

PROGNÓZA VÝVOJE KŮROVCOVÉ KALAMITY A NOVÁ PLATFORMA PRO ŠÍŘENÍ INFORMACÍ O LESÍCH V ČESKÉ REPUBLICCE

PROGNOSIS OF BARK BEETLE OUTBREAK AND A NEW PLATFORM FOR THE DISSEMINATION OF INFORMATION ABOUT THE FORESTS IN THE CZECH REPUBLIC

TOMÁŠ HLÁSNÝ ✉ - KATARÍNA MERGANIČOVÁ - ROMAN MODLINGER - RÓBERT MARUŠÁK - RADIM LÖWE - MAREK TURČÁNI

Česká zemědělská univerzita, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýcká 129, 165 00 Praha 6 - Suchdol, Czech Republic

✉ e-mail: hlasny@fld.czu.cz

ABSTRACT

European forests are facing an increasing disturbance intensity from different agents. Bark beetle outbreaks fuelled by climate change have increased the level of tree mortality severalfold, with the Czech Republic becoming Europe's epicentre. Here we elaborated a short-term prognosis of outbreak development (approximated by salvage volumes) for administrative districts of the Czech Republic. We used salvage logging data for the period 2003–2020 and a forecasting model Autoregressive Integrated Moving Average with an automatized parameter estimation. To make the results accessible, we developed a new web-map portal. We found that spruce with an age above 50 years, which is considered a suitable breeding material for bark beetles, can be depleted in 19 Czech districts in the period 2021–2023. The estimated volume of salvage trees due to bark beetle infestation was forecasted to range between 34 and 40 mil. m³ annually in the following three years, with a 90% prediction interval 22 to 52 mil. m³. The presented forecasts represent a missing decision material for the state administration and a data-driven and reproducible alternative to various expert estimates. The developed web-map portal can improve the awareness about the risks to forests and forestry in the Czech Republic and accelerate knowledge transfer from research to management and policies.

[For more information see Summary at the end of the article.](#)

Klíčová slova: kůrovcová kalamita; statistická prognóza; webová aplikace; podpora rozhodování; ochrana lesa; lýkožrout smrkový; státní správa; okresy; klimatická změna

Key words: bark beetle outbreak; statistical prognosis; web application; decision support; forest protection; spruce bark beetle; state administration; administrative districts; climate change

ÚVOD

Intenzita poškození lesů různými činiteli v posledních letech mimořádně vzrostla (FORZIERI et al. 2021). Důvodem je zejména změna klimatu (BONAN 2008) a stále intenzivnější extrémní počasí, jako jsou vlny sucha a veder (SENF et al. 2020). Tyto faktory způsobují rozsáhlé narušení lesních ekosystémů, jejichž míra se vymyká rámcům předšlých desetiletí (SCHELHAAS et al. 2003; MCDOWELL et al. 2020), u některých činitelů i známým historickým rámcům (BÜNTGEN et al. 2021). Nejcitlivěji na změnu klimatu reaguje podkorní hmyz (MARINI et al. 2017), u kterého teplejší počasí urychluje vývoj (WERMELINGER, SEIFERT 1999) a zvyšuje počet generací v roce (JÖNSSON et al. 2007; HLÁSNÝ et al. 2011), oslabuje obranyschopnost hostitelských dřevin (NETHERER et al. 2021) a synchronizuje přemnožení na rozsáhlých

územích (ØKLAND et al. 2005). Tento vývoj byl pozorován v mnoha evropských zemích, včetně Slovenska, Polska, Německa, Rakouska, Švédska a Francie (SKRECEZ, PERLIŇSKA 2018; HLÁSNÝ et al. 2021b; KUNCA et al. 2019). ČR se však stala epicentrem tohoto dění (HLÁSNÝ et al. 2021a). Objem dříví vytěženého v důsledku napadení hmyzem v Česku vzrostl z 2,31 mil. m³ v roce 2015 na 13,06 mil. m³ v roce 2018, 22,78 mil. m³ v roce 2019 na 26,24 mil. m³ v roce 2020 (ČSÚ 2021). Zásoba smrku v lesích klesla mezi obdobími 2011–2014 a rokem 2019 z 511 na 430 mil. m³ (ADOLT et al. 2020). Přemnožení zároveň negativně ovlivnilo trh se dřevem (TOTH et al. 2020) a způsobilo mnoho negativních společenských dopadů (HLÁSNÝ et al. 2021a, 2021b). Příčinami tohoto nepříznivého vývoje je kromě zmíněných klimatických faktorů i mimořádně nevhodná dřevinná skladba lesa s velkým zastoupením přestárých smrkových porostů založených na nevhodných

stanovištích. Za další možné příčiny vzniku takto rozsáhlého přemnožení lze považovat i nepružnost provádění prací v lesích, nedostatek lidských zdrojů nebo nevhodně nastavená opatření v ochraně lesa (MODLINGER, TRGALA 2019).

Se silícím vlivem změny klimatu budou – přinejmenším v následujících desetiletích – zesilovat i přemnožení kůrovců a další typy disturbancí (BIEDERMANN et al. 2019; FORZIERI et al. 2021). Kůrovcové kalamity, které se doposud většinou projevovaly jako prostorově izolované události, se pravděpodobně budou vyskytovat synchronizovaně na územích s rozlohou stovek kilometrů. Tato synchronizace bude vyvolána extrémními klimatickými událostmi, jako jsou vlny veder a sucha (s obzvláště nebezpečnými „horkými suchy“, viz ALLEN et al. 2015), zasahující rozsáhlé oblasti. Vliv v současnosti dominantního škůdce – lýkožrouta smrkového *Ips typographus* (L.) – může být zesílen synergickým účinkem dalších druhů hmyzu, které doposud nepůsobily významnější škody (HOLUŠA et al. 2013; ØKLAND et al. 2019). Nepůvodní druhy kůrovců mohou v novém prostředí například vytvořit asociace s místními druhy hub, v důsledku čehož se změní jejich schopnost usmrtit stromy. Tento jev byl ve světě u různých druhů škůdců opakovaně pozorován (LU et al. 2010). V Evropě již bylo zaznamenáno nejméně 18 nepůvodních druhů kůrovců, jejichž celkový dopad na lesy zatím není možné zhodnotit (KIRKENDALL, FACCOLI 2010).

Informace o dalším vývoji přemnožení představují důležitý plánovací podklad jak pro státní správu, tak i pro majitele lesů. Prognózy disturbancí dynamiky patří k nejkomplicovanějším úlohám ekologie lesa, zejména z důvodů (i) interakcí mezi klimaticky citlivými populacemi škůdců, hostitelskými dřevinami a vnitroregulačními mechanismy, (ii) interakcí mezi různými činiteli, jako sucho, poškozování porostů větrem a biotickými činiteli, (iii) existence těžko předvídatelných ekologických prahových hodnot (tipping points; REYER et al. 2015), po jejichž překročení dochází ke kolapsu ekosystémů (např. v důsledku rozsáhlých devastačních přemnožení). Navzdory těmto skutečnostem byly vypracovány různé modely pro prognózování vývoje poškozování lesů, od komplexních procesních modelů zohledňujících různé zpětné vazby a interakce (SEIDL et al. 2011) až po jednoduché statistické modely extrapolující trendy a periodicitu historických pozorování (např. HLÁSNY et al. 2016).

