

DYNAMIKA ŠÍRENIA SA LYKOŽRÚTOVÝCH CHROBAČIAROV V NPR ZADNÁ POĽANA: PROCESY A ZÁKONITOSTI

Štefan Pavlík • Martin Pavlík • Monika Bajusová

Úvod

Národná prírodná rezervácia Zadná Poľana predstavuje zachovalý komplex lesných porastov bukového až smrekového lesného vegetačného stupňa prevažne pralesovitého charakteru na ploche 855,5 ha s najjužnejším výskytom prirodzených pralesovitých javorových a jarabinových smrečín v Západných Karpatoch. Od roku 1990 je súčasťou jadrovej zóny biosférickej rezervácie Poľana v rámci programu „Človek a biosféra“ organizácie UNESCO. Zároveň tvorí jadro CHKO Poľana a je začlenená do celoeurópskej siete NATURA 2000.

Na základe žiadosti o výnimku dostali LESY SR, š. p. v apríli 2010 od MŽP SR povolenie na ťažbu lykožrútom napadnutých stromov v NPR Zadná Poľana na ploche približne 340 ha. V rozhodnutí MŽP SR nestanovilo pre ťažbu žiadny limit, pričom drevo bolo povolené ťažiť do konca roku 2018. Proti tomuto rozhodnutiu protestovalo viac ako 160 vedeckých a odborných pracovníkov z oblasti ekológie, lesníctva, zoológie, botaniky, environmentalistiky, krajinárstva a ďalších prírodných vied. Na základe toho MŽP SR v máji 2010 pozastavilo rozhodnutie o udelení výnimky ako predbežné opatrenie v rámci mimoodvolacieho konania. V júni 2010 minister životného prostredia SR výnimku pre LESY SR, š. p. na ťažbu kalamitného dreva v NPR Zadná Poľana zrušil. O NPR Zadná Poľana sa však uskutočnilo začiatkom augusta 2010 ďalšie rokovanie za účasti MŽP SR, CHKO Poľana, LESY SR, GR Banská Bystrica, OZ Kriváň, LS Kyslinky a LOS Banská Štiavnica. Výsledkom bola dohoda, že OZ Kriváň pripraví novú žiadosť o výnimku na zásah do 5. stupňa ochrany, v ktorej budú navrhované opatrenia výsledkom dohody najmä medzi S-CHKO Poľana a OZ Kriváň, s pripomienkami ostatných zúčastnených osôb.

Keďže v rámci viacerých projektov sme sa na Katedre ochrany lesa a poľovníctva Lesníckej fakulty Technickej univerzity vo Zvolene zaoberali v rokoch 1995 – 2010 aj dynamikou šírenia sa chrobačiarov napadnutých lykožrútom smrekovým (*Ips typographus*) vo vrcholových smrečínach v NPR Zadná Poľana (PAVLÍK 2009, PAVLÍK *a kol.* 2010), chceme v príspevku prezentovať naše doterajšie empirické poznatky o tejto problematike.

