

VYUŽITÍ PRŮBĚŽNÝCH HLÁŠENÍ MNOŽSTVÍ ZPRACOVANÝCH KŮROVCOVÝCH TĚŽEB SMRKOVÉHO DŘÍVÍ PRO PREDIKCI CELOROČNÍCH OBJEMŮ

UTILIZATION OF INTERIM REPORTS ON PROCESSED SPRUCE BARK BEETLE SALVAGE LOGGING FOR PREDICTION OF ANNUAL VOLUMES

JAN LUBOJACKÝ - ADAM VÉLE - JAKUB ŠPOULA ✉ - MILOŠ KNÍŽEK

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v. v. i., Strnady 136, 252 02 Jíloviště, Czech Republic

✉ e-mail: spoula@vulhm.cz

ORCID: J. Lubojacký 0009-0001-6967-0278

J. Špoula 0000-0001-9602-8048

A. Véle 0000-0002-9141-6049

M. Knížek 0000-0003-3221-9448

ABSTRACT

Accurate and timely prediction of bark beetle-related timber volumes is essential for minimizing economic losses and for ensuring effective logistics management in both the forestry and wood-processing sectors. Therefore, this study focuses on analysing the predictive capacity of interim reports on salvage logging volumes to estimate the final annual impacts of bark beetle outbreaks. Based on a regression analysis of time-series data from the Czech Republic (2007–2024), we examined the relationship between mid-year and three-quarter reports and the total annual volume of bark beetle-affected timber. The results demonstrate a very strong correlation for both reporting periods. However, the analysis revealed that the relationship between mid-year and annual volumes does not correspond to a simple linear doubling; instead, it requires the application of a multiplication factor of approximately 3.1. This pattern reflects the phenology of the spruce bark beetle (*Ips typographus*) and delays in detecting infestations during the first half of the year. In contrast, three-quarter reports show high stability and align with the theoretical expectation of volume completion at the end of the year. The study confirms that interim reporting can serve as a robust tool for early prediction and strategic planning in forest management.

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

Klíčová slova: evidence v lesnictví; *Ips typographus*; prognóza; nahodilá těžba; časové řady

Key words: forestry records; *Ips typographus*; prediction; salvage logging; time series

ÚVOD

V posledním desetiletí čelí lesní ekosystémy střední Evropy zvýšenému tlaku biotických i abiotických škodlivých činitelů (PATACCA et al. 2023). Periody intenzivního sucha a vysokých teplot zvyšují náchylnost porostů k napadení patogeny i hmyzími škůdci, zejména podkorním hmyzem (ANDEREGG et al. 2015; NETHERER et al. 2021). Kombinace klimatického stresu a gradací škůdců vede k rozsáhlé mortalitě porostů a zásadně mění možnosti a způsoby využití hospodářských lesů (WERMELINGER et al. 2004; MARINI et al. 2017; THORN et al. 2018).

Gradace lýkožrouta smrkového (*Ips typographus* L.) zaznamenala v posledních dvou dekádách v Evropě výrazný nárůst a stala se jedním z hlavních faktorů ovlivňujících strukturu těžeb (PATACCA et al. 2023). V mnoha regionech převýšily objemy nahodilých těžeb těžby úmysl-

né, v důsledku čehož se projevil významné ekologické a ekonomické dopady doprovázené zvýšenými nároky na logistiku zpracování dříví (KÄRHÄ et al. 2018; RAUCH et al. 2024).

Pro efektivní plánování a stabilizaci dřevařského trhu je nezbytný včasný a spolehlivý odhad rozsahu nahodilých těžeb (PATACCA et al. 2023). Běžně používané (feromonové lapače) i pokročilé (dálkový průzkum Země) metody monitoringu mohou poskytovat obstojné údaje, avšak v provozních podmínkách často narážejí na praktická omezení (ŠRAMEL et al. 2021; KAUTZ et al. 2024). Naopak administrativní data o průběžné evidenci nahodilých těžeb, standardně používaná v lesním hospodářství, mohou představovat rychle dostupný informační zdroj, jehož potenciál je dosud málo využíván.

Biologicky je pro vývoj kůrovcové kalamity rozhodující první polovina roku, kdy probíhá jarní rojení a vývoj první generace škůd-

ce (FACCOLI, STERGULC 2006; WERMELINGER et al. 2015). Lze proto očekávat, že objem kůrovcového dříví evidovaného v tomto období v sobě nese silnou predikční informaci o celkovém ročním objemu kůrovcových těžeb. Cílem této práce je proto analyzovat vztah mezi průběžnými (pololetními a tříčtvrtletními) hlášeními a finálními ročními objemy nahodilých kůrovcových těžeb na základě časových řad z let 2007–2024. Ověření této závislosti může poskytnout lesnické praxi dostupný a efektivní nástroj pro zpřesnění odhadů těžeb ještě před ukončením vegetační sezóny.

