



**ACTA
FACULTATIS
FORESTALIS
ZVOLEN**

**55 Suppl. 1
2013**

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

Editori:

Ing. Martin Lieskovský, PhD.
prof. Dr. Ing Viliam Pichler
doc. Ing. Jaroslav Kmeť, PhD.

Posudzovatelia:

Ing. Jozef Meluš, PhD.
prof. Ing. Eduard Bublinec, CSc.
doc. Ing. Peter Jaloviar, PhD.
Ing. Roman Sitko, PhD.
Ing. Andrea Majlingová, PhD.
prof. RNDr. Ján Gáper, CSc.
Ing. Marián Radocha, CSc.

doc. Ing. Katarína Šťelcová, PhD.
Ing. Štefan Ilčík, PhD.
Ing. Daniel Kurjak, PhD.
Ing. Michal Bošľa, PhD.
Ing. Miroslav Stanovský, CSc.
Ing. Juraj Galko, PhD.
Ing. Jana Bakan, PhD.

Predseda redakčnej rady / Editor in Chief:

prof. Dr. Ing. Viliam Pichler

Redakčná rada / Editorial board:

doc. Ing. Marek Fabrika, PhD.
prof. Ing. Peter Garaj, CSc.
prof. Ing. Iveta Hajdúchová, PhD.
prof. Ing. Matúš Jakubis, PhD.

prof. Ing. Valéria Messingerová, CSc.
doc. Ing. Karol Ujházy, PhD.
prof. Ing. Milan Saniga, DrSc.
prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.

ACTA FACULTATIS FORESTALIS ZVOLEN 55 Suppl. 1 2013

Vydala Technická univerzita, T. G. Masaryka 2117/24, 960 53 Zvolen, IČO 00397440

Vydanie I. – 2013 – december

Rozsah 225 strán, 14,37 AH, 14,51 VH

Náklad 100 výtlačkov

Tlač a grafická úprava Vydavateľstvo TU vo Zvolene

Rukopis neprešiel jazykovou úpravou

Vydanie publikácie schválené Edičnou radou TU vo Zvolene dňa 30. 1. 2013, číslo EP 48/2013

Periodikum s nepravidelnou periodicitou

Evidenčné číslo 3861/09

© Technická univerzita vo Zvolene
ISSN 0231-5785

Všetky práva vyhradené. Nijaká časť textu ani ilustrácie nemôžu byť použité na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľa.

OBSAH – CONTENTS – INHALT

Vargová, M.: Výber vhodných genetických markérov a možnosti ich použitia pre výskum genetickej variability u srnca lesného (<i>Capreolus capreolus</i>).....	7
Selection of genetic markers and their use for genetic research of roe deer (<i>Capreolus capreolus</i>).....	7
Noge, M.: Vplyv entomopatogénnej huby <i>Beauveria bassiana</i> na mortalitu lykožrúta smrekového (<i>Ips typographus</i>).....	19
Wirkung des insekten-pathogenen Pilzes <i>Beauveria bassiana</i> auf die Sterblichkeit des Borkenschädlings <i>Ips typographus</i>	19
Weisz, R., Pavlík, Š., Kodrík, M.: Druhové zloženie kambiofágnych chrobákov jedle a faktory ovplyvňujúce ich výskyt	27
Species composition of cambiofagous beetles on the selected fir tree samplers and factors influencing their occurrence and	27
Méres, J., Ostrihoň, M., Slamečka, J., Kaštier, P.: Štruktúra populácie zajaca poľného (<i>Lepus europaeus</i>): prípadová štúdia z vybraných území Nitrianskeho kraja	43
Population structure of brown hare (<i>Lepus europaeus</i>): a case study in selected areas of Nitra region	43
Jurášová, E.: Zvetrávanie skeletu ako proces ovplyvňujúci látkovo-energetické toky a stav pôdy.....	59
Weathering of the skeleton as a process affecting material and energy flows and the soil properties.....	59
Hanzelová, M., Hríbik, M.: Zhodnotenie hydrofyzikálnych vlastností snehovej pokrývky v oblasti Chopku za vybrané obdobie.....	79
The evaluations of hydrophysical properties of snow cover in area of Chopok (The Low Tatras Mts.).....	79
Bartík, M., Hríbik, M., Škvarenina, J.: Simulácia lavín v okolí osady Magurka modelom ELBA+	89
Avalanche simulation in surrounding of settlement Magurka with ELBA+ model... ..	89
Šušlík, D.: Účinok vybraných stimulačných prípravkov na rast semenáčikov smreka obyčajného (<i>Picea Abies</i> [L.] Karst.)	101
The effect of selected stimulation preparations on creation of mycorrhiza and growth of seedlings of spruce.....	101

Jadud', J.: Apikálna dominancia a výškový prírastok jedle bilej (<i>Abies alba</i> Mill.) a smreka obyčajného (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.) v dolnej vrstve výberkových lesov	113
Apical dominance and height increment of silver fir (<i>Abies alba</i> Mill.) and Norway spruce (<i>Picea abies</i> (L.) Karst) in lower layer of selection forest.....	113
Macková, L., Fabrika, M.: Metodika procesného zjemňovania simulácií rastu lesných ekosystémov.....	125
Methodology procedural refinement simulation growth of forest ecosystems	125
Hradský, M.: Návrh projektu modelu vodíkovej lanovky pre horské terény.....	139
The project design of model hydrogen lifts for mountain terrains.....	139
Allmanová, Z.: Zhutnenie pôdy a zmny obsahu CO ₂ po prejazde lesnej techniky	157
The changes in the content of CO ₂ in soil after compression of forest mechanization passes	157
Šatala, T., Hribík, M.: Modelovanie vplyvu lesného porastu na časové a priestorové charakteristiky snehovej pokrývky	173
Modeling the import of forest of time am spatial characteric of snow cover	173
Murgaš, V.: Odhad veku stromov z letokruhových sérií neúplných vývrtov vo výške 1,3 m	185
Tree age estimation from incomplete tree ring series at height 1.3 m	185
Smažák, L.: posúdenie presnosti vybraných metód pri zisťovaní geodetických bodov v zalesnených územiach	201
Assessment of accuracy selected methods in determining geodetic points wooded areas	201

VÝBER VHODNÝCH GENETICKÝCH MARKÉROV A MOŽNOSTI ICH POUŽITIA PRE VÝSKUM GENETICKEJ VARIABILITY U SRNCA LESNÉHO (*CAPREOLUS CAPREOLUS*)

Michaela VARGOVÁ

Vargová, M.: Selection of genetic markers and their use for genetic research of roe deer (*Capreolus capreolus*). Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 1, 2013, 7–18.

Forensic DNA analysis of wild game and wild plants is applied science, which has evolved from a synthesis of research conservative genetics and forensic genetic practice to satisfy growing requirements for investigative tools in law enforcement for wildlife and wild plants.

The aim of this study was to search for genetic markers in the accessible literature and to test these markers on roe deer (*Capreolus capreolus*) tissue samples.

Tissue samples from roe deer were used as experimental material. To obtain DNA from these tissues, CTAB method and Chelex method were used. DNA was amplified by polymerase chain reaction (PCR). Microsatellite markers for PCR were combined into four multiplexes. Subsequently, microsatellite (STR) fragment analysis was performed. Results were visualized by program GenneMapper 4.00 ® and concentrations of primers were optimized for further testing of DNA samples.

The work manifests laboratory work procedure and also deals with topic related to forensic genetics. This is important for environmental prevention of crime.

Key words: microsatellites, forensic genetics, optimization

1 ÚVOD A CIEĽ

Cieľom práce bolo vyhľadanie genetických markérov v dostupnej literatúre a následne tieto markéry otestovať na vzorkách tkanív srnca lesného (*Capreolus capreolus*).

Posúdiť vhodnosť týchto markérov na genetické analýzy v rámci celkovej diverzity a genetickej diverzity populácie.

Ako experimentálny materiál použiť vzorky tkanív pochádzajúce zo srnčej zveri. Na získanie DNA z týchto tkanív použiť metódu CTAB ako aj metódu pomocou Chelex-u. Získanú DNA sa amplifikovať pomocou polymerázovej reťazovej reakcie (PCR).

Mikrosatelitné markéry na základe ich bázičných dĺžok zoradiť do multiplexov a následne ich optimalizovať, resp. zmeniť ich koncentráciu na podmienky nášho genetického laboratória.

2 IZOLÁCIA DNA

V súčasnej dobe existuje mnoho protokolov na izoláciu DNA pochádzajúce práve od živočíchov, teda živočíšnej DNA. Čoraz viac sa do popredia dostávajú tzv. extrakčné kity, ktoré sú finančne náročnejšie, no izoláciu DNA podstatne zjednodušia.

V našom prípade sme použili modifikovanú metódu podľa DOYLA & DOYLA (1987), ktorá bola ďalej upravená pre použitie na extrakciu DNA zo živočíšnych tkanív (OLIVEIRA *et al.* 2007).

Na extrakciu DNA bola použitá vzorka tkaniva o váhe približne 30 mg, 500 μ l lyzačného roztoku a 10 μ l proteinázy K. Táto zmes sa nechala inkubovať pri teplote 56 °C 3 hodiny, pokiaľ sa živočíšne tkanivo úplne nerozložilo. Následne sa pridalo 500 μ l na 65 °C predhriateho extrakčného roztoku a táto zmes sa hrial v termomixéri 30 minút pri teplote 65 °C. Po tomto procese hriatia sa pridalo 200 μ l chloroformu, zmes sa vložila do centrifúgy, ktorá bola nastavená na čas 2 minúty pri 15 000 ot./min⁻¹. Do novej, sterilnej skúmavky sa odpipetoval supernatant (vrchná fáza). Aplikovalo sa 600 μ l izopropylalkoholu, ktorý bol skladovaný pri teplote -4 °C. Obsah skúmaviek sa dôkladne premiešal a vložil sa na 30 minút do mraziaceho boxu. Po 30-tich minútach sa skúmavky z boxu vybrali, vložili sa do centrifúgy, kde sa centrifúgovalo 2 minúty pri 15 000 ot./min⁻¹. Po tomto procese sa vyliatím odstránil tekutý obsah skúmaviek a pridal sa 1 μ l premývacieho pufru. Obsah skúmaviek sa premiešal a počas jednej hodiny sa ponechal v chladničke. Po vybratí sa opäť centrifúgoval, 2 minúty pri 15 000 ot./min⁻¹. Tekutý obsah sa odstránil vyliatím a vyzrážaná DNA sa nechala presušiť. Do skúmaviek s presušenou DNA sa napipetovalo do každej skúmavky po 100 μ l TE pufru a vzorky sa nechali 2 hodiny odstáť pri izbovej teplote.

Na zistenie koncentrácie DNA, ktorú sme vyizolovali touto metódou sa použil spektrofotometer NanoDrop® (ND 1000). Táto získaná DNA sa riedila približne na rovnakú koncentráciu (50 ng. μ l⁻¹) a bola použitá v PCR. Zbytok bol uskladnený v mraziacom boxe, ako zásobný roztok DNA vhodný pre budúce použitie.

2.1 Izolácia DNA pomocou Chelex-u

Jednou zo zásad na vypracovanie našej práce bola aj izolácia DNA pomocou chelexu, ktorú opíšeme v tejto podkapitole. Izolácia podľa DOYLA & DOYLA (1987) bola v rámci laboratórnych prác vyskúšaná za účelom osvojenia si viacerých metód izolácie DNA.

Izolácia pomocou Chelex-u (Bio-rad) bola vykonaná podľa protokolu WALSH *et al.* (1991).

Najprv sa do sterilných skúmaviek napipetovalo 100 μ l 10 %-ného Chelex-u, do ktorého sa vložilo 1 mm tkaniva. Uzatvorená skúmavka s Chelex-om a tkanivom sa krátko zvortexovala, následne len stočila v centrifúge. Takto zvortexovanú a stočenú zmes sme inkubovali v teplote 99 °C pri 600 ot./min⁻¹ počas dvadsiatich minút. Po vybratí sa zmes v skúmavkách opäť krátko stočila v centrifúge. Vzniknutý supernatant sa prepipetoval do

nových sterilných skúmaviek v objeme približne 50 µl. Nadobudnuté vzorky sa skladovali pri –20 °C a pred opätovným použitím sa odporúča tieto vzorky v skúmavkách zvortexovať a krátko stočiť v centrifúge.

3 ROZBOR PROBLEMATIKY

3.1 Forenzná genetika a jej význam

Pojem forenzná genetika predstavuje oblasť forenzných vied, ktoré sa zaoberajú skúmaním materiálu, spravidla biologického, ktorý je na molekulárnej úrovni a slúži na forenzné účely. Odbory, ktoré s forenznou genetikou úzko súvisia, sú hlavne forenzná antropológia, forenzná biológia a forenzná medicína.

Samostatným, mladým špecifickým odvetvím, v ktorom sa pri genetických skúmaniach hlavne za účelom súdneho dokazovania je forenzná analýza DNA. Pri nej sa využívajú hlavne znalosti z oblasti všeobecnej, ale aj molekulárnej genetiky (CSSFG 2012).

Forenzná DNA analýza voľne žijúcej zveri a voľne rastúcich rastlín je teda podľa OGDENA (2009) aplikovaný vedný odbor, ktorý sa vyvinul zo syntézy výskumu konzervažnej genetiky a forenznej genetickej praxe, aby uspokojil narastajúcu potrebu nástrojov vyšetrovania v presadzovaní zákonov o voľne žijúcej zveri a voľne rastúcich rastlinách.

Forenzná genetika sa zaoberá aj využitím forenzných analýz tzv. non-humánnej DNA, to znamená, že v sebe zahŕňa aj analýzy živočíšnej, rastlinnej, bakteriálnej a vírusovej DNA. Postupy a znalosti tejto forenznej genetiky sa vysoko uplatňujú aj v iných odboch zaoberajúcich sa analýzou DNA. Medzi tieto odbory patria najmä paleogenetika, biomolekulárna archeológia, géno-geografia a géno-genealógia (CSSFG 2012).

Vyšetrovanie v oblasti kriminálnych činov týkajúcich sa už spomínaných voľne žijúcich živočíchov a voľne rastúcich rastlín hlási naliehavú potrebu hlavne z dôvodu, že aktuálna hodnota ilegálneho trhu s voľne žijúcimi živočíchmi a rastlinami a teda aj produktmi z nich dosahuje ročne hodnoty v oblasti obchodu s drevom cca 7 miliárd USD, v oblasti rybolovu cca 10–23 miliárd USD (MRAG & FERR 2008) a ostatný obchod s voľne žijúcimi živočíchmi, rastlinami a ich derivátmi 8–10 miliárd USD (GFI 2011).

Celkový ročný obrat na ilegálnom trhu s týmito spomínanými artiklami a produktmi z nich sa pohybuje na úrovni, respektíve je odhadovaný na 25–40 miliárd USD. Podľa týchto odhadov sú voľne žijúce živočích, voľne rastúce rastliny a ich deriváty hneď po zbraniach a drogách treťou najviac nelegálne obchodovanou komoditou. Preto práve forenzná genetika voľne žijúcich živočíchov a voľne rastúcich rastlín je hlavným kľúčovým nástrojom pri vyšetrovaní kriminálnych činov tohto druhu.

Ak neberieme do úvahy ekonomickú stránku, existujú mnohé medicínske, ekologické a rôzne iné nebezpečenstvá vyplývajúce práve z obchodovania s voľne žijúcimi živočíchmi, voľne rastúcimi rastlinami a derivátmi z nich, ako napríklad:

- utrpenie živočíchov a ľudí,
- riziko vymiznutia ohrozených druhov (v súčasnosti takmer 8000 známych druhov, teda 20 % cicavcov a 12 % druhov vtákov),

- ohrozenie biodiverzity,
- rozšírenie chorôb na ľudí a hospodárske zvieratá (IFAW 2012).

Bohužiaľ, aj napriek uvedeným faktom má len málo krajín na svete vo svojich zložkách zameraných na vyšetrovanie tohto typu kriminality špecializované skupiny tak, ako je tomu pri iných druhoch kriminality, kde existujú skupiny vyšetrovateľov na omamné látky (drogy a iné), obchodovanie s ľuďmi, atď. (LINCARE 2009).

Nedostatok je zrejme spôsobený hlavne obmedzeným finančným rozpočtom jednotlivých krajín určeným pre národné bezpečnostné zložky a v neposlednom rade jednotlivé krajiny radia nelegálny obchod s voľne žijúcimi živočíchmi, voľne rastúcimi rastlinami a produktmi z nich vo svojej hodnotovej hierarchii na nižšie stupne, respektíve riešeniu a prevencii takýchto kriminálnych činov v niektorých krajinách nepriradujú dostatočne vysokú prioritu.

4 EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL

4.1 Zber materiálu

Na analýzu boli vybraté vzorky, ktoré reprezentujú variabilitu srnčej zveri na Slovensku. Jedná sa o vzorky tkanív srnčej zveri, ktoré boli zozbierané počas poľovnickej sezóny v oblastiach Skýcov, Gýmeš, Malacky a Gíraltovce. V rámci Slovenskej republiky bolo zozbieraných spolu 33 vzoriek. Pre porovnanie variability srncov sme použili aj vzorky pochádzajúce z Chorvátska, Bosny a Hercegoviny a Bulharska. Aby nedošlo k prípadnej zámene vzoriek, všetky boli riadne označené a následne po tomto úkone zakonzervované 96 %-ným etanolom a uchované v chlade.

Tab. 1 – Prehľad použitých vzoriek
Tab. 1 – Overview of the used samples

LOKALITA ODBERU	POČET VZORIEK
Slovenská Republika – Malacky	19
Slovenská Republika – Skýcov	10
Slovenská Republika – Gíraltovce	2
Slovenská Republika – Gýmeš	2
Bosna a Hercegovina	1
Chorvátsko	1
Bulharsko	1

4.2 Genetické markéry a ich využitie v rámci forenzej genetiky

Pod genetickým markérom rozumieme fenotypový znak, ktorý je možné použiť na hodnotenie genetickej premenlivosti. Väčšina morfológických znakov (najmä kvantitatívne znaky) nie je pre tento účel použiteľná, pretože sú v značnej miere ovplyvňované prostredím. Základným kritériom genetického markéra je teda skutočnosť, že je kontrolovaný výlučne geneticky (GÖMÖRY in PAULE *et al.* 2008).

Sú to znaky, ktoré majú jednoduchú genetickú kontrolu (malý počet génov, v ideálnom prípade len jeden), ktorú je možné metódami genetickej analýzy určiť, t.j. každému fenotypu sme schopní jednoznačne priradiť genotyp. Spôsob dedičnosti má pre použiteľnosť génových markérov rozhodujúci význam, v prípade úplnej dominancie (dominantný homozygot a heterozygot nie sú fenotypovo rozlíšiteľní) sú možnosti použitia markéra obmedzené, naopak výhodou je neúplná dominancia alebo kodominancia alel (GÖMÖRY 2010). Pre využitie genetických markérov v praxi sú dôležité najmä nasledujúce vlastnosti (BRASCAMP *et al.* 1995 in TULLOVÁ 2005): kodominantný typ dedičnosti a jednotková heritabilita, vysoký stupeň polymorfizmu, reprodukovateľnosť, rovnomerné zastúpenie v génome, schopnosť detekovať rozdiely medzi blízko príbuznými jedincami a neovplyvnený prostredím.

Azda prvé genetické markéry, ktoré sa v praxi začali používať, boli proteínové markéry – krvné skupiny. Dnes sa ešte stále v širokej miere používajú izoenzymy – rôzne molekulárne formy toho istého enzýmu, ktoré sú kódované rôznymi alelami rovnakého génu, a ktoré sa dajú separovať a identifikovať elektroforeticky, t.j. na základe rozdielneho elektrického náboja, veľkosti a tvaru v gélovom nosiči v elektrickom poli (GÖMÖRY in PAULE *et al.* 2008).

5 METODIKA PRÁCE

5.1 Optimalizácia genetických markérov pomocou PCR metódy

Skôr, než sme pristúpili k samotnej PCR, sme primery (forward aj reversy) zriedili na požadovanú koncentráciu, keďže od dodávateľa sú distribuované v lyozifilovanom, respektíve vysušenom stave. V prvom rade sme ich nariedili na 100 μ M (mikromolárne), čo znamená, že koncentrácia jednotlivých primerov uvedená na originálnych skúmavkách (spravidla v nmol (nano-moloch)) sa vynásobí desiatimi. Hodnota, ktorú sme týmto výpočtom získali je objem ultračistej vody, ktorou sme daný primer zriedili. Túto ultračistú vodu sme napipetovali do originálnych skúmaviek od výrobcu, pričom sme dbali na hygienu pri práci, aby sme jednotlivé primery nekontaminovali nežiaducimi prvkami a aby pipeta, ktorou sme aplikovali vodu bola nastavená na správny objem. Forwardy i reversy v skúmavkách sme riedili rovnakým spôsobom, no majú rôzne koncentrácie a preto sme pozorne sledovali údaje na skúmavkách, aby sme predišli znehodnoteniu finančne náročného materiálu. Následne po tomto úkone sme pripravili do nového stojana prázdne sterilné skúmavky, ktoré sme na viečku označili nálepkou s názvom daného primeru. V prístroji na výrobu etikiet sme pre každú túto skúmavku pripravili etiketu,

ktorá obsahovala údaje ako názov primeru, druh fluorescenčnej farbičky, označenie F+R, čo znamená zmiešaný forward s reverzom, koncentráciu primeru a dátum, kedy sme primer riedili na túto koncentráciu. Predtým nariadené primery na 100 μM sme zvortexovali a krátko stočili v centrifúge. Do sterilných a oetketovaných skúmaviek, sme napipetovali ultračistú vodu v objeme 25 μl , ďalej sme pridali revers primeru v objeme 12,5 μl a forward primeru v objeme taktiež 12,5 μl , čím vznikol 25 μM roztok, ktorý sme uskladnili v chladničke pre použitie na amplifikáciu.

Počas laboratórnych prác sme na amplifikáciu srnčej DNA použili spolu 36 mikrosatelitných markerov, pričom sme použili aj jelenie markéry, ktoré sa osvedčili pri amplifikácii srnčej DNA.

Pre PCR metódu boli tieto markéry kombinované do štyroch multiplexových panelov. Ich prehľad sme zaznamenali do nižšie uvedených tabuliek.

Pre multiplex č. 1 pre srnčiu zver boli použité primery MAF70, Roe6, Roe9, RT7, BMC1009, BMS119, Roe8, ILST011, Roe1, RT27, RT30. Pre multiplex č. 2 boli použité markéry ABS012, OarFCB20, TCRVB6, NVHRT48, INRA063, IDGVA59, INRA132, OarCP49. Ďalej boli použité markéry pre jeleniu zver a to v nasledovnej kombinácii pre multiplex č. 1 OarFCB5, TGLA94, CSSM22, RT1, OarFCB304, CER14, RM188, CEIJP38, BM4513. Pre multiplex č. 2 pre jeleniu zver boli použité markéry IOBT965, TGLA53, T268, T26, IOBT918, T501, BM888, T193.

Pracovali sme s primery, ktoré boli fluorescenčne značené farbami NED (žltá), 6-FAM (modrá), PET (červená) a VIC (zelená), pričom fluorescenčná farbička NED sa využila v primeroch MAF70, Roe6, Roe9, RT7, ABS012, OarFCB20, TCRVB6, OarFCB304, CER14, IOBT918, T501. Fluorescenčná farbička 6FAM bola použitá v primeroch BMC1009, BMS119, Roe8, NVHRT48, INRA063, OarFCB5, TGLA94, T268, T26, IOBT918, IOBT965. Primery ILST011, Roe1, BM4513 a primer T193 boli zafarbené PET fluorescenčnou farbičkou a farbičkou VIC boli zafarbené primery RT27, RT30, IDGVA59, INRA132, OarCP49, RM188, CEIJP38, BM888.

PCR prebiehala v 6 μl zmesi, ktorá obsahovala 0,5 μl DNA; 3,0 μl Qiagen Multiplex PCR Kit® (SOUTO *et al.* 2004), Q-solution v objeme 0,6 μl a primery (markéry). Podmienky PCR reakcie boli u rôznych autorov aj pri rovnakých primeroch rôzne, preto sme ich optimalizovali pre naše podmienky.

5.2 FRAGMENTAČNÁ ANALÝZA

Fragmentačná analýza prebiehala v automatickom kapilárnom analyzátore s názvom ABI 3130 ® (Applied Biosystems, USA), ktorý detekuje fluorescenčne označené primery. Zmes na fragmentačnú analýzu sme pripravili v objeme 10 μl , ktorá pozostávala z 0,1 μl dĺžkového štandardu GeneScan™ – 500LIZ (Applied Biosystems), ktorý slúži na detekovanie dĺžky každého fragmentu, respektíve alely; 0,7 μl PCR produktu (amplifikovanej cieľovej DNA) a 9,2 μl denaturačného činidla Hi-Di Formamidu. Zmes sme dôkladne zvortexovali kvôli spomínanému denaturačnému činidlu, ktoré je svojou konzistenciou hustejšie ako ostatné zložky zmesi a predišli sme tak možnosti vzniku neho-

mogénnej zmesi. Túto zmes sme napipetovali do 96-jamkovej platničky a pred vložením do sekvenátora sme ju denaturovali 3 minúty pri 95 °C v termocykléri. Následne sme denaturované vzorky schladili a vložili do genetického analyzátoru, pomocou ktorého sa vyhodnotili genotypy.

Tab. 2 – Charakteristika použitých mikrosatelitných primerov pre jeleniu zver

Tab. 2 – Characteristic of used microsatellites primers for red deer

Markér	Rozsah (bp)	Fluorescencia	Publikované
BM4513 ¹	114–144	PET	BISHOP <i>et al.</i> (1994)
BM888 ²	117–141	VIC	BISHOP <i>et al.</i> (1994)
CelJP38 ¹	202–232	VIC	MARSHALL <i>et al.</i> (1998)
OarFCB34 ¹	126–146	NED	BUCHAN & CRAWFORD (1993)
OarFCB5 ¹	80–112	[6FAM]	BUCHANAN <i>et al.</i> (1994)
RM188 ¹	117–141	VIC	BARENDESE <i>et al.</i> (1995)
RT1 ¹	252–288	[6FAM]	WILSON <i>et al.</i> (1997)
T193 ²	172–238	PET	JONES <i>et al.</i> (2002)
T26 ²	316–368	[6FAM]	JONES <i>et al.</i> (2002)
T268 ²	207–271	[6FAM]	JONES <i>et al.</i> (2002)
T501 ²	231–271	NED	JONES <i>et al.</i> (2002)
TGLA53 ²	147–197	[6FAM]	COULSON <i>et al.</i> (1997)
TGLA94 ¹	123–155	[6FAM]	GEORGES & MASSEY (1992)

Tab. 3 – Charakteristika použitých mikrosatelitných primerov pre srnčiu zver

Tab. 3 – Characteristic of used microsatellites primers for red deer

Markér	Rozsah (bp)	Fluorescencia	Publikované
ABS012 ²	130–150	NED	BUCHANAN & CRAWFORD (1993)
BMC1009 ¹	278–297	[6FAM]	JONES <i>et al.</i> (2002)
BMS119 ¹	99–112	[6FAM]	JONES <i>et al.</i> (2002)
IDGVA59 ²	260–293	VIC	GEORGES & MASSEY (1992)
ILST011 ¹	263–281	PET	BISHOP <i>et al.</i> (1994)
INRA063 ²	136–177	[6FAM]	MARSHALL <i>et al.</i> (1998)
INRA132 ²	139–177	VIC	COULSON <i>et al.</i> (1997)
MAF70 ¹	139–161	NED	JONES <i>et al.</i> (2002)
NVHRT48 ²	80–100	[6FAM]	BUCHANAN & CRAWFORD (1993)
OarFCB20 ²	80–118	NED	COULSON <i>et al.</i> (1997)
Roe1 ¹	125–144	PET	JONES <i>et al.</i> (2002)

Tab. 3 – Charakteristika použitých mikrosatelitných primerov pre srnčiu zver – pokračovanie
 Tab. 3 – Characteristic of used microsatellites primers for red deer – continued

Markér	Rozsah (bp)	Fluorescencia	Publikované
Roe6 ¹	91–109	NED	MARSHALL <i>et al.</i> (1998)
Roe8 ¹	62–83	[6FAM]	BUCHANAN & CRAWFORD (1993)
Roe9 ¹	169–185	NED	MARSHALL <i>et al.</i> (1998)
TCRVB6 ²	208–268	NED	MARSHALL <i>et al.</i> (1998)

6 VÝSLEDKY

Interpretácia výsledkov, ktoré sme získali sa uskutočnila pomocou softvéru GeneMapper 4.00® (Applied Biosystems, USA). Ide o softvérový program, ktorý je súčasťou analyzátoru ABI 3130®. Tento softvér pomocou grafu znázorňuje jednotlivé alely. Konečným výstupom tohto programu je znázornenie genotypov jednotlivých vzoriek. Takto získané údaje sú zároveň vstupnými údajmi pre výpočet jednotlivých genetických charakteristík.

Na základe zistení dĺžok fragmentov DNA (z literatúry ako aj experimentálne) sa zhotovili multiplexy – zmes značených primerov pre fragmentačnú analýzu. Prehľad multiplexov je v tabuľkách č. 4, 5, 6 a 7.

Optimalizovala sa zmes reakcie, tzn. koncentrácia primerov, aby sa dosiahol najvyšší možný výnos pri každom markéry, čo následne znamená silný signál pri fragmentačnej analýze a jednoduchšie odčítanie genotypu jedinca. Objem zmesi bol 6 µl a obsahovala 0,5 µl DNA, Qiagen Multiplex Kit (Qiagen, Nemecko) v objeme 3 µl, Q-solution v objeme 0,6 µl a značené primery (so štartovacím objemom 0,2 µl s koncentráciou 25 µM).

Pri optimalizácii sa zistilo, že z multiplexu č.1 srnčích markérov sa neamplifikovalo spolu 5 primerov, respektíve markérov z celkové počtu 11 použitých markérov.

Z multiplexu č. 2 srnčích primerov sa nempifikoval 1 genetický markér z celkového počtu 8 skúmaných markérov.

Z multiplexu č. 1 jeleních primerov sa neamplifikovali spolu 3 genetické markéry z celkového počtu 9 použitých markérov.

Z multiplexu č. 2 jeleních primerov sa neamplifikoval celkom 1 genetický markér z celkového počtu 8 použitých markérov.

Tab. 4 – Priebeh optimalizácie použitých markérov v multiplexe č. 1 – pre srnčiu zver

Tab. 4 – The optimizing process of markers in a roe deer multiplex No. 1

Primer (konc. 10 µM)	Primer (konc. 10 µM)	Zmeny po každej reakcii				Výsledná koncentrácia v µl
MAF70	0,200	↓1/3	↓1/3	o.k.	o.k.	0,1
Roe6	0,200	↑1/3	↑1/3	o.k.	o.k.	0,3
Roe9	0,200	↑1/3	↓1/2	↓1/4	o.k.	0,17
RT7	0,200	↑1/3	↑1/3	x	x	x
BMC1009	0,200	↑1/3	↑1/3	x	x	x
BMS119	0,200	↓1/3	o.k.	↓1/4	o.k.	0,13
Roe8	0,200	o.k.	↑1/3	o.k.	o.k.	0,25
ILST011	0,200	↑1/3	↑1/3	x	x	x
Roe1	0,200	↓1/3	↓1/3	o. k.	o.k.	0,1
RT27	0,200	↑1/3	↑1/3	x	x	x
RT30	0,200	↑1/3	↑1/3	x	x	x

Tab. 5 – Priebeh optimalizácie použitých markérov v multiplexe č. 2 – pre srnčiu zver

Tab. 5 – The optimizing process of markers in a roe deer multiplex No. 2

Primer (konc. 10 µM)	Primer (konc. 10 µM)	Zmeny po každej reakcii				Výsledná koncentrácia v µl
ABS012	0,200	↓1/3	↑1/3	o.k.	o.k.	0,2
OarFCB20	0,200	↓1/3	↓1/3	o.k.	o.k.	0,1
TCRVB6	0,200	↑1/3	x	x	x	x
NVHRT48	0,200	↓1/3	↑1/2	o.k.	o.k.	0,25
INRA063	0,200	o.k.	↓1/3	o.k.	o.k.	0,15
IDGVA59	0,200	o.k.	↑1/3	↑1/3	o.k.	0,3
INRA132	0,200	o.k.	↓1/2	o.k.	o.k.	0,1
OarCP49	0,200	↓1/3	↓1/3	o.k.	o.k.	0,1

Tab. 6 – Priebeh optimalizácie použitých markérov v multiplexe č. 1 – pre jeleniu zver
 Tab. 6 – The optimizing process of markers in a red deer multiplex No. 1

Primer (konc. 10 µM)	Primer (konc. 10 µM)	Zmeny po každej reakcii				Výsledná koncentrácia v µl
OarFCB5	0,200	↑1/3	x	x	x	x
TGLA94	0,200	↓1/3	o.k.	o.k.	o.k.	0,150
CSSM22	0,200	↑1/3	x	x	x	x
RT1	0,200	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	0,200
OarFCB304	0,200	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	0,200
CER14	0,200	↑1/3	x	x	x	x
RM188	0,200	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	0,200
CEIJP38	0,200	↑1/3	↑1/3	ok.	o.k.	0,300
BM4513	0,200	↑1/3	↑1/3	o.k.	o.k.	0,300

Tab. 7 – Priebeh optimalizácie použitých markérov v multiplexe č. 2 – pre jeleniu zver
 Tab. 7 – The optimizing process of markers in a red deer multiplex No. 2

Primer (konc. 10 µM)	Primer (konc. 10 µM)	Zmeny po každej reakcii				Výsledná koncentrácia v µl
IOBT965	0,200	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	0,200
TGLA53	0,200	↑1/3	?	x	x	x
T268	0,200	↑1/3	↑1/3	o.k.	o.k.	0,300
T26	0,200	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	0,200
IOBT918	0,200	↑1/3	x	x	x	x
T501	0,200	↓1/3	↓1/4	o.k.	o.k.	0,130
BM888	0,200	↓1/3	↓1/3	o.k.	o.k.	0,100
T193	0,200	o.k.	o.k.	o.k.	o.k.	0,200

7 ZÁVER

Trendom v rámci štúdia poľovných druhov zveri je aplikácia genetických metód, pomocou ktorých sa dá veľmi efektívne odhaliť celková a genetická diverzita populácie. Jednou z týchto metód je aj metóda PCR, ktorej súčasťou sú genetické markéry, resp. mikrosatelity.

Táto práca je štúdiou týchto genetických markérov, úpravou ich koncentrácií a posúdenia ich vhodnosti pre ich ďalšie použitie v rámci týchto geneticko-populačných analýz, ktoré sú však peňažne, materiálovo a v neposlednom rade časovo náročné a preto ich rozsah závisí od dispozičných možností inštitúcie, ktorá ich vypracováva. Z dosiahnutých výsledkov možno urobiť nasledovné závery pre prax.

Optimalizácia genetických markerov, respektíve úprava ich koncentrácií na čo najvhodnejšie hodnoty je veľmi dôležitá hlavne z dôvodu interpretácie výsledkov pre ďalšie geneticko-populačné analýzy v rámci celkovej diverzity populácií a genetickej diverzity. Genetické markéry, ktoré sme optimalizovali sú vhodné na analýzy zveri srnčej, jelenej, ale výborne sa amplifikovali aj na zver danieliu a muflóniu.

Optimalizácia genetických markérov je taktiež veľmi dôležitá pre dosiahnutie čo najvyššej efektivity z časového aspektu. Mnohokrát sa jednotlivé geneticko-populačné analýzy musia niekoľkokrát opakovať, keďže koncentrácia jednotlivých primerov nebola optimálna a v návaznosti na tento fakt neboli výsledky analýz interpretovateľné. Optimalizáciou genetických markérov pre jednotlivé druhy zveri sa dá tomuto problému predísť a zefektívniť tak prácu vedecko-výskumných pracovníkov.

Taktiež je táto optimalizácia dôležitá pri šetrení finančných zdrojov výskumných inštitúcií, keďže ceny jednotlivých primerov sa pohybujú rádovo v stovkách eur za jeden kus primeru.

8 Literatúra

- CSSFG, 2012: Forenzní genetika. [online]. [cit. 2013-02-20] Dostupné na internete: <<http://cssfg.org/cz/1111/co-je-forenzni-genetika/>>
- DOYLE, J.J. & DOYLE, J.L., 1987: A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin* **19**: 11–15.
- GFI, 2011: [online]. [cit. 2013-02-20] Dostupné na internete: <http://gfintegrty.org/gfip/documents/reports/transcrime/gfi_transnational_crime_web.pdf/>
- GOMORY, D., 2010: Genetika a šľachtenie lesných drevín. Návod na cvičenia. <http://www.tuzvo.sk/files/LF-KF/Pedago-Predmety/skripta.genetika.NCV-1.pdf>
- IFAW, 2012: [online]. [cit. 2013-02-25] Dostupné na internete: <<http://ifaw.org/united-states/or-work/fighting-wildlife-trade/>>
- LINCARE, A., 2009: Forensic Science in Wildlife Investigations. London: CRC Press, 2009. ISBN: 978-0849304101, 161 pp.
- MRAG, FERR, 2008: [online]. [cit. 2013-02-27] Dostupné na internete: <<http://www.mrag.co.uk/Documents/ExtentsGlobalIllegalFishing.pdf>>
- OGDEN, R., DAWNAY, N. & MC EWING, R., 2009: Wildlife DNA forensic – bringing the gap between conservation genetics and law enforcement. *Endangered Species Research* **9**: 179–195.
- OLIVEIRA, C. G., MARTINEZ, R. A. & GAIOTTO, F. A., 2007: DNA extraction from bristles and quills of *Chaetomys subspinosus* using a novel protocol. *Genetic Molecular Research* **6**: 657–666.
- PAULE, L., URBAN, P. & GOMORY, D., (eds.) 2008: Genetika poľovnej zveri a voľne žijúcich živočíchov. Arbora Publishers, Zvolen, 2008, 17–25, ISBN 80-968868-3-5.
- SOUTO, L., FERREIRA, E. & FONSECA, C., 2004: Microsatellite analysis of wild boar populations in Portugal by multiplex PCR. *QIAGEN News* **3**: 63–64.
- TULLOVÁ, M., 2005: Využitie molekulárnej genetiky pri štúdiu populácií poľovnej zveri. Lesnícka fakulta TU vo Zvolene, diplomová práca, 55 s.

- WALSH, S.P., METYGER, D. A. & HIGUCHI, R., 1991: CHELEX 100 as a medium for simple extraction of DNA for PCR based typing from forensic material. *Biotechniques* **10**: 506–513.
- ZIMA, J., MACHOLÁN, M., MUNCLINGER, P. & PIALEK, J., 2004: Genetické metódy v zoologii. Praha, Karolium, 323 st. ISBN 80-246-0795-6.
-

Adresa autora:

Ing. Michaela Vargová
Šášovské Podhradie 20
96501 Žiar nad Hronom
Slovenská republika
e-mail: michaela.vargova1811@gmail.com

Výber vhodných genetických markérov a možnosti ich použitia pre výskum genetickej variability u srnca lesného (*Capreolus capreolus*)

Abstrakt

Výber vhodných genetických markérov a možnosti ich použitia pre výskum genetickej variability u srnca lesného (*Capreolus capreolus*). Forenzná DNA analýza voľne žijúcej zveri a voľne rastúcich rastlín je aplikovaný vedný odbor, ktorý sa vyvinul zo syntézy výskumu konzervačnej genetiky a forenznej genetickej praxe, aby uspokojil narastajúcu potrebu nástrojov vyšetrovania v presadzovaní zákonov o voľne žijúcej zveri a voľne rastúcich rastlinách.

Cieľom práce bolo vyhľadanie genetických markérov v dostupnej literatúre a následne tieto markéry otestovať na vzorkách tkanív srnca lesného (*Capreolus capreolus*).

Ako experimentálny materiál boli použité vzorky tkanív pochádzajúce zo srnčej zveri. Na získanie DNA z týchto tkanív bola použitá metóda CTAB a metóda pomocou Chelex-u. Získaná DNA sa amplifikovala pomocou polymerázovej reťazovej reakcie (PCR). Mikrosatelitné markéry boli pri PCR kombinované do štyroch multiplexov. Následne sa po metóde PCR vykonala fragmentačná analýza mikrosatelitov (STR), na základe ktorej sa po vizualizácii v programe GenneMapper 4.00 ® vyhodnotilo, ktoré koncentrácie jednotlivých genetických markérov treba optimalizovať tak, aby boli vhodné na ďalšie testovanie na vzorkách DNA. Taktiež sa posudzovala vhodnosť týchto markérov na ďalšie genetické analýzy.

Práca podáva obraz o postupe laboratórnych prác, ktoré predchádzajú celkovým výsledkom nášho výskumu a taktiež rieši problematiku týkajúcu sa už spomínanej forenznej genetiky, čo je dôležité pri utvorení si obrazu o dôležitosti genetiky vyšších rastlín a živočíchov v rámci prevencie kriminality a dokazovaní trestných činov v tomto smere.

Kľúčové slová: mikrosatelity, forenzná genetika, optimalizácia

VPLYV ENTOMOPATOGÉNNEJ HUBY *BEAUVERIA BASSIANA* NA MORTALITU LYKOŽRÚTA SMREKOVÉHO (*IPS TYPOGRAPHUS*)

Michal N O G E

Noge, M.: Wirkung des insekten-pathogenen Pilzes *Beauveria bassiana* auf die Sterblichkeit des Borkenschädlings *Ips typographus*. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 1, 2013, 19–26.

Die Arbeit informiert über den biologischen Schutz der Fichtenbestände durch das einsetzen des insekten-pathogenen Pilzes *Beauveria bassiana*. Es wird der Lebenszyklus des Schädlings als auch des Pathogens beschrieben, wobei Möglichkeiten der praktischen Applikation aufgeführt sind, die anhand der Realisation zahlreicher Versuche von Forschungsinstituten aus verschiedenen Ländern abgeleitet wurden. Ein Kapitel ist den von mir erhaltenen Versuchsergebnissen gewidmet, wobei die gewonnenen Daten mit den bisherigen Kenntnissen über den Pilz vergleichbar sind.

Schlüsselwort: *Beauveria bassiana*, Insektenpathogenen Pilz, *Ips typographus*, Biologische Schutz

1 ÚVOD A CIELE

Zdravotný stav smrečín na Slovensku je už dlhšiu dobu kritický a trápi nielen lesníkov. Vysádzanie trendovej dreviny smrek kvôli jej vysokej hospodárskej efektívite od 19. storočia vyvrcholilo do súčasnej situácie. Najmä vo vyššom veku sú jedince napádané rôznymi abiotickými činiteľmi ako aj rozmáhajúcimi sa populáciami podkôrných hmyzích škodcov, v prvom rade lykožrútom smrekovým.

Pri hľadaní a testovaní rôznych opatrení proti tomuto škodcovi, sa ako obzvlášť perspektívne javia prípravky na biologickom základe, obsahujúce spóry entomopatogénnych húb. Jedným z komerčne dostupných je prípravok BoVeril, obsahujúci spóry *Beauveria bassiana*. Účinnosť tejto huby bola v laboratórnych podmienkach úspešne otestovaná viacerými európskymi výskumnými ústavmi, vrátane Lesníckej Ochranárskej Služby v Banskej Štiavnici.

Aj keď sa použitím prípravku BoVeril v pokusoch dosiahli viac než uspokojivé výsledky, javí sa jeho aplikácia v teréne o čosi náročnejšia. Hlavnou výzvou pritom je zoptimalizovať metodické postupy použitia v teréne, ktoré by zabezpečili rovnako priaznivé výsledky ako testy v laboratórnych podmienkach. Napriek jeho komerčnej dostupnosti je aplikácia prakticky stále v štádiu testovania.

Cieľom príspevku bolo opísať účinok a životný cyklus entomopatogénnej huby *Beauveria bassiana*, metódy jej aplikácie a predstaviť výsledky zo založených pokusov.

2 ENTOMOPATOGENNÁ HUBY *BEAUVERIA BASSIANA*

2.1 História

Už v siedmom storočí p. n. l. v Číne bolo ochorenie hubou *Beauveria bassiana* známe ako biela bobuľovitá choroba (white muscardine disease), na priadke morušovej, neskôr sa v dôsledku orientálneho obchodu patogén preniesol aj na tunajšie populácie včely medonosnej (KUNCA, 2008).

Problematickou napadnutia priadky morušovej sa ako prvý úspešne zaoberal taliansky entomológ Agostino Bassi. Dovtedy známa ako *Tritirachium shiotae*, bola táto entomopatogénna huba neskôr premenovaná podľa svojho objaviteľa na *Beauveria bassiana*.

2.2 Systematika a morfológia

Baeuveria bassiana (Balsamo) Vuillemin z triedy Deuteromycetes radu Moniliales. Systematicky patrí druh *Beauveria bassiana* medzi pravé huby (Eumycota), kmeň vrečkaté (Ascomycetes), podkmeň Pezizomycotina, trieda Sordariomycetes (www.wikipedia.sk). Pohlavným štádiom huby je *Cordyceps bassiana*, vyskytujúca sa v prírode údajne však len vo východnej Ázii (KUNCA, 2008).

Morfológia huby *Beauveria bassiana* sa rôzni podľa toho, v akých podmienkach sa vyvíja. Rýchlosť rastu mycélia závisí od podmienok prostredia, pričom najpriaznivejšie podmienky nachádza na agare zo zemiakovej glukózy pri teplote 27 °C. Vytvára početné práškové konídie mikroskopických rozmerov (2–3 µm) bielej farby. Pohlavne sa huba množí vo svojom prirodzenom prostredí pôde, odkiaľ sa spóry anemochórne prenášajú na telo hmyzu. Následný proces napadnutia hostiteľa a jeho prerastanie konídiami je súčasťou asexuálneho rozmnožovania. Takto vzniknuté konídie sa buď dostanú do kontaktu s nasledujúcim hostiteľom, alebo pristanú opäť na zem.

Infekcia jedinca môže nastať buď priamym kontaktom s patogénom, alebo konzumáciou kontaminovanej potravy. V prvom prípade sa huba na telo hmyzu dostáva v podobe spóry. Pri kontakte s kutikulou sa spóra prichytí a začne cez ňu prenikať myceliálnym klíčkom do tela hostiteľa. Nápomocné sú pritom aj rôzne enzýmy, ktorými rozpúšťa mechanické bariéry, čo výrazne urýchľuje proces infekcie. Následne v tele hostiteľa produkuje mykotoxín beauvericin, ktorý oslabuje imunitný systém hostiteľa a má za následok opuchliny a stvrdnutia. Po kolonizovaní tkanív začne huba odčerpávať hostiteľovi živiny parazitujúc na vnútorných orgánoch. V dôsledku masívnej straty živín a vysušenia nastáva smrť v časovom intervale od troch do siedmich dní.

Pri konzumácii kontaminovanej potravy, začnú spóry klíčiť priamo v tráviacej sústave a mycélium preniká stenami vnútorných orgánov. Pri tomto spôsobe infekcie dôjde k usmrteniu hostiteľa o čosi skôr ako pri povrchovom kontakte. Následne huba do troch dní po usmrtení hostiteľa prerastá cez väčšie časti kutikuly a po povrchu odumretého jedinca vytvára z konídií charakteristickú bielu pleseň.

Podmienky potrebné pre vývoj *Beuveria bassiana*: teplota medzi 20–30 °C, pre klíčenie a tvorbu spór optimálna vlhkosť pod 50 %. Priaznivé pre tvorbu a najmä uvoľnenie

spór je chvenie spôsobené rôznymi fyzikálnymi činiteľmi a tma, nakoľko UV žiarenie zo slnka pôsobí na spóry deštruktívne.

2.3 Aplikácia prípravku BoVeril

Možnosti aplikácie prípravkov z entomopatogénnej huby *Beauveria bassiana* sú rôzne, od priameho naniesenia na škodcu až po vnútroduhové prenášanie infekcie.

Pri aplikácii *Beauveria bassiana* v podobe práškoveho prípravku, je vhodné a v praktických pokusoch vzhľadom na jeho konštrukciu zaužívané použiť feromónové lapače typu Theysohn. Je to trojdielny štrbinový lapač s nárazovou plochou, ktorá je z oboch strán opatrená štrbinami. Pod nárazovou plochou je osadený zasúvací podlhovastý lievik so zbernou nádobou naspodku.

Na jej dno sa naniesie tenká (maximálne 2 mm) vrstva prášku. Podľa výskumu v laboratóriách LOS je optimálna dávka do jedného lapača asi 4 g prípravku. Okrem toho sú do vaničky navŕtané dodatočné otvory, ktorými môžu odchytené jedince z lapača vyletieť. Takisto opakovanými pokusmi bolo ako optimálna možnosť stanovených osem až desať dier po oboch stranách zbernej nádoby, vo výške asi 2 mm od jej dna a o priemere 6 mm (GALKO, 2009).

Myšlienka tejto úpravy je taká, že všetky imága z lapača síce uniknú, avšak predtým sa dostanú do kontaktu s prípravkom obsahujúcim spóry *Beauverie* na dne vaničky. Po vyletení z lapača sú jedince teda infikované patogénom, ktorý zavlečú medzi ostatné imága a nakazia tak aj zvyšok populácie. Pre účely výskumu je okolo zbernej nádoby upevnená lapačia sieťka, z ktorej sa následne odoberá lykožrút na pozorovanie v Petriho miskách.

Výsledky použitia tejto metódy sa doposiaľ javia ako pozitívne, avšak postihnuté podkôrniky stihnú vo väčšine prípadov ešte založiť nasledujúcu generáciu, ktorá sa hubou už nenainfikuje. Bol síce v niektorých pokusoch dokázaný aj prenos infekcie na nasledovnú generáciu, avšak sa to týkalo len nepatrného percenta jedincov v pomere k uskutočneným opakovaniam pokusu.

Jednoduchším spôsobom aplikácie prípravkov v lese je ich naniesenie na kôru padnutého kmeňa, ktorý za daných okolností slúži ako lapák. Imága sa do kontaktu s hubou dostanú buď pri zavŕtavaní pod kôru alebo pri vylietaní, čím sa stanoví samotná doba použitia prípravku.

Nakoľko sa *Beauveria bassiana* v prírode pôvodne vyskytuje hlavne v pôde, ktorá pre ňu predstavuje z hľadiska ekologických podmienok optimálne prostredie, je vhodnou metódou v boji proti *Ips typographus* ošetrovanie opadanky v bezprostrednej blízkosti smrekov. Chrobák totiž nie zriedka prezimuje v tejto vrstve, čím sa vo voľnej prírode najčastejšie dostáva do kontaktu s hubou, čomu nasleduje infekcia.

2.4 Riziká použitia *Beauveria bassiana*

Problematický pri aplikácii huby je v prvom rade kontakt spór s imágami. Je potrebné odhadnúť najmä vhodný čas použitia prípravku.

Rozhodujúce sú takisto aj poveternostné podmienky v čase aplikácie, aby spóry mohli optimálne tvoriť klíčky mycélia. Treba sa vyvarovať príliš vlhkým obdobiam a priamemu dopadu slnečného svetla, aj keď komerčne vyrábané prípravky už poskytujú konídiám dostatočnú ochranu pred UV žiarením. Optimálne zvolené obdobie počas dňa je zavčas ráno alebo za súmraku.

Nebezpečenstvo hrozí aj kvôli širokému spektru hostiteľov patogéna, pričom môže dôjsť aj k napadnutiu dýchacích ciest vyšších stavovcov vrátane človeka. Huba môže preniknúť do organizmu hlavne cez dýchacie cesty a preto je pri manipulácii s ňou alebo prípravkami obsahujúcimi jej spóry na mieste používať bezpečnostné prvky ako sú rúška a dlhé oblečenie, aby nedošlo k napadnutiu laboranta či lesného pracovníka.

3 MATERIÁL A METODIKA PRÁCE

3.1 Dizajn pokusu s kliečkami

Na overenie účinnosti entomopatogénnej huby *Beauveria bassiana* som počas letných mesiacov júl/august založil pokus zameraný hlavne na zistenie miery smrtiaceho účinku huby na škodcu *Ips typographus*, ako aj na rozsah a možnosť prenosu a šírenia patogéna v rámci populácie.

Na tento účel boli v štyroch kliečkach umiestnené čerstvo odpílené klátiky o výške približne 50 cm a hrúbke priemerne 14 cm. Na každý bolo vysadených 40 imág druhu *Ips typographus*, zozbieraných z lapačov. Zasadou pri zbere imág bolo ich odchytenie v priebehu maximálne dvoch dní, aby bola vitalita imág čo najvyššia a približne na jednej úrovni.

Predlohou dizajnu pokusu boli na rovnakom princípe založené pokusy prevedené v zahraničných výskumných inštitúciách a na LOS v Banskej Štiavnici.

V prvej pokusnej kliečke bol prípravok BoVeril zo spór huby *Beauveria* rozprášaný na povrch kôry klátu. Predpokladom tejto časti pokusu bolo, že sa výtrusy huby zachytia na povrchu tela lykožrúta pri zarývaní pod kôru, čo by následne viedlo k jeho usmrteniu ešte skôr akoby stihol založiť nasledujúcu generáciu, prípadne by sa nakazili vylietajúce imága. Použilo sa 40 vitálnych a vopred neupravených (teda bez akéhokoľvek predošlého kontaktu so spórmi huby) imág *Ips typographus*, ktoré boli položené na vrchnú časť polena v kliečke.

Do druhej pokusnej kliečky bolo na kláte takisto umiestnených 40 imág, pričom 50 % bolo vopred ošetrovaných BoVerilom a zvyšných 50 % boli vitálne jedince bez akéhokoľvek predošlého kontaktu s prípravkom. Cieľom tejto časti pokusu bolo, pozorovať schopnosť a mieru šírenia napadnutia entomopatogénnou hubou jedincov medzi sebou. Imága sa mali infikovať navzájom v snubných chodbičkách.

Tretia pokusná kliečka obsahovala takisto 40 imág *Ips typographus*, pričom všetky boli nakazené. Cieľom sledovania bolo dokázanie údajnej 95–100 %-nej účinnosti tohto prípravku, ktorý mal u škodcu spôsobiť smrť približne po piatich dňoch.

Štvrtá kliečka s klátom slúžila ako kontrola celého pokusu, pričom boli na kôru nanesené len vitálne jedince bez akéhokoľvek predošlého styku s testovanou látkou.

Všetky štyri kliečky boli umiestené do miestnosti s dostatkom prirodzeného svetla. Na udržanie primeranej vlhkosti v miestnosti počas pokusu som každé tri až štyri dni rozprašovačom zavlažoval vzorky klátov.

3.2 Prípravok BoVeril použitý vo feromónovom lapači Theysohn

Druhý založený pokus bol realizovaný sčasti v teréne a sčasti v laboratórnych podmienkach. Pred južne orientovanou porastovou stenou asi 90-ročného smrekového porastu som umiestil upravený lapač typu Theysohn. Úprava spočívala v navŕtaní dodatočných pozdĺžnych otvorov do zbernej vaničky, na dne ktorej je nanosená tenká vrstva BoVerilu. Takisto bola nad lapačom dodatočne nadvstavená ochranná strieška ako ochrana pred poveternostnými vplyvmi.

Nalákané imága lykožrúta spadnú do vaničky, a pri kontakte s jej dnom sa infikujú entomopatogénnou hubou. Otvory im umožňujú z lapača uniknúť a vyletieť späť do porastu. V praxi by sa mali infikované jedince po návrate dostať do kontaktu s ostatnými jedincami populácie a rozšíriť tak nákazu. Pre účely výskumu bola však na lapači pripevnená sieťka s malými očkami, ktorá opúšťajúce imága lykožrúta zachytila. Cieľom tejto pokusnej zostavy bolo totiž len zistiť, do akej miery je použitie takto upraveného lapača účinné. Odchytené jedince boli následne umiestnené do Petriho misiek na kúsok kôry o rozmeroch 10×10 cm, pod ktorými boli navlhčené filtračné papieriky. V nasledujúcich dňoch sa takto sleduje usmrtenie a prerastanie imág lykožrúta hubou.

4 VÝSLEDKY POKUSU A DISKUSIA

Po ukončení pokusu som z každej pokusnej kliečky vybral smrekové poleno a spočítal dospelé imága. Najprv bola kôra olúpaná a spočítali sa na nej materské chodbičky. V týchto bolo výrazne bada viditeľné biele mycélium, ktoré vytvorila pravdepodobne práve *Beauveria bassiana*. Kôru som následne rozdrvil a spočítal všetky vypadnuté jedince lykožrúta.

Zozbierané imága sa dali jednoducho roztriediť na zdravé a infikované, nakoľko časový rozsah pokusu umožnil hube prerásť hostiteľa až do konečnej fázy. Okrem toho boli jedince ešte kvôli objektívnejšiemu zhodnoteniu rastu populácií rozdelené podľa vitality na živé chrobáky dcérskej generácie a mŕtve materské chrobáky (40 ks = počiatočný počet imág použitých na začiatku pokusu).

Pokusom bola dokázaná takmer 100 %-ná účinnosť prípravku, avšak s postupujúcim časom účinok klesal z dôvodu zhoršenia fyzikálnych vlastností prášku, prečo ho v praxi pre správnu ochranu treba pravidelne vymieňať a dopĺňať.

Zistené údaje sú zosumarizované v tab. 2. Aby výsledky zo všetkých štyroch častí pokusu boli medzi sebou porovnateľné, hodnotíme na jednotlivých polenách počet jedincov na dm^2 . Z tohto prepočtu, v ktorom sa zohľadňujú rozmery klátov a tým pádom aj celkový rozsah zdroja potravy lykožrúta v kliečkach, je viditeľné, že najväčší nárast populácií bol zaznamenaný v pokusnej kliečke s poradovým číslom 1, kde bol prípravok nanosený na povrchu kôry a číslom 4, ktorá predstavovala kontrolu s nenakazenými imágami.

Rovnaký pomer sa odzrkadlil aj v celkovom náraste populácií, ktorý sa vypočítal percentuálne ako počet všetkých imág na konci pokusu znížený o 40 ks predstavujúcich rodičovskú generáciu. Zatiaľ čo sa v pokusných klietkach 1 a 4 počet jedincov behom jednej generácie stroj- až zoštvornásobil, boli dcérske generácie v pokusných klietkach 2 (nakazených 50 % imág) a 3 (nakazené všetky imága) početnejšie len o 120–180 %.

Na takýto výsledok už poukázali a interpretovali výskumníci z Oddelenia ochrany lesa v Nemeckom Darmstadte (VAUPEL, 1996). Infekcia hubou *Beauveria bassiana* sa síce preukázateľne šíri aj kontaktom jedincov medzi sebou, no tieto stihnú ešte naklásať vajíčka a založiť tak nasledujúcu generáciu, ktorej napadnutie patogénom však býva skôr výnimkou ako pravidlom. Avšak rovnako ako u Nemcov, aj moje výsledky ukázali, že infikované imága sa síce zavŕtajú pod kôru, no početnosť nasledujúcej generácie je výrazne nižšia ako v prípade kontroly, kde sú všetky rodičovské imága zdravé.

Rozdielne početnosti populácií v jednotlivých klietkach však mohli byť spôsobené viacerými faktormi, napr. rozdielnou kvalitou drevnej hmoty klátikov, výskyt rôzneho počtu hrč, na niektorých miestach odery kôry a napriek predošlej kontrole zdravotného stavu dreva, sa pri konečnom spočítavaní objavil veľký počet jedincov lykožrúta lesklého, ktorý mohol pôsobiť ako potravný konkurent lykožrúta smrekového. Okrem toho za daných podmienok nebolo možné na 100 % zabezpečiť primeraný pomer samičiek a samčekov v jednotlivých klietkach.

Tab. 1 Výsledky založeného pokusu s chovnými klietkami

Tab. 1 Result of experiment with stock cage

Výsledky	Prípravok nanesený na povrchu poľena	Pomer nakazených a zdravých imág 50:50	Všetky imága boli nakazené	Kontrola: všetky imága zdravé
Číslo pokusu	Pokus 1	Pokus 2	Pokus 3	Pokus 4
Rozmery výška (cm) smrekových hrúbka (cm) polien	54,5	42	45	46
	14,3	12	14,7	12,8
	zdravé nakazené	zdravé nakazené	zdravé nakazené	zdravé nakazené
Počet imág na začiatku pokusu	40 –	20 20	– 40	40 –
Počet imág na konci pokusu	150 16	65 23	72 40	130 –
Počet imág na dm²	21	17	17	22
Nárast populácie v %	315	120	180	225

5 ZÁVER

Cieľom práce bolo potvrdiť účinnosť prípravku BoVeril, ktorý obsahuje spóry entomopatogénnej huby *Beauveria bassiana*, ako biologickej ochrany proti lykožrútovi smrekovému (*Ips Typographus*). V laboratórnom a terénnom pokuse sa prípravok aplikoval na škodcu a sledoval sa priebeh infekcie v rámci populácie lykožrúta.

Výsledky laboratórneho pokusu potvrdili očakávanú prognózu, že prípravok BoVeril na báze spór z entomopatogénnej huby *Beauveria bassiana* po kontakte s imágami lyko-

žrúta smrekového spôsobuje ich usmrtenie v priebehu niekoľkých dní a následné pre rastanie bielym mycéliom. Účinnosť prípravku pritom bola 100 %, čiže všetky infikované imága patogénu podľahli. Pri dokázaní prenosu nákazy z infikovaných na zdravé jedince a jedince založenej generácie sú výsledky menej uspokojivé, nakoľko pri pomere 20 zdravých : 20 nakazených sa hubou infikovali len 3 ďalšie imága, dcérska generácia dokonca nevykazovala žiadne známky infekcie ani po dlhšej inkubačnej dobe.

Mohlo sa jednať o náhodu, aj vzhľadom na pomerne veľký priestor na smrekovom kláde, ktorý nezaručoval, že 40 vysadených imág sa dostane do bezprostredného vzájomného kontaktu.

Druhý realizovaný pokus pozostával zo špeciálne upraveného feromónového lapača typu Theysohn v teréne, ktorý bol umiestnený pred južne exponovanú porastovú stenu. Úprava spočívala v navŕtaní otvorov a štrbín do zbernej vaničky, na dne ktorej bola vrstva BoVerilu. Odchytené jedince lykožrúta sa vo vaničke infikujú hubou a cez otvory môžu z lapača uniknúť. Z vonkajšej strany vaničky bola umiestnená záchytná sieťka, z ktorej sa odchytené imága umiestnili na ďalšie pozorovanie do Petriho misiek.

Z dôvodu nepriaznivého počasia v letných mesiacoch 2011 a 2012, kedy bol pokus založený, sa mi nepodarilo lapačom v danej lokalite odchytiť dostatočný počet imág na dostatočné vyhodnotenie pokusu. Zvážená bola aj možnosť zozbierať lykožrúta z iných lapačov, ale takto získané výsledky by nemali dostatočne výpovednú hodnotu.

6 Literatúra

- GALKO, J., VAKULA, J., GUBKA, A., KUNCA, A., 2009: Skúsenosti s použitím entomopatogénnej huby *Beauveria bassiana* v laboratórnych podmienkach. In: Ochrana lesa 2009. Zborník recenzovaných vedeckých prác a referátov z medzinárodnej konferencie. ISBN 978-80-228-2063-9
- KUNCA, A., ZÚBRIK, M., 2008: Dokážeme ju využiť na obranu porastov pred podkôrnym hmyzom? Les a lesokruhy, č. 1–2/2008, s. 38.
- VAUPEL, O., ZIMMERMANN, G., 1996: Orientierende Versuche zur Kombination von Pheromonfallen mit dem insektenpathogenen Pilz *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. gegen die Borkenkäferart *Ips typographus* L. (Col., Scolytidae). In: Anzeiger für Schädlingskunde Pflanzenschutz Umweltschutz (69), č. 8/1996, s. 175–179.
- [cit. 4.2.2012] Dostupné na internete: <http://en.wikipedia.org/wiki/Beauveria_bassiana>
- [cit. 22.3.2012] Dostupné na internete: <http://journals.tums.ac.ir/full_text.aspx?org_id=59&culture_var=en&journal_id=20&issue_id=1748&manuscript_id=14950&segment=en>

Príspevok vznikol v rámci ŠVOČ na Lesníckej fakulte Technickej Univerzity vo Zvolene, 2013.

Chcel by som sa poďakovať kolektívu LOS Banská Štiavnica, za pomoc pri zbieraní potrebných údajov a odborné usmerňovanie pri realizácii pokusov.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0045-10.

Adresa autora:

Bc. Michal Noge

Katedra ochrany lesa a poľovníctva

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: xnoge@tuzvo.sk

k-ing.noge@azet.sk

Vplyv entomopatogénnej huby *Beauveria bassiana* na mortalitu lykožrúta smrekového (*Ips typographus*)

Abstrakt

Práca oboznamuje s biologickou ochranou smrečín pred lykožrútom smrekovým použitím entomopatogénnej huby *Beauveria bassiana*. Popísaný je životný cyklus škodcu aj patogéna a uvádzajú sa spôsoby možnej aplikácie v praxi, odvodené na základe početných pokusov realizovaných výskumnými ústavmi z rôznych krajín. Taktiež sú prezentované výsledky vlastných realizovaných pokusov, pričom získané údaje sú porovnateľné s doterajšími poznatkami o hube.

Kľúčové slová: *Beauveria bassiana*, entomopatogénna huba, *Ips typographus*, biologická ochrana smrečín

DRUHOVÉ ZLOŽENIE KAMBIOFÁGNYCH CHROBÁKOV JEDLE A FAKTORY OVPLYVŇUJÚCE ICH VÝSKYT

Richard WEISZ – Štefan PAVLÍK – Milan KODRÍK

Weisz, R., Pavlík, Š., Kodrík, M.: Species composition of cambiofagous beetles on the selected fir tree samplers and factors influencing their occurrence and. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 1, 2013, 27–42.

The aim of this work is to analyze the species composition of cambiofagous fir beetles and factors influencing their occurrence. For the purpose of the research was selected 26 forests and analyzed 70 individual firs. Selected stands were located in Kremnicke vrchy, Polana and Volovské vrchy. Forests and tree samplers were selected on the basis of predetermined criteria. The species range has been assessed based on the multiplicity from eatmaps of individual species of cambiofagous beetles. The impact of recorted factors recorded was assessed by factor analysis. The results were mutually compared among different types of sampler trees, sections and research areas.

Key words: cambiofagous beetles (Coleoptera), silver fir (*Abies alba*), species composition, tree samplers

1 ÚVOD

Podkôrny hmyz je významným škodlivým činiteľom nielen u smreka, ale aj u ostatných druhov drevín. Medzi hospodársky významné dreviny patrí aj jedľa biela (*Abies alba* Mill.). Rovnako ako smrek, aj jedľa je poškodzovaná podkôrnym hmyzom, avšak v podstatne menšom rozsahu. Medzi významné druhy kambiofágnych chrobákov na jedli patrí lykožrút jedľový (*Pityokteines curvidens*), lykožrút prostredný (*Pityokteines spinidens*), lykožrút malý (*Pityokteines vorontzovi*), kôrnik jedľový (*Cryphalus piceae*), smoliar jedľový (*Pissodes piceae*) a lykožrút obyčajný (*Pityophthorus pityographus*) (PAVLÍK 2005). Kambiofágne chrobáky na jedli sú rovnako ako ostatné druhy kambiofágnych chrobákov sekundárnymi škodcami lesných drevín a napádajú iba fyziologicky oslabené dreviny. Za určitých okolností sa však môžu stať aj primárnymi škodcami a napádať aj relatívne zdravé stromy. Uvedené druhy ohrozujú najmä strednoveké a dospelé porasty s vyšším zastúpením jedle, pričom významným predispozičným činiteľom pre napadnutie týchto porastov sa v súčasnosti stávajú meniace sa klimatické podmienky.

Poznatkov o významnosti jednotlivých druhov kambiofágnych chrobákov v procese odumierania jedlí je v literatúre relatívne málo, a to aj napriek tomu, že problematike odumierania jedľových porastov sa v minulosti venovala veľká pozornosť (GOGOLA 1979).

V súvislosti s tým, cieľom výskumu bolo analyzovať druhové zloženie kambiofágnych chrobákov na jedli a faktory ovplyvňujúce ich výskyt.

2 MATERIÁL A METÓDY

2.1 Charakteristika výskumných plôch

Výskum sa uskutočnil v troch vybraných oblastiach. Prvou je oblasť Kremnických vrchov. Druhou je oblasť Poľany. Treťou je oblasť Volovských vrchov. Rozšírenie a druhové spektrum kambiofágnych chrobákov v týchto oblastiach nie je známe. V uvedených oblastiach má jedľa prirodzený areál rozšírenia (PAGAN 1992). Ekologické podmienky vo vybraných oblastiach zodpovedajú jej ekologickým nárokom, rovnako ako spôsoby obhospodarovania porastov. Celkovo bolo analyzovaných 70 vzorníkov z 26 porastov. Vybrané porasty sú rôzneho veku, expozície, sklonu, bonity, percentuálneho zastúpenia lesných typov, hospodárskeho súboru lesných typov, percentuálneho zastúpenia jedle a nachádzajú sa v 3. až 5. lesnom vegetačnom stupni.

Zdravotný stav jedle vo vybraných oblastiach je dobrý. Medzi významné škodlivé činitele poškodzujúce jedľu patrí vietor, imelo, zver a minulosti aj imisie.

2.2 Metódy

Na výskum boli použité dve metódy: lapáková a vzorníková metóda. Výber porastov pre lapákovú metódu sa realizoval na základe veku porastu, zastúpenia jedle v poraste, zastúpenie lesných typov. Vo vybraných porastoch sa vyberali 2 stromy pre založenie stojaceho lapáka a ležiaceho lapáka. Vo vybraných porastoch sa zakladá jarná a letná séria lapákov. Kritéria pre výber stromov boli nasledovné: zdravé jedince jedle bez zreteľného poškodenia, úrovňové postavenie jedlí v poraste, minimálna hrúbka $d_{1,3}$ 20 cm, minimálna vzdialenosť vývrátov, polomov a hromád ťažbových zvyškov 50 metrov, a maximálny rozstup jedlí 30 metrov. Odkôrňovanie lapákov sa realizovalo v termíne jedného mesiaca po predpokladanom termíne rojenia kambiofágnych chrobákov.

Pri vzorníkovej metóde boli porasty vybrané iba na základe veku porastu a zastúpenia jedle v poraste. Vo vybraných porastoch sa formou terénnej pochôdzky, resp. hlásení vyhľadávajú vzorníky, medzi ktoré patria vývraty, polomy, odumierajúce, odumreté, zdravé jedince jedlí a hromady ťažbových zvyškov jedle. Odkôrňovanie lapákov sa realizovalo počas prebiehajúceho ťažbového procesu.

Vzorky kôry boli odoberané na miestach zvolených sekcií. Veľkosť sekcií bola zvolená tak, aby súčet dĺžok sekcií predstavoval minimálne 10 % z celkovej dĺžky kmeňa. Celkový počet sekcií na kmeni bol 6, ich rozmiestnenie bolo nasledovné:

Sekcia 1 – v územkovej časti kmeňa, vo vzdialenosti minimálne 2 metre od koreňových nábehov jedle,

Sekcie 2A, 2B – v stredovej časti kmeňa,

Sekcia 3 – v spodnej tretine koruny jedle,
Sekcia 4 – v stredovej časti koruny jedle,
Sekcia 5 – vo vrchnej tretine koruny jedle.

Na mieste vyčlenených sekcií sa kmeň odkôrnil. Zaznamenala sa dĺžka a šírka odkôrnenej sekcie, hrúbka kmeňa v mieste sekcie, hrúbka kôry, stav lyka, ktorý sa hodnotí podľa nasledovnej stupnice:

- 1 – lyko čerstvé biele (do 10 % plochy zhnednutého lyka z celkovej plochy sekcie),
- 2 – lyko biele s hnedými plochami (od 10 % do 60 % plochy zhnednutého lyka z celkovej plochy sekcie),
- 3 – lyko hnedé (od 60 % plochy zhnednutého lyka z celkovej plochy sekcie).

Na odkôrnenej ploche sekcie sa zaznamenal počet požírovkov jednotlivých druhov kambiofágnych chrobákov. Pre druhy smoliar jedľový (*Pissodes piceae*), fúzač kôrový (*Rhagium inquisitor*), druhy čeláde (Cerambycidae), predátory a parazitoidy sa zaznamenal iba ich výskyt na základe požírovkov, alebo lariev. Zaznamenané početnosti požírovkov boli rozčlenené do tried relatívnych početností, nasledovne:

- 1 – rozsah 1 až 10 požírovkov,
- 2 – rozsah 11 až 30 požírovkov,
- 3 – rozsah 31 až 60 požírovkov,
- 4 – rozsah 61 a viac požírovkov.

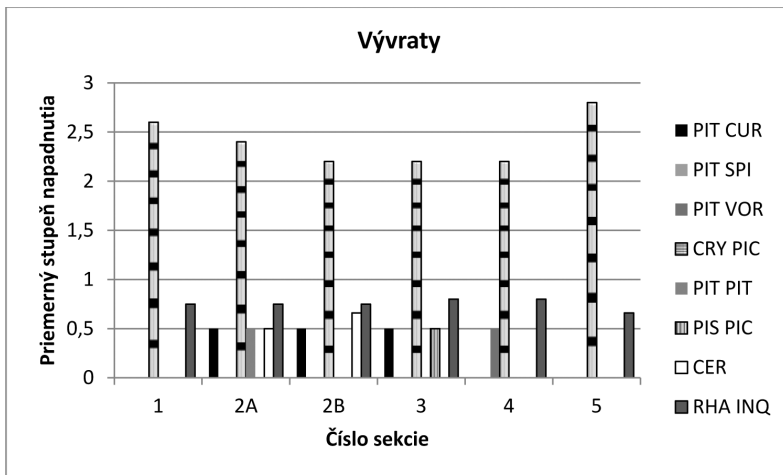
Požírky kambiofágnych chrobákov boli determinované podľa určovacieho kľúča (PFFEFER 1989). V prípade neurčitej determinácie sa vzorky kôry odoberali a následne analyzovali v laboratórnych podmienkach.

Získané dáta boli rozčlenené do prehľadových tabuliek v programe MS Excel 2007. Z údajov o početnosti požírovkov kambiofágnych chrobákov, imág a ich vývojových štádií, ktoré boli zaznamenané na jednotlivých sekciách, bolo zhodnotené druhové spektrum. Vplyv faktorov zaznamenávaných na vyčlenených sekciách kmeňa bol analyzovaný faktorovou analýzou (SCHEER 2010). Získané výsledky boli porovnávané medzi typmi vzorníkových stromov, sekciami a oblasťami výskumu.

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

3.1 Priemerný stupeň napadnutia vzorníkov kambiofágnymi chrobákmi

Priemerný stupeň napadnutia vývrátov zobrazuje obr. 1. Na vývratoch bol najviac zastúpeným druhom kôrnik jedľový (*Cryphalus piceae*), ktorého výskyt bol zaznamenaný na všetkých sekciách kmeňa. Priemerný stupeň napadnutia sa pohyboval v rozmedzí od 2,2 do 2,8.

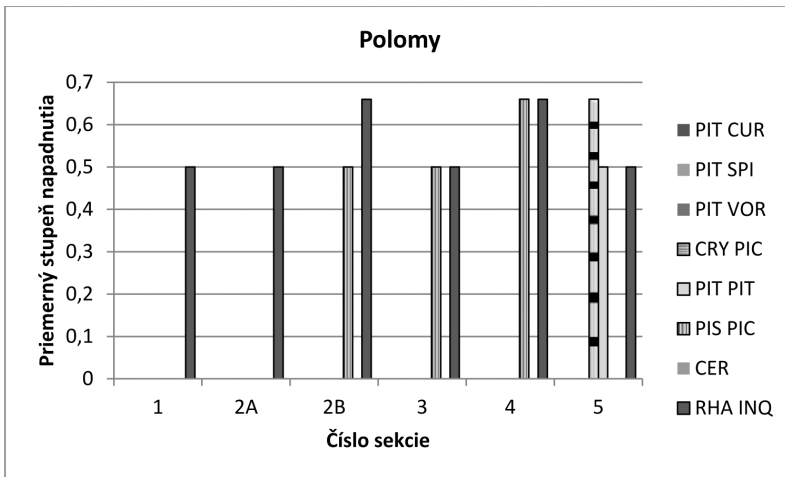


Obr. 1 Priemerný stupeň napadnutia vývrátov

Fig. 1 Average degree assault of tree falls

Ako príčinu vysokých hodnôt priemerného stupňa napadnutia je potrebné uviesť spôsob poškodzovania lykovej vrstvy drevín, pretože pre kôrnika jedľového je špecifické, že pri vysokej hustote obsadenia dochádza k úplnému poškodeniu lykovej vrstvy bez vytvárania tvarovo špecifických požerkov (SCHWENKE 1974). Najvyššie hodnoty priemerného stupňa napadnutia boli zaznamenané na sekciách 5 a 1 a vysoké hodnoty priemerného stupňa napadnutia boli vysoké na všetkých sekciách, napriek tomu že, v literatúre je uvádzaný ako druh uprednostňujúci časti kmeňa s tenkou kôrou (SCHWENKE 1974). V prípade napadnutia jedle s tenkou vrstvou kôry, obsadzuje kôrnik jedľový (*Cryphalus piceae*) celý kmeň (PAVLÍK 2005). Na všetkých sekciách bol zaznamenaný výskyt fúzača kôrového (*Rhagium inquisitor*). Z ďalších druhov bol zaznamenaný výskyt lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*), lykožrúta malého (*Pityokteines vorontzovi*), lykožrúta obyčajného (*Pityophthorus pityographus*), smoliara jedľového (*Pissodes piceae*) a druhov čeľade fúzačovité (Cerambycidae). Výskyt predátorov a parazitoidov bol zaznamenaný na 2 sekciách.

Priemerný stupeň napadnutia polomov zobrazuje obr. 2. Priemerný stupeň napadnutia polomov na sekciách 1, 2A a na sekciách 2B, 3, 4, 5 je značne rozdielny. Tento stav je možné vysvetliť rôznym stupňom presychania lyka stojacej a zlomenej časti kmeňa.



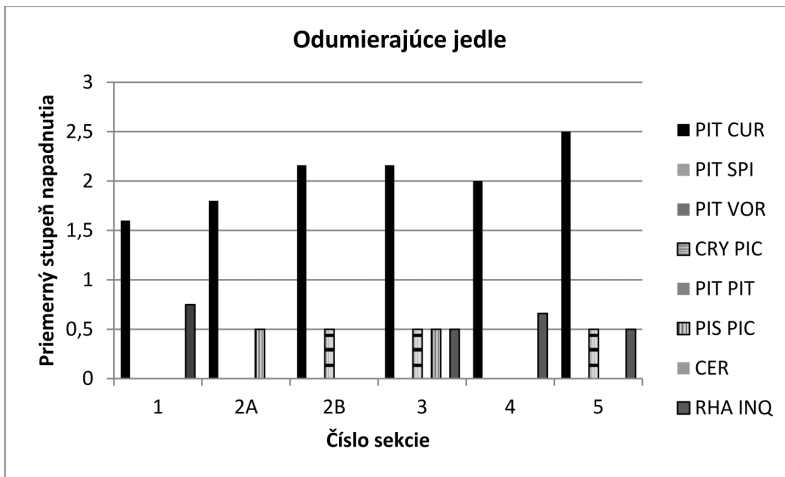
Obr. 2 Priemerný stupeň napadnutia polomov
Fig. 2 Average degree assault of tree breaks

V porovnaní s vývratmi je počet zistených druhov nižší. Najviac zastúpeným druhom je fúzač kôrový (*Rhagium inquisitor*), ktorého výskyt bol zaznamenaný na všetkých sekciách kmeňa. Z ďalších druhov bol zaznamenaný výskyt kôrnika jedľového (*Cryphalus piceae*), lykožrúta obyčajného (*Pityophthorus pityographus*), smoliara jedľového (*Pissodes piceae*). Výskyt predátorov a parazitoidov bol zaznamenaný na 2 sekciách.

