

ŠTÚDIA VYUŽITIA METÓDY SIT V BOJI S LYKOŽRÚTOM SMREKOVÝM *IPS TYPOGRAPHUS*

Jozef Vakula • Milan Zúbrik • Andrej Gubka • Juraj Galko • Slavomír Rell
• Andrej Kunca • Michal Lalík • Roman Leontovyč • Christo Nikolov
• Ján Jurica • Zuzana Balandová • Ján Bučan

Vakula, J., Zúbrik, M., Gubka, A., Galko, J., Rell, S., Kunca, A., Lalík, M., Leontovyč, R., Nikolov, C., Jurica, J., Balandová, Z., Bučan, J.: Use of the SIT method in forest protection against *Ips typographus*. APOL, 2022, vol. 3, no. 1, p. 3–14.

Abstract: Research on the SIT (Sterile Insect Technique) method has received little attention in the field of forest protection. Only a few papers have been published concerning the basic research of the SIT method on *Lymantria dispar* and *Ips typographus*. In our experiment, *Ips typographus* beetles were exposed to 20 Gy and 30 Gy gamma radiation. The effect of radiation on the vitality and reproduction of the F0 and F1 generations was studied. After irradiation, imagoes were kept on spruce logs in the insectarium and on a stem in the forest. There was a statistically significantly lower number of galleries in the 30 Gy variant, the number of galleries with larval tunnels, the number of larval tunnels per 1 maternal tunnel, and the number of F2 generation beetles in the insectarium. No statistically significant differences were found between the irradiated variants and the control beetles in the forest. After irradiation of both sexes with a dose of 30 Gy, the males were partially sterilized, which reduced the number of galleries with larval tunnels by an average of 20% and a reduction in the number of larval tunnels per 1 maternal tunnel by 57%. Our experiments to irradiate both sexes with a dose of 20 Gy and 30 Gy did not confirm the complete hereditary sterility of the *Ips typographus*, and the development of the F2 generation was successful. Radiation doses of 20 Gy and 30 Gy do not ensure sufficient sterility, but at higher doses, there is a significant increase in the mortality of the imagoes. Experiments in the forest on stem achieved lower results variability and F0 generation mortality due to more suitable environmental conditions.

Key words: SIT method; *Ips*; spruce; bark beetle

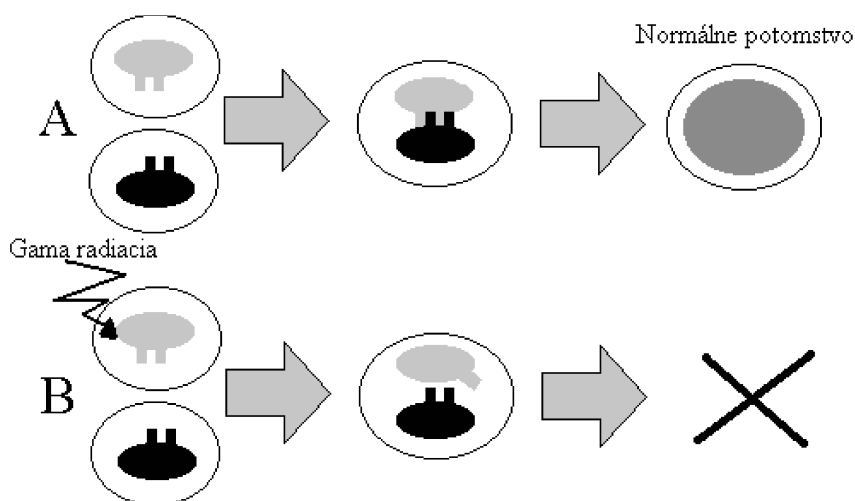
1. Problematika

Súčasným európskym trendom je znižovanie používania pesticídov, čo je zároveň jedným z cieľov integrovanej ochrany lesa. Chemické insekticídy sú relatívne lacné, ale majú mnohé nevýhody. Poškodzujú životné prostredie, ničia prirodzených nepriateľov škodlivého hmyzu, zanechávajú v prírode rezíduá a škodca si voči nim postupne vytvára rezistenciu. Aj napriek tomu, že svetové ročné náklady na použitie pesticídov sú približne 35 miliárd amerických dolárov, ktoré sú vynaložené na aplikáciu 3 miliónov ton pesticídov, je stále viac ako 40 % produkcie plodín poškodených škodcami, čo predstavuje stratu 750 miliárd dolárov (Oerke et al. 1994). Z tohto množstva poškodí práve hmyz 14 % plodín, čo je najviac. Najvyššie množstvo pesticídov sa spotrebuje v Európe, za roky 1995 – 2005 je to priemerne ročne 1 milión ton (Pimentel 2007). Neustále silnie tlak na zastavenie používania pesticídov, dochádza k zväčšovaniu území, kde nie je možné tieto prípravky používať. Sú to napr. územia s rôznym stupňom ochrany prírody, certifikované lesy alebo pásma hygienickej ochrany vodných zdrojov. Postupný ústup od aplikácie chemických prípravkov deklaruje Európska únia aj postupným prehodnocovaním a vyradovaním účinných látok z európskeho zoznamu účinných látok. Tieto trendy však zatiaľ nie sú v adekvátnej miere kompenzované zavádzaním nových, účinných, ekologických metód ochrany lesa a účinná alternatíva tak stále chýba.

Jednou z negatív nových, environmentálne vhodných metód je ich cena. Ako všetko nové aj tieto metódy sú často nákladnejšie ako dlhodobo zaužívané technológie. V potravinárstve však už dnes existuje

