



Mapa

potenciálního poškození
lesních porostů ČR
nekrózou jasanu



Mapa

**potenciálního poškození lesních
porostů ČR nektrózou jasanu**

Specializovaná mapa s odborným obsahem

Mapa potenciálního poškození lesních porostů ČR nekrózou jasanu

Specializovaná mapa s odborným obsahem

Autoři:

Ing. Ludmila Havrdová, Ph.D.^{1*}, doc. Ing. Daniel Zahradník, Ph.D.¹, Mgr. Karel Černý, Ph.D.¹,
RNDr. Eva Chumanová, Ph.D.¹, RNDr. Dušan Romportl, Ph.D.¹, Ing. Vítězslava Pešková, Ph.D.²



VÚKOKZ, v. v. i., Průhonice

¹ Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i.

Květnové nám. 391, Průhonice, 252 43



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

² Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i.

Strnady 136, Jíloviště, 252 02

*Ludmila.Havrdova@vukoz.cz , +420 296 528 235

© Ludmila Havrdová a kol., 2016

ISBN: 978-80-87674-15-4

Schváleno k použití Ministerstvem zemědělství ČR. Osvědčení č. 60487/2016-MZE-16222/MAPA656

Mapa je výsledkem řešení výzkumného projektu NAZV QJ1220218 Ministerstva zemědělství ČR.

Při zpracování byl použit datový podklad LČR, s. p. a ÚHÚL.

Recenzenti:

RNDr. Jiří Stonawski (LČR, s. p.)

Ing. Vincenc Zlatník (ÚHÚL)

Obsah

1. Úvod	5
2. Cíl předložené mapy	6
3. Rozsah využití mapy	6
4. Přínosy mapy pro uživatele	6
5. Metodika	7
6. Výsledky	9
6.1. Souhrnný model	10
6.2. Environmentální model	15
6.3. Poznámka k interpretaci výsledků	22
7. Závěr	23
Poděkování	23
8. Literatura	24
9. Seznam odborných podkladů, předcházejících vypracování mapy	25
10. Přílohy	26
10.1. Příloha 1	26
Výsledky statistické analýzy závislosti výskytu <i>Hymenoscyphus fraxineus</i> (anamorfa <i>Chalara fraxinea</i>) na charakteristikách lesních porostů a environmentálních proměnných podle jednotlivých ekologických řad	
10.2. Příloha 2	27
Výsledky statistické analýzy závislosti výskytu <i>Hymenoscyphus fraxineus</i> (anamorfa <i>Chalara fraxinea</i>) na environmentálních charakteristikách podle jednotlivých ekologických řad	

Použité zkratky

AOPK ČR	Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky
ArcGIS	Geografický informační systém určený pro práci s prostorovými daty
DMR	Digitální model reliéfu
GIS	Geografický informační systém
LČR, s. p.	Lesy České republiky, státní podnik
LOS	Lesní ochranná služba
LVS	Lesní vegetační stupeň
MZe	Ministerstvo zemědělství
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
m ³ b.k.	m ³ bez kůry
TPI	Topographic Position Index (index lokálního terénu)
ÚHÚL	Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem
ÚKZÚZ	Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský
VLS, s. p.	Vojenské lesy a statky, státní podnik

1. Úvod

Současný nárůst počtu známých, mnohdy invazních, patogenů dřevin spojených s vážným odumíráním lesních porostů a dalších výsadeb vedl odbornou i laickou veřejnost ke zvýšenému vnímání patogenů jako síly formující lesní ekosystémy a mající velký vliv na využití dřevin z krajinného i hospodářského úhlu pohledu (Woodward et al. 2013). Dopad zavlečení nepůvodních patogenů představuje celosvětovou výzvu pro udržitelné lesnictví, rurální (venkovskou) ekonomiku a hospodaření v krajině. Problém zavlečení navíc vzhledem k důrazu na hospodářský růst, intenzifikaci využívání krajiny, urbanizaci a též vzhledem k probíhající klimatické změně apod., nabývá na významu (Černý et al. 2015).

Invazní patogeny se tak stále častěji stávají běžnou součástí lesních a dalších ekosystémů a jejich přítomnost a význam zvyšují nároky i na hospodaření v lesních porostech. Za nejvýznamnější invazní patogeny lze nyní považovat *Ophiostoma novo-ulmi*, *Phytophthora xalni*, *Phytophthora plurivora* či *Hymenoscyphus fraxineus*. Posledně jmenovaný druh je mikroskopický houbový organismus, který byl v r. 2001 identifikován (Kowalski 2001) jako příčina intenzivního odumírání jasanů – tzv. nektrózy jasanu (v Evropě známé jako „ash dieback“; Obr. 1). *H. fraxineus* (anamorfní stádium *Chalara fraxinea*) poškozuje jasanu všech věkových kategorií na různých typech stanovišť. V České republice byl výskyt choroby zjištěn u solitérních jedinců,



Obr. 1. Patogen *Hymenoscyphus fraxineus* (anamorfa *Chalara fraxinea*) a nektróza jasanu. Patogen přezimuje na opadlém materiálu a v další vegetační sezóně vytváří během jara a léta na odumřelých řapících bělavé miskovité stopkaté plodničky – apothecia (A); askospory uvolněné z plodniček se šíří vzduchem, dopadají na listy jasanu a klíčí; hyfy pak pronikají do pletiv listů a dochází k nekrotizaci jejich pletiv (B); mycelium patogenu poté může prorůstat z napadených řapíků do výhonů hostitele, kde způsobuje nekrotizaci výhonů a větví (C); v důsledku čehož dochází k výraznému prosuchnutí koruny a postupnému odumírání celých jasanových porostů (D)

roztrošených výsadeb v krajině, stromořadí, větrolamů, okrasné zeleni ve městech, v břehových porostech, v ochranných porostech na svazích a v nejrůznějších typech lesních porostů včetně jasanových olšin a lužních porostů (Havrdová et Černý 2013). Patogen se šíří vzduchem a primárně napadá listy a jejich řapíky, v důsledku následného rozvoje infekce pak dochází k nekrotizaci pletiv výhonů a větví (Havrdová et Černý 2013). V ČR se pravděpodobně vyskytuje od 90. let 20. stol., poprvé byl však potvrzen až v r. 2007 (Jankovský et Holdenrieder 2009); epidemie se šířila územím od severovýchodu na jihozápad a dnes se patogen vyskytuje víceméně na celém území státu, kde postihuje oba původní druhy jasanu – *Fraxinus excelsior* i *F. angustifolia* (Havrdová et Černý 2012) a méně druhy introdukované (např. *F. pennsylvanica*). Nejvýraznější problémy spojené s výskytem patogenu se vyskytují ve výsadbách s vyšším zastoupením a významem jasanu, a to zejména na vlhkých stanovištích v jasanovo-olšových luzích a v tvrdých luzích nížinných řek, obecně také v břehových porostech (Havrdová et Černý 2012).

Z dosud známých výzkumů jednoznačně vyplývá, že šíření patogenu a jeho invazi do porostů je velmi obtížné či téměř nemožné regulovat, a proto je třeba věnovat velkou pozornost jeho dopadům v porostech ve vztahu k pěstebnímu a environmentálnímu charakteristikám. Modelování potenciálního výskytu a dopadu patogenů patří mezi důležité nástroje managementu invazních patogenů a prevence škod, které mohou způsobit (Václavík et Meentemeyer 2009). Prostorová predikce je založena na komplexním zhodnocení vztahu výskytu zájmového druhu a charakteristik prostředí vztahujících se ke studovaným lokalitám. Na základě zjištěného vztahu je pak odvozena pravděpodobnost výskytu daného druhu v dalších lokalitách, popsaných pomocí stejných proměnných (Guisan et Zimmermann 2000; Elith et Leathwick 2009). Na této filozofii založený a s pomocí důkladné statistické a geostatistické analýzy dat získaný výsledek – předložená specializovaná mapa s odborným obsahem – popisuje potenciální poškození lesních porostů ČR nekrózou jasanu. V rámci výzkumu současného odumírání jasanu se jedná o unikátní výstup nejen v rámci ČR, ale i v rámci celé Evropy.

2. Cíl předložené mapy

Cílem mapy je s pomocí terénních dat popisujících rozsah poškození, porostních a environmentálních charakteristik predikovat potenciální škody plynoucí z invaze nepůvodního houbového patogenního organismu

H. fraxineus v lesních porostech s výskytem jasanu v České republice a určit oblasti a porosty s vysokou mírou potenciálního poškození.

3. Rozsah využití mapy

Mapa může být využívána pracovníky Lesů ČR, státní podnik, Vojenských lesů a statků ČR, státní podnik, a dalšími majiteli, správci či nájemci lesů, pracovníky MZe, ÚHÚL, ÚKZÚZ, MŽP, AOPK ČR a dalšími orgány státní správy a samosprávy a jinými institucemi a osobami, jichž se invaze *H. fraxineus* dotýká.

4. Přínosy mapy pro uživatele

Hlavním přínosem mapy je predikce poškození působeného nepůvodním invazním patogenem *H. fraxineus* v lesních porostech ČR (nedílnou součástí mapy jsou příslušné shapefile vrstvy (.shp) porostů jasanu se specifikací rizika). Úroveň škod je klasifikována na 5stupňové škále od škod mírných (dílčí či pouze dočasně vysoké škody) po škody extrémní (předpoklad velmi vysokých škod a dlouhodobého zásadního omezení pěstování jasanu v porovnání se současným stavem).

Významným přínosem mapy je vyhodnocení rizik na dvou úrovních:

(1) Predikce rizika aktuálního poškození porostů, které je závislé na spolupůsobení stávajících (v čase ale proměnlivých) porostních charakteristik a trvale působících environmentálních faktorů. Tato úroveň může být využita v bezprostřední péči o porosty.

(2) Predikce dlouhodobého environmentálního rizika, které je závislé na trvalých vlastnostech prostředí a dlouhodobě ovlivňuje rozsah poškození. Tato úroveň může být lépe využita v dlouhodobém plánování hospodaření s jasanem.

Na základě predikovaného rizika lze cíleně věnovat pozornost rizikovému porostům a oblastem a v nich vhodným způsobem upravit hospodaření s jasanem tak, aby došlo z dlouhodobého pohledu k minimalizaci ekonomických a ekologických škod způsobených invazí *H. fraxineus* (viz „Pěstování jasanu v prostředí s výskytem *Hymenoscyphus fraxineus*“, Černý et al. 2016).

5. Metodika

Modelování potenciálního výskytu a rizika škod způsobených *H. fraxineus* se sestávalo z několika fází. V první fázi (2013) proběhlo mapování výskytu patogenu v lesních porostech ve správě Lesů ČR, s. p., kdy byla zjišťována před prvním opadem listů přítomnost patogenu dle symptomů napadení (k tomuto účelu byl vyhotoven leták LOS – Havrdová et al. 2013), míra napadení porostů a vybrané porostní charakteristiky. Celkem byly po vyčištění dat získány informace k 1169 modelovým porostům se zastoupením jasanu v rámci celé ČR, pokrývajícím téměř celou ekologickou niku *Fraxinus* spp. v ČR (do sberu dat se zapojilo 49 lesních správ a dva lesní závody; celkem bylo zmapováno 81 LHC). Dále byla pro všech 164 408 lesních porostů se zastoupením jasanu (včetně výše zmíněných) připravena prostorová databáze s využitím datových podkladů Lesů ČR, s. p. a Ústavu pro hospodářskou úpravu lesů. V této databázi byly kromě mapového znázornění prostorového rozmístění porostů soustředěny i všechny relevantní dostupné porostní charakteristiky (Tab. 1), charakteristiky vztahující se k vymezenému okolí porostů (Tab. 2) a environmentální charakteristiky vztahující se přímo k porostům (Tab. 3). Jako okolí porostu byla brána obalová zóna (tzv. buffer) vymezená pásem širokým 500 m kolem každého porostu. Ke stanovení hodnot charakteristik uvedených v Tab. 2 pro jednotlivé porosty byly použity funkce prostorových analýz dostupné v programu ArcGIS 10.3. Většina charakteristik prostředí uvedených v Tab. 3 byla získána v prostředí geografických informačních systémů (GIS) s využitím externích podkladů (např. digitální model reliéfu, klimatické charakteristiky prostředí atp.) a softwaru ArcGIS. Proměnná TPI (Topographic Position Index / index lokálního terénu) porovnává pomocí zonální statistiky v digitálním modelu reliéfu České republiky odlišnost měřené buňky od každé okolní buňky (Weis 2000) a klasifikuje krajinu ve dvou úrovních: pozice na svahu (např. hřeben, vrchol, dno apod.) a kategorie krajiny (strmé kaňony, mělká údolí, otevřené svahy apod.; Jenness 2001). U TPI byla měřena jeho průměrná hodnota s rozlišením 5×5 m a jeho směrodatná odchylka. U proměnné ekologická řada byly kategorie ekologické řady s malým počtem porostů (tj. řada extrémní a podmáčená) spojeny s další nejbližší ekologickou řadou.

Dalším krokem byla statistická analýza závislosti intenzity poškození jasanů patogenem *H. fraxineus* na proměnných uvedených v Tab. 1, Tab. 2 a Tab. 3 při použití souboru výše uvedených modelových porostů, kde proběhlo terénní mapování výskytu tohoto patogenu. Jako vysvětlovaná proměnná byla použita míra prosychání koruny hodnocená na čtyřstupňové škále, viz Tab. 1. Vstupní data byla v případě potřeby upravena pomocí logaritmické nebo odmocninové transformace tak, aby se jejich rozdělení více blížilo normálnímu rozdělení. Všechny spojitě vysvětlující proměnné byly zahrnuty do korelační analýzy dat a na základě jejích výsledků byly

Tab. 1. Porostní proměnné, neboli proměnné v čase proměnlivé (*s* – proměnné, které byly použity pro souhrnný model zahrnující porostní a environmentální charakteristiky; *e* – proměnné, které byly použity pro model environmentální)

Zkratka	Popis proměnné	Jednotka	Popis kategorie
PROSYCH ^{s,e}	prosychání koruny		5 % (1–10 %), 17,5 % (11–25 %), 37,5 % (26–50 %), 75 % (51–100 %)
H ^s	střední výška	m	
VĚK	průměrný věk	roky	
ZAKMEN ^s	zakmenění	%	
P × Z ^s	plocha porostu × zastoupení jasanu	m ²	
ZÁSOBA	zásoba porostu	m ³ b.k.	