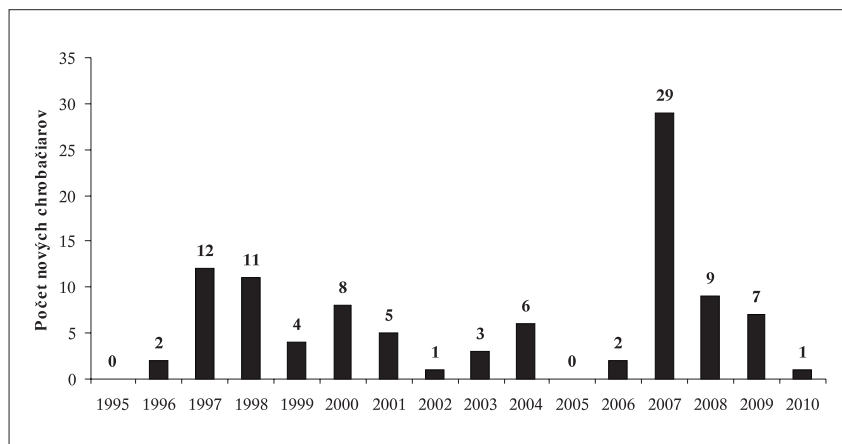
Trvalá monitorovacia plocha

Trvalá monitorovacia plocha (TMP) s rozmermi 100 × 30 m bola v NPR Zadná Poľana založená v roku 1995 na severozápadne orientovanom svahu v nadmorskej výške 1 250 m n. m. v podvrcholovej prírodnej javorovej smrečine (LS Kyslinky, porast 526, slt *Acereto-Piceetum*, SM 70 %, BK 15 %, JH 15 %, vek 210 rokov). Na TMP sa v rokoch 1995 – 2010 každoročne podľa príznakov napadnutia (hrdzavenie koruny, opad ihličia, opad kôry z kmeňa, prítomnosť požerkov) zisťoval počet smrekov napadnutých v danom roku lykožrútom smrekovým (obr. 1).

Metódy analýzy

Pri analýze daného časového radu (obr. 1) sme využili možnosti analýzy nelineárnych dynamických systémov s aplikáciou teoretických princípov teórie chaosu a aplikovanej chaotickej dynamiky ako alternatívneho prístupu ku klasickým metódam stochastickej analýzy časových radov. Model správania systému bol vytvorený s využitím Taylorovho polynomickeho teorému, pričom sa použila diferenčná rovnica $N_{t+1} - N_t = 465,28 * N_t^6 - 1 354,9 * N_t^5 + 1 447,3 * N_t^4 - 677,68 * N_t^3 + 124,81 * N_t^2 - 5,1031 * N_t + 0,1576$ (Model 1), kde N_t je počet chrobačiarov v roku t a N_{t+1} je počet chrobačiarov v nasledujúcom roku $t+1$, pričom počet chrobačiarov v jednotlivých rokoch bol kvôli štandardizácii transformovaný podľa vzťahu $N_t / N_{t(max)}$, kde hodnota $N_{t(max)}$ je v danom prípade 12. Údaje sme analyzovali Ruelleovou–Takensovou metódou rekonštrukcie fázového priestoru (RUELLE, TAKENS 1971) s využitím databázy v Microsoft Office Excel 2003 a štatistického softvéru Statistica 7.0. Pomocou tejto metódy je možné analyzovať

správanie systému v čase, určiť zóny atrakcie (atraktory), do ktorých sa systém v čase vracia, pravdepodobnosť prechodov systému z jedného stavu do druhého a na základe toho stanoviť jednotlivé scenáre vývoja systému v čase (PAVLÍK 2011).

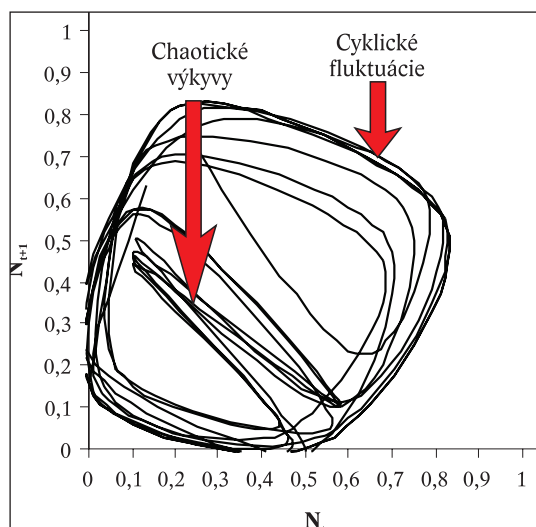


Obrázok 1. Počty chrobačiarov na trvalej monitorovacej ploche Zadná Poľana v rokoch 1995 – 2010. Klimaticky extrémny rok 2007 sa vyznačoval nadmieru vysokým prírastkom chrobačiarov

Získané poznatky

Ročný prírastok chrobačiarov napadnutých lykožrútom smrekovým bol na sledovanej ploche v priemere $20,8 \pm 10,5$ chrobačiarov na hektár. Prírastok chrobačiarov vykazoval chaotický charakter s tendenciou cyklických fluktuácií s priemerne 3 (–4)-ročnou periódou cyklov, ktoré však neboli pravidelné v zmysle periodických fluktuácií, pretože podliehali chaotickým výkyvom (obr. 2).

