

**PREDIKCE POŠKOZENÍ
POROSTŮ SMRKU PICHLAVÉHO
KLOUBNATKOU SMRKOVOU
V KRUŠNÝCH HORÁCH**

Specializovaná mapa s odborným obsahem

Predikce poškození porostů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou v Krušných horách

Specializovaná mapa s odborným obsahem

Modeling of Gemmamyces bud blight impact on Colorado blue spruce in the Ore Mts.

Specialized map with expert content

Autorský kolektiv

Ing. Mgr. Vladimír Zýka*, Mgr. Karel Černý, Ph.D., Ing. Veronika Strnadová,

doc. Ing. Daniel Zahradník, Ph.D., Mgr. Markéta Hrabětová, Ing. Ludmila Havrdová, Ph.D.,

RNDr. Dušan Romportl, Ph.D.



Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, veřejná výzkumná instituce
Květnové náměstí 391, 252 43 Průhonice

* kontakt: zyka@vukoz.cz

Doporučená citace publikace:

ZÝKA, V.; ČERNÝ, K.; STRNADOVÁ, V.; ZAHRADNÍK, D.; HRABĚTOVÁ, M.; HAVRDOVÁ, L.; ROMPORTL, D. 2018. *Predikce poškození porostů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou v Krušných horách*. Mapa s odborným obsahem, VÚKOZ, v. v. i. Certifikováno Ministerstvem zemědělství ČR dne 21. 12. 2018 Osvědčením č. 74672/2018-MZE-16222/MAPA681. VÚKOZ, v. v. i., Průhonice, 48 s.

ISBN: 978-80-87674-29-1

Schváleno k použití Ministerstvem zemědělství ČR Osvědčením č. 74672/2018-MZE-16222/MAPA681.

Mapa je výsledkem řešení výzkumného projektu COST LD15148 a TAČR TH030306.

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

Recenzenti:

RNDr. Jaroslava Marková, CSc. (PřF UK, Praha)

Ing. Martin Zavrťálek (Lesy ČR, s. p., Hradec Králové)

Ing. Libor Pěnička (ÚHÚL, Brandýs nad Labem)

Obsah

1. Úvod	5
1.1 Kloubnatka smrková.....	5
1.2 Životní cyklus patogenu a šíření.....	5
1.3 Usychání pupenů a symptomatologie choroby.....	7
1.4 Hostitelské spektrum.....	10
1.5 Výskyt choroby, její význam a dosavadní známá opatření	10
2. Cíl předložené mapy	12
3. Rozsah využití mapy	12
4. Přínosy mapy pro uživatele	12
5. Metodika	13
5.1 Analýza faktorů ovlivňujících rozsah napadení pupenů kloubnatkou smrkovou	13
5.2 Modelování predikce poškození porostů a vhodnosti prostředí	16
6. Výsledky	17
6.1 Poškození pupenů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou	17
6.2 Predikce potenciálního poškození porostů smrku pichlavého v Krušných horách	18
6.3 Predikce vhodnosti prostředí PLO Krušné hory pro kloubnatku smrkovou.....	25
7. Aplikace výsledků v praxi a možnosti péče o porosty	31
7.1 Potenciální poškození porostů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou v Krušných horách	31
7.2 Vhodnost prostředí pro kloubnatku smrkovou v PLO Krušné hory.....	31
7.3 Poškození jedinců smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou	32
8. Závěr	32
9. Summary: Modeling of Gemmamyces bud blight impact on Colorado blue spruce in the Ore Mts.	34
9.1. <i>Gemmamyces piceae</i>	34
9.2. Predictions of damage of existing <i>P. pungens</i> stands and environmental suitability of the Ore Mts.....	34
9.3. Using of the outcomes	35
10. Literatura	37
11. Seznam odborných podkladů, které předcházely vypracování mapy	38
12. Přílohy	39

1. Úvod

Invazně se šířící a do současné doby prakticky neznámý patogen smrku kloubnatka smrková je původcem nebezpečného a mnohdy letálního houbového onemocnění, které se v poslední době rychle šíří a způsobuje škody zejména na smrku pichlavém (*Picea pungens* Engelm.) v porostech náhradních dřevin (PND) v imisemi postižených oblastech ČR, ale i jinde.

Hlavním cílem předložené publikace je zhodnotit a predikovat výskyt a impakt kloubnatky smrkové v porostech smrku pichlavého v Krušných horách. Vzhledem k dosavadní absenci vhodných a obsáhlejších literárních zdrojů k problematice, je hlavní cíl doplněn o úvodní stať přibližující

1.1 Kloubnatka smrková

Patogen kloubnatka smrková byl prvně zjištěn na smrku pichlavém (*Picea pungens* cv. 'Glauca') ve Skotsku v Abercairney v r. 1906, kde způsoboval usychání pupenů a kde byl popsán pod jménem *Cucurbitaria piceae* Borthw. (Borthwick, 1909). Nezávisle bylo z Ruska popsáno jeho nepohlavní stádium pod jménem *Megaloseptoria mirabilis* Naumov (Naumov, 1927). Taxonomické problémy byly řešeny zejména Shoemakerem (1967) a Casagrandem (1969), který na základě potvrzení vztahu teleomorfního a anamorfního stádia druh přeřadil do nově popsaného rodu *Gemmomyces* Casagrande. Jméno *Gemmomyces* však nebylo až do současnosti většinou mykologů uznáváno. Na základě multigenové analýzy sekvencí (ITS, LSU a SSU doplněných o EF1 α a RPB2) českého a švýcarského materiálu se ukázalo, že organismus do čeledi Cucurbitariaceae vůbec nepatří. Nicméně bylo zjištěno, že je možné ho v rámci řádu Pleosporales zařadit do čeledi Melanomataceae, a tudíž jeho jméno *Gemmomyces piceae* (Borthw.) Casagrande je správné (Černý a kol., 2017). Tyto výsledky byly podpořeny souběžnou švýcarskou studií (Jaklitsch a Voglmayr, 2017).

Kloubnatka smrková (obr. 1) vytváří dvě morfologicky odlišná stádia – pohlavní (tzv. teleomorfu), vytvářející v plodnicích (periteciích) zdovité askospory, které je známé pod jménem *Gemmomyces piceae*, a nepohlavní (tzv. anamorfu) produkující v na první pohled velmi podobných pyknidách červovité spory (konidie), jenž bylo popsáno pod výše zmíněným jménem *Megaloseptoria mirabilis* (obr. 1A). Peritecia pohlavního stádia jsou obvykle

1.2 Životní cyklus patogenu a šíření

K infekci dochází během letního období, přičemž dominantním infekčním agens jsou pravděpodobně konidie, které se šíří za vlhkého počasí (vztah šíření a srážek byl na hranici průkaznosti – Černý a kol., 2016). Závislostí jejich šíření na srážkách a stékající vodě může nasvědčovat také jejich velikost a nitovitý, prohnutý tvar. Patogen v pupenech přežívá do jara příštího roku ve formě hyf, nelze ovšem vyloučit možnost přezimování ve formě pohlavních spor. První symptomy poškození pupenů – začernalé špičky se mohou objevit už na podzim. První léze v napadených pupenech byly zaznamenány v polovině dubna, byly rezavě zabarvené a měly rozměry 1–3 mm v průměru, obvykle se objevovaly při špičce pupenu, nebo na boku těsně pod krycími šupinami. Během rašení (obvykle v květnu) se léze na dosud přežívajících pupenech postupně zvětšují a za vlhka se jejich povrch pokrývá bělavým myceliem. Infikované prorůstající výhony se hákovitě ohýbají a postupně odumírají. Většina napadených pupenů však odumírá ještě před vyrašením. Na odumřelých pupenech se od konce května, ale hlavně v průběhu června, objevují pyknidy produkující velké množství konidií, jejichž tvorba kulminuje koncem června a zejména

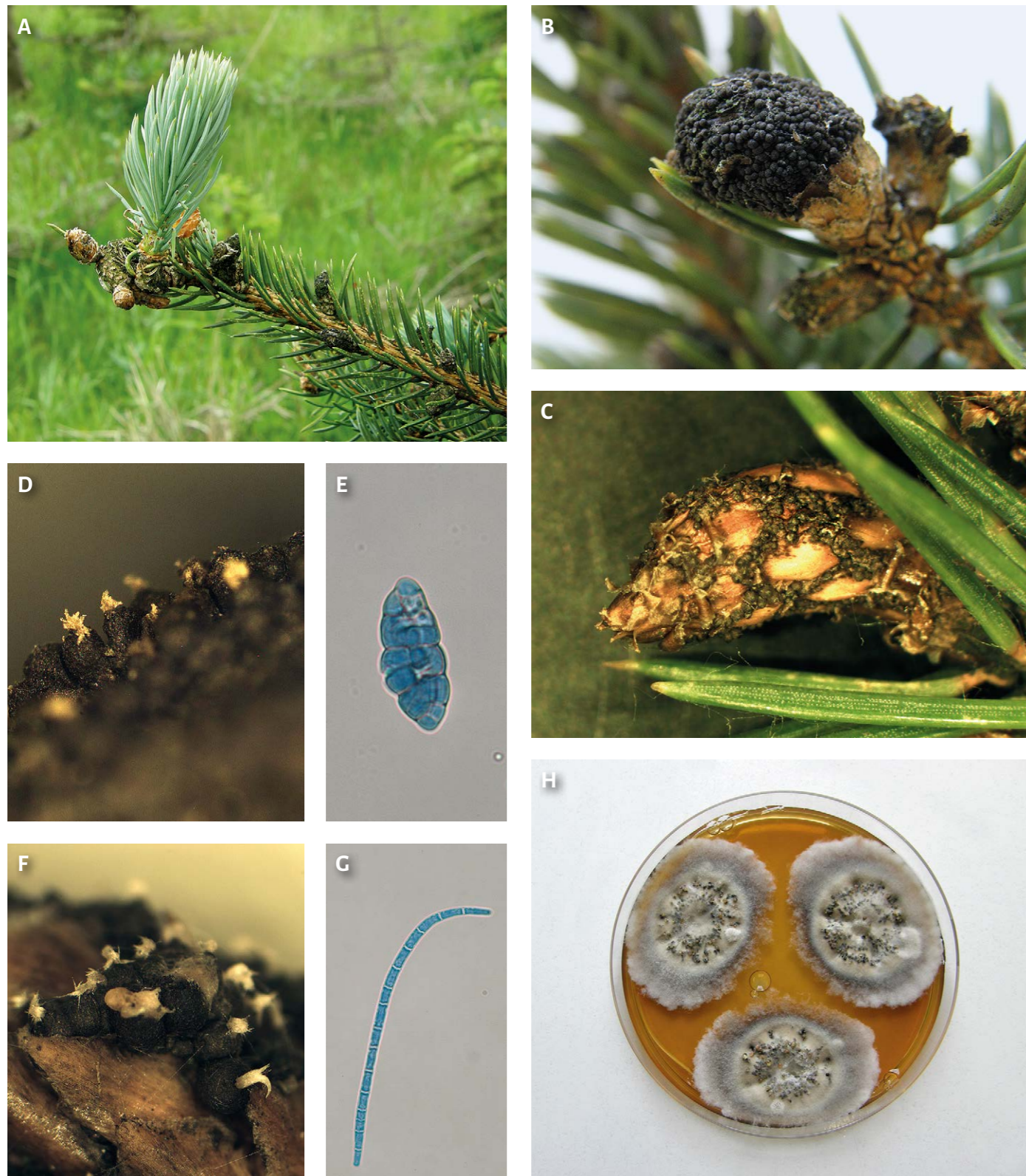
systematiku, význam, distribuci, vývoj a ekologii patogenu a symptomatologii a epidemiologii choroby tak, aby byla poskytnuta informace vyčerpávající a ucelená. Podobně bylo možno na základě proběhnuvšího výzkumu specifikovat i nejdůležitější managementová opatření v napadených porostech, která mohou výrazně zpomalit rozvoj choroby a podpořit funkce zbylých porostů smrku pichlavého využívaných k ochraně dosadeb cílových dřevin. Výsledky a doporučení můžou být také použity jako vodítko při řešení problematiky kloubnatky smrkové v porostech smrku ztepilého.

seskupena na malých bazálních stromatech, jsou kulovitá až ampuliformní, stopkatá či přitisklá, černavá a měří 0,25–0,5 mm (obr. 1B, D). Vřecka jsou bitunikátní, válcovitá až kyjovitá, uniseriátní a měří v průměru 183,4 × 25,5 μ m. Askospory jsou zdovité, zprvu bezbarvé a později hnědnoucí a měří v průměru 40,7 × 15,3 μ m (obr. 1E). Pyknidy nepohlavního stádia jsou povrchové, nahloučené, přitisklé, kulovité až vejcovité, tmavě hnědé až černé a měří cca 0,35–0,95 mm v průměru (obr. 1C, F). Konidiogenní buňky jsou samostatné či integrované v krátkých konidioforech, lahvicovité a měří cca 7,8 × 4,5 μ m. Konidie jsou bezbarvé, červovité, často zahnuté a měří v průměru 188,1 × 6,1 μ m a mají v průměru 18 příčných přehrádek (obr. 1G). Znaky v kultuře jsou vcelku stabilní; kultury na agarovém médiu MEA jsou okrouhlé, nízce plstnaté, tmavě šedé se světlým okrajem (obr. 1H) a tmavě hnědým reversem.

Organismus je výrazně chladnomilný (minimum růstu při 0 °C, optimum při 13–18 °C, max. při 25 °C), mimoto jsou kultury charakteristické pomalým růstem (radiální růst na agarovém médiu MEA při optimální teplotě je jen 0,05–0,11 mm/den). Růstové vlastnosti mohou být do značné míry ovlivněny přítomností nedávno detekovaného viru *Cucurbitaria piceae partiti-virus* (Petrzik a kol., 2016), který byl prozatím zjištěn ve všech izolátech houby v ČR a který významně ovlivňuje růstové charakteristiky organismu v kultuře a pravděpodobně také jeho fitness (Petrzik, pers. comm.).

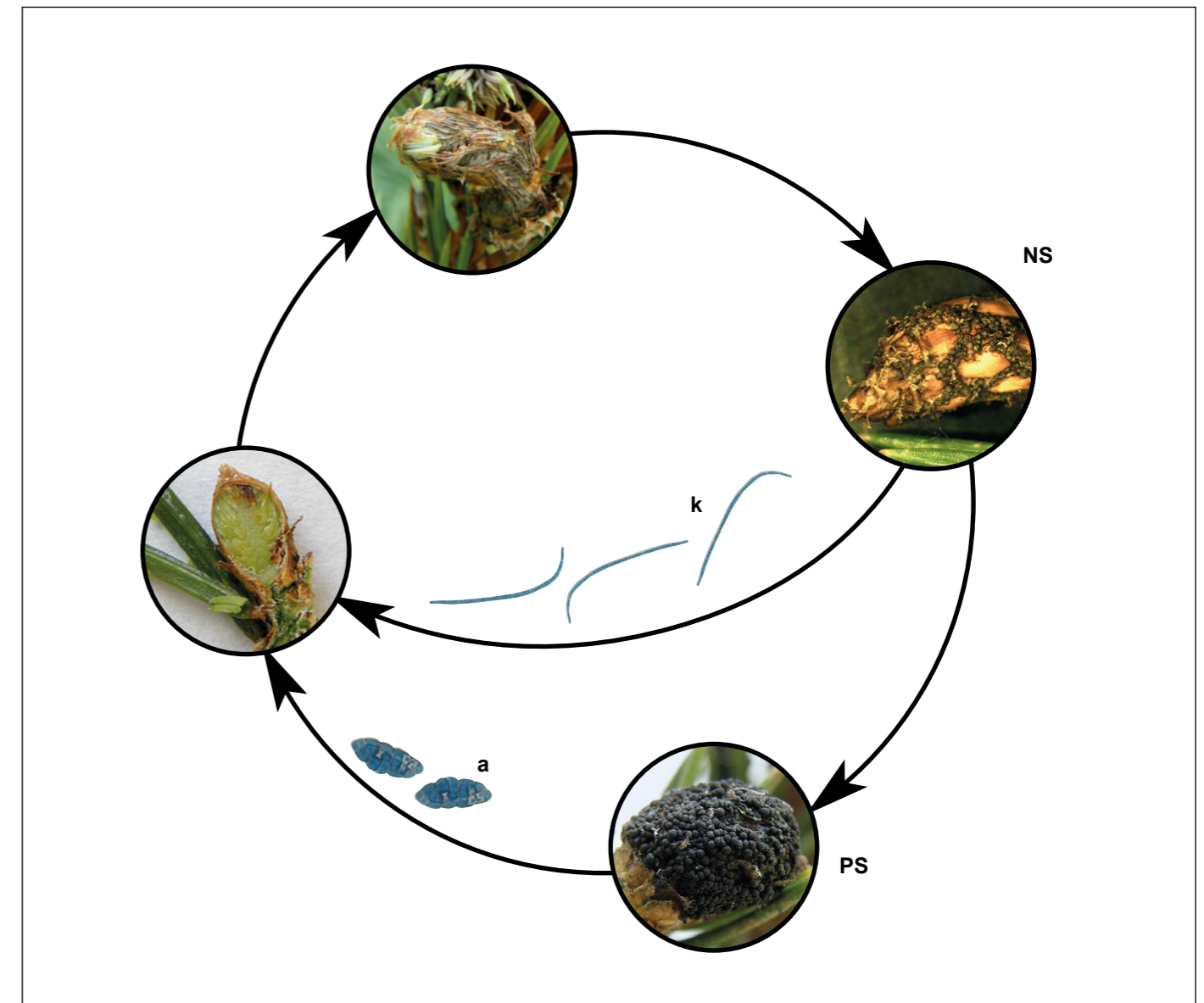
v červenci a postupně se snižuje až do září (pyknidy s konidiami lze ovšem nalézt např. i na podzim).

První základy bazálních stromat pohlavního stádia se na odumřelých pupenech objevují mezi odumřelými pyknidami na počátku prosince a postupně (nicméně velmi pomalu) se během zimy vyvíjejí. První známky vytvářejících se peritecií byly pozorovány v lednu a první plodnice obsahující vřecka se vytvořily na počátku května. V ČR byly v přírodě první zralé askospory pozorovány v půlce července a poslední v září, přičemž jejich produkce kulminovala v srpnu. Pravděpodobný životní cyklus houby je schematizován na obr. 2. Poněkud komplikovaný životní cyklus je příčinou toho, že se obvykle na jedné větvi nachází pupeny s oběma vývojovými stádii v různém stádiu zralosti. Vývojová stádia bývají ovšem prostorově oddělena, alespoň v prvních fázích infekce (nepohlavní stádium bývá častěji nalézáno na terminálech výhonů). Unikátní vývojový cyklus, období šíření, teplotní nároky a morfologie spor ukazují na adaptaci organismu na drsné horské, pravděpodobně kontinentální klima s hojnými letními srážkami.



Obr. 1: Kloubnatka smrková na smrku pichlavém. (A) Dvouletý výhon s odumřelými pupeny a vyvíjejícím se nepohlavním (na terminálu) a pohlavním stádiem (spodní část výhonu). (B) Mrtvý pupen pokrytý vrstvou černavých peritecií pohlavního stádia *Gemmamyces piceae*. (C) Pyknidy nepohlavního stádia *Megaloseptoria mirabilis* vytvořené mezi šupinami čerstvě odumřelého pupenu. (D) Perithecia produkující askospory. (E) Zřovitá askospora. (F) Pyknidy nepohlavního stádia uvolňující konidie. (G) červovitá nepohlavní spora – konidie. (H) Kolonie patogenu v kultuře na agarovém médiu MEA (stáří 3 měsíce)

Fig. 1: *Gemmamyces piceae* on *Picea pungens*. (A) Two-years-old twig with dead buds and developing asexual (at the terminal) and sexual (lower part of the twig) stages. (B) Dead bud covered by layer of blackish perithecia of the sexual stage. (C) Pycnidia of asexual stage *Megaloseptoria mirabilis* among the scales of withered bud. (D) Perithecia producing ascospores. (E) Muriform ascospore. (F) Pycnidia of asexual stage releasing conidia. (G) Scolecoïd asexual spore – conidium. (H) Colony of the pathogen on MEA (after 3 months of cultivation)



Obr. 2: Předpokládaný životní cyklus kloubnatky smrkové. K infekci dochází v létě konidii (k) a pravděpodobně askosporami (a), první hnědavé léze jsou obvykle patrné na jaře následujícího roku (na obrázku vlevo), mycelium rychle kolonizuje celý pupen (nahore), na kterém se v létě vytváří nepohlavní stádium (NS) produkující konidie. Patogen na pupenu přezimuje a v dalším roce vytváří pohlavní stádium (PS) produkující zřovité askospory

Fig. 2: Supposed life cycle of the pathogen. The infection is initiated by conidia (k) and probably ascospores in summer (a), first brownish lesions are usually visible in following spring (at the left side), the mycelium quickly colonizes the whole bud (above), where the asexual stage develops in summer (NS, right) producing conidia. The pathogen overwinters and develops the sexual stage (PS, below) producing ascospores next year

1.3 Usychání pupenů a symptomatologie choroby

Patogen způsobuje závažnou chorobu – usychání pupenů smrku (anglický název choroby je *Gemmamyces bud blight*). První nápadné symptomy – drobné rezavé až hnědě zbarvené léze – se objevují na jaře obvykle těsně pod krycími pletivými napadených pupenů (obr. 3A, B). Většina napadených pupenů odumírá ještě před vyrašením – obvykle v dubnu (obr. 3C) a jsou obvykle zcela kolonizovány patogenem (obr. 3D, vlevo). Odumřelé pupeny se rychle pokrývají množstvím černých pyknid (a v dalším roce peritecií) a jsou velmi nápadné (obr. 3D, E). Rašící napadené pupeny se charakteristicky stáčí kolem nekrotizované části pupenu a v průběhu května a června odumírají. Pokud do té doby nejsou zasažena pletiva apikálního meristému, může být růst patogenu inhibován pravděpodobně vysokými teplotami a prodlužující se výhon může přežít. Bývá na něm však patrná ztlustlina (někdy s plodící anamorfoou).

Napadené stromy reagují zvýšenou tvorbou adventivních pupenů v následujících letech, které jsou postupně ve větší či menší míře napadány.

Větvení napadeného stromu má pak charakteristický kostrbatý či klikatý vzhled (cik-cak), který je dán periodickým odumíráním terminálních pupenů, proliferací pupenů bočních (adventivních) a změnou směru růstu výhonů a větví (obr. 3F). Propad starých ročníků jehličí strom obvykle není schopen nahradit a dochází k intenzivnímu prosychání více napadených větví a částí korun (obr. 3G).

