

KOLKO GENERÁCIÍ MÔŽE MAŤ LYKOŽRÚT SMREKOVÝ V TATRÁCH?

Peter Fleischer • Peter Fleischer, ml. • Ján Ferenčík

Úvod

Lykožrút smrekový *Ips typographus* je prirodzenou súčasťou smrekových lesov v Európe. V prírodných podmienkach je dôležitou súčasťou dekompozičných procesov v lese, ktoré z dlhodobého hľadiska zabezpečujú dostupnosť živín a udržanie produkčnej kapacity (Christiansen et al. 1987). Pre hospodárske lesy je lykožrút smrekový jedným z najvýznamnejších lesných škodcov. Do kalamitných rozmerov sa premnožuje v oslabených porastoch najčastejšie z dôvodu stresu spôsobeného zvýšenou teplotou a suchom. Ideálne podmienky nachádza v porastoch po rozsiahlych, neskoro, alebo vôbec nespracovaných vetrových kalamitách (Wermelinger 2004; Netherer & Nopp-Mayer 2005; Faccoli 2009).

Lykožrút smrekový je ektotermný organizmus, teda teplota jeho tela je regulovaná teplotou okolitého prostredia. Teplota podmieňuje nielen začiatok jarného rojenia, ale aj nástup a priebeh všetkých vývojových fáz od kladenia vajčiek, cez larvu, kuklu, až po dospelé imágo (Wermelinger & Seifert 1998). V závislosti od teploty môže mať lykožrút aj viac generácií v jednom roku, čo zvyšuje jeho potenciál pre rozmnožovanie a tým aj rozsah škôd na smrekových porastoch. V nižších polohách smrekových stredoeurópskych lesov sa za normálnych klimatických podmienok obyčajne vyvinú dve generácie, v najteplejších oblastiach až tri (Lange et al. 2006). V horských oblastiach a v severnej Európe je štandardom jedna generácia. Klimatická zmena a s ňou spojené zvýšenie teplôt však posúva viacgeneračný vývoj viac na sever a do vyšších nadmorských výšok. Závislosť medzi vývojovými fázami organizmov (rastlín, aj živočíchov) a teplotou prostredia opisujú fenologické modely. Pri hodnotení bionómie lykožrúta ich prínos spočíva v objektívnom stanovení počtu generácií, odhadu veľkosti populácie a teda aj očakávaných škôd na porastoch.

Nespracovanie dreva z vetrových kalamít v chránených územiach na Slovensku je považované za jednu z hlavných príčin masívneho hynutia smrekových lesov v horských oblastiach (Bucha & Hlásny 2015). Nielen častejšie a rozsiahlejšie vetrové kalamity, ale aj sucha a požiare predpovedajú meteorológovia v súvislosti s klimatickými zmenami. Kým tieto prognózy naznačujú zhoršenie podmienok pre smrekové lesy, naopak pre podkôrny hmyz by mali byť ešte priaznivejšie.

Najrozsiahlejšie prirodzené smrekové lesy na Slovensku sú vo Vysokých Tatrách. Orkán v roku 2004 poškodil zhruba ich tretinu (12 000 ha). Okrem bezzásahového územia s 5. stupňom ochrany prírody (SOP) bola kalamita spracovaná do 2 rokov. Napriek tomu došlo po roku 2006 ku masívnemu šíreniu podkôrneho hmyzu a trvá do súčasnosti. Doteraz podkôrny hmyz poškodil vyše 7 000 ha dospelých smrekových porastov. Napriek pozornosti, ktorá sa podkôrnemu hmyzu v Tatrách po vetrovej kalamite venuje, nebolo zrejme aká veľká je populácia lykožrúta smrekového, aký je trend vývoja, ktoré faktory populáciu ovplyvňujú. V roku 2014 sme založili terénny experiment na 2 lokalitách na južnej strane Tatier, vo výške približne 1 200 m n. m., v ktorom sledujeme podmienky pre vývoj lykožrúta v stojacich stromoch a v čerstvých (jednoročných) vývratoch. V tomto príspevku prinášame výsledky z hodnotenia vývoja a počtu generácií lykožrúta smrekového na základe fenologického modelu a porovnávame ich s odchytmi vo feromónových lapačoch.

