



**ACTA
FACULTATIS
FORESTALIS
ZVOLEN**

52, Suppl. 1

2010

TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

Editori:

Ing. Martin Lieskovský, PhD.
Prof. Ing. Rudolf Kropil, CSc.
Doc. Dr. Ing. Jaroslav Šálka
Doc. Ing. Dušan Gömöry, CSc.

Redakčná rada:

Prof. Ing. Rudolf Kropil, CSc. – predseda
Prof. Ing. Peter Garaj, CSc.
Doc. Ing. Juraj Gregor, CSc.
Prof. Ing. Iveta Hajdúchová, PhD.
Prof. Ing. Valéria Messingerová, CSc.
Prof. Ing. Ladislav Paule, PhD.
Prof. Ing. Milan Saniga, DrSc.
Doc. Dr. Ing. Jaroslav Šálka
Prof. Ing. Anton Žihlavník, CSc.
Prof. Ing. Štefan Žihlavník, CSc.

Vedecký redaktor:

Doc. Ing. Dušan Gömöry, CSc.

Posudzovatelia:

Dr. Ing. Tomáš Bucha
Ing. Jozef Meluš, PhD.
Ing. Anna Tučeková, PhD.
Ing. Bc. Ľuboš Halvoň
Ing. Marián Radocha, CSc.
Ing. Martin Kamenský, CSc.
doc. Ing. Margita Jančová, CSc.
RNDr. Ľubica Ditmarová, PhD.
Ing. Zuzana Sitková, PhD.
Ing. Roman Longauer, CSc.
Ing. Tibor Priwitzer, CSc.
Ing. Martin Pirchala
doc. Ing. Juraj Nič, PhD.
Ing. Peter Glončák, PhD.
Ing. Ján Bavlšík

Vydala Technická univerzita vo Zvolene

Vydanie I. – 2010

Rozsah 230 strán, 13,99 AH, 16,15 VH

Náklad 100 výtlačkov

Tlač a grafická úprava Vydavateľstvo TU vo Zvolene

Evidenčné číslo 3861/2009

OBSAH – CONTENTS – INHALT

Kropil, R., Lieskovský, M.: Päťdesiat rokov študentskej vedeckej a odbornej činnosti na Lesníckej fakulte Technickej univerzity vo Zvolene	7
Fifty years of student's scientific and professional activity at Faculty of forestry of Technical university in Zvolen.....	7
Bakan, J.: Diviak lesný (Sus scrofa): Koľko poddruhov v Európe vlastne máme?	17
Wild boar (Sus scrofa): how many subspecies exactly in europe we have?	17
Martinák, M.: Vplyv podrobnosti údajov o drevinovom zložení na presnosť stanovenia stupňa prirodzenosti porastov	31
Influence of data precision of tree species composition on accuracy determining the degree of stands naturalness.....	31
Oreňák, M., Frič, M., Škvarenina, J.: Zhodnotenie intercepcie zrážok prirodzenej horskej smrečiny Západných Tatier	43
Assessment of natural mountain spruce forest interception in the West Tatra Mountains area	43
Kovalčíková, D., Kurjak, D., Střelcová, K., Ditmarová, L.: Charakteristiky vodného režimu sadeníc smreka v podmienkach stresu suchom	57
Water regime characteristics in spruce seedlings in conditions of container experiment	57
Đuriš, Marian, Lukáčik, Ivan: Lesostepné spoločenstvá vo vybranej oblasti Krupinskej planiny	71
Waldsteppengemeinschaften in dem ausgewählten Gebiet von „Krupinská planina“	71
Magová, D., Střelcová, K., Šudy, M.: Zmeny obvodov kmeňov a transpirácie smreka a smrekovca vplyvom meniacich sa podmienok prostredia	89
The changes of stem circumference and transpiration rate of spruce-larch forest in relation to changes of environmental characteristics	89
Balanda, M.: Dynamika regeneračných procesov prírodného zmiešaného lesa v NPR Hrončeský grúň	101
The dynamics of natural regeneration processes of mixed natural forest in NNR Hrončeský grúň	101
Brandýsová, V.: Využitie vegetačného indexu odvodeného zo satelitných údajov MODIS pri fenologických pozorovaniach	113
Utilization of vegetation index derived from satellite data MODIS in phenological observation	113