Tab. 2. Proměnné charakterizující okolí porostu (buffer 500 m); (*s* – proměnné, které byly použity pro souhrnný model zahrnující porostní a environmentální charakteristiky; *e* – proměnné, které byly použity pro model environmentální)

Zkratka	Popis proměnné	Jednotka	Popis kategorie
B_podil_JS ^s	podíl jasanu	%	
B_pocet_JS ^s	počet jasanových porostů	ks	
B_podil_L ^{s,e}	podíl lesních porostů	%	

Tab. 3. Proměnné charakterizující prostředí porostu (*s* – proměnné, které byly použity pro souhrnný model zahrnující porostní a environmentální charakteristiky; *e* – proměnné, které byly použity pro model environmentální)

Zkratka	Popis proměnné	Jednotka	Popis kategorie
RADA ^{s,e}	ekologická řada		kyselá a extrémní, živná, obohacená humusem, obohacená vodou, oglejená a podmáčená
LVS	lesní vegetační stupeň		1 dubový, 2 buko-dubový, 3 dubo-bukový, 4 bukový, 5 jedlo-bukový, 6 smrko-bukový
AVB	absolutní výšková bonita	m	
NADM_VY-SKA ^{s,e}	průměrná nadmořská výška	m n. m.	
VERT_HET ^{s,e}	vertikální heterogenita	m	
EXPO ^{s,e}	expozice	stupně	S (337,6–22,5°), SV (22,6–67,5°), V (67,6–112,5°), JV (112,6–157,5°), J (157,6–202,5°), JZ (202,6–247,5°), Z (247,6–292,5°), SZ (292,6–337,5°)
SKLON ^{s,e}	průměrný sklon terénu	stupně	
SKLON_std ^{s,e}	směrodatná odchylka sklonu	stupně	
TPI_m ^{s,e}	index lokálního terénu	index	-25,8–21,6
TPI_std ^{s,e}	směrodatná odchylka indexu lokálního terénu	index	0–17,5
LANDFORM ^{s,e}	charakter terénu		1 (zařízlá údolí), 2 (mírně zahloubené tvary), 3 (rovina), 4 (otevřené svahy), 5 (vrcholy)
TEPLOTA	průměrná roční teplota	°C	(za období 1961–2000)
SRAZKY ^{s,e}	průměrné roční srážky	mm	(za období 1961–2000)
VT_PRIT	přítomnost vodního toku		ano/ne
VT_VZD	vzdálenost k vodnímu toku	m	
JS_VZD ^s	vzdálenost k nejbližším jasanovým porostům	m	

z dalšího statistického zpracování dat vyřazeny některé silně korelované proměnné (např. věk, teplota atd.). Vyřazeny byly rovněž veličiny kategoriální, u nichž v souboru změřených dat nebyly zastoupeny všechny hodnoty vyskytující se v rámci ČR z důvodu nemožnosti predikce pro porosty s chybějícími hodnotami v modelovém souboru porostů (např. LVS). Vyřazeny byly také porosty, u kterých nebyly k dispozici všechny proměnné. Při předběžném zpracování dat bylo dále zjištěno, že míra poškození jasanů se liší v závislosti na ekologické řadě a v případě různých ekologických řad je ovlivňována různými faktory, proto bylo následné hodnocení míry poškození a environmentálního rizika provedeno pro každou ekologickou řadu samostatně. Statistické analýzy byly zpracovány pomocí statistického programu R plus (R Core Team 2014).

Závislost intenzity poškození jasanu na výše uvedených charakteristikách porostů (Tab. 1), proměnných prostředí vztahujících se k jejich bezprostřednímu okolí (Tab. 2) a charakteristikách prostředí (Tab. 3) byla statisticky vyhodnocena dvěma postupy. Pomocí zobecněného lineárního modelu, konkrétně ordinální logistické regrese (proportional odds model, Agresti 2002) a pomocí lineární regrese (Zvára 2008). U obou postupů byly vysvětlující proměnné modelu nalezeny metodou krokové selekce. U lineární regrese byla statistická významnost rozdílů mezi hodnotami kategoriálních veličin ověřena metodou Tukeyova mnohonásobného porovnání. Validace modelů byla provedena na souboru dat

získaných nezávisle pomocí vlastního terénního průzkumu. K tomuto účelu byl použit soubor obsahující 609 lesních porostů, u kterých byla porovnána míra poškození predikovaná na základě dvou výše zmíněných modelů (tj. ordinální logistické regrese a lineární regrese) se skutečně zjištěnými hodnotami (Tab. 4).

Finální parametry souhrnného modelu (*) zahrnujícího charakteristiky porostní a environmentální, jsou uvedeny po jednotlivých ekologických řadách v Příloze č. 1. Finální parametry environmentálního modelu (*) zahrnujícího pouze charakteristiky environmentální, jsou po jednotlivých ekologických řadách uvedeny v Příloze č. 2.

Na základě výsledných modelů byla dopočítána predikce hodnot pro všechny dostupné lesní porosty se zastoupením jasanu, tj. pro 164 408 porostů. Výsledné (predikované) hodnoty poškození a environmentálního rizika podmiňujícího rozsah poškození lesních porostů vypočtené na základě výše uvedených modelů (model souhrnný a environmentální) byly přiřazeny dle unikátních kódů k jednotlivým stávajícím jasanovým porostům a prostorově vyjádřeny v prostředí GIS. Následovala klasifikace predikovaných hodnot metodami patřícími mezi standardní klasifikační metody používané v ArcGIS do pěti výsledných kategorií. Metoda klasifikace, jejímž cílem je vymezení optimálních hranic jednotlivých kategorií, byla zvolena na základě histogramů.

Tab. 4. Výsledky validace modelů. Rozdíly vyjadřují, o kolik kategorií se predikované kategorie liší od skutečně naměřených, kontrolních dat

Rozdíly	Ordinální logistická regrese		Lineární regrese	
	Model souhrnný	Model environmentální	Model souhrnný	Model environmentální
	Četnost	Četnost	Četnost	Četnost
-3	37	55	9	3
-2	85	89	41	46
-1	130	126	114	128
0	174	187	179	166
1	93	68	162	166
2	68	61	92	99
3	22	23	12	1
Podíl kat. o a ± 1	65,19%	62,56%	74,71%	75,53%

6. Výsledky

Závislost výskytu patogenu a rozsahu poškození jasanů jím způsobeném byla prokázána u všech třech skupin proměnných, tj. porostních proměnných, proměnných charakterizujících prostředí porostu i okolí porostu. Pro lepší pochopení problematiky bylo velmi přínosné vyhotovit modely dva, které rozlišily současné poškození porostů a trvalé riziko pro potenciální výsadby. Souhrnný model predikuje potenciální současné poškození stávajících porostů s výskytem jasanu (kapitola 6.1.), zatímco environmentální model se týká predikce míry trvalého environmentálního rizika na místech stávajících porostů s výskytem jasanu (kapitola 6.2.).

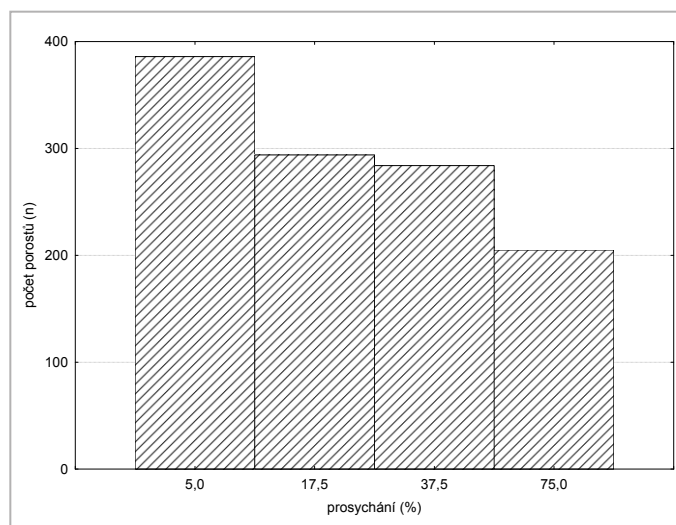
V modelových porostech s výskytem jasanu bylo onemocnění identifikováno v 81 % případů. Při verifikaci dat „zdravých porostů“ (19 %) byla identifikována přítomnost patogenu a mírné poškození způsobené *H. fraxineus*. Proto byla kategorie s nulovým poškozením sloučena s následující kategorií poškození (1–10 %). Porosty dosahovaly v průměru 28,3 % ($\pm 0,7$ %) prosychání korun jasanů (Obr. 2).

V rámci předběžného zpracování dat bylo zjištěno, že se některé ekologické řady navzájem významně liší mírou poškození jasanů ($p < 0,001$; Obr. 3), a proto modelování rizika poškození probíhalo pro každou ekologickou řadu samostatně. Extrémní řada není z důvodu velmi malého počtu měření v grafu znázorněna.

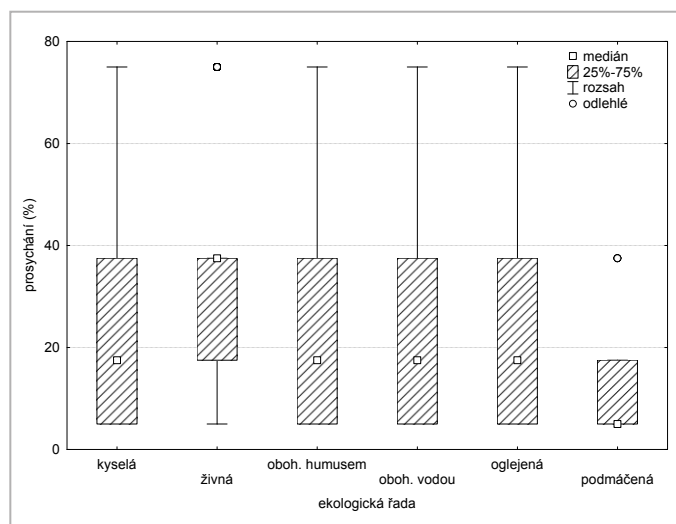
Výsledky validace modelů ukázaly správný a dostatečný výběr modelových ploch. Model spočítaný pro 1169 modelových porostů pomocí ordinální logistické regrese se přesně shodoval, nebo lišil max. v jednom stupni poškození od kontrolních dat v 65,19 % v případě souhrnného modelu a v 62,56 % u modelu environmentálního. U metody výpočtu pomocí lineární regrese pak byla shoda výsledků validace 74,71 % u modelu souhrnného a v případě modelu environmentálního 75,53 %. Na základě výsledků validace (Tab. 4) byla pro mapový podklad vybrána predikce spočtená pomocí lineární regrese.

Metoda klasifikace modelů, jejímž cílem je vymezení optimálních hranic jednotlivých kategorií, byla zvolena na základě výsledných histogramů. U souhrnného modelu, kdy se histogram blížil normálnímu rozdělení, byla použita metoda kvantilů („quantile“). Výsledkem bylo pět početně stejných tříd vyjadřujících míru potenciálního poškození lesních porostů patogenem *H. fraxineus* (Tab. 5). U modelu environmentálního byla z důvodu heterogenního rozložení dat zvolena Jenksova metoda přirozených zlomů („natural breaks“), kdy se hledají takové hranice mezi kategoriemi, aby variabilita uvnitř skupin byla co nejnižší a naopak variabilita mezi skupinami byla co nejvyšší (Tab. 5).

Z celkové rozlohy 218 350 ha porostů s výskytem jasanu v ČR mají jednotlivé ekologické řady velmi rozdílné zastoupení (0,8–36,3 %) porostů. Ekologická řada podmáčená je zastoupena 0,8 % (resp. 1 804 ha), řada extrémní 1,2 % (resp. 2 606 ha), řada oglejená 6,7 % (resp. 14 609 ha), řada obohacená humusem 12,5 % (resp. 27 343 ha), řada obohacená vodou 16,6 % (resp. 36 233 ha), řada kyselá 25,9 % (resp. 56 507 ha) a nejvíce je zastoupena řada živná 36,3 % (resp. 79 248 ha).



Obr. 2. Počty modelových lesních porostů s výskytem jasanu v jednotlivých kategoriích prosychání (výsledky mapování pracovníků společnosti Lesy ČR, s. p.)



Obr. 3. Míra prosychání jasanu v modelových lesních porostech s výskytem jasanu dle ekologických řad (výsledky mapování pracovníků společnosti Lesy ČR, s. p.)

Tab. 5. Klasifikace modelů, rozpětí míry poškození pro jednotlivé kategorie (%)

Třída potenciálního poškození	Model souhrnný rozpětí kategorií („quantile“)		Třída environmentálního rizika	Model environmentální rozpětí kategorií („natural breaks“)	
1	0,0000	18,5941	1	0,0000	16,6445
2	18,5942	26,2463	2	16,6461	24,8176
3	26,2464	33,3008	3	24,8178	31,8874
4	33,3011	41,5292	4	31,8878	40,3327
5	41,5297	100,0000	5	40,3339	67,7041

6.1. Souhrnný model

Výsledky souhrnného modelu

V rámci souhrnného modelu je studována a predikována míra současného poškození porostů nekrózou jasanu. Do výsledného souhrnného modelu predikce poškození způsobené *H. fraxineus* byly na základě podrobné statistické analýzy dostupných dat zahrnuty například následující vysvětlující proměnné: střední výška porostu, zakmenění, podíl jasanu v okolí porostu, nadmořská výška aj. – viz Tab. 6.

Dílčí modely jednotlivých ekologických řad vysvětlovaly průměrně 28,7 % (rozsah 15,6–41,7 %), variability dat. Některé proměnné byly sdíleny různými modely (např. střední výška porostu, průměrná nadmořská výška, průměrné roční srážky), jiné se ukázaly být specifické pro jednotlivé ekologické řady, jako je např. vzdálenost k nejbližším jasanovým porostům nebo podíl jasanu v porostu apod.

Míra potenciálního poškození se v modelu pro ekologickou řadu extrémní a kyselou snižuje s vyšší střední výškou porostu, průměrnou nadmořskou výškou a vyšším podílem lesních porostů (porostních skupin v okolí sledovaného porostu – bufferu 500 m, bez ohledu na výskyt jasanu); model vysvětlil 15,6 % variability dat. Pro ekologickou řadu živnou se míra potenciálního poškození snižuje s vyšší střední výškou porostu, průměrnou nadmořskou výškou, průměrným sklonem terénu, vzdáleností k nejbližším jasanovým porostům, s výskytem jasanového porostu na otevřených svazích a vrcholech oproti výskytu v zařízých údolích a naopak s vyššími průměrnými ročními srážkami a vyšším podílem jasanu v okolí porostu se pravděpodobnost zvyšuje; model vysvětlil 28,3 % variability dat. Při vzájemném porovnání homogenních skupin znaku charakter terénu se rozdíly mezi jednotlivými kategoriemi nepotvrdily (podobně jako u některých dalších proměnných viz níže) – příčinou je provázání tohoto znaku s proměnnými dalšími čili vlastně komplexita studovaného prostředí. U ekologické řady obohacené humusem se míra potenciálního poškození snižuje se zvyšující se střední výškou porostu, průměrnou nadmořskou výškou, rostoucím průměrným sklonem terénu, podílem lesních porostů a s výskytem jasanového porostu na rovině oproti výskytu v zařízých údolích. Naopak s vyššími průměrnými ročními srážkami se pravděpodobnost poškození zvyšuje. Model vysvětlil 28,7 % variability dat. Při vzájemném porovnání homogenních skupin charakteru terénu se rozdíly mezi jednotlivými kategoriemi nepotvrdily (příčina viz výše). U ekologické řady obohacené vodou se míra potenciálního poškození snižuje s vyšší střední výškou porostu, průměrnou nadmořskou výškou, směrodatnou odchylkou TPI a naopak se zvyšuje s větším zakmeněním, s vyššími průměrnými ročními srážkami a s expozicí porostu na JZ oproti expozici S; model vysvětlil 29,2 % variability dat. Při vzájemném porovnání kategorií expozice pomocí homogenních skupin se rozdíly mezi jednotlivými kategoriemi nepotvrdily, viz výše. U ekologických řad oglejená a podmačená se míra potenciálního poškození snižuje s rostoucí střední výškou porostu a průměrnou nadmořskou výškou a zvyšuje se s rostoucími průměrnými ročními srážkami; model vysvětlil 41,7 % variability dat; podrobněji viz Příloha 1.