Materiál a metodika

Experimentálne plochy na sledovanie vývoja lykožrúta smrekového sme založili v ochrannom obvode Tatranská Lomnica (TL) a Vyšné Hágy (VH) na jar v roku 2014. Plochy sme umiestnili do rozpadajúceho sa porastového okraja

medzi vetrovou kalamitou a ešte stojacimi zvyškami smrekových porastov. Obe plochy sú na miernych, na JV–J orientovaných svahoch. Lokality sú súčasťou monitorovacej siete Výskumnej stanice pre dlhodobý ekologický výskum a sú vybavené automatickými meteorologickými stanicami. Merania teploty vzduchu, slnečnej radiácie, rýchlosti vetra a zrážok (60 min. priemery, resp. suma) sme v rámci experimentu doplnili o meranie teploty pod kôrou stojacich stromov ($n = 3$) a čerstvých (minuloročných) vývrátov ($n = 3$). Teplotu sme merali snímačmi pt1000 (dĺžka 10 mm, priemer 1 mm), ktoré sme osadili do navŕtaných otvorov priamo do floému. Senzory sme umiestnili do vývrátov tak, aby sme zachytili oslnenú aj tienenú časť kmeňa. Na stojacich živých stromoch sme umiestnili snímače do výšky 3 m. Pomocou logera EMS (Brno, ČR) a CS510 (Campbel Scientific, V. Británia) sme zaznamenávali okamžité 60 min hodnoty.

Teplota kôry je síce pre vývoj lykožrúta podstatná, ale zložité meranie sa často nahrádza modelom, ktorý na základe teploty vzduchu a slnečnej radiácie zostavil Baier et al. 2007.

$$BTK_{avg} = a + b * SR + c * AT_{mean} \quad [1]$$

kde TK_{avg} – priemerná denná teplota kôry, SR – denná suma slnečnej radiácie ($Wh.m^2$), AT_{mean} – priemerná denná teplota vzduchu ($^{\circ}C$).

Začiatok rojenia sme stanovili z maximálnej dennej teploty podľa Zumra (1988), ktorý má podľa doterajších pozorovaní dobrú zhodu medzi očakávaným a skutočným rojením. Pre teplotný vývoj jednotlivých vývojových štádií lykožrúta (vajičko, larva, kukla, imágo) sme použili nameranú teplotu kôry. Limitné hodnoty a sumy efektívnych teplôt sme použili zo všeobecne akceptovanej práce Wermelinger & Seiferta (1998), ktoré uvádzame v tabuľke 1.

Tabuľka 1. Limitné hodnoty a sumy efektívnych teplôt pre vývoj lykožrúta smrekového (podľa Wermelinger & Seifert 1998)

Štádium	Limitná teplota	Suma ET
	°C	
Vajičko	10,6	51,8
Larva	8,2	204,2
Kukla	9,9	57,2
Nedospelé imágo	3,2	245

Namerané hodnoty teploty kôry sme porovnali s modelom PHENIPS (Beier et al. 2007) a na základe upravených parametrov sme odvodili časový priebeh vývoja jednotlivých štádií a celkový počet generácií lykožrúta smrekového v prípadoch keď nebolo k dispozícii priame meranie teploty kôry.

