1979; VICENA 1995), novější údaje uvádějí TOLASZ et al. (2007). Některé výzkumy ukázaly, že se velké polomy opakovaly na stejných místech

přibližně po 90–120 letech, což naznačuje, že se dráhy vichřic ani v průběhu dlouhého časového intervalu nemění (VICENA et al. 1979).

Tab. 1 – Beaufortova stupnice rychlosti větru 10 m nad povrchem volného terénu (HAVLÍČEK 1986), větry významné a zvláště významné z pohledu ochrany lesa jsou zvýrazněny podbarvením

°B	Označení a rozpoznávací znaky	Rychlost		Tlak [kg.m <sup>-2</sup> ]
		[m.s <sup>-1</sup> ]	[km.h <sup>-1</sup> ]	
0	bezvětří; kouř stoupá svisle vzhůru	0,0–0,2	1	–
1	vánek; směr lze poznat podle pohybu kouře	0,3–1,5	1–5	0,2
2	slabý vítr, je cítit ve tváři; lístky stromu šelestí	1,6–3,3	6–11	0,2–0,9
3	mírný vítr; lístky stromů a větvičky v trvalém pohybu; napíná praporky	3,4–5,4	12–19	1,0–2,3
4	dost čerstvý vítr; zdvihá prach a kousky papíru, pohybuje slabšími větvemi	5,5–7,9	20–28	2,4–5,0
5	čerstvý vítr; listnaté keře se počínají hýbat; na stojatých vodách se tvoří menší vlny se zpěnými hřebeny	8,0–10,7	29–38	5,1–9,2
6	silný vítr; pohybuje silnějšími větvemi; telegrafní dráty sviští; použití deštníků se stává nesnadným	10,8–13,8	39–49	9,3–15,4
7	prudký vítr; pohybuje celými stromy; chůze proti větru je obtížná	13,9–17,1	50–61	15,5–23,6
8	bouřlivý vítr; ulamuje větve; chůze proti větru je normálně nemožná	17,2–20,7	62–74	23,7–34,5
9	vichřice; způsobuje menší škody na stavbách (strhává komíny, tašky a břidlice se střechy)	20,8–24,4	75–88	34,6–47,9
10	silná vichřice; vyskytuje se na pevnině zřídka; vyvrací stromy; působí škody na domech	24,5–28,4	89–102	48,0–64,9
11	mohutná vichřice; vyskytuje se velmi zřídka; působí rozsáhlé zpuštění	28,5–32,6	103–117	65,0–85,0
12	orkán; ničivé účinky ve všech směrech	nad 32,6	nad 117	nad 85,0

Evropou ročně přechází cca 60 cyklón, z nichž každá má svou teplou a studenou frontu. Čím menší je teplotní rozdíl obou vzdušných hmot, tím méně náhlé jsou změny vlastností větru (VICENA et al. 1979). Dochází-li k rychlým změnám síly a směru větrů, jsou obecně označovány jako nárazovité až bořivé a v lesích jsou příčinou vzniku polomů (HAVLÍČEK 1995). Nárazovitý vítr krátkodobě mění rychlost nejméně o 5 m.s<sup>-1</sup> (HODAN 1993). Bořivý vítr dosahuje rychlosti > 60 km.h<sup>-1</sup> (8 °B). Katastrofální škody způsobují prudce nárazovité větry (mohutné vichřice a orkány), které dosahují rychlostí nad 90–100 km.h<sup>-1</sup> (PETRÍK et al. 1986; VICENA 1995).

Nárazy mohou v některých případech dosáhnout až 12 °B (STUHLÍK 1966 ex VICENA et al. 1979), trvají průměrně 0,8 sekundy a vzápětí klesají. Maximální nárazy mohou na většině území ČR dosáhnout 25–35 m.s<sup>-1</sup>, na exponovaných vyvýšeninách 40–45 m.s<sup>-1</sup> (TOLASZ et al. 2007). U silných větrů se vyskytují velké výkyvy s periodou od 4–5 do 30–60 sekund (VICENA et al. 1979). Právě rychlost jednotlivých nárazů rozhoduje o škodlivosti větru. V lesních porostech vznikají kromě vývrátů způsobených dynamickým tlakem i vývraty a zlomy způsobené nárazy větru přicházejícími v rytmu kývání stromu (interference). V těchto případech i slabší, ale ve vhodném rytmu opakované nárazy zapříčiní zlomení či vyvrácení stromu (PETRÍK 1986). V případě jednotlivých větrných poryvů snesou sice stromy nárazy až dvojnásobně intenzivnější, než jaké u nás byly v minulosti zaznamenány, problém však působí postupné opakování slabších poryvů, které způsobí únavu materiálu a v důsledku toho vyvrácení či zlomení stromu (VICENA et al. 1979). K lesnicky významným nárazovitým větrům patří mj. húlava a bóry, lokální škody však mohou způsobit i řídce se vyskytující tromby.

Húlava je pojmenování pro krátkodobé nárazovité vpády vzdušných hmot o rychlosti  $\geq 20$  m.s<sup>-1</sup>, které díky rychlým změnám směru vyvolávají v lesních porostech výrazné škody. Vyskytují se při přechodu některých studených front nebo za bouřemi z termické konvekce a jsou často doprovázeny krupobitím a krátkodobými vydatnými lijáky (HAVLÍČEK 1986). Jde v podstatě o rotor s horizontální osou na přední straně studené fronty, nejčastěji o průměru 100–5 000 m, který vzniká v různé výšce nad zemí. Krátce před přechodem rotoru vane nárazovitý protivítr, a proto je malá část prvních vyvrácených stromů obrácena v odlišném směru. Při obvyklé rychlosti přechodu rotoru (50 km.h<sup>-1</sup>) trvá húlava cca 10–20 minut (VICENA et al. 1979).

Bóra je nárazovitý (21–33 m.s<sup>-1</sup> i více) studený vítr, který vane z pevniny na moře, případně vzniká na návětrné straně hor tak, že se masa studeného vzduchu zastaví o překážku, a když dosáhne průsmyku nebo vrcholu hřebene, padá velkou rychlostí na závětrnou stranu. Tímto způsobem vzniká v nižších pohořích i polomy vytvářející přepadavý vítr, který proudí i nad hřebeny hor (hřebenový). Do údolí klesá jen jeho spodní část, která se přizpůsobuje tvaru terénu, mění směr a zasahuje i do bočních údolí (PETRÍK 1986).

Vzácně se u nás vyskytují vertikální víry o průměru jednotek až stovek metrů s vysokou intenzitou proudění, označované nad souší jako tromby (v Severní Americe tornáda). Ve středu vírů je velmi nízký tlak vzduchu a nastávají zde výrazné implozivní účinky, které jsou tak silné, že dochází ke zdvihu a přemístování i velmi těžkých a

objemných předmětů. Tromby vznikají nejčastěji za velmi teplého počasí na závětrné straně pohoří nad rozsáhlými bezlesými plochami (HAVLÍČEK 1986; ASTAPENKO & KOPÁČEK 1987). Nesprávně jsou někdy označovány jako smrště, což je pouze hovorový výraz pro prudké krátkodobé zesílení větru s ničivými účinky (KOPÁČEK 1993). Škody na lesních porostech vyvolané trombami byly v ČR zaznamenány i poměrně nedávno např. v roce 2011 na Pardubicku či v letošním roce (KULHANOVÁ 2013) na Krnovsku. Vítr rotující proti směru hodinových ručiček v nich dosahuje rychlosti 50–100 m.s<sup>-1</sup> i více, přičemž vysokých rychlostí dosahuje i výstupný proud vzduchu. Tromby zasahují jen úzké pásmo, ve kterém lámou a vyvracejí stromy (PETRÍK et al. 1986; ASTAPENKO & KOPÁČEK 1987).

Větry ničivých účinků se v našich podmínkách obecně označují jako vichřice a orkány (tab. 1). V nižších polohách do 400 m n. m. bývá za rok v průměru cca 25 dnů s vichřicí, v oblastech nad 700 m n. m. pak cca 106 dnů. Nejvíce dnů s vichřicí připadá v Čechách na zimu a nejméně na podzim; na Moravě je nejméně vichřic v létě (PETRÍK et al. 1986). K nejčastějšímu výskytu vichřic v ČR dochází v listopadu až březnu, kdy mají též nejdelší dobu trvání. Právě tím jsou nebezpečné ve srovnání s letními vichřicemi (húlavami), které většinou trvají pouze desítky minut. Na podzim mohou vichřice trvat 2–9 dnů, na jaře 3 dny a v zimě 2–3 dny, což bylo zjištěno analýzou údajů za dlouholeté období 1800–1962. Zimní vichřice zasahují zpravidla rozsáhlá území. Letní húlavy se naproti tomu obvykle pohybují v úzkém pásu. Jarní bouře pak většinou pouze rozptýleně vyvracejí vyšší a tlustší stromy a souvislé polomy nevytvářejí (VICENA et al. 1979).

Vzdušné proudění je ovlivňováno překážkami (přetékání, obtékání ze stran). Pro lesní porosty je proto důležitá i struktura okrajového pásu. Nepropustné lesní okraje a pásy mají menší účinnost, protože proud vzduchu jen nadzdvihnou a ten pak zakrátko opět klesá k zemi. Při nárazu větru na porostní stěnu se před ní totiž vytvoří vzduchový polštář (stěna se projevuje již ve vzdálenosti cca pětinasobku porostní výšky), který nutí vanoucí vzduch, aby se zdvihl a vtláčil se pod laminárně proudící vzdušné vrstvy nad korunami. Touto vyšší vzdušnou masou je vnesený vzduch stlačován a padá zvýšenou rychlostí do porostního nitra, kde způsobuje vývraty a zlomy. Mezi kmeny se vítr stlačuje a tryskovitě značnou silou proniká dále do porostu (PETRÍK 1986). Projevuje se i tzv. „žaluziový efekt“, při němž se pod tlakem větru k sobě stisknou větve korun tak, že zabrání jeho průniku dovnitř porostu (POLENO et al. 2007). Větru zdánlivě více vystavené okraje tak často odolají, zatímco „chráněné“ nitro porostu může být



rozvráceno. Kromě toho vznikají v závětrří turbulentní víry. Z hlediska lesních porostů jsou proto nejvýhodnější polopropustné okraje, které fungují jako filtry propouštějící pouze část proudícího vzduchu, čímž se větru odnímá pohybová energie a dochází k jeho zpomalení. Původní rychlost se obnovuje až ve velké vzdálenosti za překážkou (PETRÍK 1986), která činí cca 200 m, takže souvislé lesní komplexy by měly být vždy po cca 200–300 m rozděleny překážkou. Postupy výpočtů odolnosti porostního profilu a rychlosti větru nutné k vývratu uvádějí VICENA et al. (1979).

Odolnost lesních porostů vůči škodlivému působení větru ovlivňují např. druhová a prostorová skladba, vývojové stadium (textura), genetická struktura, zdravotní stav, stanovištní poměry (půdní vlastnosti, zamokření), věk (tvar kořenového systému, hloubka zakořenění, tvar koruny, stromová třída, zakmenění, zápoj aj.), dále konfigurace terénu (větší rychlosti na závětrrné straně). Statickou stabilitu stromů významně narušují i hniloby vznikající po mechanickém narušení při přibližování a těžbě či následkem loupání a ohryzu spárkaté zvěře, ale v poslední době vyvolávané i primárně parazitickými dřevokaznými houbami kořenů (např. václavky z rodu *Armillaria* /Fr./ Staude či kořenovník vrstevnatý *Heterobasidion annosum* /Fr./ Bref.). Podíl stromů poškozených větrem výrazně zvyšuje též porostní výměra nad 5 ha. Význam mají i přítomnost podrostu, způsob pěstování (zakládání, výchova, obnova) a struktura porostního pláště a opatření hospodářské úpravy lesa (odluky, rozluky, závory). Vývraty a zlomy však může způsobit nejen vítr, ale i pád sousedních stromů (HEGER 1957; VICENA et al. 1979; PETRÍK 1986; VICENA 2002; POLENO et al. 2007).

Pokud jde o smrk ztepilý, podléhá bořivým větrům z našich lesních dřevin nejsnáze, zvláště na vodou ovlivněných stanovištích (POLENO et al. 2007). K většímu rozsahu polomů dochází na lepších bonitách (větší výška, plnodřevné vytáhlé a štíhlé kmeny, řidší letokruhy). Odolnost jednotlivých stromů závisí na tloušťce kmene, tvaru koruny, typu zachvojení, výšce, poloze těžiště koruny, pevnosti dřeva, individuálním vývoji (Backmanův růstový zákon), zdravotním stavu, spádnosti kmene, počtu kořenů, rozměrech a tvaru kořenového balu. Ve smíšených porostech se na rozdíl od monokultur smrk projevuje níže posazenou a delší korunou. Za odolné jsou považovány smrky s hřebenitým typem zachvojení a úzkou špičatou korunou, takže lze volbou vhodného genetického materiálu pro účely obnovy porostů ovlivnit jejich budoucí odolnost proti větru (VICENA et al. 1979; POLENO et al. 2007).

V souvislosti se škodami větrem je nutno zmínit i mechanická poškození listů a jiných orgánů, které způsobují unášené částice prachu, písku a hlíny (KLIKA 1955).

Teplý nárazovitý vítr (fén) vznikající na závětrné straně horských hřbetů může na lesní porosty škodlivě působit v létě při vysoké teplotě a nízké vlhkosti vzduchu zvyšováním stresu z nedostatku vláhy (PETRÍK 1986). Fyziologický škodlivý vliv působení větru představuje i zvyšování transpirace v předjaří, kdy nemohou být ztráty vody kompenzovány příjmem z dosud zmrzlé půdy (HUSOVÁ & MORAVEC 1994), a přenos škodlivých látek obsažených v atmosféře.

## 3.2 Lýkožrout smrkový

### 3.2.1 Zoologické zařazení a popis druhu

Lýkožrout smrkový, *Ips typographus* (Linnaeus, 1758)<sup>2</sup>, je v podmínkách celé palearktické oblasti nejvýznamnějším druhem kůrovcovitých brouků vázaným na jehličnaté lesy (CHRISTIANSEN & BAKKE 1988) a v případě smrku ztepilého jej SKUHRAVÝ (2002) považuje za jeho vůbec nejvýznamnějšího hmyzího škůdce. V současnosti je řazen k čeledi nosatcovití (Coleoptera: Curculionidae), podčeledi kůrovci Scolytinae. K významné změně došlo v nedávné době ve vyšším taxonomickém zařazení bývalé čeledi kůrovcovití (Scolytidae), která byla zejména na základě podobnosti preimaginálních stadií přerazena jako podčeď do bohaté čeledi nosatcovití (Curculionidae), viz KNÍŽEK & BEAVER (2004).

Vývoj lýkožrouta smrkového probíhá jako u všech druhů hmyzu s proměnou dokonalou přes stadium vajíčka, larvy, kukly a dospělce (HŮRKA & ČEPICKÁ 1978). Vajíčka jsou drobná (0,6–1,0 mm v průměru), oválná, leskle bílá (PFEFFER 1954; ZUMR 1995). Larva je apodní, bělavá, rohlíčkovitě zahnutá, se slabě chitinizovanou hlavovou kapsulí, její vývoj prochází třemi instary. Čerstvě vylíhlá larva je sotva 2 mm velká, dospělá měří 5–7 mm (ZUMR 1995). Kukla je bílá, 5–6 mm dlouhá, volná, zakončená dvěma krátkými trny (ZUMR 1995; ZAHRADNÍK & KNÍŽEK 2000).

Tělo dospělce lýkožrouta smrkového je válcovitého tvaru s poměrně velkým štítem a kratšími, vzadu ozubenými krovkami. Velikost kolísá mezi 4,2–5,5 mm (PFEFFER 1955, 1989, 1995; POSTNER 1974; NUNBERG 1981), dolní hranici 4 mm uvádí PFEFFER (1954) i ZAHRADNÍK & KNÍŽEK (2000). Hlava je při pohledu shora kryta

---

<sup>2</sup> Pojmenování taxonů v této práci odpovídá pojetí užívanému v databázi BioLib (ZICHA 1999–2013), u hub pak v databázi Species fungorum.

podlouhlým vpředu kulovitě zaobleným štítem, který je v přední části zřetelně hrboľkovaný. Tykadla jsou na konci opatřena kulovitou paličkou s lomenými švy. Mezirýží krovek jsou hladká, lesklá, pouze v zadní části krovek nepravidelně tečkovaná. Vyhloubení zadní části krovek je matné, jemně tečkované a na okrajích je opatřeno čtyřmi páry zoubků, z nichž třetí shora je největší. Samička má hustěji ochlupené čelo a přední okraj štítu (PFEFFER 1955, 1989).

### 3.2.2 Výskyt a hostitelské dřeviny

Areál rozšíření lýkožrouta smrkového zaujímá značnou část palearktické oblasti. Zasahuje od Pyrenejí po Japonsko, kdy jeho severní hranice prochází v Evropě Laponskem a jižní severním Řeckem a Tureckem. V Asii tvoří severní hranici oblast arktické tundry mezi 68–69° severní šířky, jižní pak probíhá severním Kazachstánem, Mongolskem a Čínou (SKUHRAVÝ 2002).

V Evropě je areál výskytu lýkožrouta smrkového ovlivněn zejména rozšířením jeho hlavní hostitelské dřeviny – smrku ztepilého (*Picea abies* /L./ Karst.), který se zde autochtonně vyskytuje ve dvou disjunktích oblastech (středoevropsko-balkánská, severoevropská) oddělených středopolskou nížinou (MUSIL & HAMERNÍK 2007). Ve středoevropsko-balkánské oblasti je smrk ztepilý vázán především na horské polohy (Alpy, Schwarzwald, Harz, Šumava, Karpaty, Dinárské Alpy, Rila, Pirin, Stara planina, Vitoša). V jižní a jihovýchodní části této oblasti jeho současný výskyt přibližně kopíruje hranice přirozeného areálu; ve střední, severní a západní části oblasti, kde byl smrk intenzivně hospodářsky využíván, došlo postupně k jeho rozšíření do nižších poloh. Severoevropská (skandinávsko-ruská) oblast je plošně mnohem větší a je charakteristická souvislejším výskytem smrku v nižších nadmořských výškách. Na východě oblast navazuje na rozsáhlý areál smrku sibiřského – *Picea obovata* Ledeb. (MUSIL & HAMERNÍK 2007). Lýkožrout smrkový věrně kopíruje jak autochtonní, tak alochtonní výskyt smrku ztepilého.

Vzhledem k rozsáhlému areálu rozšíření využívá lýkožrout smrkový pro svůj vývoj řadu dřevin. Nejvýznamnějšími jsou bezesporu *P. abies* a *P. obovata*. Vývoj však probíhá i na druhích *P. jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière a *P. glehnii* (F. Schmidt) Mast., které vytvářejí lesní porosty ve východní části asijského areálu lýkožrouta, resp. v jižní a jihovýchodní části evropského areálu na druhích *P. omorika* (Pančić) Purk. a *P.*

*orientalis* (L.) Peterm. (SKUHRAVÝ 2002). Kromě porostů domácích druhů se lýkožrout smrkový setkává s řadou introdukovaných druhů smrků jak v zahradách a parcích, tak v lesních porostech. Za zmínku stojí potenciální ohrožení smrku pichlavého (*Picea pungens* Engelm.) v porostech náhradních dřevin v imisních oblastech Krušných hor (KULA et al. 2009). Z ostatních druhů jehličnatých dřevin je ve východní části areálu uváděno několik druhů jedlí (*Abies sibirica* Ledeb., *A. holophylla* Maxim., *A. nephrolepis* /Trautv. ex Maxim./ Maxim. a *A. nordmanniana* /Steven/ Spach), ale i evropská jedle bělokorá (*A. alba* Mill.), několik druhů borovic (*Pinus cembra* L., *P. mugo* Turra, *P. sibirica* Du Tour, *P. koraiensis* Siebold & Zucc.), výjimečně pak i borovice lesní (*P. sylvestris* L.) (SKUHRAVÝ 2002). Vývoj potomstva byl pozorován také na modřínu (*Larix* Mill.) (POSTNER 1974; ZAHRADNÍK & KNÍŽEK 2000; SKUHRAVÝ 2002), douglasce (*Pseudotsuga* Carrère) a borovici černé *P. nigra* Arnold (POSTNER 1974).

### 3.2.3 Přehled bionomie

Požerek lýkožrouta smrkového je od ostatních druhů kůrovců relativně dobře rozeznatelný. Vstupní (závrtový) otvor se rozšiřuje ve snubní komůrku, která je zpravidla celá ukrytá v lýku. Ze snubní komůrky vycházejí rovnoběžně s podélnou osou kmene rovné, nezprohýbané matečné chodby. Požerek je obvykle 2–3ramenný, při vyšším obsazení kmene pouze s 1 matečnou chodbou. 4–6ramenné požerky jsou méně časté (PFEFFER 1954; ZUMR 1995), POSTNER (1974) uvádí i 7ramenný požerek. Šířka matečné chodby dosahuje 3–3,5 mm, její délka je velice proměnlivá a závisí zejména na hustotě obsazení kmene (PFEFFER 1954). Při měření 2 942 požerků lýkožrouta smrkového byla MATOUŠKEM et al. (2012) u matečných chodeb s larvami 3. instaru zjištěna minimální délka 23 mm, maximální pak 142 mm. Pod silnější vrstvou kůry mohou z matečné chodby vycházet 2–4 větrací otvory (POSTNER 1974). Larvální chodby vycházejí z matečné chodby kolmo, postupně se rozšiřují a jsou zakončené oválným prostorem pro kuklení (tzv. kukelnou komůrkou či kolébkou). Larvální chodby s plně vyvinutými larvami jsou 3–6 cm dlouhé (PFEFFER 1954).

Vývoj jedné generace lýkožrouta smrkového od založení požerku po ukončení zralostního žíru nových dospělců trvá v našich podmínkách obvykle 6–10 týdnů (PFEFFER 1954; ZAHRADNÍK & KNÍŽEK 2000).

Pod kůru se první zvrťává sameček a během 2–4 dnů vytváří snubní komůrku (PFEFFER 1954). Lýko zkonsumované při tvorbě snubní komůrky vynáší ve formě hnědavých drtinek vstupním otvorem mimo požerek. Tím se do okolí uvolňuje feromon, na který reagují obě pohlaví. Hlavními složkami samčího feromonu jsou metylbutenol a cis-verbenol. Metylbutenol je produkován nezávisle na hostitelském stromu, cis-verbenol závisí na hladině  $\alpha$ -pinenu (WAINHOUSE 2008). Přilákané samice začínají po spáření se samcem hlodat matečnou chodbu a klást vajíčka.

Samička klade jedno až dvě vajíčka denně a přitom je samcem vícekrát oplozována. Nejprve vyhlodá v boku matečné chodby, která má již určitou délku, zářez. Poté se pozpátku vrací do snubní komůrky, kde se otočí a couvá k místu zářezu, do kterého vpustí krátkým kladélkem vajíčko a znovu se vrací do snubní komůrky. Zde se opět otočí a vrátí se hlavou napřed až k nově položenému vajíčku, které přikryje jemnými drtinkami (PFEFFER 1954). Při pohybech v matečné chodbě samice do prostoru snubní komůrky vytlačuje trus se zbytky lýka, které samec vyhazuje závrtovým otvorem ven z požerku. Tak se do okolního prostředí dostává i feromon produkováný samicemi, jehož hlavními složkami jsou ipsdienol a ipsenol. Samičí feromon má za úkol omezit další nálet samců a samic, čehož je dosaženo při vyšší koncentraci ipsdienolu a ipsenolu než cis-verbenolu. Antiagregační funkci má i látka verbenon, která je metabolickým produktem vznikajícím prostřednictvím činnosti asociovaných mikroorganismů z monoterpenů smrku (WAINHOUSE 2008).

Počet nakladených vajíček závisí na délce matečné chodby, tj. populační hustotě (ANDEBRANT 1990; MATOUŠEK et al. 2012), počtu sesterských přerojení (PFEFFER 1954; MARTÍNEK 1961) či nadmořské výšce (ZUMR 1995). Nejširší rozmezí (20–100 ks) uvádí PFEFFER (1954), maximální hodnoty mohou podle MARTÍNKY (1956, 1961) dosáhnout až výše „fyziologických“ možností jedné samice, tj. 120 vajíček. Většina autorů (THALENHORST 1958; ZUMR 1995; WERMELINGER 2004; MATOUŠEK et al. 2012) však uvádí rozmezí cca 20–80 nakladených vajíček na samici.

Jelikož vajíčka nejsou kladena v jeden okamžik, je líhnutí a vývoj larev nestejněměrné (rychlejší v blízkosti snubní komůrky) a v jednom požerku se lze setkat s dospělými larvami i vajíčky. Jednotlivé larvální chodby probíhají paralelně a některé z nich jsou v důsledku úhynu larev předčasně ukončeny. Ke křížení chodeb může docházet pouze při větší tloušťce lýka, kdy mohou larvální chodby probíhat i ve dvou vrstvách (THALENHORST 1958). Po krátkém období kukly se líhne imago (tzv. žlutý brouk), které ještě k plné dospělosti musí v místě vývoje nebo mimo něj, tj. na stejném

či jiném kmeni, vykonat zralostní (úživný) žír. Poměr pohlaví nového pokolení je 1:1 (PFEFFER 1954). Po dokončení zralostního žíru zakládají dospělí brouci novou generaci či se chystají na přezimování.

Zásadní vliv na úspěšnost přezimování, letovou aktivitu, rychlost vývoje a počet generací lýkožrouta smrkového má teplota (ANNILA 1969). Nástup imaginální diapauzy však mnohem výrazněji ovlivňuje fotoperioda (DOLEŽAL & SEHNAL 2007). Většina populace lýkožrouta přezimuje ve stadiu imaga v místě svého vývoje, pouze menší část v hrabance (PFEFFER 1954), a to pouze v nejbližším okolí paty kmene (ZUMR 1995). Mortalita během fáze přezimování je často způsobena poklesem teplot pod  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (FACCOLI 2002 ex WERMELINGER 2004), podle ZUMRA (1995) až pod  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na mortalitu má během vývoje lýkožrouta vliv řada predátorů, parazitoidů a patogenů. ZELENÝ (2002) uvádí z území České republiky 16 predátorů a 11 parazitoidů *I. typographus*. Mezi nejvýznamnější patří larvy pestrokrovečníka mravenčího *Thanasimus formicarius* (Linnaeus, 1758) [Cleridae: Coleoptera], jehož výskyt je těsně synchronizován s populační hustotou lýkožrouta (WESLIEN 1994). Přehled nejvýznamnějších patogenů lýkožrouta smrkového uvádějí rovněž HOLUŠA & LUKÁŠOVÁ (2012).

Metody ochrany lesa využívané proti lýkožroutu smrkovému jsou dobře propracované a při jejich správné aplikaci lze populaci tohoto kalamitního škůdce významně zredukovat. Nejdůležitějším a základním způsobem této regulace je vyhledávání napadených stromů a jejich včasná asanace v době před opuštěním novou generací. Vyhledávání napadených stromů podle barevných změn jehličí nemusí být vždy spolehlivé, a proto je nejlepším způsobem zjištění aktivních kůrovcových stromů sledování hnědavého trusu při bázi napadených kmenů. Asanaci kůrovcem napadených kmenů lze provádět chemicky či mechanicky (ručním či strojovým odkorněním). Jako obranná metoda jsou využívány stromové lapáky, otrávené lapáky a v poslední době také otrávené trojnožky. Velice často používanou kontrolní metodou jsou feromonové lapače (ZAHRADNÍK & KNÍŽEK 2000; WERMELINGER 2004).

### **3.2.4 Interakce hostitelský strom × lýkožrout smrkový**

Lýkožrout smrkový patří mezi „agresivní“ druhy kůrovců, kteří mohou napadat i zdravé stojící stromy (WAINHOUSE 2008). Způsob výběru hostitelského stromu tímto

druhem dosud není vědecky jednotně interpretován. Ačkoliv je obecně přijímána představa, že tzv. pionýrství brouci jsou lákáni primárními atraktanty hostitele (WERMELINGER 2004), bylo pomocí zpřesněných počítačových simulací dokázáno, že brouci mohou nalézt vhodný strom i pomocí náhodné disperze v prostoru (BYERS 1996).

Testují-li brouci v souladu s hypotézou náhodné disperze obranyschopnost stromu, lze očekávat, že náchylnější stromy nebudou schopny produkovat dostatečné množství obranných látek (pryskyřice) a umožní broukům produkci agregačního feromonu, tj. následnou hromadnou kolonizaci (BYERS 2004). Jednotlivé úrovně obranyschopnosti stromu lze charakterizovat (LIEUTIER 2004; FRANCESCHI et al. 2005) jako (1) předběžnou rezistenci stromu, kdy jsou zdroje investovány do obrany před napadením kůrovci (tloušťka kůry, systém vertikálních pryskyřičných kanálků) a (2) indukovanou rezistenci, kdy jsou zdroje investovány až během napadení (indukovaný tok pryskyřice, hypersenzitivní reakce, prodloužená rezistence). Vzhledem k tomu, že obranný systém musí reagovat na jednotlivé atakující brouky a je energeticky velice náročný, je strom schopen krýt tuto potřebu energie pouze po omezenou dobu. Lýkožrout smrkový překonává obranyschopnost stromu hromadným náletem koordinovaným prostřednictvím agregačního feromonu (RAFFA & BERRYMAN 1983) a současným oslabováním obranného systému stromu pomocí asociovaných „vaskulárních“ hub, zejména druhu *Ophiostoma (Ceratocystis) polonicum* Siemazsko (CHRISTIANSEN et al. 1987). Na základě faktu, že pro úspěšné napadení stromu je potřebný určitý minimální počet jedinců, byl BERRYMANEM (1974) stanoven hustotně závislý práh úspěšného napadení, který se v evropských podmínkách pohybuje mezi 300–850 jedinci (LIEUTIER 2004). Za náchylnější vůči napadení jsou považovány stromy poškozené, staré, stresované suchem, růstově potlačené, pomalu rostoucí, dále jedinci s tenkou borkou, rostoucí v hustém zápoji či napadení houbami (BAIER 1996; LIEUTIER 2004; WERMELINGER 2004). Smrky rostoucí ve smíšených porostech mají oproti stromům rostoucím v monokultuře vyšší primární tok pryskyřice, tj. i vyšší primární odolnost, ale i indukovanou (sekundární) obranyschopnost (BAIER et al. 2002). Významnou roli v náchylnosti k napadení lýkožroutem smrkovým hraje i dostupnost vody (KAUSRUD et al. 2012).

Po vyčerpání obranyschopnosti hostitelského stromu zůstává na kolonizovaném kmeni vysoký počet jedinců, ovlivňujících míru přežívání potomstva z důvodu rostoucí kompetice o lýko (THALENHORST 1958). Během náletu na strom je této situaci

předcházeno zvyšující se produkcí antiagregačních feromonů a látek odklánějících další ataky na jiné stromy v okolí (SCHLYTER & ANDERBRANT 1989). Také v okamžiku, kdy se samice již nacházejí ve fázi kladení vajíček, mohou v případě přeplnění disponibilního prostoru předčasně opustit matečnou chodbu a založit tzv. sesterské pokolení na jiném stromě (MARTÍNEK 1961) nebo snížit počet kladených vajíček (ANDERBRANT 1990). Silná kompetice o lýko se kromě mortality preimaginálních stadií projevuje i menší dosahovanou velikostí dospělců a nižším objemem jejich tukového tělesa (BOTTERWEG 1983; ANDERBRANT & SCHLYTER 1989). Je známo, že právě větší jedinci se šíří na větší vzdálenosti, čímž získávají výhodu zejména díky úniku před predátory a parazitoidy (ANDERBRANT et al. 1985).

### **3.2.5 Populační dynamika lýkožrouta smrkového a interakce s polomy**

Velmi důležitým faktorem ovlivňujícím následnou gradaci je populační hustota lýkožrouta v okolních porostech (ERIKSSON et al. 2008). Množství polomových stromů, které „může“ ročně vzniknout a být lýkožroutem smrkovým obsazeno bez rizika vzniku přemnožení, uvádí pro středoevropské podmínky ve své práci SKUHRAVÝ (2002). Toto množství stanovuje na cca 10 stromů (především slabších dimenzí) na 1 ha, zatímco MRKVA (1997) udává 10, resp. 15 stromů na plochu 2–3 ary. Pokud je tato hranice překročena, doporučuje MRKVA (1997) ponechat v chráněných územích 30 % padlých stromů. V případě výskytu epizody sucha (deficit více než 100 % normálu po dobu 3 měsíců) však autor navrhuje množství ponechaných stromů korigovat. V severní Evropě (Finsku) je za množství, které nezpůsobí vznik přemnožení, považováno 20 stromů (ERIKSSON et al. 2007, 2008) nebo 5 m<sup>3</sup> polomové hmoty (KAUSRUD et al. 2012).

Riziko přemnožení podkorního hmyzu však není dáno pouze přítomností polomů. Lesní porosty vystavené přísušku či déletrvajícím období se srážkovým deficitem mají též nižší vitalitu a jsou tak rovněž náchylnější k napadení hmyzem (ØKLAND & BERRYMAN 2004) i k infekci kořenů primárně parazitickými dřevokaznými houbami (DESPREZ-LOUSTAU et al. 2006).

Šíření lýkožrouta smrkového po větrných disturbancích je komplexní proces, který nevykazuje žádné monokauzální korelační vztahy. Význam jednotlivých faktorů se může dokonce měnit i v průběhu gradace (LAUSCH et al. 2011). Na krajinné úrovni bylo šíření lýkožrouta smrkového obvykle studováno interpretací leteckých a satelitních



snímků (WULDER et al. 2005; LAUSCH et al. 2011), hodnocením spektrálních snímků (KAUTZ et al. 2011), časových řad digitálních fotografií na vybrané síti lokalit (KÖSTER et al. 2009) nebo hodnocením sítě referenčních ploch v hospodářských lesích (GILBERT et al. 2005; HILCZANSKI et al. 2006). Na lokální úrovni, obvykle v bezzásahových územích, bylo šíření tohoto hmyzího druhu sledováno zpravidla terestrickým šetřením (SCHROEDER & LINDELÖW 2002; PLAŠIL & CUDLÍN 2005; GRODZKI et al. 2006b; KOMONEN et al. 2011). Obecně platí, že významnými faktory šíření lýkožrouta smrkového jsou velikost větrem disturbovaných ploch, vzdálenost od míst předchozího napadení (LAUSCH et al. 2011), expozice (JURC et al. 2006), věková struktura porostů (WERMELINGER 2004), porostní hustota a zastoupení smrku (HILCZANSKI et al. 2006). Predikce šíření lýkožrouta vycházející z těchto vztahů jsou mnohdy velmi nepřesné (WERMELINGER 2004), nicméně velice rozšířené a sofistikované (cf. SEIDL et al. 2011).

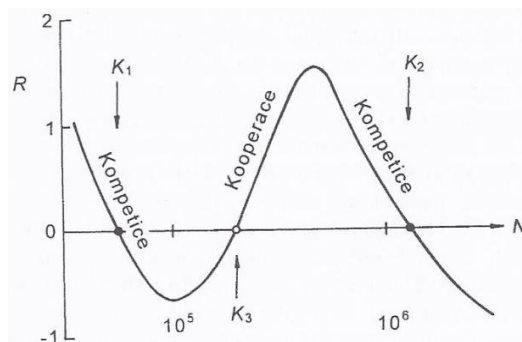
Během prvních dvou let po vzniku polomu se lýkožrout smrkový vyvíjí uvnitř prolámaných světlin (GÖTHLIN et al. 2002) a teprve následně atakuje okolní porosty (WERMELINGER 2004). Nová ohniska vznikají do vzdálenosti 500 m od míst předchozího napadení (WICHMANN & RAVN 2001). JAKUŠEM et al. (2003) bylo pozorováno, že lýkožrout smrkový migruje v počátečních fázích přemnožení na delší vzdálenost, což je důsledkem široké nabídky potravních zdrojů (stresovaných stromů), které přečkaly ničivý vítr. Tato pozorování souhlasí s výsledky pokusů se zpětnými odchyty (DUELLI et al. 1997), kdy bylo zjištěno, že více než 50 % populace přeletuje na delší vzdálenost než 500 m a pouze cca třetina (35,4 %) je schopna uskutečnit napadení přímo v místě vylíhnutí. Podíl migrujících brouků je však také závislý na místní nabídce zdrojů vhodných k vývoji potomstva (KAUSRUD et al. 2012) a na fázi přemnožení (WICHMANN & RAVN 2001). Nejčastější formou napadení porostů jsou menší ohniska a rozsevy, které se později spojují v rozsáhlé souvislé plochy (FAIMAN 1996).

Populační dynamiku lýkožrouta smrkového lze charakterizovat jako eruptivně pulzující (BERRYMAN 1987), při níž dochází ke značně zpožděné negativní zpětné vazbě. Přemnožení trvá obvykle 5–7 let (SAUVARD 2004), podle SKUHRAVÉHO (2002) 3–11 let, během nichž odumře následkem napadení velké množství stromů (SAUVARD 2004).

Délka trvání mezigradačního období je velice proměnlivá a dochází při ní k akumulaci zdrojů, tj. odumírajících a silně oslabených stromů (ØKLAND & BJØRNSTAD 2006). V období latence probíhá o tyto zdroje kompetice a populace je řízena negativní zpětnou vazbou, udržující rovnovážnou populační hustotu s nosnou

kapacitou prostředí  $K_1$ , která odpovídá množství odumírajících a silně oslabených stromů (JAROŠÍK 2005). Zvýšení početnosti lýkožrouta smrkového umožňuje kooperaci mezi jedinci a kolonizaci doposud nepřístupného zdroje – rostoucích vitálních stromů (BERRYMAN & KINDLMANN 2008). S dalším nárůstem populačních hustot je spojena kompetice o stojící stromy, resp. o prostor pro vývoj potomstva a populace je opět ovlivňována negativní zpětnou vazbou na nosné kapacitě prostředí  $K_2$ , odpovídající disponibilnímu množství stojících stromů (JAROŠÍK 2005).

Interakce mezi lýkožroutem a jeho hostitelem tedy vytváří bimodální populační křivku (obr. 1) o dvou nosných kapacitách prostředí oddělených nestabilním prahem  $K_3$  (JAROŠÍK 2005; BERRYMAN & KINDLMANN 2008). V této souvislosti se někdy hovoří o endemické ( $K_1$ ) a epidemické ( $K_2$ ) populační hustotě (JAROŠÍK 2005). Při přechodu mezi endemickou a epidemickou populační hustotou hrají klíčovou roli disturbanční procesy (cf. SEIDL et al. 2011).



Obr. 1 – Multimodální vztah mezi rychlostí růstu populace  $R$  a populační hustotou  $N$  (podle BERRYMANA 1981 ex JAROŠÍK 2005)

Na území střední Evropy jsou v tomto směru nejvýznamnější větrné disturbance (SCHELHAAS et al. 2003), které jsou schopny synchronizovat populační dynamiku lýkožrouta smrkového na rozsáhlých územích (ØKLAND & BJØRNSTAD 2006), kdy nárůst jeho populační hustoty po větrné kalamitě probíhá s časovým zpožděním.

### 3.3 Přehled kalamit v ČR

Síly, které přirozeně fomují ekosystémy, se obecně označují jako disturbance (ĽASKA 2001). Za kalamitu je pak považována taková disturbance lesních porostů abiotického či biotického původu, která představuje výrazné narušení běžné hospodářské činnosti. O kalamitách lze tedy ve smyslu poškozování lesních porostů

škodlivými činiteli hovořit teprve v souvislosti s existencí cílevědomého lesnického hospodaření. V případě narušení přirozených lesních ekosystémů abiotickými nebo biotickými vlivy proto nelze pojem kalamita zpravidla použít. Vývoj lesních porostů v severním mírném pásu je přirozeně řízen komplexním disturbančním režimem sestávajícím z frekventovaných fine-scale disturbancí a ojedinělých, ale o to významnějších, coarse-scale disturbancí. Fine-scale disturbance působí stálým selekčním tlakem (stresem), v případě coarse-scale disturbancí se jedná o řídké události značné intenzity (PICKET & WHITE 1985). Změnou druhové skladby byla sice vytvořena odchylná struktura lesů, avšak disturbanční síly i nadále, byť v modifikované formě projevující se často jako tzv. škodliví činitelé, ovlivňují vývoj lesa, což se může negativně projevovat při snaze o produkční pěstování hospodářských lesů.

Záznamy o škodlivém působení větru a hmyzu od roku 1755 převzaté z kronik a urbářů uvádí NOŽIČKA (1957). První zmínkou o škodách kůrovci na smrku je nařízení pražského gubernia z roku 1784 (NECHLEBA 1929). První zdokumentovanou kalamitou z našeho území je pak událost, ke které došlo v roce 1821 v oblasti Jeseníků, kde se po větrné bouři následně namnožil i lýkožrout smrkový. Velmi známá je tzv. „Klostermannova kalamita“ na Šumavě po vichřicích ze 7. a 11. prosince 1868 a opakujících se orkánech z 26. a 27. října 1870 (SKUHRAVÝ 2002). Autenticky o této kalamitě referoval FLEISCHER (1875, 1877) ex LIŠKA & KNÍŽEK (1999), později byla důkladně zpracována i JELÍNKEM (1988). Přehled a výši škod na našem území způsobených abiotickými vlivy a biotickými škodlivými činiteli v průběhu 20. století zpracoval i KUDELA (1980, 1984) a JANČAŘÍK (1998). Již na počátku století v roce 1900 došlo k polomům o rozsahu 200 000 m<sup>3</sup> na severní Moravě. Ke škodám větrem došlo i v roce 1910 v oblasti západních Čech, kdy bylo vyvráceno 150 000 m<sup>3</sup>. Rozsáhlé polomy (200 000 m<sup>3</sup>) vznikly v letech 1917–1918 na Šumavě (KUDELA 1980; JANČAŘÍK 1998). V roce 1920 postihl menší polom lesy jižních Čech, především v okolí Nových Hradů a Českých Velenic (KUDELA 1946, 1980, 1984), kde bylo poškozeno cca 40 000 m<sup>3</sup> (JANČAŘÍK 1998). Polomy se zde nepodařilo včas zpracovat a došlo k přemnožení lýkožrouta, který pak v roce 1922 napadl 22 000 m<sup>3</sup> vzrostlých smrků (KUDELA 1946, 1980, 1984; JANČAŘÍK 1998). V souvislosti s přemnoženími lýkožrouta smrkového na počátku 20. století jsou zajímavé údaje KOMÁRKA (1925), kdy při rozsáhlém sledování lapáků nebyl uvedený druh v mnoha oblastech vnitřních Čech (např. na Křivoklátsku či v Brdech) nalezen. Tento původně montánní druh tedy tehdy ještě ve větší míře

nesestoupil do nížin s mladými nepůvodními porosty smrku, vysázenými teprve ve druhé polovině 19. a na začátku 20. století (SKUHRAVÝ 2002).

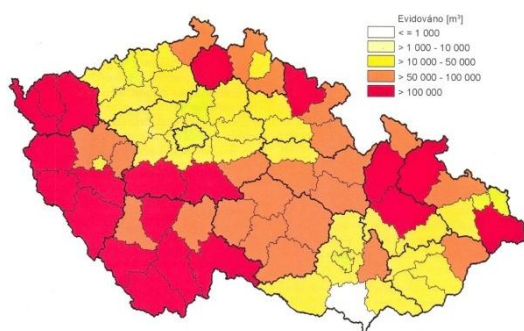
K rozšíření lýkožrouta smrkového do většiny nížinných oblastí došlo patrně až po druhé světové válce, kdy prakticky celou střední Evropu zasáhla rozsáhlá kůrovcová kalamita (WELLENSTEIN 1954). Na našem území zůstalo v inkriminovaných letech v důsledku válečných poměrů v lesích ležet nejméně 10 mil. m<sup>3</sup> nezpracované smrkové kulatiny (PFEFFER & SKUHRAVÝ 1995). Takto vysoké množství dříví bylo způsobeno jednak větrnou bouří ze 4. 11. 1941, nárazovými větry v letech 1942–1943 (KUDELA 1980) i způsoby nakládání s dřívím v době války, které výstižně zachytil KAPUŠCIŇSKI (1950). Neobyčejně suché roky 1947 a 1948 navíc nejen urychlily vývoj lýkožrouta, ale přísuškem oslabené stromy byly při náletu upřednostňovány před lapáky (PFEFFER & SKUHRAVÝ 1995). Tuto kalamitu se podařilo po devíti letech (1946–1954) zcela zdotat, navzdory 3,5 mil m<sup>3</sup> polomů v roce 1955, na kterých se lýkožrout dále nenamnožil, k čemuž jistě přispěly i závazné *Směrnice pro zdolávání polomové a kůrovcové kalamity v roce 1955* (1955).

V roce 1967 došlo k rozsáhlým polomům (1 650 tis. m<sup>3</sup>) v západních Čechách. K jedné z největších větrných pohrom pak došlo v lednu 1976, kdy bylo postiženo prakticky celé území dnešní ČR. Padlo cca 7 mil. m<sup>3</sup> dříví a ještě než byly stromy zcela zpracovány, způsobila nová vichřice v prosinci 1977 další polomy přesahující objemem 1,5 mil. m<sup>3</sup> (KUDELA 1980).

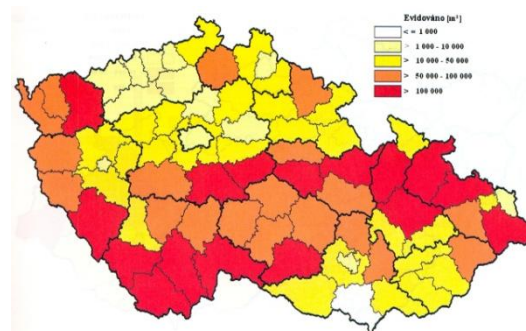
Počátkem 80. let se začalo významně projevovat snížení odolnosti porostů v důsledku vlivu imisní zátěže (SKUHRAVÝ 2002). V posledních měsících roku 1982 a začátkem roku 1983 způsobil vítr rozsáhlé polomy zejména ve východních a západních Čechách a na severní Moravě. Navíc byly roky 1982 a 1983 význačné dlouhotrvajícím extrémním suchem. Souhra těchto okolností způsobila rychlý počátek gradace lýkožrouta smrkového (SKUHRAVÝ & ŠROT 1988). V roce 1984 došlo opět k rozsáhlým větrným polomům zejména u Západočeských, Jihočeských a Jihomoravských státních lesů, což v úhrnu za tehdejší ČSR dosahovalo 12 mil. m<sup>3</sup>. Počátkem roku 1985 zbývalo po kalamitách ke zpracování 8,4 mil. m<sup>3</sup> převážně jehličnaté hmoty a po 30. červnu 1985 zůstávalo v lese ještě 5 mil m<sup>3</sup> pro kůrovce atraktivního dříví, které bylo profylakticky ošetřeno. Kalamitní výskyt lýkožrouta zapříčinilo kromě dostupnosti nezpracovaného dříví i teplé a suché počasí na podzim roku 1985 a v průběhu rojení v roce 1986 (SKUHRAVÝ & ŠROT 1988). Tuto kalamitu se podařilo zredukovat na přijatelnou míru až v letech 1988–1989 (PFEFFER & SKUHRAVÝ 1995).

Počátkem 90. let nastala další aktivizace lýkožrouta smrkového, pravděpodobně ovlivněná i změnami ve vlastnictví a správě lesů (PFEFFER & SKUHRAVÝ 1995), důležitou roli ovšem sehrála i dostupnost polomů, neboť nahodilá těžba vlivem větru dosáhla v roce 1990 výše 7,8 mil. m<sup>3</sup> (JANČAŘÍK et al. 1991). Kalamitní přemnožení lýkožrouta spadá do období let 1992–1997 (SKUHRAVÝ 2002). Po rozsáhlých větrných bouřích z října 2002 (4 mil. m<sup>3</sup>), jejichž následky byly zpracovány až v roce 2003 (ZAHRADNÍK & KAPITOLA 2004) došlo k nárůstu objemu kůrovcového dříví v roce 2003 na 857 tis. m<sup>3</sup> (KNÍŽEK 2004) a v roce 2004 na 836 tis. m<sup>3</sup> (VOLF 2005). Počínající kůrovcová gradace byla ukončena jednak chladným a deštivým počasím, ale i nasazením obranných opatření (KNÍŽEK & HOLUŠA 2006).

K dalším výrazným větrným epizodám, které zásadně ovlivnily lesní hospodářství ČR došlo v letech 2007 a 2008 (leden 2007 orkán Kyrill, březen 2008 vichřice Emma). Orkánem Kyrill byly nejvíce postiženy kraje Jihočeský (3,1 mil. m<sup>3</sup>), Plzeňský (1,75 mil. m<sup>3</sup>), Karlovarský (0,86 mil. m<sup>3</sup>), Středočeský (0,66 mil. m<sup>3</sup>) a Moravskoslezský (0,41 mil. m<sup>3</sup>). Celkem bylo vytěženo 8,8 mil. m<sup>3</sup> polomového dříví (MUSIL et al. 2008). Polomy způsobené vichřicí Emma dosáhly ve srovnání s orkánem Kyrill zhruba třetinové velikosti, vytěženo bylo v roce 2008 cca 4,86 mil. m<sup>3</sup> (MODLINGER et al. 2009). Z regionálního hlediska působení vichřice Emma víceméně kopírovalo předchozí poškození orkánem Kyrill (obr. 2a a 2b). Nejvíce postiženy byly kraje Jihočeský (0,92 mil. m<sup>3</sup>), Moravskoslezský (0,6 mil. m<sup>3</sup>), Pardubický (0,54 mil. m<sup>3</sup>), Středočeský (0,53 mil. m<sup>3</sup>) a Plzeňský (0,42 mil. m<sup>3</sup>) (MODLINGER et al. 2009).



