

VÝVOJ ROČNÉHO OBJEMU LYKOŽRÚTOM NAPADNUTÉHO DREVA V SMREČINÁCH NA SLOVENSKU OD ROKU 1973: ANALÝZA A PROGNÓZA

ŠTEFAN PAVLÍK¹, JOZEF VAKULA²,

JURAJ GALKO², ANDREJ GUBKA², ANDREJ KUNCA²

¹Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, T. G. Masaryka 20, SK – 960 53 Zvolen

²Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen,
Stredisko lesníckej ochrannárskej služby, Lesnícka 11, SK – 969 23 Banská Štiavnica

PAVLÍK Š., VAKULA J., GALKO J., GUBKA A., KUNCA A.: Dynamics of annual volume of timber infested by spruce bark beetles in spruce forests of Slovakia since 1973: Analysis and prognosis. *Lesn. Čas. – Forestry Journal*, **56**(3): 235 – 245, 2010, 5 fig., ref. 7. Original paper. ISSN 0323 – 10468

Based on the data on the volume of timber infested by spruce bark beetles in 1973 – 2008 taken from the *Reports on the occurrence of injurious agents in Slovak forests*, we have attempted to analyse dynamics of an increase in the annual volume of timber infested by spruce bark beetles in Slovakia during these years and to predict subsequent development of a spruce bark beetle outbreak during the next 5 – 10 years using principles of the chaos theory and non-linear dynamics as an alternative approach to the classic stochastic analysis and prognosis.

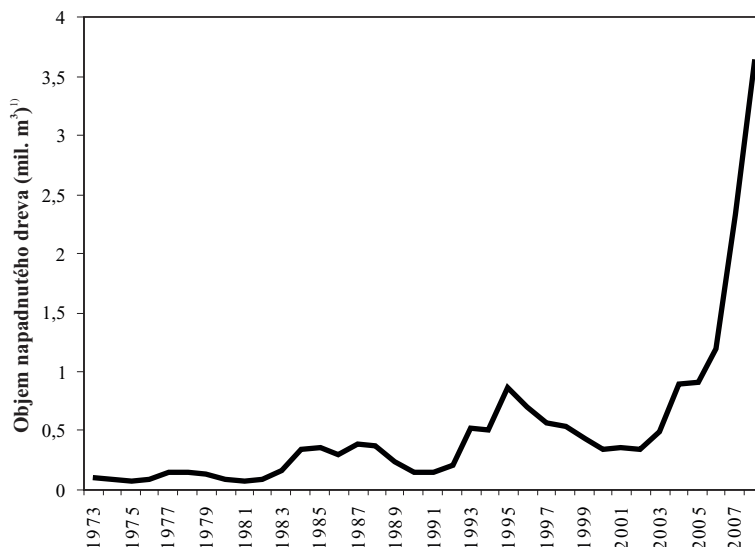
Key words: spruce bark beetle (*Ips typographus* L.), salvage felling, non-linear dynamics, chaos theory, prognosis

Na základe údajov v *Elaborátoch o výskyte škodlivých činiteľov v lesoch Slovenska* za roky 1973 – 2008 o objeme lykožrútom napadnutého dreva sme sa v príspevku pokúsili analyzovať dynamiku nárastu ročného objemu lykožrútom napadnutého dreva na Slovensku v uvedených rokoch a prognózovať ďalší vývoj lykožrútovej kalamity v najbližších 5 – 10 rokoch s využitím princípov teórie chaosu a nelineárnej dynamiky ako alternatívneho prístupu ku klasickej stochastickej analýze a prognóze.

Kľúčové slová: lykožrút smrekový (*Ips typographus* L.), náhodná ťažba, nelineárna dynamika, teória chaosu, prognóza

1. Úvod a problematika

Lykožrút smrekový (*Ips typographus* L.) patrí v smrekových lesoch na Slovensku medzi najvýznamnejších podkôrných škodcov s vysokou agresivitou a deštruktívnym potenciálom voči smrečinám. Pri premnožení je schopný napádať aj relatívne zdravé



Obr. 1. Vývoj objemu lykožrútom napadnutého dreva na Slovensku v rokoch 1973 – 2008 na základe údajov v Elaborátoch o výskyte škodlivých činiteľov v lesoch Slovenska (NLC-LOS Banská Štiavnica)

Fig. 1. Volume of timber infested by spruce bark beetles in Slovakia during 1973–2008 based on the data in the Reports on the occurrence of injurious agents in Slovak forests (NLC-LOS Banská Štiavnica).