Rozsah poškození (podíl odumřelých pupenů) se liší v závislosti na infekčním tlaku a celé řadě podmínek prostředí. Obvykle jsou nejprve více napadeny dolní či více zastíněné partie korun (obr. 4A, B). Naopak terminální či osluněné strany jsou poškozovány méně, podobně jako solitérní stromy či jedinci v řídkém zápoji. V prostředí favorizujícím patogen ovšem rozsah poškození obvykle rychle narůstá v celém objemu koruny (obr. 4C). V průběhu infekce se stále snižuje podíl živých pupenů, přežívajících výhonů a větví a u nejvíce poškozených stromů či porostů může poškození rychle dosáhnout 80–100%. Postupně se zvyšuje úbytek asimilačního



Obr. 3: Symptomy poškození pupenů a větví kloubnatkou smrkovou. (A) První léze patogenu na řezu pupenem. (B) Léze může být patrna při rašení pupenu jako tmavá skvrna těsně pod krycími pleťvami. (C) V případě mohutné infekce na větví odumírá během jediné sezóny většina pupenů. (D) Porovnání pupenu nekrotizovaného (na řezu vlevo), odumřelého pokrytého plodnicemi patogenu (uprostřed) a zdravého (na řezu vpravo). (E) Odumřelé terminální pupeny pokryté plodnicemi patogenu. (F) Charakteristické cik-cak větvení je dáno opakovaným napadením pupenů, tvorbou pupenů adventivních, prorůstáním výhonů a opětovnou infekcí. (G) V pozdějších fázích infekce je většina pupenů odumřelá, staré ročníky jehličí nejsou nahrazeny a větev usychá

Fig. 3: Symptoms of *Gemmamyces* bud blight. (A) First lesion on the cross-section of a bud. (B) The lesion can be visible as a small spot under epidermis during bud opening. (C) Majority of buds can be attacked in the case of heavy infection. (D) Comparison of freshly necrotized bud (in cross-section on the left), dead bud covered by fruiting bodies of the pathogen (middle) and healthy bud (cross-section, right). (E) Dead terminal buds covered by fruiting bodies of the pathogen. (F) Characteristic zig-zag branching pattern is given by repeating damage of buds, creation of adventitious buds, proliferation of new twigs in changed directions and repeating infections. (G) Most part of buds is killed in advantageous stage of the disease, the older classes of needles are missing and the branch is withering



Obr. 4: Poškození porostů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou. (A, B) Větší poškození se zpravidla objevuje ve spodních partiích korun napadených stromů. (C, D) V dalších stádiích odumírá většina pupenů po obvodu koruny, větvení napadených stromů získá charakteristický vzhled a stromy postupně prosychají v důsledku ztráty starých a omezené produkce nových jehlic a odumírají (E, F)

Fig. 4: *Gemmamyces* bud blight in *Picea pungens* stands. (A, B) Higher damage usually appears in lower parts of crowns. (C, D) In next stage, the most part of buds of the crown peripheries withers, the branching system of trees become characteristic changed appearance and the trees subsequently wither due to loss of older classes of needles and die (E, F)

aparátu, který napadené stromy nejsou schopny nahradit, jsou vyčerpávány rezervy zásobních látek a stromy a porosty postupně chřadnou (obr. 4D) a nakonec odumírají (obr. 4E, F).

Na mnoha stanovištích byly zjištěny i jiné patogeny a škůdci zhoršující zdravotní stav smrku pichlavého – zejména sypavka *Lophodermium piceae* (Fuckel) Höhn. a *Sirococcus conigenus* (Pers.) P.F. Cannon & Minter. Ve větši-

1.4 Hostitelské spektrum

Patogen v Evropě nejvíce poškozuje severoamerický druh smrku pichlavý *P. pungens* Engelm. (Borthwick, 1909; Köck, 1918; Naumov, 1925; Müller, 1950; Shoemaker, 1967; Schneider a Daebeler, 1968; Mussket a Malone, 1983; Tomiczek a kol., 2011; Ogris a Jurc, 2013). Nebezpečnost patogenu vůči tomuto hostiteli byla potvrzena z Dánska už ve 30. letech 20. století (Ferdinandson a Jørgensen, 1938) a později z Německa (Schneider a Daebeler, 1968). Je tedy možné, že současným škodám v Krušných horách bylo možné při znalostech nebezpečnosti a distribuce patogenu předejít. Patogen napadá v Evropě také introdukovaný severoamerický smrk Engelmannův *P. engelmannii* Parry ex Engelm. (Alford, 2000) a jsou známy údaje o výskytu i ze smrku sitky *P. sitchensis* (Bong.) Carr., smrku sivého *P. glauca* (Moench) Voss a křížence smrku Engelmannova a smrku sivého *P. engelmannii* × *P. glauca* (Ferdinandson a Jørgensen, 1938; Foister, 1961; Palovčíková, 2015). Patogen byl také nalezen na introdukovaném asijském smrku štětinatém *P. asperata* Mast. (Thiringer, 1964). V Asii se patogen hojně vyskytuje v pohorí Ťan-Šan na smrku Schrenkově *P. schrenkiana* Fisch & C.A. Mey. (Yuan a Wang, 1995) a ze Severní Ameriky je znám na smrku černém

1.5 Výskyt choroby, její význam a dosavadní známá opatření

Jak je uvedeno výše, kloubnatka smrková byla prvně zjištěna v Abercainey v tehdejší hrabství Perthshire (dnes Perth a Kinross) ve Skotsku v r. 1906 (Borthwick, 1909). Od té doby se patogen objevil v dalších evropských státech – Anglii, České republice, Dánsku, Finsku, Itálii, Irsku, Německu, Rakousku, Rusku (Novgorod, Petrohrad), Slovinsku, Švédsku, Švýcarsku a Walesu (Köck, 1918; Naumov, 1925; Ferdinandson a Jørgensen, 1938; Müller, 1950; Munk, 1957; Thiringer, 1964; Shoemaker, 1967; Schneider a Daebeler, 1968; Muskett a Malone, 1983; Feige a kol., 2004; Tomiczek a kol., 2011; Ogris a Jurc, 2013; obr. 5). Patogen se v Evropě častěji vyskytuje ve vyšších nadmořských výškách nebo v chladnějších oblastech západní či severní Evropy, což koresponduje s jeho teplotními požadavky. Mimo Evropu byl druh opakovaně zjištěn v Ťan-Šanu (Ujgursko, Čína), kde se vyskytuje v přirozených lesích smrku Schrenkova a odkud byl popsán jediný další známý druh rodu – *G. piceicola* Z.Q. Yuan (Yuan a Wang, 1995). Roku 2013 byl patogen prvně nalezen na Aljašce – v přístavu Homer na okrasné výsadbě *Picea pungens*. Během následujícího výzkumu byl patogen opakovaně nalezen na *P. glauca*, *P. mariana* a *P. sitchensis* na různých místech v širším okolí prvního nálezu i dále ve vnitrozemí Aljašky (Adams a Everhart, pers. comm.). Otázka původnosti druhu se v současnosti řeší a prozatím lze z několika důvodů předpokládat, že pravděpodobněji je jeho zavlečení z Asie.

První známý výskyt na území dnešní ČR je udáván z roku 1909 (celosvětově druhý nález) z okrasných výsadb smrku pichlavého v okolí loveckého zámečku Kladská. Stromky nechal vysázet tehdejší majitel panství princ Schönburg-Waldenburg, přičemž patogen byl nejspíše zavlečen spolu s nimi z okrasných školek (Köck, 1918). Později byly publikovány i údaje další (Tubeuř, 1919), které byly ovšem až do konce tisíciletí z území ČR zároveň údaji posledními. Přesto byla střední Evropa považována za centrum rozšíření patogenu na kontinentě (Corke, 1955). Po r. 2000 bylo v ČR evidováno velké množství nových lokalit s výskytem patogenu, přičemž jeho nejsilnější populace byly zjištěny v oblastech s plošnými výsadbami *P. pungens* v porostech náhradních dřevin – tj. v Krušných horách, Jizerských horách a na Ještědském hřbetě (celkem mnoho tisíc ha). Choroba

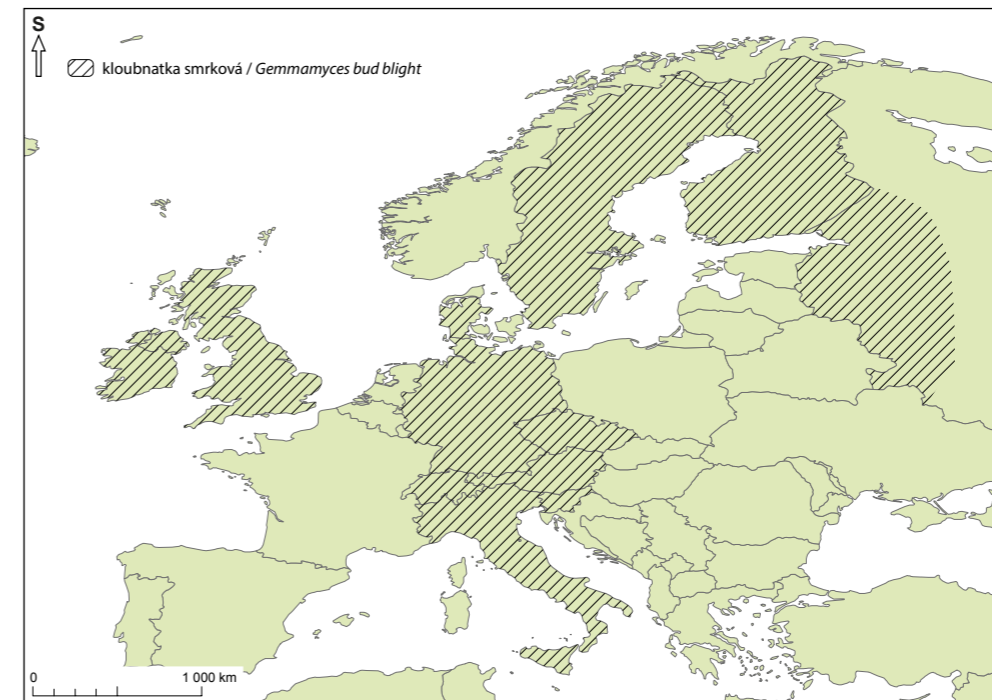
ně případů se jedná o sekundární a obvykle méně významný vliv patogenů. V případě významnější sypavky smrkové byla zjištěna průkazná závislost na rozsahu poškození kloubnatkou smrkovou. Opakovaně byl zjištěn výskyt mšice smrkové *Elatobium abietinum* Walker, kdy v důsledku přemnožení, následujícího po teplých zimách, došlo k poškození napadených výsadb. Vliv mšice v horských oblastech však bývá obvykle malý.

P. mariana (Mill.) Britt., E.E. Sterns & Poggenburg a na výše zmíněném smrku pichlavém, smrku sivém a smrku sitce (Adams a Everhart, pers. comm.). Sporné jsou údaje o výskytu na jedli bělokoré *Abies alba* Mill. a jedli kavkazské *A. nordmanniana* Spach (Butin, 1989).

Zprávy o výskytu na smrku ztepilém *P. abies* L. jsou poměrně četné (např. Shoemaker, 1967; Batko, 1974; Gregory a Redfern, 1987; Eriksson, 1992; Alford, 2000; Feige a kol., 2004; Soukup a Pešková, 2009). Nicméně dopad choroby, pokud se vůbec hodnotil, byl označován jako nepříliš výrazný (Alford, 2000). Pravděpodobně nejvýznamnější škody byly publikovány ze severní Anglie a Skotska (Redfern a kol., 1997). Mimoto byl první nález na smrku ztepilém v jeho původním areálu zjištěn až v r. 1946 ve Finsku (Kujala, 1950) – 40 let po jeho prvním zjištění na smrku pichlavém ve Skotsku (Borthwick, 1909). V ČR je výskyt patogenu na smrku ztepilém dosud evidován v Krušných a Lužických horách, na Šumavě a na Kralickém Sněžníku. Pravděpodobně se ale patogen na tomto hostiteli vyskytuje také v dalších oblastech, významné škody ovšem dosud nikde zjištěny nebyly.

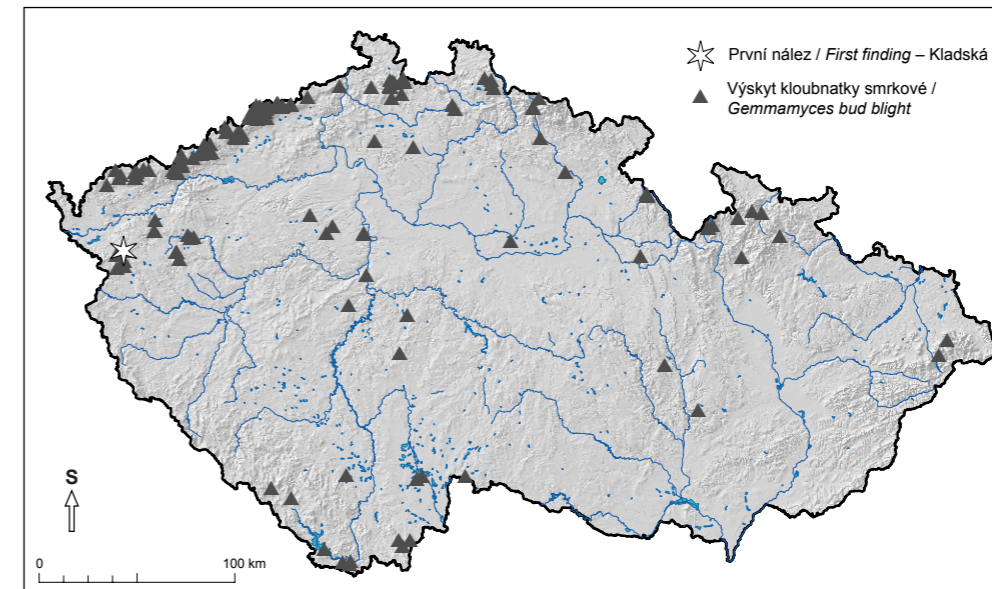
v Krušných horách byla prvně zjištěna v r. 2007 (Jiří Pospíšil, ÚHÚL, Aleš Kilb, LČR, s. p., pers. comm.), přičemž průměrné poškození porostů zde dosahovalo v r. 2009 cca 40 % (Soukup a Pešková, 2009). V současnosti činí průměrné poškození zbylých přežívajících porostů cca 75 % (Černý a kol., 2017). Patogen byl zjištěn i v mnoha dalších oblastech prakticky po celém území ČR od nížin (minimum 220 m n. m., Kundratice, Polabí) až po vrcholky hor (maximum 1144 m n. m., Slavník, Kralický Sněžník), nicméně těžiště jeho výskytu je nepochybně v chladnějších středních a vyšších polohách (obr. 6).

Velký význam z hlediska porozumění vývoji situace má určení počátku epidemie choroby v Krušných horách a faktorů prostředí, které jej podmínily. Vzhledem k přítomnosti patogenu v severozápadních Čechách již od počátku 20. století (Köck, 1918) a k masivní výsadbě smrku pichlavého na náhorní plošině Krušných hor od 60. let 20. století je s podivem, že první napadení bylo zjištěno až v r. 2007 a nikoli o několik desetiletí dříve, jak by se dalo očekávat. Výsledek logistického modelu vývoje napadení v čase ovšem ukázal, že počátek epidemie lze identifikovat nejdříve krátce před r. 2000 (Černý a kol., 2016; obr. 7). Počátek epidemie odpovídá poklesu emisí síry v atmosféře ve druhé polovině 90. let 20. století (Suchara a kol., 2014), kdy vstoupil v platnost Zákon č. 211/1994 Sb. o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami, a došlo k odsíření podkrušnohorských uhelných elektráren. Výrazný pokles koncentrací SO₂ v imisní zátěži Krušných hor je datován do r. 1997 (Slodičák a kol., 2008). Testy provedené s kmeny *G. piceae* na růstových médiích s koncentracemi síry simulujícími její obsah v borce větvi smrku v období imisní kalamity ukázaly, že už při nízkých koncentracích síry dochází prakticky ke stoprocentní inhibici klíčení spor patogenu (Černý a kol., 2017). Lze odůvodněně předpokládat, že patogen se v Krušných horách vyskytoval už od 60. či 70. let minulého století a byl pravděpodobně výrazně potlačován imisemi SO₂, jejichž fungistatický efekt prokázal už Saunders (1966) a mnozí další. Výrazné poškození smrku pichlavého se tak objevilo až po jejich odeznění. Tuto teorii je ovšem potřeba ještě potvrdit dalšími experimenty.



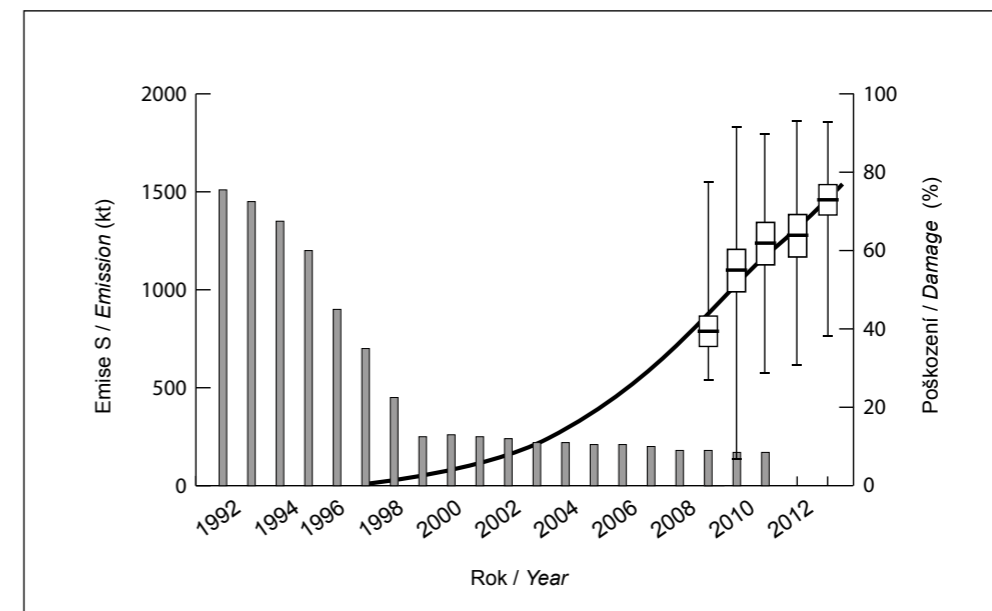
Obr. 5: Schematické zobrazení současného známého výskytu kloubnatky smrkové v Evropě

Fig. 5: A schematic visualization of the known occurrence of *Gemmamyces bud blight* in Europe



Obr. 6: Současný evidovaný výskyt kloubnatky smrkové v ČR

Fig. 6: A current registered occurrence of *Gemmamyces bud blight* in the Czech Republic



Obr. 7: Vývoj poškození porostů v Krušných horách kloubnatkou smrkovou (černě, na ose y vpravo) na pozadí vývoje emisí síry (šedě, osa y vlevo; převzato z Černý a kol., 2016, Suchara a kol., 2014, upraveno)

Fig. 7: Development of damage of *Picea pungens* stands damaged by *Gemmamyces bud blight* in the Ore Mts. (in black, on the right) in connection with sulphur pollution (in gray, on the left; adopted from Černý et al., 2016, Suchara et al., 2014, adjusted)

Využití smrku pichlavého a dalších exotů v horských oblastech ČR bylo zamýšleno jako dočasné, hlavním účelem bylo udržet lesní porosty na náhorním platě Krušných hor a v dalších postižených horských oblastech a zabránit tak změnám ve vodním režimu a degradaci půd, které by následovaly po masivním poškození porostů v důsledku imisí. Dalším cílem PND bylo využít je jako ochranu plánovaných cílových dřevin před následky drsného klimatu po odeznění imisní zátěže (Slodičák a kol., 2008). Bohužel současná epidemie choroby, v jejímž důsledku došlo k zásadnímu poškození či dokonce k rozpadu většiny postižených porostů, a vynucené rozsáhlé kácení odumírajících výsadeb místy významně komplikují obnovu porostů. Značné množství rozpracovaných porostů zejména v Krušných horách rovněž představuje významný provozní problém.

Kloubnatka smrková nesporně způsobuje významné škody i ve výsadbách v nižších nadmořských výškách, značně bývají také poškozeny například některé okrasné výsadby. Patogen rovněž může představovat potenciální problém pro plantáže vánočních stromků, kde má smrk pichlavý velký podíl na pěstovaném sortimentu. Největší riziko patogen pravděpodobně představuje pro severoamerické boreální a horské lesy, jejichž hlavní dřeviny jsou do větší či menší míry vůči patogenu citlivé.

Navzdory tomu, že hlavní hostitel patogenu patří k nejoblíbenějším a nejrozšířenějším okrasným dřevinám, nebyly prozatím publikovány žádné možnosti ochrany, s výjimkou zdravotního řezu a odstraňování více poškozených jedinců (Müller, 1950). Při výsadbě musí být dbáno na zdravotní stav sazenic, jejichž výsadba musí být prováděna jednotlivě (či pouze v malých skupinách) a musí být izolována od dalších (stávajících či projektovaných) výsadeb. Musí být vyloučeno dosazování smrku pichlavého v napadených výsadbách či v jejich blízkosti. Nové výsadby musí být umístěny pouze na místa s vhodnými podmínkami (oslunění, provětrávání korun) a zakládány ve větším sponu. Vždy je ovšem potřeba se vyvarovat

2. Cíl předložené mapy

Mapa s odborným obsahem si klade za cíl zhodnotit a predikovat výskyt kloubnatky smrkové v porostech smrku pichlavého (SMP) v Krušných horách. Mapa sleduje tři hlavní cíle:

1. Analýzu vlivu faktorů prostředí a porostních charakteristik na rozsah poškození porostů SMP.
2. Predikci poškození stávajících porostů SMP na území dotčených lesních správ v Krušných horách.

3. Rozsah využití mapy

Hlavními uživateli mapy jsou Lesy ČR, státní podnik, zejména pak lesní správy Děčín, Litvínov a Klášterec n. O. (KŘ Teplice) a řada městských i privátních lesů v oblasti východních Krušných hor, které plánují a provádějí přeměnu porostů PND s dominantním smrkem pichlavým. Podobným způsobem může být mapa využita i dalšími jednotkami LČR, s. p., ale i vlastníky a správci ostatních lesů. Databázový systém i mapové a metodické části mohou být využity Ústavem pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHÚL). Metodické pokyny a odborné informace mohou rovněž využít další odborné lesnické subjekty či vysoké i střední školy příslušných směrů.

4. Přínosy mapy pro uživatele

Hlavním přínosem mapy je kvantifikace rozsahu poškození porostů smrku pichlavého (SMP) patogenem kloubnatkou smrkovou a jeho predikce v PND v Krušných horách (LS Horní Blatná, Klášterec nad Ohří, Litvínov a Děčín). Mapa zařazuje jednotlivé výsadby na základě plošného průzkumu, důkladného statistického a geostatistického zpracování do tří základních skupin dle rozsahu predikovaných škod (nízké, vysoké a velmi vysoké poškození). Tyto skupiny vyjadřují nejen rizikovitost těchto porostů

vodního stresu a dalších negativních vlivů prostředí. Ve všech výsadbách lze doporučit včasnou a opakovanou kontrolu zdravotního stavu. Při zjištění mírného napadení je vhodné odstranění napadených výhonů a větví, případně dílčí vyvětvění napadených jedinců či odstranění nejvíce poškozených stromů. Velmi vhodným opatřením je snížení zástínu a vzdušné vlhkosti v potenciálně citlivých výsadbách, k čemuž např. vede snížení zápoje v důsledku vhodně provedených probírek. V případě více napadených jedinců lze doporučit jediné jejich odstranění.

V případě školek, plantáží vánočních stromků či cenných okrasných výsadeb lze při rozvoji choroby využít fungicidních přípravků, pokud to situace a vzrůst výsadeb umožňuje. Kontaktní fungicidy na bázi síry by mohly být využity v době šíření spor (letní období), naopak přípravky se systemickým účinkem by mohly být využity spíše před a v období rašení pupenů. Účinnost případných použitelných fungicidů ovšem dosud nebyla testována. Značný význam může mít uchování tolerantních či rezistentních genotypů (některé z nich byly již do kultury převedeny ve VÚKOZ, v. v. i.).