Obr. 2a – Evidované poškození porostů větrem, sněhem a námrazou v roce 2007 (KNÍŽEK 2008)

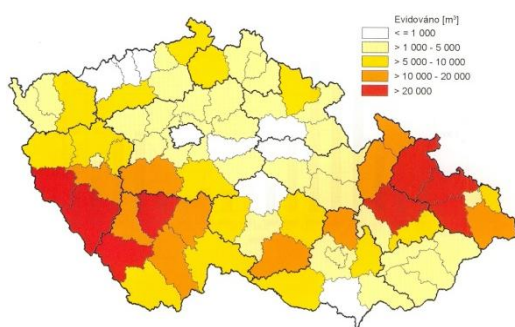


Obr. 2b – Evidované poškození porostů větrem, sněhem a námrazou v roce 2008 (KNÍŽEK 2009)

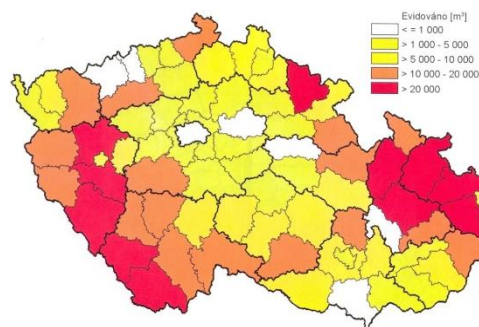
Následkem uvedených větrných disturbancí došlo na mnoha místech i k aktivizaci biotických škůdců, zejména podkorního hmyzu na smrku. V roce 2006 bylo evidováno 709 tis. m<sup>3</sup> smrkového kůrovcového dříví, které bylo soustředěno ve dvou hlavních

gradačních oblastech, v NP Šumava a v Moravskoslezském regionu (KNÍŽEK & HOLUŠA 2007, obr. 3a).

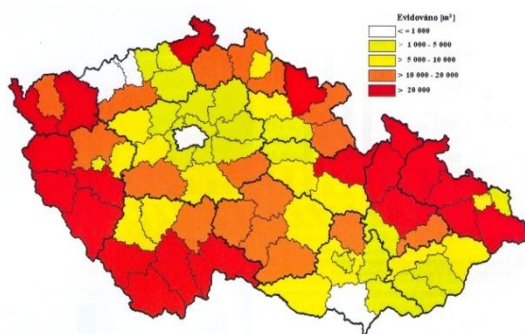
V důsledku teplého podzimu 2006 a mírné zimy 2006/2007 však populace lýkožrouta smrkového začala postupně narůstat. Navíc teplé počasí panovalo i po většinu vegetační sezóny, takže se objem kůrovcového dříví v roce 2007 takřka zvojnásobil – evidováno bylo 1,29 mil. m<sup>3</sup> (KNÍŽEK 2008, obr. 3b). Jelikož teplotně nadnormální a srážkově podnormální období pokračovalo i v roce 2008, došlo k dalšímu navýšení kůrovcových těžeb na 1,44 mil. m<sup>3</sup> (KNÍŽEK 2009, obr. 3c). První polovina roku 2009 se opět nevyvíjela z hlediska útlumu gradace podkorního hmyzu příznivě, vlivem rychlého nástupu teplého počasí bylo první (velmi silné) rojení lýkožrouta smrkového zaznamenáno již počátkem dubna. Vývoj kůrovců byl sice zbrzděn chladným počátkem léta, ale druhá část vegetační sezóny byla opět teplá a suchá. Na konci roku 2009 bylo evidováno 1,71 mil. m<sup>3</sup> kůrovcového dříví (KNÍŽEK 2010, obr. 3d). V roce 2010 došlo k pádu gradace, vytěženo bylo 1,2 mil. m<sup>3</sup>. Příčiny tohoto poklesu lze spatřovat zejména v deštivém průběhu počasí během rojení kůrovce. Svou roli jistě sehrálo i masivní uplatnění obranných opatření – cca 1/3 objemu kůrovcového dříví (KNÍŽEK & LUBOJACKÝ 2011, obr. 3e). Rok 2011 pak můžeme považovat za konec gradace, evidovaný objem kůrovcového dříví se snížil k 0,73 mil. m<sup>3</sup> a na většině území se lýkožrout smrkový nacházel v základním či mírně zvýšeném stavu, s výjimkou oblasti Šumavy a Moravskoslezského regionu (obr. 3f).



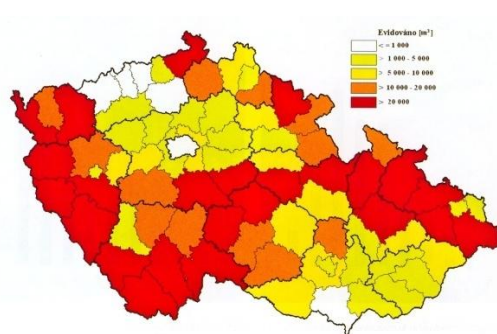
Obr. 3a – Evidovaný objem smrkového kůrovcového dříví v roce 2006 (KNÍŽEK & HOLUŠA 2007)



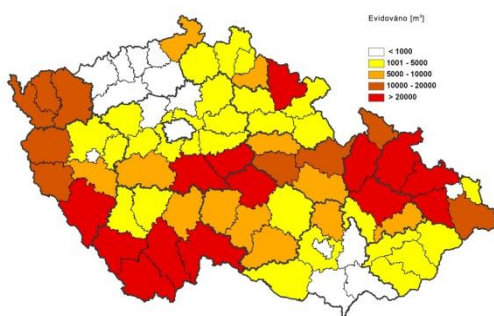
Obr. 3b – Evidovaný objem smrkového kůrovcového dříví v roce 2007 (KNÍŽEK 2008)



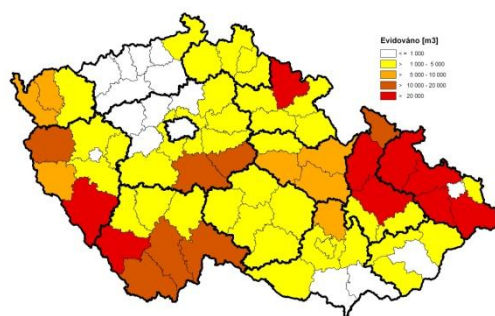
Obr. 3c – Evidovaný objem smrkového kůrovcového dříví v roce 2008 (KNÍŽEK 2009)



Obr. 3d – Evidovaný objem smrkového kůrovcového dříví v roce 2009 (KNÍŽEK 2010)



Obr. 3e – Evidovaný objem smrkového kůrovcového dříví v roce 2010 (KNÍŽEK & LUBOJACKÝ 2011)



Obr. 3f – Evidovaný objem smrkového kůrovcového dříví v roce 2011 (KNÍŽEK & LUBOJACKÝ 2012)

Samostatnou kapitolou je gradace lýkožrouta smrkového v NP Šumava, která s menšími výkyvy provází území parku od jeho založení. Do současnosti bylo tímto přemnožením zasaženo zhruba 6,5 tis. ha smrkových porostů, což reprezentuje cca 15 % plochy smrkových porostů na území parku (KNÍŽEK et al. 2012). Vývoj kalamity do roku 2001 z hlediska tradičního lesnického managementu shrnul SKUHRAVÝ (2002), alternativní pohled ponechání porostů přirozenému vývoji reprezentují např. KINDLMANN et al. (2012).

### 3.4 Historie evidence výskytu lesních škodlivých činitelů v ČR

Historie centrální evidence lesních škodlivých činitelů souvisí se zvyšováním podílu lesů ve státním vlastnictví v poválečném období, který v roce 1930 dosahoval 32 % a po konfiskacích, revizi první pozemkové reformy a druhé pozemkové reformě vzrostl v roce 1951 na 93 % (BLUŽOVSKÝ 1985). Evidence škodlivých činitelů u

tehdejších Československých státních lesů probíhala podle *Směrnice ochrany lesů* (1953). Ty ukládaly lesnímu personálu evidovat a hlásit do výzkumného ústavu (VÚLHM Zbraslav nad Vltavou, resp. VÚLH Banská Štiavnica) pouze škůdce, kteří se vyskytnou v kalamitním rozsahu. Způsob evidence a hlášení škod byl změněn *Směrnice pro hlášení o výskytu lesních škodlivých činitelů, kontrolu a prognózu kalamitních škůdců* (1963), vydanými k lesnímu zákonu č. 166/1960 Sb., které zavedly používání tiskopisu L116 „Hlášení o výskytu lesních škodlivých činitelů“ (příloha 1).

Podklady z hlášení L116 sloužily ke krátkodobé a dlouhodobé prognóze a k signalizaci výskytu lesních škodlivých činitelů. Za minimální prostorovou jednotku pro účely evidence bylo stanoveno polesí. Hlášení zpracoval vedoucí polesí jednak podle svého pozorování, jednak podle údajů lesníků (*Rámcové směrnice ochrany lesů*, 1965). Tiskopis L116 byl vyhotoven ve čtyřech kopiích. Po ověření na lesním závodě byl originál zaslán do výzkumného ústavu, jedna kopie byla určena pro příslušné podnikové ředitelství státních lesů a po jednom vyhotovení byly zbývající kopie archivovány přímo na lesním závodě a na polesí. Na hlášení L116 navazoval tiskopis L117 „Kontrola kalamitních škůdců a ochranná opatření proti nim“. Kromě výše uvedených tiskopisů bylo součástí povinností v ochraně lesů i vypracování výkazů L114 „Hlášení a evidence lesních požárů“ a L115 „Hlášení škod způsobených zvěří“.

Vlastní hlášení L116 sestávalo ze dvou částí, a to z přehledu o výskytu škůdců v lesních porostech a lesních školkách a přehledu o chemickém ošetření v daném roce. Jednotliví škůdci byli zařazeni do příslušných kategorií (abiotičtí činitelé, hmyz, drobní hlodavci, houby). Každému škůdci odpovídalo vlastní čtyřmístné kódové označení. Výše škod způsobených daným škůdcem se udávala podle charakteru poškození v ha nebo v plm, pro lesní školky byly škody evidovány plošně v arech nebo v 1 000 ks sazenic. U biotických škodlivých činitelů bylo uplatňováno podrobnější členění na stupeň výskytu slabý nebo silný. Zařazení do stupně určovaly příslušné oborové normy zpracované pro jednotlivé druhy škůdců. Veškeré údaje v plm v hlášení L116 se vztahovaly ke skutečně zpracovanému množství hmoty odumřelé nebo zničené vlivem příslušného škůdce. V případě vyjádření škod v hektarech byla u monokultur udávána výměra celého porostu, u smíšených porostů se uváděla pouze redukováná plocha poškozené dřeviny.

Škody větrem byly vykazovány v kolonce 1101 v plm bez dalšího rozlišení. K evidenci lýkožrouta smrkového, resp. kůrovců na smrku byly v tiskopise L116 určeny kolonky 1209 „Lýkožrout smrkový a menší (*Ips typographus* a *amitinus*)“ a 1210



„Ostatní kůrovci na smrku“. Z hlediska zařazení do stupně byl za slabý považován výskyt ojedinělých souší v porostu, za silný pak výskyt ohnisek či skupin napadených stromů.

Hlášení L116 pozbylo platnosti až s novým lesním zákonem č. 289/1995 Sb., resp. s jeho prováděcí vyhláškou č. 101/1996 Sb., ve znění vyhlášky č. 236/2000 Sb., která stanoví vlastníkům hospodařícím podle lesního hospodářského plánu (LHP) povinnost vést evidenci pouze kalamitních škůdců prostřednictvím formuláře „Roční hlášení o výskytu škodlivých činitelů“ (příloha 2). Evidenci škod způsobených větrem vyhláška neukládá. Množství dříví napadeného lýkožroutem smrkovým (v m<sup>3</sup>) je samostatně evidováno pod kódovým označením 111, přičemž je rozlišován zvýšený a kalamitní výskyt. Vyhláška nestanoví povinnost formulář pravidelně poskytovat orgánům státní správy lesů nebo jiné třetí osobě, existuje pouze doporučení poskytovat roční sumarizaci škod za lesní majetek Lesní ochranné službě – LOS (KOPEČNÝ 1997).

Z důvodu potřeby odlišného obsahu a struktury informací pro odborné zajištění provozování LOS byl v roce 1997 jejími pracovníky zhotoven nový formulář „Roční hlášení o výskytu lesních škodlivých činitelů za rok ...“ (příloha 3). Jeho podkladem se kromě tiskopisu L116 stalo i interní hlášení podniku Lesy České republiky, s. p. (dále jen LČR). Nově vytvořený formulář je členěn do čtyř skupin (abiotické vlivy, podkorní hmyz, listožravý a ostatní hmyz, ostatní činitelé). Škody větrem jsou uváděny v m<sup>3</sup> s možností upřesnit okolnosti vzniku polomu či postižené dřeviny formou poznámky. Kůrovci na smrku jsou evidováni ve dvou kolonkách „l. smrkový, l. menší a l. lesklý“ a „l. severský“. V obou případech je předmětem evidence množství škod v m<sup>3</sup>, použitá obranná opatření (v ks, v případě stromových lapáků v m<sup>3</sup>), objem odkorněné dřevní hmoty a objem chemicky asanovaného dřeva. Tento formulář se spolu s „Ročním hlášením o výskytu škodlivých činitelů“ dle vyhlášky č. 101/1996 Sb., v platném znění, využívá pro evidenci lesních škůdců v současnosti.

Při porovnání struktury údajů o škodlivém působení kůrovců na smrku uváděných v hlášení L116 a v „Ročním hlášení o výskytu lesních škodlivých činitelů za rok ...“ jsou patrné jisté odlišnosti v jednotlivých kategoriích evidovaných škod. Pro kůrovcovité jsou rozdíly v odlišném společném zařazování různých druhů do příslušných kolonek formulářů. V tiskopise L116 byly spolu s lýkožroutem smrkovým uváděn i lýkožrout menší, další druhy kůrovců byly zahrnovány pod „ostatní kůrovce na smrku“. V „Ročním hlášení o výskytu lesních škodlivých činitelů za rok ...“ je aktuálně společně s lýkožroutem smrkovým a lýkožroutem menším evidován i lýkožrout lesklý.

Ačkoliv podíl ostatních druhů kůrovců se na celkovém objemu smrkové hmoty napadené podkorním hmyzem obvykle podílí méně než ze 7 % (LIŠKA et al. 1991), lze za skutečně porovnatelnou kategorii za celé sledované období považovat pouze objem kůrovcovitých na smrku. Objemové jednotky vykazovaných škod ( $m^3$ , plm) jsou pro dlouhé dříví ekvivalentní (KORF et al. 1972).

Časové období, pro které jsou k dispozici údaje o výskytu lesních škodlivých činitelů, je relativně dlouhé, což zvyšuje jeho vypovídací schopnost. Během této doby proběhla v organizačním členění subjektů provádějících správu lesů řada změn. Organizační struktura Československých státních lesů byla v roce 1964 v ČSR členěna do 7 podniků státních lesů – Středočeské státní lesy Benešov (StřčSL), Jihočeské státní lesy České Budějovice (JčSL), Zápačeské státní lesy Plzeň (ZčSL), Severočeské státní lesy Teplice (SvčSL), Východočeské státní lesy Hradec Králové (VčSL), Jihomoravské státní lesy Brno (JmSL) a Severomoravské státní lesy Krnov (SvmSL). Podniky státních lesů byly přímo řízeny Správou lesního hospodářství při ministerstvu zemědělství, lesního a vodního hospodářství. Samostatně řízenou a evidovanou složkou byly lesy ministerstva obrany reprezentované podnikovým ředitelstvím Vojenských lesů a statků. V rámci státních lesů bylo od roku 1964 na území dnešní ČR cca 170 lesních závodů, resp. 1 450 polesí. Do 70. let se tato struktura výrazně neměnila. V období let 1971 až 1980 se počet lesních závodů snížil ze 170 na 111. Počet polesí dokonce z 1 425 na pouhých 706 (BLUĐOVSKÝ 1985; BLUĐOVSKÝ & DOMES 1998). Změny v 80. letech již nebyly tak zásadního rázu. K dalším rozsáhlým změnám došlo se vznikem státního podniku Lesy České republiky (LČR, s. p.) v roce 1992 v souvislosti s restitucemi lesního majetku. Vedle změn zásadního charakteru probíhala i řada dílčích organizačních změn na úrovni lesních závodů. Některé z nich jsou zachyceny na mapách organizace státních lesů (přílohy 4 a 5). U nejnižších organizačních jednotek (polesí, revírů) probíhaly změny hranic (rušení či zřizování) i několikrát během roku. Právě výše uvedené skutečnosti jsou limitující z hlediska možnosti zpracování a využití údajů z dotazníků.

V souvislosti s transformací státních lesů po roce 1992 bylo zřízeno 105 lesních správ a 11 lesních závodů (BLUĐOVSKÝ & DOMES 1998). Výskyt lesních škodlivých činitelů byl však evidován podle 11 lesních závodů a 27 oblastních inspektorátů. Oblastní inspektoráty (OI) byly detašovanými pracovišti podnikového ředitelství LČR, s. p., řízené oblastním inspektorem, jejichž hlavní náplní byla kontrolní činnost (BLUĐOVSKÝ & DOMES 1998). OI byly přímo podřízeny lesní správě, lesní závody byly

v jistém smyslu autonomní. V této formě byly údaje zpracovávány v období 1992–1994. Od roku 1995 do roku 1997 byly údaje rovněž členěny podle oblastních inspektorátů, ale byly evidovány i podle lesních správ. Od roku 1998 se organizační struktura LČR v hlavních rysech podobá dnešnímu stavu. K 1. 8. 2013 má LČR, s. p., 13 krajských ředitelství, 4 lesní závody a 77 lesních správ (*Organizační struktura Lesů České republiky, s. p. 2013*). Údaje z evidence výskytu lesních škodlivých činitelů jsou od roku 1998 až do současnosti zaznamenávány a zveřejňovány v členění podle okresů.

Je však třeba znovu zdůraznit, že údaje o výskytu lesních škodlivých činitelů od roku 1992 nerepresentují celou rozlohu České republiky, neboť od soukromých vlastníků a obecních majetků (téměř 40 % lesů v ČR) je jejich poskytování dobrovolné. Pokrytí rozlohy lesů na území ČR se v posledních letech daří zajišťovat cca ze 70 %.

## 4 Metodika

Vztahy mezi škodami větrem a lýkožroutem smrkovým jsou v předkládané práci porovnávány na několika prostorových a časových úrovních. Z hlediska časového jde jednak o dlouhodobou analýzu vzájemných oscilací mezi roky 1964 až 1991 (viz 4.1), dále o střednědobou analýzu reakce lýkožrouta smrkového po větrné disturbanci velkého rozsahu v modelovém období 2006–2010 (orkán Kyrill a vichřice Emma), viz 4.2 a 4.3. Třetí úroveň představuje krátkodobá analýza vlivu vichřice Emma na populaci lýkožrouta smrkového v Boubínském pralese (viz 4.4 a 4.5). Historické údaje z archivovaných hlášení z území ČR (viz níže) jsou analyzovány na regionální úrovni dřívějších podnikových ředitelství státních lesů (4.1). Také vliv disturbancí Kyrill a Emma je studován na regionální úrovni, avšak v rozlišení podle současných jednotek státní správy (okresy, kraje), viz 4.2 a 4.3. Nejmenší studované prostorové měřítko reprezentuje modelová lokalita v NPR Boubínský prales (viz 4.4 a 4.5).

Modelová lokalita v NPR Boubínský prales o výměře 46,65 ha se nachází cca 4 km sv. od obce Zátoň (48°58'30"N, 13°48'50"E) na území CHKO Šumava. Nadmořská výška NPR činí 930–1110 m n. m. Geologický podklad rezervace je tvořen biotitickým a cordierit-biotitickým migmatitem, lokálně s přechodem do perlové ruly. Podnebí má horský charakter s dlouhodobým (1901–1950) průměrným ročním úhrnem srážek 867 mm (Horní Vltavice, Kubova Huť), resp. 755 mm (Lenora, Zátoň) a dlouhodobou průměrnou roční teplotou 4 °C (Horní Vltavice, Kubova Huť) (VRŠKA et al. 2012).

### 4.1 Kvantifikace časového odstupu mezi škodami způsobenými větrem a lýkožroutem smrkovým

Prvním krokem této dílčí části bylo sestavení přehledu historických údajů o výši škod způsobených větrem a lýkožroutem smrkovým. Využita byla „Hlášení o výskytu lesních škodlivých činitelů“ (tiskopis L116) z archivu Lesní ochranné služby VÚLHM, v. v. i. Tyto historické údaje byly k dispozici ve formě primárních hlášení za jednotlivá polesí a sumářů za lesní závody a podniková ředitelství. Primární hlášení L116 jsou archivována za období 1963–1994. Ve srovnání se sumarizovanými hlášeními z let 1964–1991, u nichž chybí většinou pouze data za Vojenské lesy a statky, jsou však značně nekompletní (MODLINGER 2009b, tab. 2). Z uvedeného důvodu byly k sestavení

přehledu škod zapříčiněných větrem a lýkožroutem smrkovým využity údaje ze sumárních hlášení za jednotlivá podniková ředitelství.

Vývoj kůrovcových a větrem zapříčiněných těžeb byl zobrazen v grafech pomocí diferencí 1. řádu. Diference různého řádu patří k základním charakteristikám časových řad umožňujícím vizuální rozbor dlouhodobých tendencí či periodicky se opakujících změn. Pro diferenci 1. řádu platí  $\Delta^1_t = y_t - y_{t-1}$ , kde  $t = 2, 3, \dots, n$  (HINDLS et al. 2007). K popisu a modelování vztahu mezi větrem a kůrovcem byla použita křížová korelační funkce, která umožňuje identifikaci zpoždění (posunu) jedné časové řady vůči druhé řadě (StatSoft, 2013). Signifikantnost posunu byla stanovena na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . K zobrazení a výpočtu diferencí, křížové korelaci a modelování posunu byl využit statistický software Statistica 10.0 Cz.

Tab. 2 – Přehled primárních hlášení L116 v archivu LOS (roky 1991–1994 již nebyly pro nízký počet obdržených hlášení zpracovávány)

Rok	Podniková ředitelství, od kterých údaje v archivu chybí
1970	0
1971	0, 1, 5, 6
1972	0, 1, 2, 7
1973	0, 1, 2, 4, 7
1974	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
1975	0
1976	údaje kompletní
1977	0
1978	0
1979	0, 1, 2, 3, 4, 5, 7
1980	údaje kompletní
1981	0
1982	0
1983	0
1984	0, 5
1985	5
1986	1, 2, 3, 4, 5
1987	údaje kompletní
1988	údaje kompletní
1989	0
1990	0

Kódy podnikových ředitelství: 0 – Vojenské lesy a statky, 1 – Středočeské státní lesy, 2 – Jihočeské státní lesy, 3 – Západočeské státní lesy, 4 – Severočeské státní lesy, 5 – Východočeské státní lesy, 6 – Jihomoravské státní lesy, 7 – Severomoravské státní lesy

## 4.2 Identifikace vzájemných vztahů mezi různými škodami abiotického a biotického původu a vymezení regionů s obdobnou strukturou evidovaných škod

K odhalení vztahů mezi abiotickými vlivy a biotickými škodlivými činiteli byl analyzován výskyt škodlivých faktorů za časové období 2006–2010, které zahrnuje dvě významné disturbance posledních let, tj. orkán Kyrill (2007) a vichřice Emma (2008). Použity byly dostupné publikované údaje z „Ročních hlášení o výskytu lesních škodlivých činitelů“ v členění podle krajů (MODLINGER 2007; MUSIL et al. 2008; MODLINGER et al. 2009, 2011; MODLINGER & MUSIL 2010). Porovnávány proměnnými bylo množství dříví ( $m^3$ ) vytěžené vlivem bořivého větru, sucha, kůrovců na smrku a václavky, a dále plocha jehličnatých výsadeb (ha) poškozená žírem dospělců klikoroha borového.

Statistická analýza byla provedena v prostředí software NCSS 8.0 a Statistica 10.0 Cz. K ověření shody s Gaussovým rozdělením byl použit Shapiro-Wilkův test, který je k tomuto účelu doporučován (HINTZE 2012). Pro přiblížení normalitě byla data transformována dle BOXE & COXE (1964). K vlastní analýze dat bylo použito metody hlavních komponent (PCA), faktorové analýzy (FA) a analýzy shluků (CLU) postupem dle MELOUNA et al. (2005), resp. HINTZEHO (2012).

Nepřímým předpokladem použití vícerozměrných technik je vícerozměrná normalita dat. Pokud je tento předpoklad porušen, je porušena i jednorozměrná normalita všech proměnných. I když obrácená implikace obecně zcela neplatí, používají se k testování vícerozměrné normality testy pro jednorozměrná nebo jiná marginální rozdělení či jednorozměrné, resp. vícerozměrné charakteristiky šikmosti a špičatosti (MELOUN et al. 2005). V daném případě byl použit Shapiro-Wilkův test.

Možným řešením při porušení normality dat je jejich transformace. Pro přiblížení experimentálních dat k normálnímu rozdělení se užívá řady způsobů transformace původních proměnných. Jedním z úspěšných způsobů je Boxova-Coxova transformace. Nutným předpokladem této transformace je kromě absence záporných hodnot také nahrazení hodnoty 0 nízkým kladným číslem.

Pomocí PCA byla snížena dimenzionalita původních dat prostřednictvím projekce do nových „latentních“ proměnných. Snížením dimenzionality dat se však ztrácí část původní informace. O únosné redukci vícerozměrného prostoru je rozhodováno na základě velikosti vlastního čísla (Kaiserovo kritérium 1) nebo podle polohy zlomu křivky v sutinovém grafu (MELOUN et al. 2005).

Hlavním způsobem zobrazení vztahů mezi znaky v PCA jsou grafy komponentních vah (zátěží) konstruované pro hlavní komponenty. Porovnávají jsou vzdálenosti znaků (zde jednotlivých škodlivých činitelů) od středu jednotkové kružnice (průsečíku os) a jejich pozice vůči hlavním komponentám a ostatním znakům. Důležité znaky mají vysoké hodnoty komponentní váhy a nacházejí se daleko od průsečíku. Nejdůležitější znaky se dotýkají jednotkové kružnice. Znaky s malým úhlem mezi svými průvodiči a na stejné straně vůči počátku mají vysokou kladnou korelaci, znaky s úhlem mezi průvodiči  $180^\circ$  jsou negativně korelované, znaky s úhlem  $90^\circ$  jsou zcela nekorelované. Znaky, které jsou souběžné s některou z hlavních komponent, jsou tzv. faktorově čisté a využívají se při pojmenování příslušné komponenty.

Pro posouzení vztahů mezi objekty (zde jednotlivými kraji) se využívá rozptylový diagram komponentního skóre (scatterplot), který zobrazuje objekty v souřadnicích hlavních komponent. Interpretace grafu je založena na rozmístění jednotlivých objektů. Objekty vzdálené od středu grafu jsou tzv. extrémny, naopak objekty nejbližší středu lze považovat za typické. Blízké objekty jsou si podobné, vzdálené naopak odlišné. Objekty umístěné v jednom shluku jsou si vzájemně podobné a současně nepodobné objektům v ostatních shlucích. Dobře oddělené shluky prozrazují, že pro ně lze nalézt vlastní model. V ideálním případě jsou objekty rozprostřeny po celé ploše grafu, v opačném případě může být model ovlivněn např. přítomností odlehlého bodu, který zapříčiní, že ve srovnání s ním jsou zbylé objekty nakumulovány do jediného shluku (MELOUN et al. 2005).

Jelikož bylo možno každý znak vstupující do analýzy PCA vyjádřit jako lineární kombinaci nevelkého počtu společných latentních faktorů a jediného nevysvětleného faktoru, byla následně provedena faktorová analýza (FA). Tím je vyjádřeno, že pokud máme dva znaky  $x_1$  a  $x_2$ , pak jsou oba ovlivněny latentním společným faktorem  $F$  a navíc je každý z obou znaků samostatně ovlivněn faktorem  $e_1$ , popř.  $e_2$ . Podíl rozptylu znaku připadající na společný faktor  $F_i$  je v FA označován jako komunalita, podíl rozptylu připadající na samotný faktor  $e_i$  je nazýván specifická. Základní úlohou při FA je určit počet faktorů spolehlivě vystihujících variabilitu dat, tj. maximalizovat komunalitu a zároveň minimalizovat specificku. Za výchozí metodu extrakce faktorů byla zvolena PCA, kdy společnými latentními faktory jsou hlavní komponenty (konstruované podle maximálního rozptylu). Je možné zvolit i klasické metody extrakce faktorů, které pracují s odhadem komunalit (MELOUN et al. 2005). Hlavním cílem při FA je interpretovat objekty pomocí společných faktorů, ty však bývají při počátečních

odhadech obtížně vysvětlitelné. Proto se přistupuje k rotaci (otočení) faktorů, do nových souřadnic umožňující snazší interpretaci.

Pro zjištění podobnosti objektů (krajů) byla dále použita analýza shluků (CLU). Tato technika je založena na podobnostech nebo vzdálenostech mezi jednotlivými objekty. Tím se odlišuje od FA, která vychází z vnitřní korelace mezi objekty (MELOUN et al. 2005). Při CLU je důležitá volba nejlepší metody shlukování, která by měla splňovat kritérium maximální věrohodnosti. Za rozhodčí míry tohoto kritéria byly použity kofenetický korelační koeficient (CC) a kritéria  $\Delta_{(0,5)}$  a  $\Delta_{(1)}$ . CC udává Pearsonův korelační koeficient mezi skutečnou a predikovanou vzdáleností v dendrogramu (čím je hodnota CC vyšší, tím je těsnost proložení lepší). Koeficienty  $\Delta_{(0,5)}$  a  $\Delta_{(1)}$  měří stupeň přetvoření struktury dat, přičemž je žádoucí, aby jejich hodnota byla blízká nule (MELOUN et al. 2005). Při hierarchickém shlukování jsou výsledky analýzy interpretovány pomocí polohy objektů v dendrogramu. Objekty zobrazené v dendrogramu jsou si podobné, pokud se vyskytují pod společnou "vidličkou". Čím má toto spojení menší vzdálenost na ose  $x$ , tím jsou si objekty podobnější.

#### **4.3 Vytvoření modelu umožňujícího predikci objemu kůrovcových těžeb na základě konkrétního dopadu větrné kalamity**

Konstrukce vhodného predikčního modelu využívá poznatků získaných v předchozích dílčích cílech a dále zpracovaných údajů z „Ročního hlášení výskytu lesních škodlivých činitelů“ za období 2006–2010 v členění podle okresů (MODLINGER 2007; MUSIL et al. 2008; MODLINGER et al. 2009, 2011; MODLINGER & MUSIL 2010). Proměnné, které vstupují do analýz, jsou uvedeny v tabulce 3.

Pro definování regresních vztahů je nutné ověřit základní vlastnosti experimentálních dat. K tomuto účelu jsou využívány zpravidla jednoduché statistické techniky označované souhrně jako průzkumová (exploratorní) analýza dat, jejímž primárním úkolem je ověření normality dat (zde pomocí Shapiro–Wilkova testu). Další důležitou otázkou pro potřeby regresní analýzy je, zda mezi jednotlivými (náhodnými) veličinami existuje závislost, k čemuž lze použít míru korelace. Při shodě experimentálních dat s Gaussovým normálním rozdělením byl aplikován Pearsonův korelační koeficient, v opačném případě bylo nutno použít neparametrickou Spearmannovu korelaci, která je založena na pořádkové statistice (MELOUN & MILITKÝ 2011). O charakteru vícerozměrných dat a vztazích mezi znaky je vhodné se přesvědčit



analýzou hlavních komponent (PCA). Ačkoliv jde o samostatnou statistickou metodu, lze jí s úspěchem použít při průzkumové analýze dat (MELOUN et al. 2005).

Tab. 3 – Vstupní proměnné pro vícerozměrné statistické analýzy

podkor A	evidované množství smrkového dříví v m <sup>3</sup> vytěženého v důsledku napadení lýkožroutem smrkovým v daném roce
vítr A-1	evidované množství polomů v m <sup>3</sup> v předchozím kalendářním roce
sucho A-1	evidované množství dříví v m <sup>3</sup> vytěženého z důvodů sucha v předchozím kalendářním roce
podkor A-1	evidované množství smrkového dříví v m <sup>3</sup> vytěženého v důsledku napadení lýkožroutem smrkovým v předchozím kalendářním roce
václv A-1	evidované množství smrkového dříví v m <sup>3</sup> vytěženého v důsledku napadení václavkami ( <i>Armillaria</i> spp.) v předchozím kalendářním roce
vítr A-2	evidované množství polomů v m <sup>3</sup> v předminulém kalendářním roce
sucho A-2	evidované množství dříví v m <sup>3</sup> vytěženého z důvodů sucha v předminulém kalendářním roce
podkor A-2	evidované množství smrkového dříví v m <sup>3</sup> vytěženého v důsledku napadení lýkožroutem smrkovým v předminulém kalendářním roce
václv A-2	evidované množství smrkového dříví v m <sup>3</sup> vytěženého v důsledku napadení václavkami ( <i>Armillaria</i> spp.) v předminulém kalendářním roce
NPaNPR	výměra národních parků a národních přírodních rezervací v jednotlivých okresech podle evidence Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem (ÚHÚL)

Pro predikci kůrovcových těžeb bylo využito tří statistických metod: vícenásobné lineární regrese (Multiple Linear Regression – MLR), PLS regrese (Partial Least Squares – PLS-R a neuronových sítí (Artificial Neural Network – ANN, NN).

Vícenásobná lineární regrese představuje klasický způsob popisu závislosti mezi vstupními proměnnými a výstupní (závislou) proměnnou. Základní metoda, která vede k nejlepšímu nestranným lineárním odhadům, je metoda nejmenších čtverců (MNČ). Při MNČ je minimalizován součet druhých mocnin rozdílů mezi skutečnou a modelem predikovanou hodnotou. Parciálními derivacemi podle jednotlivých proměnných je hledán extrém účelové funkce. Významnost parametrů zařazených do účelové funkce je posuzována pomocí *F*-statistiky (HINDLS et al. 2007). Optimálních vlastností nabývá MNČ, pokud je splněno sedm základních předpokladů (např. MELOUN & MILITKÝ 2004). K ověření vhodnosti lineárního modelu a základních předpokladů MNČ byla vyvinuta rozsáhlá diagnostika, kterou lze shrnout do složek tzv. regresního tripletu, tj. kritiky dat, kritiky modelu a kritiky metody. Během kritiky dat jsou pomocí grafů

reziduí nebo jiných diagnostických grafů (Williamsův, McCulloh-Meeterův) identifikovány vlivné body. Hrubé chyby či odlehlé body jsou z dalších analýz vyloučeny. V případě biologických či lékařských dat je vyloučení odlehlých bodů zpravidla nepřijatelné. Při kritice modelu je podle parciálních regresních a reziduálních grafů posuzována vhodnost použitého lineárního modelu. Kritika metody je zacílena na splnění základních předpokladů MNČ (zejména multikolinearita, homoskedasticita či normalita reziduí). Multikolinearita, která spočívá v škodlivě silné vzájemné závislosti vysvětlujících proměnných, je považována za jedno z nejzávažnějších porušení vypovídací schopnosti regresních koeficientů (HEBÁK et al. 2007). Důsledkem jsou nestabilní a silně rozptýlené odhady nebo nemožnost oddělené interpretace korelovaných prvků (MELOUN & MILITKÝ 2004). Z numerických kritérií multikolinearity využívá použitý software (QC.Expert 3.2) determinant matice  $\mathbf{R}$  ( $\det\mathbf{R}$ ), podmíněnost  $\kappa$  ( $K$ ) a VIF-faktor (variance inflation factor). Silná multikolinearita je indikována, pokud  $\det\mathbf{R} < 10^{-3}$ ,  $K > 10^3$  a  $VIF > 10$  (MELOUN & MILITKÝ 2004). Častým průvodním jevem řady měření je heteroskedasticita, při níž se rozptyl dat zvětšuje s velikostí proměnné (MELOUN & MILITKÝ 2004). V případě porušení základních předpokladů MNČ je možným řešením transformace dat, použití metody zobecněných nejmenších čtverců či robustních metod ze skupiny M-odhadů.

Pro hledání optimálního počtu parametrů byla využita kroková regrese (stepwise) v programu QC.Expert 3.2, která zjistí regrese se všemi kombinacemi vybraných nezávisle proměnných. Hodnotícími kritérii pro výběr nejvhodnějšího modelu jsou fis, AIC a MEP. Fis představuje klasickou hodnotu Fisherovy  $F$ -statistiky a porovnává statistickou významnost modelu, kdy nejlepším modelům odpovídají nejvyšší hodnoty fis. AIC je Akaikeho informační kritérium, které porovnává reziduální součet čtverců penalizovaný počtem parametrů a lze jej chápat jako míru informačního zisku. Zkratka MEP vyjadřuje střední kvadratickou chybu predikce a porovnává predikční schopnost modelu. Nejlepší modely mají nejnižší hodnoty AIC a MEP (KUPKA 2010). Kromě těchto citlivých kritérií jsou uvedeny i klasické charakteristiky regrese, jako vícenásobný korelační koeficient  $R$ , koeficient determinace  $D$  a predikovaný korelační koeficient  $R_p$ .

PLS-R je velice výkonná statistická technika pro vyhodnocení vícerozměrné matice závislých a nezávislých proměnných, mezi nimiž je vytvořen regresní vztah pomocí projekce do latentních struktur (PYTELA 2009; KUPKA 2010). PLS je dobrou alternativou ke klasické vícenásobné lineární regresi, jelikož vykazuje vyšší robustnost

modelu při změně vstupů. Data určená pro PLS (závislé i nezávislé proměnné) musí být před výpočtem centrována (GELADI & KOWALSKI 1986; KUPKA 2011), v případě různých jednotek měřených parametrů je doporučována standardizace (GELADI & KOWALSKI 1986; HÖSKULDSSON 1988). Výpočet PLS využívá při rozkladu matic  $X$  a  $Y$  iteračního algoritmu NIPALS, obecný postup pro jednu matici viz např. PYTELA (2009). Přínosem metody PLS je zejména zachycení vnějších vztahů mezi maticemi  $X$  a  $Y$  prostřídáním jejich vektorů skóre během iterací. Postup výpočtu PLS podle GELADIHO & KOWALSKÉHO (1986), resp. HÖSKULDSSONA (1988) začíná u sloupcového vektoru skóre  $u$  matice  $Y$ , který je vytvořen z některého sloupce (zpravidla s největším rozptylem), nebo z vektoru průměrů. Regresí je z  $u$  vytvořen řádkový vektor zátěží  $w$  matice  $X$ , který je normován k 1 a přes matici  $X$  je dopočítán sloupcový vektor skóre  $t$  matice  $X$ . Další regresí je z  $t$  vytvořen řádkový vektor zátěží  $c$  matice  $Y$ . Vektor  $c$  je normován k 1 a přes matici  $Y$  je dopočítán sloupcový vektor skóre  $u$  matice  $Y$ . Tento cyklus se v případě divergence  $u$  opakuje až k dosažení stabilní hodnoty. Poté jsou vypočteny konečné zátěže  $p$  matice  $X$  a zátěže  $q$  matice  $Y$ . Regresí  $u$  na  $t$  jsou vypočteny regresní koeficienty  $b$ . Reziduální matice  $X \rightarrow E$  je vypočtena jako  $tp^T$  a reziduální matice  $Y \rightarrow F$  jako  $btc^T$ . Ačkoliv je PLS poměrně robustní metoda, má i určitá omezení, která spočívají zejména v předpokladu přibližné linearitě a normality chyb (KUPKA 2010).

Pro výpočet PLS byl využit statistický software QC.Expert 3.2. Prvotní úprava dat ( $Z$ -skóre) obou vstupních matic byla provedena programem automaticky. Jako závislé proměnné (prvky matice  $Y$ ) byly zvoleny škody podkorním hmyzem, suchem a václavkou v daném roce ( $A$ ), za nezávislé proměnné (matice  $X$ ) byly vybrány škody větrem, suchem, podkorním hmyzem a václavkou zaznamenané v předchozích dvou letech ( $A-1$  a  $A-2$ ) společně s plochou chráněných území (NPaNPR). Nebyla využita možnost validace, resp. při validaci 10 % dat byly získány téměř totožné výsledky. PLS regrese byla počítána pro maximální počet dimenzí ( $k$ ), vzhledem k počtu proměnných matice  $Y$  bylo  $k = 3$ .

Neuronové sítě představují velmi výkonnou metodu, která je používána pro modelování vztahů mezi vícerozměrnými vstupními a výstupními proměnnými. NN lze obecně považovat za vícenásobný nelineární regresní model (KUPKA 2010). Inspirací pro NN byly vlastnosti lidského mozku, zejména mnohonásobné propojení velkého počtu neuronů nebo zpracování informací bez centrálního řízení a pravidel (KŮRKOVÁ 2003).

Základní jednotkou NN je umělý neuron (neboli perceptron), který má  $n$  vstupů a výstupů, které představují spojení (synapse) s ostatními (předcházejícími) neurony. Každý vstup je hodnocen kladnými nebo zápornými synaptickými vahami  $w$ . Součet váženého vstupního signálu tvoří vnitřní potenciál neuronu  $\xi$  a v případě překročení prahové hodnoty  $h$  je pomocí aktivační funkce indukován výstupní signál. Aktivační funkce mají nejčastěji sigmoidní charakter a poskytují diskrétní nebo spojitě výstupy. Nejběžnější aktivační sigmoidu představuje logistická funkce (ŠÍMA & NERUDA 1996).

Jeden neuron je schopen řešit pouze velmi omezené úlohy, proto je k řešení složitějších úloh třeba neurony spojovat do sítí. Počet neuronů a jejich vzájemné propojení určuje tzv. architekturu (topologii) NN. V zásadě se rozlišují dva typy architektury – cyklické (rekurentní) a acyklické (dopředné) sítě. V případě cyklické topologie existuje v síti skupina neuronů, které jsou zapojeny v kruhu. Speciálním případem je tzv. úplná topologie, kde výstup libovolného neuronu je vstupem všech ostatních neuronů. U acyklické NN lze neurony rozdělit do vrstev, které jsou uspořádány nad sebou tak, že spoje mezi neurony vedou jen z nižších vrstev do vyšších. Rozlišujeme vstupní a výstupní vrstvu, mezi nimiž mohou být další vrstvy neuronů, které se označují jako „skryté“. Mezi příklady tohoto typu topologie patří i nejčastěji využívaná tzv. vícevrstvá (perceptronová) NN (ŠÍMA & NERUDA 1996). NN se vyvíjejí v čase, tj. mění se propojení a stav neuronů a adaptují se váhy. V takovém případě se jedná o tzv. dynamickou NN, kterou lze rozdělit do tří pracovních režimů: organizačního (změna topologie), aktivního (změna stavu) a adaptivního (změna konfigurace).

Při organizační dynamice u vícevrstvých NN je architektura sítě specifikována na začátku tvorby modelu. Díky této „pevné“ topologii lze zadávat pouze počty neuronů v jednotlivých vrstvách. Architektura vícevrstvé sítě by měla odpovídat složitosti řešeného problému. Malá síť nemůže řešit komplikovaný problém, bohatá síť může na druhé straně až příliš zohledňovat tréninkové vzory a ve výsledku špatně generalizovat.

V aktivním režimu dochází k nastavení vah  $w$  u všech neuronů v síti. Následným cílem adaptivní dynamiky je nastavit síť tak, aby pro každý vstup tréninkového vzoru poskytla odpovídající výstup. Jedná se o variantu tzv. učení s učitelem, kdy je k dispozici sada dat se známým výstupem. V případě že tréninková množina obsahuje pouze vstupy, jedná se o tzv. „učení bez učitele“. Nejpoužívanějším adaptivním mechanismem je učící algoritmus zpětného šíření chyby (backpropagation). Snahou je

minimalizovat čtverec chybové funkce pomocí parciálních derivací směrem k vstupním neuronům (ŠÍMA & NERUDA 1996).

K predikci objemu kůrovcového dříví byla zvolena vícevrstvá perceptronová síť. Optimální počet neuronů a skrytých vrstev byl v první fázi zjištěn pomocí modulu automatického vyhledávání neuronových sítí v programu Statistica 10. Automatické vyhledávání bylo vzhledem k početní náročnosti nastaveno na 200 iterací s logistickou aktivační funkcí neuronu. Proveden byl opakovaný výpočet 30 sítí. Skutečná vhodnost architektury sítě však mohla být posouzena až při vyšším počtu iterací za použití cross-validace. K tomuto účelu byl využit program QC.Expert 3.2, který je uživatelsky příznivější. Testováno bylo zhruba deset typů nastavení sítí podobných architektuře nalezené během první fáze. Změny v architektuře byly zaznamenány pouze v počtu neuronů, nikoliv v počtu skrytých vrstev. Moment optimalizačního algoritmu byl nastaven na doporučenou hodnotu 0,9 a rychlost učení na hodnotu 1 (KUPKA 2010). Exponent kritériální funkce byl rovněž ponechán na defaultní hodnotě 2. Vstupní proměnné byly transformovány funkcí  $(X-MIN)/(MAX-MIN)$ . Podíl vstupních dat určených k učení sítě byl nastaven na 30 %. Jelikož výběr části dat pro cross-validaci je proveden generátorem náhodných čísel, a je tedy stejně jako počáteční nastavení hodnot iteračního algoritmu při každém výpočtu odlišný, bylo nutno provést učení pro danou architekturu sítě opakovaně. Učení sítě probíhalo přes 10 000 iterací.

Všechny nalezené modely vykazovaly relativně dobrou těsnost výsledné závisle proměnné s její skutečnou hodnotou. Důležitější je však jejich predikční schopnost vzhledem k datům, která nebyla použita pro jejich odvození. K ověření kvality jednotlivých modelů a jejich vzájemnému porovnání bylo použito údajů z hlášení výskytu lesních škodlivých činitelů za rok 2011 (MODLINGER & MUSIL 2012). Vstupní matice dat byla upravena do relativních vztahů vzhledem k roku 2011 (např. vítr A-1 = vítr 2010, vítr A-2 = vítr 2009). U metod PLS a NN byla použita predikce neznámých hodnot pomocí uložených modelů ve formátu \*.qpr. Obě vícerozměrné regrese byly vypočteny v tabulkovém procesoru MS Excel, u druhého modelu regrese byla provedena transformace a zpětná retransformace dat. Pro všechny modely byla ze známé a predikované výše škod vypočtena reziduální suma čtverců (součet čtverců odchylek mezi predikovanou a skutečnou hodnotou; příloha 6) a absolutní reziduum (součet absolutních hodnot rozdílů mezi predikovanou a skutečnou hodnotou; příloha 7) a další popisné statistiky (průměr, medián, minimum, maximum). Na základě nejnižších hodnot uvedených kritérií byl vybrán nejvhodnější predikční model.

#### 4.4 Kvantifikace reprodukčního úspěchu lýkožrouta smrkového v různých částech ležících stromů

Pro vyčíslení daného vztahu bylo nejprve nutno charakterizovat jednotlivé polomové plochy v Boubínském pralese z hlediska obsazení lýkožroutem smrkovým, resp. jeho reprodukčního úspěchu v různých typech polomů. Výběr polomových ploch o různém počtu stromů byl proveden na základě aktuální mapy stromové situace.

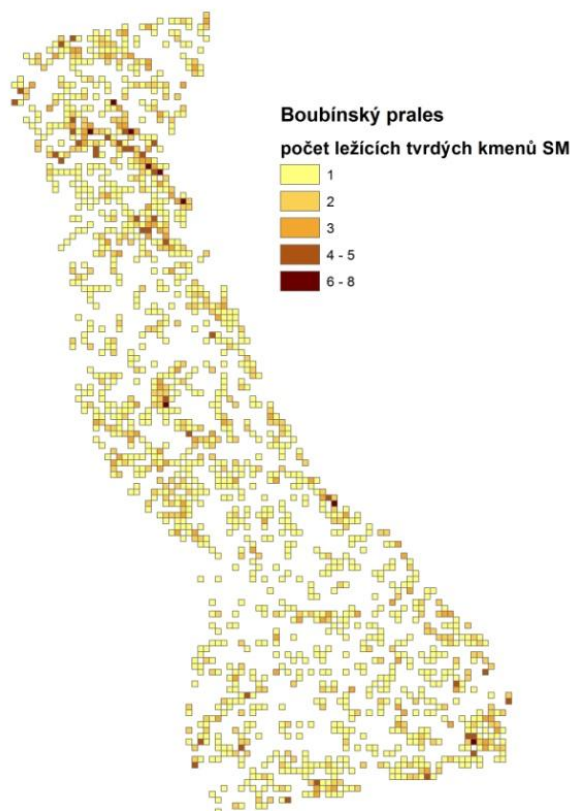
Aktuální mapa stromové situace představuje plán rozmístění stromů v Boubínském pralese v měřítku 1:1 000, na který navazují databáze, v nichž jsou zaznamenány všechny živé i odumřelé stromy s výčetní tloušťkou  $d_{1,3} \geq 10$  cm, zhotovené v roce 2010 (dosud nepublikováno) týmem doc. T. Vršky, ve které je mimo jiné zachycen stav porostu po působení vichřice Emma. Celkově se jedná o 16 463 stromů na ploše 47 ha (VRŠKA et al. 2012). Mapa vychází z předchozích geodetických měření PRŮŠI (1985) a VRŠKY et al. (2001).

V programu ArcGIS<sup>TM</sup> 9.1 byla nad vrstvou ležících tvrdých kmenů<sup>3</sup> vytvořena čtvercová síť s velikostí čtverce 1 ar a pomocí barevné škály byly označeny čtverce obsahující určitý počet padlých stromů (obr. 4). Zvolené čtverce (> 100 stromů, > 50 stromů, > 20 stromů, > 10 stromů, jednotlivě vyvrácené stromy pod stojícím porostem) byly následně identifikovány v terénu.