¹⁾Volume of infested timber (in millions of m³)

smreký a spôsobovať odumieranie smrekových porastov na rozsiahlych výmerách. Od 70. rokov minulého storočia je evidentný exponenciálny nárast ročného objemu lykožrútom napadnutého dreva na Slovensku s výraznými vrcholmi v rokoch 1984 – 1988, 1995 a najmä po roku 2004, kedy došlo k viac ako 4-násobnému nárastu objemu lykožrútovej kalamity v porovnaní s predchádzajúcim vrcholom v roku 1995 (obr. 1). Hlavnou príčinou premnoženia bola vetrová kalamita z roku 2004 (centrálne jadrové pohoria) a fyziologické oslabenie smrečín v dôsledku meniacich sa ekologických podmienok s následnou aktivizáciou podpňovky (flyšové oblasti). V roku 2008 bolo týmto škodcom napadnutých takmer 3,7 mil. m³ smrekovej hmoty s predpokladaným narastajúcim trendom v najbližších rokoch (KUNCA *et al.* 2009).

Využívajúc údaje z *Elaborátov o výskyte škodlivých činiteľov v lesoch Slovenska* o objeme lykožrútom napadnutého dreva v rokoch 1973 – 2008 sme sa v príspevku pokúsili analyzovať dynamiku nárastu ročného objemu lykožrútom napadnutého dreva na Slovensku v uvedených rokoch a prognózovať ďalší vývoj lykožrútovej kalamity v najbližších 5 – 10 rokoch s využitím princípov teórie chaosu a nelineárnej dynamiky ako alternatívneho prístupu ku klasickej stochastickej analýze a prognóze.

2. Materiál a metódy

Podklady pre analýzu časového radu vývoja objemu lykožrútom napadnutého dreva na Slovensku v rokoch 1973 – 2008 sme vyhľadali v *Elaborátoch o výskyte škodlivých činiteľov v lesoch Slovenska* za roky 1973 – 2008 (NLC-LOS Banská Štiavnica). Pri analýze daného časového radu sme využili možnosti analýzy nelineárnych dynamických systémov s aplikáciou teoretických princípov teórie chaosu a aplikovanej chaotickej dynamiky ako alternatívny prístup ku klasickým metódam stochastickej analýzy časových radov.

Pre analýzu trajektórie vývoja daného časového radu z hľadiska chaotickej dynamiky sme použili Ruelleovu-Takensovu metódu rekonštrukcie fázového priestoru (RUELLE & TAKENS 1971) založenú na vykreslení trajektórie časového radu vo fázovom priestore predstavujúcom ročný objem lykožrútom napadnutého dreva v danom roku (N_t) a v nasledujúcom roku (N_{t+1}).

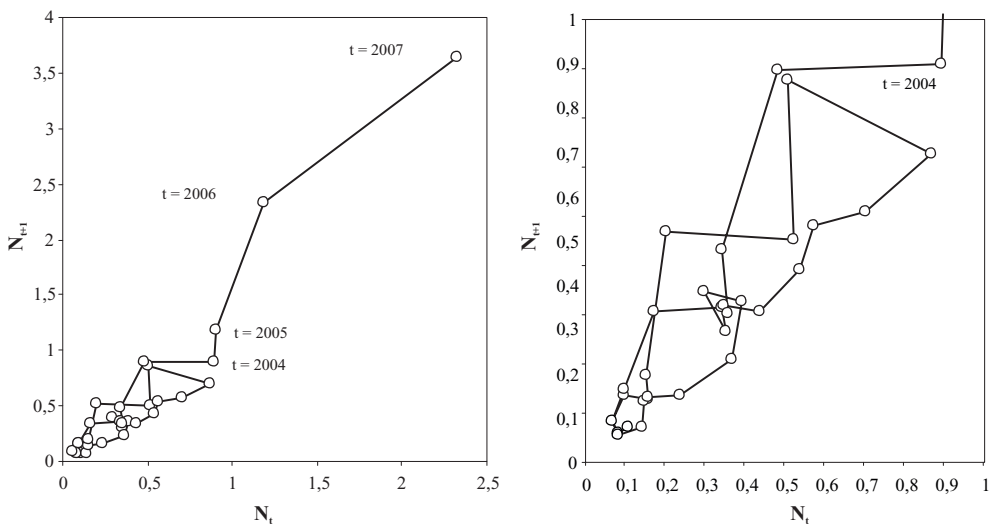
Pre prognózu ďalšieho vývoja ročného objemu lykožrútom napadnutého dreva z hľadiska aplikácie teórie chaosu sme použili metódu Buchlerovho polynomiálneho rozvoja (BUCHLER 1993), pomocou ktorej je možné kvantitatívne popísať trajektóriu daného systému v rekonštruovanom fázovom priestore na základe globálneho polynomiálneho rozvoja, a tak skonštruovať empirický dynamický model ekvivalentný pozorovanému časovému radu (LIU & POVINELLI & JOHNSON 2003, POVINELLI *et al.* 2006).