Cílem této studie je vypracovat krátkodobou statistickou prognózu vývoje kůrovcových těžeb pro jednotlivé okresy ČR, opírající se o dostupná data o nahodilých těžbách za poslední dvě desetiletí. Cílem je vytvořit jednoduchý prognostický systém, jehož výstupy mohou být průběžně aktualizovány v závislosti na dostupnosti nových dat. Protože prognózy na úrovni okresů představují relativně obsáhlý materiál, pro zpřístupnění těchto informací jsme vytvořili interaktivní webový portál, jehož koncept a obsah je v tomto článku také představen.

Tato studie si klade za cíl vytvořit chybějící plánovací podklad, resp. nahradit používané expertní odhady postupem opírajícím se o dostupná validovaná data, a objektivní a reprodukovatelné statistické postupy. Vytvořený mapový portál může zlepšit obecné povědomí o rizicích, kterým lesy aktuálně čelí a se kterými se lesní hospodářství potýká, a obecně zlepšit přenos výsledků výzkumu do praxe.

MATERIÁL A METODIKA

Datové zdroje

Data o nahodilých těžbách v důsledku napadení podkorním hmyzem na smrku byla převzata ze zpravodajů Lesní ochranné služby (LOS). Použité byly údaje za období 2003–2019, které jsou vztaženy na úroveň okresů. Jedná se převážně o data založená na hlášeních Lesů České

republiky, s. p. (LČR) a Vojenských lesů a statků ČR, s. p. (VLS) a spolu s dalšími státními i nestátními vlastníky pokrývají přibližně 70 % rozlohy lesů České republiky. Jako druhý zdroj dat proto byla použita data o hmyzových nahodilých těžbách Českého statistického úřadu (ČSÚ), která jsou založena na zprávách všech ekonomicky aktivních subjektů, a jejich kompletnost je proto vyšší. Data ČSÚ jsou však vztažena na úroveň krajů, nikoliv okresů. V období před rokem 2006 byla dokonce k dispozici jen data na úrovni celé České republiky.

Pro potřeby řešení proto byla data LOS a ČSÚ zkombinována tak, aby byl zachován detail dat LOS a kompletnost dat ČSÚ. Na základě vztahu těchto dvou zdrojů dat byl pro každý okres určen korekční koeficient, kterým byla hodnota objemu nahodilých těžeb (hroubí b. k.) podle LOS navýšena způsobem, aby sumární hodnota nahodilých těžeb za okres a potažmo celou republiku korespondovala s hodnotami podle ČSÚ. Při tomto přepočtu byla zohledněna různá rozloha smrkových porostů v jednotlivých okresech (tedy rozdíl mezi hodnotami těžeb podle LOS a ČSÚ byl distribuován na úroveň okresů s ohledem na zastoupení smrku v okresech vzhledem k příslušnému kraji). Jako východisko pro prognózy byla tedy používána rekonstruovaná data o nahodilých těžbách, která vykazují komplexnost dat ČSÚ a prostorový detail dat LOS.

V čase realizace této studie byla za rok 2020 k dispozici jen data z operativní evidence LČR evidovaná k říjnu. Tato data byla přepočtena na území celé ČR obdobně jako data za předchozí roky. Nicméně, data za tento rok byla značně nekompletní, což se odráží i ve spolehlivosti prognóz. Za výchozí bod prognóz byl stanoven rok 2020, což je poslední rok, ke kterému byla v čase realizace této studie dostupná data o nahodilých těžbách. Protože data LHP se vždy vztahují k roku začátku jeho platnosti, bylo zapotřebí provést jejich prolongaci k roku 2019. Pro každou obec s rozšířenou působností (ORP; prostorová jednotka, pro kterou řešitelský tým disponoval daty o stavu lesa) byl proto určen převažující rok začátku platnosti LHP (tedy pro maximální výměru lesa v rámci ORP). Zásoba byla následně redukována objemy nahodilých těžeb od roku začátku platnosti LHP do roku 2019. Celková zásoba smrku v roce 2019 v ČR určena tímto postupem byla 420 mil. m³. Tento údaj relativně dobře koresponduje se zásobou smrku určenou Ústavem pro hospodářskou úpravu lesů (ÚHÚL) v rámci Sledování stavu a vývoje lesních ekosystémů (SSVLE) k roku 2019, která byla odhadnuta na 430,2 ± 15,4 mil. m³ hroubí b. k. (ADOLT et al. 2020).

Statistický model

Prognóza se opírá o extrapolaci recentních trendů vývoje nahodilých těžeb v důsledku napadení porostů kůrovcovitými. Vycházíme z předpokladu jisté setrvačnosti vývoje kalamity, která souvisí s přenosem existujících populačních hustot kůrovcovitých mezi jednotlivými roky. Tyto prognózy tak výrazně kopírují současné rozšíření kalamity. Predikované objemy poškozování jsou v každém roce konfrontovány s aktuální zásobou smrku v daném okrese tak, aby nedošlo k překročení disponibilní zásoby. Při tomto omezení je uvažováno pouze se zásobou smrku nad 50 let, která je pro dominantní druh kůrovce (*Ips typographus*) atraktivní (OVERBECK, SCHMIDT 2012). S cílem vyloučit se náhlým změnám v prognózovaných hodnotách jsme omezení na základě dostupné zásoby smrku implementovali následovně:

- v případě, že aktuální zásoba dosáhne 20 % zásoby z roku 2019, prognózované hodnoty nahodilých těžeb nemohou překročit hodnotu z předešlého roku
- v případě, že aktuální zásoba dosáhne 10 % zásoby z roku 2019, prognózované hodnoty klesnou na nulu.

Kritérium 10 % a 20 % bylo určeno expertním odhadem. Hodnota 10 % vyjadřuje zbytek smrkových porostů (resp. smrků), které mohou vykazovat vyšší rezistenci vůči kůrovcovitým, nebo mohou růst ve vhodných směsích a na vhodných stanovištích zvyšujících šance na

jejich přežití (JAKUŠ et al. 2011). S ohledem na vysoký stupeň automatizace výpočtů je možné tyto hodnoty na základě terénních šetření flexibilně upravit, a tím prognózy korigovat. Kritérium 10 % a 20 % však nemá na výsledky prognózy zásadní vliv. Dvě situace, které při prognózách nastávají, jsou tedy zásobou neomezený vývoj nahodilých těžeb a vývoj omezený dostupnou zásobou smrku. Prognózy jsou vypracovány na úrovni jednotlivých okresů ($n = 77$) a jsou následně agregovány na úroveň celé ČR.

Pro vytvoření krátkodobých prognóz byla použita statistická metoda pro analýzu časových řad ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average). Parametry modelu byly určeny samostatně pro každý okres podle metodiky HYNDMAN, KHANDAKAR (2008). Analýzy byly provedeny v prostředí R-language (R CORE TEAM 2020) pomocí knihovny *forecast* a funkce *auto.arima* (HYNDMAN, KHANDAKAR 2008; HYNDMAN et al. 2020).