V Boubínském pralese bylo s využitím aktuální mapy stromové situace vybráno pro účely stanovení míry závislosti reprodukčního úspěchu lýkožrouta na typu větrného polomu celkem 16 lokalit. Každému hodnocenému stromu bylo podle mapy stromové situace přiřazeno číslo dle databáze stromů (obr. 5) a byl stanoven počet výletových otvorů na stromových sekcích lokalizovaných v relativních vzdálenostech dle publikované metodiky (GRODZKI 1997). I. sekce se nacházela ve vzdálenosti od paty kmene 0,5–1,0 m, II. sekce mezi patou kmene a začátkem koruny, III. sekce na začátku koruny a IV. sekce ve středu koruny (obr. 6). Pokud to bylo možné, byly pro zjištění počtu výletových otvorů v rámci každé sekce zvoleny 3 hodnocené plošky o velikosti 0,15 m<sup>2</sup> (30×50 cm), jedna na horní straně a další na levé i pravé straně padlého kmene (obr. 7 a 8). Pro každou sekci byly zaznamenány obvod kmene, dále vzdálenost sekce od paty stromu a počet výletových otvorů.

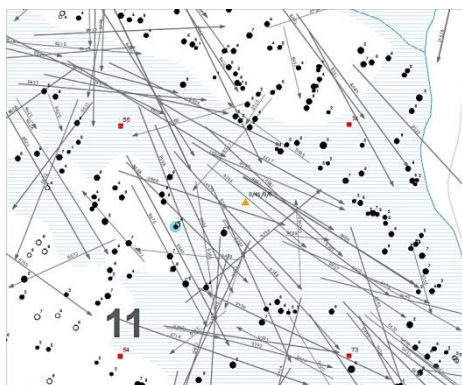
---

<sup>3</sup> Za ležící tvrdý kmen byl považován ležící hlavní kmen stromu nebo jeho část bez kořenové soustavy, u kterého lze poznat druh dřeviny, zpravidla ještě s borkou a relativně zdravým tvrdým dřevem (VRŠKA et al. 2012)

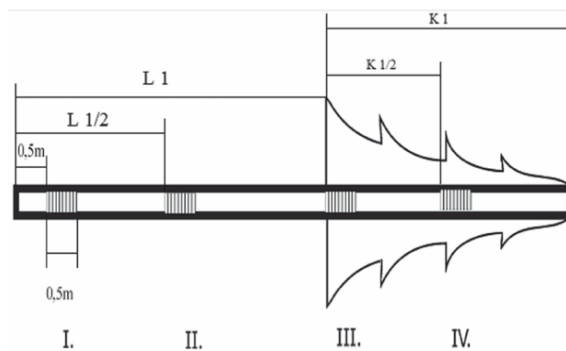


Obr. 4 – Čtvercová síť kategorizovaná podle počtu polomů

Vzhledem k tomu, že k vichřici Emma došlo v roce 2008, bylo již lýko velmi narušeno a na některých místech kůra ve velkých plátech odpadala. Hodnocení znemožňovala i přítomnost mechu. V obou případech byl pomocí trojčlenky proveden dopočet do 100 % plošky. Pokud bylo na plošce méně než 30 % nepoškozeného, resp. nezakrytého povrchu kůry, ploška hodnocena nebyla.



Obr. 5 – Detail mapy stromové situace pro výběr hodnocených kmenů v terénu



Obr. 6 – Umístění hodnocených sekcí na kmeni dle metodiky GRODZKÉHO (1997)



Obr. 7 – Výletové otvory lýkožrouta smrkového na vymezených ploškách značené připínáčky (R. Modlinger, 19. 7. 2012)



Obr. 8 – Zjišťování počtu výletových otvorů v terénu (R. Modlinger, 1. 8. 2012)

Celkem bylo v terénu studováno 63 ležících kmenů, z toho 53 vývratů a 10 odlomů (viz dále). Délka hodnocených kmenů se pohybovala od 20,5 do 49,0 m, o výčetní tloušťce v rozsahu 31–90 cm. Počet hodnocených sekcí, jejich minimální, střední a maximální tloušťka je uvedena v tabulce 4. Počet výletových otvorů lýkožrouta smrkového byl zjištěn celkem na 582 ploškách, z nichž bylo 90 zastíněných. Za vývrat je v rámci této práce považován větrem povalený kmen doposud spojený kořenovým systémem s půdou, za odlom pak kmen, jehož bazální část, resp. čelo je zpravidla roztříštěné a není spojeno s kořenovým systémem (cf. KULA & ZĄBECKI 2004, 2005). Pro označení padlého kmene bez rozlišení na odlom a vývrat je používán termín „ležící kmen“. Jako „polom“ jsou označovány ležící kmene vzniklé činností větru, rozmístěné jednotlivě nebo ve skupinách. Velice často je v lesnické terminologii používán pojem „zlom“, kterým je v této práci rozuměna stojící zlomená část kmene dosud spojená s půdou, bez rozlišení její výšky (vzdálenosti mezi patou kmene a místem zlomení). Zlomy nebyly předmětem hodnocení. Vyhodnocení vývratů a odlomů proběhlo odděleně. Pro jejich vzájemné porovnání byl vybrán stejný počet vývratů podobných dendrometrických parametrů, které se nacházely v nejbližším okolí hodnocených odlomů. Počet výletových otvorů zjištěných na hodnocené plošce byl přepočten na společnou jednotku ( $\text{dm}^2$ ).

Při shodě experimentálních dat s normálním rozdělením byla následně použita analýza rozptylu (ANOVA), v opačném případě neparametrický Kruskalův-Wallisův test (K-W). Hladina významnosti byla zvolena standardně  $\alpha = 0,05$ . Ke stanovení odlišnosti konkrétního faktoru byly použity tzv. „post hoc“ testy. Po ANOVA následovalo Tukey-Kramerovo vícenásobné porovnávání (T-K) s hladinou významnosti



$\alpha = 0,05$ . V případě K-W bylo použito Kruskalovo-Wallisovo vícenásobné porovnávání, tzv. Dunnův test (Dunn's test). Významnost Dunnova testu je stanovována porovnáním experimentálních a kritických z-hodnot. Kritické z-hodnoty vycházejí z počtu porovnávaných proměnných a jsou proto v různých porovnáváních odlišné. V našem případě byla využita Bonferroniho a regulární kritická z-hodnota (Bonferroniho kritérium zamítá nulovou hypotézu na nižší hladině významnosti a je tedy přísnější). Postupy statistických analýz proběhly v souladu s doporučeními MELOUNA & MILITKÉHO (2004) a HINTZEHO (2012).

Tab. 4 – Počet a tloušťka hodnocených sekcí

Sekce	Počet	Tloušťka				Test normality
		Min.	Průměr	Max.	Medián	
I.	171	30	63	91	65	zamítnuta
II.	180	23	47	73	48	zamítnuta
III.	166	19	37	58	37	zamítnuta
IV.	65	7	25	44	24	zamítnuta

Na základě počtu výletových otvorů lýkožrouta smrkového zjištěných na jednotlivých sekcích byl pomocí Newtonovy interpolace (DOBROVOLNÝ 1946) stanoven minimální počet dospělců lýkožrouta, kteří se vyvinuli v příslušném kmeni.

#### 4.5 Stanovení rizika ohrožení lesních porostů lýkožroutem smrkovým po větrné kalamitě v závislosti na typu a kvantitě vzniklého polomu

Základní otázkou této části práce bylo zjistit, zda jsou stromy, které se nacházejí v blízkém okolí větrné disturbance, napadány lýkožroutem smrkovým, příp. zda má jejich osídlování vazbu na velikost (rozlohu) polomu. Bylo zapotřebí ležící kmene roztrždit podle parametrů, které mají vliv na reprodukční úspěch, resp. množství vyvinutých dospělců.

Pro tento účel byly v programu ArcGIS<sup>TM</sup> 9.1 vytvořeny obalové plošné zóny (buffery) dvou tvarů (se středem v každém z hodnocených ležících kmenů). K zachycení nejbližšího okolí hodnoceného ležícího kmene byly použity buffery tvořené obdélníkem s kratšími stranami zasahujícími 1,5, resp. 3 m na obě strany od ležícího kmene a delší stranou rovnající se délce kmene. Na obou koncích ležícího kmene tvořily hranici bufferu půlkruhy o příslušných poloměrech (obr. 9). Buffery tohoto typu jsou v dalším textu označovány jako „obdélníkové“. Širší okolí

hodnocených stromů bylo podchyceno pomocí kruhových zón o poloměru 20, 40 a 60 m se středem v polovině délky kmene (obr. 9). Pro oba typy zón byly vypočteny dendrometrické charakteristiky uvedené v tabulce 5. Pokud plocha zóny zasahovala mimo území pralesa, byly hodnoty dendrometrických parametrů přepočteny na celou rozlohu plochy.

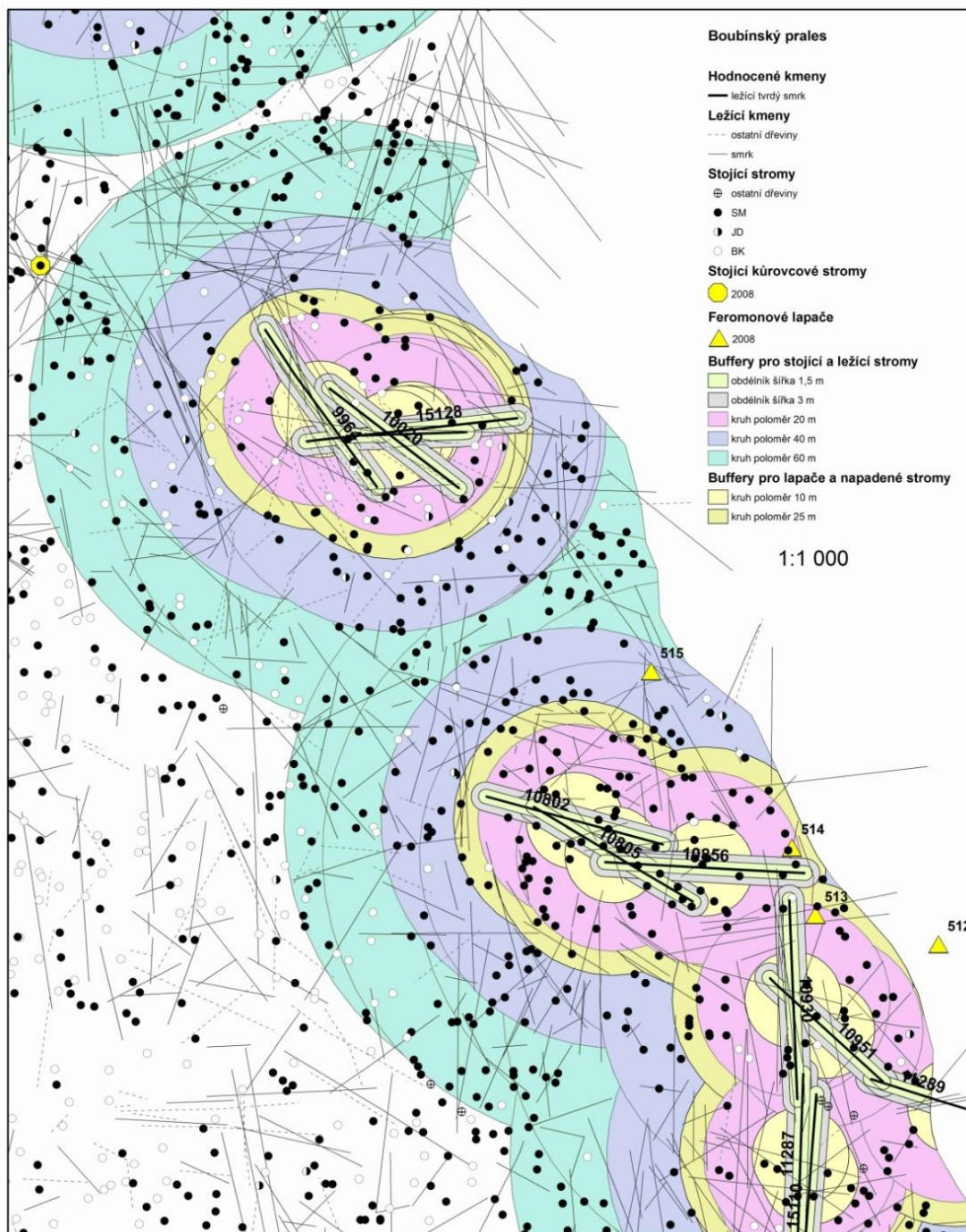
Tab. 5 – Použité dendrometrické parametry podle jednotlivých obalových zón

Typ zóny (bufferu)	Poloměr	Dřevina	Poloha	Označení		
				Počet	Výčetní kruhová základna	Objem
obdélník	1,5	smrk	stojící	s_SM_1_5_N_p	s_SM_1_5_BA_p	s_SM_1_5_VOL_p
		ostatní dřeviny	stojící	s_ost_1_5_N_p	s_ost_1_5_BA_p	s_ost_1_5_VOL_p
		smrk	ležící	l_SM_1_5_N_p	l_SM_1_5_BA_p	l_SM_1_5_VOL_p
		ostatní dřeviny	ležící	l_ost_1_5_N_p	l_ost_1_5_BA_p	l_ost_1_5_VOL_p
obdélník	3	smrk	stojící	s_SM_3_N_p	s_SM_3_BA_p	s_SM_3_VOL_p
		ostatní dřeviny	stojící	s_ost_3_N_p	s_ost_3_BA_p	s_ost_3_VOL_p
		smrk	ležící	l_SM_3_N_p	l_SM_3_BA_p	l_SM_3_VOL_p
		ostatní dřeviny	ležící	l_ost_3_N_p	l_ost_3_BA_p	l_ost_3_VOL_p
kruh	20	smrk	stojící	s_SM_N_20_p	s_SM_BA_20_p	s_SM_VOL_20_p
		ostatní dřeviny	stojící	s_ost_N_20_p	s_ost_BA_20_p	s_ost_VOL_20_p
		smrk	ležící	l_SM_N_20_p	l_SM_BA_20_p	l_SM_VOL_20_p
		ostatní dřeviny	ležící	l_ost_N_20_p	l_ost_BA_20_p	l_ost_VOL_20_p
kruh	40	smrk	stojící	s_SM_N_40_p	s_SM_BA_40_p	s_SM_VOL_40_p
		ostatní dřeviny	stojící	s_ost_N_40_p	s_ost_BA_40_p	s_ost_VOL_40_p
		smrk	ležící	l_SM_N_40_p	l_SM_BA_40_p	l_SM_VOL_40_p
		ostatní dřeviny	ležící	l_ost_N_40_p	l_ost_BA_40_p	l_ost_VOL_40_p
kruh	60	smrk	stojící	s_SM_N_60_p	s_SM_BA_60_p	s_SM_VOL_60_p
		ostatní dřeviny	stojící	s_ost_N_60_p	s_ost_BA_60_p	s_ost_VOL_60_p
		smrk	ležící	l_SM_N_60_p	l_SM_BA_60_p	l_SM_VOL_60_p
		ostatní dřeviny	ležící	l_ost_N_60_p	l_ost_BA_60_p	l_ost_VOL_60_p

Další faktory, které mohly ovlivnit obsazení ležících kmenů lýkožroutem smrkovým, představují feromonové lapače umístěné v prostoru rezervace a stojící stromy napadené lýkožroutem. V roce 2008 bylo v zaplacené části Boubínského pralesa a přilehlém okolí (ohrazeném Lukenskou a Knižecí cestou) pracovníky LZ Boubín umístěno na základě udělené výjimky z ochranných podmínek 30 feromonových lapačů typu Theysohn s odparníkem IT-Ecolure. Jejich pozice byla zaznamenána do mapy stromové situace.

K analýze vlivu feromonových lapačů na obsazenost vývratů lýkožroutem byly v programu ArcGIS<sup>TM</sup> 9.1 vytvořeny dvě kruhové zóny o poloměru 10 a 25 m se středem v polovině délky hodnoceného kmene, na kterých byl zjištěn počet lapačů. Byla vytvořena proměnná "lapač" pro vývraty s alespoň jedním feromonovým lapačem v bufferu a "bez lapače" pro zbývající vývraty. Vzdálenost 10 m od nejbližšího zdravého smrku je v případě instalace feromonových lapačů považována za minimální

(bezpečnostní), vzdálenost 25 m naopak představuje obvyklý účinný dosah feromonového lapače (ZAHRADNÍK 2005).



Obr. 9 – Typy obalových zón (bufferů) využitých k třídění polomů, zeleně znázorněny tzv. „obdélníkové“ buffery

Od vzniku polomu v roce 2008 probíhal v prostoru NPR Boubín každoroční celoplošný monitoring stromů napadených lýkožroutem smrkovým. Roční nárůst napadených a odumřelých stromů byl zjišťován s jednoletým zpožděním, protože

v horských podmínkách lze napadení a odumření stromů spolehlivě u všech jedinců identifikovat až během počátku další vegetační sezóny. Vlastní sběr dat probíhal pomocí pozemního šetření, kdy bylo celé zájmové území zkontrolováno transektovým způsobem a napadené stromy byly průběžně zakreslovány do dílčích listů mapy stromové situace, která sloužila současně i jako prostředek orientace v nepřehledném terénu rezervace. Pro posouzení vlivu stromů napadených lýkožroutem na obsazování vzniklých polomů, byly v programu ArcGIS<sup>TM</sup> 9.1 vytvořeny dva typy obdélníkových zón o šířce 1,5 a 3 metry na obě strany hodnoceného kmene a kruhová zóna o poloměru 20 m se středem v polovině délky hodnoceného kmene. Na ploše těchto zón byl zjišťován počet stojících stromů napadených v roce 2008 lýkožroutem smrkovým. U feromonových lapačů (lapac), které byly v provozu ve vegetační sezóně 2008, byl zjišťován jejich počet (N) v příslušném bufferu o poloměru 10 a 25.

Přehled zón použitých v případě feromonových lapačů a stojících napadených stromů je uveden v tabulce 6, resp. na obrázku 9.

Tab. 6 – Přehled použitých obalových zón pro feromonové lapače a stojící kůrovcové stromy

Typ zóny (bufferu)	Poloměr	Objekt	Označení
kruh	10	feromonový lapač	N_lapac_10_2008
kruh	25	feromonový lapač	N_lapac_25_2008
obdélník	1,5	kůrovcový strom	N_1_5_IT_2008
obdélník	3	kůrovcový strom	N_3_IT_2008
kruh	20	kůrovcový strom	N_20_IT_2008

Kód označení dendrometrických parametrů (tab. 5) obsahuje na prvním místě údaj, zda se jedná o stojící (s) nebo ležící (l) kmen. Na druhé pozici následuje údaj o dřevině (SM = smrk, ost = ostatní, nehostitelské dřeviny). U obdélníkových bufferů je na třetí pozici poloměr jejich kratší „strany“ a na čtvrté údaj o použité dendrometrické veličině (N = počet, BA = výčetní kruhová základna, VOL = objem kmene). U kruhových bufferů je pořadí na třetí a čtvrté pozici kódu opačné. Poslední znak kódu (p) vyjadřuje, že byly údaje přepočteny.

Do analýzy vlivu prostředí na napadení polomů lýkožroutem smrkovým vstupovalo celkem 65 proměnných (tab. 5 a 6). K jejich redukci byla použita vícenásobná lineární regrese v programu QC.Expert 3.2. Jako závislá proměnná byl zadán počet výletových otvorů lýkožrouta smrkového z hodnocené plošky, přepočtený na 1 dm<sup>2</sup>. Vzhledem ke zjištěným rozdílům v počtu vyvinutých brouků mezi vývraty a odlomy a k minimálnímu obsazení 1. sekcí byl použit filtr dat, který do analýzy zařadil

pouze plošky ze 2., 3. a 4. sekce vývratů. Vysvětlující proměnné byly v první fázi redukovány odděleně podle typu bufferu daného poloměru. Ve druhé fázi byly významné proměnné jednotlivých typů bufferů analyzovány společně. Zvolena byla obvyklá hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ . Jelikož byla v tomto případě vícenásobná lineární regrese použita pouze k redukci nezávislých proměnných, nikoliv ke stanovení hodnoty závisle proměnné, nebyly provedeny testy k posouzení vhodnosti metody nejmenších čtverců jako nejlepšího nevychýleného lineárního odhadu parametrů.

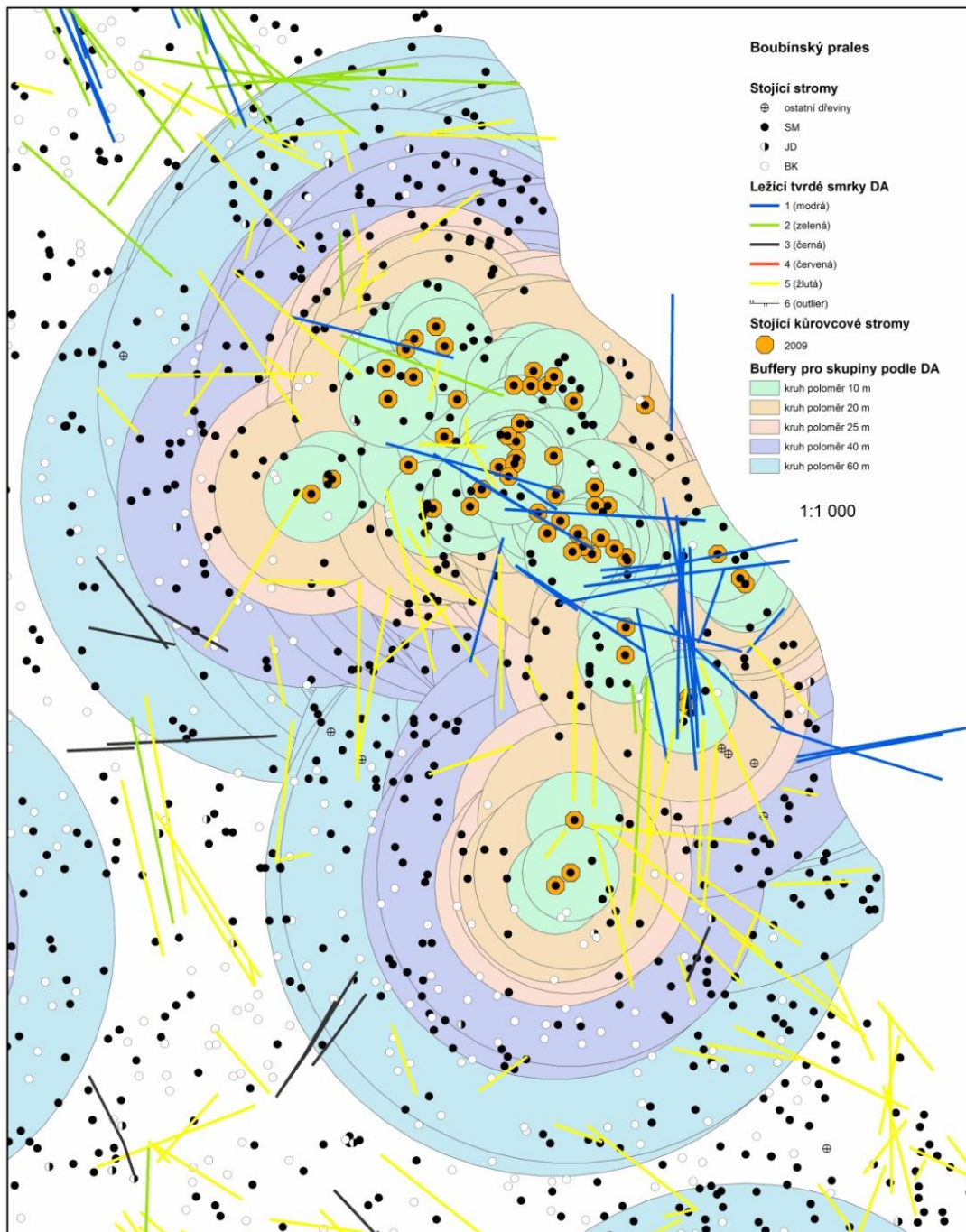
Další krok analýzy spočíval v rozřazení podobných vývratů do skupin. K tomuto účelu byly využity dendrometrické parametry (proměnné), stanovené během předchozí regresní analýzy jako významné z hlediska počtu vyvinutých dospělců lýkožrouta z hodnoceného kmene. Protože předem není znám počet tříd, do kterých by měly být ležící kmeny rozřazeny, je vhodné použít CLU. Analýza shluků a tvorba výsledného dendrogramu byly realizovány v programu NCSS 8.0. K interpretaci významu jednotlivých skupin byly sestrojeny krabicové grafy a provedeny testy na základě shody/neshody s Gaussovým rozdělením (ANOVA/K-W), do kterých vstupovaly u jednotlivých skupin podle dendrometrických parametrů všechny hodnocené kmeny.

V případě počtu výletových otvorů lýkožrouta smrkového byl vzhledem k výsledkům předchozí regresní analýzy důvodný předpoklad, že feromonové lapače v blízkosti hodnocených kmenů mohou ovlivnit jejich obsazení lýkožroutem smrkovým. Uvedený předpoklad byl proto ověřován testem. Na základě počtu vyvinutých brouků byly hodnocené stromy nacházející se ve vzdálenosti do 25 m od lapače z následného porovnání klasifikovaných skupin vyřazeny.

Na hierarchické shlukování dále navázala diskriminační analýza (DA), pomocí které lze odvodit klasifikační pravidla umožňující třídění objektů do skupin. V první části diskriminace byla analyzována trénovací množina dat se známou příslušností ke skupině, tj. hodnocené kmeny klasifikované pomocí CLU. Ve druhé části byl natrénovaný model použit na data s neznámou příslušností ke skupině (zbývající ležící tvrdé smrky na území Boubínského pralesa, 1 600 kmenů). Pro vlastní diskriminaci byla zvolena Fisherova lineární diskriminační funkce, která sice předpokládá vícerozměrné normální rozdělení a rovnost kovariančních matic mezi skupinami, ale v mnoha studiích byla prokázána její poměrně značná stabilita při odchylkách od uvedených předpokladů (HINTZE 2012). Diskriminační analýza byla provedena v programu NCSS 8.0.

Poslední částí tohoto dílčího cíle byla analýza ohrožení stojících smrků při různém disponibilním množství ležících kmenů. V mapě stromové situace byly v programu

ArcGIS™ 9.1 vybrány stromy, které odumřely vlivem napadení lýkožrouta smrkového v roce 2009 (celkem 141 stromů). V okolí středů těchto stromů byly vymezeny buffery typu kruh o poloměru 10, 20, 25, 40 a 60 metrů, na jejich ploše byly stanoveny počet (N), výčetní kruhová základna (BA) a objem (VOL) ležících tvrdých smrků klasifikovaných na základě DA do pěti skupin (obr. 10).



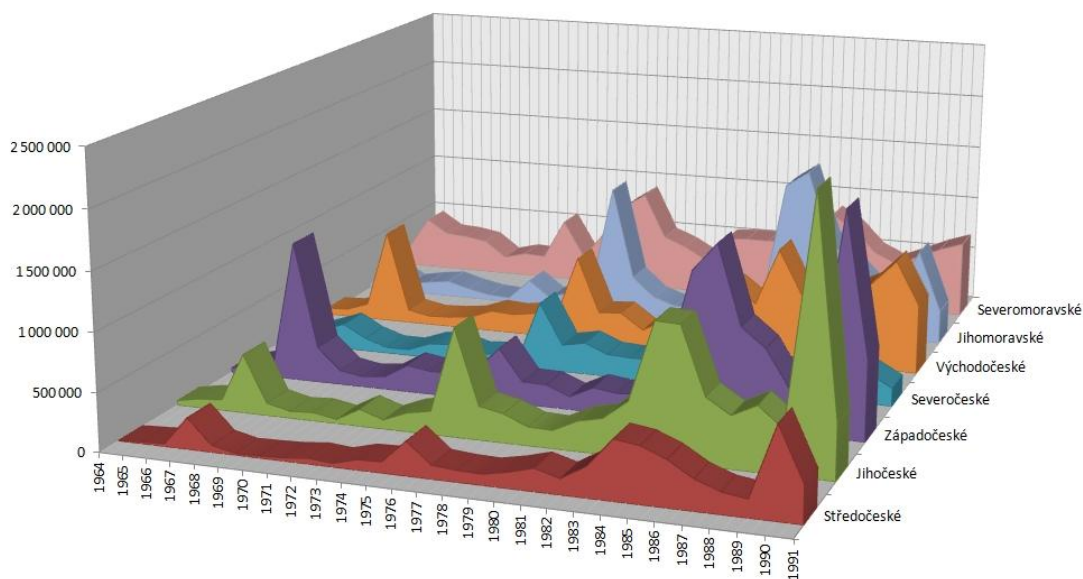
Obr. 10 – Typy obalových zón (bufferů) využitých k analýze ohrožení stojících smrků

Podle délky průvodičů v grafech komponentních vah analýzy hlavních komponent (PCA) bylo dále zjištěno, který poloměr bufferu nejlépe charakterizuje okolí stojících napadených stromů z hlediska skupin polomů vytvořených na základě DA. Pro tvorbu grafů komponentních vah PCA byly skupiny polomů pro lepší přehlednost označeny barevně (1 – modrá, 2 – zelená, 3 – černá, 4 – červená, 5 – žlutá). Kód jednotlivých proměnných je tvořen na prvním místě použitou veličinou (N, BA, VOL), dále skupinou ležících kmenů z DA (1–5) a za podtržítkem poloměrem bufferu (10, 20, 25, 40, 60). Pro buffer nejlépe reprezentující okolí kůrovcového stromu (vybraný na základě PCA) byla provedena analýza, zda se některá ze skupin polomů vyskytuje v okolí napadených stromů častěji. K tomuto účelu byla použita za předpokladu shody/neshody s Gaussovým rozdělením ANOVA, resp. Kruskalův–Wallisův test a následně vhodná metoda vícenásobného porovnání (Tukey-Kramerův, resp. Dunnův test).

## 5 Výsledky

### 5.1 Kvantifikace časového odstupu mezi škodami způsobenými větrem a lýkožroutem smrkovým

Přehled škod způsobených větrem podle hlášení podnikových ředitelství státních lesů je zachycen na obr. 11, konkrétní číselné hodnoty jsou uvedeny v příloze 8. Nejvýznamnější větrné události byly zaznamenány v letech 1967, 1976, 1984 a 1990. Objem polomů vzniklých v těchto letech činil více než 30 % polomového dříví vytěženého za celé sledované období 28 let. Z celkového charakteru škod větrem se poněkud vymyká oblast Severomoravských státních lesů, kde vítr v porovnání s ostatními ředitelstvími působil setrvale vyšší intenzitou, nicméně při významných větrných událostech maximálních hodnot výše těžeb nedosahoval. Nejnižší škody větrem vykazovalo zpravidla podnikové ředitelství Středočeských státních lesů.

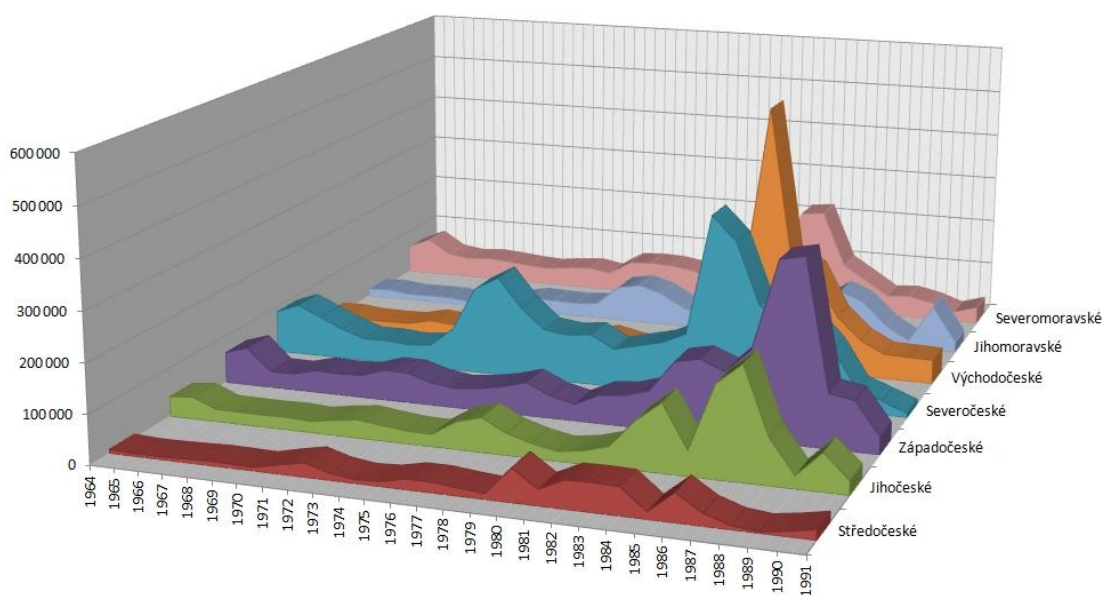


Obr. 11 – Přehled nahodilých těžeb způsobených větrem v letech 1964–1991 za jednotlivé podniky státních lesů

Poškození kůrovci na smrku se ve srovnání se škodami větrem zdá být z celorepublikového pohledu regionálně méně synchronizované (obr. 12). Ke shodě při gradaci lýkožrouta smrkového došlo na většině území pouze v polovině 80. let. Jednotlivé vrcholy kalamitního výskytu mají zpravidla vypuklý tvar, ukazující na



pozvolný nástup a odeznívání gradace. Z tohoto schématu se vymyká rok 1984 v případě Severočeských státních lesů a Východočeských státních lesů, a rok 1987 u Západočeských státních lesů, kdy došlo k enormnímu meziročnímu nárůstu vytěžené kůrovcové hmoty. Dá se říci, že do roku 1980 byl výskyt lýkožrouta smrkového, resp. kůrovců na smrku relativně stabilizovaný, zatímco v 80. letech dochází k období výrazných kalamit. Množství vytěženého kůrovcového dříví v jednotlivých letech je uveden v číselné podobě v příloze 9.



Obr. 12 – Přehled kůrovcových těžeb v letech 1964–1991 za jednotlivé podniky státních lesů

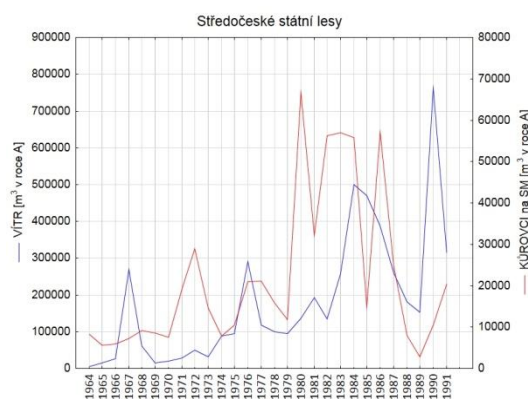
Grafy křížových korelačních funkcí pro jednotlivá podniková ředitelství jsou uvedeny v příloze 10, významné korelační koeficienty jsou přehledně uspořádány v tabulce 7.

Tab. 7 – Významné křížové korelační koeficienty mezi větrovou a kůrovcovou těžbou

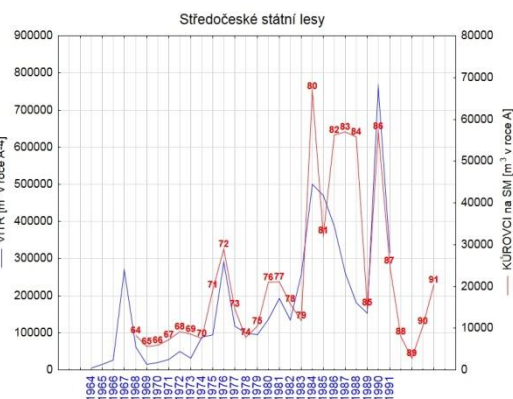
rok	Kůrovcová těžba za větrnými polomy					Škody větrem za kůrovcovou těžbou				
	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5
Středočeské státní lesy	-	-	-	-	-	-	-	0,42	0,72	-
Jihočeské státní lesy	-	-	0,46	-	-	-	-	0,54	0,43	-
Západočeské státní lesy	-	0,56	0,54	-	-	-	0,53	0,51	-	-
Severočeské státní lesy	-	-	-	-	-	-	0,54	-	-	-
Východočeské státní lesy	-	-	-	0,38	0,37	0,52	0,39	-	0,41	0,42
Jihomoravské státní lesy	-	-	0,46	0,57	0,79	0,51	-	-	-	-
Severomoravské státní lesy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ČSR	-	-	-	-	0,52	0,57	0,55	0,42	-	-

Prosté diference 1. řádu škod větrem a kůrovci na smrku u Středočeských státních lesů ukazují zejména časnější nástup kůrovcové kalamity v 80. letech oproti ostatním podnikovým ředitelstvím (obr. 13). Společný nárůst obou proměnných ve stejné sezóně byl zaznamenán v letech 1976 a 1990. Křížová korelační funkce ukázala statisticky významný posun o 3 roky ( $r = 0,42$ ) a těsněji korelovaný posun škod větrem o 4 roky ( $r = 0,72$ ) vůči kůrovcovým těžbám. Zobrazení diferencí škod větrem a kůrovci s posunem o 4 roky (obr. 14) ukazuje na relativně dobrou shodu tohoto vzájemného vztahu. Výrazný propad kůrovcových těžeb byl zaznamenán v roce 1985.

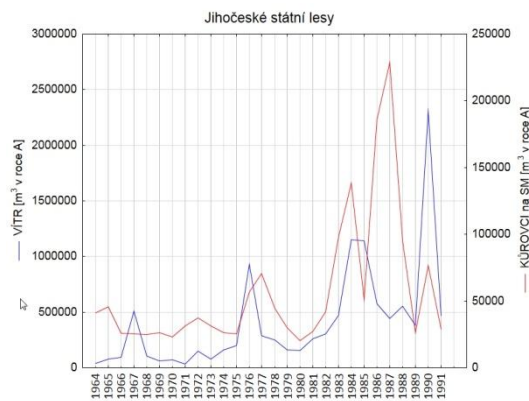
Podnikové ředitelství Jihočeských státních lesů vykazovalo u škod větrem a kůrovci na smrku podobný trend jako u Středočeských státních lesů (souběžný vzestup obou proměnných v roce 1976 a náhlý pokles kůrovcových těžeb v roce 1985, obr. 15). Křížová korelační funkce ukázala jako nejvýznamnější posunutí škod větrem za kůrovcovými těžbami o 3 roky ( $r = 0,54$ ), poněkud méně významný pak posun o 4 roky ( $r = 0,43$ ), který se však lépe shoduje s razantním nárůstem škod v letech 1986 a 1990 (obr. 16). Průběh křivek kůrovcových a větrových těžeb se vzájemně poměrně dobře kopírují až do roku 1976. Pak nastává v případě škod větrem odklon od 4letého posunu až do roku 1985 resp. 1989. Křížová korelační funkce ale vyhodnotila u Jihočeských státních lesů jako významný i posun kůrovcových těžeb za větrnými škodami po 2 letech ( $r = 0,46$ ). Jak je patrné z obrázku 17, dochází k podobnému trendu v období 1980 až 1989 a k reakci kůrovce počínaje rokem 1982, s výjimkou propadu v roce 1985.



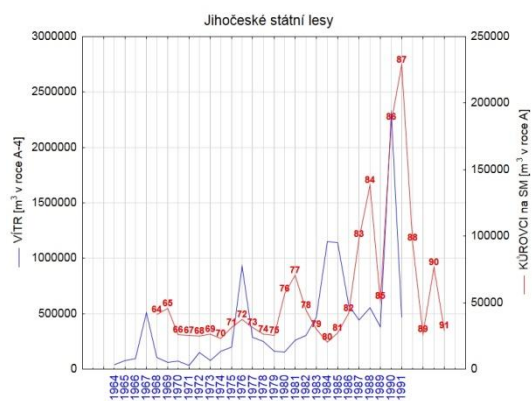
Obr. 13 – Prosté diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku v letech 1964–1991 (Středočeské státní lesy)



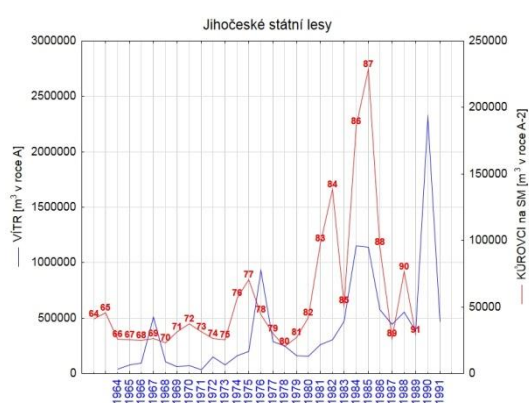
Obr. 14 – Diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku v letech 1964–1991 s posunem větrných těžeb o 4 roky (Středočeské státní lesy)



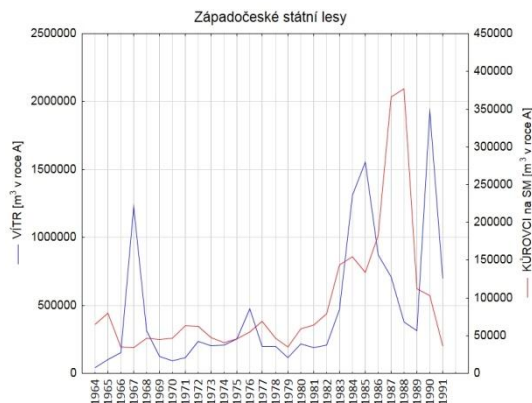
Obr. 15 – Prosté diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku v letech 1964–1991 (Jihočeské státní lesy)



Obr. 16 – Diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku v letech 1964–1991 s posunem větrných těžeb o 4 roky (Jihočeské státní lesy)



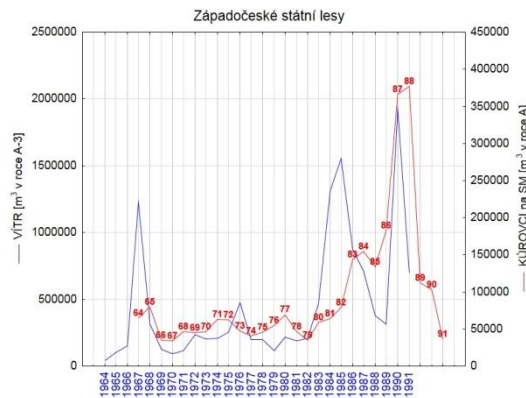
Obr. 17 – Diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku v letech 1964–1991 s posunem kůrovcových těžeb o 2 roky (Jihočeské státní lesy)



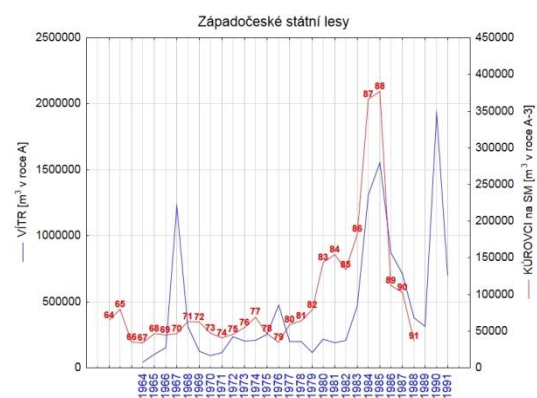
Obr. 18 – Prosté diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku v letech 1964–1991 (Západočeské státní lesy)

Na území Západočeských státních lesů byla výrazná větrná kalamita v roce 1967, poté byly škody větrem až do 80. let na relativně nízké úrovni (obr. 18). Množství vytěženého kůrovcového dříví v tomto období poměrně věrně kopírovalo objem nahodilé těžby vlivem větru s tím, že větrný polom z roku 1967 nevedl k nárůstu kůrovcových těžeb. Od počátku 80. let se začaly kůrovcové těžby postupně navyšovat s kulminací v letech 1987 a 1988, což jsou vůbec nejvyšší roční kůrovcové těžby za jedno podnikové ředitelství v ČSR za celé sledované období. Křížová korelační funkce prokázala vzájemný efekt obou proměnných ve zpoždění 2 a 3 roky. Těsnějších korelací bylo dosaženo při zpoždění lýkožrouta za větrem o 3 roky ( $r = 0,56$ ) a 2 roky ( $r = 0,54$ ). Opačný vztah škod větrem po kůrovcové těžbě byl relativně významnější při zpoždění o

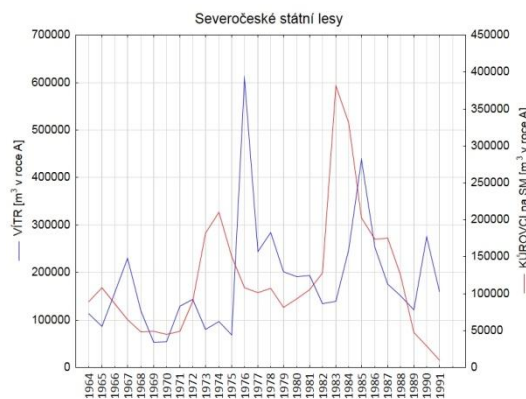
2 roky ( $r = 0,53$ ) a poněkud méně ve zpoždění o 3 roky ( $r = 0,51$ ). Na obrázku 19 je zobrazen právě posun větru o 3 roky za kůrovcem, který sice vykazuje nejnížší významnou křížovou korelaci, ale zachycený trend obou křivek je opticky velice podobný. Posun lýkožrouta za větrem o 3 roky je zachycen na obrázku 20. Tento vztah je v případě větru poměrně těsný cca od roku 1979 do roku 1988.



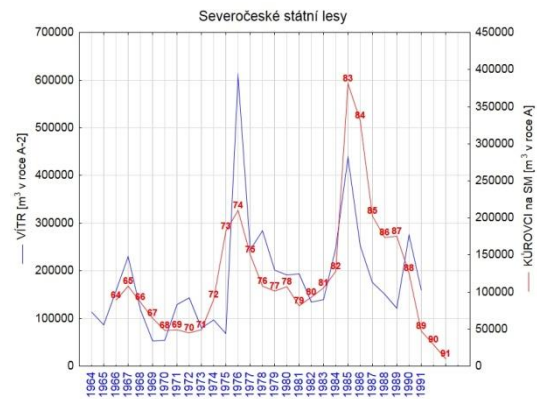
Obr. 19 – Diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku v letech 1964–1991 s posunem větrných těžeb o 3 roky (Západočeské státní lesy)



Obr. 20 – Diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku v letech 1964–1991 s posunem kůrovcových těžeb o 3 roky (Západočeské státní lesy)



Obr. 21 – Prosté diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku v letech 1964–1991 (Severočeské státní lesy)



Obr. 22 – Diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku v letech 1964–1991 s posunem větrných těžeb o 2 roky (Severočeské státní lesy)

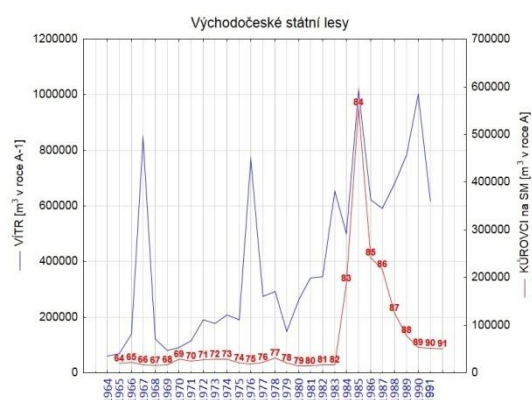
V případě podnikového řízení Severočeských státních lesů byly nejvýznamnější větrné škody zaznamenány v roce 1976, po těchto polomech však nenásledovalo přemnožení kůrovce (obr. 21). Podle křížové korelační funkce je nejvýznamnější nástup kůrovcových těžeb 7 let po větrných polomech ( $r = 0,56$ ), tento

vztah je však dominantně ovlivněn časovým rozdílem mezi dvěma největšími kalamitami větru a kůrovce na daném území. Jako druhý, byl křížovou korelací stanovem významný posun škod větrem 2 roky po kůrovcových těžbách ( $r = 0,54$ ). Tento vztah vykazuje s kůrovcovými těžbami v roce 1974 velmi dobrou shodu (obr. 22).

Působení bořivých větrů bylo u Východočeských státních lesů velice razantní, ve všech hlavních periodách (obr. 23). Naproti tomu se populace kůrovců na smrku dlouhodobě nacházela v základním stavu, bylo zaznamenáno pouze jediné přemnožení ohraničené roky 1982 a 1989. Křížovou korelací bylo prokázáno roční zpoždění větrných škod za kůrovcovými těžbami ( $r = 0,52$ ). Na hranici statistické významnosti byly i posuny větrných škod za kůrovcovými těžbami o 2 roky ( $r = 0,39$ ), o 4 roky ( $r = 0,41$ ) a o 5 let ( $r = 0,42$ ). Tento posun však odráží pouze shodu bodu kulminace jediné kůrovcové kalamity v regionu s větrnými škodami roku 1985 (obr. 24).



Obr. 23 – Prosté diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku v letech 1964–1991 (Východočeské státní lesy)

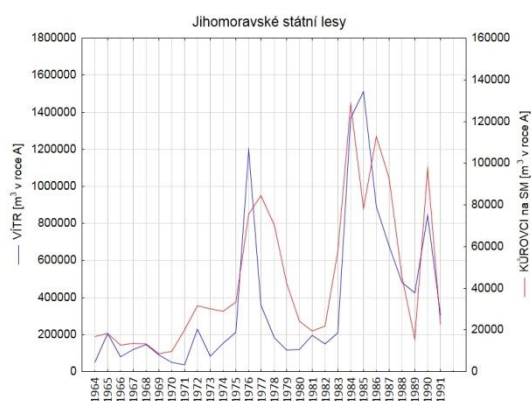


Obr. 24 – Diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku v letech 1964–1991 s posunem větrných těžeb o 1 rok (Východočeské státní lesy).