Okrem toho sme pre porovnanie využili aj možnosti klasickej stochastickej prognózy vývoja časového radu založenej na metóde ARIMA (BOX & JENKINS 1976, CIPRA 1986). Na aspoň čiastočné odstránenie nestacionarity časového radu boli hodnoty časového radu transformované cez prirodzený logaritmus a následne, aby sa odstránila periodická závislosť dát a tým aj väčšina autokorelácií, využila sa transformácia časového radu diferencovaním s rádom 1. Na odstránenie sezónnosti časového radu sa použila transformácia časového radu cez sezónne diferencovanie s periódou o dĺžke 9. Na základe tvaru získaných autokorelačných a parciálnych autokorelačných funkcií sa použil multiplikatívny sezónny model ARIMA s periódou 9 a s nesezónnym diferencovaním rádu 1 hodnôt časového radu transformovaných cez prirodzený logaritmus. Pre model sa odhadli 2 operátory kľzavých priemerov (jeden sezónny a druhý nesezónny), pričom do modelu nebol zahrnutý žiadny autoregresívny operátor (model ARIMA (0,1,1) (0,1,1) so sezónnym posunom 9). Všetky štatistické analýzy sa vykonali s využitím štatistického softvéru Statistica 7.0.

3. Výsledky a diskusia

Keď analyzujeme trajektóriu vývoja daného časového radu reprezentovaného údajmi o ročnom objeme lykožrútom napadnutého dreva na Slovensku v rokoch 1973 – 2008 vo fázovom priestore rekonštruovanom na základe Ruelleovej-Takensovej metódy, zistíme, že do roku 2004 ročný objem lykožrútom napadnutého dreva vykazoval viac-menej stabilnú kvázi periodickú dynamiku v zmysle viac alebo menej pravidelných cyklických fluktuácií s približne 9-ročnou periódou a s väčšími či menšími amplitúdami výchylek do 1 mil. m³ s rastúcim trendom. Od roku 2004 však dochádza k výraznej zmene dynamiky trajektórie (obr. 2). Ročný objem lykožrútom napadnutého dreva presiahol 1 mil. m³ a začal exponenciálne narastať (obr. 1). Časový rad sa stal nestacionárny a celý systém sa stal dynamicky nestabilný, takže jeho ďalší vývoj je len ťažko predvídateľný.

Na základe daného časového radu reprezentovaného údajmi o objeme lykožrútmami napadnutého dreva na Slovensku v rokoch 1973 – 2008 preto nie je možné jednoznačne určiť mieru chaotickeho správania sa daného dynamického systému. Práve pri hodnotách ročného objemu lykožrútmami napadnutého dreva okolo 3,5 – 3,6 mil. m³ (čo zodpovedá stavu v roku 2008) sa dostáva tento dynamický systém na rozhranie

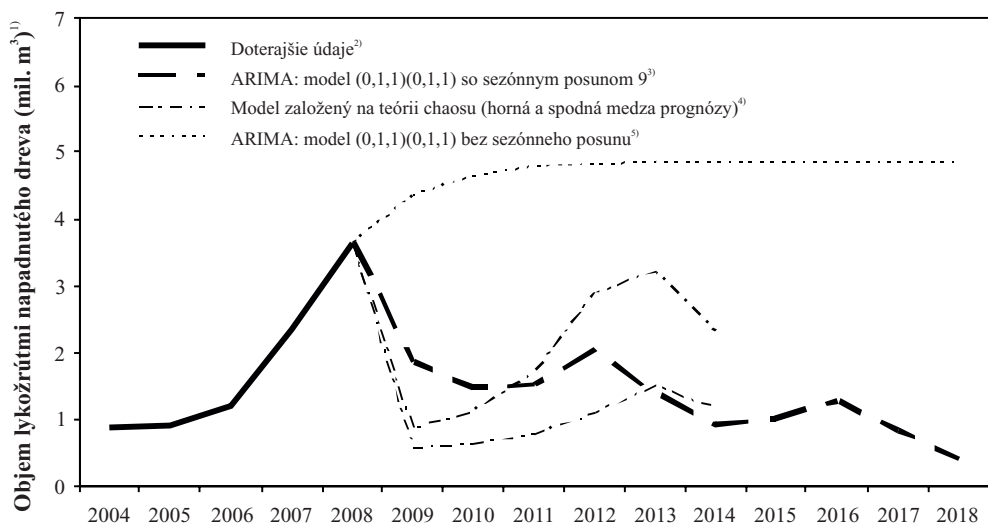


Obr. 2. Trajektória časového radu reprezentovaného údajmi o objeme lykožrútom napadnutého dreva na Slovensku v rokoch 1973 – 2008 (v mil. m³) vo fázovom priestore rekonštruovanom na základe Ruelleovej-Takensovej metódy a predstavujúcom ročný objem lykožrútom napadnutého dreva v danom roku (N_t) a nasledujúcom roku (N_{t+1}) (vľavo) a detail trajektórie pre roky 1973 – 2004 (vpravo)

Fig. 2. The trajectory of the time series represented by the data on the volume of timber infested by spruce bark beetles in Slovakia during 1973–2008 (in millions of m³) in a phase space reconstructed based on the Ruelle-Takens method and defined by the annual volume of timber infested by spruce bark beetles in a particular year (N_t) and in the following year (N_{t+1}) (in the left) and a detail of the trajectory for years 1973–2004 (in the right).