Očekávaná hodnota nahodilých těžeb v roce t závisí na časové řadě hodnot nahodilých těžeb v předcházejících letech:

$$Y_t = f(Y_{t-k}, E_{t-q}),$$

kde Y_t je očekávaná hodnota nahodilých těžeb v roce t , Y_{t-k} je vektor hodnot nahodilých těžeb za roky $t-1$ až $t-k$, E_{t-q} je vektor hodnot reziduí nahodilých těžeb za roky $t-1$ až $t-q$. Hodnoty k a q závisí na parciální závislosti hodnot časové řady nahodilých těžeb a platí pro ně, že $k > 0$ a $q > 0$.

Obecně má model ARIMA tři části: (i) autoregresní část (AR), která vyjadřuje, že část hodnoty časové řady nahodilých těžeb se dá vysvětlit jako lineární kombinace jejich minulých hodnot; (ii) integrační část (I), která vyjadřuje počet diferenciací časové řady, jejichž cílem je odstranění nestacionarity dat; a (iii) část klouzavých průměrů (MA), která vyjadřuje způsob, jakým jsou predikované hodnoty závislé na chybě předchozích pozorování.

Obecný tvar modelu ARIMA je:

$$\varphi_p(B)\Delta^d Y_t = \theta_q(B)e_t,$$

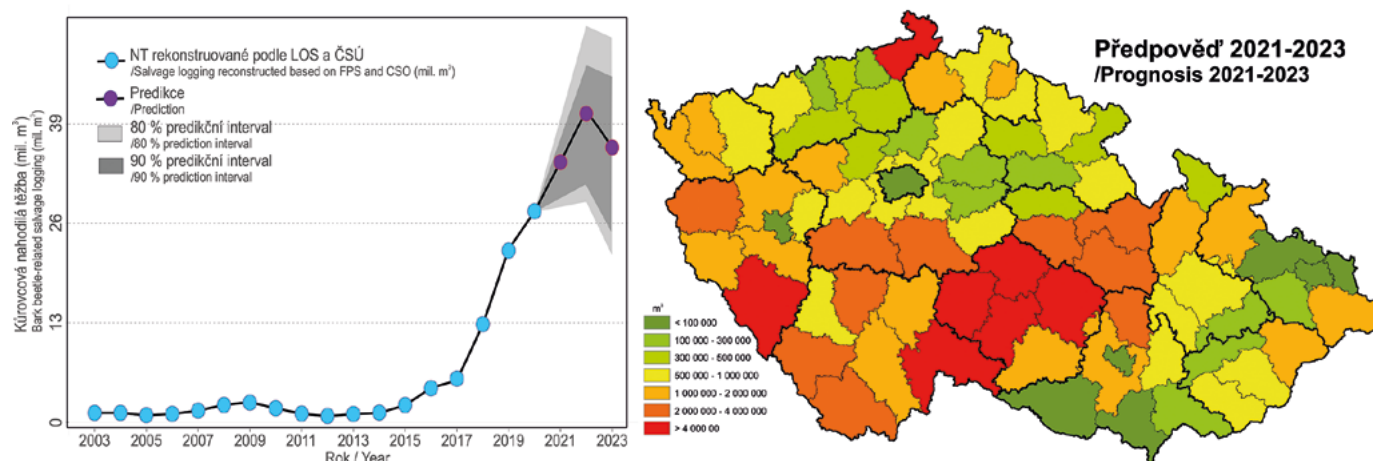
kde φ reprezentuje koeficienty autoregresní složky modelu, p označuje řád autoregresní složky modelu, B je operátor zpětného posunu definován jako $B^d y_t = y_{t-d}$, $\Delta^d Y_t$ představuje diferencovanou časovou řadu hodnot, přičemž $\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$, d je řád integrační části modelu definující řád diferenciace původní časové řady nahodilých těžeb, θ reprezentuje regresní koeficienty složky klouzavých průměrů modelu, q je řád části klouzavých průměrů modelu a e_t je vektor reziduí.

Pro každý okres byla určena jak očekávaná (předpovězená) hodnota dalšího vývoje, tak i 80% a 90% predikční interval. Šířka tohoto intervalu je ovlivněna zejména mírou variability nahodilých těžeb v minulém období (variabilnější průběh v období 2003–2019 zvětšuje predikční interval). Predikční interval 90 % vyjadřuje skutečnost, že je 5% pravděpodobnost vybočení z tohoto intervalu směrem k vyšším hodnotám a 5% pravděpodobnost vybočení směrem k nižším hodnotám. V případě intervalu 80 % jsou tyto pravděpodobnosti 10%.

Portál pro šíření informací o lesích ČR

Architektura webové aplikace je založena na frameworku ASP.NET MVC 5.2.3. Klientská část aplikace umožňující GIS funkcionalitu je naprogramována v ArcGIS API for JavaScript ver. 3.21 a Dojo ver. 1.12.2. Prostorová data jsou do aplikace zařazena přes webové mapové služby a publikovány na ArcGIS Server ver. 10.5.1. Mapové služby jsou volně použitelné jako zobrazovací služby v desktopových aplikacích ArcGIS. Prostorová data jsou uložena v nativních souborových databázích ArcGIS (ArcGIS souborová geodatabáze). Doplňková data jsou uložena v databázi Microsoft SQL Server.

Uživatelské rozhraní aplikace je navrženo s ohledem na responzivní webový design a umožňuje tak optimalizaci zobrazení stránky pro různé typy zařízení jako je notebook, tablet, mobilní telefon apod.



Obr. 1.

Predikce objemů kůrovcových nahodilých těžeb pro celé území ČR a pro jednotlivé okresy (zkratky: NT – nahodilá těžba, LOS – Lesní ochranná služba, ČSÚ – Český statistický úřad)

Fig. 1.

Prognosis of bark beetle disturbance approximated by salvaged volumes of dead trees for the whole territory of the Czech Republic and individual administrative districts (abbreviations: FPS – Forest Protection Service, CSO – Czech Statistical Office)

Mapový obsah aplikace je plně konfigurovatelný. Nové tematické skupiny map je možné zařazovat jednoduchým přepisem konfiguračního souboru. Je tak možné rozšiřovat mapový obsah aplikace bez nutnosti dalšího vývoje. Aplikace je přístupná na webové adrese <https://mapy.fld.czu.cz>.

VÝSLEDKY

Prognóza kůrovcových nahodilých těžeb

Většina modelů (pro 46 okresů) ARIMA parametrizovaných pro jednotlivé okresy měla tvar (0,2,2), model tedy obsahoval integrační složku a složku klouzavých průměrů řádu 2. Očekávaná hodnota nahodilých těžeb v roce t tedy byla určena jako funkce dvou předcházejících hodnot a jejich reziduí:

$$Y_t = 2Y_{t-1} - Y_{t-2} - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2}$$

Autoregresní složka se vyskytovala v modelech pro 6 okresů, integrační složka v 74 modelech a složka klouzavých průměrů v 57 modelech.

Průměrná hodnota odmocniny střední kvadratické chyby (RMSE), určená porovnáním zdrojových a modelových dat v jednotlivých okresech, byla 22 286 m³ a hodnota průměrné absolutní chyby (MAE) 12 679 m³. Průměrná procentuální chyba byla 0,94 %.