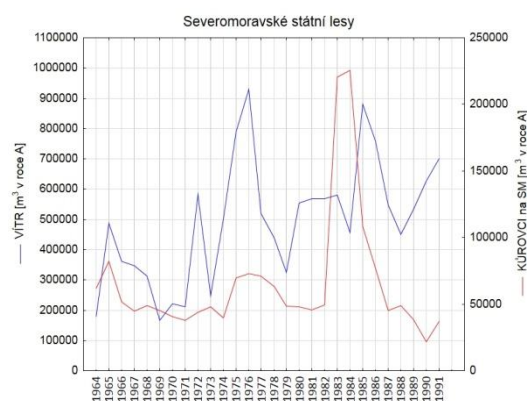
U Jihomoravských státních lesů kopírovaly kůrovcové těžby velmi těsně nahodilé těžby vlivem větru (obr. 25). Tomu odpovídá i silná křížová korelace  $r = 0,79$  pro posun 0. Další významné korelace byly zjištěny při zpoždění kůrovcových těžeb vůči škodám větrem o 1 rok ( $r = 0,57$ ) a o 2 roky ( $r = 0,46$ ), a také při škodách větrem po kůrovcových těžbách posunutých o 1 rok ( $r = 0,51$ ). Graf obou typů těžeb při nulovém zpoždění však vystihuje vzájemný vztah velice dobře.

Severomoravské státní lesy vykazovaly stabilně vysoké škody větrem (obr. 26). Výrazná kůrovcová gradace však proběhla ve sledovaném období pouze v letech 1983

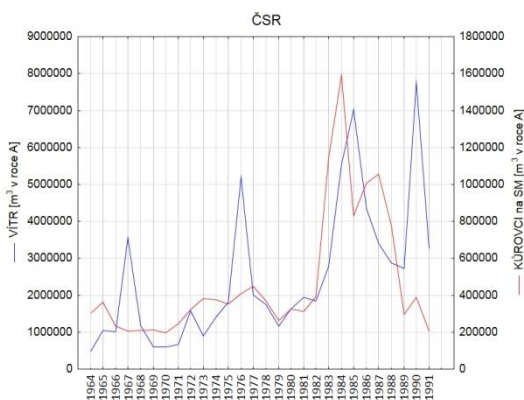
až 1985. Křížová korelační funkce ukázala jako významné pouze zpoždění kůrovcových těžeb o 8 let ( $r = 0,48$ ) za škodami větrem. Významnost tohoto posunu je patrně způsobena časovým rozdílem mezi vysokými škodami větrem v letech 1975–1976 a vrcholem kůrovcové kalamity v letech 1983–1984. Avšak zvýšení kůrovcových těžeb po polomech je patrné například mezi lety 1974–1979.



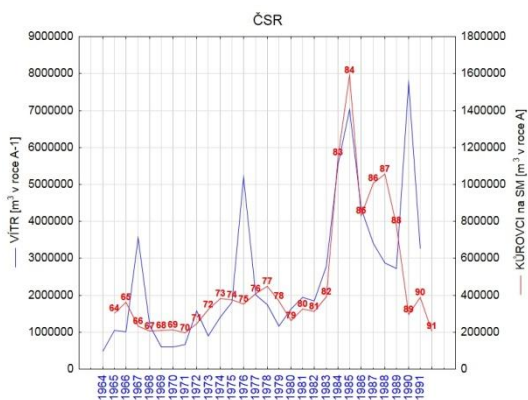
Obr. 25 – Prosté diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku v letech 1964–1991 (Jihomoravské státní lesy)



Obr. 26 – Prosté diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku v letech 1964–1991 (Severomoravské státní lesy)



Obr. 27 – Prosté diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku za ČSR v letech 1964–1991



Obr. 28 – Diference 1. řádu mezi škodami větrem a kůrovci na smrku za ČSR v letech 1964–1991 s posunem těžeb větrem o 1 rok

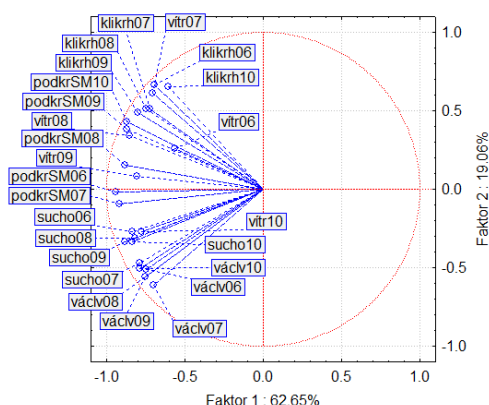
Souhrnné údaje za území dřívější ČSR dokládají čtyři výrazné větrné kalamity se zvyšujícím se množstvím vytěženého dříví (obr. 27), z hlediska kůrovců na smrku pak relativně příznivé období 1964 až 1981 a kalamitní období 1982–1991. Přestože bod kulminace kůrovcové kalamity v roce 1984 přesahuje ostatní vrcholy škod větrem, je třeba si uvědomit, že skutečné množství vytěženého dřeva vlivem větru je např. v roce 1990 pětinasobé. Křížové korelace ukázaly jako významný posun škod větrem o 1 rok

( $r = 0,57$ ), o 2 roky ( $r = 0,55$ ) a o 3 roky ( $r = 0,42$ ) vůči kůrovcovým těžbám, ale také reakci kůrovců na přítomnost polomů v témže roce ( $r = 0,52$ ). Průběh větrných těžeb posunutých vůči kůrovcovým těžbám o 1 rok (obr. 28) je v některých úsecích poměrně dobrý, ale nejlepší shodu vykazuje po kůrovcových těžbách v letech 1979–1985.

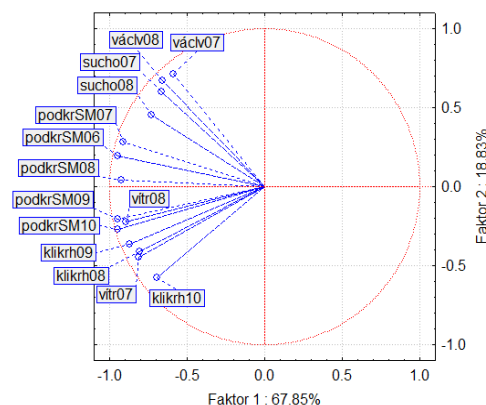
## 5.2 Identifikace vzájemných vztahů mezi různými škodami abiotického a biotického původu a vymezení regionů s obdobnou strukturou evidovaných škod

Proměnlivost znaků vstupujících do PCA je zobrazena pomocí krabicových grafů (příloha 11). Nejvíce variability zahrnují znaky vítr a podkorní hmyz na smrku. Vzhledem k porušení předpokladu normality byla data transformována, ideální parametr  $\lambda$  a vzorec pro transformaci jsou uvedeny v příloze 11.

Graf komponentních vah při projekci do prvních dvou komponent zachycuje relativně vysoké procento (81 %) původní informace (obr. 29). Podle sutinového grafu (příloha 12) lze pro interpretaci výsledků použít první tři hlavní komponenty, Kaiserovo kritérium pak opravňuje k využití až prvních čtyř hlavních komponent, a proto je vhodné počet znaků pro výpočet metodou PCA zredukovat. V případě proměnných „vítr“ jsou důležité údaje za roky 2007 a 2008, během nichž došlo k výrazným větrným událostem (orkán Kyrill a vichřice Emma), které by mohly mít na nástup gradace podkorního hmyzu výrazný vliv. Z analýzy byly proto odstraněny znaky vitr06, vitr09 a vitr10 a dále potenciálně redundantní proměnné sucho06, sucho09, sucho10, václv06, václv09, václv10, klikrh06 a klikrh07.



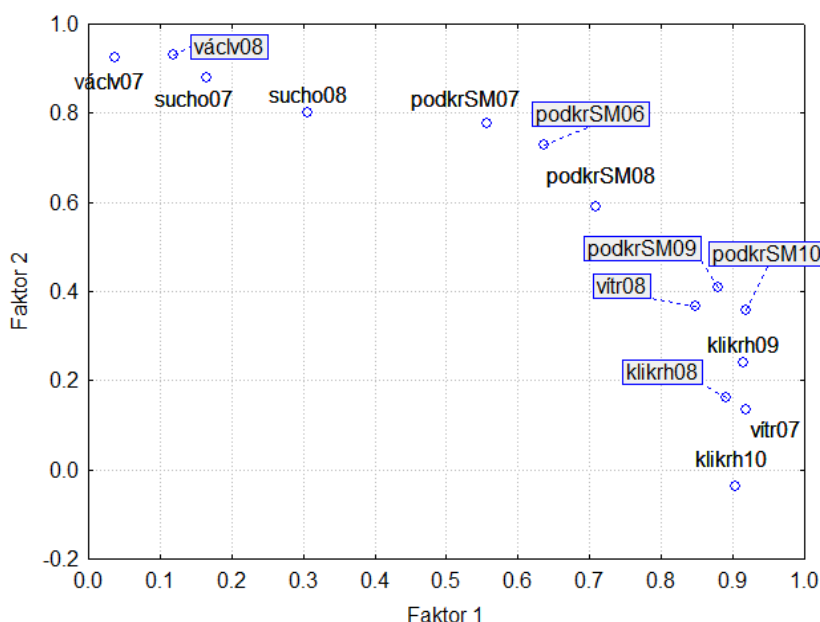
Obr. 29 – Graf komponentních vah PCA před redukcí proměnných (Statistica 9.0)



Obr. 30 – Graf komponentních vah PCA po redukcí proměnných (Statistica 9.0)

Vypuštěním výše uvedených znaků byl počet hlavních komponent s vlastním číslem vyšším než 1 redukován na 2 (příloha 12) a navíc došlo ke zvýšení procenta variability vysvětlené hlavními komponentami na 86 %. V grafu komponentních vah (obr. 30) je zřetelný vztah mezi škodami větrem a podkorním hmyzem či klikorohem borovým; na druhé straně je patrná souvislost mezi škodami suchem a václavkou.

Při zadání proměnných pro faktorovou analýzu byly využity výsledky předchozí analýzy PCA. Jistou nevýhodou při FA je nutnost zvolit předem počet faktorů (zadány byly 3) s určením minimální velikosti vlastního čísla 1 vzhledem ke Kaiserovu pravidlu. Extrakce faktorů proběhla metodou hlavních komponent. Kaiserovu kritériu vyhovovaly pouze 2 faktory, které spolu vysvětlují téměř 87 % variability obsažené v datech (příloha 13). Faktorové zátěže jsou uvedeny v příloze 13. Většina znaků koreluje s faktorem 1, pouze škody václavkami vykazují vyšší korelaci s faktorem 2. Po ortogonální rotaci metodou varimax, jež minimalizuje počet znaků, které vykazují vysokou zátěž faktoru, se ve variantě využívající Kaiserovu normalizaci (vydělení každé zátěže komunalitou dotyčného znaku) poměry změnil (příloha 13). Rotace faktorů byla velmi úspěšná, neboť všechny znaky vykazaly vysokou korelaci s jedním z faktorů. Grafickou podobu představuje graf faktorových zátěží (obr. 31).



Obr. 31 – Graf faktorových zátěží (Statistica 9.0)

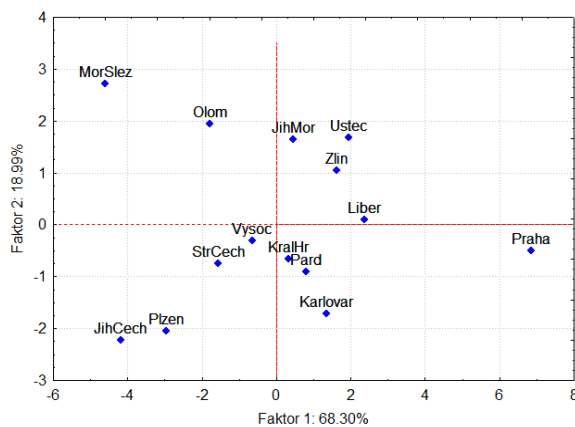
Faktor 1 (50 %) představuje míru vlivu coarse-scale disturbance. Vysokých hodnot faktoru nabývají činitelé s náhlým a razatným vlivem. Hlavními proměnnými



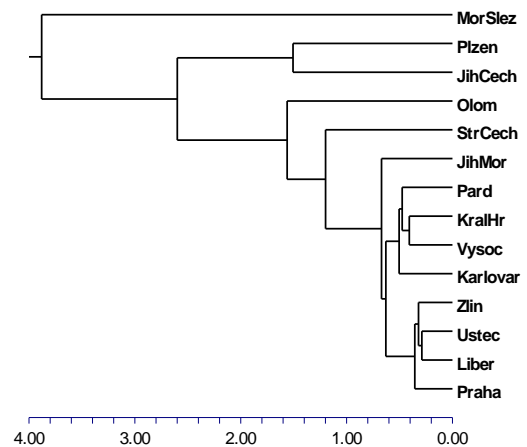
jsou v tomto případě škody větrem v letech 2007 a 2008, které s faktorem 1 silně korelují. Vysokých korelací dosahují rovněž škody klikorohem borovým, jehož vývojový cyklus je úzce spojen s přítomností čerstvých pařezů, tj. zalesňováním kalamitních holin. Nízká je naopak korelace faktoru 1 s množstvím dřevní hmoty vytěžené v důsledku napadení václavkami nebo vlivem sucha.

Faktor 2 (37 %) reprezentuje míru vlivu fine-scale disturbancí, které působí chronicky. Faktor 2 je nejvíce korelován se škodami václavkami, které oslabují vodivou činnost kořenového systému, což se zvláště silně projevuje v letech s podnormálním množstvím srážek. Faktor 2 je proto rovněž silně korelován se škodami suchem. Korelace faktoru 2 se škodami větrem, ale i klikorohem, je nízká.

Po redukci proměnných v analýze PCA a identifikaci faktorů v FA bylo možno přistoupit k posouzení charakteristik jednotlivých objektů. Komponentní skóre analýzy PCA (obr. 32) dobře izolovalo 3 shluky a osamocené kraje Olomoucký, Moravskoslezský a Praha. První shluk tvoří kraje Jihomoravský, Ústecký, Zlínský a Liberecký, ve druhém shluku jsou společně zastoupeny kraje Středočeský, Vysočina, Královéhradecký, Pardubický a Karlovarský. Poslední shluk zahrnuje kraje Plzeňský a Jihočeský.



Obr. 32 – Graf komponentního skóre PCA (Statistica 9.0)



Obr. 33 – Dendrogram objektů CLU (NCSS 7.1)

Při analýze shluků (CLU) byla jako nejlepší pro tvorbu dendrogramu vyhodnocena metoda skupinového průměru s použitím euklidovské vzdálenosti a průměrné absolutní odchylce ( $CC = 0,95$ ;  $\Delta_{(0,5)} = 0,14$ ;  $\Delta_{(1)} = 0,18$ ). V dendrogramu (obr. 33) jsou patrné tři shluky. První shluk tvoří kraje Zlínský, Ústecký, Liberecký a

Praha, druhý shluk kraje Pardubický, Královéhradecký, Vysočina a Karlovarský, třetí shluk pak kraje Plzeňský a Jihočeský. Od všech ostatních se výrazně liší kraj Moravskoslezský.

### **5.3 Vytvoření modelu umožňujícího predikci objemu kůrovcových těžeb na základě konkrétního dopadu větrné kalamity**

Při exploratorní analýze byla pro všechny proměnné zamítnuta nulová hypotéza o shodě experimentálních dat s normálním rozdělením (příloha 14). Vzhledem k zamítnutí předpokladu normality bylo nutno použít neparametrickou Spearmannovu korelaci. Přestože je proti klasickému Pearsonovu korelačnímu koeficientu citlivost této metody značně nižší, byla nalezena korelace mezi většinou parametrů (příloha 14). Analýza hlavních komponent potvrdila vztahy identifikované v kapitole 5.2. Data byla následně transformována; výsledné hodnoty  $\lambda$  včetně intervalu spolehlivosti jsou uvedeny v příloze 15. Při ověření normality transformovaných hodnot pomocí Shapiro-Wilkova testu byla nulová hypotéza o shodě experimentálních dat s teoretickým rozdělením přijata pouze u tří z deseti proměnných, ačkoliv odchylky od normality nebyly s výjimkou proměnné NPaNPR příliš velké.

Snahou bylo pokusit se o vytvoření regresního modelu z původních i transformovaných dat a oba modely porovnat.

#### **5.3.1 Model 1: Regrese – původní data**

Stepwise regresí byly jako nejvhodnější určeny proměnné NPaNPR, vítr A-1, sucho A-1, podkor A-1, václv A-1 a vítr A-2 (fis = 406,4491247; AIC = 7178,249137; MEP = 165028007,9). Odhady regresních parametrů jsou uvedeny v tabulce 8. Hodnoty rozhodčích kritérií kvality regrese se po zadání vybraných parametrů dále zlepšily (tab. 9).

Při hodnocení splnění sedmi základních předpokladů MNC (kritika modelu, příloha 16) bylo shledáno porušení ve čtyřech případech. Scottovo kritérium odhalilo v datech multikolinearitu, Cookův-Weisbergův test heteroskedasticity zjistil nekonstantnost rozptylu v reziduích, Jarque-Berrův test normality reziduí ukázal, že rezidua nemají Gaussovo normální rozdělení, znaménkový test dále odhalil trend v reziduích.

Tab. 8 – Odhady regresních parametrů (QC.Expert 3.2)

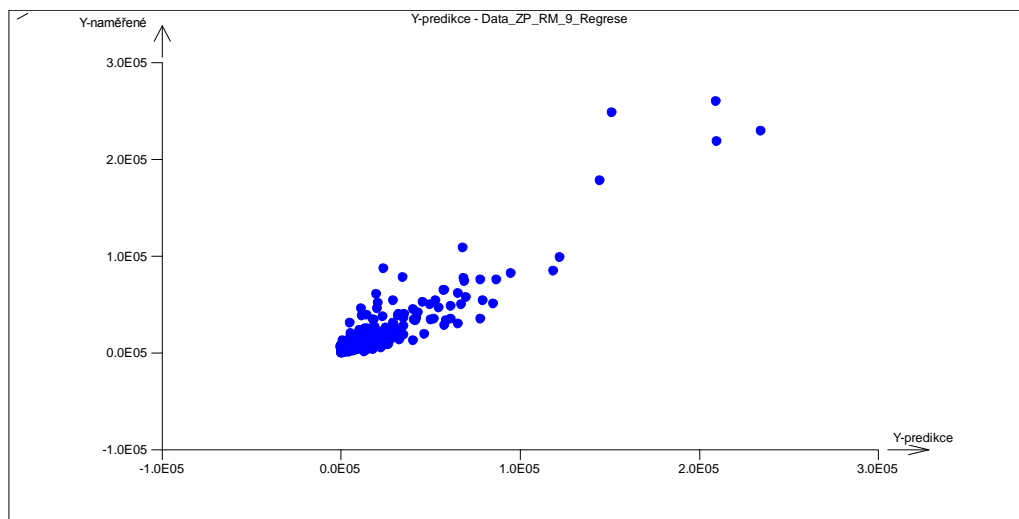
Proměnná	Odhad	Směr.Odch.	Závěr	Pravděpodobnost	Spodní mez	Horní mez
<b>NPaNPR</b>	1.73362	0.16354	Významný	$p < 0,001$	1.41207	2.05517
<b>vítr A-1</b>	0.04069	0.00577	Významný	$p < 0,001$	0.02935	0.05204
<b>sucho A-1</b>	-0.22877	0.09191	Významný	$p < 0,001$	-0.40949	-0.04805
<b>podkor A-1</b>	0.64431	0.03361	Významný	$p < 0,001$	0.57823	0.71040
<b>václv A-1</b>	0.37328	0.07295	Významný	$p < 0,001$	0.22984	0.51671
<b>vítr A-2</b>	0.05897	0.00648	Významný	$p < 0,001$	0.04623	0.07171

Tab. 9 – Statistické charakteristiky regrese (QC.Expert 3.2)

Vícenásobný korelační koeficient R :	0.93
Koeficient determinace D :	0.86
Predikovaný korelační koeficient $R_p$ :	0.67
Střední kvadratická chyba predikce MEP :	162 234 181.60
Akaikeho informační kritérium AIC :	7 195.66

Nenáhodnost v reziduích byla způsobena setříděním vstupních dat podle jednotlivých let. Znáhodněním vstupní matice dat (při zachování vztahů v rámci objektů – řádků) byl trend v reziduích odstraněn. Heteroskedasticitu v datech se odstranit nepodařilo. Zamítnutí normality u reziduí souvisí s porušením předpokladu normality vstupních dat. Hodnoty kritérií pro posouzení multikolinearity jsou  $\det \mathbf{R} = 0,279145913$ ; nejvyšší  $K = 7,51735869$  a nejvyšší  $VIF = 2,182838815$  (příloha 16). Nelze tedy hovořit o silné multikolinearitě.

Nalezený regresní model relativně dobře predikoval skutečné hodnoty  $y$  (obr. 34). Relativně horších výsledků bylo dosaženo pouze při vyšších objemech kůrovcových těžeb. Výsledná regresní rovnice je uvedena v tabulce 10. Výše roční kůrovcové těžby v daném okrese je závislá na výměře území bez možnosti zásahu proti kůrovcům (NP a NPR), objemu polomů v předchozích dvou kalendářních letech, množství kůrovcových těžeb v předchozím roce a objemu dříví vytěženého v důsledku sucha a václavky v předchozím roce.



Obr. 34 – Graf rezidua vs. predikce regrese původních dat. Na ose x jsou vypočtené hodnoty závislé proměnné, na ose y naměřené hodnoty. Svislá vzdálenost bodu od přímky odpovídá reziduu (QC.Expert 3.2).

Tab. 10 – Výsledná regresní rovnice modelu 1 – původní (netransformovaná) data

$$\text{Podkor A} = 1,73 \cdot \text{NPaNPR} + 0,041 \cdot \text{vítr A-1} - 0,23 \cdot \text{sucho A-1} + 0,64 \cdot \text{podkor A-1} + 0,37 \cdot \text{václv A-1} + 0,059 \cdot \text{vítr A-2}$$

### 5.3.2 Model 2: Regrese – transformovaná data

Pro transformovaná data byly při tvorbě regresního modelu zvoleny stejné proměnné jako v případě netransformovaných údajů. Proměnné „sucho A-1“ a „václv A-1“ se však ukázaly být nevýznamné. Postupným zkoušením různých kombinací proměnných byl nalezen regresní model s nejlepšími hodnotami rozhodčích kritérií „vítr A-1“, „podkor A-1“, „vítr A-2“, „podkor A-2“ a „NPaNPR“ (tab. 11 a 12).

Tab. 11 – Odhady regresních parametrů transformovaných dat (QC.Expert 3.2)

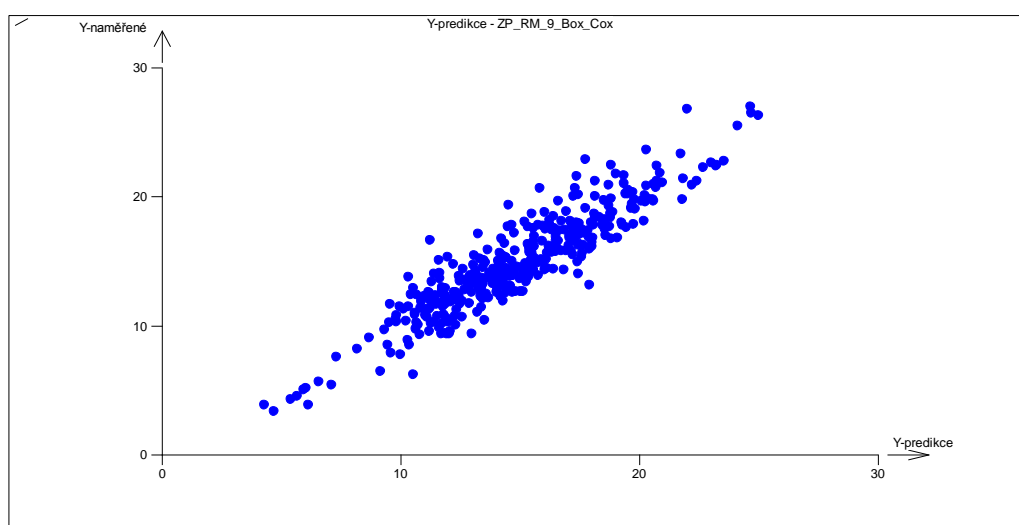
Proměnná	Odhad	Směr.Odch.	Závěr	Pravděpodobnost	Spodní mez	Horní mez
<b>vítr A-1</b>	0.24478	0.03165	Významný	p < 0,001	0.18254	0.30701
<b>podkor A-1</b>	1.03609	0.06011	Významný	p < 0,001	0.91790	1.15428
<b>vítr A-2</b>	-0.11330	0.03988	Významný	p < 0,01	-0.19173	-0.03488
<b>podkor A-2</b>	-0.13137	0.04841	Významný	p < 0,01	-0.22655	-0.03619
<b>NPaNPR</b>	0.03773	0.01130	Významný	p < 0,001	0.01551	0.05995

Tab. 12 – Statistické charakteristiky regrese z transformovaných dat (QC.Expert 3.2)

Vícenásobný korelační koeficient R :	0.92
Koeficient determinace D :	0.84
Predikovaný korelační koeficient Rp :	0.71
Střední kvadratická chyba predikce	2.47
Akaikeho informační kritérium AIC :	348.51

Z hlediska vhodnosti použité metody bylo zjištěno porušení předpokladů MNČ v případě multikolinearity a normality reziduí (příloha 17). Transformací dat došlo k vyřešení problémů s heteroskedasticitou. U odchylky od normality chyb došlo k výraznému poklesu hodnoty kritéria Jarrque-Berra na 25,3 (netransformovaná data vykazovala hodnotu 6 111,8). Naopak u numerických kritérií multikolinearity došlo v případě transformovaných dat ke zhoršení, zejména u proměnné „NPaNPR“, avšak ani v tomto případě nebylo zdaleka dosaženo hodnot signalizujících silnou multikolinearitu (viz přílohu 17).

Graf reziduí proti predikci (obr. 35) vykazuje větší rozptyl ve směru podélné osy regresní přímky a absenci výrazně chybně predikovaných případů. Transformací dat se výrazně zlepšila těsnost proložení. Zlepšení kvality transformovaného modelu potvrzuje i pokles rozhodčích kritérií regrese MEP a AIC (tab. 12). Podoba nalezené regresní rovnice modelu 2 je uvedena v tabulce 13. Výše kůrovcových těžeb pro daný okres je závislá na rozloze území s pasivním managementem kůrovce (NP a NPR), množství polomů a kůrovcového dříví vytěženého v předchozích dvou letech.



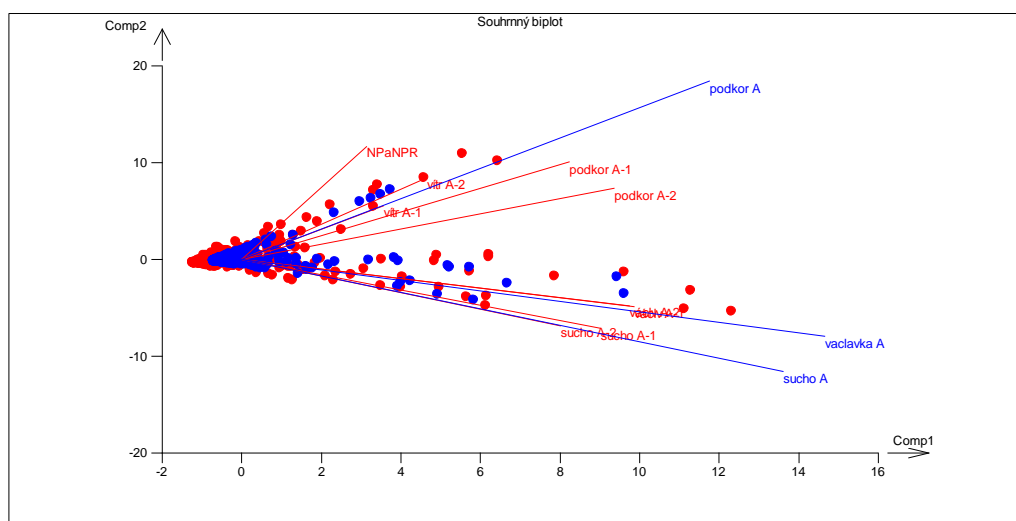
Obr. 35 – Graf reziduí vs. predikce u regrese transformovaných dat. Na ose x jsou vypočtené hodnoty závisle proměnné, na ose y naměřené hodnoty. Svislá vzdálenost bodu od přímky odpovídá reziduu (QC.Expert 3.2)

Tab. 13 – Výsledná regresní rovnice modelu 2 – transformovaná data

$$\text{Podkor A} = 0,038 * \text{NPaNPR} + 0,245 * \text{vítr A-1} + 1,036 * \text{podkor A-1} - 0,131 * \text{podkor A-2} - 0,113 * \text{vítr A-2}$$

### 5.3.3 Model 3: Parciální nejmenší čtverce

Redukcí do třídímního prostoru bylo vysvětleno 81 % variability, resp. kvadratické chyby původních matic dat (viz přílohu 18). Souhrnný dvojný graf (obr. 36) ukazuje souběžný výskyt škod václavkou a suchem, ale zejména silný vliv výše kůrovcových těžeb z minulých let na budoucí objem napadeného dříví a význam větrných polomů jakožto materiálu vhodného k namnožení kůrovců. Zátěže matic  $X$  a  $Y$  jsou uvedeny v příloze 18.



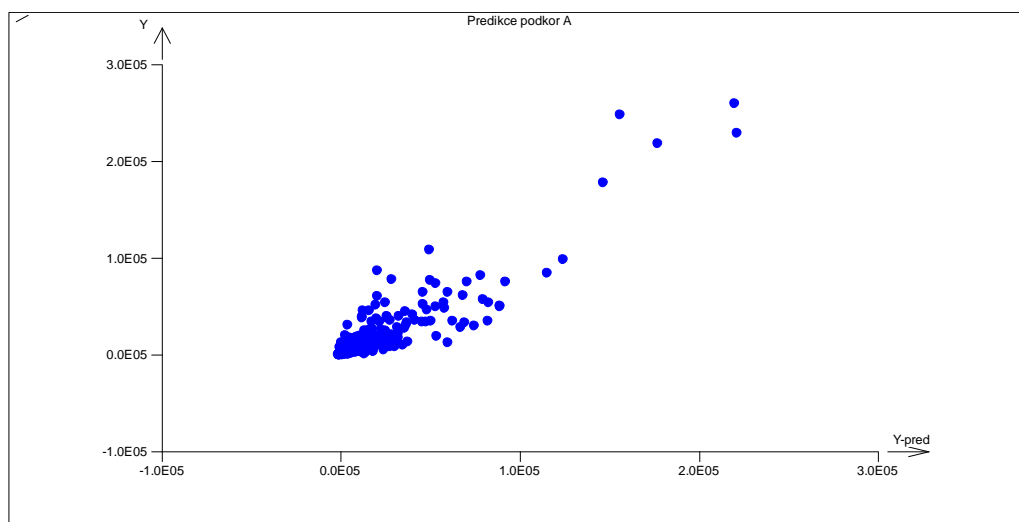
Obr. 36 – Bi-plot pro matice  $X$  a  $Y$  (QC.Expert 3.2)

Regresní koeficienty pro sestavení predikčních rovnic jsou uvedeny v příloze 18. Jelikož bylo během EDA zjištěno porušení normality dat, což během regresní analýzy vyústilo i v zamítnutí nulové hypotézy u Jarque-Berrova testu normality reziduí, byla do analýzy PLS zadána i transformovaná data podle Boxe a Coxe. Patrně z důvodu standardizace transformovaných dat se uprostřed dvojného grafu vytvořil mrak bodů a průvodiče parametrů matic  $X$  a  $Y$  vykazovaly nepřirozené vzájemné vztahy. Od analýzy transformovaných dat bylo proto upuštěno. Sestavená regresní rovnice vykazuje relativně dobrou predikční schopnost, s vyššími odchylkami při stoupajícím predikovaném objemu kůrovcového dříví, podobně jako u modelu 1 (obr. 37). Výsledná

regresní rovnice je uvedena v tabulce 14. Porovnáním vah jednotlivých proměnných je patrné, že na očekávané množství objemu kůrovcem napadeného dříví má kromě kůrovcových a větrných těžeb v předchozích dvou letech výrazný vliv i zastoupení území s pasivním managementem kůrovce.

Tab. 14 – Výsledná regresní rovnice PLS-R

$$\begin{aligned} \text{Podkor A} = & 0,264 * \text{NPaNPR} + 0,149 * \text{vítr A-1} - 0,028 * \text{sucho A-1} + 0,299 * \text{podkor A-1} \\ & + 0,036 * \text{václv A-1} + 0,218 * \text{vítr A-2} - 0,037 * \text{sucho A-2} + 0,26 * \text{podkor A-2} + \\ & 0,036 * \text{václv A-2} \end{aligned}$$



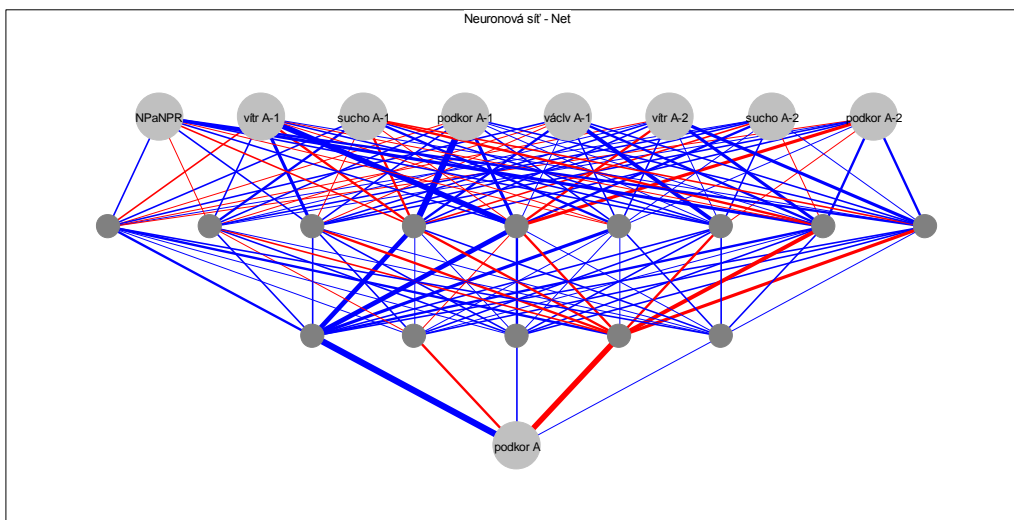
Obr. 37 – Graf y-predikce PLS proměnné podkor A. Na ose x jsou vypočtené hodnoty závisle proměnné, na ose y jsou naměřené hodnoty, svislá vzdálenost bodu od přímky odpovídá reziduu (QC.Expert 3.2)

#### 5.3.4 Model 4: Neuronová síť

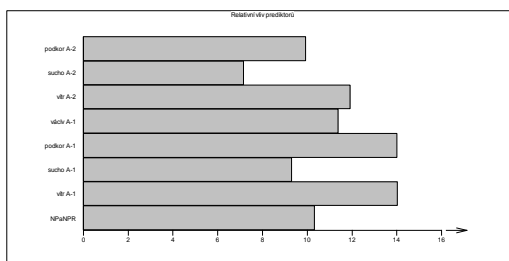
Při automatické volbě sítě v první fázi vykazovala nejlepší parametry (trénovací, testovací a validační výkon) síť (8-5-1). Ve druhé fázi byla neuronová síť s nejnižším reziduálním součtem čtverců (3,22E+10) složena ze tří vrstev. První vstupní vrstva obsahovala 9 neuronů, následovala skrytá vrstva s 5 neurony a výstupní vrstva s jedním neuronem (9-5-1). Architektura nejlepší sítě je vyjádřena na obrázku 38. Tloušťka synapsí znázorňuje absolutní velikost váhy (informace) mezi dvěma neurony, přičemž modrá barva značí kladnou a červená zápornou váhu. Z tloušťky synapsí je patrné, že nejvýznamnějšími proměnnými s kladnou vahou jsou „podkor A-1“, „vítr A-1“ a

„NPaNPR“. To je patrné i z grafu vlivu prediktorů (obr. 39, číselné údaje v příloze 19), kde mají ovšem relativně velký vliv i proměnné „vítr A-2“ a „václv A-1“.

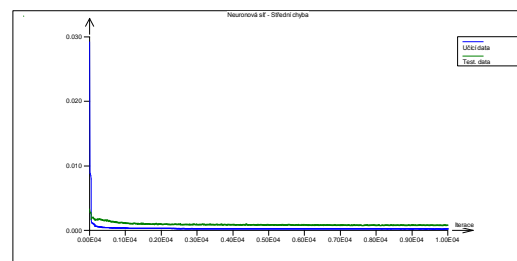
Průběh celého učení je znázorněn na obrázku 40. Křivka zaznamenává pokles součtu čtverců rozdílů predikce a skutečných hodnot v závislosti na počtu iterací. Zlepšení (naučení) neuronové sítě proběhlo velice rychle již v průběhu prvních 100 iterací, poté se model zlepšoval již jen mírně. Blížkost křivek trénovacích dat (modrá) a testovacích dat (zelená) dává tušit dobrou predikční schopnost modelu, což je patrné i z grafu  $y$ -predikce (obr. 41), v němž červené body představují predikci dat, která byla použita pro validaci sítě. Software QC.Expert 3.2 obsahuje z hlediska neuronových sítí ojedinělou možnost testovat prostřednictvím  $F$ -statistiky významnost nalezeného modelu. Neuronová síť s architekturou 9-5-1 byla pro predikci výše kůrovcových těžeb shledána statisticky významnou (hodnota  $F$ -kritéria a číselná podoba vah jednotlivých neuronů jsou uvedeny v příloze 19).



Obr. 38 – Architektura neuronové sítě (QC.Expert 3.2)

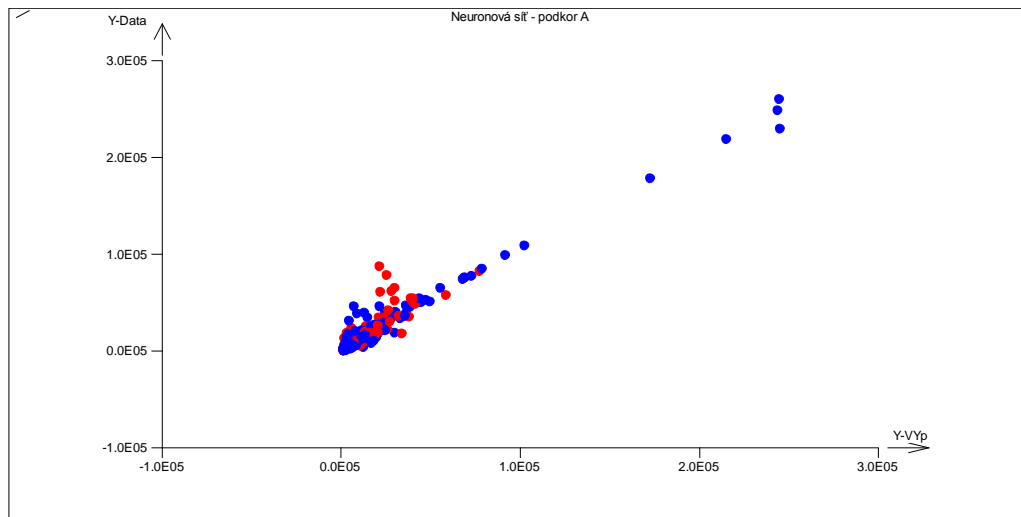


Obr. 39 – Relativní vliv prediktorů (QC.Expert 3.2)



Obr. 40 – Průběh učení (QC.Expert 3.2)





Obr. 41 – Graf y-predikce neuronové sítě. Na ose  $x$  jsou vypočtené hodnoty závislé proměnné, na ose  $y$  naměřené hodnoty, svíslá vzdálenost bodu od přímky odpovídá reziduu (QC.Expert 3.2)

### 5.3.5 Výběr nejvhodnější varianty modelu

Výše kůrovcových těžeb v roce 2011 predikovaná pomocí získaných modelů je uvedena v tabulce 15a, 15b. Skutečná hodnota na základě sumarizovaných ročních hlášení o výskytu lesních škodlivých činitelů se v těchto tabulkách nachází ve sloupci „podkor A“. Rozdíly mezi skutečnými a predikovanými údaji jsou ve formě absolutních reziduí a čtverců reziduí uvedeny v přílohách 6 a 7. Sumární a popisné statistiky těchto reziduí zobrazuje tabulka 16. Nejnižší hodnoty sumy čtverců odchylek bylo ze čtyř výše uvedených alternativních modelů dosaženo u regrese s transformací (MLR Box-Cox), přičemž u regrese (MLR) byla zjištěna zhruba dvojnásobná odchylka. Nejméně kvalitních odhadů bylo dosaženo metodou PLS. Suma absolutních reziduí byla rovněž nejnižší u MLR Box-Cox, ale dobrých výsledků bylo dosaženo i pomocí NN, která vykazovala nižší sumu absolutních odchylek než MLR. Průměrná absolutní odchylka je vzhledem k zamítnutí normality (Shapiro-W:  $p < 0,001$ ) pouze orientační a dokládá stejné pořadí úspěšnosti predikce jako suma absolutních reziduí. V tomto případě nejvhodnější míra střední polohy – medián – poměrně sblížil kvalitu predikce MLR Box-Cox a NN. Minimální absolutní odchylka predikce byla zaznamenána u PLS (okres Rokycany), naopak maximální absolutní odchylky bylo dosaženo při predikci NN (okres Prachatice). Skutečná výše škod (červená přímka) a modelem predikované hodnoty (modré body) jsou zobrazeny také v grafech y-predikce (obr. 42–45).

Tab. 15a – Skutečná a modely predikovaná výše kůrovcových těžeb v roce 2011

Okres	podkor A (2011)	Predikované Y			
		MLR	MLR Box-Cox	PLS	NN
Benešov	11 146	29 723	26 772	31 529	17 626
Beroun	865	5 672	3 784	5 657	3 060
Blansko	7 550	9 954	7 605	11 327	7 122
Brno - město	3 198	1 196	681	-38	2 198
Brno - venkov	2 497	6 517	2 832	6 078	5 066
Bruntál	40 454	46 149	38 614	59 081	65 249
Břeclav	16	531	32	-730	1 642
Česká Lípa	1 193	7 672	3 778	13 192	2 466
České Budějovice	14 281	33 534	29 471	45 610	12 049
Český Krumlov	14 163	42 836	32 004	67 141	9 137
Děčín	1 835	17 153	8 807	22 388	5 020
Domažlice	9 467	13 222	15 561	23 443	5 223
Frydek - Místek	16 997	19 152	13 342	27 982	12 916
Havlíčkův Brod	4 525	29 317	25 715	33 582	16 124
Hlavní město Praha	201	398	286	-686	1 670
Hodonín	369	600	595	-422	1 774
Hradec Králové	2 625	2 666	2 719	1 918	2 495
Cheb	5 431	9 223	9 680	15 159	4 136
Chomutov	139	1 161	183	105	1 886
Chrudim	5 548	19 480	12 718	24 071	7 446
Jablonec n. Nisou	1 125	3 007	100	2 845	2 013
Jeseník	13 640	11 628	13 563	14 490	7 638
Jičín	3 849	4 338	2 895	4 440	2 831
Jihlava	4 601	8 074	7 804	9 305	5 211
Jindřichův Hradec	10 634	26 348	23 625	36 054	10 572
Karlovy Vary	4 830	16 955	14 144	26 574	9 176
Karviná	1 118	1 298	1 057	394	2 049
Kladno	497	866	669	314	1 689
Klatovy	176 326	220 577	152 621	242 370	244 922
Kolín	2 722	3 330	3 368	2 609	2 417
Kroměříž	2 109	2 431	2 368	1 583	2 444
Kutná Hora	11 621	35 617	22 129	37 850	16 890
Liberec	1 461	3 871	2 711	4 864	2 156
Litoměřice	76	771	290	-386	1 811
Louny	255	966	625	496	1 781
Mělník	859	1 238	920	363	1 868
Mladá Boleslav	1 216	1 911	1 467	1 548	1 827
Most	1	71	34	-1 211	1 605

Tab. 15b – Skutečná a modely predikovaná výše kůrovcových těžeb v roce 2011

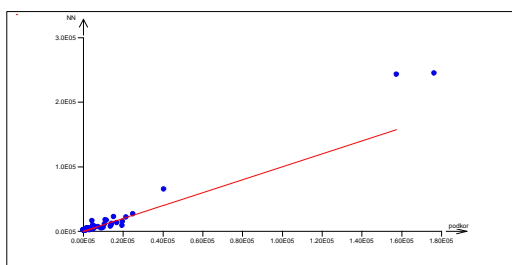
Okres	podkor A (2011)	Predikované Y			
		MLR	MLR Box-Cox	PLS	NN
Náchod	2 546	7 067	3 958	11 424	2 198
Nový Jičín	19 502	14 405	14 285	22 065	8 629
Nymburk	3 217	4 017	4 205	3 121	2 456
Olomouc	15 316	23 238	17 003	23 640	22 167
Opava	24 955	27 961	28 385	40 010	26 948
Ostrava - město	353	958	420	803	1 713
Pardubice	3 082	6 885	5 225	7 174	3 803
Pelhřimov	4 029	7 696	4 845	12 170	3 294
Písek	3 209	3 469	1 999	5 416	2 085
Plzeň - jih	3 834	6 979	6 231	16 413	2 462
Plzeň - město	49	392	624	-58	1 608
Plzeň - sever	1 738	4 598	4 263	7 407	2 886
Praha - východ	2 409	3 718	3 597	4 432	2 447
Praha - západ	1 097	2 567	1 750	2 487	2 126
Prachatice	157 534	184 852	118 134	225 692	243 169
Prostějov	1 514	2 314	1 959	1 519	2 401
Přerov	4 267	4 744	4 254	4 255	3 574
Příbram	3 732	6 243	5 755	9 784	3 106
Rakovník	657	2 051	1 642	2 189	1 942
Rokycany	2 400	2 018	2 820	2 397	2 234
Rychnov n. K.	3 073	4 199	3 275	5 598	2 500
Semily	3 102	17 387	4 966	19 756	4 627
Sokolov	5 013	9 157	8 997	13 153	4 295
Strakonice	1 608	1 911	1 283	1 772	2 080
Svitavy	5 246	6 521	4 070	7 246	3 463
Šumperk	19 798	25 346	28 430	36 069	15 137
Tábor	1 822	6 891	5 287	9 890	3 554
Tachov	10 160	17 690	15 661	37 877	5 633
Teplíce	286	337	185	-680	1 677
Trutnov	21 628	49 757	29 453	58 507	22 001
Třebíč	3 390	6 132	4 800	7 014	4 277
Uherské Hradiště	1 446	2 219	1 330	2 085	2 095
Ústí nad Labem	488	665	362	118	1 746
Ústí nad Orlicí	8 787	11 596	10 448	15 806	5 236
Vsetín	3 299	6 912	4 557	7 120	4 558
Vyškov	941	3 367	1 000	2 369	4 008
Zlín	895	2 835	1 521	2 348	2 817
Znojmo	1 715	10 733	2 775	11 548	2 750
Žďár nad Sázavou	2 968	4 638	3 346	4 776	3 023

Základní rozdíl mezi MLR Box-Cox a ostatními modely je ve směrnici přímky vzhledem k objektům s vysokými hodnotami kůrovcových těžeb. Jedná se o oblast Šumavy (okresy Prachatice a Klatovy), kde ostatní modely predikovanou výši těžeb oproti realitě poněkud nadhodnotily. Model PLS predikoval vyšší hodnoty ve většině případů. Pozoruhodným případem je NN, která se zdá mít dobrou predikční schopnost

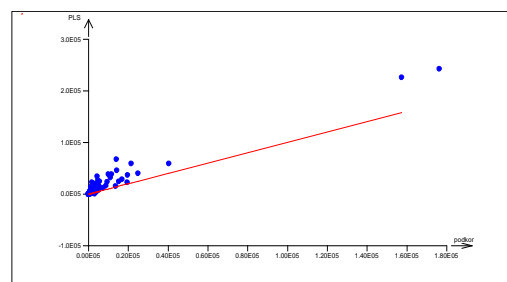
při relativně malých objemech kůrovcového dříví, ale při vyšších objemech má tendenci nadhodnocovat.

Tab. 16 – Porovnání reziduí predikčních modelů

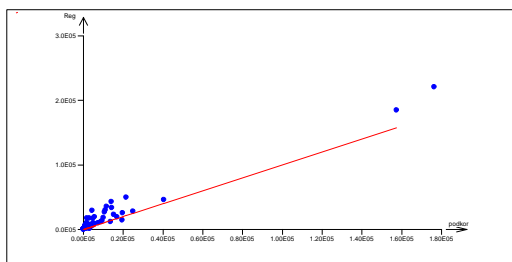
	Reziduální suma čtverců	Suma absolutních reziduí	Průměrné absolutní reziduum	Medián absolutního rezidua	Minimální absolutní reziduum	Maximální absolutní reziduum
<b>MLR</b>	7 871 410 335	432 358	5 615	2 410	41	44 251
<b>MLR Box-Cox</b>	4 208 888 825	281 164	3 651	1 188	13	39 400
<b>PLS</b>	21 332 666 260	708 398	9 200	3 403	3	68 158
<b>NN</b>	13 300 739 894	326 053	4 234	1 295	38	85 635



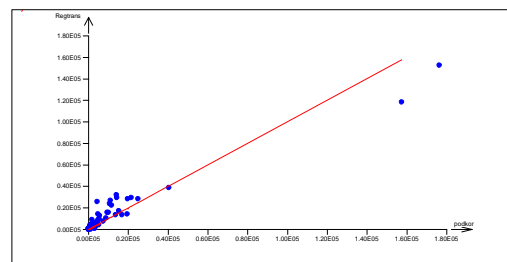
Obr. 42 – Predikce NN (QC.Expert 3.2)



Obr. 43 – Predikce PLS (QC.Expert 3.2)



Obr. 44 – Predikce MLR (QC.Expert 3.2)



Obr. 45 – Predikce MLR Box-Cox (QC.Expert 3.2)

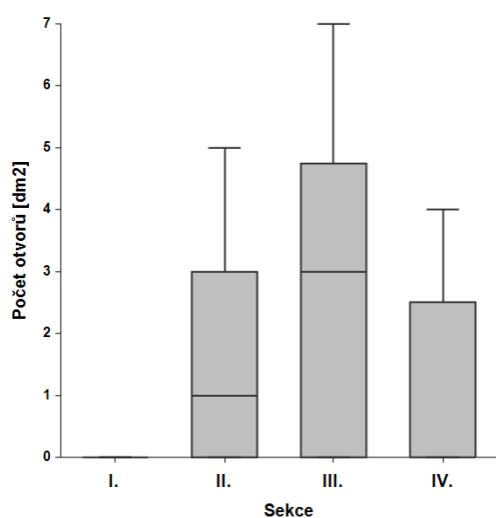
Jako nejlepší predikční model byla na základě analýzy reziduí vyhodnocena vícerozměrná lineární regrese po Box-Coxově transformaci – MLR Box-Cox.