tujú určité tlaky, ktoré nútia producentov i napriek vyššej cene, používať ekologicky čisté metódy. Tu je priestor pre také metódy, ako je metóda sterilného hmyzu SIT (Sterile Insect Technique). Nemožno očakávať, že v dohľadnom čase nájde metóda SIT masové uplatnenie v lesníctve a vytlačí používanie chemických insekticídov. Na druhej strane by mohla pre budúcnosť, v prípade pozitívneho vývoja predstavovať istú alternatívu. Je len samozrejmé, že skôr ako začneme nahrádzať insekticídy inými spôsobmi ochrany, musíme objektívne zhodnotiť všetky pozitíva, ale i riziká ktoré nové metódy so sebou prinášajú. Metóda sterilného hmyzu SIT nie je nová, jej výskum začal už v 30. rokoch 20. storočia a po prvýkrát bola testovaná v terénnych podmienkach v roku 1955 (Knipling 1955; Klassen & Curtis 2005). Táto environmentálne akceptovateľná metóda bola odvtedy úspešne použitá na mnohých druhoch škodlivého hmyzu, predovšetkým v poľnohospodárstve (Lindquist 1984; Krafur 1998). Je plne druhovo špecifická a nemá ekologicky nežiaduci dopad na iné druhy organizmov. Technológia vypúšťania sterilného hmyzu SIT je rutinne používaná v Ázii, Severnej a Južnej Amerike a čiastočne v Afrike. Najväčšie úspechy v praktickom poľnohospodárstve a lesníctve boli v tomto smere dosiahnuté v USA, Japonsku, Kanade, Mexiku, Guatemale, Kostarike, Argentíne, Peru, Brazílii, Izraeli, Sýrii a v ďalších krajinách. V USA investujú ročne do pesticídov 8 miliárd dolárov, ktoré ochránia úrodu za 30 miliárd dolárov, zatiaľ čo alternatívne nechemické metódy ochránia úrodu za ďalších približne 30 miliárd dolárov ročne (Pimentel 1997).

Metóda SIT je založená na umelej produkcii veľkého množstva jedincov, ktoré sú sterilizované a následne vypúšťané do prostredia. Metóda musí byť však použitá celoplošne, čo znamená, že ošetrovaná plocha nesmie priamo susediť s plochou neošetrovanou. Knipling (1972) použil jednoduché modely aby dokázal, že ak zostanú v populácii škodcu čo i len malé časti územia neošetrované, môžu v krátkej dobe úplne anulovať vplyv tejto metódy na celkovú populáciu škodcu. Podstata SIT je v tom, že umelo vypustené sterilné jedince sa pária s fertílnymi jedincami toho istého druhu opačného pohlavia v prirodzenom prostredí škodcu, pričom dochádza k zabráneniu normálneho reprodukčného procesu (obr. 1). Výsledkom je znížená reprodukcia škodcu, resp. jeho úplná eliminácia na ošetrovanom území. Technológia SIT má viacero limitov, vyžaduje zvládnutie umelého chovu škodcu, je vysoko náročná na manažment a znalosť biológie cieľového organizmu, musí sa aplikovať na veľkých výmerách, pretože iba vtedy je možné dosiahnuť úspech a iba vtedy je ekonomicky rentabilná (Knipling 1979). Cieľovými druhmi, proti ktorým je metóda SIT v praxi používaná sú napr. *Bactrocera* sp., *Anastrepha* sp., *Ceratitis capitata*, *Cydia pomonella*, *Glossina* sp. a *Lymantria dispar*. V lesníctve je zatiaľ najlepšie spracovaná a zvládnutá metóda umelého chovu mnišky veľkohlavej *Lymantria dispar*, preto je tento druh z tohto hľadiska do budúcnosti najperspektívnejší (Novotný & Zúbrik, 2003).



Obrázok 1. Princíp SIT metódy, normálny rodičovský pár (A) produkuje životaschopné potomstvo, spojenie sterilného samca a normálnej samice (B) neprodukuje potomstvo

Figure 1. Principle of the SIT method, a normal parental couple (A) produces viable offspring, although combination of a sterile male and a normal female (B) does not produce offspring.

Lykožrút smrekový *Ips typographus* (L.) je jedným z najvýznamnejších hmyzích škodcov dospelých smrekových lesov *Picea abies* (L.) Karst. v celej Eurázii (Sauvard 2007). Opakovane sa premnožuje, pričom bývajú napadnuté tisíce štvorcových kilometrov lesa a premnoženia majú za následok úhyn miliónov stromov. Na Slovensku je lykožrút smrekový najvýznamnejší biotický škodca lesa, premnožuje sa najčastejšie po vetrových kalamitách, posledných 20 rokov aj v suchom oslabených smrečiniách. Okrem toho, že sucha a vysoké teploty pôsobia negatívne na hostiteľskú drevinu smrek, pôsobia väčšinou pozitívne na populáciu lykožrúta smrekového. Tá sa v zmenených podmienkach správa agresívnejšie, má viac generácií za rok, rýchlejší vývoj, menšiu mortalitu a pod. Vrcholy posledných dvoch gradácií lykožrúta smrekového na Slovensku boli zaznamenané v rokoch 2008 – 2010, kedy bolo spracovaných 8,9 mil. m³ dreva a v rokoch 2017 – 2019, kedy bolo spracovaných 11,0 mil. m³ napadnutého dreva (Vakula et al. 2021). Jedná sa vôbec o dve najväčšie gradácie lykožrúta smrekového v celej histórii evidencie, od roku 1960.

Doterajšie výskumy SIT metódy na lykožrútovi smrekovom boli zamerané predovšetkým na stanovenie optimálnej dávky žiarenia, ktorá by zabezpečovala požadovanú sterilitu, bez výrazne zvýšenej vitality ožiarených jedincov (Turčáni & Vakula 2007). Ďalší výskum bol zameraný aj na vplyv žiarenia na reprodukčné a endokrinné bunky lykožrúta smrekového (Čičková et al. 2017). Optimálna dávka gama žiarenia potrebná na vyvolanie sterility sa líši od druhu k druhu a medzi pohlaviami rovnakého druhu hmyzu. Sterilizačná dávka gama žiarenia pre hmyz z čeľade Curculionidae, kde patrí lykožrút smrekový, je menej ako 100 Gy (Bakri et al. 2005). Príliš vysoká dávka žiarenia môže viesť k vysokej mortalite ožiarených jedincov, na strane druhej, príliš nízka dávka k neúplnej sterilite. Ožiaréním dochádza aj k poškodeniu tráviaceho traktu lykožrútov, konkrétne stredného čreva, čo môže viesť k ich slabej vitalite. Lauzon & Potter (2012) dokázali, že dávky žiarenia používané pri SIT spôsobujú bunkové poškodenie epitelu stredného čreva, redukcii mikrobioty stredného čreva a redukcii tvorby peritrofnej membrány u samcov ovocných mušiek *Anastrepha ludens* a *Ceratitis capitata*. Žiarenie môže spôsobiť aj zmenu správania samcov, ktoré nie sú pri rozmnožovaní konkurencieschopné neožiareným samcom, potom má metóda slabý účinok. Veľmi dôležitou vlastnosťou tejto metódy je, že aj keď sa z časti vajíčok vyliahnu jedince následnej F1 generácie, tieto sú neplodné. Jedná sa o tzv. dedičnú sterilitu hmyzu, ktorá je pri tejto metóde využívaná.