Tóbis, Š.: Ekologická konštitúcia druhov a jej využitie pri indikácii lesných spoločenstiev	125
Ecological constitution of species and its use for indicating forest communities.....	125
Turečeková, S.: Súčasný stav drevinového porastu ako limitujúci faktor rekreačného využívania Chráneného areálu Banskošťanická kalvária.....	133
Present state of wooden growth as an limiting factor of recreational use of protected area Calvary of Banská Štiavnica	133
Šadibol, J.: Modernizácia digitálnej aerotriangulácie v lesníckom mapovaní	147
Modernisation of digital aerotriangulation in forestry mapping	147
Faško, M., Žihlavník, Š.: Porovnanie metód merania GNSS (rýchlej statickej a pseudokinematickej) pre meranie v lese.....	161
Die Vergleichung der Methoden der GNSS Messungen (fast static und pseudokinematic) für die Messungen im Wald	161
Trajtel, A.: Využitie RTK metód GNSS merania v prostredí lesného prieseku.....	173
RTK method utilization for GNSS measurement in forest cleared line	173
Kamenský, P., Žihlavník, Š.: Možnosti využitia statickej metódy GNSS pri lesníckom mapovaní.....	185
Possibilities of using of static method of GNSS at forest mapping	185
Machanský, M., Žihlavník, A.: Ťažbová úprava lesa vo vybranej kalamitnej oblasti	199
Forest cut regulation in selected forest dieback area.....	199
Kováčik, P.: Modely krátkodobej technologickej prípravy pracoviska pre podrastový hospodársky spôsob v lanokových terénoch	221
Skyline yarding systems planning in steep terrains for the shelterwood system	221

PÄŤDESIAT ROKOV ŠTUDENTSKEJ VEDECKEJ A ODBORNEJ ČINNOSTI NA LESNÍCKEJ FAKULTE TECHNICKEJ UNIVERZITY VO ZVOLENE

Rudolf K R O P I L – Martin L I E S K O V S K Ý

Kropil, R., Lieskovský, M.: Fifty years of student's scientific and professional activity at Faculty of forestry of Technical university in Zvolen. Acta Facultatis Forestalis Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 7–16.

The beginning of the student's scientific activity (ŠVOČ) at the Faculty of Forestry of Technical University in Zvolen reaches back to the study year 1955-1956. In that study year also the first student's scientific conference was held. Since then the students meet at the presentations of their scientific papers yearly. During the fifty years of ŠVOČ existence it has been developing variously. This development has been completed by section creating for students of bachelor, engineering and PhD study. Students' participation has been positively developed in the long term, whereby the PhD students mainly use the ŠVOČ conferences to presentation and review their scientific papers. Important motivational factor is opportunity to publish the best papers in collection of original scientific works, which is published as a "supplement" of the Acta facultatis forestalis journal. If ŠVOČ should meet its aim continue, it is needed to propagate it more among the students and make it more attractive. Irreplaceable role in this process will play a teacher's purposeful work, which encourages and directs the creative activity of students.

Keywords: students' scientific activity, students' scientific conference, history of ŠVOČ

ÚVOD

Lesnícka fakulta chápe vedeckú a výskumnú činnosť ako súčasť svojho poslania ktorá je základom pre jej vzdelávacie aktivity. Preto sa všestranne usiluje o jej rozvoj v intenciách kvality a kvantity. Študentská vedecká a odborná činnosť je súčasťou výchovno vzdelávacej a vedeckej činnosti, realizovaná formou tvorivej vedeckej a odbornej práce študentov pod odborným dohľadom vysokoškolského pedagóga. Zámerom je vytvoriť priestor talentovaným študentom, ktorí chcú rozvíjať a prezentovať svoje poznatky z oblasti lesníctva a dokážu svoje názory na danú problematiku podať i obhájiť pred odbornou komisiou. Vyhľadávanie talentovaných študentov a rozvíjanie ich schopností tvorivo využívať najnovšie poznatky vedy pomáha riešiť mnohé otázky lesníckej vedy a praxe.