Priemerný stupeň napadnutia odumierajúcich jedlí zobrazuje obr. 3. Na odumierajúcich jedliach bol najviac zastúpeným druhom lykožrút jedľový (*Pityokteines curvidens*), ktorého výskyt bol zaznamenaný na všetkých sekciách kmeňa. Priemerný stupeň napadnutia sa pohyboval v rozmedzí od 1,6 do 2,5.

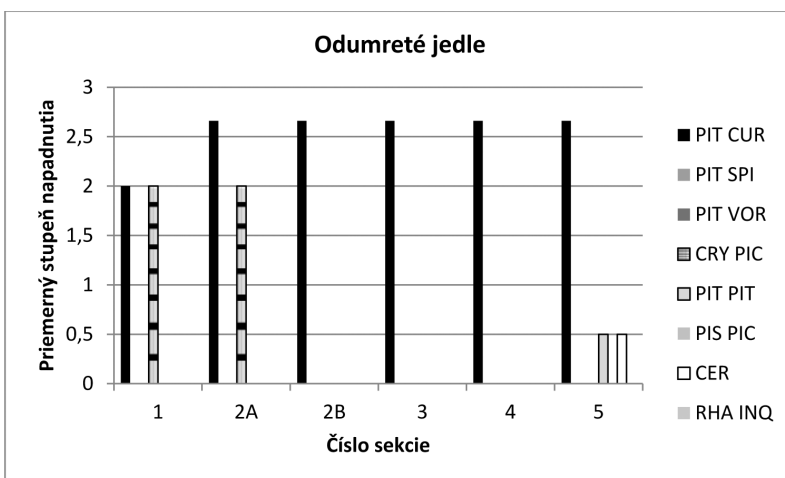
Najvyššia hodnota priemerného stupňa napadnutia bola zaznamenaná na sekcii 5, pričom v literatúre sa uvádza, že lykožrút jedľový obsadzuje časti kmeňa s hrubou kôrou a časti kmeňa s tenkou kôrou sú obsadzované sprievodnými druhmi kambiofágnych chrobákov (PAVLÍK 2005). Z ďalších druhov bol zaznamenaný výskyt kôrnika jedľového (*Cryphalus piceae*), smoliara jedľového (*Pissodes piceae*) a fúzača kôrového (*Rhagium inquisitor*). Výskyt predátorov a parazitoidov bol zaznamenaný na 5 sekciách.

Priemerný stupeň napadnutia odumretých jedlí zobrazuje obr. 4. Na odumretých jedliach bol najviac zastúpeným druhom lykožrút jedľový (*Pityokteines curvidens*), ktorého výskyt bol zaznamenaný na všetkých sekciách. Priemerný stupeň napadnutia sa pohyboval v rozmedzí od 2 do 2,66.



Obr. 3 Priemerný stupeň napadnutia odumierajúcich jedlí

Fig. 3 Average degree assault of dying firs



Obr. 4 Priemerný stupeň napadnutia odumretých jedlí

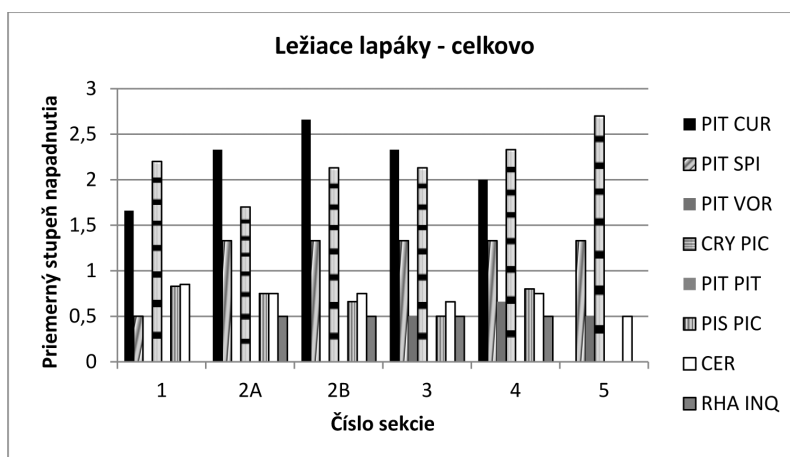
Fig. 4 Average degree of infestation of dead firs

Najvyššie hodnoty priemerného stupňa napadnutia boli zaznamenané na sekciách 2A, 2B, 3, 4, 5, pričom v literatúre sa uvádza, že lykožrút jedľový (*Pityokteines curvidens*) obsadzuje časti kmeňa s hrubou kôrou a časti kmeňa s tenkou kôrou sú obsadzované sprievodnými druhmi kambiofágnych chrobákov (PAVLÍK 2005). Z ďalších druhov bol zaznamenaný výskyt kôrnika jedľového (*Cryphalus piceae*), lykožrúta obyčajného (*Pityo-*

phtorus pityographus) a druhov čeľade fúzačovité (Cerambycidae). Výskyt predátorov a parazitoidov nebol zaznamenaný.

Na ťažbových zvyškoch bol zaznamenaný výskyt kôrnika jedľového (*Cryphalus piceae*), lykožrúta obyčajného (*Pityophthorus pityographus*) a lykožrúta malého (*Pityokteines vorontzovi*). Výskyt predátorov a parazitoidov nebol zaznamenaný. Výskyt kambiofágnych chrobákov na zdravých jedliach a stojatých lapákov nebol zaznamenaný.

Priemerný stupeň napadnutia ležiacich lapákov zobrazuje obr. 5. Na ležiacich lapákov bolo zaznamenaných najviac druhov kambiofágnych chrobákov, avšak druhové spektrum kambiofágnych chrobákov v rámci vybraných oblastí výskumu bolo značne odlišné.



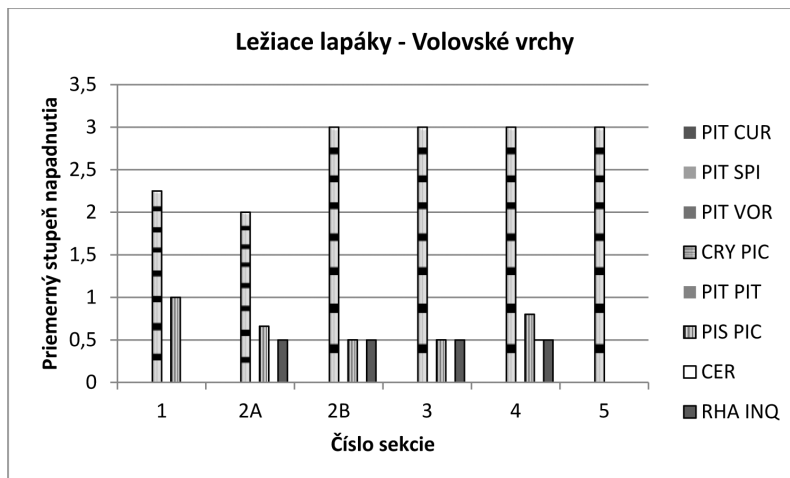
Obr. 5 Priemerný stupeň napadnutia ležiacich lapákov

Fig. 5 Average degree assault of lying tree traps

V oblasti Volovských vrchov bol najviac zastúpeným druhom kôrník jedľový (*Cryphalus piceae*), ktorého výskyt bol zaznamenaný na všetkých sekciách kmeňa. Priemerný stupeň napadnutia sa pohyboval v rozmedzí od 2 do 0 (obr. 6).

Ako príčinu vysokých hodnôt priemerného stupňa napadnutia je potrebné uviesť spôsob poškodzovania lykovej vrstvy drevín, pretože pre kôrnika jedľového je špecifické, že pri vysokej hustote obsadenia dochádza k úplnému poškodeniu lykovej vrstvy bez vytvárania tvarovo charakteristických požerkov (SCHWENKE 1974). Najvyššie hodnoty priemerného stupňa napadnutia boli zaznamenané na sekciách 2B, 3, 4, 5, pričom v literatúre sa uvádza, že tento druh uprednostňuje časti kmeňa s tenkou kôrou (SCHWENKE 1974). V prípade napadnutia jedle s tenkou vrstvou kôry, obsadzuje kôrník jedľový (*Cryphalus piceae*) celý kmeň (PAVLÍK 2005). Ďalším, takmer na všetkých sekciách sa vyskytujúcim druhom bol smoliar jedľový (*Pissodes piceae*). Vysvetlením hojného výskytu tohto druhu je skutočnosť, že oblasť Volovských vrchov bola v minulosti zaradená do oblastí

s imisným zaťažením. Z ďalších druhov bol zaznamenaný výskyt fúzača kôrového (*Rhagium inquisitor*), druhov čelade fúzačovité (Cerambycidae). Výskyt predátorov a parazitoidov bol zaznamenaný na 5 sekciách.



Obr. 6 Priemerný stupeň napadnutia ležiacich lapákov v oblasti Volovských vrchov

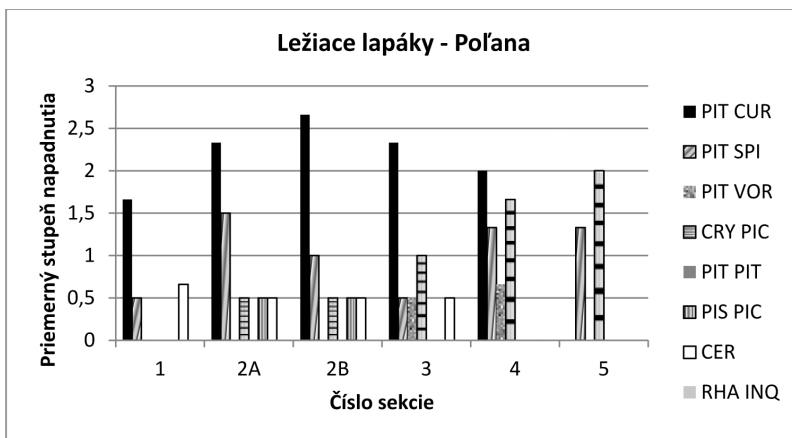
Fig. 6 Average degree assault of lying tree traps in Volovské vrchy

V oblasti Poľany bolo zaznamenané vysoké zastúpenie druhov rodu *Pityokteines*. Najviac zastúpeným druhom bol lykožrút prostredný (*Pityokteines spinidens*), ktorého výskyt bol zaznamenaný na všetkých sekciách kmeňa. Najvyššie hodnoty priemerného stupňa napadnutia boli zaznamenané pri lykožrútovi jedľovom (*Pityokteines curvidens*) a pohybovali sa v rozmedzí od 1,66 do 2,66 (obr. 7). V niektorých prípadoch bolo zaznamenané úplne poškodenie lykovej vrstvy. Zvláštnosťou bol spoločný výskyt lykožrúta prostredného (*Pityokteines spinidens*) a lykožrúta jedľového (*Pityokteines curvidens*) na kmeňových sekciách, pretože v literatúre ich spoločný výskyt na celom kmeni nie je uvádzaný (SCHWENKE 1974, PAVLÍK 2005).

Doterajšie poznatky uvádzajú, že lykožrút jedľový (*Pityokteines curvidens*) obsadzuje časti kmeňa s hrubou kôrou a lykožrút prostredný (*Pityokteines spinidens*) obsadzuje časti kmeňa s tenkou kôrou, resp. v prípade silného napadnutia môže obsadzovať aj celý kmeň, ak ten nebol obsadený inými druhmi kambiofágnych chrobákov (SCHWENKE 1974). Z ďalších druhov bol zaznamenaný výskyt lykožrúta malého (*Pityokteines vorontzovi*), kôrnika jedľového (*Cryphalus piceae*), smoliara jedľového (*Pissodes piceae*) a druhov čelade fúzačovité (Cerambycidae). Výskyt predátorov a parazitoidov bol zaznamenaný na všetkých sekciách.

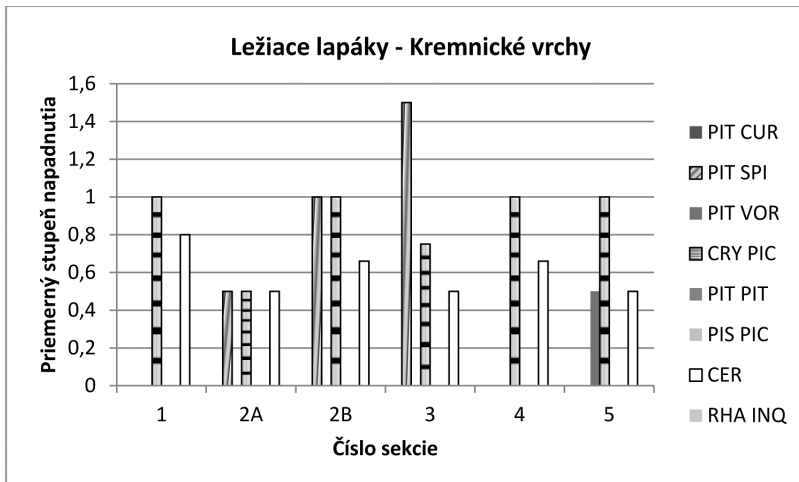
V oblasti Kremnických vrchov bol najviac zastúpeným druhom kôrník jedľový (*Cryphalus piceae*), ktorého výskyt bol zaznamenaný na všetkých sekciách kmeňa, napriek

tomu, že v literatúre sa uvádza, že tento druh uprednostňuje časti kmeňa s tenkou kôrou (SCHWENKE 1974) (obr. 8).



Obr. 7 Priemerný stupeň napadnutia ležiacich lapákov v oblasti Poľany

Fig. 7 Average degree assault of lying tree traps in Poľana



Obr. 8 Priemerný stupeň napadnutia ležiacich lapákov v oblasti Kremnických vrchov

Fig. 8 Average degree assault of lying tree traps in Kremnické vrchy

V prípade napadnutia jedle s tenkou vrstvou kôry, obsadzuje kôrnik jedľový (*Cryphalus piceae*) celý kmeň (PAVLÍK 2005). Priemerný stupeň napadnutia sa pohyboval

v rozmedzí od 0,5 do 1,5. Najvyššie hodnoty priemerného stupňa napadnutia boli zaznamenané pri lykožrútovi prostrednom (*Pityokteines spinidens*) a pohybovali sa v rozmedzí od 0,5 do 1,5. Z ďalších druhov bol zaznamenaný výskyt lykožrúta malého (*Pityokteines vorontzovi*) a druhov čelade fúzačovité (Cerambycidae). Výskyt predátorov a parazitoidov bol zaznamenaný na 4 sekciách.

3.2 Vplyv faktorov na priemerný stupeň napadnutia kambiofágnymi chrobákmi

Faktorovou analýzou boli extrahované 2 faktory, ktoré majú rozhodujúci vplyv na priemerný stupeň napadnutia vzorníkov lykožrútom jedľovým (tab. 1). Prvým faktorom je hrúbka kmeňa v mieste sekcie a hrúbka kôry, pretože medzi oboma faktormi je vzájomná korelácia. Ďalším faktorom je stav lyka. Prvý faktor sa na celkovej variabilite priemerného stupňa napadnutia podieľa 31,28 % a druhý faktor 22,58 %.

Tab. 1 Faktorové zaťaženie zaznamenávaných faktorov na priemerný stupeň napadnutia vzorníkov druhom (*Pityokteines curvidens*)

Tab. 1 Factorload of factors recorded on the average degree assault tree samplers of species (*Pityokteines curvidens*)

	Faktor – 1	Faktor – 2
Sekcia	0,447979	–0,047106
Typ vzorníka	–0,141341	–0,587439
Hrúbka kmeňa v mieste sekcie	0,910168	0,079945
Hrúbka kôry	0,875209	0,068431
Stav lyka	–0,237508	0,682039
Lykožrút jedľový	0,073584	0,729205
Výkl. roz	1,876885	1,355295
Prp. celk	0,312814	0,225883

Faktorovou analýzou boli extrahované 3 faktory, ktoré majú rozhodujúci vplyv na priemerný stupeň napadnutia vzorníkov lykožrútom prostredným (tab. 2). Prvým faktorom je hrúbka kmeňa v mieste sekcie a hrúbka kôry, pretože medzi oboma faktormi je vzájomná korelácia. Druhým faktorom je typ vzorníka a tretím faktorom je stav lyka. Prvý faktor sa na celkovej variabilite priemerného stupňa napadnutia podieľa 30, 64 % , druhý faktor 19,94 % a tretí faktor 18,47 %.

Tab. 2 Faktorové zaťaženie zaznamenávaných faktorov na priemerný stupeň napadnutia vzorníkov druhom (*Pityokteines spinidens*)

Tab. 2 Factor load of factors recorded on the average degree assault tree samplers of species (*Pityokteines spinidens*)

	Faktor – 1	Faktor – 2	Faktor – 3
Sekcia	0,482187	0,162265	0,018580
Typ vzorníka	-0,104486	0,736494	0,420828
Hrúbka kmeňa v mieste esekcie	0,898695	-0,151276	0,057990
Hrúbka kôry	0,879212	-0,087936	0,018547
Stav lyka	-0,094130	0,024325	-0,887762
Lykožrút prostredný	0,077181	0,772429	-0,373315
Výkl. roz	1,838905	1,196608	1,108635
Prp. celk	0,306484	0,199435	0,184772

Faktorovou analýzou boli extrahované 3 faktory, ktoré majú rozhodujúci vplyv na priemerný stupeň napadnutia vzorníkov lykožrútom malým (tab. 3). Prvým faktorom je hrúbka kmeňa v mieste sekcie a hrúbka kôry, pretože medzi oboma faktormi je vzájomná korelácia. Druhým faktorom je typ vzorníka a tretím faktorom je stav lyka. Prvý faktor sa na celkovej variabilite priemerného stupňa napadnutia podieľa 30,84 %, druhý faktor 18,50 % a tretí faktor 18,93 %.

Tab. 3 Faktorové zaťaženie zaznamenávaných faktorov na priemerný stupeň napadnutia vzorníkov druhom (*Pityokteines vorontzovi*)

Tab. 3 Factorload of factors recorded on the average degree assault tree samplers of species (*Pityokteines vorontzovi*)

	Faktor – 1	Faktor – 2	Faktor – 3
Sekcia	-0,442958	-0,072785	-0,113571
Typ vzorníka	0,072204	-0,875623	0,134179
Hrúbka kmeňa v mieste sekcie	-0,910723	0,094816	-0,036276
Hrúbka kôry	-0,893120	0,062056	0,033234
Stav lyka	0,144831	0,525363	0,613993
Lykožrút malý	0,036675	-0,221716	0,851872
Výkl. roz	1,850826	1,110018	1,135997
Prp. celk	0,308471	0,185003	0,189333

Faktorovou analýzou boli extrahované 3 faktory, ktoré majú rozhodujúci vplyv na priemerný stupeň napadnutia vzorníkových stromov kôrnikom jedľovým (tab. 4). Prvým

faktorom je hrúbka kmeňa v mieste sekcie a hrúbka kôry, pretože medzi oboma faktormi je vzájomná korelácia. Druhým faktorom je stav lyka a tretím faktorom je typ vzorníka. Prvý faktor sa na celkovej variabilite priemerného stupňa napadnutia podieľa 30,46 %, druhý faktor 23,59 % a tretí faktor 17,75 %.

Tab. 4 Faktorové zaťaženie zaznamenávaných faktorov na priemerný stupeň napadnutia vzorníkov druhom (*Cryphalus piceae*)

Tab. 4 Factorload of factors recorded on the average degree assault tree samplers of species (*Cryphalus piceae*)

	Faktor – 1	Faktor – 2	Faktor – 3
Sekcia	0,504578	0,024930	0,250198
Typ vzorníka	-0,051826	-0,025992	0,938020
Hrúbka kmeňa v mieste sekcie	0,886245	-0,138658	-0,178883
Hrúbka kôry	0,882577	0,000309	-0,097579
Stav lyka	-0,080445	0,823271	-0,219929
Kôrník jedľový	0,006063	0,847083	0,182061
Výkl. roz	1,828165	1,415849	1,065516
Prp. celk	0,304694	0,235975	0,177586

Faktorovou analýzou boli extrahované 2 faktory, ktoré majú rozhodujúci vplyv na priemerný stupeň napadnutia vzorníkov lykožrútom obyčajným (tab. 5). Prvým faktorom je hrúbka kmeňa v mieste sekcie a hrúbka kôry, pretože medzi oboma faktormi je vzájomná korelácia. Druhým faktorom je stav lyka. Prvý faktor sa na celkovej variabilite priemerného stupňa napadnutia podieľa 31,48 % a druhý faktor 20,33 %.

Tab. 5 Faktorové zaťaženie zaznamenávaných faktorov na priemerný stupeň napadnutia vzorníkov druhom (*Pityophthorus pityographus*)

Tab. 5 Factor load of factors recorded on the average degree assault tree samplers of species (*Pityophthorus pityographus*)

	Faktor – 1	Faktor – 2
Sekcia	-0,431323	0,026115
Typ vzorníka	0,256446	0,582860
Hrúbka kmeňa v mieste sekcie	-0,911407	0,041083
Hrúbka kôry	-0,876080	0,023694
Stav lyka	0,118131	-0,724223
Lykožrút obyčajný	0,158412	-0,594120
Výkl. roz	1,889033	1,220136
Prp. celk	0,314839	0,203356

Faktorovou analýzou boli extrahované 3 faktory, ktoré majú rozhodujúci vplyv na priemerný stupeň napadnutia vzorníkových stromov smoliarom jedľovým (tab. 6). Prvým faktorom je hrúbka kmeňa v mieste sekcie a hrúbka kôry, pretože medzi oboma faktormi je vzájomná korelácia. Druhým faktorom je stav lyka a tretím faktorom je typ vzorníka. Prvý faktor sa na celkovej variabilite priemerného stupňa napadnutia podieľa 30,96 %, druhý faktor 20,07 % a tretí faktor 18,43 %.

Tab. 6 Faktorové zaťaženie zaznamenaných faktorov na priemerný stupeň napadnutia vzorníkov druhom (*Pissode spiceae*)

Tab. 6 Factor load of factors recorded on the average degree assault tree samplers of species (*Pissodes piceae*)

	Faktor – 1	Faktor – 2	Faktor – 3
Sekcia	0,457021	–0,047155	–0,096012
Typ vzorníka	–0,068429	0,023162	–0,912271
Hrúbka kmeňa v mieste sekcie	0,908047	–0,005932	0,122247
Hrúbka kôry	0,880025	0,028438	0,090241
Stav lyka	–0,181103	0,745139	0,373236
Smoliar jedľový	0,112345	0,803624	–0,319916
Výkl. roz	1,857964	1,204648	1,106196
Prp. celk	0,309661	0,200775	0,184366

Faktorovou analýzou boli extrahované 3 faktory, ktoré majú rozhodujúci vplyv na priemerný stupeň napadnutia vzorníkov druhmi čelade (Cerambycidae) (tab. 7). Prvým faktorom je hrúbka kmeňa v mieste sekcie a hrúbka kôry, pretože medzi oboma faktormi je vzájomná korelácia. Druhým faktorom je typ vzorníka a tretím faktorom je stav lyka. Prvý faktor sa na celkovej variabilite priemerného stupňa napadnutia podieľa 30,56 %, druhý faktor 19,79 % a tretí faktor 19,41 %.

Faktorovou analýzou boli extrahované 2 faktory, ktoré majú rozhodujúci vplyv na priemerný stupeň napadnutia vzorníkov fúzačom kôrovým (*Rhagium inquisitor*) (tab. 8). Prvým faktorom je hrúbka kmeňa v mieste sekcie a hrúbka kôry, pretože medzi oboma faktormi je vzájomná korelácia. Druhým faktorom je stav lyka. Prvý faktor sa na celkovej variabilite priemerného stupňa napadnutia podieľa 31,24 % a druhý faktor 23,72 %.

Tab. 7 Faktorové zaťaženie zaznamenávaných faktorov na priemerný stupeň napadnutia vzorníkov druhmi čeľade (Cerambycidae)

Tab. 7 Factor load of factors recorded on the average degree assault tree samplers of species from family (Cerambycidae)

	Faktor – 1	Faktor – 2	Faktor – 3
Sekcia	0,493335	0,178134	–0,047081
Typ vzorníka	–0,076404	0,852799	0,175203
Hrúbka kmeňa v mieste sekcie	0,894819	–0,155075	0,094962
Hrúbka kôry	0,874088	–0,113064	0,048697
Stav lyka	–0,102225	–0,219954	–0,856916
Druhy čeľade (Cerambycidae)	0,097287	0,586304	–0,621490
Výkl. roz	1,833862	1,187963	1,164857
Prp.c elk	0,305644	0,197994	0,194143

Tab. 8 Faktorové zaťaženie zaznamenávaných faktorov na priemerný stupeň napadnutia vzorníkov druhom (*Rhagium inquisitor*)

Tab. 8 Factor load of factors recorded on the average degree assault tree samplers of species (*Rhagium inquisitor*)

	Faktor – 1	Faktor – 2
Sekcia	0,454378	–0,116540
Typ vzorníka	–0,122239	–0,618388
Hrúbka kmeňa v mieste sekcie	0,906914	0,136292
Hrúbka kôry	0,871887	0,083389
Stav lyka	–0,254060	0,646667
Fúzač kôrový	0,076719	0,763925
Výkl. roz	1,874515	1,423274
Prp. celk	0,312419	0,237212

4 SÚHRN

Analyzovaním druhového spektra bola preukázaná rôznorodosť obsadenia vzorníkov jednotlivými druhmi kambiofágnych chrobákov. Na vývratoch bol dominantným druhom kôrnik jedľový (*Cryphalus piceae*), na odumierajúcich a odumretých jedliach bol dominantným druhom lykožrút jedľový (*Pityokteines curvidens*). Na ostatných typoch vzorníkových stromov sa kambiofágne chrobáky nevyskytovali dominantne. Analyzovaním bola preukázaná aj rôznorodosť druhového spektra v jednotlivých oblastiach výskumu.

Vplyv zaznamenávaných faktorov na priemerný stupeň napadnutia bol preverovaný faktorovou analýzou. Ako najvýznamnejšie faktory vplývajúce na priemerný stupeň napadnutia vzorníkov kambiofágnymi chrobákmi boli stanovené: hrúbka kmeňa v mieste sekcie a hrúbka kôry, stav lyka a typ vzorníka. Z uvedeného vyplýva, že jedľové kambiofágne chrobáky sú sekundárnymi škodlivými činiteľmi, nakoľko ich výskyt nebol zaznamenaný na zdravých jedliach a jedliach s čerstvým lykom.

Podakovanie

Príspevok vznikol vďaka finančnej podpore vedeckého projektu VEGA MŠ SR č. 1/0484/11 s názvom „Riziko dopadu biotických a antropogénnych škodlivých činiteľov na ekologickú stabilitu lesných rezervácií v meniacich sa ekologických podmienkach“.

5 Literatúra

- ČUNDERLÍK, I., 2009: Štruktúra dreva. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 135 s. ISBN 978-80-228-2061-5.
- GOGOLA, E., 1979. *Cryphalus piceae* (Ratz.) Kôrník jedľový. Časť: Vývoj a generačné pomery: výskumná správa. Zvolen. Katedra ochrany lesa a poľovníctva Vysokiej školy lesníckej a drevárskej vo Zvolene, 1979. 66 s.
- PAGAN, J., 1997: Lesnícka dendrológia. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 31 s. ISBN 80-228-0821-0.
- PAVLÍK, Š., 2005: Lesnícka entomológia. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene. 68 s. ISBN 80-228-1257-9.
- PFEFFER, A., 1989: Kurovcoviti *Scolitidae* a jadrohloďoviti *Platypodidae*. Praha: Academia, nakladatelství Československé akademie ved. Praha, 1989. 140 s. ISBN 80-200-0089-5.
- SCHEER, L., 2010. Biometria. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2010. 334 s. ISBN 978-80-228-2103-2.
- SCHWENKE, W., 1974. Die forstschädlinge Europas. Braunschweig: Gebr. Rasch, 1974. 500 s.
- Zelená správa 2012
-

Adresa autorov:

Ing. Richard Weisz

doc. Ing. Milan Kodrík, CSc.

Ing. Štefan Pavlík, PhD.

Katedra ochrany lesa a poľovníctva

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 20

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: richard19@post.sk

spavlik@pobox.sk

kodrik@tuzvo.sk

Druhové zloženie kambiofágnych chrobákov a faktory ovplyvňujúce ich výskyt

Abstrakt

Cieľom práce je analýza druhového zloženia kambiofágnych chrobákov na jedli a faktorov ovplyvňujúcich ich výskyt. Pre účely výskumu bolo vybraných 26 porastov a analyzovaných 70 jedincov jedlí. Vybrané porasty sa nachádzali v oblasti Kremnických vrchov, Poľany a Volovských vrchov. Porasty a vzorníky boli vyberané na základe vopred stanovených kritérií. Druhovú spektrum bolo hodnotené na základe počtosti požívk jednotlivých druhov kambiofágnych chrobákov. Vplyv zaznamenávaných faktorov bol hodnotený prostredníctvom faktorovej analýzy. Získané výsledky boli vzájomne porovnávané medzi jednotlivými typmi vzorníkových stromov, sekciami a oblasťami výskumu.

Kľúčové slová: kambiofágne chrobáky (Coleoptera), jedľa (*Abies alba*), druhové zloženie, vzorník

ŠTRUKTÚRA POPULÁCIE ZAJACA POĽNÉHO (*LEPUS EUROPAEUS*): PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA Z VYBRANÝCH ÚZEMÍ NITRIANSKEHO KRAJA

Juraj M É R E S – Miroslav O S T R I H O Ň – Jaroslav S L A M E Č K A –
– Peter K A Š T I E R

Méres, J., Ostrihoň, M., Slamečka, J., Kaštier, P.: Population structure of brown hare (*Lepus europaeus*): a case study in selected areas of Nitra region. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 1, 2013, 43–58.

The aim of the study was a evaluation of population dynamics of brown hare (*Lepus europaeus*) in selected complex hunting grounds in the district of Nitra. The parameters were rated: (1) sex and age structure, (2) proportion of sex, (3) proportion of young on discard, (4) reproductive coefficient, and (5) reproductive factor. Population dynamic was monitored from November 2011 to January 2013. Interest area consisted of seven hunting districts with a total area of 7275 ha or 72, 75 square kilometers. For analyzed parameters is crucial knowledge age and sex of the individual. Determination of age in the field is done by Stroh method, which is based on the degree of ossification of the distal ulna epiphysis (palpated examination – palpation epiphyseal mamelon, it is a cartilaginous inserts, which allows growth of the long arm bone). To strict determine the age of brown hare was used the laboratory method based on weighing the dried eye lenses. From hunted hares were caught whole eyeballs that were stored in sample bottles with 4% formaldehyde solution. The eyeballs were collected in the laboratory after 14 daily fixation then were extracted lenses. These are at 100 °C were dried 24 hours to constant weight is reached. Following cooling the lens ventured on an analytical balance. Their weight and gender are reported in the table. Furthermore, we divided the sample into groups of 5 mg. Observed limit between juvenile and adult subjects was 290 mg. Age structure observed in the first and second season is unbalanced, and the prevalence of adult individuals. Sex structure of the population was balanced during both seasons. Sexual indice found as a proportion of all females from the sum of all individuals caught. The parameter value of 0.51 was in season 2011/2012 and of 0.5 in the season 2012/2013. The proportion of young on discard is determined to share this year's hare an others. In the season 2011/2012 this ratio was 0.43 and in the season 2012/2013 had a value of 0.47 (optimum> 0.50). Reproductive coefficient is the value showing the number of young hares per adult individual on discard. This parameter has the value 0.76 area examined in the season 2011/2012 season and in 2012/2013 was the parameter value of 0.92 (optimal. > 1). Reproductive factor is the number of young rabbits per adult female. In season 2011 / 2012 accounted for 1.61 per female pups in season 2012/2013 to 2.1 pups (optimal.> 2).

Key words: brown hare, population dynamics, Stroh sign, Nitra region

1. ÚVOD

Zmeny v početnosti populácií zajaca poľného na území Podunajskej nížiny nie sú ničím novým, nakoľko pravidelne klesajú od roku 1974, kedy bol zaznamenaný ich maximálny odlov vo výške 340 tis. kusov (SLAMEČKA *et. al.* 2011). Až do tohto roku bola zajačia zver pilierom nášho poľovného hospodárstva, lebo predstavovala vyše 50 % z celkového množstva diviny (HELL & SLAMEČKA 1999). Tento jav sa nevyskytol iba Slovensku ale pôsobí v celej Európe kde zhruba v 60. rokoch 20. storočia nastal pokles početnosti zajaca poľného (ESKENS *et al.* 1999, SMITH *et al.* 2005). Z uvedeného vyplýva že populácie zajaca poľného ako na Slovensku tak aj v celej Európe majú problémy a ich početnosť klesá už 60 rokov (obr. 1). Tieto zmeny v početnosti sú dané vtedajšími zmenami vo využívaní krajiny v ktorej zajac žije, konkrétne blokáciou honov do veľkých, 100 a viac hektárových blokov, čo malo na populáciu zajaca, žijúceho teritoriálne, doslova devastačný účinok. Je to hlavne spôsobené monodiétou, na ktorú táto zver trpí počas celého roka, no najmä po žatve. Táto zapríčiňuje zníženie imunity zajacov a následný úhyn na choroby s ktorými by sa v členitej agrárnej krajine bez problémov vyrovnal. Nezanedbateľnou príčinou straty ročných prírastkov sú vysokovýkonné mechanizmy ktoré sa používajú v dnešnom poľnohospodárstve.

Mnoho dnešných poľovníkov a odborníkov sa domnieva že výrazným problémom je aj líška hrdzavá avšak ako uvádza (KOUBEK & FOREJTEK 2012) podiel zajaca na potrave líšky tvorí iba 10 %. Jedinou cestou ako zachrániť zajaca s možnosťou jeho lovu je uvedomelý manažment tejto zveri ku ktorému patrí zisťovanie parametrov populačnej dynamiky. Iba týmto spôsobom môžeme zistiť v ako stave sa populácia nachádza a ako jej pomôcť prežiť. V našom príspevku sme počas dvoch sezón zisťovali parametre populačnej dynamiky na území siedmich susediacich poľovných revírov a to z dôvodu absencie takejto plošnej práce v dostupnej literatúre.

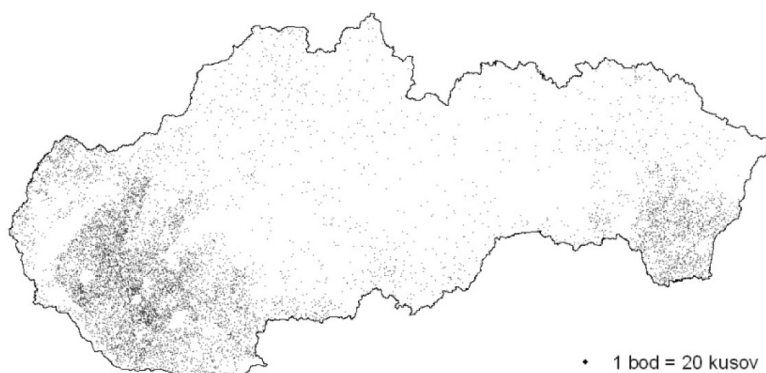


Obr. 1: Zmeny početnosti úlovku zajaca poľného na Slovensku (zdroj: NLC Zvolen)

Fig. 1: Changes of bag count of brown hare in Slovakia (data source: National forest center, Zvolen)

Rozšírenie

Zajac poľný (*Lepus europaeus*, Pallas 1778) je u nás pôvodným druhom. Lovili ho už lovci z prelomu staršej a strednej doby bronzovej (asi 3 500 rokov p. n. l.) (FINĐO & PETRÁŠ 2007). V tej dobe bol zajac rozšírený len sporadicky, nakoľko vtedajšie územie Slovenska bolo prevažne pokryté lesom a zajac, ako vieme, je lesostepný druh. O gradáciu jeho populácie sa pričínilo klčovanie lesov od 10. storočia. Zajace sú v súčasnosti rozšírené po celom území štátu (obr. 2), s optimom v Podunajskej a Východoslovenskej nížine, v nadmorských výškach od 200 do 400 m n. m. Vertikálne vystupuje až po HHL, do nadmorskej výšky 1 500 m. V letnom období sa vyskytuje aj na holiach (FINĐO & PETRÁŠ 2007). Z ďalších abiotických faktorov ovplyvňujú rozšírenie zajaca pôdna a klimatické faktory. Najviac sa mu darí na hlinitých zásaditých alebo neutrálnych pôdach, priaznivé sú aj hlinité, piesočnato-hlinité a ílovité pôdy neutrálnej alebo mierne kyslej reakcie. Z klimatických faktorov ovplyvňujú hustotu populácie najmä zrážky a teplota vzduchu, pričom najhoršie sú roky s daždivým a chladným letom, kedy sa najlepšie darí kokciám. Nepriaznivo vplývajú aj zimy s vysokou a dlhotrvajúcou snehovou pokrývkou. (SEMIZOROVÁ & ŠVARC 1987).



Obr. 2: Súčasné rozšírenia zajaca poľného na Slovensku (zdroj: NLC Zvolen)

Fig. 2: Recent distribution of brown hare in Slovakia (data source: National forest center, Zvolen)

2. ROZBOR PROBLEMATIKY

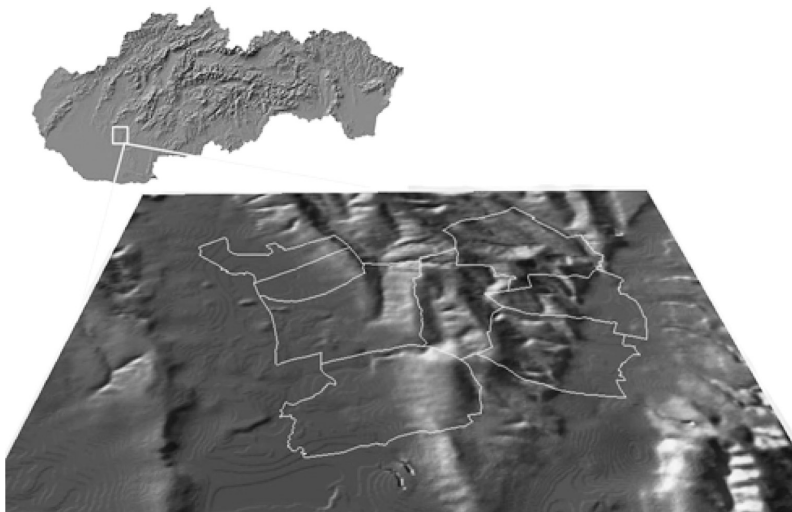
Úbytok malej zveri na Slovensku začal v druhej polovici 70. rokov. Pričom v Európe bol tento fenomén spozorovaný už o pár rokov skôr (HELL & SLAMEČKA 1999). Všetci autori zaoberajúci sa zajacom poľným resp. malou zverou konštatujú že za rapidný pokles početnosti môže z veľkej časti zmena štruktúry krajiny, zhutňujúca sa dopravná sieť a chemizácia poľnohospodárstva. Je všeobecne známe, že v súčasnosti nenachádza malá zver v intenzívne využívanej poľnohospodárskej krajine vhodné podmienky na exis-

tenciu. Jedným z hlavných vplyvov na malú zver sú plošné a druhové zmeny v agrárnych a príľahlých lesných ekosystémoch (MARADA *et al.* 2011). Závažnými zmenami v štruktúre krajiny trpí najmä zajac poľný. Populácie tohto druhu malej zveri sú veľmi úzko viazané k agrárnej krajine, ktorá prešla najmä za posledné pol storočie obrovskými kvantitatívnymi ale aj kvalitatívnymi zmenami a od ktorej stavu a kvality závisí aj jeho početnosť. Akékoľvek zmeny v zastúpení rastlinných druhov majú väčšinou negatívne dopady na živočíšne druhy a to hlavne na druhy s potravnou špecializáciou. Ak chceme poznať príčiny úbytku malej zveri je nutné zhodnotiť rastlinný kryt v dobe jej maximálneho výskytu s minimálnym. Tak zistíme, čo je možné v súčasných podmienkach a možnostiach pre zver pozitívne urobiť (LIBOSVÁR & HANZAL 2010). Malá zver trpí následkom degradácie a na mnohých miestach aj ničením svojho životného prostredia. Ďalšími znakmi tohto vývoja je odvodňovanie celých krajinných celkov (BEHNKE & CLAUSEN 2007). Súčasný poľnohospodársky systém však na populácie malej zveri vplyva negatívne a krajina je poznačená poškodzovaním tzv. prírodnej infraštruktúry (MARADA *et al.* 2011). Intenzifikácia poľnohospodárstva, jeho veľká miera automatizácie, používanie herbicídov, stále veľkoplošnejšie poľnohospodárstvo a monokultúry ako dominantný prvok agrárnej krajiny, taktiež aj chýbajúce remízky, kroviny, medze a tým nedostatok trofických a topických oblastí na hniezdenie, úkryt a prezimovanie malej zveri (BEHNKE & CLAUSEN 2007). Z daného dôvodu je nutné vykonať v krajine úpravy, ktoré by zabránili ďalšiemu úbytku, alebo ktoré by pomohli navýšiť súčasné stavy alebo by pomohli navrátiť druhy ako jarabica späť do upravených biotopov. V neposlednom rade treba spomenúť aj vplyv globálnych klimatických zmien, ktoré spôsobujú v posledných rokoch veľké výkyvy počasia spôsobujúce elimináciu potrebných atribútov na prežívanie malej zveri. Alarmujúca je taktiež aj intenzita prevádzaných poľnohospodárskych prác. V rámci hospodárenia sa využívajú vysoko plošne výkonné stroje pre úpravu požatevných zvyškov, prípravu pôdy (mulčovače) a siatia, ktoré majú široké pracovné zábery (až 8,10,12 a viac metrov). Používaním týchto strojov sa denne obrobí niekoľko sto hektárov poľnohospodárskej pôdy (MARADA *et al.* 2011).

Závažným problémom je taktiež gradujúca spotreba prípravkov na ochranu rastlín a preferovanie úzkeho profilu monokultúr. Poľnohospodári sa netaja tým, že k dobrému hospodárskemu výsledku pri použití tejto techniky musia aplikovať, napr. k pestovanej obilnine, značné množstvo agrochémie. Bežne použijú trikrát fungicídy, dvakrát insekticídy a na jeseň priebežne totálne herbicídy. Štandardné je morenie osiva a použitie syntetických hnojív. Značne negatívny vplyv na biologickú diverzitu agrárnych ekosystémov má aj postupná špecializácia poľnohospodárskych podnikov, ktorá viedla k výraznému obmedzeniu počtu druhov pestovaných plodín. Je nesporné, že by zveri a všetkým voľne žijúcim živočíchom prospel návrat čo najpestrejších druhov drevnej zelene do našich krajov a revírov. Znovu je však potrebné zdôrazniť, že sa jedná o náročnú a hlavne dlhodobú realizáciu, ktorej musí predchádzať vyriešenie právnych otázok (napr. vo vzťahu k vlastníkom pozemkov), materiálnych (napr. získavanie vhodného sadbového materiálu) a ekonomicko-realizačných (napr. kto bude tento materiál uhrádzať a kto ho vysadí a ochráni až do doby jeho zaistenia). Okrem zmien v agrárnej krajine, v spektre pestovaných plodín a intenzifikácii a mechanizácii poľnohospodárstva má na zver samozrejme vplyv aj nárast početnosti predátorov a klimatické faktory, ako uvádza na príklade zajaca.

3. MATERIÁL A METODIKA

Pred zberom dát sme sa nakontaktovali, prostredníctvom OLÚ v Nitre, na poľovných hospodárov daných poľovných revírov. Zameriavali sme sa hlavne na to, aby dané revíri boli susediace a aby sa v nich plánoval, a aj uskutočňoval lov zajaca (obr. 3).



Obr. 3: Priestorová vizualizácia hraníc vybraných poľovných revírov (Zdroj: NLC Zvolen)

Fig. 3: Borderline visualization of selected hunting ground (data source: National forest center, Zvolen)

Zber údajov

Pre najpresnejšie určenie veku ulovených zajacov, sa považuje metóda pomocou vysušených očných šošoviek (HELL, 1972, ANDERSEN & JENSEN 1972, SUCHENTRUNK *et al.* 1991). Z ulovených zajacov sme odoberali celé očné bulvy, ktoré sme skladovali vo vzorkovniciach so 4 % roztokom formaldehydu (HELL 1972). Tieto sme označili dátumom a ku každej vzorke označenej poradovým číslom, bolo zistené pohlavie, ktoré sme hneď po odbere vyznačili na vzorkovnici. Zároveň sme zisťovali vek zajacov aj Strohovou metódou, ktorá je založená na stupni skostnatenia distálnej epifýzy laktových kostí. Táto metóda využíva palpatívne vyšetrenie (nahmatanie) epifyzálneho hrbolčeka, t.j. chrupavkovitej koncovej vložky, ktorá umožňuje rast dlhej laktovej kosti. Technika zisťovania spočíva v zohnutí prednej labky do pravého uhla, približne 1–2 cm nad ohybom a v nahmataní spomínaného hrbolčeka. Tento hrbolček sa stráca medzi 8–12 mesiacom života a teda určenie prítomnosti môže byť počas zimných poľovačiek obtiažne (SLÁDEK 2006). Nakoľko jedincom zo skorých jarných vrhov už daný hrbolček zanikol a ich zaradenie do

skupiny adultných jedincov môže byť chybné. Zároveň sa pri takomto zaradení znižuje prírastok čo je spôsobené týmto chybným zaradením. Táto metóda si vyžaduje značné skúsenosti pozorovateľa, preto je v našom prípade len doplnkovou metódou.

Zajačiu zver príroda neobdarila žiadnym pohlavným dimorfizmom tj. Že voľným okom a ešte na diaľku je nemožné určiť pohlavie jedinca. K určovaniu pohlavia stačí jedna osoba no praktickejšie sa nám osvedčila spolupráca dvoch osôb. Postup je takýto: jedna osoba drží jednou rukou zajaca za zadné nohy a druhou drží uši, medzi zadné nohy sa vsunú prsty tak aby nemohlo dôjsť k zlomeniu dutých kostí zajačích nôh. Pomocník jemne potiahne za chvost a palcom a ukazovákom na bázu pohlavných orgánov (KUČERA *et al.* 2006). Následne po rozťahnutí sa ukáže pohlavný orgán nakoľko hlavne samčia časť populácie má v zime tj. v čase poľovačiek pohlavné orgány vtiahnuté dovnútra.



Obr. 4: Odoberanie vzoriek v teréne (foto: Slamečka)

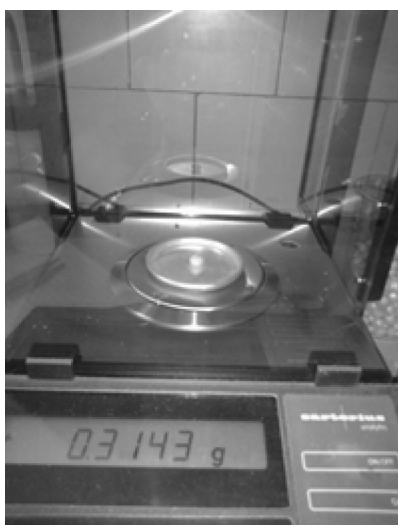
Fig. 4: Terrain sampling (photo: Slamečka)

Analýza vzoriek

Z odobratých očných buliev boli v laboratóriu po 14 dennej fixácii vo formalíne vypreparované šošovky. Tieto sa pri teplote 100 °C sušili 24 hodín pre dosiahnutie konštantnej hmotnosti. Následne po vychladnutí sme šošovky odvážili na analytických váhach s presnosťou na desatinu miligramu. Ich hmotnosť aj s pohlavím sme zaznamenali do tabuľky. Ďalej sme rozdelili vzorky do skupín po 5 mg a vyhodnotili ich pomocou stĺpcového grafu. Graf mal dva vrcholy a v skupine s najnižšou abundanciou sme vytvorili čiaru, ktorá tvorila predel medzi tohoročnými a minuloročnými jedincami (HRUŠKA *et al.* 2011).



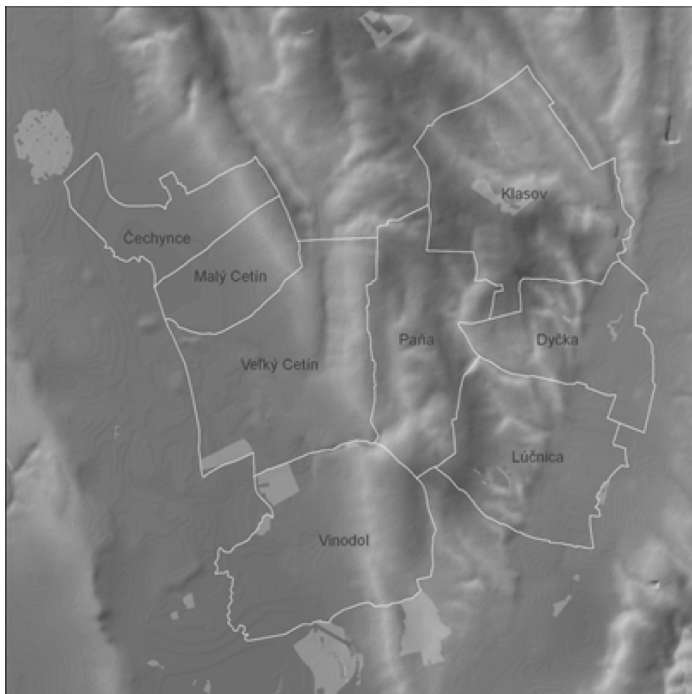
Obr. 5: Preparácia šošovky z očnej buľvy a následná príprava na sušenie (foto: Méres)
 Fig. 5: Preparation of eye lens and set-out on drying (photo: Méres)



Obr. 6: Ukážka váženia šošoviek (foto: Méres)
 Fig. 6: Weighting of eye lens (photo: Méres)

4. VÝSLEDKY

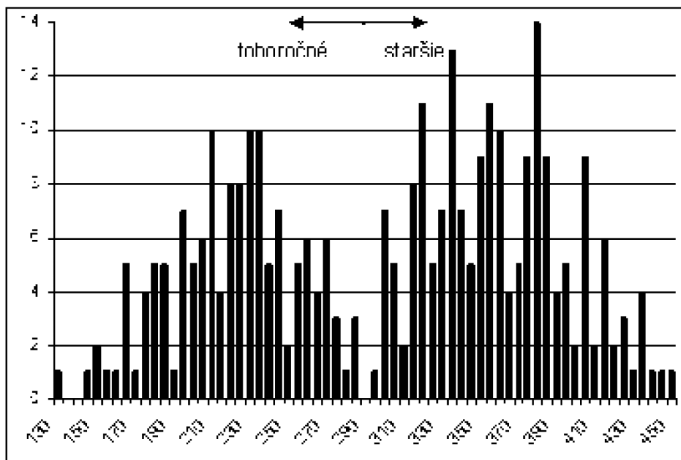
Pri sledovaní populačnej dynamiky sme hodnotili 5 parametrov: sexuálna a veková štruktúra, pomer pohlaví, sexuálny index, pomer mladých na výrade, rozmnožovací koeficient a reprodukčný činiteľ (SLAMEČKA *et. al.* 2011). Dané parametre boli analyzované zo vzoriek odobraných v revíroch: Čechynce, Malý Cetín, Veľký Cetín, Vinodol, Lúčnica, Dyčka, Klasov (obr. 4). Celková plocha revírov predstavuje 7275 ha. Treba však uviesť že z revíru Paňa ktorý je uprostred sledovaného územia sa nám nepodarilo získať vstupné údaje.



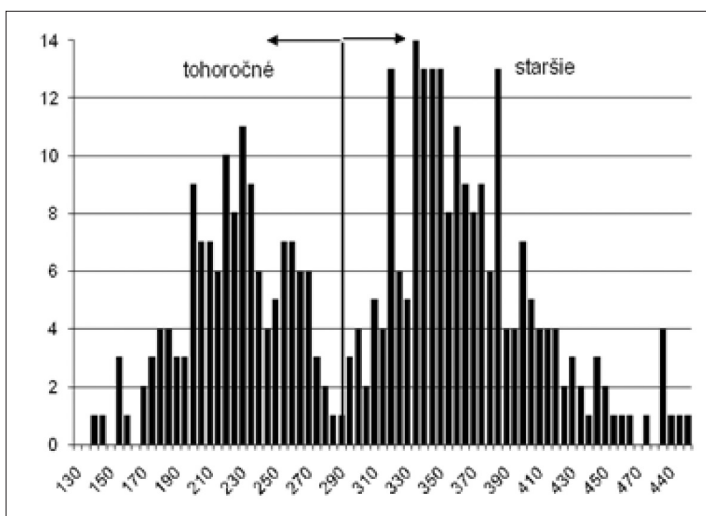
Obr. 7: Hranice poľovných revírov, z ktorých boli odobrané vzorky (Zdroj: NLC Zvolen)
 Fig. 7: The area of terrain sampling (data source: National forest center, Zvolen)

Rozdelenie početnosti zajacov podľa hmotnosti vysušených očných šošoviek

Podľa grafu sme zistili, v ktorej skupine je najnižšia početnosť medzi dvoma vrcholmi. Táto tvorí zimnú prestávku v párení a teda oddeľuje tohoročné jedince od starších. Deliaca hranica v oboch rokoch je v skupine 290 mg (obr. 5 a 6).



Obr. 8: Rozdelenie početnosti podľa hmotnosti očných šošoviek na tohoročné a staršie v roku 2011
 Fig. 8: Count allocation by weight of eye lens on this years and older individuals in year 2011



Obr. 9: Rozdelenie početnosti podľa hmotnosti očných šošoviek na tohoročné a staršie v roku 2012
 Fig. 9: Count allocation by weight of eye lens on this years and older individuals in year 2012.

Veková a sexuálna štruktúra

Veková a sexuálna štruktúra je zobrazená v tab. 1. Poukazuje na zastúpenie jedincov starších a mladších, čo je dôležité najmä pri vyhodnocovaní prírastkov v revíri a prípadnom plánovaní ďalšieho odstrelu, či odchyty zajacov. Žiaľ, dnes sa už loví tak

málo zajacov, že robiť prieskumné poľovačky, ako to bolo v minulosti, si už môže dovoliť málo ktoré poľovnícke združenie.

Tab. 1: Veková a sexuálna štruktúra zajacov podľa hmotnosti vysušených očných šošoviek v roku 2011

Tab. 1: Age and sexual structure of brown hare by weight of eye lens in year 2011

Kategória	tohoročné	dospelé	neurčité	spolu
Samice	27	31	1	59
Samce	23	35	–	58
Spolu	50	66	1	117

Tab. 2: Veková a sexuálna štruktúra zajacov podľa hmotnosti vysušených očných šošoviek v roku 2012

Tab. 2: Age and sexual structure of brown hare by weight of eye lens in year 2012

Kategória	tohoročné	dospelé	neurčité	spolu
Samice	45	37	–	82
Samce	33	48	1	82
Spolu	78	85	1	164

Podľa hmotnosti očnej šošovky nebolo možné určiť vek pri 1 zajacovi.

Pomer pohlaví

Tento parameter v nami pozorovanom území, v oboch rokoch odpovedal ideálnej hodnote a teda 1 : 1,02 v roku 2011 a 1 : 1 v roku 2012 (samce : samice), čo je veľmi dôležité, aby sa zachoval prirodzený pomer pohlaví, inak by sa populácia dostala do značných problémov. Vypočítali sme ho tak, že sme podelili samice samcami.

Sexuálny index

Tento parameter zistíme ako podiel všetkých samíc zo sumy všetkých ulovených jedincov. V našom prípade má tento parameter hodnotu 0,51 v roku 2011 a hodnotu 0,5 v roku 2012, z čoho vyplýva, že v oboch rokoch sa ulovil približne rovnaký počet jednotlivých pohlaví, čo hodnotíme ako pozitívne. Problém by mohol nastať v prípade, ak by sa ulovilo výrazne viac samíc, nakoľko tieto vrhajú mladé a v ďalšom roku by chýbali.

Pomer mladých na výrade

Tento parameter určuje podiel tohoročných zajacov na výrade. V roku 2011 mal tento ukazovateľ hodnotu 0,43, čo nám hovorí, že 42,7 % z celkového počtu zajacov na

výrade boli tohoročné zajace. V roku 2012 mal tento parameter hodnotu 0,47, čo znamená, že 48 % zajacov bolo vrhnutých v danom roku.

Pri stabilnej populácii by sa malo zisťovať min. 50 % tohoročných zajacov aby sa populácia iba obnovovala. Ak chceme aby rástla je potreba musí dosahovať vyššie hodnoty. Nami zistený údaj znamená, že v oboch rokoch bol podiel mladých na výrade nízky, no medziročne sa zvýšil o 4 %. Tento nárast je minimálny, ale hodnotíme ho ako pozitívny.

Rozmnožovací koeficient

Rozmnožovací koeficient je hodnota znázorňujúca počet mladých zajacov na jedného dospelého zajaca na výrade. Pri rozvíjajúcej sa početnosti populácie musí byť táto hodnota vyššia ako 1. Podľa našich zistení má tento parameter na nami skúmanej ploche hodnotu 0,76 v roku 2011 a v roku 2012 mal tento parameter hodnotu 0,92, čo je vzhľadom na skôr uvedené, stále nedostatočné, no v medziročnom porovnaní zlepšenie o 0,16.

Reprodukčný činiteľ

Reprodukčný činiteľ vyjadruje počet mladých zajacov na jednu dospelú samicu na výrade. Podľa našich prepočtov v roku 2011 na jednu samicu pripadalo 1,61 mláďat a v roku 2012 až 2,1 mláďat. Ak by sme počítali s tým, že v jarnom stave zajačej populácie sa nachádza 50 % samíc, potom táto hodnota by nemala klesnúť pod 2, aby nedochádzalo k poklesu stavov. Táto podmienka bola splnená len v roku 2012 a medziročný nárast činil 0,4 juvenilného jedinca na jednu dospelú samicu.

Rozdelenie početnosti zajacov podľa Strohovho znaku

Veková a sexuálna štruktúra podľa Strohovho znaku

V roku 2012 sme nezisťovali u všetkých zajacov Strohov znak tak ako tomu bolo v roku 2011 (tab. 3). Zisťovali sme ho len v 3 PR a veková a sexuálna štruktúra zistená touto metódou je uvedená v tab. 4.

Tab. 3: Veková a sexuálna štruktúra podľa Strohovho znaku v roku 2011

Tab. 3: Age and sexual structure by Stroh sign in year 2011

Kategória	tohoročné	dospelé	spolu
Samice	20	39	59
Samce	23	35	58
Spolu	43	74	117

Tab. 4: Veková a sexuálna štruktúra podľa Strohovho znaku v roku 2012

Tab. 4: Age and sexual structure by Stroh sign in year 2012

Kategória	tohoročné	dospelé	spolu
Samice	7	25	32
Samce	14	28	42
Spolu	21	53	74

Pomer pohlaví a sexuálny index

Sú rovnaké pri oboch spôsoboch zisťovania populačnej dynamiky, teda údaje uvedené vyššie platia aj pre túto metódu.

Pomer mladých na výrade

Podľa Strohovho znaku bol v roku 2011 zistený PMV 36 % a v roku 2012 28 %, čo predstavuje v oboch prípadoch nedostatočnú hodnotu, aby bola populácia stabilná. Pri údajoch zisťovaných touto metódou má medziročný pokles hodnotu 8 %. Vypočítali sme ho hore uvedeným spôsobom.

Rozmnožovací koeficient

V roku 2011, pri tomto spôsobe určovania, pripadalo na jedného dospelého zajaca 0,59 mladého zajaca a v roku 2012 to bolo len 0,4 mladého zajaca. Pokles predstavuje 0,19 ks. Pri rozvíjajúcej sa populácii, by táto hodnota nemala byť pod hodnotou 1.

Reprodukčný činiteľ

Tento parameter mal pri určovaní v roku 2011 hodnotu 1,1 a v roku 2012 hodnotu 0,84 ks. Medziročný pokles tu predstavuje 0,26 ks. Rozdiel medzi reprodukčným činiteľom vypočítaným z údajov zistených Strohovou metódou a metódou očných šošoviek je 1,26 ks (rok 2012).

Určovanie veku podľa Strohovej metódy si vyžaduje prax a často dochádza k chybnému určeniu. V našom prípade sme sa v prvom období nepomýlili vôbec v dvoch PR a naopak najväčšiu chybu pri určovaní sme urobili v revíri, kde bol aj najväčší úlovok. Tu sme sa pomýlili až o 12 zajacov. V ostatných PR sme chybné určili vek pri 1 až 6 zajacoch.

Tab. 5: Porovnanie vekovej štruktúry zisťovanej jednotlivými metódami v roku 2011

Tab. 5: Comparison of age structure determining by several methods in year 2011

Revír	Šošovky		Strohov znak	
	mladé	staršie	mladé	staršie
1 M. Chyndice	0	2	0	2
2 Ladice	3	3	2	4
3 Čechynce	3	1*	2	2
4 Vinodol	3	6	3	6
5 Dyčka	6	14	12	8
6 Lúčnica	7	11	8	10
7 Klasov	6	8	3	11
8 V. Cetín	25	19	13	31

*pri tomto kuse sa nedal určiť vek podľa váhy očnej šošovky

ZÁVER

Údaje získavané z revírov Nitrianskeho kraja sa medziročne značne líšili, čo je dané nielen priaznivejším počasím, ale aj lepšou spoluprácou výskumníkov a poľovních hospodárov. Počet poľovních revírov klesol z 8 na 7 a to práve preto, že v prvom roku sa v niektorých revíroch ulovili 2 zajace za celú sezónu, čo je štatisticky malá vzorka. V druhom roku sme v nich vzorky už neodoberali. Táto práca je však zameraná na hodnotenie populácie ako celku na danom území.

Na základe hmotnosti očných šošoviek sme v prvom roku stanovili 42,7 %-ný a v roku druhom 48 %-ný podiel mladých na výrade. Nebola dosiahnutá požadovaná hodnota 50 % a aj keď nastavený trend je pozitívny, pre jeho udržanie by sme odporúčali opatrnejšie plánovať lov. Nakoľko sa jedná o plošnú štúdiu, odporúčali by sme, aby sa aj lov plánoval plošne a to skrz spoluprácu poľovních revírov. Pozitívny je vyrovnaný pomer pohlaví a to v oboch rokoch. Za priaznivý možno považovať aj nárast reprodukčného činiteľa, t. j. kým v roku 2011 pripadalo na 1 dospelú samicu iba 1,61 mláďat, už v druhom roku mal tento parameter hodnotu 2,1 mláďat'a, čo len dokazuje ešte stále silnú reprodukčnú schopnosť tejto zveri.

Veľmi nepriaznivé výsledky sme zistili v parametri rozmnožovací koeficient a to hlavne v prvom roku, kde chýba do hranice optimálneho stavu ($1 <$) ešte 0,24 zajaca a v druhom roku chýba do tejto hranice už len 0,08. Využitie určenia veku zajacov pomocou Strohovho znaku, v poľovníckej praxi prináša čiastočné podhodnotenie prírastkov v revíri. Napriek tomu je to vhodná metóda na stanovenie orientačného prírastku, respektíve iných ukazovateľov.

Ak by sme v danom území mali navrhnúť nejaké opatrenia, boli by to tieto:

- PZ by mali zodpovedne vykonávať sčítanie JKS.
- Presvedčiť poľnohospodárov, aby po žatve vzniknuté holé plochy na zeleno hnojili horčicou, alebo inými plodinami (čo by malo samozrejme aj protipovodňový účinok).
- Legislatívnu chybou je vyžadovanie sčítania zveri v letnom období, keď sú ešte na poliach poľné plodiny, ktoré to znemožňujú; bolo by potrebné toto zo zákona odstrániť.
- Výška úlovku by mala zodpovedať prírastkom v danom roku; ak sú prírastky nízke, je potrebné lov obmedziť, alebo úplne zastaviť. Je potrebné počítat' so zimnými stratami a s vplyvom predátorov, ktoré stavy počas zimy naďalej redukovujú.
- PZ by malo hľadať možnosti získania plochy a prípadnej finančnej podpory na zakladanie ekologických plôch pre zver.
- Maximálne možné tmenie predátorov, formou okresných alebo krajských podujatí, ako napríklad „noc líšky“.

Použitá literatúra

- ANDERSEN, J., JENSEN, B. 1972: The Weight of the Eys Lens in the Europeans Hare of known Age. Acta Theriologica, XVII, 8, s. 87–92.
- BEHNKE, H., CLAUSSEN, G. 2007. Chováme bažanty a koroptve. 1. Vyd. VÍKEND, 133 s. ISBN 978-80-86891-72-9.
- ESKENS, U., KUGEL, B., BENSINGER, S. & BITRSCH, N. 1999: Untersuchung über die mögliche Einfl ußfaktoren auf die Populationsdichte des Feldhasen. Ztschr. Jagdwiss., 60–65.
- FINDO, S. – PETRÁŠ, R. 2007. Ekologické základy ochrany lesa proti poškodzovaniu zverou. 1. vyd. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 2007. 186 s. ISBN 978-80-8093-034-9.
- HELL, P. – SLAMEČKA, J. 1999. Zajačia zver: biológia, chov a lov v agrárnej krajine. 1. vyd. Bratislava: PaRPRESS. 1999. 151 s. ISBN 80-88789-47-8.
- HELL, P. 1972. Zajac a králik. Bratislava: Príroda. 1972. 323 s.
- HRUŠKA, J. – MATOUŠKOVÁ, J. – ERNST, M. – SLAMEČKA, J. 2011. Populační dynamika zajíce polního v letech 2008–2010 na základe stanovení hmotnosti očných čoček In. *Zajac polný pred štvrtstoročím a dnes*. Nitra: CVŽV Nitra. ISBN 978-80-89418-11-4.
- KUČERA, O. – KUČEROVÁ, J. – HAVRÁNEK, F. 2006. Zajíc včera, dnes a zítra: 2. vyd. Vydalo: Sylvestris. 2006. 124 s. ISBN 978-80-901775-9-8.
- KOUBEK, P. – FOREJTEK, P. 2012. Vliv negativních faktorů prostředí a lovu na populace zajíce polního In. *Zajíc a králik v současné krajině*. Brno: Pro středoevropský institut ekologie zvěře vydalo nakladatelství F.R.Z. agency. 2012. ISBN 978-80-87332-44-3.
- LIBOSVÁR, F., HANZAL, V., 2010. Rostliny vhodné pro zvěř, 1. Vyd. Kostelec nad Černými lesy, Lesnícka práce, s.t.o., 110 s. ISBN 978-87154-47-2.
- MARADA, P., 2011. Zvyšování přírodní hodnoty polních honiteb, 1. Vyd. Praha, Grada Publishing, a.s., 160 s. ISBN 978-80-247-3885-7.
- SEMIZOROVÁ, I. – ŠVARC, J. 1987. Zajíc. 1. vyd. Praha: SZN, 1987. 168 s.
- SLÁDEK, J. 2006. Lesnícka zoológia. 7. vyd. Zvolen: TU vo Zvolene. 2006. 158 s. ISBN 80-228-1679-5.
- SLAMEČKA, J. 2011. Populačná dynamika a manažment zajaca poľného na juhozápadnom Slovensku. In. *Zajac poľný pred štvrtstoročím a dnes*. Nitra: CVŽV Nitra. ISBN 978-80-89418-11-4.
- SMITH R.K., JENNINGS N.V. & HARTUS S., 2005: A quantitative analysis of the abundance and demography of European hares *Lepus europaeus* in relation to habitat type, intensity of agriculture and climate. MAMMAL REV., 1–24.
- SUCHENTRUNK, F. WILLIG, R. HARTL, G.B. 1991. On eye lens weight and other age criteria of the Brown Hare (*Lepus europaeus*, Pallas, 1778). Z. SAUGETIERK. 56. 365–374.

Adresa autorov:

Bc. Juraj Méres

Ing. Miroslav Ostrihoň, PhD.

Katedra ochrany lesa a poľovníctva

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: juro.meres89@atlas.sk,

miroslav.ostrihon@tuzvo.sk

Doc. Ing. Jaroslav Slamečka, CSc.

Centrum výskumu živočíšnej výroby Nitra

Hlohovecká 2

951 41 Lužianky

Slovenská republika

e-mail: slamecka@cvzv.sk

Ing. Peter Kaštier, PhD.

Národné lesnícke Centrum Zvolen

T. G. Masaryka 22

960 92 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: peter.kastier@nlcsk.org

Štruktúra populácie zajaca poľného (*Lepus europaeus*): prípadová štúdia z vybraných území Nitrianskeho kraja

Abstrakt

Cieľom práce bolo komplexné zhodnotenie parametrov populačnej dynamiky zajaca poľného (*Lepus europaeus*) vo vybranom komplexe poľných revírov v okrese Nitra. Medzi hodnotené parametre patrili (1) sexuálna a veková štruktúra, (2) sexuálny index, (3) pomer mladých na výrade, (4) rozmnožovací koeficient, a (5) reprodukčný činiteľ. Populačná dynamika bola sledovaná od novembra 2011 do januára 2013. Záujmové územie sa skladalo zo siedmich poľných revírov o celkovej výmere 7 275 ha. Pre analyzované parametre je rozhodujúce poznanie veku a pohlavia jedinca. Určovanie veku v teréne sa robilo pomocou Strohovej metódy, ktorá je založená na stupni skostnatenia distálnej epifýzy lakťových kostí. Pre presnejšie určenie veku sa v laboratórnych podmienkach sa využila metóda váženia vysušených očných šošoviek. Z ulovených zajacov sa odoberali celé očné bulvy, ktoré sa skladovali vo vzorkovniciach so 4 % roztokom formaldehydu. Z odobratých očných buliev boli v laboratóriu po 14 dennej fixácii vypreparované šošovky. Tieto sa pri teplote 100 °C sušili 24 hodín pre dosiahnutie konštantnej hmotnosti. Následne po vychladnutí sa šošovky odvážili na analytických váhach. Ich hmotnosť aj s pohlavím sme zaznamenali do tabuľky. Ďalej sme rozdelili vzorky do skupín po 5 mg. Zistená hraničná hodnota medzi juvenilnými a adultnými jedincami

bola 290 mg. Veková štruktúra zistená v prvej aj druhej sezóne je nevyrovnaná, pričom je prevaha adultných jedincov. Sexuálna štruktúra populácie zisťovaná metódou vysušených očných šošoviek, bola počas oboch sezónach vyrovnaná. Sexuálny index sa zistil ako podiel všetkých samíc zo sumy všetkých ulovených jedincov. Daný parameter mal hodnotu 0,51 v sezóne 2011/2012 a hodnotu 0,5 v sezóne 2012/2013. Pomer mladých na výrade určuje podiel tohoročných zajacov na výrade. V sezóne 2011/2012 mal tento ukazovateľ hodnotu 0,43 a v sezóne 2012/2013 mal hodnotu 0,47 (optimum $> 0,50$). Rozmnožovací koeficient je hodnota znázorňujúca počet mladých zajacov na jedného dospelého zajaca na výrade. Tento parameter mal na skúmanej ploche hodnotu 0,76 v sezóne 2011/2012 a v sezóne 2012/2013 mal tento parameter hodnotu 0,92 (optimal. > 1). Reprodukčný činiteľ vyjadruje počet mladých zajacov na jednu dospelú samicu na výrade. V sezóne 2011/2012 na jednu samicu pripadalo 1,61 mláďat a v sezóne 2012/2013 až 2,1 mláďat (optimal. > 2).

Kľúčové slová: zajac poľný, populačná dynamika, Strohov znak, nitriansky kraj

ZVETRÁVANIE SKELETU AKO PROCES OVPLYVNÚJÚCI LÁTKOVO-ENERGETICKÉ TOKY A STAV PÔDY

Emília JURÁŠOVÁ

Jurášová, J.: Weathering of the skeleton as a process affecting material and energy flows and the soil properties. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 1, 2013, 59–77.

This topic presents current knowledge about the role of soil skeleton in the context of intra-soil weathering. It is assumed that smaller fractions of the soil skeleton play an active role in plant nutrition.

The selected physical (especially bulk density, specific density and porosity) and chemical (pH and cation exchange capacity) properties of the soil skeleton were analyzed in the thesis. Measured data was compared with data measured in fine-earth fractions.

We focused on the analysis of changes in physical and chemical properties of mineral fractions depending on preferential flow of water in the soil profile and as well as size of fine-earth and skeleton fractions. Particle size distribution analysis confirmed statistically significant effects of the preferential flow on the soil texture.

The results of the pH mineral fractions measuring documented a correlation between these values and granulometry of size fractions, whereupon the pH can be regarded as an indicator of the degree of their alteration.

The results of the cation exchange capacity (CEC) measurements of the skeleton pointed out that the values had moved in the analogous intervals as exist in fine earth. The analysis of cation exchange capacity (CEC) by particular grain-size fractions of mineral constituents of soil showed the important role of soil skeleton regarding the overall CEC value of soil.

Through analysis of soil thin section and X-ray analysis of fine earth as well as soil skeleton, we gained important information material on the mineralogical composition of soils, pedogenetical specific processes taking place in the soils and connections between this geochemical data and the soil sorption complex.

The geochemical study of both the fine-earth and the soil skeleton by XRF revealed the mobilization and translocation of aluminium, iron and silicon to be evident as within the fine-earth as well as the soil skeleton fractions. On this account we predict the soil mineral constituents in total (regardless of its grain-size classes) to be active during pedogenetic processes.

Key words: intra soil weathoring, soil skeleton, cationi, exchange capacity, preferred flow, soil cut

1 ÚVOD A CIEĽ

V súčasnosti s nárastom počtu obyvateľstva a poklesom využiteľnej plochy narastá záujem o pôdy s vyšším obsahom skeletu.

ŠÁLY (1986) upozornil na potrebu venovať skeletu v pôde väčšiu pozornosť, pretože pôdny skelet predstavuje inertnú zložku pôdy rovnako významnú ako jemnozeme, ktorá okrem toho, že poskytuje genetické informácie o pôde, významnou mierou môže ovplyvňovať aj jej fyzikálne pomery.

Podľa POESENÁ & LAVEA (1994) pôdy s významným obsahom skeletu reprezentujú viac ako 30 % z celkovej rozlohy pôd v západnej Európe. V Slovenskej republike sa táto skutočnosť osobitne dotýka lesných pôd, v ktorých zhruba v 80 % rozlohy prevládajú pôdy s vysokým zastúpením štrku, kameňov až balvanov, s výraznou fluktuáciou zastúpenia pôdneho skeletu s hĺbkou (ŠÁLY, 1986). Podľa údajov priebežnej správy Čiastkového monitorovacieho systému (ČMS) – Pôda, v najrozšírenejšom pôdnom type lesných pôd v SR (v kambizemiach), obsah skeletu v súbore trvalých monitorovacích plôch (TMP) kolíše od 0 % (kambizem z eolických pieskov Borskej nížiny) až po 75 % (kambizem zo zvetralín ruly) (KOBZA *et al.*, 2002).

Zvýšený záujem o pôdy s vysokým zastúpením pôdneho skeletu v súčasnosti súvisí predovšetkým s nasledovnými dôvodmi:

- takéto pôdy sú značne rozšírené a predstavujú významnú zložku tých zdrojov krajiny, ktoré sa intenzívne využívajú pri produkcii potravy a technických plodín,
- je potrebné získať informácie o vlastnostiach takýchto pôd z hľadiska potenciálu ich optimálneho spôsobu využitia v krajine,
- zvyšuje sa dopyt po kvantitatívnych informáciách o vplyve skeletu v pôde na rôzne hydrologické a pôdne degradačné procesy v krajine, v súvislosti s optimalizáciou modelov zameraných na predpoveď odozvy takýchto pôd na zmeny klímy, resp. spôsob obhospodarovania krajiny.

Analýzy fyzikálno-chemických vlastností pôdneho skeletu a ich dopady na produkčné vlastnosti pôd predstavujú fundament, na ktorom možno stavať ďalší vedecký výskum v širokom spektre oblastí. Predložená práca sa zaoberá problematikou vnútropôdneho zvetrávania pôdneho skeletu vo vzťahu k pohybu vody v pôde, k procesom mobilizácie prvkov z tohto minerálneho podielu pôd a k tvorbe sorpčného komplexu pôd.

Cieľom predloženej dizertačnej práce bolo, v súlade s jej zadáním, rozšíriť poznatky o procesoch odohrávajúcich sa v pôdnom skelete pri procesoch jeho zvetrávania, na rozhraní pôdny skelet – jemnozeme – pôdna voda, ktoré podmieňujú mobilizáciu a pohyb prvkov v pôde.

Z tohto hľadiska sme formulovali nasledovné čiastkové ciele:

- analýza základných fyzikálno-chemických vlastností pôdneho skeletu podľa intenzity ich alterácie vo vzťahu k transportným cestám pohybu vody v pôdnom profile,
- analýza bázičných kationov v sorpčnom komplexe skeletovej frakcie minerálneho podielu pôd podľa zrnitostných tried a jej komparácia s identickými analýzami z frakcie jemnozeme, vo vzťahu k pohybu vody v pôdnom profile,

- identifikácia geochemických zmien v príslušných zrnitostných frakciách pôdneho skeletu vzhľadom k transportným cestám vody v pôdnom profile.

V súlade s vyššie uvedeným táto práca hľadala odpoveď na nasledovné otázky:

- akým spôsobom preferované prúdenie vody v pôde ovplyvňuje tvorbu a následný pohyb prvkov v sorpčnom komplexe pôd jemnozeme a v jednotlivých zrnitostných frakciách pôdneho skeletu na úrovni jednotlivých pôdných horizontov pôdneho profilu,
- aký je súvis medzi vyššie uvedenými procesmi a geochemickými zmenami v pôdnom skelete, a teda, či koncentrácia bázičných katiónov v sorpčnom komplexe pôd korešponduje s geochemickými zmenami a obsahmi týchto prvkov v jednotlivých frakciách pôdneho skeletu v pôdnom profile.

Pri stanovovaní cieľov práce sme sa opierali o nasledovné pracovné hypotézy:

- pohyb vody v pôde je kľúčovým faktorom determinujúcim všetky základné fyzikálno-chemické vlastnosti pôd,
- vyššie uvedený postulát platí tak pre prúdenie vody v pôde nasýtenej vodou, ako aj v pôde vodou nenasýtenou,
- najdynamickejšie zmeny v sorpčnom komplexe pôd, ako aj na úrovni pôdneho skeletu možno očakávať v zónach preferovaného prúdenia vody v pôdach nenasýtených vodou s tým, že existencia preferovaných transportných ciest vody v pôde je podľa HAGEDORNA & BUNDTA (2002) dostatočne dlhodobým procesom (rádovo 100-ky rokov) postačujúcim na vyvolanie pozorovateľných zmien v sorpčnom komplexe pôd, ako aj v pôdnom skelete,
- pohyb vody v pôde ovplyvňuje pohyb, uvoľňovanie a distribúciu prvkov v rámci celého minerálneho podielu pôd, a teda nielen v rámci frakcie jemnozeme, ale aj na úrovni frakcií pôdneho skeletu s najmenšími zrnitosťami módmí.

2 MATERIÁL A METODIKA

2.1 Charakteristika záujmovej oblasti

Výskumné práce boli vykonané na lesnej ploche Šachtičky na území horského celku Panský diel lokalizovaného severne od Banskej Bystrice. Tento je súčasťou orografického celku Starohorské vrchy lokalizovaného v rámci Fatransko-tatranskej oblasti, subprovincie Vnútrotných Západných Karpát (MAZÚR & LUKNIŠ, 1980).

Z hľadiska tektonického začlenenia dotknuté územie spadá do starohorskej skupiny krížňanského príkrovu (VOZÁROVÁ & VOZÁR, 1988), ktoré je v mieste výskumnej plochy budované španodolinským súvrstvom permského veku (POLÁK *et al.*, 2003). Z hľadiska horninového zloženia ide o litologicky pestré komplexy sedimentov zložených z kryštalických bridlíc (ortorúl), z kyslých granitoidov, arkóz, zelenkastých a červenkastých sľudnatých bridlíc až kremencov (ANDRUSOV *et al.*, 1985) tvoriacich pôdotvorný substrát lesných pôd vyvinutých v záujmovej oblasti.