Z průběžné konfrontace predikovaných hodnot se zbývajících zásobami smrku nad 50 let vyplynulo, že v 19 okresech dojde v období 2021–2023 k vyčerpání zdrojů a poklesu nahodilých těžeb (resp. objemu napadených stromů). Na úrovni ČR se tento jev projevil stabilizací dosavadního nárůstu kůrovcových těžeb v roce 2022 a následným poklesem (obr. 1). V kulminačním roce 2022 byl prognózován rozsah objemů kůrovcových těžeb 29–52 mil. m³ (90% interval) (tab. 1).

Tab. 1.

Predikované hodnoty kůrovcových nahodilých těžeb v letech 2021, 2022 a 2023 v celé České republice, horní a spodní predikční interval (90 %)

Predicted volumes of salvaged trees killed by bark beetles in 2021, 2022, and 2023 in the Czech Republic, upper and lower prediction interval (90%)

Rok/ Year	Spodní interval/ Lower interval (m ³)	Predikce/ Prognosis (m ³)	Horní interval/ Upper interval (m ³)
2021	28 588 409	34 314 018	40 075 080
2022	29 251 943	40 716 497	52 481 729
2023	22 108 684	36 257 249	50 984 577

Okresy, kde i v případě meziročního poklesu kůrovcové kalamity bude situace kritická, jsou Děčín, Jihlava a Žďár nad Sázavou. V okresech Jihlava a Děčín dojde velice brzy k vyčerpání zásob smrku. Okres Žďár nad Sázavou má jedny z nejvyšších zásob smrku vůbec a i v případě intenzivního rozvoje kalamity zde nedojde v období následujících tří let k vyčerpání disponibilního smrku. Dalšími okresy s vysokou pravděpodobností prudkého rozvoje kalamity jsou Pelhřimov a Jindřichův Hradec. Okres Pelhřimov má vysoké zásoby smrkových porostů a k jejich vyčerpání během předemtného období pravděpodobně nedojde. V okrese Jindřichův Hradec je situace komplikovanější, neboť

se skládá ze dvou částí (Novohradské a Novobystřické), oddělených Třeboňskou pánví. V části Novobystřické je situace podobná okresu Jihlava – kalamita je zde v prudkém rozvoji a k vyčerpání zásob smrku dojde velice rychle. Část Novohradská je výše položena a kůrovcová kalamita zde není v natolik pokročilé fázi. Vysoká míra rizika vyčerpání zásob smrku panuje i v okrese Blansko.

Míra ohroženosti pohraničních pohoří je různá. Relativně nejvíce ohrožená je Šumava a Lužické hory, dále Jeseníky a Beskydy. Relativně příznivá je prognóza pro Krkonoše. Zde ovšem může být predikovaná výše kůrovcových těžeb značně podhodnocena z důvodu absence údajů pro rok 2020 pocházejících z lesů v působnosti Ministerstva životního prostředí (KRNAP). Predikovaná míra nárůstu kůrovcové kalamity v okresech Semily a Trutnov, ve kterých území KRNAP zabírá více než polovinu rozlohy, je velice nízká, a proto i při predikci blízké hornímu intervalu není pro tyto okresy signalizován výrazně zhoršený stav.

Příznivě je predikován vývoj v Orlických horách a jejich podhůří (okresy Náchod, Rychnov nad Kněžnou, Ústí nad Orlicí). Ačkoliv tato oblast nepatří mezi hlavní kalamitní oblasti, ke zvýšenému poškozování vlivem kůrovce zde dochází (ÚHÚL 2021). K podhodnocení zde pravděpodobně došlo z důvodu absence dat pro rok 2020, jelikož převážná část Orlických hor je v soukromých majetcích (Jan Kolowrat Krakovský, Janeček Kvasiny, Kristina Colloredo-Mansfeld), tudíž se údaje z těchto území neobjevily v použité evidenci LČR. Jelikož značná část centrálního hřebene Orlických hor byla postižena imisní kalamitou v 70.–80. letech a pokrývají ho porosty náhradních dřevin, resp. porosty smrku ztepilého nízkého věku, nelze zde předpokládat významnější škody kůrovcem.

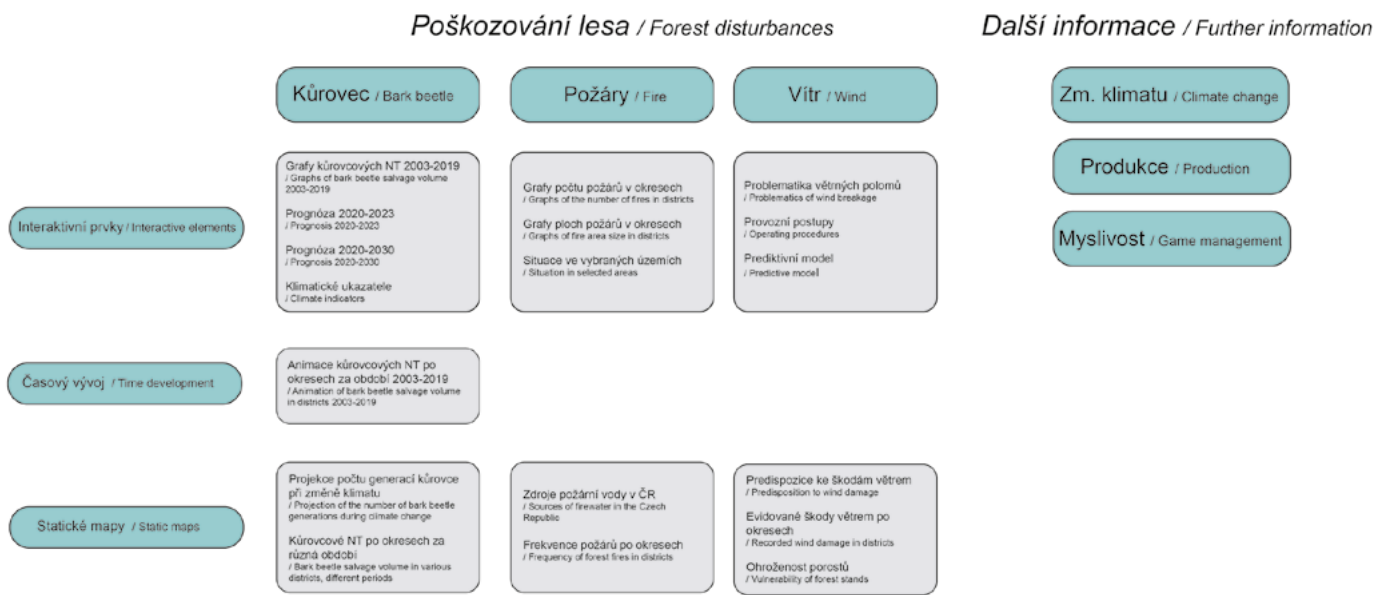
Webová aplikace

Výsledky prognóz a jejich různé mapové znázornění byly pro přehlednost zařazeny do web-mapové aplikace, která umožňuje snadnou orientaci v relativně komplexním souboru výstupních informací (obr. 2). Důležitým prvkem prezentované aplikace je integrace informací o vývoji kůrovcových těžeb s dalšími aspekty vývoje a managementu lesa, jako je poškozování lesů požáry a větrem, projekce vývoje klimatu a očekávané změny produkce hlavních hospodářských dřevin.