Výsledky a diskusia

Klimatické parametre sme oba roky sledovali od 1. apríla do 15. septembra, teda v období, ktoré je dlhodobo priaznivé pre vývoj lykožrúta. Priemerná teplota a suma radiácie, ako kľúčové parametre pre stanovenie teploty kôry podľa rovnice [1] sú v tabuľke 2. V roku 2015 priemerná teplota vzduchu bola vyššia o $0,8^{\circ}C$ ako v roku 2014 ($12,1^{\circ}C$ v roku 2014 a $12,9^{\circ}C$ v roku 2015 na lokalite TL a $11,1^{\circ}C$ a $11,9^{\circ}C$ na lokalite VH). Suma solárnej radiácie bola vyššia v roku 2015 na obidvoch študijných plochách (1,15-násobok v TL a 1,43-násobok na VH oproti roku 2014). Výrazné zvýšenie radiácie na lokalite VH bola spôsobené silným preriedením porastu po vetrovej kalamite v máji 2014 a následným hynutím ďalších stromov na výskumnej ploche. Priemerná teplota a suma slnečného žiarenia (kWh) počas sledovaného obdobia je v tabuľke 2. Leto 2015 bolo v tatranskej oblasti extrémne teplé. Podľa záznamov Slovenského hydrometeorologického ústavu to bolo, napr. v Tatranskej Lomnici (830 m n. m) najteplejšie leto od začiatku pravidelných meraní v roku 1898. Priemerná teplota vzduchu počas vegetačného obdobia (1. apríl až 31. august) bola $15,4^{\circ}C$, čo je $1,9^{\circ}C$ nad dlhodobým priemerom ($13,5^{\circ}C$). V roku 2014 priemerná teplota $13,7^{\circ}C$ takmer zodpovedala normálu. Podľa klimatologických modelov (Melo et al. 2013) by sa extrémna teplota v roku 2015 mala stať priemernou hodnotou už o 30 – 50 rokov. Z hľadiska zrážok bol rok 2014 nadnormálny (+38 %) a rok 2015 deficitný (–40 %) oproti normálu (415 mm).

Tabuľka 2. Priemerná teplota (AT v °C) a suma slnečného žiarenia (SR v kWh.m⁻²), teplota kôry živých stromov (TK-Ž v °C) a vývratov (TK-V v °C) počas vegetačného obdobia na sledovaných lokalitách v r. 2014 a 2015

Lokalita	2014				2015			
	AT	SR	TK-Ž	TK-V	AT	SR	TK-Ž	TK-V
TL	12,1	645	13,9	18,6	12,9	754	15,6	20,7
VH	11,1	385	15,0	16,8	11,9	559	15,8	18,3

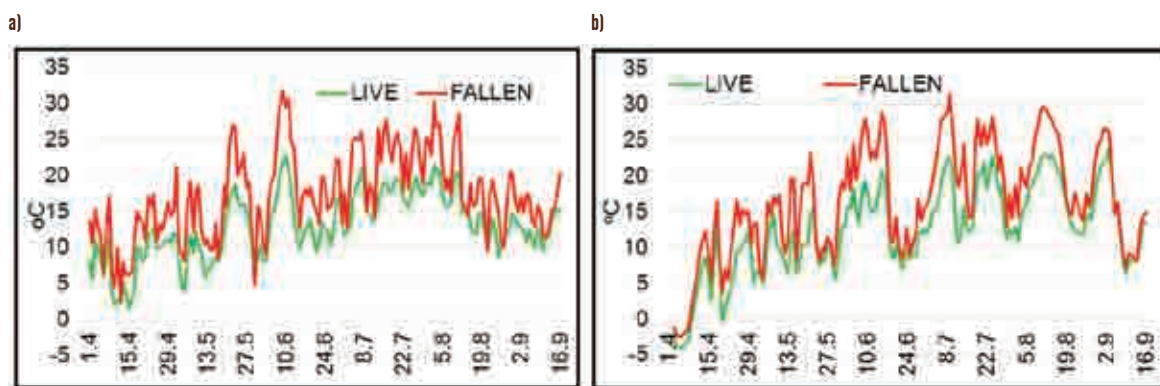
Jarné rojenie sme stanovili z maximálnej dennej teploty sledovanej od 1. apríla. Potrebná suma pre začiatok jarného rojenia 145 °C stanovená ako rozdiel denných maximálnych teplôt a 7 °C bola dosiahnutá v roku 2014 na ploche TL 12. mája a na ploche VH 9. mája, skutočný výlet nastal až po sérii troch slnečných a teplých dní (nad 16,5 °C) a posunul sa v TL na 28. mája a na VH na 21. mája. V roku 2015 teplota pre rojenie bola dosiahnutá na ploche TL 6. mája a na VH 7. mája, ale skutočné rojenie nastalo až 17. mája.