V případě PND připadá v úvahu pouze radikální potlačení smrku pichlavého a změna druhového spektra pěstovaných dřevin. Vzhledem k rozsahu výsadeb, pestrosti jejich ekologických poměrů a pěstebních charakteristik a velkému množství rozpracovaných porostů, je zapotřebí specifikovat porosty a stanoviště, kde by bylo žádoucí přeměnu provést co nejrychleji. Na druhou stranu u porostů s lepším zdravotním stavem či vhodnými podmínkami prostředí je možné jejich přeměnu oddálit. Na základě modelů vytvořených v rámci této práce je možné specifikovat jak faktory prostředí, tak pěstební charakteristiky, které mají vliv na rozsah poškození a jeho rozvoj a navrhnout opatření, která mohou být využita v péči o stávající porosty. Tvorba těchto doporučení je jedním z cílů této práce (více v kap. 7).

3. Predikci vhodnosti prostředí pro kloubnatku smrkovou v celé přírodní lesní oblasti Krušné hory.

Do jisté míry nad rámec mapy byly využity získané výsledky ve specifikaci vhodných opatření, které mohou napomoci zpomalit rozvoj poškození, prodloužit životnost a funkčnost alespoň některých výsadeb SMP a usnadnit tak přeměnu porostů náhradních dřevin. Tato opatření jsou specifikována v kapitole 7.

Dalšími uživateli mohou být dotčené orgány samosprávy a státní správy včetně orgánů ochrany přírody (AOPK ČR), jichž se lesní hospodaření v postižených oblastech rovněž dotýká. Uplatnění může mapa najít v identifikaci oblastí a porostů smrku ztepilého ekologicky vyhovujících kloubnatce smrkové (a následně prováděném periodickém monitoringu výskytu patogenu), a to i mimo aktuálně postižené oblasti. V případě intenzivnějšího výskytu kloubnatky smrkové na smrku ztepilém pak může být souhrn opatření doprovázející mapu využit při plánování a provádění vhodných výchovných opatření i v napadených porostech této dřeviny.

z hlediska udržitelnosti jejich stability a funkcí, ale i rámcovou potřebu lesnických zásahů.

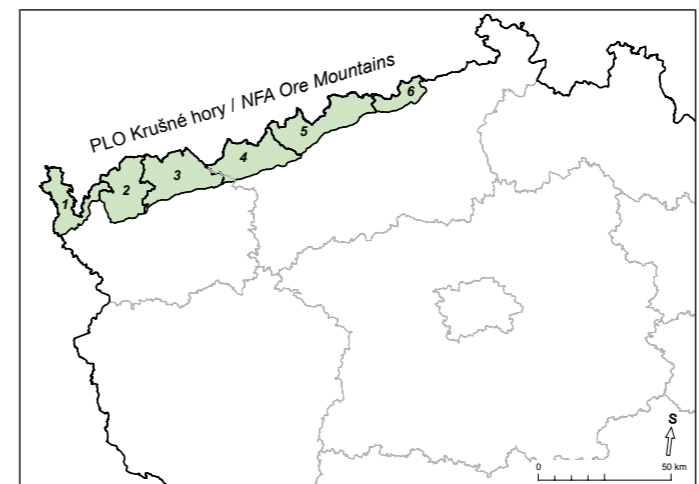
Významný přínos představuje predikce vhodnosti území pro zmíněný patogen v celé PLO Krušné hory. Území bylo rozděleno do sítě čtverců (250×250 m), kde pro každý čtverec byl určen potenciál výskytu patogenu (opět na třibodové stupnici). Na základě této mapy je možné rámcově odhadnout citlivost konkrétních oblastí a porostů vůči kloubnatce smr-

kové, což má velký význam v souvislosti s možným přechodem patogenu na smrk ztepilý. S využitím tohoto výstupu by bylo například možné vypracovat síť ploch periodicky monitorovaných z hlediska možného výskytu choroby a jejího rozsahu na smrku ztepilém, a to i např. v současné době jen málo zatížené západní části, kde je řada oblastí po ekologické stránce pro patogen rovněž velmi vhodná.

Jakkoliv mapa vznikla na základě podrobného plošného výzkumu (1080 hodnocených stromů v 54 porostech pokrývající celou oblast pěstování SMP), nemohou výsledné modely a predikce popisovat více než jen část variability celého systému. Některé faktory prostředí nebylo možné při hodnocení postihnout, případně nebyla k dispozici vhodná data. Velká část variability poškození připadá také na vrub virulence jednotlivých

5. Metodika

Výzkum byl proveden v PLO Krušné hory, která zahrnuje geomorfologické jednotky Smrčiny a Krušné hory. Krušné hory představují protáhlý 130 km dlouhý pás JZ-SV směru mající charakter zvláště náhorní plošiny s průměrnou nadmořskou výškou do 1000 m, který od podkrušnohorských pánví odděluje strmý jihovýchodní svah rozčleněný hlubokými údolími. S rostoucí nadmořskou výškou přibývá roční úhrn srážek (Málkov 514 mm, Klínovec 976 mm) a naopak klesá průměrná roční teplota (Málkov 7,6 °C, Klínovec 2,7 °C). Klimatické poměry také podmiňují přítomnost půdních typů, či složení krajinného pokryvu. Rozloha lesního pokryvu v PLO Krušné hory se pohybuje okolo 67%. Dominantní část lesů v PLO je spravováno Lesy ČR, s. p. – a to celkem šesti lesními správami: Františkovy Lázně, Kraslice, Horní Blatná, Klášterec, Děčín a Litvínov (obr. 8, více informací v Oblastním plánu rozvoje lesů PLO Krušné hory).



kmenů patogenu, citlivosti jednotlivých vysazovaných genotypů smrku pichlavého a dříve provedeným pěstebním zásahům, které rovněž nebylo možno postihnout. Proto je na mapové výstupy v první řadě nutno pohlížet v kontextu celé oblasti a obecných, široce působících trendů. Predikce pro jednotlivé porosty a čtverce se tudíž v některých případech mohou odlišovat od reálné situace.

Mapy predikcí doplňuje základní přehled o faktorech prostředí a porostních charakteristikách ovlivňujících výskyt kloubnatky smrkové a rozsah choroby. Na jejich základě bylo možné vypracovat rámcový přehled obecně použitelných opatření (viz kap. 7), která mohou omezit vliv patogenu a rozvoj choroby, stabilizovat zdravotní stav a zlepšit ochranné funkce porostů, které následně lépe poslouží při ochraně dosadeb cílových dřevin.

V metodické části výzkumu byl nejprve proveden důkladný terénní sběr fytopatologických a environmentálních dat. Ze sebraných dat v terénu, jež byla doplněna o data zpracovaná distančním způsobem, byly vybrány a podrobně analyzovány desítky faktorů prostředí, které by mohly mít vliv na rozsah poškození pupenů smrku pichlavého (podrobně rozepsáno v kap. 5.1). Na základě provedené analýzy faktorů prostředí byla vybrána řada významných proměnných, které bylo možné připravit pro všechny porosty s podílem *P. pungens*, resp. celou oblast PLO Krušné hory. S využitím vybraných proměnných byla připravena predikce poškození stávajících porostů s podílem *P. pungens* a predikce vhodnosti prostředí PLO Krušné hory pro kloubnatku smrkovou (viz kap. 5.2). Výsledky byly vizualizovány pomocí tabulek, grafů a mapových výstupů (vektorová data jsou na vyžádání po podpisu Smlouvy o využití dat u autorů publikace zdarma k dispozici).

Obr. 8: Vymezení oblasti PLO Krušné hory a lesních správ LČR, státní podnik
Pozn.: Lesní správy: 1 – LS Františkovy Lázně, 2 – LS Kraslice, 3 – Horní Blatná, 4 – LS Klášterec, 5 – LS Litvínov, 6 – LS Děčín. V obrázku není znázorněn přesah lesních správ vně zájmového území

Fig. 8: A delimitation of the NFA Ore Mountains area and forest administrations of Forests of the Czech Republic, state enterprise

Note: Forest service: 1 – FS Františkovy Lázně, 2 – FS Kraslice, 3 – FS Horní Blatná, 4 – FS Klášterec, 5 – FS Litvínov, 6 – FS Děčín. The picture does not show an overlap of forest administrations outside the area of interest

5.1 Analýza faktorů prostředí ovlivňujících rozsah napadení pupenů kloubnatkou smrkovou

Analýze faktorů prostředí ovlivňujících rozsah napadení pupenů předcházely důkladný sběr dat v terénu. V porostech náhradních dřevin s podílem *P. pungens* v PLO Krušné hory bylo vybráno 54 výzkumných lokalit, které rovnoměrně pokrývaly variabilitu prostředí a porostních charakteristik porostů se smrkem pichlavým. Finální umístění lokalit bylo konzultováno s pracovníky lesních správ tak, aby v porostech (či jejich hodnocených částech) nebyly plánovány či v nedávné době prováděny zásahy. Rozsah poškození se hodnotil v červnu a červenci v roce 2017. Na každé lokalitě (kruh s průměrem 30 m) byl vyznačen střed s GPS souřadnicemi, v jehož nejbližším okolí bylo hodnoceno 20 jedinců SMP s důrazem na podíl odumřelých pupenů v důsledku působení *C. piceae* (v desítkách %). Při terénním šetření byl odfiltrován možný vliv zástínu (podíl odumřelých pupenů bez výskytu typických symptomů choroby), vliv prosychání korun způsobené *L. piceae*

a poškození způsobené *S. conigenus*. Na lokalitách byl zjišťován podíl SMP, spon, zápoj porostu, výška porostu a jedince, konkurence okolních jedinců, podíl, druh a výška dalších dřevin apod. (tab. 1a). Na lokalitách probíhalo také měření vlhkosti prostředí a teploty v 15minutových intervalech, a to pomocí čidel THi Minikin (EMS Brno) umístěných ve středu lokality ve výšce 3,5 m nad úrovní povrchu. Měření probíhalo v období od 1. července do 30. září 2017 (předpokládané maximum šíření spor). Zvlášť byl kladen důraz na vyhodnocení teplot, které by mohly mít inhibiční vliv na vývoj patogenu.

Kromě terénního průzkumu a měření byla data připravována také distančním způsobem. Všechna prostorová data byla připravena s využitím analytických nástrojů v programu ArcMap (ESRI, verze 10.6). Podrobná data o porostech (věk, výška, zakmenění, bonita) poskytl Ústav pro hospo-

Zkrácené označení (Designation)	Popis proměnné porostů	Anglický popis (Description)	Jednotka (Unit)
pupeny_gem	podíl poškození pupenů jedince kloubnatkou	percentage of bud damage of individual tree caused by <i>G. piceae</i>	%
prosychani	celkové prosychání jedince	total defoliation of tree	%
sypavka	míra poškození jedince sypavkou	tree defoliation caused by <i>Lophodermium pini</i>	%
vyska	průměrná výška jedince	mean height of tree	m
konkurence	míra konkurence (zástin okolním porostem – byl hodnocen v kategoriích 0–20–40–60–80–100 %)	competition by surrounding trees: 0–20–40–60–80–100 %	%
pokryvnost	pokryvnost stromového patra na ploše	canopy	%
SMP_podil	podíl smrku pichlavého na ploše	percentage of Colorado blue spruce in the plot	%
SMP_vyska	průměrná výška smrku pichlavého v porostu	mean height of Colorado blue spruce in plot	m
relativni_vyska_SMP	relativní výška jedince vůči okolnímu porostu (vyska – SMP_vyska)	relative height of tree in relation to other trees in the plot	m
briza_p	podíl břízy na ploše	percentage of birch in the plot	%
briza_h	průměrná výška břízy v porostu	mean height of birch in stand	m
jerab_p	podíl jeřábu na ploše	percentage of rowan in the plot	%
jerab_h	průměrná výška jeřábu v porostu	mean height of rowan in stand	m
UHUL_vek	věk porostu podle ÚHÚL	age of stand (FMI Brandýs n. L.)	rok
UHUL_zakmen	zakmenění porostu podle ÚHÚL	stocking of stand (FMI Brandýs n. L.)	1-10
UHUL_AVB	bonita porostu podle ÚHÚL	site class (FMI Brandýs n. L.)	m
UHUL_vyska	výška porostu podle ÚHÚL	height of stand (FMI Brandýs n. L.)	m

Tab. 1a: Seznam charakteristik porostů vstupujících do analýzy faktorů ovlivňujících rozsah choroby

Tab. 1a: A list of forest stands characteristics that enter an analysis of factors affecting the extent of bud blight

dářskou úpravu lesů (pobočka Jablonec nad Nisou). Podchycení variability prostředí umožnila data z databází ČHMÚ, ČÚZK, DIBAVOD, ZABAGED atd. Jedná se například o síť vodních toků, průměrnou roční teplotu, průměrné roční srážky, charakteristiky reliéfu, půdní typy atd. (tab. 1b). Z digitálního modelu reliéfu (rozlišení 5x5 m) byla také odvozena orientace svahu vůči světovým stranám rozdělená do osmi základních směrů (S, SV, V, JV, J, JZ, Z, SZ). Z digitálního modelu reliéfu byl spočten index TPI (Topography position index; Jenness, 2006). Tento index porovnává hodnotu nadmořské výšky dané buňky s průměrnou hodnotou nadmořské výšky v okolí této buňky, přičemž okolí je vyjádřeno kruhem se středem v dané buňce a volitelným poloměrem. Na základě porovnání hodnot indexu TPI pro různě velká okolí (v tomto případě 25 a 100 m) a sklonu svahu lze určit, v jakém základním tvaru reliéfu (tzv. landforms) se daná buňka nachází.

Samotná analýza faktorů ovlivňujících míru napadení pupenů probíhala pomocí obecného lineárního modelu (Zvára, 2008):

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i$$

kde y je míra napadení pupenů, x_1, \dots, x_k jsou vysvětlující veličiny a β_0, \dots, β_k jsou odpovídající regresní koeficienty.

Celkem bylo k dispozici 41 vysvětlujících veličin, některé z nich byly ještě navíc rozděleny do dílčích kategorií (viz tabulka 1a a 1b). Řada z nich však byla silně korelovaná a nebylo tak možné zahrnout je do modelu současně. Proto byla v rámci předběžné analýzy dat vypočtena korelační matice pro všechny dostupné spojité veličiny (viz příloha 1). Z každé skupiny silně korelovaných veličin (např. průměrná teplota a nadmořská výška stanoviště) byla vždy vybrána jedna veličina, a to taková, u níž lze více předpokládat přímé působení na patogenní organismus, resp. míru poškození pupenů. Proměnné významně ovlivňující míru poškození pupenů byly poté v této redukované sadě nalezeny systematickým zkoušením všech kombinací dostupných veličin. Kritériem při optimalizaci modelu byla minimalizace Akaikeho informačního kritéria (Zvára, 2008). Zkoušení kombinací probíhalo automatizovaně, s využitím balíku funkcí MuMIn programu R (R-core team, 2017).

Tab. 1b: Seznam parametrů prostředí vstupujících do analýzy faktorů ovlivňujících rozsah choroby

Tab. 1b: A list of parameters of the environment that enter an analysis of factors affecting the extent of bud blight

Zkrácené označení (Designation)	Popis proměnné prostředí	Anglický popis (Description)	Jednotka (Unit)
voda_prit	přítomnost vodního toku na ploše	presence of water course in the plot (yes/no)	ano/ne
voda_vzd	vzdálenost k nejbližšímu toku	distance to the closest water course	m
sklon	sklon svahu	slope	°
Expozice	orientace svahů vůči světovým stranám	aspect, expressed by a presence of dominant direction	
S	severně orientované svahy: 337,5°–360°; 0°–22,5°	N: 337,5°–360°; 0°–22,5° (yes/no)	ano/ne
SV	severovýchodně o. s.: 22,5°–67,5°	NE: 22,5°–67,5° (yes/no)	ano/ne
V	východně o. s.: 67,5°–112,5°	E: 67,5°–112,5° (yes/no)	ano/ne
JV	jihovýchodně o. s.: 112,5°–157,5°	SE: 112,5°–157,5° (yes/no)	ano/ne
J	jížně o. s.: 157,5°–202,5°	S: 157,5°–202,5° (yes/no)	ano/ne
JZ	jihozápadně o. s.: 202,5°–247,5°	SW: 202,5°–247,5° (yes/no)	ano/ne
Z	západně o. s.: 247,5°–292,5°	W: 247,5°–292,5° (yes/no)	ano/ne
SZ	severovýchodně o. s.: 292,5°–337,5°	NW: 292,5°–337,5° (yes/no)	ano/ne
Půda	sloučené skupiny půdních typů, vyjádřeno přítomností převažujícího typu na lokalitě	generalized group of soils type (Czech classification), expressed by a soil type with maximum area	
glej	půdní subtypy glejí – glej rašeliny, glej zbahnělý, glejová rašelina	glej (yes/no)	ano/ne
hnědá půda	hnědé půdy oligotrofní, eutrofní; pelosoly; část rankerů obklopená hnědou p.	brown earth soil (yes/no)	ano/ne
podzol hnědý	podzol hnědý, hnědá půda podzolová; část rankerů obklopená podzolem	podzols – brown subtype (yes/no)	ano/ne
podzol humusový	podzol humusovězelený a humusový	podzols – humic subtype (yes/no)	ano/ne
podzol železitý	podzol železitý a humusovězelený	podzols – ferric subtype (yes/no)	ano/ne
pseudoglej	pseudoglej pravý	pseudogley (yes/no)	ano/ne
rašelina	rašelina vrchovištní, přechodná, slatinná	peat (yes/no)	ano/ne
nadm_vyska	nadmořská výška	altitude	m
teplota	dlouhodobá průměrná roční teplota	long-term avg. annual temperature	°C
srazky	dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek	long-term avg. annual precipitation	mm
TPI_5	charakteristika reliéfu metodou TPI (průměr okolí 25 m)	Topography Position Index (25m radius of neighborhood)	(-1)–1
TPI_10	charakteristika reliéfu metodou TPI (průměr okolí 50 m)	Topography Position Index (50m radius of neighborhood)	(-1)–1
Typ reliéfu (LF)	charakteristika reliéfu TPI, SN – malé okolí (25 m), LN – velké okolí (100 m), S – sklon (°); vyjádřeno přítomností převažujícího typu na lokalitě	landforms, SN – small neighborhood (25m), LN – large neighb. (100m), S – slope (°); expressed by a presence of landform with maximum area	
LF5	planiny – SN: -1 < TPI < 1, LN: -1 < TPI < 1, S <= 5	plains – SN: -1 < TPI < 1, LN: -1 < TPI < 1, S <= 5 (yes/no)	ano/ne
LF6	otevřené svahy – SN: -1 < TPI < 1, LN: -1 < TPI < 1, S > 5	open slopes – SN: -1 < TPI < 1, LN: -1 < TPI < 1, S > 5 (yes/no)	ano/ne
LF7	horní část svahu – SN: -1 < TPI < 1, LN: TPI >= 1	upper slopes, mesas – SN: -1 < TPI < 1, LN: TPI >= 1 (yes/no)	ano/ne
radiace	sluneční radiace	sun radiation (W*hour/m²)	W*hod./m²
radiace_std	variabilita sluneční radiace	variability of sun radiation (W*hour/m²)	W*hod./m²
teplota_prumer	průměrná denní teplota (měřeno in situ)	mean temperature per day (measured in situ)	°C
teplota_prumer2	průměr z denních maxim teplot	mean from temperature peaks per day	°C
teplota_max < 20	počet dní s max. teplotou nižší než 20 °C	number of days with maximum temperature lower than 20 °C	den
teplota_max > 25	počet dní s max. teplotou vyšší než 25 °C	number of days with maximum temperature higher than 25 °C	den
teplota_n 20	doba ode dne s prům. tepl. vyšší než 20 °C	no. of days passed since day with avg. temperature above 20 °C	den
teplota_n 25	doba ode dne s max. tepl. vyšší než 25 °C	no. of days passed since day with max. temperature above 25 °C	den
vlhkost_prumer	průměrná denní relativní vlhkost (měřeno in situ)	avg. relative humidity per day (measured in situ)	%
vlhkost_n 95	počet dní s relativní vlhkostí větší než 95 %	number of days with relative humidity higher than 95 %	den
vlhkost_n 100	počet dní s relativní vlhkostí 100 %	number of days with 100% relative humidity	den
vlhkost_efekt 95	délka doby s relativní vlhkostí větší než 95 %	number of hours with relative humidity higher than 95 %	hod.
vlhkost_efekt 100	délka doby s relativní vlhkostí 100 %	number of hours with 100% relative humidity	hod.

5.2 Modelování predikce poškození porostů a vhodnosti prostředí

Z mnoha parametrů prostředí, vstupujících do analýzy uvedené výše, byly vybrány proměnné, které podle statistického modelu nejvíce ovlivňují míru napadení a které bylo možné získat v příslušném prostorovém rozsahu (tab. 2). Na základě těchto dat byly vytvořeny prediktivní modely popisující rozsah poškození na dvou prostorových škálách (porost SMP, čtverec 250 m). Predikce potenciálního poškození porostů kloubnatkou smrkovou byla provedena pro všechny stávající lesní porosty s podílem smrku pichlavého

na území lesních správ Kraslice, Horní Blatná, Klášterec nad Ohří, Litvínov a Děčín. V druhé predikci byla modelována vhodnost prostředí PLO Krušné hory pro kloubnatku smrkovou v pravidelné síti čtverců o straně 250 m pokrývajících celé území PLO. Všechny predikční modely využívaly obecného lineárního modelu s ohledem na minimalizaci Akaikeho informačního kritéria (Zvára, 2008).

Tab. 2: Seznam vysvětlujících proměnných vstupujících do prediktivních modelů
Tab. 2: A list of explanatory variables that enter predictive models

Zkrácené označení (Designation)	Popis proměnné	Anglický popis (Description)	Jednotka (Unit)
SMP *	podíl smrku pichlavého	percentage of Colorado blue spruce in the plot	%
SMP_vyska *	průměrná výška smrku pichlavého	mean height of Colorado blue spruce in stands	m
SMP_zakm *	průměrné zakmenění	mean density of stocking	1-10
jerab_p *	podíl jeřábu	percentage of rowan	%
briza_p *	podíl břízy	percentage of birch	%
vodni_tok	přítomnost vodního toku	presence of water course in the plot (yes/no)	ano/ne
teplota	průměrná roční teplota	long-term mean annual temperature	°C
srazky	průměrný roční úhrn srážek	long-term mean annual precipitation	mm
Expozice	orientace svahů vůči světovým stranám	aspect, expressed by a presence of dominant direction	°
S	severně orientované svahy: 337,5°–360°; 0°–22,5°	N: 337,5°–360°; 0°–22,5° (yes/no)	ano/ne
SV	severovýchodně o. s.: 22,5°–67,5°	NE: 22,5°–67,5° (yes/no)	ano/ne
V	východně o. s.: 67,5°–112,5°	E: 67,5°–112,5° (yes/no)	ano/ne
JV	jihovýchodně o. s.: 112,5°–157,5°	SE: 112,5°–157,5° (yes/no)	ano/ne
J	jížně o. s.: 157,5°–202,5°	S: 157,5°–202,5° (yes/no)	ano/ne
JZ	jihozápadně o. s.: 202,5°–247,5°	SW: 202,5°–247,5° (yes/no)	ano/ne
Z	západně o. s.: 247,5°–292,5°	W: 247,5°–292,5° (yes/no)	ano/ne
SZ	severovýchodně o. s.: 292,5°–337,5°	NW: 292,5°–337,5° (yes/no)	ano/ne
Typ reliéfu (LF)	charakteristika reliéfu TPI, SN – malé okolí (25 m), LN – velké okolí (100 m), S – sklon (°); podíl na celkové rozloze jednotky	landforms, SN – small neighborhood (25m), LN – large neighb. (100m), S – slope (°); expressed by a percentage of unit total area	
LF5	planiny -SN: -1 < TPI < 1, LN: -1 < TPI < 1, S <= 5	plains -SN: -1 < TPI < 1, LN: -1 < TPI < 1, S <= 5	%
LF6	otevřené svahy -SN: -1 < TPI < 1, LN: -1 < TPI < 1, S > 5	open slopes -SN: -1 < TPI < 1, LN: -1 < TPI < 1, S > 5	%
LF7	horní část svahu -SN: -1 < TPI < 1, LN: TPI >= 1	upper slopes, mesas -SN: -1 < TPI < 1, LN: TPI >= 1	%
Půda	sloučené skupiny půdních typů vyjádřeny podílem na celkové rozloze jednotky	generalized group of soils type (czech classification), expressed by a percentage of unit total area	
glej	půdní subtypy glejů – glej rašelíný, glej zbahnělý, glejová rašelina	gley	%
hnědá půda	hnědé půdy oligotrofní, eutrofní; pelosoly; část rankerů obklopená hnědou p.	brown earth soil	%
podzol hnědý	podzol hnědý, hnědá půda podzolová; část rankerů obklopená podzolem	podzols – brown subtype	%
podzol humusový	podzol humusověželezitý a humusový	podzols – humic subtype	%
podzol železitý	podzol železitý a humusověželezitý	podzols – ferric subtype	%
pseudoglej	pseudoglej pravý	pseudogley	%
rašelina	rašelina vrchovištní, přechodná slatinná	peat	%

Pozn.: Porostní charakteristiky (*) vstupují pouze do analýzy míry poškození porostů SMP.