Študentská vedecká a odborná činnosť má na Lesníckej fakulte TU vo Zvolene dlhoročnú tradíciu, na ktorú sme v tomto roku nadviazali uskutočnením jubilejnej 50. fakultnej

konferencie ŠVOČ. Záujem zo strany študentov o prezentáciu vlastných výsledkov, ako aj súťažný duch zohráva v tomto smere pozitívnu úlohu, čo sa prejavuje aj v počte prihlásených študentov, ktorí sa do súťaže zapojili. Je to príležitosť, ako využiť a formovať svoj odborný záujem, rozvíjať talent a tvorivé myslenie. Zároveň ŠVOČ umožňuje zúžitkovať získané poznatky a skúsenosti pri ďalšom štúdiu, písaní a obhajobe bakalárskej, diplomovej práce, respektíve pre niektorých je to aj prvý štart do vedeckej práce vo forme neskoršieho doktorandského štúdia.

Vývoj študentskej vedeckej a odbornej činnosti na Lesníckej fakulte

Začiatky organizovanej činnosti študentských vedeckých krúžkov na Lesníckej fakulte siahajú do študijného roku 1955/56. Výsledkom práce týchto krúžkov bola 1. študentská vedecká konferencia, ktorá sa uskutočnila spoločne s Drevárskou fakultou VŠLD dňa 15. decembra 1956. Prvých 10 rokov konania konferencií možno označiť za obdobie vzniku a formovania študentskej vedeckej a odbornej činnosti. Toto obdobie bolo poznačené prvotným formovaním vedeckej práce učiteľov so študentmi vo forme organizovania vedeckých krúžkov a vzniku konferencií ŠVOČ, vrátane budovania organizačného štandardu pre ich priebeh. Ďalších takmer dvadsať rokov možno charakterizovať ako obdobie maximálnej účasti študentov, kedy sa vybuďovala hierarchia súťažných kôl ŠVOČ (katedrálné kolá, fakultné kolo a celoštátne kolo). Toto obdobie položilo základy pevnej tradície ŠVOČ, propagácie medzi študentmi, ich vedením vo forme organizovania metodických seminárov, maximálnej angažovanosti študentov do vedeckej a odbornej činnosti vo forme pomocných vedeckých a pedagogických síl ako aj výmenných študentských súťažných delegácií zo susedných lesníckych vysokých škôl (Tharandt, Brno, Poznaň, Krakow, Šoproň). Po roku 1989 nastali politické zmeny, čo predovšetkým v prvých rokoch poznačilo ďalší vývoj ŠVOČ. Zmenilo sa postavenie ŠVOČ na Lesníckej fakulte a to nielen z pohľadu spoločenského, ale aj z pohľadu finančného zabezpečenia. V roku 1992 vznikol štatút ŠVOČ, bola zmenená forma financovania ŠVOČ, keď do financovania vstupuje nielen Technická univerzita ale aj iné sponzorské organizácie. V rámci hodnotenia posledných ročníkov je potrebné spomenúť zmeny, ktoré súvisia s Bolonským procesom. Zavedenie troch stupňov štúdia, nové študijné programy a reorganizácia štúdia si vyžiadali vytvorenie novej sekcie, pre študentov bakalárskeho štúdia. Už akreditovaný trojstupňový systém štúdia nás utvrdil v správnosti vytvorenia doktorandských sekcií. Po tretíkrát bola vytvorená bakalárska sekcia v rámci konferencií ŠVOČ, ktorá ešte viac diverzifikovala a obohatila súťaž ŠVOČ. Vytvorené boli aj podmienky pre väčšiu účasť študentov, ktorí nesúťažia. Vo využití týchto podmienok však sú značné rezervy, ktoré sa nepodarilo prekonať ani niektorými novinkami v propagácii. Snahou vedenia Lesníckej fakulty a rady ŠVOČ je pokračovať v publikovaní najlepších pôvodných vedeckých prác v recenzovanom zborníku. To sa nám darí už niekoľko rokov po sebe a najlepšie práce vychádzajú v *Supplemente zborníka Acta Facultatis forestalis*. Týmto krokom sledujeme aj zvýšenie záujmu zo strany študentov doktorandského štúdia, ktorí v zborníku majú priestor pre publikovanie výsledkov vlastnej práce.