Teplota kôry bola priamo meraná vo floéme vyvrátených stromov v roku 2014 na lokalite TL (n = 3) a v roku 2015 na lokalite VH na živých (n = 3) aj vývratoch (n = 5). Chýbajúce dáta na porovnanie medzi rokmi a zdravotným stavom (živé vs vývraty) boli odvodené z regresných vzťahov medzi teplotou kôry, teplotou vzduchu a slnečnou radiáciou podľa vzťahu (1), ktorý je súčasťou modelu PHENIPS a úspešne sa používa vo viacerých stredoeurópskych regiónoch na odhad aktuálneho stavu populácie i modelovanie budúceho vývoja (Blackwell et al. 2013; Berec et al. 2015; Hlásny & Turčáni 2009). Parametre pre rovnicu sme získali prostredníctvom viacnásobnej lineárnej regresie metódou najmenších štvorcov pomocou softvéru Statistica 7. V tabuľke 3 uvádzame regresné parametre (a, b, c), determinačný koeficient (R²) a strednú kvadratickú chybu (MSE). Pre porovnanie uvádzame aj výpočet na základe parametrov navrhnutých Baierom et al. (2007) a chovanie sa modelu na živých stromoch na našich výskumných plochách.

Tabuľka 3. Regresné parametre (a,b,c), determinačný koeficient (R²) a stredná kvadratická chyba (MSE)

Model/parameter	a	b	c	R ²	MSE	poznámka
PHENIPS	-0,173	0,0008518	1,054	95,9	2,41	Baier et al. (2007)
Stojace živé	-0,567	0,0002550	1,031	97,2	0,82	
Vývraty	-1,811	0,00151	1,079	91,9	1,51	

Sezónny priebeh priemernej dennej teploty kôry v živých (live) a vývratoch (fallen) na sledovaných lokalitách v roku 2014 a 2015 je na obrázku 1a, b.



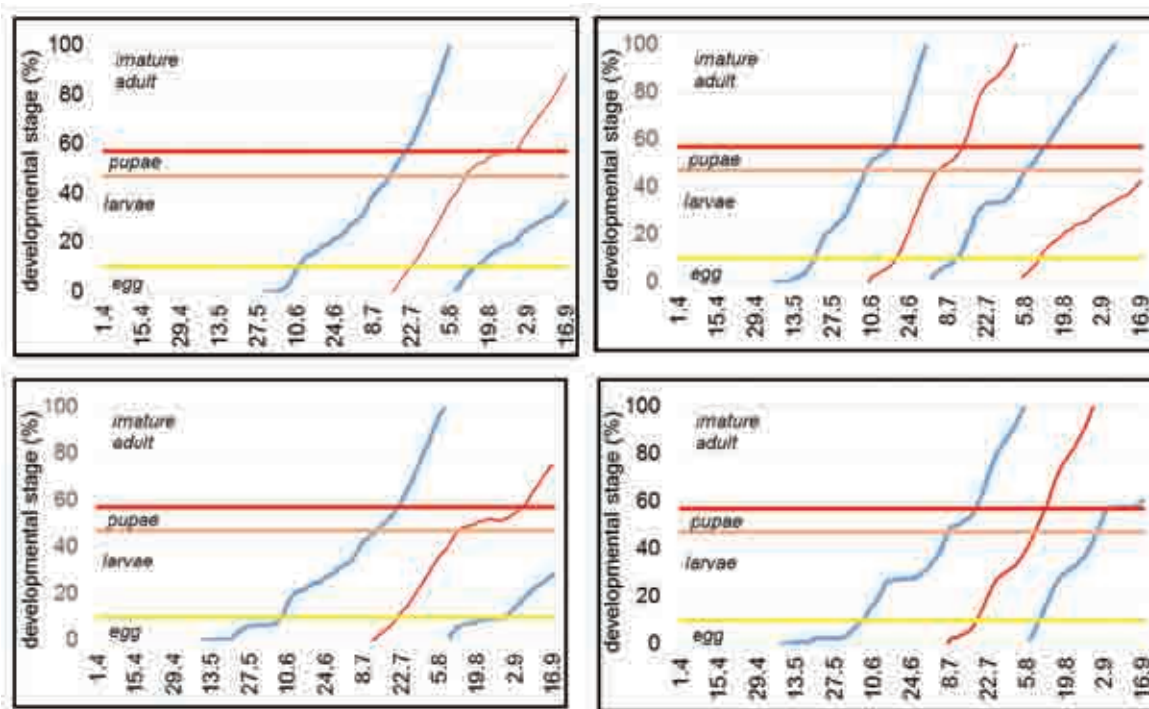
Obrázok 1. Priemerná denná teplota kôry (°C) v živých stromoch a vývratoch (a) TL 2014, (b) VH 2015