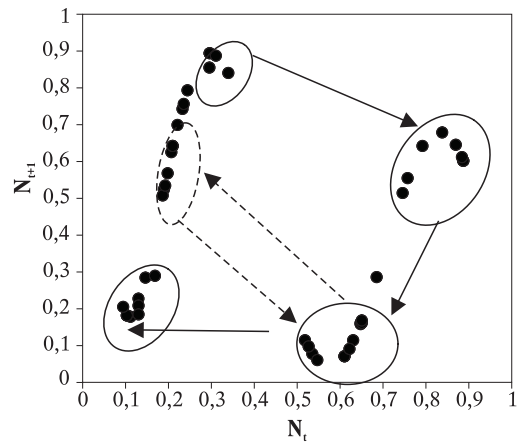
V rámci fázového priestoru tohto systému definovaného modelom (1) existujú v rámci cyklických fluktuácií počtu chrobačiarov štyri atraktory definované nasledovne: (1) slabý atraktor predstavujúci skutočnosť, že pri nízkom počte chrobačiarov v poraste (do 3 – 4/ha) bude prírastok chrobačiarov malý, čo môže byť prejavom určitých rezistentných vlastností modelovaného systému, (2) stredne silný atraktor predstavujúci skutočnosť, že pri zvýšení počtu chrobačiarov v poraste zhruba na 6 – 12/ha dochádza k prudkému nárastu počtu chrobačiarov, čo je prejavom destabilizácie modelovaného systému, (3) dva silné atraktory predstavujúce skutočnosť, že pri vysokom počte chrobačiarov v poraste (zhruba nad 30/ha) dôjde následne k postupnému poklesu počtu chrobačiarov v poraste až pod 8/ha, čo je prejavom resilientných vlastností modelovaného systému. Okrem cyklických fluktuácií počtu chrobačiarov v modelovanom systéme však existujú aj chaotické fluktuácie s jedným slabým atraktorom, ktorý predstavuje skutočnosť, že aj pri relatívne malom počte chrobačiarov v poraste (zhruba 4 – 8/ha) môže dôjsť k výraznému nárastu počtu chrobačiarov v poraste (až na úroveň okolo 16 – 28/ha) a následnému poklesu na pôvodné počty.



Pri nízkej početnosti chrobačiarov v poraste (zhruba do 8/ha) je správanie systému chaotické v dôsledku existencie až 5 scenárov ďalšieho vývoja počtu chrobačiarov v poraste v ďalšom roku s nenulovou pravdepodobnosťou realizácie. Preto možnosti predikcie trajektórie vývoja systému v tomto prípade sú výrazne redukované. Pri vyššom počte chrobačiarov (zhruba nad 8/ha) bude vývoj počtu chrobačiarov v poraste v čase prebiehať zhruba po trajektórii $(0,2 - 0,4) \rightarrow (0,8 - 1,0) \rightarrow (0,4 - 0,6) \rightarrow (0,0 - 0,2)$ v rámci cyklických fluktuácií s ďalším možným vývojom cez chaotické fluktuácie po trajektórii $(0,0 - 0,2) \rightarrow (0,4 - 0,6) \rightarrow (0,0 - 0,2)$. V skutočnosti tak môžu nastať v priebehu dostatočne dlhého časového obdobia rozličné stavy tohto modelovaného systému.

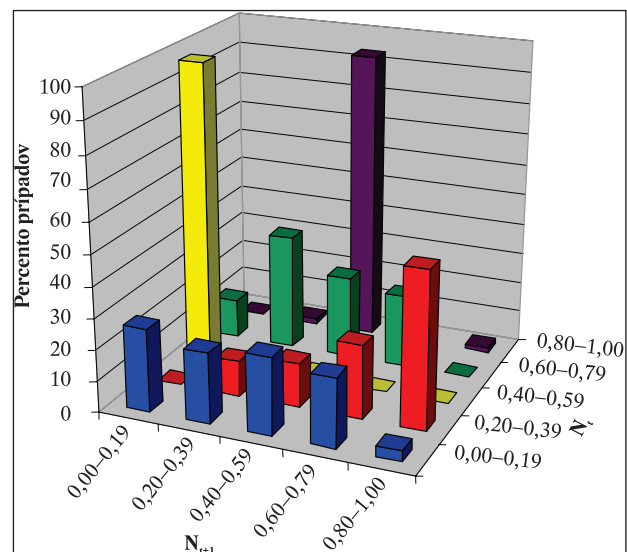
Obrázok 2. Trajektória stavov systému na sledovanej ploche podľa modelu (1) pre $N_0 = 0$ po 50 iteráciách