Soubor statických map (tedy bez jakýchkoliv interaktivních prvků) zahrnuje přehled kůrovcových nahodilých těžeb po okresech za různé časové období a hodnoty lineárního trendu nárůstu těžeb v posledních letech. Tyto informace jsou doplněny souborem map popisujícím vývoj klimatického potenciálu území ČR pro vývoj daného počtu generací lýkožrouta smrkového. Mapy znázorňují situaci v minulém období 1961–1990 a ve čtyřech budoucích obdobích 2021–2040, 2041–2060, 2061–2080 a 2081–2100. Projekce počtu generací se opírala o dvě skupiny scénářů změny klimatu. Podrobnější informace o metodice je možné najít v práci HLÁSNY et al. (2011).

Dynamické rozšíření statického popisu distribuce kůrovcových těžeb v okresech představuje část „Intenzita napadení – časová série“. Jedná se o funkcionalitu, která automaticky překresluje sérii mapových vrstev za období 2003–2019 a umožňuje tak sledovat postupný vývoj kalamity.

Nejkomplexnější nástroj představuje část „Interaktivní mapa“. Po kliknutí na libovolný okres se zpřístupní nová záložka, která obsahuje informace o vývoji kůrovcových těžeb v období 2003–2019, prognózu na roky 2021–2023, informace o střednědobé prognóze do roku 2030 (doposud nezdokumentovaný experimentální produkt) a vývoj vybraných klimatických ukazatelů (obr. 3). Tato funkcionalita se průběžně vyvíjí a aktualizuje podle dostupnosti nových dat.

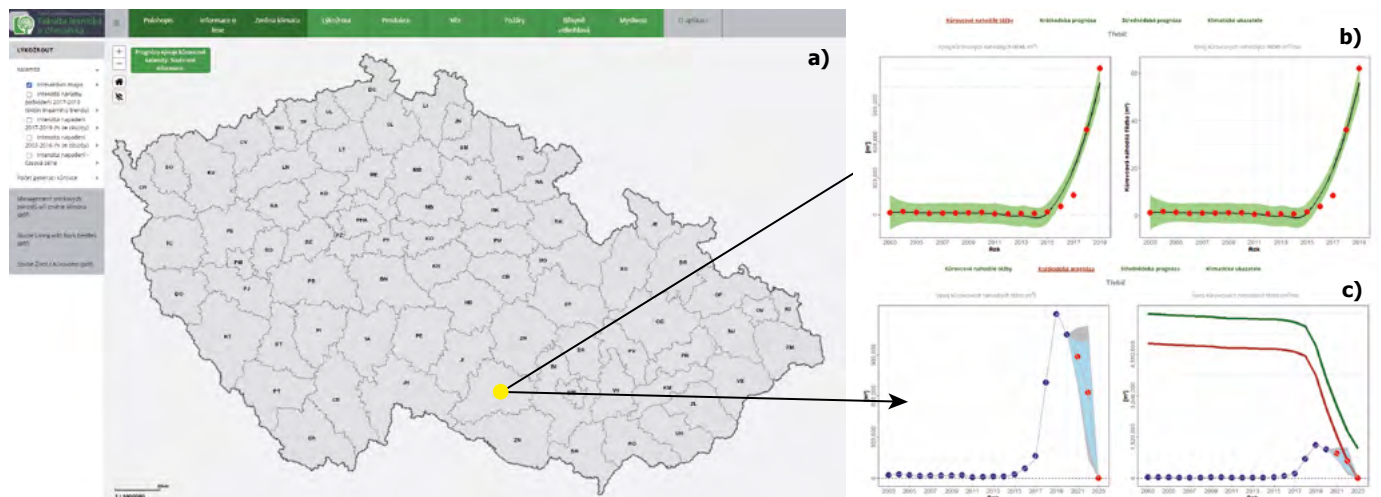


Obr. 2.

Rozhraní web-mapové aplikace pro šíření informací o různých aspektech vývoje a managementu lesa v České republice s podrobnějším rozbo-rem částí věnovaných škodlivým činitelům

Fig. 2.

The interface of a web-map application for disseminating information on various aspects of forest development and management in the Czech Republic. Sections on natural disturbances are described in more detail



Obr. 3.

Rozhraní web-mapové aplikace, část věnovaná prognózám vývoje kůrovcové kalamity v České republice. Základní mapa a) znázorňuje mapu okresů ČR. Po kliknutí na okres uživatel získá: b) graf vývoje nahodilých těžeb za období 2003–2019 v m³ a m³ na hektar lesa a c) prognózu vývoje těžeb na období následujících tří let

Fig. 3.

The interface of the web-map application, section bark beetle prognoses in the Czech Republic. The basic map a) shows administrative districts of the Czech Republic. After clicking on an administrative district, the user obtains: b) a graph of the development of salvaged volumes for the period 2003–2019 in m³ and m³ per hectare of forest land, and c) a prognosis of the development of salvage volumes for the next three years

DISKUSE

Prognózy poškozování lesů různými činiteli patří mezi nejkomplicovanější úlohy ekologie lesa a jsou zatíženy různými neurčitostmi, které souvisí jak s reálnými možnostmi zachytit komplexní disturbanční režimy lesa, tak i s kvalitou a dostupností dat. Faktory jako nepřesná rekonstrukce minulých nahodilých těžeb a rekonstrukce výchozí zásoby smrku se různě kumulují a v některých okresech tak může dojít i k výraznějšímu odklonu od reality. Zde použité časové série vývoje kůrovcových nahodilých těžeb byly rekonstruovány na základě dat LOS a ČSÚ. Kromě toho se nejednalo o zdrojová data ve struktuře primárních hlášení, ale o data přepočtená na úroveň okresů, resp. krajů. Tento postup rozhodně není optimální a snižuje informační hodnotu krátkodobých prognóz. Jedním z doporučení této studie je proto zlepšit způsoby evidence škod v lesích s ohledem na komplexnost pokrytí území lesů ČR, konzistentnost dlouhodobých časových řad, jejich kompatibilitu s porostními daty (lesními hospodářskými plány) a zejména zlepšit dostupnost dat pro jejich další zhodnocení. Důležitým krokem v této oblasti je novela zákona o lesích z 31. října 2019, od které je možné očekávat zlepšení kvality sběru dat na úrovni odborných lesních hospodářů, jakož i toku informací směrem ke státní správě a následně výzkumným organizacím.

Dalším faktorem ovlivňujícím kvalitu prognóz je, že data o nahodilých těžbách pouze aproximují reálnou mortalitu lesa, přičemž tento vztah se mezi roky a okresy liší. Důvody jsou různá intenzita nahodilých těžeb, úmyslné ponechání stojících souší apod. Problémem tedy je, že pro prognózu jsou k dispozici pouze data o nahodilých těžbách, která jsou silně závislá na rozhodnutích o způsobu managementu a logistice, nikoliv data o reálné mortalitě lesa v důsledku vlivu kůrovce, která se více řídí ekologickými zákonitostmi.