## 5.4 Kvantifikace reprodukčního úspěchu lýkožrouta smrkového v různých částech ležících stromů

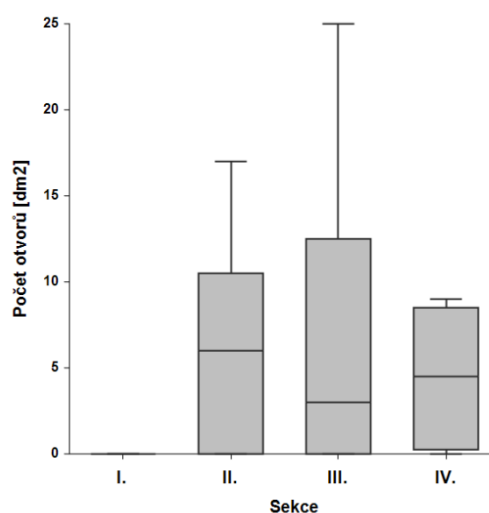
### 5.4.1 Porovnání vybraných vývratů a odlomů

Jednotlivé sekce vývratu byly z hlediska počtu výletových otvorů lýkožrouta smrkového obsazeny odlišně (obr. 46). Nejvíce obsazená byla sekce 3, nejmenší napadení vykazovala sekce I, rozdíl mezi těmito dvěma sekcemi byl statisticky

signifikantní (tab. 17). Na odlomech byl počet výletových otvorů v jednotlivých sekcích rovnoměrný, ačkoliv na sekci I nebyly nalezeny žádné výletové otvory (obr. 47). Rozdíl mezi I. sekcí a ostatními sekcemi byl na odlomech průkazný pouze na vyšší hladině významnosti (tab. 18). Vzhledem k minimálnímu obsazení prvních sekcí na obou typech polomů, byly tyto části kmene z analýzy vlivu oslunění vyloučeny. Na osluněných sekcích vývratů byl nalezen celkově poněkud vyšší počet výletových otvorů lýkožrouta smrkového, nicméně statisticky neprůkazný (obr. 48). U odlomů byl tento rozdíl signifikantní (obr. 49). Počet výletových otvorů zjištěný na odlomech byl proti vývratům přibližně dvojnásobný, tj. statisticky významně odlišný (K-W:  $N = 121$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0,05$ ).



Obr. 46 – Počet výletových otvorů na sekcích vývratů (K-W:  $N = 81$ ;  $df = 3$ ;  $p < 0,001$ ).



Obr. 47 – Počet výletových otvorů na sekcích odlomu (K-W:  $N = 40$ ;  $df = 3$ ;  $p > 0,05$ ).

Tab. 17 – Vícenásobné porovnání sekcí vývratu (Dunn's test)

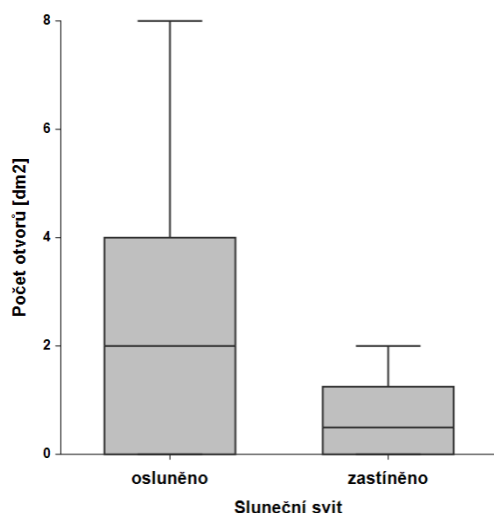
	I.	II.	III.	IV.
I.	0	2.4657	3.8229	0.83
II.	2.4657	0	1.4692	0.8511
III.	3.8229	1.4692	0	1.88
IV.	0.83	0.8511	1.88	0

Regular Test: Medians significantly different if z-value > 1.96  
Bonferroni Test: Medians significantly different if z-value > 2.807

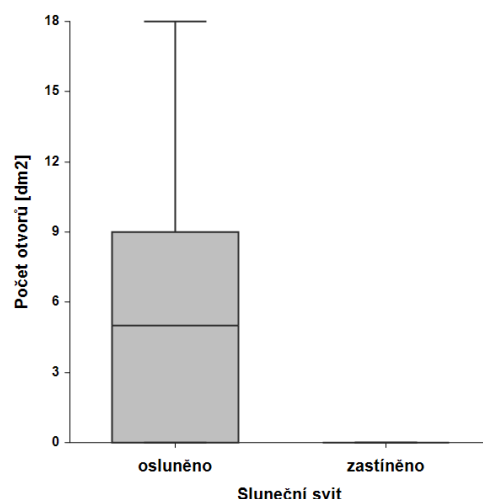
Tab. 18 – Vícenásobné porovnání sekcí odlomu (Dunn's test)

	I.	II.	III.	IV.
I.	0	2.3801	2.3403	2.1412
II.	2.3801	0	0.1223	0.0738
III.	2.3403	0.1223	0	0.0326
IV.	2.1412	0.0738	0.0326	0

Regular Test: Medians significantly different if z-value > 1.96  
Bonferroni Test: Medians significantly different if z-value > 2.807



Obr. 48 – Počet výletových otvorů na vývratech podle přísunu slunečního svitu (sekce II, III a IV; K-W:  $N = 53$ ;  $df = 1$ ;  $p > 0,05$ ).

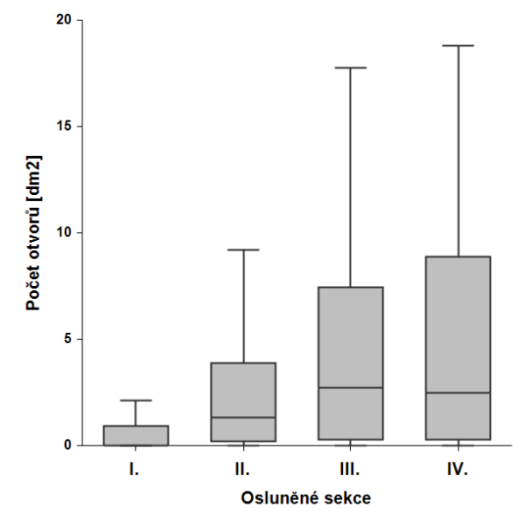


Obr. 49 – Počet výletových otvorů na odlomech podle přísunu slunečního svitu (sekce II, III a IV; K-W:  $N = 34$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0,05$ ).

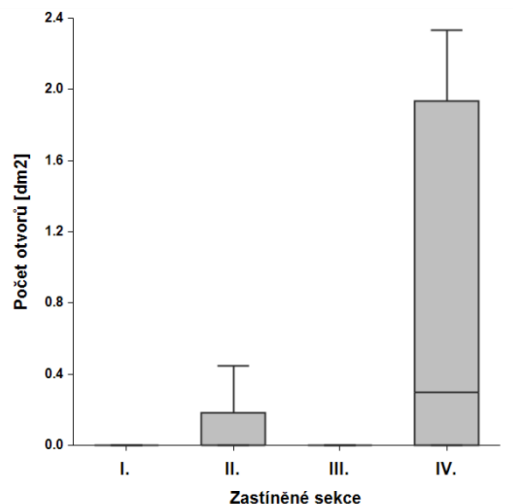
#### 5.4.2 Analýza všech hodnocených vývratů

Pokud je vývrat osluněný, jednotlivé sekce se od sebe liší (obr. 50). První sekce je v takovém případě takřka bez napadení a odlišuje se od všech ostatních sekcí (tab. 19). Nejvyšší napadení lýkožroutem smrkovým, resp. počet vyvinutých jedinců, se soustřeďuje do podkorunové a korunové části stromu (III. a IV. sekce). U zastíněného vývratu je celkové napadení velice nízké po celé délce kmene (obr. 51). Pouze korunová sekce vykazuje relativně vyšší míru obsazení, statisticky významně odlišnou od takřka nenapadené první sekce (tab. 20).

Jelikož první sekce vykazovala v celém profilu minimální napadení, byla z důvodu možného zkreslení výsledků z analýzy rozdílů mezi ploškami vyřazena. Při oslunění vývratu jsou významné rozdíly mezi polohou plošky (obr. 52). Horní ploška je prokazatelně napadena více než obě boční plošky (tab. 21). Mezi levou a pravou ploškou rozdíl nalezen nebyl. V případě zastínění vývratu je napadení plošek minimální bez ohledu na jejich polohu vzhledem k ose kmene (obr. 53). Odlišnost IV. sekce je sice signifikantní (tab. 22), ale v porovnání s osluněnými ploškami je počet výletových otvorů relativně velmi malý.



Obr. 50 – Počet výletových otvorů na osluněných vývratech ( $N = 453$ ;  $df = 3$ ;  $p < 0,001$ )



Obr. 51 – Počet výletových otvorů na zastíněných vývratech ( $N = 89$ ;  $df = 3$ ;  $p > 0,05$ )

Tab. 19 – Vícenásobné porovnání osluněných sekcí vývratu (Dunn's test)

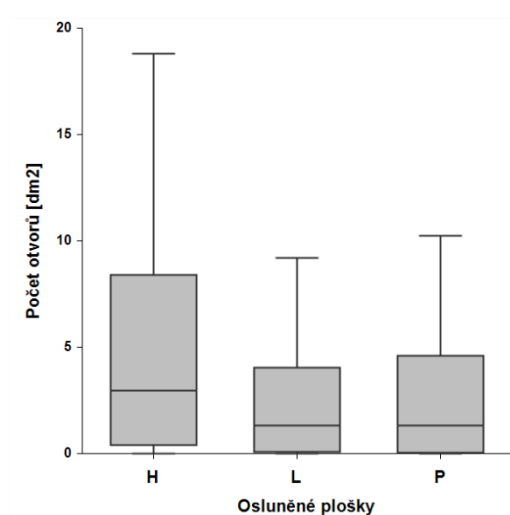
	I.	II.	III.	IV.
I.	0	5.9947	7.8125	5.6486
II.	5.9947	0	1.9558	1.468
III.	7.8125	1.9558	0	0.0979
IV.	5.6486	1.468	0.0979	0

Regular Test: Medians significantly different if z-value > 1.96  
Bonferroni Test: Medians significantly different if z-value > 2.807

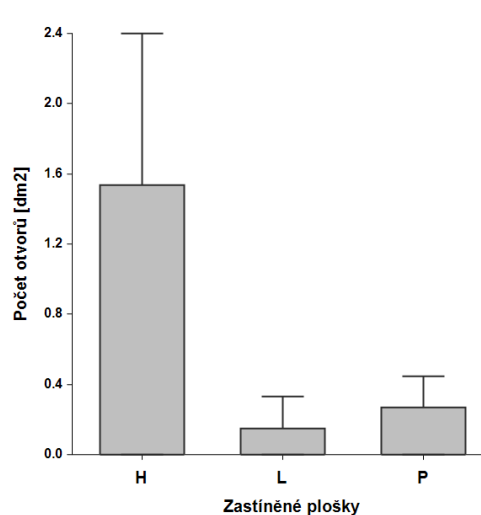
Tab. 20 – Vícenásobné porovnání zastíněných sekcí vývratu (Dunn's test)

	I.	II.	III.	IV.
I.	0	1.2894	0.4461	3.1201
II.	1.2894	0	0.6335	1.9759
III.	0.4461	0.6335	0	2.3647
IV.	3.1201	1.9759	2.3647	0

Regular Test: Medians significantly different if z-value > 1.96  
Bonferroni Test: Medians significantly different if z-value > 2.807



Obr. 52 – K-W osluněné plošky ( $N = 325$ ;  $df = 2$ ;  $p < 0,01$ )



Obr. 53 – K-W zastíněné plošky ( $N = 852$ ;  $df = 2$ ;  $p > 0,05$ )

Tab. 21 – Vícenásobné porovnání osluněných plošek vývratu (Dunn's test)

	H	L	P
H	0	2.784	2.5882
L	2.784	0	0.1789
P	2.5882	0.1789	0

Regular Test: Medians significantly different if z-value > 1.96  
 Bonferroni Test: Medians significantly different if z-value > 2.39

Tab. 22 – Vícenásobné porovnání zastíněných plošek vývratu (Dunn's test)

	H	L	P
H	0	1.059	0.6689
L	1.059	0	0.3487
P	0.6689	0.3487	0

Regular Test: Medians significantly different if z-value > 1.96  
 Bonferroni Test: Medians significantly different if z-value > 2.39

Při oslunění polomu jsou významné rozdíly mezi polohou plošky (obr. 52). Horní ploška je prokazatelně napadena více než obě boční plošky (tab. 21). Mezi levou a pravou ploškou, pokud není uvažován faktor orientace vůči slunečnímu záření, rozdíl není. V případě zastínění je napadení plošek minimální bez ohledu na jejich polohu vzhledem k ose kmene (obr. 53, tab. 22).

Odhad minimálního počtu dospělců lýkožrouta smrkového vyvinutých z celého profilu kmene je uveden v tabulce 23.

Tab. 23 – Minimální počet dospělců lýkožrouta smrkového vyvinutý z hodnocených kmenů

ID stromu	Horní ploška (H)	Levá ploška (L)	Pravá ploška (P)	Celkový součet
3 696	122	237	470	829
3 697	311	255	266	832
6 511	597	56	0	653
6 512	6 386	3 285	8 537	18 208
6 520	5 058	7 265	3 887	16 210
6 594	4 960	2 987	2 960	10 907
7 267	301	0	0	301
7 270	2 283	596	653	3 532
7 284	3 587	252	180	4 019
7 779	5 344	1 867	3 581	10 792
7 837	4 268	1 960	695	6 923
7 841	3 268	762	851	4 881
7 846	15 282	8 951	4 591	28 824
7 971	6 477	3 097	5 170	14 744
8 583	5 647	969	4 502	11 118
8 597	3 937	1 394	1 004	6 335
9 386	3 344	1 546	465	5 355
9 402	8 516	6 043	3 978	18 537
9 408	3 945	4 587	2 724	11 256
9 964	2 797	1 347	1 495	5 639
10 020	216	0	108	324
10 143	1 074	14	0	1 088
10 802	717	443	531	1 691
10 805	3 808	213	3 625	7 646
10 856	4 242	1 882	1 829	7 953
10 930	869	325	390	1 584
10 951	9 390	5 650	5 380	20 420
11 287	1 147	179	275	1 601
11 289	12 472	3 588	9 592	25 652
11 557	174	0	0	174
11 704	5 640	0	0	5 640
12 251	363	0	0	363

ID stromu	Horní ploška (H)	Levá ploška (L)	Pravá ploška (P)	Celkový součet
12 272	148	134	126	408
12 273	0	0	0	0
12 274	84	68	0	152
12 318	2 064	152	679	2 895
12 319	1 403	1 309	3 876	6 588
12 320	296	32	200	528
12 679	5 299	3 673	1 890	10 862
12 708	3 129	1 408	1 024	5 561
12 936	10 060	989	2 284	13 333
12 938	5 019	2 934	2 297	10 250
12 957	7 660	2 879	2 308	12 847
12 961	2 171	1 020	489	3 680
13 156	2 228	934	519	3 681
13 207	528	490	144	1 162
13 378	732	0	0	732
13 390	2 748	0	2 240	4 988
13 391	11 415	5 922	0	17 337
13 410	7 908	3 935	4 191	16 034
13 693	4 093	2 736	2 150	8 979
13 909	906	592	1 067	2 565
14 074	2 500	1 883	1 565	5 948
14 075	3 893	1 160	1 003	6 056
14 077	220	98	78	396
14 290	4 923	2 963	4 959	12 845
14 415	427	103	96	626
14 907	2 413	66	232	2 711
15 110	3 621	0	0	3 621
15 128	1 386	585	913	2 884
15 549	0	39	0	39
15 659	2 592	1 718	4 214	8 524
15 660	5 364	5 012	1 525	11 901
Celkem	221 772	102 584	107 808	432 164



## 5.5 Stanovení rizika ohrožení lesních porostů lýkožroutem smrkovým po větrné kalamitě v závislosti na typu a kvantitě vzniklého polomu

Z původního počtu 65 parametrů bylo 25 označeno za významné z hlediska vyvinutých jedinců lýkožrouta smrkového. Odhad příslušného parametru, jeho směrodatná odchylka a vypočtená  $p$ -hodnota jsou uvedeny v tabulce 24 (vícenásobný korelační koeficient  $R$  a koeficient determinace  $R^2$  přísluší danému typu bufferu, odhady parametrů v tomto řádku tvoří vlastní regresní rovnici bez absolutního členu). Použití regresních rovnic však není v tomto případě zcela korektní, případná predikce počtu vyvinutých lýkožroutů by vzhledem k relativně nízké hodnotě koeficientů  $R$  a  $R^2$  zřejmě nebyla příliš kvalitní.

Tab. 24 – Významné proměnné regresní analýzy podle typu bufferu

Typ zóny (bufferu)	Pořadí	Proměnná	Odhad	Směrodatná odchylka	Pravděpodobnost [p]	Vícenásobný korelační koeficient [R]	Koeficient determinace [R <sup>2</sup> ]
obdélník	1,5	s_SM_1_5_N_p	-0.565	0.263	0.032	0.23	0.05
		s_ost_1_5_VOL_p	0.731	0.263	0.006		
		l_ost_1_5_N_p	-2.392	0.908	0.009		
obdélník	3	s_SM_3_N_p	-0.720	0.189	0.000	0.27	0.07
		s_SM_3_BA_p	-4.045	1.623	0.013		
		s_SM_3_VOL_p	0.444	0.137	0.001		
		l_SM_3_N_p	-0.528	0.197	0.008		
		l_SM_3_BA_p	17.539	6.606	0.008		
		l_SM_3_VOL_p	-1.103	0.422	0.009		
		l_ost_3_BA_p	-16.935	5.992	0.005		
l_ost_3_VOL_p	1.070	0.420	0.011				
kruh	20	l_SM_BA_20_p	-3.548	1.685	0.036	0.17	0.03
		l_SM_VOL_20_p	0.290	0.114	0.011		
		l_ost_BA_20_p	-8.705	3.606	0.016		
		l_ost_VOL_20_p	0.634	0.263	0.016		
kruh	40	l_SM_N_40_p	0.066	0.027	0.017	0.14	0.02
		l_ost_N_40_p	-0.169	0.078	0.031		
kruh	60	s_SM_BA_60_p	-0.888	0.389	0.023	0.41	0.17
		l_SM_N_60_p	0.073	0.018	0.000		
		l_SM_BA_60_p	-1.077	0.475	0.024		
		l_SM_VOL_60_p	0.102	0.032	0.002		
		l_ost_BA_60_p	1.649	0.561	0.003		
l_ost_VOL_60_p	-0.089	0.045	0.047				
kruh	10 a 25	N_lapac_10_2008	4.134	1.919	0.032	0.33	0.11
		N_lapac_25_2008	2.794	0.619	0.000		

Některé významné proměnné zasluhují bližší pozornost. Například výčetní kruhová základna ležících smrků v prostoru obdélníku o šířce 3 m (l\_SM\_3\_BA\_p) s vysokým kladným odhadem parametru (17,539), která má značný přímo úměrný vliv na počet vyvinutých brouků, resp. obsazení ležícího kmenu lýkožroutem smrkovým. Naopak silný nepřímo úměrný vztah ve stejném typu bufferu vykazuje výčetní kruhová základna ležících stromů ostatních dřevin (-16,935). Přímo úměrný k počtu vyvinutých

brouků je i vliv umístění feromonového lapače v okruhu 10 a 25 m od ležícího kmene (N\_lapac\_10\_2008; N\_lapac\_25\_2008). Počet stojících stromů napadených lýkožroutem smrkovým v roce 2008 vstupoval do regresní analýzy společně s feromonovými lapači a vzhledem k malému počtu nenulových případů v zónách 1,5 a 3 m musel být z analýzy vyřazen.

Ve druhé fázi regresní analýzy bylo během čtyř kroků z 25 proměnných (tab. 24) stanoveno jako významných 6. Odhad jejich parametrů a další charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 25. Kvalitu regresního modelu lze hodnotit jako dobrou (tab. 26) se stejným omezením při predikci jako v případě první fáze regrese. Významné proměnné náleží ve čtyřech případech ke kruhovému bufferu o poloměru 60 m a ve dvou případech k „obdélníkovému“ bufferu (1,5 a 3 m). Kruhový buffer charakterizuje širší okolí polomu z hlediska jeho rozsahu. Čím je počet, výčetní kruhová základna či objem ležících stromů větší, tím příznivější jsou podmínky pro vývoj lýkožrouta smrkového; naopak stojící stromy (jejich výčetní kruhová základna), které přečkaly větrnou událost, snižují atraktivitu polomu, resp. ležících kmenů.

Tab. 25 – Významné proměnné ve druhé fázi regresní analýzy

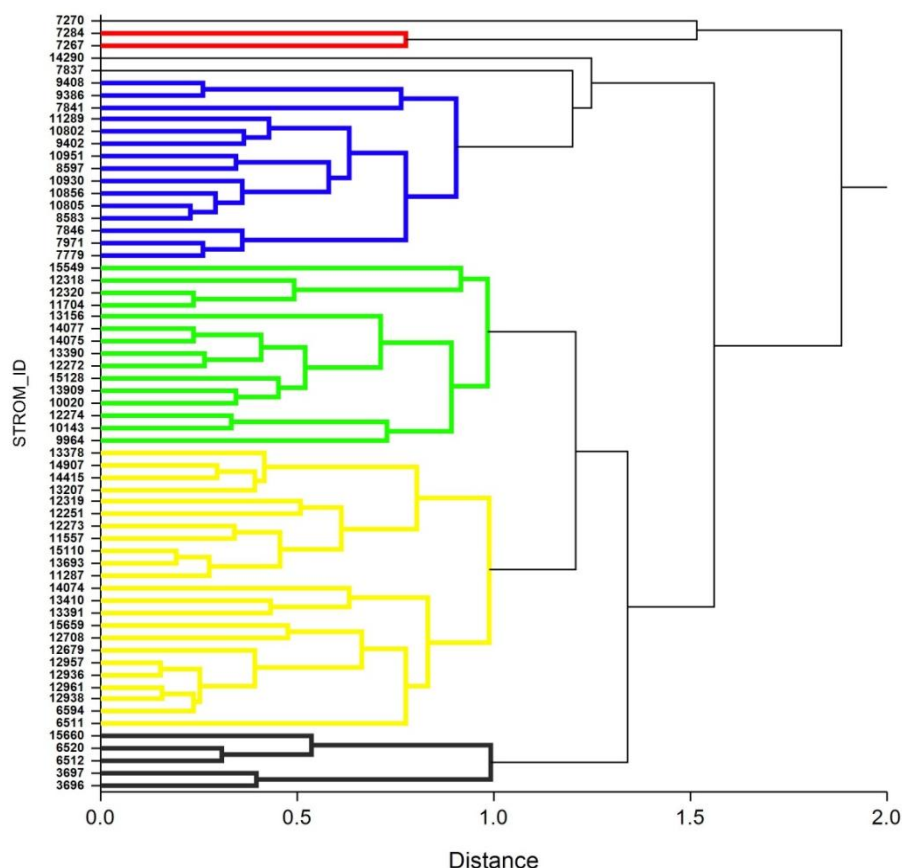
Proměnná	Odhad	Směrodatná odchylka	Pravděpodobnost [p]	Spodní mez	Horní mez
s_SM_BA_60_p	-0.317	0.039	0.000	-0.394	-0.240
l_SM_N_60_p	0.086	0.010	0.000	0.066	0.107
l_SM_VOL_60_p	0.022	0.004	0.000	0.015	0.030
l_ost_BA_60_p	0.197	0.057	0.001	0.085	0.308
l_ost_1_5_N_p	-2.558	0.426	0.000	-3.397	-1.720
l_SM_3_N_p	-0.544	0.110	0.000	-0.762	-0.327

Tab. 26 – Rozhodčí kritéria kvality regrese během druhé fáze regresní analýzy

Vícenásobný korelační koeficient [R]	0.50
Koeficient determinace [R <sup>2</sup> ]	0.25
Predikovaný korelační koeficient [Rp]	0.05
Střední kvadratická chyba predikce [MEP]	18.93
Akaikeho informační kritérium [AIC]	1 109.77

Získané regresní parametry byly využity při shlukové analýze (CLU). Cílem shlukování bylo vytvořit skupiny ležících kmenů s obdobnými podmínkami pro vývoj lýkožrouta smrkového. Na základě rozhodčích kritérií maximální věrohodnosti bylo provedeno shlukování metodou skupinového průměru ( $CC = 0,7$ ;  $\Delta_{(0,5)} = 0,22$ ,  $\Delta_{(1)} = 0,27$ ). Hodnocené stromy byly ve výsledném dendrogramu rozřazeny do pěti barevně

odlišených skupin (obr. 54). Celkem bylo klasifikováno 63 stromů, z nichž 3 nebyly podobné žádné ze skupin. Nejvíce stromů bylo klasifikováno ve žluté (23), nejméně v červené skupině (2). Rozdíly mezi skupinami jsou dobře patrné z krabicových grafů, přičemž jsou ve všech případech statisticky signifikantní (obr. 55–59).



Obr. 54 – Dendrogram hodnocených ležících kmenů

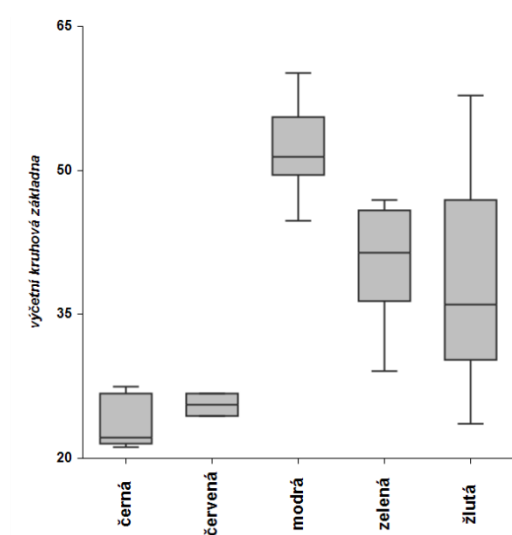
Výčetní kruhová základna stojících smrků v obalové zóně o poloměru 60 m představuje zejména informaci o převažujícím charakteru porostu. Nejvyšších hodnot dosáhla u modré skupiny (obr. 55), která se průkazně odlišuje od všech ostatních (tab. 27). Nejnížší plochy pak byly vypočteny u červené a černé skupiny. Černá skupina je s nižší statistickou spolehlivostí odlišná od zelené a žluté skupiny.

Proměnné počet a objem ležících smrků v obalové zóně s poloměrem 60 m informují o plošném rozsahu polomu, i když každá poněkud odlišným způsobem. Kombinací obou proměnných lze zjistit, zda se jedná o polom tvořený několika kmeny značných dimenzí nebo o větší počet relativně málo hmotnatých stromů. U obou proměnných dosahuje maxima modrá skupina (medián = 194). V případě počtu ležících smrků byly minimální hodnoty (medián = 79) zjištěny u černé skupiny (obr. 56,

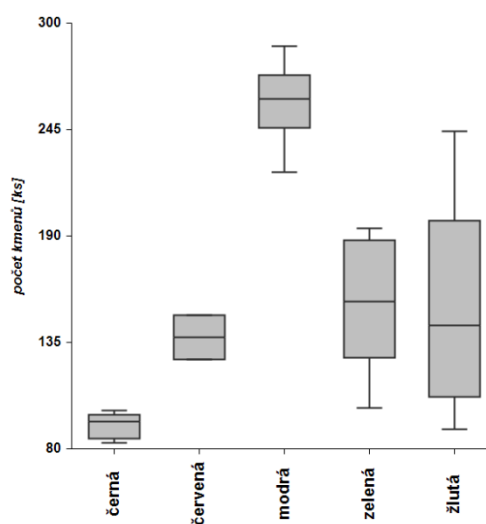
tab. 28), ostatní skupiny se jí pak polohou mediánu přibližují (červená = 119, žlutá = 121, zelená = 125 stromů). U objemu ležících smrků (obr. 57, tab. 29) se žlutá a zelená skupina poněkud přibližují modré skupině, minima dosahuje červená skupina.

Počet ležících stromů ostatních dřevin na ploše obdélníkového bufferu s polovinou kratší strany 1,5 m nabýval zdánlivě binárního charakteru (obr. 58), ale jednalo se o skutečnou nominální proměnnou, udávající zejména podíl nehostitelských dřevin v nejbližším okolí hodnoceného kmene. Černá a zelená skupina se statisticky významně odlišovaly od ostatních skupin (tab. 30).

Poslední proměnná v klasifikaci, tj. počet ležících smrků na ploše obdélníkového bufferu o šířce 3 m, vypovídá o hustotě polomu. Nejvyšších hodnot zde dosahují červená a modrá skupina (medián = 9 a 7; obr. 59, tab. 31). Spíše jednotlivý polom naopak představuje černá skupina (medián = 2).



Obr. 55 – Krabicový graf skupin ležících kmenů podle výčetní kruhové základny stojících smrků v okolí 60 metrů (označení s\_SM\_BA\_60\_p; K-W:  $N = 60$ ;  $df = 4$ ;  $p < 0,001$ )



Obr. 56 – Krabicový graf skupin ležících kmenů podle počtu kmenů ležících smrků v okolí 60 metrů (označení l\_SM\_N\_60\_p; K-W:  $N = 60$ ;  $df = 4$ ;  $p < 0,001$ )

Porovnání skupin z hlediska počtu vyvinutých jedinců lýkožrouta smrkového je patrné z obrázku 60, byl zaznamenán významný rozdíl mezi zelenou a modrou skupinou (tab. 32). Modrá skupina představuje nejvyšší riziko vzniku přemnožení (medián = 9 219 vyvinutých brouků). Reprezentuje rozsáhlé smrkové polomy uvnitř okolního smrkového porostu. Žlutá skupina představuje menší skupiny polomů uprostřed

smíšeného porostu s převahou jehličnanů, kde je riziko vzniku přemnožení relativně vysoké (medián = 4 620 vyvinutých brouků). Zelená skupina již představuje nižší riziko (medián = 2 565 vyvinutých brouků), neboť zastupuje menší skupinky vývrátů složených z různých druhů dřevin ve smíšeném porostu. K černé skupině náleží stromy značných dimenzí, které zpravidla jednotlivě padly pod porost nehostitelských, zpravidla listnatých dřevin. Tato skupina nepředstavuje riziko vzniku přemnožení (medián = 832 vyvinutých brouků). Poslední nejméně početnou skupinu (červenou) tvoří větší polomy slabších dimenzí, které padly uvnitř smíšeného porostu s převahou listnáčů. Stromy této skupiny představují relativně nízké riziko vzniku přemnožení (medián = 2 160 vyvinutých brouků).

Tab. 27 – Vícenásobné porovnání K-W skupin polomů podle výčetní kruhové základny stojících smrků v okolí 60 metrů

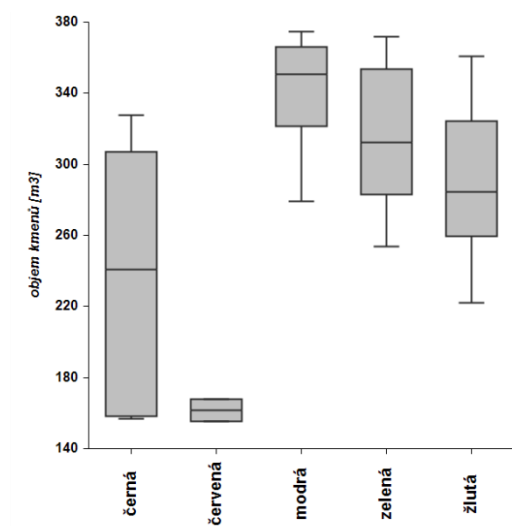
s_SM_BA_60_p	černá	červená	modrá	zelená	žlutá
černá	0	0.1643	5.0045	2.6834	2.5691
červená	0.1643	0	3.2505	1.6582	1.5332
modrá	5.0045	3.2505	0	3.2826	3.9672
zelená	2.6834	1.6582	3.2826	0	0.3556
žlutá	2.5691	1.5332	3.9672	0.3556	0

Regular Test: Medians significantly different if z-value > 1.96  
Bonferroni Test: Medians significantly different if z-value > 2.807

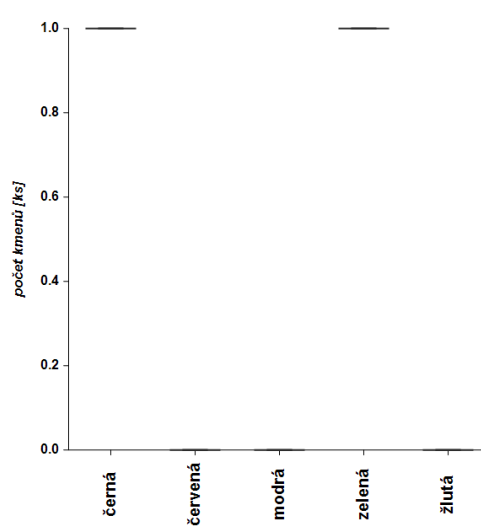
Tab. 28 – Vícenásobné porovnání K-W skupin ležících kmenů podle počtu kmenů ležících smrků v okolí 60 metrů

l_SM_N_60_p	černá	červená	modrá	zelená	žlutá
černá	0	1.2184	5.4048	2.8466	2.1518
červená	1.2184	0	2.3534	0.5985	0.0574
modrá	5.4048	2.3534	0	3.6178	5.2105
zelená	2.8466	0.5985	3.6178	0	1.23
žlutá	2.1518	0.0574	5.2105	1.23	0

Regular Test: Medians significantly different if z-value > 1.96  
Bonferroni Test: Medians significantly different if z-value > 2.807



Obr. 57 – Krabicový graf skupin ležících kmenů podle objemu ležících smrků v okolí 60 metrů (označení l\_SM\_VOL\_60\_p; K-W:  $N = 60$ ;  $df = 4$ ;  $p < 0,001$ )

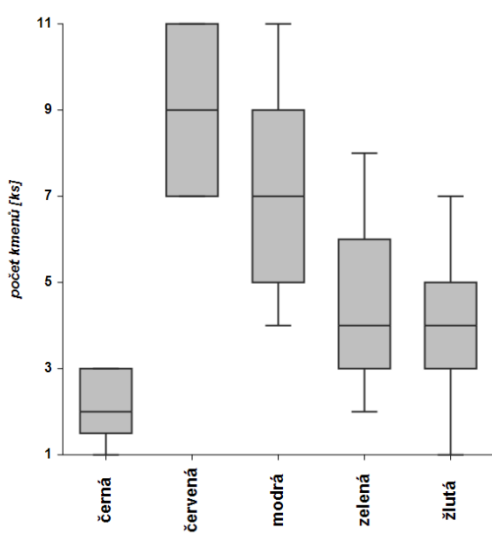


Obr. 58 – Krabicový graf skupin ležících kmenů podle počtu ležících kmenů ostatních dřevin v obdélníku o poloměru 1,5 m okolo kmene (označení l\_ost\_1\_5\_N\_p; K-W:  $N = 60$ ;  $df = 4$ ;  $p < 0,001$ )

Tab. 29 – Vícenásobné porovnání K-W skupin ležících kmenů podle objemu ležících smrků v okolí 60 metrů

<b>l_SM_VOL_60_p</b>	černá	červená	modrá	zelená	žlutá
černá	0	0.8418	<b>3.3708</b>	2.0846	1.1534
červená	0.8418	0	<b>3.248</b>	2.3656	1.7273
modrá	<b>3.3708</b>	<b>3.248</b>	0	1.819	<b>3.5301</b>
zelená	2.0846	2.3656	1.819	0	1.5288
žlutá	1.1534	1.7273	<b>3.5301</b>	1.5288	0

Regular Test: Medians significantly different if z-value > **1.96**  
 Bonferroni Test: Medians significantly different if z-value > **2.807**



Obr. 59 – Krabicový graf skupin ležících kmenů podle počtu ležících smrků v obdélníku o šířce 3 m okolo kmene (označení l\_SM\_3\_N\_p; K-W:  $N = 60$ ;  $df = 4$ ;  $p < 0,001$ )

Tab. 31 – Vícenásobné porovnání K-W skupin ležících kmenů podle ležících smrků v obdélníku o šířce 3 m okolo kmene

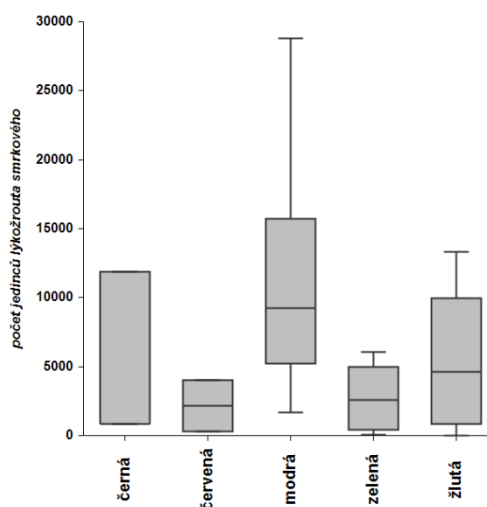
<b>l_SM_3_N_p</b>	černá	červená	modrá	zelená	žlutá
černá	0	<b>3.2525</b>	<b>4.2913</b>	2.2635	1.8493
červená	<b>3.2525</b>	0	0.6711	2.0622	2.4535
modrá	<b>4.2913</b>	0.6711	0	<b>2.8677</b>	<b>3.9276</b>
zelená	2.2635	2.0622	<b>2.8677</b>	0	0.7725
žlutá	1.8493	2.4535	<b>3.9276</b>	0.7725	0

Regular Test: Medians significantly different if z-value > **1.96**  
 Bonferroni Test: Medians significantly different if z-value > **2.807**

Tab. 30 – Vícenásobné porovnání K-W skupin ležících kmenů podle ležících kmenů ostatních dřevin v obdélníku o šířce 1,5 m okolo kmene

<b>l_ost_1_5_N_p</b>	černá	červená	modrá	zelená	žlutá
černá	0	2.3636	<b>3.8294</b>	0.2687	<b>4.0076</b>
červená	2.3636	0	0	<b>2.8113</b>	0
modrá	<b>3.8294</b>	0	0	<b>5.7956</b>	0
zelená	0.2687	<b>2.8113</b>	<b>5.7956</b>	0	<b>6.3766</b>
žlutá	<b>4.0076</b>	0	0	<b>6.3766</b>	0

Regular Test: Medians significantly different if z-value > **1.96**  
 Bonferroni Test: Medians significantly different if z-value > **2.807**



Obr. 60 – Krabicový graf počtu vyvinutých jedinců lýkožrouta smrkového podle skupin ležících kmenů (K-W:  $N = 50$ ;  $df = 4$ ;  $p < 0,05$ )

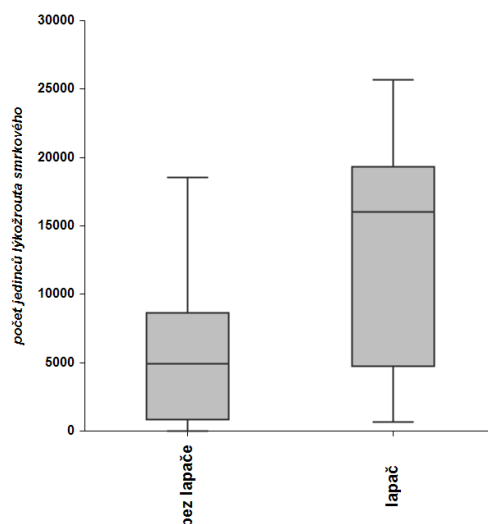
Tab. 32 – Vícenásobné porovnání K-W skupin ležících kmenů podle počtu vyvinutých jedinců lýkožrouta smrkového

<b>PCT_IT_strom</b>	černá	červená	modrá	zelená	žlutá
černá	0	0.6387	1.4381	0.6869	0.2715
červená	0.6387	0	<b>1.9749</b>	0.1974	1.0129
modrá	1.4381	<b>1.9749</b>	0	<b>3.3831</b>	<b>2.0103</b>
zelená	0.6869	0.1974	<b>3.3831</b>	0	1.764
žlutá	0.2715	1.0129	<b>2.0103</b>	1.764	0

Regular Test: Medians significantly different if z-value > **1.96**  
 Bonferroni Test: Medians significantly different if z-value > **2.807**

Analýza vlivu feromonových lapačů na obsazení vývratů proběhla pouze pro buffer o poloměru 25 m. Druhý buffer o poloměru 10 m nebylo možné z důvodu nízkého počtu analyzovat. Byl prokázán statisticky významný rozdíl v počtu výletových

otvorů mezi proměnnými „lapač“ a „bez lapače“ (obr. 61). Vývratů, které měly v dosahu 25 m přítomný feromonový lapač, bylo celkem 9, mediánová hodnota počtu výletových otvorů činila 16 034. U zbývajících hodnocených vývratů byl medián počtu výletových otvorů roven 4 935.



Obr. 61 – Krabicový graf počtu jedinců lýkožrouta smrkového vyvinutých na vývratech podle přítomnosti feromonových lapačů v bufferu o poloměru 25 m (K-W:  $N = 55$ ;  $df = 1$ ;  $p < 0,05$ )

Při následné diskriminační analýze (DA) byly všechny proměnné stanoveny jako významné. Žádná z proměnných nevykazovala vysokou míru multikolinearity a při odstranění kterékoli proměnné z modelu by vždy došlo ke snížení jeho třídících schopností (tab. 31). Výsledná diskriminační funkce klasifikovala všech 60 kmenů do správných skupin, tj. se 100% úspěšností (tab. 32). Koeficienty lineární diskriminační funkce pro další klasifikaci jsou uvedeny v tabulce 33.

Tab. 31 – Vliv parametrů na diskriminaci

Variable	Removed Lambda	Removed F-Value	Removed F-Prob	Alone Lambda	Alone F-Value	Alone F-Prob	R-Squared Other X's
s_SM_BA_60_p	0.752	4.21	0.005	0.434	17.96	0.000	0.754
l_SM_N_60_p	0.518	11.88	0.000	0.249	41.43	0.000	0.804
l_SM_VOL_60_p	0.697	5.53	0.001	0.498	13.84	0.000	0.332
l_ost_1_5_N_p	0.128	86.95	0.000	0.119	101.88	0.000	0.098
l_SM_3_N_p	0.721	4.94	0.002	0.491	14.26	0.000	0.333

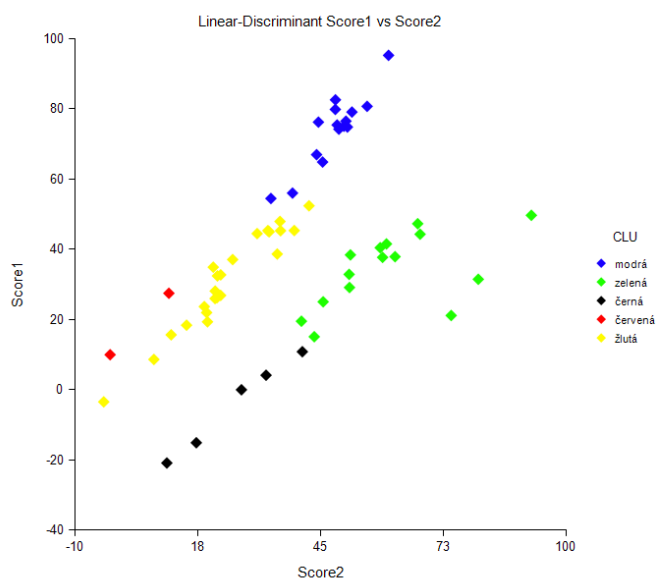
Tab. 32 – Skutečnost vs. predikce

		Predikovaná				
		modrá	zelená	černá	červená	žlutá
Aktuální	modrá	15	0	0	0	0
	zelená	0	15	0	0	0
	černá	0	0	5	0	0
	červená	0	0	0	2	0
	žlutá	0	0	0	0	23
Celkem		15	15	5	2	23

Tab. 33 – Nalezené koeficienty lineární diskriminační funkce

	modrá	zelená	černá	červená	žlutá
Constant	-74.17030	-60.24577	-31.47895	-34.02229	-40.83471
s_SM_BA_60_p	0.45338	0.68798	0.42558	0.10086	0.67831
l_SM_N_60_p	0.19839	-0.02547	-0.03943	0.16942	-0.01075
l_SM_VOL_60_p	0.18194	0.17829	0.13551	0.08304	0.17020
l_ost_1_5_N_p	-5.84444	24.65366	21.23565	-2.70939	-3.19547
l_SM_3_N_p	3.14490	2.37000	1.34200	3.54380	1.96049

Na obrázku 62 jsou znázorněny rozdíly mezi skupinami. Je patrné, že třídící schopnost funkce je vysoká již při projekci do 1. a 2. lineárního diskriminačního skóre. Ačkoliv k interpretaci jednotlivých os je zpravidla vhodnější skóre z kanonické korelace (CCA), je zřejmé, že skóre 1 nejvíce odpovídá počtu ležících smrků. Význam 2. skóre není příliš zřetelný, ale je patrné, že v úhlopříčném směru třídí lineární diskriminační funkce objekty na dvě skupiny podle počtu ležících listnáčů v nejbližším okolí kmene.



Obr. 62 – Projekce lineárního diskriminačního skóre

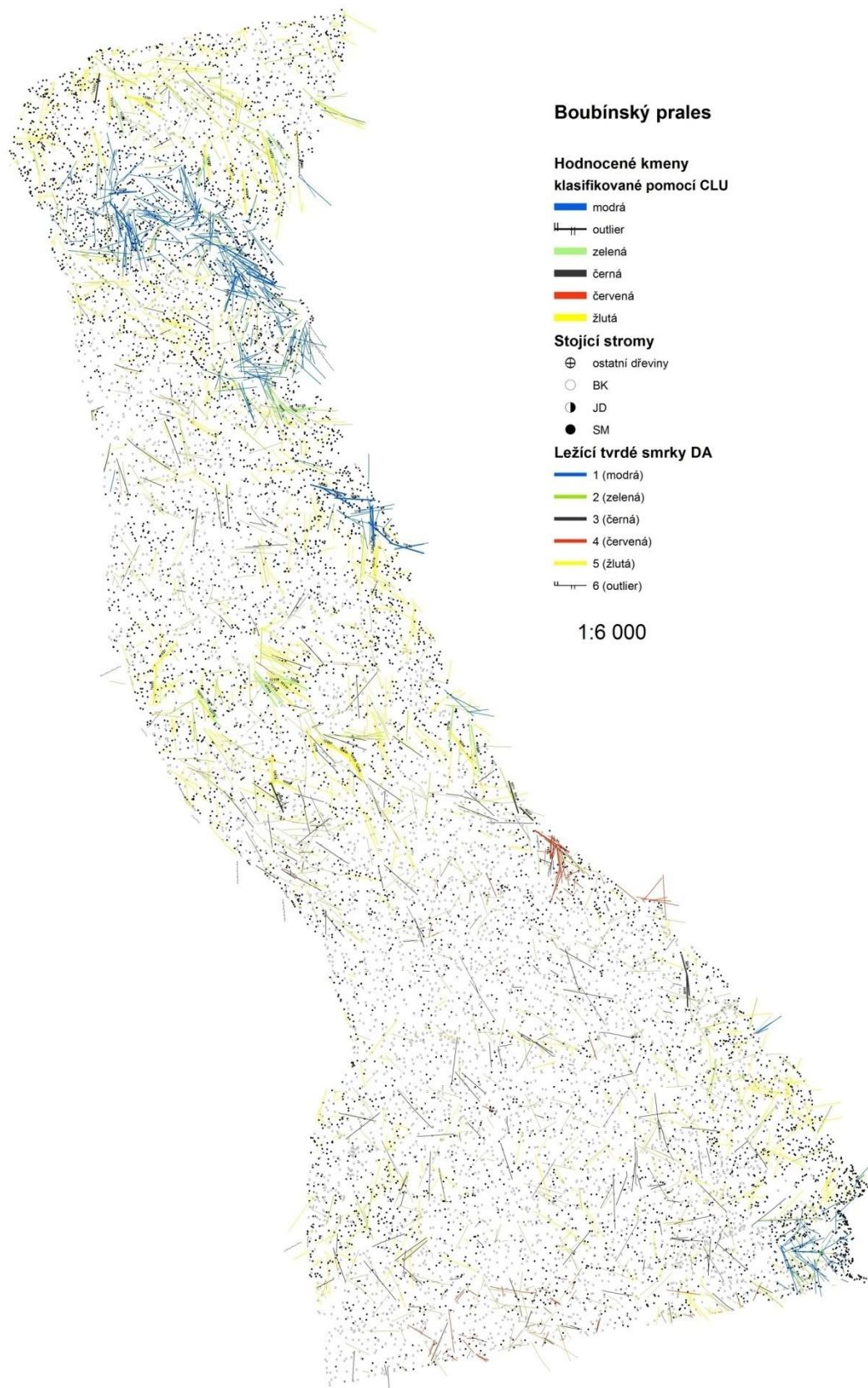


Použitím nalezené lineární diskriminační funkce na všechny ležící tvrdé smrky v Boubínském pralese byla vytvořena tématická mapa polomů klasifikovaných do pěti, resp. šesti skupin (obr. 63). Nejvíce kmenů bylo zařazeno do žluté skupiny (814), za kterou následovaly modrá (372), černá (214), zelená (153) a nakonec červená (92) skupina. Neklasifikovaných kmenů, označených jako outlier, bylo celkem 18. Výsledná mapa zobrazuje místa s různým potenciálem k vývoji lýkožrouta smrkového a následným rizikem napadení dosud stojících stromů.