Cielom štúdie je výskum vplyvu pôsobenia gama radiácie s dávkou 20 Gy a 30 Gy na fertilitu a vitalitu lykožrútov smrekových chovaných v insektáriu na klátoch a na kmeni v lese.

2. Materiál a metódy

2.1. Zber, uskladnenie a triedenie pohlaví

Na realizáciu pokusov je potrebné zabezpečiť dostatočné množstvo zdravých, vitálnych jedincov lykožrúta smrekového. Najvhodnejšou metódou je založenie kontinuálneho chovu v laboratórnych podmienkach. Tento spôsob umožňuje produkovať vysoké počty lykožrútov, ktoré nie sú napadnuté parazitmi a patogénmi, jedná sa o tzv. čistý chov. Tento spôsob je najvhodnejší, no vyžaduje si zvládnutie chovu na umelej potravine. V prípade podkôrneho hmyzu, ktorého larvy žijú v lyku sa takúto potravu doposiaľ nepodarilo vyrobiť. Neúspešné pokusy s vysokou mortalitou boli realizované s umelou potravou, ktorá bola zložená z agaru, mletej smrekovej kôry a vody (Simek 1993; Mattanovich et al. 1999). Ak nie je dostupný umelý ekvivalent potravy, lykožrúty je možné chovať na čerstvých smrekových klátoch v insektáriách, jedná sa o chov na prirodzenej potravine. Tento spôsob je však prácny, závislý na dodávkach čerstvých klátov a je veľmi náročný na priestory a logistiku. Ďalšou metódou získania živých lykožrútov je ich odchyt z naletených kmeňov. Naletené kmene s požerkami, v ktorých sú živé jedince lykožrútov sa prevezú do fotoeklektorov, kde sa dochovávajú a po vyletení sa odchytia do nádob umiestnených na fotoeklektoroch. Pri odchYTE sa využíva pozitívna fototaxia lykožrútov na svetlo. Táto metóda má svoje negatíva, akými sú náročnosť na priestory a prácnosť. Medzi odchytými jedincami budú aj infikované alebo parazitované jedince, ktoré nám ovplyvnia výsledky pokusov. Poslednou metódou je získavanie lykožrútov z feromónových lapačov, z jednoduchých odchytov. Do odchytovej nádoby lapača je potrebné vložiť papier, aby boli lykožrúty čo najmenej stresované a nedochádzalo k poškodeniu

jedincov medzi sebou. Vhodné sú objemnejšie zberné nádoby s priehľadného materiálu. Táto metóda je pomerne jednoduchá, no zdravotný stav a vitalita odchytených lykožrútov je variabilná. Odchytené výrazne menej samcov, max. 30 %, odchytené môžu byť aj samičky, ktoré zakladajú sesterskú generáciu. Jedinice z lapačov môžu byť poškodené, parazitované a infikované hubami. Preto je potrebné vyberať na pokus len vitálne a aktívne jedince.

Odchytené lykožrúty sú uskladnené v chladničke pri teplote 5 – 10 °C. Osvedčilo sa uskladnenie v tmavej podzemnej pivnici pri teplote 10 °C a vlhkosti 50 %. Do nádoby s lykožrútmami sa umiestňuje smreková vetvička a servítka. Takto je možné uskladniť lykožrúty po dobu max. 5 dní, s predĺžovaním doby uskladnenia výrazne klesá ich vitalita. Triedenie na samce a samice je časovo náročné, čo stresuje lykožrúty a významne zvyšuje ich mortalitu. Pri skladovaní lykožrútov dochádza k vysokej mortalite už po 3 dňoch. Dôležité je vyhýbať sa extrémnym rozdielom teplôt. Sexuálna separácia lykožrútov sa vykonáva podľa metodiky Schlytter & Cederholm (1981). Táto metóda je založená na sledovaní troch morfologických znakov, z ktorých je najvýznamnejšia hustota chĺpkov v pronotálnej časti (predohrud) samcov a samíc. Na triedenie pohlaví sa používa stereomikroskop so zväčšením 42-krát, s použitím studeného osvetlenia.

2.2. Ožarovanie a chov

Na sterilizáciu lykožrútov sa používa gama žiarenie, ktorého zdrojom je Cobalt 60. Ožarovanie bolo realizované v Slovenskom metrologickom ústave Bratislava. Jedinice boli počas prepravy umiestnené v prenosnej chladničke s ľadom, v plastových boxoch s rozmermi 18 × 13 × 8 cm (obr. 2). Z dôvodu vytvorenia konštantných podmienok boli prevážané aj jedince z kontrolných (neožiarených) variantov. V pokusoch boli použité dávky žiarenia 20 Gy a 30 Gy. V ten istý deň, ako boli lykožrúty ožiarené, boli založené pokusy. Chov lykožrútov po ožarení bol vykonávaný na klátoch v insektáriu a na zrezanom kmeni v lese.



Obrázok 2. Nádoby s lykožrútmami umiestnené pred zdrojom žiarenia
Figure 2. Containers with *Ips typographus* placed in front of the radiation source.

Vplyv pôsobenia gama radiácie s dávkou 20 Gy a 30 Gy na fertilitu a vitalitu lykožrútov bol sledovaný prostredníctvom základných chovných parametrov, ako sú: mortalita rodičovských imág, podiel počtu všetkých požerkov k počtu vypustených samcov, podiel počtu požerkov s materskými chodbami k počtu všetkých požerkov a podiel počtu požerkov s larválnymi chodbami k počtu všetkých požerkov. Zároveň boli hodnotené aj detailné chovné parametre, ako sú: dĺžka materskej chodby, počet larvových chodieb na 1 materskú chodbu, dĺžka larvových chodieb a počet imág F1 generácie. Pokus prebiehal v roku 2021. Z dôvodu veľkých rozdielov hodnôt pri jednotlivých variantoch a lepšej interpretácie výsledkov bolo zvolené percentuálne vyhodnotenie sledovaných parametrov. Štatistická analýza bola vykonaná pomocou jednofaktorovej analýzy variancie (ANOVA).