Obrázok 3. Poincarého rezfázovým priestorom podľa modelu (1) v rovine $N_t - N_{t+1}$ pre $N_0 = 0$ po 50 iteráciách vytvára typický zvláštny atraktor (čierny body). Zóny atrakcie pre cyklické fluktuácie (ich trajektória je znázornená plnými šípkami) sú ohraničené plnými elipsami, pre chaotické fluktuácie prerušovanými elipsami (ich trajektória je znázornená prerušovanými šípkami). Hrúbka čiary ohraničujúcej danú zónu zodpovedá sile daného atraktora.



Rozdelenie rozdielov $N_{t+1} - N_t$ v rámci 50 iterácií modelu (1) pri rôznych počiatkových hodnotách N_t zodpovedajúcim počtu chrobačiarov 0 – 12 nie je normálne. Oproti normálnemu rozdeleniu výrazne prevažujú väčšie zmeny N_t v čase ($N_t \pm 0,4 - 0,6$) nad malými zmenami ($N_t \pm 0,0 - 0,2$). Keďže pri stabilizovanom, rýchlo sa nemeniacom šírení sa chrobačiarov by mali prevažovať malé zmeny N_t v čase nad veľkými, prevaha veľkých zmien N_t nad malými poukazuje na existenciu chaotického správania v tomto systéme. Zvýšenie, ale aj zníženie počtu chrobačiarov podlieha veľkým zmenám v krátkom čase – modelovaný systém sa správa chaoticky.

Miera chaotického správania systému vyjadrená pomocou miery rastu zodpovedajúcej tzv. Ljapunovmu exponentu (STEWART 2009) v prírodnej smrečine kolísala v rozmedzí 1,8 – 2,2 v závislosti od východiskových podmienok, čo indikuje chaotické správanie systému, pretože priemerná miera rastu bola vyššia ako hraničná hodnota 1,0 (ak by boli hodnoty miery rastu menšie ako jedna, systém by sa správal deterministicky, ak by hodnoty kolísali okolo jednotky, tak by sa systém správal stochasticky – STEWART 2009).



Obrázok 4. Pravdepodobnosť prechodu systému v čase zo stavu N_t na stav N_{t+1} na sledovanej ploche podľa modelu (1) v rámci 50 iterácií pri rôznych počiatkových hodnotách N_t zodpovedajúcim počtu chrobačiarov 0 – 12

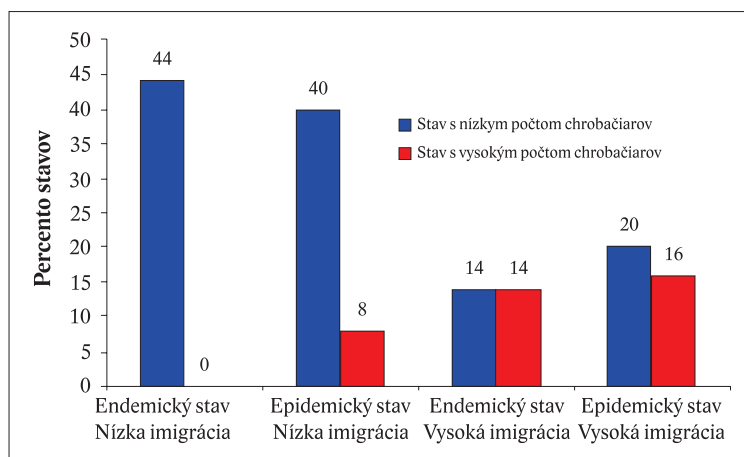
Z hľadiska opisu populačného rastu by mal byť člen polynómu (Model 1) a nulový, pretože pri nulovej početnosti populácie je jej prírastok nulový. Na druhej strane môže pozitívny člen a predstavovať veľkosť imigrácie do populácie z okolia. V prípade modelu (1) sa $a = 0,1576$. Na základe toho môžeme usudzovať, že aj pri nulovom počte chrobačiarov v poraste ($N_t = 0$) môže dochádzať k vzniku nových chrobačiarov imigráciou lykožrútov z okolia. V konkrétnom prípade skúmanej plochy sa teda jedná o 1 – 2 nové chrobačiare ročne (3 – 7 nových chrobačiarov na ha) aj pri nulovom počte chrobačiarov v poraste. Vzhľadom na existenciu tohto imigračného potenciálu a nestabilitu modelovaného systému možno očakávať, že včasné odstránenie všetkých aktívnych chrobačiarov z porastu na sledovanej ploche v rámci sanitárnej ťažby by viedlo len k zhruba polovičnému zníženiu počtu chrobačiarov počas nasledovného obdobia (10 iterácií zodpovedajúcich 10 rokom) v porovnaní s prípadom, keby sa sanitárna ťažba nevykonala. Efekt sanitárnej ťažby je teda v takomto prípade nevýznamný a intervencia do systému v podobe sanitárnej ťažby nemá významný vplyv na ďalšie šírenie sa chrobačiarov v poraste. Dokonca v niektorých prípadoch odstránenie určitého počtu chrobačiarov v poraste môže následne viesť po určitom čase k ešte väčšiemu nárastu počtu chrobačiarov, čo vyplýva z chaotického správania modelovaného systému.