Rizikem využívání krátkodobých prognóz je, že jsou primárně ovlivněny trendem z relativně krátkého časového úseku (ačkoli statistický model se opírá o data od roku 2003) a jejich průběh se může měnit zařazením každého dalšího pozorování (tedy dat o kůrovcových těžbách za další rok). Tuto situaci ilustruje zařazení předběžných a nekompletních dat za rok 2020, která zásadním způsobem ovlivňují vývoj prognózovaných hodnot. Důvodem je deštivé počasí v druhé polovině roku, které vývoj kůrovce utlumilo (je však zapotřebí předpokládat, že část mrtvých stromů mohla zůstat kvůli nedostatku vláhy zelená a nebyla identifikována). Pokud bude rok 2021 chladnější a vlhčí, resp. vysoké zásoby vody v půdě na jaře podpoří obranné mechanismy smrků, je možný pokles objemu napadených stromů, který se vymyká zde prezentovaným prognózám.

Zde představená prognóza také předpokládá nárůst škod zejména v současných kalamitních oblastech – dojde-li však k přesunu těžiště kalamity na západ, kde jsou k dispozici enormní zásoby dospělých smrkových porostů, může reálný vývoj vybočit ze zde prezentovaných rámců. Novou situaci by vyvolalo zasažení lesů větrem, který může dát kůrovcové kalamitě další impuls (MODLINGER, NOVOTNÝ 2015; MEZEI et al. 2017). Obecně interakce poškozování porostů větrem a suchem s následným biotickým poškozením mohou vyvolat výrazně odlišnou dynamiku, než s jakou se lesní hospodářství potýkalo v minulosti. Je zřejmé, že možnosti zachycení těchto procesů statistickými modely, které se opírají o průběh nahodilých těžeb v minulých letech, jsou omezené.

Výraznější pokles kalamity může být vyvolán dvěma nebo více lety s podprůměrnými teplotami a/nebo srážkami dostatečnými pro udržení obranných schopností smrku. S ohledem na probíhající změny klimatu a nárůst extremit počasí je sled dvou nebo více teplotně podprůměrných let nepravděpodobný, není ho však možné vyloučit. I v případě tohoto méně pravděpodobného vývoje však není možné

očekávat okamžitý návrat do normálu (před-kalamitního období), protože přemnožení má jistou setrvačnost a populace podkorního hmyzu přežívají mezi jednotlivými sezónami, i když jejich reprodukční úspěch se může vlivem počasí a dalších faktorů snižovat (WERMLINGER 2004). Vlivem následujících suchých a teplých let může dojít k novému nastartování přemnožení, projevujícím se jako druhá vlna. V tomto kontextu je zapotřebí interpretovat i pokles krátkodobých prognóz v roce 2022, který souvisí s vyčerpáním zdrojů v současných kalamitních oblastech. V případě přesunu kalamity do nových oblastí může dojít k nové vlně přemnožení, jejíž načasování však není možné určit.

Navzdory těmto nejasnostem ohledně dalšího vývoje zde prezentované krátkodobé prognózy představují smysluplnou aproximaci budoucího vývoje. Pro praktické využívání prognóz je však nevyhnutelná jejich pravidelná aktualizace a kritické posouzení jejich vypovídající hodnoty s ohledem na použitá data a metodické postupy.

Součástí této studie bylo i představení web-mapové aplikace, která zpřístupňuje pomocí různých interaktivních prvků výsledky prognóz, a zabezpečuje tak jejich přenos státní správě, majitelům lesů a akademickým a vědeckým institucím. Tato aplikace doplňuje různé jiné národní nebo evropské platformy, ze kterých je možné čerpat informace o lesích a jejich managementu. Významným prvkem je integrace mnoha tematických oblastí souvisejících s vývojem a managementem lesa v podmínkách změny klimatu, včetně očekávaných změn produkce a disturbančních režimů. Aplikace je průběžně aktualizována a doplňována o nové funkcionality, s cílem zpřístupňování informací z aktuálních vědeckých projektů a dalších studií. Jedná se o jeden z důležitých kroků směrem ke zlepšení přenosu výsledků výzkumu do praxe a sdílení dat.

ZÁVĚR

Současné disturbance lesních ekosystémů významně vybočují ze svých historických rámců a vyžadují nové způsoby managementu a plánování. Je zapotřebí v maximální míře využívat a integrovat data z pozemních šetření, dálkového průzkumu Země a dalších zdrojů a zhodnocovat je s využitím pokročilých statistických metod a různých typů modelů. Rozsah současných kalamitních situací – u nás zejména přemnožení kůrovců – již neumožňuje spoléhat se na lokální strategie a zkušenosti z minulého období. Jsou zapotřebí nové přístupy, včetně různých prognostických nástrojů, modelů pro hodnocení rizik a optimalizaci lidských, skladových a dopravních kapacit. Tyto nástroje se musí zaměřovat jak na lokální úroveň, tak na úroveň národní, a podpořit strategické rozhodování státní správy. Klíčovým prvkem je zde dostupnost a sdílení kvalitních dat o stavu a vývoji lesa. V této studii bylo naznačeno možné využití centralizovaně shromažďovaných dat o poškozování lesa pro hodnocení vývoje kůrovcové kalamity v dalším období. Výsledky prognóz byly zároveň zpřístupněny pomocí nové web-mapové aplikace. Oba komponenty tohoto řešení – tedy prognostický model a web-mapová aplikace – jsou experimentální a budou v dalším období dále vyvíjeny.

Poděkování:

Tato studie byla podpořena výzkumnými projekty EVA4.0, CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000803, (<https://eva.fd.czu.cz/en>), operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání, Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR a NAZV č. QK 1920435 „Zefektivnění komunikace, monitoringu a managementu při řešení kalamitních situací v lesích jako podklad pro optimalizaci rozhodování státní správy“, Ministerstvo zemědělství ČR.