Chov na klátoch v insektáriu

Insektárium na chov sa nachádza vo vonkajšom krytom prostredí (obr. 3). Smrekové kláty v insektáriu sú umiestnené v boxoch s rozmermi 49 × 49 × 70 cm, predný otvor má rozmery 45 × 66 cm (obr. 4). Rám boxov tvorí hliníková konštrukcia, tri steny sú vyrobené z plexiskla a štvrtá (predná) z nylonovej sieťoviny. Kláty majú hrúbku 20 – 30 cm a dĺžku 50 cm. Klát umiestnený v boxe je na spodnej strane podložený papierom a stojí na drevených podstavcoch vo výške 3 cm. Vrchné čelo klátu je prikryté papierom, aby nedochádzalo k rýchlemu vysychaniu. Kláty boli pred použitím uskladnené vo vlhkej a chladnej pivnici, do boxov boli vložené 1 deň pred začiatkom pokusu. Po vypustení lykožrútov do boxov boli boxy čistené a mŕtve lykožrúty boli odstraňované.



Obrázok 3. Vonkajšie insektárium na chov podkôrneho hmyzu

Figure 3. Outdoor insectarium for bark beetle breeding.



Obrázok 4. Chovné boxy so smrekovými klátmi umiestnené vo vonkajšom insektáriu

Figure 4. Breeding boxes with spruce logs located in the outdoor insectarium.

Do každého chovného boxu v insektáriu bolo vypustených 20 samcov a 40 samíc. Každý z variantov pokusu mal 3 opakovania. V prvom variante pokusu boli ožiarené obe pohlavia dávkou 20 Gy, v druhom variante boli ožiarené obe pohlavia dávkou 30 Gy a v treťom variante boli chované neožiarené jedince (kontrola – 0 Gy). Každý z variantov mal 3 opakovania, spolu bolo založených 9 chovných boxov. Po ukončení vývoja prvej F1 generácie na klátoch boli vyletené lykožrúty vypustené na nové kláty do boxov, kde bol sledovaný vplyv gama radiácie na následnú F2 generáciu.

Chov na kmeni v lese

Z dôvodu namodelovania prirodzených podmienok pre vývoj lykožrútov boli pokusy s chovmi založené priamo v smrekovom lese na čerstvom kmeni. Kmeň bol pripravený 2 – 3 dni pred zakladaním pokusu. Zrezaný bol zdravý smrek v zapojenom poraste s hrúbkou $d_{1,3} 25$ cm. Smrek bol odvetvený tak, aby nebola poškodená kôra a podložený do výšky 20 cm (obr. 5). Kmeň bol rozdelený na 9 sekcií, s dĺžkou sekcie 80 cm. Hranice sekcií boli pílou okrúžkované. Na kmeň bola natiahnutá pevná nylonová sieťovina široká 110 cm, s priemerom otvorov 1 mm (obr. 6). Na bočnej strane bol spoj preložený. Jednotlivé sekcie sa medzi sebou oddelili viazacím drôtom tak, že bol drôt tesne stiahnutý do pripravenej drážky po obvode. Horizontálny spoj bol na vrchnej strane pripnutý ku kmeňu spinkami a prekrytý drevenou latou s rozmermi 2 × 4 cm, ktorá bola pritiahnutá ku kmeňu samo reznými skrútkami. Pred vypustením chrobákov bola sieť na spoji uvoľnená, lykožrúty boli vypustené pod sieť a sieť sa opäť utesnila spinkami a latou. Sekcie boli prikryté zelenými vetvami.

Do každej sekcie bolo vypustených 20 samcov a 40 samíc. V prvom variante boli vypustené a chované ožiarené samce dávkou 20 Gy s neožiarenými samicami, v druhom variante boli chované ožiarené samce dávkou 30 Gy s neožiarenými samicami a v treťom variante boli chované neožiarené jedin-

ce (kontrola). Varianty na lapáku sa medzi sebou striedali tak, aby bolo vždy jedno opakovanie v spodnej, jedno v strednej a jedno vo vrchnej časti lapáku. Sekcie na lapáku boli po 5 týždňoch odkôrnené, prevezené a následne boli požerky v laboratóriu merané. Lykožrúty F1 generácie boli v čase merania požerkov v štádiu larvy.



Obrázok 5. Kmeň rozdelený do sekcií, sekcie sú izolované od prostredia nilonovou sieťovinou
Figure 5. Spruce stem separated to the sections, the sections are isolated from the forest environment by a nylon net.

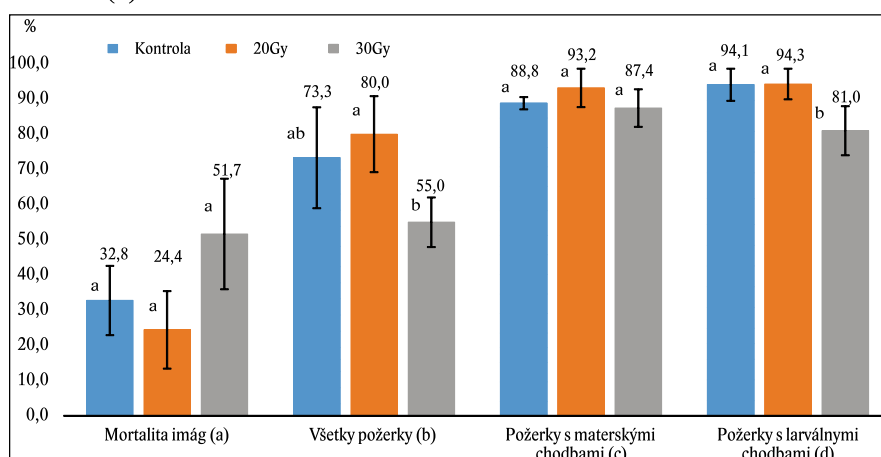


Obrázok 6. Štyri sekcie na kmeni prikryté nilonovou sieťou
Figure 6. Four sections on the spruce stem covered by a nylon net.