Note: The characteristic of forest stands with (*) enter only analysis of an impact on Colorado blue spruce stands

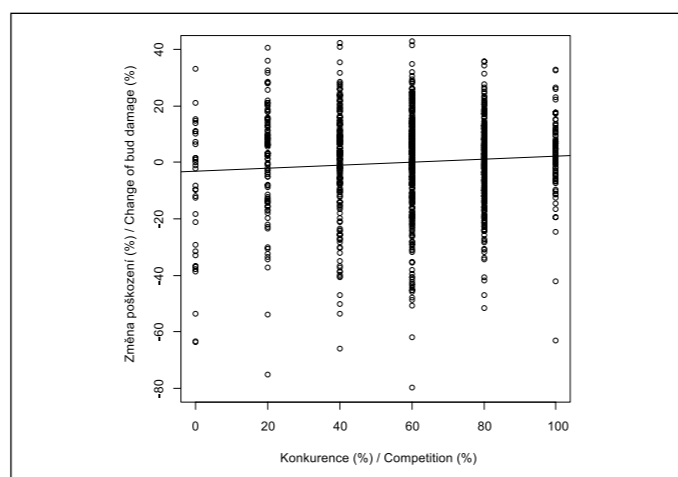
6. Výsledky

6.1 Poškození pupenů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou

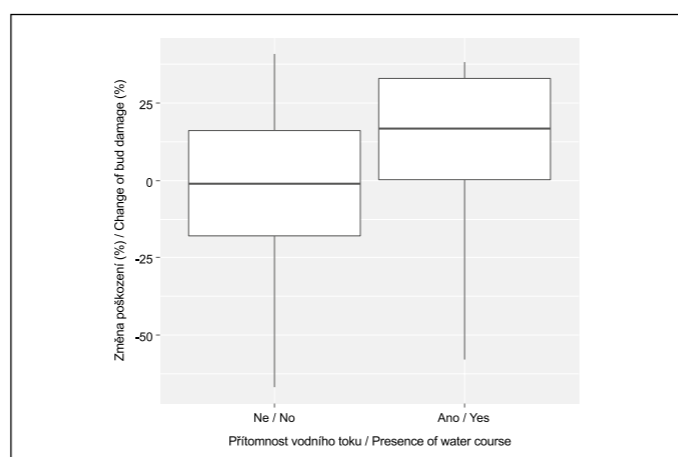
V rámci analýzy vlivu faktorů prostředí na míru poškození pupenů byla nejprve vypočtena korelační matice pro všechny dostupné spojité veličiny (uvedeno v příloze 1). Za zmínku stojí například to, že poškození pupenů kloubnatkou smrkovou je významně svázáno s teplotami – environmentální data jasně potvrzují laboratorní výsledky a vazbu patogenu na nízké teploty (Černý a kol., 2016). V dalším kroku byl s použitím nekorelovaných proměnných vytvořen model závislosti poškození pupenů na vybraných faktorech prostředí, jehož střední chyba jako celku má velikost 17,3 (koeficient determinace dosahuje hodnoty 0,39). Většina přítomných veličin je vysoce statisticky významná – většinou na hladině významnosti menší než 0,001.

Výsledky analýzy ukazují, jakým způsobem vlastnosti prostředí ovlivňují míru poškození pupenů a tedy zdravotní stav jedinců smrku pichlavého. Mezi pěšební charakteristiky, které mají statisticky průkazný pozitivní vliv na rozsah poškození pupenů smrku pichlavého (tzn. čím vyšší hodnota proměnné, tím vyšší poškození jedince SMP), patří konkurence okolních jedinců, pokryvnost stromového patra a bonita porostu (AVB). Na obr. 9 je zobrazen vztah mezi poškozením jedince a konkurencí okolních stromů po odfiltrování vlivu ostatních proměnných. Na ose x se nachází stupeň konkurence (vyjádřeno 6 kategoriemi) a na ose y míra poškození jedince, při čemž nula odpovídá poškození vypočítanému na základě modelu obsahujícího všech-

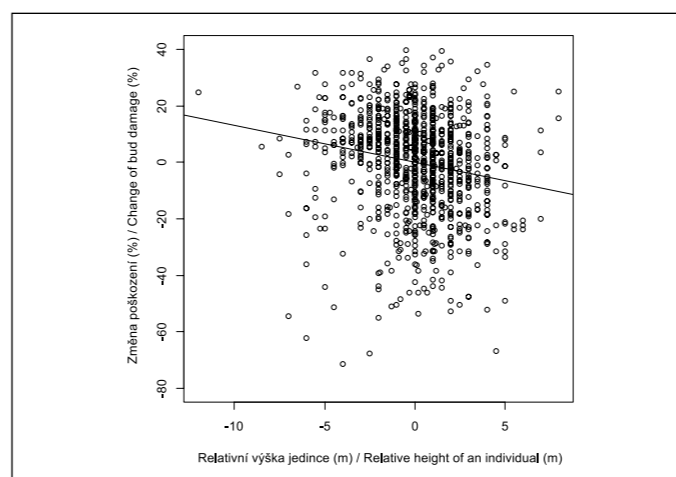
ny proměnné (viz tab. 1a a 1b) kromě konkurence; hodnoty nad nulou potom nárůstu (pod nulou poklesu) míry poškození pupenů vlivem konkurence a dalších veličin nezahrnutých v modelu (podobně zpracováno pro obr. 10–12). Negativní vliv (na rozvoj choroby) má z pěšebních charakteristik relativní výška jedince (čili rozdíl výšky jedince a průměrné výšky porostu, obr. 10) a příměsí ostatních dřevin (břízy, jeřábu). Mezi environmentální faktory pozitivně působící na rozsah poškození pupenů patří přítomnost vodního toku v porostu (obr. 11) a umístění porostu na planině a otevřeném svahu. Naopak poloha na horních svazích a hranách kopců se v analýze projevuje negativně (obr. 12). Výrazný vliv na rozsah poškození SMP má expozice. Nižší poškození bylo zjištěno zejména na severozápadních až severovýchodních expozicích vystavených vlivu intenzivnějšího větrného proudění, zatímco na krytých expozicích ostatních svahů (příčně probíhající údolí a v menší míře i jižní svahy) je poškození pupenů vyšší. Z klimatických faktorů podporuje poškození vyšší úhrn srážek (především na náhorní plošině). Opačný (negativní) vliv mají vyšší teploty měřené v nižších polohách a jižních expozicích. Poškození pupenů bylo vyšší na půdách vlhkých a chudých (gleje, nejchudší typy podzolu, rašeliny). Naopak nižší poškození bylo zaznamenáno na půdách bohatších (hnědé lesní půdy, úživnější typy podzolu). Tabulku s hodnotami k uvedeným statistickým výsledkům lze najít v příloze 2.



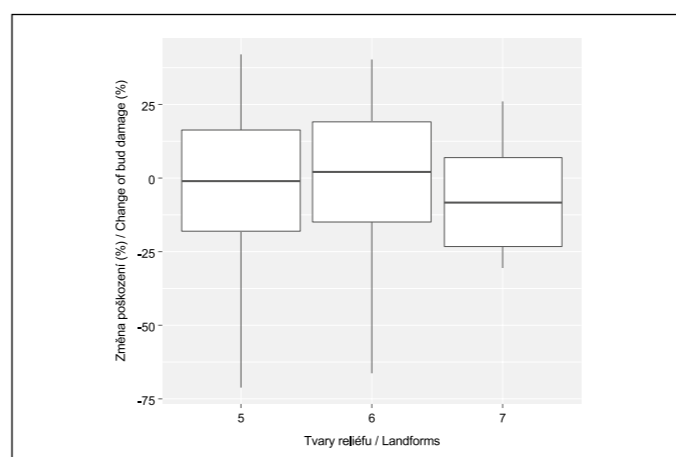
Obr. 9: Závislost změny poškození pupenů na konkurenci
Fig. 9: A dependence of change of bud damage on competition



Obr. 11: Závislost změny poškození pupenů na přítomnosti vodního toku v porostu
Fig. 11: A dependence of change of bud damage on presence of a watercourse in stands



Obr. 10: Závislost změny poškození pupenů na relativní výšce jedince
Fig. 10: A dependence of change of bud damage on the relative height of an individual



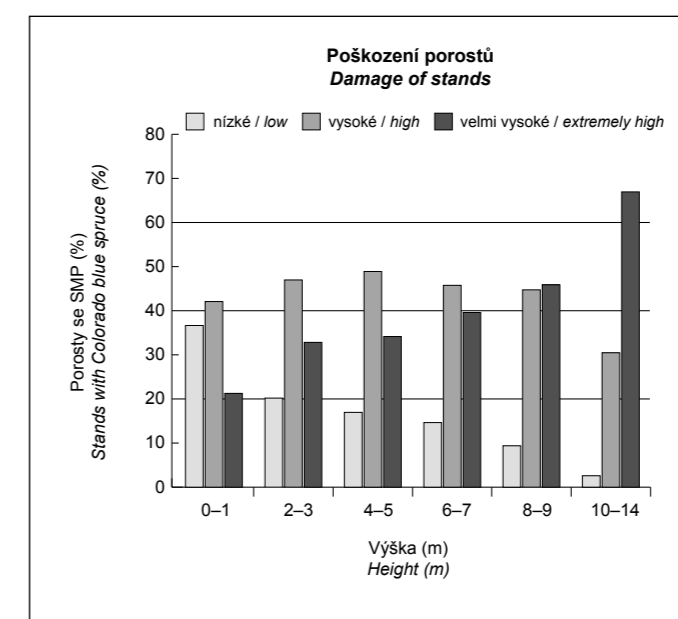
Obr. 12: Závislost změny poškození pupenů na typu reliéfu (LF): 5 – planiny, 6 – otevřené svahy, 7 – horní části svahu
Fig. 12: A dependence of change of bud damage on landforms (LF): 5 – plains, 6 – open slopes, 7 – upper slopes, mesas

6.2 Predikce potenciálního poškození porostů smrku pichlavého v Krušných horách

Prediktivní modelování vycházelo z analýzy faktorů prostředí ovlivňujících míru napadení pupenů. Z této analýzy byla vybrána řada proměnných se statisticky ověřeným významným vlivem na rozsah poškození, které bylo možné získat a připravit pro úroveň porostů. Predikce potenciálního poškození porostů byla provedena pro 5 359 porostů s podílem SMP o jejich celkové rozloze 200 km². Výsledky modelování rozsahu poškození porostů byly klasifikovány do tří kategorií metodou přirozených intervalů („natural breaks“, Jenks, 1967). Potenciální nízké poškození do 55 % lze očekávat jen u 17,9 % porostů, naopak u 46,2 % porostů bylo predikováno vysoké potenciální poškození (55–80 %). Velmi vysoké poškození (nad 80 %) lze předpokládat u 35,9 % porostů. Statistický model popisující poškození porostů smrku pichlavého má velikost střední chyby 19,07 a koeficient determinace 0,26. Seznam proměnných a jejich statistická významnost je uvedena v příloze 3.

Průkazný pozitivní vliv na rozsah poškození porostů (tzn. čím vyšší hodnota proměnné, tím vyšší poškození porostů SMP) má typicky výška porostu, zakmenění, případně přítomnost vodního toku. Významný vliv má rovněž topografie. Vyšší poškození se objevuje na plochých krajinných útvarech a níže položených svazích, naopak opačný vliv na poškození porostů má poloha na horních svazích a hranách kopců. Výrazný vliv na rozsah poškození má expozice. Nižší poškození bylo zjištěno zejména na severozápadních, severních až severovýchodních expozicích vystavených vlivu intenzivnějšího větrného proudění, zatímco na ostatních svazích je poškození vyšší. Z klimatických faktorů mají opět průkazné pozitivní vliv srážky, s jejichž narůstajícím úhrnem míra poškození porostů roste a na náhorní plošině dosahuje svého maxima. U teploty byl pozorován opačný, tj. negativní trend, kdy se s narůstající teplotou (především v nižších polohách a na jižních stranách svahů) míra poškození snižuje. Poškození porostů bylo vyšší na půdách vlhkých a chudých (zejména gleje a železité podzoly). Naopak nižší poškození bylo zaznamenáno na půdách bohatších (hnědé lesní půdy, více úživné typy podzolu).

Z porovnání výsledků predikce s jednotlivými proměnnými lze vysledovat několik trendů. Na obr. 13 je například vidět postupné snižování podílu porostů s nízkým potenciálním poškozením, zatímco podíl porostů s velmi vysokým poškozením narůstá v závislosti na průměrné výšce

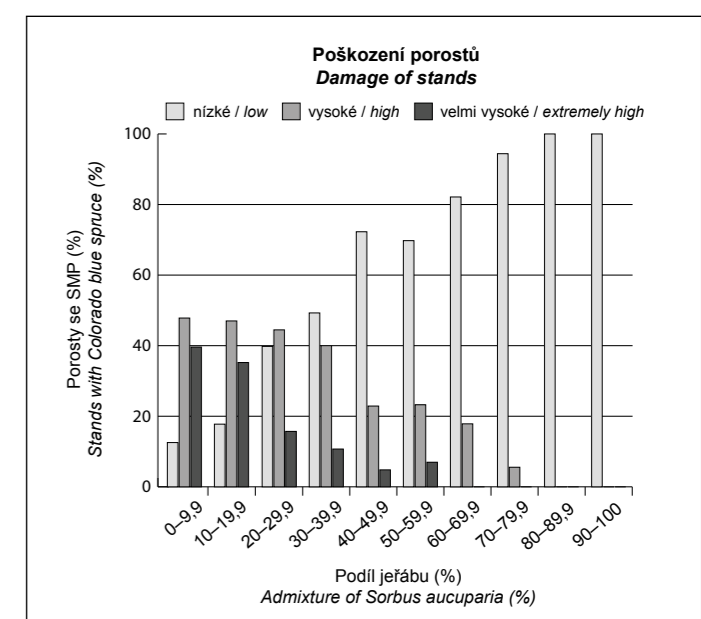


Obr. 13: Závislost poškození SMP na průměrné výšce porostu
Fig. 13: A dependence of damage of Colorado blue spruce stands on tree height of stand

porostu. Velmi vysokou míru poškození dále vykazují porosty s nízkým podílem ostatních dřevin, např. jeřábu, s jehož přibývajícím zastoupením se míra poškození snižuje (obr. 14). Změnu průměrné hodnoty vybraných proměnných ve vztahu k potenciálnímu poškození porostů SMP lze pozorovat také v tab. 3. Například přítomnost vodního toku je běžná v oblastech s velmi vysokým potenciálním poškozením porostů. U téměř 80 % porostů s velmi vysokým potenciálním poškozením je přítomen vodní tok. Potvrzuje se také trend nárůstu průměrného úhrnu srážek (a naopak pokles průměrné teploty) s nabývajícím potenciálním poškozením.

Rozložení potenciálního poškození SMP v rámci jednotlivých lesních správ ukazuje obr. 15. Lesní porosty s různým podílem SMP zabírají v zádřevém území téměř 20 tis. ha. Na základě celkové rozlohy porostu a podílu SMP v něm lze přepočítat konkrétní plochu SMP v daném porostu. Podle tohoto přepočtu se nejvíce porostů se SMP vyskytuje na území LS Litvínov. Přepočtená plocha SMP dle podkladů ÚHÚL zde totiž činí cca 3,5 tis. ha. Zároveň je na území LS Litvínov predikováno vysoké či velmi vysoké poškození na více než 80 % rozlohy porostů SMP. V LS Klášterec, jakožto druhé správě s největší rozlohou SMP (přepočtená plocha SMP 2,2 tis. ha), je přes 90 % porostů zařazeno v obou vyšších kategoriích poškození, z toho téměř 50 % rozlohy SMP v kategorii nejhorší. Poněkud menší míra poškození je predikována na území LS Děčín (260 ha SMP), kde je dokonce 26 % rozlohy SMP v kategorii nejmenšího poškození. Největší podíl SMP s velmi vysokým poškozením (nad 70 %) se nachází v LS Blatná, celkové však při malém zastoupení SMP (124 ha). V LS Kraslice (SMP pouze cca 10 ha) jsou všechny porosty v kategorii vysokého a velmi vysokého ohrožení.

Velmi vysoká míra poškození je soustředěna zejména ve vyšších polohách (typicky 6. a 7. vegetační stupeň) na relativně plochých tvarech krušnohorské náhorní plošiny (např. okolí Meluzíny a Loučné, Rašeliniště, Komáří vrch a Prameniště Chomutovky, Tokaniště a okolí, Cínovecký hřbet atd. – viz obr. 16, kde je znázorněna predikce poškození porostů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou pro celou zájmovou oblast PLO Krušné hory). Vysoké a velmi vysoké poškození lze obecně očekávat ve vlhčím prostředí poblíž nádrží a vodních toků – typicky např. na sva-



Obr. 14: Závislost poškození SMP na podílu JR
Fig. 14: A dependence of damage of Colorado blue spruce stands on the admixture of Sorbus aucuparia in stands

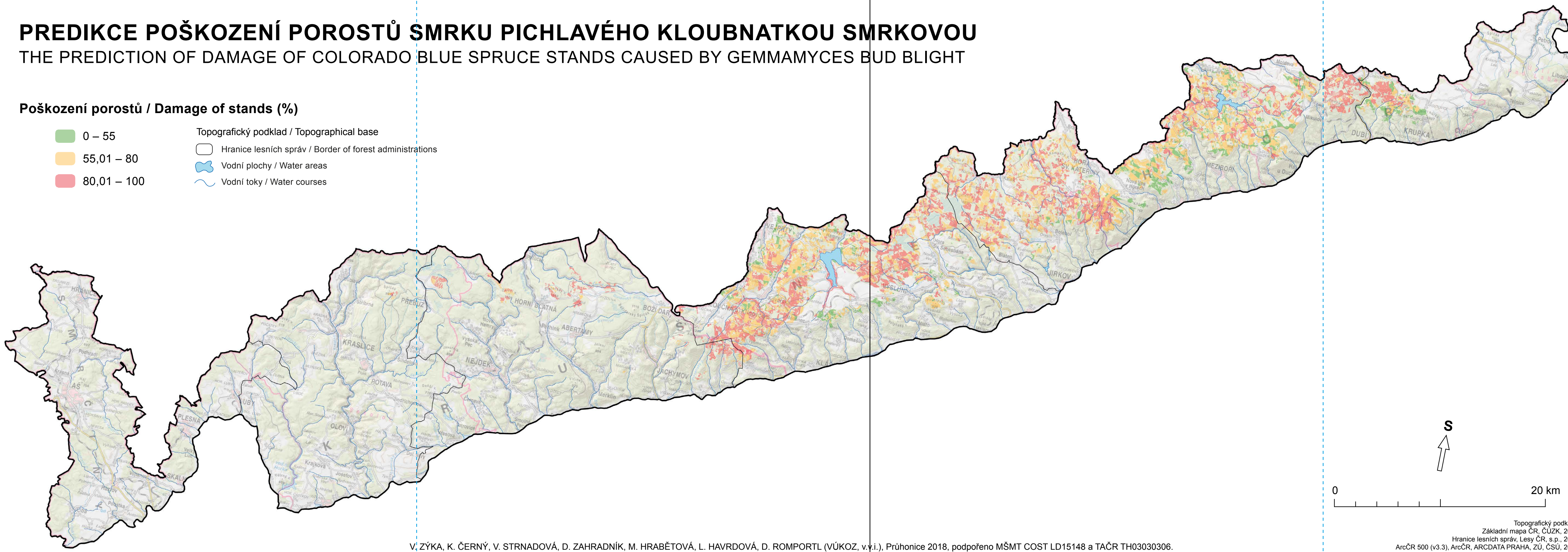
PREDIKCE POŠKOZENÍ POROSTŮ SMRKU PICHLAVÉHO KLOUBNATKOU SMRKOVOU

THE PREDICTION OF DAMAGE OF COLORADO BLUE SPRUCE STANDS CAUSED BY GEMMAMYCES BUD BLIGHT

Poškození porostů / Damage of stands (%)

- 0 – 55
- 55,01 – 80
- 80,01 – 100

- Topografický podklad / Topographical base
- Hranice lesních správ / Border of forest administrations
 - Vodní plochy / Water areas
 - Vodní toky / Water courses



V. ZÝKA, K. ČERNÝ, V. STRNADOVÁ, D. ZAHRADNÍK, M. HRABĚTOVÁ, L. HAVRDOVÁ, D. ROMPORTL (VÚKOZ, v.v.i.), Průhonice 2018, podpořeno MŠMT COST LD15148 a TAČR TH03030306.