MATERIÁL A METODIKA

Byla analyzována data objemů zpracovaných kůrovcových těžeb smrkového dříví, která vlastníci a správci lesních majetků v České republice dobrovolně hlásí Lesní ochranné službě. Tato data pocházejí z přibližně poloviny rozlohy tuzemských lesů. Hlášení stavu škodlivých faktorů pokrývající období první poloviny roku (tj. 1. 1.–30. 6. běžného roku) a období prvních tří čtvrtin roku (tj. 1. 1.–30. 9. běžného roku) jsou získávána vždy přibližně v polovině prvního měsíce po uplynutí sledovaného období. Celoroční (tj. 1. 1.–31. 12. běžného roku) hlášení jsou poskytována v měsících lednu a únoru následujícího roku.

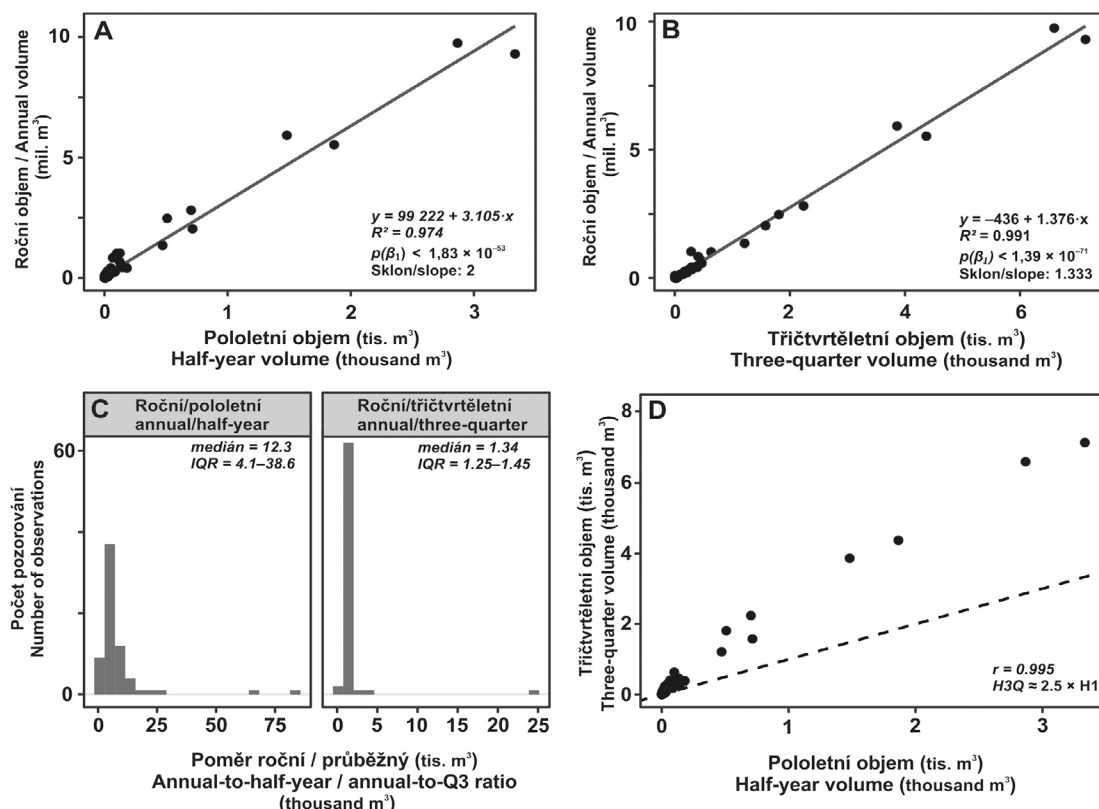
Pro vyhodnocení, jakým způsobem průběžná hlášení predikují skutečné roční objemy kůrovcových těžeb, byly odhadnuty dva lineární regresní modely pomocí funkce `lm` z balíčku `stats`. V prvním modelu byl vysvětlovanou proměnnou celkový roční objem těžeb a vysvětlu-

jící proměnnou pololetní objem. Ve druhém modelu byla obdobně použita tříčtvrtletní hodnota. Oba modely byly odhadnuty metodou nejmenších čtverců a pro každý z nich byl stanoven odhad sklonu regresní přímky, průsečík s osou Y , jejich intervaly spolehlivosti a koeficient determinace (R^2). Tímto postupem bylo možné posoudit, nakolik přesně průběžná hlášení odhadují skutečný roční objem a zda jejich vztah odpovídá teoreticky očekávaným poměrům (tj. zdvojnásobení pololetních objemů a navýšení tříčtvrtletních hodnot přibližně o 33 %). Statistické analýzy byly provedeny a grafy byly vytvořeny pomocí software R (verze 4.5.2).