3. Výsledky a diskusia

3.1. Chov na klátoch v insektáriu

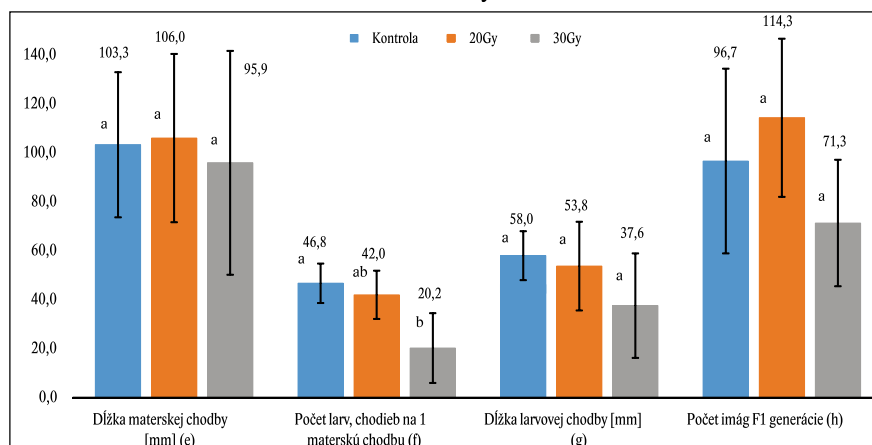
Mortalita imág F0 generácie (a) bola najnižšia vo variante 20 Gy, dosahovala priemernú hodnotu 24,4 % (obr. 7). Najvyššia bola vo variante 30 Gy, dosahovala hodnotu 51,7 %. Najvyšší podiel požerkov (b) sa vyskytoval vo variante 20 Gy, dosiahol hodnotu 80,0 % a najnižší vo variante 30 Gy, s hodnotou 55,0 %. Počet požerkov s materskými chodbami (c) bol najnižší pri variante 30 Gy – 87,4 % a najvyšší pri variante 20 Gy – 93,2 %. Pri parametri počet požerkov s larválnymi chodbami (d) dosiahol najnižšiu hodnotu variant 30 Gy – 81,0 %, variant 20 Gy a kontrola dosahovali podobné hodnoty 94,3 %, resp. 94,1 %. Štatisticky významné rozdiely ($P < 0,05$) boli zistené medzi variantom 30 Gy a variantmi 20 Gy a kontrola a to v parametroch počet všetkých požerkov (b) a počet požerkov s larválnymi chodbami (d).



Obrázok 7. Porovnanie základných chovných parametrov generácie F0, v kontrolnom variante a ožiarených variantoch ♂♀ v insektáriu (priemerná hodnota ± smerodajná odchýlka)

Figure 7. Comparison of basic breeding parameters of the F0 generation, in the control variant and irradiated variants ♂♀ in the insectarium (mean value ± standard deviation).

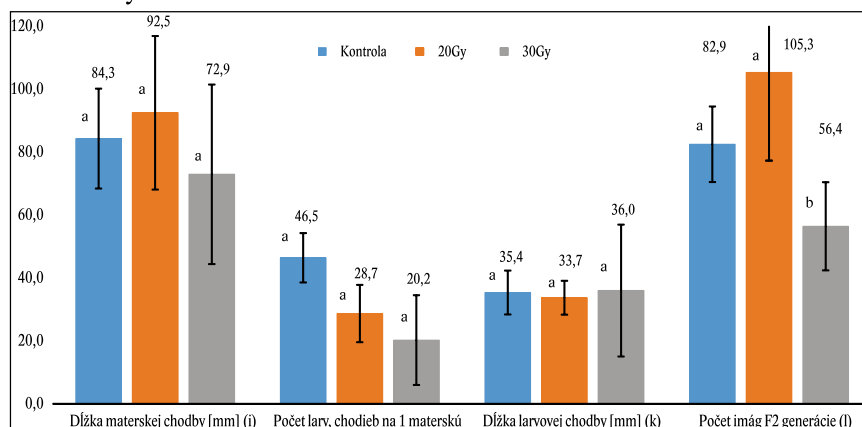
Pri hodnotách detailných chovných parametrov mala dĺžka materskej chodby (e) pomerne vysokú variabilitu hodnôt v samotných variantoch, dosahoval priemerné hodnoty 95,9 mm pri variante 30 Gy až 106,0 mm pri variante 20 Gy (obr. 8). Hodnoty parametrov počet larvových chodieb na 1 materskú chodbu (f) a dĺžka larvovej chodby (g) sa so zvyšujúcou dávkou žiarenia znižovali, najnižšie hodnoty dosiahli pri dávke 30 Gy – 20,2 chodby, resp. 37,6 mm. Počet vyletených imág F1 generácie (h) bol najvyšší pri variante 20 Gy, z jedného klátu vyletelo priemerne 114,3 imág, zatiaľ čo pri variante 30 Gy vyletelo len 71,3 imág. Štatisticky významné rozdiely ($P < 0,05$) boli zistené v počte larvových chodieb na jednu materskú chodbu a to medzi variantom 30 Gy a variantom kontrola.



Obrázok 8. Porovnanie detailných chovných parametrov generácie F0 – F1, v kontrolnom variante a ožiarených variantoch ♂♀ v insektáriu (priemerná hodnota ± smerodajná odchýlka)

Figure 8. Comparison of detailed breeding parameters of the F0 – F1 generation, in the control variant and irradiated variants ♂♀ in the insectarium (mean value ± standard deviation).

Vyletené imága F1 generácie boli použité na založenie F2 generácie na nových klátoch v insektáriu. Počet požerkov s larválnymi chodbami bol pri variante 30 Gy o 20 % nižší, ako pri kontrole a o 15 % nižší ako pri variante 20 Gy. Priemerná dĺžka materskej chodby (i) bola najdlhšia pri variante 20 Gy – 92,5 mm, nasledovala kontrola – 84,3 mm a variant 30 Gy – 72,9 mm (obr. 9). Počet larvových chodieb (j) na jednu materskú chodbu bol najvyšší pri variante kontrola – 46,4 chodby, nasledoval variant 20 Gy – 28,7 chodby a variant 30 Gy – 20,2 chodby. Dĺžky larvových chodieb (k) boli veľmi podobné pri všetkých variantoch, s hodnotami 33,7 mm pri variante 20 Gy po 36,0 mm pri variante 30 Gy. Najvyššie rozdiely v priemerných hodnotách boli zistené pri počte vyletených imág F2 generácie (l), keď pri kontrole vyletelo 82 imág, vo variante 20 Gy – 105 imág a pri variante 30 Gy – 56 imág F2 generácie. Pri variante 30 Gy boli hodnoty vyletených imág štatisticky významne nižšie ($P < 0,05$), ako pri variante kontrola a 20 Gy.