Podľa HRAŠKA *et al.* (1993) časti svahov Panského dielu sú tvorené predovšetkým rendzinami až pararendzinami, podzolmi a kambizemami s pestrou škálou subtypov a variet v zmysle ŠÁLYHO *et al.* (2000).

Samotná výskumná plocha je lokalizovaná na dielci 4645 lesného hospodárskeho celku Slovenská Ľupča na JV svahu so sklonom 30 % v nadmorskej výške približne 910 m n. m.

V rámci kategórie patrí k lesom hospodárskym (H) s prevládajúcou funkciou produkcie dreva (S) s druhým stupňom ochrany prírody. Základné porastové charakteristiky v tomto dielci podľa údajov Národného lesníckeho centra (NLC) vo Zvolene sú nasledovné:

Porast: bukovo-jedľové smrečiny (1. etáž) a jedľové smrečiny (2. a 3. etáž),
Vek porastu: 90 rokov (1. etáž), 50 rokov (2. etáž) a 15 rokov (3. etáž),
Zakmenenie: 0,60 (1. etáž), 0,1 (2. etáž), 0,30 (3. etáž),
Celková výmera porastu: 11,20 ha,
Celkové zakmenenie: 0,90,
ZHSLT (základná hospodárska skupina lesných typov): 53,
PHSLT (prevládajúca hospodárska skupina lesných typov): 505 – kyslé jedľové bučiny
Funkčný typ: BA – protierózne produkčný,
Ochranné pásmo vodárenských zdrojov: b vodárenského zdroja II. stupňa,
Stupeň ohrozenia: 2 – stredne ohrozené porasty (1. etáž), 1 – mierne ohrozené porasty (2. a 3. etáž),
Zastúpenie drevín v 1. etáži: smrek obyčajný (*Picea abies*) (72 %), jedľa biela (*Abies alba*) (15 %), buk lesný (*Fagus sylvatica*) (10 %), borovica hladká (Vejmutovka) (*Pinus strobus*) (2 %), smrekovec opadavý (*Larix decidua*) (1 %).

2.2 Terénne práce

Z praktického hľadiska sa terénne práce opierali o metodologické postupy závlahových testov s použitím indikátorového aplikátora uvedené v dielach FLURY & FLÜHLER (1994), FLURY *et al.* (1994), FLURY & FLÜHLER (1995), FORRER (1997), HOMOLÁK (2008) a HOMOLÁK *et al.* (2010), pomocou ktorých je možné sledovať a kvantifikovať vplyvy preferovaného prúdenia vody v pôdnom profile, s možným dopadom na pohyb nutričov v pôdnej matrici (SHANG *et al.*, 2008) a na proces zvetrávania skeletovej frakcie pôd.

Na vizualizáciu transportných ciest vody v pôde pre účely štúdia redistribúcie živín v sorpčnom komplexe pôd, zvetrávacích pomerov a potenciálnych zmien vybraných chemických a fyzikálnych vlastností pôd v pôdnom profile bol navrhnutý a zrealizovaný terénny indikátorový experiment v zmysle metodiky aplikovanej v práci HOMOLÁKA (2008).

Zavlažovací experiment sa realizoval na ploche s rozmermi 1 × 1 m, na ktorej sa po vyčistení povrchu pôdy pomocou indikátorového aplikátora realizoval zavlažovací experiment s roztokom indikátorového farbiva Brilliant Blue FCF s intenzitou závlahy 100 mm.h⁻¹ a s koncentráciou farbiva 10 g.l⁻¹. Vlastnosti indikátorového farbiva z pohľa-

du jeho viditeľnosti, pohyblivosti v pôdnom médiu a vybraných chemických vlastností zhrnul vo svojej práci HOMOLÁK (2008).

Po ukončení povrchovej aplikácie roztoku indikátora (t. j. po aplikovaní 100 l roztoku indikátora, počas doby cca 1 hodiny) bol odkrytý pôdny profil s vizualizovanými transportnými cestami vody v pôdnom profile pomocou viacerých rezov.

Každý rez (I.–IV.) analyzovaného pôdneho profilu bol vyčistený od koreňov pomocou nožníc. Pre účely sledovania koncentrácie infiltrovaného indikátorového farbiva v pôdnom profile bol do každého odkrytého rezu pôdneho profilu vložený sivý rám s rozmermi 1×1 m. Vo vnútri odkrytých rezov, v ploche vymedzenej rámom, boli vyznačené odberové miesta vzoriek, rozmiestnené a osobitne označené v závislosti od intenzity sfarbenia pôdy modrým farbivom, s intervalmi odberu 3 – 4 vzoriek každých 10 cm hĺbky. Každému odberovému miestu boli priradené súradnice v karteziánskej sústave (zvolil sa bod približne v strede Kopeckého valčeka). Finálnym krokom dokumentácie odkrytých rezov pôdneho profilu bolo ich ofotografovanie vo formáte RAW.

Vzorky zeminy boli odoberané z vyznačených odberových miest Kopeckého fyzikálnymi valčekmi s objemom 100 cm^3 , čo umožňuje v budúcnosti kvantifikovať získané chemické vlastnosti pôd aj na báze objemového zastúpenia jednotlivých zložiek minerálneho podielu pôd. Pri uvedenom odbere vzoriek boli z jednotlivých rezov pôdneho profilu každých 10 cm hĺbky odobraté nasledovné objemy vzoriek s nižšie uvedenými označeniami:

- 200 cm^3 vzorky zeminy bez modrého sfarbenia (s označením NF), z odberových miest v zónach nezasiahnutých indikátorovým farbivom (mimo preferovaného prúdenia vody v pôde),
- 200 cm^3 vzorky zeminy z odberových miest v zóne slabo zasiahnutých pohybom frontu indikátorového farbiva (s označením SF),
- 200 cm^3 vzorky zeminy z odberových miest v zónach preferovaného prúdenia indikátorového roztoku, a teda aj pôdnej vody vo všeobecnosti (s označením IF).

2.3 Laboratórne práce

Cieľom laboratórnych prác bolo spracovať vzorky pôd z terénnych odberov na špeciálne fyzikálno-chemické analýzy a geochemické rozbor.

Stanovenie fyzikálnych vlastností pôdy a množstva vody v pôde

Množstvo vody v pôde sme stanovili metódou TDR bezprostredne po odkrytí jednotlivých rezov pôdneho profilu (I. – IV. rez). Jednotlivé body merania boli lokalizované v závislosti od opticky zdokumentovanej distribúcie transportných ciest vody v pôde, ktoré boli determinované závlahovým testom s použitím indikátorového farbiva. Merania obsahu vody v pôde boli takýmto spôsobom uskutočnené každých 10 cm až do hĺbky 1 m (v každom intervale min. tri merania), podľa troch kategórií nasýtenia pôdy farbivom Brilliant Blue: IF – meranie v miestach s najintenzívnejšími prejavmi nasýtenia pôdy modrým indikátorovým farbivom, SF – meranie v slabšie sfarbených miestach na okraji vlhkostného frontu a NF – meranie v miestach bez zásahu indikátorového farbiva.

Zrnitostné rozbory

Zrnitostné zloženie jemnozeme sme stanovili na súbore 120 vzoriek odobratých zo všetkých štyroch rezov pôdneho profilu. Vzorky odoberali každých 10 cm hĺbky v závislosti od transportných ciest vody v pôde identifikovaných farbivom Brilliant Blue tak, aby sa získali reprezentatívne údaje o zrnitostnom zložení jemnozeme:

- v zóne s najintenzívnejšími prejavmi preferovaného prúdenia, t.j., vzorkách pôdy s najintenzívnejším sfarbením (IF),
- v zóne mimo preferovaných ciest prúdenia vody, t.j., vo vzorkách bez vizuálnych prejavov infiltrácie modrým farbivom (NF),
- a v zóne na okraji preferovaného prúdenia, t.j., vo vzorkách so slabou infiltráciou modrého farbiva (SF).

Prvým krokom zrnitostných analýz bolo oddelenie frakcie jemnozeme ($< 2,00$ mm) od skeletovej frakcie ($> 2,00$ mm) preosievaním pôdnych vzoriek suchou cestou na site s veľkosťou oka $2,00$ mm.

V ďalšom kroku sa pristúpilo k stanoveniu zrnitostného zloženia skeletovej frakcie preosievaním suchou cestou do nasledovných 5-tich zrnitostných tried:

- frakciu skeletu od $2,0$ mm – $2,5$ mm (s označením A),
- frakciu skeletu od $2,5$ mm – $2,8$ mm (B),
- frakciu skeletu od $2,8$ mm – $5,0$ mm (C),
- frakciu skeletu od $5,0$ mm – $7,0$ mm (D),
- frakciu skeletu $> 7,0$ mm (E).

Takýmto spôsobom sa z každej odobratej vzorky pôdy získala jedna frakcia jemnozeme a päť zrnitostných frakcií skeletu.

Zrnitostné zloženie jemnozeme sme stanovili pipetovacou metódou sedimentácie v stojacej vode v zmysle záväzných metód rozborov pôd uvedených v práci FIALU *et al.* (1999).

Stanovenie objemovej a mernej hmotnosti pôdneho skeletu

Merania mernej a objemovej hmotnosti pôdneho skeletu hydrostatickou metódou a následný výpočet pórovitosti pre príslušné zrnitostné frakcie sme vykonali na dvoch sériách vzoriek z hĺbok 15 cm a 35 cm. Z dôvodu otestovania vplyvu tzv. skeletovej jemnozeme na hodnoty mernej a objemovej hmotnosti, bola polovica vzoriek z každej hĺbky očistená v ultrazvukovej vani. Proces čistenia skeletu od lemu obalovej jemnozeme na jeho povrchu je zahraničnej literatúre označovaný aj ako tzv. „skeleton washing“ (skratka SW) (CORTI *et al.*, 1998). Následne bola vypočítaná pórovitosť pôdneho skeletu.

Stanovenia pôdnej reakcie

Merania či už aktívnej ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) a výmennej (pH_{KCl}) pôdnej reakcie boli realizované na vzorkách jemnozeme, ako aj pôdneho skeletu podľa príslušných zrnitostných

tried za účelom otestovania súvisu medzi týmito hodnotami a intenzitou alterácie pôdneho skeletu (CORTI *et al.*, 1998). Pri stanovovaní pôdnej reakcie sa postupovalo v zmysle závažných metód rozborov pôd (FIALA *et al.*, 1999).

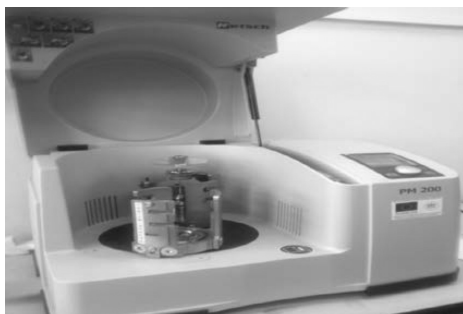
Stanovenia koncentrácií bázičných kationov v sorpčnom komplexe pôd

Pri stanovovaní koncentrácie bázičných kationov Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} vo výmenných pozíciách sorpčného komplexu jemnozeme a jednotlivých zrnitostných frakciách pôdneho skeletu, sme používali metodiku Katedry prírodného prostredia LF TU vo Zvolene, pri ktorej sú kationy vo výmenných pozíciách sorpčného komplexu vytesnené amónnymi iónmi chloridu amónneho. Koncentrácia bázičných kationov sa následne stanovila pomocou atómového absorpčného spektrometra Avanta nitro-acetylénovým horákom s automatickou rotáciou. Analýzy boli vykonané na 120 vzorkách jemnozeme a 300 vzorkách jednotlivých frakcií pôdneho skeletu.

Röntgenová fluorescenčná (XRF) analýza minerálneho podielu pôd

Metódou XRF sme analyzovali chemické zloženie achátovaných vzoriek z jednotlivých zrnitostných frakcií minerálneho podielu pôd (obr. 1).

Analytické stanovenie prvkov sme vykonali pomocou röntgenového analyzátora NITON XL3t GOLD spoločnosti Thermo Fischer Scientific (USA) vybaveného héliovým preplachom. Prednosťou tohto prístroja je, že umožňuje štandardne merať a kvantitatívne stanovovať aj koncentrácie „ľahkých“ prvkov, akými sú napr. Mg, Al, Si, P a S.



Obr. 1 – Achátovanie vzoriek a röntgenové analýzy vzoriek jemnozeme a skeletu (Zdroj: JURÁŠOVÁ, 2012)

Fig. 1 – Agating of samples and X-ray analysis of samples of fine earth and skeleton (Source: JURÁŠOVÁ, 2012)

Optická mikroskopia a mikromorfologická analýza pôdných výbrusov

Na verifikáciu údajov o pórovitosti pôdneho skeletu získaných metódou hydrostatickej analýzy mernej a objemovej hmotnosti pôdneho skeletu bola aplikovaná optická mikroskopia uskutočnená pomocou petrografického mikroskopu Amplital Carl Zeiss Jena (DDR).

Mikroskopické analýzy sa uskutočňovali na pôdných výbrusoch zhotovených z pôdných vzoriek odobratých v neporušenom stave z pôdneho profilu pomocou Kopeckého fyzikálnych valčekov. Príprava pôdných výbrusov bola detailne opísaná v práci BEBEJA (2009) a pozostávala z dekompresno-tlakovej impregnácie pôdných vzoriek nízkoviskóznymi modrosfarbenými organickými živcami Araldit (výrobca CIBA-GEIGY).

Po polymerizácii živíc boli z naimpregnovaných pôdných vzoriek vyhotovené obojstranne leštené pôdne výbrusy, na ktorých sa uskutočnil mikroskopický výskum, ako aj špeciálne analytické práce vykonávané v Laboratóriách elektrón-optických metód ŠGÚDŠ Bratislava, kde pomocou elektrónového mikroanalýzátora CAMECA SX100 a energo-disperzného detektora (EDS) EUMEX bolo overované chemické zloženie sekundárnych minerálnych fáz pôdneho skeletu. Okrem toho boli na vzorkách pôdných výbrusov vykonané aj štandardné merania tzv. optickej pórovitosti pomocou nástrojov digitálnej analýzy obrazu a softvérového balíka GeoAnal (detailne sú postupy uvedené napr. v práci BEBEJA *et al.*, 2011).

2.4 Štatistické spracovanie a interpretácia výsledkov

Údaje z terénnych a laboratórnych analýz boli vkladané do parciálnych databáz programu Microsoft Excel. Tam, kde to bolo relevantné, boli výsledky štatisticky vyhodnotené metódou jedno a viacfaktorovej analýzy rozptylu ANOVA (z angl. Analysis of Variance). V prípade štatistickej významnosti vplyvu faktora (napr. hĺbky alebo intenzity sfarbenia) signifikantnosť rozdielu medzi jednotlivými úrovňami bola testovaná Duncanovým testom v programe STATISTICA.

Analyticky stanovené koncentrácie bázičných kationov sorpčného komplexu pôd počas vyhodnocovania údajov sme spracovali programom Surfer, pomocou ktorého boli vyhotovené izolínie koncentrácií bázičných kationov sorpčného komplexu v konkrétnych rezoch pôdneho profilu. Takto zhotovená vrstva izolínií bola v následnom kroku „naložená“ na fotografiu príslušného rezu pôdneho profilu so zdokumentovanými cestami preferovaného prúdenia vody v pôde, na základe čoho bolo možné v následných krokoch otestovať súlad medzi výsledkami štatistických analýz a testov na strane jednej a analyticky stanovenými a priestorovo lokalizovanými údajmi o koncentráciách bázičných kationov v sorpčnom komplexe pôd na strane druhej.

3 ROZBOR PROBLEMATIKY

3.1 Fyzikálne vlastnosti skeletu a ich vplyv na stav pôdy

V Morfogenetickom klasifikačnom systéme pôd Slovenska, Bazálna referenčná taxonómia (ŠÁLY *et al.*, 2000) je problematika pôdneho skeletu podrobnejšie diskutovaná v kapitole 3. Pôdne druhy a zrnitosť s tým, že pôdne druhy sa určujú podľa pôdnej zrnitosti, pričom sa berie do úvahy v pôdnej hmote sa vyskytujúci podiel *jemnozeme* (piesku: frakcia 0,05 – 2 mm, prachu: frakcia 0,002 – 0,05 mm a ílu: frakcia < 0,002 mm); *skeletu* (štrku: frakcia 2 – 50 mm, kameňov: frakcia 50 – 250 mm a balvanov: frakcia > 250 mm) a *organických látok* (hrubšie, jemnejšie). Následné konštatovanie, že „pôdy sa podrobnejšie zatriedňujú podľa charakteru a veľkosti zrnitostných častíc, zastúpenia jednotlivých frakcií jemnozeme a na základe obsahu organických a minerálnych látok“ dokumentuje skutočnosť, že pri klasifikácii pôd sa z hľadiska chemických a fyzikálnych vlastností minerálneho podielu pôd sa zatiaľ pripisuje význam len frakcii jemnozeme.

V odbornej literatúre najväčšia pozornosť výskumníkov sa upriamila na štúdium efektov pôdneho skeletu na fyzikálne vlastnosti pôd, akými sú napr. vplyv na pôdnu štruktúru, pôdnu eróziu a teplotné charakteristiky pôd (napr. HANSON & BLEVINS, 1979; POESEN & LAVEE, 1994).

Pôdny skelet významne ovplyvňuje vododržnosť pôd (GRAS, 1972). Podľa zistení HANSONA & BLEVINS (1979) a JONESA & GRAHAMA (1993) významne ovplyvňuje hodnoty vodnej kapacity pôdy a jej hydraulikkej vodivosti, pričom tieto parametre sú funkčne prepojené s horninovým zložením, tvarom a veľkosťou horninových úlomkov, intenzitou ich zvetrania, priestorovým usporiadaním a ich pozíciou v rámci pôdneho profilu.

V domácej odbornej literatúre na význam štúdia pôdneho skeletu upozornil, ako bolo vyššie citované, už ŠÁLY (1986) s tým, že pôdny skelet môže významne ovplyvňovať fyzikálne parametre pôd. Vplyvy skeletovej frakcie lesných pôd na retenčné vlastnosti analyzovali NOVÁK & ŠURDA (2010), hydraulickú vodivosť pôd NOVÁK *et al.* (2011) a preferované prúdenie vody v pôde okrem NOVÁKA (1978), študoval a pozoroval aj PICHLER (2007).

3.2 Chemické vlastnosti skeletu a ich vplyv na zásobu živín

Len výnimočne sa začali objavovať práce, ktoré pozornosť začali upriamovať na chemické vlastnosti pôdneho skeletu (napr. DEUTSCHMANN *et al.*, 1997; CORTI *et al.*, 1998, AGNELLI *et al.*, 2001). Až v práci UGOLINIHO *et al.* (1996) bolo preukázané, že pôdny skelet sa môže vyznačovať fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami, ktoré sa približujú vlastnostiam jemnozeme a že miera tejto podobnosti závisí od intenzity procesov zvetrávania (alterácie) pôdneho skeletu, ktorým bol tento materiál vystavený počas procesov pedogenézy, t.j. počas vnútropôdneho zvetrávania (UGOLINI *et al.*, 1996; CORTI *et al.*, 1998).

Pôdny skelet sa na základe zistení MUNNA *et al.* (1987) môže významným spôsobom podieľať na celkovom obsahu živín v pôde, a tým aj tvorbe sorpčného komplexu pôd. V dôsledku tejto skutočnosti sa nezistili významné rozdiely medzi produkčnosťou lesných porastov na plochách s nízkym obsahom skeletu a vysokým zastúpením jemnozeme

a naopak, plochách s obsahom skeletu až 60 % (HEISER *et al.*, 2004). Na základe týchto skutočností sa v odbornej literatúre postulovalo tvrdenie, že pôdny skelet môže u takých vlastností pôd, akými sú napr. výmenná sorpčná kapacita, resp. nutričný potenciál pôd, plniť analogické funkcie, aké sa doteraz pripisovali len frakciám jemnozeme (JONGMANS *et al.*, 1997; van BREEMEN *et al.*, 2000; BUURMAN & JONGMANS, 2002; BUURMAN & JONGMANS, 2005).

Nové poznatky v oblasti štúdia pôdneho skeletu zdokumentovali zásadný význam tejto zrnitostnej frakcie pôd pri biogeochemickom cykle živín. Zistila sa negatívna korelácia medzi intenzitou zvetrávania a zrnitostnou frakciou pôdneho skeletu (CORTI *et al.*, 1998) a taktiež funkčná závislosť medzi štruktúrou mikrobiálnych spoločenstiev pôd (CERTINI *et al.* 2004) a zložením pôdneho skeletu. Vzťahy medzi intenzitou zvetrania jednotlivých zrnitostných frakcií pôdneho skeletu a hodnotami ich sorpčnej kapacity sledoval HEISER *et al.* (2004). Intenzitu nasýtenia sorpčného komplexu pôd bázickými kationmi vo frakciách skeletu analyzoval aj CORTI *et al.* (2002). Koncentráciu organického uhlíka v minerálnom podiele pôdneho skeletu stanovil UGOLINI *et al.* (1996). Ďalej sa preukázal súvis medzi obsahom organického uhlíka v pôdnom skelete a intenzitou jeho mineralizácie (AGNELLI *et al.*, 2008). Zdokumentoval sa súvis medzi špecifickou štruktúrou intragranulárnej pórovej siete v pôdnom skelete a mineralizáciou organického uhlíka v pôde v dôsledku pôsobenia mikróbov a enzýmov (napr. ELLIOTT & COLEMAN, 1988).

Špecifickým dôsledkom procesov zvetrávania pôdneho skeletu je vznik porogenetických a poronekrotických procesov v pôdnom skelete, ktoré môžu ovplyvňovať celý rad ďalších fyzikálnych, chemických a biologických procesov v pôde presne tak, ako túto funkciu plnia pôdne agregáty. AGNELLI *et al.* (2008) upozornil na bimodálnu dynamiku porogenetických a poronekrotických procesov vo frakciách pôdneho skeletu, resp. v pôdnych agregátoch. Kým v prvom prípade tieto procesy na úrovni pôdneho skeletu možno považovať za relatívne stabilné, pri pôdnych agregátoch sa vyznačujú mimoriadnou dynamikou.

Z uvedených dôvodov štúdium procesov zvetrávania hornín a minerálneho podielu pôd za účasti mikroorganizmov, húb a lišajníkov (napr. HUANG & SCHNITZER, 1986; ADAMO & VIOLANTE, 1991; GEHRMANN *et al.*, 1992; CHEN *et al.*, 1995; WIERZCHOS & ASCASO, 1996; JONGMANS *et al.*, 1997) rozšíril ANGELLI *et al.* (2001) aj do oblasti pôdneho skeletu vo vzťahu k biologickej aktivite mikroorganizmov. ANGELLI *et al.* (2001) zdokumentoval, že intenzívne premenené (zvetrané) fragmenty pôdneho skeletu sú schopné z okolitých pôdnych roztokov zachytávať organický uhlík, pričom táto tendencia narastá smerom k zemskému povrchu, t.j. k miestam s najintenzívnejšími prejavmi zvetrávania a biologickej aktivity. Podľa ANGELLIHO *et al.* (2001) výnimočné vlastnosti mikroprostredia v pôdnom skelete voči frakcii jemnozeme, robia z pôdneho skeletu ideálne prostredie pre špecifickú mikrobiálnu aktivitu katalyzovanú relatívne stabilnými vlhkostnými a teplotnými parametrami v tomto prostredí, čo naznačuje, že medzi frakciami jemnozeme a pôdneho skeletu neexistuje diskontinuita, a teda fragmenty pôdneho skeletu môžu zohrávať v pôdach analogickú funkciu ako plní jemnozeme v pôdnych agregátoch.

Štúdiom fyzikálno-chemických vlastností pôdneho skeletu v lesných pôdach SR sa intenzívnejšie zaoberali práce BEBEJA (2009) a BEBEJA *et al.* (2011), v ktorých sa okrem

iného potvrdili predpoklady o významných vplyvoch niektorých zrnitostných tried pôdneho skeletu na celkových fyzikálno-chemických parametroch lesných pôd. Aktivitu pôdnych mikroorganizmov vo vzťahu k veľkostným frakciám pôd overila na vybraných lokalitách lesných pôd Slovenska GÖMÖRYOVÁ (2011).

4 VÝSLEDKY

Pri analýze pôdnych výbrusov sme vo vzorkách zdokumentovali proces tvorby sekundárnej pórovitosti (t.j. proces porogenézy), ktorá postihuje predovšetkým nestabilné minerály Ca-Na živcov (plagioklasov) vyvíjajúce sa v premyvnom vodnom režime, t.j. za podmienok, keď produkty rozpúšťania minerálu boli vynášané a transportované zo zvetralín do okolia.

Na mineralogickej úrovni sa taktiež podarilo zaznamenať intenzívne vyvinuté procesy porogenézy, t.j. procesy deštrukcie až zániku sekundárnych pórových priestorov v dôsledku vyzrážania koloidných častíc (predovšetkým organickej hmoty a seskvioxidov). Spoločné vystupovanie organickej hmoty a seskvioxidov v prostredí pôdneho skeletu predstavuje dôkaz tak o procesoch translokácie pôdnej plazmy a seskvioxidov, ako aj existencii špecifických geochemických bariér na úrovni minerálneho podielu skeletovej frakcie pôd.

Mikroskopická analýza pôdnych výbrusov nám pomohlo objasniť vlastnosti tzv. „skeleton washing“ frakcie (SW) jemnozeme v zmysle CORTIHO *et al.* (1998), ktorá podľa citovaných autorov významným spôsobom ovplyvňuje sorpčné vlastnosti pôdneho skeletu. V našom prípade sa zistilo, že čiastočky mikroskeletu až skeletu nie sú obaľované lemom z plazmy, ale že na povrchu pôdneho skeletu vystupujú ostrovčeky intenzívne premenených nestabilných minerálov.

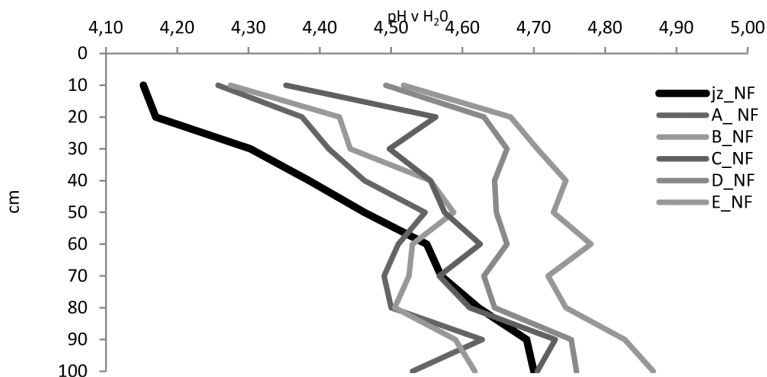
Z pohľadu mernej a objemovej hmotnosti pôdneho skeletu a jeho pórovitosti výsledky analýz zdokumentovali najvyššie hodnoty pórovitosti v najmenších zrnitostných frakciách pôdneho skeletu, čo je v súlade so zisteniami CORTIHO *et al.* (1998) o vzťahu medzi zrnitostným módom skeletu a jeho pórovitosťou.

Z výsledkov analýz zrnitostného zloženia frakcie jemnozeme a výsledkov štatistických analýz vyplynulo, že hĺbka zohrala štatisticky veľmi významný vplyv na percentuálne zastúpenie ílu vo vzorkách zo všetkých štyroch rezov pôdneho profilu.

Viacfaktorová analýza vzťahov medzi hĺbkou pôdy, transportnými cestami vody v pôde a zrnitostným zložením pôd zdokumentovala, že v celom hĺbkovom profile pôdy s preferovaným prúdením vody (IF) je možno pozorovať nárast množstva pieskovej frakcie vzhľadom k zónam mimo preferovaných ciest prúdenia vody v pôde (NF). Tento proces vo vrchnej časti pôdneho profilu IF (0 – 30 cm) je podmienený vymývaním ílovej frakcie, ktorá sa naopak koncentruje v NF zóne. Analogické situácie sa prejavili aj v hĺbke 40 – 60 cm a čiastočne aj v hĺbke 70 – 85 cm a vo všeobecnosti možno konštatovať, že v zónach IF a NF je vzťah medzi množstvom piesku a ílu opačný.

Analýza pH v H₂O jemnozeme a príslušných zrnitostných frakcií pôdneho skeletu (spolu 720 vzoriek) z predmetného pôdneho profilu zdokumentovala postupný nárast hodnôt pH v H₂O v smere od frakcie jemnozeme k najväčšej zrnitostnej frakcii pôdneho

skeletu „E“ (obr. 2). Tieto zistenia v plnom rozsahu potvrdili hypotézu CORTIHO *et al.* (1998) o tom, že hodnoty pH v H_2O pôdneho skeletu možno považovať za indikátor stupňa vnútropôdneho zvetrávania.



Obr. 2 – Hodnoty pH_{H_2O} jemnozeme a jednotlivých zrnitostných frakcií pôdneho skeletu zo štyroch rezov pôdneho profilu v zóne mimo preferovaného prúdenia vody indikujúce stupeň alterácie skeletu

Fig. 2 – pH_{H_2O} values of fine-earth and skeleton fraction from four section of soil profile out of preferential flow indicated degree of the skeleton alteration

Štatistická analýza preukázala štatisticky veľmi významný vplyv hĺbky na hodnoty pH v H_2O ($p = 0,000$). Za štatisticky veľmi významný ($p = 0,000$) možno považovať aj vplyv preferovaného prúdenia na tieto hodnoty s tým, že hodnoty pH v H_2O v zónach s preferovaným prúdením (IF) sú štatisticky významne vyššie ($p = 0,000$) ako v zónach mimo preferovaného prúdenia (NF).

Z údajov pH v H_2O jednotlivých zrnitostných frakcií minerálneho podielu vyplýva, že vo vrchnej časti pôdneho profilu (0 – 50 cm) v zónach IF ako aj NF sú hodnoty pH v H_2O pôdneho skeletu usporiadané v logickej postupnosti teoreticky popísanej CORTIM *et al.* (1998), a teda v tejto časti pôdneho profilu možno pozorovať najintenzívnejšie prejavy vnútropôdneho zvetrávania.

Na základe dostupných údajov možno konštatovať, že hodnoty pH v H_2O zdokumentovali prítomnosť dvoch kvalitatívne odlišných zón pôdneho profilu: (a) zóny s intenzívnymi prejavmi vnútropôdneho zvetrávania (0 – 50 cm), v ktorej sa do pedogenetických procesov zapojili prakticky všetky zrnitostné frakcie minerálneho podielu pôd za aktívneho spolupôsobenia preferovaných tokov vody v pôde, (b) zóny 50 cm a hlbšie, v rámci ktorej hodnoty pH v H_2O minerálneho podielu pôd boli determinované faktormi odlišnými od tých, ktoré pôsobili vo vrchnej časti pôdneho profilu.

Zaujímavé výsledky sme zistili pri geochemických rozboroch pôdneho skeletu a koexistujúcich zrnitostných frakcií jemnozeme. Pri hliníku sa vo vrchnej časti pôdneho profilu zdokumentoval trend charakteristický pre pôdy, v ktorých prebehol proces podzolizá-

cie, t.j. na úrovni 20 – 30 cm možno pozorovať výrazný prejav translokácie tohto prvku. V tejto časti pôdneho profilu sa preukázali tesné korelácie v koncentráciách hliníka medzi jednotlivými zrnitosťnými frakciami pôd, ktoré intenzívne manifestujú predovšetkým pri vzorkách zo zón s preferovaným prúdením vody (IF) s tým, že nárast koncentrácií hliníka v jednotlivých zrnitostných frakciách pôdneho skeletu prebieha v smere od zrnitostných frakcií A smerom k najhrubším zrnitostným frakciám pôdneho skeletu E. Z geochemického pohľadu za mimoriadne zaujímavé možno považovať prudké zmeny v koncentráciách hliníka pozorované na úrovni pôdneho profilu v hĺbkach 50 – 70 cm a hlbšie: pokles koncentrácie hliníka, nasledovaný prudkým nárastom obsahov hliníka v hĺbke 60 – 70 cm. Na základe týchto údajov predpokladáme, že spodná časť pôdneho profilu kambizeme podzolovej bola neskôr bližšie nešpecifikovanými svahovými pohybmi prekrytá svahovinami, na ktorých sa začal vyvíjať analogický pôdny typ ako ten, ktorý sa vyskytuje v hĺbke 50 – 70 cm.

Distribúcia železa v minerálnom podieli pôd analyzovaného pôdneho profilu ponúkla klasický príklad procesu podzolizácie, t.j. ochudobnenie povrchového horizontu pôdneho profilu o tento prvok a naopak, nárast jeho koncentrácie v podložnom Bs horizonte. Analogické prejavy translokácie železa sa taktiež zaznamenali aj v spodnej časti pôdneho profilu, t.j. na úrovni 50 až 80 cm. Vo vrchnej časti pôdneho profilu, v zóne s preferovaným prúdením vody, sa tendencia translokácie železa z Ep do Bs horizontu prejavila výrazne a paralelne prakticky vo všetkých zrnitostných frakciách minerálneho podielu pôd. V spodnej časti pôdneho profilu v zóne IF sa tento prvok akumuluje v hĺbke cca 60 cm. V zóne NF akumulácia železa dosiahla maximum v hĺbke 80 cm. Navyše, v spodnej časti pôdneho profilu sa prejavilo aj priestorové odčlenenie zón akumulácie hliníka a železa. Kým v IF zóne je železo akumulované v hĺbke 60 cm, pri hliníku bola akumulácia detegovaná v hĺbke cca 70 cm. V NF zóne pôdneho profilu je akumulácia železa a hliníka hĺbkovo totožná. Nachádza sa v hĺbke cca 80 cm.

Údaje o distribúcii kremíka v pôdnom profile priniesli najväčšie prekvapenie zo všetkých nameraných údajov. Namiesto kontrastného vystupovania kremíka voči hliníku a železu (t.j. klasický príklad podzolizácie), sa zdokumentoval súhlasný geochemický trend tohto prvku s hliníkom a železom. Na základe týchto zistení predpokladáme, že experimentálna plocha, na ktorej bol realizovaný tento výskum, je vhodná na overenie prítomnosti tzv. špeciálnych subtypov podzolov s obsahom sekundárnych alumosilikátov typu allofán a imogolit na území Slovenska.

Distribúcia vápnika a draslíka v jednotlivých zrnitostných frakciách minerálneho podielu je analogická trendom zdokumentovaným pre hliník a železo. Znamená to, že aj v tomto prípade sa procesy zvetrávania prejavili v dvoch hĺbkových úrovniach pôdneho profilu.

Kvalitatívne špecifické otázky sme riešili v súvislosti s analýzou kationovej výmennej kapacity (KVK) jemnozeme a pôdneho skeletu, pretože cieľom tohto výskumu bolo špecifikovať vzťah medzi procesmi uvoľňovaním prvkov z minerálneho podielu (vplyvom hydrolytického štiepenia) a ich následnou väzbou do sorpčného komplexu pôd. Vplyv hĺbky na koncentráciu bázičných katiónov v sorpčnom komplexe bol preukázaný len pri K^+ , a to tak pri frakcii jemnozeme, ako aj vo všetkých frakciách minerálneho podielu pôd

spolu s tým, že koncentrácia K^+ v sorpčnom komplexe s hĺbkou štatisticky významne klesá. Vplyv preferovaného prúdenia na KVK minerálneho podielu pôd sa štatisticky veľmi významne prejavil len pri Na^+ z dôvodu chemického zloženia farbiva aplikovaného pri infiltrračných testoch. Pri Mg^{2+} , K^+ a Ca^{2+} sa vplyv preferovaného prúdenia vody na koncentráciu týchto prvkov v sorpčnom komplexe pôd štatisticky nepreukázal, aj keď na základe modelovania izolínií koncentrácií prvkov sa vplyv IF na distribúciu prvkov v sorpčnom komplexe jemnozeme prejavil minimálne pri horčíku.

Naopak, ako štatisticky veľmi významný sa preukázal vplyv zrnitosti frakcie minerálneho podielu pôd na koncentráciu Ca^{2+} v sorpčnom komplexe. Zo zistených údajov vyplýva, že koncentrácia tohto prvku v sorpčnom komplexe zrnitostných frakcií pôdneho skeletu významne prevyšuje hodnoty namerané vo frakcii jemnozeme. Vplyv veľkosti zrnitosti frakcie na koncentráciu Mg^{2+} v sorpčnom komplexe je opačný ako pri Ca^{2+} . Smerom k väčším zrnitostným frakciám pôdneho skeletu sa jeho koncentrácia znižuje. Koncentrácia K^+ v sorpčnom komplexe minerálneho podielu pôd s nárastom zrnitosti klesá proporcionálne a štatisticky významne.

Za najdôležitejšie výsledky práce však považujeme výsledky komplexného vyhodnotenia získaných údajov na úrovni jednotlivých prvkov.

V najvrchnejších častiach pôdneho profilu hodnoty pH v H_2O skeletovej frakcie sa zistili najnižšie hodnoty pH. Preukázal sa štatisticky významný vplyv hĺbky na obsah K^+ v sorpčnom komplexe pôd, ktorý na prejavil na izolíniách koncentrácií K^+ v sorpčnom komplexe jemnozeme najvyššími hodnotami v najvrchnejších častiach pôdneho profilu. XRF analýza minerálneho podielu pôd však zdokumentovala najnižšie obsahy tohto prvku v najvrchnejších častiach pôdneho profilu (0 – 30 cm) tak vo vzorkách odobratých z IF, ako aj NF zón. Takáto distribúcia draslíka medzi minerálnym podielom pôd a sorpčným komplexom môže slúžiť ako exemplárny príklad pôsobenia dvoch antagonistických procesov: (a) procesov zvetrávania pôdneho skeletu vedúcich k uvoľňovaniu prvkov z minerálnych fáz do pôdných roztokov a (b) následných procesov fixácie prvkov uvoľnených procesmi zvetrávania (v kationovej forme) v sorpčnom komplexe pôd.

Zaujímavé informácie vyplývajú aj zo zistených pozitívnej korelácie medzi koncentraciami Ca^{2+} a Mg^{2+} v sorpčnom komplexe minerálneho podielu pôd, v kontexte s ostatnými štatisticky overenými závislosťami týchto prvkov s ďalšími testovanými parametrami. Najvyššie koncentrácie týchto prvkov v sorpčnom komplexe frakcie jemnozeme sa zdokumentovali v hĺbkach pôdneho profilu 50 cm a nižšie napriek tomu, že štatisticky významný vplyv hĺbky na koncentráciu týchto prvkov sa nepotvrdil. Vplyv preferovaného prúdenia vody v pôde na koncentráciu Ca^{2+} v sorpčnom komplexe sa ukázal ako štatisticky nevýznamný. Podstatne štatisticky významnejším bol však pri Mg^{2+} , čo sa prejavilo aj na geometrii izolínií tohto prvku v pôdnom profile. Na základe údajov XRF analýz zrnitostných frakcií minerálneho podielu pôd a zistených geochemických profilov vápnika v pôdnom profile možno konštatovať, že v spodnej časti pôdneho profilu (50 cm a nižšie) došlo k priestorovému prekrytiu maxim koncentrácie tohto prvku s maximálnymi koncentraciami Ca^{2+} v sorpčnom komplexe s tým, že koncentrácie tohto kationu v sorpčnom komplexe skeletovej frakcie rastú smerom k vyšším zrnitostným triedam pôdneho skeletu. Zároveň sa zistilo, že vo vrchnej časti pôdneho profilu (0 – 50 cm) súvis medzi obsahom

vápnika v minerálnom podiele pôd a koncentraciami Ca^{2+} v sorpčnom komplexe pôd neexistuje, čo je pravdepodobne prejavom mohutnej acidifikácie tejto časti pôdneho profilu vplyvom procesu podzolizácie.

Geochemické správanie sa horčíka v analyzovanom pôdnom profile je podstatne komplikovanejšie než pri vápniku, čo súvisí predovšetkým s tým, že XRF analýzy jednotlivých zrnitostných frakcií minerálneho podielu pôd neodhalili väzbu tohto prvku na žiadnu zrnitostnú frakciu a taktiež na žiadnu časť pôdneho profilu, napriek mineralogicky overenej prítomnosti fylosilikátových minerálov v pôdnych výbrusoch. O to prekvapujúcejšie boli výsledky štúdia koncentrácie bázičných kationov v sorpčnom komplexe pôd, ktoré zdokumentovali prítomnosť Mg^{2+} v koncentráciách na úrovni koncentracii Ca^{2+} , predovšetkým v hĺbkach 50 – 70 cm, t.j. hĺbkach, ktoré predstavujú na základe výsledkov XRF analýz minerálneho podielu pôd geochemické rozhranie medzi dvoma zónami zvetrávania, resp. podzolizácie. Na rozdiel od Ca^{2+} sa kationy Mg^{2+} viažu štatisticky významne na najmenšie frakcie minerálneho podielu pôd. Distribúciu Mg^{2+} významnejšie ovplyvňujú preferované toky vody v pôde, čo sa prejavilo aj na geometrickom usporiadaní koncentračných izolínií tohto kationu v pôdnom profile. Z tohto pohľadu Mg^{2+} vo vrchnej časti pôdneho profilu predstavuje najdeficitnejší bázičný kation sorpčného komplexu pôd, s minimálnou zásobou tohto prvku viazaného na hrubozrnnejšie frakcie minerálneho podielu pôd.

Výsledky fyzikálno-chemických rozborov minerálneho podielu pôd viedli k prehodeniu opisu pôdneho profilu na experimentálnej študijnej ploche a sú zhrnuté v nasledovnej tabuľke 1.

Tab. 1 – Opis pôdneho profilu na experimentálnej ploche po zohľadnení výsledkov fyzikálnych a chemických analýz

Tab. 1 – Description of the soil profile at the experimental area taking into account the results of physical and chemical analyses

Názov pôdneho horizontu	Hĺbka (cm)	Opis pôdneho horizontu
subhorizont O_{ol}	1,5 – 7,0	listnatý a ihličnatý opad (listy, konáriky, šišky)
subhorizont O_{of}	0,5 – 1,5	drvina z listnatých a ihličnatých drevín
subhorizont O_{oh}	0,0 – 0,5	melina z listnatých a ihličnatých drevín
horizont Ao	0 – 5,0	ochrický, tmavohnedý, piesčitohlinitý, vlhký, jemne odrobinkovitý, kyprý, skelet veľkosti štrku cca 5 %, stredne prekorenený, zjavný prechod do Bv horizontu
Bvp1 horizont	5 – 20	podpovrchový kambický, vymytý, ochudobnený o seskvioxidy
Bvs1 horizont	20 – 40	podpovrchový kambický, obohatený o seskvioxidy
Bv horizont	40 – 70	podpovrchový kambický pôvodný
Bvp2 horizont	70 – 90	podpovrchový kambický, vymytý, ochudobnený o seskvioxidy
Bvs1 horizont	90 – 110	podpovrchový kambický, obohatený o seskvioxidy
horizont C_1	110 +	bledohnedý (po belavej svetlej bridlici?), piesčitý, až 70 % navetralého skeletu (bridlice), vlhký, uľahnutý, materský substrát: svahovina z pestrých bridlíc, zlepcov, brekcií, pieskocov a valúnov leukokrátých granitoidov s draselnými živcami

5 ZÁVER

Záverom možno konštatovať, že na základe výsledkov tejto práce sa preukázal zásadný význam pohybu vody v pôde na procesy vnútropôdneho zvetrávania a na distribúciu prvkov v sorpčnom komplexe pôd. Osobitný dôsledok tohto konštatovania je v tom, že poznanie transportných ciest vody v pôde (s dôrazom na tzv. preferované cesty pohybu vody v pôde) môže objasniť štatisticky významné variácie fyzikálno-chemických parametrov pôdneho skeletu zdokumentované vo svetovej odbornej literatúre, ktoré nezohľadňujú transportné cesty vody v tomto médiu. Výsledky tejto práce poukázali aj na veľký význam skeletovej frakcie pôd na tvorbe a celkových zásobách kationov v sorpčnom komplexe pôd v súlade s poznatkami odbornej literatúry z konca 20-teho a začiatku tohto storočia.

Výsledky tejto práce považujeme v mnohých oblastiach za východiskové pre následný vedecký výskum, najmä v nasledovných oblastiach:

- analýzy organického uhlíka vo všetkých zrnitostných frakciách minerálneho podielu pôd,
- detailného výskumu sorpčného komplexu – predovšetkým z pohľadu stupňa nasýtenia sorpčného komplexu základnými kationmi a variácií tohto parametra v rámci pôdneho profilu,
- identifikácii možnej prítomnosti sekundárnych alumosilikátov typu allofán a imogolit na predmetnej lokalite a overenie prítomnosti tzv. špeciálnych druhov podzolov v tejto časti územia Slovenska.

6 Literatúra

- ADAMO, A., VIOLANTE, P., 1991: Weathering of volcanic rocks from Mt. Vesuvius associated with the lichen *Stereocaulon vesuvianum*. *Pedobiologia*, 35, 209–217.
- AGNELLI, A., UGOLINI, F. C., CORTI, G., PIETRAMELLARA, G., 2001: Microbial biomass-C and basal respiration of fine earth and highly altered rock fragments of two forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 33, 613–620.
- AGNELLI, A., CELI, L., CORTI, G., CONDELLO, L., 2008: Organic matter stabilization in soil aggregates and rock fragments as revealed by low-temperature ashing (LTA) oxidation. *Soil Biology & Biochemistry*, 40, 1379–1389.
- ANDRUSOV, D., BEGAN, A., BIELY, A., BORZA, K., BUDAY, T., BYSTRICKÝ, J., BYSTRICKÁ, H., CÍCHA, I., ELIÁŠ, M., ELIÁŠOVÁ, H., FUSÁN, O., GAŠPÁŘKOVÁ, V., GROSS, P., HANZLÍKOVÁ, E., KÖHLER, E., HOÚŠA, V., LEHOTAYOVÁ, R., LEŠKO, B., LOŽEK, V., MENČÍK, E., MICHALÍK, J., MOCK, R., PESL, V., ROTH, Z., J., SAMUEL, O., SENEŠ, J., SLÁVIK, J., STRANÍK, Z., ŠPIČKA, V., VAŠÍČEK, Z., VAŠKOVSKÝ, I., VOZÁR, J., 1985: Stratigrafický slovník Západných Karpát, zv. 2, Bratislava: Veda, 359 pp.
- BEBEJ, J., 2009: Súčasný stav a perspektívy výskumu nutričného potenciálu zo skeletovej frakcie lesných pôd na území V. Tatier. Zborník z konferencie Vplyv vetrovej kalamity na vývoj lesných porastov vo Vysokých Tatrách. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. ISBN 978-80-228-2087-5, 21–40.
- BEBEJ, J., JANEGA, A., MAŇÚCH, T., 2011: Výskum fyzikálnych a chemických vlastností lesných pôd s vysokým obsahom skeletu na území Vysokých Tatier, In: Veterná kalamita a smrekové ekosystémy, 39–70.
- BUURMAN, P., JONGMANS, A. G., 2002: Podzolization – An additional paradigm. *Edafologia*, 9 (2), 107–114.
- BUURMAN, P., JONGMANS, A. G., 2005: Podzolization and organic matter dynamics. *Geoderma*, 125, 71–83.
- CERTINI, G., CAMPBELL, C. D., EDWARDS, A. C., 2004: Rock fragments in the soil support different microbial community from the fine earth. *Soil Biology & Biochemistry* 36, 119–1128.

- CHEN, Z. J., HAGLER, J., PALOMBELA, V. J., MELANDRI, F., SCHERE, D., BALLAARD, D., MATIAS, T., 1995: Signal-induced site-specific phosphorylation targets to the ubiquitin-proteasome pathway, *Genes Dev.* 9, 1586–1597.
- CORTI, G., UGOLINI, F. C., AGNELLI, A., 1998: Classing the soil skeleton (greater than two millimeters): propose approach and procedure. *Soil Science Society of America Journal* 62, 1620–1629.
- CORTI, G., UGOLINI, F. C., AGNELLI, A., CERTINI, G., CUNIGLIO, R., BERNA, F., SANJURJO FERNÁNDEZ, M., 2002: The soil skeleton, a forgotten pool of carbon and nitrogen in soil. *European Journal of Soil Science*, 53, 283–298.
- DEUTSCHMANN, G., RUMMENHOLZ, H., TARRAH, J., 1997: Die Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität von Gesteinen. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 160, 151–155.
- ELLIOTT, E. T., COLEMAN, D. C., 1988: Let the soil work for us, *Ecol. Bull.*, 39, 23–32.
- FIALA, K., KOBZA, J., MATUŠOVÁ, L., BREČKOVÁ, V., MAKOVNÍKOVÁ, J., BÚRIK, V., LITAVEC, T., HOUŠKOVÁ, B., CHROMANIČOVÁ, A., VÁRADIOVÁ, D., PECHOVÁ, B., 1999: Závazné metódy, Fyzikálne vlastnosti pôdy. Výskumný ústav pôdozvedectva a ochrany pôdy, Bratislava, ISBN 80-89128-20-3: 142 pp.
- FLURY, M., FLÜHLER, H., JURY, W. A., LEUENBERGER, J., 1994: Susceptibility of Soils to preferential Flow of Water. *Water Resources Research*, 30, 7, 1945–1954.
- FLURY, M., FLÜHLER, H., 1994: Brilliant Blue FCF as a dye tracer for solute transport studies – A toxicological overview, *J. Environ. Qual.*, 23, 1108.
- FLURY, M., FLÜHLER, H., 1995: Tracer characteristics of Brilliant Blue FCF, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59, 22–27.
- FORRER, I. E., 1997: Solute transport in an unsaturated field soil: Visualization and Quantification of flow patterns use image analysis, Dissertation, ETH, No. 12476, 128 pp.
- GEHRMANN, C. K., KRUMBEIN, W. E., PETERSEN, K., 1992: Endolithic lichens and the corrosion of carbonate rocks – a study of biopitting. *International Journal of Mycology and Lichenology* 5, 37–48.
- GRAS, R., 1972: Effet des éléments grossiers sur la dynamique de l'eau dans un sol sableux. I. Comportement des éléments grossiers poreux vis-à-vis de l'eau. *Ann. Agrion*, 23: 197–239.
- GÖMÖRYOVÁ, E., 2011: Aktivita pôdných mikroorganizmov vo vzťahu k veľkostným frakciám zeminy. Zvolen: Acta facultatis forestalis, 53, 61–71.
- HAGEDORN, F., BUND, T. M., 2002: The age of preferential flow paths. *Geoderma* 208, 119–132.
- HANSON, C. T., BLEVINS, R. L., 1979: Soil water in coarse fragments. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 43, 819–820.
- HEISER, U., RABER, B., HILDEBRAND, E. E., 2004: The importance of the soil skeleton for plant-available nutrients in sites of the Southern Black Forest, Germany. *Eur. J. Forest Res.*, 123, 249–257.
- HOMOLÁK, M., 2008: Meranie transportných vlastností lesnej pôdy ako podkladu pre plánovanie lesníckych meliorácií, Dizertačná práca, TU Zvolen, 96 pp.
- HOMOLÁK, M., PICHLER, V., JURY, W. A., CAPULIAK, J., O'LINGER, J., GREGOR, J., 2010: Unsaturated Hydraulic Conductivity Estimation of a Forest Soil Assuming a Stochastic-Convective Process. *Soil Science Society of America Journal*, 74 (1), 292–300.
- HRAŠKO, J., LINKEŠ, V., ŠÁLY, R., ŠURINA, B., 1993: Pôdna mapa Slovenska. 1:400 000. VÚPÚ Bratislava, Slovenská kartografia, Bratislava.
- HUANG, P. M., SCHNITZER, M., 1986: Interactions of Soil Minerals with Natural Organics and Microbes. Spec. Publ. 17. Soil Science Society of America, Madison, WI.
- JONES, D. P., GRAHAM, R. C., 1993: Water holding characteristics of weathered granitic rock in chaparral and forestry ecosystems. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 57, 256–261.
- JONGMANS, A. G., van BREEMEN, N., LUNDSTRÖM, U. S., van HESS, P. A. W., FINLAY, R. D., SRINIVASAN, M., UNESTAM, T., GIESLER, R., MELKERUD, P. A., OLSSON, M., 1997: Rock-eating fungi. *Nature* 389, 682–683.
- KOBZA, J. *et al.*, 2002: Monitoring pôd Slovenskej republiky. Súčasný stav a vývoj monitorovaných vlastností pôd 1997–2001. Bratislava: VÚPOP, 178 pp.
- MAZÚR, E., LUKNIŠ, M., 1980: Geomorfologické jednotky, Mapa 1 : 500 000, Atlas SSR, Bratislava, SÚGK.
- MUNN, L., HARRINGTON, N., MCGIRR, D. R., 1987: Rock fragments. In: R., D., WILLIAMS & G., E., SCHUMAN (Editors). *Reclaiming Mine Soils and Overburden in the Western United States. Analytic Parameters and Procedures*. Soil Conservation Society of America, 259–282.
- NOVÁK, V., 1978: Vplyv pôdných puklín na vodný režim ťažkých pôd. In: *Vodohospodársky čas.* 26, 487–492.
- NOVÁK, V., ŠURDA, P., 2010: The water retention of a granite rock fragments in High Tatras stony soil. *Journal of Hydrol. Hydromech.* 62, 181–187.

- NOVÁK, V., KŇAVA, K., ŠIMÚNEK, J., 2011: Determining the influence of stones on hydraulic conductivity of saturated soils using numerical method. *Geoderma*, 161, 177–181.
- PICHLER, V., 2007: Densita bukových porastov ako nástroj regulácie hydrických a environmentálnych funkcií pôd. TU Zvolen, 51 pp.
- POESEN, J., LAVEE, H., 1994: Rock fragments in top soils: significance and processes, *Catena* 23, 1–28.
- POLÁK, A., ELSWORTH, D., YASUHARA, H., GRADER, A. S., HALLECK, P. M., 2003: Permeability reduction of a natural fracture under net dissolution by hydrothermal fluids, *Geophys. Res. Lett.*, 30 (20), 2020, doi: 10.1029/2002GL017575.
- ŠÁLY, R., 1986: Svahoviny a pôdy Západných Karpát. Veda, Bratislava, 200 pp.
- ŠÁLY, R., BEDRNA, Z., BUBLINEC, E., ČURLÍK, J., FULAJTÁR, E., GREGOR, J., HANES, J., JURÁNI, B., KUKLA, J., RAČKO, J., SOBOCKÁ, J., ŠURINA, B., 2000: Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska, Bratislava, 76 pp.
- SHANG, J., FLURY, M., CHEN, G., ZHUANG, J., 2008: Impact of ow rate, water content and capillary forces on in situ colloid mobilization during in ltration in unsaturated sediments. *Water Resour. Res.*, 44.
- UGOLINI, F. C., CORTI, G., AGNELLI, A., PICCARDI, F., 1996: Mineralogical, physical and chemical properties of rock fragments in soils. *Soil Sciences* 161, 521–542.
- van BREEMEN, N., LUNDSTRÖM, U. S., JONGMANS, A. G., 2000: Do plants drive podzolization via rock-eating mycorrhizal fungi? *Geoderma*, 94, 163–171.
- VOZÁROVÁ, A., VOZÁR, J., 1988: Late Paleozoic in West Carpathians, D. Štúr Institute of Geology, Bratislava, 316 pp.
- WIERZCHOS, J., ASCASO, C., 1996: Morphological and chemical features of bioweathered granitic biotite induced by lichen activity, *Clays and Clay Minerals*, 44, 652–657.
-

Príspevok vznikol v rámci riešenia vedeckého projektu operačného programu Výskum a vývoj pre projekt „Centrum excelentnosti pre integrovaný výskum geosféry Zeme“ (ITMS: 2622012006), ktorý je spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Adresa autora:

Ing. Emília Jurášová

Katedra prírodného prostredia

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: emilia.jurasova@gmail.com

Zvetrávanie skeletu ako proces ovplyvňujúci látkovo-energetické toky a stav pôdy

Abstrakt

Predložená práca sa zaoberá problematikou vnútro pôdneho zvetrávania pôdneho skeletu vo vzťahu k pohybu vody v pôde, procesom mobilizácie prvkov z minerálneho podielu pôd a tvorbe sorpčného komplexu. Analýzy fyzikálno-chemických vlastností jednotlivých frakcií pôdy a ich dopady na produkčné vlastnosti pôd predstavujú fundament, na ktorom možno stavať ďalší vedecký výskum v širokom spektre oblastí.

Kľúčové slová: vnútro pôdne zvetrávanie, pôdny skelet, kationová výmenná kapacita, preferované prúdenie, pôdne výbrusy

ZHODNOTENIE HYDROFYZIKÁLNYCH VLASTNOSTÍ SNEHOVEJ POKRÝVKY V OBLASTI CHOPKU ZA VYBRANÉ OBDOBIE

Miriam HANZELOVÁ – Matúš HRÍBIK

Hanzelová, M. – Hribík, M.: The evaluations of hydrophysical properties of snow cover in area of Chopok (The Low Tatras Mts.) from selected winter seasons. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 1, 2013, 79–88.

The snow cover is important part of our landscape which affects hydrological regime of rivers. In net of meteorological stations of SHMU are measured basal snow characteristics as are the snow depth and the snow water equivalent. The problem is that the location of these stations is in low altitude but snow cover is produced mostly in mountain areas. Therefore we focus in our work on field measurements of mentioned properties. Once a month during the last four winter seasons we measured on altitude transect (from 1000 m a. s. l. to 2000 m a. s. l.) in the Low Tatras snow depth and snow water equivalent. Subsequently we researched the impact of altitude, forest and time on snow cover.

We can summarize our results to following points:

- Snow depth and snow water equivalent increase to the altitude 1500 – 1800 m a. s. l. but in upper localities these characteristics decrease due to the snow drift.
- Values of the snow depth and the snow water equivalence are higher in the open space in comparison with the forest area.
- The maximum values of properties of snow were recorded from December to January in lower localities of studied area and in upper localities occurs the time shift of maximum values as we measured it there from February to March.
- At the beginning of winter season is the snow cover similar in all studied localities of the altitudinal transect.

Key words: snow cover, snow height, snow-water content

1. ÚVOD A PROBLEMATIKA

Sneh je významná súčasť kryosféry, jeho kryštalická povaha mizne, keď sa hromadí na zemi a splýva do jednej zrnitej vrstvy. Sneh, ktorý dopadne na zemský povrch a vytvorí vrstvu o výške minimálne 1 cm považujeme za snehovú pokrývku (OTN ŽP 3109:02,2002). Väčšina zrážok sa počas zimného obdobia akumuluje v snehovej pokrývke, čo znamená, že obsahuje veľké množstvo vody. Sneh je významným zdrojom vody horských tokov. Pri priaznivých poveternostných podmienkach (postupné otepľovanie bez zrážok) asi 1/3 objemu vody zo snehovej pokrývky sublimuje, 1/3 objemu vody vsiakne do podzemných vôd a 1/3 odtečie. Za nepriaznivých podmienok v jarnom období (tj. prudké oteplenie s dažďami) však môže predstavovať hrozbu povodní (SHMÚ, 2012). Preto

je dôležité poznať údaje o tom koľko vody je obsiahnutej v snehovej pokrývke. Zo Zákona o ochrane pred povodňami č. 666/2004 Zb. vyplýva povinnosť pre SHMÚ poskytovať orgánom štátnej správy a správcom tokov pre vybrané profily informácie o zásobách vody v snehovej pokrývke (HRUŠKOVÁ et al., 2007).

Klimatologickým prvkom, ktorý v sebe spája priemet sumárneho úhrnu zrážok v reálnych teplotných a vlhkostných podmienkach danej zimy, reprezentuje vodná hodnota snehu. Je to charakteristika snehovej pokrývky, ktorá predstavuje výšku vrstvy vody, ktorá vznikne roztopením snehovej pokrývky (OTN ŽP 3109:02,2002, DEWALLE-RANGO, 2008). Je meraná v milimetroch pričom platí vzťah: 1 mm vzniknutej vody na m² plochy predstavuje 1 liter vody. Jej nenápadná pozícia medzi charakteristikami zrážok vyplýva zo sezónneho výskytu snehovej pokrývky v našich prírodných podmienkach. V sieti meteorologických staníc SHMÚ sa meria raz týždenne, v pondelok ráno, ak sa v tomto termíne nachádza v priestore stanice súvislá snehová pokrývka. Rozmiestnenie týchto staníc je však vzhľadom na členitý reliéf územia Slovenska nereprezentatívny a limitovaný dostupnosťou terénu a ľudským faktorom (HRUŠKOVÁ et al., 2007). Väčšina snehomerných staníc je umiestnených do nadmorskej výšky 1 000 m pričom snehové zásoby sa vytvárajú najmä v pohoriach. Tie potom pri jarnom topení snehu výrazné vplývajú na hydrologický režim našich vôd. Preto je potrebné tieto merania dopĺňať expedičnými meraniami v teréne.

V mnohých oblastiach sveta patrí akumulácia snehu a jeho následné topenie medzi najkritickejšie určujúce faktory pre zhodnotenie zodpovedajúcej zásoby vody (DEWALLE-RANGO, 2008). Kvantitatívne odhadnúť túto zásobu vody vrátane jej objemu, načasovania a kvality je dôležité najmä pre vodohospodárov pre modelovanie jarného odtoku roztopeného snehu do povodia a následnej predpovede možného vzniku záplav. HOLKO et al., 2001 uvádza, že už v 50-tych rokoch 19. storočia sa hydrologický výskum na Slovensku venoval systematickým meraniam rozloženia snehovej pokrývky a neskôr modelovaniu odtoku zo snehu. Význam meraní charakteristík snehovej pokrývky je dôležitý z hľadiska využitia týchto údajov pri kalibrácii distribuovaných hydrologických modelov.

Vzhľadom k týmto uvedeným faktom, sme sa v našej práci venovali snehovej pokrývke a jej základným hydrofyzikálnym vlastnostiam (výške a vodnej hodnote snehu), ich priebehu počas zimnej sezóny, vplyvu nadmorskej výšky a lesného porastu na uvedené charakteristiky. Monitoring sme realizovali v Nízkyh Tatrách v oblasti Chopku na výškovom tranzekte od 1 000 do 2 000 m n. m.

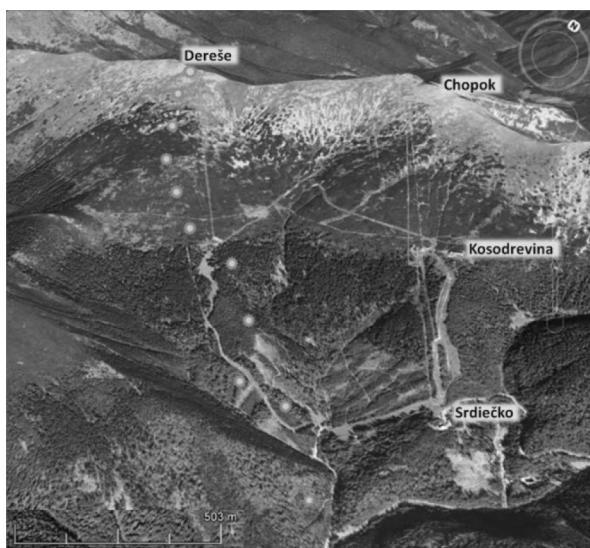
2 MATERIÁL A METÓDY

2.1 Charakteristika územia

Nízke Tatry sú jedinečným fenoménom Slovenskej republiky, veľhornatina predstavuje výraznú prírodnú prekážku pre prúdenie vlhkého vzduchu. Táto oblasť patrí medzi najvlhšie a najchladnejšie miesta Slovenska, kde dominuje drsné horské podnebie. Veľká časť zrážok preto padá vo forme snehu (POLČÁK – HLÁSNY, 2002). V Nízkyh Tatrách prevládajú vetry západných a severozápadných smerov, vyskytujú sa však taktiež aj vetry opačného, juhovýchodného smeru, a to najmä počas zimného obdobia, čo súvisí

s intenzívnou cyklonálnou činnosťou. Cyklóny prichádzajúce od Jadranského mora pri-nášajú veľmi výdatné zrážky na južných a juhovýchodných svahoch tohto pohoria (KON-ČEK – BRIEDOŇ, 1964, LAPIN – TEKUSOVÁ, 2002). V nadmorskej výške 2000 m sa snehová pokrývka vyššia ako 1 cm priemerne vyskytuje počas 60 % roka (LAPIN et al., 2007). Priemerná rýchlosť vetra dosahuje v zime vyššie rýchlosti v porovnaní s letným obdobím, čo vedie k snežnému driftu na hrebeňoch pohorí.

Pravidelné expedičné merania uskutočňované na výškovom tranzekte od 1 000 – 2 000 m n. m. (obr. 1) sa nachádzajú v rôznych vegetačných stupňoch. Súvislý les plynule prechádza do pásma kosodreviny v nadmorskej výške okolo 1 500 m (MIDRIAK, 1983). Väčšina lesných porastov v tranzekte meraní je ochranných.



Obr. 1 Výškový tranzekt v Nízkych Tatrách s miestami meraní hydrofyzikálnych vlastností snehu
Fig. 1 Transect in the Low Tatras with sites of measurements of hydrophysical properties of snow

2.2 Metódy merania hydrofyzikálnych vlastností snehovej pokrývky

Terénny monitoring hydrofyzikálnych vlastností snehovej pokrývky sme usku-točňovali raz do mesiaca v zimnej sezóne (podľa snehových podmienok zväčša od de-cembra do apríla) v Nízkych Tatrách na výškovom tranzekte od 1 000 m n. m. do 2 000 m n. m. Merania zamerané na zisťovanie výšky a vodnej hodnoty snehu sme robili každých 100 výškových metrov. Monitoring sme realizovali na voľnej ploche a v lesnom poras-te. Tieto lokality boli situované na miestach s rovnakou nadmorskou výškou, expozíciou a sklonom a sú umiestnené tak, aby s dostatočnou presnosťou podali informáciu o rozlo-žení snehových zásob v záujmovej oblasti. Merania hydrofyzikálnych vlastností snehovej pokrývky sme vykonávali v súlade s OTN ŽP 3109:02 (2002) a štandardne používanéj

metodiky SHMÚ. Jedno meranie v určitej nadmorskej výške predstavovalo 20 bodové meranie výšky snehovej pokrývky po vrstevnici pomocou lavínovej sondy s presnosťou merania na centimetre. Vodnú hodnotu snehu sme v teréne merali váhovým snehomerom. Ide o meranie, ktoré je založené na princípe zisťovania hmotnosti snehu a výšky snehovej pokrývky a následnom výpočte jeho vodnej hodnoty. Meranie vodnej hodnoty snehovej pokrývky sme robili v 5 bodoch v lesnom poraste (z dôvodu väčšej variability rozloženia snehu) a v 3 bodoch na voľnej ploche.

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Počas štyroch zimných sezón sme expedičným monitoringom každomesačne zaznamenávali údaje o výške a vodnej hodnote snehu. Na obr. 2 – 3 môžeme pozorovať dynamiku výšky a vodnej hodnoty snehu vykreslenú pre jednotlivé mesiace zimnej sezóny ako na voľnej ploche tak aj v lesnom poraste.

Môžeme konštatovať, že tohtoročné zimné obdobie 2012/2013 bolo najbohatšie čo sa na množstvo akumulovanej vody týka, avšak aj minuloročná zima bola bohatá na zásobu vody v snehovej pokrývke. Maximálna hodnota za všetky sledované zimy bola 606 mm nameraná v tejto zime v mesiaci marec v nadmorskej výške 1 800 m n. m., čo predstavuje 37 % priemerného ročného úhrnu zrážok (obr. 3 VHS apr).

Expedičným monitoringom sa nám potvrdil významný vplyv nadmorskej výšky na priestorovú akumuláciu snehovej pokrývky. Je známe, že s narastajúcou nadmorskou výškou sa znižuje priemerná teplota vzduchu, rastie celoročný úhrn zrážok, zvyšuje sa počet dní so snehovou pokrývkou a tiež výška snehovej pokrývky, ale výška snehu pribúda iba do určitej nadmorskej výšky. Na hrebeňoch pohorí totiž dochádza ku pôsobeniu prudkého vetra, čo následne spôsobuje snežný drift. Uvedenú skutočnosť potvrdzuje aj práca HOLKO (2000). Na nami meranom tranzepte sa výška aj vodná hodnota snehu zvyšovala do pásma 1 500 – 1 800 m n. m. v závislosti od jednotlivých mesiacov. Dôležitou hranicou je nadmorská výška 1 750–1 800 m n. m., nad ktorou sa sledované hydrofyzikálne veličiny už len znižovali. Vo vyšších polohách sa začína výrazne prejavovať ústup kosodreviny, ktorá výrazne zadržiava sneh a znižuje efekt vetra, ktorý spôsobuje výrazný snežný drift vo vrcholových partiách pohoria. Na južných svahoch pohoria vietor v týchto výškach vo svojom ročnom chode dosahuje najväčšiu rýchlosť v marci, dôsledkom čoho na voľných otvorených plochách dochádza k intenzívnemu odvíevaniu snehu. Maximálne hodnoty výšky snehovej pokrývky sa preto nevyskytujú na najvyšších miestach pohoria, ale v nižších polohách (HOLKO et al., 2001). HOLKO (2000) vo vyhodnotení dlhodobých meraní parametrov snehovej pokrývky v horskom povodí Bystrej v Nízkych Tatrách udáva nadmorskú výšku 1 450 m, po ktorú výška snehu stúpa, do 1 650 m n. m. sa výrazne nemení a s ďalším nárastom nadmorskej výšky dochádza k poklesu výšky snehovej pokrývky.

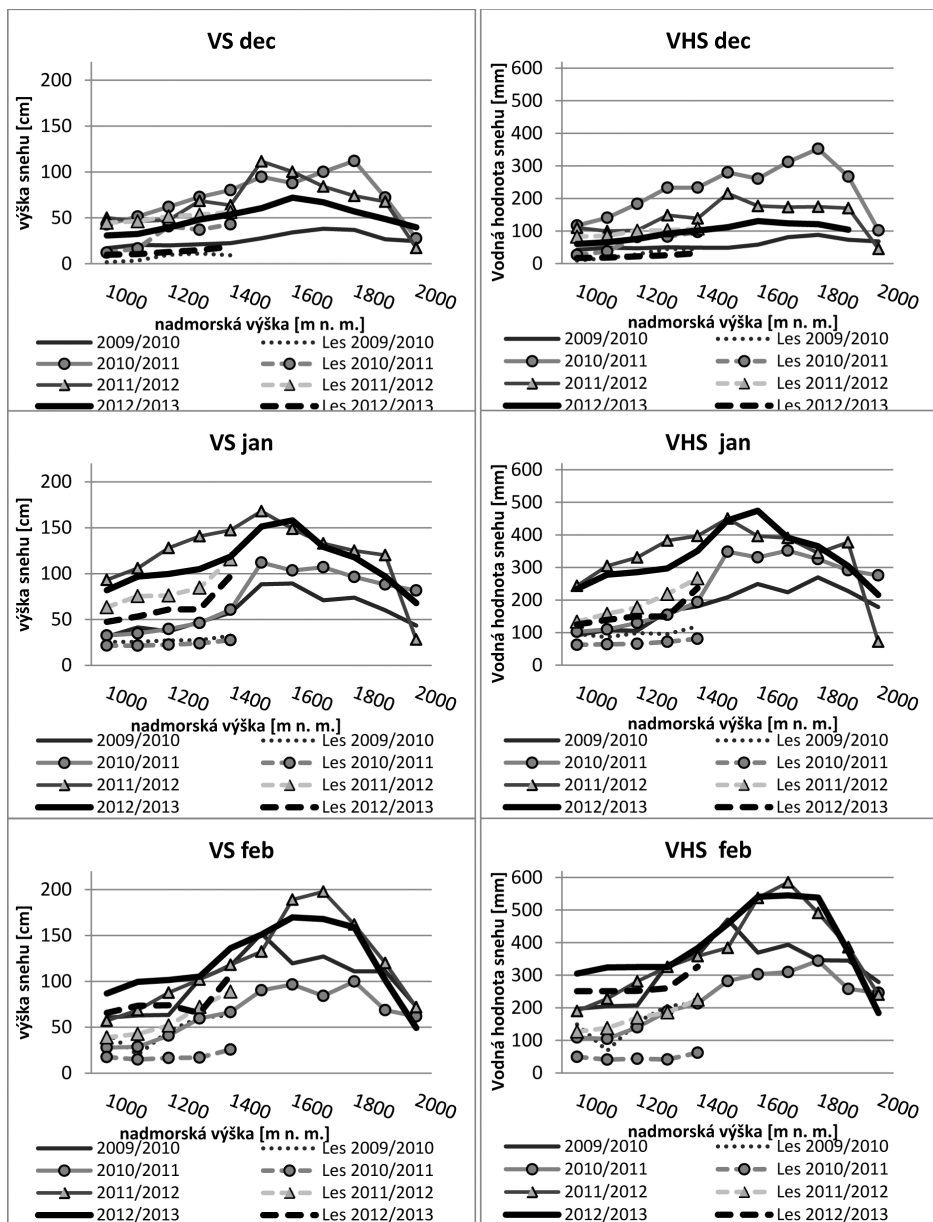
Z časového hľadiska v nižších polohách tranzeptu dosahuje výška snehu svoje maximum v decembri – januári niekedy až začiatkom februára, ale v horách a vo vyšších polohách vrcholí výška snehovej pokrývky práve až koncom februára a v marci ako si to môžeme všimnúť na obr. 2 a 3 v sezónach 2009/2010 a 2011/2012. Túto skutočnosť potvrdzuje aj publikácia KONČEK – BRIEDOŇ (1964). Zima 2010/2011 v tomto smere daný

fakt nevykresľuje až tak jednoznačne. Maximálna priemerná výška snehovej pokrývky (198 cm) bola nameraná v zime 2011/2012 a vo februári v nadmorskej výške 1 700 m n. m., pričom zotrvala aj do nasledujúceho mesiaca 197 cm. V ostatných zimách boli namerané maximálne hodnoty výšky snehu 190 cm pre zimu 2012/2013, 112 cm pre zimu 2010/2011 a 152 cm pre sezónu 2009/2010. Z nameraných hodnôt môžeme povedať, že zima 2012/2013 a 2011/2012 boli bohatšie na snehovú pokrývku ako ostatné dve zimy.

K výraznému ústupu snehovej pokrývky dochádza na prelome februára a marca, kde v nižších polohách sa začína teplota vzduchu stúpať, no vo vyšších polohách pretrvávajú stále mrazivé teploty, čím sa ešte stále udržuje výrazná snehová pokrývka. K jej postupnému topeniu dochádza až v apríli (viď obr. 3). Výnimkou je však zima 2012/2013, kedy snehová pokrývka aj v nižších polohách dosahovala ešte koncom februára a marca výrazné nadpriemery v porovnaní s ostatnými zimami, čo bolo spôsobené najmä dlho pretrvávajúcimi nízkymi teplotami ovzdušia a bohatými snehovými zrážkami aj v neskoršom priebehu zimy.

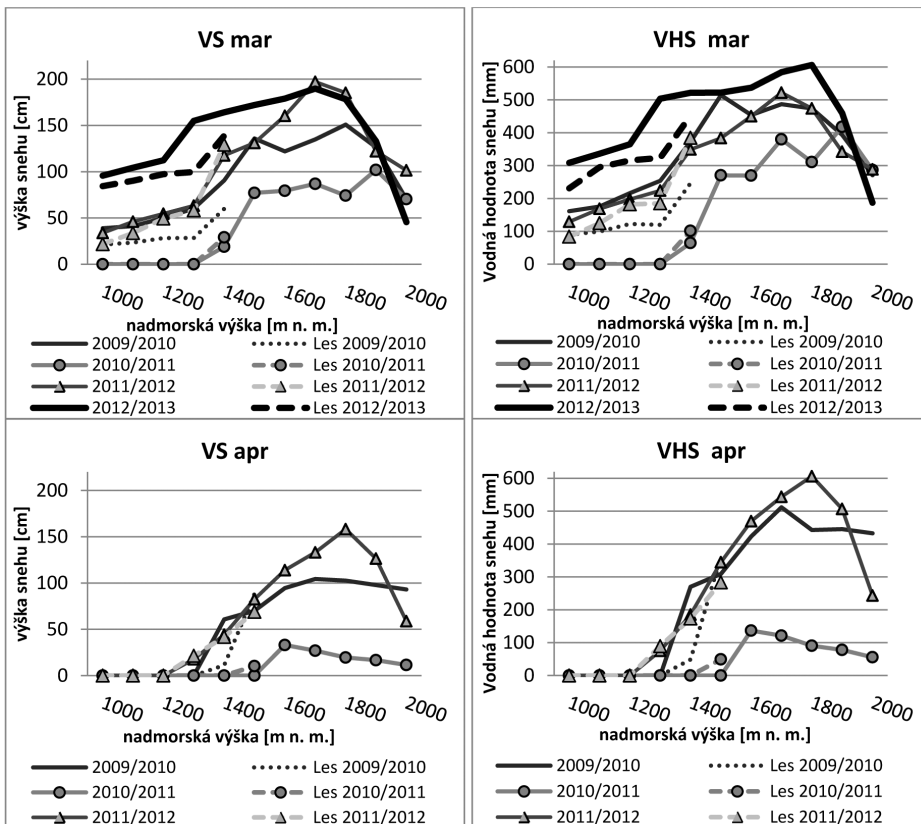
Čo sa týka maximálnych vodných hodnôt snehovej pokrývky, tie sa vyskytovali v mesiacoch od februára do apríla v závislosti od nadmorskej výšky. V decembri bola snehová pokrývka aj jej vodná hodnota nízka (okrem výnimky zimy 2010/2011), výdatné zrážky s význačnými zásobami vody prišli v januári (zima 2011/2012, 2012/2013) alebo až februári (zima 2009/2010). Podobný trend potvrdzuje aj práca HOLKO et al. 2001. Zima 2010/2011 bola výrazne slabšia, čo sa týka obsahu akumulovanej vody v snehu oproti ostatným meraným zimným obdobiam. Najlepšie viditeľný je rozdiel v mesiaci apríl (obr. 3), kde dosahovala hodnotu 137 mm zatiaľ čo v tej istej nadmorskej výške ale v sezóne 2009/10 predstavovala 423 mm a v 2011/2012 až 470 mm. Výnimkou je však mesiac december (obr. 2), kedy uvedené dve obdobia ani zďaleka nedosahovali hodnôt ako v decembri zime 2010/2011.

Z grafov je taktiež viditeľný rozdielny priebeh skúmaných charakteristík na voľnej ploche a v lesnom poraste. V zimnom období je v lese naakumulovanej približne o polovicu menej vody ako je tomu na voľnej ploche (viď obr. 2). Kvôli intercepcii korún stromov v období akumulácie snehu pôsobí les ako filter. POBEDINSKIJ – KREČMER (1984) uvádzajú, že vodná hodnota snehu v poraste môže byť až do 35 % nižšia ako na voľnej ploche, v dôsledku vysokej intercepcie snehu. Namerané výšky snehovej pokrývky v lese miestami dosahujú iba polovičné hodnoty oproti voľným plochám. Uvedená hodnota je však závislá od množstva snehových zrážok a druhovej skladby, zápoja a veku porastu (HRÍBIK – ŠKVARENINA, 2006). Na jar pri topení snehu, vďaka špecifickým klimatickým vlastnostiam lesného porastu sa snehová pokrývka v lese topí pomalšie ako na voľnej ploche a pretrváva dlhší čas. Na obr. 3 v mesiaci apríl najlepšie vidíme, že vodná hodnota snehu v lese dosahuje (niekedy až presahuje) hodnoty namerané na voľnej ploche, pretože zatienené plochy snehovej pokrývky sú charakteristické stabilnejšími podmienkami. Klíma lesa sa vyznačuje menšou intenzitou slnečného žiarenia v poraste ako na voľnej ploche, tým je priebeh teplôt vzduchu počas dňa vyrovnanjší, čo zapríčiňuje zníženie intenzity topenia snehovej pokrývky, pomalšie prebiehajúcu metamorfózu snehu a taktiež nižšia intenzita vetra vylučuje odvatie snehu z porastu na voľnú plochu (HOLKO – KOSTKA, 2008, HRÍBIK – ŠKVARENINA, 2006).