medzi nízkodimenzionálnym chaosom a náhodným (stochastickým) správaním, a je preto veľmi citlivý na zmeny parametrov predikčného modelu. Navyše kvôli exponenciálnej nestacionarite časového radu nie je možné matematicky exaktne nájsť diferenčnú rovnicu vystihujúcu s dostatočnou presnosťou doterajšie správanie modelovaného dynamického systému. Okrem toho väčšina metód detekcie chaosu v dynamických nelineárnych systémoch vyžaduje časový rad zahŕňajúci minimálne 5 kompletných cyklov, pričom každý cyklus musí pozostávať najmenej z 3 hodnôt, inak sú chyby analýzy príliš veľké a jemné podrobnosti charakteristické pre chaos sa v nich strácajú. Z týchto dôvodov sa použili rôzne metódy prognózy vývoja ročného objemu lykožrútmí napadnutého dreva.

V prípade použitia modelu založeného na aplikácii teórie chaosu je v tomto prípade horizont prognózy len 5 rokov. Potom sa spoľahlivosť prognózy výrazne znižuje kvôli tzv. „motýliemu efektu“ – aj malá zmena počiatkových podmienok môže spôsobiť veľké zmeny v dlhodobom správaní sa systému (čo je mimochodom jav známy aj pri predpovedaní počasia, kedy sa predpovede na viac ako 3 – 5 dní stávajú nespoľahlivé).



Obr. 3. Prognóza vývoja ročného objemu lykožrútom napadnutého dreva v časovom horizonte 5 – 10 rokov s využitím analýzy časových radov (metóda ARIMA) a aplikácie teórie chaosu (metóda Buchlerovho polynomiálneho rozvoja so stanovením dolnej a hornej medza prognózy)
 Fig. 3. Prediction of development of the annual volume of timber infested by spruce bark beetles during the next 5 – 10 years using the time series analysis (ARIMA method) and application of the chaos theory (method of the Buchler's polynomials with setting the upper and lower limits of prediction).

¹⁾Volume of timber infested by spruce bark beetles (in millions of m³), ²⁾Present data, ³⁾ARIMA: model (0,1,1)(0,1,1) with seasonal lag 9, ⁴⁾Model based on the chaos theory, ⁵⁾ARIMA: model (0,1,1)(0,1,1) without seasonal lag

Dve krivky na obrázku 3 v tomto prípade súvisia práve so zohľadnením rôznych východiskových podmienok pre prognózu vzhľadom na taxatívne stanovenú $\pm 10\%$ chybu zistenia objemu lykožrútmí napadnutej hmoty v roku 2008 (t. j. $3,64 \pm 0,36$ mil. m³) a predstavujú hornú a spodnú medzu prognózy.

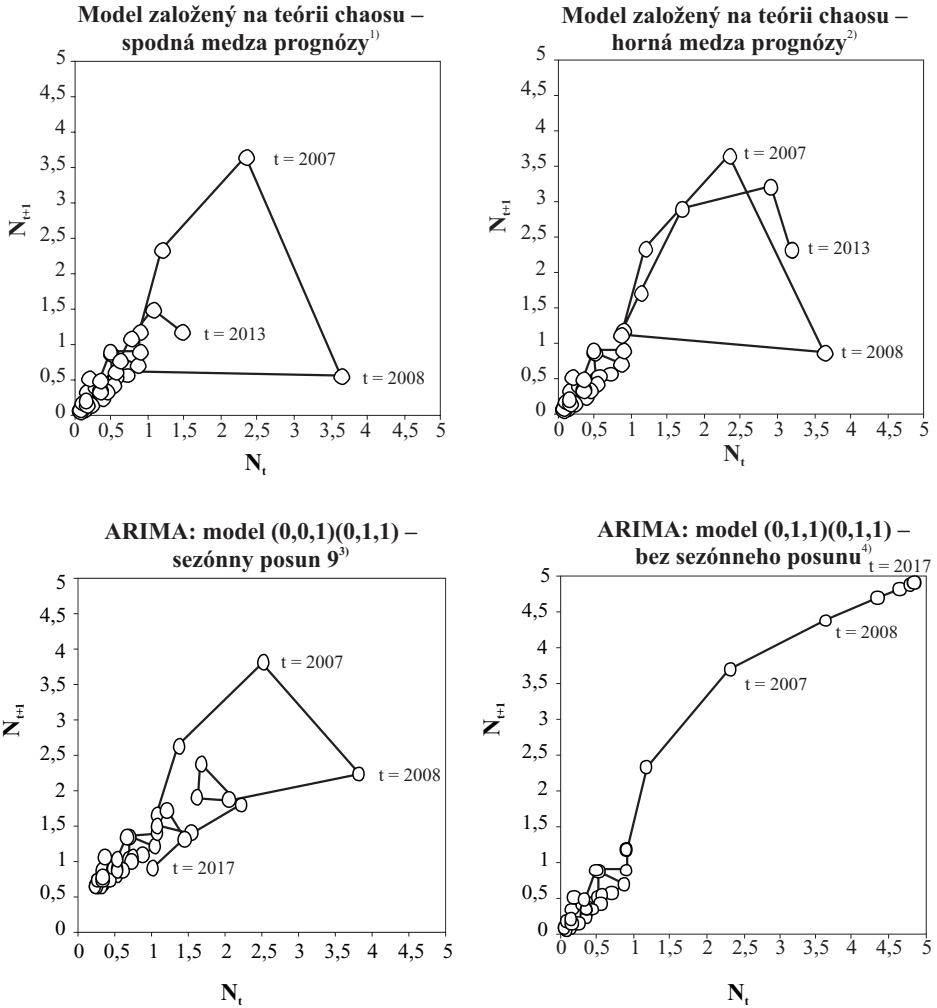
Model ARIMA (0,1,1)(0,1,1) zahrňuje parametre odvodené zo stochastickej analýzy časového radu reprezentovaného údajmi o objeme lykožrútmí napadnutého dreva na Slovensku v rokoch 1973 – 2008. V prípade zakompovania približne 9-ročnej periódy cyklov model vykazuje stabilizujúcu sa kvázi periodickú dynamiku v zmysle viac alebo menej pravidelných cyklických fluktuácií s približne 4-ročnou periódou a s väčšími či menšími amplitúdami výchyliek s klesajúcim trendom v najbližších 10 rokoch (obr. 3). Ak však vyjdeme z predpokladu, že dynamický systém v dôsledku nestacionárneho exponenciálneho rastu stratil periodicitu (resp. kvázi periodické kolísanie), potom možno očakávať v priebehu najbližších 10 rokov permanentne sa zvyšujúci ročný objem lykožrútmí napadnutého dreva až k hranici okolo 4,3 – 4,9 mil. m³ ročne (obr. 3).