Vo viac ako 60 % prípadov merania teploty kôry ležiacich stromov bola denná priemerná teplota vyššia o 2 až 4 °C ako na stojacich živých stromoch. Maximálny rozdiel bol 8,7 °C. Najvyššie teploty na vývratoch dosahovali 40 °C, na stojacich živých stromoch maximálne 25 °C. Priemerné teploty kôry za sledované obdobie v živých stromoch a vývratoch na sledovaných lokalitách je v tabuľke 4.

Tabuľka 4. Teplota kôry v °C (Ž-živé, V-vývraty) na lokalite VH a TL v roku 2014 a 2015, * teplota kôry priamo meraná

	TL		VH	
	Ž	V	Ž	V
2014	13,9	18,6*	15,0	16,8
2015	15,6	20,7	15,8*	18,3*

Rozdiely v teplote kôry medzi pozorovanými rokmi ako aj rozdiely spôsobené stavom hostiteľa (stojace živé stromy, resp. vývraty) podmienujú výrazne odlišný fenologický vývoj. Teplota kôry na ploche TL v roku 2014 umožnila vývoj jednej generácie a jedného sesterského pokolenia, ktoré ukončili kompletný vývoj do štádia dospelého chrobáka. V roku 2015 vyššia teplota umožnila okrem prvej rodičovskej a jednej sesterskej generácie, vývoj aj druhej generácie. Tá sa do konca augusta vyvinula do štádia dospelého chrobáka, ale kvôli dĺžke dňa pod 16,5 hod. (Doležal & Sehnal 2007) už nové potomstvo nezakladala a pravdepodobne ostalo v kôre napadnutých stromov. Druhá sesterská generácia sa vyvinula len do štádia larvy s predpokladanou úplnou mortalitou. Na lokalite VH v roku 2014 sa sesterská generácia vyvinula do štádia nedospelého chrobáka ale pravdepodobne úspešne prezimovala. V roku 2015 sesterská generácia ukončila celý vývojový cyklus a zimoval dospelý chrobák (Obrázok 2). Druhá generácia sa vyvinula do štádia kukly a úspešnosť prežitia zimy je v takom prípade otázná (Faccolli 2009).

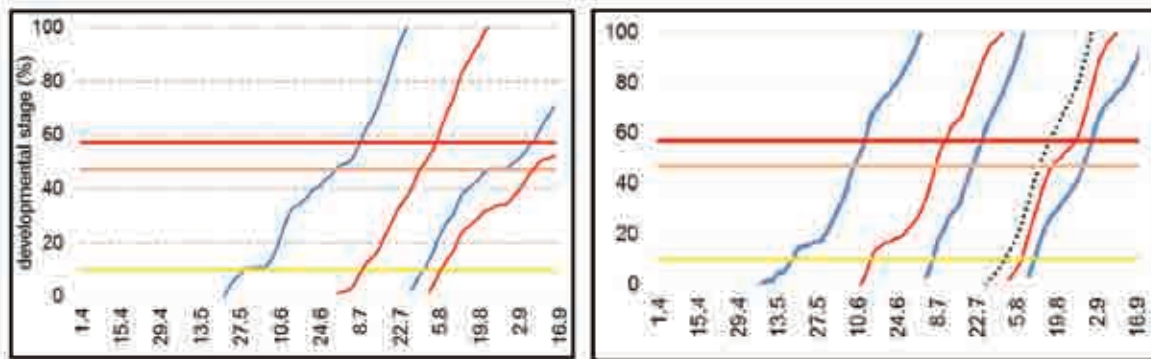


Legenda: modrá - 1. a 2. generácia, červená - prvá a druhá sesterská populácia.