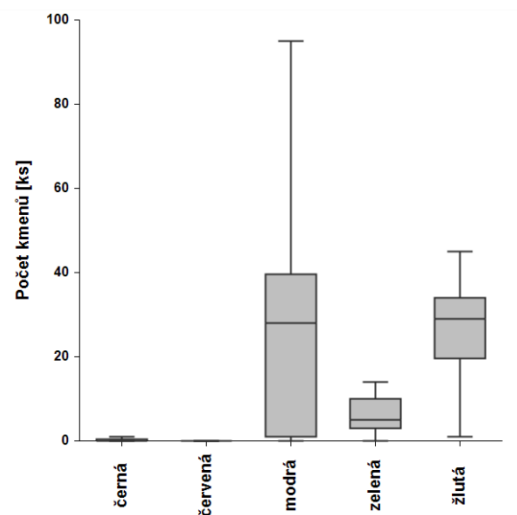
Stromy skutečně napadené během roku 2009 lýkožroutem smrkovým byly konfrontovány s přítomností skupin ležících kmenů klasifikovaných v předchozím kroku. Pro všechny parametry (N, BA, VOL) byly grafy komponentních vah velmi podobné (příloha 20). Nejlépe charakterizovaly okolí stromu kruhové buffery o poloměru 60 m, jejichž průvodiče byly nejbližší jednotkové kružnici. Kromě toho byl častý souběžný výskyt skupin černá s červenou a žlutá se zelenou ve společném kvadrantu, tj. korelovanost znaků. Naopak průvodiče zelená + žlutá vs. červená + černá spolu většinou svíraly úhel  $90^\circ$ , což značí nekorelovanost těchto znaků. Modrá skupina se souběžně s první hlavní komponentou obvykle nacházela v jiném kvadrantu než ostatní skupiny a lze jí proto považovat za odlišnou od ostatních skupin, ale zejména určující pro rozklad do komponentních složek.

Stejně jako v případě PCA bylo pro parametry N, BA a VOL v bufferu o poloměru 60 m, dosaženo i prostřednictvím K-W a Dunnova testu takřka shodných závěrů. Ve výsledkové části je proto uveden pouze krabicový graf (obr. 64) a tabulka vícenásobného porovnávání (tab. 34) pro N, výsledky testů pro zbylé parametry (BA a VOL) jsou zařazeny do přílohy 21. Pomocí K-W testu byl prokázán statisticky významný rozdíl ( $p < 0,001$ ) v zastoupení skupin polomů v okolí napadeného stromu. V případě parametru N byly nejvíce početné žlutá (medián = 29) a modrá (medián = 28) skupina. Žlutá skupina byla však poměrně homogenní, naproti tomu modrá vykazovala značný rozptyl s výrazně vyššími maximálními hodnotami. Zelená skupina byla zastoupena méně (medián = 5). Černá i červená skupina měly medián = 0. Výsledky vícenásobného porovnávání (tab. 34) ukázaly, že všechny skupiny se od sebe statisticky významně odlišují (pouze černá skupina od červené na nižší hladině významnosti). Na základě předchozích výsledků však červená a černá skupina představují z hlediska možného zdroje dospělců lýkožrouta smrkového minimální riziko pro okolní stojící stromy. Naopak modrou skupinu lze charakterizovat jako akutně rizikovou, žlutou

skupinu jako silně rizikovou a zelenou skupinu se zvýšeným rizikem pro okolní stojící porosty.



Obr. 63 – Klasifikace ležících smrků pomocí DA



Obr. 64 – Krabicový graf počtu ležících kmenů v bufferu o poloměru 60 m se středem určeným stojícím smrkem napadeným v roce 2009 lýkožroutem smrkovým ( $N = 705$ ;  $df = 4$ ;  $p < 0,001$ ).

Tab. 34 – Porovnání skupin v kruhovém bufferu o poloměru 60 m podle N (Dunnův test)

N_60	černá	červená	modrá	zelená	žlutá
černá	0	2.0502	11.6461	8.2704	15.0392
červená	2.0502	0	13.6963	10.3206	17.0894
modrá	11.6461	13.6963	0	3.3756	3.3931
zelená	8.2704	10.3206	3.3756	0	6.7688
žlutá	15.0392	17.0894	3.3931	6.7688	0

Regular Test: Medians significantly different if z-value > 1.96

Bonferroni Test: Medians significantly different if z-value > 2.807

## 6 Diskuze

Údajů o škodlivém působení větru či kůrovců na smrku je z našeho území relativně dostatek. Potíže ovšem vznikají při snaze získat kontinuální údaje za delší časové období z určitého konkrétního regionu. Nedostatkem historických přehledů kalamit KUDELY (1946, 1980, 1984), JANČAŘÍKA (1998) či LIŠKY et al. (1991) je, že se zmiňují pouze o nejvýznamnějších událostech. Souhrnné údaje o výši abiotických a kůrovcových těžeb za ČSR do roku 1985 uvádí např. PEŘINA (1987). Nejvýznamnějším běžně dostupným souhrnným zdrojem jsou však statistické ročenky, které zpravidla udávají škody větrem a kůrovci na smrku, a to jako těžbu ostatní živelní a kůrovcovou, tedy v kategoriích značně širokých. Prezentovaný přehled škod větrem a kůrovci na smrku za období 1964–1991 je proto poměrně unikátní svou podrobností, přestože se jedná o relativně větší územní celky reprezentované podnikovými ředitelstvími dřívějšího členění státních lesů.

Na celkový objem dříví vytěženého v uvedeném období vlivem větru mělo výrazný vliv několik silných celoplošně působících větrných událostí, přesahujících svým dopadem zpravidla území našeho státu. Určitou výjimku představují Severomoravské státní lesy, kde byl objem z lokálně působících větrných bouří vyšší. Tato skutečnost je poměrně překvapující, jelikož největrnější místa na našem území se nacházejí kromě Jeseníků také v Krkonoších a v polohách nad 800 m n. m. v Krušných horách a Českém středohoří (TOLASZ et al. 2007).

Vývoj kůrovcových těžeb můžeme v sledovaném období 1964–1991 rozdělit do dvou etap. V první (1964–1979) došlo pouze k menším regionálně omezeným gradacím především lýkožrouta smrkového. Ve druhé etapě (1980–1991) se pak začalo projevovat oslabení porostů imisemi, navíc zesílené suchými periodami. Koincidence se silnými větrnými událostmi měla za následek velice silnou gradaci lýkožrouta smrkového (SKUHRAVÝ & ŠROT 1988; PFEFFER & SKUHRAVÝ 1995). Při porovnávání grafů 1. diferencí je třeba si uvědomit odlišné měřítko škod větrem a smrkovými kůrovci. Nahodilá těžba vlivem větru mnohonásobně překračuje těžbu kůrovcovou. Pouze v období kůrovcových kalamit se jejich výše vzájemně přibližuje, výjimečně pak kůrovcová těžba větrnou převyší. Za sledované období 1964 až 1991 činila nahodilá těžba vlivem větru více než 5násobek (vítr 70 mil. m<sup>3</sup>, kůrovci na smrku 13 mil. m<sup>3</sup>).

Ve většině podnikových ředitelství státních lesů došlo mezi roky 1982 a 1983 k výraznému nárůstu kůrovcových těžeb, v úhrnu za celou ČSR šlo o 3,5násobek. SKUHRAVÝ & ŠROT (1988) uvádějí, že k tak velkému nárůstu škod došlo zejména díky zanedbávání ochrany a podceňování nebezpečí lýkožrouta smrkového. U Severomoravských státních lesů došlo mezi lety 1982–1983 k 4,5násobnému navýšení kůrovcových těžeb a u Východočeských státních lesů dokonce k 12,9násobnému nárůstu. Je pravděpodobné, že lýkožrout smrkový nebyl v těchto podnikových ředitelstvích dostatečně evidován a jeho stav byl podhodnocen (SKUHRAVÝ & ŠROT 1988). Častým provozním prohřeškem pozorovaným i v současnosti je právě vykazování kůrovcové těžby za nahodilou těžbu abiotického původu. Situace u Východočeských státních lesů před rokem 1982 takové vysvětlení přímo nabízí. Stejně evidenční praktiky mohly způsobit i výrazný propad kůrovcových těžeb v roce 1985, ve kterém padly větrné polomy o celkovém objemu 7 mil. m<sup>3</sup>. Ačkoliv je pravdou, že v roce 1985 panovalo během rojení lýkožrouta chladné počasí (JANČAŘÍK & ŠROT 1986) a nezpracované dříví z větrných kalamit bylo na počátku léta profylakticky ošetřeno (SKUHRAVÝ & ŠROT 1988).

V průběhu 80. let je patrný cyklus, ve kterém větrné polomy vyvolají zvýšení početnosti lýkožrouta smrkového a nástup gradace. Nárůst objemu kůrovcového dříví byl pozorován se zpožděním 1–3 roky. U Jihomoravských státních lesů byl zjištěn posun o 1 až 2 roky, u Jihočeských státních lesů o 2 roky a u Západočeských státních lesů o 2 a 3 roky. Nejvyšší hodnotu korelace ( $r = 0,79$ ) však vykazovalo nulové zpoždění u Jihomoravských státních lesů a jedině tento „posun“ v objemu kůrovcového dříví za větrným polomem byl průkazný i za celou ČR.

Větrek vyvrácené stromy jsou považovány za jeden z důležitých faktorů počátků velkých kůrovcových gradací (ZUMR 1995; ØKLAND & BERRYMAN 2004). Není známo, zda lýkožrouti upřednostňují polomy před stojícími stromy na základě primárních atraktantů nebo zda atakují oba zdroje rovnoměrně a k obsazení polomů dojde díky jejich nižší obranyschopnosti (SCHROEDER 2001). Vyšší reprodukční úspěch na těchto stromech (KOMONEN et al. 2011) nicméně umožní zvýšení populační hustoty nad práh nutný ke kolonizaci stojících stromů (BERRYMAN 1974; JAROŠÍK 2005). V první vegetační sezóně následující po větrné disturbanci je tak napadení stojících stromů minimální (SCHROEDER 2001; GRODZKI et al. 2010; STADELMANN et al. 2013a) a dochází k němu pouze v případě odstranění polomů před rojením kůrovců (SCHROEDER & LINDELÖW 2002). Zpoždění v napadení stojících stromů tak závisí na tom, jak dlouho

jsou v dané oblasti polomy pro lýkožrouta atraktivní. Je proto pochopitelné, že z různých částí jeho rozsáhlého areálu je k dispozici mnoho rozdílných údajů. Ve středoevropských podmínkách lze předpokládat obsazení polomů hned v první vegetační sezóně, jak uvádějí např. GRODZKI et al. (2006a, 2006b, 2010), v jižním Švédsku došlo k napadení polomů až ve druhé vegetační sezóně (KOMONEN et al. 2011). KULA & ZĄBECKI (2006) pozorovali obsazení polomů po dvě vegetační sezóny. Atraktivita polomů závisí zejména u lýkožrouta smrkového na kvalitě spojení vývrátů s půdou (JAKUŠ 1998b, 1998c), kdy může být za příznivých okolností obsazení polomů možné i v dalších vegetačních sezónách. Naopak při vyšším podílu odlomů lze předpokládat zrychlení dynamiky. ØKLAND & BERRYMAN (2004) pozorovali v podmínkách Norska zvýšení populačních hustot lýkožrouta už po 1. roce od vzniku polomu, podle WERMELINGERA et al. (1999) největší populační hustota nastala až dva roky po vzniku rozsáhlých polomů, SCHROEDER & LINDELÖW (2002) pak uvádějí z jižního Švédska vrchol přírůstu kůrovcových těžeb ve 2. a 3. roce po větrném polomu. V některých územích, např. v Bavorském lese, byl zaznamenán vrchol v přírůstu kůrovcových stromů až ve 4. nebo 5. roce od vzniku polomu (cf. SCHROEDER 2001).

Tlak na urychlené zpracování polomu v lesním provozu může být příčinou vysokých kůrovcových těžeb už ve vegetační sezóně následující po jeho vzniku. Je možné, že v případě ČSR právě tato skutečnost ovlivnila dosažení výsledného nulového zpoždění při výpočtu křížové korelace. Z hlediska účelného managementu ochrany lesa je vhodné doporučit zpracování polomu až po rojení lýkožrouta smrkového. Polomové hmoty lze využít jako lapáků a snížit tak riziko napadení okolních stojících porostů. U Jihomoravských státních lesů může mít vysoká korelace větrných a kůrovcových těžeb v témže roce příčinu i v teplejším a sušším klimatu této oblasti (cf. TOLASZ et al. 2007). Právě teplota má zásadní význam při vývoji lýkožrouta z hlediska počtu generací v roce (ANNILA 1969; WERMELINGER & SEIFERT 1999).

Při analýze historických údajů pomocí křížových korelací však byl překvapivě nalezen i významný posun škod větrem po kůrovcových těžbách. O jednoletý posun se jednalo u 2 podniků státních lesů, posun dvouletý, tříletý i čtyřletý byl zjištěn u 3 podniků státních lesů, které však ve všech případech nebyly totožné, pětiletý posun byl nalezen u 1 podniku státních lesů. V případě celé ČSR byl zjištěn významný posun o 1, 2 a 3 roky (tab. 7, příloha 10). Lze předpokládat, že vlivem asanačních kůrovcových těžeb dochází k otevření do té doby chráněných porostních stěn vůči bořivým větrům, což vede v těchto místech ke vzniku polomů a dalšímu množení lýkožrouta smrkového.

Délka posunu je v tomto případě funkcí periody větrných událostí, tedy stochastickou složkou.

Obnova porušené ochrany lesních porostů vůči bořivému větru je záležitost dlouhodobá, přesahující období jednoho decennia (např. VICENA et al. 1979). Přestože predikce budoucího vývoje klimatu není ve vědeckých studiích vždy jednotná, autoři se obvykle shodují v tvrzení, že očekávaná změna klimatu s sebou přinese zvýšenou frekvenci extrémních jevů, jako jsou například bořivé větry (LINDNER et al. 2010). Porušení statické stability lesních porostů pak může být v blízké budoucnosti považováno za jeden z nejdůležitějších aspektů kůrovcových kalamit. Včasné zvládnutí gradací se tak stává v hospodářských lesích prvořadým úkolem, kterému je třeba věnovat maximální úsilí, bez ohledu na případné „krátkodobé“ ztráty při zpracování jejich následků.

Pro rozpoznání skrytých vztahů mezi škodami způsobenými abiotickými vlivy a biotickými škodlivými činiteli s důrazem na období bezprostředně následující po výrazné větrné disturbanci a stanovení oblastí s odlišnou kvalitativní i kvantitativní strukturou evidovaných škod v lesích jsou důležité následující skutečnosti.

Ukazatelem různého vlivu coarse-scale a fine-scale disturbancí je množství vytěženého kůrovcového dřeva v období let 2006 až 2010. Evidovaná výše škod podkorním hmyzem na smrku v letech 2006 a 2007 koreluje s faktorem 2 (fine-scale disturbancemi) a škody z let 2008, 2009 a 2010 korelují s faktorem 1 (coarse-scale disturbancemi). Výše škod podkorním hmyzem v letech 2006 a 2007 však rovněž korelovala s faktorem 1, a to z 64, resp. 56 %. Každým rokem nastává několik silnějších větrných proudění, která ve větší míře poškozují lesní porosty. V případě roku 2006 však tyto bořivé větry svým rozsahem nepřevážily míru vlivu chronického stresu. Poměr mezi fine-scale a coarse-scale disturbancí v roce 2007 vychází z bionomie podkorního hmyzu na smrku (zejména lýkožrouta smrkového), kdy byly přednostně napadeny stromy v polomu a byly lesním personálem v evidenci vykázány pouze jako škody větrem. Distribuce škod podkorním hmyzem na smrku je tak v roce 2007 více určena primárním stresem lesních porostů v důsledku sucha či vlivu václavky. Stejná situace, ale v opačném poměru, platí v případě vichřice Emma a podkorního hmyzu na smrku v roce 2008. V letech 2009 a 2010 byla korelace s faktorem 2 již menší (cca 40 %) a odráží v sobě zejména dlouhodobé problémy s oslabením lesních porostů suchem a václavkou v prostoru severní Moravy a Slezska, které jsou chronicky napadány lýkožroutem severským (HOLUŠA & LIŠKA 2002).

Jinou zajímavou skutečností je nízká korelace škod způsobených klikorohem borovým a fine-scale disturbancí. Vzhledem k tomu, že mají v příslušném grafu (obr. 31) největší míru korelace s faktorem 2 škody václavkou, lze předpokládat, že kořeny smrků napadené václavkami nemusí být vhodné pro vývoj larev klikorooha borového.

Území, která byla silnými větry v letech 2007 a 2008 zasažena nejvíce, představují kraje Jihočeský a Plzeňský. Rovněž kůrovcové těžby jsou zde dlouhodobě velmi vysoké, přičemž k jejich eskalaci došlo v letech 2009 a 2010. Uvedené kraje mj. vykazují také jedny z nejvyšších ploch poškozených klikorohem borovým. Stejně jako kraje Jihočeský a Plzeňský má vysoké záporné hodnoty faktoru 1 i kraj Moravskoslezský, který navíc vykazuje i vysoké kladné hodnoty faktoru 2. V Moravskoslezském kraji jsou dlouhodobě nejvyšší těžby evidovány v důsledku vlivu václavek. Výrazných objemů zde dosahují i škody zapříčiněné suchem, přičemž mají navíc tyto efekty predispoziční vliv i na přemnožení podkorního hmyzu. Větrnými událostmi z let 2007 a 2008 byla rovněž výrazně zasažena oblast Moravskoslezského kraje. Olomoucký kraj se charakterem škodlivých činitelů blíží moravskoslezskému regionu, ale vykazovaná úroveň jednotlivých škod byla nižší. Výrazně odlišným objektem s téměř nulovou hodnotou faktoru 2 a přitom vysokou kladnou hodnotou faktoru 1 byla Praha. Tento kraj vykazuje takřka u všech škodlivých činitelů nejnižší hodnoty. Shluk krajů Jihomoravský, Ústecký a Zlínský představuje oblasti spíše teplejší a převážně nižších nadmořských výšek, kde dochází k vyšším škodám suchem a václavkou a naopak k nižším kůrovcovým těžbám. Tyto kraje byly rovněž méně postiženy větrnými disturbancemi. U shluku krajů Vysočina, Královéhradecký, Pardubický, Středočeský a Karlovarský převažují spíše střední nadmořské výšky. Tyto kraje byly více zasaženy větrnými prouděními v letech 2007 a 2008 (kromě již zmiňovaného orkánu Kyrill a vichřice Emma zde sehrála roli i větrná bouře Ivan z léta 2008). Proti předchozímu shluku se zde ve výši škod silněji uplatnil podkorní hmyz. Mezi uvedenými dvěma shluky se v příslušném grafu zobrazil Liberecký kraj, který se spíše přibližuje hornímu shluku „teplejších“ krajů, ale u většiny škodlivých činitelů vykázal relativně nízké hodnoty.

Celkový obrázek podobnosti struktury škod v jednotlivých krajích na základě analýzy CLU se výrazně neliší od grafu komponentního skóre analýzy PCA, ale přesto jsou některé shluky odlišné. Jako nejvíce podobné objekty se jeví kraje v prvním shluku. Zlínský, Ústecký a Liberecký kraj se podobností shodují s grafem



komponentního skóre, ale v CLU je k nim navíc přiřazena jako silně podobná i Praha, která se v PCA chová téměř jako odlehlý objekt. U druhého shluku je ve srovnání s grafem komponentního skóre oddělen jako relativně nepodobný kraj Středočeský a více než tento kraj je druhému shluku podobný kraj Jihomoravský. Pozice ostatních objektů již není odlišná, pouze je překvapující relativně malá podobnost kraje Plzeňského a Jihočeského.

Vzhledem k odlišným principům obou metod (v případě PCA korelace mezi objekty, v případě CLU podobnosti a vzdálenosti mezi objekty) ukazuje dosažená shoda ve výsledcích analýz na spolehlivě odhalené vztahy mezi kraji.

Modely použité pro predikci očekávaného objemu kůrovcového dříví můžeme rozdělit podle způsobu využití vstupních proměnných na dva typy. V prvním typu jsou do modelu zařazeny všechny proměnné a jejich vliv je pouze omezován, ve druhém typu jsou proměnné redukovány a ve výsledném modelu se tak uplatňují pouze ty významné. K prvnímu typu náleží NN a PLS, ke druhému obě MLR. Nelze říci, že by byl některý z uvedených principů nevhodný, jelikož NN si s oslabením vah některých proměnných dokázala poradit. Nejméně dobrých výsledků však bylo dosaženo pomocí PLS. Lze se domnívat, že tato technika nebyla pro predikci pouze jednoho výstupu zcela vhodná. Kromě objemu kůrovcového dříví by teoreticky bylo možné sestaveným PLS modelem predikovat i výši těžeb václavkou či suchem, což však není smysluplné. Je zajímavé, že pomocí PLS bylo při predikci dosaženo minimální absolutní reziduum. Jednalo se o predikci pro okres Rokycany, ale i dvě další nejlepší predikce (okresy Prostějov a Přerov) se uskutečnily pomocí PLS. Modelová NN naopak dosáhla velice nízkého mediánu absolutního rezidia, které by mělo být vzhledem k zamítnutí předpokladu normality střední hodnotou odchylky modelem predikované hodnoty od skutečnosti. V kritériu reziduální sumy čtverců pak NN výrazně zaostává za oběma MLR, což je způsobeno vysokou penalizací při odchylkách predikce. Model NN totiž vykazoval největší absolutní reziduum (okres Prachatice). NN mají obecně vysokou predikční sílu, což se projevuje zejména u složitějších úloh s prvky nelinearity, avšak uživatelům poskytují nízkou schopnost interpretovat principy predikce (HASTIE et al. 2011). Z hlediska interpretace jsou tedy ostatní modely mnohem výhodnější.

U obou MLR došlo k porušení předpokladu normality dat, což naznačuje, že metoda nejmenších čtverců nemusí být ve všech případech nejlepším, nestranným a nevychýleným odhadem. Důležitá je však reálná predikční schopnost výsledného modelu. Jak uvádí BOX (1979) ex HEBÁK & HUSTOPECKÝ (1987) „všechny modely jsou

špatné, ale některé jsou užitečné“. V modelu 1 – regresi s původními daty (MLR) – má největší váhu proměnná „NPaNPR“, v tomto případě došlo ke škodlivě silnému vlivu okresů s vysokými kůrovcovými těžbami (Prachatice a Klatovy), které vychýlily směrnici regresní přímky. Proměnná sucho má v MLR relativně silný záporný koeficient, tedy nepřímo úměrný vliv na výši kůrovcových těžeb, což je obtížně interpretovatelné a v přímém rozporu s účinkem sucha na vitalitu stromů (ROUAULT 2006). V modelu MLR Box-Cox již tato proměnná nebyla určena jako významná a došlo i k výraznému snížení váhy proměnné „NPaNPR“. Model MLR Box-Cox byl z hlediska všech kritérií reziduí (s výjimkou minimálního absolutního rezidua, kde byl druhým v pořadí) vyhodnocen jako model s nejlepší predikcí, což se projevilo i na zlepšení hodnot rozhodčích kritérií regrese. Vypovídací schopnost těchto kritérií je zde velice dobře dokumentována. Transformací původních dat došlo k razantnímu poklesu MEP a AIC, zatímco u  $R_p$  pouze k mírnému zlepšení a u koeficientů  $R$  a  $D$  dokonce ke zhoršení. Schopnost posoudit kvalitu regresního modelu má  $R$  poměrně nízkou, jedním z důvodů je i to, že se jeho hodnota zvyšuje s počtem parametrů (KUPKA 2010). Záporné koeficienty proměnných „vitr A-2“ a „podkor A-2“ vnášejí do modelu dynamický prvek. Jedná se vlastně o diference mezi výši vytěženého dříví v předchozích letech ( $N_{t-1} - N_{t-2}$ ), což je častou součástí populačně dynamických modelů (JAROŠÍK 2005; BERRYMAN & KINDLMANN 2008; TKADLEC 2008). Při aplikaci populačně dynamických modelů je obvykle užíván dekadický logaritmus. Ten byl vzhledem k silně levostranně asymetrickému rozdělení dat využit i v případě MLR, a to za účelem jejich přiblížení ke Gaussovu normálnímu rozdělení. Aplikace logaritmické transformace sice přiblížení normalitě přinesla, avšak transformace podle BOXE & COXE (1964) vykazovala lepší výsledky. Střední hodnota absolutního rezidua u tohoto modelu je poměrně příznivá (odchylka 1 118 m<sup>3</sup> za rok), MLR Box-Cox proto můžeme považovat za vhodný model poskytující relativně dobrou predikci. Výsledky je však třeba ještě ověřit na údajích i z dalších let.

Jednotlivé druhy kůrovců pravidelně obsazují vždy určité části stromu (specifické ekologické niky). Výjimkou není ani lýkožrout smrkový, jehož nika je dána minimální šířkou lýka umožňující jeho vývoj a mírou biologického rozkladu lýka. ZUMR (1995) uvádí, že lýkožrout smrkový nejraději obsazuje smrkové stromy, jejichž kůra s lýkem dosahují tloušťky 4–10 mm. GIRIC (1975) ex ZUMR (1995) zjistil v Karpatech nejvíce lýkožroutů v kůře a lýku smrků o tloušťce od 3 do 6 mm. Právě kvalita lýka vytváří ostrou hranici mezi saprotrofními a tzv. agresivními druhy kůrovců. Lýkožrout smrkový

jako agresivní druh kůrovce vyžaduje relativně čerstvé, příp. do určité míry vysychající lýko, které zvyšuje jeho úspěšnost při obsazování kmene.

Z hlediska počtu výletových otvorů lýkožrouta smrkového je na základě výsledků šetření v Boubínském pralese rozdíl v kvalitě lýka mezi vývratem a odlomem zcela zřejmý. Počet výletových otvorů zjištěných na odlomech byl proti vývratům zhruba dvojnásobný. Odlomy představují pro lýkožrouta velice výhodný potravní substrát. Na vysokou atraktivitu odlomů, zejména jejich bazálních částí, upozorňují i KULA & ZĄBECKI (2005), kteří uvádějí, že tento typ ležících kmenů představuje pro lýkožrouta smrkového nabídku srovnatelnou s neodvřvenými lapáky. Naopak stojící zlomená část dosud spojená s půdou (zlom) je pro lýkožrouta smrkového neatraktivní (KULA & ZĄBECKI 2004), což je způsobeno přebytkem vody v lýku, které pak rychleji kvasí a je vhodné pro jiné druhy kůrovců (ZUMR 1995). Vývraty a odlomy se rovněž lišily charakterem napadení v různé vzdálenosti od paty kmene. Bazální části obou typů ležících kmenů byly prakticky bez obsazení. Tato skutečnost pravděpodobně souvisí se značnou tloušťkou kůry analyzovaných stromů (průměrná tloušťka prvních sekcí byla téměř 70 cm), jistou roli mohla hrát rovněž vyšší „zavodněnost“ lýka v těchto částech vývratů. Se stoupající vzdáleností od paty kmene, resp. s klesající tloušťkou kůry, vzrůstal i počet výletových otvorů lýkožrouta smrkového. Podle KULY & ZĄBECKÉHO (2006) se četnost jeho výskytu na vývratech s rostoucí tloušťkou zvyšuje, což pozorovali zejména v území se základním stavem. Výčetní tloušťka jimi hodnocených stromů však byla poněkud nižší. U kmenů s podobnou tloušťkou jako v případě Boubínského pralesa pozoroval JAKUŠ (1998b), že sekce bez napadení podkorním hmyzem měly větší obvod. Lýkožrout smrkový však v porovnání s ostatními druhy kůrovců preferoval tlustší části stromu. Tloušťka kůry nad 68 cm se však pro napadení kůrovci stává mechanicky limitujícím faktorem (JAKUŠ 1998b). Variabilita tloušťky borky je mezi stromy velická, korelovaná především s průměrem a obvodem kmene (JAKUŠ 1998b). Z pohledu lýkožrouta smrkového se do tloušťky borky promítá především stáří porostu (KULA & ZĄBECKI 2001). Model pro tloušťku kůry na základě výčetní tloušťky, výšky, věku stromu a sbíhavosti kmene vytvořili LAASASENAHO et al. (2005).

Nejvyšší počet výletových otvorů byl zjištěn ve III. sekci, což odpovídá zhruba počátku koruny (průměrná vzdálenost od paty kmene 21 m). Tento prostor je u lapáků (PFEFFER 1954), ale i stojících stromů (ZUMR 1995) zpravidla prvním místem ataku lýkožroutů. V případě typicky horského habitu smrků v Boubínském pralese s hluboce

zavětvenou korunou však souvisí nejvyšší počet výletových otvorů na této sekci spíše s vhodnou (menší) tloušťkou kůry. GRODZKI (1997) pozoroval nejvyšší napadení lýkožroutem smrkovým v I. sekci, GRODZKI et al. (2006a) pak ve II. sekci. V obou případech se však jednalo o stromy s nižší tloušťkou a stářím (45–124 let). U odlomů byl počet výletových otvorů v jednotlivých sekcích vyšší, ale vzhledem k vzdálenosti od paty kmene více rovnoměrný (s výjimkou I. sekce, která byla stejně jako v případě vývrátů obsazena minimálně). Osluněné vývraty byly napadeny poněkud více než zastíněné, ale statisticky neprůkazně. Rozdíl mezi osluněnými a zastíněnými odlomy byl signifikantní. Vliv oslunění na složení fauny podkorního hmyzu u ležících stromů považuje za významný i JAKUŠ (1998a, 1998c). Efekt oslunění se však vytrácí v prostoru koruny, kde je povrch kůry ovlivněn stínícími větvemi (JAKUŠ 1998b). Pokles počtu výletových otvorů ve IV. sekci tyto závěry podporují.

Horní dvě třetiny kmene byly napadeny více než bazální část. V případě zastíněných kmenů se naznačený trend neprojevoval dostatečně silně a výsledky podporují předpoklad jejich mnohem nižšího využití k vývoji lýkožrouta. Z hlediska polohy byl nejvyšší počet výletových otvorů lýkožrouta smrkového nalezen na osluněné horní oblině kmene, obě boční strany byly využity významně méně. Kůra v této části kmene však bývá v některých případech rozpraskaná a k vývoji nepoužitelná (pers. observ. Žofínský prales 2008).

Míra napadení ležících kmenů a složení merocenózy kambioxylofágního hmyzu závisí na populační hustotě lýkožrouta smrkového před vznikem polomu (KULA & ZĄBECKI 2006, 2010). Na základě odchyty do feromonových lapačů byl stav lýkožrouta smrkového v okolí Boubínského pralesa v roce 2009 zvýšený až kalamitní (během jarního rojení bylo mezi 21. 6. až 31. 7. 2009 odchyceno do 26 lapačů průměrně 3 100 jedinců), zpracované údaje o odchytu lýkožrouta v roce 2008 zatím bohužel k dispozici nejsou. Instalace feromonových lapačů do prostoru rezervace byla ze strany pracovníků lesního závodu Boubín motivována snahou o redukci populace lýkožrouta uvnitř bezzásahového území, ačkoliv je známo, že pomocí feromonových lapačů je možné zachytit pouze 3–10 % populace (WERMELINGER 2004). Navíc se u lapačů velmi silně projevuje tzv. poziční efekt a množství odchycených brouků často nekoresponduje s přítomností stojících napadených stromů (WICHMANN & RAVN 2001). Problematické je i samotné umístění feromonového odparníku do míst s vyloučením zásahu proti kůrovcům. Počet výletových otvorů zjištěný na vývratech, které měly v okruhu 25 m přítomný feromonový lapač, jednoznačně dokládá značné riziko vyplývající z umístění

tohoto typu obranného opatření v prostoru rezervace, resp. v blízkosti dosud atraktivních ležících smrkových kmenů.

Důležitým získaným poznatkem je zjištění počtu jedinců lýkožrouta smrkového, kteří jsou schopni vyvinout se z jednoho kmene. Nejvyšší odhad 1 mil. brouků z jednoho kmene uvádí ze Šumavy FLEISCHER (1875) ex LIŠKA & KNÍŽEK (1999). Z lapáku o délce 23 m a výčetní tloušťce cca 34 cm uvádí PFEFFER (1954) 150–200 tis. brouků, z jiného kmene o délce 25 m a průměru 25 cm (patrně v polovině délky kmene) zmiňuje ZAHRADNÍK (2002) 190 tis. brouků. Oba autoři vycházeli ze shodných předpokladů o průměrném počtu 60 vajíček vykladených jednou samicí a hustotě požerků, přičemž nebrali v úvahu mortalitu během vývoje. Údaj FLEISCHERA (1875) ex LIŠKA & KNÍŽEK (1999) se zdá být značně nadhodnocený, a také údaje PFEFFERA (1954) a ZAHRADNÍKA (2002) nepochybně vycházejí z vyšších odhadů vstupních parametrů ve srovnání s novějšími výzkumy. MATOUŠEK et al. (2012) stanovili např. počet vajíček vykladených jednou samicí na 35 kusů. Také postup přepočtu předpokládaného množství vyvinutých jedinců na celou plochu kmene se jeví jako oprávněný pouze v případě stojících stromů. Z předchozích výsledků totiž vyplývá, že počet výletových otvorů na horní oblině ležících kmenů je mnohem vyšší (cca dvojnásobně) oproti boční straně. Na spodní oblině i v případě, že nebyla v kontaktu s půdou, byly výletové otvory nacházeny pouze ojedinele. Navíc nebyla u většiny kmenů napadena bazální část do vzdálenosti cca 6 m od paty kmene.

Výsledky získané v Boubínském pralese na druhé straně vykazují shodu s údaji KOMONENA et al. (2011), kteří zjišťovali počet výletových otvorů na stojících a ležících kmenech. Po přepočtu na 1 dm<sup>2</sup> uvádějí u stojících stromů 3 výletové otvory a u ležících kmenů 6,5 výletových otvorů. Pokud by byla z údajů zjištěných v Boubínském pralese použita data reprezentující pouze horní osluněné plošky vývrátů bez I. sekcí, které byly obsazeny minimálně, pak by medián počtu výletových otvorů na 1 dm<sup>2</sup> dosahoval hodnoty 3 (aritmetický průměr 5,3).

Se zvyšujícím se rozsahem polomů stoupá ohrožení okolních lesních porostů (LAUSCH et al. 2011), avšak při studiu mortality stromů v porostních okrajích vzniklých odtěžením porostu (PELTONEN 1999) či šířením lýkožrouta smrkového uvnitř NPR Žofínský prales (MODLINGER et al. 2009) nebyl tento obecný trend prokázán. Při nízkém počtu vyvrácených stromů dokládají menší ohrožení okolních porostů i ERIKSSON et al. (2007). Ohrožení lesních porostů v okolí polomu vychází z možnosti využití padlých kmenů lýkožroutem smrkovým pro svůj vývoj. Z tohoto hlediska jsou

nejdůležitější oslunění a tloušťka ležících kmenů. Faktor oslunění se projevoval jednak v podobě stojícího porostu, resp. stromů, které přečkaly ničivý vítr a stínily tak pod nimi ležící kmeny. Druhým způsobem byl efekt označovaný v provozu jako tzv. „polomová bouda“, spočívající ve směrově neuspořádaném kupovitém navrstvení kmenů. Pokud se tedy v prostoru obdélníkového bufferu vyskytuje větší počet vývrátů, pak je osluněných pouze několik horních kmenů nebo jejich částí, zbylé kmeny navršené v několika úrovních nad sebou si vzájemně stíní a snižují tak možnost vývoje lýkožrouta smrkového. Třídění ležících kmenů pomocí CLU a DA tento vzor respektuje a přidává do něj jednak zvýšení atraktivity při vyšším podílu hostitelských kmenů a zároveň její snížení při značné tloušťce ležících kmenů. Míry vlivu těchto faktorů byly určeny na základě reprodukčního úspěchu lýkožrouta, bez stanovení konkrétních hodnot kritérií, pouze s ohledem na maximalizaci diskriminačních schopností funkce.

## 7 Závěr

Na základě "Hlášení o výskytu lesních škodlivých činitelů" (tiskopis L116) za období let 1964 – 1991 byly na území ve správě podnikových ředitelství státních lesů sledovány škody větrem a kůrovci na smrku. Za sledované období činila nahodilá těžba vlivem větru více než 5 násobek kůrovcových těžeb (vítr 70 mil m<sup>3</sup>, kůrovci na smrku 13 mil m<sup>3</sup>). Křížovou korelační funkcí mezi časovými řadami bylo prokázáno zvýšení početnosti lýkožrouta smrkového a nástup gradace, jako následek větrných polomů. Nárůst objemu kůrovcového dříví byl pozorován se zpožděním 1-3 roky.

Křížová korelační funkce mezi časovými řadami, ale prokázala i významný posun škod větrem po kůrovcových těžbách, se zpožděním 1-5 let. Lze předpokládat, že vlivem asanačních kůrovcových těžeb dochází k otevření doposud chráněných porostních stěn vůči bořivým větrům, což vede v těchto místech k vzniku polomů a dalšímu množení lýkožrouta smrkového. Délka posunu je v tomto případě funkcí periody větrných událostí, tedy stochastickou složkou. Porušení statické stability lesních porostů pak může být v blízké budoucnosti považován za jeden z nejdůležitějších aspektů kůrovcových kalamit.

Tlak na urychlené zpracování polomu v lesním provozu může být příčinou vysokých kůrovcových těžeb už ve vegetační sezóně následující po jeho vzniku. Z hlediska účelného managementu ochrany lesa je vhodné doporučit zpracování polomu až po rojení lýkožrouta smrkového a polomové hmoty lze využít jako lapáků.

Biotické i abiotické škodlivé činitele lze pokládat za síly přirozeně vychylující lesní porosty ze sukcese směřující k hypotetickému klimaxu, tj. za disturbance. Užitím vícerozměrných statistických technik bylo možno odhalit skryté souvislosti mezi evidovaným množstvím poškození způsobených jednotlivými lesními škodlivými činiteli. K odhalení vztahů mezi abiotickými vlivy a biotickými škodlivými činiteli byl analyzován výskyt škodlivých faktorů za období 2006–2010, které zahrnuje dvě významné disturbance posledních let, tj. orkán Kyrill (2007) a vichřici Emma (2008). Použity byly údaje z „Ročního hlášení o výskytu lesních škodlivých činitelů“ v členění podle krajů. Pomocí faktorové analýzy byly vytvořeny dvě latentní proměnné, které umožnily dostatečně věrně vyjádřit relativní vztahy mezi škodlivými vlivy. Faktor 1 zde představuje míru vlivu coarse-scale disturbancí lesních porostů, tj. řídkých událostí značné intenzity, jakými jsou například větrné smrště. Faktor 2 vyjadřuje fine-scale

disturbance, které působí stálým selekčním tlakem (stresem), tj. například sucho či václavka smrková. Množství evidovaného poškození podkorním hmyzem na smrku reaguje na nabídku zdrojů a je ovlivněno oběma typy disturbancí. V případě polomových událostí většího rozsahu dochází k akceleraci populačního růstu a značnému zvýšení škod.

Analýzou hlavních komponent a shlukovou analýzou bylo možné rozčlenit jednotlivé kraje České republiky z hlediska charakteru převažujících škodlivých činitelů do čtyř oblastí, od míst s nejvyšším dopadem obou větrných disturbancí a epidemickou populační dynamikou podkorního hmyzu na smrku, až k územím větrem minimálně zasaženým, v nichž převládají škody charakteru chronického stresu.

Prostřednictvím vícerozměrných statistických technik (MLR, PLS, NN) byl predikován očekávaný objem dříví vzniklého v důsledku napadení lýkožroutem smrkovým, přičemž byly využity údaje z hlášení o výskytu lesních škodlivých činitelů mezi lety 2005–2010 v členění podle okresů. Mezi faktory ovlivňující výši kůrovcových těžeb byly zařazeny vítr, sucho, napadení lýkožroutem, resp. václavkou a výměra lesních porostů v režimu ochrany přírody. Za nejlepší predikční model je možno považovat vícenásobnou lineární regresi (MLR s Box-Coxovou transformací) s výslednou regresní rovnicí:  $Podkor\ A = 0,038*NPaNPR + 0,245*vítr\ A-1 + 1,036*podkor\ A-1 - 0,131*podkor\ A-2 - 0,113*vítr\ A-2$ . Byla prokázána souvislost mezi výší škod vyvolaných lýkožroutem smrkovým a větrem, ale i škod způsobených suchem a václavkou. Pomocí nalezeného predikčního modelu je na úrovni pozice lesního správce možno provést kvalifikovaný odhad očekávaného objemu kůrovcového dříví. Byl prokázán významný vliv pasivního managementu kůrovce v chráněných územích na výši napadeného dříví v hospodářských lesích. Ke stanovenému vícerozměrnému lineárnímu regresnímu modelu je však nutno dodat, že není dle charakteristik regresního tripletu zcela korektní.

Hodnocením počtu výletových otvorů lýkožrouta smrkového na ležících kmenech v Boubínském pralese, vzniklých následkem vichřice Emma, byl na odlomech zjištěn významně vyšší reprodukční úspěch v porovnání s vývraty. Osluněné horní oblíny byly více obsazeny, než obě boční strany kmenů. Zastíněné části kmenů byly využívány k vývoji minimálně. Byl zjištěn významný vliv tloušťky kmene na obsazení lýkožroutem smrkovým. Pomocí lineární interpolace bylo zjištěno maximálně 29 000 výletových otvorů na celém hodnoceném kmeni. Byl nalezen významně vyšší počet výletových otvorů na vývratech, které měly v okruhu 25 m přítomný feromonový lapač.



V Boubínském pralese bylo s využitím aktuální mapy stromové situace zjišťováno jaké riziko představuje různý typ polomu z hlediska reprodukce lýkožrouta smrkového a vývoje napadených stromů v nejbližším okolí polomu. Regresní analýzou bylo zjištěno 6 porostních parametrů s významným vlivem na reprodukční úspěch resp. množství vyvinutých dospělců z ležících kmenů. Významné proměnné pocházejí ze tří typů bufferů, kdy je ve čtyřech případech zastoupen kruh o poloměru 60 m a po jedné proměnné obdélník o poloměru 1,5 a 3 m. Kruhový buffer charakterizuje širší okolí polomu z hlediska jeho rozsahu. Čím je větší počet, výčetní kruhová základna či objem ležících stromů, tím jsou příznivější podmínky pro vývoj lýkožrouta smrkového; naopak stojící stromy (jejich výčetní kruhová základna), které přečkaly větrnou událost, snižují atraktivitu polomu resp. ležících kmenů. Obdélníkové buffery reprezentují nejbližší okolí vyvráceného kmene. Pokud se v tomto prostoru vyskytuje větší počet vývrátů, pak je osluněných pouze několik horních kmenů nebo jejich částí, zbylé kmeny navršené v několika úrovních nad sebou si vzájemně stíní a snižují tak možnost vývoje lýkožrouta smrkového.

Pomocí hierarchického shlukování (CLU), bylo vytvořeno 5 skupin ležících kmenů s odlišným reprodukčním úspěchem lýkožrouta smrkového, které byly pro přehlednost barevně označeny. Modrá skupina představuje nejvyšší riziko vzniku přemnožení. Reprezentuje rozsáhlé smrkové polomy uvnitř okolního smrkového porostu. Žlutá skupina představuje menší skupiny polomů uprostřed smíšeného porostu s převahou jehličnanů, kde je riziko vzniku přemnožení relativně vysoké. Zelená skupina již představuje nižší riziko, neboť zastupuje menší skupinky vývrátů složených z různých druhů dřevin ve smíšeném porostu. K černé skupině náleží stromy značných dimenzí, které zpravidla jednotlivě padly pod listnatý porost. Tato skupina nepředstavuje riziko vzniku přemnožení. Poslední nejméně početnou skupinu (červenou) tvoří větší polomy slabších dimenzí, které padly uvnitř smíšeného porostu s převahou listnáčů. Stromy této skupiny představují relativně nízké riziko vzniku přemnožení.

Na hierarchické shlukování dále navázala diskriminační analýza (DA), pomocí které byly odvozeny klasifikační pravidla umožňující třídění objektů do skupin. Výsledkem byla mapa stromové situace zobrazující místa s různým potenciálem k vývoji lýkožrouta smrkového a následným rizikem napadení dosud stojících stromů.

Stromy skutečně napadené během roku 2009 lýkožroutem smrkovým byly konfrontovány s přítomností skupin ležících kmenů klasifikovaných v diskriminační

analýze. Bylo potvrzeno, že červená a černá skupina představují z hlediska možného zdroje dospělců lýkožrouta smrkového minimální riziko pro okolní stojící stromy. Naopak modrou skupinu lze charakterizovat jako akutně rizikovou, žlutou skupinu jako silně rizikovou a zelenou skupinu se zvýšeným rizikem pro okolní stojící porosty.

Nalezené vztahy umožní lépe posoudit riziko vzniku přemnožení podkorního hmyzu po větrné disturbanci v lesních rezervacích ponechaných samovolnému vývoji (popř. v rezervacích s výrazným omezením zásahů v ochraně lesa).

## Seznam literatury a použitých zdrojů

- ANDERBRANT, O. Gallery construction and oviposition of the bark beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) at different breeding densities. *Ecological Entomology*, 1990, vol. 15, no. 1, s. 1–8. ISSN 0307-6946.
- ANDERBRANT, O.; SCHLYTER F. Causes and effects of individual quality in bark beetles. *Holarctic Ecology*, 1989, vol. 12, no. 4, s. 488–493. ISSN 0105-9327.
- ANDERBRANT, O.; SCHLYTER, F.; BIRGERSSON G. Intraspecific competition affecting parents and offspring in the bark beetle *Ips typographus*. *Oikos*, 1985, vol. 45, no. 1, s. 89–98. ISSN 0030-1299.
- ANNILA, E. Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae). *Annales Zoologici Fennici*, 1969, vol. 6, no. 2, s. 161-207. ISSN 0003-455X
- ASTAPENKO, P.D.; KOPÁČEK, J. *Jaké bude počasí?* 1. vyd. Praha : Lidové nakladatelství, 1987. 304 s. ISBN 26-044-87. 13-34.
- BAIER, P. Defense reaction of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) to controlled attacks of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae) in relation to tree parameter. *Journal of Applied Entomology*, 1996, vol. 120, no. 10, s. 587–593. ISSN 0931-2048.
- BAIER, P.; FÜHRER, E.; KIRISITS, T.; ROSNER, S. Defence reactions of Norway spruce against bark beetles and the associated fungus *Ceratocystis polonica* in secondary pure and mixed species stands. *Forest Ecology and Management*, 2002, vol. 159, no. 1–2, s. 73–86. E-ISSN 1872-7042.
- BERRYMAN, A.A. Dynamics of bark beetle populations: towards a general productivity model. *Environmental Entomology*, 1974, vol. 3, no. 4, s. 579–585. ISSN 0046-2268.
- BERRYMAN, A.A. The theory and classification of outbreak. In BARBOSA, P., SCHULTZ, J.C. (eds.). *Insect Outbreak*. 1. vyd. London : Academic Press Inc., 1987, s. 3–30. ISBN 0-12-078148-4.
- BERRYMAN, A.A.; KINDLMANN, P. *Population systems, a general introduction*. 2. vyd. Dordrecht : Springer, 2008. 222 s. ISBN 978-1-4020-6818-8.
- BLUĐOVSKÝ, Z. *40 let socialistického lesního hospodářství ČSR*. 1. vyd. Praha : MLVH ČSR, 1985. 130 s. ISBN 07-101-85.