Predikce potenciálního současného poškození porostů

Na základě výše uvedených vztahů zjištěných pomocí lineární regrese byla odvozena míra poškození způsobeného *H. fraxineus* pro všechny porosty se zastoupením jasanu na celém území ČR. Výsledné hodnoty se pohybují v intervalu 0–100 % a jsou kategorizovány do pěti početně stejně zastoupených tříd (kvantilů) s narůstající mírou rizika poškození.

Grafické vyjádření potenciálního současného poškození porostů jasanů nekrózou jasanu v lesních porostech ČR je uvedeno v prezentovaném mapovém výstupu (Obr. 4). Z výstupu je zřejmé, jak se spolu uplatňují environmentální faktory ovlivňující prostředí na velké prostorové škále (např. na gradientu Polabí – Krkonoše) spolu s lokálně působícími envi-

Tab. 6. Statisticky významné proměnné vysvětlující souhrnný model

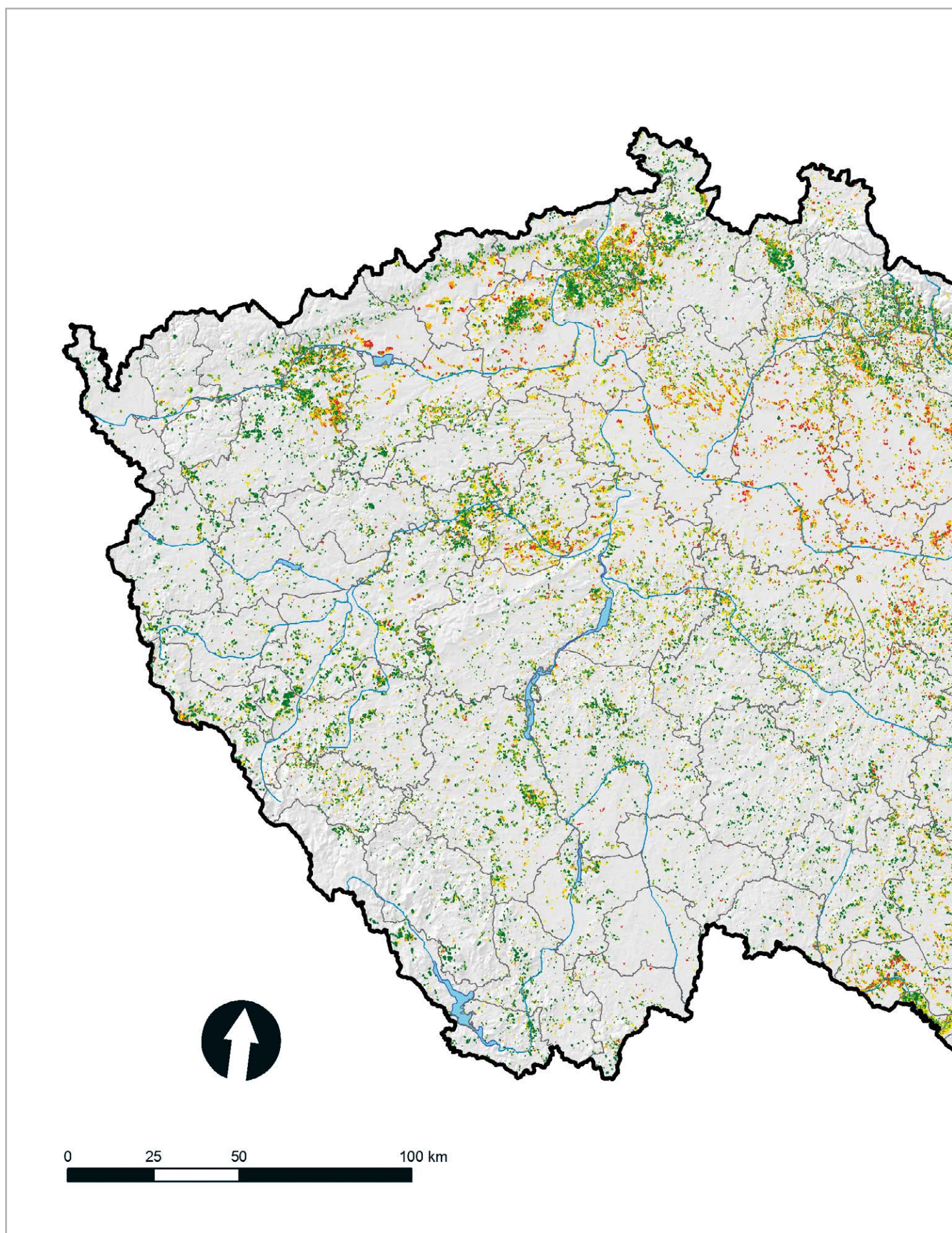
Porostní proměnné	Proměnné charakterizující okolí porostu (buffer 500 m)	Proměnné prostředí porostu
střední výška zakmenění	podíl jasanu podíl lesních porostů	ekologická řada průměrná nadmořská výška vertikální heterogenita expozice průměrný sklon terénu směrodatná odchylka TPI charakter terénu průměrné roční srážky vzdálenost k nejbližším jasanovým porostům

ronmentálními (např. Železnobrodsko) a porostními charakteristikami (odpovědné např. za heterogenní predikci rizika porostů v relativně homogenním prostředí soutoku Moravy a Dyje).

Mezi oblasti obecně s vyšší mírou potenciálního poškození (častý až dominantní predikovaný stupeň poškození 4 a 5) patří zejména teplejší a srážkově bohatší Slezsko a Západní Karpaty a některé další oblasti (v Čechách např. Frýdlantský výběžek či pravobřežní Labské pískovce) a obecně teplejší moravské úvaly, Polabí a Poohří. Obecná vyšší dostupnost vody např. v lužních lesích v okolí Dyje, Moravy či Labe nebo Ohře tyto oblasti rovněž předurčuje k vyšší míře potenciálního poškození. Oblasti s nižší dostupností vody – i sousedící (např. České Středohoří, Pálava) jsou charakteristické mírou rizika nižšího (častěji zastoupený stupeň poškození 1 a 2). Nižší míra rizika je obecně predikována častěji pro vyšší, chladnější a kyselejší polohy hercynika. Tento základní vzorec rozložení potenciálního poškození na úrovni krajiny ČR je všudypřítomně značně narušován více či méně pestrou mozaikou na úrovni lokální. Tato diverzita je zapříčiněna za prvé lokálně vysokou heterogenitou prostředí (např. podhůří Krkonoše, Ještědsko-Kozákovský hřbet, Křivoklátsko, Kokořínsko, Beskydy a další), kdy je obecně vyšší potenciální poškození predikováno v polohách údolních a nižší ve více exponovaných polohách na svazích a temenech kopců a za druhé, a to zejména, různorodými porostními charakteristikami, zejména pak výškou resp. stářím porostů (viz Lanžhot či Litovelské Pomoraví) a dalšími. Vliv porostních a lokálních environmentálních poměrů na heterogenitu rozložení míry predikovaného poškození ilustruje příklad Pálavy a navazující části Dolnomoravského úvalu a části Moravskoslezských Beskyd (Obr. 5 a 6).

Trendy vývoje vybraných porostních a environmentálních charakteristik v rámci jednotlivých kategorií poškození jsou uvedeny v Tabulce 7. Tabulku lze interpretovat tak, jak je uvedeno v předchozí kapitole, tzn., že potenciální poškození (tj. podíl proschnutí) klesá s rostoucím věkem a výškou porostu, vzdáleností k dalším porostům s jasanem a s rostoucím sklonem a naopak zvyšuje se spolu se zakmeněním, podílem jasanu, úživností stanoviště, dostupností vody a s teplotou.

Podrobnější pohled na rozložení hodnot vybraných významnějších proměnných (věk, ekologická řada, zakmenění) v rámci jednotlivých kategorií poškození je prezentován na Obr. 7–9.



Obr. 4. Predikce potenciálního současného poškození lesních porostů ČR nektrózou jasanu (*hranice lesních správ platné k 4. 10. 2016*)