Obr. 2 Priebeg výšky snehu (vľavo) a vodnej hodnoty snehu (vpravo) v priebehu sledovaných sezón zobrazený pre december, január, február

Fig.2 The snow depth (left) and snow water equivalent (right) from monitored winter seasons in December, January, February



Obr. 3 Priebeh výšky snehu (vľavo) a vodnej hodnoty snehu (vpravo) v priebehu sledovaných sezón zobrazený pre marec, apríl

Fig. 3 The snow depth (left) and snow water equivalent (right) from monitored winter seasons in March, April

4 ZÁVER

Prezentovaná práca sa zaoberá zhodnotením priebehu hydrofyzikálnych vlastností snehovej pokrývky vo vybraných zimných obdobiach v oblasti Chopku (Nízke Tatry). Zamerali sme sa na výšku a vodnú hodnotu snehovej pokrývky. Pravidelný monitoring sme uskutočnili počas zimných sezón 2009/2010, 2010/2011, 2011/2012 a 2012/2013 v Nízkych Tatrách na výškovom tranzekte od 1 000 do 2 000 m n. m. Sledovali sme vplyv nadmorskej výšky, časový priebeh a vplyv lesného porastu. Výsledky môžeme zhrnúť nasledovne:

- výška snehovej pokrývky a vodná hodnota snehu zákonite rastie do nadmorskej výšky 1 500 – 1 800 m n. m., potom sledujeme pokles spomínaných charakteristík v dôsledku snehového driftu,

- výška a vodná hodnota snehovej pokrývky je na voľnej ploche vyššia ako v lesnom poraste v čase kulminácie snehu, pri topení snehu sme zistili opačný jav,
- maximálne hodnoty hydrofyzikálnych vlastností snehu sa v nižších polohách vyskytujú v mesiacoch december – január, vo vyšších polohách sme zaznamenali časový posun na február – marec,
- na začiatku zimy je nástup snehovej pokrývky vo všetkých nadmorských výškach vyrovnaný,
- vzhľadom na veľkú variabilitu snehových pomerov na voľných plochách nemusí byť vzťah s nadmorskou výškou vždy vhodnou charakteristikou priestorového rozloženia snehu a je potrebné zamerať sa na odhad redistribúcie snehu vplyvom vetra.

Podakovanie

Tento príspevok je výsledkom realizácie projektu: Centrum excelentnosti pre podporu rozhodovania v lese a krajine, ITMS: 26220120120, podporovaný Výskumným a vývojovým operačným programom financovaným z ERDF (20 %).



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku / Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

Tento príspevok je tiež podporovaný grantmi na výskum VEGA 1/1130/12 (40 %), VEGA 1/0281/11 (10 %), VEGA 1/0257/11 (10 %) zo Slovenskej grantovej agentúry pre vedu a Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci zmluvy č. APVV 0423-10 (20 %).

Použitá literatúra

- BARNETT, T.P. et al. 1989. The effect of Eurasian snow cover on regional and global climate variations. In Journal of the atmospheric sciences. [online]. 1989, vol. 46, no. 5. [cit. 2012-04-05]. Dostupné na internete: <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0469%281989%29046%3C0661%3ATEOESC%3E2.0.CO%3B2>>.
- DEWALLE, D. R. – RANGO A. 2008. Principles of snow hydrology. New York: Cambridge University Press, 2008. 410 p.
- HOLKO, L. 2000. Vyhodnotenie dlhodobých meraní parametrov snehovej pokrývky v horskom povodí. In Acta Hydrologica Slovaca. 2000, roč. 1, č. 1, s. 15–22.
- HOLKO, L. – KOSTKA, Z. 2008. Hydrological characteristics of snow cover in the Western Tatra Mountains in winters 1987–2008. In Folia Geographica. ISSN 0071-6715, 2008, vol. 39, p. 63–77.
- HOLKO, L. – KOSTKA, Z., PARAJKA, J., 2001: Snehová pokrývka. Životné Prostredie, č. 3, s. 138–141.
- HRÍBIK, M. 2006. Imisné vstupy síry, dusíka a ťažkých kovov snehovými zrážkami do horských ekosystémov NAPANTu. In Monitorovanie a hodnotenie stavu životného prostredia VI. Zvolen: FEE TUZVO vo Zvolene a ÚEL SAV vo Zvolene, 2006. s. 85–91.

- HRÍBIK, M. – ŠKVARENINA, J. 2006. Vplyv nadmorskej výšky, expozície, porastu a druhu porastu na hydrofyzikálne vlastnosti snehovej pokrývky v Biosférickej rezervácii Poľana, v zimách 2003/04, 2004/05. In: 11. stretnutie snehárov : zborník ze seminára. Jablonec nad Nisou: Český hydrometeorologický ústav, 2006. s. 30–40.
- HRUŠKOVÁ, K. – KYSELOVÁ, D. – FAŠKO, P. – PECHO, J. 2007. Stanovenie zásob vody v snehovej pokrývke v prostredí GIS. In “Bioclimatology and natural hazards“ International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovakia, September 17–20 2007, [online]. [cit. 2012-10.10]. Dostupné na <http://www.cbks.cz/SbornikPolana07/pdf/Hruskova_et_al.pdf>.
- KONČEK, M. – BRIEDOŇ, V. 1964. Sneh a snehová pokrývka na Slovensku. 1. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, 1964. 76 s.
- LAPIN, M. – TEKUŠOVÁ, M. 2002. Rýchlosť a smer vetra a inverznosť územia. In Atlas krajiny Slovenskej republiky. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR, Banská Bystrica: Slovenská agentúra životného prostredia. 2002. s. 100.
- LAPIN, M. – FAŠKO, P. – PECHO, J. 2007. Snow cover variability and trends in the Tatra mountains in 1921–2006. In Proceedings of the 29th International Conference on Alpine Meteorology Chambéry, France, 4.–8. June 2007. [online]. [cit. 2012-04-02]. Dostupné na internete: <http://www.cnrm.meteo.fr/icam2007/ICAM2007/extended/manuscript_174.pdf>.
- MIDRIAK, R. 1983. Morfogenéza povrchu vysokých pohorí: morfológická štúdia s osobitným zreteľom na deštrukciu pôdy v Západných Karpatoch. Bratislava: VEDA – vyd. SAV, 1983. 513 s.
- OTN ŽP 3109:02:2002: Kvalita povrchových vôd. Meranie a vyhodnocovanie snehových zásob v povodí.
- POBEDINSKII, A. V. – KREČMER, V. 1984. Funkce lesů v ochrane vod a půdy. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1984. 256 s.
- POLČÁK, N. – HLÁSNÝ, T. 2002. Mapa podnebia Európy. In Atlas krajiny Slovenskej republiky. Bratislava: Ministerstvo životného prostredia SR, Banská Bystrica: Slovenská agentúra životného prostredia. 2002. s. 94.
- SHMÚ, 2012: [online]. [cit. 2012-10.10] <http://www.shmu.sk/sk/?page=1744&ocid=193>
<http://maps.google.com/>, 2008
-

Adresa autorov:

Ing. Miriam Hanzelová

Ing. Matúš Hríbik, PhD.

Katedra prírodného prostredia

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: mirowka@gmail.com,

vrchar@gmail.com

Zhodnotenie hydrofyzikálnych vlastností snehovej pokrývky v oblasti Chopku za vybrané obdobie

Abstrakt

Snehová pokrývka je významná súčasť krajiny, ktorá vplýva na ekosystémy od globálneho až po lokálne merítko. Tým, že sa väčšina zrážok počas zimného obdobia akumuluje v podobe snehovej pokrývky, zadržiava v sebe veľké množstvo vody. Pri nepriaznivom priebehu počasia v jarnom období (tj. prudké oteplenie s dažďami) predstavuje výraznú hrozbu povodní. V sieti meteorologických staníc SHMÚ sa sleduje priebeh hydrofyzikálnych vlastností snehovej pokrývky. Rozmiestnenie týchto staníc je však vzhľadom na členitý reliéf územia Slovenska nereprezentatívny a limitovaný dostupnosťou terénu a ľudským faktorom. Väčšina snehomerných staníc je umiestnených do nadmorskej výšky 1 000 m, pričom snehové zásoby sa vytvárajú najmä v pohoriach. Tie potom pri jarnom topení snehu výrazne vplývajú na hydrologický režim našich vôd, preto je potrebné tieto merania dopĺňať expedičnými meraniami v teréne. Cieľom našej práce je zhodnotenie základných hydrofyzikálnych vlastností snehovej pokrývky (výška snehu a vodná hodnota snehu) v oblasti Chopku v Nízkych Tatrách na výškovom tranzekte 1 000 – 2 000 m n. m. Údaje boli získané expedičnými meraniami počas zím od roku 2009/2010 až po súčasnú prebiehajúcu zimnú sezónu 2012/2013 podľa štandardne používanej metodiky SHMÚ. Pri hodnotení sa zameriavame na vplyv nadmorskej výšky, priebehu času a lesného porastu na vybrané charakteristiky.

Kľúčové slová: snehová pokrývka, výška snehu, vodná hodnota snehu, Chopok

SIMULÁCIA LAVÍN V OKOLÍ OSADY MAGURKA MODELOM ELBA+

Martin BARTÍK – Matúš HRÍBIK – Jaroslav ŠKVARENINA

Bartík, M., Hríbik, M., Škvarenina, J.: Avalanche simulation in surrounding of settlement Magurka with ELBA+ model. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 1, 2013, 89–100.

In our thesis we focused on advanced software applications to enable simulation of an avalanche. We use these programs in assessing vulnerability of mountain environments by avalanche hits as well as in dimensioning technical measures against avalanches. We used a model ELBA+, by which we tried to assess the vulnerability of mountain environments around the old mining settlement called Magurka (1036 m a.s.l.), which lies below the main ridge of Low Tatras at the end of Lupčianská valley. The avalanche in the valley Ďurková from 14th March 1970 was written in history because it is still one of the largest avalanches recorded in Slovakia. Using archived data of Avalanche prevention Center in Jasná, we tried its most faithful reconstruction. Then we tried to simulate the avalanche of identical size in the present state of the forest, which allowed us to quantify the retarding effect of the forest on the avalanche path. In the next procedure we dealt with climate change, especially the possible increase of the forest up to the point of 1 600 m a.s.l. and the influence of this effect on the scale of the avalanche. In the last procedure we tried to simulate an avalanche in the valley Viedenka using the same amount of snow in the release zone as it was supposed to be in 1970. The results confirm the limited retarding effect of the forest in the avalanche path within such large avalanches. However, the forest has a very positive influence on the release zone to reduce the size of an avalanche.

Key words: snow avalanche, model ELBA+, Magurka, Low Tatras

1. ÚVOD

Lavíny patria k bežným úkazom našich hôr počas zimného obdobia. Pre obyvateľov horských osád ako aj pre návštevníkov z radov športovcov a turistov predstavujú úkaz, ktorý si už nie raz vyžiadal obeť v podobe ľudských životov. Ľudia už v minulosti hľadali spôsoby ako sa pred lavínami brániť. V snahe zabrániť vzniku lavín alebo zmierniť ich ničivé následky sú používané rôzne opatrenia, či už vo forme preventívnych, technických, biologických alebo organizačných (BUKOVČAN 1960). Pri rozhodovaní o preventívnych, ako aj o technických protilavínových opatreniach nám v dnešnej dobe môžu pomôcť softvérové aplikácie, hlavne vo forme simulačných programov. Ich cieľom je čo najvernejšie popísať pohyb lavíny územím. Umožňujú v danom teréne a pri konkrétnych podmienkach zistiť parametre potencionálnych lavín a tým napomáhajú hlavne pri odhade možného dosahu lavín. To nám môže pomôcť pri rozhodovaní o možnej evakuácii alebo uzávere lokality, ako aj pri územnom plánovaní. Zároveň sú vhodnými pomocníkmi

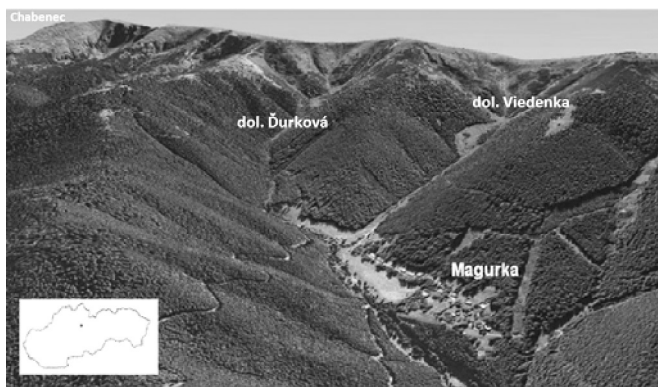
aj pri návrhu a dimenzovaní technických opatrení. Je potrebné podotknúť, že sa jedná o simulačné modely, čiže sa realite len približujú. Miera ich podobnosti realite závisí aj od podrobnosti vstupných údajov. Modely môžeme rozdeliť na fyzikálne alebo štatistické (McCLUNG, SCHAEERER 2006). Medzi najčastejšie používané štatistické modely patria alfa-beta model a runout ratio model. Fyzikálne modely ďalej rozdeľujeme na jednodimenziónné (VARA, AVAL 1D) alebo viacdimenziónné, ku ktorým patria: SFISAR, MN2D, Samos AT, ELBA+, RAMMS (BARBOLINI *et al.* 2000, BARTELT 2011, HEISER 2011).

2. METODIKA

2.1 Opis územia

Magurka vznikla ako pôvodne banícka osada rozprestierajúca sa v nadmorskej výške 1 036 m n. m. v závere Ľupčianskej doliny pod hlavným hrebeňom Nízkych Tatier v úseku Chabenec-Latiborská hora (obr. 1). Administratívne patrí k Partizánskej Ľupči, ale je od nej vzdialená takmer 20 km.

Z geologického hľadiska je okolie Magurky tvorené prevažne horninami kryštallika tatrika (ŠGÚDŠ 2008), na ktorých sa vyskytujú podzoly kambizemné, vo vyšších polohách modálne a humusovo-železité (ŠÁLY, ŠURINA 2002). Na nich rastú prevažne smrekové lesy s prímесou jedle a buka, ktoré vo vyšších polohách striedajú jarabina vtáčia s jelšou zelenou, na ne nadväzuje pásмо kosodreviny (NLC 2012).



Obr. 1 Osada Magurka a jej okolie (GOOGLE EARTH 2012)

Fig. 1 Settlement Magurka and its surroundings

2.2 Metodika práce s modelom ELBA+

Viacdimenziónný model ELBA+ založený na rastrovej interpretácii a slúži na modelovanie tečúcej lavíny. Pre výpočet používa Voellmyho a Mohr-Coulombovu schému trenia (VOLK 2005). Je plne integrovaná do ArcGIS 10, takže pri práci s geografickými

dátami nie je potrebná žiadna konverzia pri vstupných a výstupných dátach. K správe dát je potrebné vytvorenie vlastnej databázy programu. Toto je možné priamo z prostredia ArcGIS-u. Ako vstupné údaje vkladáme záujmovú oblasť, miesto odtrhu a digitálny model terénu. Pri otvorení databázy sa automaticky zobrazili tieto vrstvy:

ELBA_CATCHMENT – vymedzenie územia, jeho ohraničenie,

ELBA_CONTOURS – v tejto vrstve sú zobrazené výsledky, línie vybraných charakteristik (max. tlak, výška nánosu, max. výška toku, rýchlosť toku a iné),

ELBA_PROFILES – umožňuje nám lokalizovať pre nás zaujímavé línie, na ktorých chceme sledovať vybrané vlastnosti lavíny (napr. okolo ciest, pri stavbe galérii a pod.),

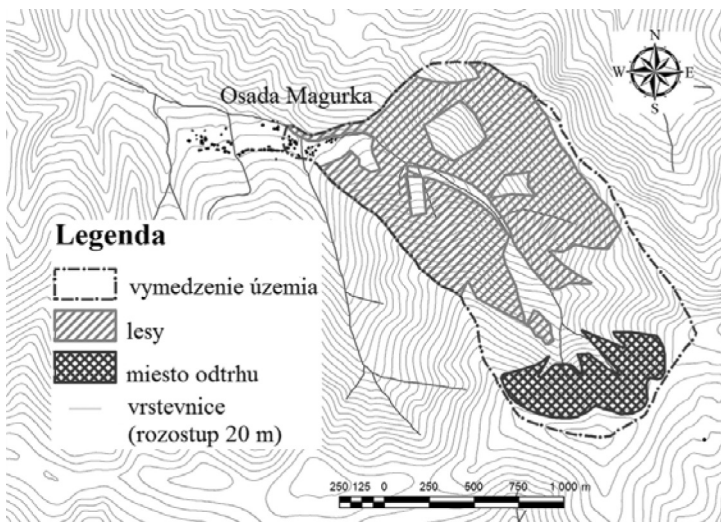
ELBA_RELEASEZONES – miesta odtrhov,

ELBA_SIMCLIPS – vrstva umožňujúca vkladanie doplňujúcich údajov, napr. o lesnatosti, drsnosti povrchu a pod.

Územie vymedzujeme pomocou príkazu Editor, či už digitalizovaním alebo importom polygónov. Pri miestach odtrhu cez digitalizovanie, kopírovaním alebo nahratím objektu. Totožný postup je aj pri stanovení profilov a doplňujúcich údajoch ako lesnatosť, drsnosť povrchu a pod. Ďalej nasleduje import digitálneho modelu terénu, či už vo formáte DEM alebo TIN. Odporúčané rozlíšenie sa pohybuje od 5 do 10 metrov.

V nasledujúcom kroku zadávame parametre pre simuláciu. Na tomto mieste nám program umožňuje zadanie výšky snehu v odtrhovom pásme, výšku strhávania snehu v dráhe lavíny, drsnosť a výber DMT. Tieto vstupné parametre môžeme zadávať paušálne pre celú oblasť, prípadne ako raster alebo polygón. Umožní nám aj výber medzi tromi možnými schémami trenia a to Voellmyho model, Mohr-Coulombov model alebo ich kombináciu. Ďalej umožňuje nastavenie podrobnejších parametrov, ako napr. minimálna výška toku lavíny, hustota snehu, kritické napätie a pod. Program umožňuje aj štandardné nastavenie, kde sa tieto údaje automaticky naimportujú podľa zvolenej výšky snehu, jeho hustoty a modelu.

V prvom kroku sme sa snažili priblížiť čo najviac udalosti zo 14. marca 1970 v Ďurkovej, pričom sa mali k dispozícii náčrt nánosu lavíny a údaje o jej objeme, približnú výšku odtrhu, ako aj jej ďalšie charakteristiky. Ako najviac realite sa približujúci model sa nám javil kombinovaný model pri zadaní priemernej výšky odtrhu 1,7 metra, koeficientu trenia pre les 1 a mimo neho 0,2, minimálnej výšky toku 1 m, s hĺbkou strhávania 0,5 m snehu v dráhe lavíny. Ďalej sme použili tieto údaje pri páde rozsahom zhodnej lavíny v súčasnosti, to znamená pri terajšej rozlohe lesov. Klimatické zmeny vedú k nárastu teploty a tým aj k teoretickému vzostupu hornej hranice lesa (IPCC 2001, MINĐÁŠ *a kol.* 2011). Preto sme sa v našej práci pokúsili nasimulovať, ako by sa daná lavína správala pri hornej hranici lesa vo výške 1 600 m n. m. Pri tomto variante došlo k zmenšeniu rozlohy odtrhového pásma, keďže počítame s tým, že les dokonale ochráni územie pred vznikom lavíny. Následne sme použili tie isté parametre aj pre dolinu Viedenka. Na záver sme nasimulovali lavínu v tejto doline, ktorá padla koncom februára tohto roku (2013). Údaje pre simuláciu sme získali s archívnych materiálov SLP v Jasnej, ďalej nám boli od pracovníkov SLP poskytnuté ortofotosnímky, DEM, vektorizované miesta odtrhov, stav lesa v minulosti. Aktuálna rozloha lesa bola získaná vektorizáciou podľa ortofotosnímok. Vstupné údaje pre simuláciu lavíny z roku 1970 vidíme na obr. 2.



Obr. 2 Zobrazenie vstupných údajov pre simuláciu lavíny z roku 1970
Fig. 2 Input data for avalanche simulation from year 1970

3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

3.1 Rekonštrukcia lavíny z roku 1970

Pri hodnotení výsledkov našej simulácie sme tieto konfrontovali (tab. 1) najmä s týmito dvoma zdrojmi: MILAN a KRESÁK (1970) a BISKUPIČ a kol. (2011). Prvým sú svedkovia následkov lavínovej udalosti, a to členovia SLP, ktorí rozsah a dráhu lavíny podrobne zmapovali. Dokumenty sú uložené v archíve SLP. Lavína bola toho času tretia najväčšia zaznamenaná na území Slovenska, čím vzbudila patričný záujem, vďaka ktorému máme dnes jej podrobné parametre, čo sa týka lokalizácie odtrhového pásma, lavínovej dráhy, ako aj veľkosti a rozloženia nánosu. S ich použitím sa pokúsili Biskupič a kol. (2011) o jej vernú rekonštrukciu pomocou simulačného modelu RAMMS.

Simulácia lavíny s roku 1970 sa vyznačuje vysokou mierou zhody, najmä čo sa týka dosahu. Nami nasimulovaná lavína je o 8 m kratšia, ako bol svedkami uvádzaný dosah lavíny v roku 1970. Pri dĺžke 2 200 metrov to tvorí 0,4 %. Pripomínáme, že výsledky sme odvodzovali z rastrového súboru s rozlíšením bunky rastra 5 metrov. Teda, čo sa týka dĺžky lavíny naším výstupom sme sa verne priblížili hodnote skutočnej lavíny. Podobné výsledky zo simulácie RAMMS dosiahol aj Biskupič a kol. (2011).

Pri zhodnotení objemu lavíny nám ju simulácia mierne podhodnotila a to o cca 10 %. Parametre, ktoré najvýraznejšie vplývali na daný výsledok boli najmä výška snehu v odtrhovom pásme ako aj strhávanie snehu v lavínovej dráhe. My sme použili výšku odtrhu paušálne 1,7 metra a hĺbku strhávania 0,5 m. Práve pri tomto parametre sa nám naskytuje veľa nejasností. MILAN a KRESÁK (1970) v správe o lavíne uvádzajú, že výška tržnej steny

predstavovala v žľaboch až 12 metrov, minimálne 1,8 metra a ako priemer 2,6 metra. Ako najpresnejšie sa nám zdá jej zadanie pre jednotlivú bunku rastra, teda podrobné rozloženie snehu v odtrhovom pásme, avšak k tomu by sme potrebovali podrobnejšie meteorologické údaje o smere a intenzite vetra v určitom časovom horizonte, najmä počas posledného intenzívneho sneženia a v období po ňom.

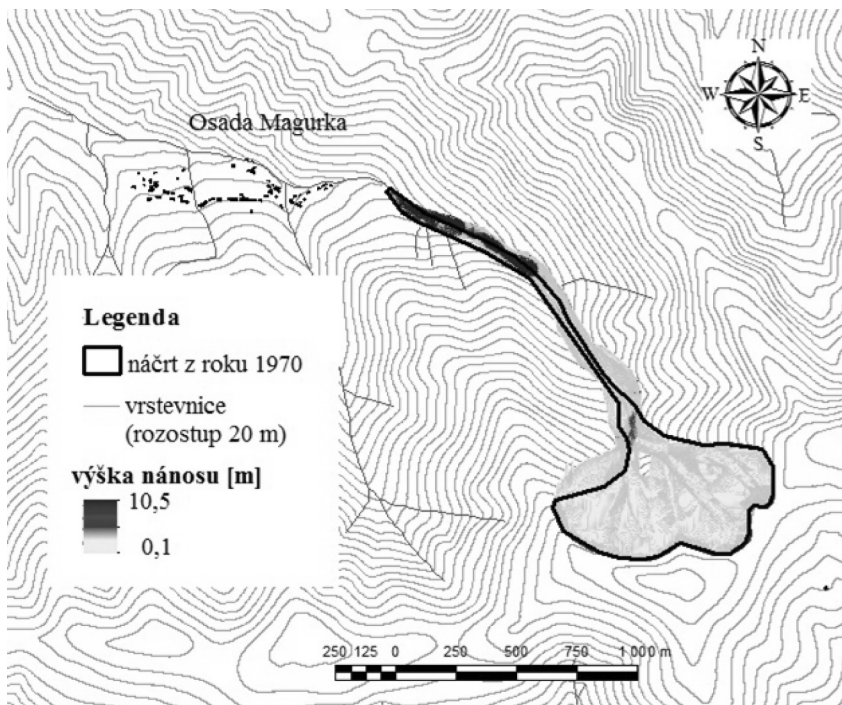
Tab. 1 Porovnanie výsledkov modelu ELBA+, RAMMS so skutočnosťou

Tab. 1 Comparison of model results ELBA +, RAMMS with reality

Parameter	Nameraná hodnota (MILAN, KRESÁK 1970)	Výsledok RAMMS (BISKUPIČ a kol. 2011)	Výsledok ELBA+	Rozdiel medzi skutočnosťou a ELBOU+	Relatívna odchýlka
Dĺžka lavíny [m]	2 200	2 221	2 192	8	−0,4 %
Dĺžka nánosu [m]	1 800	1 725	1 800	0	0 %
Objem nánosu [m ³]	625 000	626 029	563 858	− 61 142	−9,8 %
Výška čela lavíny [m]	20–25	4–5	4–5	−16–20	−80 %
Plocha lavíny [ha]	39,1	51,4	51,2	12,1	+30,9 %

Výraznejšie podhodnotenie až o 80 % však sledujeme pri výške čela lavíny. K možným prameňom výraznej odchýlky na prvom mieste radíme neschopnosť modelu nasiťulovať strhnutie cudzieho materiálu do toku lavíny. Les pokrýval spodnú časť lavínovej dráhy, ako aj okrajové časti v hornej polovici (obr. 2). Pri takomto rozsahu lavíny došlo k jeho úplnému zničeniu. Materiál v podobe polámaných kmeňov, koreňov a vetiev sa dostáva do toku lavíny, čím sa mení jej vnútorné trenie. Nastáva spomaľovanie a tlak masy lavíny zo zadnej časti vyzdvihuje jej čelo vyššie. Pričom pri našej simulácii sa les podieľal len ako vonkajší spomaľovací faktor pri drsnosti povrchu, ktorý sa zmenil z hodnoty 0,2 v nelesnom prostredí na hodnotu 1 v lese. Ešte pripomenieme, že so zvyšujúcim sa obsahom cudzieho materiálu, ktorým lavína obohatí svoj tok počas pohybu terénom výrazne rastie jej škodlivý potenciál (BUKOVČAN 1960). MILAN (2006) uvádza, že lavína zničila les o rozlohe 3,6 ha so 600 m³ drevnej hmoty.

Celková plocha lavíny je v našom prípade nadhodnotená o cca. 31 %. Nami nasiťulovaná lavína sa viacej rozširuje do strán, viac „rozteká“. V skutočnosti bola lavína viac lokalizovaná v dolinke s menším postranným rozširovaním. Prvotný výstupy z modelu poukazovali na ešte väčšie rozširovanie lavíny avšak po úprave vstupného parametra minimálnej výšky toku z prvotných 0,1 m na 1 m sme dosiahli vyššiu zhodu s realitou. Problém prílišného rozširovania simulovaných lavín s modelom ELBA + uvádza aj Volk (2005). Na obr. 3 vidíme rozdiely medzi nánosom a dráhou nami nasiťulovanej lavíny a náčrtom lavíny z roku 1970.



Obr. 3 Porovnanie výsledku simulácie nánosu a dráhy lavíny so skutočnosťou
Fig. 3 Comparison of ELBA+ result with reality

3.2 Simulácia lavíny v súčasnosti

Pri tomto variante sme použili tie isté vstupné parametre dosiahnuté pri čo najvernejšom nasimulovaní lavíny z roku 1970. Zaujímalo nás, čo by sa stalo, ak by lavína zhodného rozsahu padla dnes. Samozrejme stav lesa sa za viac ako 40 rokov zmenil, avšak nedosiahol svojim rozšírením do odtrhového pásma lavíny, ale je lokalizovaný len v jej dráhe. Na tomto scenári chceme poukázať brzdiaci vplyv lesa v lavínovej dráhe pri lavínach veľkého rozsahu. MARGRETH (2004) ako aj KŇAZOVICKÝ (1967) uvádzajú obmedzený retardačný vplyv lesa na priebeh lavíny. K podobným výsledkom sme dospeli aj my pri porovnaní výsledku simulácie lavíny z roku 1970 a dnes.

Celkovo by sme mohli povedať, že les by dnes skrátil dosah lavíny o 50 metrov (tab. 2), čo predstavuje cca 2 % jej pôvodného dosahu. Čo sa týka ostatných parametrov obidvoch lavín sú približne v zhode. Pri zhodnotení vplyvu lesa by bolo vhodné pripomenúť, že model ho zohľadňuje len pri drsnosti povrchu. Nárast ničivej sily lavíny, ako aj zmena vnútorného trenia sa nezohľadňujú. Keďže sa nezmenila rozloha odtrhového pásma, lavína sa vyznačuje takmer zhodným objemom. Nepatrný rozdiel 0,3 % môžeme pripísať jej kratšiemu dosahu spôsobenému lesom, pričom sa znížil objem lavíny o sneh strhnutý na tejto dráhe.

Tab. 2 Prehľad výsledkov simulácii
Tab. 2 Summary of simulation results

Parameter	Lavína 1970	Lavína v súčasnosti	Rozdiel (relatívna odchýlka)	Lavína pri vzostupe lesa na 1 600 m n. m.	Rozdiel (relatívna odchýlka)	Lavína vo Viedenke
Dosah [m]	2 192	2 142	-50 (-2,3 %)	1 885	-307 (-14 %)	2 230
Objem nánosu [m ³]	563 858	562 408	-1 450 (-0,3 %)	436 633	-127 225 (-23 %)	610 173
Odrhové pásmo [ha]	26,44	26,44	–	18,60	-7,84 (-30 %)	27,50
Objem odtrhu [m ³]	449 820	449 820	–	316 583	-133 237 (-30 %)	467 628
Plocha lavíny [ha]	51,2	50,8	-0,4 (-0,8 %)	44,5	-6,7 (-13 %)	58,0
Maximálna rýchlosť [m.s ⁻¹]	40	40	–	39	-1 (-5 %)	36
Maximálny tlak [kPa]	475	475	–	459	-16 (-3 %)	388

3.3 Simulácia lavíny pri vzostupe lesa na 1 600 m n. m.

Vytvorili sme scenár vzostupu hornej hranice lesa až do nadmorskej výšky 1 600 m n. m. pri ktorom sme zisťovali, ako by sa tento jav prejavil vo vzťahu k lavínam. Chceli by sme pripomenúť, že vstupné parametre týkajúce sa meteorologických podmienok ako napr. výšky a vlastnosti snehovej pokrývky ostali totožné, aj keď sa vo všeobecnosti predpovedá vzostup teploty a tým aj menej zrážok vo forme snehu v nižších nadmorských výškach, čo zapríčiňuje kratšie obdobie so snehovou pokrývkou v nižších lokalitách, avšak na druhej strane narastajúce extrémne počasia, ktoré sa môže prejsť extrémnym množstvom nového snehu, prípadne prudkými výkyvmi teplôt, náhlím oteplením, ktoré môžu za daných podmienok zvyšovať riziko vzniku lavín. Vzhľadom sa dané skutočnosti, nie je zaznamenaný žiadny trend vo výskyte a rozsahu lavín vplyvom klimatických zmien a jeho prognózovateľnosť je značne komplikovaná (VOIGT *et al.* 2010, AMMANN 2003).

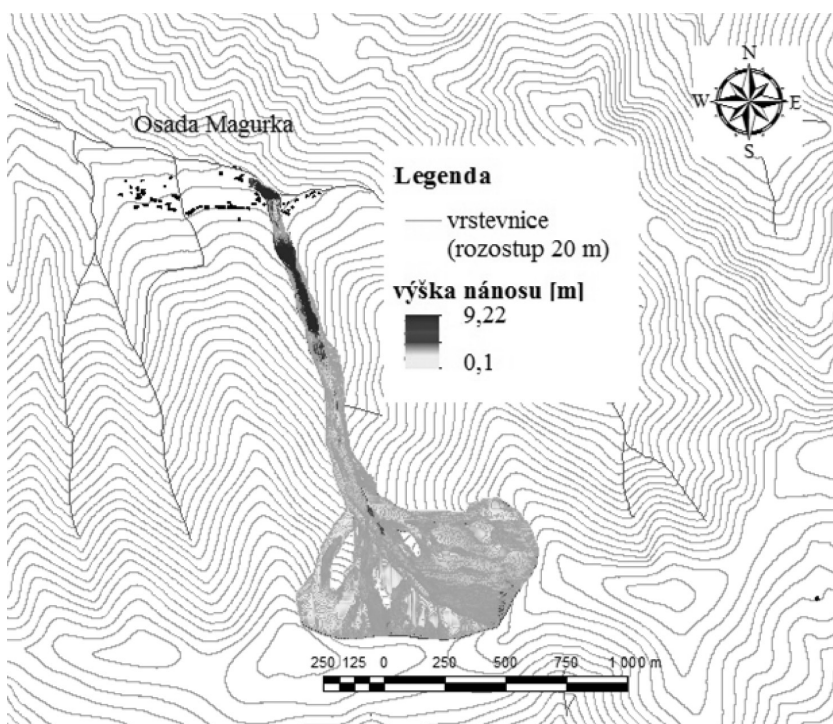
Z tohto titulu sme sa pri simulácii zamerali hlavne na vplyv lesa. Tým, že les zabráňuje vo svojom areáli vzniku lavín (MIDRIAK 1977), jeho vzostupom až po hranicu 1 600 m n. m. došlo k redukcii rozlohy odtrhového pásma a tým aj objemu masy snehu v odtrhu. Rozloha odtrhového pásma, ako aj objem masy snehu v ňom sa zredukoval cca. o 30 % oproti pôvodnému scenáru.

Vplyv lesa, pri jeho rozšírení až do pásma odtrhu, sa priaznivo prejavil aj pri výsledku dosahu lavíny. V tomto prípade je lavína kratšia o cca 300 m, čo predstavuje 14 % rozdiel v dĺžke. Lavína je celkovo svojimi parametrami menej rozsiahla ako v predchádzajúcich prípadoch. Zasiahla by plochu o 6,7 ha menšiu ako nami nasimulovaná lavína z roku 1970, čo predstavuje rozdiel cca 13 %. Redukciou masy snehu v odtrhovom pásme sa znížila aj maximálna výška toku a to zhruba o 1/3 a mierne poklesol maximálny tlak

lavíny, ktorý však aj tak výrazne, viac ako 4-násobne prekračuje hranicu 100 kPa, ktorej vo všeobecnosti dokážu zdravé, dospelé stromy odolieť.

3.4 Simulácia lavíny v doline Viedenka

Na záver sme sa pokúsili nasimulovať lavínu s priemernou výškou odtrhu 1,7 m a zadání totožných parametrov získaných pri kalibrácii lavíny z roku 1970 v Ďurkovej aj v doline Viedenka. Podľa výsledkov by lavína mala dĺžku 2 230 metrov, objem 610 000 m³ a celkovú rozlohu 58 ha. Keďže časť osady Magurka je situovaná práve v ústí dolinky Viedenky, podľa nášho výsledku simulácie, by lavína takéhoto rozsahu zasiahla jej intravilán a zastavila sa až na lúke pod osadou.



Obr. 4 Výška nánosů a dosah simulovanej lavíny v doline Viedenky
Fig. 4 Simulated avalanche in valley Viedenka

Predpokladaný nános lavíny môžeme sledovať na obr. 4. Daný dosah lavíny umožňuje priamy priebeh doliny Viedenky ako aj kratšia vzdialenosť medzi osadou Magurka a hlavným hrebeňom Nízkyh Tatier. Kriticky však musíme skonštatovať, že záznamy o lavínach podobného rozsahu v doline Viedenky a prípadnom zásahu Magurky v histo-

rických prameňoch chýbajú. V roku 1984 si tu vyžiadala lavína jednu ľudskú obeť avšak jej dosah bol krátky a nános nie príliš hlboký (MILAN 2006). Stopy po inej rozsahom väčšej lavíny je možné nájsť ešte aj dnes, keď v hornej polovici doliny, pod vyústením strmších žľabov, lavína pravdepodobne z krajného ľavého žľabu (v smere doliny), celkom zničila les v protisvahu.

Pri zásahu intravilánu osady by lavína podľa výsledkov simulácie mohla dosiahnuť výšku toku 5 až 7 metrov, tlak do 70 kPa a rýchlosť cca. 15 m.s^{-1} . Dané výsledky môžu byť veľmi podhodnotené. Tlak a tým aj ničivý potenciál lavíny by bol podstatne vyšší, keďže by sa nejednalo o čistú snehovú lavínu ale bol by v nej primiešaný cudzí materiál ako polámané kmene, vytrhnuté korene, úlomky vetiev z vyššie stojacich porastov, ktoré by lavína zasiahla a zničila pri svojej ceste dolinkou.

Koncom februára roku 2013 došlo v spomínanej doline k pádu stredne veľkej až veľkej lavíny podľa klasifikácie veľkosti lavín (TIROL. LANDESREGIERUNG 2009). Lavína sa pravdepodobne samovoľne uvoľnila z dvoch žľabov, nachádzajúcich sa v strede odtrhového pásma. Rozsah lavíny sme podrobne zmapovali a zamerali pomocou GPS prístrojov. Výška nánosu sa pohybovala v rozmedzí od 1 do 2 metrov, pričom sa v ňom nachádzalo množstvo drevnej hmoty a pôdy. Lavína bola dlhá cca 1 200 metrov a pri ceste zničila cca 1,5 ha lesa. Výšku snehu v odtrhovom pásme sme odhadli na 1 m. Následne sme sa pokúsili o nasimulovanie aj tejto lavíny v programe ELBA+, pričom čo sa týka rozloženia nánosu sme sa výrazne priblížili skutočnému stavu. Dosah nami nasimulovanej lavíny bol dlhší o cca 25 m, čo však pri celkovej dĺžke lavíny predstavuje 2 %. Pripomíname, že pri tejto simulácii sme použili iné parametre ako pri lavínach opisovaných v predchádzajúcich častiach, keďže táto lavína bola podstatne menšieho rozsahu a padla za iných podmienok (teplota, sneh...) museli sme zmeniť koeficient trenia μ pre lavínovú dráhu z hodnoty 0,155 na 0,3 a pre zónu ukladania z 0,35 na 0,4, čím sme dosiahli vyššiu zhodu s reálnou lavínou. Uvedené hodnoty koeficientov trenia sme získali interpoláciou.

4. ZÁVER

Modely používané na simuláciu lavín nám podávajú obraz o veľkosti a dosahu potencionálnych lavín. Môžeme ich využiť pri lavínovej prevencii ako aj pri návrhu a dimenzovaní technických protilavínových opatrení. Ďalšou možnosťou je posúdenie vplyvu lesa ako dôležitého prvku v oblasti protilavínovej ochrany.

Naše výsledky z aplikácie modelu ELBA+ na simuláciu lavín by sme mohli zhrnúť do týchto nasledovných bodov:

- Lavínu zo 14. marca 1970 sa nám podarilo relatívne presne rekonštruovať, čo sa týka jej dĺžky (rozdiel 0,4 %) a objemu (rozdiel 10 %).
- Po zhodnotení výšky nánosu a celkovej plochy bola skutočná lavína viac kanalizovaná ako naša výsledná namodelovaná lavína, ktorá sa vyznačuje výrazným postranným rozširovaním a tým aj nižšou výškou čela lavíny. Došlo k výraznému podhodnoteniu výšky čela (rozdiel 80 %).

- Pri súčasnom rozšírení lesa, ktorý je oproti roku 1970 viac zastúpený v lavínovej dráhe, nesledujeme výrazný brzdiaci účinok (50 m, čo predstavuje 2,3 %). Jeho vplyv je pri takto rozsiahlej lavíne silne ohraničený.
- Výraznejší vplyv môžeme sledovať pri vzostupe lesa po hranicu 1 600 m n. m., a to skrátenie dosahu lavíny o viac ako 307 m (14 %), ktoré je spôsobené hlavne redukciou masy snehu v odtrhu, keďže vzostupujúci les dosiahol pásmo odtrhu a tým stabilizoval snehovú pokrývku nachádzajúcu sa na jeho území.
- Pri páde lavíny v doline Viedenka s priemernou výškou snehu v odtrhovom pásme po sklzný podklad 1,7 m a pri zohľadnení všetkých potencionálnych miest odtrhu by lavína pravdepodobne zasiahla pri súčasnom stave lesa časť osady Magurka.
- Takáto lavína by svojím objemom a rozsahom až 58 ha pravdepodobne prekonala lavínu v Ďurkovej z roku 1970.
- Výška toku lavíny by mohla pri vniknutí do časti osady dosiahnuť 5 až 7 metrov a zastavila by sa pri náraze do protisvalu na lúke pod ňou.
- Pri hodnotení reálnosti výsledkov simulácie je potrebné vykonať približnú kalibráciu modelovania alebo skúmať reálnosť danej situácie aj za pomoci historických údajov ako sú kroniky, fotky, maľby alebo stopy po lavínovej aktivite v prostredí.

6. Literatúra

- AMMANN, W.J., 2003. Lawinen. In: *Extremereignisse und Klimaänderung*. Bern: OcOO. 2003. ISBN 3-907630-23-8. p. 77–80.
- BARBOLINI, M., GRUBER, U., KEYLOCK, C.J., NAAIM, M., SAVI, F., 2000. Application of statistical and Hydraulic-continuum dense-snow avalanche models to five real European sites. In: *Cold Regions Science and Technology*. 2000. 31. pp. 133–149.
- BARTELT, P., et al. 2011. *RAMMS-User Manual v1.4 Avalanche*. [online] 2011. [cit.02-04-2012] Dostupné na internete <http://ramms.slf.ch/ramms/downloads/RAMMS_AVAL_Manual.pdf>
- BISKUPIČ, M., a kol., 2011. Rekonštrukcia historickej lavíny s využitím moderných nástrojov GIS. In *Životné prostredie*. 2011. 45. 2. s. 83–88.
- BUKOVČAN, V. 1960. *Lavíny a lesy*. Bratislava: Slovenské vydavateľstvo pôdohospodárskej literatúry n. p. 1960. 196 s.
- GOOGLE EARTH, 2012. [cit. 02-04-2012].
- HEISER, M. 2011. *Schnee- und Lawinengefahren: Analyse und Bewertung*. [online] 2011. [cit.02-04-2012] Dostupné na internete: <<https://online.boku.ac.at/BOKUonline/>>
- IPCC 2001. *Climate Change 2001. Impact, Adaptation, and Vulnerability*. [online]. Cambridge [cit. 02-04-2012] Dostupné na internete: <www.ipcc.ch>
- KŇAZOVICKÝ, L., 1967. *Lavíny*. Bratislava: Vydavateľstvo SAV. 1967. 264 s.
- MARGRETH, S., 2004. Die Wirkung des Waldes bei Lawinen. In: *Forum für Wissen 2004*. [online] 2004. [cit. 02-04-2012]. Dostupné na internete: <<http://www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/pdf/6203.pdf>>
- MCCLUNG, D., SCHAEERER, P., 2006. *The Avalanche Handbook*. Seattle: The Mountainneers Books. 2006. 342 p.
- MIDRIAK, R., 1977. *Protilavínová ochrana lesa*. Bratislava: Príroda. 1977. 218 s.
- MILAN, L., KRESÁK, K., 1970. *Správa o lavínovej udalosti zostavená dňa 10. 6. 1970*. Archív SLP HZS. Jasná. 1970. 15 s.
- MILAN, L., 2006. *Lavíny v horstvách Slovenska*. Bratislava: Veda. 2006. 152s. ISBN 80-224-0894-8
- MINDÁŠ, J., PÁLENÍK, V., NEJEDLÍK, P. (eds), 2011. *Dôsledky klimatickej zmeny a možné adaptačné opatrenia v jednotlivých sektoroch*. Záverečná správa Operačného programu OPŽP-PO3-08-5 ITMS 24130120015, Zvolen – Bratislava, EFRA: 253 s.

- NLC., 2012. *Lesnícký informačný systém*. [online] 2012. [cit.02-04-2012] Dostupné na internete: <<http://lvu.nlc.sk.org/lgis/>>
- ŠÁLY, R., ŠURINA, B., 2002. Pôdy. In *Atlas krajiny Slovenskej republiky*. Bratislava: MŽP SR. 2002. ISBN 80-88833-27-2. 106–107 s.
- ŠGÚDŠ 2008. *Geologická mapa SR*. [online] 2008. [cit.02-04-2012] Dostupné na internete: <http://mapserver.geology.sk/pgm_sk/mapviewer.jsf?width=1368&height=808>
- TIROL. LANDESREGIERUNG, 2009. *Ausbildungshandbuch der Tiroler Lawinenkommissionen*. Innsbruck: Amt der Tiroler Landesregierung. 2009. s. 290.
- VOIGT, T., et al., 2010, *Impacts of climate change on snow, ice, and permafrost in Europe: Observed trends, future projections, and socio-economic relevance*. ETC/ACC Technical Paper 2010/13, p. 89–94.
- VOLK, G. 2005. *ELBA+*. Pressbaum: NiT Technisches Buero GmbH. 2005. 94 s.
-

Pod'akovanie

Tento príspevok je výsledkom realizácie projektu: Centrum excelentnosti pre podporu rozhodovania v lese a krajine, ITMS: 26220120120, podporovaný Výskumným a vývojovým operačným programom financovaným z ERDF (50 %).



Agentúra
Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR
pre štrukturálne fondy EÚ



Podporujeme výskumné aktivity na Slovensku / Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov EÚ.

Tento príspevok je tiež podporovaný grantmi na výskum VEGA 1/1130/12 (30 %), VEGA 1/0281/11 (20 %).

Adresa autorov:

Ing. Martin Bartík
Ing. Matúš Hríbik PhD.
Prof. Ing. Jaroslav Škvarenina CSc.
Katedra prírodného prostredia
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
Masarykova 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
e-mail: bartikmartin@gmail.com
vrchar@gmail.com
skvarenina@tuzvo.sk

Simulácia lavín v okolí osady Magurky modelom ELBA+

Abstrakt

Moderné softvérové aplikácie umožňujúce simuláciu lavín využívame pri hodnotení ohrozenosti horského prostredia zásahom lavínou, ako aj pri dimenzovaní technických protilavínových opatrení. S použitím modelu ELBA+ sa snažíme zhodnotiť okolie starej banskej osady Magurka (1 036 m n. m.), ktorá leží v závere Ľupčianskej doliny, pod hlavným hrebeňom Nízkych Tatier. Osada bola mnohokrát zasiahnutá lavínami, ktoré si vyžiadali obeť na ľudských životoch, ako aj rozsiahle škody na lesných porastoch. S použitím archívnych údajov Strediska lavínovej prevencie v Jasnej (SLP) sme sa pokúsili o rekonštrukciu historickej lavíny z roku 1970. Následne sme sa snažili nasimulovať lavínu s totožnou veľkosťou pri dnešnom stave lesa, ako aj pri možnom vzostupe lesa až po hranicu 1 600 m n. m. Ďalej sme sa pokúsili o simuláciu lavíny v doline Viedenka pri použití rovnakej výšky snehu v odtrhovom pásme ako sa predpokladá pri lavíne v roku 1970. Na záver sa pokúšame o nasimulovanie tohtoročnej lavíny v tejto doline. Výsledky potvrdzujú výrazne ohraničený retardačný účinok lesa v lavínovej dráhe pri takto rozsiahlych lavínach, avšak jeho veľmi priaznivý vplyv v odtrhovom pásme na zníženie rozsahu lavíny. Les je výrazným stabilizujúcim prvkom pre snehovú pokrývku a za určitých podmienok úplne vylučuje vznik lavín.

Kľúčové slová: lavíny, model ELBA+, Magurka, Nízke Tatry

ÚČINOK VYBRANÝCH STIMULAČNÝCH PRÍPRAVKOV NA RAST SEMENÁČIKOV SMREKA OBYČAJNÉHO (*PICEA ABIES* [L.] KARST.)

Daniel Š U Š L Í K

Šušlík, D.: The effect of selected stimulation preparations on creation of mycorrhiza and growth of seedlings of spruce. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 1, 2013, 101–112.

The main aim of my work was to monitor the impact of stimulating preparation on plant biometric characteristics, growth and range of mycorrhizal symbiosis spruce seedlings. Experiment consisted of four variants with threefold repetition. To keep optimum environmental conditions whole experiment was realized in the greenhouse. Roots-free spruce seedlings grown in pots 2 years with the substrate to which they applied mycorrhizal preparation Ectovit, Mycorrhizaroots and stimulator Vetozen. After the 2nd growing season were planted to pots of Plantek 35 F. After each growing season were collected samples and evaluated the growth of seedlings, after the third growing season also mycorrhizal symbiosis on the roots of plants. For control reasons we established the control repetition without use any preparation. The collected samples, we investigated the value of the root neck thickness, height aboveground parts, root number, dry weight of aboveground and root part. In evaluating the extent of the root system colonized by symbiotic fungi after third growing season we used a magnifying glass and distinguished the roots whit and without mycorrhizal symbiosis. When we were looking mycorrhizal roots, we distinguished a different morphotypes. Observed values were evaluated by univariate analysis of variance. Based on the evaluation of each growing season, we can confirm that the product Ectovit had a most positive effect on nearly all monitored biometric parameters.

Key words: norway spruce, mycorrhiza, stimulator, seedling

1. ÚVOD A PROBLEMATIKA

Výmera lesov na Slovensku sa neustále zvyšuje. Od roku 1950 sa zvýšila o 13,4 % a podľa najnovších údajov je lesnatosť Slovenska približne 41 %. Smrek obyčajný ako druhá najzastúpenejšia drevina má významné postavenie v lesnom hospodárstve. Podľa zdrojov zo Zelenej správy 2012 má 25,1 % zastúpenie (ZELENÁ SPRÁVA 2012).

Snaha súčasného lesného hospodárstva neustále zvyšovať podiel prirodzenej obnovy lesa, je častokrát zmarená v dôsledku rôznych nepriaznivých vplyvov. Sú to napríklad rozsiahle kalamity spôsobené vetrom, hmyzími škodcami, ale tiež plochy zaťažené imísiami,

ťažko zalesniteľné plochy a iné prekážky, ktoré zabraňujú prirodzeným spôsobom obnoviť les na týchto plochách. Tu nachádza uplatnenie umelá obnova, ktorá poskytuje znovunavrátanie lesa na takto postihnuté miesta (SARVAŠ a kol. 2007). Nezanedbateľným atribútom fyziologicky vyspelého sadbového materiálu schopného odolávať rozmanitým stresovým faktorom prostredia výsadbových plôch je mykorízna symbióza (KROPP a LANGLOIS 1990, MARX 1991 in REPÁČ 2000). Bolo zistené, že zvlášť na plochách na ktorých chýbajú, alebo sú len v obmedzenom rozsahu prítomné zárodoky symbiotických húb (nelesné pôdy, imisné oblasti, nepriaznivé až extrémne plochy a pod.), môžu vysadené sadenice značne profitovať z mykoríznej symbiomy (RICHTER a BRUHN 1989 in REPÁČ 2000). Možnosť vlastnej umelej mykorizácie sadbového materiálu je niekoľko: lesná pôda, hrabanka, humus, mykorízne semenáčky, spóry či vegetatívne inokulum (PEŠKOVÁ 2000). Dreviny, pre ktoré je symbióza s hubami prirodzená a prospešná, sa môžu takto normálne vyvíjať a prejavíť svoj potenciál. Umelé podnietenie mykoríznej symbiomy môže byť jedným z prostriedkov, ako zlepšiť uجاتosť, odrastanie a odolnosť lesných kultúr (REPÁČ 1993).

Mykorízna symbióza je v prírode veľmi rozšírená. Mykoríza je nevyhnutná pre rýchly a zdravý rast a vývoj hospodársky významných lesných drevín. Mykorízne koreňky majú lepšiu schopnosť prijímať z pôdy minerálne živiny, najmä fosfor, dusík a draslík (ŠMELKOVÁ a kol. 2001).

Ektomykorízna symbióza je jednou z foriem symbióz medzi rastlinami a hubami. Plne vyvinuté ektomykorízy (EKM) sú skrátene, viac menej zhrubnuté koreňky, rôzne vetvené, bez koreňových vláskov. Stáva sa že inokulácia nestimuluje rast semenáčikov ba nie je nezvyčajné, že rast utlmí. Cieľom mykorizácie však nie je stimulácia rastu semenáčikov (aj keď je to vítaný prínos inokulácie), ale indukcia mykoríznej symbiomy, ktorá by sa prejavila pozitívne v období bezprostredne po výsadbe zmiernením šoku z presadenia. (REPÁČ 2006).

2. MATERIÁL A METODIKA

2.1 Použité stimulačné prípravky

V pokuse sme použili tri komerčne predávané prípravky Ectovit, Mycorrhiza-roots a Vetozen.

Ectovit je prírodný mykorízny biopreparát na báze ektomykoríznych húb, ktorý zlepšuje rast rastlín. Je určený na vytvorenie ektomykoríznej symbiomy medzi koreňmi hostiteľskej rastliny a ektomykoríznymi hubami obsiahnutými v prípravku. Sadbový materiál ošetrený prípravkom Ectovit sa na výsadbových plochách lepšie ujíma, vykazuje zlepšenie rastu a celkovú odolnosť voči nepriaznivým vplyvom prostredia (BALTA 2010). Prípravok Ectovit pozostáva z dvoch samostatne balených zložiek. Tekutú zložku predstavuje mycélium štyroch druhov EKM húb (*Cenococcum geophilum*, *Hebeloma velutipes*, *Laccaria proxima* a *Paxillus involutus*) a suchú zložku spóry dvoch druhov EKM húb (*Pisolithus arrhizus* a *Scleroderma citrinum*) zamiešané v rašelinovom nosiči spolu s prírodnými zložkami podporujúcimi tvorbu ektomykoríz (humáty, mleté horniny, výťažky

z morských organizmov) a biologicky rozložiteľnými granulami absorpčného gelu (REPÁČ a kol. 2012).

Mycorrhizaroots je práškový prípravok obsahujúci spóry endomycoríznych a EKM húb (2–3 %), kyselinu humínovú (29 %), výťažok morských rias (18 %), vitamín C (12 %), aminokyseliny (8,5 %), vitamín B1 (2 %) a vitamín E (1 %) (REPÁČ a kol. 2012). Urýchľuje zakorenenie rastlín, zvyšuje odolnosť voči stresu a voči chorobám, zvyšuje absorpciu vody a živín. Aplikuje sa vo forme zálievky na mladé rastliny s minimálne čiastočne vyvinutou listovou plochou a nevyvinutým koreňovým systémom (ENGO.SK: Mycorrhizaroots, 2008).

Vetozen je syntetický stimulátor určený pre stimuláciu a zakoreňovanie odrezkov, klíčiacich semien alebo po presádzaní rastlín. Poskytuje zvýšený obsah makro a mikro živín v rhizosfére (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O) (REPÁČ a kol. 2011b).

2.2 Realizácia pokusu

Pokusné výsevy boli založené 09. 04. 2010 v lesnej škôlke vo Vavrišove, ktorá sa nachádza v nadmorskej výške 700 m. n. m. Priemerná ročná teplota vzduchu sa pohybuje okolo 6,3 °C a priemerný úhrn zrážok 800–900 mm.

Na výsev bolo použité semeno smreka obyčajného s evidenčným kódom 01517LM-779 zo semenárskej oblasti 1-Tatranská. Zber semena bol realizovaný 11. 2009 v uznanom poraste 323B v nadmorskej výške 1250 m n. m., vek 55 až 90 rokov. Pokus pozostával zo 4 variantov s trojnásobným opakovaním. Pri realizovaní pokusu sme použili mykorízne prípravky Ectovit a Mycorrhizaroots a stimulátor Vetozen. Súčasne bola založená aj plocha na ktorej nebol použitý žiadny prípravok. Slúžila nám na kontrolu a porovnanie vplyvu na rast semenáčikov s aplikáciou a bez aplikácie prípravku (je označovaná ako kontrola). Prvé dve vegetačné obdobia bol každý variant (prípravok) aplikovaný v 3 nádobách (opakovaniach), takže celý pokus pozostával z 12 nádob. Rozmery nádob boli 41 × 62 × 7 cm a tvorili plochu 0,25 m². Po 2. vegetačnom období boli semenáčky preškôlkované do obalov Plantek 35 F ktorých rozmery sú 400 × 300 × 130 mm s počtom 35 buniek pričom každá z buniek má objem 275 cm³. Ako substrát sme použili Naturahum tmavá vrchovisková kyslá rašelina. Jedná sa o prírodný materiál bez obsahu vápenca a hnojiva. Spáliteľné látky vo vysušenej vzorke min. 85 %, hodnota PH 3,0 až 5,0, obsahuje drevité prímеси (korene, úlomky dreva) max. 3 %.

Pri aplikácii prípravkov sme postupovali nasledovne: suchú aj tekutú zložku prípravku Ectovit sme zmiešali s vodou čím sa vytvorila kašovitá zmes, ktorú sme v primeranom pomere premiešali so substrátom a aplikovali do nádob, kde sme následne vysiali semeno. Prípravok Mycorrhizaroots je distribuovaný vo forme prášku. Použili sme dávku 0,8 g na 1 m² ktorú sme zmiešali s 1,4 l vody a zaliali ním substrát na ktorom bolo vopred vysiate semeno. Prípravok Vetozen bol taktiež vo forme prášku, ktorý sme za pomoci sitka jemne poprášili na substrát a vopred vysiate semeno. Dávkovanie Vetozenu bolo 8g na jednu nádobu, čo predstavovalo dávku 32g/m². Pri variante bez aplikácie stimulačného prípravku sme nádoby naplnili substrátom na ktorý sme vysiali semeno. Neskôr boli nádoby

rovnomerne uložené do skleníka, kde boli počas vegetačného obdobia podľa potreby zavlažované a ošetrované pletím. Pred začiatkom 3. vegetačného obdobia sme semenáčky preškôľkovali do nádob Plantek 35 F ktoré sme naplnili substrátom Naturahum tmavá vrchovisková kyslá rašelina, rovnakým ako pri zakladaní pokusu. Do nového substrátu neboli opätovne aplikované stimulačné prípravky.

2.3 Získavanie vzoriek

Po uplynutí prvého vegetačného obdobia sme z každej časti nádoby odobrali reprezentatívnu vzorku 15 semenáčikov aj s časťou rašelinového substrátu ktorý sme vložili do označených vreciek a jemne navlhčili. Pri štyroch variantoch pokusu v trojnásobným opakovaním to predstavovalo 180 semenáčikov. Takto pripravené vzorky sme skladovali v chladničke. Medzery vzniknuté po odobratí vzoriek boli vyplnené substrátom čím sme ochránili ostávajúce semenáčky pred poškodením. Obdobný spôsob odoberania vzoriek sme zvolili aj po uplynutí 2. vegetačného obdobia. Po 3. vegetačnom období sme z obalov Plantek 35 F odobrali každú druhú sadenicu čím sme získali 18 kusov z každého opakovania (216 ks z celého pokusu). Pred vyhodnocovaním vzoriek bol zvyšný rašelinový substrát z koreňových sústav semenáčikov dôkladne vyplavený vodou so zreteľom na minimalizáciu poškodenia jemných korieňkov.

2.4 Vyhodnotenie vzoriek

Pri hodnotení jedno a dvojročných semenáčikov sme z každého opakovania vyhodnocovali 15 kusov semenáčikov. Na hodnotenie trojročných sadeníc sme použili 18 kusov z každého opakovania. Na odobratých vzorkách sme meraním zisťovali veličiny: hrúbku koreňového krčka pomocou posuvného zariadenia s presnosťou na 0,05 mm, výšku nadzemnej časti pomocou pravítka s presnosťou na 1 mm. Zisťovali sme taktiež množstvo jemných korieňkov a to nasledovne: po 1. vegetačnom období sme spočítali na každom 3. semenáčku celkové množstvo korieňkov, po 2. vegetačnom období sme spočítali na každom jednom semenáčku celkové množstvo korieňkov a po 3. vegetačnom období sme na každej druhej sadenici zisťovali množstvo jemných korieňkov na 1cm dĺžky koreňa. Následne sme pomocou skalpela v koreňovom krčku oddelili nadzemnú časť od koreňovej a po vysušení v laboratóriu sme vážením zisťovali hmotnosť nadzemnej a koreňovej časti s presnosťou na 0,0001 g. Následne boli zistené údaje vyhodnocované pomocou jednofaktorovej analýzy variancie.

3. VÝSLEDKY

3.1 I. vegetačné obdobie

Tab. 1 Priemerné hodnoty biometrických ukazovateľov (priemer $\pm$ smerodajná odchýlka) zistené jednofaktorovou anlyzou variancie u jednoročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného pestovaných v substráte s použitím stimulačných prípravkov

Tab. 1 Mean values of biometric characteristics (mean $\pm$ standard deviation) determined with single factor analysis from one year old seedlings of Norwegian spruce cultivated on substratum with stimulants

	Hrúbka koreňového krčka (mm)	Výška nadzemnej časti (cm)	Hmotnosť koreňov v sušine(mg)	Hmotnosť nadzemnej časti v sušine (mg)	Hmotnosť sušiny celkom (mg)	Počet krátkych korieňkov (ks)
Ectovit	0,82 $\pm$ 0,24	4,8 $\pm$ 1,5	28 $\pm$ 17	71 $\pm$ 73 a	98 $\pm$ 89 a	172 $\pm$ 67 ab
Mycorrhizaroots	0,80 $\pm$ 0,19	5,3 $\pm$ 1,4	23 $\pm$ 12	62 $\pm$ 51 ab	86 $\pm$ 61 ab	122 $\pm$ 22 b
Vetozen	0,73 $\pm$ 0,14	4,4 $\pm$ 0,7	20 $\pm$ 8	38 $\pm$ 20 b	58 $\pm$ 26 b	208 $\pm$ 57 a
Kontrola	0,72 $\pm$ 0,11	4,6 $\pm$ 1,4	19 $\pm$ 12	37,8 $\pm$ 30 b	56 $\pm$ 41 b	211 $\pm$ 70 a

Rozdiely medzi priemernými hodnotami označenými rovnakým písmenom alebo bez písmena nie sú štatisticky významné ($P > 0,05$).

Analýza rastu jednoročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného potvrdila významný ($P \leq 0,05$) vplyv aplikovaných prípravkov na sledované biometrické znaky: hmotnosť nadzemnej časti v sušine, celkovú hmotnosť sušiny a počet krátkych korieňkov. Štatisticky významný rozdiel ($P < 0,05$) v sledovanom biometrickom znaku hmotnosť nadzemnej časti v sušine bol jednofaktorovou analýzou variancie potvrdený medzi prípravkami Ectovit a Vetozen kde Ectovit vytvoril o 86 % viac sušiny a medzi prípravkom Ectovit a variantom bez aplikácie prípravku (kontrolou) kde Ectovit vytvoril o 87 % viac sušiny. Prípravok Mycorrhizaroots nevykazoval v sledovanom znaku významný rozdiel ($P > 0,05$) v porovnaní so žiadnym iným variantom pokusu. V sledovanom znaku hmotnosť sušiny celkom podobne ako v predchádzajúcom prípade prípravok Ectovit dosiahol štatisticky významný rozdiel v porovnaní s prípravkom Vetozen a kontrolou. Oproti prípravku Vetozen vytvoril o 70 % viac sušiny a oproti kontrole o 74 % viac sušiny. Prípravok Mycorrhizaroots opäť nedosiahol významný rozdiel medzi žiadnym variantom pokusu. V sledovanom znaku počet krátkych korieňkov prípravok Mycorrhizaroots dosiahol štatisticky významný rozdiel v porovnaní s prípravkom Vetozen a kontrolou. V porovnaní s kontrolou vyprodukoval o 42 % menej krátkych korieňkov a v porovnaní s prípravkom Vetozen o 41 % menej. V tomto sledovanom znaku Prípravok Ectovit nedosiahol významný rozdiel so žiadnym z variantov. V ostatných sledovaných znakoch hrúbka koreňového krčka, výška nadzemnej časti a hmotnosť koreňov v sušine nebol po uplynutí prvého vegetačného obdobia zistený štatisticky významný rozdiel.

Z pokusu vyplýva, že najpozitívnejší stimulačný účinok na jednoročné semenáčky smreka obyčajného mal prípravok Ectovit, ktorý dosiahol najvyššie hodnoty vo všetkých sledovaných biometrických znakoch okrem počtu korieňkov. No treba však poznamenať, že aj variabilita nameraných údajov dosahovala pri tomto prípravku najvyššie hodnoty. Takmer žiadny vplyv nemal na sledované hodnoty biometrických znakov prípravok Vetozen, ktorý iba minimálnou mierou pozitívne ovplyvnil sledované znaky a dokonca v prípade výšky nadzemnej časti pôsobil negatívne v porovnaní s kontrolou. Prípravok Mycorrhizaroots vplývala mierne pozitívne na rast a vývoj semenáčikov čo dokazujú hodnoty zisťovaných biometrických údajov v porovnaní s kontrolou.

3.2 II. vegetačné obdobie

Tab. 2 Priemerné hodnoty biometrických ukazovateľov (priemer $\pm$ smerodajná odchýlka) zistené jednofaktorovou anlyzou variancie u dvojročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného pestovaných v substráte s použitím stimulačných prípravkov

Tab. 2 Mean values of biometric characteristics (mean $\pm$ standard deviation) determined with single factor analysis from two years old seedlings of Norwegian spruce cultivated on substratum with stimulants

	Hrúbka koreňového krčka (mm)	Výška nadzemnej časti (cm)	Hmotnosť koreňov v sušine (mg)	Hmotnosť nadzemnej časti v sušine (mg)	Hmotnosť sušiny celkom (mg)	Počet krátkych korieňkov (ks)	Pomer váhy koreňov / nadzemná časť
Ectovit	1,47 $\pm$ 0,41	8,7 $\pm$ 2,4 a	93 $\pm$ 55	261 $\pm$ 181 a	355 $\pm$ 227 a	469 $\pm$ 208	0,38 $\pm$ 0,13
Mycorrhizaroots	0,96 $\pm$ 0,29	5,9 $\pm$ 1,1 b	43 $\pm$ 36	82 $\pm$ 62 b	125 $\pm$ 94 b	271 $\pm$ 108	0,55 $\pm$ 0,16
Vetozen	0,94 $\pm$ 0,18	5,3 $\pm$ 0,8 b	47 $\pm$ 26	78 $\pm$ 35 b	125 $\pm$ 57 b	369 $\pm$ 125	0,61 $\pm$ 0,21
Kontrola	0,96 $\pm$ 0,19	5,0 $\pm$ 0,9 b	45 $\pm$ 30	79 $\pm$ 60 b	124 $\pm$ 87 b	365 $\pm$ 166	0,62 $\pm$ 0,17

Rozdiely medzi priemernými hodnotami označenými rovnakým písmenom alebo bez písmena nie sú štatisticky významné ($P > 0,05$).

Analýza rastu dvojročných voľnokorenných semenáčikov smreka obyčajného potvrdila významný ($P \leq 0,05$) vplyv aplikovaných prípravkov na sledované biometrické znaky: výška nadzemnej časti, hmotnosť nadzemnej časti v sušine, hmotnosť sušiny celkom.

Semenáčky rastúce na substráte inokulovanom prípravkom Ectovit dosiahli štatisticky významný rozdiel vo výške nadzemnej časti v porovnaní so substrátmi s aplikáciou iných prípravkov a bez aplikácie prípravku. Variant s prípravkom Ectovit vytvoril o 73 % vyššiu nadzemnú časť ako kontrolný variant. Ďalší štatisticky významný rozdiel dosiahol prípravok Ectovit pri hodnotení hmotnosti nadzemnej časti v sušine v porovnaní s ostatnými použitými prípravkami a kontrolou kde vytvoril o 230 % viac sušiny ako kontrolný variant. Štatisticky významný rozdiel bol zaznamenaný aj pri hmotnosti sušiny celkom a to pri variante s použitím prípravku Ectovit v porovnaní s ostatnými variantmi pokusu. Prípravok Ectovit vytvoril o 186 % viac sušiny ako kontrolný variant. Pri analyzovaní

hrúbky koreňového krčka, hmotnosti koreňov v sušine a počte krátkych korienkov prípravok Ectovit opäť dosiahol najväčšie hodnoty v porovnaní s ostatnými variantmi pokusu no tieto rozdiely nepostačovali na to aby boli na základe jednofaktorovej analýzy variancie vyhodnotené ako štatisticky významné ($P > 0,05$). Z hľadiska hodnotenia pomeru váhy koreňov ku váhe nadzemnej časti prípravok Ectovit naopak dosiahol najnižšie hodnoty spomedzi všetkých variantov. Najvyššiu hodnotu dosiahol kontrolný variant.

Z analýzy nameraných hodnôt po druhom vegetačnom období vyplýva skutočnosť že prípravok Ectovit mal výrazne pozitívny stimulačný účinok na všetky sledované hodnoty okrem pomeru váhy korienkov ku váhe nadzemnej časti. Prípravok Mycorrhizaroots vykazoval podobné hodnoty ako kontrolný variant a dokonca pri porovnávaní hmotnosti koreňov v sušine a počte krátkych korienkov mal inhibičný účinok. Prípravok Vetozen vykazoval taktiež podobné hodnoty ako kontrolný variant a v prípade hrúbky koreňového krčka a hmotnosti nadzemnej časti v sušine spôsobil nevýrazný inhibičný účinok v porovnaní s kontrolným variantom.

3.3 III. vegetačné obdobie

Tab. 3 Priemerné hodnoty biometrických ukazovateľov (priemer $\pm$ smerodajná odchýlka) zistené jednofaktorovou analýzou variancie trojročných sadeníc smreka obyčajného pestovaných v substráte s použitím stimulačných prípravkov

Tab. 3 Mean values of biometric characteristics (mean $\pm$ standard deviation) determined with single factor analysis from three years old seedlings of Norwegian spruce cultivated on substratum with stimulants

	Hrúbka koreňového krčka (mm)	Výška nadzemnej časti (cm)	Hmotnosť koreňov v sušine (mg)	Hmotnosť nadzemnej časti v sušine (mg)	Hmotnosť sušiny celkom (mg)	Počet krátkych korienkov (ks/cm)	Pomer váhy korene / nadzemná časť
Ectovit	2,5 $\pm$ 2,3 a	10,0 $\pm$ 3,1 a	425 $\pm$ 291 a	691 $\pm$ 586 a	1117 $\pm$ 869 a	6,98 $\pm$ 2,09 ab	0,68 $\pm$ 0,16 a
Mycorrhizaroots	1,34 $\pm$ 0,37 b	6,7 $\pm$ 1,6 b	140 $\pm$ 90 b	189 $\pm$ 130 b	329 $\pm$ 215 b	7,13 $\pm$ 2,23 ab	0,80 $\pm$ 0,23 a
Vetozen	1,28 $\pm$ 0,47 b	6,3 $\pm$ 1,8 b	103 $\pm$ 126 b	154 $\pm$ 231 b	257 $\pm$ 353 b	9,05 $\pm$ 2,85 a	0,76 $\pm$ 0,20 a
Kontrola	1,26 $\pm$ 0,40 b	6,5 $\pm$ 1,6 b	127 $\pm$ 148 b	150 $\pm$ 180 b	277 $\pm$ 281 b	6,75 $\pm$ 1,72 b	0,85 $\pm$ 0,25 a

*Rozdiely medzi priemernými hodnotami označenými rovnakým písmenom alebo bez písmena nie sú štatisticky významné ($P > 0,05$).

Analýzou rastu trojročných sadeníc smreka obyčajného sa potvrdil významný ($P \leq 0,05$) vplyv aplikovaných prípravkov na sledované biometrické znaky: hrúbka koreňového krčka, výška nadzemnej časti, hmotnosť koreňov v sušine, hmotnosť nadzemnej časti v sušine, hmotnosť sušiny celkom a počet krátkych korienkov. Sadenice rastúce v substráte s použitím prípravku Ectovit dosiahli štatisticky významný rozdiel v hrúbke koreňového krčka, výške nadzemnej časti, hmotnosti koreňov v sušine, hmotnosti nadzemnej časti v sušine a hmotnosti sušiny celkom v porovnaní so sadenicami rastúcimi vo variantoch s použitím iných stimulačných prípravkov a kontrolou. Hrúbka koreňového krčka vo variante s použitím prípravku Ectovit bola o 98 % hrubšia ako v kontrolnom

variante. Rozdiel medzi prípravkami Mocorrhizaroots, Vetozen a kontrolou v tomto znaku bol minimálny. V sledovanej hodnote výšky nadzemnej časti prípravok Ectovit vytvoril o 54 % vyššiu stonku ako kontrolný variant. Rozdiely medzi prípravkami Mycorrhizaroots, Vetozen a kontrolou boli minimálne a prípravok Vetozen pôsobil dokonca mierne inhibičným účinkom v porovnaní s kontrolou. Pri analyzovaní hmotnosti koreňov v sušine prípravok Ectovit vyprodukoval o 234 % viac sušiny ako kontrolný variant. Prípravok Vetozen aj v tomto znaku pôsobil inhibičným účinkom. Vyhodnotením hmotnosti nadzemnej časti v sušine trojročných sadeníc sme dospeli k najvýraznejšiemu rozdielu celého pokusu kde prípravok Ectovit vytvoril o 360 % viac sušiny ako kontrolný variant. Prípravok Mycorrhizaroots vytvoril o 28 % a Vetozen o 3 % viac sušiny ako kontrolný variant. Vyhodnotením hmotnosti sušiny celkom sme tiež zaznamenali výrazný rozdiel medzi Ectovitom a kontrolou, kedy variant s aplikáciou prípravku Ectovit vyprodukoval o 303 % viac sušiny. Prípravok Vetozen aj v tejto sledovanej veličine pôsobil inhibičným vplyvom. Prípravok Mycorrhizaroots vytvoril o 19 % viac sušiny ako kontrola. V počte krátkych korieňov na 1 cm dĺžky koreňa sme dospeli k štatisticky významnému rozdielu medzi prípravkom Vetozen a kontrolným variantom kde Vetozen vytvoril o 34 % viac krátkych korieňov. Pri hodnotení pomeru váhy koreňov ku váhe nadzemnej časti sme nedospeli k významnému rozdielu.

Vyhodnotenie tretieho vegetačného obdobia potvrdilo výrazne pozitívny účinok prípravku Ectovit na sledované rastové charakteristiky. Prípravok Mycorrhizaroots mal iba minimálny stimulačný účinok a prípravok Vetozen v troch hodnotených rastových znakoch pôsobil inhibičným vplyvom ale napriek tomu vytvoril najviac krátkych korieňov na 1 cm dĺžky koreňa spomedzi všetkých ostatných variantov

4. DISKUSIA

Výsledky autorov ktorý sa zaoberali umelou mykORIZÁCIOU sadbového materiálu sú odlišné. Niektorí vo svojich prácach uvádzajú vplyv ektomykorizálnych húb na rast semenáčikov smreka od stimulačného (REPÁČ a kol. 2011, ŠUŠLÍK 2011) cez indiferentný (REPÁČ 2007) až po inhibujúci. Akým spôsobom zareagujú semenáčky na inokuláciu záleží od viacerých faktorov. Sú to najmä forma a metóda aplikácie inokula, interakcia medzi hubou, drevinou a prostredím a v neposlednom rade technológiou pestovania (ROUHIER a READ 1998, REPÁČ 2005, REPÁČ 2007).

V našom pokuse sme vyhodnotením výsledkov zistili stimulačný, indiferentný aj inhibičný účinok použitých prípravkov. Najvýraznejší bol stimulačný vplyv ktorý bol zaznamenaný vo variante so substrátom inokulovaným prípravkom Ectovit. Počas troch rokov trvania pokusu kedy po každom vegetačnom období boli vyhodnocované výsledky rastu dosiahol 8-krát rozdiel ktorý bol štatisticky potvrdený ako významný. Pozitívny účinok tohto prípravku na rastové charakteristiky uvádzajú vo svojich prácach viacerí autori (REPÁČ a kol. 2011a, KASAN J. 2012, STRAŠÍKOVÁ 2012, JURGA 2010, ŠUŠLÍK 2011).

Prípravok Mycorrhizaroots pôsobil v prvom vegetačnom období mierne stimulačne a to najmä na výšku nadzemnej časti no v ostatných hodnotených rokoch pôsobil viac menej indiferentne. Vyhodnotením hmotnosti koreňov v sušine a počtu krátkych korieňov

po druhom vegetačnom období sme zistili mierny inhibičný účinok tohto prípravku. V prvom roku bol inhibičný účinok prípravku Mycorrhizaroots dokonca štatisticky významný kedy vytvoril o 48 % menej krátkych korienkov ako kontrolný variant. Mierny inhibičný účinok prípravku Mycorrhizaroots na semenáčky zaznamenali vo svojej práci aj REPÁČ a kol. 2011b.

Stimulačný účinok prípravku Vetozen bol počas celej doby trvania pokusu potvrdený iba jedenkrát kedy v treťom vegetačnom období variant v ktorom bol použitý vytvoril najviac krátkych korienkov na 1 cm dĺžky koreňa a tento rozdiel bol významný v porovnaní s kontrolným variantom. V ostatných prípadoch pôsobil tento prípravok buď indiferentne alebo inhibične. Počas troch rokov bol mierny inhibičný účinok prípravku Vetozen zaznamenaný 6-krát z toho ani raz nebol významný. Naopak pozitívny vplyv prípravku Vetozen pri zakoreňovaní smrekových odrezkov uvádzajú vo svojej práci (REPÁČ a kol. 2010, VENCÚRIK a kol. 2012).

Umelá inokulácia semenáčikov nemusí vždy stimulovať ich rast, často pôsobí skôr inhibične, čo pravdepodobne spôsobuje odčerpávanie asimilátov rastlín symbiotickou hubou (REPÁČ 2000, REPÁČ a GAJDOŠ 2006). Prioritná funkcia inokulácie však nespočíva v stimulácii rastu semenáčikov v lesných škôlkach, ale v dopestovaní odolného mykorízneho sadbového materiálu, schopného lepšie sa ujímať a odrastať na výsadbovej ploche (REPÁČ a kol. 2012).

Ektomykorízne korienky je možné objaviť prakticky vo všetkých druhoch a typoch pôdy, ich výskyt je však spravidla vyšší na pôdach chudobných (VANÍK a kol. 1999). Ideálne podmienky pre rast semenáčikov (vysoký obsah živín, optimálna teplota a vlhkosť, neobmedzený životný priestor semenáčikov), znižujú potrebu premeny korienkov na mykorízy (KROPP a LANGLOIS 1990). Priemerné hodnoty rastových charakteristík, ktoré sme dosiahli v našom pokuse po treťom roku sú výrazne nižšie ako bežne pestované sadenice smreka obyčajného. Domnievame sa že túto skutočnosť zapríčinilo viacero faktorov. Prvým je použitý substrát Naturahum, tmavá vrchovisková kyslá rašelina, ktorá je prírodným materiálom bez obsahu hnojiva. Druhým je fakt, že počas celej doby trvania pokusu nebol žiadny z variantov hnojený a tretím je obmedzený životný priestor spôsobený množstvom substrátu v nádobách v ktorých boli semenáčky pestované prvé dve vegetačné obdobia. Tento postup pestovania sme zvolili za účelom podnietenia tvorby mykoríz na korienkoch posledného rádu a dosiahli tak maximálne prejavenie potenciálu stimulačných prípravkov. Napriek týmto faktorom prípravok Ectovit dokázal vytvoriť významné rozdiely v hodnotách rastových charakteristík oproti iným prípravkom použitých v experimente. Predpokladáme že tento pozitívny stimulačný účinok prípravku Ectovit okrem EKM húb spôsobili aj biologicky odbúrateľné granule absorbčného gélu ktoré sú v prípravku obsiahnuté.