- BLUĐOVSKÝ, Z.; DOMES, Z. Řízení lesního hospodářství. In BLUĐOVSKÝ, Z. (ed.): *Lesní hospodářství v České republice*. Hradec Králové : LČR, 1998, s. 35–50.
- BOTTERWEG, P.F. The effect of attack density on size, fat content and emergence of the spruce bark beetle *Ips typographus* L. *Zeitschrift für angewandte Entomologie*, 1983, vol. 96, no. 1, s. 47–55. ISSN 0931-2048.
- BOX, G.E.P.; COX, D.R. An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B*, 1964, vol. 26, no. 2, s. 211–252. ISSN: 13697412
- BYERS, J.A. An encounter model of bark beetle populations searching at random for susceptible host trees. *Ecological Modelling*, 1996, vol. 91, no. 1–3, s. 57–66. E-ISSN 1872-7026.
- BYERS, J.A. Chemical Ecology of Bark Beetles. In LIEUTIER, F.; KEITH, D.R.; BATTISTI, A.; GRÉGORIE, J.C.; EVANS, H.F. *Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis*. 1. vyd. Dordrecht-Boston-London : Kluwer Academic Publishers, 2004, s. 89–134. ISBN 1-4020-2240-9.
- Česko. Ministerstvo zemědělství. Vyhláška č. 101 ze dne 28. března 1996, kterou se stanoví podrobnosti o opatřeních k ochraně lesa a vzor služebního odznaku a vzor průkazu lesní stráže. In *Sbírka zákonů České republiky*. 1996, částka 33, s. 1124–1127. Dostupné také z WWW: <[http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=101/1996&typeLaw=zakon&what=Cislo\\_zakona\\_smlouvy](http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=101/1996&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy)>. ISSN 1211-1244.
- Česko. Ministerstvo zemědělství. Vyhláška č. 236 ze dne 18. července 2000, kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 101/1996 Sb., kterou se stanoví podrobnosti o opatřeních k ochraně lesa a vzor služebního odznaku a vzor průkazu lesní stráže. In *Sbírka zákonů České republiky*. 2000, částka 72, s. 3424–3430. Dostupné také z WWW: <[http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=236/2000&typeLaw=zakon&what=Cislo\\_zakona\\_smlouvy](http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=236/2000&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy)>. ISSN 1211-1244.
- Česko. Vláda. Zákon č. 289 ze dne 3. listopadu 1995 o lesích a o změně a doplnění některých zákonů (lesní zákon). 1995, částka 76, s. 3946–3967. Dostupné také z WWW: <[http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=289/1995&typeLaw=zakon&what=Cislo\\_zakona\\_smlouvy](http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=289/1995&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy)>. ISSN 1211-1244.
- Československo. Vláda. Zákon č. 166/1960 ze dne 28. listopadu 1960 o lesích a lesním hospodářství (lesní zákon). In *Sbírka zákonů Československé socialistické*

- republiky*. 1960, částka 72, s. 585–592. Dostupné také z WWW: <<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=1960&typeLaw=zakon&what=Rok&stranka=2>>.
- DESPREZ-LOUSTAU, M.L.; MARCAIS, B.; NAGELEISEN, L.M.; PIOUS, D.; VANNINI, A. Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Annales Forest Science*, 2006, vol. 63, no. 6, s. 597–612. ISSN 1297-966X.
- DOBROVOLNÝ, B. *Technická matematika*. 2. vyd. Praha : Hokr, 1946: 348 s.
- DOLEŽAL, P.; SEHNAL, F. Effects of photoperiod and temperature on development and diapause of the bark beetle *Ips typographus*. *Journal of Applied Entomology*, 2007, vol. 131, no. 3, s. 165–173. ISSN 0931-2048.
- DUELLI, P.; ZAHRADNÍK, P.; KNÍŽEK, M.; KALINOVÁ B. Migration in spruce bark beetles (*Ips typographus* L.) and the efficiency of pheromone traps. *Journal of Applied Entomology*, 1997, vol. 121, no. 6, s. 297–303. ISSN 0931-2048.
- ERIKSSON, M.; NEUVONEN, S.; ROININEN, H. Retention of wind-felled trees and the risk of consequential tree mortality by the European spruce bark beetle *Ips typographus* in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2007, vol. 22, no. 6, s. 516–523. E-ISSN 1651-1891.
- ERIKSSON, M.; NEUVONEN, S.; ROININEN, H. *Ips typographus* (L.) attack on patches of felled trees: “Wind-felled” vs. cut trees and the risk of subsequent mortality. *Forest Ecology and Management*, 2008, vol. 255, no. 3–4, s. 1336–1341. E-ISSN 1872-7042.
- FAIMAN, Z. Monitoring kůrovce prostředky dálkového průzkumu. *Lesnická práce*, 1996, vol. 75, no. 1, s. 11–13. ISSN 0322-9254.
- FABIÁNEK, P. (ed.). *Monitoring stavu lesa v České republice*. 1. vyd. Praha : MZe, VULHM, 2004. 431 s. ISBN 80-86461-23-8.
- FRANCESCHI, V.R.; KROKENE, P.; CHRISTIANSEN, E.; KREKLING, T. Anatomical and chemical defenses of conifer bark against bark beetles and other pest. *New Phytologist*, 2005, vol. 167, no. 2, s. 353–376. ISSN 1469-8137.
- GELADI, P.; KOWALSKI, B.R. Partial least-squares regression: a tutorial. *Analytica Chimica Acta*, 1986, vol. 185, no. 1, s. 1–17. ISSN 0003-2670.
- GILBERT, M.; NAGELEISEN, L.M.; FRANKLIN, A.; GRÉGOIRE, J.C. Post-storm surveys reveal large-scale spatial patterns and influences of site factors, forest structure and diversity in endemic bark-beetle populations. *Landscape Ecology*, 2005, vol. 20, no. 1, s. 35–49. E-ISSN 1572-9761.

- GÖTHLIN, E.; SCHROEDER, L.M.; LINDELÖW, A. 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*, 2002, vol. 15, no. 5, s. 542–549. E-ISSN 1651-1891.
- GRODZKI, W. Changes in the occurrence of bark beetles on Norway spruce in a forest decline area in the Sudety Mountains in Poland. In GRÉGOIRE J. C., LIEBHOLD A.M., STEPHEN F.M., DAY K.R., SALOM S.M. (eds.). *Integrating cultural tactics into the management of bark beetle and reforestation pest*. Proceedings Vallombrosa, Italy, 1.–3. Sep 1996, 236 s. - USDA Forest Service General Technical Report NE, 1997: 105–111.
- GRODZKI, W.; LOCH, J.; ARMATYS, P. Występowanie kornika drukarza *Ips typographus* L. w uszkodzonych przez wiatr drzewostanach świerkowych masywu Kudłonia w Górczańskim Parku Narodowym. *Ochrona Beskidów Zachodnich*, 2006a, vol. 1, s. 125-137. ISSN 1896-2300.
- GRODZKI, W.; STARZYK, J.R.; KOSIBOWITZ, M. Wiatrolomy i owady kambiofagiczne a problemy ochrony drzewostanów świerkowych w Tatrzańskim Parku Narodowym. In MIREK, Z.; GODZIK, B. (eds.). *Przyroda Tatrzańskiego Parku Narodowego a Człowiek. Tom II. Nauki biologiczne*. 1. wyd. Zakopane : Tatrzański Park Narodowy, 2006b, s. 103–112. ISBN 83-85832-95-5.
- GRODZKI, W.; TURČÁNI, M.; JAKUŠ, R.; HLÁSNÝ, T.; RAŠI, R.; MCMANUS, M.L. Bark beetles in the Tatra Mountains. International research 1998-2005 – an overview. *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 2010, vol. 52, no. 2, s. 114–130. ISSN 0071-6677
- HASTIE, T.; TIBSHIRANI, R.; FRIEDMAN, J. *The elements of statistical learning*. 5. wyd. New York : Springer, 2011, s. 745. ISBN 978-0-387-84857-0.
- HAVLÍČEK, V. Vítr. In HAVLÍČEK, V.; COUFAL, V.; ŠPÁNIK, F.; UHRECKÝ, I.; KLABZUBA, J.; KURFÜRST, J.; PROŠEK, P.; BUREŠ, R. *Agrometeorologie*. 1. vyd. Praha : SZN, 1986, s. 124–127. ISBN 07-081-86.
- HAVLÍČEK, V. Vítr. In POLENO, Z. et al. (reds.). *Lesnický naučný slovník. II*. 1. vyd. Ministerstvo zemědělství : Agrospoj, 1995, s. 540. ISBN 80-7084-131-1.
- HEBÁK, P.; HUSTOPECKÝ, J. *Vícerozměrné statistické metody s aplikacemi*. 1. vyd. Praha : SNTL Alfa, 1987. 452 s. ISBN 04-323-87.

- HEBÁK, P.; HUSTOPECKÝ, J.; JAROŠOVÁ, E.; PECÁKOVÁ, I. *Vícerozměrné statistické metody [1]*. 2. přeprac. vyd. Praha : Informatorium, 2007. 253 s. ISBN 978-80-7333-056-9.
- HEGER, A. *Ochrana smrčín proti škodám větrem*. 1. vyd. Praha : SZN, 1957. 96 s.
- HILCZANSKI, J.; JANISZEWSKI, W.; NEGRON, J.; MUNSON, A.S. Stand characteristics and *Ips typographus* (L.) (Col., Cuculionidae, Scolytinae) infestation during outbreak in northern Poland. *Folia Forestalia Polonica, Series A*, 2006, vol. 48, s. 53–64. ISSN 0071-6677.
- HINDLS, R.; HRONOVÁ, S.; SEGER, J.; FISCHER, J. *Statistika pro ekonomy*. 8. vyd. Praha : Professional Publishing, 2007. 415 s. ISBN 978-80-86946-43-6.
- HINTZE, J. L. *NCSS 8*. Kaysville : NCSS, 2012. 2823 s.
- HODAN, L. Vítr nárazovitý. In SOBÍŠEK, B.; KRŠKA, K.; MUNZAR, J.; BEDNÁŘ, J.; HODAN, L.; HORKÝ, Z.; KAKOS, V.; KALVOVÁ, J.; KOPÁČEK, J. (reds.). *Meteorologický slovník terminologický a výkladový*. 1. vyd. Praha : Academia, 1993, s. 363. ISBN 80-85368-45-5.
- HOLUŠA, J.; LIŠKA, J. Hypotéza hynutí smrkových porostů ve Slezsku (Česká republika). *Zprávy lesnického výzkumu*, 2002, vol. 47, no. 1, s. 9-15. ISSN 0322-9688.
- HOLUŠA, J.; LUKÁŠOVÁ, K. Patogeny lýkožroutů rodu *Ips* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae): review. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2012, vol. 57, no. 3, s. 230–240. ISSN 0322-9688.
- HÖSKULDSON, A. PLS regression methods. *Journal of Chemometrics*, 1988, vol. 2, no. 3, s. 211–228. ISSN 0886-9383.
- HŮRKA, K.; ČEPICKÁ, A. *Rozmnožování a vývoj hmyzu*. 1. vyd. Praha : SPN, 1978. 224 s. ISBN 14-085-81.
- HUSOVÁ, M.; MORAVEC, J. Vítr. In MORAVEC, J.; BLAŽKOVÁ, D.; HEJNÝ, S.; HUSOVÁ, M.; JENÍK, J.; KOLBEK, J.; KRAHULEC, F.; KREČMER, V.; KROPÁČ, Z.; NEUHÄUSL, Z.; NEUHÄUSLOVÁ-NOVOTNÁ, Z.; RYBNÍČEK, K.; RYBNÍČKOVÁ, E.; SAMEK, V.; ŠTĚPÁN, J. *Fytopcenologie*. 1. vyd. Praha: Academia, 1994, s. 167–170. ISBN 80-200-0457-2.
- CHRISTIANSEN, E.; BAKKE, A. The spruce bark beetle of Eurasia. In BERRYMAN, A.A. (ed.). *Dynamics of forest insect population: patterns, causes, implications*. 2. vyd. New York : Plenum, 1988, s. 479–503. ISBN 0-306-42745-1.

- CHRISTIANSEN, E.; WARNING, R.H.; BERRYMAN, A.A. Resistance of conifers to bark beetle attack: searching for general relationships. *Forest Ecology and Management*, 1987, vol. 22, no. 1–2, s. 89–106. E-ISSN 1872-7042.
- JAKUŠ, R. Patch level variation on bark beetle attack (Col., Scolytidae) on snapped and uprooted trees in Norway spruce primaveral natural forest in endemic conditions: Species distribution. *Journal of Applied Entomology*, 1998a, vol. 122, no. 2-3, s. 65–70. E-ISSN 1439-0418.
- JAKUŠ, R. Patch level variation on bark beetle attack (Col., Scolytidae) on snapped and uprooted trees in Norway spruce primaveral natural forest in endemic conditions: effects of host and insolation. *Journal of Applied Entomology*, 1998b, vol. 122, no. 8, s. 409–421. E-ISSN 1439-0418.
- JAKUŠ, R. Patch level variation on bark beetle attack (Col., Scolytidae) on snapped and uprooted trees in Norway spruce primaveral natural forest in endemic conditions: proportions of colonized surface and variability of ecological conditions. *Journal of Applied Entomology*, 1998c, vol. 122, no. 9-10, s. 543–546. E-ISSN 1439-0418.
- JAKUŠ, R.; GRODZKI, W.; JEŽÍK, M.; JÁCHYM, M. Definition of spatial patterns of bark beetle *Ips typographus* (L.) outbreak spreading in Tatra Mountains (Central Europe), using GIS. 25–32. In MCMANUS, M.L.; LIEBHOLD, A.M. *Ecology, Survey and Management of Forest Insects*. Proceedings. Krakow 1.5.2002, 2003, 311 s.
- JANČAŘÍK, V. Ochrana lesů. In BLUĐOVSKÝ, Z. (ed.). *Lesní hospodářství v České republice*. 1. vyd. Písek : Matice lesnická, 1998, s. 100–116.
- JANČAŘÍK, V.; KNÍŽEK, M.; LIŠKA, J.; PAŘEZ, J.; PÍCHOVÁ, V.; ŠVEC OVÁ, M.; ZAHRADNÍK, P. Zhodnocení výskytu lesních škodlivých činitelů a jejich očekávaný stav v roce 1991. *Lesnická práce*, 1991, 8 s. ISSN 0322-9254
- JAROŠÍK J. Růst a regulace populací. Praha : Academia, 2005. 170 s. ISBN 80-200-1330-X.
- JELÍNEK, J. *Od Jihočeských pralesů k hospodářským lesům Šumavy*. 1. vyd. Praha : MZe ČR, 2005. 124 s. ISBN 80-7084-341-1.
- JURC, M.; PERKO, M.; DŽEROSKI, S.; DEMŠAR, D.; HRAŠOVEC, B. Spruce bark beetles (*Ips typographus*, *Pityogenes chalcographus*, Col.: Scolytidae) in the Dinaric mountain forest of Slovenia: monitoring and modeling. *Ecological Modeling*, 2006, vol. 194, no. 1–3, Special Issue, s. 219–226. ISSN 0304-3800.
- KAPUŠCIŃSKI, S. Problém kůrovce smrkového (*Ips typographus* L.) v Polsku. *Lesnická práce*, 1950, vol. 29, no. 3–4, s. 150–153. ISSN 0322-9254



- KAUSRUD, K.; ØKLAND, B.; SKARPAAS, O.; GRÉGOIRE, J.C.; ERBILGIN, N.; STENSETH, N.C. Population dynamics in changing environments: the case of an eruptive forest pest species. *Biological Reviews*, 2012, vol. 87, no. 1, s. 34–51. ISSN 1464-7931.
- KAUTZ, M.; DWORSCHAK, K.; GRUPPE, A.; SCHOPF, R. Quantifying spatio-temporal dispersion of bark beetle infestation in epidemic and non-epidemic condition. *Forest Ecology and Management*, 2011, vol. 262, no. 4, s. 598–608. E-ISSN 1872-7042.
- KINDLMANN, P.; MATĚJKA, K.; DOLEŽAL, P. *Lesy Šumavy, lýkožrout a ochrana přírody*. 1. vyd. Praha : Karolinum, 2012. 325 s. ISBN 978-80-246-2155-5.
- KLIKA, J. *Nauka o rostlinných společenstvech (fytocenologie)*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství ČSAV, 1955. 364 s.
- KNÍŽEK, M. Tabulková příloha. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2004, Supplementum, s. 63–79. ISSN 1211-9350.
- KNÍŽEK, M. Podkorní hmyz. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2008, Supplementum, s. 21–33. ISSN 1211-9356.
- KNÍŽEK, M. Podkorní hmyz. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2009, Supplementum, s. 20–31. ISSN 1211-9350.
- KNÍŽEK, M. Kůrovci na smrku. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2010, Supplementum, s. 18–27. ISSN 1211-9350.
- KNÍŽEK, M.; BEAVER, R. Systematics of bark and ambrosia beetle. In LIEUTIER, F.; KEITH, D.R.; BATTISTI, A.; GRÉGORIE, J.C.; EVANS, H.F. *Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis*. 1. vyd. Dodrecht-Boston-London : Kluwer Academic Publishers, 2004, s. 41-54. ISBN 1-4020-2240-9.
- KNÍŽEK, M.; HOLUŠA, J. Podkorní hmyz. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2006, s. 20–31. ISSN 1211-9350.
- KNÍŽEK, M.; HOLUŠA, J. Podkorní hmyz. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2007, Supplementum, s. 21–32. ISSN 1211-9350.
- KNÍŽEK, M.; LUBOJACKÝ, J. Kůrovci na smrku. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2011, Supplementum, s. 19–27. ISSN 1211-9350.
- KNÍŽEK, M.; LUBOJACKÝ, J. Kůrovci na smrku. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2012, Supplementum, s. 20–27. ISSN 1211-9342.
- KNÍŽEK, M.; LIŠKA, J.; MODLINGER, R. Mass outbreak of *Ips typographus* (Coleoptera, Curculionidae: Scolytinae) in Šumava National Park. 75–79. In DELB, H.,

- PONTUALI, S. (eds.). *Biotic risks and climate change in forests*. Proceedings of the Working Party 7.03.10 Methodology of Forest Insect and Disease Survey in Central Europe, 10<sup>th</sup> Workshop. Freiburg, Germany September 20<sup>th</sup>-23<sup>rd</sup> 2010, - Berichte Freiburger Forstliche Forschung, 2012, Heft 89, FVA: 198 s.
- KOMÁREK, J. Studie o kůrovci smrkovém (*Ips typographus*). *Lesnická práce*, 1925, vol. 4, 10 s. ISSN 0322-9254.
- KOMONEN, A.; SCHRODER, L.M.; WESLIEN, J. *Ips typographus* population development after a severe storm in a nature reserve in northern Sweden. *Journal of Applied Entomology*, 2011, vol. 135, no. 1-2. s. 132–141. E-ISSN 1439-0418.
- KOPÁČEK, J. Smršť. In SOBÍŠEK, B.; KRŠKA, K.; MUNZAR, J.; BEDNÁŘ, J.; HODAN, L.; HORKÝ, Z.; KAKOS, V.; KALVOVÁ, J.; KOPÁČEK, J. (reds.). *Meteorologický slovník terminologický a výkladový*. 1. vyd. Praha : Academia, 1993, s. 289. ISBN 80-85368-45-5.
- KOPEČNÝ, K. Vyhláška č. 101 ze dne 28. března 1996, kterou se stanoví podrobnosti o opatřeních k ochraně lesa a vzor služebního odznaku a vzor průkazu lesní strážce. In STANĚK, J. (ed.). *Lesní zákon v teorii a praxi*. 1. vyd. Písek : Matice lesnická, 1997, s. 405–433.
- KORF, V.; HUBAČ, K.; ŠMELKO, Š.; WOLF, J. *Dendrometrie*. 1. vyd. Praha : SZN, 1972. 371 s. ISBN 07-072-72.
- KÖSTER, K.; VOOLMA, K.; JÖGISTE, K.; METSLAID, M.; LAARMANN, D. Assessment of tree mortality after windthrow using photo-derived data. *Annales Botanici Fennici*, 2009, vol. 46, no. 4, s. 291-298.
- KRŠKA, K.; MUNZAR, J. Vítr přízemní. In SOBÍŠEK, B.; KRŠKA, K.; MUNZAR, J.; BEDNÁŘ, J.; HODAN, L.; HORKÝ, Z.; KAKOS, V.; KALVOVÁ, J.; KOPÁČEK, J. (reds.). *Meteorologický slovník terminologický a výkladový*. 1. vyd. Praha : Academia, 1993, s. 364. ISBN 80-85368-45-5.
- KUDELA, M. Hmyzové kalamity v ČSR na jehličnatých dřevinách v letech 1918–1945. *Sborník ČSAZ*, 1946, vol. 19, no. 1–3., s. 330–340.
- KUDELA, M. Vliv kalamit na stav lesů v minulosti. *Památky a příroda*, 1980, vol. 4, s. 228–233. ISSN 0139-9853.
- KUDELA, M. Ochrana lesa v první polovině 20. století. In TLAPÁK, J.; HOŠEK, E. *Vývoj lesnictví v Českých zemích v 1. pol. 20. století*. 1. vyd. Praha : ÚVTIZ, 1984, s. 42–53.

- KULA, E.; ZĄBECKI, W. Kambioxylofágní fauna stojících smrkových zlomů v porostech povodí nádrže Šance. *Beskydy*, 2004, vol. 17, s. 149–154. ISSN 1803-2451.
- KULA, E.; ZĄBECKI, W. Kambioxylofágní fauna smrkových odlomů v území se základním stavem lýkožrouta smrkového. *Beskydy*, 2005, vol. 18, s. 145–150. ISSN 1803-2451.
- KULA, E.; ZĄBECKI, W. Spruce windfalls and cambioxylophagous fauna in an area with basic and outbreak state of *Ips typographus* (L.). *Journal of Forest Science*, 2006, vol. 52, no. 11, s. 497–509. ISSN 1212-4834.
- KULA, E.; ZĄBECKI, W. Attractiveness of spruce for cambioxylophages as related to stand age *Journal of Forest Science*, 2001, vol. 47, no. 2, s. 88–96. ISSN 1212-4834.
- KULA, E.; ZĄBECKI, W. Merocoenoses of cambioxylophagous insect fauna of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) with focus on bark beetles (Coleoptera: Scolytidae) and types of tree damage in different gradation conditions. *Journal of Forest Science*, 2010, vol. 56, no. 10, s. 474–484. ISSN 1212-4834.
- KULA, E.; KAJFOSZ, R.; POLÍVKA, J. Cambioxylophagous fauna of blue spruce (*Picea pungens* Engelmann) in the Krušné hory Mts. (Czech Republic). *Beskydy*, 2009, vol. 2, no. 2, s. 149–156. ISSN 1803-2451.
- KULHANOVÁ, P. Ničivé tornádo na Krnovsku. *Lesnická práce*, 2013, vol. 92, no. 8, s. 506–507. ISSN 0322-9254.
- KUPKA, K. *QCExpert, ADSTAT – Uživatelský manuál, verze 3.2*. 1. vyd. Staré Hradiště : Trilobyte, 2010. 310 s.
- KUPKA, K. *Vícerozměrná analýza a prediktivní metody*. Pracovní sešit k interaktivnímu semináři. 2. vyd. Pardubice : Trilobyte, 2011. 112 s.
- KŮRKOVÁ, V. Aproximace funkcí neuronovými sítěmi. In Mařík, V.; Štěpánková, O.; Lažanský, J. (eds.). *Umělá inteligence (4)*. 1. vyd. Praha : Academia, 2003. 475 s. ISBN 80-200-1044-0.
- ŁASKA, G. The disturbance and vegetation dynamics: a review and an alternative framework. *Plant Ecology*, 2001, vol. 157, no. 1, s. 77–99. E-ISSN 1573-5052.
- LAASASENAHO, J.; MELKAS, T.; ALDÉN, S. Modelling bark thickness of *Picea abies* with taper curves. *Forest Ecology and Management*, 2005, vol. 206, no. 1–3, s. 233–245. E-ISSN 1872-7042.
- LAUSCH, A.; FAHSE, L.; HEURICH, M. Factors affecting the spatio-temporal dispersion of *Ips typographus* (L.) in Bavarian Forest National Park: A long-term quantitative

- landscape-level analysis. *Forest Ecology and Management*, 2011, vol. 261, no. 2, s. 233–245. E-ISSN 1872-7042.
- LIEUTIER, F. Host resistance to bark beetles and its variations. In LIEUTIER, F.; KEITH, D.R.; BATTISTI, A.; GRÉGORIE, J.C.; EVANS, H.F. *Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis*. 1. vyd. Dodrecht-Boston-London : Kluwer Academic Publishers, 2004, s. 135–180. ISBN 1-4020-2240-9.
- LINDNER, A.; MAROSCHEK, M.; NETHERER, S.; KREMER, A.; BARBATI, A.; GARCIA-GONZALOA, J.; SEIDL, R.; DELZOND, S.; CORONAE, P.; KOLSTRO, M.; LEXER, M.J.; MARCHETT, M. Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 2010, vol. 259, no. 4, s. 698–709. E-ISSN 1872-7042.
- LIŠKA, J.; KNÍŽEK, M. K tématu „lýkožrout smrkový na Šumavě“ (faksimile článků A. Fleischera, publikovaných v časopise Vesmír v letech 1875 a 1877). *Zpravodaj ochrany lesa*, 1999, vol. 5, no. 1, s. 1–12. ISSN 1211-9342.
- LIŠKA, J.; PÍCHOVÁ, V.; KNÍŽEK, M.; HOCHMUT, R. Přehled výskytu lesních hmyzích škůdců v Českých zemích. *Lesnický průvodce*, 1991, no. 3, s. 1–37.
- MARTÍNEK, V. Příspěvek k osvětlení problému sesterského pokolení u kůrovce *Ips typographus* L. *Lesnictví*, 1956, vol. 29, no. 9, s. 615–643. ISSN 0024-1105
- MARTÍNEK, V. Problém natality a gradace kůrovce *Ips typographus* L. ve střední Evropě. *Rozpravy ČSAV*, 1961, vol. 71, s. 1–77.
- MATOUŠEK, P.; MODLINGER, R.; HOLUŠA, J.; TURČÁNI, M. Počet vajíček kladených lýkožroutem smrkovým *Ips typographus* (L.) (Coleoptera:Curculionidae: Scolytinae) na stromových lapácích: vliv vybraných faktorů. *Zprávy lesnického výzkumu*, 2012, vol. 57, no. 2, s. 126–132. ISSN 0322-9688.
- MELOUN, M.; MILITKÝ, J. *Statistická analýza experimentálních dat*. 2. uprav. a rozšíř. vyd. Praha : Academia, 2004. 953 s. ISBN 80-200-1254-0.
- MELOUN, M.; MILITKÝ, J. *Kompendium statistického zpracování dat*. 2. přeprac. a rozšíř. vyd. Praha : Academia, 2006. 982 s. ISBN 80-200-1396-2.
- MELOUN, M.; MILITKÝ, J. *Statistical data analysis, a practical guide with 1250 exercises and answer key on CD*. 1. vyd. Cambridge : Woodhead Publishing, 2011. 773 s. ISBN 978-0-85709-109-3.
- MELOUN, M.; MILITKÝ, J.; HILL, M. *Počítačová analýza vícerozměrných dat v příkladech*. 1. vyd. Praha : Academia, 2005. 449 s. ISBN 80-200-1335-0.

- MODLINGER, R. Tabulková příloha. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2007, Supplementum, s. 55–71. ISSN 1211-9350.
- MODLINGER, R. Evidované poškození lesních porostů větrem, sněhem a námrazou (2007). In HRNČIAROVA, T.; MACKOVČIN, P.; ZVARA, I. (eds.). *Atlas krajiny České republiky*. 1. vyd. Praha: MŽP, VÚKOZ, 2009a, s. 280. ISBN 978-80-85116-59-5.
- MODLINGER, R. Historický výskyt lýkožrouta smrkového (*Ips typographus* L.) v Česku na podkladě hlášení L116. In: COYOUS, 24. 3. 2009 Praha Suchdol. ČZU v Praze. Praha: ČZU v Praze, 2009b, s. 248–252.
- MODLINGER, R.; HOLUŠA, J.; LIŠKA, J.; KNÍŽEK, M. Stav populace lýkožrouta smrkového *Ips typographus* (L.) v NPR Žofínský prales (Novohradské hory, Česká republika). *Silva Gabreta*, 2009a, vol. 15, no. 2, s. 143–154. ISSN 1211-7420.
- MODLINGER R.; MUSIL J. Tabulková příloha. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2010, Supplementum, s. 53–66. ISSN 1211-9350.
- MODLINGER, R.; MUSIL, J. Tabulková příloha. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2012, Supplementum, s. 59–73. ISSN 1211-9342.
- MODLINGER, R.; MUSIL, J.; HRABÁNEK, A.; KNÍŽEK, M. Tabulková příloha. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2011, Supplementum, s. 55–69. ISSN 1211-9350.
- MODLINGER, R.; MUSIL, J.; KARÁSEK, B.; KNÍŽEK, M. Tabulková příloha. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2009b, s. 55–68. ISSN 1211-9350.
- MRKVA, R. Management chráněných území z hlediska ochrany lesa. 19–23. In Sborník referátů celostátní konference „Kůrovcová kalamita – střet názorů“. Písek 28.–29. 8. 1997, Písek, Matice lesnická, 1997, 39 s.
- MUSIL, I.; HAMERNÍK, J. *Jehličnaté dřeviny, Lesnická dendrologie 1*. 1. vyd. Praha : Academia, 2007. 352 s. ISBN 978-80-200-1567-9.
- MUSIL, J.; MODLINGER, R.; HRABÁNEK, A. Tabulková příloha. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2008, Supplementum, s. 55–71. ISSN 1211-9350.
- NECHLEBA, A. Regesta (sbírka pramenů) k dějinám výskytu škodlivého hmyzu lesního v Čechách ve starších dobách až do r. 1839. *Lesnická práce*, 1929, vol. 8, s. 321–328. ISSN 0322-9254
- NOŽIČKA, J. *Přehled vývoje našich lesů*. 1. vyd. Praha : SZN, 1957. 459 s.
- NUNBERG, M. *Klucze do oznaczania owadow Polski, Część XIX., Zeszyt 99–100, Korniki – Scolytidae, Wyrzyniki – Platypodidae*. 1. vyd. Wrocław : Panstwowe Wydawnictwo Naukowe, 1981. 115 s. ISBN 83-01-03419-X.

- ØKLAND, B.; BERRYMAN, A. Resource dynamic plays a key role in regional fluctuation of the spruce bark beetle *Ips typographus*. *Agricultural and Forest Entomology*, 2004, vol. 6, no. 2, s. 141–146. ISSN 1461-9563.
- ØKLAND, B.; BJØRNSTAD, O.N. A resource-depletion model of forest insect outbreaks. *Ecology*, 2006, vol. 87, no. 2, s. 283–290. ISSN 1939-9170.
- Organizační struktura Lesů České republiky, s.p. [online]. Hradec Králové : Lesy České republiky, s.p., 2013 [cit. 2013-08-01]. Dostupné z WWW: <  
<http://www.lesy.cz/kontakty/Stranky/default.aspx>>
- PELTONEN, M. Windthrows and dead-standing trees as bark beetle breeding material at forest-clearcut edge. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 1999, vol. 14, no. 6, s. 505–511. ISSN 1651-1891.
- PEŘINA, V. Stav a vývoj lesů v ČSSR. *Sborník ČSAZ*, 1987, vol. 113, s. 86.
- PETŘÍK, M. Vietor. In PETŘÍK, M.; HAVLÍČEK, V.; UHRECKÝ, I. *Lesnická bioklimatologie*. 1. vyd. Bratislava : Příroda, 1986. s. 193–215. ISBN 64-044-86.
- PETŘÍK, M.; HAVLÍČEK, V.; UHRECKÝ, I. *Lesnická bioklimatologie*. 1. vyd. Bratislava : Příroda, 1986. 352 s. ISBN 64-044-86.
- PFEFFER, A. *Kůrovec lýkožrout smrkový a boj proti němu*. 2. vyd. Praha : SZN, 1954. 46 s.
- PFEFFER, A. *Fauna ČSR, svazek 6. Kůrovci – Scolytoidea*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství ČSAV, 1955. 324 s.
- PFEFFER, A. *Kůrovcovití Scolytidae a jádrohlodovití Platypodidae*. 1. vyd. Praha : Academia, 1989. 137 s. ISBN 80-200-0089-5.
- PFEFFER, A. *Zentral – und westpaläarktische Borken – und Kernkäfer (Coleoptera: Scolytidae, Platypodidae)*. 1. vyd. Basel : Pro Entomologia, 1995. 310 s. ISBN 3-9520840-6-9.
- PFEFFER, A.; SKUHRAVÝ, V. Lýkožrout smrkový a jeho problematika /I. *Lesnická práce*, 1995, vol. 74, no. 3–4, s. 21. ISSN 0322-9254.
- PICKETT, S.T.A.; WHITE, P.S. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. New edition. San Diego : Academic Press Inc., 1987. 488 s. ISBN 978-0125545211.
- PLAŠIL, P.; CUDLÍN, P. Population dynamics of eight-toothed spruce bark beetle (*Ips typographus* [L.]) in the area of National Nature Reserve Praděd in 1998–2001. *Journal of Forest Science*, 2005, vol. 51, no. 8, s. 359–370. ISSN 1212-4834.

- POLENO, Z.; VACEK, S. a kol. *Pěstování lesů I. Ekologické základy pěstování lesů*. 1. vyd. Kostelec nad Černými lesy : Lesnická práce, 2007. 315 s. ISBN 978-80-87154-07-6.
- POSTNER, M. *Scolytidae, Borkenkäfer*. In SCHWENKE, W. (ed.). *Die Forstschädlinge Europas, Zweiter Band – Käfer*. 1. vyd. Hamburg-Berlin : Paul Parey, 1974, s. 334–482. ISBN 3-490-11216-4.
- Pravidla pro zpracování teze disertační práce, autoreferátu a disertační práce uplatňované na FLD od 1. 8. 2013*. Směrnice děkana č. 5/2013. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze Fakulta lesnická a dřevařská, 2013. 24 s.
- PROŠEK, P.; HAVLÍČEK, V. Vertikální profil větru v přízemní atmosféře. In HAVLÍČEK, V.; COUFAL, V.; ŠPÁNIK, F.; UHRECKÝ, I.; KLABZUBA, J.; KURFÜRST, J.; PROŠEK, P.; BUREŠ, R. *Agrometeorologie*. 1. vyd. Praha : SZN, 1986, s. 193–195. ISBN 07-081-86.
- PRŮŠA, E. *Die böhmischen und mährischen Urwälder – ihre Struktur und Ökologie*. 1. vyd. Praha : Academia, 1985. 580 s. ISBN 21-095-84.
- PYTELA, O. *Chemometrie pro organické chemiky*. 5. vyd. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2009. 211 s. ISBN 978-80-7395-422-2.
- RAFFA, K.F.; BERRYMAN, A.A. The role of host plant resistance in the colonization behavior and ecology of bark beetles (Coleoptera: Scolytidae). *Ecological Monographs*, 1983, vol. 53, no. 1, s. 27–49. ISSN 0012-9615.
- Rámcové směrnice ochrany lesů*. Praha : MZLVH, 1965. 153 s.
- ROUAULT, G.; CANDAU, J.N.; LIEUTIER, F.; NAGELEISEN, L.M.; MARTIN, J.C.; WARZÉE, N. Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Annales Forest Science*, 2006, vol. 63, no. 6, s. 613–624. ISSN 1297-966X.
- SAUVARD, D. General biology of bark beetles. In LIEUTIER, F.; KEITH, D.R.; BATTISTI, A.; GRÉGORIE, J.C.; EVANS, H.F. *Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis*. 1. vyd. Dodrecht-Boston-London : Kluwer Academic Publishers, 2004, s. 63–88. ISBN 1-4020-2240-9.
- SEIDL, R.; FERNANDES, P.M.; FONSECA, T.; GILLET, F.; JÖNSSON, A.M.; MERGANIČOVÁ, K.; NETHERER, S.; ARPACI, A.; BONTEMPS, J.D.; BUGMANN, H.; GONZÁLES-OLABARRIA, J.R.; LASCH, P.; MEREDIEU, C.; MOREIRA, F.; SCHELHAAS, M.J.; MOHREN, F. Modelling natural disturbances in forest ecosystems: a review. *Ecological Modelling*, 2011, vol. 222, no. 4, s. 903–924. E-ISSN 1872-7026.

- SCHELHAAS, M.J.; NABUURS, G.J.; SCHUCK, A. Natural disturbances in the European forest in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 2003, vol. 9, no. 11, s. 1620–1633. ISSN 1365-2486.
- SCHLYTER, F.; ANDERBRANT, O. Mass attack of trees by *Ips typographus* induced by sex-specific pheromone: a model of attack dynamics. *Holarctic Ecology*, 1989, vol. 12, no. 4, s. 415–426. ISSN 0105-9327.
- SCHROEDER, M.L. Tree mortality by the bark beetle *Ips typographus* (L.) in storm-disturbed stands. *Integrated Pest Management Reviews*, 2001, vol. 6, no. 3-4, s. 169-175. ISSN 1353-5226
- SCHROEDER, M.L.; LINDELÖW, A. Attacks on living spruce trees by the bark beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) following a storm-felling: a comparison between stands with and without removal of wind-felled trees. *Agricultural and Forest Entomology*, 2002, vol. 4, no. 1, s. 47–56. ISSN 1461-9563.
- SKUHRAVÝ, V. *Lýkožrout smrkový (Ips typographus L.) a jeho kalamity*. 1. vyd. Praha : Agrospoj, 2002. 196 s. ISBN 80-7084-238-5.
- SKUHRAVÝ, V.; ŠROT, M. Kalamita lýkožrouta smrkového v ČSR v letech 1982–1986. *Lesnická práce*, 1988, vol. 67, no. 6, s. 263–269. ISSN 0322-9254.
- SOBÍŠEK, B. Vítr. In SOBÍŠEK, B.; KRŠKA, K.; MUNZAR, J.; BEDNÁŘ, J.; HODAN, L.; HORKÝ, Z.; KAKOS, V.; KALVOVÁ, J.; KOPÁČEK, J. (reds.). *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. 1. vyd. Praha : Academia a MŽP, 1993, s. 360. ISBN 80-85368-45-5.
- Směrnice ochrany lesů*. Praha : MZLaD a SZN, 1953. 81 s.
- Směrnice pro zdolávání polomové a kůrovcové kalamity v roce 1955. Závazné pro lesní hospodářství v českých krajích*. Praha : SZN, 1955. 19 s.
- Směrnice pro hlášení o výskytu lesních škodlivých činitelů, kontrolu a prognózu kalamitních škůdců. In *Sbírka pokynů Státních lesů*. 1963, čl. 100.
- Species Fungorum* : <http://www.speciesfungorum.org/>
- STADELMANN, G.; BUGMANN, H.; MEIER, F.; WERMELINGER, B.; BIGLER, Ch. Effects of salvage logging and sanitation felling on bark beetle (*Ips typographus* L.) infestation. *Forest Ecology and Management*, 2013a, vol. 305, s. 273–281. E-ISSN 1872-7042.2013
- STADELMANN, G.; BUGMANN, H.; MEIER, F.; WERMELINGER, B.; BIGLER, Ch. E. A predictive framework to assess spatio-temporal variability of infestation by the European spruce bark beetle. *Ecography*, 2013b, (in press) E-ISSN 1600-0587



- StatSoft, Inc. Electronic Statistics Textbook. Tulsa, OK: StatSoft, 2013. WEB:  
<http://www.statsoft.com/textbook/>.
- ŠÍMA, J.; NERUDA, R. *Teoretické otázky neuronových sítí*. 1. vyd. Praha : Matfyzpress, 1996. 390 s. ISBN 80-85863-18-9.
- ŠPÁNIK, F. Větrné poměry. In HAVLÍČEK, V.; COUFAL, V.; ŠPÁNIK, F.; UHRECKÝ, I.; KLABZUBA, J.; KURFÜRST, J.; PROŠEK, P.; BUREŠ, R. *Agrometeorologie*. 1. vyd. Praha : SZN, 1986, s. 160. ISBN 07-081-86.
- THALENHORST, W. Grundzüge der Populationsdynamik des Großen Fichtenborkenkäfers *Ips typographus* L. *Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät Universität*, 1958, vol. 21, s. 1–126.
- TKADLEC, E. *Populační ekologie. Struktura, růst a dynamika populací*. 1. vyd. Olomouc : Univerzita Palackého, 2008. 400 s. ISBN 978-80-244-2149-0.
- TOLASZ, R.; MÍKOVÁ, T.; VALERIÁNOVÁ, A; VOŽENÍLEK, V. et al. *Atlas podnebí Česka*. 1. vyd. Praha, Olomouc : Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého, 2007. 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.
- VICENA, I. Vít bořivý. In POLENO, Z. et al. (reds.). *Lesnický naučný slovník. II*. 1. vyd. Ministerstvo zemědělství : Agrospoj, 1995, s. 540. ISBN 80-7084-131-1.
- VICENA, I. Abiotičtí škodliví činitelé. In: KŘÍSTEK, J. a kol. *Ochrana lesů a přírodního prostředí*. Písek : Matice lesnická, 2002, s. 14–68. ISBN 80-86271-08-0.
- VICENA, I.; PAŘEZ, J.; KONÔPKA, J. *Ochrana lesa proti polomům*. 1. vyd. Praha : Ministerstvo lesního a vodního hospodářství v SZN, 1979. 244 s. ISBN 07-086-79.
- VOLF, R. Tabulková příloha. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2004, Supplementum, s. 55–71. ISSN 1211-9350.
- VRŠKA, T.; HORT, L.; ODEHNALOVÁ, P.; HORAL, D.; ADAM, D. The Boubín virgin forest after 24 years (1972–1996) – development of tree layer. *Journal of Forest Science*, 2001, vol. 47, no. 10, s. 439–459. ISSN 1212-4834.
- VRŠKA, T.; ŠAMONIL, P.; UNAR, P.; HORT, L.; ADAM, D.; KRÁL, K.; JANÍK, D. *Dynamika vývoje pralesovitých rezervací v České republice III. Šumava a Český les – Diana, Stožec, Boubínský prales, Milešický prales*. 1. vyd. Praha : Academia, 2012. 238 s. ISBN 978-80-200-1907-3.
- WAINHOUSE, D. *Ecological methods in forest pest management*. 2. vyd. Oxford : Oxford University Press, 2008. 228 s. ISBN 978-0-19-850564-8.

- WELLENSTEIN, G. *Die Große Borkenkäferkalamität in Südwestdeutschland 1944–1951*. 1. vyd. Ringingen : Selbstverlag der Forstschutzstelle Südwest, 1954. 496 s.
- WERMELINGER, B. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 2004, vol. 202, no. 1–3, s. 67–82. E-ISSN 1872-7042.
- WERMELINGER, B.; SEIFERT, M. Temperature-dependent reproduction of the spruce bark beetle *Ips typographus*, and analysis of the potential population growth. *Ecological Entomology*, 1999, vol. 24, no. 1, s. 103–110. ISSN 0307-6946.
- WESLIEN, J. Interaction within and between species at different densities of the bark beetle *Ips typographus* and its predator *Thanasimus formicarius*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1994, vol. 71, no. 2, s. 133–143. ISSN 0013-8703
- WICHMANN, L.; RAVN, H.P. The spread of *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytidae) attacks following heavy windthrow in Denmark, analyse using GIS. *Forest Ecology and Management*, 2001, vol. 148, no. 1–3, s. 31–39. E-ISSN 1872-7042.
- WULDER, M.A.; DYMOND, C.C.; WHITE, J. Remote sensing in the survey of mountain pine beetle impacts: Review and recommendations. 1. vyd. Victoria : Canadian Forest Service, Information Report BC-X-401, 2005. 55 s. ISBN 0-662-40055-0.
- ZAHRADNÍK, P. Počet jedinců, kteří se mohou vyvinout na jednom smrku. In: SKUHRAVÝ V. *Lýkožrout smrkový (Ips typographus L.) a jeho kalamity*. 1. vyd. Praha : Agrospoj, 2002. s. 27–28. ISBN 80-7084-238-5.
- ZAHRADNÍK, P. *Základy ochrany lesa v praxi*. 1. vyd. Strnady : VÚLHM, 2005. 128 s. ISSN 80-86461-61-0.
- ZAHRADNÍK, P.; KAPITOLA, P. Povětrnostní podmínky. *Zpravodaj ochrany lesa*, 2004, Supplementum, s. 7–13. ISSN 1211-9350.
- ZAHRADNÍK, P.; KNÍŽEK, M. Lýkožrout smrkový *Ips typographus* (L.). *Lesnická práce*, 2000, vol. 79, no. 10, s. I–VIII. ISSN 0322-9254.
- ZELENÝ, J. Predátoři a parazitoidi. In: SKUHRAVÝ V. *Lýkožrout smrkový (Ips typographus L.) a jeho kalamity*. 1. vyd. Praha : Agrospoj, 2002. s. 92–97. ISBN 80-7084-238-5.
- ZICHA, O. (ed.). *BioLib : Biological Library* [online]. [1999–2013] [cit. 2013-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.biolib.cz>>.
- ZUMR, V. *Lýkožrout smrkový – biologie prevence a metody boje*. 1. vyd. Písek : Matice lesnická, 1995: 131 s. ISBN 80-900043-2-9.

## Seznam příloh

- Příloha 1 – Hlášení o výskytu lesních škodlivých činitelů L116
- Příloha 2 – Roční hlášení o výskytu škodlivých činitelů
- Příloha 3 – Roční hlášení o výskytu lesních škodlivých činitelů za rok ...
- Příloha 4 – Ukázka mapy organizačního členění státních lesů (1971)
- Příloha 5 – Ukázka mapy organizačního členění státních lesů (1986)
- Příloha 6 – Hodnoty čtverců reziduí porovnávaných predikčních modelů
- Příloha 7 – Hodnoty absolutních reziduí porovnávaných predikčních modelů
- Příloha 8 – Objem nahodilých těžeb (1964–1991) zapříčiněných větrem
- Příloha 9 – Objem kůrovcových těžeb (1964–1991)
- Příloha 10 – Diagramy křížových korelačních funkcí mezi časovými řadami objemů škod způsobených větrem a objemů kůrovcových těžeb (1964–1991)
- Příloha 11 – EDA – krabicové grafy pro vybrané škodlivé činitele (znaky) působící v letech 2006–2010
- Příloha 12 – Sutinové grafy a tabulky vlastních čísel při redukci proměnných v PCA
- Příloha 13 – Tabulka vlastních čísel korelační matice FA a tabulky faktorových zátěží před a po rotaci
- Příloha 14 – Exploratorní analýza dat pro potřeby regrese
- Příloha 15 – Výsledky Boxovy-Coxovy transformace regresních proměnných
- Příloha 16 – Kritika metody regrese u netransformovaných dat (QC.Expert 3.2)
- Příloha 17 – Kritika metody regrese u transformovaných dat (QC.Expert 3.2)
- Příloha 18 – Protokol analýzy PLS-R
- Příloha 19 – Protokol tvorby NN
- Příloha 20 – Grafy komponentních vah PCA pro kruhové buffery o poloměru 10, 20, 25, 40 a 60 m (střed stojící kůrovcový strom napadený v roce 2009)
- Příloha 21 – K-W a Dunnův test pro výčetní kruhovou základnu a objem ležících kmenů v kruhovém bufferu o poloměru 60 m (střed stojící kůrovcový strom napadený v roce 2009)



## **Příloha 2** – Roční hlášení o výskytu škodlivých činitelů

Roční hlášení o výskytu škodlivých činitelů			
Hmyzí škůdce	Kód	Výskyt (m3, ha)	Ošetřeno m3, ha
		zvýšený	kalamitní
Lýkožrout smrkový	111		
Lýkožrout lesklý	112		
Klikoroh borový	113		
Ploskohřbetky na smrku	114		
Bekyně mniška	115		
Obaleč modřínový	116		

**Příloha 3** – Roční hlášení o výskytu lesních škodlivých činitelů za rok ...

**ROČNÍ HLÁŠENÍ O VÝSKYTU LESNÍCH ŠKODLIVÝCH ČINITELŮ ZA ROK .....**

Lesní správa .....  
(uveďte prosím kontaktní adresu a tel. spojení)

Výměra lesních porostů (ha): .....  
Okres: .....  
(uveďte okres, kam spadá největší část výměry lesních porostů)

**1. Abiotické vlivy:**

		Plocha [ha]	Objem [m <sup>3</sup> ]	Poznámka
Polomy	větrové	x		
	sněhové	x		
	námrazou	x		
Ostatní	exhalace			
	sucho			
	mráz		x	
	požáry			
	jiné			

**2. Podkorní hmyz:**

	Objem* [m <sup>3</sup> ]	Lapače [ks]	Lapáky [m <sup>3</sup> ]	Odkorněno [m <sup>3</sup> ] na lokalitě P	Chemicky asanováno [m <sup>3</sup> ] na lokalitě P
l. smrkový, l. menší a l. lesklý					
l. severský					
l. vrcholkový (na borovici)					
krasci (na borovici)					
lýkohub sosnový a l. menší					
lýkožrout borový					
lýkožrouti na jedli					

\* včetně lapáků

**3. Listožravý a ostatní hmyz:**

	Výskyt [ha]		Z toho ošetřeno [ha]		Kontrola [ha]	Poznámka
	slabý	silný	letecky	pozemně		
bekyně mniška						
ploskohřbetky na smrku						
pilatky na smrku						
obaleč modřínový						
housenky na dubech						
klikoroh borový						

**4. Ostatní činitelé:**

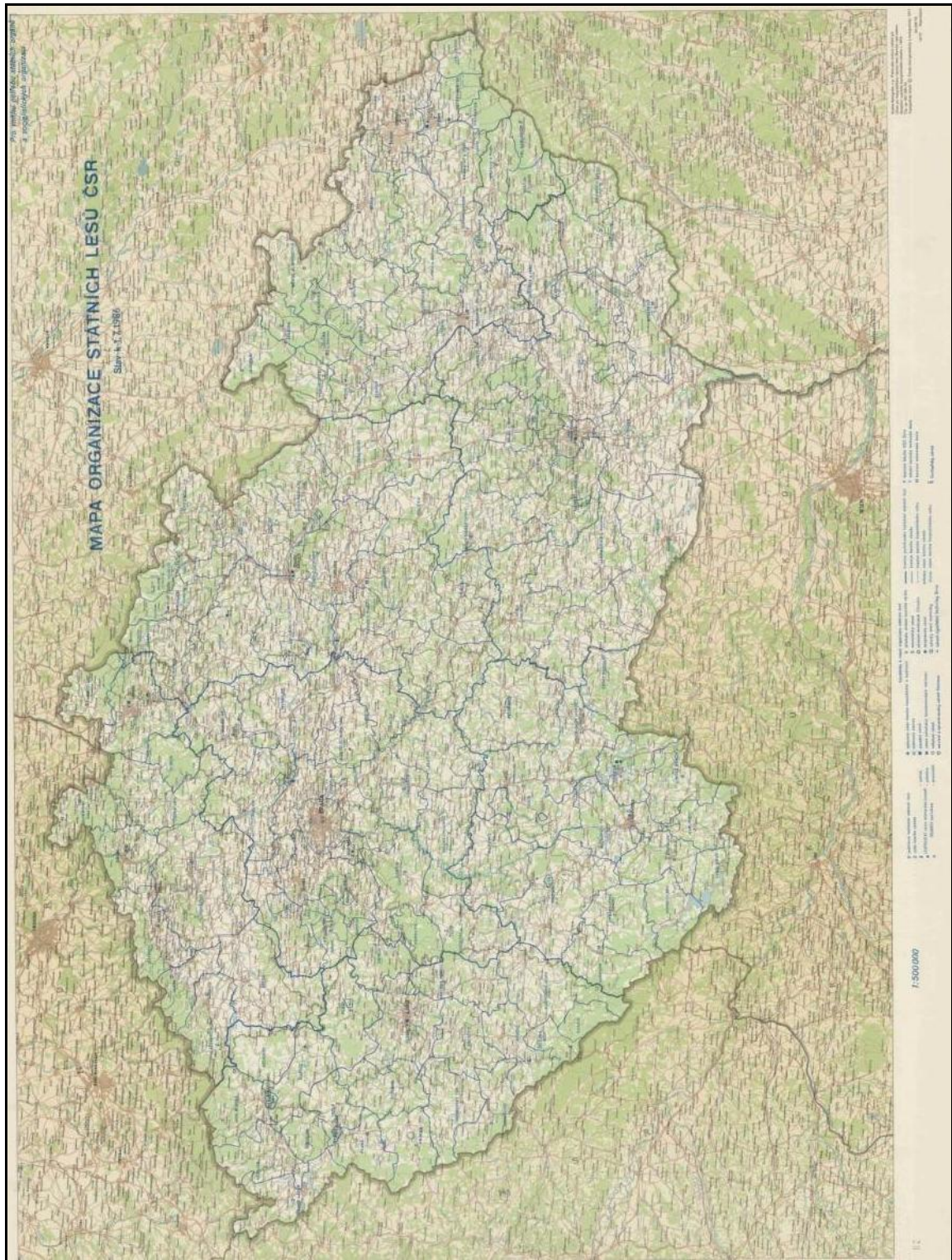
	Plocha [ha]	Poznámka
drobní hlodavci		
václavka		
sypavka		
žloutnutí smrku		
odumírání modřínu		
buku		

Datum .....