Obrázok 2. Porovnanie fenologického vývoja a počet generácií lykožrúta smrekového TL 2014 (a) a TL 2015(b), VH 2014 (c), VH 2015 (d)

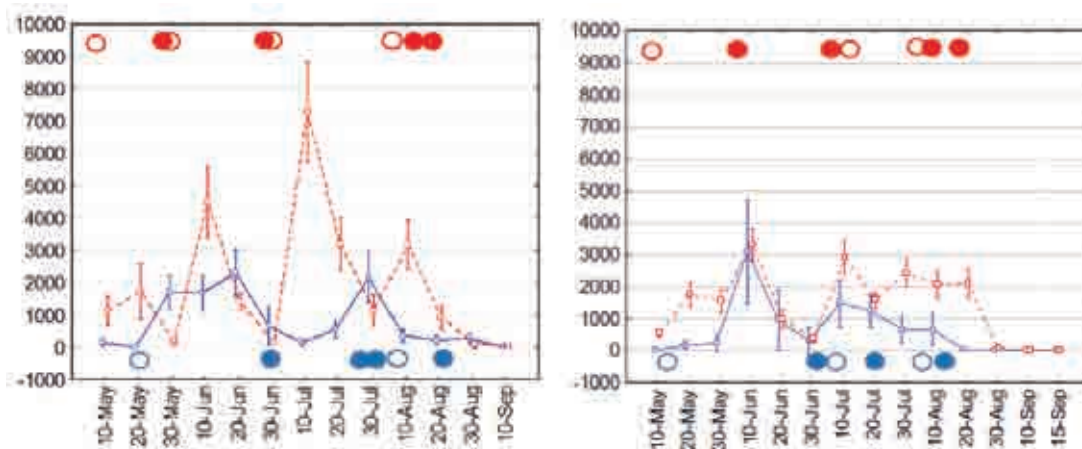
Vyššia teplota v kôre vývratov umožnila v roku 2014 na lokalite TL dokončiť vývoj okrem prvej rodičovskej aj sesterskej populácii. Druhá generácia sa do polovice septembra vyvinula do štádia nedospelého chrobáka s vysokou šancou na úspešnú zimnú hibernáciu. Druhá sesterská populácia sa vyvinula do polovice štádia kukly, čo je mierne pod predpokladanou hranicou prežívania zimy (červená čiara v grafoch). Na ploche VH sa vyvinuli tri hlavné rodičovské generácie, dve sesterské populácie a vývoj dokončila aj dcérska populácia prvej sestry.

Hustý sled ukončenia vývoja jednotlivých generácií a potomstiev fakticky znemožňuje identifikáciu generácií v terénnych podmienkach. Naviac, rozdiel v skutočnom rojení oproti modelovanému stanoveniu môže byť spôsobený odchýlkou teplôt v dôsledku tienenia stromov, resp. kmeňov, ich orientáciou, sklonom svahu a pod. Pomerne spoľahlivou verifikáciou odhadu vývoja a počtu generácií sú odchytvy vo feromónových lapčoch. Lapače boli po oba roky umiestnené v okolí sledovaných lokalít, na každej lokalite bolo inštalovaných 20, resp. 25 lapačov. Odchytvy v roku 2015 boli až 2,5-násobne vyššie ako v roku 2014. Pozoruhodný bol nárast odchytov v polovici augusta 2015, ktorý potvrdzuje zvýšený počet generácií na nespracovaných vývratoch.



Legenda: modrá - 1. a 2. generácia, červená - prvá a druhá sesterská populácia, bodkovaná - filiálna populácia prvej sestry.

Obrázok 3. Fenologický vývoj a počet populácií lykožrúta smrekového na vývratoch a) TL 2014, b) VH 2015.



Obrázok 4. Počet lykožrútov v lapačoch (priemer a smerodajná odchýlka) v roku 2014 (modrá) a 2015 (červená) na lokalite TL (a) a VH (b). Značky predstavujú dátum predpokladaného výletu jednotlivých generácií a potomstiev, krúžky sú pre výlet zo živých stromov, bodky pre vývraty.