Predikce potenciálního současného poškození lesních porostů ČR nekrózou jasanu

Legenda

 hranice lesních správ

Stupeň poškození

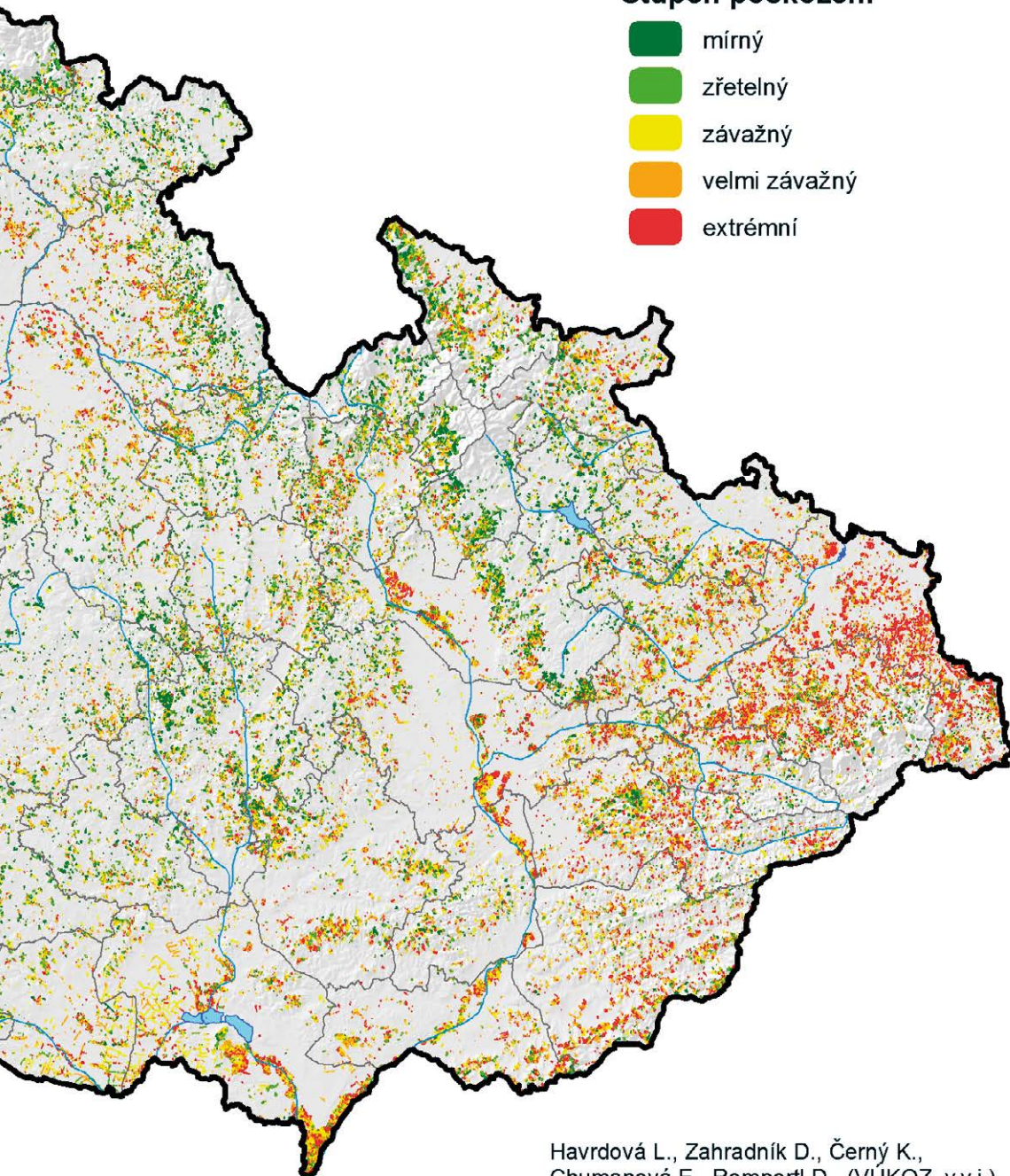
 mírný

 zřetelný

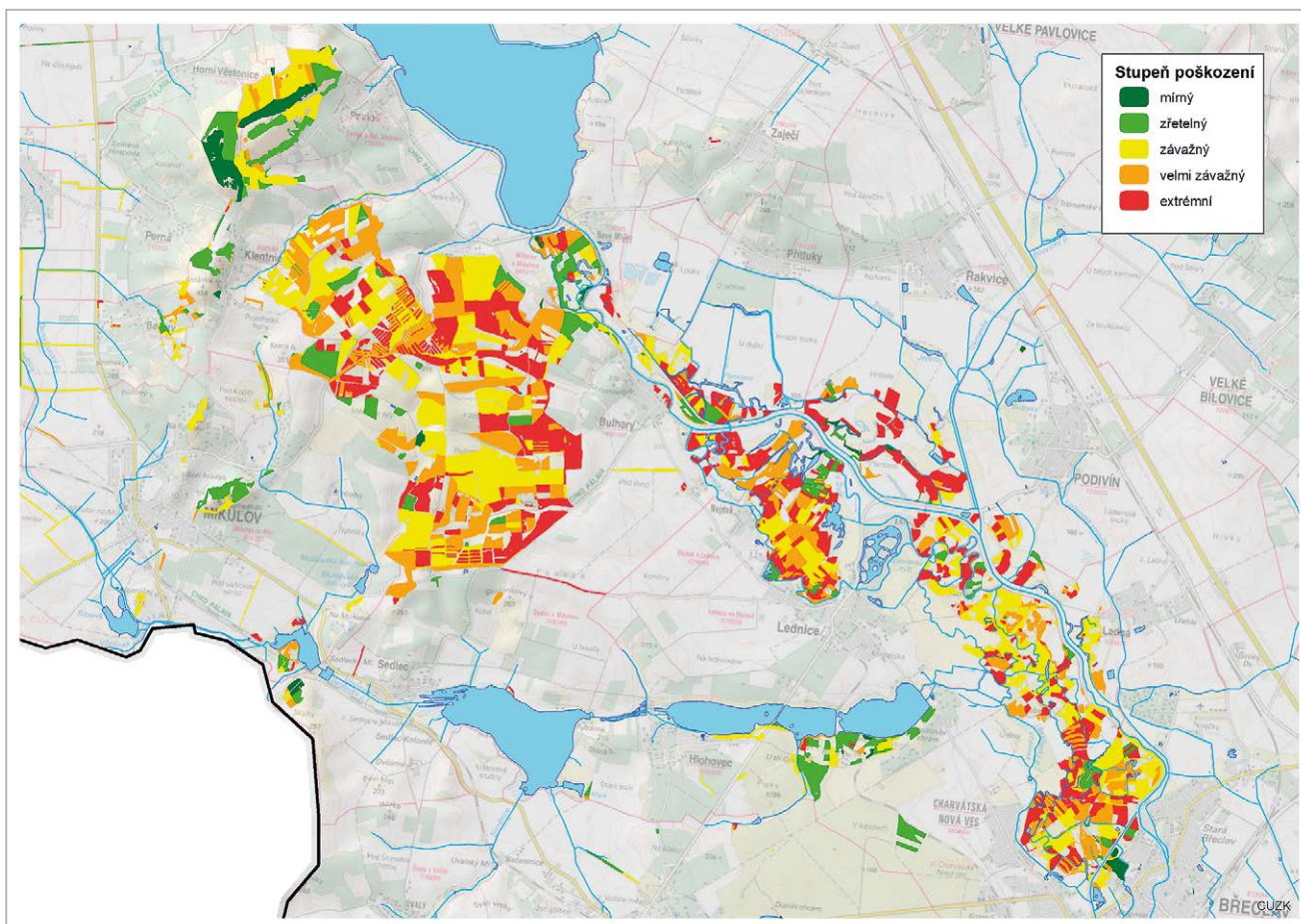
 závažný

 velmi závažný

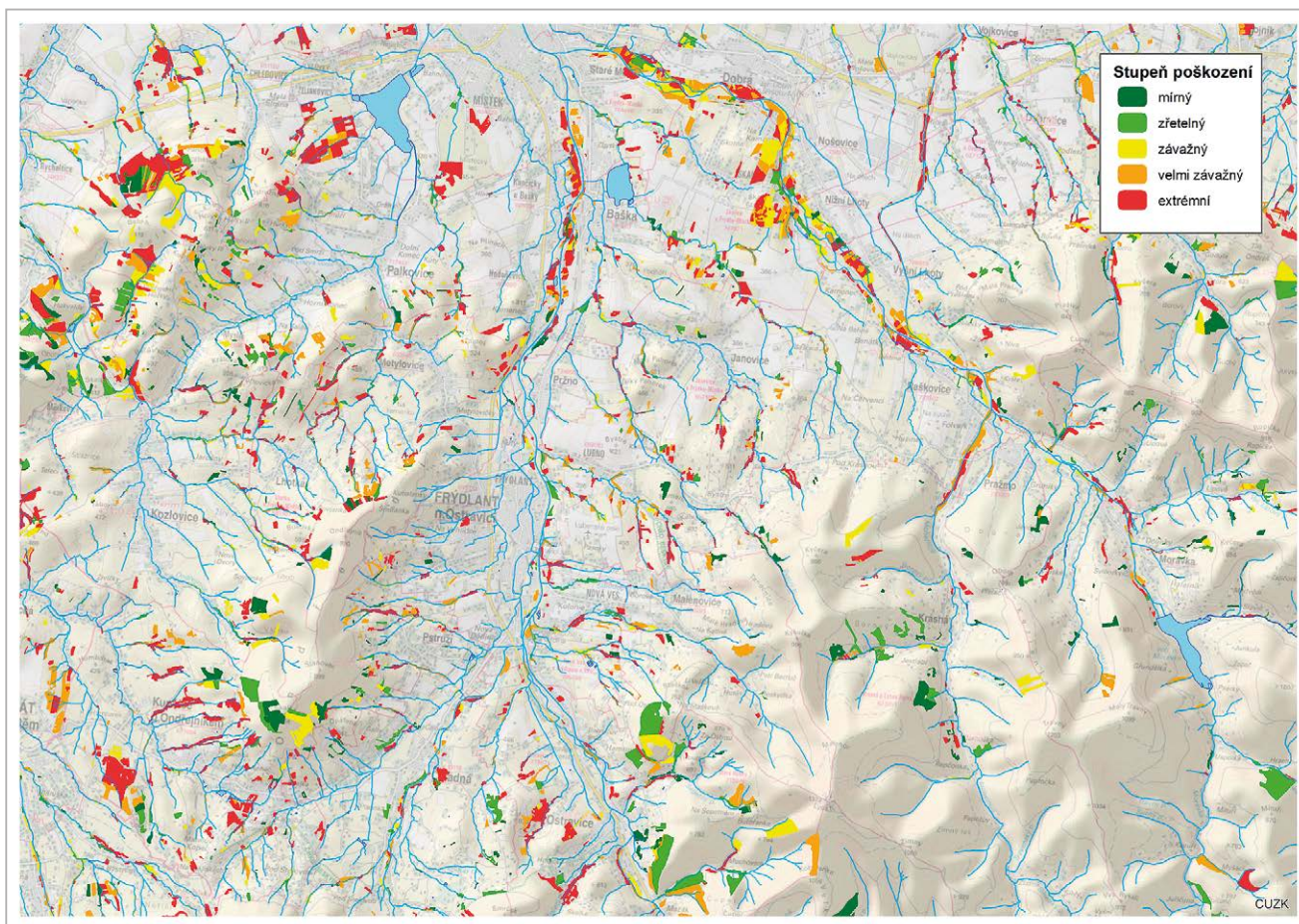
 extrémní



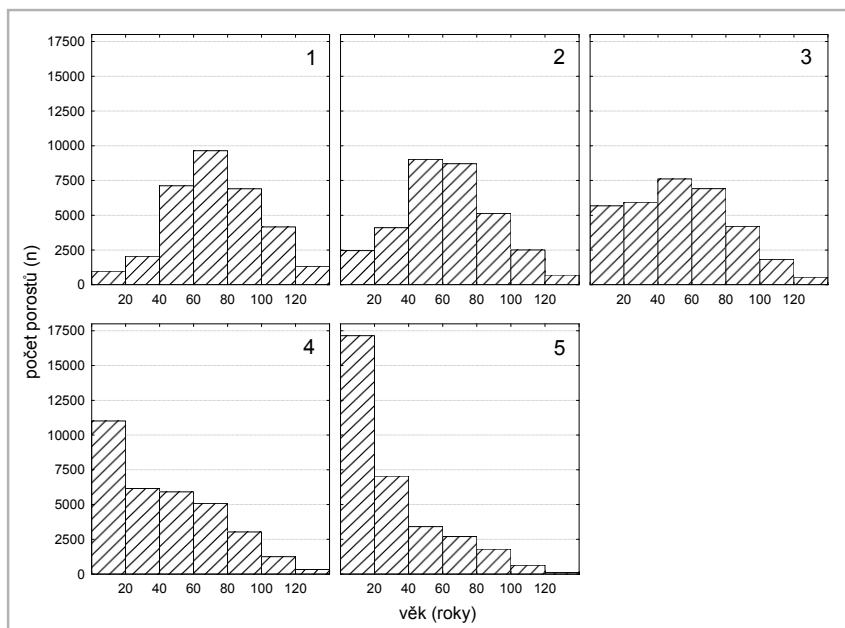
Havrdová L., Zahradník D., Černý K.,
Chumanová E., Romportl D., (VUKOZ, v.v.i.)
Pešková V. (VÚLHM, v.v.i.)
(c) 2016, podpořeno NAZV QJ1220218



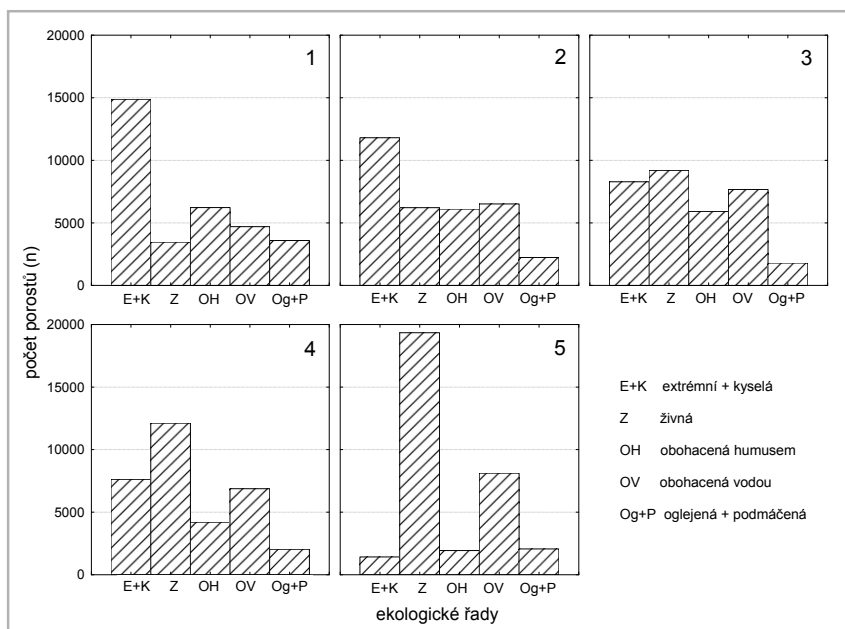
Obr. 5. Predikce potenciálního současného poškození lesních porostů nektrózou jasanu – Pálava a část Dolnomoravského úvalu



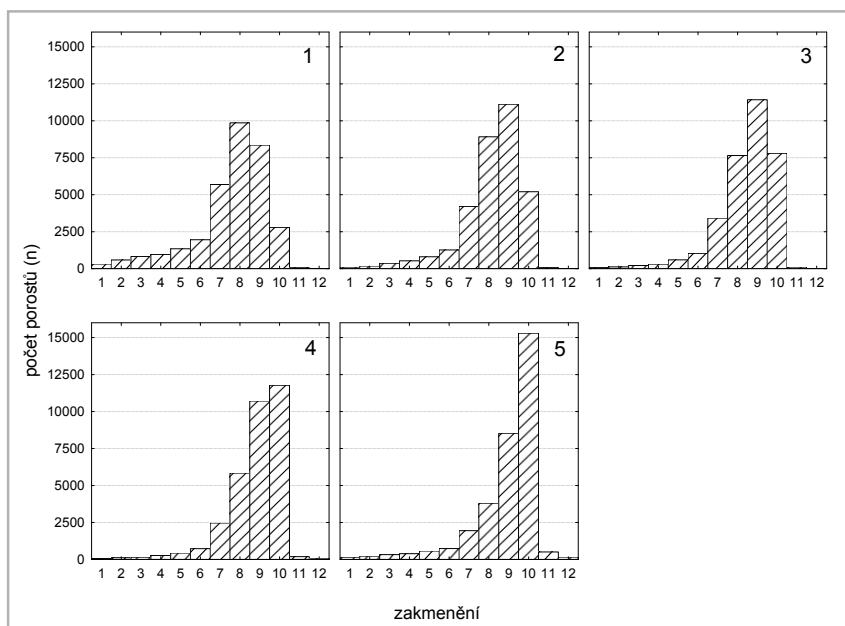
Obr. 6. Predikce potenciálního současného poškození lesních porostů nektrózou jasanu – Moravskoslezské Beskydy



Obr. 7. Rozložení věku porostů v rámci jednotlivých kategorií poškození



Obr. 8. Rozložení porostů podle ekologických řad v rámci jednotlivých kategorií poškození



Obr. 9. Rozložení porostů dle zakmenění v rámci jednotlivých kategorií poškození

Tab. 7. Trendy vývoje vybraných porostních a environmentálních proměnných na škále kategorií potenciálního poškození porostů

Třída potenciálního poškození	Slovní klasifikace poškození	Vybrané znaky								
		věk (roky)	výška porostu (m)	zakmenění	JS zast (%)	JS vzd (m)	dominující řada	nadm. výška (m n. m.)	teplota (°C)	sklon (stupně)
1	mírné	75,8	23,5	7,6	25,9	228,7	kyselá	490,7	6,9	9,9
2	zřetelné	63,7	21,0	8,2	27,8	185,6	kyselá	412,2	7,4	8,7
3	závažné	54,4	18,3	8,5	30,2	163,0	-	377,3	7,6	7,5
4	velmi závažné	42,7	14,8	8,8	29,5	145,7	živná	363,2	7,7	7,1
5	extrémní	27,5	10,3	8,9	30,8	120,7	živná, obohacená vodou	337,4	7,9	6,3

6.2. Environmentální model

Výsledky environmentálního modelu

Environmentální riziko popisuje dlouhodobou vhodnost prostředí pro (masivní) rozvoj choroby nezávislou na porostních charakteristikách jasanu. Do výsledného modelu environmentálního rizika ovlivňujícího rozvoj nekrózy jasanu byly na základě podrobné statistické analýzy dostupných dat zahrnuty například následující vysvětlující proměnné: nadmořská výška, průměrný sklon terénu v porostu, průměrné roční srážky aj. – viz Tab. 8.

Dílčí modely jednotlivých ekologických řad vysvětlovaly průměrně 15,9 % (rozah 3,8–32,0 %), variability dat. Mezi proměnné, které byly sdíleny s různými modely, patří např. průměrná nadmořská výška a průměrné roční srážky, jiné proměnné byly specifické pro určité ekologické řady jako např. průměrný sklon terénu, expozice apod.

Míra potenciálního environmentálního rizika se v modelu pro ekologickou řadu extrémní a kyselou snižuje s vyšší průměrnou nadmořskou výškou; model vysvětlil ovšem pouze 3,8 % variability dat. Pro ekologickou řadu živnou se pravděpodobnost vyšší míry poškození snižuje s vyšší průměrnou nadmořskou výškou a průměrným sklonem terénu a naopak s vyššími průměrnými ročními srážkami se pravděpodobnost vyšší míry poškození zvyšuje; model vysvětlil 10,3 % variability dat. U ekologické řady obohacené humusem se pravděpodobnost vyšší míry poškození snižuje s vyšší průměrnou nadmořskou výškou a podílem lesních porostů, naopak s vyššími průměrnými ročními srážkami se pravděpodobnost zvyšuje; model vysvětlil 15,8 % variability dat. U ekologické řady obohacené vodou se pravděpodobnost vyšší míry poškození snižuje s vyšší průměrnou nadmořskou výškou, směrodatnou odchylkou topografického pozičního indexu a naopak zvyšuje se s vyššími průměrnými ročními srážkami a s expozicí porostu na V a JZ oproti expozici S; model vysvětlil 17,5 % variability dat. Při vzájemném porovnání kategorií expozice pomocí homogenních skupin se rozdíl mezi jednotlivými kategoriemi nepotvrdil. U ekologické řady oglejené a podmáčené se pravděpodobnost vyšší míry poškození snižuje s vyšší průměrnou nadmořskou výškou a zvyšuje se s vyššími průměrnými ročními srážkami; model vysvětlil 32,0 % variability dat, podrobněji viz Příloha 2.