Vypracoval .....



**Příloha 5** – Ukázka mapy organizačního členění státních lesů (1986)





**Příloha 6** – Hodnoty čtverců reziduí porovnávaných predikčních modelů pro jednotlivé okresy

Okres	Čtverec reziduí			
	MLR	MLR Box-Cox	PLS	NN
Benešov	345 119 139	244 173 815	415 478 455	41 987 056
Beroun	23 104 701	8 519 389	22 961 224	4 819 884
Blansko	5 781 255	3 038	14 266 080	183 230
Brno - město	4 009 827	6 332 929	10 468 773	1 000 692
Brno - venkov	16 160 204	112 212	12 825 100	6 599 004
Bruntál	32 436 103	3 385 282	346 973 444	614 809 006
Břeclav	265 584	257	556 098	2 644 697
Česká Lípa	41 970 966	6 684 691	143 966 797	1 619 799
České Budějovice	370 680 907	230 727 994	981 503 611	4 983 593
Český Krumlov	822 138 561	318 311 122	2 806 703 919	25 256 178
Děčín	234 631 741	48 612 469	422 429 883	10 147 331
Domažlice	14 096 401	37 142 363	195 320 759	18 008 475
Frydek - Místek	4 642 155	13 360 058	120 674 326	16 658 118
Havlíčkův Brod	614 643 296	449 022 463	844 293 887	134 544 488
Hlavní město Praha	38 832	7 145	786 787	2 158 354
Hodonín	53 509	51 256	625 494	1 973 157
Hradec Králové	1 681	8 846	500 198	17 019
Cheb	14 377 114	18 056 959	94 639 876	1 675 828
Chomutov	1 043 745	1 980	1 170	3 052 242
Chrudim	194 093 531	51 413 722	343 097 974	3 603 096
Jablonec n. Nisou	3 541 861	1 049 634	2 956 722	787 983
Jeseník	4 047 129	6 002	723 042	36 020 321
Jičín	239 016	909 856	349 480	1 036 940
Jihlava	12 064 698	10 256 096	22 123 055	372 047
Jindřichův Hradec	246 933 860	168 765 541	646 172 528	3 823
Karlovy Vary	147 023 085	86 757 194	472 817 671	18 884 940
Karviná	32 571	3 775	524 164	866 833
Kladno	136 370	29 680	33 545	1 420 048
Klatovy	1 958 139 214	561 927 865	4 361 852 269	4 705 470 935
Kolín	369 791	416 976	12 818	93 031
Kroměříž	103 522	67 122	276 341	112 378
Kutná Hora	575 799 911	110 428 338	687 967 259	27 762 712
Liberec	5 807 068	1 561 500	11 580 099	482 443
Litoměřice	483 344	45 966	213 085	3 010 634
Louny	505 287	136 638	58 190	2 327 921
Mělník	143 508	3 771	245 745	1 018 281
Mladá Boleslav	483 320	62 845	110 188	372 755
Most	4 902	1 073	1 470 011	2 573 814

Okres	Čtverec reziduí			
	MLR	MLR Box-Cox	PLS	NN
Náchod	20 438 004	1 993 562	78 820 491	121 263
Nový Jičín	25 979 861	27 220 987	6 567 283	118 229 521
Nymburk	640 515	976 222	9 146	578 782
Olomouc	62 753 995	2 847 527	69 285 716	46 937 828
Opava	9 035 026	11 762 505	226 646 889	3 970 797
Ostrava - město	365 884	4 425	202 354	1 850 193
Pardubice	14 465 313	4 592 642	16 745 220	519 227
Pelhřimov	13 444 714	666 458	66 278 150	539 859
Písek	67 474	1 463 375	4 870 827	1 263 170
Plzeň - jih	9 890 838	5 746 485	158 240 384	1 882 806
Plzeň - město	117 400	331 076	11 375	2 430 372
Plzeň - sever	8 180 033	6 375 999	32 142 288	1 318 201
Praha - východ	1 714 412	1 412 131	4 092 978	1 431
Praha - západ	2 162 231	425 958	1 931 646	1 058 086
Prachatice	746 280 679	1 552 352 212	4 645 541 721	7 333 312 877
Prostějov	639 806	198 418	22	785 959
Přerov	227 130	172	148	479 984
Příbram	6 304 952	4 091 970	36 622 307	392 007
Rakovník	1 942 842	970 599	2 345 520	1 651 314
Rokycany	146 161	176 765	8	27 395
Rychnov n. K.	1 268 065	40 886	6 373 107	328 494
Semily	204 061 357	3 472 646	277 343 610	2 325 999
Sokolov	17 176 413	15 873 012	66 264 571	515 504
Strakonice	91 918	105 845	27 013	222 665
Svitavy	1 625 999	1 383 573	4 001 776	3 179 598
Šumperk	30 776 040	74 511 873	264 759 405	21 724 381
Tábor	25 697 889	12 004 343	65 086 627	2 998 945
Tachov	56 695 731	30 261 840	768 214 751	20 497 402
Teplice	2 644	10 266	932 845	1 935 207
Trutnov	791 223 091	61 237 769	1 360 093 899	138 845
Třebíč	7 518 315	1 987 884	13 133 954	787 101
Uherské Hradiště	596 788	13 465	408 767	420 843
Ústí nad Labem	31 195	15 858	137 191	1 582 130
Ústí nad Orlicí	7 890 820	2 758 452	49 269 276	12 607 954
Vsetín	13 053 747	1 583 315	14 598 347	1 585 712
Vyškov	5 885 226	3 489	2 039 367	9 408 702
Zlín	3 764 364	391 327	2 110 634	3 695 867
Znojmo	81 317 387	1 122 972	96 687 172	1 071 328
Žďár nad Sázavou	2 788 367	142 656	3 269 406	3 053

**Příloha 7** – Hodnoty absolutních reziduí porovnávaných predikčních modelů pro jednotlivé okresy

Okres	Absolutní reziduum			
	MLR	MLR Box-Cox	PLS	NN
Benešov	18 577	15 626	20 383	6 480
Beroun	4 807	2 919	4 792	2 195
Blansko	2 404	55	3 777	428
Brno - město	2 002	2 517	3 236	1 000
Brno - venkov	4 020	335	3 581	2 569
Bruntál	5 695	1 840	18 627	24 795
Břeclav	515	16	746	1 626
Česká Lípa	6 479	2 585	11 999	1 273
České Budějovice	19 253	15 190	31 329	2 232
Český Krumlov	28 673	17 841	52 978	5 026
Děčín	15 318	6 972	20 553	3 185
Domažlice	3 755	6 094	13 976	4 244
Frýdek - Místek	2 155	3 655	10 985	4 081
Havlíčkův Brod	24 792	21 190	29 057	11 599
Hlavní město Praha	197	85	887	1 469
Hodonín	231	226	791	1 405
Hradec Králové	41	94	707	130
Cheb	3 792	4 249	9 728	1 295
Chomutov	1 022	44	34	1 747
Chrudim	13 932	7 170	18 523	1 898
Jablonec n. Nisou	1 882	1 025	1 720	888
Jeseník	2 012	77	850	6 002
Jičín	489	954	591	1 018
Jihlava	3 473	3 203	4 704	610
Jindřichův Hradec	15 714	12 991	25 420	62
Karlovy Vary	12 125	9 314	21 744	4 346
Karviná	180	61	724	931
Kladno	369	172	183	1 192
Klatovy	44 251	23 705	66 044	68 596
Kolín	608	646	113	305
Kroměříž	322	259	526	335
Kutná Hora	23 996	10 508	26 229	5 269
Liberec	2 410	1 250	3 403	695
Litoměřice	695	214	462	1 735
Louny	711	370	241	1 526
Mělník	379	61	496	1 009
Mladá Boleslav	695	251	332	611
Most	70	33	1 212	1 604

Okres	Absolutní reziduum			
	MLR	MLR Box-Cox	PLS	NN
Náchod	4 521	1 412	8 878	348
Nový Jičín	5 097	5 217	2 563	10 873
Nymburk	800	988	96	761
Olomouc	7 922	1 687	8 324	6 851
Opava	3 006	3 430	15 055	1 993
Ostrava - město	605	67	450	1 360
Pardubice	3 803	2 143	4 092	721
Pelhřimov	3 667	816	8 141	735
Písek	260	1 210	2 207	1 124
Plzeň - jih	3 145	2 397	12 579	1 372
Plzeň - město	343	575	107	1 559
Plzeň - sever	2 860	2 525	5 669	1 148
Praha - východ	1 309	1 188	2 023	38
Praha - západ	1 470	653	1 390	1 029
Prachatice	27 318	39 400	68 158	85 635
Prostějov	800	445	5	887
Přerov	477	13	12	693
Příbram	2 511	2 023	6 052	626
Rakovník	1 394	985	1 532	1 285
Rokycany	382	420	3	166
Rychnov n. K.	1 126	202	2 525	573
Semily	14 285	1 864	16 654	1 525
Sokolov	4 144	3 984	8 140	718
Strakonice	303	325	164	472
Svitavy	1 275	1 176	2 000	1 783
Šumperk	5 548	8 632	16 271	4 661
Tábor	5 069	3 465	8 068	1 732
Tachov	7 530	5 501	27 717	4 527
Teplice	51	101	966	1 391
Trutnov	28 129	7 825	36 879	373
Třebíč	2 742	1 410	3 624	887
Uherské Hradiště	773	116	639	649
Ústí nad Labem	177	126	370	1 258
Ústí nad Orlicí	2 809	1 661	7 019	3 551
Vsetín	3 613	1 258	3 821	1 259
Vyškov	2 426	59	1 428	3 067
Zlín	1 940	626	1 453	1 922
Znojmo	9 018	1 060	9 833	1 035
Žďár nad Sázavou	1 670	378	1 808	55

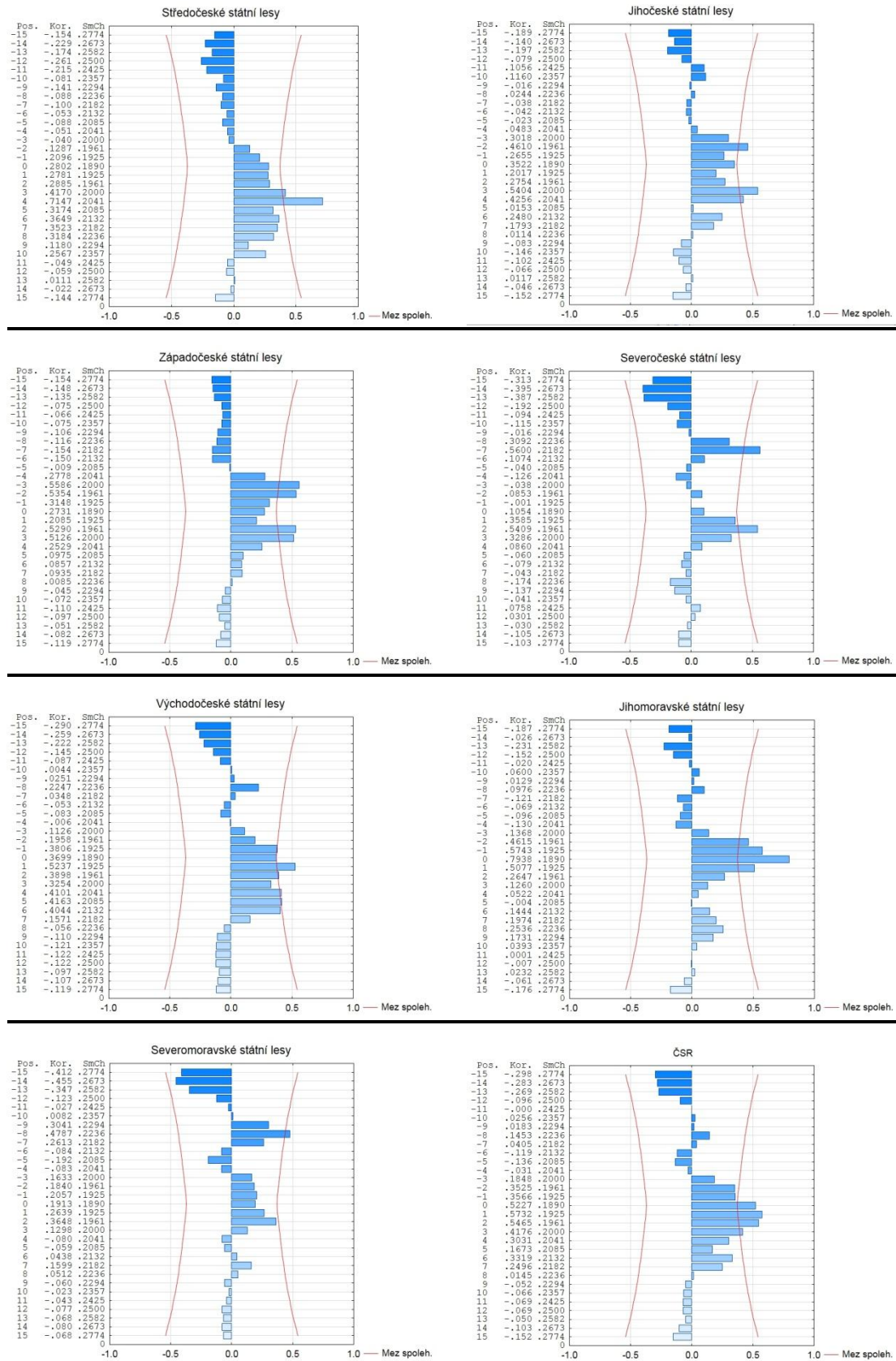
**Příloha 8** – Objem nahodilých těžeb (1964–1991) zapříčiněných větrem

<i>Vítr</i>	Sředočeské	Jihočeské	Západočeské	Severočeské	Východočeské	Jihomoravské	Severomoravské
1964	5 531	40 678	40 107	113 907	59 045	50 133	178 156
1965	15 331	77 179	99 772	87 267	68 601	207 501	488 302
1966	26 232	92 968	150 565	157 514	139 452	80 883	361 612
1967	268 359	510 758	1 228 786	230 507	844 651	119 608	347 618
1968	61 262	108 337	312 212	118 653	121 082	145 076	313 463
1969	15 318	61 025	125 483	53 615	80 098	90 279	167 543
1970	20 222	73 195	90 977	53 760	90 279	49 746	220 447
1971	27 787	36 176	114 589	129 180	114 732	38 096	211 609
1972	50 118	148 449	236 878	143 119	190 401	230 955	583 243
1973	32 512	79 723	205 370	80 320	176 644	81 925	247 179
1974	87 512	163 189	209 375	97 418	208 275	152 195	501 676
1975	94 449	201 707	256 461	67 973	191 426	213 209	790 702
1976	290 272	930 784	474 813	608 365	767 659	1 196 583	929 257
1977	117 574	290 466	200 479	244 402	275 232	358 462	519 209
1978	99 211	249 244	196 442	284 590	291 481	184 091	438 607
1979	94 121	162 264	113 896	201 865	149 671	115 933	325 107
1980	135 893	156 468	215 926	190 748	263 602	118 336	554 332
1981	193 063	258 385	187 501	193 276	340 707	195 661	569 334
1982	135 029	304 413	207 598	134 700	345 554	150 432	568 370
1983	257 926	469 482	472 596	139 964	654 382	208 750	580 990
1984	500 504	1 153 257	1 309 613	247 448	499 521	1 367 886	457 621
1985	470 497	1 142 968	1 556 636	437 601	1 016 530	1 512 828	881 969
1986	386 476	574 674	872 364	253 821	622 165	890 456	758 742
1987	260 322	445 608	709 083	176 200	591 118	678 574	547 289
1988	181 847	551 702	379 917	151 376	680 809	480 582	450 389
1989	152 095	383 211	314 021	121 563	785 049	426 797	534 430
1990	762 880	2 311 479	1 928 170	275 077	1 001 248	843 868	628 301
1991	315 580	473 372	703 506	160 384	618 798	304 234	699 916

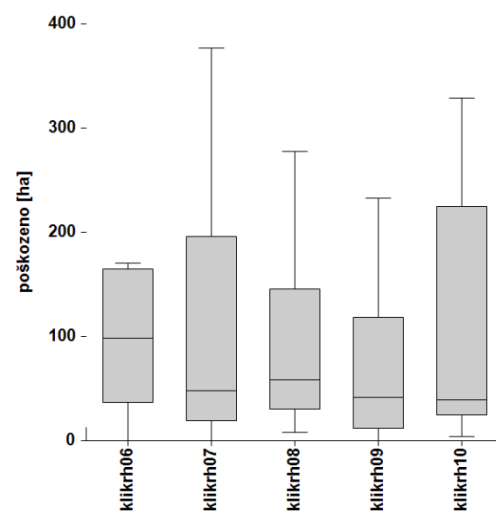
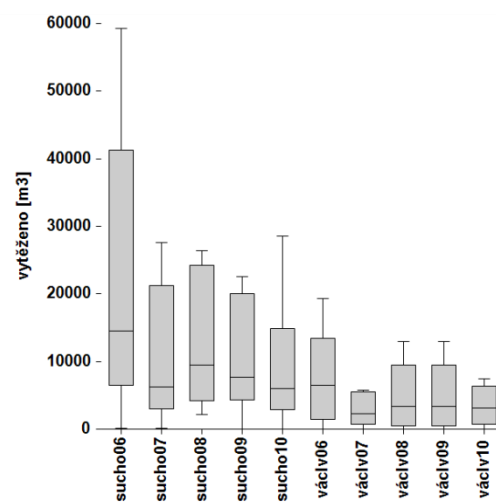
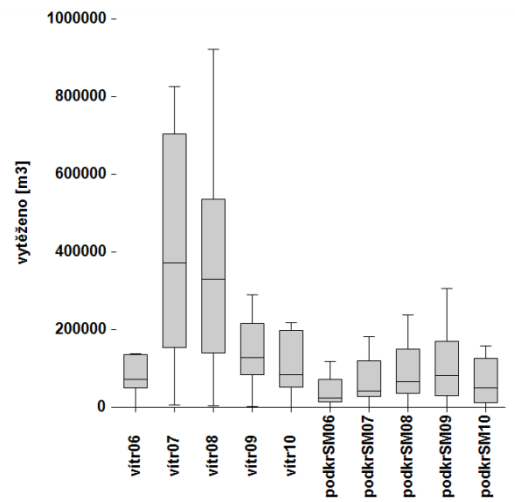
**Příloha 9 – Objem kůrovcových těžeb (1964–1991)**

<i>Kůrovci na SM</i>	<b>Středočeské</b>	<b>Jihočeské</b>	<b>Západočeské</b>	<b>Severočeské</b>	<b>Východočeské</b>	<b>Jihomoravské</b>	<b>Severomoravské</b>
1964	8 291	40 932	64 596	88 669	20 017	16 894	61 699
1965	5 629	45 676	79 915	107 884	21 395	18 308	82 276
1966	5 844	25 849	34 680	86 341	16 816	12 721	51 879
1967	7 199	25 274	34 293	64 680	15 976	13 551	44 658
1968	9 123	24 900	46 544	48 263	17 046	13 432	48 855
1969	8 560	26 143	45 214	48 956	28 497	8 445	45 395
1970	7 556	23 098	46 645	44 832	24 534	9 656	40 442
1971	19 159	31 293	63 005	49 255	27 220	20 153	37 703
1972	28 883	37 222	62 412	89 738	28 792	31 724	43 833
1973	14 571	31 576	47 327	181 904	28 412	30 015	47 828
1974	7 799	26 226	40 539	210 181	21 044	28 974	39 512
1975	10 451	25 398	45 620	150 187	18 640	33 277	69 667
1976	21 011	56 570	54 970	107 743	21 579	75 570	72 806
1977	21 144	70 407	69 414	101 388	31 157	84 559	71 025
1978	15 809	44 389	46 503	106 998	20 702	70 240	63 373
1979	11 857	29 955	34 946	81 101	13 738	42 518	48 676
1980	66 663	20 173	59 154	93 137	14 337	24 362	48 047
1981	32 215	27 388	63 736	105 497	17 073	19 562	45 570
1982	56 319	41 838	79 164	128 041	16 712	21 907	49 435
1983	57 013	98 010	143 590	380 918	187 015	57 845	220 526
1984	55 837	138 332	154 090	331 542	556 866	128 327	225 809
1985	14 848	51 419	133 857	202 393	242 171	78 315	108 425
1986	57 184	186 013	183 118	173 729	217 530	112 899	77 218
1987	24 888	228 811	366 381	174 890	124 818	92 811	45 246
1988	7 976	94 939	376 620	125 032	78 286	45 598	48 871
1989	2 822	26 353	111 810	47 789	52 916	15 774	38 345
1990	10 478	76 603	102 799	28 746	51 724	97 405	21 516
1991	20 333	29 146	36 249	9 690	50 328	22 681	36 717

**Příloha 10** – Diagramy křížových korelačních funkcí mezi časovými řadami objemů škod způsobených větrem a objemů kůrovcových těžeb (1964–1991)

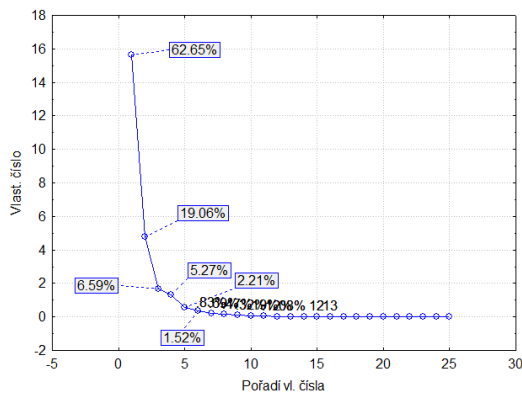


**Příloha 11** – EDA – krabicové grafy pro vybrané škodlivé činitele (znaky) působící v letech 2006–2010

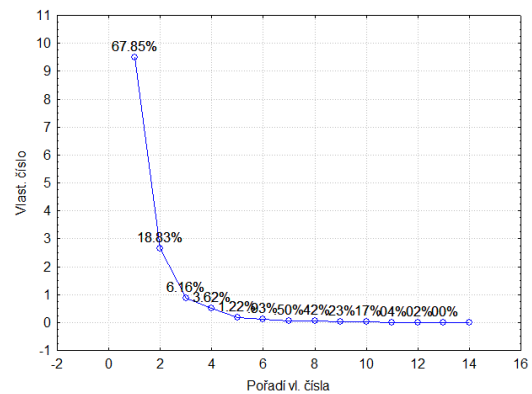




## Příloha 12 – Sutinové grafy a tabulky vlastních čísel při redukci proměnných v PCA



Sutinový graf pro všechny proměnné (Statistica 9.0)



Sutinový graf po redukci proměnných (Statistica 9.0)

Vlastní čísla korelační matice pro všechny proměnné (Statistica 9.0)

Pořadí vl. č.	vl. číslo	% celk. rozptylu	Kumulativ. vl. číslo	Kumulativ. %
1	15.66200	62.64800	15.66200	62.6480
2	4.76387	19.05549	20.42587	81.7035
3	1.64815	6.59261	22.07402	88.2961
4	1.31828	5.27311	23.39230	93.5692
5	0.55156	2.20623	23.94386	95.7754
6	0.37946	1.51783	24.32331	97.2933
7	0.20674	0.82696	24.53006	98.1202
8	0.17188	0.68754	24.70194	98.8078
9	0.11832	0.47327	24.82026	99.2810
10	0.08056	0.32225	24.90082	99.6033
11	0.04859	0.19435	24.94941	99.7976
12	0.03053	0.12211	24.97994	99.9197
13	0.02006	0.08026	25.00000	100.0000

Vlastní čísla korelační matice po redukci proměnných (Statistica 9.0)

Pořadí vl. č.	vl. číslo	% celk. rozptylu	Kumulativ. vl. číslo	Kumulativ. %
1	9.498390	67.84564	9.49839	67.8456
2	2.636780	18.83414	12.13517	86.6798
3	0.862984	6.16417	12.99815	92.8440
4	0.506523	3.61802	13.50468	96.4620
5	0.171208	1.22291	13.67588	97.6849
6	0.129858	0.92756	13.80574	98.6124
7	0.069672	0.49766	13.87542	99.1101
8	0.059337	0.42384	13.93475	99.5339
9	0.032317	0.23083	13.96707	99.7648
10	0.024325	0.17375	13.99139	99.9385
11	0.005751	0.04108	13.99715	99.9796
12	0.002217	0.01584	13.99936	99.9954
13	0.000637	0.00455	14.00000	100.0000

**Příloha 13** – Tabulka vlastních čísel korelační matice FA a tabulky faktorových zátěží před a po rotaci

Vlastní čísla korelační matice pro 2 faktory (Statistica 9.0)

Hodn.	vl. číslo	% celk. rozptylu	Kumulativ. vlast. číslo	Kumulativ. %
1	9.498390	67.84564	9.49839	67.84564
2	2.636780	18.83414	12.13517	86.67978

Faktorové zátěže pro 2 faktory bez rotace  
(Statistica 9.0)

Proměnná	Faktor 1	Faktor 2
vitr07	-0.812050	-0.448656
vitr08	-0.896165	-0.221436
sucho07	-0.664422	0.600751
sucho08	-0.728923	0.450207
podkrSM06	-0.948906	0.194711
podkrSM07	-0.914256	0.280551
podkrSM08	-0.921831	0.040008
podkrSM09	-0.948089	-0.207345
podkrSM10	-0.948467	-0.271100
klikrh08	-0.805866	-0.410876
klikrh09	-0.873261	-0.364139
klikrh10	-0.695978	-0.576044
váčlv07	-0.590590	0.712589
váčlv08	-0.658303	0.668679
Výkl.roz	9.498390	2.636780
Prp.celk	0.678456	0.188341

Faktorové zátěže pro 2 faktory po rotaci  
Varimax normalizovaný (Statistica 9.0)

Proměnná	Faktor 1	Faktor 2
vitr07	0.917843	0.135212
vitr08	0.847058	0.366930
sucho07	0.164470	0.880516
sucho08	0.307008	0.799850
podkrSM06	0.636827	0.729922
podkrSM07	0.557245	0.777207
podkrSM08	0.709039	0.590454
podkrSM09	0.879823	0.409606
podkrSM10	0.918758	0.359120
klikrh08	0.890028	0.161517
klikrh09	0.915316	0.239536
klikrh10	0.902709	-0.036461
váčlv07	0.037965	0.924736
váčlv08	0.118438	0.930842
Výkl.roz	6.978565	5.156605
Prp.celk	0.498469	0.368329

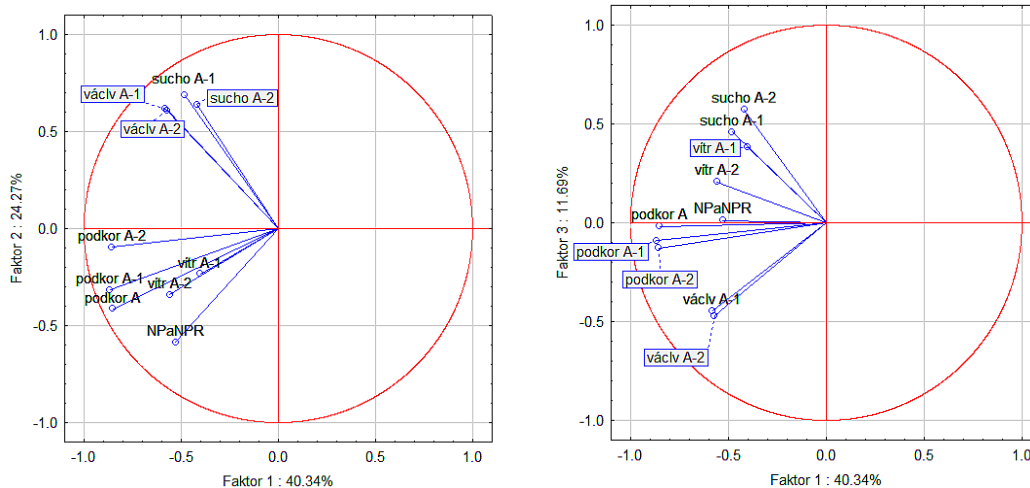
Faktorové zátěže přesahující hodnotu 0,7 jsou vyznačeny červeně. Tato hranice představuje 50% pokrytí rozptylu původního znaku vysvětleného příslušným faktorem (MELOUN et al. 2005).

## Příloha 14 – Exploratorní analýza dat pro potřeby regrese

Spearmanova korelace mezi proměnnými, statisticky významné korelační koeficienty jsou značeny červeně;  $\alpha = 0,05$ ). (Statistica 10 Cz)

Proměnná	podkor A	vitr A-1	sucho A-1	podkor A-1	václv A-1	vitr A-2	sucho A-2	podkor A-2	václv A-2	NPaNPR
podkor A	1.000000	0.702438	0.194839	0.876948	0.275669	0.615523	0.187762	0.721660	0.266804	0.332838
vitr A-1	0.702438	1.000000	0.157653	0.635348	0.114137	0.683011	0.143009	0.490954	0.142408	0.240483
sucho A-1	0.194839	0.157653	1.000000	0.224482	0.365567	0.214569	0.807646	0.277982	0.352989	0.103106
podkor A-1	0.876948	0.635348	0.224482	1.000000	0.319503	0.692292	0.201119	0.871833	0.326839	0.275903
václv A-1	0.275669	0.114137	0.365567	0.319503	1.000000	0.163627	0.372720	0.384631	0.778432	0.045996
vitr A-2	0.615523	0.683011	0.214569	0.692292	0.163627	1.000000	0.132806	0.635298	0.133010	0.213546
sucho A-2	0.187762	0.143009	0.807646	0.201119	0.372720	0.132806	1.000000	0.272896	0.373039	0.088840
podkor A-2	0.721660	0.490954	0.277982	0.871833	0.384631	0.635298	0.272896	1.000000	0.404785	0.234526
václv A-2	0.266804	0.142408	0.352989	0.326839	0.778432	0.133010	0.373039	0.404785	1.000000	0.027388
NPaNPR	0.332838	0.240483	0.103106	0.275903	0.045996	0.213546	0.088840	0.234526	0.027388	1.000000

Při redukci dat pomocí PCA do trojdimenzionálního prostoru je zachováno 76 % původní informace. V grafu prvních dvou hlavních komponent je dobře diferencován vztah mezi škodami suchem a václavkou, resp. na druhé straně mezi větrem a kůrovcem. Třetí hlavní komponenta obsahuje především informaci o lokálně vyšším objemu kůrovcového dříví v oblastech postižených václavkou. Pozice proměnné NPaNPR je v obou grafech svázána s množstvím kůrovcového dříví.



Grafy komponentních vah pro první tři hlavní komponenty (Statistica 10 Cz)

**Příloha 15** – Výsledky Boxovy-Coxovy transformace regresních proměnných

	Lambda	Mean	Standard deviation	Lower Confidence Limit	Upper Confidence Limit	Formula for Box-Cox transformation
<b>podkor A</b>	0.111109	14.92782	3.938667	0.063516	0.159887	$((\sqrt[8]{0.111109})-1)/(0.111109)$
<b>vítr A-1</b>	0.084525	15.30976	3.508623	0.034066	0.135443	$((\sqrt[9]{0.084525})-1)/(0.084525)$
<b>sucho A-1</b>	0.199928	15.40506	8.799015	0.178822	0.222303	$((\sqrt[10]{0.199928})-1)/(0.199928)$
<b>podkor A-1</b>	0.101801	14.17399	3.394029	0.050519	0.154446	$((\sqrt[11]{0.101801})-1)/(0.101801)$
<b>václv A-1</b>	0.145354	8.63425	7.138844	0.128287	0.163113	$((\sqrt[12]{0.145354})-1)/(0.145354)$
<b>vítr A-2</b>	0.068441	13.82182	3.042510	0.017456	0.119705	$((\sqrt[13]{0.068441})-1)/(0.068441)$
<b>sucho A-2</b>	0.206134	17.02699	8.958873	0.184100	0.229642	$((\sqrt[14]{0.206134})-1)/(0.206134)$
<b>podkor A-2</b>	0.119687	15.37173	3.685997	0.063225	0.177669	$((\sqrt[15]{0.119687})-1)/(0.119687)$
<b>václv A-2</b>	0.149056	9.22127	7.224350	0.131722	0.167135	$((\sqrt[16]{0.149056})-1)/(0.149056)$
<b>NPaNPR</b>	0.087642	2.61664	7.212750	0.072339	0.103026	$((\sqrt[6]{0.087642})-1)/(0.087642)$

## **Příloha 16** – Kritika metody regrese u netransformovaných dat (QC.Expert 3.2.)

### **Fisher-Snedecorův test významnosti modelu**

Hodnota kritéria F :	461.2586719
Kvantil F (1-alfa, m-1, n-m) :	2.237802199
Pravděpodobnost :	0
Závěr :	Model je významný

### **Scottovo kritérium multikolinearity**

Hodnota kritéria SC :	0.624897101
Závěr :	Model vykazuje multikolinearitu!

### **Cook-Weisbergův test heteroskedasticity**

Hodnota kritéria CW :	817.7716819
Kvantil $\chi^2(1-\alpha,1)$ :	3.841458829
Pravděpodobnost :	0
Závěr :	Rezidua vykazují heteroskedasticitu!

### **Jarque-Berrův test normality**

Hodnota kritéria JB :	6111.777006
Kvantil $\chi^2(1-\alpha,2)$ :	5.991464547
Pravděpodobnost :	0
Závěr :	Rezidua nemají normální rozdělení!

### **Waldův test autokorelace**

Hodnota kritéria WA :	3.087776831
Kvantil $\chi^2(1-\alpha,1)$ :	3.841458829
Pravděpodobnost :	0.078882514
Závěr :	Autokorelace je nevýznamná

### **Durbin-Watsonův test autokorelace**

Hodnota kritéria DW :	-1	
Kritické hodnoty DW	1.72	1.82
Závěr :	Pozitivní autokorelace reziduí není prokázána.	

### **Znaménkový test reziduí**

Hodnota kritéria Sg :	4.39128806
Kvantil $N(1-\alpha/2)$ :	1.959963999
Pravděpodobnost :	1.12681E-05
Závěr :	V reziduích je trend!

Indikace multikolinearity u netransformovaných dat

<b>Proměnná</b>	<b>Vlas. čísla kor. m.</b>	<b>Podmíněnost kappa</b>	<b>VI faktor</b>	<b>Vícenás. kor.</b>
<b>NPaNPR</b>	0.29269	1.00000	1.65244	0.63
<b>vítr A-1</b>	0.82367	2.81413	1.14105	0.35
<b>sucho A-1</b>	0.70990	2.42541	1.33793	0.50
<b>podkor A-1</b>	1.46877	5.01816	2.18284	0.74
<b>václv A-1</b>	0.50472	1.72441	1.44685	0.56
<b>vítr A-2</b>	2.20026	7.51736	1.39485	0.53

## **Příloha 17** – Kritika metody regrese u transformovaných dat (QC.Expert 3.2)

### **Fisher-Snedecorův test významnosti modelu**

Hodnota kritéria F :	515.1588819
Kvantil F (1-alfa, m-1, n-m) :	2.395429935
Pravděpodobnost :	0
Závěr :	Model je významný

### **Scottovo kritérium multikolinearity**

Hodnota kritéria SC :	0.728476162
Závěr :	Model vykazuje multikolinearitu!

### **Cook-Weisbergův test heteroskedasticity**

Hodnota kritéria CW :	0.192675795
Kvantil $\chi^2(1-\text{alfa},1)$ :	3.841458829
Pravděpodobnost :	0.660698845
Závěr :	Rezidua vykazují homoskedasticitu.

### **Jarque-Berrův test normality**

Hodnota kritéria JB :	25.32032792
Kvantil $\chi^2(1-\text{alfa},2)$ :	5.991464547
Pravděpodobnost :	3.17512E-06
Závěr :	Rezidua nemají normální rozdělení!

### **Waldův test autokorelace**

Hodnota kritéria WA :	1.364052937
Kvantil $\chi^2(1-\text{alfa},1)$ :	3.841458829
Pravděpodobnost :	0.242836305
Závěr :	Autokorelace je nevýznamná

### **Durbin-Watsonův test autokorelace**

Hodnota kritéria DW :	-1
Kritické hodnoty DW	1.72
Závěr :	Rezidua nejsou autokorelována

### **Znaménkový test reziduí**

Hodnota kritéria Sg :	0.948030682
Kvantil $N(1-\text{alfa}/2)$ :	1.959963999
Pravděpodobnost :	0.343113835
Závěr :	V reziduích není trend.

Indikace multikolinearity u transformovaných dat

<b>Proměnná</b>	<b>Vlas. čísla kor. m.</b>	<b>Podmíněnost kappa</b>	<b>VI faktor</b>	<b>Vicenás. kor.</b>
<b>vítr A-1</b>	0.09086	1.00000	2.16461	0.73
<b>podkor A-1</b>	0.55977	6.16093	6.58158	0.92
<b>vítr A-2</b>	0.89204	9.81792	2.46424	0.77
<b>podkor A-2</b>	0.29977	3.29929	5.26797	0.90
<b>NPaNPR</b>	3.15756	34.75258	1.08782	0.28



## **Příloha 18** – Protokol analýzy PLS-R

Vysvětlený součet čtverců analýzy PLS-R (QC.Expert 3.2)

<b>Počet komponent</b>	<b>RSČ</b>	<b>% RSČ</b>	<b>Vysvět. procent</b>
<b>0</b>	1 152	100	0
<b>1</b>	631	55	45
<b>2</b>	344	30	70
<b>3</b>	218	19	81

Zátěže (Loadings) matice  $X, P$  (QC.Expert 3.2)

$X, P$	Hodnoty $P[i,j]$	Hodnoty $P[i,j]$	Hodnoty $P[i,j]$
<b>NPaNPR</b>	0.13552	0.50441	-0.06804
<b>vítr A-1</b>	0.15386	0.23845	-0.20716
<b>sucho A-1</b>	0.38893	-0.30541	-0.43422
<b>podkor A-1</b>	0.35545	0.43595	0.01339
<b>václv A-1</b>	0.42578	-0.21132	0.45347
<b>vítr A-2</b>	0.20094	0.36135	-0.18884
<b>sucho A-2</b>	0.34546	-0.29399	-0.53938
<b>podkor A-2</b>	0.40374	0.31757	0.04471
<b>václv A-2</b>	0.41993	-0.20706	0.47907

Zátěže (Loadings) matice  $Y, Q$  (QC.Expert 3.2)

$Y, Q$	Hodnoty $Q[i,j]$	Hodnoty $Q[i,j]$	Hodnoty $Q[i,j]$
<b>sucho A</b>	0.58653	-0.50002	-0.67600
<b>vaclavka A</b>	0.63162	-0.34295	0.73674
<b>podkor A</b>	0.50699	0.79522	-0.01514

Regresní koeficienty analýzy PLS-R (QC.Expert 3.2)

	<b>sucho A</b>	<b>vaclavka A</b>	<b>podkor A</b>
<b>NPaNPR</b>	-0.08918	-0.07727	0.26381
<b>vítr A-1</b>	0.05634	-0.06751	0.14867
<b>sucho A-1</b>	0.40902	0.05777	-0.02834
<b>podkor A-1</b>	-0.01169	0.06141	0.29852
<b>václv A-1</b>	0.06791	0.40124	0.03586
<b>vítr A-2</b>	0.02728	-0.06676	0.21751
<b>sucho A-2</b>	0.42693	-0.00412	-0.03730
<b>podkor A-2</b>	0.03447	0.11913	0.26020
<b>václv A-2</b>	0.05490	0.40792	0.03639

## Příloha 19 – Protokol tvorby NN

Relativní vliv prediktorů NN (QC.Expert 3.2)

Relativní vliv prediktorů	
NPaNPR	18.5201
vítr A-1	16.3842
sucho A-1	11.4076
podkor A-1	18.4057
václv A-1	15.0380
vítr A-2	9.5215
sucho A-2	8.3812
podkor A-2	17.0693

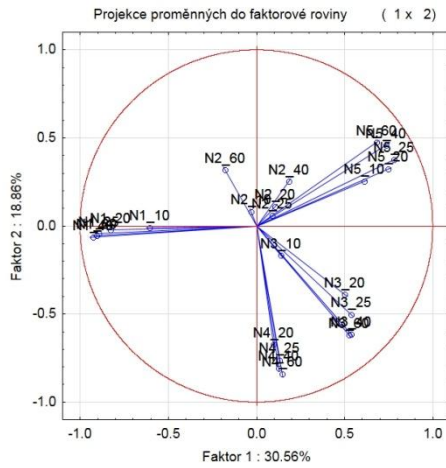
Výpočet kritérií NN (QC.Expert 3.2)

Výpočet	
Počet iterací :	10 000
Maximální chyba pro učící data :	0.01147
Střední chyba pro učící data :	0.00022
Maximální chyba pro testovací data :	0.09204
Střední chyba pro testovací data :	0.00158
Celkový součet čtverců :	3.46E+11
Reziduální součet čtverců :	3.22E+10
Vysvětlený součet čtverců :	3.14E+11
F-statistika :	21.19
F-krit :	1.28
P-hodnota :	p < 0,001
Model je významný	

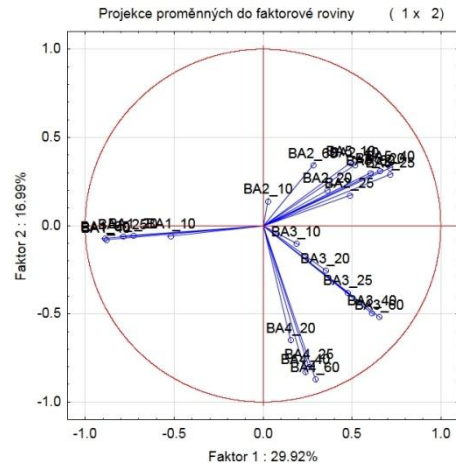
Váhy w jednotlivých neuronů (QC.Expert 3.2)

Vrstva / Neuron	1. Váha	2. Váha	3. Váha	4. Váha	5. Váha	6. Váha	7. Váha	8. Váha	9. Váha
2.1	4.02739	0.76488	-0.68527	1.92256	0.17239	2.80104	-0.35175	2.13141	
2.2	2.04580	7.89177	-2.53012	2.08505	1.15725	-1.28928	-0.76817	-4.63301	
2.3	1.71244	0.38254	0.37586	1.10215	0.35430	0.23503	0.95685	-0.01364	
2.4	1.54532	-0.85748	2.88169	0.13417	1.72434	-1.04339	1.85216	-0.92354	
2.5	0.86386	0.96087	0.14949	1.69991	-0.09084	1.17354	0.24493	1.80068	
2.6	2.28639	-0.56877	-1.02839	-2.42562	7.80212	1.28620	-1.50120	-3.98322	
2.7	-3.56536	-3.23969	0.86069	6.11408	1.52745	0.46487	-0.52420	3.00746	
2.8	1.82349	-1.57419	1.49997	1.32051	-1.89031	-0.54184	1.70499	-0.07374	
2.9	-0.65003	0.14397	1.39616	1.60162	-0.31902	0.68635	0.47698	0.50257	
3.1	0.22034	0.38219	-0.13651	0.77565	0.66093	-0.38496	0.48959	0.18278	0.21671
3.2	-2.11213	-1.05672	1.52353	2.21386	0.85363	-3.58925	-0.10319	1.07390	0.59360
3.3	0.96408	0.80543	0.57988	0.55883	0.98041	1.67696	0.43720	0.69451	1.07430
3.4	2.71173	-0.91634	0.58601	-0.72340	0.92989	2.38735	2.06257	0.05878	0.74694
3.5	2.77675	3.45878	-0.59633	-1.68152	2.07321	1.30613	2.85978	2.79318	2.25371
4.1	-1.81461	-4.27530	1.31202	3.28765	8.10972				

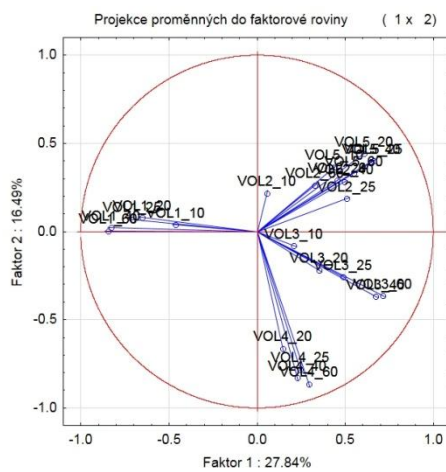
**Příloha 20** – Grafy komponentních vah PCA pro kruhové buffery o poloměru 10, 20, 25, 40 a 60 m (střed stojící kůrovcový strom napadený v roce 2009)



Komponentní váhy PCA pro N

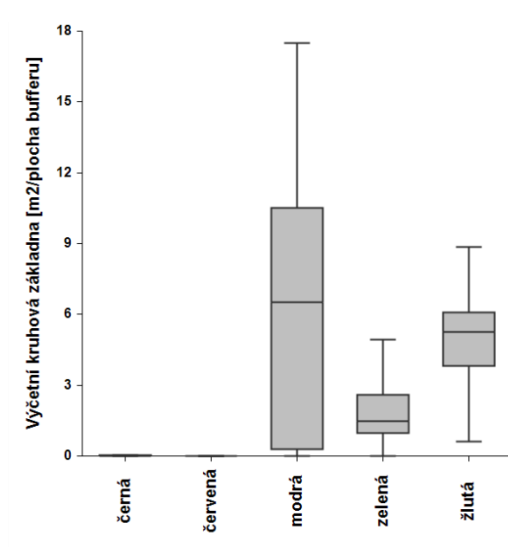


Komponentní váhy PCA pro BA

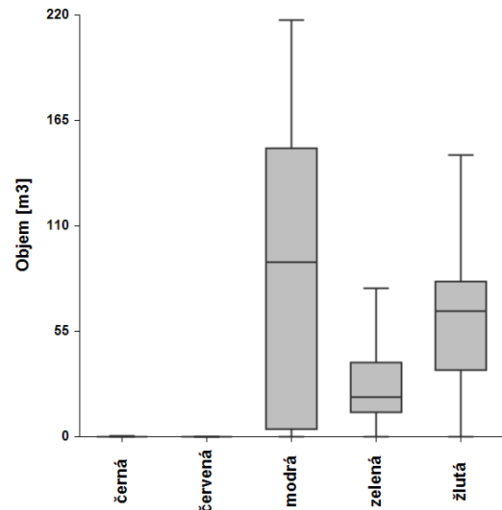


Komponentní váhy PCA pro VOL

**Příloha 21** – K-W a Dunnův test pro výčetní kruhovou základnu a objem ležících kmenů v kruhovém bufferu o poloměru 60 m (střed stojící kůrovcový strom napadený v roce 2009)



Krabicový graf výčetní kruhové základny ležících kmenů v kruhovém bufferu o poloměru 60 m a se středem daným stojícím smrkem napadeným v roce 2009 lýkožroutem smrkovým ( $N = 705$ ;  $df = 4$ ;  $p < 0,001$ )



Krabicový graf objemu ležících kmenů v kruhovém bufferu o poloměru 60 m a se středem daným stojícím smrkem napadeným v roce 2009 lýkožroutem smrkovým ( $N = 705$ ;  $df = 4$ ;  $p < 0,001$ )

Porovnání skupin v kruhovém bufferu s poloměrem 60 m podle BA (Dunn's test)

BA_60	černá	červená	modrá	zelená	žlutá
černá	0	2.0485	12.1791	8.748	14.0595
červená	2.0485	0	14.2276	10.7965	16.108
modrá	12.1791	14.2276	0	3.4311	1.8804
zelená	8.748	10.7965	3.4311	0	5.3115
žlutá	14.0595	16.108	1.8804	5.3115	0

Regular Test: Medians significantly different if z-value > 1.96  
Bonferroni Test: Medians significantly different if z-value > 2.807

Porovnání skupin v kruhovém bufferu s poloměrem 60 m podle VOL (Dunn's test)

VOL_60	černá	červená	modrá	zelená	žlutá
černá	0	2.0584	12.3267	8.866	13.5989
červená	2.0584	0	14.3851	10.9244	15.6573
modrá	12.3267	14.3851	0	3.4607	1.2722
zelená	8.866	10.9244	3.4607	0	4.7329
žlutá	13.5989	15.6573	1.2722	4.7329	0

Regular Test: Medians significantly different if z-value > 1.96  
Bonferroni Test: Medians significantly different if z-value > 2.807