Na základe zmien parametru a v Modeli 1 sa zistilo, že v prírodnej smrečine má dynamika systému pri nízkej imigrácii lykožrúta charakter viac-menej pravidelných cyklických fluktuácií s meniacou sa amplitúdou výkyvov a s periodicitou približne 3 – 4 roky, bez ohľadu na početnosť lykožrúta. V prípade endemického stavu populácie a nízkej imigrácie existujú dva atraktory stabilizujúce dynamiku systému na nízkom počte chrobačiarov v poraste, zatiaľ čo pri epidemickom stave populácie a nízkej imigrácii okrem dvoch atraktorov stabilizujúcich počet chrobačiarov v poraste na nízkej úrovni, existujú aj dva ďalšie atraktory, ktoré predstavujú skutočnosť, že pri epidemickom stave populácie lykožrúta dochádza aj napriek nízkej imigrácii k nárastu počtu chrobačiarov z nízkej úrovni na vysokú a k opätovnému poklesu na strednú a následne na nízku úroveň.

Pri vysokej imigrácii a endemickom stave populácie lykožrúta má dynamika systému špirálovitý charakter, pričom fluktuácie majú veľkú amplitúdu a periodicitu približne 4 roky. Fluktuácie systému prebiehajú približne po

špirálovitej trajektórii cez 6 – 7 atraktorov zo stavu s nízkym počtom chrobačiarov v poraste cez stavy s vysokým, stredným a opäť vysokým a stredným stavom chrobačiarov až opäť po stav s nízkym počtom chrobačiarov v poraste. Pri vysokej imigrácii a epidemickom stave populácie lykožrúta má dynamika systému opäť charakter viac-menej cyklických fluktuácií s veľkou amplitúdou a v priemere 3 – 4-ročnou periodicitou – dochádza k vzrastu zo stavu s nízkym počtom chrobačiarov v poraste do stavu s vysokým počtom chrobačiarov a následnému poklesu cez stav so stredným počtom chrobačiarov na stav s nízkym počtom chrobačiarov.

Podiel stavov systému s vysokým počtom chrobačiarov v poraste je v prírodnej smrečine o niečo vyšší pri vysokej imigrácii v porovnaní s nízkou imigráciou bez ohľadu na početnosť lykožrúta (14 – 16 % vs. 0 – 8 %). Pri endemickom aj epidemickom stave populácie lykožrúta je podiel stavov systému s vysokým počtom chrobačiarov v poraste o niečo vyšší pri vysokej imigrácii v porovnaní s nízkou imigráciou (14 % vs. 0 %, resp. 16 % vs. 8 %), pričom pri endemickom stave populácie lykožrúta a nízkej imigrácii je dokonca nulový (obr. 5).