Predikce míry trvalého environmentálního rizika

Na základě výše uvedených vztahů zjištěných pomocí lineární regrese byla odvozena míra trvalého vlivu prostředí na rozvoj nekrózy jasanu pro všechny porosty se zastoupením jasanu na celém území ČR. Výsledné hodnoty se pohybují v intervalu 0–68 % a jsou kategorizovány pomocí funkce „natural breaks“ do pěti tříd. Grafické vyjádření potenciální míry trvalého environmentálního rizika v lesních porostech ČR je uvedeno v Obr. 10.

Efekt očištění predikce od vlivu porostních charakteristik je na první pohled z vizualizace patrný – v mapě se objevují poměrně zřetelné a mnohdy

rozsáhlé oblasti s různou mírou environmentálního rizika doplněné mírnějšími či ostřejšími gradienty přechodů – např. pozvolný gradient klesající míry rizika poškození z Polabí na Českomoravskou vrchovinu či ostřejší z Hornomoravského úvalu do okolních vrchovin. Tyto více či méně homogenní přechody jsou typické pro méně členitou krajinu, jako je na Obr. 11 opět oblast Dolnomoravského úvalu a Pálavy (efekt eliminace vlivu porostních charakteristik na celkový výsledek lze ověřit porovnáním s Obr. 5).

V oblastech s členitým reliéfem je pak typicky vyšší riziko predikováno na aluvích a v údolích toků v podhůří, v údolních polohách podél vodních toků a na svazích údolí a roklí v úžlabinách a nižší pak na více exponovaných částech svahů, temenech kopců a hřebetech, jako např. v Moravskoslezských Beskydech, Obr. 12.

Mezi oblastmi s obecně vyšší mírou rizika patří zejména teplejší a srážkově bohatší Slezsko a Západní Karpaty a některé další oblasti (v Čechách např. Frýdlantský výběžek či pravobřežní Labské pískovce) a obecně teplejší moravské úvaly, Polabí, Jizerská tabule a Poohří. Obecná vyšší dostupnost vody a humidní prostředí např. v lužních lesích v okolí Dyje, Moravy či Labe nebo Ohře tyto oblasti rovněž předurčuje k vyšší míře rizika. Vyšší riziko je mj. např. predikováno pro výsadby jasanu na rekultivacích a dalších výsadbách jasanu na Teplicku. Oblasti více exponované a s nižší dostupností vody – např. opět České Středohoří, Doupovské hory či Pálava – jsou charakteristické mírou rizika nižšího. Nižší míra rizika je obecně predikována ve vyšších polohách sudetských pohoří. Lokálně v oblastech s vysokou členitostí reliéfu lze identifikovat i odpovídající variabilitu míry predikovaného rizika odvíjejícího se od zvýšené heterogenity prostředí (např. Ještědsko-kozákovský hřbet, Železnobrodsko, části Českého Středohoří, obecně členitější podhůří hor a vrchovin a zejména vertikálně značně

Tab. 8. Statisticky významné proměnné vysvětlující environmentální model

Porostní proměnné	Proměnné charakterizující okolí porostu (buffer 500 m)	Proměnné prostředí porostu
	podíl lesních porostů	ekologická řada průměrná nadmořská výška vertikální heterogenita expozice průměrný sklon terénu směrodatná odchylka TPI charakter terénu průměrné roční srážky

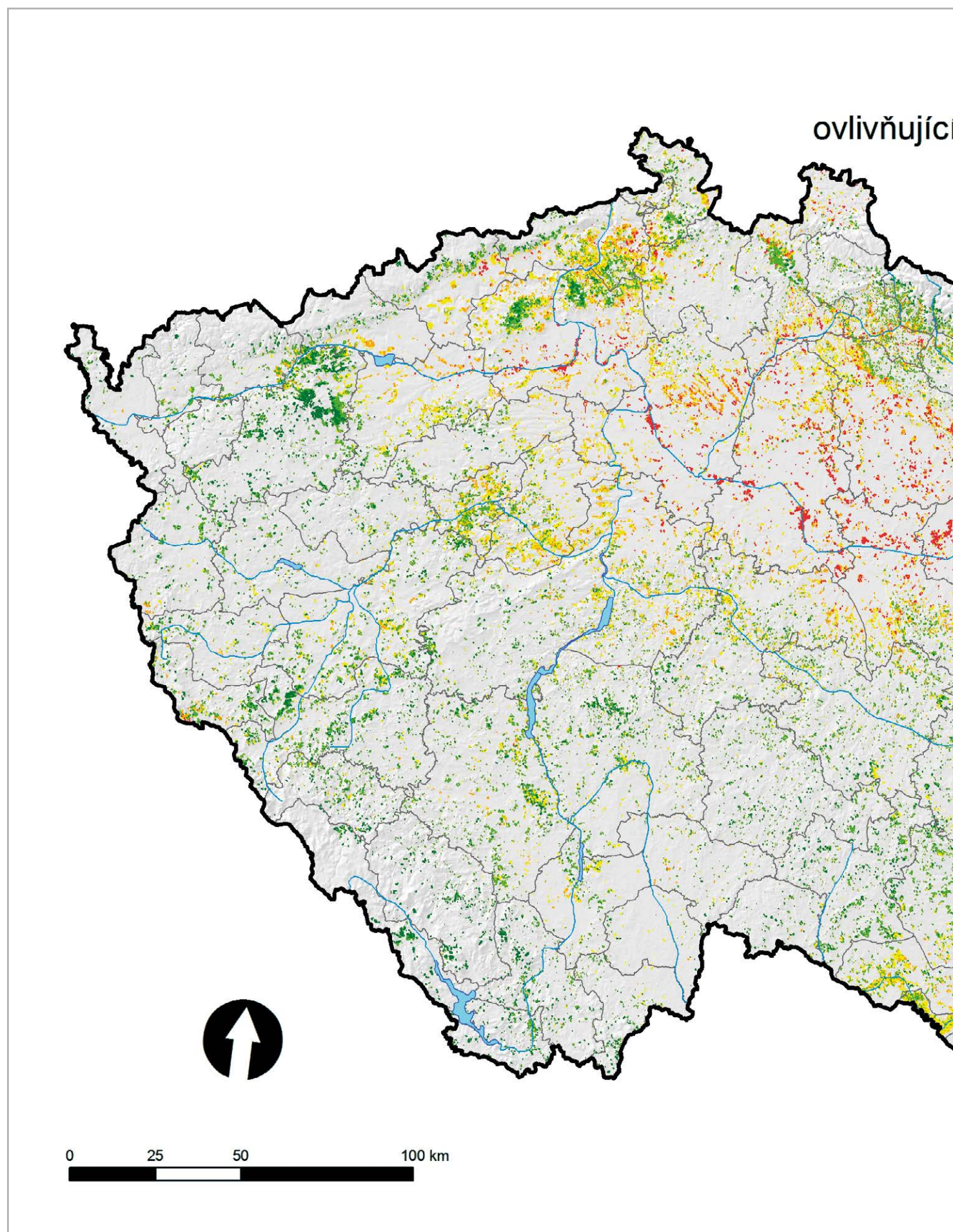
heterogenní flyš Západních Karpat). Stejně jako v předchozím případě je vyšší riziko predikováno v polohách údolních kolem vodních toků a nižší ve více exponovaných porostech na svazích a temenech kopců (viz Moravskoslezské Beskydy, Obr. 12). Zásadní vliv reliéfu roklí a úzkých údolí (s odpovídající vysokou humiditou) lze demonstrovat např. na soustavě dolů a údolí v západní části Jizerské tabule.

Trendy vybraných proměnných prostředí ovlivňujících environmentální riziko rozvoje nekrózy jasanu jsou uvedeny v Tabulce 9. Tabulku

lze interpretovat tak, jak je uvedeno v úvodu kapitoly, tzn., že riziko poškození roste spolu s úživností stanoviště a dostupností vody a teplotou a klesá s nadmořskou výškou, vertikální heterogenitou stanoviště a zvyšujícím se sklonem. Detailnější pohled na rozložení hodnot významnějších proměnných (ekologická řada, nadmořská výška, vertikální heterogenita, sklon a teplota) v rámci jednotlivých kategorií poškození je prezentován na Obr. 13–17.

Tab. 9. Trendy vývoje vybraných proměnných na škále tříd environmentálního rizika podmiňujícího rozsah poškození

Třída environmentálního rizika	Slovní klasifikace rizika	Vybrané znaky				
		dominující řada	nadm. výška (m n. m.)	vertikální het (m)	sklon (stupně)	teplota (°C)
1	mírné	-	589,4	7,8	10,2	6,5
2	zřetelné	kyselá	493,9	6,4	10,2	6,9
3	závažné	-	375,3	5,1	8,2	7,6
4	velmi závažné	živná	343,0	4,3	6,5	7,8
5	extrémní	obohacená vodou, živná	272,8	2,1	3,3	8,2



Obr. 10. Predikce trvalého environmentálního rizika ovlivňujícího dopad nekrózy jasanu v lesních porostech ČR (hranice lesních správ platné k 4. 10. 2016)

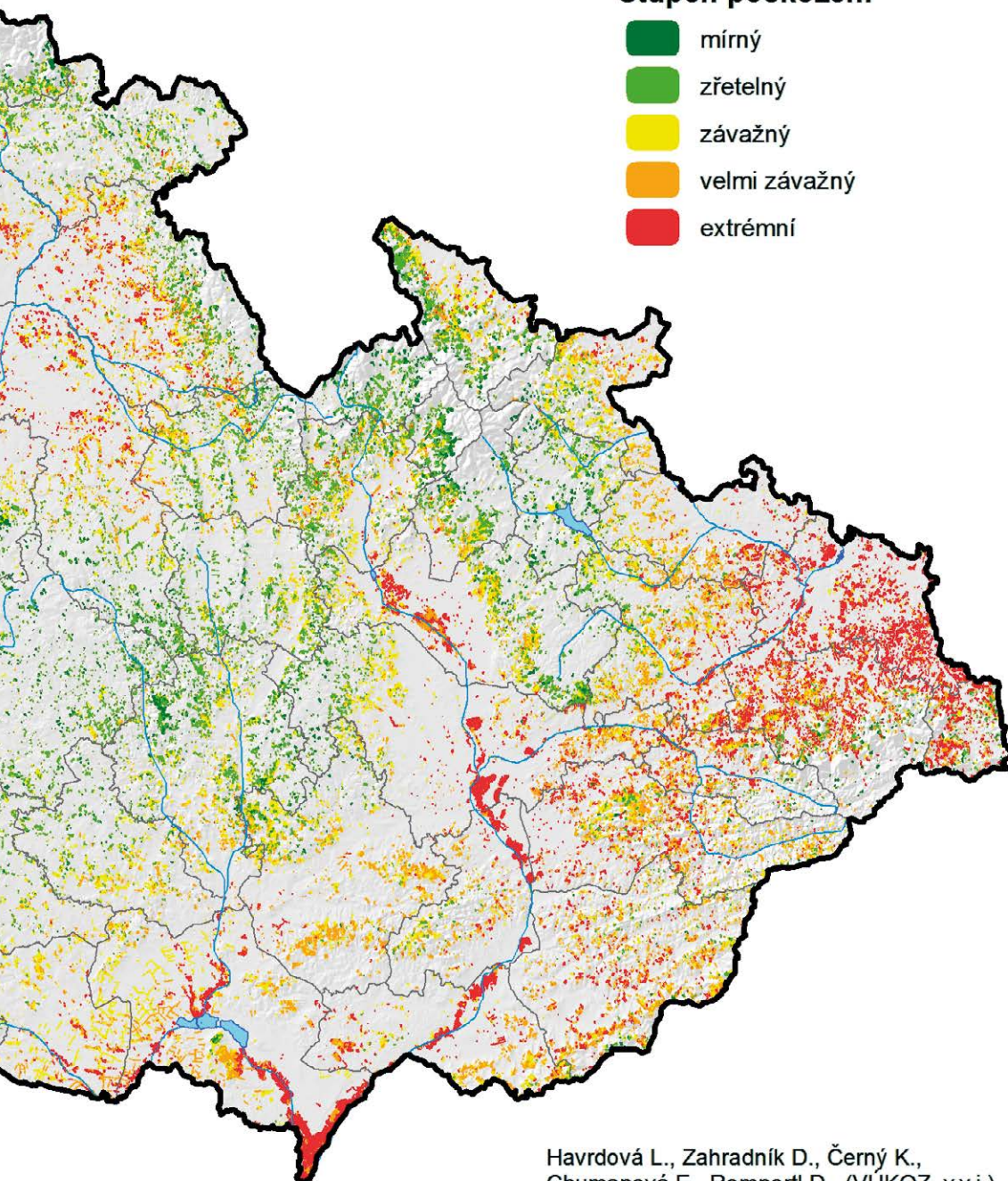
Predikce trvalého environmentálního rizika ho dopad nekrózy jasanu v lesních porostech ČR