LITERATURA

- ADOLT R., KOHN I., STREJČEK R., KRÍSTEK Š., MLČOUSEK M., HEJLOVÁ V. 2020. Odhad zásob dříví v lesích na území České republiky na základě dat SSVLE z roku 2019. Č. j. ÚHÚL/1734/2020/KM. Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem: 25 s.
- ALLEN C.D., BRESHEARS D.D., MCDOWELL N.G. 2015. On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, 6 (8): 129. DOI: 10.1890/ES15-00203.1
- BIEDERMANN P.H.W., MÜLLER J., GRÉGOIRE J., GRUPPE A., HAGGE J., HAMMERBACHER A., HOFSTETTER R.W., KANDASAMY D., KOLARIK M., KOSTOVCIK M., KROKENE P., SALLÉ A., SIX D.L., TURRINI T., VANDERPOOL D., WINGFIELD M.J., BÄSSLER C. 2019. Bark beetle population dynamics in the anthropocene: challenges and solutions. *Trends in Ecology & Evolution*, 34 (10): 914-924. DOI:10.1016/j.tree.2019.06.002
- BONAN G.B. 2008. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *National Center for Atmospheric Research*, 320 (5882): 1444–1449. DOI: 10.1126/science.1155121
- BÜNTGEN U., URBAN O., KRUSIC P. J., RYBNÍČEK M., KOLÁŘT, KYNCL T., AČ A., KOŇASOVÁ E., ČÁSLAVSKÝ J., ESPER J., WAGNER S., SAURER M., TEGEL W., DOBROVOLNÝ P., CHERUBINI P., REINIG F., TRNKA M. 2021. Recent European drought extremes beyond Common Era background variability. *Nature Geoscience*, 14: 190–196. DOI:10.1038/s41561-021-00698-0
- ČSÚ 2021. Těžba dřeva podle druhů dřevin a typu nahodilé těžby 2000–2020 [online] [cit. 2021-06-16]. Dostupné na/Available on: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/index.jsf?page=vystup-objekt&z=T&f=TABULKA&ds=ds148&katalog=30841&pvo=LES05&str=v93#w=>
- FORZIERI G., GIRARDELLO M., CECCHERINI G., SPINONI J., FEYEN L., HARTMANN H., BECK P.S.A., CAMPS-VALLS G., CHIRICI G., MAURI A., CESCATTI A. 2021. Emergent vulnerability to climate-driven disturbances in European forests. *Nature Communications*, 12 (1081): 1–12. DOI:10.1038/s41467-021-21399-7
- HLÁSNÝ T., ZAJÍČKOVÁ L., TURČÁNI M., HOLUŠA J., SITKOVÁ Z. 2011. Geographical variability of spruce bark beetle development under climate change in the Czech Republic. *Journal of Forest Science*, 57: 242–249.
- HLÁSNÝ T., TROMBÍK J., HOLUŠA J., LUKÁŠOVÁ K., GRENDÁR M., TURČÁNI M., ZÚBRİK M., TABAKOVIĆ-TOŠIČ M., HIRKA A., BUKSHA I., MODLINGER R., KACPRYK M., CSÓKA G. 2016. Multi-decade pattern of gypsy moth fluctuations in the Carpathian Mountains and options for outbreak forecasting. *Journal of Pest Science*, 89: 413–425. DOI: 10.1007/s10340-015-0694-7
- HLÁSNÝ T., ZIMOVÁ S., MERGANIČOVÁ K., ŠTĚPÁNEK P., MODLINGER R., TURČÁNI M. 2021a. Devastating outbreak of bark beetles in the Czech Republic: Drivers, impacts, and management implications. *Forest Ecology and Management*, 490: 119075. DOI: 10.1016/j.foreco.2021.119075
- HLÁSNÝ T., KÖNIG L., KROKENE, P., LINDNER M., MONTAGNÉ-HUCK C., MÜLLER J., QIN H., RAFFA K. F., SCHELHAAS M., SVOBODA M., VIIRI H., SEIDL R. 2021b. Bark beetle outbreaks in Europe: state of knowledge and ways forward for management. *Current Forestry Reports*, 7: 138–165. DOI: 10.1007/s40725-021-00142-x
- HOLUŠA J., LUKÁŠOVÁ K., TROMBIK J. 2013. The first record of *Ips duplicatus* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) infestations in central European inner mountains. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 44 (2): 97–101. DOI: 10.7160/sab.2013.440205
- HYNDMAN R.J., KHANDAKAR Y. 2008. Automatic time series forecasting: the forecast package for R [online]. *Journal of Statistical Software*, 26 (3): 1–22 [cit. 2021-03-16]. Dostupné na/Available on: <https://www.jstatsoft.org/article/view/v027i03>.
- HYNDMAN R., ATHANASOPOULOS G., BERGMEIR C., CACERES G., CHHAY L., O'HARA-WILD M., PETROPOULOS F., RAZBASH S., WANG E., YASMEEN F. 2020. Forecast: Forecasting functions for time series and linear models. R package version 8.13 [online] [cit. 2021-03-16]. Dostupné na/Available on: <https://pkg.robjhyndman.com/forecast/>.
- JAKUŠ R., EDWARDS-JONÁŠOVÁ M., CUDLÍN P., BLAŽENEC M., JEŽÍK M., HAVLÍČEK F., MORAVEC I. 2011. Characteristics of Norway spruce trees (*Picea abies*) surviving a spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) outbreak. *Trees*, 25: 965–973. DOI: 10.1007/s00468-011-0571-9
- JÖNSSON A.M., HARDING S., BÄRRING L., RAVN H.P. 2007. Impact of climate change on the population dynamics of *Ips typographus* in southern Sweden. *Agricultural and Forest Meteorology*, 146: 70–81. DOI: 10.1016/j.agrformet.2007.05.006
- KIRKENDALL L.R., FACCOLI M. 2010. Bark beetles and pinhole borers (Curculionidae, Scolytinae, Platypodinae) alien to Europe. *ZooKeys*, 56: 227–251. DOI: 10.3897/zookeys.56.529
- KUNCA A., ZÚBRİK M., GALKO J., VAKULA J., LEONTOVÝČ R., KONÓPKAB., NIKOLOV C., GUBKA A., LONGAUEROVÁ V., MALOVÁ M., RELL S., LALÍK M. 2019. Salvage felling in the Slovak Republic's forests during the last twenty years (1998–2017). *Central European Forestry Journal*, 65: 3–11. DOI: 10.1515/forj-2017-0055
- LU M., WINGFIELD M.J., GILLETTE N.E., MORI S.R., SUN J.H. 2010. Complex interactions among host pines and fungi vectored by an invasive bark beetle. *New Phytologist*, 187 (3): 859–866. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03316.x
- MARINI L., ØKLAND B., JÖNSSON A.M., BENTZ B., CARROLL A., FORSTER B., GRÉGOIRE C., HURLING R., NAGELEISEN L.M., NETHERER S., RAVN H.P., WEED A., SCHROEDER M. 2017. Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests. *Ecography*, 40: 1426–1435. DOI:10.1111/ecog.02769
- MCDOWELL N.G., ALLEN C.D., ANDERSON-TEIXEIRA K., AUKEMA B.H., BOND-LAMBERTY B., CHINI L., CLARK J.S., DIETZE M., GROSSIORD C., HANBURY-BROWN A., HURTT G.C., JACKSON R.B., JOHNSON D.J., KUEPPERS L., LICHSTEIN J.W., OGLE K., POULTER B., PUGH T.A.M., SEIDL R., TURNER M.G., URIARTE M., WALKER A.P., XU C. 2020. Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world. *Science*, 368: eaaz9463. DOI: 10.1126/science.aaz9463
- MEZEI P., JAKUŠ R., PENNERSTORFER J., HAVAŠOVÁ M., ŠKVARENINA J., FERENČÍK J., SLIVINSKÝ J., BIČÁROVÁ S., BILČÍK D., BLAŽENEC M., NETHERER S. 2017. Storms, temperature maxima and the Eurasian spruce bark beetle *Ips typographus* – An infernal trio in Norway spruce forests of the Central European High Tatra Mountains. *Agricultural and Forest Meteorology*, 242: 85–95. DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.04.004
- MODLINGER R., NOVOTNÝ P. 2015. Quantification of time delay between damages caused by windstorms and by *Ips typographus*. *Forestry Journal*, 61 (4): 221–231.
- MODLINGER R., TRGALA K. 2019. Možné příčiny a důsledky kůrovcové kalamity v lesích Česka s ohledem na specifika při zpracování kalamitního dříví. Praha, ČZU v Praze: 41 s.
- NETHERER S., KANDASAMY D., JIROŠOVÁ A., KALINOVÁ B., SCHEBECK M., SCHLYTER F. 2021. Interactions among Norway