Topografický podklad:
 Základní mapa ČR, ČÚZK, 2018
 Hranice lesních správ, Lesy ČR, s.p., 2018
 ArcČR 500 (v3.3), ArcČR, ARCDATA PRAHA, ZÚ, ČSÚ, 2016

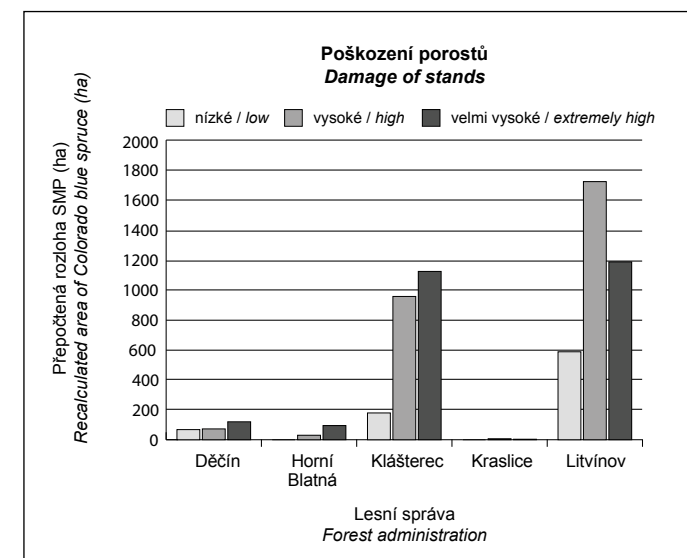
Obr. 16: Potenciální poškození porostů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou v Krušných horách
 Fig. 16: A potential damage of Colorado blue spruce stands caused by Gemmamyces bud blight in the Ore Mountains

Potenciální poškození Potential damage	Vybrané porostní proměnné a proměnné prostředí Selected silvicultural characteristic and environment variables						
	výška porostu (m) height of stand (m)	podíl jeřábu (%) percentage of rowan (%)	přítomnost vody (%) presence of water (%)	srážky (mm) precipitation (mm)	teplota (°C) temperature (°C)	planiny (%) plains (%)	hnědá půda (%) brown earth (%)
nízké low	4	12,4	4,1	964	5,5	40,6	8,9
vyšoké high	4,6	2,6	20,9	993	5,1	44,2	1,7
velmi vysoké extremely high	5	1,2	79,8	1010	5	44,6	0,4

Tab. 3: Změna průměrné hodnoty vybraných proměnných ve vztahu k potenciálnímu poškození porostů SMP
Tab. 3: A change of average value of selected predictors in relation to potential damage of Colorado blue spruce stands

zích nádrže Přísečnice a v jejím okolí (obr. 17). Členitější oblasti mají poškození více heterogenní, např. na Jezeří nebo na Cínoveckém hřbetu (obr. 18) se poškozené porosty soustředí v plochých reliéfech a v údolích, což je opět svázáno s přítomností vodních toků a obecně vyšší vlhkos-

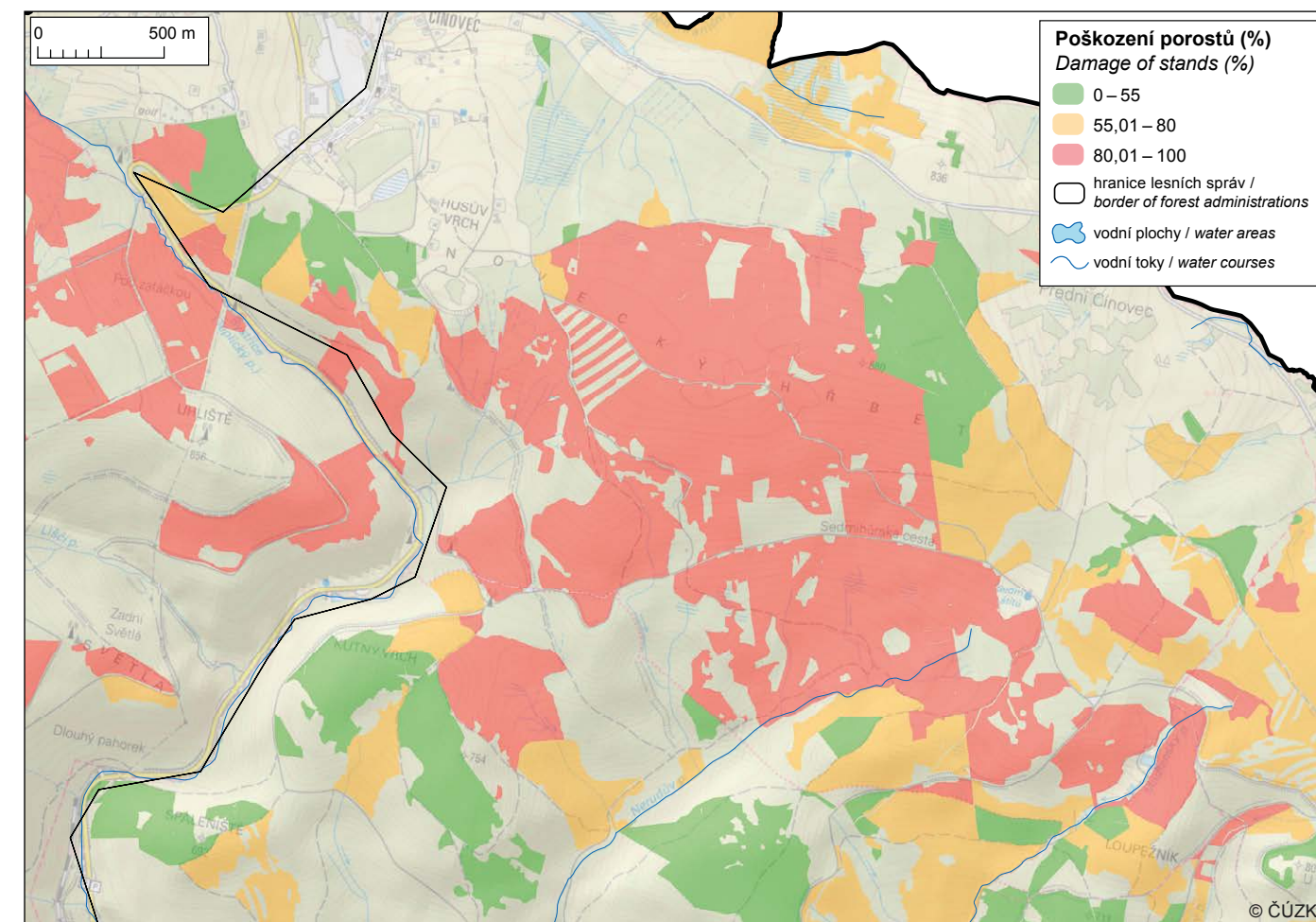
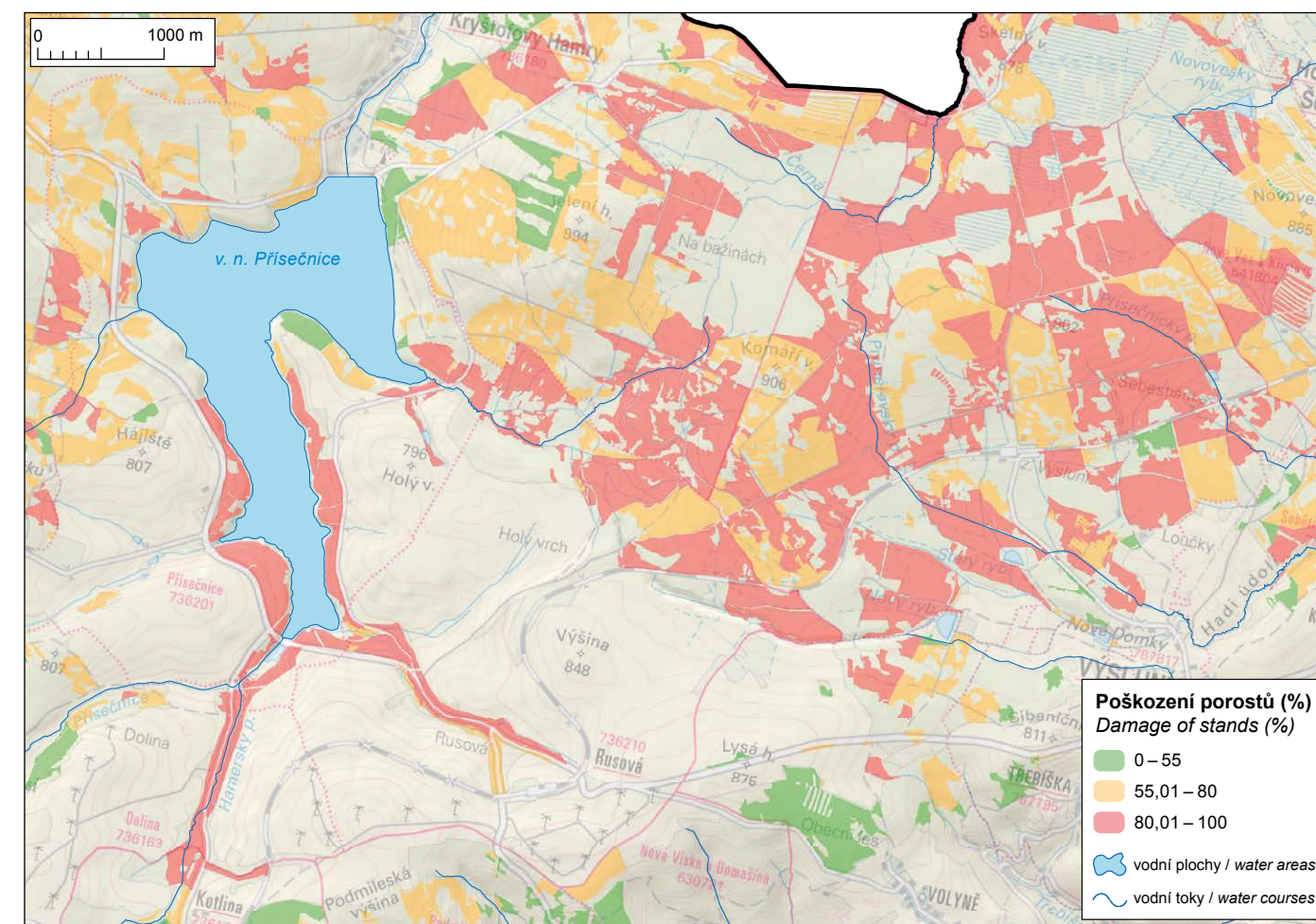
tí. Menší poškození je naopak predikováno na některých exponovaných horních částech svahů, hranách a temenech kopců (např. Černý kopc a Jeřábina severně od Janova).



Obr. 15: Přepočtená rozloha porostů SMP (dle ÚHÚL) v jednotlivých kategoriích poškození dle LS
Fig. 15: The recalculated area of Colorado blue spruce stands (according to the UHÚL) in the individual damage categories according to particular forest administrations

Obr. 17: Potenciální poškození porostů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou v okolí vodní nádrže Přísečnice
Fig. 17: A potential damage of Colorado blue spruce stands caused by Gemma myces bud blight in vicinity of the Přísečnice water reservoir

Obr. 18: Potenciální poškození porostů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou v okolí Cínoveckého hřbetu
Fig. 18: A potential impact on Colorado blue spruce stands of Gemma myces bud blight in vicinity of the Cínovecký hřbet ridge



6.3 Predikce vhodnosti prostředí PLO Krušné hory pro kloubnatku smrkovou

Jelikož kloubnatka smrková může do jisté míry přecházet na smrk ztepilý, bylo vhodné vytvořit predikci nezávislou na porostních mapách. Použití porostů jako prostorových jednotek s sebou sice přináší řadu výhod, např. do prediktivního modelování mohou vstupovat porostní faktory, jež model více zpřesňují. Výsledky z modelů pro porosty lze vztáhnout také ke konkrétnímu porostu a na jejich základě přijmout určitá opatření. Nevýhodou porostů jako prostorových jednotek je ovšem jejich rozdílná velikost, tvar (často nepřesné topologické zpracování) a nemožnost využití pro celé sledované území. A právě proto byla predikce vhodnosti prostředí pro kloubnatku v Krušných horách vytvořena pomocí pravidelné sítě čtverců o straně 250 m. Predikce vhodnosti prostředí je založena pouze na environmentálních faktorech prostředí (topografických, pedologických, klimatických), u kterých lze na základě analýzy faktorů předpokládat, že budou mít vliv na rozšíření patogenu.

Model vhodnosti prostředí vytvořený pro PLO Krušné hory má velikost střední chyby 19,5 a koeficient determinace dosahuje hodnoty 0,205. Veličiny přítomné v modelu jsou vesměs vysoce statisticky významné (příloha 4). Predikce byla provedena pro 29 741 čtverců o celkové rozloze 1 814 km². Výsledné hodnoty jsou jako v předchozím případě rozděleny do tří intervalů vhodnosti prostředí, a to nízká (0–55), vysoká (55–80) a velmi vysoká (80–100). Prostředí o nízké vhodnosti bylo predikováno u 23,6 % čtverců, u 33,6 % čtverců byla predikována vysoká vhodnost prostředí a velmi vysokou environmentální vhodnost lze předpokládat u 42,8 % čtverců.

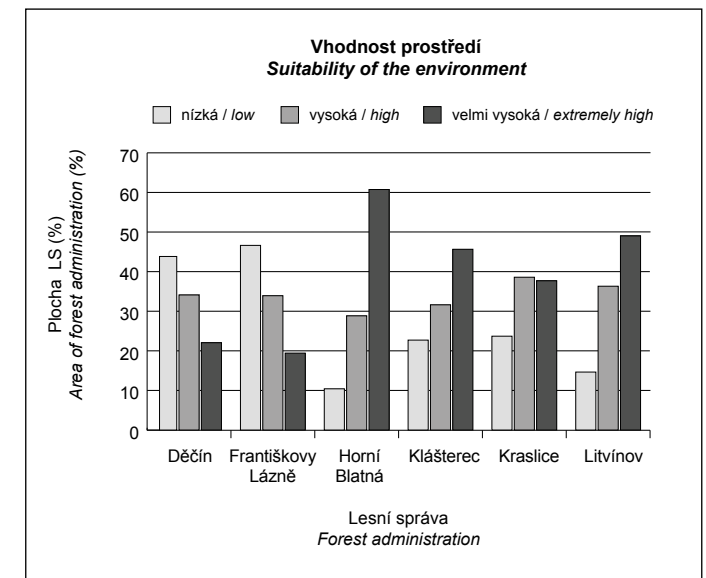
Soubor proměnných prostředí ovlivňujících jeho vhodnost pro kloubnatku smrkovou je totožný se souborem proměnných využitých v případě porostů (samozřejmě bez porostních charakteristik). Jedná se o přítomnost vody v prostředí, expozici, krajinné formy, půdní typy, srážky a teplotu (bližší viz tab. 2). Pozitivní vliv na rozsah poškození (tzn. čím vyšší hodnota proměnné, tím větší vhodnost prostředí pro kloubnatku smrkovou) má přítomnost vodního toku. Z výsledků vyplývá, že 75,6 % čtverců z kategorie velmi vysoké vhodnosti prostředí má na svém území vodní tok (tab. 4). Pozitivní vliv také rámcově vykazují východní až jihovýchodní otevřené expozice svahů, ploché tvary reliéfu či dolní části svahů. Podobně jako v případě predikce poškození porostů, i v tomto modelu stoupá vhodnost prostředí s rostoucím průměrným úhrnem srážek. Vhodnost prostředí lze také pozorovat v kontextu zastoupení půdního typu. S přibývajícím podílem glejových půd vhodnost prostředí narůstá, klesá naopak se zvyšujícím se podílem hnědé půdy, jejíž průměrné zastoupení v rámci všech půd činí pro území s nízkou vhodností 71,4 % (tab. 4).

Z predikce vyplývá, že nejméně vhodné prostředí pro kloubnatku smrkovou se nachází na území LS Děčín a LS Františkovy Lázně, kde převažuje

nízká vhodnost prostředí (přes 40 % rozlohy území). Do 50 % rozlohy území zaujímá velmi vysokou vhodnost prostředí LS Klášterec, LS Kraslice a LS Litvínov. V LS Horní Blatná spadá do kategorie velmi vysoké vhodnosti prostředí dokonce 60 % rozlohy území a stává se tím nejvhodnějším územím pro rozvoj kloubnatky smrkové v rámci celé PLO (obr. 19).

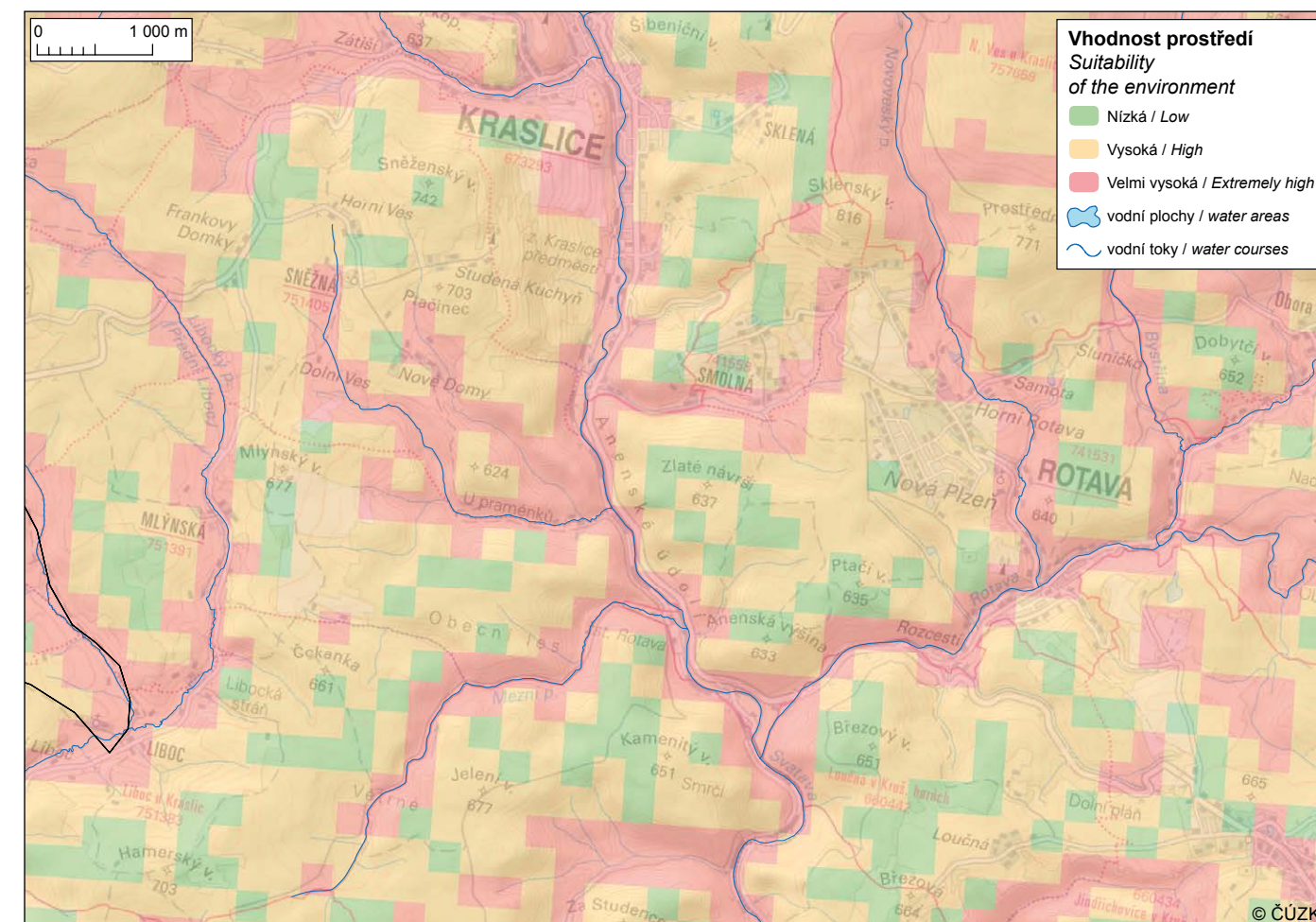
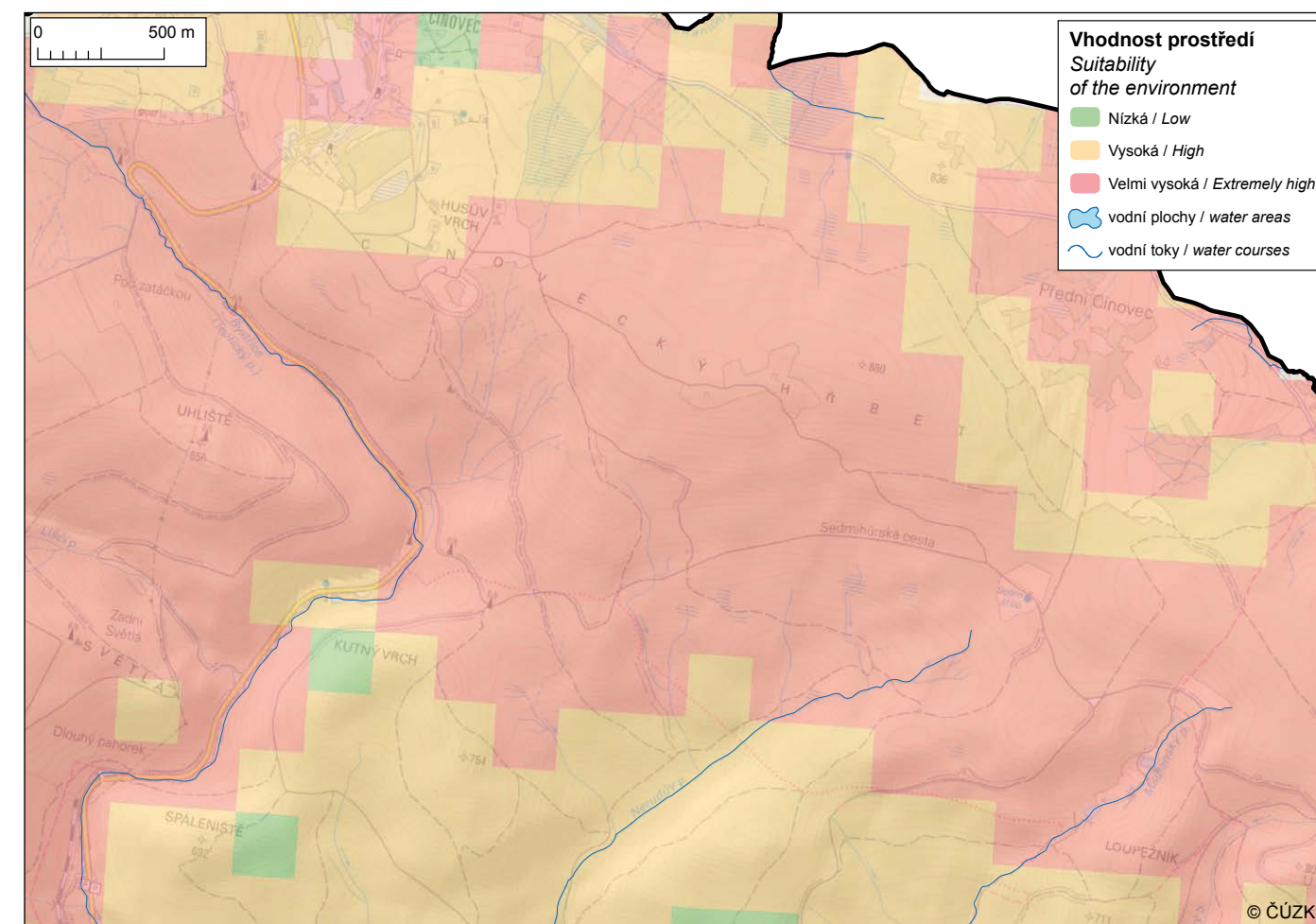
Ve východní části Krušných hor rozložení intervalů vhodnosti prostředí do značné míry odpovídá predikovanému potenciálnímu poškození porostů smrku pichlavého (viz porovnání situace v okolí Cínoveckého hřbetu na obr. 18 a obr. 21). Podobné schéma rozložení vhodnosti prostředí pro rozvoj kloubnatky smrkové můžeme identifikovat i v západní části Krušných hor (obr. 20). Na první pohled je například zřejmé, že i zde mohou podmínky prostředí potenciálně podmiňovat značný rozvoj patogenu – např. velmi citlivá je prakticky celá oblast náhorní plošiny od Přebuzi až po Klínovec. Jižní svahy (podobně jako ve východní části) jsou pro rozvoj patogenu méně vhodné. V členité oblasti Kraslice (obr. 22) a ve Smrčinách lze předpokládat vhodné podmínky zejména v inverzních polohách hlubších údolí, kde se udržuje nižší teplota a zároveň je zde většinou přítomen vodní tok.