VÝSLEDKY

Pololetní hlášení

První model s pololetními objemy vykázal velmi vysokou míru vysvětlené variability ($R^2 = 0,97$). Odhadnutý sklon byl $\beta_1 = 3105$ (95 % CI: 2980–3229, $p = 1,83 \times 10^{-53}$), což znamená, že roční objem je v průměru o něco více než trojnásobkem pololetního hlášení. Tento výsledek je výrazně vyšší než teoretická hodnota 2, která by odpovídala jednoduchému zdvojnásobení pololetního objemu. Intercept byl statisticky významný $\beta_0 = 99\,222$ (95 % CI: 20 565–177 879, $p = 0,014$), což indikuje existenci malého systematického posunu. Tento posun je však vzhledem k rozsahu objemů relativně malý a neovlivňuje zásadně praktickou interpretaci modelu (Obr. 1).



Obr. 1.

Lineární vztah mezi pololetním (A), tříčtvrtletním (B) a ročním objemem, plná čára znázorňuje regresní křivku; (C) rozdělení poměrů ročního vůči pololetnímu a ročního vůči tříčtvrtletnímu objemu; (D) vztah mezi pololetními a tříčtvrtletními objemy, přerušovaná čára znázorňuje křivku identity.

Fig. 1.

Linear relationships between half-year (A), three-quarter (B), and annual volumes; the solid line represents the fitted regression curve; (C) distribution of annual-to-half-year and annual-to-three-quarter ratios; (D) relationship between half-year and three-quarter volumes, with the dashed line indicating the identity line.

Tříčtvrtletní hlášení

Model pracující s tříčtvrtletními objemy poskytl ještě přesnější výsledky ($R^2 = 0,99$). Sklon regresní přímky byl $\gamma_1 = 1376$ (95 % CI: 1344–1407, $p = 1,39 \times 10^{-71}$), což je velmi blízko teoretické hodnotě. Interval spolehlivosti navíc tuto hodnotu obsahuje, takže data jsou statisticky konzistentní s očekávaným multiplikačním faktorem při doplnění objemů těžeb v posledním čtvrtletí. Intercept nebyl statisticky významný $\gamma_0 = -436$ (95 % CI: -45 322–44 450, $p = 0,984$), což ukazuje na absenci systematického zkršení. Tříčtvrtletní údaje poskytují výrazně přesnější a stabilnější odhad ročních objemů kůrovcových těžeb než pololetní hlášení, a jsou proto vhodnějším podkladem pro roční predikce (Obr. 1).

DISKUSE

Výsledky potvrzují, že průběžná evidence nahodilých kůrovcových těžeb smrkového dříví poskytuje spolehlivou informaci o celkovém ročním objemu kůrovcového dříví. Obě sledovaná období vykazovala mimořádně vysokou shodu s celkovými ročními hodnotami. Zároveň byly identifikovány výrazné rozdíly ve způsobu interpretace pololetních a tříčtvrtletních dat. Multiplikační faktor pololetních objemů ($\beta_1 \approx 3,1$) souvisí s rychlostí evidence a fenologií lýkožrouta smrkového. Napadené stromy z jarního rojení mohou být vyhledány a zpracovány, respektive evidovány se zpožděním, a hlavní objem zpracovávaného dříví pochází až z letní generace (červenec–srpen), která má v gradaci vyšší početnost (WERMELINGER 2004; FACCOLI, STERGULC 2006). Hlavní nárůst objemu napadeného dříví je tak spojen až s vývojem druhé a sesterské generace v letních měsících (WERMELINGER 2004). Pololetní hlášení k 30. 6. proto zachycují pouze část první generaci skutečně napadených stromů, zatímco kulminace těžeb nastává později. Statisticky významný intercept pravděpodobně odráží základní úroveň těžeb mimo hlavní období rojení (stromy napadené v předchozím roce, jednotlivé vývraty apod., jež jsou evidovány nezávisle na intenzitě aktuálního rojení; MARINI et al. 2017). Naopak tříčtvrtletní hodnoty vykazují téměř ideální soulad s teoretickými předpoklady. K poslednímu září je již evidována většina kůrovcového dříví dané sezóny, neboť aktivita škůdce v této době končí (WERMELINGER et al. 2015).