Na základe Ruelleovej-Takensovej rekonštrukcie fázového priestoru trajektórie vývoja daného časového radu reprezentovaného údajmi o objeme lykožrútni napadnutého dreva na Slovensku v rokoch 1973 – 2008 rozšíreného o hodnoty prognózovaného vývoja v časovom horizonte 5 – 10 rokov podľa jednotlivých modelov (obr. 4) môžeme povedať, že existujú v podstate tri kvalitatívne scenáre ďalšieho vývoja lykožrútovej kalamity na Slovensku v časovom horizonte 5 – 10 rokov: (1) ročný objem lykožrútni napadnutého dreva sa postupne vráti na hodnoty spred roku 2004 a ročný objem lykožrútni napadnutého dreva bude kvázi periodicky fluktuovať s väčšími či menšími amplitúdami výchylek do 1 mil. m³ ročne ako tomu bolo v rokoch 1973 – 2004 (obr. 4 – model založený na teórii chaosu na spodnej medzi prognózovaného objemu alebo stochastický model ARIMA (0,1,1)(0,1,1) so sezónnym posunom 9), (2) dynamika systému nadobudne kvalitatívne inú úroveň ako pred rokom 2004 a ročný objem lykožrútni napadnutého dreva bude kvázi periodicky fluktuovať v rozmedzí približne 1 – 4 mil. m³ ročne (obr. 4 – model založený na teórii chaosu na hornej medzi prognózovaného objemu) alebo (3) ročný objem lykožrútni napadnutého dreva sa bude nestacionárne exponenciálne zväčšovať až k hranici 5 mil. m³ ročne (obr. 4 – stochastický model ARIMA (0,1,1)(0,1,1) bez sezónneho posunu).

To, ktorý z uvedených potenciálnych scenárov ďalšieho vývoja lykožrútovej kalamity na Slovensku v časovom horizonte 5 – 10 rokov je pravdepodobnejší/najpravdepodobnejší, nie je možné exaktne posúdiť, pretože dynamický systém reprezentovaný údajmi o ročnom objeme lykožrútni napadnutého dreva na Slovensku v rokoch 1973 – 2008 sa nachádza vzhľadom na charakter svojej dynamiky na rozhraní medzi chaotickým a náhodným správaním, a je preto veľmi citlivý na zmeny parametrov predikčného modelu. Aj malá zmena parametrov vedie k prechodu na stochastické/chaotické správanie, a tak k úplne odlišným prognózam ďalšieho vývoja.