Obr. 19: Vhodnost prostředí pro kloubnatku smrkovou dle LS
Fig. 19: A suitability of the environment for Gemma myces piceae according to particular forest administrations



Tab. 4: Změna průměrné hodnoty vybraných proměnných ve vztahu k vhodnosti prostředí Krušných hor pro kloubnatku smrkovou
Tab. 4: A change of average value of selected variables in relation to the suitability of the environment of NFA Ore Mountains for Gemma myces piceae

Vhodnost prostředí Suitability of the environment	Vybrané proměnné prostředí Selected environment variables						
	přítomnost vody (%) presence of water (%)	srážky (mm) precipitation (mm)	teplota (°C) temperature (°C)	expozice V (%) aspect E (%)	otevřený svah (%) open slopes (%)	glej (%) gley (%)	hnědá půda (%) brown earth (%)
nízká low	12,2	747	6,48	10	23,6	0,4	71,4
vyšoká high	33,2	886	5,84	14,3	26,1	2,4	30,8
velmi vysoká extremely high	75,6	999	5,21	19,4	26,4	10,3	6,9



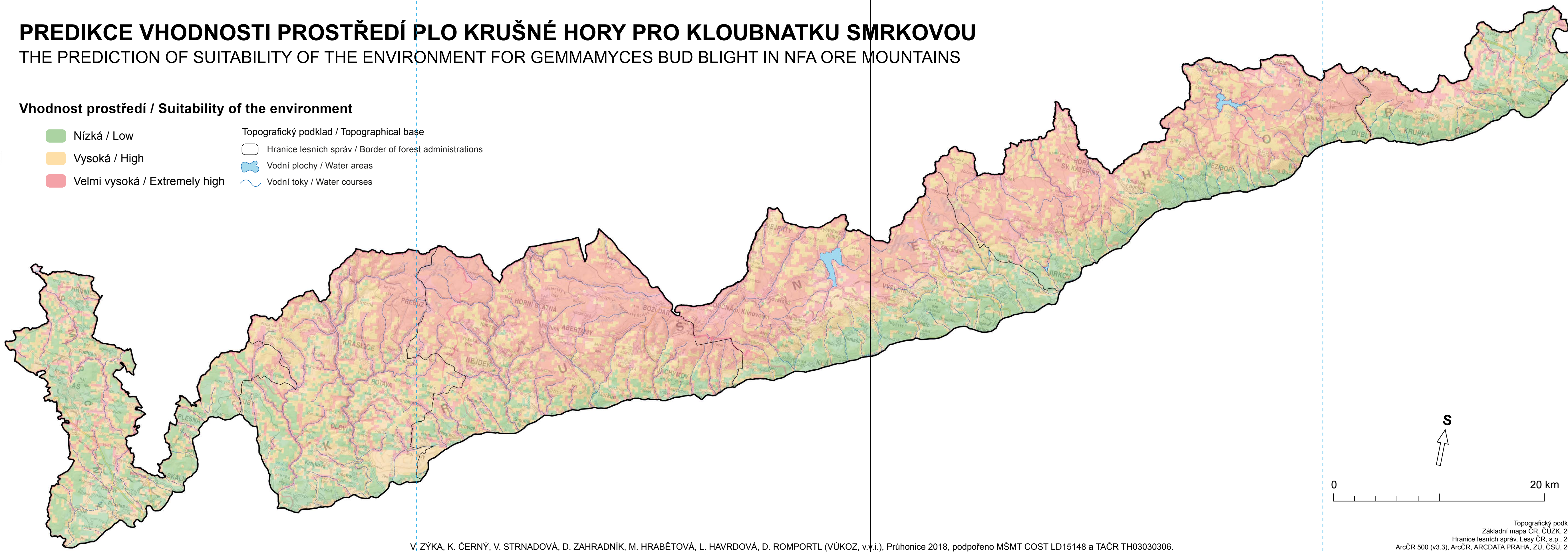
PREDIKCE VHODNOSTI PROSTŘEDÍ PLO KRUŠNÉ HORY PRO KLOUBNATKU SMRKOVOU

THE PREDICTION OF SUITABILITY OF THE ENVIRONMENT FOR GEMMAMYCES BUD BLIGHT IN NFA ORE MOUNTAINS

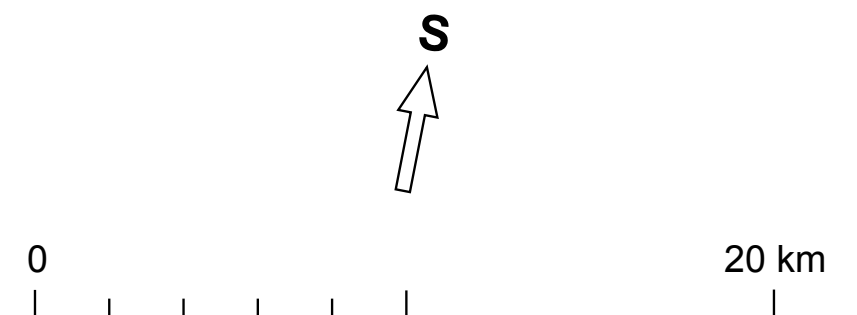
Vhodnost prostředí / Suitability of the environment

- Nízká / Low
- Vysoká / High
- Velmi vysoká / Extremely high

- Topografický podklad / Topographical base
- Hranice lesních správ / Border of forest administrations
 - ~ Vodní plochy / Water areas
 - ~ Vodní toky / Water courses



V. ZÝKA, K. ČERNÝ, V. STRNADOVÁ, D. ZAHRADNÍK, M. HRABĚTOVÁ, L. HAVRDOVÁ, D. ROMPORTL (VÚKOZ, v.v.i.), Průhonice 2018, podpořeno MŠMT COST LD15148 a TAČR TH03030306.



Topografický podklad:
 Základní mapa ČR, ČÚZK, 2018
 Hranice lesních správ, Lesy ČR, s.p., 2018
 ArcČR 500 (v3.3), ArcČR, ARCDATA PRAHA, ZÚ, ČSÚ, 2016

Obr. 20: Vhodnost prostředí pro kloubnatku smrkovou v PLO Krušné hory
 Fig. 20: A suitability of the environment for Gemmamyces bud blight in the NFA Ore Mountains

7. Aplikace výsledků v praxi a možnosti péče o porosty

V rámci předložené práce byl zkoumán, hodnocen a predikován rozvoj kloubnatky smrkové na třech prostorových úrovních. Výsledky publikace pak lze odpovídajícím způsobem využít na úrovni jednotlivých porostů

7.1 Potenciální poškození porostů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou v Krušných horách

Hlavním výstupem práce je predikce rozsahu poškození porostů SMP v Krušných horách. Pomocí statistické metody přirozených intervalů byly porosty klasifikovány do tří kategorií potenciálního poškození: mírné poškození (průměrné poškození v r. 2017 do 55 %), vysoké poškození (55–80 %) a velmi vysoké poškození (nad 80 %). Současný stav porostů (průměrné poškození se v r. 2017 pohybovalo kolem 75 %) bohužel neumožňuje klasifikaci optimističtější. Na základě této klasifikace je možno odhadnout nejen nakolik jsou či mohou být předmětné porosty v reálu poškozeny, ale především, jak naléhavá může být jejich přeměna, nakolik porosty či jejich zbytky mohou posloužit jako ochrana následných dosadeb cílových dřevin, nebo jestli jejich stav umožňuje dílčí výchovu a odklad přeměny na pozdější dobu.

Kategorie porostů s poškozením nejnížším (do 55 %) je velmi variabilní a zahrnuje jak porosty, jejichž obnovu je možné odložit (případně provést výchovný zásah), tak porosty, u nichž je potřeba s obnovou započít, či ty, kde již s obnovou započato bylo. Výchovným zásahem, který zde lze nejspíše provést, jsou miněny obvykle intenzivní negativní probírky a podstatné snížení zakmenění. Hlavním pravidlem by mělo být výrazné uvolnění korun ponechaných jedinců. S těmito probírkami je ovšem důležité začít včas, dokud nedošlo ke kompletnímu odumření obvodů korun většiny stromů v jejich středních partiích. Tyto porosty jsou často typické nízkým stářím, nízkým zakmeněním a (nebo) polohou v nižších nadmořských výškách, na prudších nebo osluněných svazích, na více úživných půdách, nebo na provětrávaných exponovaných hranách kopců.

V případě většiny porostů v kategorii vysokého poškození (55–80 %) lze předpokládat potřebu akutní přeměny porostů. Jejich zdravotní stav však

7.2 Vhodnost prostředí pro kloubnatku smrkovou v PLO Krušné hory

Druhým přínosem mapy je znalost atraktivivity prostředí Krušných hor pro kloubnatku smrkovou. V oblastech s výsadbami SMP se predikce vhodnosti prostředí významně kryje s predikovaným poškozením porostů, pro západní část Krušných hor ovšem přináší zcela novou informaci.

Ve zkratce lze říci, že podobně jako ve východní části, je také na západě pro kloubnatku vysoce vhodné prostředí náhorní plošiny. Jižní svahy a nižší polohy jsou vůči chorobě citlivé méně a naopak inverzní polohy zahluobených údolů jsou pro patogen vhodnější více. Tato znalost je velmi důležitá v době, kdy se objevují četnější doklady o napadení smrku ztepilého kloubnatkou. Jakkoliv současné poškození smrku ztepilého lze hodnotit jako zanedbatelné, v případě možného budoucího rozvoje poškození mapa specifikuje oblasti pro patogen vhodnější, kde by tedy měl nejen probíhat monitoring rozvoje choroby, ale kam by mohly být případně budoucí zásahy soustředěny. Mapa může být rovněž vhodným podkladem pro návrh sítě monitorova-

Obr. 21: Vhodnost prostředí pro kloubnatku smrkovou v okolí Cínoveckého hřbetu

Fig. 21: A suitability of the environment for *Gemmamyces piceae* in vicinity of the Cínovecký hřbet ridge

Obr. 22: Vhodnost prostředí pro kloubnatku smrkovou v okolí Kraslic

Fig. 22: A suitability of the environment for *Gemmamyces piceae* in vicinity of Kraslice

i celého pohoří, ale je možné na jejich základě určit i obecné principy potenciálně využitelné přímo při výchově či obnově porostů.

mnohdy umožňuje identifikovat dostatek jedinců s menším poškozením (poškození pupenů do cca 50–60 %) a ponechávat je v porostu. Podle situace je možné využít clonnou či skupinovou obnovu a využití sítě jednotlivců či skupin jedinců s menším poškozením (případně příměsí) jako ochranu pro dosadby. V případě poněkud menšího, avšak plošného homogenního poškození lze využít i pruhové seče. Vhodným výběrem, orientací a šířkou ponechaných pásů lze dosáhnout i dílčí regenerace korun postižených stromů. Nicméně to platí pouze za předpokladu, že větve po obvodu korun ještě zcela neodumřely. Tento způsob obnovy lze předpokládat spíše u porostů mladších (nižších) na příznivějších stanovištích. K regeneraci korun dochází zejména z osluněných případně vůči větru vystavených stran, u ponechaných jedinců či řídkých skupinek či pruhů však může k regeneraci docházet i v ostatních partiích korun a to zejména za suchých teplých let.

Většina porostů v kategorii s nejvyšším poškozením (nad 80 %) vyžaduje akutní přeměnu. Mnohdy v úvahu přichází pouze plošné zmýcení celých porostů nebo jejich velkých částí s případným ponecháním několika jedinců (skupinek) v lepší zdravotním stavu. Po rámcovém porovnání výsledků se současnou situací lze konstatovat, že velká část těchto porostů je v současné době již do větší či menší míry rozpracována nebo zmýcena. Obecně lze říci, že se tato situace nejčastěji týká porostů starších, přehoustlých, se zanedbanou výchovou (extrémně vysoké zakmenění) a porostů na nevhodných stanovištích, jako jsou podmáčené či málo úživné půdy (gleje, chudé podzoly, případně rašeliny), okolí vodních toků, inverzní údolí, vlhké plošiny apod.

cích ploch, kde by mohl být výskyt kloubnatky smrkové na smrku ztepilém dlouhodobě sledován. Při případném využití této predikce při průzkumu či hodnocení výskytu patogenu na smrku ztepilém je ovšem zapotřebí rovněž vnímat pozitivní či negativní efekty porostních charakteristik, jejichž vliv bude podobný ne-li stejný jako v případě smrku pichlavého.

Vzhledem k tomu, že vypracované modely na úrovni porostů (či celého pohoří) popisují jen poměrně malou část variability systému, nemohou plně popsat reálnou situaci. Ta je oproti modelům ovlivňována nejen dalšími faktory prostředí, které nebylo možno podchytit, ale i historií a dřívějšími zásahy v jednotlivých porostech, variabilitou v toleranci hostitele vůči patogenu, ve virulenci různých kmenů patogenu apod. Proto je vždy dobré mapové výstupy brát jen jako vodítko a pomůcku pro rozhodování. Velmi vhodné je naopak hodnotit trendy v rámci celých oddělení a vyšších jednotek či krajinných celků.

7.3 Poškození jedinců smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou

Třetí možnost využití této mapy jsou informace, které byly získány při vytváření modelu poškození kloubnatkou smrkovou na úrovni jednotlivých stromů. Tyto informace lze využít pro specifikaci hlavních zásad managementu choroby, který je, či by měl být, prováděn v závislosti na rozsahu poškození porostů a dalších okolnostech.

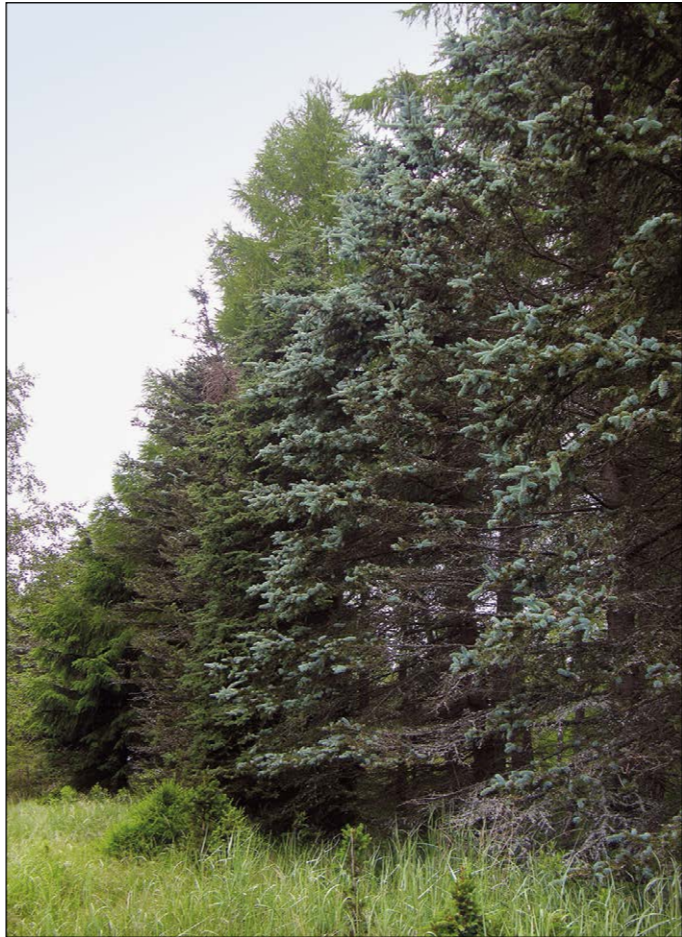
V případě clonné, kotlíkové či jiné maloplošné obnovy musí být pro ochranu dosadeb vybírání jedinci s co nejmenším poškozením (optimálně pod 50 %) a s alespoň částečně zachovanými živými výhony na periferii koruny v jejich středních, případně dolních partiích. Negativní výběr je samozřejmě hlavní zásadou práce v porostech. Často mohou být zachovávány předrostlíky či naopak méně vzrůstní, ale izolovaní jedinci, případně stromy rostoucí podél okrajů porostů, na okrajích světlin, mimo vysoký zápoj či zakmenění, podél průseků, cest a pěšin či stezek lesní zvěře. Velmi pravděpodobně se zde může projevit a být respektována i rozdílná tolerance různých genotypů smrku pichlavého vůči patogenu (viz obr. 4F). Koruny vybraných jedinců musí být pokud možno zcela uvolněny, musí být na minimum snížena konkurence okolních stromů a musí být maximalizován přísun slunečního záření ke koruně a co nejvíce podpořeno proudění vzduchu. Cílem je co možná nejvíce urychlit osychání zdravých pupenů a minimalizovat jak produkci, tak i možnost vyklíčení spor patogenu a omezit tak šíření patogenu v rámci koruny. V úvahu může připadat i dílčí vyvětvění. Vhodným uvolněním těchto stromů může dojít nejen ke stabilizaci jejich zdravotního stavu, ale dokonce i dílčí regeneraci (obr. 23). Velmi důležité je využívat topografie lokality a upřednostňovat jedince rostoucí na místech, která jsou méně příznivá pro rozvoj patogenu (vyvýšená místa, místa na hranách, výstupcích, dále od vodních toků, melioračních struh či prameništ), mimo konkurenci dalších dřevin a podobně.

Podobným způsobem může být postupováno i při obnově porostů. V místech, kde je možné využít zbytky původních porostů SMP, musí být obnovní prvky nejprve zakládány na místech nejvhodnějších pro patogen, což jsou zejména vlhká mikrostanoviště, zastíněná místa, zahluobené tvary, okolí vodotečí a podobně. Velmi důležitý je tvar a orientace obnovních prvků, kdy je vhodné otevřít zbylé části porostu přiměřenému proudění větru a vystavit je slunečnímu záření – dosáhne se tak snížení vzdušné vlhkosti. Při dnes často využívané pruhové seči, by pruhy zbylých porostů měly být spíše užší, případně i řidší, vhodné je ponechávání nepravidelných okrajů, které může podpořit lepší regeneraci obvodu korun jedinců v okrají pruhu.

Aplikací vhodných opatření lze alespoň v méně poškozených porostech či jejich částech, dosáhnout nejen zpomalení postupu choroby, ale za urči-

8. Závěr

V rámci projektu byl proveden širší výzkum patogenu kloubnatky smrkové, který zahrnoval problematiku taxonomickou, ekologickou a epidemiologickou. Na základě širokého terénního průzkumu byly identifikovány porostní a environmentální faktory, které ovlivňují rozsah poškození jedinců i celých porostů. Na základě vypracovaných statistických modelů byla vytvořena predikce poškození náhradních porostů SMP v Krušných horách a predikce vhodnosti prostředí PLO Krušné hory pro kloubnatku smrkovou. Výzkum potvrdil enormní rozsah poškození porostů SMP a vysokou vhodnost podmínek prostředí Krušných hor pro patogen. Jednoznačně lze říci, že nejvíce postižené jsou porosty na náhorní plošině Krušných hor, rozvoj choroby je naopak pomalejší na exponovaných svazích, hranách kopců a v nižších polohách. Zde je i predikována nižší vhodnost prostředí pro patogen. Vyšší poškození porostů i vhodnost prostředí jsou pak predikovány mimo náhorní plošinu i pro zahluobená údolí, okolí vodních toků a nádrží a podobně.



Obr. 23: Včas a vhodným způsobem provedený zásah může mít za výsledek dílčí regeneraci SMP a zlepšení jeho ochranných funkcí (LS Klášterec n. O.)

Fig. 23: In time and appropriate intervention can lead to partial regeneration of *P. pungens* and improvement if its protective function (Klášterec n. O. forest administration)

té situace dokonce stabilizace či zlepšení zdravotního stavu porostů a zlepšení jejich funkcí (zabezpečení dosadeb; obr. 23). To umožní koncentrovat aktivity k dokončení přeměn v nejvíce poškozených lokalitách.

Poděkování

Tato mapa byla vypracována na základě výsledků získaných v rámci projektu Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky COST LD15148 a s podporou projektu TAČR TH03030306. Autorský kolektiv velmi děkuje pracovníkům ÚHÚL (Ing. L. Pěnička, J. Černohous a další) za spolupráci a poskytnutí dat, pracovníkům LČR, s. p. – zejména pak LS Klášterec n. O. (Ing. M. Hrachovina a P. Hrouda) a LS Litvínov (Ing. A. Kilb) a Lesy Jezeří, k. s. (J. Šafránek), ale i mnoha dalším za vstřícnost a pomoc při výběru ploch. Rovněž děkujeme Městským lesům Chomutov, Městským lesům Jirkov, Městským lesům Most, Košťany Holding a Církevním lesům Pražské arcidiecéze za poskytnutí dat. Velké poděkování patří recenzentům publikace RNDr. J. Markové, CSc. (PřF UK, Praha), Ing. L. Pěničkovi (ÚHÚL, Brandýs n. L.) a Ing. M. Zavrtálkovi (LČR, s. p.) za laskavé přečtení rukopisu, připomínky a náměty k jeho doplnění.

Získané informace mají nejen vysokou hodnotu vědeckou, ale i značný přesah do praxe, protože je lze využít v managementu stávajících PND a také v budoucím odhadování možného rizika pro smrk ztepilý v PLO Krušné hory a dalších oblastech.

9. Summary: Modeling of Gemmamyces bud blight impact on Colorado blue spruce in the Ore Mts.

Key words: *Gemmamyces piceae*; *Picea pungens*; *Picea abies*; disease prediction; environmental suitability; Ore Mountains; Czech Republic

Due to tolerance to CO₂ pollution, Colorado blue spruce *Picea pungens* Engelm. became one of the key woody species in newly established substitute tree stands planted since 1960 in areas damaged by air pollution in the Ore Mts. in northeastern Bohemia. Totally, the species was planted in ca 200 km² (recalculated area ca 9 000 ha) especially in eastern part of the mountain ridge. The *Picea pungens* stands grew well until millennium when their health state started to deteriorate. The cause of the quickly spreading disease called Gemmamyces bud blight was practically unknown but extremely dangerous fungus *Gemmamyces piceae* (Borthw.) Casagrande.

9.1. *Gemmamyces piceae*

Gemmamyces piceae (formerly known as *Cucurbitaria piceae* Borthw.) is microscopic fungus which kills buds of susceptible spruce species with interesting life cycle. The fungus develops two different but from the first view very similar life stages – sexual stage developing muriform ascospores in flask-shaped perithecia and asexual stage (*Megalospetoria mirabilis* Naumov) producing worm-like conidia in pycnidia. Characteristically, the pathogen grows very slowly, which could be caused by newly described but broadly distributed mycovirus *Cucurbitaria piceae* partivir (Petrzik et al., 2016). Taxonomical questions were solved mainly by Shoemaker (1967) and Casagrande (1969) who confirmed relation between sexual and asexual stages and reclassified the organism from *Cucurbitaria* Gray into newly installed genus *Gemmamyces* Casagrande. A multigenic analysis of sequences of Czech and Swiss material confirmed the placement of the fungus into order Pleosporales (family Melanommataceae) and correctness of its name *Gemmamyces piceae* (Borthw.) Casagrande (Černý et al., 2017).

The pathogen causes bud blight of affected trees of susceptible host species. The affected trees react on the disease development by increasing production of adventitious buds which are subsequently in different extent attacked by the pathogen. The branching system of highly affected trees has characteristic zigzag pattern given by periodical killing of terminal buds, creation of lateral adventitious buds and their proliferation in changed directions and subsequent colonization and killing. Due to loss of buds the substitution of older classes of needles is more and more difficult and the trees start to wither. The damage can lead to tree death within a decade.

Gemmamyces piceae was firstly identified in Abercairney former Perthshire (nowadays Perth and Kinross) in Scotland in 1906 (Bortwick, 1909). The pathogen occurs more frequently in higher altitudes or in colder areas of western, central and northern Europe, which correspond with its psychrophilic nature. Outside Europe, the pathogen was repeatedly found in

The publication aims not only to give basic information on the pathogen (description, distribution, ecology, importance) but especially present the outcomes of broad-scale field study analysing influence of environmental and silvicultural characteristics on impact of the disease in stands and predicting potential impact of the pathogen on all *Picea pungens* stands and ecological suitability of the environment of whole natural forest area the Ore Mts. The work is accompanied by a brief set of possible management measurements which – when used – can reduce the disease impact in stands and help to finish of ongoing transformation of substitute forests of the Ore Mts.

the Tian Shan Mts. (China) in natural *Picea schrenkiana* (Yuan and Wang, 1995). In 2013, the pathogen was firstly found in Alaska (USA; Adams and Everhart, pers. comm.). The only spruce species are susceptible to the pathogen, for instance *Picea pungens*, *P. engelmannii*, *P. sitchensis*, *P. glauca*, *P. mariana* and others.