Legenda

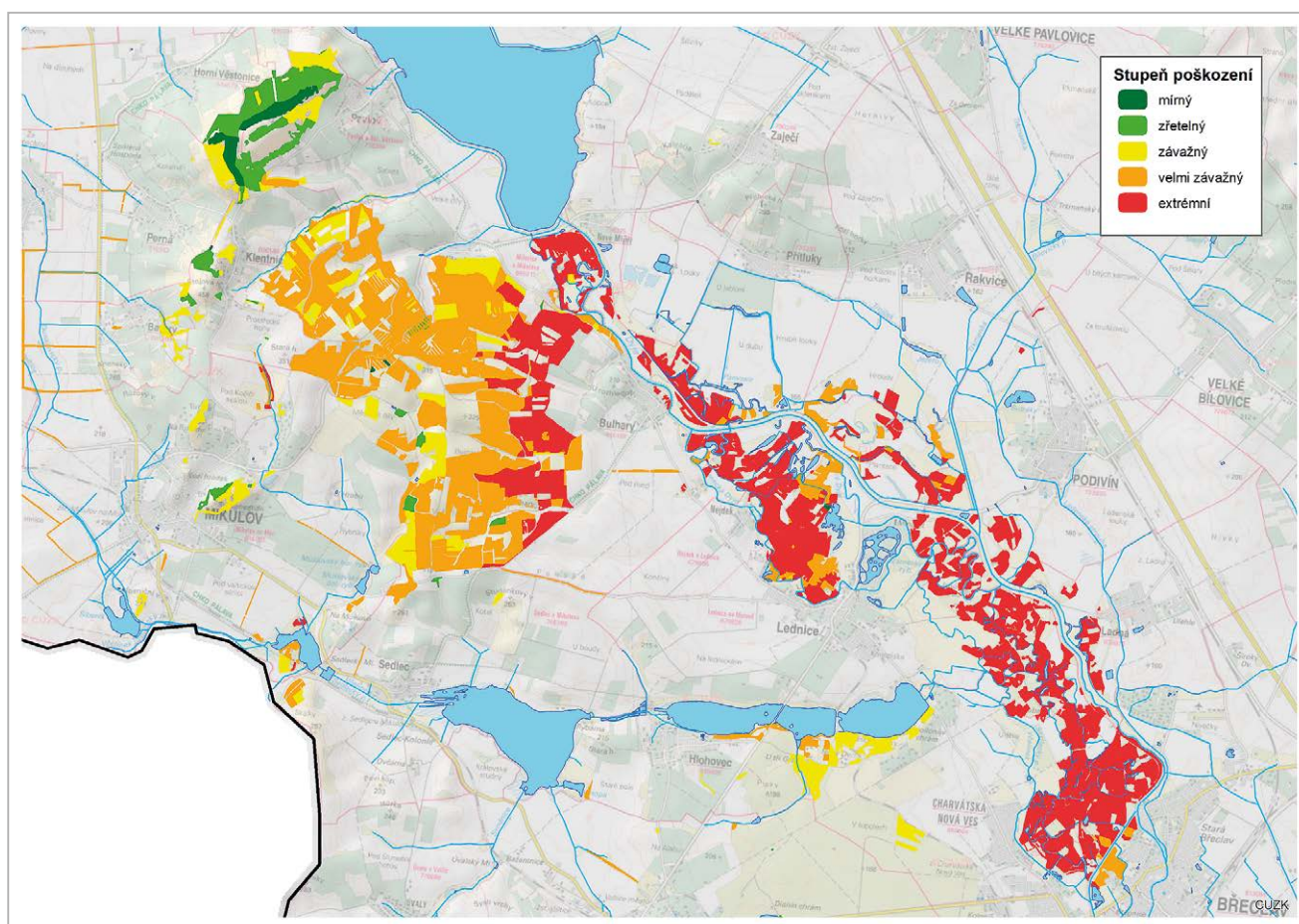
 hranice lesních správ

Stupeň poškození

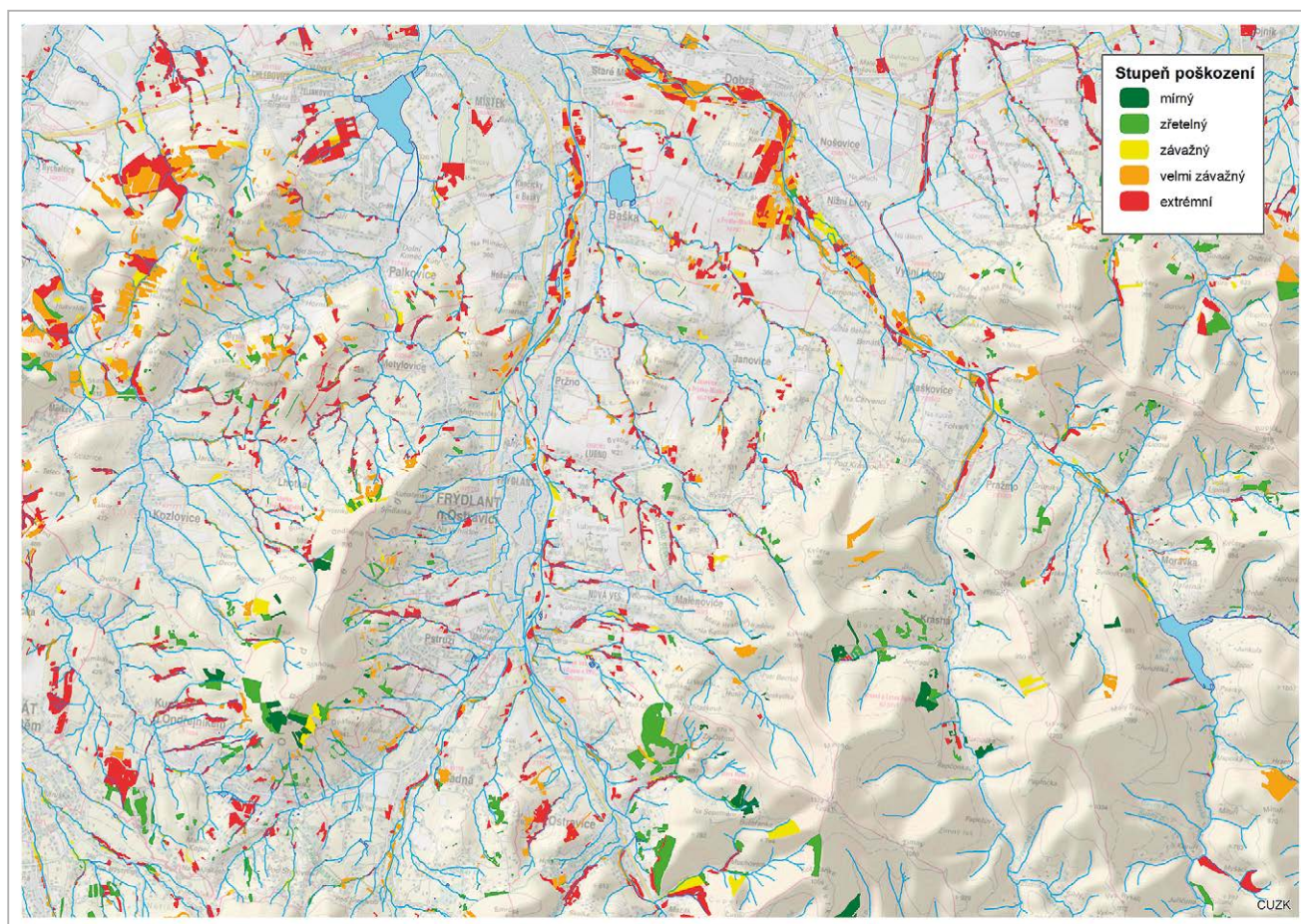
-  mírný
-  zřetelný
-  závažný
-  velmi závažný
-  extrémní



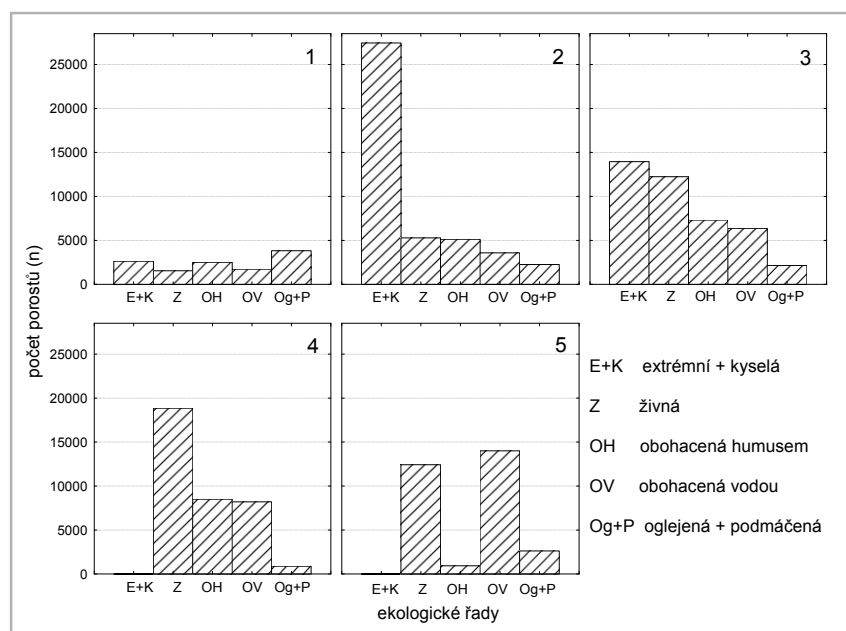
Havrdová L., Zahradník D., Černý K.,
Chumanová E., Romportl D., (VÚKOZ, v.v.i.)
Pešková V. (VÚLHM, v.v.i.)
(c) 2016, podpořeno NAZV QJ1220218



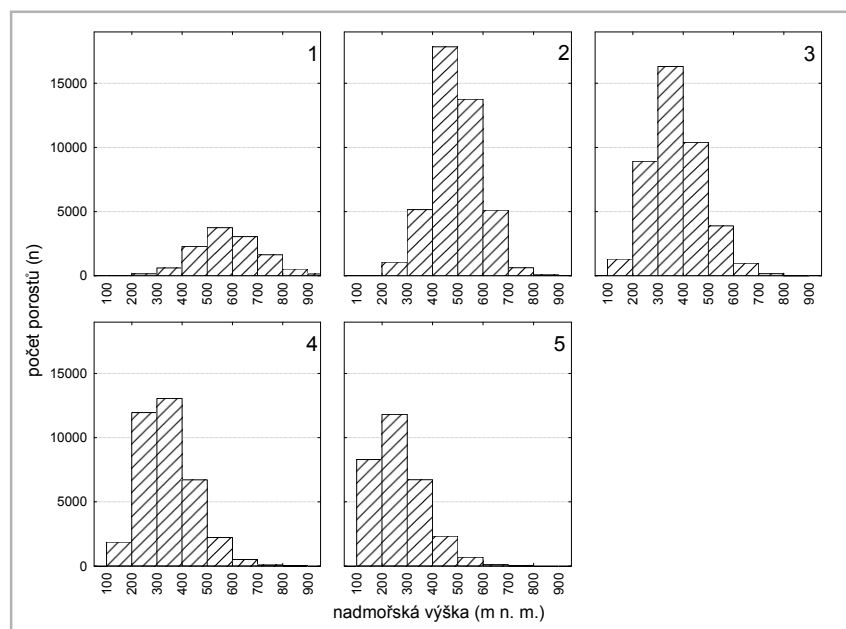
Obr. 11. Predikce míry trvalého environmentálního rizika – Pálava a část Dolnomoravského úvalu



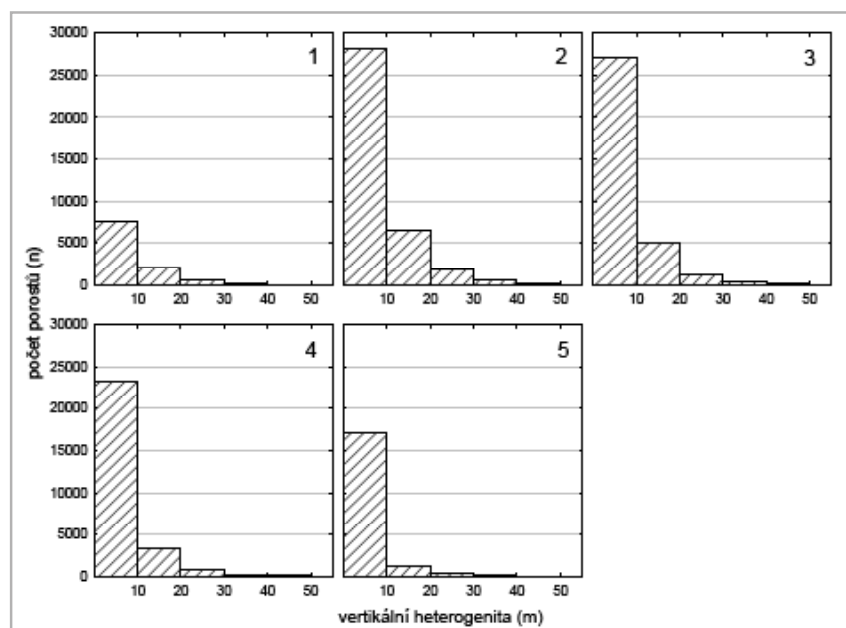
Obr. 12. Predikce míry trvalého environmentálního rizika – Moravskoslezské Beskydy



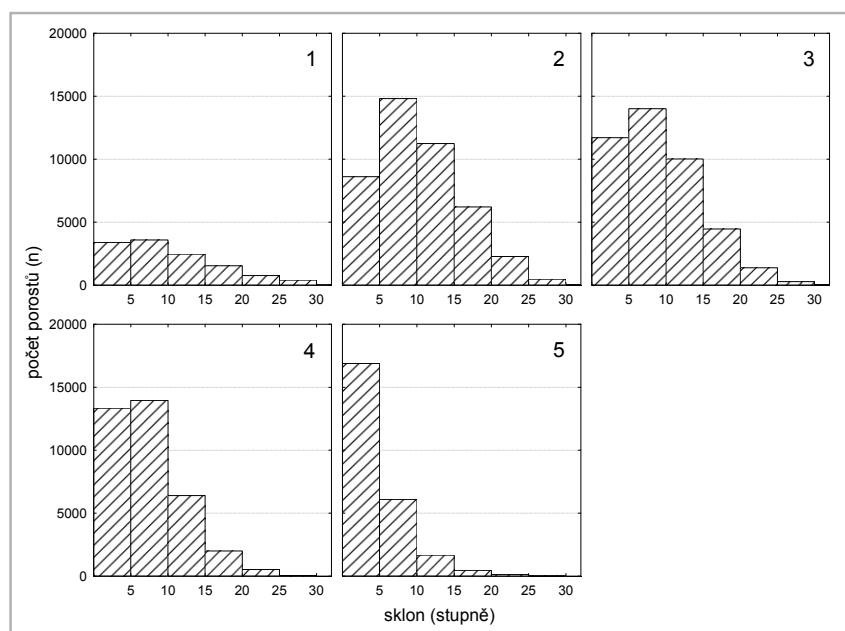
Obr. 13. Rozložení porostů mezi ekologickými řadami v jednotlivých úrovních rizika



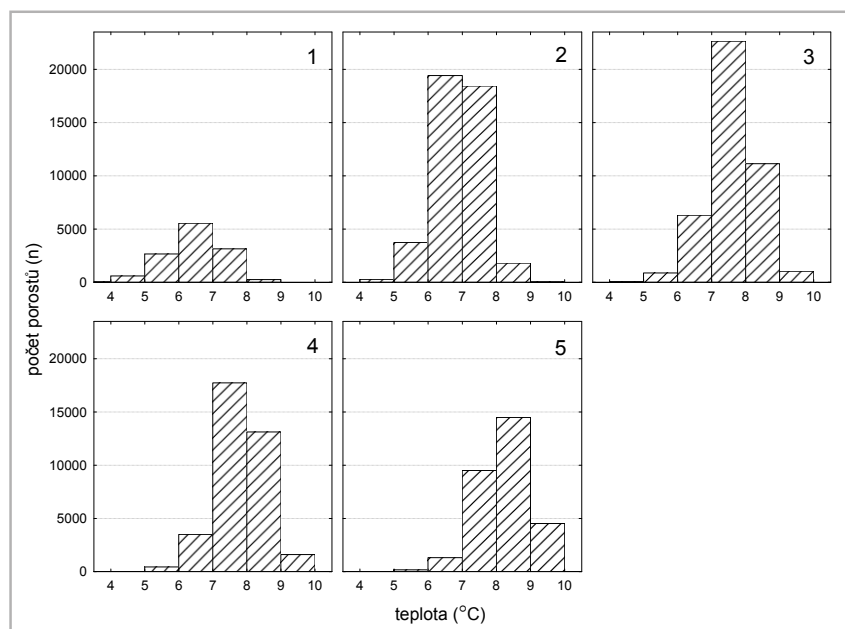
Obr. 14. Rozložení porostů na gradientu nadmořské výšky v jednotlivých úrovních rizika