Organizačné zabezpečenie ŠVOČ

Jubilejný ročník konferencie bol dobrou príležitosťou nielen bilancovať, ale aj poďakovať sa tým, ktorí sa zaslúžili o vznik ŠVOČ na LF a jej rozvoj. Dekan LF prof. Ing. Rudolf Kropil, CSc. odovzdal pamätné listy dekana LF osobnostiam, ktoré sa významnou mierou podieľali na realizácii konferencií ŠVOČ a vďaka ktorým sú konferencie ŠVOČ každoročnou súčasťou vysokoškolského života na Lesnickej fakulte. Ceny z rúk dekana prijali tieto osobnosti:

prof. Ing. Jozef Sládek, CSc.
prof. Ing. Štefan Šmelko, DrSc.
prof. Ing. Ladislav Paule, PhD.
doc. Ing. Karol Samuelčík, CSc.
doc. Ing. Eva Križová, CSc.
doc. RNDr. Dagmar Sláviková, CSc.
doc. Ing. Margita Jančová, CSc.
prof. Ing. Štefan Žihlavník, CSc.
prof. Ing. Milan Saniga, DrSc.
doc. Ing. Ivan Lukáčik, CSc.
doc. Ing. Marek Fabrika, PhD.

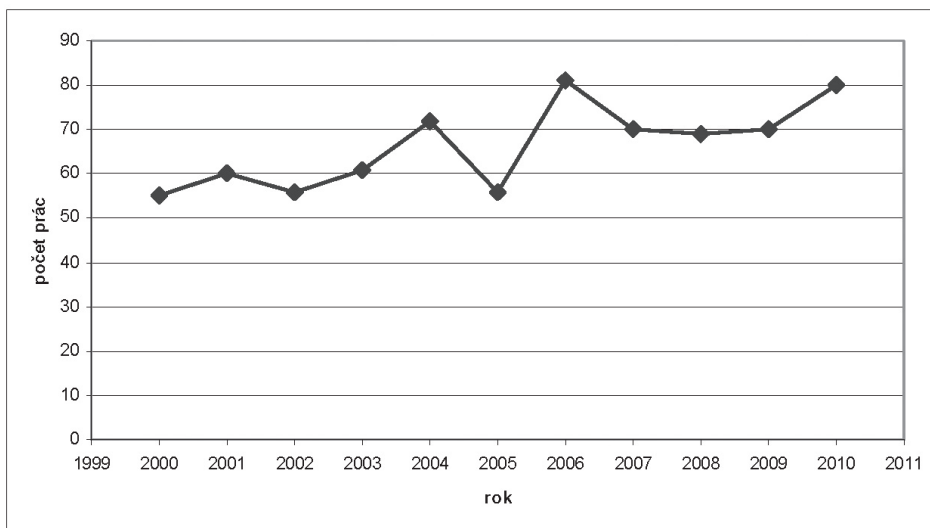
Okrem týchto osobností je potrebné vyzdvihnúť prácu rady ŠVOČ, ktorá sa organizačne podieľa na zabezpečení jednotlivých ročníkov konferencií. V priebehu posledných 10. rokov sa na činnosti rady ŠVOČ podieľali pracovníci fakulty zameraní pre podporu a rozvoj tejto formy výchovno-vzdelávacej a vedeckej činnosti študentov, ktorým patrí vďaka a uznanie. Sú to:

Doc. Ing. Róbert Marušák, PhD.	– KHÚLG
Doc. Ing. Ivan Repáč, PhD.	– KPL
Doc. Ing. Jaroslav Kmeť, PhD.	– KF
Ing. Štefan Pavlík, PhD.	– KOLP
Prof. Ing. Valéria Messingerová, CSc.	– KLŤM
Prof. Ing. Ján Holécy, CSc.	– KERLH
Ing. Miroslav Hríb, PhD.	– KLSM
RNDr. Boris Beláček, PhD.	– KPP
Doc. Dr. Ing. Jaroslav Šálka	– KERLH
Prof. Ing. Rudolf Kropil, CSc.	– KOLP
Ing. Jaroslav Vlčko, CSc.	– KF
Ing. Daniel Halaj, PhD.	– KERLH
Ing. Michal Ferenčík, PhD.	– KLŤM
Ing. Roman Sitko, PhD.	– KHÚLG
Ing. Marián Homolák, PhD.	– KPP
Ing. Michal Bugala, PhD.	– KPL
Ing. Vladimír Juško, PhD.	– KLSM

Motivácia študentov v rámci ŠVOČ

Organizácia konferencií ŠVOČ je úzko spätá so záujmom študentov o túto aktivitu. Vývoj počas posledných ročníkov poukázal na skutočnosť, že do ŠVOČ sa zapájajú študenti, ktorí sú aktívne motivovaní pedagógom a o riešenie problematiku prejavujú vysoký záujem. Podchytiť študentov so záujmom o vedeckú prácu je v súčasnosti možno jednoduchšie ako po minulé roky. Zavedením 3 stupňov štúdia sa študenti aktívne začínajú venovať vlastnej špecializácii už výberom témy bakalárskej práce. Tu vzniká prvý kontakt medzi študentom a školiteľom, ktorého cieľom je podchytiť záujem študenta o konkrétnu problematiku. Pravdou ostáva, že aktivita študentov často končí pri splnení si študijných povinností, ale vždy sa nájdu svetlé výnimky, ktorí sa nad rámec svojich povinností zapájajú do riešenia aktuálnych odborných problémov.

Študentská vedecká a odborná činnosť zaznamenala za posledných 10 rokov mierny nárast záujmu zo strany študentov. Vývoj počtu prác o ktorom pojednáva aj nasledujúci obrázok svedčí o vyrovnanosti účasti v jednotlivých ročníkoch, pričom v rámci jubilejnej 50. konferencie ŠVOČ bolo prezentovaných 80 prác v piatich sekciách. Odborné komisie konštatovali, že nielen počet prác, ale aj ich kvalita majú stúpajúci trend. V tomto smere je úlohou Rady ŠVOČ pokračovať vo vytváraní vhodných podmienok pre rozvoj študentských aktivít, aby sme organizačne zvládli ďalšie ročníky minimálne na úrovni posledných rokov.



Obr. 1 Vývoj počtov prác ŠVOČ v rokoch 2000 až 2010

Fig. 1 The development of student's amount taking part in scientific and professional activity during the years 2000–2010

ZÁVER

Študentská vedecká a odborná činnosť na Lesníckej fakulte prešla v uplynulých päťdesiatich rokoch rôznorodým vývojom. Od obdobia masívnej propagácie študentských krúžkov a ŠVOČ, kedy účasť na fakultných kolách dosahovala takmer 20 % zo zapísaných študentov, cez obdobie nezáujmu až po súčasnosť. Je potrebné hodnotiť nielen pozitíva, ktoré sa nám podarilo v rámci konferencií ŠVOČ dosiahnuť, ale spomenúť aj nedostatky, na ktorých odstránení musíme pracovať. V prvom rade je potrebné zvýšiť záujem študentov o vedeckú prácu a motivovať pedagógov, aby prispeli k aktívnejšiemu získavaniu študentov pre vedecko-odbornú činnosť. Rezervy máme taktiež v účasti študentov, ktorí priamo neprezentujú svoje práce v rámci ŠVOČ. Tu sa už niekoľko rokov snažíme motivovať študentov k účasti na konferencii prostredníctvom študentskej ceny.