Okrem toho si treba uvedomiť, že hoci tri zo štyroch scenárov ďalšieho vývoja lykožrútovej kalamity na Slovensku predikujú výrazný pokles ročného objemu lykožrútni napadnutého dreva, vzhľadom na princípy teórie chaosu (predovšetkým citlivú závislosť na východiskových podmienkach) nie je možné určiť časový horizont, kedy k tomu dôjde. Z tohto hľadiska preto treba uvedené scenáre chápať ako kvalitatívne, postihujúce všeobecné kvalitatívne rysy správania sa systému. Vieme teda predikovať, k čomu v priebehu 5 – 10 rokov dôjde (pokles ročného objemu lykožrútni napadnutého dreva zhruba na úroveň okolo 0,5 – 0,9 mil. m³ a následný nárast na zhruba 1,5 – 3,2 mil. m³ s opätovným poklesom – obr. 3), ale nevieme, kedy k tomu dôjde.

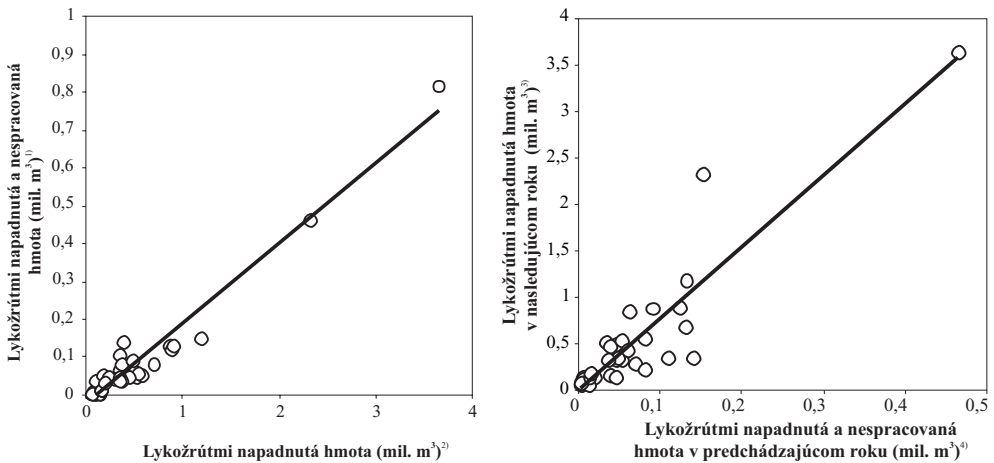
Navyše z korelačnej analýzy závislosti medzi objemom nespracovaného, lykožrútni napadnutého dreva a objemom lykožrútni napadnutého dreva (obr. 5) vyplýva, že so zvyšujúcim sa množstvom lykožrútni napadnutého dreva sa v danom roku štatisticky vysoko preukazne zvyšovalo množstvo nespracovaného, lykožrútni napadnutého dreva ($I = 0,98$, $P = 0,0002$, obr. 5 vľavo). Následne so zväčšujúcim sa množstvom nespracovaného napadnutého dreva sa v ďalšom roku štatisticky vysoko preukazne zvyšuje množstvo lykožrútni napadnutého dreva ($I = 0,91$, $P = 0,0006$, obr. 5 vpravo). To môže byť jednou z príčin exponenciálneho nárastu objemu lykožrútni napadnutého dreva po roku 2004, pretože práve v týchto rokoch došlo aj k exponenciálnemu nárastu



Obr. 4. Trajektória časového radu reprezentovaného údajmi o objeme lykožrútni napadnutého dreva na Slovensku v rokoch 1973 – 2008 (v mil. m³) rozšíreného o hodnoty prognózovaného vývoja v časovom horizonte 5 – 10 rokov podľa jednotlivých modelov vo fázovom priestore predstavujúcom ročný objem lykožrútni napadnutého dreva v danom roku (N_t) a nasledujúcom roku (N_{t+1})

Fig. 4. The trajectory of the time series represented by the data on the volume of timber infested by spruce bark beetles in Slovakia during 1973–2008 (in millions of m³) extended by values of predicted development during the next 5–10 years according to particular models in a phase space defined by the annual volume of timber infested by spruce bark beetles in a particular year (N_t) and in the following year (N_{t+1}).

¹⁾Model based on the chaos theory – bottom limit of prediction, ²⁾Model based on the chaos theory – upper limit of prediction, ³⁾ARIMA: model (0,1,1)(0,1,1) – seasonal lag 9, ⁴⁾ARIMA: model (0,1,1)(0,1,1) – without seasonal lag



Obr. 5. Objem lykožrútni napadnutej a nespracovanej hmoty v závislosti od objemu lykožrútni napadnutej hmoty v danom roku (vľavo) a objem lykožrútni napadnutej hmoty v nasledujúcom roku v závislosti od objemu lykožrútni napadnutej a nespracovanej hmoty v predchádzajúcom roku (vpravo)

Fig. 5. Volume of timber (in millions of m³) infested by spruce bark beetles but not processed in dependence upon the volume of timber infested by spruce bark beetles (in millions of m³) in a particular year (on the left) and the volume of timber infested by spruce bark beetles in the following year (in millions of m³) in dependence upon the volume of timber infested by spruce bark beetles but not processed in the previous year (in millions of m³) (in the right).