Obrázok 9. Porovnanie základných chovných parametrov generácie F1, v kontrolnom variante a ožiarených variantoch ♂♀ v insektáriu (priemerná hodnota ± smerodajná odchýlka)

Figure 9. Comparison of basic breeding parameters of the F1 generation, in the control variant and irradiated variants ♂♀ in the insectarium (mean value ± standard deviation).

3.2. Chov na kmeni v lese

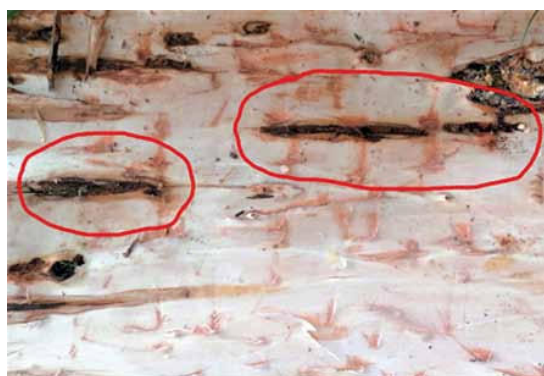
Po odkôrnení kmeňa boli v kontrolnom variante nachádzané požerky s plne vyvinutými larválnymi chodbami (obr. 10, 11), zatiaľ čo v ožiarených variantoch boli nachádzané požerky bez larvových chodiieb, resp. s redukovaným počtom larvových chodiieb (obr. 12, 13). Na kmeni v lese boli rozdiely v základných chovných parametroch požerkov na lapáku minimálne, s výnimkou počtu požerkov s larválnymi chodbami, kde pri variante 30 Gy dosahoval 85 %, zatiaľ čo pri kontrole a variante 20 Gy to bolo 98 % zo všetkých požerkov. Priemerná dĺžka materskej chodby (m) dosahovala pri kontrole 83,6 mm, pri variante 20 Gy – 80,9 mm a pri variante 30 Gy – 92,0 mm (obr. 14). Počet larvových chodiieb (n) bol najnižší pri variante 30 Gy – 26,2 chodby, zatiaľ čo pri variante 20 Gy to bolo 29,1 chodby a pri variante kontrola 34,5 chodby. Dĺžka larvej chodby (o) bola najdlhšia pri kontrole – 38,9 mm a najkratšia pri variante 30 Gy – 25,6 mm. Počet jedincov F1 generácie nebol zisťovaný, pretože vývoj lykožrútov v čase odkôrňovania lapáku nebol dokončený. Štatistické významné rozdiely medzi ožiarenými variantmi a kontrolou neboli zistené.



Obrázok 10. Odkôrňovanie sekcie na kmeni
Figure 10. Debarking section on the stem.



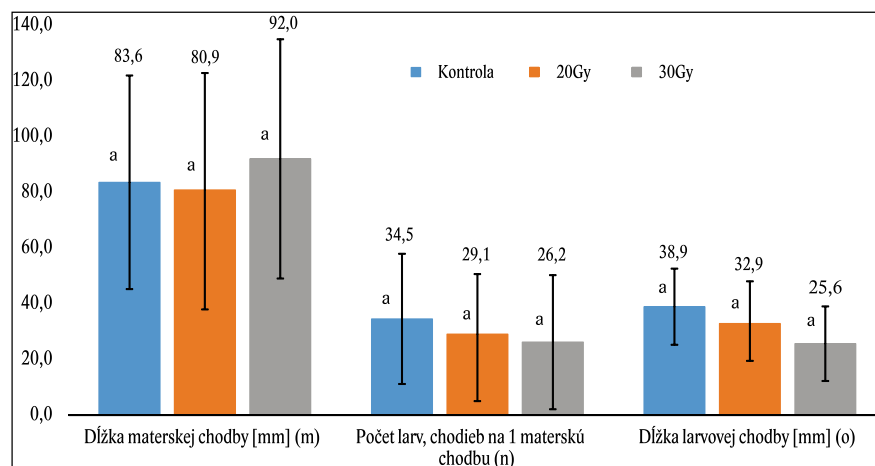
Obrázok 11. Odkôrnená sekcia vo variante kontrola, požerky sú plne vyvinuté
Figure 11. Debarked section in the control variant, galleries are fully developed.



Obrázok 12. Po odkôrnení sekcie variantu 30 Gy bola časť požerkov bez larvových chodiieb
Figure 12. After debarking the 30 Gy variant section, part of the swallow was without larval tunnels.



Obrázok 13. Požerok s redukovaným počtom larvových chodiieb vo variante, kde boli samce ožiarené dávkou 30 Gy
Figure 13. Gallery with reduced number of larval tunnels in the variant where the males were irradiated with a dose of 30 Gy.



Obrázok 14. Porovnanie detailných chovných parametrov generácie F1–F2, v kontrolnom variante a ožiarených variantoch σ na kmeni v teréne (priemerná hodnota \pm smerodajná odchýlka)
Figure 14. Comparison of detailed breeding parameters of the F1 – F2 generation, in the control variant and irradiated variants σ on a stem in the field (mean value \pm standard deviation).

Výsledky preukázali, že pri ožiarení oboch pohlaví dávkou 30 Gy došlo k čiastočnej sterilizácii samcov, čo sa prejavilo na znížení počtu požerkov s larválnymi chodbami priemerne o 20 %. To znamená, že po nakladení znášky nedošlo k vyliahnutiu lariev s neoplodnených vajíčok. Zároveň došlo k zníženiu počtu larvových chodieb na jednu materskú chodbu F1 generácie, priemerne o 26,6 chodby, čo je o 57 % menej. Hodnoty parametrov požerkov jedincov ožiarených dávkou 20 Gy boli porovnateľné hodnotám parametrov v kontrolnom variante, v niektorých parametroch boli dokonca vyššie. Na jedince samičieho pohlavia nemá dávka 20 Gy a 30 Gy vplyv, čo sa neprejavilo na zhoršení ich reprodukčných charakteristík. Pri pokusoch s ožiarovaním oboch pohlaví dávkou 20 Gy a 30 Gy nebola dokázaná úplná dedičná sterilita lykožrútov, došlo k úspešnému vývoju F2 generácie. Hodnoty namerané na požerkoch na kmeni, kde boli ožiarené iba samce dosahovali nižšiu variabilitu výsledkov, čo súvisí s priaznivejšími podmienkami prostredia v lese. Tu sa znížil pri variante 30 Gy počet požerkov s larválnymi chodbami o 13 % a počet larvových chodieb bol v priemere o 8,3 chodby nižší ako pri kontrole.