Záver

Naše výsledky poukázali na schopnosť lykožrúta smrekového reagovať na zvýšenú teplotu prostredia nárastom počtu generácií. Zistili sme, že teplota kôry na vývratoch je v priemere vyššia až o 3 °C, na priamo osvetlených častiach až 5 °C. V extrémne teplom roku 2015 sme na vývratoch zistili ukončený vývoj až troch rodičovských generácií. Predpokladáme, že pri „normálnom“ priebehu zimy sa na budúci rok rozsah poškodených porastov môže výrazne zhoršiť vzhľadom na očakávaný nárast populácie.

Experiment potvrdil vhodnosť použitia fenologických modelov pre odhad vývoja lykožrúta v tatranských podmienkach. Štandardne používaný model PHENIPS mal chybu odhadu (MSE) 2,5 °C. Po parametrizácii na priamo meranú teplotu kôry sa presnosť zvýšila na prijateľnú hodnotu 0,8 °C.

Literatúra

- Baier, P., Pennerstofer, J., Schopf, A., 2007: PHENIPS – a comprehensive phenology model of *I. typographus* as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. *Forest Ecology and Management*, 249:171–186.
- Berec, L., Doležal, M., Hais, M., 2013: Population dynamics of *Ips typographus* in the Bohemian Forest (Czech Republic): Validation of the phenology model PHENIPS and impacts of climate change. *Forest Ecology and Management*, 292:1–9.
- Bucha, T., Hlásny, T., 2015: Kalamita a lesy TANAP-u v národnom a medzinárodnom kontexte. *Stúdie o TANAP*, 11 (in print).
- Blackwell, E., Wimmer, V., Baier, P., Schopf, A., 2013: Induction and spread of spruce bark beetle outbreak in the wilderness area of Durrenstein, Austria. 3rd Symposium for Research in protected areas, Conference volume, p. 65–70.

- Christiansen, E., Waring, R. H., Berryman, A. A., 1987: Resistance of conifers to bark beetle attack: searching for general relationship. *Forest Ecology and Management*, 22:89–106.
- Doležal, P., Sehnal, F., 2007: Effects of photoperiod and temperature on the development and diapause of the bark beetle *I. typographus*. *J. Appl. Entomol.*, 137:165–173.
- Faccoli, M., 2009: Effect of weather on *Ips typographus* (Coleoptera, Curculionidae) Phenology, Voltinism, and Associated Spruce Mortality in the Southeastern Alps. *Environmental entomology*, 38(2):307–316.
- Hlásny, T., Turčáni, M., 2009: Insect pests as climate change driven disturbances in forest ecosystems. In: Střelcová, K. et al. (eds.): *Bioclimatology and natural hazards*. Springer, p. 165–177.
- Lange, H., Okland, B., Krokene, P. 2006: Thresholds in the life cycle of the spruce bark beetle under climate change. *Interjournal for Complex Systems*, 1648:1–10.
- Mello, M., Lapin, M., Kapalková, H., Pecho, J., Križicová, A., 2013: Climate trends in the Slovak part of the Carpathians. In: Kozak, J. (ed.): *The Carpathians – Integrating Nature and society Towards Sustainability*, Environmental Science and Engineering. Springer, p. 131–150.
- Netherer, S., Nopp-Mayr, U., 2005: Predisposition assessment systems (PAS) as supportive tools in forest management - rating of site and stand-related hazards of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains as an example for system application and verification. *Forest Ecology and Management*, 207:99–107.
- Wermelinger, B., 2004: Ecology and management of the spruce bark beetle – a review of recent research. *Forest Ecology and Management*, 202:67–82.
- Wermelinger, B., Seifert, M., 1998: Analysis of temperature dependent development of spruce bark beetle *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolitidae). *Journal of Applied Entomology*, 122:185–191.
- Zumr, V., 1982: The data for prognosis of the spring swarming of main species of bark beetles (Coleoptera, Scolytidae) on the spruce (*Picea excelsa* L.). *J. Appl. Entomol.*, 93:305–320.

doc. Ing. Peter Fleischer, PhD., Ing. Ján Ferenčík

Výskumná stanica a Múzeum TANAP-u, Štátne lesy Tatranského národného parku, 059 60 Tatranská Lomnica,
e-mail: pfleischer@lesytanap.sk; jferencik@lesytanap.sk

Ing. Peter Fleischer

Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Masarykova 24, 960 53 Zvolen