¹⁾Volume of timber infested by spruce bark beetles (in millions of m³), ²⁾Volume of timber infested by spruce bark beetles but not processed (in millions of m³), ³⁾Volume of timber infested by spruce bark beetles but not processed in the previous year (in millions of m³), ⁴⁾Volume of timber infested by spruce bark beetles in the following year (in millions of m³)

tu množstva nespracovaného napadnutého dreva na Slovensku (KUNCA *et al.* 2009). Riešením by preto do budúcnosti mohlo byť minimalizovanie objemu nespracovaného napadnutého dreva.

Príčin, prečo je v súčasnosti v porastoch toľko nespracovaného napadnutého dreva, je viacero. Jednak je to všeobecná hospodárska kríza, ktorá sa nevyhla ani obchodu s drevom. Smrekového dreva je veľký prebytok a dopyt po ňom je preto omnoho menší. To spôsobuje predĺženie pobytu dreva v porastoch, resp. na skladoch, kde pri nedostatočnom ošetrovaní dochádza k vyrojeniu lykožrútov. Ďalším faktorom, ktorý prispieva k zvyšovaniu množstva nespracovaného kalamitného dreva, je nedostatočná prístupnosť porastov. Lykožrút napáda veľmi ťažko prístupné alebo celkom neprístupné smrekové porasty, kde lesný hospodár z objektívnych príčin nestihne spracovať aktívne chrobačiare a lykožrút sa tak šíri ďalej do okolia. Ďalším faktorom sú vyhlásené chránené územia s piatym stupňom ochrany, kde sa môže zasahovať proti lykožrútovi len na výnimku. Tieto výnimky sa však väčšinou neudelia, a ak áno, tak

neskoro. V týchto územiach je lykožrút enormne premnožený a šíri sa aj do území s nižším stupňom ochrany.

Riešením tejto situácie, predovšetkým v najviac atakovaných oblastiach Slovenska (Kysuce, Orava, Tatry, Spiš, Gemer), by mohla byť zvýšená podpora štátu napríklad vo forme finančnej pomoci pri výstavbe lesných ciest, podpory trhu s drevom, dotovania vrtuľníkového sústreďovania aktívnych chrobačiarov z neprístupných území, vyškolenia a finančného zabezpečenia profesionálnych podkôrníkových pozorovateľov a pod.

4. Záver

Od roku 1973 je evidentný exponenciálny nárast ročného objemu lykožrútom napadnutého dreva na Slovensku s výraznými vrcholmi v rokoch 1984 – 1988, 1995 a najmä po roku 2004, kedy došlo až k viac ako 4-násobnému nárastu objemu lykožrútovej kalamity v porovnaní s predchádzajúcim vrcholom v roku 1995 (obr. 1). Hlavnou príčinou premnoženia bola vetrová kalamita z roku 2004 (centrálne jadrové pohoria) a fyziologické oslabenie smrečín v dôsledku meniacich sa ekologických podmienok a následnou aktivizáciou podpŕovky (flyšové oblasti).

Na základe údajov v *Elaborátoch o výskyte škodlivých činiteľov v lesoch Slovenska* za roky 1973 – 2008 o objeme lykožrútom napadnutého dreva v týchto rokoch sme sa v príspevku pokúsili analyzovať dynamiku nárastu ročného objemu lykožrútom napadnutého dreva na Slovensku v uvedených rokoch a prognózovať ďalší vývoj lykožrútovej kalamity v najbližších 5 – 10 rokoch s využitím princípov teórie chaosu a nelineárnej dynamiky ako alternatívneho prístupu ku klasickej stochastickej analýze a prognóze.

Do roku 2004 ročný objem lykožrútom napadnutého dreva vykazoval viac-menej stabilnú kváziperiodickú dynamiku v zmysle viac alebo menej pravidelných cyklických fluktuácií s približne 9-ročnou periódou a s väčšími či menšími amplitúdami výchyliek do 1 mil. m³ s rastúcim trendom. Od roku 2004 dochádza k výraznej zmene dynamiky trajektórie. Ročný objem lykožrútom napadnutého dreva presiahol 1 mil. m³ a začal exponenciálne narastať (obr. 2).

Existujú v podstate tri kvalitatívne scenáre ďalšieho vývoja lykožrútovej kalamity na Slovensku v časovom horizonte 5 – 10 rokov (obr. 3): (1) ročný objem lykožrútmí napadnutého dreva sa postupne vráti na hodnoty pred roku 2004 a bude kváziperiodicky fluktuovať s väčšími či menšími amplitúdami výchyliek do 1 mil. m³ ročne, (2) dynamika systému nadobudne kvalitatívne inú úroveň ako pred rokom 2004 a ročný objem lykožrútmí napadnutého dreva bude kváziperiodicky fluktuovať v rozmedzí približne 1 – 4 mil. m³ ročne, alebo (3) ročný objem lykožrútmí napadnutého dreva sa bude nestacionárne exponenciálne zväčšovať až k hranici 5 mil. m³ ročne (obr. 4).