Čičková et al. (2018) odporúča pre totálnu sterilitu lykožrúta smrekového dávku žiarenia 70–90 Gy. Táto dávka žiarenie štatisticky významne znížila úspešnosť liahnutia vajíčok v požerkoch na úroveň 17–27 % a zároveň znížila počet larvových chodieb na úroveň 30 % oproti kontrole. Na strane druhej táto dávka zvýšila mortalitu, čo sa prejavilo v počte požerkov, ktorých počet poklesol na polovicu oproti neožiarenému variantu. Bakri et al. (2005) odporúča sterilizačnú dávku gama žiarenia pre čelad' Curculionidae menej ako 100 Gy. Pri pokusoch s ožarovaním lykožrúta smrekového (Vakula & Turčáni 2005 nepublikované) dosiahla mortalita pri dávke 50 Gy hodnotu 80 %, z tohto dôvodu bola v ďalších pokusoch odporúčaná dávka 10–30 Gy. Upozornili na to, že, veľmi dôležitými faktormi ovplyvňujúcim výsledky pokusov sú zdravotný stav ožiarených lykožrútov, kvalita potravy a podmienky prostredia. Z tohto dôvodu by bolo optimálne vykonávať pokusy priamo v lese, čo potvrdili aj výsledky našich pokusov z roku 2021. Aj keď sú experimenty vykonávané v lese prácnejšie, náročnejšie na logistiku, vykonávajú sa v menej kontrolovaných podmienkach, je mortalita ožiarenej generácie nižšia. V článkoch zaoberajúcich sa chovom a ožarovaním lykožrúta smrekového sa vyskytuje pomerne vysoká variabilita výsledkov. Toto je spôsobené jednak rôznou kondíciou lykožrútov použitých v chovoch, ale aj určitou chybovosťou pri komplikovanej separácii jedincov na samce a samice. Budúci výskum by mal byť primárne zameraný na masový chov vitálnych jedincov lykožrúta smrekového na umelej potravě a výskum jednoduchého a rýchleho triedenia pohlaví lykožrúta smrekového, ktorého pohlavný dimorfizmus je veľmi malý.

Úspešnosť metódy SIT dokumentuje množstvo príkladov v poľnohospodárstve. V Argentíne je používaná proti škodcovi citrusových plodov vrtivke mediterannej *Ceratitis capitata*. Tu bolo na výmere 290 tis. ha sádov v rokoch 1992–1994 vypúšťaných 70–200 miliónov sterilných jedincov týždenne.

Výsledkom bolo zníženie početnosti škodcu na 2 % predchádzajúcej úrovne (De Longo et al., 2000). K dosiahnutiu takto úspešných praktickým výsledkov však predchádzali desaťročia výskumu zameraného na umelý chov škodcu a samotné pokusy. V lesníctve zatiaľ nemáme praktické výsledky, výskumu SIT metódy je len na začiatku a počet projektov zameraných na túto problematiku je malý. Na rozdiel od poľnohospodárstva, kde produkcia ekologicky čistých potravín vedie pestovateľov i za cenu vyšších nákladov k použitiu ekologických metód, v lesníctve zatiaľ nie sú také vonkajšie tlaky, ktoré by nútili majiteľov lesa seriózne rozmyšľať o nahradení insekticidov inými spôsobmi obrany, napríklad aj drahšími ale ekologickejšími. Väčšina nových metód v lesníctve zostáva na experimentálnej úrovni. Pritom práve lesné ekosystémy sú omnoho bohatšie, ako sú ekosystémy kultúrnej krajiny a zaslúžili by si o to väčšiu ochranu.

4. Súhrn

Výskumu metódy SIT (Sterile Insect Technique) bola doposiaľ v oblasti ochrany lesa venovaná malá pozornosť. Publikovaných bolo len niekoľko prác týkajúcich sa základného výskumu SIT metódy na mníške veľkohlavej (*Lymantria dispar*) a lykožrútovi smrekovom (*Ips typographus*). V našom pokuse boli imága lykožrúta smrekového vystavené gama žiareniu 20 Gy a 30 Gy a bol sledovaný vplyv žiarenia na vitalitu a reprodukciu F0 a F1 generácie. Lykožrúty boli po ožiarení chované na smrekových klátoch v insektáriu a na kmeni v lese. V insektáriu, kde boli chované ožiarené samce aj samice bol vo variante 30 Gy štatisticky významne nižší počet požerkov, počet požerkov s larválnymi chodbami, počet larvových chodieb na 1 materskú chodbu a počet vyletených jedincov F2 generácie. Na kmeni v lese štatistické významné rozdiely medzi ožiarenými variantmi a kontrolou neboli zistené. Po ožiarení oboch pohlaví dávkou 30 Gy došlo k čiastočnej sterilizácii samcov, čo sa prejavilo na znížení počtu požerkov s larválnymi chodbami priemerne o 20 % a znížení počtu larvových chodieb na jednu materskú chodbu o 57 %. Pri pokusoch s ožiarení oboch pohlaví dávkou 20 Gy a 30 Gy nebola dokázaná úplná dedičná sterilita lykožrútov, došlo k úspešnému vývoju F2 generácie. Dávka žiarenia 20 Gy a 30 Gy nezabezpečuje dostatočnú sterilitu, pri vyšších dávkach však dochádza k výraznému zvýšeniu mortality lykožrútov. Experimenty založené na kmeni v lese dosahovali nižšiu variabilitu výsledkov a nižšiu mortalitu F0 generácie z dôvodu vhodnejších podmienok prostredia.

PodĎakovanie

Práca vznikla vďaka finančnej podpore projektu „Zvyšovanie úrovne ochrany kritickej infraštruktúry – výskum nových, ekologicky akceptovateľných metód boja so škodcami lesa na území v správe podniku Vojenské lesy a majetky SR, š. p.,“ ktorý je realizovaný s finančnou podporou Ministerstva obrany Slovenskej republiky, projektu „Výskum a vývoj bezkontaktných metód pre získavanie geopriestorových údajov za účelom monitoringu lesa pre zefektívnenie manažmentu lesa a zvýšenie ochrany lesov (FOMON)“ č. p. 313011V465 a projektov APVV-19-0116 a APVV-19-0119.