Obrázok 5. Podiel stavov systému s nízkym ($N_t = 0,0 - 0,2$) a vysokým ($N_t = 0,8 - 1,0$) počtom chrobačiarov v poraste

Pri endemickom stave populácie lykožrúta vykazuje prírodná smrečina aj pri zvýšení miery imigrácie určitú mieru rezistencie a resiliencie. K výraznému premnoženiu buď nedochádza vôbec (pri nízkej imigrácii), alebo dochádza k premnoženiu v priebehu približne 4 rokov (pri vysokej imigrácii), pričom podiel stavov s vysokým počtom chrobačiarov v poraste dosahuje v prírodnej smrečine pri nízkej imigrácii 0 %, pri vysokej imigrácii sa zvyšuje na 14 % (obr. 5). K návratu do pôvodného stavu dochádza zvyčajne v priebehu 1 – 2 rokov po kulminácii premnoženia (a to aj pri vysokej imigrácii), pričom podiel stavov systému s nízkym počtom chrobačiarov v poraste dosahuje 14 % (pri vysokej imigrácii), pri nízkej imigrácii sa zvyšuje na 44 % (obr. 5). Periodicita premnoženia je 3 – 4 roky.

V prípade epidemického stavu populácie lykožrúta a nízkej imigrácii vykazuje prírodná smrečina takisto určitú mieru rezistencie. Ku kulminácii premnoženia dochádza zvyčajne v priebehu 2 rokov, pričom podiel stavov systému s vysokým počtom chrobačiarov v poraste dosahuje v prírodnej smrečine 8 % (obr. 5). K návratu do pôvodného stavu dochádza do 2 rokov po kulminácii premnoženia, pričom podiel stavov systému s nízkym počtom chrobačiarov v poraste dosahuje 40 % (obr. 5). Periodicita premnoženia je v tomto prípade približne 3 roky. Pri vysokej miere imigrácie sa miera rezistencie a resiliencie výrazne znižuje aj v prípade prírodnej smrečiny. Ku kulminácii premnoženia dochádza spravidla v priebehu 1 roka, ale podiel stavov s vysokým počtom chrobačiarov v poraste dosahuje aj v tomto prípade len 16 % (obr. 5). Výrazne väčšia je však miera resiliencie. K návratu do pôvodného stavu tu dochádza zvyčajne už po 2 rokoch od kulminácie premnoženia, pričom podiel stavov s nízkym počtom chrobačiarov v poraste dosahuje 20 % (obr. 5). Periodicita premnoženia je okolo 3 – 4 rokov.

Pri náraste z endemického na epidemický stav populácie pri nízkej imigrácii lykožrúta dochádza v prírodnej smrečine k zdvojnásobeniu amplitúdy premnoženia, ale systém vykazuje dobrú rezistenciu aj resilienciu. Ku kulminácii premnoženia dochádza bez ohľadu na stav populácie lykožrúta v priebehu zhruba 2 rokov a približne 1 – 2 roky trvá návrat do pôvodného stavu. Periodicita premnoženia je v oboch prípadoch okolo 3 rokov.

Pri vysokej imigrácii dochádza pri náraste z endemického stavu populácie lykožrúta na epidemický stav ku strate rezistencie, pričom ale resiliencia ostáva zachovaná. Pri endemickom stave populácie dochádza k premnoženiu v priebehu 4 rokov, zatiaľ čo pri epidemickom stave už v priebehu 1 roka, pričom však návrat na pôvodný stav trvá v oboch prípadoch okolo 2 rokov. Periodicita premnoženia je v oboch prípadoch približne 3 – 4 roky.

V prípade TMP Zadná Poľana došlo v roku 2007 k výraznému zvýšeniu prírastku chrobačiarov na sledovanej ploche v dôsledku nadpriemerne teplému a suchému počasiu v tomto roku (obr. 1). Stacionarita pôvodného analyzovaného časového radu sa tým narušila (časový rad vykazuje zreteľnú sezónnosť a je trendovo aj sezónne