The first finding of the pathogen in the areas of the Czech Republic was reported in 1909 (the second report worldwide) from ornamental plantations surrounding hunting lodge Kladská (Slavkovský les highland, western Bohemia). The pathogen was introduced into the locality from nurseries together with young plants of Colorado blue spruce (Köck, 1918). The pathogen was found few next locations in the area during that decade, but no other findings had been reported since 1920 till the end century. As the pathogen was very virulent and the extent plantation of extremely susceptible *P. pungens* were established in the area (especially in near the Ore Mts. in 1960. and 1970.) we can speculate about subsequent unseen spreading of the pathogen especially in higher altitudes in the area. Probably important losses were prevented by sulphur pollution from coal combustion in power plants, because its higher concentrations inhibited germination of conidia serving probably as dominant infection stage (Černý et al., 2017). A lot of new locations of the pathogen covering practically whole area of the country were discovered after 2000. Czech foresters and plant pathologists were surprised by extremely increasing disease progress especially in forest stands in high elevations. Especially, the situation of thousands of hectares of substitute forest stands with *Picea pungens* in the Ore Mts., the Jizera Mts. and the Ještědský hřbet Ridge became critical within one decade or slightly more. For instance, the loss of buds in *P. pungens* stands was ca 75 % in the Ore Mts. in 2017. Lesser plantations of the tree affected by the pathogen are distributed over the whole area of the country from high mountain areas (max. 1144 m a. s. l., the Kralický Sněžník Mts.) to lowlands (min. 220 m a. s. l. the Polabí lowland).

2017, were evaluated totally 54 stands with 1080 trees (one selected stand was excluded due to unexpected realization of operations). There were evaluated many characteristics including proportion of buds killed by the pathogen and influence of other pathogens and shading, proportion of *P. pungens* and other trees, spacing, canopy, height, competition of stands and trees etc. In the centres of research plots dataloggers Minikin THI (EMS Brno) were installed and during July and September (period of maximum spore spread) air humidity and temperature were measured. Mo-

9.2. Predictions of damage of existing *P. pungens* stands and environmental suitability of the Ore Mts.

The investigation was carried out in substitute forest stands in the eastern part of the Ore Mts. The investigated stands were selected with use of data provided by forest owners and Forest Management Institute (FMI Brandýs n. L.) and also with use of statistical methods (in the way to respecting the variability in environmental and silvicultural characteristics which potentially affect the disease development – stand height, temperature etc.). The stands where silvicultural operations were carried out in the last decade were excluded from the final set. During June and July in

reover, many data were prepared by a distant way. A detailed data on age, height, site class, density of stocking were provided by FMI. Data on environmental variables (density of watercourses, long-term average temperature and precipitation, topography, soil types) were extracted from different geographical databases. In next step a set of general linear models (Zvára, 2008) explaining disease level on three space scales were developed (individuals, stands, net of squares 250×250 m). Relevant variables influencing disease impact identified by this analysis were used in following step. Prediction of damage was made for the all *Picea pungens* stands in the mountain ridge (most of them was concentrated in its eastern part). Finally, environmental suitability was predicted for the whole natural forest area the Ore Mts. (including the Smrčiny Mts. in the west and the true Ore Mts.) with use of identified environmental variables (presence of watercourse, temperature, precipitation, exposition, topography and soil type).

With use of statistical analyses it was found out, that the damage level of individual *P. pungens* trees was affected by following silvicultural characteristics: by competition of surrounding trees, canopy and site class in a positive way and in contrast by relative height of the individual and admixtures of birch and probably rowan negatively. It was also revealed that many environmental variables were involved in the epidemiology: low temperature, high precipitation and presence of watercourses or water reservoirs, poor or wet soils, flat landscape shapes, sheltered expositions on slopes, deep valleys with brooks connected with the disease impact positively. On the other side, high temperature, drier climate, rich soils and positions on NW to NE slopes exposed to wind had the opposite effect.

The model describing damage at stand level was applied for 5,359 *P. pungens* stands covering total area about 200 km². The stands were classified into three categories by natural breaks (Jenks, 1967). Relatively low potential damage (up to 55 %) can be awaited only in 17.9 % of stands. High damage (55–80 %) was predicted for 46.2 % and extremely high damage (above 80 %) for 35.9 %. The stands with supposed extremely high damage are usually concentrated in high elevations (6th and 7th altitudinal zone) at the mountain plateau (for instance surrounding of following locations: Mt. Meluzína, Loučná and Rašeliňišť, Komáří vrch hill and the Prameniště Chomutovky area, Mt. Tokaniště and its surrounding, the Cínovecký hřbet ridge etc., Fig. 16). In general, higher damage should be awaited in more humid environment around water streams and reservoirs (for instance the Přísečnice dam surrounding, Fig. 17). Stands in areas with more diverse topography (for instance the Jezeří area or the Cínovecký hřbet ridge; Fig. 18) have usually more heterogeneous damage. Highly damaged stands are located in flat landscape shapes and in sheltered stands in valleys which is frequently connected with higher humidity, presence of watercourses and in general with sheltered expositions. Lower damage is predicted in more exposed stands in upper slopes, edges and mountain tops (for instance Černý kopec hill and Mt. Jeřábina north of Janov). The other variables with positive effect on the disease development are high of stands, precipitati-

9.3. Using of the outcomes

The main outcome of this work is identification of environmental and silvicultural characteristics influencing extent of damage of *P. pungens* stands by *G. piceae*, evaluation and prediction of the damage in the all stands of the Ore Mts. and prediction of environmental suitability of the area. The obtained outcomes can be well used by Forests of the Czech Republic state enterprise, other owners and administrators of forests, local and state administrations including nature conservation and other stakeholders in the area concerned.

The work studied the disease impact in three space scales – individual trees, particular stands and the whole mountain ridge and the different potential ways of use of the map correspond to this focus.

on and presence of poor and wet soils. On the contrary, higher proportion of admixture, higher temperature, presence of rich soils and windy NW–NE expositions suppress the disease development.

The environmental suitability prediction for the pathogen in natural forest area the Krušné hory Mts. was developed for ca 30,000 squares (250×250 m) covering ca 1,814 km². The squares were divided as in previous point into three categories. Low environmental suitability was predicted in 23.6 % of squares, high suitability in 33.6 % and extremely high environmental suitability can be expected in 42.8 % of squares (Fig. 20). The pattern of predicted environmental suitability in the eastern part of the mountain ridge corresponds to the predicted damage of *P. pungens* stands. In the western part (only with few *P. pungens* stands), the analysis showed that environmental conditions could support the pathogen in similar way as in the eastern part. For instance, the whole area of the plateau from Přebuz to Mt. Klínovec is highly suitable for the pathogen whereas the southern slopes are suitable to a lesser extent. In the heterogeneous landscape of lower altitudes in the western margin of the area (the Smrčiny Mts. and surrounding of the city of Kraslice) are predicted more suitable conditions for the pathogen especially in inversion locations in deeper valleys (Fig. 22). The set of environmental predictors influencing the suitability and their effect (positive or negative) is identical as in the previous case. For instance the effect of presence of watercourse could be mentioned, because presence of watercourses was identified in ca 75.6 % of squares in the category of the highest suitability.

Gemmamyces piceae is not distributed only in the Ore Mts. in the Czech Republic, but also in other areas with *P. pungens* plantations. The most serious situation is in the Jizera Mts. and in the highest elevations of the Ještěd ridge. Concerning to the Jizera Mts. the pathogen caused important damage on the mountain plateau with high precipitation, low temperature and presence of dense network of watercourses. Environmental conditions in valleys with watercourses and inversion climate are also very suitable for the pathogen. The analysis for the whole area of the country showed that suitable conditions for the pathogen could be also found in other areas. The most susceptible are usually cold, wet areas in higher altitudes of different frontier mountain ridges of the Bohemian Massif (the Giant Mts., the Kralický Sněžník Mts., the Šumava Mts., etc.) but the pathogen can find suitable conditions in inversion locations in many areas in different mountain systems (the Hrubý Jeseník Mts., the Moravskoslezské Beskydy Mts., the Novohradské hory Mts., etc.) but also in some parts of wet South Bohemian basins.

Although the map was developed on the basis of thorough field investigation, the outcomes can describe only a part of the variability of the system. The unexplained variability should be attributed to other environmental and silvicultural factors (unknown or those with missing relevant data), differences in virulence of particular strains of the pathogen, susceptibility of different host genotypes and provenances and others.

The first way of use of the map is the categorisation of *P. pungens* stands into three groups according to potential impact of the pathogen and specification of main management strategies in them. The stands with extremely high damage (80 % and more) need acute transformation. The main strategy which could be considered in the category is clear cutting – total felling of dying or highly damaged *P. pungens* with potential remaining of individuals or small groups of *P. pungens* in the best health state. This situation is expected especially in the case of older and too dense stands with high stocking, with neglected tending and growing in unfavourable conditions (poor wet soil in mountain plateau, bottoms of valleys, in surrounding of water sources etc.). However, the transformation of

the most of stands in this category has started yet. The second group of stands (with damage 55–80%) usually also needs acute transformation. But their health state can usually enable to identify sufficient number of trees in better health state usable (together with admixture) as protection for new plantings. According to the situation, shelterwood or group regeneration with use of net or groups of remaining *P. pungens* individuals and usually broadleaved admixture could be used. A strip cutting can be also used in the case of less but homogeneous damage of stands. Stabilisation or partial regeneration of crowns of remaining trees can be achieved by appropriate placing, orientation and width of remaining strips. The category with damage up to 55% is highly variable. It consists of stands in relatively good health state which regeneration could be postponed (or some kind of tending could come into consideration) as well as of stands where the regeneration is needed. Tending should consist of strong negative interventions and important reducing of stocking density. The crowns of remaining trees should be released and their at least partial regeneration enabled.

The second benefit of this map is knowledge of the environment of the mountain ridge for the pathogen. Extremely suitable environment for the pathogen was identified in mountain plateau similarly in the western part of the ridge in similar way as in the east. Southern slopes and lower elevations are susceptible in a lesser extent while inversion valleys are more suitable. The map should be used as a basis for potential monitoring of presence of the disease in Norway spruce or it can help with identification of more susceptible areas where certain losses could be awaited.

The last important point of this work is information found out by development of models of the disease extent at level of individual trees. The information is well useful in determination of main management strategies against the disease. The management should differ according to the disease extent and many other circumstances (age, admixtures, tending history, silvicultural characteristics, environmental conditions etc.).

Tending should consist of strong negative thinning and important reducing of stocking density. The main principle is selection and support of trees with less damage and the greatest proportion of living crown peripheries. Dominant and more isolated (although usually smaller) trees or individuals along margins of stands, communications or pathways or in places with lower stocking density etc. should be preferred during tending

as they are more frequently in better health state. Appropriate utilization of topography is also very important. The trees growing in microsites less suitable for the fungus should be preferred (elevated places, location on edges, rock ledges, more distant from watercourses, springheads or amelioration ditches etc.). The diverse susceptibility of different genotypes of the host species can be used. The crowns of remaining trees have to be released in the greatest possible extent for the support of drying off buds after precipitation and thus minimization of spore production, spread and new infections. This measure enables at least partial regeneration of crown peripheries. The proportion of admixtures (usually birch or rowan) should be supported during tending but support of dominant trees can lead to increase of unwanted competition.

Similar principles are useful during regeneration. The first regeneration areas (gap, group or strip cutting) should be established in places of higher disease impact or in locations more convenient for the pathogen – especially in wet or shaded microsites, surrounding of watercourses, in concave landscape shapes, in lower parts of slopes etc. Parts of stands in the best health state or in the least suitable sites for the pathogen should be regenerated at last. Remaining parts of stands during regeneration should be opened to the solar radiation and airflow as possible to minimize conditions suitable for the pathogen. The adequate thinning in them can be also possible especially in the case of too dense stocking. Strip cutting can come into consideration usually in the case of extent stands in homogeneous conditions. The remaining strips should be relatively thin and sparse in this situation. The formation of irregular margins of strips could be also useful for regeneration of crowns of outlying trees. A delimiting of the lowest parts of crowns of some remaining trees could be also useful. In the case of shelterwood cutting a rather sparse net of the most vital trees has to be selected.

Application of suitable measurements in tending or regeneration at least in less damaged parts of *P. pungens* stands can help to decelerate the disease development and in some cases to stabilize or improve their health state and required protective functions.

We hope, an application of this publication will help our foresters in cope with the pathogen *Gemmamyces piceae* and improve and make easier the transformation of substitute forest stands with *Picea pungens* in the Ore Mts.

10. Literatura

- ALFORD, D. V. (ed.) 2000. *Pest and Disease Management Handbook*. Oxford, Blackwell.
- BATKO, S. 1974. Notes on new and rare fungi on forest trees in Britain. *Bulletin of the British Mycological Society* 8, 19–21.
- BORTHWICK, A. W. 1909. A new disease of *Picea*. *Notes from the Royal Botanic Garden, Edinburgh* 4, 259–261.
- BUTIN, H. 1989. *Krankheiten der Wald- und Parkbäume*. Stuttgart, Georg Thieme Verlag.
- CASAGRANDE, F. 1969. Ricerche biologiche e sistematiche su particolari ascomiceti pseudosferiali. *Gemmamyces piceae* parassita sulle gemme di alcune *Picea* spp. *Phytopathologische Zeitschrift* 66, 119–25.
- CORKE, A. T. K. 1955. *Some studies in forest and agricultural mycology. Part I A study of Cucurbitaria piceae Borthwick, a disease of buds of the spruce*. Edinburgh, Univ. of Edinburgh. Ph.D. Thesis.
- ČERNÝ, K.; PEŠKOVÁ, V.; SOUKUP, F.; HAVRDOVÁ, L.; STRNADOVÁ, V.; ZHRADNÍK, D.; HRABĚTOVÁ, M. 2016. *Gemmamyces* bud blight of *Picea pungens*: a sudden disease outbreak in Central Europe. *Plant Pathology* 65, 1267–1278.
- ČERNÝ, K. a kol. 2017. *Invaze Gemmamyces piceae v ČR. Rozšíření patogenu, jeho význam a epidemiologie choroby*. Závěrečná zpráva projektu MŠMT COST LD15148. VÚKOZ, Průhonice.
- ERIKSSON, O. E. 1992. *The Non-Lichenized Pyrenomyces of Sweden*. SBT-förlaget, Lund.
- FEIGE, C. B.; ALE-AGHA, N.; JENSEN, M.; CHRISTIAANS, B.; KRICK, R. 2004. New, rare or remarkable microfungi in the Italian Alps (Carnic Alps) – part I – *Ascomycotina*. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences* 69, 457–65.
- FERDINANDSEN, C.; JØRGENSEN, C. A. 1938. *Skovtræernes Sygdomme*. København, Denmark: Gyldendahl.
- FOISTER, C. E. 1961. The economic plant diseases of Scotland; a survey and check list covering the years 1924–1957. *Department of Agriculture and Fisheries for Scotland Technical Bulletin*. Edinburgh, Scotland: H.M. Stationery Office.
- GREGORY, S. C.; REDFERN, D. B. 1987. The pathology of Sitka spruce in northern Britain. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh B* 93, 145–56.
- JAKLITSCH, W. M.; VOGLMAYR, H. 2017. Three former taxa of *Cucurbitaria* and considerations on *Petrakia* in the Melanommataceae. *Sydowia* 69, 81–95.
- JENKS, G. F. 1967. The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography* 7, 186–190.
- JENNESS, J. 2006. Topographic Position Index extension for ArcView 3.X (v.1.3). *Jenness Enterprises*. Available at: <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm>.
- KÖCK, C. 1918. Ein für Österreich neuer Schädling auf *Picea pungens*. *Österreichische Gartenzeitung* 13, 147–48.
- KUJALA, V. 1950. *Über die Kleinpilze der Koniferen in Finnland: Ascomycetes, Fungi, Imperfecti, Uredinales*. Helsinki, Metsätieteellinen tutkimuslaitos.
- MÜLLER, E. 1950. Eine neue Krankheit der Stechfichte. *Schweizerische Beiträge zur Dendrologie* 2, 69–72.
- MUNK, A. 1957. Danish Pyrenomyces. *Dansk Botanisk Arkiv* 17, 1–491.
- MUSKETT, A.; MALONE, J. 1983. Catalogue of Irish Fungi – IV. *Ascomycotina. Proceedings of the Royal Irish Academy. Section B: Biological, Geological, and Chemical Science* 83B, 151–213.
- NAUMOV, N. A. 1925. Mikologicheskie zametki. O neskol'kikh novykh ili maloizvestnykh vidakh. *Bolezni Rastenij* 14, 137–49.
- NAUMOV, N. A. 1927. Novye ili kriticheskie Sphaeriaceae i Sphaerioidae. *Materiali po Mykologii i Fitopatologii Rossii* 6, 1–12.
- OGRIŠ, N.; JURČ, D. 2013. Tree diseases determined by the reporting, prognostic and diagnostic service for forests in Slovenia 1982–2012. *Acta Silvae et Ligni* 102, 31–42.
- PALOVČÍKOVÁ, D. 2015. Needle casts and stem blights of conifers in arboretum Řícmanice. *Spravodajca slovenskej mykologickej spoločnosti* 41, 17–18.
- PETRIK, K.; KOLONIUK, I.; SARKISOVA, T.; HRABAKOVA, L. 2016. Detection and genome sequence of a new betapartitivirus joined with *Cucurbitaria piceae* Borthw. fungus causing bud blight of spruce in the Czech Republic. *Archives of Virology*.
- REDFERN, D.; BOSWELL, R.; PROUDFOOT, J. 1997. *Forest condition 1996*. Research information note 291. Forestry Commission. [[http://www.forestry.gov.uk/pdf/RIN291.pdf/\\$file/RIN291.pdf](http://www.forestry.gov.uk/pdf/RIN291.pdf/$file/RIN291.pdf)]. Accessed 3 August 2015.
- SAUNDERS, P. J. W. 1966. The toxicity of sulphur dioxide to *Diplocarpon*. *Annals of Applied Biology* 58, 103–114.
- SHOEMAKER, R. A. 1967. *Cucurbitaria piceae* and associated *Sphaeropsidales* parasitic on spruce buds. *Canadian Journal of Botany* 45, 1243–48.
- SCHNEIDER, R.; DAEBELER, F. 1968. Eine für Deutschland neue Knospenkrankheit an *Picea pungens* var. *glauca* (Erreger: *Cucurbitaria piceae* Borthwick). *Phytopathologische Zeitschrift* 63, 388–92.
- SLODIČÁK, M.; BALCAR, V.; NOVÁK, J.; ŠRÁMEK, V.; BORŮVKA, L.; DERCO, D.; DETZ, E.; FADRNOŠOVÁ, V.; FIALA, P.; HADAŠ, P. et al., 2008. *Lesnické hospodaření v Krušných horách*. Hradec Králové, Strnady, LČR, VÚLHM.
- SOUKUP, F.; PEŠKOVÁ, V. 2009. *Gemmamyces piceae* (Borthw.) Casagr. kloubnatka smrková. *Lesnická práce* 88, LOS 1–4.
- SUCHARA, I.; SUCHAROVÁ, J.; HOLÁ, M. 2014. The influence of contrasting ambient SO₂ concentrations in the Czech Republic in 1995 and in 2010 on the characteristics of spruce bark, used as an air quality indicator. *Ecological Indicator* 39, 144–152.
- THIRINGER, J. O. 1964. Eine für Schweden neue Knospenkrankheit auf Koniferen. *Göteborgs Botaniska Trädgård* 27, 1–6.
- TOMICZEK, C.; CECH, T. L.; FÜRST, A.; HOYER-TOMICZEK, U.; KREHAN, H.; PERNY, B.; STEYRER, G. 2011. Waldschutzsituation 2010 in Österreich. *Forstschutz Aktuell* 52, 3–10.
- TUBEUF, C. 1919. Schilderungen und Bilder aus nordamerikanischen Wäldern. *Naturwissenschaftliche Zeitschrift für Forst- und Landwirtschaft* 17, 1–44.
- YUAN, Z. Q.; WANG, X. W. 1995. A taxonomic study of fungi associated with spruce bud blight in China. *Mycotaxon* 53, 371–6.
- ZVÁRA, K. 2008. *Regrese*. Matfyzpress, Praha. 254 s.

11. Seznam odborných podkladů, které předcházely vypracování mapy

- ČERNÝ, K.; PEŠKOVÁ, V.; SOUKUP, F.; HAVRDOVÁ, L.; STRNADOVÁ, V.; ZAHRADNÍK, D.; HRABĚTOVÁ, M. 2016. Gemmamyces bud blight of *Picea pungens*: A sudden disease outbreak in Central Europe. *Plant Pathology* 65, 1267–1278.
- ČERNÝ, K. 2016. Nepůvodní invazní patogeny dřevin – výzva nebo předem ztracený boj? *Živa* 2016, 286–291.
- ČERNÝ, K.; STRNADOVÁ, V.; ADÁMKOVÁ, K.; O'HANLON, R.; HRABĚTOVÁ, M. 2017. Epidemie korové nekrózy modřínu v Krušných horách a její příčiny. *Rostlinolékař* 2017/2, 19–23.
- ČERNÝ, K. a kol. 2017. *Kloubnatka smrková na SMP na LHC Klášterec*. Workshop: Rok 2017 významný mezník Českého lesnictví, rozvoje a obnovy Krušných hor na LS Klášterec, 21–22. 9. 2017, Klášterec n. O.
- ČERNÝ, K. et al. 2017. *Invaze Gemmamyces piceae v ČR. Rozšíření patogenu, jeho význam a epidemiologie choroby*. Závěrečná zpráva projektu MŠMT COST LD15148. VÚKOZ, Průhonice, 51 s.
- ČERNÝ, K.; STRNADOVÁ, V.; ZAHRADNÍK, D.; HAVRDOVÁ, L.; ROMPORTL, D.; HRABĚTOVÁ, M.; ŽÝKA, V. 2018. Invaze *Gemmamyces piceae* v ČR. *Mykologické listy* 2018, 34–37.
- MAJEROVÁ, V. 2017. Rozvoj infekce *Lachnellula willkommii* (Hartig) Denis v podmínkách simulovaných kyselých dešťů. Diplomová práce, UJEP Ústí nad Labem, 46 s.
- ŽÝKA, V.; ČERNÝ, K. 2018. Nenápadný původce zkázy. *Přírodovědci* 2018/2, 22–24.