ZÁVĚR

Z hlediska praktické využitelnosti je zřejmé, že zatímco tříčtvrtletní data umožňují velmi přesný a přímý odhad finálního stavu, u pololetní evidence je nezbytné zohlednit specifický multiplikační faktor, reflektující nelineární biologickou dynamiku škůdce. Průběžná data o objemu kůrovcových těžeb, systematicky shromažďovaná a publikovaná Lesní ochrannou službou, tak představují nejen cenný statistický zdroj, ale i robustní nástroj pro predikci celkového ročního objemu těžeb.

Poděkování:

Článek vznikl za podpory výzkumného projektu Ministerstva zemědělství ČR NAZV QK23020126, institucionální podpory MZE-RO0123 a smlouvy na zajištění Lesní ochranné služby.

LITERATURA

- ANDEREGG W.R.L., HICKE J.A., FISHER R.A., ALLEN C.D., AUKEMA J., BENTZ B., HOOD S., LICHSTEIN J.W., MACALADY A.K., MCDOWELL N., PAN Y., RAFFA K., SALA A., SHAW J.D., STEPHENSON N.L., TAGUE C., ZEPPEL M. 2015. Tree mortality from drought, insects, and their interactions in a changing climate. *New Phytologist*, 208: 674–683. DOI: 10.1111/nph.13477
- FACCOLI M., STERGULC F. 2006. A practical method for predicting the short-time trend of bivoltine populations of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology*, 130: 61–66. DOI: 10.1111/j.1439-0418.2005.01019.x
- KÄRHÄ K., ANTONEN T., POIKELA A., PALANDER T., LAURÉN A., PELTOLA H., NUUTINEN Y. 2018. Evaluation of salvage logging productivity and costs in windthrown Norway spruce-dominated forests. *Forests*, 9: 280. DOI: 10.3390/f9050280
- KAUTZ M., FEURER J., ADLER P. 2024. Early detection of bark beetle (*Ips typographus*) infestations by remote sensing – A critical review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 556: 121595. DOI: 10.1016/j.foreco.2023.121595
- MARINI L., ØKLAND B., JÖNSSON A.M., BENTZ B., CARROLL A., FORSTER B., GRÉGOIRE J.-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
- NETHERER S., KANDASAMY D., JIROSOVÁ 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
- PATACCA M., LINDNER M., NABUURS G.-J., SCHELHAAS M.-J., PATACCA K., HLASNY T., SEIDL R., SENF C., DE RIGO D., NOCETTI M., MELEY P., PIROTTI E., BOTEQUIM B., VAUHKONEN E., DI LEO M., MARINI L., SANCHEZ A., BARÁNEK J., BENTSEN N.S., BOROWSKI J., BORRASS L., BRUNET J., CAMPAGNARO T., CANDELARIO J., CHERUBINI F., DOBOR L., ĐORDEVIĆ I., ENGESSER A., FORZIERI G., GRUBA P., HJELM K., HOLMGREN S., IACOVELLI G., KAMAR G.K., KAS B., KAŠPAR J., KEREY G., KONŌPKA B., KRISTENSEN L.D., KROKENE P., LA PORTA N., LALIĆ B., LAZDINS A., LINDEMAN M., LUKAC M., MERGANIČ J., MERGANIČOVÁ K., MILIS M., PEÑUELAS J., PISEK V., PUCHAŁKA R., RAMAGE B., RÖSSIGER J., SAGHEB-TALEBI K., SANDSTRÖM J., SCHUCK A., SIMIONI G., SKOVSGAARD J.-P., SUROVÝ P., SVOBODA M., TEODOSIU T., THOM D., TRAJKOVIĆ D., TROTSIUK V., URBAN J., VALLEJO R., VÍTKOVÁ J., ZGAGA M., ZLINSZKY A., JONARD F. 2023. Significant increase in natural disturbance impacts on European forests since 1950. *Global Change Biology*, 29: 1359–1376. DOI: 10.1111/gcb.16560
- RAUCH P., WOLFSMAYR U.J., GRONALT M. 2024. Logistics challenges in salvage wood supply chains: A review. *International Journal of Forest Engineering*, 35: 20–34.
- ŠRAMEL N., KAVČIČ A., KOLŠEK M., DE GROOT M. 2021. Estimating the most effective and economical pheromone for monitoring the European spruce bark beetle. *Journal of Applied Entomology*, 145: 312–325. DOI: 10.1111/jen.12853