Jednou z príčin exponenciálneho nárastu objemu lykožrútmí napadnutého dreva po roku 2004 môže byť aj to, že so zvyšujúcim sa množstvom lykožrútmí napadnutého dreva sa v danom roku štatisticky vysoko preukazne zvyšovalo množstvo nespracovaného, lykožrútmí napadnutého dreva a následne sa so zväčšujúcim množstvom nespracovaného napadnutého dreva v ďalšom roku štatisticky vysoko preukazne zvyšuje množstvo lykožrútmí napadnutého dreva (obr. 5).

Podakovanie

Príspevok vznikol v rámci riešenia projektu APVV-0612-07 „Náchylnosť vetrom destabilizovaných lesných ekosystémov voči pôsobeniu vybraných disturbančných faktorov“ vďaka finančnej podpore Agentúry na podporu výskumu a vývoja.

Literatúra

1. BOX G. E. P., JENKINS G. M., 1976: Time Series Analysis, Forecasting and Control. San Francisco, Holden Day. – 2. BUCHLER J., R., 1993: Prediction with orthonormal polynomials in overlapping windows. *Il Nuovo Cimento B*, **108**(11): 1293–1297. – 3. CIPRA, T., 1986: Analýza časových rad s aplikaciami v ekonomii. Praha, Nakladateľstvá technické literatury, 248 pp. – 4. KUNCA A., BRUTOVSKÝ D., FINĐO S. *et al.*, 2009: Problémy ochrany lesa v roku 2008 a prognóza na rok 2009. In KUNCA A. (ed.): Aktuálne problémy v ochrane lesa 2009. Zborník referátov z medzinárodného seminára. Zvolen, Národné lesnícke centrum, p. 5–16. – 5. LIU X., POVINELLI R. J., JOHNSON M. T., 2003: Vowel Classification By Global Dynamic Modeling. In ISCA Tutorial and Research Workshop on Non-linear Speech Processing (NOLISP). Le Croisic, France, p. 111–114. – 6. POVINELLI R. J., JOHNSON M. T., LINDGREN A. C., ROBERTS F. M., YE, J., 2006: Statistical Models of Reconstructed Phase Space for Signal Classification. *IEEE Transactions on Signal Processing*, **54**(6): 2178–2186. – 7. RUELLE D., TAKENS F., 1971: On the natural of turbulence. *Comm. Math. Phys.*, **20**: 167–192.

Summary

The exponential increase in the annual volume of timber infested by spruce bark beetles is evident in Slovakia since 1973 with distinct peaks in 1984–1988, 1995 and, above all, since 2004 when more than 4-times increase in the volume of infested timber was found compared with the previous peak in 1995 (Fig. 1) mainly as a result of the windstorm in November 2004 (central kernel mountains) as well as physiological stress of spruce forests due to changing ecological conditions, in which honey fungus (*Armillaria* spp.) starts to be active (mainly flysch belt).

Based on the data on the volume of timber infested by spruce bark beetles in 1973–2008 taken from the *Reports on the occurrence of injurious agents in Slovak forests*, we have attempted to analyse dynamics of an increase in the annual volume of timber infested by spruce bark beetles in Slovakia during these years and to predict subsequent development of a spruce bark beetle outbreak during the next 5–10 years using principles of the chaos theory and non-linear dynamics as an alternative approach to the classic stochastic analysis and prognosis.

Till 2004 the annual volume of timber infested by spruce bark beetles showed more or less stable quasi-periodic dynamics in sense of more or less regular cyclic fluctuations with a nearly 9-year period and with greater or smaller amplitudes of oscillations up to 1 million of m³ with an increasing trend. Since 2004 the trajectory dynamics has changed considerably. The annual volume of timber infested by spruce bark beetles exceeded 1 million of m³ and it started to increase exponentially (Fig. 2).

There are three qualitative scenarios of subsequent development of a spruce bark beetle outbreak during the next 5–10 years (Fig. 3): (1) an annual volume of timber infested by spruce bark beetles will decrease to the one before 2004 and it will fluctuate quasi-periodically with greater or smaller amplitudes of oscillations up to 1 million of m³ per year, (2) the dynamics will change qualitatively in comparison with the one before 2004 and an annual volume of timber infested by spruce bark beetles will fluctuate quasi-periodically between 1–4 millions of m³ per year approximately, or (3) an annual volume of timber infested by spruce bark beetles will increase exponentially due to non-stationarity up to 5 millions of m³ per year (Fig. 4).

The fact that the volume of infested, but not processed timber increased statistically significantly with increasing volume of timber infested by spruce bark beetles in a particular year, and, consequently, the volume of timber infested by spruce bark beetles in a following year will increase with increasing

volume of infested, but not processed timber in a previous year (Fig. 5) could be one of the reasons for exponential increase in the volume of timber infested by spruce bark beetles since 2004.

Translated by: authors

Revised by: Z. AL-ATTASOVÁ