Ak má študentská vedecká a odborná činnosť plniť svoje poslanie aj naďalej bude potrebné ju viac spropagovať medzi študentmi a urobiť ju atraktívnejšou. Sú to nielen vecné ceny, ktoré získavajú najlepšie umiestnení študenti, ale aj odborný rast, ktorý oslovuje študentov a dokáže byť dobrou motiváciou pre ich aktivizáciu. Nezastupiteľnú úlohu v tomto procese zohráva cieľavedomá a náročná práca pedagóga, ktorá podnecuje, navodzuje a usmerňuje tvorivú činnosť študentov.

Prehľad najlepších študentských vedeckých prác za roky 2001–2010

2001

1. FRANTIŠEK VOJTUŠ: Overenie možnosti použitia rastového simulátora SILVA 2.2 pre modelovanie rastu zmiešaných porastov v slovenských prírodných podmienkach (ved. práce: prof. Ing. Milan Hladík, CSc.).
2. MIKULÁŠ BODNÁR: Porovnanie presnosti a vhodnosti leteckých meračských čiernobielych a farebných infračervených snímok pre lesnícke fotogrametrické mapovanie polohopisu (ved. práce: prof. Ing. Štefan Žihlavník, CSc.).
3. PETER KINCL: Analýza účinnosti navijaku LN-14 pri vyťahovaní dreva (ved. práce: prof. Ing. Tibor Lukáč, CSc.).
4. MARTIN LIESKOVSKÝ: Ocenenie lesného podniku metódou nadzisku (ved. práce: Ing. Ján Holécý, CSc.).
5. JAROSLAV VENCÚRIK: Štruktúra a regeneračné procesy výberkových lesov na LHC Mníšek nad Hnilcom (ved. práce: prof. Ing. Milan Saniga, DrSc.).
6. ERIK BALÁŽ: Ekológia medveďa hnedého (*Ursus arctos* L.) v Západných Tatrách a na Poľane (ved. práce: prof. Ing. Rudolf Kropil, CSc.).

2002

1. ROMANA DUBOVCOVÁ: Vplyv predpokladaných klimatických zmien na hrúbkový rast smreka v oblasti horských lesov Hornej Oravy (ved. práce: Dr. Ing. Ján Ďurský).

2. BARTOLOMEJ RUDAŠ: Spoločenstvo Quercus-Ulmum hungaricum v Zemplínskych vrchoch (ved. práca: doc. RNDr. Jaroslav Kontriš, CSc.).
3. ING. BRANISLAV HRICKO: Možnosti využitia kódových meraní GPS v lesníckom mapovaní.
4. DUŠAN MAJERNÍK: Problematika poškodzovania mladých smrekovcových porastov kôrovnicou zelenou (*Sacchipanthes viridis*) a kôrovnicou smrekovcovou (*Adelges laticis*) (ved. práca: Ing. Štefan Pavlík, PhD.).
5. RASTISLAV PLAVÝ: Kolízie cicavcov a vtákov s dopravnými prostriedkami na pozemných komunikáciách v okrese Galanta (ved. práca: doc. Ing. Pavel Hell, CSc., hosť. prof.).
6. ANDREJ SÝKORA: Výskum technologických, ekologických a ekonomických parametrov dopravy dreva vrtuľníkmi (ved. práca: doc. Ing. Valéria Messingerová, CSc.).
7. VLASTA KOŽUŠKOVÁ: Modelovanie likvidity a sezónnosť v lesnom hospodárstve (ved. práca: Ing. Iveta Hajdúchová, PhD.).