- THORN S., BÄSSLER C., BRANDL R., BURTON P.J., CAHALL R., CAMPBELL J., CASTRO J., COBB T., DONATO D.C., DYDO L., FONTAINE J.B., GMINDER A., HEBERT C., HILSZCZANSKI J., HUTTO R.L., KEREN S., KAUS A., KOIVULA M., KOUKI J., LEHNERT L., MÜLLER J., MÜHLETHALER R., NIITANI H., ODOR P., RANIUS T., RŮŽIČKA V., SCHAFFRATH I., SHOYON T.A., STAUDENMAIER T., STENLID J., STEIDL R.J., STRAKA J., SVOBODA M., VESELÝ P., VIERLING K.T., WEISHAMPEL J., WIENS J.D., WIRTH C., WUNDERLE JR. J.M. 2018. Impacts of salvage logging on biodiversity: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 55: 279–289. DOI: 10.1111/1365-2664.12942
- WERMELINGER B. 2004. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 202: 67–82. DOI: 10.1016/j.foreco.2004.07.018
- WERMELINGER B. 2015. The spruce bark beetle, *Ips typographus* (L.) (Coleoptera: Scolytinae). In: Vega F. E., Hofstetter R. W. (eds.): *Bark beetles: Biology and ecology of native and invasive species*. Amsterdam, Elsevier – Academic Press: 213–251. ISBN: 978-0-124-17156-5

UTILIZATION OF INTERIM REPORTS ON PROCESSED SPRUCE BARK BEETLE SALVAGE LOGGING FOR PREDICTION OF ANNUAL VOLUMES

SUMMARY

In the last decade, forest ecosystems in Central Europe have faced increased pressure from biotic and abiotic damaging agents (PATACCA et al. 2023). Periods of intense drought and high temperatures increase the susceptibility of stands to infestation by pathogens and insect pests, particularly bark beetles (ANDEREGG et al. 2015; NETHERER et al. 2021). The combination of climatic stress and pest outbreaks leads to extensive tree mortality and fundamentally alters the possibilities and methods of forest management (WERMELINGER et al. 2004; MARINI et al. 2017; THORN et al. 2018).

Consequently, the outbreak of the spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) has seen a significant increase in Europe over the last two decades, becoming one of the main factors influencing the structure of timber harvesting (PATACCA et al. 2023). In many regions, the volumes of salvage logging have exceeded planned logging, resulting in significant ecological and economic impacts accompanied by increased demands on timber processing logistics (KÄRHÄ et al. 2018; RAUCH et al. 2024). Timely and reliable estimation of the extent of salvage logging is therefore essential for effective planning and stabilization of the timber market (PATACCA et al. 2023). While commonly used monitoring methods (pheromone traps) and advanced techniques (remote sensing) can provide decent data, they often encounter practical limitations in operational conditions (ŠRAMEL et al. 2021; KAUTZ et al. 2024).

This study analyzes the predictive capacity of administrative data on the continuous recording of salvage logging, a standard yet underutilized source in forestry. Biologically, the development of a bark beetle calamity is decisively determined by the first half of the year, during which spring swarming and the development of the first generation occur (FACCOLI, STERGULC 2006; WERMELINGER 2015). Therefore, it is expected that the volume of bark beetle timber recorded during this period carries strong predictive information regarding the total annual volume of salvage logging.

Based on a regression analysis of time-series data from the Czech Republic (2007–2024), we examined the relationship between interim reports (mid-year and three-quarter) and final annual volumes. The results demonstrate a very strong correlation for both reporting periods. However, the analysis revealed that the relationship between mid-year and annual volumes does not correspond to a simple linear doubling; instead, it requires the application of a multiplication factor of approximately 3.1. This pattern reflects the phenology of the spruce bark beetle and delays in detecting infestations. Infested trees from spring swarming may be located and processed (or recorded) with a delay, and the main volume of processed timber originates from the summer generation (July–August), which has a higher abundance during outbreaks (WERMELINGER 2004; FACCOLI, STERGULC 2006). The main increase in the volume of infested timber is thus associated with the development of the second and sister generations in the summer months (WERMELINGER 2004).

The statistically significant intercept in the model likely reflects the baseline level of logging outside the main swarming period (trees infested in the previous year, individual windthrows, etc., which are recorded independently of the current swarming intensity) (MARINI et al. 2017). In contrast, three-quarter reports show high stability and align with the theoretical expectation of volume completion at the end of the year. By the end of September, the majority of bark beetle timber for the given season is already recorded, as the pest activity ceases at this time (WERMELINGER et al. 2015). The study confirms that interim reporting can serve as a robust tool for early prediction and strategic planning in forest management.

Zasláno/Received: 07. 12. 2025

Přijato do tisku/Accepted: 19. 12. 2025