Spôsob vyhodnocovania počtu krátkych korienkov neumožňuje porovnanie tohto znaku medzi prvými dvomi rokmi, kedy boli zisťované absolútne počty a tretím rokom, kedy bol zisťovaný počet krátkych korienkov na 1 cm dĺžky koreňa, ale je viditeľné postupné zväčšovanie počtu krátkych korienkov vo variante prípravku Vetozen. Vyhodnotením pomeru váhy koreňov ku váhe nadzemnej časti môžeme konštatovať, že zväčšenie rastového priestoru presadením semenáčikov do obalov Plantek po druhom vegetačnom

období viedlo v treťom roku k výraznému zväčšeniu koreňových sústav a zmiernenie rozdielu medzi váhou koreňov a váhou nadzemnej časti vo všetkých variantoch pokusu.

Najväčší celkový rozsah mykorizných korienkov bol okulárne pomocou lupy pozorovaný paradoxne pri variante bez aplikácie prípravku. Rozsiahla kolonizácia korienkov kontrolných semenáčikov EKM hubami svedčí o dominantnom pôsobení prirodzene sa vyskytujúcich miestnych húb pri tvorbe mykoríz, čo je bežným javom inokulačných pokusov v prevádzkových podmienkach (REPÁČ, 2007). Zo všetkých šiestich pozorovaných morfortypov mykoríz sa nám podarilo spoľahlivo určiť iba jeden z nich a to striebřisté mykorízy na základe porovnania našich fotografií s fotografiami v Colour atlas of ectomycorrhizae (AGERET 1987–1991) a jedná sa o druh *Paxillus involutus*. Mycélium tohto druhu je obsiahnuté v prípravku Ectovit a v našom pokuse sa nachádzal iba vo variante, kde bol substrát inokulovaný prípravkom Ectovit.

5. ZÁVER

Použitie stimulačných prípravkov pri pestovaní sadbového materiálu lesných drevín nadobúda čoraz väčší význam. Ich aplikácia nám môže pomôcť dopestovať kvalitnejší sadbový materiál schopný rýchlo sa adaptovať na nové podmienky prostredia, znížiť mortalitu a prispieť k lepšiemu odrastaniu kultúr a minimalizovať tak straty spôsobené opakovaným zalesňovaním. Napomáha tomu najmä efektívnejšia schopnosť rastliny prijímať vodu a živiny a celková odolnosť rastliny proti patogénnym mikroorganizmom nielen v oblasti koreňov, ale celej dreviny. V podmienkach nášho experimentu prejavil najväčší stimulačný účinok prípravok Ectovit, ktorý dosiahnutými hodnotami rastových charakteristik výrazne predstihol prípravky Mycorrhizaroots a Vetozen, ktoré najmä v druhom a treťom roku mali takmer indiferentný účinok. Výsledok nášho pokusu nemožno zovšeobecniť na akékoľvek podmienky prostredia, no štúdium tejto problematiky má svoje opodstatnenie a ďalší výskum v tejto oblasti môže výrazne zefektívniť umelú obnovu lesných porastov.

6. Zoznam použitej literatúry

- BALTA, J., 2010: Zakoreňovanie a rast odrezkov smreka obyčajného. Diplomová práca, Technická univerzita vo Zvolene, 64 s.
- JURGA, T., 2010: Vplyv aplikácie mikrobiálnych prípravkov na rozsah mykoriznej symbiôzy a rast semenáčikov smreka obyčajného a borovice lesnej. Diplomová práca, Technická univerzita vo Zvolene, 98 s.
- KASAN, J., 2012: Vplyv aplikácie mikrobiálnych prípravkov na rast semenáčikov smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.) v lesnej škôlke. Bakalárska práca, Technická univerzita vo Zvolene. Elektronický zdroj. Dostupné na internete
- KROPP, B.R., LANGLOIS, C.G., (1990): Ectomycorrhizae in reforestation. Canadian Journal of Forest Research 20, s. 438–451.
- PEŠKOVÁ, V., 2000: Mykorizní inokulace, cesta jak zlepšit ujmavost sazenic. Lesnická práce, roč. 79, č. 3, s. 120–121.
- REPÁČ, I., 1993: Mykorizna symbiôza lesných drevín, Lesnícky časopis Forestry journal, roč. 39, č. 1, s. 63–69.
- REPÁČ, I., 2000: Mykorizna symbiôza lesných drevín a jej uplatnenie v škôlkarstve. Vedecké štúdie, Technická univerzita vo Zvolene, s. 69.

- REPÁČ, I., 2005: Vplyv aplikácie vegetatívneho inokula symbiotických húb do zakoreňovacieho substrátu na zakoreňovanie a tvorbu biomasy odrezkov smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.). Acta Facultatis Forestalis Zvolene, 47, s. 223–233.
- REPÁČ, I., 2006: The practical use of mycorrhizal symbiosis in forest trees production. Habilitačná práca, Technická univerzita vo Zvolene. 1 zv. (rôzne stránkovanie)
- REPÁČ, I., GAJDOŠ, M. 2006: Testovanie mykorrhíznych húb a typov hubového inokula pri pestovaní semenáčikov borovice lesnej (*Pinus sylvestris* L.). Acta Facultatis Forestalis Zvolene, 48, s. 197–207.
- REPÁČ, I., 2007: Ectomycorrhiza formation and growth of *Picea abies* seedlings inoculated with alginate-bead fungal inoculum in peat and bark compost substrates. Forestry 80, s. 517–530.
- REPÁČ, I., SARVAŠOVÁ, I., VENCURIK, J., 2010: Aktuálne problémy lesného škôľkarstva, semenárstva a umelej obnovy lesa, Zborník príspevkov, s. 65–73.
- REPÁČ, I., VENCURIK, J., BALANDA, M., 2011b: Testing of microbial additives in the rooting of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) stem cuttings. Journal of forest science 57, s. 555–564.
- REPÁČ, I., VENCURIK, J., KMEŤ, J., BALANDA, M. 2011a: Vplyv mykorrhizácie a hnojenia na vývoj intenzívne pestovaných krytokorenných semenáčikov smreka obyčajného. Aktuálne problémy lesného škôľkarstva, semenárstva a umelej obnovy lesa, NLC Zvolene.
- REPÁČ, I., VENCURIK, J., BALANDA, M., 2012: Účinky inokulácie substrátu mikrobiálnymi prípravkami na vývin jednoročných semenáčikov borovice lesnej (*Pinus sylvestris* L.). Acta faculta forestris (v tlači)
- ROUHIER, H., READ, D. J., 1998: Plant and fungal responses to elevated atmospheric carbon dioxide in mycorrhizal seedlings of *Pinus sylvestris*. Environ. Exp. Bot. 40, s. 237–246.
- SARVAŠ, M., TUČEKOVÁ, A., TAKÁČOVÁ, E., CHVÁLOVÁ, K., LENGYELOVÁ, A., VARÍNSKY, J., LONGAUEROVÁ, V., SUŠKOVÁ, M., 2007: Zakladanie lesov v meniacich sa ekologických podmienkach. NLC Zvolene, s. 46.
- STRAŠÍKOVÁ, M., 2012: Účinky aplikácie mikrobiálnych prípravkov na vývoj jednoročných semenáčikov borovice lesnej. Diplomová práca, Technická univerzita vo Zvolene. Elektronický zdroj. Dostupné na internete
- ŠMELKOVÁ, L., 2001: Lesné škôlky. Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR, Zvolene, 275 s.
- ŠUŠLÍK, D., 2011: Aplikácia stimulačných prípravkov pri pestovaní semenáčikov lesných drevín. Bakalárska práca, Technická univerzita vo Zvolene, 43 s.
- VANÍK, K., KODRÍK, J., HLAVÁČ, P., REINPRECHT, L. 1999, Lesnícka Fytopatológia, Technická univerzita vo Zvolene, s. 131–134, 166 s.
- VENCURIK, J., REPÁČ, I., BALANDA, M., 2012: Zakoreňovanie a rast odrezkov smreka obyčajného v substráte inokulovanom mikrobiálnymi prípravkami. Pestovanie lesa v strednej Európe (M. SANIGA a kol. eds.), TU Zvolene, s. 347–356.
- ZELENÁ SPRÁVA 2012: Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike za rok 2011. Bratislava 2012, dostupné na internete
- Engo: *Mycorrhizaroots* [online]. engo.sk. [cit.2013.08.04]. Dostupné na internete: < <http://www.engo.sk/mycorrhizaroots-1.html> >

Adresa autora:

Bc. Daniel Šušlík

Katedra pestovania lesa

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24

960 53 Zvolene

Slovenská republika

email: suslikdano@gmail.com

Účinok vybraných stimulačných prípravkov na rast semenáčikov smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.)

Abstrakt

Náplň práce spočíva v sledovaní vplyvu stimulačných prípravkov na biometrické charakteristiky, rast a rozsah mykoríznej symbiôzy semenáčikov smreka obyčajného. Pokus pozostával zo štyroch variantov s trojnásobným opakovaním. Pre zachovanie optimálnych podmienok prostredia bol celý pokus realizovaný v skleníku. Voľnokorenné semenáčiky smreka obyčajného rástli 2 roky v nádobách so substrátom do ktorého boli pri zakladaní pokusu aplikované mykorízne prípravky Ectovit, Mycorrhiza roots a stimulátor Vetozen. Po 2. vegetačnom období boli preškôlkované do obalov Plantek F. Po každom vegetačnom období boli odobraté vzorky a hodnotil sa rast semenáčikov, po 3. vegetačnom období aj tvorba mykoríz na koreňoch sadeníc. Pre kontrolu sme založili aj opakovanie bez aplikácie prípravku. Na odobratých vzorkách sme zisťovali hodnoty hrúbky koreňového krčku, výšky nadzemnej časti, počet korieňkov, hmotnosť sušiny nadzemnej a koreňovej časti. Pri hodnotení rozsahu kolonizovania koreňovej sústavy symbiotickými hubami po 3. vegetačnom období sme za pomoci lupy vylišovali mykorízne a nemykorízne korieňky. Pri mykoríznych korieňkoch sme na základe vonkajších diferencii rozlišovali jednotlivé morfológie mykoríz. Zistené hodnoty boli vyhodnocované pomocou jednofaktorovej analýzy variancie. Na základe vyhodnotenia jednotlivých vegetačných období môžeme potvrdiť že prípravok Ectovit mal najpozitívnejší účinok na takmer všetky sledované biometrické ukazovatele.

Kľúčové slová: smrek obyčajný, mykorízna symbiôza, stimulačný prípravok, semenáčik

APIKÁLNA DOMINANCIA A VÝŠKOVÝ PRÍRASTOK JEDLE BIELEJ (*ABIES ALBA* MILL.) A SMREKA OBYČAJNÉHO (*PICEA ABIES* (L.) KARST.) V DOLNEJ VRSTVE VÝBERKOVÝCH LESOV

Ján J A Ď U Ď

Jad'ud', J.: Apical dominance and height increment of silver fir (*Abies alba* Mill.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in lower layer of selection forest. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 1, 2013, 113–123.

The aim of this paper was quantifying differences in the height growth (by relative height growth) and in variability of crown morphology (by apical dominance ratio) between silver fir and Norway spruce growing in the lower layer of a selection forest with dominant protective functions. Results of this study showed statistical differences in height increment between the tree species. Growth increment of natural regeneration of Norway spruce in height category ($h \geq 130$ cm, $DBH_{1.3} \leq 5$ cm) was higher than growth increment of silver fir in the same height category. The value of RHG reached 0.3 for Norway spruce and 0.007 for silver fir. We found significant differences in crown morphology using apical dominance ratio (ADR). This value is often used as an index to estimate the “vigor” of the mapped saplings. Silver fir often creates shade type of crown with ADR value under 0.5. Norway spruce crowns show light type of crown. The influence of tree height on height increment as well as ADR values was not statistically significant.

Key words: apical dominance ratio, height growth, silver fir, Norway spruce, selection forest

1. PROBLEMATIKA A CIEĽ

Pre výberkovú štruktúru je charakteristický vertikálny druh zápoja. Vertikálne štrukturalizované porasty vytvárajú špecifický ekologický profil porastu. Rast drevín a morfológia koruny sú v dolnej vrstve takýchto porastov ovplyvnené dostupnosťou svetla (MESSIER et al. 1999; GRASSI et al. 2004). Viacero autorov sa zaoberalo problematikou rastového prejavu drevín s rôznou toleranciou voči zatieneniu (CLAVEAU et al. 2002, DOBROWOLSKA, WEBLEN 2008). Medzidruhové rozdiely v raste sa odrážajú na úrovni celej rastliny najmä v horších svetelných podmienkach. Tieto rozdiely sa najprv prejavujú vo výškovom raste. Kým niektoré dreviny v tomto raste pokračujú iné zostávajú pri súčasnej výške a všetku energiu investujú do prežitia (TAKAHASHI et al. 2005). V prípade tienných

ihličnanov sa ako príklad reakcie na nevhodné svetelné podmienky uvádza zmena tvaru koruny. Z kužeľovitého tvaru pri plnom osvetlení sa koruna výrazne rozširuje a formuje sa „dáždnikový“ tvar koruny (PARENT, MESSIER 1995; WILLIAMS et al. 1999; GRASSI, GIANNINI 2005). Existujú dva dôvody tejto zmeny. Prvým je strata apikálnej dominancie, druhým redukcia dĺžky koruny odumieraním spodných prาสlenov. Dreviny so schopnosťou modifikácie tvaru koruny majú lepšie šance na prežitie v znevýhodnených svetelných podmienkach dolnej vrstvy. V podmienkach európskych horských lesov sa ako dreviny vhodné k pestovaniu prírode blízkym spôsobom uvádzajú jedľa biela (*Abies alba* Mill.) a smrek obyčajný (*Picea abies* (L.) Karst.) (FERLIN 2002; SENN, SUTER 2003; SCHÜTZ et al. 2006). ELLENBERG, LEUSCHER (2010) uvádzajú, že jedľa biela patrí medzi vyslovene tienne druhy drevín a smrek obyčajný medzi polotiene dreviny. Oba druhy drevín si udržiavajú pozitívnu bilanciu uhlíka aj pri nízkej intenzite svetla. Jedľa však v tejto bilancii nad smrekom dominuje (GRASSI, BAGNARESI 2000). Tento rozdiel je primárne spôsobený vyššou morfológickou plasticitou vo vzťahu k svetelným podmienkam (MESSIER et al. 1999). Podľa SCHÜTZ-A (2002a) dokáže jedľa biela vyčkávať v tzv. stacionárnom stave viac ako 100 rokov, kým sa rastové podmienky nezlepšia. Smrek obyčajný a rovnako aj jedľa biela dokážu reagovať na zmenené rastové podmienky zmenou rastového rytmu (výraznejšia apikálna dominancia) do 4 až 5 rokov, pričom je rýchlosť týchto zmien závislá na veku jedincov. Pri mladších je odozva rýchlejšia, pri starších sú tieto zmeny pomalšie (NINEMETES, KULL 1995 in METSLAID et al. 2007). Vo výberkových lesoch je difúzne žiarenie rozhodujúce pre vznik prirodzeného zmladenia a jeho výškový rast (SCHÜTZ 2002b). Aj napriek tomu, že difúzne žiarenie je minoritnou zložkou celkového žiarenia, je na ustálenej úrovni a takmer stále k dispozícii KOIKE (1991) in ISHIDA, PETERS (1998). Keďže sa v koncepcii stromovej formy výberkového hospodárstva uplatňuje jednotlivý výber a ťažbou stromov s dosiahnutou cieľovou hrúbkou dochádza k zmene svetelného režimu a tým k neustálym zmenám v distribúcii svetla do dolnej vrstvy, je nutné poznať vývoj základných biometrických veličín ako aj celkový rastový prejav drevín v takto diferencovaných podmienkach. Pochopiť účinky faktorov okolitého prostredia na rast je nevyhnutné pre zachovanie diferencovanej výberkovej štruktúry, nakoľko dolná vrstva predstavuje jedince obnovujúce výberkový les a jedince tvoriace rezervu pri dopĺňaní prvého hrúbkového stupňa (REININGER 1992). Cieľom práce bola identifikácia rozdielov vo výškovom raste (pomocou indexu relatívneho rastu) a v tvarovej premenlivosti korún (pomocou indexu apikálnej dominancie) jedle bielej a smreka obyčajného v dolnej vrstve výberkového porastu s dominantnou produkčnou funkciou. Testované boli nasledujúce hypotézy:

H_1 – Výškový prírastok jedle a smreka je v analyzovaných podmienkach rovnaký.

H_2 – V hodnotách indexu ADR nie je medzi jedľou a smrekom štatisticky významný rozdiel.

2. MATERIÁL A METODIKA

Výskum bol realizovaný v orografickom celku Nízke Tatry na území lesného celku Liptovská Osada v demonštračnom objekte Donovaly – časť Mistríky (50,4 ha;

S 48°52'26'' a V 19°14'28''). Demonštračný objekt sa nachádza v nadmorskej výške 960–1050 m n. m. priemerný ročný úhrn zrážok je 900–1000 mm, priemerná ročná teplota sa pohybuje v intervale 4,2–4,8 °C. Nachádza sa v 6. lesnom vegetačnom stupni (SANIGA, VENCURIK 2007). Merania boli realizované v dieľci 631. Dielec 631 je charakteristický produkčnou funkciou, nachádza sa na južnej expozícii. Svojou štruktúrou spĺňa znaky výberkového lesa. Zastúpenie drevín v poraste je nasledovné: smrek 58 %, jedľa 36 %, buk 6 %. Rozbor štruktúry tohto porastu poukazuje na dve podstatné skutočnosti. Prvou je vysoká početnosť stromov v prvom hrúbkovom stupni $d_{1,3}$ 10 cm. Druhou je deficit stromov v strednej vrstve s následným prehustením hornej vrstvy v sledovanom poraste (JAĎUŠ, SANIGA 2012).

Do výberového súboru bolo zaradených 83 jedincov jedle bielej (*Abies alba* Mill.) a 77 jedincov smreka obyčajného (*Picea abies* (L.) Karst.). Väčšina jedincov bola situovaná na ploche transektu (10 × 60 m) založeného na TVP. Meranie nebolo možné uskutočniť na rovnako veľkej vzorke pre oba druhy drevín, nakoľko jedince zaradené do výberu museli spĺňať nasledujúce kritériá. Výška jedincov musela byť väčšia ako 130 cm, hrúbka nesmela prekročiť hranicu $d_{1,3}$ 5 cm (CHRMES, NILSON 2005; DOBROWOLSKA, VEBLEN 2008; KLOPCIC, BONCINA 2010; LIN et al. 2011). V takto definovanom biometrickom intervale a rastovom prostredí ohraničenom plochou transektu boli merané len živé stromy bez poškodenia terminálneho výhonku a bez priameho konkurenta t.j. koruna posudzovaného jedinca rástla vo voľnom postavení. Stromy na ploche boli vyberané náhodo s ohľadom na dodržanie stanovených podmienok. Na jedincoch boli zisťované nasledujúce veličiny:

- výška jedinca (h) s presnosťou na 10 milimetrov,
- hrúbka jedinca ($d_{1,3}$ s presnosťou na 1 milimeter),
- dĺžky terminálnych výhonov (h_t) vytvorených za posledné tri roky s presnosťou na 1 milimeter,
- dĺžky dvoch na seba kolmých vetiev v praslenoch vytvorených za posledné tri roky s presnosťou na 1 milimeter.

Na meranie výšky jedincov (h) sa použila výškomerná teleskopická lata mEssfix-S® s dĺžkou 8 m. Dĺžky terminálnych a laterálnych výhonov sa merali meradlom tak, že jedince sa ohýbali. Meranie pri vyšších jedincoch často uľahčovala členitosť terénu.

Pri všetkých jedincoch bol ich výškový rast hodnotený pomocou indexu relatívneho výškového rastu RHG. Tento index predstavuje podiel dĺžky terminálneho výhonku a aktuálnej výšky jedinca. Za účelom testovania hypotézy H_1 bol použitý priemerný index RHG za posledné tri roky.

$$RHG = \frac{T}{H} \quad (1)$$

kde: T – dĺžka terminálneho výhonku (cm),

H – výška jedinca.

Pre posúdenie vplyvu svetelných podmienok na vybrané jedince bola morfológia korún všetkých jedincov hodnotená pomocou indexu apikálnej dominancie, ktorý vyjadruje pomer dĺžky terminálneho výhonku k priemernej dĺžke laterálnych výhonkov.

$$ADR = \frac{T}{L} \quad (2)$$

kde: T – dĺžka terminálneho výhonku (cm),

L – priemerná dĺžka bočných výhonkov najmladšieho praslenu (cm).

Na základe tohto ukazovateľa možno za jedince dostatočne zásobené svetlom označiť tie, ktorých hodnota ADR je väčšia ako 1. Za jedince so slabým rastovým potenciálom možno označiť jedince s ADR pod 1 resp. 0,5 (GRASSIET al. 2004, KUCBEL 2011, JAĎUŠ, SANIGA 2013).

Pre stanovenie závislosti výškového prírastku jedinca od jeho výšky bol vypočítaný priemerný výškový prírastok za posledné tri roky (i_{hx3}).

$$i_{hx3} = \frac{ih_1 + ih_2 + ih_3}{3} \quad (3)$$

kde: ih_1 – veľkosť terminálneho prírastku v roku zisťovania (cm),

ih_2 – veľkosť terminálneho prírastku v predchádzajúcom roku (cm),

ih_3 – veľkosť terminálneho prírastku vytvoreného pred dvoma rokmi (cm).

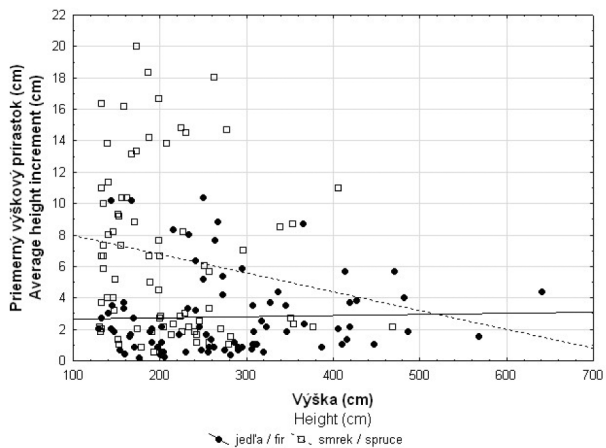
Štatistické spracovanie údajov bolo vykonané programom STATISTICA 10 na hladine významnosti $\alpha = 0,05$. Pre testovanie významnosti rozdielov v hodnotách indexov RHG a ADR bol s ohľadom na charakter súboru použitý Mann-Whitneyov U-test.

3. VÝSLEDKY

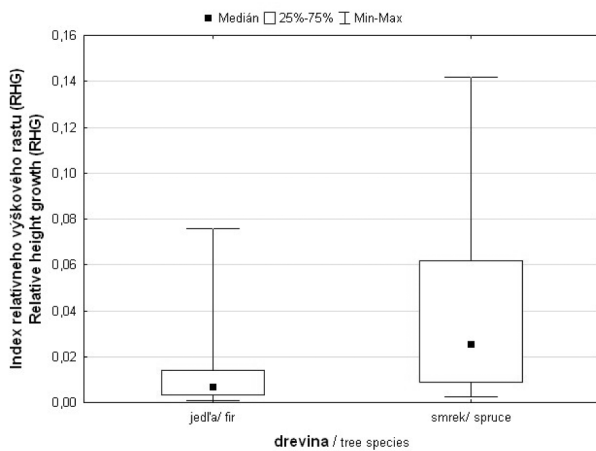
Vplyv výšky jedinca na jeho výškový prírastok sa ani pri jednej z drevín nepotvrdil ako štatisticky významný $p = 1,00$ (obr. 1). Na základe uvedeného zistenia môžeme konštatovať, že v rámci stanoveného biometrického intervalu sa všetky jedince nachádzajú v postavení, ktoré definujú natoľko homogénne svetelné podmienky, že rozdiely v ich výškovom prírastku sa neprejavujú ani so stúpajúcou výškou. Výsledky potvrdili, že do výšky 500 cm sa svetelné podmienky pre daného jedinca nezlepšia natoľko, aby sa to prejavilo v zvýšení jeho výškového prírastku.

Za účelom exaktného porovnania výškového rastu analyzovaných drevín bolo nutné odstrániť vplyv rozdielnej výšky jedincov na ich výškový prírastok a tento vhodným spôsobom relativizovať. Toto porovnanie je zobrazené na obrázku č. 2.

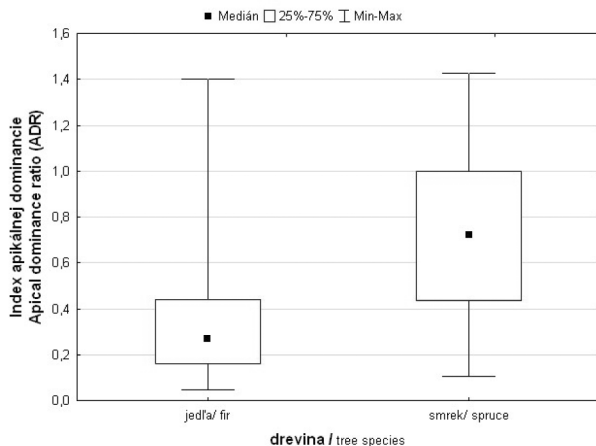
Na základe výsledkov prezentovaných formou grafického zobrazenia na obr. 2 a následného štatistického testovania môžeme zamietnuť hypotézu H_1 . V analyzovaných podmienkach dolnej vrstvy výberkového lesa v dielci 631 dosahuje výškový prírastok smreka vyššie hodnoty ako výškový prírastok jedle. Rozdiely medzi výškovými prírastkami drevín sa prejavili nielen v ich maximálne zistených hodnotách, ale štatistickým testovaním sa potvrdil významný rozdiel v ich stredných hodnotách ($p = 0,00$). Pri drevine jedľa bola maximálne zistená hodnota 0,076, pri smreku presiahla táto hodnota 0,14. Dosiahnuté mediánové hodnoty drevín boli pri jedli 0,007 a pri smreku 0,03.



Obr. 1 Závislosť medzi výškou a priemerným trojročným výškovým prírastkom
Fig. 1 Relationship between height and height increment (average from the last three years)



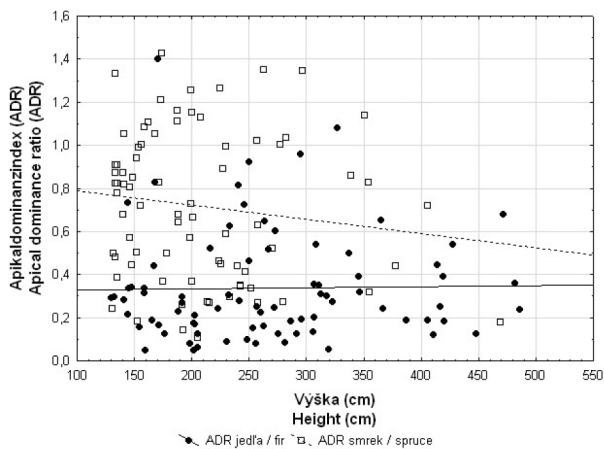
Obr. 2 Výškový rast drevín vyjadrený formou indexu RHG (priemer za posledné tri roky)
Fig. 2 Height growth of tree species by RHG (average from the last three years)



Obr. 3 Index apikálnej dominancie (priemer za posledné tri roky)

Fig. 3 Apical dominance ratio (average from the last three years)

Analýza výsledkov z oblasti dosahovaných hodnôt indexu ADR umožnila zamietnuť hypotézu H_2 (obr. 3). Aj keď sa dreviný v dosahovaných hodnotách indexu ADR nelíšia v maximálnych hodnotách, líšia sa v ich mediánoch, čo potvrdilo aj štatistické testovanie ($p = 0,00$). Kým sa pri drevine jedľa koncentruje viac ako 50 % zistených hodnôt pod hranicu 0,44, tak pri smreku je 50 % zistených hodnôt v kvantilových hraniciach 25 – 75 % v intervale 0,44 – 1,00 ADR. Výsledky jednoznačne potvrdzujú, že jedľa v analyzovaných podmienkach dominantne vytvára výrazne tienny habitus, kým smrek sa formovaním tvaru koruny blíži k habitu slnnému.



Obr. 4 Závislosť medzi výškou a priemerným trojročným indexom apikálnej dominancie

Abb. 4 Relationship between height and apical dominance ratio (average from the last three years)

Analýza vplyvu výšky jedinca na formovanie koruny (obr. 4) nepotvrdila štatisticky významnú závislosť ani pri jednej z drevín ($p = 1,00$). Rovnako ako pri výškovom prírastku nedochádza k zmene formovania habitu drevín so stúpajúcou výškou.

DISKUSIA A ZÁVER

Výškový prírastok drevín v dolnej vrstve štrukturalizovaných porastov a jeho rôzne matematické modifikácie sú predmetom viacerých prác, ktorých cieľom je nájsť vhodné rastové podmienky (diferencované najmä prienikom svetla) pre konkrétny druh dreviny. LÜSCHER (1990) analyzoval vplyv svetelných podmienok na výškový rast smreka v oblasti Švajčiarskych Alp na jedincoch výšky 40 až 500 cm v rôznych nadmorských výškach. Pre tento účel použili lineárnu redukciu výškového prírastku na jednotnú výšku jedincov 100 cm. Rovnaký postup použili vo svojej práci aj JAĎUŠ, SANIGA (2013), ktorí sa zaoberali výškovým rastom jedle bielej v dolnej vrstve výberkových lesoch na dvoch pedologicky odlišných stanovištiach. Podľa týchto autorov sa môžu nepriaznivé svetelné podmienky prejavovať na raste jedle bielej do takej miery, že po dobu viacerých rokov zostáva výškový prírastok jedle na úrovni 0,2 cm. DUCHESNEAU et. al (2001) analyzovali vplyv svetelných podmienok vyjadrených pomocou difúzneho fotosynteticky aktívneho toku žiarenia (PPFD %) na rast jedle balzamovej (*Abies balsamea*) v provincii Quebec (Kanada). Výberový súbor autorov tvorilo celkovo 63 jedincov vo výškovej kategórii 50 až 200 cm, pričom závislou premenou bol priemerný index relatívneho rastu (RHG) za posledné tri roky. Tento index dosahoval hodnoty 0,03 až 0,12. SZYMURA (2005) realizoval svoj výskum v západnom Poľsku na vzorke 226 jedincov jedle bielej (výška >0,5 m, hrúbka $d_{1,3} < 7,0$ cm). Pre opísanie výškového rastu v daných podmienkach rovnako použil index relatívneho rastu, pričom uvádza priemerné relatívne hodnoty na úrovni 11 %. CHRIMES, NILSON (2005) analyzovali vplyv otvorenosti korunovej klenby pri pohľade z jedného bodu (*canopy openness*) na priemerný výškový prírastok smreka obýčajného v severnom Švédsku za posledné tri roky. Svoju vzorku rozdelili do troch skupín s rôznymi biometrickými charakteristikami. Hodnota výškového prírastku bola vo vzťahu k hodnote *canopy openness* štatisticky významná pri všetkých skupinách ($p = 0,003$). Pre jedince s výškou 0,5 až 2,0 m uvádzajú hodnotu absolútneho ročného výškového prírastku na úrovni 5 cm a pre jedince nad 2,0 m s hrúbkou do 5 cm 7,5 cm. V nami analyzovanom výberovom súbore bol priemerný výškový prírastok smreka za posledné tri roky na úrovni 6,5 cm a pri jedli dosiahol len 2,7 cm. KLOPCIC, BONCINA (2010) realizovali svoj výskum v Slovinsku (región Kočevje). Vo výberkovom poraste s typickým drevinovým zložením (jds-m-bk) analyzovali na trvalých výskumných plochách (jedince s výškou >1,3 m, hrúbkou $d_{1,3} < 10,0$ cm) výškový prírastok za posledných desať rokov. Priemerný výškový prírastok tu dosiahol hodnotu 7,3 cm. Autori uvádzajú, že sociálny status, veľkosť koruny a najmä intenzita clonenia majú výrazný vplyv na výškový rast jedle vo výberkových lesoch. DUC (2002) zaznamenal výškové prírastky okolo 4–6 cm (v relatívnom vyjadrení cca. 5,5 %) pre jedince prirodzenej obnovy ($0,5 \text{ m} < \text{výška} \leq 1,3 \text{ m}$) oboch ihličnatých drevín vo švajčiarskych výberkových lesoch. Vo všeobecnosti možné konštatovať, že relatívne výškové prírastky prirodzenej obnovy smreka a jedle v zmiešaných porastoch s diferencovanou

štruktúrou sa pohybujú obvykle v intervale 5–11 % (VENCURIK et al. 2012). Naše výsledky sú čiastočne odlišné, čo je spôsobené tým, že evidované stromy boli ohraničené nízkou hrúbkou ($d_{1,3} \leq 5$ cm) a všetky sa nachádzali v silnom tiennom postavení.

Pre komplexné zhodnotenie rastu jedle a smreka v dolnej vrstve je nutné doplniť údaje o výškovom raste charakteristikami formovania korún. Získané výsledky v oblasti dosahovaných hodnôt priemerného indexu ADR za posledné tri roky potvrdzujú výsledky autorov GRASSI et al. (2004). Autori vo svojej práci analyzovali rastový prejav smreka obyčajného a jedle bielej v talianskych Alpách v nadmorskej výške 1 400 m n. m. Jednalo sa o diferencovaný, rôznoveký porast s južnou expozíciou s drevinovým zastúpením vyjadreným objemovým podielom smrek 73 % a jedľa 27 %. Na výskumnej ploche 0,75 ha zisťovali hodnoty indexu ADR na jedincoch vo výškovej kategórii 0,4–5 m. Autori rovnako označujú dreviny s hodnotou indexu ADR pod 1 ako dreviny s nedostatočným osvetlením a rastovo stresované. Na analyzovanej ploche sa nachádzalo celkovo 334 jedincov jedle a 765 jedincov smreka. Z celkových početností bolo indexom ADR menším ako 1 charakterizovaných 63 % jedlí a 37 % smrekov. Rovnako aj v nami analyzovanom súbore je viac jedlí (až 98 %) než smrekov (celkovo 74 %) charakterizovaných tiennym habitom resp. hodnotou indexu ADR pod 1. Pod takto výraznú dominanciu jedle v danej kategórii sa jednoznačne podpísali rastové podmienky dolnej vrstvy výberkového lesa. Kým záujmová plocha citovaných autorov bola zámerne situovaná tak, aby zachytávala aj rastové podmienky v medzere, naše jedince sa nachádzali vo výraznom stupni clonenia (nad 60 %). Práca autorov GRASSI, GIANNINI (2005) rovnako pojednáva o rastovom prejave smreka a jedle diferencovane podľa úrovne PPFD rovnako v oblasti talianskych Álp. Autori celkovo analyzovali 48 jedincov smreka a 28 jedincov jedle bielej. Analyzované jedince biometricky ohranili výškou 0,8–2,2 m a hrúbkou 1,8–4,5 cm. Pri oboch drevinách autori zistili hodnoty indexu ADR v intervale 0,3–1,5, pričom jednoznačne potvrdzujú vhodnosť priemerného indexu apikálnej dominancie za posledné tri roky ako ukazovateľa svetelných podmienok, ktorými je ovplyvnený rast jedincov. Formovanie slnného habitu resp. prah od ktorého dochádza k rastovému stresu pod vplyvom nevhodných svetelných podmienok stanovili na interval 15–20 % relatívneho osvetlenia v závislosti od dreviny. Práca JAĐUĐ, SANIGA (2013) uvádza, že pri drevine jedľa v podmienkach dolnej vrstvy analyzovaného výberkového porastu leží tento prah na úrovni 16 % difúzneho PPFD. Autori však pre stanovenie tohto prahu použili hodnotu ADR 0,5. CLAVEAU et al. (2002) sa tiež zaoberali rastom šiestich druhov ihličnatých drevín, medzi ktorými boli aj zástupcovia rodu *Abies*. Svetelné pomery klasifikovali autori pomocou štyroch intervalov relatívneho osvetlenia (0–10 %, 10,1–25 %, 25,1–50 %, 50,1–100 %). Pri oboch druhoch drevín rodu *Abies* sp. uvádzajú významnú zmenu v hodnotách modifikovaného indexu ADR (použili pomer terminálneho a najdlhšieho laterálneho výhonku) pri zmene svetelného intervalu ($p < 0,001$).

V podmienkach dolnej vrstvy sa rast analyzovaných druhov drevín prejavuje odlišnou „stratégiou“ najmä čo sa týka prežitia v limitujúcich svetelných podmienkach. Jedľa je fyziologicky prispôbená pre rast v dolnej vrstve štrukturalizovaných porastov, čo sa v takýchto podmienkach prejavuje aj navonok, formovaním tzv. dáždnikového typu koru-

ny. Smrek je v takýchto podmienkach výrazne znevýhodnený a preto „investuje“ všetku svoju energiu do rastu terminálneho výhonku, pričom je možné zaznamenať aj jedince s nevytvorenými laterálnymi výhonkami (nepublikované dáta). Terminálnym rastom tak dominuje nad jedľou a rýchlejšími výškovými presunmi sa snaží o zabezpečenie dostatku svetla. Celkovo možno konštatovať, že smrek v danej kategórii prirodzenej obnovy dosahuje vyššie hodnoty výškového prírastku ako jedľa. Tento trend sa prejavuje aj vo formovaní korún. Kým je väčšina jedincov pri jedli charakterizovaná výrazne tiennym habitom, pri smreku je vyššia tendencia k formovaniu tzv. slnného habitu. Výška jedincov sa v analyzovaných podmienkach a na analyzovanej vzorke neprejavila ako štatisticky významný faktor vplývajúci na hodnotu absolútneho výškového prírastku. Z hľadiska tvaru koruny a zásobenosti jedinca svetlom sa zmena výšky do 500 cm rovnako nepotvrdila ako štatisticky významný faktor.

PodĎakovanie

Táto vedecká práca vznikla s finančnou podporou projektu VEGA 1/0381/12.

Literatúra

- CLAVEAU, Y., MESSIER, CH., COMEAU, PH., COATES, D. 2002. Growth and crown morphological responses of boreal conifer seedlings and saplings with contrasting shade tolerance to a gradient of light and height. *Canadian Journal of Forest Research*, 32: 458–468.
- DOBROWOLSKA, D., VEBLEN, T. 2008. Treefall-gap structure and regeneration in mixed *Abies alba* stands in central Poland. *Forest Ecology and Management*, 255: 3469–3476.
- DUC, P. 2002. Zustand, Entwicklung und Pflege des Nachwuchses in Plenterwäldern des Val-de-Travers (Neunburg Jura). Diss. ETH Zürich, 224 s.
- DUCHESNEAU, R., LESAGE, I., MESSIER, CH., MORIN, H. 2001. Effects of light and intraspecific competition on growth and crown morphology of two size classes of understory balsam fir saplings. *Forest Ecology and Management*, 140: 215–225.
- ELLENBERG, H., LEUSCHER, CH. 2010. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Ulmer Verlag. 1357 s.
- FERLIN, F. 2002. The growth potential of understory silver fir and Norway spruce for uneven-aged forest management in Slovenia. *Forestry*, 75 (4): 375–383.
- GRASSI G., BAGNARESI, U. 2000. Foliar morphological and physiological plasticity in *Picea abies* and *Abies alba* saplings along a natural light gradient. *Tree physiology*, 21: 959–967.
- GRASSI, G., GIANNINI, R. 2005. Influence of light and competition on crown and shoot morphological parameters of Norway spruce and silver fir saplings. *Annals of Forest Science*, 62: 269–274.
- GRASSI, G., MINOTTA, G., TONON, G., BAGNARESI, U. 2004. Dynamics of Norway spruce and silver fir natural regeneration in a mixed stand under uneven-aged management. *Canadian Journal of Forest Research*, 34: 141–149.
- CHRMES, D., NILSON, K. 2005. Overstorey density influence on the height of *Picea abies* regeneration in northern Sweden. *Forestry*, 78: 433–442.
- ISHIDA, M., PETERS, R. 1998. Effects of potential PAR on shoot extension in juveniles of the main tree species in a Japanese temperate forest. *Ecological Research*, 13: 171–182.
- JAĐUĐ, J., SANIGA, M. 2012. Rastová a regeneračná dynamika vybraných typov výberkových lesov v orografickom celku Nízke Tatry. *Acta facultatis forestalis*. 54(2): 21–33.
- JAĐUĐ, J., SANIGA, M. 2013. Impact of light and soil conditions on the height growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in the lower layer of selection forests. *Zprávy lesnického výzkumu*. In press.
- KLOPČIC, M., BONCINA, A. 2010. Patterns of tree growth in a single tree selection silver fir-European beech forest. *European Journal of Forest Research*, 15: 21–30.

- KUCBEL, S. 2011. *Štruktúra porastov a regeneračné procesy vo vysokohorských ochranných lesoch Nízkych Tatier*, TU Zvolen: 138 s.
- LIN, C.J., LAIHO, O., LÄHDE, E. 2011. Norway spruce (*Picea abies* L.) regeneration and growth of understory trees under single-tree selection silviculture in Finland. *European Journal of Forest Research*, 131: 683–691.
- LÜSCHER, F. 1990: Untersuchungen zur Höhenentwicklung der Fichtennaturverjüngung im inneralpinen Gebirgswald. Diss. ETH Zürich, 138 s.
- MESSIER, CH., DOUCET, R., RUEL, J-C., CLAVEAU, Y., KELLY, C., LECHOWICZ, M. 1999. Functionaly ecology of advance regeneration in relation to light in boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 29: 812–823.
- METSLAID, M., JOGISTE, K., NIKINMAA, E., MOSER, W.K., PORCAR-CASTEL, A. 2007. Tree variables related to growth response and acclimation of advance regeneration of Norway spruce and other coniferous species after release. *Forest Ecology and Management*, 250: 56–63.
- PARENT, S., MESSIER, CH. 1995. Effets d'un gradient de lumiere sur la croissance en hauteur et la morphologie de la cime du sapin baumier regenere naturellement. *Canadian Journal of Forest Research*, 25(6): 875–885.
- REININGER, H. 1992. Zielstärken-Nutzung. Österreichischer Agrarverlag Wien. 163 s.
- SENN, J., SUTER, W. 2003. Ungulate browsing on silver fir (*Abies alba*) in the Swiss Alps: beliefs in search of supporting data. *Forest Ecology and Management*. 181: 151–164.
- SCHÜTZ, J.PH. 2002a. Die Plenterung und ihre unterschiedlichen Formen. ETH Zentrum. Zürich. 132 s.
- SCHÜTZ, J.PH. 2002b. Silvicultural tools to develop irregular and diverse forest structures. *Forestry*, 75(4): 329–337.
- SCHÜTZ, J.PH., GÖTZ, M., SCHMID, W., MANDALLAZ, D. 2006. Vulnerability of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forest stands to storms and consequences for silviculture. *European Journal of Forest Research*. 125: 291–302.
- SZYMURA, T.H. 2005: Silver fir saplings bank in seminatural stand: Individuals architecture and vitality. *Forest Ecology and Management*, 212: 101–108.
- TAKAHASHI, K., TATSUYUKI, S., KOHYAMA, T. 2005. Plastic changes of leaf mass per area and leaf nitrogen content in response to canopy openings in saplings of eight deciduous broad-leaved tree species. *Ecological research*. 20(1): 17–23.
- VENCURIK, J., KUCBEL, S., SNOPOKOVÁ, Z. 2012. Štruktúra, rast a klimatická senzitivita prirodzenej obnovy smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.) a jedle bielej (*Abies alba* Mill.) vo výberkových lesoch severozápadných Karpát, *Zprávy lesnického výzkum. in press*
- Williams, H., Messier, Ch., Kneeshaw, D. 1999. Effects of light availability and sapling size on the growth and crown morphology of understory Douglas-fir and lodgepole pine. *Canadian journal of forest research*. 29: 221–231.

Adresa autora:

Ing. Ján Jad'ud'

Katedra pestovania lesa

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

e-mail: xjadud@tuzvo.sk

Apikálna dominancia a výškový prírastok jedle bielej (*Abies alba* Mill.) a smreka obyčajného (*Picea abies* (L.) Karst.) v dolnej vrstve výberkového lesa

Abstrakt

Cieľom predkladanej práce bola identifikácia rozdielov vo výškovom raste (pomocou indexu relatívneho rastu) a v tvarovej premenlivosti korún (pomocou indexu apikálnej dominancie) drevín v dolnej vrstve výberkového lesa s dominantnou produkčnou funkciou. Výsledky práce poukazujú na štatisticky významné rozdiely vo výškovom prírastku analyzovaných drevín. Smrek vo výškovom raste jednoznačne v danej kategórii prirodzenej obnovy ($h \geq 130$ cm, $d_{1,3} \leq 5$ cm) dominuje nad jedľou. Hodnota indexu relatívneho rastu pri smreku dosiahla 0,3 a pri jedli len 0,007. Významné rozdiely sa prejavili aj vo formovaní tvaru koruny. Pre charakterizovanie týchto rozdielov sme použili index apikálnej dominancie (ADR), ktorý je často používaný aj pre vyjadrenie vitality jedinca. Jedľa vytvára prevažne tienny typ koruny s hodnotou ADR menšou ako 0,5. Koruny smreka majú skôr slnný charakter. Vplyv výšky jedincov na dosahované hodnoty priemerného výškového prírastku a hodnoty indexu ADR nebol štatisticky významný.

Kľúčové slová: index apikálnej dominancie, výškový rast, jedľa, smrek, výberkový les

METODIKA PROCESNÉHO ZJEMŇOVANIA SIMULÁCIÍ RASTU LESNÝCH EKOSYSTÉMOV

Lucia M A C K O V Á – Marek F A B R I K A

Macková, L., Fabrika, M.: Methodology of process-based down scale for forest ecosystem growth simulations. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 1, 2013, 125–137.

Paper discusses the methodology of process-based down scale for forest ecosystem growth simulations. The aim of the methodology is to develop a procedure to quantify the tree and stand predation for the month, day and hour. Aim will be reached by calculating the individual physiological processes in plants, such as pedotransfer functions, hydrological balance, stomatal conductance, leaf energy balance, transpiration, photosynthesis, respiration and leaf phenology. Subsequently, the following increments determine the percentages calculated on the basis of which a distributed annual increase of empirical model for shorter time intervals. Photosynthesis is a process directly related to the absorption of solar radiation, the methodology discusses the calibration procedure model of solar radiation in the growth simulator SIBYLA.

Key words: modeling, growth simulator, Sibyla, physiological progresses

1. ÚVOD A CIEĽ

Pre vývoj spoločnosti je vo všetkých vyspelých krajinách sveta zdôrazňovaný nenahraditeľný význam lesných ekosystémov. Zodpovedanie otázky komplexného výskumu a využívania obnoviteľných prírodných zdrojov, ako aj zabezpečovania ochrany a tvorby prírodného aj životného prostredia je a predovšetkým bude jednou zo základných priorít ľudskej populácie. Keďže lesy majú životnosť, ktorá spravidla presahuje trvanie profesionálnej dráhy jednotlivého výskumníka, dochádza k sťažovaniu experimentálneho skúmania lesných ekosystémov. Tento základný fakt vyžaduje uplatnenie vlastných pokusných metód, ktoré je možné využiť pri obhospodarovaní a predovšetkým plánovaní opatrení v lesných spoločenstvách (FABRIKA a PRETZSCH 2011). Súčasný rozvoj lesníckej vedy dokázal preklenúť problém týkajúci sa rozporu medzi dlhovekosťou lesov a praxou výskumníka aplikáciou modelov rastu a vývoja lesa. Počas 200-ročnej histórie lesníckeho modelovania došlo k značným pokrokom. Dnešné rastové modely už dokážu poskytnúť komplexnejšie výsledky, dokážu flexibilne reagovať na vnútorné či vonkajšie podnety dotýkajúce sa lesných ekosystémov. Výstupy modelov umožňujú zorientovanie v produkčných, ekonomických aj ekologických oblastiach.

Ako už bolo spomenuté, pre riešenie rôznych problémov sú pre lesné hospodárstvo dôležité modely rastu a vývoja lesa. Preto sa v tejto práci budeme venovať zvýšeniu detailu simulácií rastu lesných ekosystémov v rastovom simulátore SIBYLA. Toto zjemnenie

chceme dosiahnuť skrátením časovej jednotky, pre ktorú dokáže SIBYLA poskytnúť výsledky. Využije sa procesné modelovanie, ktoré sa prepojí s rastovým simulátorom a použije sa na upotrebitelnosť geografických informačných technológií v tejto oblasti.

Cieľom je vypracovanie metodiky na realizáciu podrobnejších simulácií zjemnením časového rozlíšenia modelu zachytením fyziologických procesov počas roka pre časovú jednotku kratšiu ako jeden rok a prepracovaním sa z úrovne stromu na úroveň orgánu – listu. Hlavným cieľom práce je hybridizácia modelu spresnením modelu slnečného žiarenia skonštruovaného FABRIKOM (2010) a jeho prepojením na ostatné procesy. Táto práca má za účel vypracovať podklady na kalibráciu modelu slnečného žiarenia pomocou empirických hodnôt získaných na výskumných plochách.

2 ROZBOR PROBLEMATIKY

S nástupom počítačov sa otvorili nové možnosti, ktoré jednak umožňujú lepšiu prácu s klasickými nástrojmi ako sú počítačom podporované výpočty a úplne nové prístupy, napríklad počítačové modelovanie a simulácie. Tieto prístupy umožňujú analyzovať výrazne zložitejšie systémy, ktoré pozostávajú z viacerých častí, ktoré sú komplikovaným spôsobom previazané a vzájomne sa ovplyvňujú. Takýmto komplexným systémom, ktorý je možno riešiť pomocou počítačových simulácií je lesný ekosystém (PELÁNEK 2011).

2.1 Modely rastu lesa

Modely rastu lesa a z nich vyplývajúce simulátory sú zjednodušené, účelovo orientované zobrazenia skutočnosti. Ich koncepcie a konštrukcie majú byť preto riadené objektovo špecifickými systémovými vlastnosťami lesných porastov ako dlhovekosť, historickosť, otvorenosť alebo determinujúca štruktúra (PRETZSCH 2002).

Existujú dve skupiny rastových modelov. Prvá skupina je postavená na raste lesa ako súboru stromov a prognózovaní porastových taxačných veličín, druhá na modelovaní parametrov a rastu jednotlivého stromu v rámci súboru stromov (FABRIKA 2005).

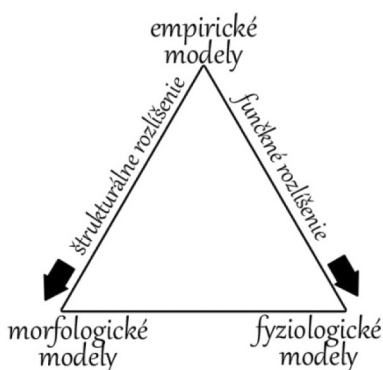
Ako prvé boli spracované rastové tabuľky. Rastové tabuľky sú matematickým modelom, ktorý vo forme sústavy matematických rovníc definuje vývoj lesa (FABRIKA 2008). Značnú inováciu rastových tabuliek predstavujú rastové simulátory. Všeobecne možno simulátory definovať ako počítačový model reálneho sveta vo forme modelu štruktúry alebo chovania systému, ktorá sa snaží reálny systém čo najvernejšie napodobňovať.

Simulátor lesných ekosystémov je simulátor, ktorý sa snaží o napodobňovanie chovania lesných ekosystémov. Rastové simulátory využívajú teóriu modelovania systémov na napodobnenie rastových procesov jednotlivých stromov a porastov pri rôznych faktoroch prostredia a pestovných opatreniach (FABRIKA 2005).

Rastové modely môžu poskytnúť objektívne predpovede ponúkajúce informácie potrebné k udržaniu ťažieb v rámci trvalo udržateľnej kapacity lesa a poskytujú kvantitatívne dáta pre krajinné plánovanie (VANCLAY 1994).

KURTH (1994) navrhol grafické zobrazenie klasifikácie modelov podľa metód modelovania pomocou trojuholníka modelov, ktorý je zobrazený na obrázku 1.

Empirické modely sa nachádzajú na hornom vrchole trojuholníka, pretože sú z hľadiska úrovne modelovania najviac agregované. Sú to modely, ktoré sa zameriavajú na zmenu biometrických stavových premenných v čase. Vychádzajú zo štatistických metód odvodených z experimentálnych meraní, čo znamená, že sú postavené na empiricky odvodených vzťahoch. Platnosť týchto modelov je obmedzená len pre základný súbor, s ktorým sa viaže výberová vzorka. V prípade, že potrebujeme model použiť pre iný základný súbor, je potrebné urobiť kalibráciu. Medzi prvotné výstupy modelu patria biometrické stavové parametre ako sú hrúbka, výška stromov alebo kruhová základňa resp. zásoba porastu. Základný princíp empirického modelovania spočíva v zmene základného stavu lesného porastu pomocou biometrických rovníc (FABRIKA a PRETZSCH 2011).



Obr. 1 Klasifikácia modelov lesa na základe metód modelovania podľa trojuholníka modelov navrhnutého KURTHOM (1994)

Fig. 1 Classification of forest models based on modeling methods proposed by triangle models (KURTH 1994)

Keďže rastové modely pracujú na rôznych úrovniach, môžeme empirické modely rozdeliť na stromové, frekvenčné a porastové modely. Rozdiely medzi jednotlivými modelmi spočívajú predovšetkým v stavových premenných, ktoré sa menia počas simulácií a sú základom modelovania jednotlivých modelov.

Ďalší vrchol v trojuholníku klasifikácie modelov na základe metód modelovania zastupujú **morfologické** alebo inak štrukturálne modely. Táto skupina modelov modeluje morfológiu jednotlivých stromov, pričom sa opiera o topológiu orgánov a architektúru stromov. Ich podstatou je dopracovať sa k odvodeniu štruktúry stromov, formovaniu kmeňa, vetiev, listov a plodov. Pre dosiahnutie tohto cieľa využívajú prvky fraktálnej geometrie.

Poslednú zložku trojuholníka klasifikácie modelov zastupujú **procesné** alebo inak nazývané aj fyziologické modely, ktoré sa zameriavajú na modelovanie kauzálnych procesov na úrovni fyziológie stromu. Keďže predstavujú ťažisko tejto práce, podrobnejšie budú popísané v nasledujúcej kapitole.

Pre komplexnejšie pochopenie niektorých systémov je možné jednotlivé modely kombinovať. Ide o tzv. hybridné modely, ktoré využívajú prvky z dvoch, alebo viacerých typov modelov.

2.1 Procesné modely

Procesné modely podliehajú v súčasnosti najdynamickejšiemu vývoju (FABRIKA a PRETZSCH 2011). Procesné modely sa od empirických modelov odlišujú tým, že sa snažia predpovedať výsledný rast na základe opisu procesov, ktoré mu predchádzajú a interakciami medzi nimi (LANDSBERG 2003). Použitie procesných modelov by preto malo viesť k presnejším výsledkom (ZEIDE 2003). Nevyhnutné je však postupne upustiť od empirických prístupov, pričom najlepším riešením je postupný prechod od empirických, cez hybridné a nakoniec k procesným modelom (MÁKALA et al. 2000). Ďalšou značnou výhodou procesných modelov je, že majú všeobecnejšiu platnosť. Aj keď tieto modely je potrebné tiež kalibrovať, ak ich chceme použiť napr. na iný vegetačný typ alebo na inú drevinu (FABRIKA a PRETZSCH 2011).

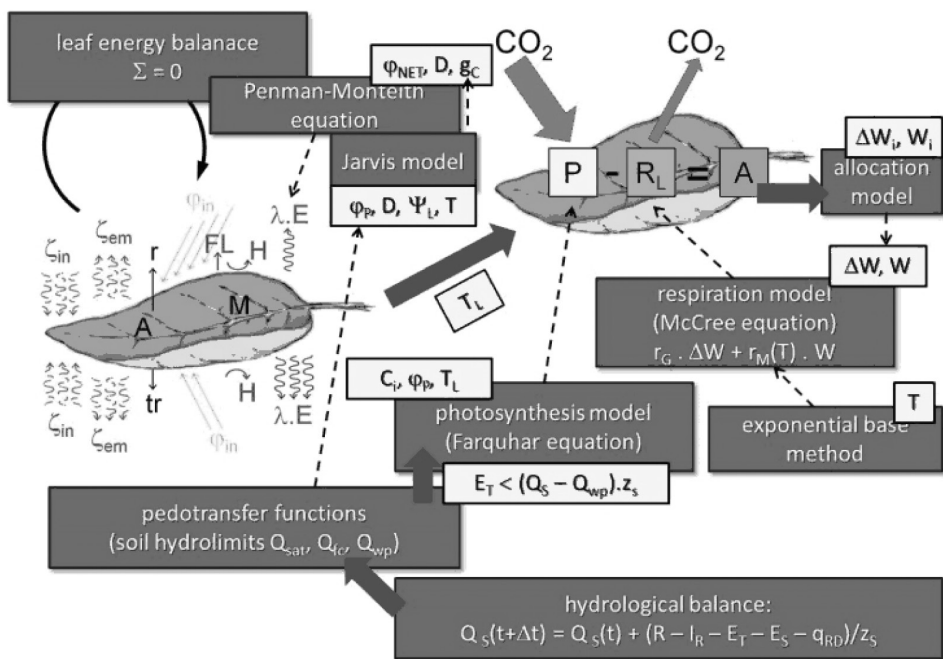
Procesy, ktoré súvisia s rastom sa dajú popísať na základe zjednodušeného systému. Základom je slnečné žiarenie, ktorým začína proces fotosyntézy. Asimilačné orgány zachytia slnečné žiarenie, čím sa následne produkujú uhlíkovodíky. V ďalšom kroku premieňajú energiu pre syntézu bielkovín a formáciu nových pletív a potom sú translokované do jednotlivých rastlinných orgánov. Efektivita fotosyntézy závisí vo veľkej miere od stavu olistenia a príjmu CO_2 cez prieduchy. Funkcia prieduchov je závislá od vodnej bilancie rastliny. Na priebeh rastových procesov majú vplyv mnohé ďalšie faktory. K najzávažnejším faktorom, ktoré ovplyvňujú rastové procesy, patria teplota prostredia, pôdna vlhkosť, vlhkosť ovzdušia, minerálna bohatosť pôdy, prístupnosť živín koreňom rastlín, stav škodlivín v prostredí a mnohé ďalšie. Už len z takéhoto zjednodušeného popisu vyplýva, že ide o komplikovaný proces s množstvom vzájomných interakcií (LANDSBERG 2003).

Aj procesné modely aplikujú rôzne experimentálne merania, ktoré sa koncentrujú na podrobné klimatické merania, merania vlastností pôdy, merania kolobehu vody, merania množstva slnečného žiarenia, fyzikálno-chemické merania, výkon fotosyntézy a podobne. Základné procesy, ktoré predstavujú predmet modelovania procesných modelov, sú absorpcia svetla, intercepcia, transpirácia, evapotranspirácia, fotosyntéza, respirácia, alokácia, senescencia a podobne (FABRIKA a PRETZSCH 2011).

3 METODIKA ZJEMNENIA RASTOVÝCH SIMULÁCIÍ EMPIRICKÉHO MODELU SIBYLA

Hlavná časť práce je implementovaná do prostredia rastového simulátora SIBYLA. Dátový materiál pre odvodenie jednotlivých modelov a algoritmov rastového simulátora SIBYLA pozostáva zo širokej experimentálnej základne, pričom empirické údaje pochádzajú zo Slovenska, Nemecka, Rakúska a Švajčiarska. Dátový materiál je heterogénny s rôznym obsahom a úrovňou podrobnosti zisťovania a merania veličín. Obsah a detailnosť závisí od účelu zberu údajov a druhu modelu, pre ktorý sú údaje určené (FABRIKA 2008). V súčasnosti podáva SIBYLA výstupy v rámci rastových tabuliek, tabuliek biomasy, tabuliek biodiverzity, tabuliek sortimentov, hodnotových tabuliek, ekonomických tabuliek a tabuliek multikriteriálneho hodnotenia porastu. Rámcová metodika zjemnenia rastových simulácií zahŕňa zostavenie algoritmov na modelovanie

fyziológických procesov prebiehajúcich v rastlinách počas roka. Zjednodušená schéma procesného zjemňovania je uvedená na obrázku 2.



Obr. 2 Procesné zjemnenie rastového simulátora SIBYLA

Fig. 2 Process-based downscale of SIBYLA

3.1 Algoritmy na modelovanie fyziologických procesov

Pre zachytenie fyziologických procesov prebiehajúcich v rastlinách je potrebné definovať algoritmy na modelovanie absorpcie slnečného žiarenia, modelovanie pedotransférnych funkcií, hydrologickej bilancie, vodivosti prieduchov, transpirácie, energetickej bilancie listov, fotosyntézy a respirácie.

Pre modelovanie jednotlivých fyziologických procesov sú potrebné vstupné parametre, ktoré softvér potrebuje na prevedenie algoritmov. Vstupné parametre sa navzájom líšia a závisia od druhu dreviny, od orgánu stromu a konkrétneho fyziologického procesu, ktorého simuláciu má softvér vykonať. Do výpočtov teda vstupujú **environmentálne parametre** ako žiarenie, rýchlosť vetra, teplota a relatívna vlhkosť vzduchu, koncentrácia CO_2 , zrážky a nadmorská výška. Ďalej sú potrebné **listové charakteristiky**: horizontálny uhol, absorpcia žiarenia, emisivita, charakteristická dimenzia, tvar listu. Z **pôdných parametrov** vstupuje podiel piesku, ílu, prachu, humusu, štrku, vlhkosť pôdy, hĺbka pôdy,

faktor hustoty a salinita pôdy. Zo **stromových parametrov** vstupuje do výpočtu index listovej plochy, biomasa kmeňov, vetiev, listov, koreňov a celková biomasa stromu. Poslednými vstupnými parametrami sú **časové charakteristiky** ako je začiatok a koniec vegetačnej periódy, začiatok a koniec plnej fotosyntetickej aktivity a aktuálny deň, v ktorom sa procesy počítajú.

Všetky významné procesy rastu stromu ovplyvňuje stav pôdy. Pôda predstavuje hlavný zdroj vody a látok rozpustných vo vode, ktoré sú prijímané prostredníctvom koreňov (FABRIKA a PRETZSCH 2011). Preto sú prvé algoritmy venované výpočtu **pedotransférnych funkcií**, ktoré sú modelované podľa SAXTONA a RAWLSA (2006). Vstupné pôdne parametre zahŕňa v modeli fyziológ generátor pôd na základe jednotlivých lesných typov. Pre rast stromov a priebeh fyziologických procesov sú dôležité pôdne hydrolimity ako je bod vädnutia, poľná kapacita, nasýtená vodná kapacita a potenciálna rastlinám dostupná voda. Aby sa uvedené hydrolimity vypočítali, bolo potrebné stanoviť charakteristiky ako hustotu materskej pôdy, objemovú zložku štrku, celkovú hustotu pôdy, tenziu pôdnej vlhkosti, vodivosť nasýtenej materskej pôdy, vodivosť materskej pôdy pri nasýtenej vlhkosti, osmotický potenciál pri nasýtenej vlhkosti, osmotický potenciál pri aktuálnej vlhkosti.

Akýkoľvek pokus modelovať rast lesov musí zahŕňať výpočty bilancie vody v pôde, ktorá musí brať do úvahy charakteristiky udržiavania pôdnej vlhkosti a schopnosti pôdy zabezpečiť dostatočnú vodu potrebnú pre rast stromov (LANDSBERG a SANDS 2011). Pre namodelovanie **hydrologickej bilancie** bolo potrebné vykalkulovať charakteristiky ako je čistá radiácia nad povrchom pôdy, vodivosť pôdy, intercepcia, evaporácia, transpirácia, odtok, nasýtený vodný potenciál listu, aktuálny vodný potenciál listu, až sa nakoniec dopracovalo k aktuálnej pôdnej vlhkosti, ktorá sa vypočítala:

$$Q = SM + (RAIN - I_R - E_S - E_T) / (\text{depth} * 1000) \quad (1)$$

kde SM predstavuje pôdnu vlhkosť, RAIN – zrážky, I_R – intercepcia, E_S – evaporácia, E_T – transpirácia, depth – efektívna pôdna hĺbka.

Prieduchy regulujú energiu a výmenu plynov medzi vegetáciou a atmosférou, a naopak. Odhady **vodivosti prieduchov** sú preto dôležité. Pre odvodenie vodivosti prieduchov sme použili Jarvisov model (JARVIS 1976). Je to multiplikatívny model, ktorý modeluje vodivosť prieduchov ako maximálnu vodivosť redukovanú funkciami odozvy na premenné vonkajšieho a vnútorného prostredia. Výsledok tejto redukčnej funkcie sa nazýva omega faktor. V tomto modeli bolo potrebné vypočítať omega faktor pre fotosynteticky aktívne žiarenie, omega faktor pre teplotu, omega faktor pre deficit tlaku vodných pár, omega faktor pre vodný potenciál listu. Z týchto faktorov sa následne odvodil celkový omega faktor a vypočítala sa vodivosť prieduchov, ako aj odpor prieduchov.

Na výpočet vodivosti prieduchov sú potrebné základné vstupné parametre ako je maximálna vodivosť prieduchov, koeficient krivosti pre fotosynteticky aktívne žiarenie, maximálnu, optimálnu a minimálnu teplotu, deficit tlaku vodných pár pre otváranie a zatváranie prieduchov, vodný potenciál listu pre otváranie a zatváranie prieduchov. Vodivosť prieduchov sa vypočítala:

$$g_{st} = g_{max_x} * g_{corr} * \text{omega} \quad (2)$$

kde g_{max_x} je maximálna vodivosť prieduchov, g_{corr} – korekčný faktor pre skutočné pomery, omega – celkový omega faktor. Výpočet jednotlivých zložiek vodivosti prieduchov sa vykonal podľa JARVIS (1976).

Na modelovanie procesu **transpirácie** v procesných modeloch sa využíva Penman-Monteithova rovnica (MONTEITH a UNSWORTH 1990), kde pre výpočet transpirácie je potrebné stanoviť tlak nasýtenej vodnej pary, tlak vodnej pary v ovzduší, deficit tlaku vodných pár v ovzduší, tlak vodných pár v liste, gradient tlaku vodných pár v smere list – vzduch, oddeľovací koeficient medzi listom a vzduchom. Po vypočítaní evaporačnej zložky a Bowenovho pomeru bolo možné kvantifikovať transpiráciu:

$$E = LE * 1 / L * 1 / M_w * 1000 \quad (3)$$

kde LE je skupenské teplo, L – skupenské teplo výparu, M_w – molárne množstvo H_2O .

Hlavným zdrojom energie pre list počas dňa je čistá absorpcia žiarenia. Ak by list nedisponoval možnosťami redukcie teploty, dochádzalo by k jeho prehrievaniu. Preto bolo potrebné stanoviť zložky **energetickej bilancie listu**. Pre jej odvodenie je potrebné poznať základné environmentálne parametre ako je krátkovlnné žiarenie, rýchlosť vetra, teplota a relatívna vlhkosť. Ďalšími vstupnými parametrami sú listové parametre. Pri modelovaní energetickej bilancie listu sme namodelovali čistú radiáciu, rozdiel teploty medzi listom a vzduchom, čím sme následne odvodili teplotu listu, ktorá ovplyvňuje fyziologické procesy a vypočíta sa:

$$T_{leaf} = T_{air} + \Delta T \quad (4)$$

kde T_{air} predstavuje teplotu vzduchu a ΔT rozdiel teploty medzi listom a vzduchom.

Fotosyntéza je základný proces v ekofyziologických modeloch. Na modelovanie sme použili model podľa Farquhara a von Caemmerer (FARQUHAR et al. 1982). Model počíta fotosyntetickú rýchlosť ako minimum obmedzení enzýmu Rubisco (A_c), ktorá je zastúpená parametrom V_{Cmax} a elektrónovým transportom (A_j) odrážajúcim regeneráciu enzýmu Rubisco, ktorý je zase zastúpený parametrom J_{max} (LANDSBERG a SANDS 2011). Model predpovedá asimiláciu listu ako funkciu hustoty toku fotónov, teploty vzduchu a parciálnych tlakov CO_2 a O_2 v dutinách prieduchov. Aby sme dokázali stanoviť asimiláciu bolo potrebné vypočítať medzibunkový parciálny tlak CO_2 , kompenzačný bod CO_2 pri absencii dennej respirácie, maximálne množstvo karboxylácie enzýmu Rubisco, Michaelis-Mentenovej konštanty pre karboxyláciu a oxygenáciu a medzibunkový parciálny tlak kyslíka. Následne na základe transportu elektrónov sme mohli určiť asimiláciu (A):

$$A = \min(A_c, A_j) \quad (5)$$

pričom transport elektrónov môže byť odvodený na základe hustoty toku elektrónov.

Pre modelovanie **respirácie** sme vybrali metódu podľa autora MCCREE (1970). Na namodelovanie procesu respirácie touto metódou bolo potrebné poznať základné vstupné veličiny pre rastové a udržiavacie dýchanie. Pre správne namodelovanie respirácie bolo potrebné poznať celkovú biomasu stromu. Po vypočítaní exponenciálnych báz pre respiráciu dreva, koreňov a listov sme vypočítali celkovú udržiavaciu respiráciu:

$$R_T = R_G + R_M \quad (6)$$

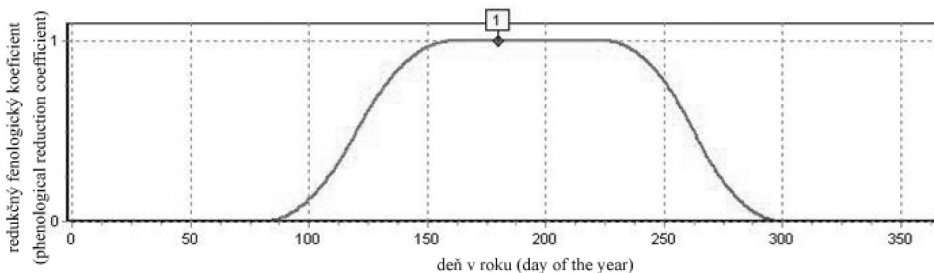
kde R_G predstavuje rastovú respiráciu a R_M celkovú udržiavaciu respiráciu.

Pri modelovaní **fenológie listu** bolo dôležité správne namodelovať obdobie, v ktorom začínajú stromy pučať. Pri ihličnatých drevinách je pre modelovanie vzniku a veľkosti nových ročníkov ihlíc dôležité obdobie začiatku olistenia a jeho plný stav. Pre namodelovanie opadu listov alebo straty starších ročníkov ihlíc počas roka je dôležitý koniec vegetačného obdobia (FABRIKA a PRETZSCH 2011).

Pre namodelovanie fenologickej krivky listu počas roka bolo potrebné stanoviť deň začiatku (t_1) a konca (t_6) vegetačnej periódy (pučanie listu), deň začiatku (t_2) a konca (t_4) plnej fotosyntetickej aktivity, deň začiatku a konca fotosyntetickej aktivity a počet dní dlhšej a kratšej vegetačnej aktivity. Pre ich stanovenie sme potrebovali v prvom rade určiť plnú listovú plochu:

$$LA = SLA * W_f \quad (7)$$

kde W_f predstavuje listovú biomasu stromu a SLA vyjadruje špecifickú listovú plochu (povrch listov na 1 kg listov). Listovú plochu sme redukovali pomocou redukčných fenologických koeficientov pre jednotlivé časti fenologickej krivky listu počas roka, ktoré sú zobrazené na obrázku 3.



Obr. 3 Fenologická krivka listu (FABRIKA 2012)

Fig. 3 Phenological curve of leaf (FABRIKA 2012)

Po stanovení redukčných faktorov pre jednotlivé časti, následne bolo možné vypočítať aktuálnu listovú plochu:

$$cLA = fLA * LA \quad (8)$$

kde fLA predstavuje celkový redukčný fenologický koeficient a LA vyjadruje listovú plochu.

Následne sa určila hrubá primárna produkcia za jednu hodinu:

$$GNPP = A / 10^6 * M_c * cLA * 60 * 60 \quad (9)$$

kde A predstavuje asimiláciu, M_c molárne množstvo uhlíka, cLA aktuálnu listovú plochu.

Potom sa odvodila čistá primárna produkcia za jednu hodinu:

$$\text{NPP} = (A - R_T) / 10^6 * M_c * cLA * 60 * 60 \quad (10)$$

kde R_T predstavuje celkovú respiráciu.

Na základe hodinových prírastkov kvantifikovaných z fyziologických procesov sme vypočítali percentá prírastkov na každú hodinu v roku. Následne sme rozdelili ročný prírastok z empirického modelu pomocou percent vypočítaných z procesného modelovania na jednotlivé mesiace, dni až hodiny.

3.2 Modelovanie slnečného žiarenia

Pre modelovanie fyziologických procesov prebiehajúcich v rastlinách bolo potrebné v prvom rade namodelovať absorpciu slnečného žiarenia, ktoré predstavuje hlavný zdroj energie rastliny, pretože až za prítomnosti slnečného žiarenia začína prebiehať proces fotosyntézy. Modelovanie slnečného žiarenia bolo nutné rozdeliť na modelovanie žiarenia na voľnej ploche a modelovanie žiarenia v zápoji. Tieto zložky sú obsiahnuté v rastovom simulátore SIBYLA a jeho module Astronóm, ktorý vyhotovil FABRIKA (2012). Modelovanie žiarenia na voľnej ploche obsahuje model oblačnosti, model horizontu, model slnečnej trajektórie a model radiácie. Algoritmické riešenie žiarenia na voľnej ploche podrobne rozoberá FABRIKA a PRETZSCH (2011). Vzhľadom k plnej funkčnosti modelu žiarenia na voľnej ploche bola pre metodiku procesného zjemňovania simulácii rastu lesných ekosystémov dôležitá kalibrácia modelu žiarenia v zápoji, ktorý zahŕňa model hemisféry zápoja a model absorpcie žiarenia.

Model hemisféry zápoja je riešený pomocou metódy Ray-tracing, v rámci ktorej sa hodnotia prekážky v smere sledovaného lúča. Vstupnými údajmi pre tento model je uhol lúča, v rámci ktorého sa sledujú jednotlivé prekážky. Ďalším vstupom je krok resp. vzdialenosť, pri ktorej sa mení azimut a zenitový uhol sledovaného lúča. Následne sa vyhodnotia prekážky v smere sledovaných lúčov. Pre každý hodnotený azimut a zenitový uhol získame percento žiarenia oproti voľnej ploche. Získame tak hemisféry absorpcie žiarenia. Priame žiarenie sa získa analýzou priepustnosti slnečného žiarenia v polohe slnka. Difúzne žiarenie sa odvodí na základe celej hemisféry.

Pri riešení modulu absorpcie slnečného žiarenia sa využíva Lambert-Beerov zákon (1960), ktorý predstavuje matematické vyjadrenie závislosti absorpcie elektromagnetického žiarenia od vlastností materiálu, cez ktoré prechádza žiarenie.

Pre modelovanie slnečného žiarenia v poraste sa používa rovnica:

$$\varphi = \varphi_0 * e^{-kLAI} \quad (11)$$

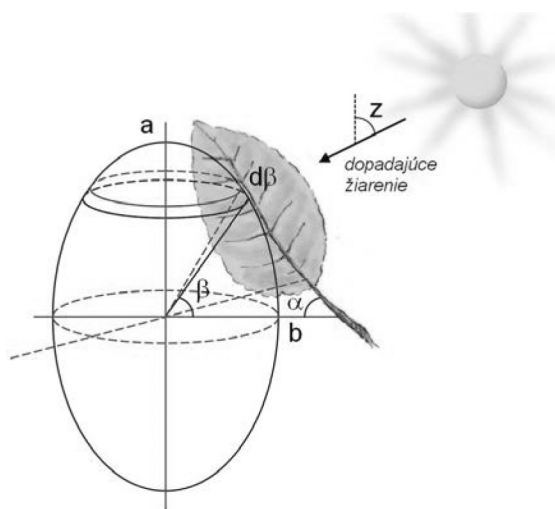
kde φ predstavuje žiarenie v poraste, φ_0 žiarenie nad porastom, k je koeficient poklesu žiarenia a LAI je index listovej plochy. Rovnica počíta žiarenie vo vnútri porastu redukciou žiarenia nad porastom pomocou exponenciálnej funkcie na základe množstva asimilačných orgánov, cez ktoré preniká svetlo.

Orientácia listov a smer slnečného žiarenia v značnej miere ovplyvňuje pokles slnečného žiarenia pri prenikaní do porastu. Koeficient poklesu žiarenia v závislosti od smeru slnečného žiarenia a orientácie listov sa počíta podľa Campbellovho elipsoidu (CAMPBELL 1990). Elipsoidná orientácia listov podľa Campbella je na obrázku 4.

Pokles slnečného žiarenia závisí tiež od listovej plochy, cez ktorú žiarenie prechádza. Pomer povrchu listov vegetácie a povrchu územia, na ktorom táto vegetácia rastie predstavuje index listovej plochy.

Aby bolo možné kalibrovať model slnečného žiarenia, sú potrebné experimentálne údaje z terénnych meraní. V rámci metodického postupu je potrebné pomocou analyzátora rastlinného zápoja vyhotoviť hemisférické snímky pre odvodenie indexu listovej plochy, fotosynteticky aktívneho žiarenia, stanovenie difúznej zložky žiarenia, uhla inklinácie listov a veľkosti otvorov porastového zápoja v teréne. Následne sa môže kalibrovať model slnečného žiarenia na základe párových testov medzi výstupmi z analyzátora rastlinného zápoja a výstupmi z rastového simulátora SIBYLA.

Keďže rastový simulátor SIBYLA je vyvinutý pre základné dreviny buk, dub, jedľa, borovica a smrek, aj výskumná plocha musí obsahovať zmes všetkých drevín.



Obr. 4 Elipsoidná orientácia listov podľa Campbella (FABRIKA a PRETZSCH 2011)

Fig. 4 Ellipsoidal orientation of leafs by Campbell (FABRIKA a PRETZSCH 2011)

ZÁVER

História modelovania lesa prešla v rámci lesníckej vedy značným vývojom. V súčasnej dobe sa oblasť modelovania rastu lesa uberať smerom procesného modelovania, ktoré by malo prispieť k zvýšeniu presnosti lesného rastu. Zakomponovanie procesných modelov do rastu lesa by malo zvýšiť využiteľnosť v rámci prepojenia na prírodu blízke obhospodarovanie lesa.

V predkladanej práci sú sledované tieto najnovšie trendy, ako aj výsledky, ktoré sa dosiahli v posledných rokoch v danej problematike. Cieľom je tieto poznatky zakomponovať do rastového simulátora SIBYLA a prispieť tak k lesníckemu modelovaniu na Slovensku.

Táto práca prezentuje metodiku hybridizácie modelu SIBYLA empiricko-procesným prístupom. Ročné empirické výstupy modelu SIBYLA sa rozložia na mesiace, dni až hodiny. Downscale je založený na modelovaní eko-fyziologických procesov, ktorými sú absorpcia slnečného žiarenia, pedotransférne funkcie, fydrologická bilancia, vodivosť prieduchov, transpirácia, energetická bilancia listov, fotosyntéza a respirácia. Pre kvantifikovanie fyziologických procesov je nevyhnutné správne fungovanie modelu slnečného žiarenia. Následne sa na základe kauzálnych vzťahov odvodí množstvo čistej primárnej produkcie pre hodinový interval. Tento prístup procesného zjemnenia rastového simulátora SIBYLA môže pomôcť k pochopeniu vývoja ekosystémov na biologických princípoch a môže byť použitý v oblasti výskumu, vzdelávania a lesníckej praxi.