Obr. 15. Rozložení porostů na gradientu vertikální heterogenity v jednotlivých úrovních rizika



Obr. 16. Rozložení porostů na gradientu sklonu v jednotlivých úrovních rizika



Obr. 17. Rozložení porostů na gradientu průměrné teploty v jednotlivých úrovních rizika

6.3. Poznámka k interpretaci výsledků

Při používání map je zapotřebí reflektovat několik skutečností, které mohou do jisté míry znesnadnit interpretaci výstupů a které je třeba mít na paměti:

- 1) Vypracované modely popisují jen část variability prostředí – např. z důvodů ne zcela optimálního rozložení sbíraných dat, nemožnosti podchytit řadu proměnných ovlivňujících rozsah prosychání (rozdíly ve virulenci patogenu, rezistenci či toleranci hostitelů, výskyt sekundárně výrazněji působících patogenů a škůdců, složení porostu, mikroklima porostu atp.), chyb v měření atd.
- 2) Rozvoj nekrózy jasanu je ovlivněn řadou proměnlivých faktorů prostředí (např. teploty, srážky, relativní vlhkost vzduchu) a mění se efekt spolupůsobení těchto faktorů má každý rok více či méně odlišný vliv na rozvoj nekrózy jasanu. Vliv variability jednotlivých sezón tedy může zapříčinit odchylky od predikčního modelu založeného na dlouhodobém průměru hodnot proměnných prostředí. Náhodná prostorová variabilita významných environmentálních proměnných může rovněž zásadně ovlivnit rozvoj nekrózy jasanu – např. lokální intenzivní srážky mohou vést k místnímu namnožení patogenu a tedy k lokálnímu rozvoji choroby a místnímu nárůstu poškození v dalších letech.
- 3) Pro nekrózu jasanu je charakteristická silná vazba produkce infekčního inokula na vlhkostní poměry – tzn. mimo jiné na dešťové srážky (Havrdová 2015; Havrdová et al. 2017; Skovsgaard et al. 2017). Právě suché periody – např. extrémní sucha v posledních letech a zejména v r. 2015 (Lipina 2015; Žalud et al. 2016) vedla např. ve Slezsku nebo částečně i v jižních Čechách a jinde k (nečekanému) zpomalení procesu chřadnutí, přičemž místy došlo i k regeneraci porostů. Nárůst počtu a délky epizod sucha může vést ke snížení poškození nekrózou jasanu oproti predikci. Naproti tomu se může zvýšit význam jiných negativních faktorů (např. kořenové hniloby, podkorní hmyz, pokles hladiny spodní vody atd.).
- 4) Některé více či méně rozsáhlé porosty s jasanu pokrývají velmi heterogenní území (např. včetně expozice, sklonu, TPI aj.) a celou škálu vlhkostních poměrů (např. porosty v kaňonu Berounky) a reálně se v nich vyskytují části s velmi odlišným prostředím a tedy i poškozením. Bohužel metodika dovolila predikovat pouze jednu (průměrnou) hodnotu pro konkrétní porost – v případech velmi heterogenních porostů může být tedy predikce do jisté míry nepřesná (resp. zprůměrovaná), což je zapotřebí při použití map rovněž reflektovat.

7. Závěr

Během posledních dvou dekád se nepůvodní invazní patogen jasanů *Hymenoscyphus fraxineus* rozšířil téměř do celé Evropy a stal se jedním z nejvýznamnějších problémů evropské lesnické fytopatologie. Patogen způsobuje nejen významné ekonomické škody, ale je příčinou i závažných škod ekologických, krajinařských, estetických a dalších. Prezentovaný výzkum potvrdil, že dopad patogenu v krajině je ovlivněn celou řadou faktorů, a to jak environmentálních, tak i porostních. Na základě statistické a geostatistické analýzy míry poškození jasanů způsobené *Hymenoscyphus fraxineus* v modelových lesních porostech v rámci území České republiky a příslušných porostních a geostatistických dat všech lesních porostů s jasanem byl vytvořen model predikující potenciální aktuální míru poškození jasanů v lesních porostech v ČR a environmentální riziko ovlivňující potenciální rozsah choroby trvale. Vhodnost obou modelů byla úspěšně ověřena.

Do predikčního souhrnného modelu popisujícího aktuální riziko rozvoje choroby byly zahrnuty proměnné jako je např. střední výška porostu, zakmenění, ekologická řada, průměrný úhrn ročních srážek a další.

V predikčním modelu se uplatňuje vliv tří typů proměnných – klimatických, geomorfologických a porostních. Mezi oblastmi s obecně vyšší mírou rizika patří zejména teplejší a srážkově bohatší Slezsko a Západní Karpaty a některé další oblasti (v Čechách např. Frýdlantský výběžek či pravobřežní Labské pískovce) a obecně teplejší moravské úvaly, Polabí, Jizerská tabule a Poohří. Obecná vyšší dostupnost vody a humidní prostředí např. v lužních lesích v okolí Dyje, Moravy či Labe nebo Ohře tyto oblasti rovněž předurčuje k vyšší míře rizika. Oblasti více exponované a s nižší dostupností vody – např. České Středohoří, Doupovské hory či Pálava – jsou charakteristické nižší mírou rizika. Nižší míra rizika je obecně predikována ve vyšších, chladnějších a kyselejších polohách Hercynika. Toto základní rozložení potenciálního poškození na úrovni krajiny ČR je narušováno pestrá mozaikou na úrovni místní, zapříčiněnou lokálně vysokou geomorfologickou heterogenitou prostředí a obecně různorodostí porostů. Model predikuje vyšší poškození porostů v oblastech s vyšší dostupnos-

tí vody, v okolí toků, v nížinách, v údolních a uzavřených polohách apod. Menší poškození je predikováno v polohách sušších, více exponovaných v horních částech svahů, na temenech kopců apod. Vyšší poškození je predikováno v mladších porostech, v porostech s vyšším zakmeněním a vyšší dostupností živin. Velmi ohrožené jsou právě porosty mladé a obecně lze předpokládat velké problémy s odrůstáním mlazin, tyčovin a tyčovin, a to i v oblastech s nižší mírou rizika. Plně vzrostlé porosty mohou v řadě případů do značné míry chorobě odolávat déle i v oblastech relativně méně příznivých (Slezsko, aj.).

Do predikčního environmentálního modelu popisujícího potenciální trvalé riziko nezávislé na stavu porostů byly zahrnuty proměnné jako je např. průměrná nadmořská výška, dlouhodobé srážky, geomorfologie terénu a další.

Mapa environmentálního rizika výrazně lépe specifikuje oblasti s různou mírou rizika rozvoje, resp. nebezpečnosti choroby (viz výše), doplněné zřetelnými gradienty různých úrovní poškození. Velmi dobře jsou specifikovány i oblasti s heterogenní mírou rizika, jako jsou např. Ještědsko-kozákovský hřbet, Železnobrodsko, části Českého Středohoří, Křivoklátsko, obecně členitější podhůří hor a vrchovin a zejména vertikálně značně heterogenní flyš Západních Karpat.

Výsledné modely a predikce představují významný pokrok v poznání významu nekrózy jasanu v krajině měřítku a jsou cenným podkladem ke středně- a dlouhodobému managementu choroby.

Při používání map je zapotřebí reflektovat fakt, že 1) vypracované modely popisují jen část variability prostředí; 2) rozvoj nekrózy jasanu je ovlivněn řadou časově a prostorově výrazně proměnlivých faktorů prostředí, na které patogen citlivě reaguje (srážky); 3) suché periody, zejména extrémní sucha mohou vést i k výraznějšímu (byť dočasnému) ústupu nekrózy jasanu; 4) predikce může mít z metodických důvodů jisté omezení u prostorově rozsáhlých porostů pokrývajících značně heterogenní stanoviště.

Poděkování

Specializovaná mapa s odborným obsahem byla vypracována s podporou výzkumného projektu NAZV QJ1220218 Ministerstva zemědělství ČR. Při vypracování mapy byl použit datový podklad LČR, s. p. a ÚHÚL. Velké díky patří recenzentům mapy RNDr. Jiřímu Stonawskému (LČR, státní podnik) a Ing. Vincencovi Zlatníkovi (Ústav pro hospodářskou úpravu lesů).

Poděkování patří pracovníkům společnosti Lesy České republiky, státní podnik za spolupráci při sběru dat a zejména pak Ing. Martinu Zavrtálkovi za jeho organizaci a Ing. Janu Valentovi, Ph.D. za poskytování geostatistických dat a spolupráci. Za pomoc s poskytnutím dat děkujeme také Ing. Pavlu Kolaříkovi (ÚHÚL).

8. Literatura

- Agresti, A. (2002). Categorical data analysis. J Wiley, Hoboken, New Jersey. 721 s.
- Černý, K., Havrdová, L., Zlatník, V., Hrabětová, M. (2016). Pěstování jasanu v prostředí s výskytem *Hymenoscyphus fraxineus*. Certifikovaná metodika, Mze, VÚKOZ, v.v.i., Průhonice.
- Černý, K., Mrázková, M., Hrabětová, M., Strnadová, V., Romportl, D., Havrdová, L., Haňáčková, Z., Novotná, K., Štochlová, P., Loskotová, T. et Pešková, V. (2015). Invaze houbových patogenů – riziko pro lesní hospodaření v ČR? In: Invazní škodlivé organismy v lesích ČR. Sborník příspěvků, ČLS, Praha, 31–45.
- Elith, J. et Leathwick, J. R. (2009). Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 40, 677–697.
- Guisan, A. et Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. Ecological Modelling 135, 147–186. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304380000003549>.
- Havrdová, L., Zahradník, D., Romportl, D., Pešková, V. et Černý, K. (2017). Environmental and silvicultural characteristics influencing the extent of ash dieback in forest stands. Baltic Forestry, special issue “Susceptibility of European Tree Species to Alien Invasive Pests”, přijato.
- Havrdová, L. (2015). Analýza vybraných faktorů ovlivňujících výskyt *Chalara fraxinea* v prostředí. Česká zemědělská univerzita v Praze, Disertační práce. 106 pp. <https://www.fld.czu.cz/cs/r-6825-studium/r-6834-studijni-dokumenty/r-8497-doktorske-obory/r-11837-obhajene-disertacni-prace>.
- Havrdová, L. et Černý, K. (2013). Nekróza jasanu – přehled současných znalostí. Zpravodaj ochrany lesa 17, 56–63.
- Havrdová, L., Černý, K. et Pešková, V. (2013). *Hymenoscyphus pseudoalbidus* V. Queloz, C. R. Grünig, R. Berndt, T. Kowalski, T. N. Sieber et O. Holdenrieder (anamorfa *Chalara fraxinea* T. Kowalski). Nekróza jasanu. Lesnická práce 92(6), Příloha 4 p.
- Havrdová, L. et Černý, K. (2012). Invaze *Chalara fraxinea* v CHKO Lužické hory – předběžné výsledky výzkumu. Acta Pruhoonica 100, 137–145.
- Jankovský, L. et Holdenrieder, O. (2009). *Chalara fraxinea* – Ash Dieback in the Czech Republic. Plant Protection Science 45, 74–78.
- Jenness, J. (2001). Topographic Position Index (TPI). Jenness Enterprises, Flagstaff, USA. <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.
- Kowalski, T. (2001). O zamieraniu jesionów [About ash dieback]. Trybuna leśnika 4, 6–7.
- Lipina, P. (2015). Deficit srážek v r. 2015 na severní a východní Moravě. <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1444069522>.
- R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Skovsgaard, J. P., Wilhelm, G. J., Thomsen I. M., Metzler, B., Kirisits, T., Havrdová, L., Enderle, R., Dobrowolska, D., Clary, M., Clark, J. (2017). Silvicultural strategies for *Fraxinus excelsior* in response to dieback caused by *Hymenoscyphus fraxineus*. Forestry, přijato.
- Václavík, T. et Meentemeyer, R. K. (2009). Invasive species distribution modeling (iSDM): Are absence data and dispersal constraints needed to predict actual distributions? Ecological Modelling 220, 3248–3258. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304380009005742>.
- Weis, A. (2000). Topographic position and landforms analysis. The Nature Conservancy. Jenness Enterprises, Flagstaff, USA. <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.
- Woodward, S. (2013). Foreword. In: Infectious forest diseases. [Ed.] Gontheir, P. and Nicolotti, G., CAB International, London, UK, 641 p.
- Zvára, K. (2008). Regrese. Matfyzpress, Praha. 253 s.
- Žalud, Z., Hlavinka, P., Zahradníček, P., Štěpánek, P., Semerádová, D., Bartošová, L., Možný, M. et Trnka, M. (2016). Monitoring zemědělského sucha v České republice. <http://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/monitoring-zemedelskeho-sucha-v-ceske-republice>.