12. Přílohy

Příloha 1: Korelační matice pro spojité veličiny zpracovaná v analýze faktorů ovlivňujících poškození pupenů

Appendix 1: A correlation matrix for continuous variables processed in the analysis of factors affecting bud damage (variables according to Tab. 1a and 1b)

Proměnné	pupeny_gem	prosychani	sypavka	vyska	konkurence	pokryvnost	SMP_podil	SMP_vyska	briza_p	briza_h
pupeny_gem	1,000	0,779	-0,183	0,029	0,279	0,280	-0,003	0,161	0,081	0,139
prosychani	0,779	1,000	-0,340	0,043	0,446	0,408	-0,020	0,270	0,129	0,198
sypavka	-0,183	-0,340	1,000	-0,015	-0,068	-0,041	-0,119	-0,111	-0,075	-0,075
vyska	0,029	0,043	-0,015	1,000	0,244	0,327	0,038	0,774	0,033	0,021
konkurence	0,279	0,446	-0,068	0,244	1,000	0,617	-0,178	0,375	0,328	0,382
pokryvnost	0,280	0,408	-0,041	0,327	0,617	1,000	-0,002	0,425	0,214	0,289
SMP_podil	-0,003	-0,020	-0,119	0,038	-0,178	-0,002	1,000	0,046	-0,589	-0,563
SMP_vyska	0,161	0,270	-0,111	0,774	0,375	0,425	0,046	1,000	0,066	0,045
briza_p	0,081	0,129	-0,075	0,033	0,328	0,214	-0,589	0,066	1,000	0,841
briza_h	0,139	0,198	-0,075	0,021	0,382	0,289	-0,563	0,045	0,841	1,000
jerab_p	0,018	0,051	0,044	0,096	0,127	0,130	-0,542	0,119	0,511	0,388
jerab_h	-0,003	0,027	0,050	0,128	0,125	0,136	-0,497	0,161	0,402	0,351
UHUL_vek	0,221	0,275	-0,028	0,339	0,106	0,040	-0,032	0,439	0,220	0,163
UHUL_zakmen	-0,032	-0,047	0,006	-0,004	-0,144	-0,056	-0,119	-0,007	-0,018	-0,024
UHUL_AVB	0,065	0,157	-0,136	0,177	0,294	0,288	-0,239	0,240	0,074	0,203
UHUL_vyska	0,230	0,319	-0,120	0,457	0,312	0,345	-0,083	0,580	0,168	0,230
voda_vzd	0,002	0,013	-0,044	-0,100	-0,084	0,072	-0,035	-0,120	0,140	0,024
sklon	-0,094	-0,088	0,161	0,184	0,137	0,218	-0,137	0,255	0,106	0,050
expozice	-0,189	-0,120	-0,109	-0,162	-0,087	-0,128	-0,029	-0,193	0,026	0,044
nadm_vyska	0,064	-0,066	0,099	-0,351	-0,206	-0,146	0,151	-0,457	0,011	-0,081
teplota	-0,026	0,121	-0,222	0,312	0,087	0,043	-0,044	0,396	-0,117	-0,025
srazky	0,121	0,007	-0,078	-0,016	-0,194	-0,185	0,223	-0,010	0,028	-0,020
TPI_5	-0,117	-0,097	0,038	0,089	0,089	0,039	-0,234	0,122	0,133	0,156
TPI_10	-0,099	-0,092	0,040	0,109	0,107	0,050	-0,220	0,149	0,150	0,185
radiace	0,194	0,129	-0,103	-0,334	-0,127	-0,069	0,189	-0,433	-0,081	-0,053
radiace_std	-0,187	-0,203	0,176	0,141	-0,029	-0,115	-0,079	0,186	0,120	0,004
teplota_prumer	0,024	0,055	-0,154	0,189	0,119	0,183	-0,058	0,236	0,048	0,014
teplota_prumer2	-0,115	-0,125	0,093	-0,006	-0,054	-0,160	-0,098	0,007	-0,194	-0,126
teplota_max < 20	0,154	0,216	-0,109	0,121	0,150	0,251	0,151	0,143	0,220	0,198
teplota_max > 25	-0,133	-0,165	0,171	-0,037	-0,064	-0,123	-0,052	-0,034	-0,204	-0,152
teplota_n 20	0,178	0,312	0,124	0,218	0,326	0,296	0,044	0,285	0,068	0,079
teplota_n 25	0,057	0,172	-0,150	0,226	0,172	0,295	-0,060	0,281	0,328	0,250
vlhkost_n 95	0,025	-0,054	0,242	-0,051	-0,102	-0,188	-0,168	-0,060	-0,058	0,044
vlhkost_n 100	-0,013	-0,059	0,197	-0,079	-0,070	-0,175	-0,198	-0,098	-0,061	0,032
vlhkost_efekt 95	0,004	0,025	0,138	0,067	0,126	-0,008	-0,117	0,093	-0,056	0,029
vlhkost_efekt 100	-0,014	-0,003	0,141	0,004	0,084	-0,048	-0,081	0,012	-0,097	-0,024
vlhkost_prumer	0,014	0,038	0,119	0,114	0,208	0,111	-0,148	0,150	0,061	0,119

Příloha 1: Korelační matice pro spojité veličiny zpracovaná v analýze faktorů ovlivňujících poškození pupenů (pokračování)
Appendix 1: A correlation matrix for continuous variables processed in the analysis of factors affecting bud damage (continuation)

Proměnné	jerab_p	jerab_h	UHUL_vek	UHUL_zakmen	UHUL_AVB	UHUL_vyska	voda_vzd	slope
pupeny_gem	0,018	-0,003	0,221	-0,032	0,065	0,230	0,002	-0,094
prosychani	0,051	0,027	0,275	-0,047	0,157	0,319	0,013	-0,088
sypavka	0,044	0,050	-0,028	0,006	-0,136	-0,120	-0,044	0,161
vyska	0,096	0,128	0,339	-0,004	0,177	0,457	-0,100	0,184
konkurence	0,127	0,125	0,106	-0,144	0,294	0,312	-0,084	0,137
pokryvnost	0,130	0,136	0,040	-0,056	0,288	0,345	0,072	0,218
SMP_podil	-0,542	-0,497	-0,032	-0,119	-0,239	-0,083	-0,035	-0,137
SMP_vyska	0,119	0,161	0,439	-0,007	0,240	0,580	-0,120	0,255
briza_p	0,511	0,402	0,220	-0,018	0,074	0,168	0,140	0,106
briza_h	0,388	0,351	0,163	-0,024	0,203	0,230	0,024	0,050
jerab_p	1,000	0,944	0,387	-0,106	-0,160	0,212	0,175	0,088
jerab_h	0,944	1,000	0,338	-0,087	-0,106	0,217	0,107	0,097
UHUL_vek	0,387	0,338	1,000	-0,243	-0,420	0,569	-0,144	0,101
UHUL_zakmen	-0,106	-0,087	-0,243	1,000	0,099	-0,210	-0,053	-0,082
UHUL_AVB	-0,160	-0,106	-0,420	0,099	1,000	0,286	0,055	0,042
UHUL_vyska	0,212	0,217	0,569	-0,210	0,286	1,000	-0,245	0,081
voda_vzd	0,175	0,107	-0,144	-0,053	0,055	-0,245	1,000	0,105
sklon	0,088	0,097	0,101	-0,082	0,042	0,081	0,105	1,000
expozice	-0,010	-0,019	-0,062	-0,181	0,036	0,023	0,078	-0,070
nadm_vyska	-0,200	-0,235	-0,200	0,204	-0,239	-0,397	0,061	-0,406
teplota	0,112	0,122	0,259	-0,125	0,198	0,365	0,143	0,269
srazky	-0,100	-0,140	0,144	-0,015	-0,306	-0,155	-0,057	-0,164
TPI_5	0,202	0,274	0,137	0,110	0,108	0,200	-0,116	0,022
TPI_10	0,208	0,287	0,169	0,073	0,100	0,218	-0,099	0,068
radiace	-0,098	-0,133	-0,200	-0,052	-0,119	-0,292	0,165	-0,731
radiace_std	-0,030	-0,009	0,181	0,049	-0,075	0,105	-0,159	0,577
teplota_prumer	0,144	0,132	0,161	-0,189	0,067	0,216	0,292	0,405
teplota_prumer2	-0,026	0,032	-0,090	-0,043	0,193	0,071	-0,180	0,230
teplota max < 20	0,058	-0,028	0,161	-0,067	-0,142	0,105	0,173	-0,111
teplota max > 25	-0,080	-0,052	-0,070	-0,082	0,098	0,037	-0,114	0,377
teplota n 20	0,042	0,044	0,198	0,053	0,060	0,267	-0,186	0,055
teplota n 25	0,195	0,153	0,139	0,218	-0,026	0,164	0,163	-0,110
vlhkost n 95	0,027	0,072	-0,044	0,084	0,105	0,067	-0,351	-0,306
vlhkost n 100	-0,043	-0,008	-0,165	0,043	0,154	0,003	-0,362	-0,361
vlhkost efekt 95	-0,027	-0,010	-0,140	-0,094	0,218	0,135	-0,358	-0,254
vlhkost efekt 100	-0,055	-0,051	-0,151	-0,133	0,172	0,100	-0,324	-0,279
vlhkost prumer	0,048	0,047	-0,096	-0,146	0,166	0,143	-0,231	-0,246

Příloha 1: Korelační matice pro spojité veličiny zpracovaná v analýze faktorů ovlivňujících poškození pupenů (pokračování)
Appendix 1: A correlation matrix for continuous variables processed in the analysis of factors affecting bud damage (continuation)

Proměnné	aspect	nadm_vyska	teplota	srazky	TPI_5	TPI_10	solar_are	solar_std	teplota_prumer
pupeny_gem	-0,189	0,064	-0,026	0,121	-0,117	-0,099	0,194	-0,187	0,024
prosychani	-0,120	-0,066	0,121	0,007	-0,097	-0,092	0,129	-0,203	0,055
sypavka	-0,109	0,099	-0,222	-0,078	0,038	0,040	-0,103	0,176	-0,154
vyska	-0,162	-0,351	0,312	-0,016	0,089	0,109	-0,334	0,141	0,189
konkurence	-0,087	-0,206	0,087	-0,194	0,089	0,107	-0,127	-0,029	0,119
pokryvnost	-0,128	-0,146	0,043	-0,185	0,039	0,050	-0,069	-0,115	0,183
SMP_podil	-0,029	0,151	-0,044	0,223	-0,234	-0,220	0,189	-0,079	-0,058
SMP_vyska	-0,193	-0,457	0,396	-0,010	0,122	0,149	-0,433	0,186	0,236
briza_p	0,026	0,011	-0,117	0,028	0,133	0,150	-0,081	0,120	0,048
briza_h	0,044	-0,081	-0,025	-0,020	0,156	0,185	-0,053	0,004	0,014
jerab_p	-0,010	-0,200	0,112	-0,100	0,202	0,208	-0,098	-0,030	0,144
jerab_h	-0,019	-0,235	0,122	-0,140	0,274	0,287	-0,133	-0,009	0,132
UHUL_vek	-0,062	-0,200	0,259	0,144	0,137	0,169	-0,200	0,181	0,161
UHUL_zakmen	-0,181	0,204	-0,125	-0,015	0,110	0,073	-0,052	0,049	-0,189
UHUL_AVB	0,036	-0,239	0,198	-0,306	0,108	0,100	-0,119	-0,075	0,067
UHUL_vyska	0,023	-0,397	0,365	-0,155	0,200	0,218	-0,292	0,105	0,216
voda_vzd	0,078	0,061	0,143	-0,057	-0,116	-0,099	0,165	-0,159	0,292
sklon	-0,070	-0,406	0,269	-0,164	0,022	0,068	-0,731	0,577	0,405
expozice	1,000	-0,116	0,090	0,000	0,290	0,240	0,118	-0,156	0,000
nadm_vyska	-0,116	1,000	-0,822	0,428	-0,262	-0,267	0,566	-0,006	-0,604
teplota	0,090	-0,822	1,000	-0,362	0,161	0,169	-0,458	-0,001	0,720
srazky	0,000	0,428	-0,362	1,000	-0,164	-0,106	0,330	-0,061	-0,304
TPI_5	0,290	-0,262	0,161	-0,164	1,000	0,985	-0,162	0,052	0,224
TPI_10	0,240	-0,267	0,169	-0,106	0,985	1,000	-0,201	0,093	0,256
radiace	0,118	0,566	-0,458	0,330	-0,162	-0,201	1,000	-0,785	-0,303
radiace_std	-0,156	-0,006	-0,001	-0,061	0,052	0,093	-0,785	1,000	-0,022
teplota_prumer	0,000	-0,604	0,720	-0,304	0,224	0,256	-0,303	-0,022	1,000
teplota_prumer2	0,251	-0,666	0,437	-0,300	0,318	0,300	-0,358	-0,007	0,245
teplota max < 20	-0,306	0,399	-0,229	0,204	-0,365	-0,346	0,235	-0,044	-0,107
teplota max > 25	0,171	-0,564	0,366	-0,246	0,279	0,272	-0,439	0,142	0,214
teplota n 20	0,013	-0,018	-0,080	-0,026	-0,021	-0,025	-0,058	0,048	-0,213
teplota n 25	-0,184	0,193	-0,040	0,105	-0,062	-0,069	0,023	0,056	-0,042
vlhkost n 95	0,045	-0,045	-0,155	0,090	0,051	0,027	0,076	-0,142	-0,438
vlhkost n 100	0,091	-0,004	-0,166	0,160	-0,074	-0,110	0,117	-0,160	-0,498
vlhkost efekt 95	-0,043	-0,073	-0,119	0,108	-0,146	-0,167	0,012	-0,122	-0,518
vlhkost efekt 100	-0,021	-0,014	-0,146	0,131	-0,176	-0,198	0,061	-0,139	-0,537
vlhkost prumer	-0,124	0,052	-0,170	0,128	-0,215	-0,220	0,065	-0,128	-0,473

Příloha 1: Korelační matice pro spojité veličiny zpracovaná v analýze faktorů ovlivňujících poškození pupenů (pokračování)
Appendix 1: A correlation matrix for continuous variables processed in the analysis of factors affecting bud damage (continuation)

Proměnné	teplota_ prumer2	teplota max < 20	teplota max > 25	teplota n 20	teplota n 25	vlhkost n 95	vlhkost n 100	vlhkost efekt 95	vlhkost efekt 100	vlhkost prumer
pupeny_gem	-0,115	0,154	-0,133	0,178	0,057	0,025	-0,013	0,004	-0,014	0,014
prosychani	-0,125	0,216	-0,165	0,312	0,172	-0,054	-0,059	0,025	-0,003	0,038
sypavka	0,093	-0,109	0,171	0,124	-0,150	0,242	0,197	0,138	0,141	0,119
vyska	-0,006	0,121	-0,037	0,218	0,226	-0,051	-0,079	0,067	0,004	0,114
konkurence	-0,054	0,150	-0,064	0,326	0,172	-0,102	-0,070	0,126	0,084	0,208
pokryvnost	-0,160	0,251	-0,123	0,296	0,295	-0,188	-0,175	-0,008	-0,048	0,111
SMP_podil	-0,098	0,151	-0,052	0,044	-0,060	-0,168	-0,198	-0,117	-0,081	-0,148
SMP_vyska	0,007	0,143	-0,034	0,285	0,281	-0,060	-0,098	0,093	0,012	0,150
briza_p	-0,194	0,220	-0,204	0,068	0,328	-0,058	-0,061	-0,056	-0,097	0,061
briza_h	-0,126	0,198	-0,152	0,079	0,250	0,044	0,032	0,029	-0,024	0,119
jerab_p	-0,026	0,058	-0,080	0,042	0,195	0,027	-0,043	-0,027	-0,055	0,048
jerab_h	0,032	-0,028	-0,052	0,044	0,153	0,072	-0,008	-0,010	-0,051	0,047
UHUL_vek	-0,090	0,161	-0,070	0,198	0,139	-0,044	-0,165	-0,140	-0,151	-0,096
UHUL_zakmen	-0,043	-0,067	-0,082	0,053	0,218	0,084	0,043	-0,094	-0,133	-0,146
UHUL_AVB	0,193	-0,142	0,098	0,060	-0,026	0,105	0,154	0,218	0,172	0,166
UHUL_vyska	0,071	0,105	0,037	0,267	0,164	0,067	0,003	0,135	0,100	0,143
voda_vzd	-0,180	0,173	-0,114	-0,186	0,163	-0,351	-0,362	-0,358	-0,324	-0,231
sklon	0,230	-0,111	0,377	0,055	-0,110	-0,306	-0,361	-0,254	-0,279	-0,246
expozice	0,251	-0,306	0,171	0,013	-0,184	0,045	0,091	-0,043	-0,021	-0,124
nadm_vyska	-0,666	0,399	-0,564	-0,018	0,193	-0,045	-0,004	-0,073	-0,014	0,052
teplota	0,437	-0,229	0,366	-0,080	-0,040	-0,155	-0,166	-0,119	-0,146	-0,170
srazky	-0,300	0,204	-0,246	-0,026	0,105	0,090	0,160	0,108	0,131	0,128
TPI_5	0,318	-0,365	0,279	-0,021	-0,062	0,051	-0,074	-0,146	-0,176	-0,215
TPI_10	0,300	-0,346	0,272	-0,025	-0,069	0,027	-0,110	-0,167	-0,198	-0,220
radiace	-0,358	0,235	-0,439	-0,058	0,023	0,076	0,117	0,012	0,061	0,065
radiace_std	-0,007	-0,044	0,142	0,048	0,056	-0,142	-0,160	-0,122	-0,139	-0,128
teplota_prumer	0,245	-0,107	0,214	-0,213	-0,042	-0,438	-0,498	-0,518	-0,537	-0,473
teplota_prumer2	1,000	-0,887	0,905	-0,044	-0,672	0,418	0,343	0,218	0,193	-0,090
teplota_max < 20	-0,887	1,000	-0,784	0,110	0,687	-0,412	-0,363	-0,135	-0,123	0,167
teplota_max > 25	0,905	-0,784	1,000	0,012	-0,711	0,321	0,247	0,198	0,196	-0,071
teplota_n 20	-0,044	0,110	0,012	1,000	0,077	0,214	0,118	0,202	0,169	0,169
teplota_n 25	-0,672	0,687	-0,711	0,077	1,000	-0,335	-0,243	-0,036	-0,048	0,213
vlhkost_n 95	0,418	-0,412	0,321	0,214	-0,335	1,000	0,854	0,705	0,672	0,518
vlhkost_n 100	0,343	-0,363	0,247	0,118	-0,243	0,854	1,000	0,824	0,802	0,652
vlhkost_efekt 95	0,218	-0,135	0,198	0,202	-0,036	0,705	0,824	1,000	0,988	0,919
vlhkost_efekt 100	0,193	-0,123	0,196	0,169	-0,048	0,672	0,802	0,988	1,000	0,913
vlhkost_prumer	-0,090	0,167	-0,071	0,169	0,213	0,518	0,652	0,919	0,913	1,000

Příloha 2: Obecný lineární model popisující analýzu faktorů prostředí ovlivňujících míru poškození pupenů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou
Appendix 2: A general linear model describing the analysis of factors affecting the rate of damage to Colorado blue spruce stands caused by Gemma-mycetes bud blight

Proměnná	Koeficient	Střední chyba	Hladina významnosti
(Intercept)	1,985	19,702	9,20E-01
relativni_vyska_SMP	-1,332	0,222	2,94E-09
konkurence	2,170	0,629	5,86E-04
pokryvnost	0,378	0,040	< 2e-16
briza_p	-0,164	0,081	4,38E-02
jerab_p	-0,182	0,184	3,23E-01
UHUL_AVB	0,735	0,212	5,47E-04
voda_prit	20,547	2,633	1,43E-14
expozice N	-50,398	5,452	< 2e-16
expozice NE	-11,220	2,209	4,47E-07
expozice NW	-16,629	2,474	2,93E-11
expozice S	-6,987	2,156	1,23E-03
expozice SE	-3,973	2,266	7,98E-02
expozice SW	-3,343	2,335	1,53E-01
expozice W	-5,016	2,332	3,17E-02
typ_reliefu_6	5,091	1,549	1,05E-03
typ_reliefu_7	-8,360	2,893	3,94E-03
puda_typ_Hnědá půda oligotrofní (litogenní varieta)	-34,595	5,030	1,04E-11
puda_typ_Podzol hnědý, hnědá půda podzolovaná	-26,282	3,491	1,10E-13
puda_typ_Podzol humusoželezitý a humusový	-37,771	4,990	8,12E-14
puda_typ_Podzol železitý a humusoželezitý	-1,206	4,079	7,67E-01
puda_typ_Pseudoglej (pravý)	-41,622	6,918	2,46E-09
puda_typ_Rašelina - vrchovištní, přechodná, slatinná	-16,049	4,232	1,58E-04
srazky	0,101	0,015	4,80E-11
teplota	-9,965	2,330	2,07E-05

Příloha 3: Obecný lineární model popisující predikci poškození porostů smrku pichlavého kloubnatkou smrkovou
Appendix 3: A general linear model describing the prediction of Colorado blue spruce stands damage caused by Gemmamyces bud blight

Proměnná	Koeficient	Střední chyba	Hladina významnosti
(Intercept)	120.847	22.116	5.80E-08
SMP_výška	1.867	0.260	1.25E-12
briza_p	0.108	0.086	2.07E-01
jerab_p	-0.619	0.193	1.40E-03
zakmenění	0.158	0.120	1.87E-01
voda_prit	18.793	2.939	2.42E-10
expozice N	-53.205	6.052	2.00E-16
expozice NE	-11.226	2.454	5.34E-06
expozice NW	-17.010	2.791	1.53E-09
expozice S	-4.234	2.419	8.03E-02
expozice SE	-0.304	2.490	9.03E-01
expozice SW	-3.148	2.583	2.23E-01
expozice W	-5.135	2.623	5.05E-02
typ reliefu_6	7.312	1.688	1.63E-05
typ reliefu_7	-3.833	3.245	2.38E-01
puda_typ_Hnědá půda oligotrofní (litogenní varieta)	-38.409	5.562	8.60E-12
puda_typ_Podzol hnědý, hnědá půda podzolovaná	-27.594	3.829	1.09E-12
puda_typ_Podzol humusoželezitý a humusový	-38.185	5.670	2.70E-11
puda_typ_Podzol železitý a humusoželezitý	-3.822	4.204	3.64E-01
puda_typ_Pseudoglej (pravý)	-34.658	7.520	4.55E-06
puda_typ_Rašelina - vrchovištní, přechodná, slatinná	-24.228	4.678	2.66E-07
srazky	0.037	0.017	2.70E-02
teplota	-14.568	2.712	9.55E-08

Příloha 4: Obecný lineární model popisující predikci vhodnosti prostředí pro kloubnatku smrkovou v PLO Krušné hory
Appendix 4: A general linear model describing the prediction of suitability of the environment for Gemmamyces bud blight in the NFA Ore Mountains

Proměnná	Koeficient	Střední chyba	Hladina významnosti
(Intercept)	74.173	21.650	6.36E-04
voda_prit	16.245	2.951	4.61E-08
expozice N	-48.320	6.065	4.16E-15
expozice NE	-11.034	2.492	1.05E-05
expozice NW	-22.548	2.744	6.03E-16
expozice S	-7.310	2.430	2.69E-03
expozice SE	-1.570	2.544	5.37E-01
expozice SW	-2.877	2.631	2.74E-01
expozice W	-10.514	2.580	4.94E-05
typ reliefu_6	7.977	1.727	4.31E-06
typ reliefu_7	-1.200	3.198	7.08E-01
puda_typ_Hnědá půda oligotrofní (litogenní varieta)	-32.973	5.612	5.64E-09
puda_typ_Podzol hnědý, hnědá půda podzolovaná	-21.627	3.832	2.13E-08
puda_typ_Podzol humusoželezitý a humusový	-29.491	5.440	7.33E-08
puda_typ_Podzol železitý a humusoželezitý	-1.563	4.277	7.15E-01
puda_typ_Pseudoglej (pravý)	-28.521	7.644	2.01E-04
puda_typ_Rašelina - vrchovištní, přechodná, slatinná	-20.182	4.726	2.13E-05
srazky	0.055	0.017	1.00E-03
teplota	-6.125	2.505	1.46E-02

STUDIO  **PRESS**

© Grafická úprava: Studio Press s. r. o.

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