Pod'akovanie

Článok vznikol v rámci výskumného projektu národnej grantovej agentúry VEGA č. 1/0618/12 – Modelovanie rastových procesov lesa s vysokou rozlišovacou úrovňou.

Literatúra

- CAMPBELL, G. S., 1986: Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. 36, s. 317–321.
- FABRIKA, M. 2005: Simulátor biodynamiky lesa – Koncepcia, konštrukcia a programové riešenie (Habilitačná práca). Technická univerzita vo Zvolene. Zvolen
- FABRIKA, M. 2008: <http://etools.tuzvo.sk/sibyla/slovensky/model.htm>
- FABRIKA, M. 2010: Počítačom podporované modelovanie lesa, súčasný stav a perspektívy, Biometria, informatika, inventarizácia, modelovanie lesa – základ pre precízne lesníctvo. Zborník referátov z vedeckého seminára, Zvolen
- FABRIKA, M., PRETZSCH, H. 2011: Analýza a modelovanie lesných ekosystémov. Technická Univerzita vo Zvolene, Zvolen, s. 15–599.
- FABRIKA, M., 2012: Softvérový doplnok k rastovému simulátoru SIBYLA
- FARQUHAR, G. D., VON CAEMMERER, S. (1982): Modelling of photosynthetic response to environmental conditions. In: LANGE, O. L., NOBEL, P. S., OSMOND, C. B., Ziegler, H. (eds): Encyklopaedia of Plant Physiology. Vol. 12B, Springer – Verlag, Berlin, s. 548–587.
- JARVIS, P. G. 1976: The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. Philos. Trans. Roy. Soc. London B, 273, s. 593–610.
- KURTH, W. (1994): Morphological models of plant growth: Possibilities and ecological relevance, Ecological Modeling 75/76, s. 299–308.
- LANDSBERG, J. 2003: Physiology in forest models: History and the future, FBMS Volume 1, s. 49–63.
- LANDSBERG, J. J., SANDS, P. 2011: Physiological Ecology of Forest Production: Principles, Processes and Models. Amsterdam: Elsevier. s. 331.
- MÄKELÄ, A. et. al. (2000): Process-based models for forest ecosystem management: current state-of-art and challenges for practical implementation. Tree Physiology 20, s. 289–298.
- MCCREE, K. J., 1970: An equation for the rate of respiration of white clover plants grown under controlled conditions. In: Šetlik, I. (ed): Prediction and Measurement of Photosynthetic Productivity. PUDOC, Wageningen, s. 221–229.
- MONTEITH, J. L. UNSWORTH, M. H., 1990: Principles of Environmental Physics. Edward Arnold, London

- PELÁNEK, R. 2011: Modelování a simulace komplexních systémů, Masarykova univerzita, Brno, s. 14–233.
- PRETZSCH, H. 2002: Grundlagen der Waldwachstumsforschung, Berlin: Parey; Blackwell verlag GmbH, s. 414.
- SAXTON, K. E., RAWLS, W. J., 2006: Soil Water characteristic estimates by texture and organic matter for hydraulic solutions. Soil Science Society of America Journal, 70 s, s. 1569–1578.
- VANCLAY, K.J. 1994: Modelling Forest Growth and Yield Applications to Mixed Tropical Forests. CAB International, Wallingford, UK, s. 312.
- ZEIDE, B. 2003: The U-approach to forest modeling, Canadian Journal of Forest Research; 33, 3; s. 480–489.
-

Adresa autora:

Ing. Ing. Lucia Macková
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
Masarykova 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
e-mail: lucia.mackova@tuzvo.sk

Doc. Ing. Marek Fabrika, PhD.
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
Masarykova 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
e-mail: fabrika@tuzvo.sk

Metodika procesného zjemňovania simulácií rastu lesných ekosystémov

Abstrakt

V súčasnej dobe sa lesnícka veda nezaobíde bez modelov rastu. Cieľom práce bolo vypracovať metodiku, ktorá má prispieť k hybridizácii rastového simulátora SIBYLA empiricko-procesným prístupom. Úlohou bolo vypracovať spôsob prerozdelenia ročných empirických výstupov modelu pre kratšie časové jednotky ako jeden rok aplikovaním metód procesného modelovania. Zjemnenie časového rozlíšenia modelu sa malo uskutočniť zachytením fyziologických procesov prebiehajúcich v rastlinách počas roka a prepracovaním sa z rozlišovacej úrovne stromu na nižšiu hierarchickú úroveň orgánu – listu. Pre správne kvantifikovanie fyziologických procesov bolo potrebné vypracovať metodiku kalibrácie modelu slnečného žiarenia skonštruovaného FABRIKOM (2010) na základe empirických hodnôt z výskumných plôch a prepojenie modelu slnečného žiarenia na ostatné procesy.

Kľúčové slová: modelovanie, rastový simulátor, simulácia, fyziologický proces

NÁVRH PROJEKTU MODELU VODÍKOVEJ LANOVKY PRE HORSKÉ TERÉNY

Martin H R A D S K Ý

Hradský, M.: The project design of model hydrogen lifts for mountain terrains. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 1, 2013, 139–155.

Persistent upward rising energy prices trend and standards pressuring environmental protection and human health, requires for keeping the production reducing the consumption of external energy supply and efficient use of internal resources. This paper presents principles, enabling a solution to this problem at the level of forestry in the future to areas with a predominantly mountainous terrain. For this purpose, various proposals have been processed, for project size model hydrogen lifts for mountain terrain. In particular chapters are discusses the possible technical solutions, indicating the envisaged proposal. In order to properly model properties adaptable to the reality, most of the dimensions and parameters has been reduced in scale 1 : 10. Specific energy parts performance are designed to a certain tolerance, according to market availability. Procedure for examining the properties of hydrogen lift by model, brings several advantages. In this way, the particular focus is on avoiding unnecessary costs on large projects and significantly reduced the production itself. Another advantage is a real examination of properties that can not be determined by calculation, or their determination would be too difficult, or unrealistic. Based on the proposed parameters, the calculation was carried out in Annex B, confirming the feasibility of this project. According to this calculation, the fully loaded modeled lift would after every load cycle use only certain amount of gases, which consequently would leave a significant amount of unused reaction gases in the tanks unused. The results indicate that the draft design of tanks, will be reckoned with possible amendments or proposed system ensuring the possibility of withdrawing excess fuel when deploying the steeper slopes. Security measurements also needs to be taken into consideration in case of emergency, while providing max. safe allowable volume of gas. Produced excessive amounts of fuel could serve as a source of energy for hydro power, or CPU. When executed properly, storage may be used in terrain where there is lack of production of the reaction gases. The use of hydrogen lifts for mountain terrain offers advantages particularly in terms of direct cost savings in the form of fuel, but also in terms of ergonomics and ecology.

Key words: hydrogen lift, fuel cell, accumulation energy

ÚVOD

Svet prechádza obdobím silného energetického rozmachu a v posledných rokoch sa stále viac stupňuje záujem o ekologické spôsoby premeny energií. Novodobým fenoménom sa stala vodíková energia, často chápaná súčasne, ako ekologická. Je dôležité si však uvedomiť, že ekologickou ju možno nazvať iba v prípade získania vodíka ekologickou cestou. Vodík je silno reaktívny plyn, ktorého atómy sa voľne vyskytujú veľmi zriedka a v prírode sú jeho nositeľmi organické látky a fosílna palivá. Väčšina zariadení

ní fungujúcich na vodíkový pohon získava vodík z fosílnych palív, zemného plynu, alebo biomasy. Nepochybne najväčší význam použitia vodíkovej energie spočíva v možnosti jej akumulácie všade tam, kde sa energia z rôznych dôvodov využiť doposiaľ nedala a jej vznik človek priamo nepodmienil. Ak máme potom riešiť otázku transformácie a akumulácie energie ekologickým, hospodárnym a účinným spôsobom, tak základný kameň predstavujú palivové články.

Palivové články (PČ) sú významným medzníkom hospodárenia s energiou, hlavne pre ich účinnosť pohybujúcu sa od 40 až do 85 %, v závislosti od druhu a čistoty reakčných plynov (MELICHOVÁ, 2008). Téma PČ sme sa bližšie venovali v bakalárskej práci, preto sa teraz budeme zaoberať iba konkrétnym typom, využiteľným pre náš návrh projektu vodíkovej lanovky pre horské terény (ďalej len návrh projektu modelu lanovky). Lesné prostredie, najmä horské lesy, sú okrem zásoby dendromasy významným nositeľom nepriamej a ekologickej energie charakterizovanej ich potenciálnou energiou, pre ktorú sa používa aj označenie „horská energia“. Využitie energie gravitovaného dreva spočíva v premene pohybovej energie na chemickú, cez sústavu generátora a palivového článku, disociáciou destilovanej vody na čistý vodík a kyslík, spätne transformovateľných do použiteľnej formy energie. Opodstatnenosť využitia tohto systému v lesníckych lanovkách vychádza najmä z ich najčastejšieho terénneho nasadenia v prudkých sklonoch. Pôsobia teda ako priamy zachytávač nepriamej energie gravitovanej dendromasy. Predpokladanú činnosť takejto lanovky, určenej výlučne pre horské terény možno vidieť na obrázku v prílohe A, obr. 1, 2. Model takejto lanovky bude slúžiť v prvom rade pre výskumné účely, vyhodnocovanie jej parametrov a z toho vyplývajúce možnosti využitia. V súčasnej dobe prebieha najmä teoretické overovanie funkčnosti a riešenie návrhu projektu tohto modelu. Uvedený návrh projektu modelu lanovky, je súhrnom doterajších výsledkov informácií, znalostí a technických možností, potrebných na vypracovanie skutočného projektu, pre zhotovenie prototypu modelu vodíkovej lanovky pre horské terény, ktorý je predmetom vypracovania diplomovej práce.

2 METODIKA

Pri spracovaní práce ŠVOČ bola použitá odborná literatúra, internetové zdroje, vyhodnotenia vlastných meraní, ale v značnej miere aj vlastné návrhy riešení, konzultované s vedúcim tejto práce a v postačujúcej miere odvodzované výpočtami. Pre získanie vstupných informácií, boli vykonané vo viacerých prípadoch rešerše, najmä v oblasti výberu vhodného energetického aparátu pre návrh modelu lanovky. Okrem toho boli navštívené viaceré inštitúcie osobne, najmä v snahe získať potrebnú odbornú literatúru a to hlavne SLDK vo Zvolene, NLC vo Zvolene a krajská knižnica v Žiline. Ďalej rôzne odborné pracoviská, ako servisné dielne elektronáradia, za účelom získania informácií o štandardne používaných jednosmerných elektromotoroch, dielne Technickej univerzity vo Zvolene, kde som získal inšpiráciu pre celkové riešenie návrhu tohto projektu a zároveň myšlienky pre nové technické riešenia využiteľné v budúcnosti a tiež pri vypracovaní diplomovej práce. Značné množstvo informácií bolo prevzatých z internetu, najmä čo sa týkalo výberu vhodného palivového článku, zisťovania jeho parametrov a rozmerov. Pre

rozšírenie vedomostí v oblasti technických riešení lanoviek, možných spôsoboch ich využitia a nasadenia, ako aj poznatkov o ich výhodách a nevýhodách vo vzťahu k porastu a logistike, som absolvoval voliteľné predmety - Lanovky v lesníctve a Viacoperačné stroje na katedre lesnej ťažby, logistiky a meliorácií. Počas vypracovania práce ŠVOČ bol používaný textový program Microsoft Word, grafický program Adobe Photoshop a manuálne vytvorené obrázky a schémy.

3 VOĽBA TYPU LANOVKY

Jednou zo základných častí celého návrhu projektu, je voľba najvhodnejšieho strojového základu lanového žeriava, na ktorý sa následne aplikujú doplnkové zariadenia, modifikujúce klasickú činnosť lanovky. Je potrebné si uvedomiť, že každý pohyb lanovky, vozíka, lanových bubnov, alebo lanáča, je sprevádzaný s vynaložením energie na každý takýto pohyb. Úlohou zostáva, zabezpečiť a koordinovať všetky tieto pohyby tak, aby bolo možné z každého z nich získať energiu v stave, kedy ňou disponujú. Je zrejmé, že sa v našom prípade jedná o energiu vznikajúcu pohybom vozíka (presnejšie bremena) po lane, s jeho klesajúcou nadmorskou výškou. V reálnej prevádzke sú to tie fázy činnosti lanovky, v ktorých prebieha proces brzdenia. Preto sa aj samotný návrh projektu orientuje na lanovky s výlučne gravitačným sústreďovaním s možnosťou plného závesu bremena. Pre návrh projektu nášho modelu sú teda najvhodnejšie lanovky, spĺňajúce tieto štyri základné požiadavky:

- preprava dreva v plnom závese,
- vhodnosť pre gravitačné sústreďovanie,
- pohon vozíka (bremena) jedným bubnom alebo lanovnicou (lanáčom),
- jednoduchá konštrukcia dovoľujúca požadované zmenšenie.

Z tohto pohľadu sú najvhodnejšou alternatívou lanovka Wyssen (Wyssen W30 Yarder), ktorá má jedno nosné lano a ťažné lano s jedným navijakom a LARIX 550 (s použitím plného závesu), ktorý má nosné, ťažné, pomocné a obežné lano. Obe tieto lanovky však nespĺňajú úplne všetky uvedené požiadavky. Lanovka Wyssen je vhodná pre jej jednoduchosť, centralizáciu energie vznikajúcej pri gravitačnom sústreďovaní do jedného miesta (navijaka), prepravuje drevo v plnom závese, avšak bubon ťažného lana sa musí nachádzať na hornom konci lanovkovej trate. V našich podmienkach môže byť táto skutočnosť nevýhodná kvôli novej absencii komunikácií pre dopravu lanovky na takéto miesta. Pre použitie tejto konštrukcie by sme teda museli doplniť lanovku o vratné lano, čo by umožnilo umiestnenie lanovky aj na dolnom konci lanovkovej trate, avšak so stratou centralizácie pohonu a potrebou synchronizácie pohybu lanových bubnov. Naopak, lanovka LARIX 550 umožňuje z hľadiska jej umiestnenia v teréne vyššiu adaptabilitu a konštrukcia lanového systému je podobná ako v prípade doplnenia lanovky Wyssen o vratné lano. Nevýhodou je jej zložitá konštrukcia znemožňujúca požadované zmenšenie do veľkosti modelu tak, aby bola zachovaná jej funkčnosť. Ďalšou nevýhodou je decentralizácia odovzdávania energie pohybujúceho sa bremena a s tým súvisiace straty účinnosti jej prenosu. V súčasnosti sa uvažuje s použitím konštrukcie lanovky Wyssen W30 Yarder v jej pôvodnej konštrukcii, a zároveň prebieha aj vývoj novej lanovky s konštrukciou, zohľadňujúcou vyššie uvedené

požiadavky. Táto lanovka používa obežné lano a tzv. manipulačné lano (príloha A, obr. 3). Výhodou tejto lanovky je centralizácia energie pri približovaní a spúšťaní bremena do jedného bodu. Nevýhodou je jej ťažké umiestnenie na dlhých tratiach s konvexným priebehom nakoľko sa nedá použiť priechodná lanová podpera. Pre nasadenie v takýchto podmienkach je potrebné doplniť nosné lano. Ďalšou otázkou, ktorá sa rieši v tomto návrhu je voľba veľkosti modelu lanovky. Vzhľadom k tomu, aby sa zachovala funkčnosť a aby bolo možné prevádzkať na tomto modeli potrebné merania a získať porovnateľné výsledky, uvažuje sa s veľkosťou odvodenou od najčastejšej skutočnej veľkosti lanoviek. Za účelom zistenia optimálnej veľkosti boli prehodnocované rôzne parametre, ako je max. nosnosť, dĺžka trate, uvažovaný sklon trate, ktoré majú priamy vplyv na tvorbu energie a vzhľadom k tomu aj možnosť umiestnenia modelu týchto parametrov v určitých priestoroch. Parametre o nosnosti a dĺžke trate však nedávajú úplné informácie, nakoľko nosnosť je závislá predovšetkým od prierezu lana. To znamená, že nosnosť sa nemôže znižovať rovnakou mierkou ako veľkosť lanovky, pretože konštrukcia a výkon lanovky zmenšená o rovnakú mierku ako nosnosť, by jej patrične nezodpovedala. Z tohto dôvodu sa určila nosnosť len približná, pričom jej minimum musí byť väčšie, ako odpor lanového zariadenia a maximum zodpovedajúce krútiacemu momentu pohonnej jednotky. Dobrou pomôckou pri návrhu veľkosti lanovky bol aj jestvujúci model klasickej konvenčnej lanovky TST 400, ktorý je inštalovaný v dielňach Technickej univerzity vo Zvolene a je vyrobený v mierke 1 : 5 voči originálu. Prehodnotením týchto údajov a na základe konzultácie s vedúcim práce ŠVOČ z katedry, boli navrhnuté pre projekt tohto modelu tieto parametre: pomer zmenšenia 1 : 10, nosnosť 10 kg, dĺžka trate 15–20 m, nosné oceľové lano Ø 4,5 mm šesťpramenné s menovitou únosnosťou 8,915 kN a v prípade použitia vlastnej konštrukcie lanovky obežné lano Ø4 mm s menovitou únosnosťou 7,107 kN. Z uvedeného vyplýva, že sa bude jednať o dielenský model, s možnosťou inštalácie vonku, alebo v hale.

4 VOĽBA ENERGETICKEJ VÝBAVY

Energetická výbava modelu vodíkovej lanovky pre horské terény predstavuje sústavu zabezpečujúcu hospodárenie s energiou, jej transformáciu, ukladanie a uvoľňovanie. Návrh energetickej výbavy ako celku, závisí od energetického dopytu lanovky, od jej parametrov. Nakoľko sa jedná o návrh modelu, ktorý je svojím spôsobom prototypom, viaceré hodnoty sú stanovené intuitívne a ich skutočné správanie a vývoj bude možné verifikovať až pri zahájení jeho prevádzky. Jedná sa o spomínané parametre dĺžky trate, nosnosti a sklonu trate, ktoré napriek odhadnutým hodnotám (okrem sklonu) nemajú vplyv na celkový výsledok, ktorý je predmetom nášho skúmania. Energetickú výbavu, ako najdôležitejšiu časť modelu vodíkovej lanovky pre horské terény, možno rozdeliť do dvoch samostatných častí: motorickej a akumuláciej.

4.1 Motorická časť

Pohonnú jednotku modelu lanovky bude predstavovať elektromotor. Jeho použitie prináša viaceré výhody, okrem iných hlavne vysokú účinnosť, dobrú ovládateľnosť,

plynulý rozbeh, nízku hladinu hluku a žiadnu spotrebu energie v čase prestojov. Voľba vhodného elektromotora vychádza zo stanovenia výkonnosti lanovky a spôsobu transformácie energie. Ako bolo v úvode spomenuté, transformovaná energia bude ukladaná v podobe reakčných plynov vodíka a kyslíka. Pre disociáciu vody na reakčné plyny pomocou elektrickej energie, je nevyhnutný jednosmerný prúd. Výsledkom reakcie týchto plynov v palivovom článku je opäť jednosmerný tok elektrónov. Z tohto dôvodu sme zvolili pre tento model elektrický komutátorový motor na jednosmerný prúd. Hlavnými parametrami určujúcimi výkon pohonného agregátu sú: nosnosť lanovky, požadovaná rýchlosť vozíka, rýchlosť vyťahovaného bremena a očakávané rozmery modelu podľa mierky. Vzhľadom k navrhnutému lanu, boli podľa normy zvolené zodpovedajúce priemery kladiek a lanových bubnov s priemerom 60 mm. Podľa normy zodpovedá navrhnutému lanu priemer min. 50 mm. Z priemeru hnacích bubnov, príp. lanovnice, sa odvodil minimálny krútiaci moment potrebný na zdvihnutie a manipuláciu s bremenom o maximálnej určenej hmotnosti 11 kg, pričom 1 kg predstavuje rezervu. Pri použití hnacích lanových bubnov s uvedeným priemerom stačí na zdvihnutie takéhoto bremena agregát s krútiacim momentom 3,4 Nm. Nakoľko je veľmi dôležité, aby nedochádzalo ku stratám spôsobených trením prevodov a otáčajúcich sa častí, bude slúžiť navrhnutý typ elektromotora súčasne ako generátor jednosmerného prúdu a zároveň spĺňať aj funkciu elektoretardéra rýchlosti gravitovaného dreva. Vďaka multifunkčnému využitiu tohto elektromotora ho ďalej budeme označovať ako motorgenerátor. Nevýhodou energie vytváratej pohybujúcim sa vozíkom s bremenom, je jej hromadná koncentrácia s nepravidelným priebehom. Podchytenie celého rozsahu možných prepravovaných hmotností a z toho vyplývajúcej rýchlosti premeny na pohybovú energiu, si vyžaduje reguláciu, už pri transformácii pohybovej energie na elektrickú. Aby to bolo možné, navrhli sme použitie dvoch menších motorgenerátorov z ktorých jeden bude slúžiť na pohon modelu lanovky a oba súčasne ako široko-kapacitný generátor. Na trhu je veľmi široký výber komutátorových elektromotorov rôznych výkonov a veľkostí. Samotný motor si však vyžaduje úpravu otáčok a zvýšenie krútiaceho momentu viacnásobným prevodom. Všetky tieto požiadavky vyústili k myšlienke použitia elektromotora s integrovaným prevodovým mechanizmom. Vhodným posúdením všetkých alternatív, bol vybraný komutátorový elektromotor na jednosmerný prúd s integrovanou wilsonovou prevodovkou, umožňujúcou voľbu dvoch rýchlostí (príloha A, obr. 4). Sériovo sa vyrába pre akumulátorové vŕtačky. Jeho príkon je 12 V a maximálny výstupný krútiaci moment 30 Nm. Rozmery: Ø 45 mm a dĺžka 120 mm. Z uvedeného vyplýva, že výkon motora je plne dostačujúci a veľkosťou vhodný.

4.2 Akumulačná časť

Do akumuláčnej časti možno zaradiť systém zabezpečujúci uchovávanie elektrickej energie potrebnej pre spätné využitie pohonu modelu lanovky. Pozostáva z palivového článku (PČ), zásobníkov plynov a zásobníka destilovanej vody. Dnes poznáme päť základných typov PČ (AFC, PEM, PAFC, MCFC, SOFC), vylíšených na základe charakteristických dejov prebiehajúcich pri premene chemickej energie na elektrickú. Z pohľadu uplatnenia v modeli lanovky majú význam iba nepriame PČ, ktoré umožňujú sústavnú

regeneráciu paliva. Pri zohľadnení jednoduchosti, chemickej nezávadnosti a vyššie uvedených podmienok, výber vhodného typu PČ jednoznačne smeruje k PEMFC. V procese akumulácie energie sa bude uplatňovať jednoduchý princíp smereny destilovanej vody na reakčné plyny v PČ, pôsobením jednosmerného prúdu z motorgenerátora a ich ukladania v nízkotlakovej nádrži. Tlak v nádrži sa bude vyvíjať pôsobením vodného stĺpca umiestneného vo veži modelu (príloha A, obr. 5). Pri uvažovanej výške veže 75 cm bude tlak v nádrži 7,5 kPa. Objem nádrží sa predbežne odhaduje pri účinnosti PČ 50 % a účinnosti motorgenerátora cca 80 % na 400 ml pre každý reakčný plyn. Palivové články dostupné na trhu sa vyrábajú v určitých výkonnostných triedach, takže požiadavky energetického príkonu modelu lanovky nebudú s menovitým výkonom článku úplne v súlade.

Na základe zhodnotenia jednotlivých parametrov bol vybraný PČ PEM s menovitým výkonom 100 W (príloha A, obr. 6). Čisté napätie 12 V, prúd 7,2 A a rozmery $130 \times 112 \times 95$ mm (Enessere, 2013). Uvedený PČ je nadhodnotený, nakoľko kritické hodnoty nabíjania vystupujú v extrémnych sklonoch často aj nad túto hodnotu. Alternatívnou cestou je využitie menších PČ dostupných vo forme rôznych hobby fyzikálnych stavebníc, ktorých parametre sú najčastejšie $U = 1,2$ V a $I = 1$ A (HRADSKÝ, 2012). Pri dosiahnutí potrebnej výkonovej kapacity zrovnateľnej s vyššie uvedeným PČ, by bolo potrebné sériovo-paralelné zapojenie sedemdesiatich takýchto článkov, čo by značne komplikovalo zapojenie, ale tiež neúmerne zväčšovalo samotný model lanovky. Na druhej strane, by takéto usporiadanie PČ zabezpečilo lepšie využitie nadkapacitnej energie pri gravitovaní bremena. Pre určenie objemu nádrží reakčných plynov a teoretické overenie predpokladanej funkčnosti modelu lanovky pre horské terény, sme previedli výpočet uvedený v prílohe B, v ktorom predpokladáme nasledovné parametre modelu lanovky: hmotnosť lanovkového vozíka 1 kg, dĺžka trajektórie 18 m, reálna rýchlosť $1,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, prekonaný výškový rozdiel 9 m, priemerný odpor lanovej sústavy 10 %.

5 NÁVRH OVLÁDANIA A REGULÁCIE

Významný vplyv na koordináciu funkčnosti jednotlivých navrhovaných súčastí modelu lanovky, má ich vzájomné prepojenie riadiacou sústavou, zabezpečujúcou reguláciu a ovládanie celého systému. Pod pojmom regulácia rozumieme logické usporiadanie podmienok aktuálne prebiehajúceho procesu tak, aby sa čo najefektívnejšie dosiahli požadované výsledky. Predpokladom efektívnosti fungovania modelu vodíkovej lanovky pre horské terény, je dokonalé využitie každej disponibilnej energie ponúkanej gravitovaným bremenom a minimalizáciou odporov pri jej akumulácii, ale aj spätnej transformácii. Z uvedeného dôvodu sa v návrhu uvažovalo s použitím čo najmenšieho počtu mechanických častí. Navrhnutý systém ovládania a regulácie graficky vyjadruje schéma 1 v prílohe A. Dôležitým faktom je, že nabíjaním PČ motorgenerátorom (MG) vzniká na hriadelí MG krútiaci moment priamo úmerný generovanému napätiu, vďaka čomu je možné reguláciou intenzity odovzdávania energie do PČ, meniť aj krútiaci moment na hriadelí MG. Tento poznatok je základom pre využitie MG ako elektrotretardéra rýchlosti pohybu vozíka. Krútiaci moment prenášaný na hriadeľ MG, je v konečnom dôsledku ovplyvňovaný variabilitou hmotnosti bremena. Aby sme zamedzili možným

stratám pri ťažších bremenách, navrhli sme použitie dvoch MG, z ktorých jeden je pripojený na hriadeľ lanovnice cez voľnobežnú spojku. To spôsobuje, že sa tento zúčastňuje iba procesu nabíjania. Syntetizáciou týchto poznatkov, je návrh použitia odstredivého regulátora rýchlosti, ktorý využíva vplyv generujúceho napätia na krútiaci moment MG. Návrh regulácie generovaného napätia spočíva v úprave MG tak, aby sa jeho permanentne magnetický stator spojený s odstredivým regulátorom otáčok, mohol posúvať v pozdĺžnom smere osi MG. Ďalším dôležitým prvkom regulácie, je oddelenie fáz nabíjania a vybíjania PČ. Najjednoduchším riešením je začlenenie polovodičov do elektrického obvodu medzi MG a PČ, čo zamedzí nedovolenému spätnému vybíjaniu PČ po dokončení nabíjania. Ovládanie činnosti modelu vodíkovej lanovky prebieha zásahom do jej v celku samostatnej činnosti. Diaľkovo ovládaná riadiaca jednotka je včlenená medzi PČ a MG tak, že obchádza polovodičové súčiastky. Jej funkcia spočíva v zmene polarizácie výstupných vodičov, čím sa mení smer otáčania lanovnice a teda aj smer pohybu vozíka. Okrem toho je vybavená aj výstupmi pre ovládanie brzdy, nachádzajúcej sa na hriadeľi MG. Brzdový systém zabezpečuje spomalenie a zastavenie lanovnice pri rýchlosti, ktorá sa nedá ovplyvniť elektoretardérom, teda ani využiť pre nabíjanie. Predstavuje zároveň bezpečnostný prvok pre okamžité zastavenie.

6 ZÁVER

Neustály trend stúpania cien energií a tlak noriem chrániacich životné prostredie a zdravie človeka, si vyžaduje pri zachovaní produkcie výroby, znižovanie spotreby externej dodávky energie a efektívne využívanie interných zdrojov. V tejto práci sú uvedené princípy, umožňujúce riešenie tejto problematiky na úrovni lesného hospodárstva v budúcnosti na územiach s prevažne horským terénom. Za týmto účelom boli spracované jednotlivé návrhy, pre tvorbu projektu modelovej veľkosti vodíkovej lanovky pre horské terény. V konkrétnych kapitolách sa pojednáva o možných technických riešeniach s uvedením predpokladaného návrhu. Aby boli vlastnosti modelu adaptovateľné do skutočnosti, väčšina rozmerov a parametrov bola zmenšená v mierke 1 : 10. Výkony konkrétnych energetických častí sú navrhované v určitej tolerancii, podľa dostupnosti na trhu. Postup skúmania vlastností vodíkovej lanovky pomocou modelu prináša viacero výhod. Týmto spôsobom sa predovšetkým zamedzí zbytočným nákladom na veľké projekty a výrazne sa skráti aj samotná výroba. Ďalšou výhodou je reálne skúmanie vlastností, ktoré sa výpočtom nedajú stanoviť, alebo je ich stanovenie náročné, príp. málo pravdepodobné. Na základe navrhnutých parametrov, bol vykonaný výpočet uvedený v prílohe B, potvrdzujúci reálnosť tohto projektu. Podľa tohto výpočtu by pri plnom zaťažení modelu lanovky malo po každom spustení bremena zostať v nádržiach značné množstvo nespotrebovaných reakčných plynov. Z výsledkov vyplýva, že v návrhu projektovania nádrží, bude potrebné počítať s možnou zmenou, alebo návrhom systému zabezpečujúceho možnosť odobratia nadmerného množstva paliva pri nasadení v prudších sklonoch. Vzhľadom k tomu sa budú riešiť otázky bezpečnosti v prípade havarijného stavu, pričom sa stanoví max. bezpečný dovolený objem plynov. Vyprodukované nadmerné množstvo paliva by mohlo slúžiť napríklad ako zdroj energie pre pohon hydromanipulátora, alebo procesora. V prípade

vhodného uskladnenia môže byť použité v terénoch, kde bude produkcia reakčných plynov nedostatočná. Použitie vodíkovej lanovky pre horské terény ponúka výhody predovšetkým z pohľadu úspory priamych nákladov vo forme pohonných hmôt, ale i z pohľadu ergonómie či ekológie.

7 Použitá literatúra

- ENESSERE Horizon H-100. 2013. Enessere – clean energy company [online]. 2013 [cit. 2013-04-09]. Dostupné na internete: <http://www.enessere.com/en/horizon/h-series-pem-fuel-cell-systems/h100/>
- HRADSKÝ, M. 2012. *Palivové články*. Bakalárska práca. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, Lesnícka fakulta, Katedra lesnej ťažby a mechanizácie, 2012. 72 s.
- KAMEŠ, J. 2004. *Alternativní pohony automobilů*. 1. vydanie. Praha: BEN – technická literatura, 2004. 77 – 100, 147 – 152, 179 – 189 s. ISBN 80-7300-127-6
- LUKÁČ, T. a kol. 2001. *Lanovky v lesníctve*. Zvolen: Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR Zvolen, 2001. 167 s. ISBN 80-88677-82-3
- MELICHOVÁ, Z. a kol. 2008. *Základy elektrochemie*. Banská Bystrica: Fakulta prírodných vied UMB, 2008. 176 s. ISBN 978- 80-8083-606- 1
- VÁVRA, P. a kol. 1983. *Strojnické tabulky pro SPŠ strojnické*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1983. 671 s. ISBN 04-218-83. Návrh projektu modelu vodíkovej lanovky pre horské terény
-

Adresa autora:

Bc. Martin Hradský

Lietava 104

013 18 Lietava

e-mail: hradskymartin@gmail.com

Návrh projektu modelu vodíkovej lanovky pre horské terény

Abstrakt

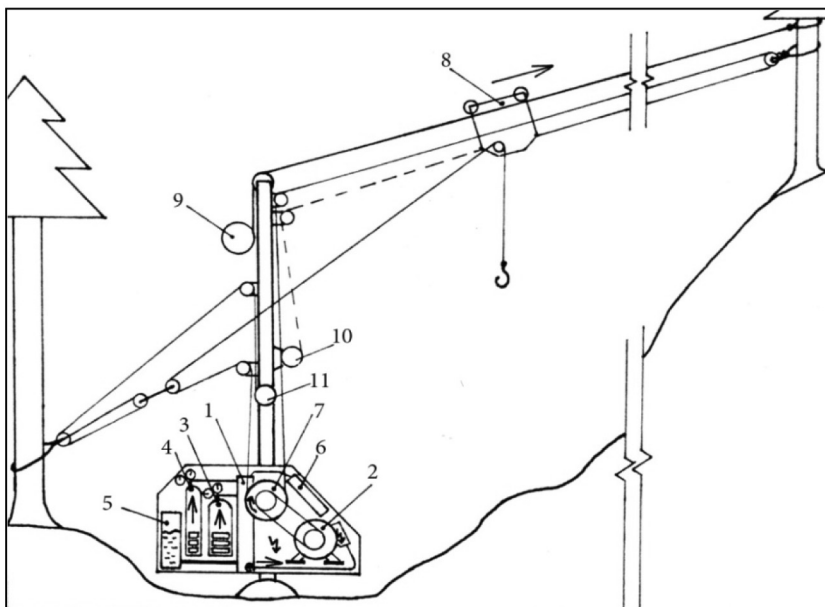
Cieľom tejto práce, je upriamiť pozornosť na spôsob zvýhodnenia použitia lesníckych lanoviek vo výchovných a obnovných ťažbách, výhradne na terénoch s vyššou sklonitosťou, so záujmom úspory energií, zníženia produkcie emisií a v konečnom dôsledku zmenšenia prevádzkových nákladov. Ďalej načrtnúť spôsob riešenia tejto problematiky, na základe poznatkov o topologickom nasadení lesníckych lanoviek, priemernej hmotnosti približovaného bremena, dĺžky dráhy, funkčnosti lanovkového systému, možnostiach využitia špeciálnych technických zariadení a následnej aplikácie týchto poznatkov do tvorby projektu modelu lanovky, majúcej požadované vlastnosti. Okrem iného sa v tejto práci podáva určitý súbor predbežných návrhov, ktoré budú v rámci diplomovej práce bližšie prehodnotené za účelom overenia a potvrdenia ich správnosti. Hlavnú časť návrhu projektu na ktorú je zameraná táto práca, tvorí samotný popis dôležitých oblastí technických riešení. V tejto časti je venovaná pozornosť návrhu vhodného typu lanovky, pričom sú hodnotené najmä konštrukčné možnosti sústredenia energie každého pohybu bremena k jednému (centrálnemu) miestu najvhodnejšiemu pre jej odber a následnú akumuláciu. Úzko súvisiacou problematikou, ktorá sa v tejto práci rozoberá, je návrh energetického vybavenia lanovky, ako z pohľadu motorickej časti (pohonu), tak aj z pohľadu akumulácie časti (palivového článku). V ďalších krokoch sú takto predbežne navrhované a teoreticky prehodnocované aj ostatné dôležité súčasti, ako je ovládanie jednotlivých činností lanovky, regulácia rýchlosti pohybu, regulácia akumulácie energie, ale aj brzdomýkací systém ako bezpečnostný prvok.

Kľúčové slová: vodíková lanovka, palivový článok, akumulácia energie

PRÍLOHY

Príloha A: Obrázky a schémy

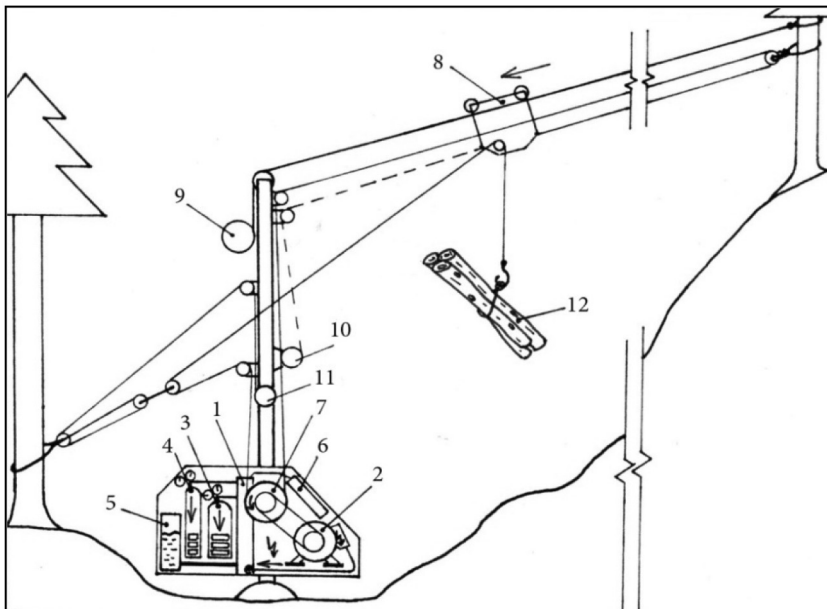
Appendix A: Pictures and diagrams



Obrázok 1: Činnosť vodíkovej lanovky pre horské terény – fáza vybíjania

Figure 1: Hydrogen lifts activity in mountain terrains – discharge stage

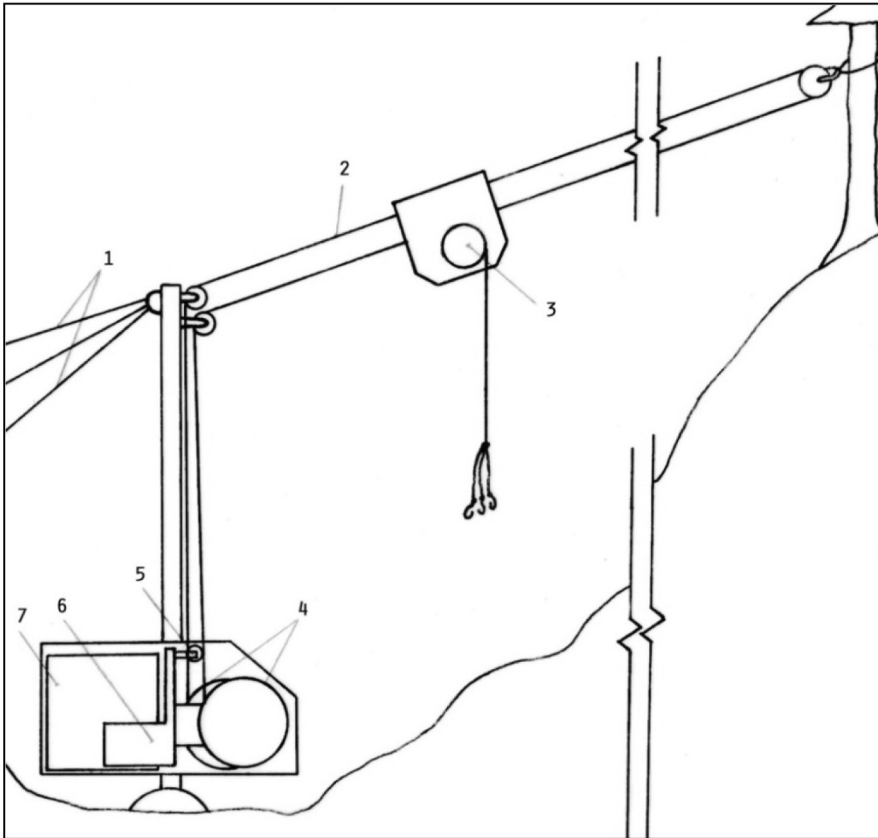
1 – palivový článok, 2 – motorgenerátor, 3 – vodíková nádrž, 4 – kyslíková nádrž, 5 – nádrž s destilovanou vodou, 6 – riadiaca jednotka, 7 – lanovnica obežného lana, 8 – lanový vozík, 9 – bubon nosného lana, 10 – bubon pomocného lana, 11 – bubon ťažného lana



Obrázok 2: Činnosť vodíkovej lanovky pre horské terény – fáza nabíjania

Figure 2: Hydrogen lifts activity in mountain terrains – charge stage

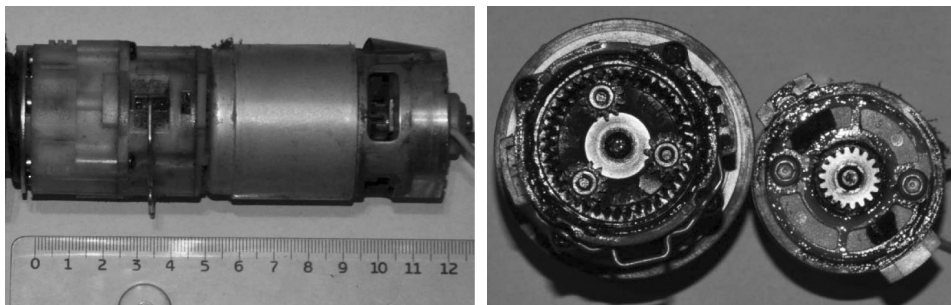
1 – palivový článok, 2 – motorgenerátor, 3 – vodíková nádrž, 4 – kyslíková nádrž, 5 – nádrž s destilovanou vodou, 6 – riadiaca jednotka, 7 – lanovnica obežného lana, 8 – lanový vozík, 9 – bubon nosného lana, 10 – bubon pomocného lana, 11 – bubon ťažného lana, 12 – bremeno



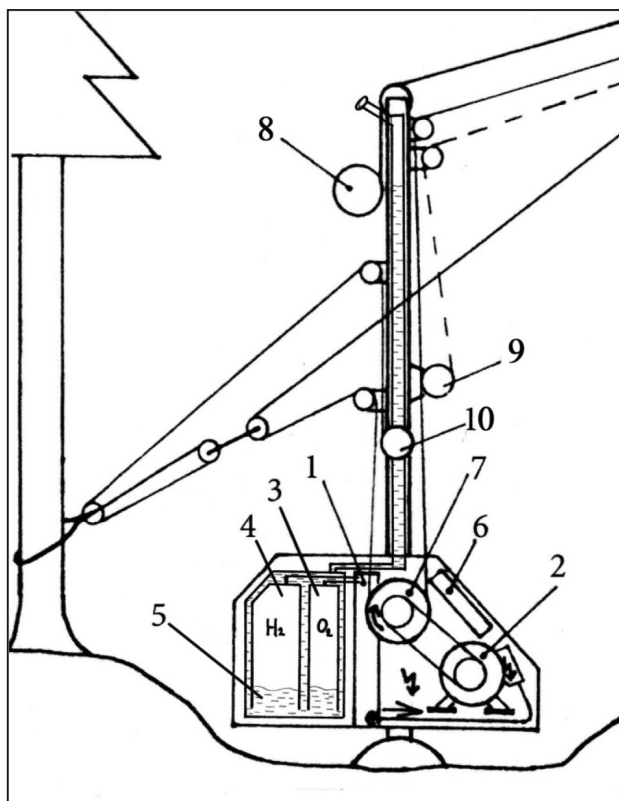
Obrázok 3: Lanovka novej konštrukcie

Figure 3: Cableway for a new construction

1 – kotviace laná, 2 – obežné lano, 3 – bubon manipulačného lana, 4 – bubny obežného lana, 5 – kladka synchronizačného regulátora, 6 – motorgenerátor, 7 – akumulčná jednotka



Obrázok 4: Komutátorový elektromotor s prevodovkou wilson
 Figure 4: Commutator motor with gearbox wilson



Obrázok 5: Umiestnenie nádrže na destilovanú vodu v stožiarí lanovky
 Figure 5: Location of tanks for distilled water in lift pylon

1 – palivový článok, 2 – motorgenerátor, 3 – kyslíková nádrž, 4 – vodíková nádrž, 5 – destilovaná voda, 6 – riadiaca jednotka, 7 – lanovnica obežného lana, 8 – bubon nosného lana, 9 – bubon pomocného lana, 10 – bubon ťažného lana



Obrázok 6: PČ PEM 100 W s Obchodným názvom Horizon H-100
Figure 6: 100 W PEM with the trade name Horizon H-100

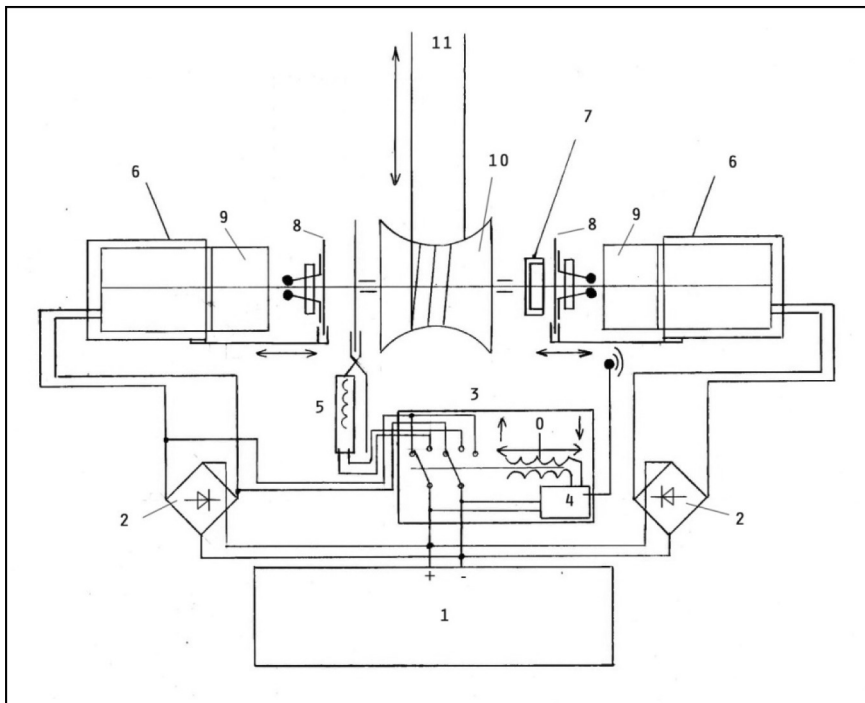


Schéma 1: Bloková schéma navrhnutého ovládania a regulácie

Scheme 1: Block diagram of the proposed control and regulation

1 – palivový článok, 2 – diódový mostík, 3 – riadiaca jednotka, 4 – rádiové ovládanie, 5 – brzda,
6 – posuvný magnetický stator, 7 – voľnobežná spojka, 8 – regulátor otáčok, 9 – motorgenerátor
s prevodovkou, 10 – lanovnica obežného lana, 11 – výstupné laná pre lanovkový vozík

Príloha B: Teoretické výpočty pre overenie funkčnosti modelu
Appendix B: Theoretical calculations for functionality of the model
verification

Práca potrebná na vytiahnutie vozíka (1 kg) do porastu sa vypočíta z prekona-
ného výškového rozdielu:

$$W_v = m \cdot g \cdot h = 1 \cdot 10 \cdot 9 = 90 \text{ J}$$

kde: W_v – práca vozíka, m – hmotnosť vozíka, g – tiažové zrýchlenie, h – výškový rozdiel.

Skutočná práca je však väčšia o odpor lanového zariadenia cca 10 %

$$W_{sv} = W_v + W_v \cdot 0,1 = 99 \text{ J}$$

kde: W_{sv} – skutočná práca vozíka.

Keďže čas vytiahnutia vozíka do porastu na nami určené miesto je 11,5 s potrebný
výkon je daný prácou 99 J za čas 11,5 s.

$$P_M = W_{sv} / t = 99 / 11,5 = 8,6 \text{ W}$$

kde: P_M – výkon potrebný na vytiahnutie vozíka.

Nami uvažovaný elektromotor má príkon 12 V, takže pri požadovanom výkone
s predpokladanou účinnosťou 80 % bude platiť:

$$I_e = (P_M + \% \eta) / U_e = (8,6 + 2,15) / 12 = 0,9 \text{ A}$$

kde: I_e – prúd spotrebovaný elektromotorom, $\% \eta$ – rozdiel percenta účinnosti.

KAMEŠ (2004) uvádza, že primeraným reakčným pomerom vodíka a kyslíka v PEM
PČ s výkonom 0,6 W sa pri prúde 1 A v každej minúte spotrebuje 7 cm³ vodíka. Pri adaptá-
cii tohto vzťahu na navrhovaný model lanovky, zistíme hraničnú spotrebu reakčných ply-
nov pre vytiahnutie vozíka do porastu. Spotreba bude toľkokrát väčšia koľkokrát je väčší
výkon potrebný na tento pohyb. Po zohľadnení účinnosti elektromotora budeme počítat'
s minimálnym nutným výkonom 10,8 W.

$$0,6 \text{ W}, 1 \text{ A} \rightarrow 7 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1},$$

$$10,8 / 0,6 \rightarrow 18\text{-krát väčší výkon},$$

$$10,8 \text{ W}, 0,9 \text{ A} \rightarrow 126 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1},$$

keďže čas pohybu vozíka je 11,5 s, potom platí:

$$V_{RP} = 18 \cdot 7 \cdot 11,5 / 60 = 24,15 \text{ cm}^3$$

kde: V_{RP} – objem reakčného plynu.

Účinnosť reverzibilnej premeny elektrickej energie na chemickú, je viacerými
autormi uvádzaná v hodnote 50 %. Na základe vyššie uvedeného tvrdenia možno kon-
štatovať, že uvedená spotreba reakčného plynu pri generácii elektrickej energie už zo-
hľadňuje túto účinnosť, takže je potom opodstatnené považovať V_{RP} zároveň za hraničný

(minimálny) objem potrebný na vytvorenie práve takého množstva el. energie, koľko je nutné pre vytiahnutie vozíka do porastu.

$$V_{RP} = V_{RPmin}$$

Podľa vzťahu ktorý uvádza Kameš, zodpovedá produkcii vodíka o tomto požadovanom objeme, pri spätnej premene s uvažovanou dobou trvania 11,5 s príkon P' , ktorý za predpokladu rovnakej účinnosti, bude zodpovedať samotnému výkonu vynaloženému PČ pri pohybe lanovkového vozíka do porastu.

$$P' = 126 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1} / 7 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1} = 18 = 10,8 \text{ W} / 0,6 \text{ W}$$

Po zohľadnení účinnosti motorgenerátora získame skutočný hraničný príkon, ktorý je nutné vyvolať na osi motorgenerátora, bremenom s lanovkovým vozíkom za čas 11,5 s.

$$P'_{skutMG} = 10,8 \text{ W} / 80 \cdot 100 = 13,5 \text{ W}$$

kde: P'_{skutMG} – hraničný príkon na osi motorgenerátora.

Pri zohľadnení strát energie v lanovom systéme lanovky (10 %) sa hraničný príkon na osi motorgenerátora zvýši a vyjadruje hraničný príkon vozíka s bremenom (P'_{skut}).

$$P'_{skut} = 13,5 \text{ W} / 90 \cdot 100 = 15 \text{ W}$$

Zo známych vzťahov pre výpočet výkonu sme potom odvodili skutočnú minimálnu prácu vozíka s bremenom (W_{skut}).

$$W_{skut} = P_{skut} \cdot t = 15 \text{ W} \cdot 11,5 = 172,5 \text{ J}$$

Odvođením zo vzorca pre výpočet práce bremena s lanovkovým vozíkom získame skutočnú hraničnú hmotnosť vozíka s bremenom. Následným odpočítaním hmotnosti vozíka dostaneme skutočnú hraničnú hmotnosť bremena potrebnú na akumuláciu práve takého množstva energie, ktorá po stratách spôsobených účinnosťou systémov postačuje na vrátenie lanovkového vozíka do pôvodnej polohy, z ktorej bol spolu s bremenom spustený.

$$W_{skut} = m \cdot g \cdot h \rightarrow m = W_{skut} / g \cdot h = 172,5 / 90 = 1,92 \text{ kg}$$

$$1,92 \text{ kg} - 1 \text{ kg} = 0,92 \text{ kg}$$

Z uvedeného výpočtu je zrejmé, že na vrátenie lanovkového vozíka o predpokladanej hmotnosti 1 kg do pôvodnej polohy, postačuje za daných podmienok energia, akumulovaná vozíkom a bremenom o celkovej hmotnosti 1,92 kg.

ZHUTNENIE PÔDY A ZMENY OBSAHU CO₂ PO PREJAZDE LESNEJ TECHNIKY

Zuzana A L L M A N O V Á

Allmanová, Z.: The changes in the content of CO₂ in soil after compression of forest mechanization passes. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 1, 2013, 157–172.

The thesis is aimed on evaluating the soil damage caused by forest mechanization traffic – special forest tractors and universal tractors. The main goal was to determine the changes in the content of CO₂ in soil after compression and the causes of CO₂ increase under the compressed soil – identification of factors causing the increase. Measurements were carried out in four forest stands in the municipal forests of Stara Tura, in which regeneration exploitation was carried out. The stands were alike in age, terrain incline, terrain and soil type. The data on the depth of tracks was collected by means of transverse profile method, samples of soil from the stand and track were taken to determine the volumetric weight and humidity. The differences in content between the stand and track were determined through a VAISALA MI70 device. The depth of tracks in both technologies reached grade 5 soil damage – heavy soil damage, which was caused partially by the location of the stands in the flysch area and have a low carrying capacity. The measurements confirmed significant differences between CO₂ content in unimpaired soil and compressed track soil (diff. 90%). Volumetric weight and humidity proved to be significant factors in CO₂ content variability, these factors were studied further in the STATISTICA 10.0 software. Higher levels of humidity and volumetric weight were recorded in measurements of compressed track soil. Forest mechanization moving through the forest soil on the skidding trails causes measurable changes in soil characteristics.

Key words: forest mechanization, compression, soil damage, CO₂ content

1. ÚVOD A PROBLEMATIKA

Skúsenosti z praxe, ale aj poznatky vedy v posledných rokoch poukazujú na to, že sústreďovanie dreva pomocou lesných mechanizmov a zavádzanie integrovaných technológií do ťažby prináša ekonomickú efektivitu, na strane druhej sa do popredia dostáva najmä degradácia lesnej pôdy. Otázkou sa stáva hlavne znižovanie ekologickej a produkčnej funkcie lesných pôd prejazdom týchto ťažkých strojov.

Zhutnenie pôdy predstavuje proces vyvolaný statickými a dynamickými účinkami kontaktného tlaku pojazdného ústrojenstva mobilných ťažbovo-dopravných prostriedkov a po zemi vlečeného dreva (SKOUPÝ *et al.*, 2011). Stáva sa jedným z rozhodujúcich faktorov limitujúcich úrodnosť a produkčnú schopnosť pôdy. Je to spôsobované hlavne nepriaznivou zmenou dynamiky vodného a vzdušného režimu v pôdnom profile a tým aj výrazným ovplyvňovaním biologickej aktivity pôdy.

Ďalším negatívnym účinkom prejazdu lesnej techniky je tvorba koľají o rôznej hĺbke. Pohybom mechanizmov v terénoch pri vysokom tlaku pôsobiacom na pôdu a pri jej nízkej únosnosti dochádza k prekročeniu medze pružnosti. Nastáva teda deformácia pôd, ktorá je nezvratná a zostáva aj po tom, keď tlak kolesa alebo pásu prestane pôsobiť. Dochádza k vytváraniu koľají (KOREN *et al.*, 2002).

V rámci lesníckej praxe EÚ neexistuje žiadna jednotná norma hodnotenia stavu lesných porastov po vykonanom ťažbovo-dopravnom procese. Pre stanovenie miery poškodenia porastu a pôdy prejazdmi strojov sa používa teda niekoľko metód, ktorých prácnosť, praktická použiteľnosť a rýchlosť je rôzna. Medzi najvýznamnejšie patria metódy: Fínska, Nemecká, Mc Mahona. Práve (JIROUŠEK *et al.*, 2008) vykonali štatistické testy Nemeckej, Mc Mahonovej a Fínskej metódy. Výsledkom bolo, že pre praktické a prevádzkové potreby sú z hľadiska presnosti vhodné vďaka nevýznamným rozdielom všetky uvedené metódy. Preto by v rozhodovacom procese pri výbere metódy mal byť hlavný dôraz na časovú náročnosť metód, teda na nižšie náklady pri kontrole pracoviska.

Obsah uhlíka v lesných pôdach v porovnaní s poľnohospodárskymi je omnoho premenlivejší, a to v dôsledku prítomnosti drevín. Ich vplyv sa odráža najmä v redistribúcii živín v oblasti rizosféry, syntéze a inpute rôznych látok na povrch pôdy a do jej najvrchnejších horizontov (GÖMÖRYOVÁ, PICHLER 2009).

V prostredí lesa možno po prejazde lesnej techniky predpokladať zhutnenie pôdy. V ďalšom časovom horizonte sa môže prejazd strojov premietnuť do zníženej dostupnosti voľne pohyblivých látok ako je kyslík, voda, živiny alebo naopak nastať ich hromadenie. Pri zhutňovaní pôdy bola riešená aj problematika vychádzajúca z poznatku o uvoľňovaní CO₂ z pôdy. Na základe tohto sa začal sledovať aj potenciálny vplyv prejazdu techniky na obsah CO₂ v pôde a následný dopad na koreňové systémy stromov. Prejazd ťažkých strojov po pôde spôsobuje významné zmeny jej štruktúry pričom dochádza k znižovaniu jej pórovitosti a jej vzdušnej kapacity. Postupne sa zhoršuje aj ventilácia pôdy. Tieto skutočnosti vyústili do hypotézy, ktorá predpokladala, že týmto môže dôjsť k hromadeniu CO₂ pod zhutnenou vrstvou pôdy. Tá v niektorých prípadoch môže vytvoriť málo priepustnú až nepriepustnú zónu brániacu priechodu CO₂ z pôdy do atmosféry (SKOUPÝ *et al.*, 2011). Túto hypotézu rozpracovali a popisali (NERUDA *et al.*, 2010), ktorí sa zaoberali hlavne prejazdom ťažkých forwarderov po lesných vývozných linkách. Na meranie používali prístroje Fínskej značky VAISALA s infračervenými sondami, ktoré dokážu zistiť obsah CO₂ v pôde, ale aj na jej povrchu. Hodnoty oxidu uhličitého v pôde a z pôdnej respirácie sú hlavnou časťou biosférického cyklu CO₂ pretože vytvárajú okolo ¾ z celkovej respirácie tohto plynu v ekosystéme. Preto v posledných rokoch je skúmanie obsahu CO₂ v pôdach predmetom rozsiahlych výskumov.

2. MATERIÁL A METÓDY

Merania boli uskutočnené v Mestských lesoch Stará Turá, ktoré obhospodaruje LESOTUR s.r.o. a to v dielcoch č. 75 a 100, kde práce vykonávalo UKT a v dielcoch č. 87 a 102, v ktorých pracovalo LKT. V každom poraste sa vykonala obnovná ťažba a to

presvetľovací rub. Porasty boli vyberané tak, aby sa zhodovali v nasledujúcich charakteristikách:

- pôdny typ,
- terénny typ,
- sklon terénu,
- priemerná objemovosť,
- približne podobný objem vykonanej ťažby.

Analýza poškodenia pôdy bola založená na určení hĺbky koľají, obsahu CO₂ v pôde a to v poraste a koľají, určení sklonu terénu, odberu pôdných vzoriek z koľaje a neporušenej pôdy z porastu vedľa koľaje na laboratórne určenie objemovej hmotnosti a vlhkosti.

Tab. 1 Prehľad informácií o porastoch, v ktorých pracovalo UKT (PSL Mestské lesy Stará Turá 2012–2021)

Tab. 1 Information about forest stands in which worked the UKT (PSL municipal forests of Stará Turá 2012–2021)

Porast	75	100
Výmera [ha]	9,04	7,36
Vek [rok]	105	125
Expozícia	V	JZ
Sklon [%]	35	25
Terénny typ	04	04
Približovacia vzdialenosť [m]	100	180
Drevina	BK, SM, SC	BK, SM, SC
Zastúpenie [%]	BK 71, SM 22, SC 7	BK 97, SM 2, SC 1
Stredná hrúbka [cm]	BK 42, SM 44, SC 40	BK 41, SM 46, SC 44
Stredná výška [m]	BK 34, SM 36, SC 34	BK 36, SM 38, SC 37
Objem stredného kmeňa [m ³]	BK 2,19, SM 2,20	BK 2,19, SM 2,54, SC 1,97
Podložie	Pieskovec flyšový	Pieskovec flyšový
Pôdny typ	Hnedá lesná pôda	Hnedá lesná pôdy

Tab. 2 Prehľad informácií o porastoch, v ktorých pracovalo LKT (PSL Mestské lesy Stará Turá 2012–2021)

Tab. 2 Information about forest stands in which worked the LKT (PSL municipal forests of Stará Turá 2012–2021)

Porast	87	102
Výmera [ha]	3,09	8,89
Vek [rok]	125	125
Expozícia	V	JZ

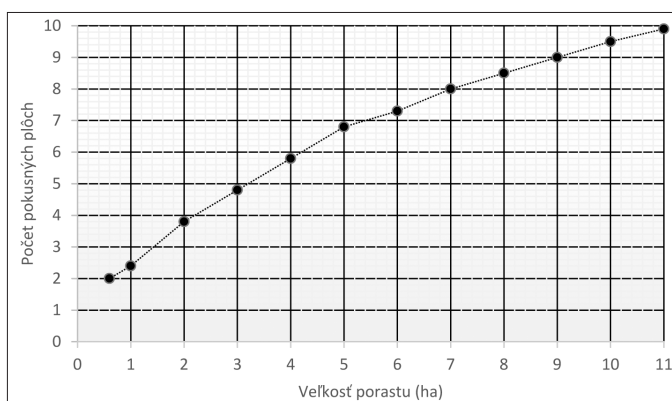
Tab. 2 Prehľad informácií o porastoch, v ktorých pracovalo LKT (PSL Mestské lesy Stará Turá 2012–2021) – pokračovanie

Tab. 2 Information about forest stands in which worked the LKT (PSL municipal forests of Stará Turá 2012–2021) – continued

Porast	87	102
Sklon [%]	30	25
Terénny typ	04	04
Približovacia vzdialenosť [m]	400	200
Drevina	BK, SM	BK, SM
Zastúpenie [%]	BK 66, SM 34	BK 99, SM 1
Stredná hrúbka [cm]	BK 40, SM 46	BK 43, SM 45
Stredná výška [m]	BK 38, SM 38	BK 38, SM 37
Objem stredného kmeňa [m ³]	BK 2,19, SM 2,54	BK 2,56, SM 2,37
Zásoba celkom [m ³]	BK 1305, SM 798	BK 6146, SM 27
Podložie	Pieskovec flyšový	Pieskovec flyšový
Pôdny typ	Hnedá lesná pôda	Hnedá lesná pôda

2.1 Určenie potrebného rozsahu meraní

Zisťovanie potrebných veličín bolo realizované v poraste na stanoviskách. Tie boli zakladané tak, aby vystihovali porast s požadovanou presnosťou a spoľahlivosťou. Ich počet závisel od veľkosti porastu (obr. 1). Pred meraním sa najprv vykonala pochôdzka po poraste a po približovacích linkách, kde sa pohyboval stroj. Stanoviská sa v poraste založili tak, aby podchytili premenlivosť podmienok v poraste najmä sklon a hĺbku vytvorených koľají.



Obr. 1 Nomogram na určenie počtu stanovísk podľa výmery porastu (ULRICH 2002)

Fig. 1 Nomogram to determine the number of attitudes by forest stand area

2.2 Meranie hĺbky koľají

Na zisťovanie hĺbky koľají sa použila metóda priečných profilov. Meralo sa pomocou výtyčky, ktorá sa položila kolmo cez linku. Červené a biele sekcie na výtyčke predstavovali 20 cm sekcie, každá sekcia predstavovala jedno meranie. Hĺbka sa merala vždy od spodného okraja výtyčky a to s presnosťou na 1 cm. Ak bol povrch pôdy pokrytý vrstvou ťažbového odpadu ten bol odstránený, aby bol tvar aj hĺbka profilu podchytená správne bez odchýlok. Pri každom priečnom profile sa zmeral aj sklon terénu pomocou digitálneho diaľkomera Tru Pulse 360. Zo všetkých nameraných profilov bol potom vytvorený pre každý porast aj priemerný profil. Intenzita mechanického poškodenia pôdy bola vyhodnotená pomocou klasifikácie od WEISEHO 2002 (tab. 3).

Tab. 3 Mechanické poškodenie pôdy (WEISE 2002)

Tab. 3 Mechanical damage of soil

Stupeň poškodenia pôdy		Hĺbka koľají (cm)	Charakteristika poškodenia
1.	Nepoškodená	0	Pôda s neporušeným prízemným vegetačným krytom a nadložným humusom.
2.	Veľmi slabo poškodená	0	Nadložný humus čiastočne odstránený (do 50 %), alebo premiešaný s humóznym horizontom pôdy. Pôda bez vonkajších znakov stlačenia. Prízemný pôdny kryt poškodený.
3.	Slabo poškodená	< 7	Odstránený nadložný humus a časť (do 50 %) humózneho horizontu. Pôda stlačená prejazdmi strojov v čase mimo zvýšenej vlhkosti. Neznížená únosnosť.
4.	Stredne poškodená	8 – 15	Odstránený (50–80 %) vrchný pôdny horizont. Pôda stlačená prejazdmi strojov má značne zníženú priepustnosť pre vodu. Vidieť bočné vytlačenie pôdy vedľa koľají a rýh.
5.	Silne poškodená	16 – 25	Odstraňovaná aj časť minerálnej pôdy. Pôda stlačená až deštruovaná tlakom kolies bočne vytlačená z koľají. Priepustnosť pôdy pre vodu nízka až veľmi nízka. V koľajach ostáva stáť voda.
6.	Veľmi silne poškodená	≥26	Obnažený minerálny horizont pôdy. Vytvorené veľmi hlboké koľaje, v ktorých je pôda nepriepustná pre vodu. Voda ostáva stáť v rozblatených koľajach.

2.3 Metodika merania koncentrácie CO₂ v pôde

Lesná technika zhutňujúca povrch pôdy spôsobuje vytvorenie nepriepustnej vrstvy, ktorá zabraňuje procesom výmeny plynov medzi pôdou a vzduchom, čím v nej

dochádza k hromadeniu obsahu CO_2 , ktorý je pre vegetáciu a stromy toxický. Hraničná hodnota obsahu je v literatúre uvádzaná na úrovni 0,6 % a po jej prekročení sa začínajú prejavovať jeho negatíva (SKOUPÝ et al., 2011). Meranie obsahu CO_2 sa realizovalo pomocou prístroja VAISALA MI70 od Fínskej firmy a to dvomi rovnakými sondami CARBOCAP GMP70. Jedna sonda bola umiestnená do koľaje a druhá do neporušenej pôdy v poraste vedľa koľaje.

Pred meraním sa do pamäte prístroja zadala teplota a vlhkosť prostredia, v ktorom meranie prebehlo a tie sa zistili pomocou špeciálnej sondy, ktorá je súčasťou prístroja. Ďalej sa zadal tlak vzduchu a doba merania obsahu CO_2 na jednom stanovisku, ako aj interval zaznamenávania hodnôt. Na každom stanovisku sa meral obsah CO_2 po dobu 5 minút a hodnoty sa zaznamenávali do prístroja každých 30 sekúnd. Otvory na sondy sa do zeme vyhlbili pomocou oceľového kolíka a kladiva. Po vložení sond do otvorov sa zapol prístroj, ale nie zaznamenávanie hodnôt. Sondy sa bez zaznamenávania nechali v pôde päť minút, aby sa „zrovnali“ čím sa zabránilo skresľovaniu hodnôt pri prispôbovaní sa sond prostrediu. Po piatich minútach sa spustilo meranie a aj zaznamenávanie nameraných hodnôt do prístroja. Údaje, ktoré boli namerané sa priebežne sťahovali do počítača pomocou softwarového programu ku prístroju MI70 link. Tento program automaticky vytváral grafy a tabuľky z merania na každom stanovisku. Podával informácie o maximálnych, minimálnych a priemerných hodnotách obsahu CO_2 z porastu a koľaje na každom stanovisku. Práve priemerné hodnoty z každého stanoviska boli použité pri vyhodnocovaní údajov. Aby sa sondy pri meraní nepoplietli a prístroj nezaznamenával zlé údaje sondy boli na zadnej strane označené číslicami 1. a 2. Sonda v poraste bola označená číslom 1. a aj údaje zaznamenávané v prístroji boli pod hodnotou [I.] a sonda v koľaji bola označená číslom 2. a údaje boli zaznamenávané pod hodnotou [II.].

2.4 Odber pôdných vzoriek pre stanovenie objemovej hmotnosti a vlhkosti pôdy

Pôdne vzorky boli taktiež odoberané na každom stanovisku a to pri každom priečnom profile aj pri každom meraní obsahu CO_2 v pôde. Zo vzoriek sa potom mohla určiť objemová hmotnosť aj vlhkosť pôdy. Na každom stanovisku sa odobrali dve vzorky a to jedna z porastu z neporušenej pôdy a druhá z koľaje. Pôdne vzorky sa odoberali pomocou valčekov. Valček sa vložil do držiaka, ktorý sa pomocou kladiva zarazil do zeme. Potom sa zo zeme vytiahol a valček sa uzavrel vekom, aby pôda nevypadávala. Valček sa následne vytiahol z držiaka a pôda, ktorá sa v ňom nachádzala sa dala do igelitového vrecúška a to sa nepriedušne uzavrelo. Pôdne vzorky sa vyhodnotili v laboratórnych podmienkach. Tam sa každá vzorka zvážila na laboratórnej váhe a určila sa jej objemová hmotnosť v mokrom stave. Potom sa vzorky sušili pri teplote 105 °C a to 24 hodín v sušiarňi. Po ich vysušení sa všetky vzorky opäť zvážili a získali sme objemovú hmotnosť zeminy v suchom stave, ktorá sa používala pri vyhodnocovaní výsledkov.

3. VÝSLEDKY

Hodnoty, ktoré boli namerané v porastoch v teréne boli ďalej spracované pomocou programov Microsoft Office Word, Microsoft Office Excel a matematicko-štatisticky boli vyhodnotené pomocou programu Statistica 10.0. Táto kapitola je zameraná práve na prehľad a interpretovanie zosumarizovaných výsledkov podľa jednotlivých porastov a ich porovnanie.

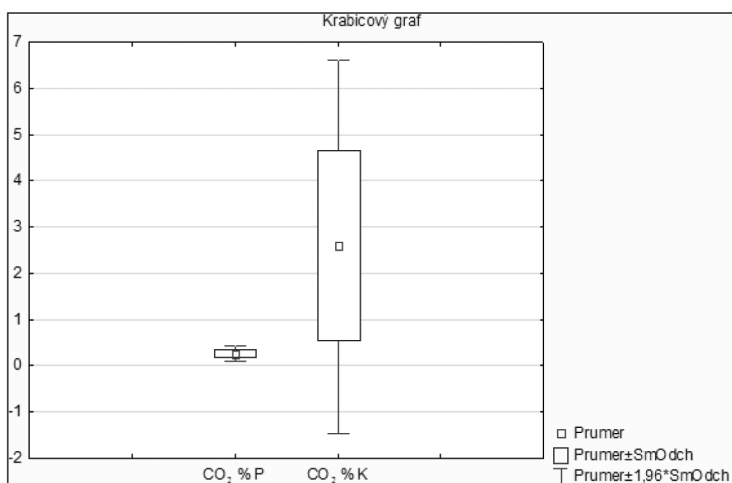
3.1 Poškodenie pôdy v dieľci. 75

V dieľci 75 sa vykonal presvetľovací rub. Ťažba bola vykonaná motomanuálne a približovanie drevnej hmoty bolo realizované pomocou UKT Zetor 7245. Z porastu bolo vyťažených spolu 512 m³ drevnej hmoty. V poraste bolo založených desať stanovísk na ktorých, boli vykonané merania.

Hĺbka koľají v dieľci 75

Spôsob merania hĺbky koľají je podrobne popísaný v stati 2.2. Keďže sa v poraste realizovalo zisťovanie hĺbky koľají na každom stanovišti bol pre jednotlivé dieľce vytvorený priemerný profil koľají a to zo všetkých nameraných profilov v danom poraste. Pri zhodnotení uvedeného profilu boli koľaje najhlbšie pri 10. a 11. sekcii a dosiahli hĺbku až 17 cm. Podľa WEISE 2002 (tab. 3) sa jedná o stupeň poškodenia pôdy 5. To znamená, že ide už o silne poškodenú pôdu.

Zmeny obsahu CO₂ v pôde v dieľci 75



Obr. 2 Porovnanie obsahu CO₂ v koľaji a v dieľci 75

Fig. 2 Comparasion contents of CO₂ in track and unipaired soil (stand nb. 75)

Z grafu možno vidieť, že priemerný obsah CO_2 v dielci je na úrovni 0,25 % a v koľaji 2,59 %, čo je desaťkrát vyššia hodnota oproti neporušenej pôde v dielci. Taktiež je viditeľné, že variabilita obsahu je oveľa väčšia po zhutnení v koľajach ako v neporušenej pôde, kde je minimálna. Neporušená pôda teda udržuje obsah CO_2 takmer na rovnakej úrovni.

Viacrozmerná regresná a korelačná analýza (dielec 75)

Táto podkapitola je zameraná na vyhodnotenie nameraných údajov pomocou viacrozmernej štatistickej analýzy. Pri viacrozmernej analýze sa najprv stanoví závislá premenná a stanoví sa viac nezávislých premenných, ktoré ovplyvňujú variabilitu závislej premennej. Pri viac rozmernej analýze sa stanovila ako závislá premenná obsah CO_2 a nezávislou boli objemová hmotnosť a vlhkosť.

Tab. 4 Viacrozmerná regresná a korelačná analýza obsahu CO_2 v P v závislosti od objemovej hmotnosti a vlhkosti (dielec 75)

Tab. 4 Regression and correlation analysis content of CO_2 in unimpaired soil dependencies from volumetric weight and humidity (stand nb. 75)

Výsledky regresie so závislou premennou CO_2 % v poraste (P) $R = 0,443$; $R^2 = 0,197$; Upravené $R^2 = \text{-----}$ $F(2,7) = 0,858$; $p < 0,463$ Smerod. chyba odhadu = 0,09385						
N = 10	b*	Sm. chyba z b*	b	Sm. chyba z b	t(7)	p-hodn.
Abs. člen			0,036654	0,240718	0,152270	0,883270
Objem.hmotnosť P v (g)	0,474647	0,377722	0,002686	0,002137	1,256604	0,249205
Vlhkosť P v (%)	0,084019	0,377722	0,001903	0,008555	0,222436	0,830325

Tabuľka poukazuje na stredne silnú závislosť, pretože korelačný koeficient nadobudol hodnotu 0,44. Ďalej poukazuje na to, že obidva nezávislé znaky ovplyvňujú variabilitu závislého na úrovni 19,7 %.

Tab. 5 Viacrozmerná regresná a korelačná analýza obsahu CO_2 v K v závislosti od objemovej hmotnosti a vlhkosti (dielec 75)

Tab. 5 Regression and correlation analysis content of CO_2 in compressed track soil dependencies from volumetric weight and humidity (stand nb. 75)

Výsledky regresie so závislou premennou CO_2 % v koľaji (K) $R = 0,607$; $R^2 = 0,369$; Upravené $R^2 = 0,189$ $F(2,7) = 2,052$; $p < 0,198$ Smerod. chyba odhadu = 1,8609						
N = 10	b*	Sm. chyba z b*	b	Sm. chyba z b	t(7)	p-hodn.
Abs. člen			0,151497	7,188881	0,021074	0,983775
Objem.hmotnosť P v (g)	-0,009851	0,601851	-0,000899	0,054950	-0,016367	0,987398
Vlhkosť P v (%)	0,599392	0,601851	0,073336	0,073637	0,995914	0,352465

V prípade, keď boli porovnávané vzorky z koľají viacrozmerná analýza poukázala na to, že závislosť v tomto prípade bola ešte silnejšia, ako pri vzorkách z porastu a korelácia nadobudla hodnotu 0,6. To znamená, že obsah CO_2 zhutnenej pôdy v koľají ovplyvňujú obidve nezávislé charakteristiky objemová hmotnosť a vlhkosť na úrovni 36,9 %.

3.2 Poškodenie pôdy v dielci 100

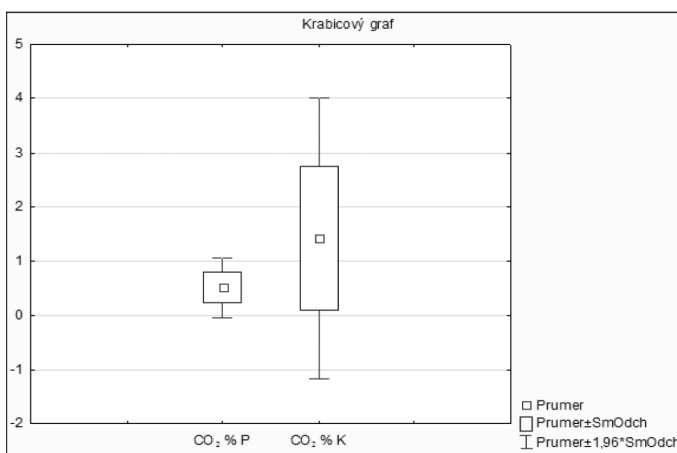
Výmera dielca č. 100 bola 7,36 ha a preto boli v dielci merania uskutočnené na 8 stanoviskách. Ťažba a približovanie boli v dielci vykonané obdobným spôsobom, ako v dielci 75 a teda ťažba motomanuálne a približovanie pomocou UKT Zetor 7245. Z dielca bolo vyťažených 360 m³ drevnej hmoty.

Hĺbka koľají v dielci 100

Hĺbka koľají bola v dielci vyhodnotená pomocou priemerného pričného profilu vytvoreného zo všetkých meraní v dielci. Maximálna priemerná hĺbka koľají v dielci bola dosiahnutá v 5. sekcii a dosahuje hĺbku 17 cm, čomu možno pripísať stupeň porušenia pôdy 5. Rovnaká hodnota bola zistená aj v dielci 75 a ide o silne porušenú pôdu.

Zmeny obsahu CO_2 v pôde v dielci 100

Pri hodnotení a porovnávaní obsahu CO_2 v koľají a poraste sa použil krabicový graf (obr. 3). Pomocou neho je možné jasne zhodnotiť priebeh nameraných hodnôt, pretože vidno variabilitu a priemer nameraných hodnôt priamo v jednom grafe. Možno z neho okamžite určiť, kde boli namerané priemerne vyššie hodnoty CO_2 , či v poraste alebo v koľají a variabilita ktorých meraní viac kolísala.



Obr. 3 Porovnanie obsahu CO_2 v koľají a poraste (porast č. 100)

Fig. 3 Comparasion contents of CO_2 in track and unpaired soil (stand nb. 100)

Z obr. 3 je jednoznačné, že hodnoty CO_2 sú oveľa vyššie v koľaji v zhutnenej pôde ako v neporušenej pôde porastu. Priemerná hodnota CO_2 v koľaji bola 1,42 % a v poraste 0,51 %. Variabilita a premenlivosť meraní je taktiež vyššia v zhutnenej pôde. Hodnoty CO_2 v neporušenej pôde sú menej variabilnejšie a stabilnejšie.