9. Seznam odborných podkladů, které předcházely vypracování mapy

- Havrdová, L., Zahradník, D., Romportl, D., Pešková, V. et Černý, K. (2017). Environmental and silvicultural characteristics influencing the extent of ash dieback in forest stands. *Baltic Forestry*, special issue "Susceptibility of European Tree Species to Alien Invasive Pests", přijato.
- Haňáčková, Z., Havrdová, L., Černý, K., Zahradník, D. et Koukol, O. (2017). Fungal endophytes in ash shoots—diversity and inhibition of *Hymenoscyphus fraxineus*. *Baltic Forestry*, special issue "Susceptibility of European Tree Species to Alien Invasive Pests", přijato.
- Hrabětová, M., Černý, K., Zahradník, D., Havrdová, L. (2016). Efficacy of fungicides on the in vitro growth of *Hymenoscyphus fraxineus* and their potential control of ash dieback in the forest nurseries. *Forest Pathology*, doi: 10.1111/efp.12311.
- Havrdová, L., Novotná, K., Zahradník, D., Buriánek, V., Pešková, V., Šrůtka, P., Černý, K. (2016). Resistance of a Czech *Fraxinus excelsior* population to ash dieback at the provenance level confirmed. *Forest Pathology* 46, 281–288.
- Romportl, D., Chumanová, E., Havrdová, L., Pešková, V. et Černý, K. (2016). A map of the potential risk of occurrence and impact of *Phytophthora alni* in forests of the Czech Republic. *Journal of Maps*, doi: 10.1080/17445647.2016.1198996.
- Koukol, O., Haňáčková, Z., Dvořák, M., Havrdová, L. (2016). Unseen, but still present in Czechia: *Hymenoscyphus albidus* detected by real-time PCR, but not by intensive sampling. *Mycological Progress* 15(6), 1–9.
- Haňáčková, Z., Koukol, O., Havrdová, L., Gross, A. (2016). Local population structure of *Hymenoscyphus fraxineus* surveyed by an enlarged set of microsatellite markers. *Forest Pathology* 45, 400–407.
- Havrdová, L. et al. (2015). Vývoj efektivních opatření eliminujících dopad invaze *Chalara fraxinea* v lesním školkařství a v navazujících aspektech lesního a vodního hospodářství. Roční zpráva o postupu prací na projektu QJ1220218, 25 p.
- Romportl, D., Chumanová, E., Černý, K., Havrdová, L., Pešková, V., Strnadová, V. (2015). Mapa potenciálního rizika výskytu a škod způsobených *Phytophthora alni* v lesních porostech ČR. Specializovaná mapa s odborným obsahem. NAZV QJ1220219. ISBN: 978-80-87674-09-3. Certifikace 8. 12. 2015 MZe (Osvědčení č. 66448/2015-MZE-16222/MAPA627). 16 p.
- Černý, K., Mrázková, M., Hrabětová, M., Strnadová, V., Romportl, D., Havrdová, L., Haňáčková, Z., Novotná, K., Štochlová, P., Loskotová, T. et Pešková, V. (2015). Invaze houbových patogenů – riziko pro lesní hospodaření v ČR? In: Invazní škodlivé organismy v lesích ČR. Sborník příspěvků, ČLS, Praha, 31–45.
- Havrdová, L. (2015). Analýza vybraných faktorů ovlivňujících výskyt *Chalara fraxinea* v prostředí. Česká zemědělská univerzita v Praze, Disertační práce. 106 p. <https://www.fld.czu.cz/cs/r-6825-studium/r-6834-studijni-dokumenty/r-8497-doktorske-obory/r-11837-obhajene-disertacni-prace>.
- Havrdová, L., Zábranský, P. et Černý, K. (2014). Extrémní rozvoj nekrózy jasanu v břehových porostech je podmíněn vysokou vlhkostí jejich prostředí. *Vodní Hospodářství* 64(11), 1–4.
- Havrdová, L., Zahradník, D. et Černý, K. (2014). Environmental factors affecting the impact of ash dieback. In: COST FRAXBACK, September 15th – 18th 2014, Palanga, Lithuania, Participants, Program and Abstracts, 3–4 p.
- Havrdová, L. et Černý, K. (2014). Vegetation type and air humidity determine the extent of ash dieback. In: 11th Conference of the European Foundation for Plant Pathology, September 8th–13th 2014, Kraków, Poland, Book of Abstracts, 323 p.
- Koukol, O. et Havrdová, L. (2014). Vřeckovýtrusá zkáza jasanů. *Živa* 1, 7–10.
- Havrdová, L. et Černý, K. (2013). Význam vlhkosti vzduchu v epidemiologii nekrózy jasanu – předběžné výsledky výzkumu. *Zprávy lesnického výzkumu* 58(4), 347–352.
- Havrdová, L., Černý, K. et Pešková, V. (2013). *Hymenoscyphus pseudoalbidus* V. Queloz, C. R. Grünig, R. Berndt, T. Kowalski, T. N. Sieber et O. Holdenrieder (anamorfa *Chalara fraxinea* T. Kowalski). Nekróza jasanu. *Lesnická práce* 92(6), Příloha, 4 p.
- Havrdová, L. et Černý, K. (2013). Vybrané faktory ovlivňující dopad *Hymenoscyphus pseudoalbidus* v CHKO Lužické hory. In: 3 Česko-slovenská mykologická konference, 29–31. 8. 2013, UPOL Olomouc, Mykologické Listy 125, 30 p.
- Havrdová, L. et Černý, K. (2013). Selected factors affecting the impact of *Hymenoscyphus pseudoalbidus* in Lusatian Mountains PLA. In: IUFRO 2013 WP 7.02.02. Foliage, shoot and stem diseases, May 20th – 25th 2013, Brno and Černá Hora, Czech Republic, Book of Abstracts, 105 p.
- Havrdová, L. et Černý, K. (2013). Nekróza jasanu – přehled současných znalostí. In: Seminář LOS, 11. 4. 2013, Škodliví činitelé v lesích Česka 2012/2013, Průhonice, Zpravodaj ochrany lesa 17, 54–61.
- Havrdová, L. et Černý, K. (2012). Invaze *Chalara fraxinea* v CHKO Lužické hory – předběžné výsledky výzkumu. *Acta Pruhoniciana* 100, 137–145.
- Havrdová, L. et Černý, K. (2012). *Hymenoscyphus pseudoalbidus* invasion in Lusatian Mountains Protected Landscape Area – preliminary results. In: COST FRAXBACK, November 13th – 14th 2012, Vilnius, Lithuania, poster.
- Havrdová, L., Dvořák, M., Jankovský, L., Procházková, Z. (2012). Situation with ash in the Czech Republic. In: COST FRAXBACK, November 13th – 14th 2012, Vilnius, Lithuania, 13–14 p.
- Havrdová, L. et Černý, K. (2012). Invaze *Chalara fraxinea* v CHKO Lužické hory – předběžné výsledky výzkumu. In: Seminář MICROMYCO 11–12. 9. 2012 České Budějovice, Mykologické listy, 5 p.
- Havrdová, L. et Černý, K. (2011). Nekróza jasanu – symptomy, epidemiologie, možnosti ochrany. Aktuální problematika lesního školkařství ČR v r. 2011. Sborník referátů z 24–25. 11. 2011, Tribun EU Brno, ISBN 978-80-263-0065-6: 39–46.

10. Přílohy

10.1. Příloha 1.

Výsledky statistické analýzy závislosti výskytu *Hymenoscyphus fraxineus* (anamorfa *Chalara fraxinea*) na charakteristikách lesních porostů a environmentálních proměnných podle jednotlivých ekologických řad (souhrnný model)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	29,7324	12,9247	2,3000	0,0222	*
H	-0,8461	0,1666	-5,0780	0,000000735	***
ZAKMEN	2,3248	1,1903	1,9530	0,0519	.
PxZ	-1,5352	1,0567	-1,4530	0,1475	
NADM_VYSKA	-0,0259	0,0105	-2,4600	0,0145	*
VERT_HET	0,2868	0,1670	1,7180	0,0871	.
B_podil_L	-0,1216	0,0579	-2,1000	0,0367	*

Residual standard error: 21.79 on 255 degrees of freedom, Multiple R-squared: 0.1562, Adjusted R-squared: 0.1363, F-statistic: 7.865 on 6 and 255 DF, p-value: 8.741e-08

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	57,3492	6,8087	8,4230	0,0000	***
NADM_VYSKA	-0,0410	0,0136	-3,0170	0,0028	**
H	-1,0258	0,1686	-6,0860	0,0000	***
SKLON	-1,2005	0,4277	-2,8070	0,0054	**
TPI_std	1,8573	1,0702	1,7360	0,0838	.
JS_VZD ^{0,5}	-0,6461	0,2564	-2,5190	0,0124	*
LAND-FORM_2	0,3343	6,1409	0,0540	0,9566	
LAND-FORM_3	-9,6405	6,4901	-1,4850	0,1386	
LAND-FORM_4	-12,9051	5,5034	-2,3450	0,0198	*
LAND-FORM_5	-6,8317	3,1997	-2,1350	0,0337	*
B_podil_JS	1,1267	0,3489	3,2290	0,0014	**
SRAZKY	0,0433	0,0081	5,3140	0,0000	***

Residual standard error: 22.43 on 260 degrees of freedom, Multiple R-squared: 0.283, Adjusted R-squared: 0.2526, F-statistic: 9.327 on 11 and 260 DF, p-value: 4.241e-14

Význam kódů:

*** p-value ≤ 0,001
 ** 0,001 < p-value ≤ 0,01
 * 0,01 < p-value ≤ 0,05
 . 0,05 < p-value ≤ 0,1

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	26,5162	17,4272	1,5220	0,1302	
NADM_VYSKA	-0,0498	0,0141	-3,5310	0,0006	***
H	-0,6319	0,1786	-3,5380	0,0005	***
ZAKMEN	2,4085	1,6362	1,4720	0,1431	
VERT_HET	0,4049	0,2385	1,6980	0,0916	.
SKLON	-1,0897	0,3960	-2,7520	0,0067	**
LAND-FORM_2	5,2870	8,2552	0,6400	0,5229	
LAND-FORM_3	-15,1961	7,2870	-2,0850	0,0387	*
LAND-FORM_4	3,2179	6,3418	0,5070	0,6126	
LAND-FORM_5	-5,7157	4,0340	-1,4170	0,1586	
B_podil_L	-0,1731	0,0699	-2,4770	0,0144	*
SRAZKY	0,0284	0,0085	3,3470	0,0010	**

Residual standard error: 19.39 on 150 degrees of freedom, Multiple R-squared: 0.2872, Adjusted R-squared: 0.2349, F-statistic: 5.494 on 11 and 150 DF, p-value: 2.453e-07

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	25,9108	12,1811	2,1270	0,0341	*
NADM_VYSKA	-0,0551	0,0112	-4,9110	0,0000	***
H	-0,9189	0,1609	-5,7100	0,0000	***
ZAKMEN	3,1447	0,9287	3,3860	0,0008	***
VERT_HET	0,6124	0,3499	1,7500	0,0809	.
EXPO_SV	5,0359	4,9079	1,0260	0,3056	
EXPO_V	7,4449	5,2039	1,4310	0,1535	
EXPO_JV	-4,9107	5,4469	-0,9020	0,3679	
EXPO_J	2,4990	5,2811	0,4730	0,6364	
EXPO_JZ	14,8260	7,1455	2,0750	0,0388	*
EXPO_SZ	-7,9464	6,0752	-1,3080	0,1918	
EXPO_SZ	6,1686	5,8911	1,0470	0,2958	
TPI_std	-2,3464	1,1880	-1,9750	0,0491	*
SRAZKY	0,0206	0,0086	2,4020	0,0168	*

Residual standard error: 23.58 on 337 degrees of freedom, Multiple R-squared: 0.2917, Adjusted R-squared: 0.2644, F-statistic: 10.68 on 13 and 337 DF, p-value: < 2.2e-16

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	39,5327	11,1460	3,5470	0,0006	***
H	-0,8130	0,1883	-4,3190	0,0000	***
NADM_VYSKA	-0,0694	0,0137	-5,0620	0,0000	***
TPI_m	1,9325	1,2993	1,4870	0,1397	
LAND-FORM_2	-2,8026	4,8557	-0,5770	0,5650	
LAND-FORM_3	8,5836	5,3700	1,5980	0,1127	
LAND-FORM_4	-10,0159	8,0560	-1,2430	0,2163	
LAND-FORM_5	-18,8546	12,3309	-1,5290	0,1290	
SRAZKY	0,0439	0,0128	3,4190	0,0009	***

Residual standard error: 18.92 on 113 degrees of freedom, Multiple R-squared: 0.4167, Adjusted R-squared: 0.3754, F-statistic: 10.09 on 8 and 113 DF, p-value: 1.543e-10

10.2. Příloha 2

Výsledky statistické analýzy závislosti výskytu *Hymenoscyphus fraxineus* (anamorfa *Chalara fraxinea*) na environmentálních charakteristikách podle jednotlivých ekologických řad (environmentální model)

Environmentální model, ekologická řada kyselá a extrémní

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	35,0754	5,2681	6,6580	0,0000	***
NADM_VYSKA	-0,0246	0,0103	-2,4000	0,0171	*
B_podil_L	-0,0910	0,0606	-1,5030	0,1341	

Residual standard error: 23.08 on 259 degrees of freedom, Multiple R-squared: 0.03784, Adjusted R-squared: 0.03041, F-statistic: 5.092 on 2 and 259 DF, p-value: 0.006773

Environmentální model, ekologická řada živná

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	33,4697	6,1143	5,4740	0,0000	***
NADM_VYSKA	-0,0555	0,0144	-3,8510	0,0001	***
SKLON	-1,0453	0,4572	-2,2860	0,0230	*
TPI_std	1,6541	1,1605	1,4250	0,1552	
SRAZKY	0,0410	0,0089	4,6270	0,0000	***

Residual standard error: 24.75 on 267 degrees of freedom, Multiple R-squared: 0.1031, Adjusted R-squared: 0.08962, F-statistic: 7.67 on 4 and 267 DF, p-value: 7.293e-06

Environmentální model, ekologická řada obohacená humusem

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	33,8306	6,5673	5,1510	0,0000	***
NADM_VYSKA	-0,0472	0,0139	-3,4030	0,0008	***
SKLON	-0,6299	0,3310	-1,9030	0,0589	.
B_podil_L	-0,1944	0,0728	-2,6730	0,0083	**
SRAZKY	0,0266	0,0087	3,0520	0,0027	**

Residual standard error: 20.61 on 157 degrees of freedom, Multiple R-squared: 0.1578, Adjusted R-squared: 0.1364, F-statistic: 7.355 on 4 and 157 DF, p-value: 1.868e-05

Environmentální model, ekologická řada obohacená vodou

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	32,6858	7,7037	4,2430	0,0000	***
NADM_VYSKA	-0,0570	0,0112	-5,0880	0,0000	***
EXPO_SV	7,3569	5,2577	1,3990	0,1626	
EXPO_V	11,6458	5,5547	2,0970	0,0368	*
EXPO_JV	-0,4440	5,8150	-0,0760	0,9392	
EXPO_J	9,5228	5,5711	1,7090	0,0883	.
EXPO_JZ	18,7856	7,6445	2,4570	0,0145	*
EXPO_Z	-3,3144	6,4849	-0,5110	0,6096	
EXPO_SZ	8,3180	6,3147	1,3170	0,1886	
TPI_std	-2,2080	1,0487	-2,1050	0,0360	*
SRAZKY	0,0221	0,0092	2,4060	0,0167	*

Residual standard error: 25.34 on 340 degrees of freedom, Multiple R-squared: 0.1749, Adjusted R-squared: 0.1506, F-statistic: 7.205 on 10 and 340 DF, p-value: 2.496e-10

Environmentální model, ekologická řada oglejená a podmáčená

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	19,9826	10,9455	1,8260	0,0705	.
NADM_VYSKA	-0,0688	0,0147	-4,6680	0,0000	***
TPI_m	2,3560	1,3923	1,6920	0,0933	.
LAND-FORM_2	-3,8801	5,2113	-0,7450	0,4581	
LAND-FORM_3	7,9305	5,7685	1,3750	0,1719	
LAND-FORM_4	-16,0977	8,5240	-1,8890	0,0615	.
LAND-FORM_5	-20,6747	13,2434	-1,5610	0,1213	
SRAZKY	0,0515	0,0137	3,7640	0,0003	***

Residual standard error: 20.33 on 114 degrees of freedom, Multiple R-squared: 0.3204, Adjusted R-squared: 0.2787, F-statistic: 7.678 on 7 and 114 DF, p-value: 1.392e-07



© Grafická úprava: Studio Press s. r. o.
Sazba a tisk: Studio Press s. r. o., Pardubice