- spruce, the bark beetle *Ips typographus* and its fungal symbionts in times of drought. *Journal of Pest Science*, 94: 591–614. DOI: 10.1007/s10340-021-01341-y
- ØKLAND B., LIEBHOLD A.M., BJØRNSTAD O.N., ERBILGIN N., KROKENE P. 2005. Are bark beetle outbreaks less synchronous than forest Lepidoptera outbreaks? *Oecologia*, 146 (3): 365–372. DOI: 10.1007/s00442-005-0221-2
- ØKLAND B., FLØ D., SCHROEDER M., ZACH P., COCOS D., MARTIKAINEN P., SIITONEN J., MANDELSHTAM M.Y., MUSOLIND L., NEUVONEN S., VAKULA J., NIKOLOV C., LINDELÖW Å., VOOLMA K. 2019. Range expansion of the small spruce bark beetle *Ips amitinus*: a newcomer in northern Europe. *Agricultural and Forest Entomology*, 21: 286–298. DOI: 10.1111/afe.12331
- OVERBECK M., SCHMIDT M. 2012. Modelling infestation risk of Norway spruce by *Ips typographus* (L.) in the Lower Saxon Harz Mountains (Germany). *Forest Ecology and Management*, 266: 115–125. DOI:10.1016/j.foreco.2011.11.011
- R Core Team 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Dostupné na/Available on: <https://www.R-project.org/>.
- REYER C.P., RAMMIG A., BROUWERS N., LANGERWISCH F. 2015. Forest resilience, tipping points and global change processes. *Journal of Ecology*, 103: 1–4. DOI: 10.1111/1365-2745.12342
- SEIDL R., FERNANDES P.M., FONSECA T.F., GILLET F., JÖNSSON A.M., MERGANIČOVÁ K., NETHERER S., ARPACI A., BONTEMPS J.D., BUGMANN H., GONZÁLES-OLABARRIA J.R., LASCH P., MEREDIEU C., MOREIRA F., SCHELHAAS M.J., MOHREN F. 2011. Modelling natural disturbances in forest ecosystems: a review. *Ecological Modelling*, 222 (4): 903–924. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2010.09.040
- SENF C., BURAS A., ZANG C.S., RAMMING A., SEIDL R. 2020. Excess forest mortality is consistently linked to drought across Europe. *Nature Communications*, 11: 6200. DOI: 10.1038/s41467-020-19924-1
- SCHELHAAS M.-J., NABUURS G.-J., SCHUCK A. 2003. Natural disturbances in the European forest in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 9 (11): 1620–1633. DOI: 10.1046/j.1365-2486.2003.00684.x
- SKRZECZ I., PERLIŃSKA A. 2018. Current problems and tasks of forest protection in Poland. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 60 (3): 161–172. DOI: 10.2478/ffp-2018-0016
- TOTH D., MAITAH M., MAITAH K., JAROLÍNOVÁ V. 2020. The impacts of calamity logging on the development of spruce wood prices in Czech forestry. *Forests*, 11: 283. DOI: 10.3390/f11030283
- ÚHÚL 2021. Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, s. p. [online]. Brandýs nad Labem, Lesní hospodářské osnovy 2021 [cit. 2021-08-01]. Dostupné na/Available on: <http://geoportal.uhul.cz/mapy/mapylho.html>
- WERMELINGER B. 2004. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *Forest Ecology Management*, 202: 67–82. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.07.018
- WERMELINGER B., SEIFERT M. 1999. Temperature-dependent reproduction of the spruce bark beetle *Ips typographus*, and analysis of the potential population growth. *Ecological Entomology*, 24 (1): 103–110. DOI: 10.1046/j.1365-2311.1999.00175.x

PROGNOSIS OF BARK BEETLE OUTBREAK AND A NEW PLATFORM FOR THE DISSEMINATION OF INFORMATION ABOUT THE FORESTS IN THE CZECH REPUBLIC

SUMMARY

European forests are experiencing an increasing level of disturbance from wind, fires, drought, and insects. Tree-killing bark beetles are the most damaging biotic agents globally, which particularly thrive in a warmer climate. During the recent decades, many European countries, including Slovakia, Germany, Austria, France, Poland, and Sweden, have experienced outbreaks of unprecedented intensity, which affected timber markets, the environment, and the quality of life of many inhabitants. The Czech Republic has become Europe's epicentre of bark beetle outbreaks. The annual salvage harvest due to the insect infestation (mainly bark beetles) increased in Czechia from 2.31 mil. m³ in 2015, to 13.06 mil. m³ in 2018, 22.78 mil. m³ in 2019 and 26.24 mil. m³ in 2020. At the same time, the total forest standing volume decreased from 511 mil m³ in 2011–2014 to 430 mil. m³ in 2019. The questions frequently asked by national authorities, public and international experts are how the outbreak can develop in the following years and decades, and how large the influx of salvaged trees on the markets will be.

We used various forestry data, including forest disturbance statistics covering period 2003–2019, to develop a statistical model predicting outbreak development for the next three years. The models combine available forestry statistics with a fundamental understanding of bark beetle dynamics. The prognosis is based on the statistical forecasting model Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA) with an automatized parameter estimation. The prognoses, including their prediction intervals, were calculated separately for all administrative districts of the Czech Republic ($n = 88$). The district-specific prognoses were then summed to provide a country-wide estimate.

Because the transfer of knowledge from research to policy- and decision-making is insufficient globally, often reducing the quality of management responses, we developed a web-map application (Fig. 1, 2 and 3) that provides access to the prognosis in an interactive and user-friendly manner (<https://mapy.fld.czu.cz>). Moreover, the application makes accessible diverse information about wind and fire disturbance in the Czech Republic, projections of future forest productivity, and other aspects of forest dynamics and management. We described here the structure, content, and technical implementation of the application.

The prognoses indicated that 19 out of 88 districts could run out of spruce growing stock due to the outbreak in the following three years. In 2021–2023, the estimated volume of killed trees is 34–40 mil. m³ annually, with a prediction interval of 22–52 mil. m³ (Tab. 1). The outbreak was forecasted to culminate in the current outbreak areas in south-central Bohemia until the depletion of local resources, and it is likely to expand westward. The forecasting model does account for the availability of resources; however, it relies on the recent trend's extrapolation without accounting for various regulation mechanisms.

The prognoses were primarily developed to support national forestry decision- and policy-making, though they are also relevant for the international community. The forecasting model was implemented in a semi-automatized manner to allow for a flexible update of the prognosis as soon as new forest damage statistics are published. The presented web-map application can ease the transfer of knowledge to state administration, forest owners and managers, and support research and education.

Zasláno/Received: 22. 06. 2021

Přijato do tisku/Accepted: 03. 08. 2021