Viacrozmerná regresná a korelačná analýza (dielec 100)

Tab. 6 Viacrozmerná regresná a korelačná analýza obsahu CO_2 v P v závislosti od objemovej hmotnosti a vlhkosti (dielec 100)

Tab. 6 Regression and correlation analysis content of CO_2 in unimpaired soil dependencies from volumetric weight and humidity (stand nb. 100)

Výsledky regresie so závislou premennou CO_2 % v poraste (P) $R = 0,853$; $R^2 = 0,728$; Upravené $R^2 = 0,619$ $F(2,5) = 6,7024$; $p < 0,038$ Smerod. chyba odhadu = 0,171						
N = 8	b*	Sm. chyba z b*	b	Sm. chyba z b	t(7)	p-hodn.
Abs. člen			-0,639908	0,528620	-1,21053	0,280173
Objem. hmotnosť P v (g)	0,261376	0,234658	0,006224	0,005588	1,11386	0,315999
Vlhkosť P v (%)	0,843080	0,234658	0,031943	0,008891	3,59281	0,015662

Tab. 7 Viacrozmerná regresná a korelačná analýza obsahu CO_2 v K v závislosti od objemovej hmotnosti a vlhkosti (dielec 100)

Tab. 7 Regression and correlation analysis content of CO_2 in compressed track soil dependencies from volumetric weight and humidity (stand nb. 100)

Výsledky regresie so závislou premennou CO_2 % v koľaji (K) $R = 0,830$; $R^2 = 0,690$; Upravené $R^2 = 0,566$ $F(2,5) = 5,5652$; $p < 0,053$ Smerod. chyba odhadu = 0,86973						
N = 8	b*	Sm. chyba z b*	b	Sm. chyba z b	t(7)	p-hodn.
Abs. člen			-6,51654	3,058239	-2,13081	0,086315
Objem. hmotnosť P v (g)	0,520350	0,263468	0,04704	0,023818	1,97500	0,105248
Vlhkosť P v (%)	0,839615	0,263468	0,13849	0,043459	3,18678	0,024353

Viacrozmerná analýza potvrdila významný vplyv objemovej hmotnosti a vlhkosti na variabilitu obsahu CO_2 v pôde porastu (tab. 6). Korelačný koeficient poukazuje na veľmi tesnú závislosť, lebo nadobudol hodnotu 0,85. Závislú premennú ovplyvňujú nezávislé až na 72,8 %. Aj viacrozmerná analýza v zhutnenej koľaji (tab. 7) potvrdila výraznú koreláciu medzi závislou premennou a nezávislými. Korelačný koeficient $r = 0,83$ a objemová hmotnosť a vlhkosť ovplyvnili variabilitu CO_2 v koľaji na úrovni 69 %. Z uvedených viacrozmerných analýz možno vyvodit', že CO_2 a jeho obsah v pôde výrazným spôsobom ovplyvňujú vlhkosť a objemová hmotnosť keď berieme ich spoločný vplyv, ako keď sú posudzované osobitne.

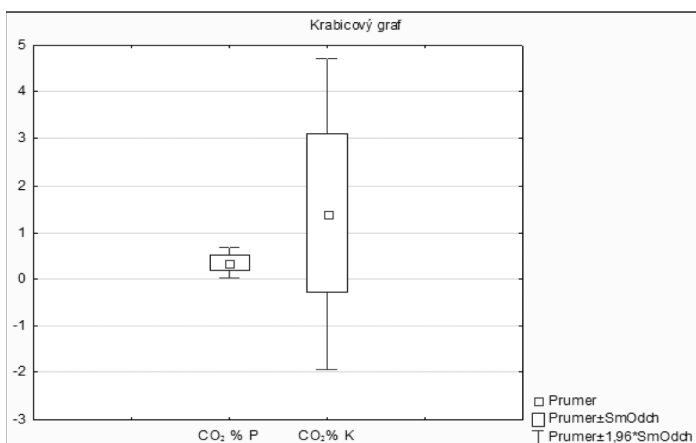
3.3 Poškodenie pôdy v dieľci 87

V dieľci 87, ktorého výmera bola 3,09 ha sa založilo 8 stanovísk, pretože pri pochôdzke po približovacích linkách vykazovala hĺbka koľají veľkú variabilitu. Podľa nomogramu ich malo byť založených 5. V poraste sa ťažba vykonala motomanuálne a približovanie sa realizovalo pomocou LKT 81T. Bol vykonaný presvetľovací rub pri ktorom, bolo vyťažených 290 m³ drevnej hmoty.

Hĺbka koľají v dieľci 87

Metódou priečného profilu sa určila aj hĺbka koľají v dieľci 87. Priemerný priečny profil dieľca poukázal na slabšie poškodenie. Maximálna hĺbka koľaje bola 8 cm. Jedná sa o stupeň poškodenia pôdy 4, teda o stredne poškodenú pôdu. Pôda v dieľci bola poškodená menej preto, že bol z neho sústredený menší objem dreva a LKT 81 T sa po linke pohybovalo oveľa menej ako v predchádzajúcich porastoch. Okrem iného boli niektoré kmene vyťahované a sústredované z cesty, čiže LKT do porastu na linku ani neprišlo.

Zmeny obsahu CO₂ v pôde v dieľci 87



Obr. 4 Porovnanie obsahu CO₂ v koľaji a poraste (dielec 87)

Fig. 4 Comparasion contents of CO₂ in track and unpaired soil (stand nb. 87)

Obsah CO₂ vyhodnotený krabicovým grafom (obr. 4) poukazuje na rozdiely medzi porastom a koľajou. Priemerná hodnota obsahu tohto plynu v koľaji bola 1,40 % a v poraste 0,35 %. Zhutnenie pôdy teda spôsobilo nárast obsahu CO₂ v priemere až o 75 %. Rozdiel bol teda veľmi výrazný a zhutnenie spôsobilo jeho nahromadenie v pôde.

Viacrozmerná regresná a korelačná analýza (dielec 87)

Tab. 8 Viacrozmerná regresná a korelačná analýza obsahu CO₂ v P v závislosti od objemovej hmotnosti a vlhkosti (dielec 87)

Tab. 8 Regression and correlation analysis content of CO₂ in unimpaired soil dependencies from volumetric weight and humidity (stand nb. 87)

Výsledky regresie so závislou premennou CO ₂ % v poraste (P) R = 0,9756; R ² = 0,951; Upravené R ² = 0,932 F(2,5) = 49,477; p < 0,0051 Smerod. chyba odhadu = 0,04450						
N = 8	b*	Sm. chyba z b*	b	Sm. chyba z b	t(7)	p-hodn.
Abs. člen			0,287392	0,124284	2,31238	0,068703
Objem. hmotnosť P v (g)	-0,188857	0,099367	-0,002165	0,001139	-1,90059	0,115775
Vlhkosť P v (%)	0,927383	0,099367	0,01349	0,001645	9,33288	0,000238

Analýza potvrdila, že objemová hmotnosť a vlhkosť spoločne majú veľký vplyv na obsah CO₂ a korelácia nadobudla hodnotu r = 0,97. Obsah CO₂ je v neporušenej pôde dielca ovplyvňovaný nezávislými veličinami na 95,1 %.

Tab. 9 Viacrozmerná regresná a korelačná analýza obsahu CO₂ v K v závislosti od objemovej hmotnosti a vlhkosti (dielec 87)

Tab. 9 Regression and correlation analysis content of CO₂ in compressed track soil dependencies from volumetric weight and humidity (stand nb. 87)

Výsledky regresie so závislou premennou CO ₂ % v koľaji (K) R = 0,4702; R ² = 0,2211; Upravené R ² = ----- F(2,5) = 0,70992; p < 0,0051 Smerod. chyba odhadu = 1,7683						
N = 8	b*	Sm. chyba z b*	b	Sm. chyba z b	t(7)	p-hodn.
Abs. člen			-0,841809	7,208704	-0,116777	0,911583
Objem. hmotnosť P v (g)	0,001163	0,433546	0,000136	0,050604	0,002683	0,997963
Vlhkosť P v (%)	0,470762	0,433546	0,093407	0,086023	1,085840	0,327104

Obsah CO₂ ovplyvňujú objemová hmotnosť a vlhkosť v koľaji na 22,11 %. Korelačný koeficient má hodnotu 0,47 a teda ide o stredne silnú závislosť.

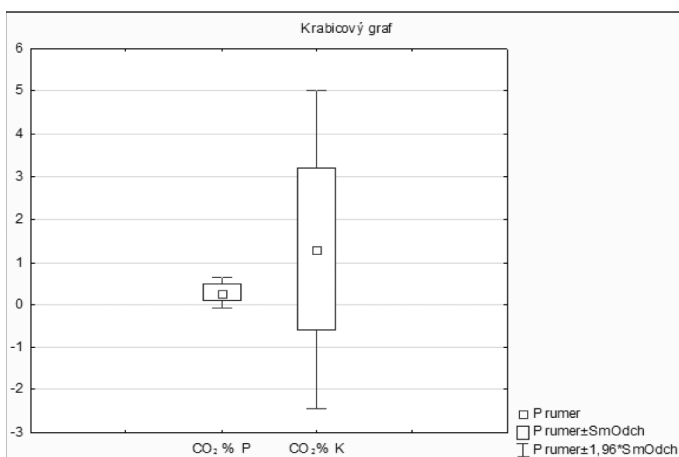
3.4 Poškodenie pôdy v dielci 102

V dielci sa presvetľovacím rubom vyťažilo a sústredilo 325 m³ drevnej hmoty. Ťažba bola vykonaná motomanuálne rovnako, ako v predchádzajúcich dielcoch. Približovanie sa realizovalo pomocou LKT 81T. V poraste sa meranie realizovalo na 10. stanoviskách.

Hĺbka koľají v dielci 102

Výsledný priemerný profil koľají poukázal na najhlbšie koľaje zo všetkých študovaných dielcov. V rámci tohto porastu hĺbka koľají dosiahla pri jednom z desiatich vytvorených priečných profilov až 35 cm, čo možno považovať už za veľmi výrazné a závažné poškodenie lesnej pôdy. Z priemerného profilu možno konštatovať, že najhlbšie sú koľaje v sekciách č. 11 a 12. V 12. sekcii majú hĺbku až 18 cm. Ide teda o silne poškodenú pôdu a stupeň poškodenia pôdy je 5.

Zmeny obsahu CO_2 v pôde v dielci 102



Obr. 5 Porovnanie obsahu CO_2 v koľaji a poraste (dielci 102)

Fig. 5 Comparasion contents of CO_2 in track and unpaired soil (stand nb. 102)

Priemerné hodnoty poukazujú na to, že v zhutnenej pôde koľají je hodnota CO_2 oveľa vyššia ako je to v neporušenej pôde porastu. V koľaji bola hodnota nameraná na úrovni 1,29 % a v poraste len 0,28 %. Graf taktiež poukazuje na to, že variabilita hodnôt nameraných v koľaji je oveľa vyššia ako pri hodnotách nameraných v poraste.

3.4.3 Viacrozmerná regresná a korelačná analýza (dielec 102)

Tab. 10 Viacrozmerná regresná a korelačná analýza obsahu CO₂ v P v závislosti od objemovej hmotnosti a vlhkosti (dielec 102)

Tab. 10 Regression and correlation analysis content of CO₂ in unimpaired soil dependencies from volumetric weight and humidity (stand nb. 102)

Výsledky regresie so závislou premennou CO ₂ % v poraste (P) R = 0,78132; R ² = 0,6105; Upravené R ² = 0,4992 F(2,7) = 5,4860; p < 0,03688 Smerod. chyba odhadu = 1,13187						
N = 10	b*	Sm. chyba z b*	b	Sm. chyba z b	t(7)	p-hodn.
Abs. člen			-0,169412	0,258901	-0,654350	0,533787
Objem. hmotnosť P v (g)	0,135839	0,353314	0,001477	0,003843	0,384471	0,712043
Vlhkosť P v (%)	0,674936	0,353314	0,016005	0,008378	1,1910303	0,097714

Korelačný koeficient r = 0,78 poukazuje na existenciu silnej závislosti CO₂ od objemovej hmotnosti a vlhkosti.

Tab. 11 Viacrozmerná regresná a korelačná analýza obsahu CO₂ v K v závislosti od objemovej hmotnosti a vlhkosti (dielec 102)

Tab. 11 Regression and correlation analysis content of CO₂ in compressed track soil dependencies from volumetric weight and humidity (stand nb. 102)

Výsledky regresie so závislou premennou CO ₂ % v koľaji (K) R = 0,21955; R ² = 0,0482; Upravené R ² = ----- F(2,7) = 0,17726; p < 0,8412 Smerod. chyba odhadu = 0,20615						
N = 10	b*	Sm. chyba z b*	b	Sm. chyba z b	t(7)	p-hodn.
Abs. člen			-0,129840	0,710848	-0,182655	0,860246
Objem. hmotnosť P v (g)	0,219266	0,368785	0,003521	0,005922	0,594564	0,570844
Vlhkosť P v (%)	0,008410	0,368785	0,000085	0,003705	0,022806	0,982442

4. ZÁVER

Pri porovnaní poškodenia pôdy jednotlivými technológiami sa vychádzalo z vyhodnotených výsledkov, ktoré sú uvedené v stati 3. Po zhodnotení hĺbky vytvorených koľají sa ukázalo, že dielce v ktorých sústreďovanie vykonalo UKT vykázali silné poškodenie a stupeň poškodenia pôdy 5. V obidvoch dielcoch dosahovala hĺbka koľají v priemere až 17 cm. V prípade LKT bola v dielci 87 maximálna hĺbka koľaje 8 cm a porastová pôda vykazovala stupeň poškodenia 4. V druhom dielci, kde pracovalo už koľaje nadobudli hĺbku 18 cm a stupeň poškodenia pôdy bol 5. Veľký vplyv na hĺbku koľají má aj počet prejazdov lesnej techniky po linke. V prípade porastov kde práce vykonalo UKT, bolo

vyťaženého viac dreva a teda sa UKT muselo po linkách pohybovať častejšie ako LKT. Z tejto príčiny boli koľaje UKT porovnateľné s LKT, ktoré ale vykonalo menší počet prejazdov po poraste. Okrem iného tak výrazné poškodenie pôd obidvoma technológiami bolo spôsobené aj tým, že podložie v danej oblasti je flyšového charakteru. Ide o málo únosné podložie, ktoré už aj pri nízkej vlhkosti je veľmi náchylné na tvorbu koľají a deformáciu.

Z meraní vo všetkých štyroch dielcoch sa potvrdil jednoznačný a viditeľný nárast obsahu CO_2 v pôde po jej zhutnení. Maximálne vzrástol obsah tohto plynu v zhutnenej pôde v koľajach dielca 75. V dielci pracovalo UKT a zároveň v tomto poraste bolo sústredené najviac drevnej hmoty a zaznamenaný najväčší počet prejazdov po linkách. Obsah CO_2 dvanásťkrát vzrástol v zhutnenej koľaji oproti neporušenej pôde v dielci. Ďalším porastom, v ktorom boli výrazné rozdiely bol 102, kde pracovalo LKT. Hodnoty obsahu CO_2 boli 4,3-krát vyššie ako v koľaji.

Pri skúmaní vplyvu objemovej hmotnosti a vlhkosti na obsah CO_2 sa štatisticky skúmali vzorky z koľají a porastu a to v každom dielci. Z výsledkov možno povedať, že vlhkosť má výraznejší vplyv na obsah CO_2 a to v koľaji aj v poraste, ako objemová hmotnosť. Nárast vlhkosti spôsobuje aj nárast obsahu CO_2 . Najvýraznejším spôsobom však ovplyvňujú variabilitu CO_2 vlhkosť a objemová hmotnosť spoločne, čo potvrdila viacrozmerná regresná a korelačná analýza. Korelačný koeficient tu nadobudol vysoké hodnoty takmer = 1. V dielci 87 sa $r = 0,97$ a v 100 bolo $r = 0,85$. Z uvedeného je teda zrejmé, že za súčasného vzrastania objemovej hmotnosti a vlhkosti výrazným spôsobom narastá aj obsah CO_2 v pôde.

Vo všeobecnosti teda možno skonštatovať, že pri poškodení lesnej pôdy v daných porastoch medzi LKT a UKT nie sú výraznejšie rozdiely. Nemožno z hľadiska obsahu CO_2 a jeho zmien v pôde stanoviť jednu z technológií za škodlivejšiu. Prejazd lesnej techniky a jej pohyb po linkách však skutočne spôsobuje jeho hromadenie pod zhutnenou vrstvou pôdy. Obsah tohto plynu v pôde ovplyvňuje však niekoľko iných charakteristík, ktoré sú tiež veľmi premenlivé. Na poškodenie pôdy vplyvajú faktory ako geologické podložie, vlastnosti pôd, sklon svahu, ťažbová metóda, množstvo vyťaženého dreva a počet prejazdov lesnej techniky až po teplotné a vlhkosťné pomery. Z uvedeného množstva charakteristík možno povedať, že je takmer nemožné vysloviť záväzné závery o poškodení pôdy v porastoch, hromadení CO_2 v pôde a jej zhutňovaní. Dôležité je na základe charakteristík v danom poraste zvoliť tú najvhodnejšiu ťažbovo-dopravnú technológiu, ktorá by minimalizovala všetky negatívne dopady na porastovú pôdu a les ako celok.

Podakovanie

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu „Analýza vplyvu podvozkov lesnej techniky na pôdny povrch a stanovenie maximálnych limitov poškodenia“ VEGA č. 1/0323/011.

5. Použitá literatúra

- GÖMÖRYOVÁ, E., PICHLER, V., 2009: Cyklus vody, uhlíka a živín – Metodologické aspekty štúdia dynamiky a priestorovej variability vybraných komponentov cyklu uhlíka v lesných pôdach. *Acta Facultatis Forestalis, Technická Univerzita vo Zvolene, Zvolen* 51 (3), s. 35–43.
- JIROUŠEK, R., KLVAČ, R., KLVAČ, S., 2008: Kontrolní metody pro stanovení poškození půdy a stojacích stromů těžebně dopravními technologiemi, In: *Zprávy lesnického výzkumu, SVAZEK* 53, 4/2008, s. 301–307.
- KOREŇ, J., 2002: Prirodzená regenerácia vybraných druhov lesných pôd mechanicky poškodených pri približovaní dreva traktormi. In: *Logistika technickej výroby dreva v karpatoch, Technická univerzita vo Zvolene, ISBN* 80-228-1170-X, s. 124–131.
- LKT s.r.o <http://www.lktrstena.sk/>
- NERUDA, J., KADLEC, J., ULRICH, R., CUDZIK, A., 2010: Soil Carbon dioxide concentration and efflux changes in ruts after heavy machine passes, *FORMEC 2010, Meeting the Needs of the society and the Environment* July 2010, Padva – Italy.
- PROGRAM STAROSTLIVOSTI O LESY pre Mestské Lesy Stará Turá 2010–2021
- SKOUPÝ, A., 2011: Multikriteriální hodnocení technologií pro soustředování dříví, *Lesnícka práce s.r.o., ISBN* 978-80-7458-016-1
-

Adresa autora:

Bc. Zuzana Allmanová
Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácií
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
Masarykova 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika

Zhutnenie pôdy a zmeny obsahu CO₂ po prejazde lesnej techniky

Abstrakt

Práca je zameraná na vyhodnotenie poškodenia pôdy prejazdom lesnej techniky a to LKT a UKT. Hlavným cieľom bolo zistiť zmeny obsahu CO₂ v pôde po jej zhutnení a príčiny nárastu obsahu tohto plynu pod zhutnenou vrstvou pôdy resp. faktory, ktoré jeho nárast spôsobujú. Terénne merania sa uskutočnili v štyroch porastoch na území Mestských lesov Stará Turá, v ktorých bola vykonaná obnovná ťažba. Porasty boli jednotné z pohľadu veku, sklonu terénu, terénneho a pôdneho typu. V porastoch sa získali údaje o hĺbke koľají metódou priečných profilov, odoberali sa vzorky pôdy z porastu a koľaje na laboratórne určenie objemovej hmotnosti a vlhkosti. Rozdiely obsahu CO₂ medzi porastom a koľajou sa určili pomocou prístroja VAISALA MI70. Hĺbka koľají pri oboch technológiách nadobudla veľký stupeň poškodenia pôdy, čo spôsobilo aj to, že porasty sa nachádzajú vo flyšovom pásme a majú málo únosné podložie. Merania potvrdili výrazné rozdiely medzi obsahom CO₂ v neporušenej pôde porastu a zhutnenej koľaji. Vyššie hodnoty vlhkosti a objemovej hmotnosti mali merania zo zhutnených koľají oproti meraniam v neporušenej pôde porastu. Výsledky boli spracované v programe STATISTICA 10.0. Lesná technika pohybujúca sa po nespevnených povrchoch lesnej pôdy na linkách spôsobuje merateľné zmeny pôdnych vlastností.

Kľúčové slová: lesná technika, poškodenie pôdy, zhutnenie, obsah CO₂

MODELOVANIE VPLYVU LESNÉHO PORASTU NA ČASOVÉ A PRIESTOROVÉ CHARAKTERISTIKY SNEHOVEJ POKRÝVKY

Tomáš Š A T A L A – Matúš H R Í B I K

Šatala T., Hríbik M.: Modeling the import of forest of time and spatial characteristic of snow cover. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 1, 2013, 173–183.

This work is focused on mapping the time and spatial distribution of snow cover and its water supply in a small mountain catchment of Hučava stream (situated in the caldera of Poľana Mts.). The aim is to capture the impact of forest on snow accumulation and melting in comparison with the open area. Data obtained in field measurements during the monitoring in winter seasons of 2004 – 2013 were processed in ArcGIS software environment.

Key words: ArcGIS, snow water equivalent, water supply in snow cover

1 ÚVOD DO VZŤAHOV LES – SNEH – VODA

1.1 Snehová pokrývka

Sneh hra dôležitú rolu v globálnom energetickom a vodnom rozpočte, v dôsledku jeho vysokého albeda a schopnosti uskladnenia vody. Vo vysokých zemepisných šírkach pokrýva veľkú časť krajiny v roku a poznanie vodnej hodnoty snehovej pokrývky a jej priestorovej distribúcie je nevyhnutné pri prognóze odhadov jarných odtokov zo snehu (TABARI *et al.* 2009).

S tohto poznania vyplýva, že časové a priestorové rozloženie snehovej pokrývky je dôležitou informáciou z viacerých hľadísk. Snehová pokrývka je významným hydrologickým, klimatickým a biologickým činiteľom. Z hydrologického hľadiska je dôležité poznať zákonitosti, ktorými sa snehová pokrývka riadi ako aj dané celkové množstvo v zimnom období nahromadeného snehu v povodí. Snehová pokrývka úzko závisí na teplote vzduchu a množstve zrážok, a teda meniacich sa klimatických podmienkach. Ako ekologický faktor nie je sneh len zásobárňou vody pre jarné obdobie, ale tiež chráni pôdu i vegetáciu pred silnými mrazmi a premŕzaním (KANTOR 1979).

Sneh však z určitého hľadiska pôsobí aj negatívne. Hlavne v zimách s výskytom bohatej snehovej pokrývky môže dôjsť k vývratom a poškodeniu porastov. V horských oblastiach veľká výška snehovej pokrývky obmedzuje pohyb osôb a ohrozuje ich nebezpečenstvo vzniku lavín, ktoré pri páde môžu zasiahnuť aj nižšie položené súvislé plochy lesných porastov. Jedným z ďalších negatívnych vplyvov bohatej snehovej pokrývky sú

jarno-zimné povodne, ku ktorým dochádza najmä pri prudkom oteplení sprevádzanom dažďovými zrážkami. Naopak absencia alebo minimálne množstvo snehovej pokrývky vedie k vysušaniu krajiny k teplejšiemu a suchšiemu jarnému obdobiu a má tiež súvis s výskytom lesných požiarov (POBEDINSKIJ & KREČMER 1984).

1.2 Lesný porast

Vplyv lesných porastov na snehové pomery je nesporne značný a jeho praktický význam z hľadiska hydrických účinkov rastie tak, ako sa v ročnom úhrne atmosférických zrážok zväčšuje podiel zrážok vo forme snehu. Vplyv lesa na sneh závisí predovšetkým od klimatických podmienok danej zimy. No na režim i množstvo odtoku vody pri topení, na utváraní snehových zásob, na hydrologický režim riek a krajiny, má nezanedbateľný vplyv aj drevinové zloženie, vek, hustota a iné charakteristiky porastov. Charakteristiky lesných porastov vytvárajú špecifickú porastovú klímu, ktorá je nezanedbateľným faktorom pri samotnom vzniku ako aj celej existencii snehovej pokrývky. Lesný porast vo vzťahu k snehovej pokrývke, tvorbe zásob a dĺžke trvania má minimálne dvojakú rolu (HRÍBIK & ŠKVARENINA 2007).

- zachytáva časť snehových zrážok na svojom povrchu – intercepcia snehu,
- zadržiava svojou podstatou časť slnečnej radiácie, ktorá pôsobí na zánik snehovej pokrývky jej topením a sublimáciou.



Obr. 1 Vplyv drevín (buk – smrek) na rozloženie snehovej pokrývky pod porastom

Fig. 1 Influence of trees (beech – spruce) to snow cover distribution under the stand closure

1.3 Zásoby vody v snehovej pokrývke

Ako súčasť kryosféry predstavuje snehová pokrývka, z pohľadu celkovej globálnej rozlohy, druhú najrozšírenejšiu formu vody a to v tuhom skupenstve. V priebehu roka dokáže sezónne pokryť plochu s rozlohou až 47 miliónov km², pričom až 98 % z tejto rozlohy pripadá na severnú pologuľu (max. 51,35 mil. km² vo februári 1978). Na porovnanie

v auguste je v priemere pokryté územie severnej pologule na ploche 1,9 milióna km² (LÓPEZ-MOREN, STÄHLI 2007).

V horských regiónoch strednej Európy je topenie snehu významným zdrojom vody. Súvislá snehová pokrývka pretrváva v týchto oblastiach dlhšie ako päť mesiacov a vodná hodnota snehovej pokrývky predstavuje okolo polovice ročného úhrnu zrážok (HANKOVÁ *et al.* 2008). V tejto mase snehových zásob sa schovávajú obrovské zásoby vody. Tu teda vystupuje do popredia asi najdôležitejšia úloha snehovej pokrývky, a to vytváranie zásob vody v krajine.

2 METODIKA

2.1 Metodika terénneho monitoringu snehovej pokrývky

Monitoring charakteristík snehovej pokrývky vykonávame v BR-CHKO Poľana v povodí Hučavy od zimnej sezóny 2003/04 až do súčasnosti. Metodika monitoringu použitá v tejto práci bola rozpracovaná pracovníkmi KPP na Technickej univerzite vo Zvolene a zodpovedá odvetvovej technickej norme MŽP 3109:02. Hydrofyzikálne vlastnosti snehovej pokrývky sme zisťovali hmotnostnou metódou pomocou váhového snehomeru. Váhový snehomer má plochu prierezu 50 cm².

Pri odbere vzorky sa snehomerný valec zatlačí do snehovej pokrývky (kolmo k povrchu) až k povrchu pôdy. Na vonkajšej strane valca sa na stupnici odčíta výška snehu. Sneh vo vnútri valca sa utlačí piestom, čím sa zabráni jeho vypadnutiu pri vyberaní valca z profilu snehovej pokrývky. Odobratá sonda sa zváži. Z údajov o výške snehovej pokrývky a hmotnosti snehovej vzorky sme vypočítali nasledovné hydrometeorologické charakteristiky:

Hustota snehu: $\varsigma = m/k \cdot h$

ς – hustota snehu [g.cm⁻³], m – hmotnosť vzorky snehu [g], k – plocha prierezu snehomeru 50 [cm²], h – výška snehu [cm].

Vodná hodnota snehu: $H = 10 \cdot m/k$

H – vodná hodnota snehu [mm], m – hmotnosť vzorky snehu [g], k – plocha prierezu snehomeru 50 [cm²].

Monitorovanie základných vlastností snehu bolo vykonávané v mesačných intervaloch. V porastoch, kvôli väčšej variabilite ukladania snehovej pokrývky, sme vykonávali 5 a na voľnej ploche 3 merania vodnej hodnoty snehu a hustoty. Na voľných plochách, tak ako v porastoch sme vykonali 20 zistení výšok snehu za pomoci prenosnej snehomernej laty. Charakteristiky snehovej pokrývky sme zisťovali na výškovom tranzekte od 600 do 1 280 m n. m. v približne 100 metrových výškových rozstupoch individuálne pre voľnú plochu a plochu lesa. Vychádzali sme z metodiky merania štandardne používanej Slovenským hydrometeorologickým ústavom (SHMÚ). Po predchádzajúcich skúsenostiach konštatujeme, že viac odberov by bolo časovo náročných a štatisticky málo významných. Menej odberov by sa však už mohlo prejaviť na správnosti výsledkov (HRÍBIK & ŠKVARENINA 2005).

2.2 METODIKA SPRACOVANIA DÁT

Celý proces spracovania výsledkov terénneho monitoringu sa vykonával v počítačovom prostredí. Štatistické výpočty boli vykonávané za pomoci štatistického programu STATISTICA a tabuľkového editora MS EXCEL. Analýzu zásob vody v snehovej pokrývke a jej časové a priestorové rozloženie na ploche povodia sme vykonali nástrojmi GIS a prostriedkami ponúkanými prostredím ArcGIS 10. Celý proces sa vykonával nad digitálnym modelom terénu tretej generácie DMR 3 (veľkosť bunky rastra 10×10 metrov).

Po získaní vstupných dát bolo prvým krokom vymedzenie povodia, ktoré sme určili na základe DMR a zvoleného uzatvárajúceho prietokového profilu (limnigrafická stanica Hrochotský mlyn). Pomocou modulu *Spatial Analyst Tools / Hydrology / Flow Direction* sme z DMR vytvorili smerový raster prúdenia, ktorý bol potrebný ako vstup do modulu *Spatial Analyst Tools / Hydrology / Watershed*. Druhým vstupom do modulu bola poloha limnigrafickej stanice reprezentovaná bodom. Poloha limnigrafickej stanice bola určená na podklade základnej mapy SR 1 : 10 000 (WMS SAŽP). S takto zadanými parametrami nám modul vygeneroval samotné povodie. Pre ďalší postup bolo potrebné povodie rozdeliť na plochu lesa a voľnú plochu a vytvoriť samostatný digitálny model terénu pre les a voľnú plochu. Na tento účel nám poslužil model *Spatial Analyst Tools / Extraction / Extract by Mask*, kde maskou bola vektorová vrstva porastov z obnovy lesného hospodárskeho plánu z roku 2001. Vznikol nám samostatný DMR pre les a podobným postupom aj samostatný DMR voľnej plochy.

Ďalším krokom bolo určenie závislosti medzi nadmorskou výškou (nezávislou premennou) a zmenou vodnej hodnoty snehu a výšky snehu (závislé premenné), ktorú sme sa rozhodli vyjadriť lineárnou regresnou závislosťou (priemerné koeficienty determinácie 0,75–0,79). Táto závislosť je štandardne používaná SHMÚ a dobre interpretuje hydrofyzikálne vlastnosti snehovej pokrývky zistené tiež pri našich terénnych meraniach. Na základe vypočítaných regresných závislosti medzi hodnotami nadmorskej výšky ako nezávislej premennej a vodnej hodnoty a výšky snehovej pokrývky ako závislých premien sme tieto údaje spracovali do mapovej podoby v prostredí ArcGIS nástrojmi mapovej algebry *Spatial Analyst Tools / Map Algebra / Raster Calculator*. Podkladovými vrstvami analýzy boli digitálne modely terénu povodia pre voľnú plochu a plochu lesa. Týmto postupom sme vytvorili mapy rozloženia vodnej hodnoty a výšky snehovej pokrývky. Z odvodených máp sme odčítali štatistické ukazovatele pre výšku snehovej pokrývky a vodnú hodnotu snehovej pokrývky (v mm). Hodnoty sme extrahovali osobitne pre voľnú plochu a plochu porastenú lesom. Zásoba vody v snehovej pokrývke povodí (v miliónoch m³) bola zistená ako suma vodných hodnôt snehovej pokrývky na ploche lesa, voľnej ploche a spolu. Pre uľahčenie interpretácie a kontrolu správnosti boli vytvorené prehľadné mapové výstupy za jednotlivé zimné sezóny, ktoré vznikli reklasifikáciou rastra použitím modulu *Spatial Analyst Tools / Reclass / Reclassify*. Podobný postup bol použitý aj v práci HRIBÍK *et al.* 2008: Zimné zásoby snehu v malom horskom povodí Studeného potoka v orografickom celku Západné Tatry.

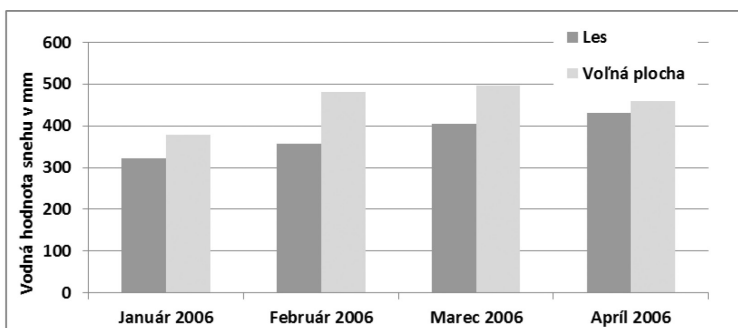
3 VÝSLEDKY

3.1 Vodná hodnota snehovej pokrývky

Vodná hodnota snehovej pokrývky je z pohľadu hydrofyzikálnych vlastností snehu najvýstižnejšia charakteristika snehovej pokrývky. Je úzko závislá na výške a hustote snehovej pokrývky a je definovaná ako množstvo vody, ktoré by vzniklo roztopením snehovej pokrývky. Udáva sa v milimetroch a platí tu vzťah: 1 mm vody na 1 m² predstavuje 1 liter vody.

Konštatujeme, že kulminácia vodnej hodnoty nastáva prevažne v mesiacoch február a marec. Podobne ako pri výške snehu čo dokazuje závislosť medzi týmito charakteristikami. V rokoch 2005 a 2006 bohatých na snehové zrážky, však kulminácia vodnej hodnoty snehu prichádza o jednu periódu merania neskôr, čo súvisí z veľkým objemom snehu, ktorý ďalej prechádza metamorfózou a jeho vodná hodnota ešte stúpa. Podobne je to aj v poslednej na snehové zrážky bohatej zimnej sezóne 2012/13, kde kulminácia dosahuje vrchol v apríli. Zaujímavý je fakt, že maximálna vodná hodnota je v čase jej kulminácie na úrovni hodnoty 525,4 mm (apríl 2013), čo predstavuje takmer polovicu priemerného ročného úhrnu zrážok na vrchole Poľany (1 145 mm) viazaných vo forme snehu. V minime je hodnota v čase kulminácie 125,7 mm (január 2011), čo je 4-násobne menšia hodnota a zrážky viazané v snehovej pokrývke predstavujú 11 % z priemerných ročných zrážok.

Ak sa pozrieme na bližšie skúmaný rok 2006 (obr. 2), skúmaný s titulu najväčších zásob snehu, môžeme vidieť, že vodná hodnota snehu je väčšia na voľnej ploche ako pod korunami porastu. Tento jav je spôsobený intercepciou. Intercepcia v čase kulminácie (marec) je na úrovni 91,3 mm (18 %). V apríli však už konštatujeme, že vodná hodnota snehovej pokrývky na voľnej ploche klesá v dôsledku topenia sa. Naproti tomu v priestore pod zápojom porastu vodná hodnota ešte stále stúpa (výška však klesá), čo je možné vysvetliť roztápaním sa snehu v korunách, ktorý nimi prepadáva a obohacuje snehovú pokrývku pod porastom o vodu a tiež pomalším dozrievaním snehovej pokrývky pod clonou porastu.

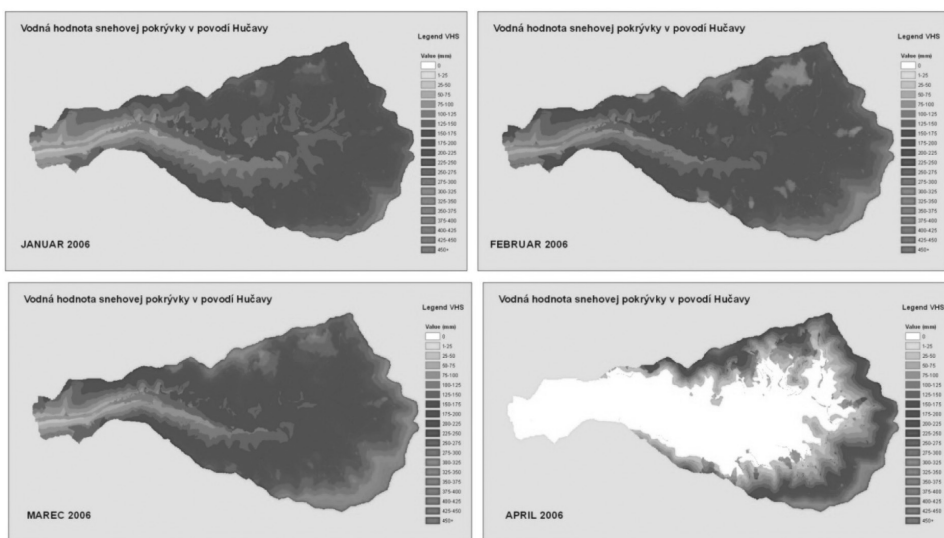


Obr. 2 Vodná hodnota snehovej pokrývky pod porastom a na voľnej ploche (1 358 m. n. m)

Fig. 2 Snow water equivalent under stand closure and on open area (1 358 m. n. m)

Pri grafickom vyhodnotení vodnej hodnoty snehovej pokrývky celého povodia (obr. 3), konštatujeme, že v čase kulminácie vodnej hodnoty snehu sa snehová pokrývka (odhliadnuc od rozdielov les – voľná plocha) vyskytuje na celej ploche povodia viac-menej rovnomerne rozložená. V čase zániku snehovej pokrývky sledujeme ústup snehu v nižších nadmorských výškach povodia ale aj stále vysoké vodné hodnoty snehu v najvyšších častiach povodia. Okrajové časti sú hranice povodia s najväčšou nadmorskou výškou. Farebná škála je zvolená od bielej (absencia snehu) farby až po spektrum sýtočervených farieb (najvyššie vodné hodnoty snehu). Dobre pozorovateľná je stúpajúca vodná hodnota snehovej pokrývky z nadmorskou výškou povodia.

V lese sledujeme všeobecne nižšie vodné hodnoty snehu oproti voľným plochám (najlepšie viditeľné vo februári 2006). Zo zistených údajov je možné teda konštatovať, že les pri veľkých množstvách snehu, tieto hodnoty v čase kulminácie znižuje. Jeho vplyv ešte rastie po kulminácii v čase topenia sa snehovej pokrývky, kedy porast pôsobí ako clona a spomaľuje topenie. Potvrdil sa tak vplyv lesa na spomalené uvoľňovanie vody viazanej v snehu do povrchového a podpovrchového odtoku, čo má značný vplyv na vznik potenciálnych povodní v dôsledku topenia sa snehu. Toto tvrdenie dokazujú predkladané výsledky.

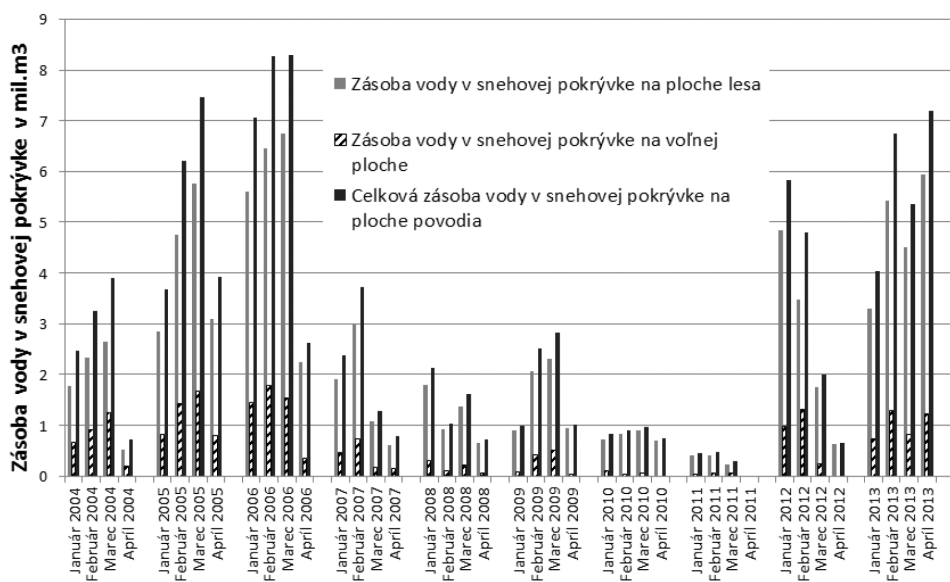


Obr. 3 Časová a priestorová distribúcia vodnej hodnoty snehovej pokrývky počas roka 2006
Fig. 3 Time and spatial distribution of snow water equivalent during 2006

3.2 Zásoby vody v povodí

Analýzou zásob vody v snehovej pokrývke konštatujeme, že zásoby vody v snehovej pokrývke sú v rámci desaťročných údajov premenlivé až do takej miery, že

rozdiel medzi maximálnou vy kalkulo vanou zásobou vody v snehovej pokrývke a minimálnou zásobou vody v snehovej pokrývke v čase kulminácie je až 17-násobný. Pri maximálnej hodnote zaznamenávame zásoby vody viazanej v snehovej pokrývke v povodí, v čase ich kulminácie (marec) v zime 2005/2006 na úrovni 8,295 mil.m³, čo v priemere predstavuje až 202,2 mm vodného stĺpca. Pričom pri minime v čase kulminácie (február 2011) boli zásoby vody v snehu v povodí len 0,474 mil.m³. Priemerný vodný stĺpec za povodie predstavuje 11,6 mm. Celkový prehľad zásob po jednotlivých časových obdobiach je dobre viditeľný na predkladanom grafe (obr. 4).



Obr. 4 Zásoba vody viazanej v snehovej pokrývke v rokoch 2004–2013 (v mil.m³)

Fig. 4 Water supply in snow cover in period 2004–2013 (in mil.m³)

Ako príklad uvádzame, apríl roku 2011, kedy sme na našich výskumných plochách zaznamenali absenciu snehu, čo je nezvyčajný fenomén v našom monitorovaní. Je potrebné si všimnúť kolísanie hodnôt grafu, ako aj to, aké sú s pohľadu zásob vody v snehovej pokrývke počas niektorých zim ich hodnoty nízke. Vo všeobecnosti klimatologické analýzy potvrdzujú úbytok trvania snehovej pokrývky, ako aj pokles podielu atmosférických zrážok dopadajúcich na zemský povrch v podobe tuhého skupenstva (okrem najvyšších horských polôh). Najvýraznejší úbytok tuhých zrážok bol zaznamenaný v nadmorských výškach od 1000 do 1500 m (možno sem zahrnúť aj kotliny Stredného Slovenska). V oblastiach pod 1000 m n. m. začínajú výraznejšie dominovať tekuté zrážky, najmä na začiatku a konci zimy.

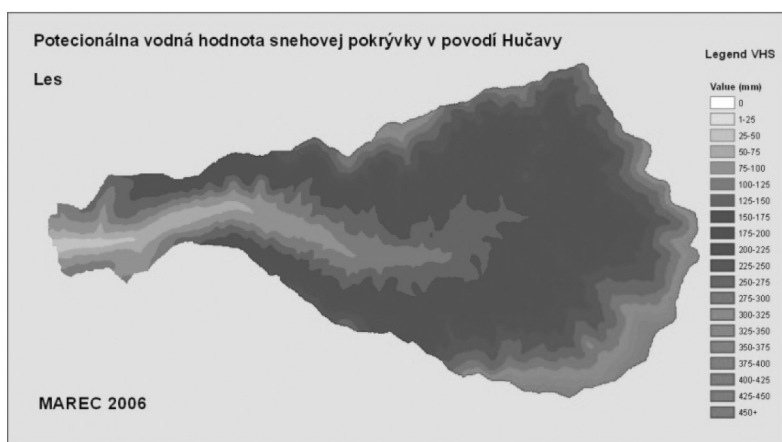
Tieto informácie sa dotýkajú celkového hydrického režimu krajiny. Keďže sneh je úzko závislý na teplote a zrážkach je výborným indikátorom zmeny klímy. Preto monito-

rovanie snehových pomerov a čo najpresnejšie stanovenie zásob vody viazanej v snehovej pokrývke má do budúcnosti veľký význam a je dôležité a prínosné v ňom pokračovať.

3.3 Modelovanie vplyvu lesa

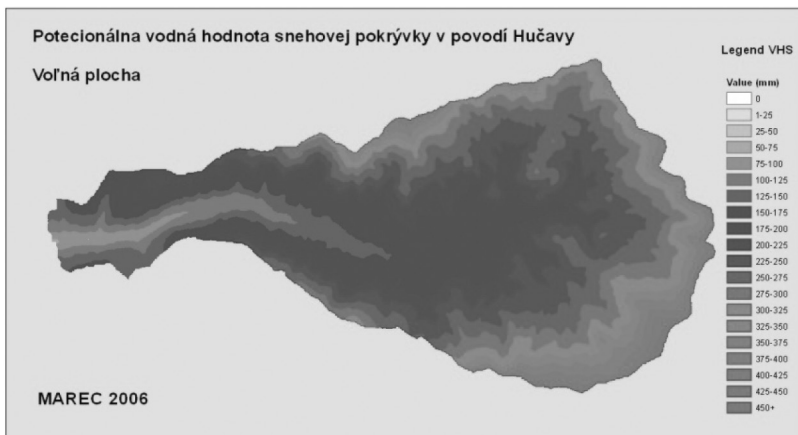
Pre vykreslenie vplyvu lesa na vodnú hodnotu snehovej pokrývky v povodí, a tým aj na zásobu vody v povodí sme vytvorili modelové situácie potencionálnej vodnej hodnoty snehovej pokrývky v povodí pre situáciu 100 % lesnatosti územia (obr. 5) a situáciu úplnej absencie lesa v povodí (obr. 6). Pri číselnom vyjadrení situácie, predpokladáme, že v povodí Hučavy by v nami monitorovanom roku 2006 v čase kulminácie vodnej hodnoty snehu v povodí (marec) zásoba vody viazaná v snehovej pokrývke pri úplnej absencii lesa predstavovala hodnotu 9 786 mil. m³. V prípade situácie, že by povodie bolo zalesnené na 100 % by bola hodnota na úrovni 7 956 mil. m³. Rozdiel by tak predstavoval 1 830 mil. m³ vody viazanej v snehovej pokrývke na ploche povodia (18,7 %). Na základe tohto poznatku môžeme konštatovať, že les výrazne vplýva na rozloženie a množstvo zásob vody viazanej v snehovej pokrývke v priestore a vykonáva v krajine významné hydrické funkcie.

Na mapových podkladoch je viditeľný rozdiel vo vodnej hodnote snehu v rovnakých častiach povodia, pri predstave oboch situácií. Farebná škála pri predstave úplného bezlesia dosahuje odlišné hodnoty ako pri abstrakcii 100 % lesnatosti povodia. Rozpätie farebnej škály je do bielej až po sýtočervenú farbu, ktorá predstavuje najvyššie vodné hodnoty snehovej pokrývky.



Obr. 5 Vodná hodnota snehovej pokrývky v prípade 100 % lesnatosti povodia

Fig. 5 Snow water equivalent in case of 100 % percentage of forest cover of catchment area



Obr. 6 Vodná hodnota snehovej pokrývky v prípade absencie lesa v povodí
 Fig. 6 Snow water equivalent in case of forest cover absence in catchment area

4 ZÁVER

Vzhľadom na veľkú rozmanitosť tak počasia ako aj prírodného prostredia je množstvo, rozloženie a trvanie snehovej pokrývky veľmi premenlivé. V tejto práci prinášame prehľad časového a priestorového rozloženia snehovej pokrývky v malom horskom povodí Hučavy. Tiež prinášame výsledky výpočtu zásoby vody viazanej v snehovej pokrývke v povodí počas monitorovaného obdobia. Osobitne zohľadňujeme voľnú plochu a plochu lesa a charakterizujeme rozdiely medzi nimi. Zistené poznatky a dosiahnuté výsledky zhŕňame do nasledujúcich bodov:

- zistili sme, že výška aj vodná hodnota snehovej pokrývky a nadmorskou výškou prirodzene a zákonite rastie (najväčšie hodnoty zaznamenávame v najvyšších polohách povodia Hučavy),
- maximálne hodnoty skúmaných charakteristík snehovej pokrývky zaznamenávame v mesiacoch február a marec,
- stanovujeme maximálnu hodnotu zásob vody viazaných vo forme snehu v povodí na 8,3 mil. m³ vody v marci 2006, pričom na plochu povodia (41 km²) táto hodnota predstavuje v priemerne 202,2 mm vodného stĺpca,
- naproti tomu minimálna hodnota zásob vody v snehovej pokrývke v čase jej kulminácie nedosahuje ani 0,5 mil. m³ čo predstavuje až 17-násobný rozdiel (apríl 2013) v porovnaní s maximom,
- maximálna vodná hodnota snehu (525,4 mm) predstavuje takmer polovicu priemerých zrážok v danej lokalite viazaných vo forme snehu,
- vyhotovenými grafickými podkladmi zachytávame priestorový rozsah charakteristík a konštatujeme, že mesiac apríl je priestorovým rozsahom snehovej pokrývky v priemere najmenší,

- fenoménom za monitorované obdobie zostáva fakt, že v apríli roku 2011 zaznamenávame na výskumných plochách úplnú absenciu snehovej pokrývky,
- modelovaním situácie úplnej absencie lesa a 100 % zalesneného povodia v čase maximálnych pozorovaných hodnôt dokazujeme pozitívny vplyv lesa z hľadiska znižovania potenciálneho rizika vzniku jarných povodní z topenia snehu.

Na vyslovenie jednoznačnejších záverov nám však nepostačuje ani množstvo dát nameraných za periódu desiatich rokov. Keďže už samotný sneh ako veľmi variabilný prírodný prvok prostredia sa mení tak v čase ako v priestore, a teda je náročne hodnotiť aj jeho interakciu s lesom, ktorý tiež podlieha vlastnej variabilite. Tu sa teda do budúcnosti otvára cesta pre ďalší výskum problematiky hydrológie snehu vo vzťahu k lesu.

Pod'akovanie

Tento príspevok je výsledkom realizácie projektu: Centrum excelentnosti pre podporu rozhodovania v lese a krajine, ITMS: 26220120120, podporovaný Výskumným a vývojovým operačným programom financovaným z ERDF (20 %).

Tento príspevok je taktiež podporovaný VEGA 1/1130/12 (40 %), VEGA 1/0281/11 (10 %), VEGA 1/0257/11 (10 %) zo Slovenskej grantovej agentúry pre vedu a Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci zmluvy č. APVV 0423-10 (20 %).

Literatúra

- HANKOVÁ, R., KLOSE, Z., PAVLÁSEK, J., SKALSKÁ, P., 2008: Kvantitatívni a kvalitatívni vývoj snehové pokrývky na experimentálnom povodí Modrava. In: Kyselová, D., Hrušková, K., Slivka, M. (Eds.): XIII. Medzinárodné stretnutie snehárov, chata Kosodrevina, Marec 2008, S. 39–46.
- OTN ŽP SR 3109:02 Meranie a vyhodnocovanie snehových zásob v povodí
- HRÍBIK, M., ŠKVARENINA, J., 2007: Vplyv bukového a smrekového lesa v rastovej fáze žrdoviny na vytváranie snehových zásob In Rožnovský, J., Litschmann, T., Vyskot, I. (ed): „Klima lesa“, Křtiny 11. – 12. 4. 2007, CD nosič a zborník abstraktov 10 s.
- HRÍBIK, M., MAJLINGOVÁ, A., ŠKVARENINA, J., 2008: Zimné zásoby snehu v malom horskom povodí Studeného potoka v orografickom celku Západné Tatry. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): „Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině“, Mikulov 9. – 11. 9. 2008
- HRÍBIK, M., ŠKVARENINA, J., 2005: Príspevok k štúdiu mikroklimy snehovej pokrývky v bukovom a smrekovom lesnom poraste BR Pořana. In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (eds.): „Bioklimatologie současnosti a budoucnosti“, Křtiny 12. – 14. 9. 2005, CD nosič a zborník abstraktov 4 s.
- LÓPEZ-MORENO, I.J. , STÄHLI, M., 2007: Statistical analysis of snow cover variability in subalpine watershed: Assessing the role of topography and forest interactions. In Journal of Hydrology (2008) 348 p. 379–394.
- KANTOR, P., 1979: Vliv druhové skladby lesných porostů na ukládání a tání snehu v horských podmínkách, Lesnictví, č. 3, s. 2.
- POBEDINSKIJ, A., KREČMER, V., 1984: Funkce lesu v ochrane vod a půdy. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 256 s.
- TABARI, H., MAROFI, D., ABYANEH, H.Z., SHARIFI, M.R., 2009: Comparison of artificial neural network and combined models in estimating spatial distribution of snow depth and snow water equivalent in Samsami basin of Iran. In: Neural Computing & Applications, Vol. 19, No. 4, p. 625–635, Springer-Verlag London Limited.

Adresa autorov:

Ing. Tomáš Šátala

Ing. Matúš Hríbik, PhD

Katedra prírodného prostredia

Lesnícka fakulta

TU Zvolen

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

e-mail: ssatalatomass@gmail.com

vrchar@gmail.com

Modelovanie vplyvu lesného porastu na časové a priestorové charakteristiky snehovej pokrývky

Abstrakt

Predkladaná práca je zameraná na mapovanie časového a priestorového rozloženia snehovej pokrývky a jej vodnej zásoby v malom horskom povodí Hučavy (kaldera Poľany). Cieľom je zachytiť vplyv lesa na akumuláciu a topenie snehu v porovnaní s voľnou plochou. Dáta získané terénnym expedičným monitoringom zo zimných sezón v rokoch 2004 – 2013 boli spracované v softvérovom prostredí ArcGIS.

Kľúčové slová: ArcGIS, Hučava, vodná hodnota snehu, zásoba vody v snehovej pokrývke

ODHAD VEKU STROMOV Z LETOKRUHOVÝCH SÉRIÍ NEÚPLNÝCH VÝVRTOV VO VÝŠKE 1,3 M

Vlastimil MURGAŠ

Murgaš, V.: Tree age estimation from incomplete tree ring series at height 1.3 m. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 1, 2013, 185–200.

The paper deals with the problem of how to estimate tree age using increment cores when the core doesn't contain information about location of the pith. This situation occurs in dendrochronological practice quite often, mainly due to pith eccentricity on stem cross-section, incorrect alignment of increment borer to stem when taking samples, rotten core etc. The basis of so far used methods for estimating unknown tree age is counting the number of tree rings on accessible part of increment core, an estimate of the missing radius and an estimate of the mean tree ring width of missing radius. In this paper 5 methods for estimating tree age were compared from which 1 method is known, 2 methods were created by modifying known procedures and 2 methods are completely original. The first new method is based on nonlinear analysis of inverse forms of selected growth functions and the second method on linear extrapolation of cumulative radial growth time series. Bias, precision and accuracy of each method are verified by simulation techniques on extensive empirical material representative for the growth area Poľana (tree species Norway spruce, from 2nd to 7th forest vegetation zone). The greatest benefit of this paper is to present new methods for estimating tree age, extending the range of existing procedures and demonstration of their practical usability.

Key words: tree age, spartial core, tree rings, radial growth

1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

Vek stromov je kľúčový faktor pre viacero ekologických a lesníckych disciplín. Umožňuje detailne skúmať a sledovať vekové štruktúry populácií, dynamiku a disturbance lesných ekosystémov v čase. V dendrometrii sa považuje za najvýznamnejšiu vstupnú veličinu, napríklad pre použitie rastových tabuliek, pri bonitácii a určovaní prírastkov ap. (ŠMELKO, 2007).

Tradičný spôsob ako odhadnúť vek stromu je spočítanie letokruhov na prírastkových vývrtoch. Vývrty sú extrahované za pomoci tzv. Presslerovho nebožieca vo vopred stanovenej vzdialenosti nad zemou, obvyčajne v prsnej výške (t.j. 1,3 m). Táto technika získavania vývrtov však poskytuje značné obmedzenia, ktoré môžu viesť ku skresleniu konečného odhadu veku (NORTON *et al.* 1987, DUNCAN 1989): (1) neznámy počet rokov od vykĺčenia stromu po dosiahnutie výšky v čase odberu vzorky, (2) lokálny výskyt falošných (dvojitých) alebo chýbajúcich letokruhov jednoznačne identifikovateľných iba počas synchronizácie, (3) neznámy počet chýbajúcich letokruhov na neúplných vývrtoch, ktoré nedosiahli chronologický stred (stržeň) stromu.

Neúplné vývrty niekedy tvoria väčšinu z celkového počtu odobratých vzoriek. Táto situácia vzniká nielen kvôli nesprávnej polohe Presslerovho nebožieca počas vŕtania stromu či jeho nedostatočnej dĺžke vzhľadom k väčšiemu polomeru stromu, ale aj pre zhrubnutie prízemkovej časti kmeňa, vnútornej hnilobe dreva, pri dutých stromoch, excentricite stržňa atď. (ROZAS 2003).

V súčasnej dobe existuje veľa metód (priamych a nepriamych) ako odhadnúť vek jednotlivého stromu. **Priame metódy** sa zakladajú na spočítaní letokruhov prítomných na vývrte a **nepriame** na regresnom vzťahu veku a inej ľahko merateľnej dendrometrickej veličiny na strome (napr. hrúbky). Pokiaľ je stržeň prítomný na vývrte vek stromu sa jednoducho určí z počtu korektne synchronizovaných letokruhov. Ak je vývrt vedený v tesnej blízkosti stržňa, čo je pomerne častý prípad, jeho poloha sa dá odhadnúť za pomoci geometrickej a grafickej metódy. APPLEQUIST (1958) vytvoril geometrickú metódu založenú na sérii koncentrických kružníc rôzneho polomeru (tzv. „pith locators“) so spoločným stredom, ktorý reprezentoval stržeň stromu. Správna sada kružníc sa vybrala na základe priemernej šírky vnútorných letokruhov na vývrte. Viditeľné oblúky vnútorných letokruhov na vývrte sa potom priradili k oblúkom koncentrických kružníc a spočítali sa kružnice ako počet chýbajúcich letokruhov po stržeň. NORTON *et al.* (1987) podobne priradzoval koncentrické kružnice k viditeľným oblúkom, ale s použitím kružidla. Následne odhadol dĺžku chýbajúceho polomeru vývrty ako polomer kružnice, alebo ho určil odčítaním nameraného polomeru stromu a dĺžky neúplného vývrty. Pre stanovenie počtu chýbajúcich letokruhov podelil chýbajúci polomer priemerným prírastkom odvodeným z určitého počtu vnútorných letokruhov prítomných na neúplnom vývrte. Vek stromu stanovil spočítaním odhadnutého počtu letokruhov chýbajúceho polomeru a počtu letokruhov na neúplnom vývrte. DUNCAN (1989) rozvinul geometrickú metódu. Hranice vnútorných letokruhov pokladal za oblúky koncentrických kružníc. Spomedzi vnútorných letokruhov vybral jeden, ktorý bol najlepšie viditeľný a stotožnil ho s kružnicou. Chýbajúci polomer na vývrte tiež odhadol ako polomer kružnice. Počet chýbajúcich letokruhov smerom k stržni odhadol tak, že podelil dĺžku chýbajúceho polomeru priemerným prírastkom 5 najbližších vnútorných letokruhov k oblúku, ktorý bol najvýraznejší na vývrte. Dospel k záveru, že priemerná chyba v odhade veku stromu je menej ako 10 % na vývrtoch odobraných pozdĺž najväčšieho polomeru, pričom vývrt musí prechádzať vo vzdialenosti do 50 mm od stržňa. Na rozdiel od geometrických metód VILLALBA a VEBLEN (1997) vyvinuli grafickú metódu, kde poloha stržňa nie je totožná s geometrickým stredom. Z jedného stromu sa odobralo viacero vývrtov z rôznych smerov a identifikovali sa na nich hranice vnútorných letokruhov. Tie sa následne spojili elipsovými kružnicami. Chýbajúci polomer predstavoval polomer kružnice. ROZAS (2003) prišiel s novou grafickou metódou založenou na konvergencii stržňových lúčov. Na vývrt sa pripevní priesvitná páska a pod zväčšením sa na nej zakreslia smery stržňových lúčov. Následne sa páska odoberie a upevní na hárok papiera, kde sa stržňové lúče predĺžia až do bodu kedy sa vzájomné pretnú. Vzdialenosť tohto bodu (odhadu polohy stržňa) od vnútorného oblúka letokruhu predstavuje chýbajúci polomer na vývrte. Pri neúplných vývrtoch odobratých v značnej vzdialenosti od stržňa (bez viditeľných oblúkov) sa chýbajúci polomer najčastejšie odhaduje ako rozdiel polomeru stromu a dĺžky vývrty. Pre odhad počtu chýbajúcich letokruhov sa používajú rôzne **nepriame**

metódy ako napr. kumulatívne krivky prírastku (VILLALBA, VEBLEN 1997) či extrapolácie priemerného prírastku z vnútorných letokruhov na vývrte (NORTON *et al.* 1987, DUNCAN, 1989, ROZAS 2003).

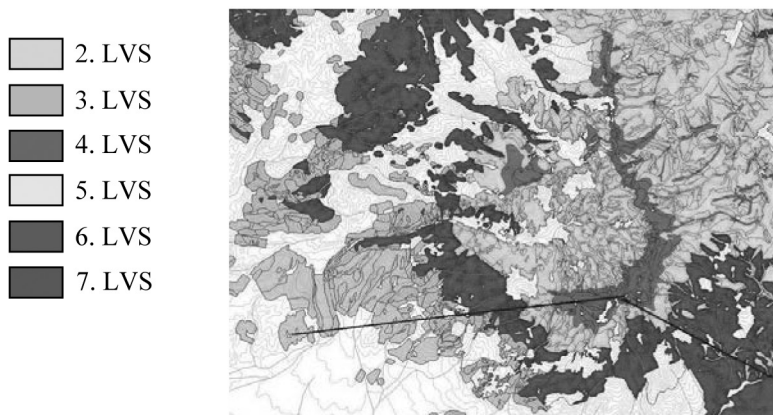
Cieľom predloženej práce je prezentácia nového postupu odhadu veku stromov na základe neúplných prírastkových vývrtov. Nová metóda je založená na extrapolácii časových radov hrúbok stromu odvodených z neúplných vývrtov a z hrúbky stromu nameranej v dobe odobratia vývrty. Všetky použité hrúbky sú datovaním priradené ku konkrétnym kalendárnym rokom. Extrapolácia je urobená pomocou integrálnych tvarov vybraných sigmoidálnych rastových funkcií parametrizovaných bežnými postupmi nelineárnou metódou najmenších štvorcov. Pri použití novej metódy sa očakáva, že dôjde k skombinovaniu výhod priamych a nepriamych metód odhadu veku stromov, pričom presnosť odhadov neznámeho veku stromu sa oproti doteraz používaným postupom zvýši.

2 MATERIÁL A METÓDY

2.1 Výber lesných porastov

Experimentálne merania sa realizovali v lesných porastoch patriacich do orografického celku Poľana, ktorý je súčasťou Slovenského stredohoria v Západných Karpatoch. Lesné porasty sa vyseletovali pre potreby riešenia väčšieho projektu APVV zameraného na analýzu rastových reakcií smreka (*Picea abies*), buka (*Fagus sylvatica*) a duba (*Quercus sp.*) v súvislosti s recentnou klimatickou zmenou. Výberom porastov od 2. až po 7. lesný vegetačný stupeň (LVS) sa pokryla celá ekologická amplitúda spomenutých druhov drevín. Takto sa vytvorili dva výškové gradienty (tranzekty), ktorých porasty patrili zväčša do LC Očová a Poľana (obr. 2.1). Prvý tranzekt (zľava) prebieha od okolia Očovej po vrchol Zadnej Poľany a prechádza južnou až juhozápadnou stranou pohoria. Druhý vychádza z údolia Slatiny nad Hriňovou a rovnako končí na vrchole Zadnej Poľany, pričom vedie juhovýchodnou a východnou stranou pohoria.

Do úvahy sa zobrali lesné porasty staršie ako 80 rokov so zastúpením dreviny viac ako 10 %, južnej expozície, na živných stanovištiach (ekologický rad B), semenného pôvodu, obhospodarované rovnakým spôsobom, príp. bez zásahu človeka. Tieto porasty boli zotriedené zvlášť podľa LVS a dreviny v prostredí lesníckeho geografického informačného systému – LGIS. Získali sme tak celkové počty porastov spĺňajúce vyššie definované kritéria, ktoré nám vymedzili základný súbor.



Obr. 2.2 Mapa vegetačnej stupňovitosti geomorfologického celku Poľana so schematickým vykreslením línií výberových transektov tvoriacich vegetačné výškové gradienty
 Fig. 2.2 Vegetation zone map of geomorphological unit Poľana with schematic depiction of selected line transects forming vegetation height gradients

2.2 Stanovenie počtu výberových porastov, plôch a vývrtov

Celá analýza bola založená na výberovom reprezentatívnom prieskume rastu vybraných drevín podľa jednotlivých LVS tvoriacich výškový vegetačný gradient. Výber bol urobený pomocou umiestnenia 10-stromových pokusných plôch s variabilnou výmerou do vhodných výberových porastov. Základnou výberovou jednotkou pre dendrochronologické analýzy bol stredný a horný kmeň identifikovaný na ploche podľa Weiseho pravidiel (6-ty strom od najtenšieho – stredný kmeň) alebo ako najhrubší strom z 10-tich uvažovaných (horný kmeň odpovedajúci 95 % kvantilu rozdelenia hrúbkových početností, resp. aritmetickému priemeru 10 % najhrubších stromov).

Pre každý LVS a drevinu sa následne stanovil potrebný počet porastov a jednorazových pokusných plôch. Porasty boli vybrané náhodným **PPS výberom** (z angl. Sampling with Probability Proportional to Size), pri ktorom mali väčšiu šancu selekcie porasty s veľkou výmerou a vysokým zastúpením dreviny.

Počet plôch v rámci porastu a počet porastov sa nakoniec stanovil podľa zásad a vzorcov jednostupňového výberu (pozri s. 377 a 378 v práci ŠMELKO, 2007). Základom naplánovania potrebného počtu pokusných plôch a ich lokalizácie do konkrétnych porastov bol odhad variability hrúbkových prírastkov stredných, resp. horných kmeňov okolo priemernej prírastkovej krivky sledovanej dreviny v záujmovom LVS.

V každom vybranom poraste bola založená jedna 10 stromová pokusná plocha a na každej ploche boli odobraté 2 vývrty – pre stredný a horný kmeň. Hrúbka stromu sa merala vo výške 1,30 m nad zemou (v $d_{1,3}$) z viacerých smerov pomocou taxačnej priemerky alebo obvodomeru pri hrubších stromoch a urobil sa priemer meraní. Z týchto dvoch stromov sa Presslerovým nebožiecom odobral vždy len 1 vývrt v rovnakej výške ako sa merali hrúbky,

t.j. v $d_{1,30}$ pod 45° uhlom voči spádnicí terénu, striedavo strom od stromu z ľavej a pravej strany so snahou vyhnúť sa reakčnému drevu. Pred samotným vŕtáním stromu som sa na začiatku orientoval viacej podľa osi stromu ako podľa obvodu, čím som zvýšil pravdepodobnosť trafenia stržňa. Počas vŕtania som venoval pozornosť najmä plynulému otáčaniu a vyvíjaniu rovnomerného tlaku na rukoväť nebožieca. Kolmosť smeru vŕtania k osi kmeňa a dĺžka vývrtu, po priložení extrakčnej lyžice, sa odkontrolovala z bočnej strany stromu. Finálny počet odoberaných vývrtov podľa drevín a LVS je uvedený v tab. 1.

Tab. 1 Výberový dizajn gradientovej dendrochronologickej analýzy vegetačnej stupňovitosti na Poľane

Table 1 The sampling design of gradient dendrochronological analysis of vegetation zones on Poľana

LVS ¹	Drevina ²	Počet výberových stanovišť ³	Spolu za LVS ⁴	Počet vývrtov ⁵	Spolu za LVS ⁴
2	DB	9	38	18	76
	BK	10		20	
	SM	19		38	
3	DB	10	40	20	80
	BK	13		26	
	SM	17		34	
4	BK	9	21	18	42
	SM	12		24	
5	BK	12	29	24	58
	SM	17		34	
6	BK	12	32	24	64
	SM	20		40	
7	BK	23	55	46	110
	SM	32		64	
Celkom⁶:		215			430

¹Forest vegetation zone, ²Tree species, ³Number of sampling sites, ⁴Sum for forest vegetation zone,

⁵Number of increment cores, ⁶Sum

DB – dub (oak), BK – buk (beech), SM – smrek (spruce)

Z výberového dizajnu bolo vybraných 26 prírastkových vývrtov s vizuálne trafeným stržňom dreviny smrek obyčajný (*Picea abies* (L.) Karst.) pokrývajúcich takmer celý rozsah LVS (tab. 2). Posledný stĺpec tabuľky vyjadruje percentuálny podiel chýbajúceho polomeru z polomeru stromu (odvodeného z nameranej hrúbky v $d_{1,3}$), pre ktorý sa vypočítali nasledovné štatistické charakteristiky: aritmetický priemer ($\bar{x}$), smerodajná odchýl-

ka (s_e) a stredná kvadratická odchýlka (m_s). Tu si môžeme všimnúť, že kladná hodnota aritmetického priemeru (11,99 %) ukazuje na prítomnosť excentricity stržňa, t.j. nachádza sa bližšie v smere odoberania vývrtnu. Ďalej vidíme, že vyššia pravdepodobnosť trafenia stržňa bola pri tenších stromoch (stredných kmeňoch) ako hrubších.

Tab. 2 Počty stromov s vizuálne identifikovaným stržňom

Table 2 The numbers of trees with visually identified pith

Poradové číslo ¹	LVS ²	Číslo stromu ³	H/W ⁴	Pol. stromu ⁵ [cm]	Dĺž. vývrtnu ⁶ [cm]	Podiel r_{miss} [%]	$z r_{\text{meas}}$ ⁷
1	2	1	1	30,5	27,6	9,7	
2	2	3	2	23	23,1	-0,4	
3	2	4	2	20,5	19,2	6,2	
4	2	5	2	18	15,6	13,3	
5	2	7	2	23,5	19,2	18,2	
6	2	8	2	21,5	19,7	8,5	
7	2	11	2	22	18	18	
8	2	15	2	15	13,3	11	
9	3	3	2	19	20,3	-6,9	
10	3	6	2	23,5	19,2	18,5	
11	3	8	1	31,5	18,6	41	
12	3	10	2	21,5	20,2	6,1	
13	3	11	2	23	22,2	3,6	
14	3	12	2	17,5	19,1	-9,2	
15	3	14	2	21,5	16,6	23	
16	4	3	2	23	22,1	4,1	
17	4	6	2	26	23,6	9,3	
18	4	7	1	24	20,9	13,1	
19	4	7	2	20	17,2	13,9	
20	5	2	1	39	27,1	30,6	
21	5	10	2	27,5	23,3	15,4	
22	5	11	1	31,5	28,2	10,3	
23	6	2	2	22	22,6	-2,7	
24	6	7	1	31	28	9,7	
25	6	9	1	26	16,2	37,5	
26	7	7	2	29	26,1	9,9	
						$\bar{x} = 11,99$	
						$s_x = 11,62$	
						$m_s = 16,69$	

¹Serial number, ²Forest vegetation zone, ³Tree number, ⁴H – (1) thickest stem (horný kmeň), W – (2) Weis's stem (stredný kmeň), ⁵Tree radius, ⁶Increment core lenght, ⁷Proportion of missing radius from measured radius

$\bar{x}$ – mean, s_x – standard deviation, m_s – mean square deviation

2.3 Laboratórne spracovanie

Po vysušení pri izbovej teplote sa drevené stojany s nalepenými vývrtmi zbrúsi-
li brúsnyim papierom s hrúbkou zrna 400. Na meranie širok letokruhov sa použil digitálny
poziciometer vybavený binokulárom s 2,5 až 4-násobným zväčšením obrazu a presnosťou
merania $\pm 0,01$ mm. Údaje o šírkach letokruhov sa zaznamenávali v počítačovom progra-
me DAS, kde sa okrem iného vykonala aj vizuálna, grafická synchronizácia.

2.4 Metódy pre odhad veku jednotlivých stromov

Metódy sa použili pre nasimulované neúplne vývrty (počet chýbajúcich leto-
kruhov sa simuloval vypustením letokruhov) a konečné odhady veku sa potom porovnali
so skutočným vekom stromu. Z absolútnych hodnôt získaných rozdielov veku sa podľa
nasimulovaných podielov chýbajúceho polomeru z nameraného polomeru stromu v pro-
grame STATISTICA vypočítalo vychýlenie ($\bar{e}$) a presnosť (s_e). Celková chyba (RMSE) sa
kvantitatívne vyjadrila strednou kvadratickou chybou.

Hlavným cieľom pri zostavených regresných modeloch bola minimalizácia strednej
chyby predikcie hodnôt závislej premennej veku stromu, ktorá nie je multikolinearitou
nezávislých premenných vôbec ovplyvnená. Z tohto dôvodu sa detailnejší prieskum vlast-
nosti nezávislých strán jednotlivých regresných modelov nerobil.

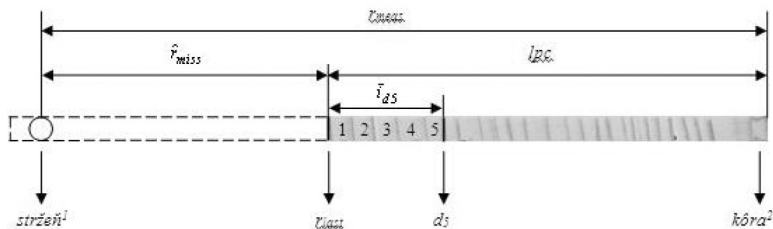
2.4.1 Klasická priama metóda odhadu veku stromov

Táto metóda patrí medzi najstaršie a najčastejšie používané v súčasnosti.
NORTON *et al.* (1987) odhadoval vek stromu (t) podľa všeobecnej rovnice:

$$\hat{t} = n_p + \hat{r}_{miss} / \bar{i}_d \quad (2.1)$$

kde n_p je počet letokruhov na neúplnom vývrte, $\hat{r}_{miss}$ je odhadovaná dĺžka chýbajúceho
polomeru (rozdiel polomeru z nameranej hrúbky stromu a dĺžky neúplného vývrty) a $\bar{i}_d$ je
priemerný prírastok určitého počtu najvnútornejších letokruhov. Na empirickom materiáli
sa nasimulovali rozličné varianty $\hat{r}_{miss}$, pričom $\bar{i}_d$ sa vypočítal vždy z 5-tich najvnútornej-
ších letokruhov pri všetkých variantoch $\hat{r}_{miss}$.

2.4.2 Metódy založené na lineárnej regresii



¹Pith, ²Bark

Obr. 2.4.2 Grafické zobrazenie neúplného vývrťu, kde r_{meas} je polomer stromu, lpc je dĺžka neúplného vývrťu, $\hat{r}_{miss}$ je chýbajúci polomer, $r_{last}(d_i)$ je polomer, ktorý mal strom v čase $t - n_p$ a $\bar{i}_d(\hat{i}_{dom})$ je priemerný prírastok vnútorných (vypustených) letokruhov

Fig. 2.4.2 Graphical display of partial core where r_{meas} is the tree radius, lpc is length of partial core, $\hat{r}_{miss}$ is estimated missing radius, $r_{last}(d_i)$ is radius, which tree had at the time $t - n_p$ and $\bar{i}_d(\hat{i}_{dom})$ is mean tree ring width of the innermost (omitted) tree rings

Pomocou viacnásobnej lineárnej regresie metódou najmenších štvorcov sa urobil odhad parametrov 3 vybraných premenných na závislej strane, pričom sa preskúmalo viacero kombinácií nezávislých premenných. Za závislé premenné sa zvolili:

- a) priemerná šírka určitého počtu vypustených letokruhov $\hat{i}_{dom}$,

$$\hat{i}_{dom} = f(\hat{r}_{miss}, \bar{i}_d, lpc, d) \quad \hat{t} = n_p + \hat{r}_{miss} / \hat{i}_{dom} \quad (2.2)$$

- b) počet chýbajúcich letokruhov $\hat{n}_{miss}$,

$$\hat{n}_{miss} = f(\hat{r}_{miss}, \bar{i}_d, r_{last}) \quad \hat{t} = n_p + \hat{n}_{miss} \quad (2.3)$$

- c) vek stromu $\hat{t}$.

$$\hat{t} = f(\hat{r}_{miss}, \bar{i}_d, r_{meas}, d, n_p) \quad (2.4)$$

kde n_p predstavuje počet letokruhov na neúplnom vývrťe.

Rovnicu lineárnej regresie vieme zapísať ako:

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_ix_i \quad (2.5)$$

pričom b_0 je lokujúca konštanta, ktorá udáva aké je y , ak x sa rovná nule a b_1 je hodnota regresného koeficienta. Z viacerých kombinácií variantov sa vybrali len tie, ktoré z hľadiska praktického využitia dosiahli najlepšie korelácie.

2.4.3 Nepriame a kombinované metódy založené na nelineárnej regresii

Pri tejto metóde odhadu veku stromov sa použili inverzné tvary diferenciálnych a integrálnych foriem 2 vybraných rastových funkcií, menovite Chapman-Richardsova a Korfova. Inverzná rastová funkcia sa riadi zákonitosťami rastu stromov a predpokladá, že čím väčšia je hrúbka stromu, tým je starší. Vo výpočtoch boli použité nižšie uvedené formy rastových funkcií spolu s ich inverznými tvarmi:

Chapman-Richards

$$y = y_{\max} (1 - e^{-bt})^c, \quad \hat{t} = f^{-1}(y), \quad \hat{t} = \frac{\ln[1 - (1 - y/y_{\max})^{1/c}]}{-b} \quad (2.6)$$

Korf

$$y = y_{\max} e^{\frac{c}{1-n} t^{1-n}}, \quad \hat{t} = f^{-1}(y), \quad \hat{t} = \left[\frac{\ln(y/y_{\max})(1-n)}{c} \right]^{\frac{1}{1-n}} \quad (2.7)$$

ZEIDE (1993) matematickými úpravami viacerých rastových funkcií sa dopracoval k 2 základným typom diferenciálnych foriem rastových funkcií, ktoré označil pojmom LTD (Logarithm Time Decline) a TD (Time Decline). Typickým predstaviteľom LTD je Korfová rastová funkcia a TD rastová funkcia Chapman-Richardsa. Inverzné tvary týchto foriem sa použili pre dva prípady. Prvý, keď máme odmeranú hrúbku stromu a šírku vonkajšieho letokruhu (zistený jednoducho, napr. prírastkovým kladivkom). V druhom prípade, keď poznáme hrúbku stromu a všetky prírastky na odobratom neúplnom vývrte. Z polomeru nameranej hrúbky som si spätne odvodil minulé neproporčné hrúbky stromu ako rozdiel dĺžky neúplného vývrta a nameraných prírastkov s priradenými kalendárnymi rokmi. Na základe neproporčnej hrúbky stromu odvodennej pre posledný vnútorný letokruh na neúplnom vývrte sa odhadol vek stromu, ktorý mal v tom čase. Celkový vek stromu sa potom stanovil spočítaním odhadnutého veku a počtu letokruhov na neúplnom vývrte.

LTD

$$dy/dt = ky^p t^{-q}, \quad \hat{t} = f^{-1}(dy/dt), \quad \hat{t} = (i_d / ky^p)^{1/q} \quad (2.8)$$

TD

$$dy/dt = ky^p e^{-qt}, \quad \hat{t} = f^{-1}(dy/dt), \quad \hat{t} = \frac{\ln(i_d / ky^p)}{q} \quad (2.9)$$

Prvá derivácia rastu podľa času dy/dt vyjadruje rýchlosť rastu (dá sa aproximovať hodnotou radiálneho prírastku i_d). Rastovú veličinu (hrúbku) popisuje symbol y . Symboly k, p, q v rovniciach 2.8 a 2.9 sú odhadované parametre. Pre odhad parametrov sa použila Levenberg-Marquardtova metóda.