Zoznam použitej literatúry

- Bakri, A., Heather, N., Hendrichs, J., Ferris, I., 2005: Fifty years of radiation biolo Gy in entomolo Gy: lessons learned from IDIDAS. *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 98: 1–12.
- Čičková, H., Kozánek, M., Žitňan, D., Roller, L., 2018: Effects of γ radiation on the reproduction and enteroendocrine cells of the spruce bark beetle *Ips typographus* and prospects for its control. *Biologia*, 73: 67–75.

- De Longo, O., Colombo, A., Gomez-Riera, P., Bartolucci, A., 2000: The use of Massive SIT for the Control of the Medfly, *Ceratitidis capitata* Strain SEIB 6-96, in Mendoza, Argentina. In: Keng-Hong Tan (ed.): Area Wide control of Fruit Flies and Other Insect Pest. Proceedings of the International Conference, PUS Malaysia, Pulau Pinang, p. 351–359.
- Klassen, W., Curtis, C., F., 2005: History of the sterile insect technique. In: Dyck, V. A., Hendrichs, J. and Robinson, A. S. (eds.): Sterile Insect Technique. Dordrecht, the Netherlands, p. 39–68.
- Knipling, E. F., 1955: Possibilities of insect control or eradication through the use of sexually sterile males. *Journal of Economical Entomology*, 48: 459–462.
- Knipling, E. F., 1972: Entomology and the management of man's environment. *Journal of the Australian Entomological Society*, 11: 153–167.
- Knipling E. F., 1979: The Basic Principles of Insect Population Suppression and Management. Agriculture Handbook Number 512. Washington, D.C., Science and Education Administration, United States Department of Agriculture, 659 p.
- Krafsur, E. S., 1998: Sterile insect technique for suppressing and eradicating insect population: 55 years and counting. *J Agric Entomol*, 15: 303–317.
- Lauzon, C. R., Potter, S. E., 2012: Description of the irradiated and nonirradiated midgut of *Ceratitidis capitata* Wiedemann (Diptera: Tephritidae) and *Anastrepha ludens* Loew (Diptera: Tephritidae) used for sterile insect technique. *J Pest Sci*, 85: 217–226.
- Lindquist, D. A., 1984: Atoms for pest control. *IAEA Bull.*, 26(2): 22–25.
- Mattanovich, J., Ehrenhöfer, M., Vavra, C., Führer, E., 1999: Zur Weiterentwicklung eines halbsynthetischen Nährmediums für *Ips typographus* L. *Anzeiger für Schädlingskunde*, 72(2): 49–51.
- Nicol, C. M. Y., Schmutterer, H., 1996: Control of the Gypsy Moth, *Lymantria dispar* (L.) with NemAzal-T in Stands of Oak. In: Practised Oriented Results on Use and Production of Neem – Ingredients and Pheromones, Proceedings of the 4th Workshop, p. 95–100.
- Novotný, J., Zúbrik, M., 2003. Sterile Insect Technique as a Tool for Increasing the Efficacy of Gypsy Moth Biocontrol. In: Proceedings Ecology, Survey and Management of Forest Insects. General Technical Report NE-311, p. 80–86.
- Oerke, E. C., Dehne, H. W., Schonbeck, F., Weber, A., 1994: Crop Production and Crop Protection: Estimated Losses in Major Food and Cash Crops. Elsevier, Amsterdam, Netherland.
- Pimentel, D. (ed.), 1997: Techniques for Reducing Pesticide Use: Environmental and Economic Benefits. John Wiley and Sons, Chichester, 444 p.
- Pimentel, D., 2007: Area-wide pest management: environmental, economic and food issues, In: Vreysen, M. J. B., Robinson, A. S., Hendrichs, J. (Eds.): Area-wide control of insect pests. From research to field implementation, Springer, Dordrecht, The Netherlands, p. 35–47.
- Salema, M. P., 2000: Area Wide control of Fruit Flies and Other Insect Pest Opening Address. In: Keng-Hong Tan (ed.), 2000: Area Wide control of Fruit Flies and Other Insect Pest. Proceedings of the International Conference, PUS Malaysia, Pulau Pinang, p. 3–7.
- Sauvard, D., 2007: General biology of bark beetles. In: Lieuter, F., Day, K. R., Battisti, A., Grégoire, J. C., Evans, H. F. (eds.): Bark and wood boring insects in living trees in Europe, a synthesis. Springer, Dordrecht, p. 63–88.
- Schlyter, F., Cederholm, I., 1981. Separation of the sexes of living spruce bark beetles *Ips typographus* (L.) (Coleoptera: Scolytidae). *Zeitschrift für Angewandte Entomologie*, 92: 42–47.
- Simek, Z., 1993: Artificial substrate for feeding and breeding of *Ips typographus* L. (Col., Scolytidae). *Journal of Applied Entomology*, 5: 432–439.

Turčáni, M., Vakula, J., 2007: The influence of irradiation on the behaviour and reproduction success of eight toothed bark beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae). J For Sci, 53(Special Issue): 31–37.

Vakula, J., Galko, J., Gubka, A., 2021: Bark beetles in Slovak forests in 2021. APOL, 2(2): 216–224.

Adresa:

Ing. Jozef Vakula, PhD., Ing. Milan Zúbrik, PhD., Ing. Andrej Gubka, PhD., Ing. Juraj Galko, PhD., Ing. Slavomír Rell, PhD., Ing. Andrej Kunca, PhD., Ing. Michal Lalík, Ph.D., Ing. Roman Leontovyč, PhD., Ing. Christó Nikolov, PhD.

Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav Zvolen, Stredisko lesníckej ochrannárskej služby, Lesnícka 11, 969 01 Banská Štiavnica, Slovenská republika

e-mail: jozef.vakula@nlcsk.org

Ing. Ján Jurica, Ing. Zuzana Balandová, Ing. Ján Bučan

Vojenské lesy a majetky SR, štátny podnik, Lesnícka 23, 962 63 Pliešovce, Slovenská republika

e-mail: sekretariat@vlm.sk