nestacionárny). Aj pri zohľadnení tohto extrémumu s využitím metódy teselácie, ako alternatívnej metódy pre analýzu nestacionárnych časových radov (STEWART 2009), je z priebehu trajektórie vidieť, že aj v tomto prípade sa systém správa chaoticky. Prírastok chrobačiarov na sledovanej ploche vykazuje cyklické fluktuácie s rôznou amplitúdou a s chaotickými výkyvmi, pričom v systéme sa vyskytujú menšie fluktuácie s prírastkom 20 – 25 chrobačiarov/ha/rok s približne 4-ročnou periódou, ktoré sú približne raz za 10 rokov vystriedané väčšími fluktuáciami s prírastkom okolo 70 chrobačiarov/ha/rok. V rámci cyklických výkyvov pritom existujú 4 silné atraktory reprezentujúce skutočnosť, že pri nízkom počte chrobačiarov v poraste (okolo 6 – 7/ha) dôjde následne k výraznému zvýšeniu až na úroveň okolo 70 chrobačiarov/ha, a potom k poklesu až na úroveň okolo 13 chrobačiarov/ha. Pri počte menej ako zhruba 30 chrobačiarov/ha zároveň dochádza k chaotickým výkyvom v prírastku nových chrobačiarov, kedy počet nových chrobačiarov buď osciluje na úrovni okolo 3 – 25/ha, alebo dochádza k následnému prudkému zvýšeniu až na úroveň okolo 70 chrobačiarov/ha.

Ani pri výskyte klimatických extrémov teda nedochádza k nárastu počtu chrobačiarov nad 70/ha. Aby došlo k celkovému veľkoplošnému šíreniu sa lykožrútovej kalamity, kritickou hodnotou odvodenou na základe analýzy fázových prechodov (ISAEV *a kol.* 2009) je 232 aktívnych chrobačiarov na hektár (t. j. približne 40 % smrekov v poraste). Výsledky analýzy defoliácie smrekových porastov v NPR Zadná Poľana na základe satelitných snímok z roku 2009 (<http://lvu.nlcsk.org/stavlesa/>, BUCHA, BARKA 2010) však ukázali, že podiel stromov s defoliáciou nad 90 % dosahuje približne 3,4 % a podiel stromov s defoliáciou 60 – 90 % (potencionálne ohrozených napadnutím lykožrútom) približne 21,4 %.

Podakovanie

Práca vznikla vďaka finančnej podpore grantovej agentúry VEGA MŠ SR v rámci riešenia projektu č. 1/0484/11 „Riziko dopadu biotických a antropogénnych škodlivých činiteľov na ekologickú stabilitu lesných rezervácií v meniacich sa ekologických podmienkach“.

Literatúra

- BUCHA, T., BARKA, I., 2010: Stales – webový nástroj na vyhodnocovanie zdravotného stavu lesa a rozpadu smrekových porastov zo satelitných snímok. In: KONÓPKA, B. (ed.): *Výskum smrečín destabilizovaných škodlivými činiteľmi*. Zvolen : Národné lesnícke centrum, s. 75-85.
- ISAEV, A. S., KHLBOPROS, R. G., KISELEV, V. V., KONDAKOV, YU. P., NEDOREZOV, L. V., SOUKHOVOLSKY, V. G., 2009: Forest insect population dynamics. In: *Euroasian Entomological Journal*, 8 (2): 3-115.
- PAVLÍK, Š., 2009: Dynamika šírenia sa chrobačiarov napadnutých lykožrútmami v prírodnej javorovej smrečine v NPR Zadná Poľana. In: *Acta Facultatis Forestalis*, LI (2): 59-74.
- PAVLÍK, Š., 2011: Možnosti prognózovania dynamiky lykožrútových kalamít. In: KUNCA, A. (ed.): *Aktuálne problémy v ochrane lesa 2011*. Zvolen : Národné lesnícke centrum, s.146-150.
- PAVLÍK, Š., PAVLÍK, M., DUDJAK, R., MALATINEC, L., 2010: Dynamika šírenia sa lykožrútovej kalamity v prírodných a hospodárskych smrečínach Poľany. In: MIDRIAK, R. (ed.): *Biosférické rezervácie na Slovensku III*. Zvolen : Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene, s. 115-120.
- RUELLE, D., TAKENS, F., 1971: On the nature of turbulence. In: *Comm. Math. Phys.*, 20: 167-192.
- STEWART, I., 2009: Hraje Bůh kostky? Nová matematika chaosu. Praha : Argo, 432 s.