2.4.4 Lineárna extrapolácia časového radu hrúbok

Metóda je založená na princípe jednoduchšej lineárnej extrapolácie časového radu hrúbok podľa kalendárnych rokov. Pre plochosť sigmoidálneho tvaru rastových kriviek hrúbok stromov sa predpokladá, že závislosť hrúbky stromu od veku môže byť aproximovaná lineárnou rovnicou. Princíp metódy spočíva v odhade kalendárneho roku, kedy hrúbka stromu je nulová, pri ktorom extrapolovaná priamka pretne os X.

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Najlepšie výsledky v odhade veku stromov sa dosiahli pri metóde založenej na viacnásobnej lineárnej regresii pre odhad parametrov závislých premenných $\hat{t}$, $\hat{n}_{miss}$ a $\hat{i}_{dom}$. Výsledné celkové absolútne chyby v odhadoch veku sa od seba len nepatrne líšili. Najpresnejší výsledok sa dosiahol pri priamom odhade veku stromu. V tab. 3 je zachytený odhad parametrov regresnej rovnice, pričom všetky sú štatisticky významné. Tu si môžeme všimnúť, že koeficient determinácie má hodnotu 0,70; čo znamená, že regresný model vysvetľuje 70 % z celkovej variability závislej premennej. Regresná rovnica pre odhad veku stromu $\hat{t}$ predpokladá, že so zväčšujúcim r_{meas} a zmenšujúcou $\bar{i}_d$ rastie hodnota $\hat{t}$.

Tab. 3 Výsledky viacnásobnej lineárnej regresie so závislou premennou
Table 3 Results of multiple linear regression with dependent variable

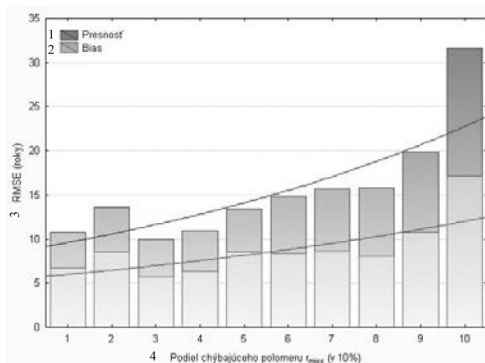
R = 0,839; R ² = 0,704; Upravené R ² = 0,703 F(6,2121) = 838,81; p < 0,000 Smerod. chyba odhadu ¹ = 13,388						
N = 2128	b*	Sm. chyba ²	b	Sm. chyba ²	t(2121)	p-hodn.
Abs.člen ³			42,217	1,543	27,365	0,000
Poč. letokr. na neúp. vývrte ⁴	1,033	0,021	0,876	0,018	48,586	0,000
Dĺžka neúp. vývrty ⁵	-5,565	0,554	-21,214	2,113	-10,038	0,000
Posl. polomer ⁶	-5,359	0,633	-18,242	2,156	-8,462	0,000
Meraný polomer ⁷	4,204	0,453	20,285	2,184	9,286	0,000
Priem. šírka 1 vnút. letokr. ⁸	-0,098	0,023	-16,896	4,013	-4,211	0,000
Priem. šírka 5 vnút. letokr. ⁹	-0,139	0,026	-27,401	5,054	-5,422	0,000

¹Parameter estimation error, ²Parameter estimation error from b, ³Regression coefficient, ⁴Number of tree

rings on partial core, ⁵Length of partial core, ⁶Last radius, ⁷Measured tree radius, ⁸Mean width of one innermost tree ring, ⁹Mean width of five innermost tree rings

R – korelačný koeficient, R² – koeficient determinácie, F – Fisherov test, p – hladina významnosti parametra, N – počet prípadov, b – odhad parametrov nezávislých premenných, t – Studentov t-test,

R – correlation coefficient, R² – R-squared, F – F-test, p – significance level of parameter, N – number of cases, b – estimated parameters of independent variables, t – Student's t-test



¹Precision, ²Bias, ³Root mean square error (years), ⁴Proportion of missing radius $\hat{r}_{miss}$ divided by 10 %

Obr. 3.1 Celkové absolútne chyby v odhade veku podľa podielu $\hat{r}_{miss}$ pri použití viacnásobnej lineárnej regresie pre odhad $\hat{t}$

Fig. 3.1 Total absolute tree age estimation errors according to proportion of $\hat{r}_{miss}$ by using multiple linear regression for estimating $\hat{t}$

Z obr. 3.1 je vidieť, že celková absolútna chyba do 20 rokov sa neprekročí, keď bude $\hat{r}_{miss}$ tvoriť až 90 % z r_{meas} . Na základe získaných výsledkov a poznatkov modifikovaná metóda založená na viacnásobnej lineárnej regresii poskytuje veľmi dobré výsledky pre odhad veku jednotlivých stromov a možno ju odporučiť zatiaľ pre smrek.

Pri použití inverzných tvarov integrálnych foriem rastových funkcií Korfa a Chapman-Richardsa je celková absolútna chyba v odhade veku stromu pri rovnakých podieloch $\hat{r}_{miss}$ spočiatku porovnateľná, pričom exponenciálne rastie so zväčšujúcou sa $\hat{r}_{miss}$. Pri dodržaní stanovenej celkovej absolútnej chyby do 10 rokov (pre správne zatriedenie porastu do vekovej triedy) pri oboch rastových funkciách by $\hat{r}_{miss}$ nemal prekročiť 30 % z r_{meas} a pri 20 rokoch 40 % z r_{meas} . Odhad maximálnej hodnoty rastovej veličiny pri Chapman-Richardsovej funkcii je 60,38, tzn. pri väčších hrúbkach stromu ako 60 cm sa táto funkcia už nedá použiť pre odhad relevantného veku stromu. Navrhnutá kombinovaná metóda, postavená na inverzných tvaroch diferenciálnych foriem rastových funkcií typu LTD a TD dosiahla druhé najlepšie výsledky. Dosiahnutá vyššia presnosť v odhade veku sa prisudzuje práve kombinácii výhod priamych a nepriamych metód. Pomocou nelineárnej regresie sa urobil odhad parametrov rovníc inverzných tvarov diferenciálnych foriem rastových funkcií typu LTD (tab. 4) a TD (tab. 5). Všetky odhadnuté parametre sú významné.

Tab. 4 Výsledky nelineárneho odhadu parametrov inverzného tvaru diferenciálnej formy rastovej funkcie typu LTD

Table 4 Results of nonlinear parameter estimation for inverse differential form of LTD growth function type

Model: $t = (id/(k \cdot d^p))^{(1/q)}$						
Závislá premenná ¹ : vek ²						
Hladina spoľahlivosti ³ = 95,0 % (alfa = 0,050)						
	Odhad ⁴	Stand. chyba ⁵	t-hodn. ⁶	p-hodn. ⁷	Dol. hr. ⁸	Hor. hr. ⁹
k	5,067	1,114	4,550	0,000	2,883	7,250
p	3,755	0,140	26,739	0,000	3,480	4,030
q	-4,153	0,116	-35,843	0,000	-4,381	-3,926

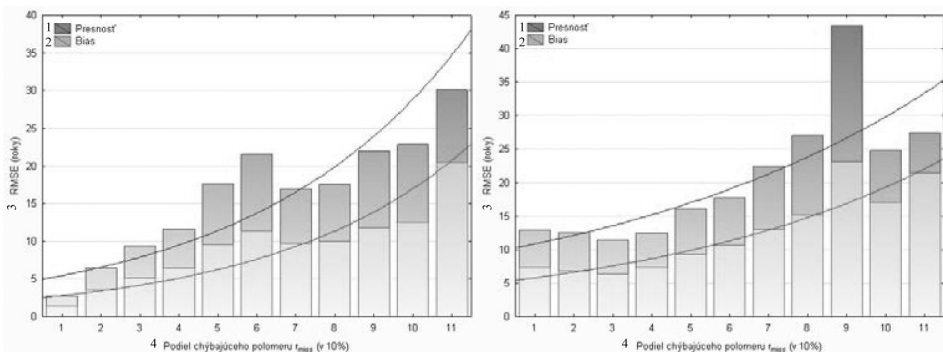
¹Dependent variable, ²Age, ³Confidence level, ⁴Estimation, ⁵Parameter estimation error, ⁶Student's t-test, ⁷Significance level of parameter, Confidence interval for population parameters: lower⁸ and upper⁹ limit

Tab. 5 Výsledky nelineárneho odhadu parametrov inverzného tvaru diferenciálnej formy rastovej funkcie typu TD

Table 5 Results of nonlinear parameter estimation for inverse differential form of TD growth function type

Model: $t = \log((id/k \cdot d^p))/q$						
Závislá premenná ¹ : vek ²						
Hladina spoľahlivosti ³ = 95,0 % (alfa = 0,050)						
	Odhad ⁴	Stand. chyba ⁵	t-hodn. ⁶	p-hodn. ⁷	Dol. hr. ⁸	Hor. hr. ⁹
k	0,099	0,007	15,039	0,000	0,086	0,112
p	-0,986	0,036	-27,348	0,000	-1,056	-0,915
q	-0,050	0,001	-36,787	0,000	-0,053	-0,047

Na základe r_{meas} a šírky 1 vonkajšieho letokruhu sa väčšia presnosť dosiahla pri použití inverzného tvaru diferenciálnej formy rastovej funkcie typu LTD (obr. 3.2 vľavo) a TD (obr. 3.2 vpravo) pri druhom variante, ktorý vyžaduje okrem hrúbky poznanie i_d všetkých letokruhov na neúplnom vývrte. Z obr. 3.2 vľavo je vidieť, že najmenšia celková chyba (3 roky) je pri 10 % podiele $\hat{r}_{miss}$ z r_{meas} . Pri požadovanej presnosti 10 rokov môže $\hat{r}_{miss}$ tvoriť len 30 %, ale pri presnosti 20 rokov až 80 % z r_{meas} .



¹Precision, ²Bias, ³Root mean square error (years), ⁴Proportion of missing radius $\hat{r}_{miss}$ divided by 10 %

Obr. 4 Celkové absolútne chyby v odhade veku podľa podielu $\hat{r}_{miss}$ pri použití inverzného tvaru diferenciálnej formy rastovej funkcie typu LTD (vľavo), keď poznáme r_{meas} a i_d vonkajšieho letokruhu a typu TD (vpravo), keď poznáme r_{meas} a i_d všetkých letokruhov

Fig. 4 Total absolute tree age estimation errors according to proportion of $\hat{r}_{miss}$ classes by using inverse differential form of LTD growth function type (left), when we know r_{meas} and i_d of the outermost tree ring and TD type (right), when we know r_{meas} and i_d of all tree rings

Pri odhade veku stromu pri použití inverzného tvaru diferenciálnej formy rastovej funkcie typu TD (obr. 3.2 vpravo) sa za pomoci informácie o r_{meas} a i_d všetkých letokruhov na neúplnom vývrte dosiahli väčšie chyby v odhade veku stromu. Pri tolerancii celkovej absolútnej chyby do 20 rokov predstavuje $\hat{r}_{miss}$ 60 % z r_{meas} .

Klasická metóda odhadu veku stromu, ktorú navrhol NORTON *et al.* má v sebe zakomponované vychýlenie. Všeobecne nadhodnocuje vek, pretože nadhodnotená $\hat{r}_{miss}$ je podelený podhodnoteným $\bar{i}_d$ najvnútornejších letokruhov. Pri tolerancii celkovej absolútnej chyby do 20 rokov by $\hat{r}_{miss}$ mal tvoriť maximálne 30 % z r_{meas} .

Metóda založená na lineárnej extrapolácii časového radu hrúbok je nepoužiteľná kvôli vysokým celkovým absolútnym chybám v odhade veku, ktorá je tým väčšia, čím kratší je časový rad, z ktorého sa extrapoluje.

Na väčšine vyselektovaných prírastkových vývrtoch bolo umiestnenie excentrického stržňa bližšie k obvodu zo smeru, ktorý sa vrtal čoho výsledkom je kladný bias pri všetkých metódach.

4 ZÁVER

Výsledky práce poukazujú, že tam kde je podmienka presnejšieho určenia veku stromu, metóda založená na viacnásobnej lineárnej regresii pre odhad závislých premenných veku a počtu chýbajúcich letokruhov, prípadne priemernej šírky počtu vypustených letokruhov je najlepšia voľba aj z hľadiska jej praktického využitia. Ako druhá najvhodnejšia metóda sa ukázala byť kombinovaná metóda založená na nelineárnej regresii s využitím inverzných tvarov integrálnych a diferenciálnych foriem vybraných dvoch rastových funkcií, a to Korfa a Chapman-Richardsa. Táto kombinovaná metóda v sebe spája výhody priamych a nepriamych metód, čím sa vlastne docielil oveľa presnejší odhad veku stromov ako pri použití klasických metód a zároveň sa potvrdila naša prvotná domnienka. V tab. 6 sú zobrazené celkové absolútne chyby v odhade veku pre 2 vybrané chýbajúce polomery podľa jednotlivých metód.

Tab. 6 Celkové absolútne chyby v odhade veku stromov podľa jednotlivých metód v rokoch
Table 6 Total absolute tree age estimation errors according to various methods in years

Podiel r_{miss} v % ¹	1	2a	2b	2c	3a		3b		3c		4
					ChR	K	LTD	TD	LTD	TD	
20	10	11	11	10	8	7	6	18	18	13	43
50	35	15	17	14	17	17	18	20	20	20	69

¹Percentage of missing radius

1 – klasická priama metóda odhadu veku stromov, 2 – metódy založené na lineárnej regresii pre

odhad: a) $\hat{t}_{dom}$, b) $\hat{n}_{miss}$, c) $\hat{t}$; 3 – nepriame a kombinované metódy založené na nelineárnej regresii: a) inverzný tvar integrálnej formy rastových funkcií (Chapman-Richards, Korf), b) inverzný tvar diferenciálnej formy rastových funkcií (nameraná hrúbka, šírka vonkajšieho letokruhu), c) inverzný tvar diferenciálnej formy rastových funkcií (nameraná hrúbka, šírky všetkých letokruhov), 4 – lineárna extrapolácia časového radu hrúbok

1 – classic direct method of tree age estimation, 2 – methods based on linear regression for estimating:

a) $\hat{t}_{dom}$, b) $\hat{n}_{miss}$, c) $\hat{t}$; 3 – indirect and combined methods based on non-linear regression: a) inverse integral form of growth functions (Chapman-Richards, Korf), b) inverse differential form of growth functions (measured diameter, the outermost tree ring width) c) inverse differential form of growth functions (measured diameter, widths of all tree rings), 4 – linear extrapolation of diameter time series

Dôležitým výstupom práce je možnosť aplikácie navrhnutých nových metód v hospodárskej úprave lesov (časová úprava lesa), arboristike či ekológii, pričom sa dajú zatiaľ odporučiť len pre drevinu smrek obyčajný (*Picea abies*). Z tohto dôvodu by sa žiadalo ich preveriť ešte na inom empirickom materiáli ďalších významných druhov drevín ako je napríklad buk lesný (*Fagus sylvatica*) a dub (*Quercus sp.*). Na základe doposiaľ získaných výsledkov a poznatkov sa taktiež overil a potvrdil známy fakt, že čím je neúplný vývrst dlhší a bližšie k stržňu, tým sú chyby v odhade veku menšie.

Podakovanie

Príspevok vznikol v rámci riešenia vedeckého projektu APVV č. 0423-10 s názvom „Analýza prírodných rizík vývoja krajinných ekosystémov v podmienkach klimatickej zmeny Slovenska“.

Literatúra

- APPLEQUIST, M. B. 1958. A simple pith locator for use with off-center increment cores. In *Journal of Forestry*. 1958, vol. 56, p. 141.
- DUNCAN, R. P. 1989. An evaluation of errors in tree age estimates based on increment cores in kahikatea (*Dacrycarpus dycrydioides*). In *New Zealand Natural Sciences*. 1989, vol. 16, p. 31–37.
- NORTON, A. D. – PALMER, G. J. – OGDEN, J. 1987. Dendroecological studies in New Zealand 1. An evaluation of tree age estimates based on increment cores. In *New Zealand Journal of Botany*. 1987, vol. 25, no. 3, p. 373–383.
- RANIUS, T. – NIKLASSON, M. – BERG, N. 2009. A comparison of methods for estimating the age of hollow oaks. In *Ecoscience*. 2009, vol. 16, no. 2, p. 167–174.
- ROZAS, V. 2003. Tree age estimates in *Fagus sylvatica* and *Quercus robur*: testing previous and improved methods. In *Plant Ecology*. ISSN 1573-5052, 2003, vol. 167, no. 2, p. 193–212.
- ŠMELKO, Š. 2007. Dendrometria. Zvolen: Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2007. 400 s. ISBN 978-80-228-1828-5.
- VILLALBA, R. – VEBLEN T. T. 1997. Improving estimates of total tree ages based on increment cores. In *Ecoscience*. ISSN 119556860, 1997, vol. 4, no. 4., p. 534–542.
- ZEIDE, B. 1993. Analysis of Growth Equations. In *Forest Science*. 1993, vol. 39, no. 3, 594–616.
-

Adresa autora:

Bc. Vlastimil Murgaš
Technická univerzita vo Zvolene
Lesnícka fakulta
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
e-mail: vlastimil88@gmail.com

Odhad veku stromov z letokruhových sérií neúplných vývrtov vo výške 1,3 m

Abstrakt

Práca sa zaoberá problémom, ako odhadnúť vek stromu za pomoci prírastkových vývrtov, keď odobratý vývrt neobsahuje informáciu o polohe stržňa. Táto situácia vzniká v dendrochronologickej praxi pomerne často, najmä v dôsledku excentricity stržňa na priečnom reze kmeňa, nesprávneho priloženia prírastkomera ku kmeňu pri odbere vzorky, pri hnilobe jadra ap. Základom doteraz používaných metód odhadu neznámeho veku stromu je spočítanie počtu letokruhov na dostupnej časti vývrtu, odhad dĺžky chýbajúcej časti a odhad priemernej šírky letokruhu chýbajúcej časti. V práci došlo k porovnaniu 5-tich metód odhadu veku, z ktorých 1 metóda je známa, 2 metódy vznikli modifikáciou známych postupov a 2 metódy sú úplne originálne. Prvá nová metóda je založená na nelineárnej analýze inverzných tvarov vybraných rastových funkcií a druhá metóda na

lineárnej extrapolácii časových radov kumulatívnych radiálnych prírastkov. Vychýlenie, presnosť a správnosť jednotlivých metód sú overené simulačnými technikami na rozsiahlom empirickom materiáli reprezentatívnom pre rastovú oblasť Poľana (drešina smrek, 2.–7. lesný vegetačný stupeň). Najväčším prínosom práce je prezentácia nových metód odhadu veku stromov, ktorým sa rozširuje spektrum existujúcich postupov a ukážka ich praktickej upotrebitelnosti.

Kľúčové slová: vek, neúplný vývrt, letokruhy, radiálny prírastok

POSÚDENIE PRESNOSTI VYBRANÝCH METÓD PRI ZISŤOVANÍ GEODETICKÝCH BODOV V ZALESNENÝCH ÚZEMIACH

Ľubomír S M A Ž Á K

Smažák, L.: Assessment of accuracy selected methods in determining geodetic points in wooded areas. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 1, 2013, 201–222.

The thesis presents, based on theoretical analyses and experimental measurements, a suitability of current terrestrial methods for determination of geodetic points in forested areas with using methods of polygonometry and GNSS. Traverses are the most convenient method for determination of geodetic points in rough and enclosed territory since adjusting of the traverse shape to the given territory is possible. However, there is a problem with keeping the geometric parameters given according to the instruction (1994). The accuracy analyses presented in the thesis showed that this could also be reached by not-keeping some parameters. Using methods of GNSS in forestry mapping is effective for densification positional point field in locations with good access satellite signals (meadow enclaves, glades), where is the high accuracy with no problem. For the measurement of property boundaries and spatial distribution of forest detail inside the stands higher accuracy requirements are still necessary classical terrestrial methods – especially traverses with short side length (6–400 m), methods of zone and polar method.

Key words: forest mapping, traverse, accuracy

1. ÚVOD A CIEĽ

Geodézia je vedným a technickým odborom, ktorý zahŕňa meranie, výpočty a zobrazenia Zeme ako aj jej jednotlivé časti. Podkladom pre určité projekčné práce, alebo pre podrobné polohopisné a výškopisné merania, ktoré sú potrebné pre tvorbu lesníckych máp je nevyhnutné mať stále k dispozícii určitý počet spoľahlivých geodetických bodov. Takéto body sú podkladom pre jednotlivé metódy podrobného merania (tachymetria, vytyčovací práce, buzolové merania a pod. resp. aj pre ďalšie doplnenie bodov podrobného polohového bodového poľa (PBPP), prípadne výškové merania.

Mimoriadny rozvoj geodézie a fotogrametrie koncom 20. a začiatkom 21. storočia priniesol aj do oblasti určovania geodetických bodov nové metódy (elektronické tachymetre, globálne navigačné satelitné systémy – GNSS, digitálna fotogrametria), ktoré zaznamenali výrazný pokrok nielen v meraní dĺžok a uhlov ale aj v presnosti prístrojov s ktorými sa viacnásobne prekračujú presnosti predpísané Inštrukciou (1994) a za použitia modernej výpočtovej techniky tak menia charakter mapovacích prác, čím výrazne prispievajú k ich racionalizácii. Všetky tieto metódy sú však nie vhodné pre meranie v zalesnených územiach (najmä GNSS pri vyšších požiadavkách presnosti hlavne kvôli zníženiu príjmu signálu

z družíc) a preto je potrebné hľadať optimálne využitie doterajších metód, resp. vhodné kombinácie s metódou GNSS. Meranie pomocou globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS) je realizované prostredníctvom amerického systému NAVSTAR GPS a ruského systému GLONASS. Budovaný je aj európsky systém GALILEO. Tieto systémy sú vybudované ako pasívne diaľkomerné rádiové systémy, tzn. že prijímač určí svoju vzdialenosť k niekoľkým satelitom systému a následne stanoví svoju polohu pretínaním (RAPANT 2002). Významným prínosom pre užívateľov na Slovensku je vybudovanie siete referenčných staníc GNSS SKPOS (Slovenská priestorová observačná služba). Jedná sa o stanice umožňujúce meranie len jednou aparátúrou na princípe relatívneho určovania polohy, ktoré má primárny význam pre veľmi presné (geodetické) merania.

Cieľom práce je na základe teoretických rozborov a experimentálnych meraní posúdiť vhodnosť metód GNSS ako aj terestrického zamerania pri určovaní geodetických bodov v zalesnených územiach s prioritným sa zameraním na určovanie vlastníckych hraníc lesných pozemkov.

2 ROZBOR PROBLEMATIKY

2.1 Geodetické body

Geodetické základy v teréne reprezentujú geodetické body. Tieto body sú budované ako integrované, s jednoznačnou meračskou značkou, ku ktorej sú určené jednotlivé geodetické parametre, a to priestorové súradnice, rovinne súradnice, normálna výška, tiažové zrýchlenie, charakteristiky presnosti jednotlivých parametrov a ročné rýchlosti bodov Slovenského kinematického referenčného rámca (SKTRF). Na geodetické body sa kladie požiadavka najmä na ich dostupnosť (prístup vozidlom), minimálny zákryt okolia bodu nad horizontom, dostatočnú viditeľnosť bodu a jeho bezpečnosť (ochrana bodu) (www.gku.sk).

Nepriaznivým javom pri geodetických meraniach sú nevyhnutelné meračské chyby, ktoré sa pri vzájomne na seba nadväzujúcich meraniach nebezpečne hromadia. Preto pri meraniach na rozsiahlejších územiach sa geodetické práce vykonávajú podľa zásady „z veľkého do malého“. Čo značí, že najskôr je potrebné vybudovať sieť presných polohových a výškových bodov a potom na ich základe vykonávať podrobné merania.

Geodetické body patria medzi meračské body a odlišujú sa od ostatných meračských bodov stabilizáciou, prípadne signalizáciou u trvale stabilizovaných bodov a dokumentáciou geodetických údajov.

Geodetický bod je trvalo stabilizovaný, prípadne trvalo signalizovaný bod, ktorý je v geodetických systémoch určený súradnicami, nadmorskou výškou alebo len niektorým z týchto údajov s predpísanou presnosťou a dokumentáciou. Geodetický bod je zriadený najmä meračskou značkou, meračským signálom a ochranným znakom, slúži na jednoznačné označenie jeho polohy, prípadne výšky, na jeho meranie a ochranu pred zničením alebo poškodením.

Meračský bod je bod z ktoréhokoľvek bodového poľa, ktorý tvorí podklad pre ďalšie meranie. Ak spĺňa podmienky stanovené STN 730415 (Geodetické body), nazýva sa geodetický bod. (ŽÍHLAVNÍK, Š., 2004).

2.2 Polohové geodetické body

Polohové geodetické body sú dôležitým podkladom pre polohopisné merania. Ich poloha sa v súčasnosti v SR vyjadruje pravouhlými rovinnými súradnicami x, y , v súradnicovom systéme Jednotnej trigonometrickej siete katastrálnej (S-JTSK). Súradnice bodov sa môžu určovať aj v lokálnych systémoch, ktoré sa tvoria podľa potreby a účelu použitia (ak nie je požiadavka pripojiť meranie na štátne mapové dielo). Súradnice nových bodov sú určované na základe merania uhlov a dĺžok medzi danými bodmi už jestvujúceho bodového poľa so známymi súradnicami a určenými bodmi (ŽIHLAVNÍK, Š., 2004).

Geodetické výpočty rôznych úloh polohového charakteru a určovanie vzájomnej polohy bodov na vhodnej výpočtovej a zobrazovacej ploche vyžadujú, aby bola k dispozícii sústava jednoznačne navzájom učených a orientovaných bodov v spoločnom súradnicovom systéme. Tieto body tvoria polohové bodové pole, sú trvalo alebo dočasne stabilizované a určené so stanovenou presnosťou. Polohové bodové pole na Slovensku rozdeľujeme na (podľa BITTERER, L., 2003):

- základné polohové bodové pole (ZBPB),
- podrobné polohové bodové pole (PPBP).

Rozdelenie polohových geodetických bodov, ktoré vytvárajú polohové bodové polia je uvedené v tabuľke.

Tabuľka 1 Rozdelenie polohových bodových polí (podľa STN 730415)

Tab. 1 Distribution of positional geodetic fields (according to STN 730415)

Základné polohové bodové pole (ZBPB)	Body Štátnej trigonometrickej siete (ŠTS)	
Podrobné polohové bodové pole (PPBP)	Pevné body podrobného polohového bodového pola (PBPP) – bez rozdielu v spôsobe určenia	Triedy presnosti 1 až 5
	Dočasne stabilizované body – nie sú predmetom STN 73 04 15	Triedy presnosti 2 až 5

Presnosť geodetických polohových bodov sa posudzuje podľa základnej strednej súradnicovej chyby m_{xy}

$$m_{xy} = \sqrt{0,5(m_x^2 + m_y^2)} \quad (1)$$

kde m_x a m_y sú stredne chyby súradníc x a y .

Stredná súradnicová chyba m_{xy} nesmie prekročiť hodnotu krajnej dovolenej odchýlky, ktorá je stanovená na 2,5-násobok strednej súradnicovej chyby m_{xy} .

Základná stredná súradnicová chyba bodov základného bodového poľa sa stanovuje hodnotou: $m_{xy} = 0,015$ m. Toto kritérium je vyjadrením relatívnej presnosti medzi susednými bodmi trigonometrickej siete V. rádu (ŽIHĽAVNÍK, Š., 2004).

Podľa účelu použitia sa body podrobného bodového poľa určujú v 5-tich triedach presnosti. Základné stredné súradnicové chyby bodov m_{xy} podľa tried presnosti stanovuje STN 73 0415 Geodetické body ($m_{xy} = 0,02$ m , 0,04 m, 0,06 m, 0,12 m, 0,20 m).

2.3 Spôsoby určovania bodov PPBP a posúdenie vhodnosti pre meranie v lesných porastoch

Pri tvorbe lesníckych máp sa vždy používali zodpovedajúce meračské metódy, postupy a prístroje. Vzhľadom na charakter a náročnosť prostredia, v ktorom sa lesnícke mapovanie vykonáva najviac bola a je kombináciu polohopisnej a výškopisnej metódy merania, napr. metódou polárnych súradníc spojenou využívaná letecká stereofotogrametria doplnená terestrickým zameraním, na leteckých meračských snímkach neviditeľným detailom. V súčasnosti sa pri tvorbe TŠMD používa digitálna stereofotogrametria a klasické terestrické meranie nahrádzajú metódy založené na globálnych navigačných satelitných systémoch (GNSS) a v poslednej dobe aj GLONASS.

Všetky geodetické merania a práce v teréne sa musia uskutočňovať takým spôsobom a s takou presnosťou, aby sa splnili kritériá presnosti pre jednotlivé triedy presnosti. Súčasťou výpočtových prác je predovšetkým overenie dosiahnutej presnosti určenia bodov. Vykoná sa porovnávaním dosiahnutých výsledkov a geometrickými parametrami a kritériami presnosti. Podľa účelu použitia sa body podrobného polohového poľa určujú v piatich triedach presnosti. Uvedené kritériá sa vzťahujú na najbližšie body základného bodového poľa (M. VÁCLAVÍKOVÁ – V. BENEŠOVÁ – J. BUSTA, 1993).

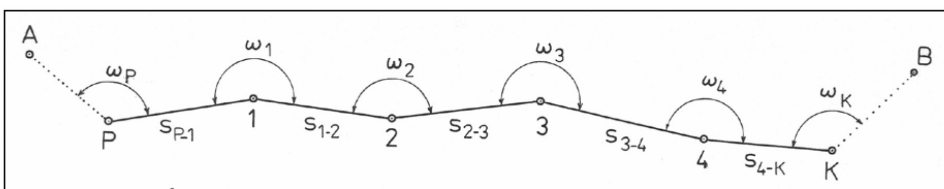
Na určovanie pravouhlých súradníc bodov PPBP sa v jednotlivých triedach presnosti v zmysle inštrukcie (1994) používajú tieto spôsoby:

- polygónovými ťahmi s dlhými stranami meranými elektronickými diaľkomermi,
- smerovým pretínaním napred a kombinovaným pretínaním,
- pretínaním z dĺžok meranými elektronickými diaľkomermi,
- rajónmi meranými elektronickými diaľkomermi,
- pomocou globálneho systému určovania polôh (GNSS),
- trojuholníkovými reťazcami,
- pretínaním nazad (výnimočne),
- polygónové ťahy s kratšími dĺžkami strán,
- fotogrametricky.

Polygónové ťahy

Určovanie bodov podrobného polohového poľa polygónovými ťahmi je najrozšírenejšie. Polygónový ťah je rad stabilizovaných bodov vzájomne spojených uhlovo a dĺžkovo tak, že tvoria lomené čiary, ktoré sa tvarom môžu prispôsobiť zameriavanému územiu (napr. hraniciam, komunikáciám, vodným tokom apod.). Vrcholové body polygónu

nového ťahu predstavujú zároveň stanoviská, z ktorých sa vykonáva podrobné meranie okolitého detailu. Ide vlastne o rad bodov, ktorých mysléné spojnice utvárajú mnohoúhelník (polygón) (ŽÍHLAVNÍK, Š., 2004). Polygónovými ťahmi sa určujú body 1. až 4. triedy presnosti. Používajú sa najmä v území zastavanom alebo členitom a zarastenom.



Obr. 1 Polygónový ťah obojstranne orientovaný a súradnicovo pripojený (ŽÍHLAVNÍK, Š., 2004)
Fig. 1 Traverse both sides oriented and coordinate connected

Podľa spôsobu pripojenia sa polygónové ťahy delia na:

- hlavné polygónové ťahy (na určenie PBPP):
 - pre určenie bodov 1. triedy presnosti sa pripájajú na body základného bodového poľa a ich pridružené body,
 - pre určenie bodov 2. až 4. triedy presnosti sa pripájajú na body základného poľa a body podrobného poľa aspoň o triedu presnosti vyššiu,
- vedľajšie polygónové ťahy:
 - pre určenie bodov 2. až 4. triedy presnosti (nedajú sa nimi určovať body 1. triedy presnosti) sa pripájajú na body najmenej zhodnej triedy presnosti určenej hlavnými ťahmi alebo inými spôsobmi.

Z hľadiska dĺžok strán sa polygónové ťahy delia na:

- ťahy s dlhými stranami – 200 až 1 500 m,
- ťahy s krátkymi stranami – 60 až 400 m, výnimočne od 50 m.

Ťahy sa obojstranne pripájajú a orientujú. Kde pod pojmom orientácia polygónového ťahu rozumieme zameranie ľavostranného vrcholového uhla w_p (w_k), ktorý zvierá na začiatočnom bode P (na koncovom bode K) prvá (posledná) strana ťahu s príslušnou pripojovacou stranou, ktorej smerník s je známy. Ide teda o začlenenie smeru prvej (poslednej) strany ťahu do príslušnej súradnicovej sústavy (S-JTSK) uhlomerným prístrojom. Pod pojmom polygónový ťah súradnicovo pripojený rozumieme tú skutočnosť, že začiatočný (koncový) bod ťahu je daný svojimi pravouhlými súradnicami v pravouhle súradnicovej sústave (S-JTSK) ide o nadviazanie na geodetické základy (na dané geodetické body). Polygónové ťahy s neúplnou orientáciou alebo pripojením je možné použiť pri mapovaní len výnimočne.

Základným rysom polygónového ťahu je zoskupenie bodov spojených uhlovo a dĺžkovo, tak aby sa čo najlepšie prispôbila zameriavanému územiu. Táto skutočnosť je obzvlášť dôležitá pre lesnícke mapovanie, ktoré má svoje zvláštnosti v tom, že meračské

práce sa vykonávajú väčšinou v neprehliadanom, často veľmi členitom a ťažko schodnom teréne, v ktorom práve polygonizácia plní svoje uplatnenie.

Globálne navigačné satelitné systémy (GNSS)

Štruktúra GNSS

Globálne navigačné satelitné systémy sa vo všeobecnosti skladajú z troch segmentov – vesmírneho, riadiaceho a užívateľského. Vesmírny segment je tvorený sústavou umelých družíc obiehajúcich okolo Zeme po presne určených, zadaných obežných dráhach. Riadiaci segment sa skladá z pozemných staníc plniacich nasledovné úlohy:

- nepretržité monitorovanie a riadenie činnosti celého systému,
- určovanie systémového času GNSS,
- predpovedanie dráhy družíc a chodu hodín na družiciach,
- pravidelné obnovovanie navigačnej správy pre každú družicu,
- sledovanie stavu družíc a ich údržba.

Riadiaca zložka je spravidla tvorená tromi typmi staníc:

- *monitorovacie stanice* – monitorujú signály vysielané kozmickým segmentom a prenášajú ich do hlavnej riadiacej stanice; sú rozmiestnené tak, aby umožňovali neustále sledovanie maximálneho počtu družíc po čo najdlhšiu dobu,
- *hlavná riadiaca stanica* – permanentne obnovuje dráhové elementy družíc, určuje korekčné parametre atómových hodín na družiciach a výsledky posiela v navigačnej správe do staníc pre komunikáciu s družicami,
- *stanice pre komunikáciu s družicami* – odosielajú navigačnú správu družiciam, slúžia tiež k ich ovládaniu; spravidla sú totožné s monitorovacími stanicami (RAPANT 2002).

Užívateľský segment tvoria prijímače jednotlivých užívateľov a technické zariadenia umožňujúce, uľahčujúce, resp. rozširujúce možnosti využitia GNSS.

Systém NAVSTAR GPS

V súčasnosti najlepšie prepracovaným a jediným úplne funkčným družicovým systémom na určovanie polohy a času je systém NAVSTAR GPS (Navigation Satellite Timing And Ranging) – navigačný systém na určovanie času a vzdialenosti pomocou družíc. Vyvíja sa v USA od roku 1973.

Systém GLONASS

Globálny navigačný družicový systém GLONASS (GLObal'naja NAVigacionnaja Sputnikovaja Sistema) je ruská alternatíva NAVSTAR. Jeho koncepcia vznikla už začiatkom 70-tych rokov minulého storočia ako reakcia na oznámený vznik NAVSTAR. Štruktúra GLONASS sa v mnohom podoba NAVSTAR, niektoré detaily sú však odlišné.

Systém Galileo

Galileo je nový navigačný systém, ktorého vznik podporuje Európska únia a Európska vesmírna agentúra (European Space Agency – ESA). Mal by to byť civilný systém úplne nezávislý od systémov NAVSTAR a GLONAS, no súčasne ma byť natoľko kompatibilný, aby bolo možné jeho spoločne využívanie s týmito systémami.

Koncepcia GPS umožňuje určovanie polohy bodov dvoma základnými metódami:

- **Absolútne určovanie polohy,**
- **Relatívne určovanie polohy.**

Absolútne určovanie polohy

Na určovanie stačí jedna aparátúra, na výpočet polohy sa využíva určovanie pseudovzdialeností medzi družicou a prijímačom pomocou pseudonáhodných kódov. Presnosť získaných geocentrických súradníc závisí od dĺžky observácie, počtu a konfigurácie družíc.

Relatívne určovanie polohy

Ide o metódu, pri ktorej sa určujú súradnice nových bodov vzhľadom k polohe referenčného bodu, ktorého geocentrické súradnice sú známe. Potrebne sú simultánne merania dvoma aparátúrami – na referenčnom bode a na určovanom bode. Výsledkom merania a spracovania je určenie smeru a vektora spojnice oboch bodov v geocentrickom súradnicovom systéme – tzv. základnice.

Na základe praktických meraní v lesníckom mapovaní je možné konštatovať, že za najvýznamnejšie nové prvky, ktoré sa objavili v súvislosti s využitím GPS sú predovšetkým tieto vlastnosti (podľa ŽIHĽAVNÍK, Š., 2004):

- Spojenie problematiky určovania polohy a výšky, využitie metód trojrozmernej geodézie,
- Vysoká presnosť pričom, pričom znižovanie presnosti so vyrastajúcou vzdialenosťou je podstatne menšia ako pri terestrických metódach,
- Nezávislosť meraní od počasia, pozorovania môžu byť v akejkolvek časti dňa alebo noci,
- Významná časová úspora, najmä pri rozsiahlych projektoch, minimálny počet meračského personálu – prístroje sú navrhnuté tak aby meranie zvládol jeden človek,
- Možnosť prepojenia bodov bez vzájomnej viditeľnosti, výber bodov nie je závislý od terénu, jedinou požiadavkou je možnosť prijímať signály z družíc,
- Výrazný ekonomický prínos, priaznivý pomer cena/výkon.

Metóda GPS napriek svojim výhodám má aj určité nevýhody ide najmä o:

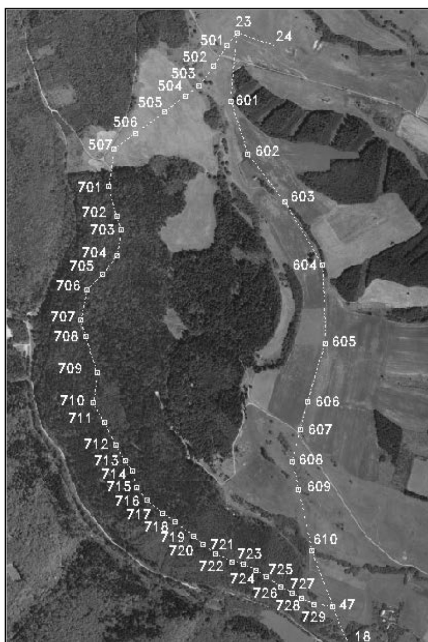
- voľnosť pri rekognoskácii je často neplatná kvôli nedostatočnej viditeľnosti družíc vplyvom zatienenia (stromy domy a pod.),

- pri meraniach v hustých porastoch, mladinách a žrd'kovinách je pohyb a anténou sťažený,
- následkom reflexie signálov na zemi alebo iných plochách (listy stromov, múry domov, dopravné prostriedky a pod. vzniká tzv. multipath efekt (viacdráhový príjem), ktorý je jedným zo zdrojov chýb, ale je možné sa mu vyhnúť vhodným výberom stanoviska.

3 EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL

3.1 Záujmové územie – charakteristika

Záujmové územie na ktorom prebiehalo experimentálne meranie predstavujú prevažne lesné pozemky s rôznym vekom a drevinovým zložením a časť trvale trávnatých porastov (pastviny) v katastrálnom území Kováčová v oblasti Vysokoškolského lesníckeho podniku (VŠLP) TU Zvolen. Reliéf terénu je pomerne členitý. Záujmové územie je zobrazené na časti leteckej snímky, v ktorej je vyznačený priebeh polygónových ťahov (obr. 2). Predmetom prác bolo zameranie vrcholových bodov dvoch polygónových ťahov – jedného s krátkymi stranami vedeného prevažne lesom, druhého s dlhými stranami umiestneného na voľnom priestranstve.



Obr. 2 Priebeh polygónových ťahov
Fig. 2 The course of traverses

3.2 Popis použitého přístrojového a softwarového vybavení

Na zameranie polohy referenčných bodov bol použitý prístroj GNSS, dvoj frekvenčný Hiper GGD od firmy Topcon (obr. 3). Podobne ako ostatné prijímače má Hiper GGD kompaktný, ľahký dizajn dokáže prijímať L1 a L2 GPS a GLONASS signály v jednej jednotke. Prístroj obsahuje 40 kanálový integrovaný GPS prijímač. Súčasťou je integrovaná anténa typu Microstrip (Zero-Centered) so schopnosťou prijímať signály L1, L2, NAVSTAR (GPS) + GLONASS systémy. Presnosť udáva výrobca pre statickú metódu merania: horizontálne: 3 mm + 0,5 ppm, vertikálne: 15 mm + 1,0 ppm, a pre RTK metódu: horizontálne: 10 mm + 1,0 ppm, vertikálne: 15 mm + 1,0 ppm (www.topcon.com.sg).



Obr. 3 GNSS Hiper GGD

Fig. 3 GNSS Hiper GGD

Pre získanie súradníc vrcholových bodov metódou polygónových ťahov sme použili totálnu stanicu TOPCON GPT 9003 M (obr. 4). Ide o profesionálnu bezhranolovú totálnu stanicu s pulzným diaľkometerom a operačným systémom Windows CE a graficky užívateľským rozhraním. Prístroje rady GPT 9003 M sú plne motorizované a schopné merať dĺžkové merania bez hranolu v rozsahu do 2000 m, na jeden hranol 3000 m, pri zachovaní vysokej presnosti $\pm (2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$. Na konfiguráciu prijímača sme použili softvér

PC-CDU, ktorý umožňuje nastavovať rôzne parametre zberu dát – interval registrácie, elevačnú masku, použitý družicový systém. Samotné spracovanie dát získaných meraním prebehlo v softvérovom produkte TOPCON Tools 7.5.1 určenom na post-processingové spracovanie dát získaných statickou metódou merania. Táto aplikácia prevádza výpočet určených vektorov a následne súradníc meraných bodov.

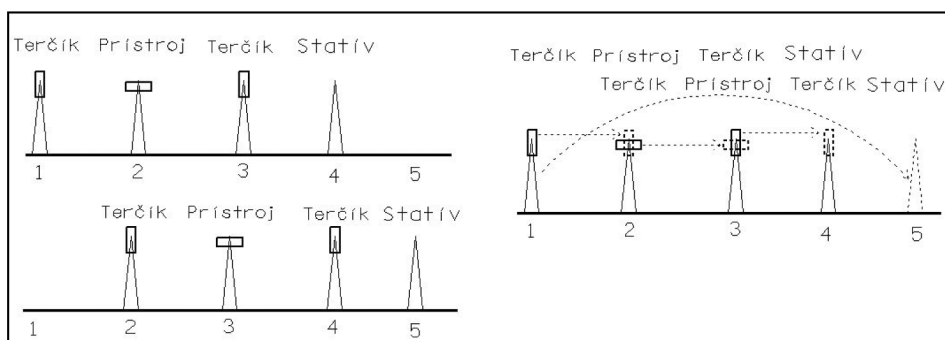


Obr. 4 Totálna stanica GPT-9003M (www.geodis.sk)

Fig. 4 Total station GPT-9003M

3.3 Zameranie polygónových ťahov

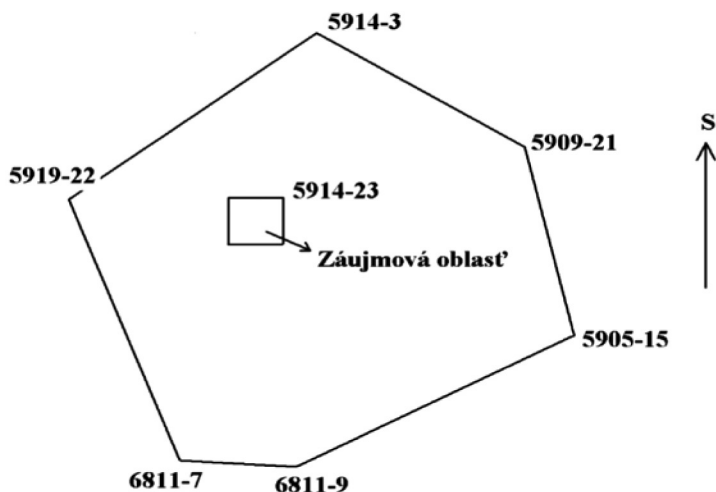
Na zameranie potrebných prvkov (vrcholové uhly a dĺžky strán) a pre určenie pravouhlých súradníc vrcholových bodov polygónových ťahov (body PPBP) ako už bolo spomenuté sa použil elektronický tachymeter TOPCON GPT 9003 M. Ako pripájacie body sa pre oba polygónové ťahy použili trigonometrické body 23 – Dibákovo (s orientáciou na trigonometrický bod 24 – Sielnica) a 47 – Trebuľa (s orientáciou na trigonometrický bod 18 – Zvolen – kostol južný). Každý polygónový ťah bol zameraný 2-krát. Vrcholové uhly boli merané v dvoch polohách ďalekohľadu, dĺžky strán sa merali vždy dvakrát (tam aj nazad) a v ďalšom výpočte sa uvažovalo s aritmetickým priemerom z oboch meraní. Meranie sa vykonalo štandardnou metódou pomocou troj-podstavcovej súpravy so závislou centráciou, kde pri meraní polygónových ťahov sa použila aj jej modifikácia s použitím štyroch statívov predovšetkým za účelom možnosti urýchlenia meraní (obr. 5). Vrcholové body polygónových ťahov boli v teréne stabilizované železnými rúrkami o dĺžke 50 cm a priemere 3, 5 cm. Na voľnom priestranstve bolo zameraných 12 vrcholových bodov a v prostredí lesného prieseku 38.



Obr. 5 Meranie so zvislou centráciou s využitím 4 statívov (TUNÁK, D., 2010)

Fig. 5 Measuring with vertical centration using the 4 tripods

V ďalšej fáze merania sme pristúpili k zameraniu identických bodov rýchlou statickou metódou merania GNSS s observačnou dobou 3 minúty s využitím služby SKPOS. Použili sme 5 sekundový interval registrácie dát, 5° výškový filter a signály oboch dostupných GNSS. Pre transformáciu geocentrických ETRS 89 súradníc do lokálneho súradnicového systému sme použili lokálny transformačný kľúč, ktorý vznikol vyrovnaním siete siedmych trigonometrických bodov. Transformačný kľúč je charakterizovaný strednou chybou v horizontálnej polohe $m_0 = 0,042$ m a vo vertikálnej polohe $h_0 = 0,027$ m. Pre transformáciu DVRM do Bpv bol pri post-processingu využitý SK Geoid ggf prevzatý od Geodisu.



Obr. 6 Schéma transformačného kľúča

Fig. 6 Scheme of transformation key

Výpočet pravouhlých súradníc vrcholov zameraných polygónových ťahov bol realizovaný v geodetickom programe GROMA, na editáciu priebehu ťahov bol použitý softvér KOKEŠ. Vyhodnotenie výsledkov prebehlo v programoch sady kancelárskeho balíka Microsoft Office, štatistická časť vyhodnotenia v štatistickom softvéri STATISTICA a Microsoft Excel.

4 METODIKA PRÁCE

4.1. Spracovanie nameraných údajov

Po realizácii jednotlivých meraní sme pristúpili k spracovaniu jednotlivých dát. V prípade dát, ktoré boli namerané totálnou stanicou sa jednalo o výpočet polygónového ťahu, ktorým sme získali súbor pravouhlých súradníc vrcholových bodov oboch polygónových ťahov v súradnicovom systéme S- JTSK a Bpv. Tento súbor hodnôt sme v ďalšom postupe považovali za referenčný, jeho hodnoty za správne a presné. Experimentálne merania boli ďalej spracované a vyhodnotené nasledovne:

- a) Výpočet pravouhlých súradníc vrcholových bodov polygónových ťahov.
- b) Posúdenie presnosti:
 - dodržanie geometrických parametrov,
 - kritéria presnosti,
 - testovanie pri nedodržaní geometrických parametrov.

4.2 Výpočet pravouhlých súradníc vrcholových bodov polygónových ťahov

Výpočet súradníc vrcholových bodov polygónového ťahu obojstranne orientovaného a obojstranne súradnicovo pripojeného sa spája s uhlovým a dĺžkovým vyrovnaním (ŽíHLAVNÍK, Š. 2004). Ak je daný počiatočný a koncový bod P (x_P , y_P) a K (x_K , y_K) svojimi pravouhlými súradnicami, smerníky pripojovacích strán s_{PA} , s_{KB} , vrcholové uhly w'_P , w'_K ... až w'_K a dĺžky strán s_{P1} , s_{12} , ... až s_{NK} a treba vypočítať pravouhlé súradnice vrcholových bodov 1, 2, ... N polygónového ťahu.

Tab. 2 Polygónové ťahy č. 1, č. 2

Tab. 2 Traverses No. 1, No. 2

Č. b	Ťah č. 1 na voľnej ploche (Priemer z 2. meraní)		Myx
	Y	X	
601	422881,255	1239590,581	0,00
602	422804,198	1239825,538	0,01
603	422642,243	1240033,087	0,01
604	422476,176	1240312,803	0,01
605	422463,367	1240660,934	0,02
606	422539,873	1240919,908	0,02
607	422571,728	1241042,918	0,01
608	422609,034	1241183,583	0,01
609	422581,277	1241307,716	0,01
610	422521,353	1241578,16	0,01

Č. b	Ťah č. 2 na lesnom prieseku (Priemer z 2. meraní)		Myx
	Y	X	
501	422898,873	1239341,34	0,00
502	422956,5483	1239437,18	0,01
503	423022,6755	1239521,55	0,01
504	423082,1563	1239567,75	0,01
505	423175,298	1239637,99	0,01
506	423301,9663	1239732,54	0,01
507	423396,6155	1239803,31	0,01
701	423422,0963	1239968,23	0,02
702	423386,2263	1240097,89	0,02
703	423366,0543	1240160,45	0,03
704	423383,1923	1240273,99	0,02
705	423449,0415	1240357,07	0,02
706	423516,7708	1240423,19	0,02
707	423544,5415	1240557,94	0,02

Tab. 2 Polygónové ťahy č. 1, č. 2 – pokračovanie

Tab. 2 Traverses No. 1, No. 2 – continued

Č. b	Ťah č. 2 na lesnom prieseku (Priemer z 2. meraní)		Myx
	Y	X	
708	423520,5475	1240629,67	0,02
709	423473,3345	1240787,15	0,03
710	423489,5593	1240922,37	0,02
711	423440,7338	1241010,35	0,04
712	423389,9348	1241109,71	0,03
713	423349,576	1241179,39	0,02
714	423314,9063	1241226,53	0,02
715	423295,2655	1241298,29	0,04
716	423251,2028	1241352,77	0,01
717	423182,9385	1241412,05	0,02
718	423125,893	1241451,22	0,01
719	423044,1765	1241514,73	0,03
720	423002,8993	1241552,28	0,01
721	422947,4648	1241593,74	0,01
722	422873,984	1241630,68	0,01
723	422823,0563	1241638,42	0,02
724	422768,8285	1241667,05	0,02
725	422721,8678	1241692,64	0,02
726	422658,9268	1241738,52	0,02
727	422609,4278	1241768,61	0,01
728	422568,788	1241787,19	0,01
729	422511,8953	1241816,67	0,00

4.3 Geometrické parametre a kritéria presnosti

Geometrické parametre sú stanovené podľa inštrukcie (1994) v jej prílohe č. 31 a to podľa druhu ťahu, triedy presnosti, spôsobu pripájania a základných stredných chýb meraných prvkov (uhlov, dĺžok):

1. krajná dĺžka strany,
2. krajný pomer dĺžok susedných strán,
3. krajný pomer dĺžok v ťahu,
4. maximálne vybočenie ťahu,
5. maximálny odklon strany od spojnice začiatočného a koncového bodu ťahu,
6. maximálny počet vrcholov,
7. maximálny súčet dĺžok strán.

V prípade, že pri určovaní PBPP polygónovým ťahom výnimočne nie je možné splniť niektoré geometrické parametre, je potrebné podľa Inštrukcie (1994) vykonať ďalšie výpočty a testovanie dosiahnutej presnosti posúdením strednej súradnicovej chyby m_{xy} .

4.3.1 Posúdenie dodržania geometrických parametrov

A) krajná dĺžka strany (1a – min., 1b – max.)

povolená: 60 – 400 m

Ťah č. 1:	127,07 m, 348,39 m	splnená
Ťah č. 2:	44,70 m, 166,87 m	nesplnená

B) krajný pomer dĺžok susedných strán

povolený: 1., 2. tr. presnosti 1 : 2., 3. tr. presnosti 1 : 3., 4. tr. presnosti 1 : 4

Ťah č. 1:	1 : 2,18	splnená	3.tr.
Ťah č. 2:	1 : 2,17	splnená	3.tr.

C) krajný pomer dĺžok v ťahu, t.j. pomer medzi najmenšou a najväčšou dĺžkou

povolený: 1., 2. tr. presnosti 1 : 4., 3., 4. tr. presnosti 1 : 5

Ťah č. 1:	1 : 2,74	splnená	1., 2. tr.
Ťah č. 2:	1 : 3,73	splnená	1., 2. tr.

D) maximálne vybočenie ťahu

povolený:	1, 2. tr. presnosti 0,3	$s_{PK} = 0,77$ km	$s_{PK} = 2574,57$ m
	3. tr. presnosti 0,4	$s_{PK} = 1,03$ km	
	4. tr. presnosti 0,5	$s_{PK} = 1,29$ km	

Ťah č. 1:	0,08	splnená	1., 2. tr.
Ťah č. 2:	0,35	splnená	1., 2. tr.

E) maximálny odklon strany ťahu od priamej spojnice s_{PK} začiatočného a koncového bodu ťahu

povolený: 1., 2. tr. presnosti 40 g
3., 4. tr. presnosti 50 g

Ťah č. 1:	16,9545 g	splnená	1., 2. tr.
Ťah č. 2:	81,2126 g	nesplnená	

F) maximálny počet vrcholov

1. trieda presnosti	počet vrcholov	súčet dĺžok strán v km
	10	4,5
	8	3,5
2. trieda presnosti	počet vrcholov	súčet dĺžok strán v km
	28	2,4
	22	2,0
	18	1,5
3. trieda presnosti	počet vrcholov	súčet dĺžok strán v km
	36	3,5
	30	2,8
	24	2,2
	20	1,8

4. trieda presnosti	počet vrcholov	súčet dĺžok strán v km
	60	4,5
	50	3,8
	40	3,5
	17	1,4
Ťah č. 1:	12	splnená 3. tr. (v nadväznosti na dĺžku ťahu)
Ťah č. 2:	38	splnená 4. tr. (v nadväznosti na dĺžku ťahu)
G) maximálny súčet dĺžok strán – dĺžka ťahu		
Ťah č. 1:	2701,48 m	splnená 3. tr.
Ťah č. 2:	3415,92 m	splnená 4. tr.

4.3.2 Výpočet stredných súradnicových chýb a testovanie dosiahnutej presnosti

Výsledky v kap. 4.3.1 Geometrické parametre ukázali, že viaceré geometrické parametre neboli dodržané. Inštrukcia (1994) pri nedodržaní niektorých predpísaných geometrických parametrov predpisuje dosiahnutú presnosť individuálne posúdiť podľa technickej normy STN 73 0415 Geodetické body, t.j. posúdením stredných súradnicových chýb m_{xy} jednotlivých vrcholových bodov polygónového ťahu (tab. č. 3, 4). Pre určenie m_{xy} sa použil klasický postup vyrovnávacieho počtu (BÖHM a kol. 1990).

Pri metóde GNSS platí všeobecne známy fakt, ktorý vyplýva z princípu merania technológiou GNSS, že pri zvyšovaní hodnoty výškového filtra dochádza k presnejšiemu určeniu vertikálnej polohy a naopak k zhoršeniu určenia horizontálnej polohy, potvrdili prevažne aj naše merania na voľnom priestranstve. Zlepšenie určenia vertikálnej, resp. zhoršenie určenia horizontálnej polohy je markantné pri porovnaní výsledkov medzi 10° a 15° nastavením výškového filtra, pri porovnaní výsledkov medzi 15° a 20° výškovým filtrom nie je potvrdenie spomenutého faktu úplne jednoznačné.

Tab. 3 Testovanie dosiahnutých presností ťah č. 1

Tab. 3 Testing of accuracies traverse No. 1

č. b.	I. meranie						Priemer (z 2. meraní)	
	Y	X	Odchýlka od priemeru		Odstránenie systemat. chyby		Y	X
			Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)		
601	422881,25	1239590,58	0,00	0,00	0,00	0,00	422881,25	1239590,58
602	422804,17	1239825,54	0,03	0,00	0,02	0,00	422804,20	1239825,54
603	422642,22	1240033,09	0,02	0,00	0,02	0,00	422642,24	1240033,09
604	422476,19	1240312,81	-0,01	0,00	-0,01	0,00	422476,18	1240312,80
605	422463,33	1240660,94	0,04	-0,01	0,04	-0,01	422463,37	1240660,93
606	422539,83	1240919,91	0,04	-0,01	0,04	0,00	422539,87	1240919,91
607	422571,73	1241042,93	0,00	-0,01	0,00	-0,01	422571,73	1241042,92
608	422609,03	1241183,58	0,01	0,00	0,00	0,00	422609,03	1241183,58
609	422581,28	1241307,72	0,00	0,00	0,00	0,00	422581,28	1241307,72
610	422521,35	1241578,16	0,00	0,00	0,00	0,00	422521,35	1241578,16
	suma		0,13	-0,03	0,10	0,00		
	aritmetický priemer		0,01	0,00	0,01	0,00		
	smerodajná odchýlka		0,02	0,00	0,02	0,00		
	testovacie kritérium		2,30	-2,99	1,71	0,00		
	kritická hodnota		2,26		2,26			
	početnosť		10	10	10	10		
	MyMx		0,02	0,00	0,02	0,00		
	Myx		0,02		0,01			

Tab. 4 Testovanie dosiahnutých presností ťah č. 2

Tab. 4 Testing of accuracies traverse No. 2

č. b.	I. meranie						Priemer (z 2. meraní)	
	Y	X	Odchýlka od priemeru		Odstránenie systemat. chyby		Y	X
			Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)		
501	422898,87	1239341,34	0,01	0,00	-0,01		422898,87	1239341,34
502	422956,55	1239437,17	0,00	0,01	-0,01		422956,55	1239437,18
503	423022,67	1239521,55	0,00	0,00	-0,01		423022,68	1239521,55
504	423082,15	1239567,75	0,00	0,00	-0,01		423082,16	1239567,75
505	423175,29	1239637,99	0,01	0,00	0,00		423175,30	1239637,99
506	423301,95	1239732,55	0,02	-0,01	0,01		423301,97	1239732,54
507	423396,60	1239803,32	0,02	-0,01	0,01		423396,62	1239803,31
701	423422,07	1239968,24	0,03	0,00	0,02		423422,10	1239968,23
702	423386,21	1240097,90	0,02	-0,01	0,01		423386,23	1240097,89
703	423366,02	1240160,46	0,03	-0,01	0,02		423366,05	1240160,45

Tab. 4 Testovanie dosiahnutých presností ťah č. 2 – pokračovanie

Tab. 4 Testing of accuracies traverse No. 2 – continued

č. b.	I. meranie						Priemer (z 2. meraní)	
	Y	X	Odchýlka od priemeru		Odstránenie systemat. chyby		Y	X
			Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)		
704	423383,17	1240273,99	0,03	−0,01	0,01		423383,19	1240273,99
705	423449,01	1240357,07	0,03	0,00	0,02		423449,04	1240357,07
706	423516,74	1240423,20	0,03	0,00	0,02		423516,77	1240423,19
707	423544,52	1240557,93	0,02	0,00	0,01		423544,54	1240557,94
708	423520,52	1240629,68	0,02	0,00	0,01		423520,55	1240629,67
709	423473,30	1240787,14	0,03	0,01	0,02		423473,33	1240787,15
710	423489,53	1240922,37	0,03	0,00	0,01		423489,56	1240922,37
711	423440,70	1241010,35	0,04	0,00	0,03		423440,73	1241010,35
712	423389,91	1241109,70	0,03	0,01	0,01		423389,93	1241109,71
713	423349,56	1241179,39	0,02	0,00	0,01		423349,58	1241179,39
714	423314,91	1241226,53	0,00	0,00	−0,01		423314,91	1241226,53
715	423295,23	1241298,30	0,03	0,00	0,02		423295,27	1241298,29
716	423251,20	1241352,78	0,01	0,00	−0,01		423251,20	1241352,77
717	423182,94	1241412,05	0,00	0,00	−0,01		423182,94	1241412,05
718	423125,90	1241451,23	0,00	−0,01	−0,02		423125,89	1241451,22
719	423044,17	1241514,72	0,01	0,01	0,00		423044,18	1241514,73
720	423002,91	1241552,28	−0,01	0,00	−0,02		423002,90	1241552,28
721	422947,46	1241593,74	0,01	0,00	−0,01		422947,46	1241593,74
722	422873,98	1241630,68	0,01	0,00	−0,01		422873,98	1241630,68
723	422823,05	1241638,42	0,01	0,00	0,00		422823,06	1241638,42
724	422768,84	1241667,04	−0,01	0,01	−0,02		422768,83	1241667,05
725	422721,88	1241692,63	−0,01	0,01	−0,03		422721,87	1241692,64
726	422658,92	1241738,52	0,01	0,00	0,00		422658,93	1241738,52
727	422609,44	1241768,60	−0,01	0,01	−0,02		422609,43	1241768,61
728	422568,78	1241787,19	0,01	0,00	−0,01		422568,79	1241787,19
729	422511,90	1241816,67	0,00	0,00	−0,01		422511,90	1241816,67
	suma		0,46	−0,01	0,00	−0,01		
	aritmetický priemer		0,01	0,00	0,00	0,00		
	smerodajná odchýlka		0,01	0,01	0,01	0,01		
	testovacie kritérium		5,51	−0,16	−0,04	−0,16		
	kritická hodnota		2,03		2,03			
	početnosť		36	36	36	36		
	MyMx		0,02	0,00	0,02	0,00		
	Myx		0,01		0,01			

Tab. 5 Prehľad m_{xy} a m_z pri meraní polygónu na voľnom priestranstve pri rôznych satelitných systémoch a výškových filtroch

Tab. 5 Overview m_{xy} a m_z measured travers in open area at various satellite systems and vertical filters

Meranie	Dĺžka observácie (min)	Výškový filter (°)	Satelitný systém			
			GPS + GLONASS		GPS	
			M_{xy} (m)	M_z (m)	M_{xy} (m)	M_z (m)
Polygón	3	10	0,0956	0,2815	0,1037	0,2590
		15	0,2028	0,1154	0,1554	0,0418
		20	0,2230	0,1015	0,1576	0,0442

Ďalším posudzovaným faktorom bol použitý výškový filter. Pri 10° nastavení boli dosiahnuté hodnoty spĺňajúce len 5. triedu presnosti mapovania kvôli vyššej hodnote m_z (0,26 m pri použití len NAVSTAR GPS, resp. 0,28 m pri použití oboch GNSS). Hodnota $m_{xy} = 0,104$ m, resp. 0,096 m pritom vyhovovala 3. triede presnosti mapovania ($u_{xy} = 0,14$ m). Pri 15° i 20° nastavení výškového filtra došlo k zhoršeniu určenia strednej súradnicovej chyby a naopak k zlepšeniu určenia strednej výškovej chyby okrem prípadu zhoršenia m_z pri použití amerického systému pri 20° nastavení. Medzi hodnotami stredných chýb pri 15° a 20° výškovom filtri sú len malé rozdiely.

Tab. 6 Prehľad m_{xy} a m_z pri meraní polygónu na lesnom prieseku pri rôznych satelitných systémoch a výškových filtroch

Tab. 6 Overview m_{xy} a m_z measured travers in forested area at various satellite systems and vertical filters

Meranie	Dĺžka observácie (min)	Výškový filter (°)	Satelitný systém			
			GPS + GLONASS		GPS	
			M_{xy} (m)	M_z (m)	M_{xy} (m)	M_z (m)
Polygón	3	10	0,6586	1,5680	0,5480	1,3292
		15	0,6325	1,6438	0,5884	1,3787
		20	0,6802	1,9220	0,7746	1,5423

Aj v prípade merania polygónu na lesnom prieseku boli predmetom skúmania použitý družicový systém a výškový filter. Z tabuľky č. 6 vidieť že, vplyv ruského systému GLONASS sa prejavil negatívne pri 10° a 15° nastavení výškového filtra ako pri určení horizontálnej, tak i vertikálnej polohy. Pri 20° výškovom filtri boli dosiahnuté lepšie výsledky vplyvom ruského systému len pri určení horizontálnej polohy. Celkovo môžeme

zhodnotiť že výsledky nezodpovedajú ani 5. triede presnosti mapovania ($u_{xy} = 0,50$ m, $u_v = 0,35$ m) bez ohľadu na použitý družicový systém a výškový filter. Nárast strednej súradnicovej chyby (m_{xy}) pri využití oboch družicových systémov (NAVSTAR a GLO-NASS) je pravdepodobne spôsobená softwarom, ktorý plnohodnotne nedokáže spracovávať údaje z virtuálnej referenčnej stanice poskytnutou službou SKPOS vo formáte RINEX.

5 VÝSLEDKY

Najväčším problémom v lesných porastoch je dodržanie parametra odklonu strán od spojnice počiatočného a koncového bodu (S_{pk}). Tento geometrický parameter je výrazne ovplyvňovaný neprehľadnosťou zalesneného územia (v závislosti od štruktúry a rastovej fázy porastov) ako aj členitosťou terénu. Neprehľadnosť a členitosť terénu sú problémom aj dodržania kritéria krajnej dĺžky strany.

Výkonané merania a rozboru ukázali, že pre experimentálne polygónové ťahy neboli tieto kritéria dodržané pri ťahu č. 2. Pre ostatné kritéria a obidva polygónové ťahy podľa jednotlivých geometrických parametrov boli splnené podmienky pre 1. až 4. triedu presnosti.

Výpočet stredných súradnicových chýb a testovanie presnosti jednoznačne preukázal dosiahnutie presnosti pre určenie PBPP v 1. a 2. triede presnosti. Tieto priaznivé výsledky pravdepodobne vyplývajú z toho, že pri meraní vrcholových uhlov a dĺžok strán elektronickými tachymetrami sa dosahuje vysoká presnosť, kde je podľa krajných dovolených odchýlok $\Delta\omega$ a $\Delta\rho$ vyhovujú obidva ťahy v 3. a 4. triede presnosti. Ďalšie kritéria presnosti a to: základná stredná chyba v meraní vrcholového uhla Δm_ω , základná stredná chyba v meraní dĺžky strany Δm_s a krajný rozdiel z dvoch meraní strany $\max_{\Delta s}$ vyhovujú pri všetkých polygónových ťahoch jednoznačne 1. a 2. triede presnosti. Jednoznačne to potvrdili opakované merania a rozboru ich presnosti. Pre meranie bola použitá totálna stanica TOPCON GPT 9003M, kde výrobca udáva presnosť v meraní dĺžok v bezhranovom móde 5 mm a v hranovom móde 2 mm, pri meraní uhlov presnosť 3".

Pri meraniach metódou GNSS hodnoty stredných súradnicových chýb m_{xy} a stredných výškových chýb m_z merania polygónu na voľnom priestranstve dosahovali hodnoty odpovedajúce 4. triede presnosti mapovania ($u_{xy} = 0,26$ m, $u_v = 0,18$ m) pri 15° a 20° nastavení výškového filtra bez ohľadu na použitý družicový systém. 4. triedu presnosti mapovania požaduje katastrálny zákon pre mapovanie extravilánu obcí, pre tento účel môžeme uvedenú metódu odporučiť pri použití 15° výškového filtra, pri ktorom boli dosiahnuté lepšie výsledky v porovnaní s 20° nastavením výškového filtra. V prípade použitia 10° výškového filtra boli splnené kritériá pre 3. triedu presnosti mapovania podrobného polohového bodového poľa len v prípade určenia horizontálnej polohy, vertikálna poloha bola určená až v 5. triede presnosti mapovania. Metódu s nastaveným 10° výškovým filtrom možno teda odporučiť pre mapovacie práce vyžadujúce 3. triedu presnosti len pre polohopisné mapovanie.

Pri porovnaní nami dosiahnutých výsledkov s výskumom iných autorov (napr. ŽIHÁVNÍK – MELUŠ 2009) môžeme konštatovať niekoľkonásobne horšie hodnoty m_{xy} i m_z pri

rýchlej statickej metóde merania GNSS na voľnom priestranstve. Uvedení autori udávajú dosiahnutie 1. triedy presnosti mapovania ($u_x = 0,04$ m, $u_y = 0,03$ m) pri päť minútovej observačnej dobe. Rozdiel je pravdepodobne spôsobený rozličnou dĺžkou observácie, v našom prípade bola dĺžka observácie tri minúty. Táto dĺžka je zrejme nedostatočná pre spoľahlivejšie vyriešenie ambiguit. Ďalším dôvodom môže byť fakt, že viaceré body polygónu na voľnom priestranstve boli lokalizované v blízkosti lesa či remíz, prípadne v terénnych zárezoch. V prípade blízkeho výskytu tieniacich drevín klesá kvalita prijímaného družicového signálu. V prípade bodov nachádzajúcich sa v terénnych zárezoch klesá počet observovaných satelitov, čo sa premietne do veľkosti výsledných chýb určenia polohy.

Vypočítané hodnoty stredných súradnicových chýb m_{xy} a stredných výškových chýb m_z pri meraniach realizovaných na lesnom prieseku rýchlou statickou metódou s trojminútovou observačnou dobou nezodpovedajú ani 5. triede presnosti mapovania ($u_x = 0,50$ m, $u_y = 0,35$ m) bez ohľadu na použitý družicový systém a výškový filter. Uvedenú metódu však je možné použiť pre mapovanie lesníckeho detailu, ktorý nie je podkladom pre tvorbu základnej lesníckej mapy, teda detailu potrebného pre doplnenie lesníckych účelových máp, resp. pre iné lesnícke účely s nižšou požadovanou presnosťou. Tieto závery korešpondujú s výsledkami prác iných autorov v tejto oblasti (napr. ŽÍHLAVNÍK – MELUŠ 2009, FAŠKO 2007).

6 ZÁVER

Vykonané merania a rozboru ich presnosti a dosiahnuté výsledky ukázali, že pre určovanie geodetických bodov v zalesnených územiach sa ako najvhodnejšia javí metóda polygonometria, t.j. určovanie polohy bodov metódou polygónových ťahov. V zalesnených územiach je však problémom dodržanie niektorých predpísaných geometrických parametrov podľa Inštrukcie (1994). Súvisí to predovšetkým s neprehľadnosťou zalesneného územia a členitosťou terénu. Najväčším problémom v lesných porastoch je dodržanie parametra odklonu strán od spojnice počiatočného a koncového bodu (S_{PK}) a dodržania kritéria krajnej dĺžky strany. Ideálne prispôsobenie sa zameriavanému územiu s dodržaním predpísaných geometrických parametrov by si v zalesnenom území vyžadovalo vyrúbanie priesekov pre zámery na meranie uhlov a dĺžok.

V súčasnosti používané geodetické prístroje (elektronické tachymetre, GNSS) umožňujú merať uhly a dĺžky s vysokou presnosťou a výsledky aj pri nedodržaní predpísaných geometrických parametrov sú v súlade s požiadavkami pre rôzne účely (určovanie geodetických bodov, meranie lomových bodov vlastníckych hraníc lesných pozemkov). Tieto tvrdenia možno podložiť aj teoretickými rozbormi ako aj rozbormi terénnych meraní viacerých autorov (napr. ŠŤITÍ, J. a kol. 1998, ŽÍHLAVNÍK, Š. – TUNÁK 2006, STANĚK, V. a kol. 2007, TUNÁK 2009, 2010). Spoločné pre všetkých uvedených autorov je poukázanie na problematiku dodržania geometrických parametrov, čo vedie k požiadavke prehodnotiť a upraviť predpísané kritéria pre geometrické parametre.

Dosiahnuté hodnoty stredných súradnicových chýb m_{xy} vrcholových bodov obidvoch polygónových ťahov, ktoré vyhovujú 1. a 2. triede presnosti technické normy STN 73 0415 geodetické body a STN 01 3410 Mapy veľkých mierok preukázali, že pre určovanie geodetických bodov (PBPP) ako aj pre lomové body aj v prípade vlastnických hraníc lesných pozemkov je polygonometria jednoznačne najvhodnejšia metóda v prípade merania priamo v lesných porastoch. Nakoľko pri meraní v lesných porastoch voľba dlhých strán je obmedzená, pri polygonometrii v zalesnených územiach je treba zakladať ťahy s kratšími dĺžkami strán (60 – 400 m) v zmysle Inštrukcie (1994). Z metód, ktoré sú uvedené v Inštrukcii (1994) je možné za najvhodnejšie považovať metódy GNSS (najmä na určovanie počiatočných a koncových bodov na voľných priestranstvách pre polygónové ťahy, resp. meranie rajónmi na voľnom priestranstve a použitie elektronických tachymetrov na určenie lomových bodov hraníc polygónovými ťahmi vo vnútri porastu), rajónov a polygonizácie t.j. určovanie geodetických bodov pomocou polygónových ťahov. Ich vrcholové body sa väčšinou využívajú ako lomové body hraníc lesných pozemkov (predovšetkým vlastnických hraníc), resp. slúžia ako podklad na domeranie tých lomových bodov, ktoré nie je možno priamo polygónovým ťahom určiť, kde je možné využiť metódy buzolového merania prípadne zostavu FieldMap. Optimálne riešenie je kombinácia merania GNSS (určenie geodetických bodov na voľnom priestranstve pre následné pripojenie polygónového ťahu, ktorý bude prechádzať lesným porastom) a polygónové ťahy s kratšími dĺžkami strán.

7 Literatúra

- BITTERER, L. 2003. Geodézia. Interný učebný text. Stavebná fakulta ŽU Žilina, 358 s.
- BŮHM, J. – RADOUCH, V. – HAMPACHER, M. 1990. Teorie chýb a vyrovnávacího počtu. GKP Praha, ISBN 80-7011-056-2, 416 s.
- FAŠKO, M.: Možnosti využitia GNSS pri lesníckom mapovaní. Diplomová práca, TU Zvolen 2007. 65 s.
- HRICKO, B. – ŽIHĽAVNÍK, Š., 2001. Určovanie polohy bodov pomocou GPS v lesných porastoch. In. Zborník referátov „Geodézia, fotogrametria a inžinierska geodézia v informačnej spoločnosti“. STU Bratislava, s. 272–280.
- RAPANT, P.: Družicové polohové systémy. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2002. 200 s. ISBN 80-248-0124-8.
- STANĚK, V. – HOSTINOVÁ, G. – KOPÁČIK, A. 2007. Geodézia v stavebníctve. JAGA GROUP, s.r.o., ISBN 978-80-8076-048-9, 110 s.
- ŠŤITTI, J. a kol. 1998. Analýza kvality polygónových ťahov. In. Acta Montanistica Slovaca, roč. 3 (1998), 1, s. 43–50.
- TUNÁK, D. 2009. Polygonizácia v lesníctve. In Lesnícka geodézia a fotogrametria – trendy: zborník referátov zo sympózia s medzinárodnou účasťou. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008. ISBN 978-80-228-1949-7. s. 22–36.
- VÁCLAVIKOVÁ, M – BENEŠOVÁ, V – BUSTA, J.: Mapovanie pre 2. a 3. ročník SPŠ stavebných študijný odbor geodézia. 3. vyd. Bratislava ELÁN, 2000. 249 s. ISBN 80-85331-19-5.
- ŽIHĽAVNÍK, Š. – MELUŠ, J. 2009. Využitie GNSS pri lesníckom mapovaní. Vedecké štúdie. TU Zvolen, ISBN 978-80-228-2013-4, 77 s.
- ŽIHĽAVNÍK, Š. – TUNÁK, D. 2006. Využitie polygonizácie v lesníckej geodézii. In: Geodézia v lesníctve: zborník referátov zo sympózia s medzinárodnou účasťou. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2006. ISBN 80-228-1684-1, s. 78–88.
- ŽIHĽAVNÍK, Š. – TUNÁK, D. 2010. Racionalizácia mapovacích prác využitím metódy polygónových ťahov. Vedecké štúdie 2010, TU Zvolen. 84 s.

Inštrukcia na tvorbu Základnej mapy SR veľkej mierky I 74.20.73.21.00 ÚGKK SR, (984 211 I/1993).

Inštrukcia na práce v polohových bodových poliach I 74.20.73.12.00 ÚGKK SR, (984 121 I/93).

STN 01 3410. Mapy veľkých mierok. Základné ustanovenia.

STN 73 0415. Geodetické body.

Adresa autora:

Ing. Ľubomír Smažák

Lesnícka fakulta

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24

960 53 Zvolen

Slovenská republika

e-mail: lubbar@centrum.sk

Posúdenie presnosti vybraných metód pri zisťovaní geodetických bodov v zalesnených územiach

Abstrakt

V práci je na základe teoretických rozborov a experimentálnych meraní posúdená vhodnosť aktuálnych terestrických metód pri určovaní geodetických bodov v zalesnených územiach s využitím metód polygonometrie a GNSS. Polygónové ťahy sú pre určovanie geodetických bodov v členitých a neprehľadných územiach najvhodnejšou metódou, nakoľko je možné prispôbienie tvaru ťahu danému územiu. Vzniká však problém s dodržaním predpísaných geometrických parametrov podľa inštrukcie (1994). Rozbory presnosti uvádzané v práci preukázali, že túto je možné dosiahnuť aj pri nedodržaní niektorých parametrov. Použitie metódy merania GNSS je v lesníckom mapovaní efektívne pre zhusťovanie polohového bodového poľa na miestach s dobrým prístupom signálu družíc (lúčne enklávy, rúbaniská), kde je dosiahnutie vysokej presnosti bezproblémové. Pre meranie vlastníckych hraníc JPRL a lesného detailu vo vnútri porastov s vyššími požiadavkami na presnosť sú naďalej nevyhnutné klasické terestrické metódy – najmä polygónové ťahy s krátkymi dĺžkami strán (60 – 400 m), rajóny a polárna metóda.

Kľúčové slová: lesnícke mapovanie, polygónový ťah, presnosť

**Za finančnú podporu na vydanie zborníka
Acta Facultatis Forestalis, Suppl. 4,
ďakujeme spoločnosti**

SLOVWOOD Ružomberok, a.s.



Sponzori Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 55, Suppl. 4.



www.propopulo-poprad.sk



www.lesy.sk



Lesnícka informačná
spoločnosť, a.s. Zvolen
www.aukciedreva.sk



www.zvolen.sk



www.grube.sk

www.grube.sk



www.lesmedium.sk



www.sazp.sk

APERTIS

www.apertis.eu



www.zvtp.sk



NÁRODNÉ LESNÍCKE CENTRUM NATIONAL FOREST CENTRE

www.nlcsk.org



www.lkttrstena.sk



Ministerstvo životného prostredia
Slovenskej republiky

www.minzp.sk



www.savzv.sk



www.bbsk.sk



www.uniagro.sk