2003

1. RICHARD NIMSCH: Možnosti stanovenia očakávaného priebehu ťažbového ukazovateľa na základe stavu vekovej štruktúry (ved. práca: Ing. Róbert Marušák, PhD.).
2. JÁN HARMAŇOŠ: Meranie hraníc JPRL pomocou prijímačov GPS v kombinácii s laserovým diaľkomerom. (ved. práca: Ing. Branislav Hricko).
3. MAREK ŽILKA: Návrh optimálneho postupu výberového zisťovania kvantitatívnych a kvalitatívnych znakov sadbového materiálu buka lesného (*Fagus Sylvatica* L.) (ved. práca: prof. Ing. Ľubica Šmelková, CSc.).
4. JÁN ŠUVADA: Aspekty pôdnych pomerov prírodnej rezervácie rudné (ved. práca: doc. Ing. Juraj Gregor, PhD.).
5. MICHAL JANČUŠKA: Ekológia, rozšírenie a návrh praktických opatrení o starostlivosť populácií kamzíka vrchovského tatranského vo vybranom území TANAP-u (ved. práca: doc. Ing. Rudolf Kropil, CSc.).
6. VÁCLAV KADLEC: Protipovodňové opatrenia v povodí Vajsového potoka (LZ Krupina) (ved. práca: prof. Ing. Matúš Jakubis, PhD.).
7. DANIEL HULIAK: Matematický model poistenia lesov Národného parku Slovenský raj proti požiarom. (ved. práca: doc. Ing. Ján Holécy, CSc.).

2004

1. JOZEF CAPULIAK: Kvantitatívne a kvalitatívne porovnanie infiltrácie v prírodnom a hospodárskom lese (ved. práca: doc. Ing. Viliam Pichler, CSc.).
2. VLADIMÍR PAPAJ: Využitie digitálneho modelu pre vizualizáciu lesa (ved. práca: Ing. Marek Fabrika, PhD.).
3. FRANTIŠEK MÁLIŠ: Fytocenologické a pôdnoekologické pomery Morského oka v masíve Bykovo – lokalita jazero (ved. práca: prof. RNDr. Jaroslav Kontriš, CSc.).

4. PETER STRAKA a MARIÁN TARABA: Kalkulácie a rozhodovanie v podniku s použitím tabuľkového kalkulátora (ved. práce: Dr. Ing. Jaroslav Šálka).
5. ING. MIROSLAVA BEDNÁŘOVÁ: Biologie a rozšíření *Mycosphaerella pinie* na lokalitě Březina, LS Svitavy (ved. práce: Dr. Ing. Libor Jankovský)

2005

1. MIROSLAV OSTRIHOŇ: Diverzita a denzita dravcov (accipitriiformes, falconiformes) v mimohniezdnom období vo Zvolenskej kotline v rokoch 2001–2005 (ved. práce: doc. Ing. Rudolf Kropil, CSc.).
2. JOZEF MAGDA: Zabezpečenie energetických potrieb vybranej časti mesta Krompachy dendromasou (ved. práce: prof. Ing. Tibor Lukáč, PhD.).
3. DANIEL KURJAK: Kvitnutie a samčí reprodukčný potenciál jaseňa mannového (*Fraxinus ornus* L.) (ved. práce: Ing. Branko Slobodník, PhD.).
4. MARIÁN TARABA, PETER STRAKA: ABC kalkulácia a cenové hranice v podniku s použitím tabuľkového kalkulátora (ved. práce: Dr. Ing. Jaroslav Šálka).
5. ING. PETER BALOGH: Vplyv náhodných ťažieb na ťažbovú úpravu lesa v lesných užívateľských celkoch (ved. práce: prof. Ing. Anton Žihlavič, CSc.).

2006

1. TOMÁŠ ŽID: Zdravotní stav porostů smrku ztepilého na vybraných lokalitách Orlických hor (ved. práce: Ing. Petr Černák, PhD.).
2. ANDREA MELCEROVÁ: Modelovanie dynamického vývoja kvality stromov (ved. práce: Ing. Róbert Sedmák).
3. PETR MACHÁČEK: Vývoj a životnost přirozeného zmlazení jedle a buku ve smíšeném porostu v prvních letech života (ved. práce: Ing. Robert Knott, PhD.).
4. PETER GLONČÁK: Zhodnotenie prirodzenosti drevinového zloženia ochranného pásma NPR Badínsky prales (ved. práce: Ing. Karol Ujházy, PhD.).
5. MARCEL BACHŇÁK: Návrh projektu využívania biomasy na energetické účely pre mesto Brezno (ved. práce: Ing. Marek Trenčiansky, PhD.).
6. ING. MIROSLAV OSTRIHOŇ: Diverzita, denzita a preferencia habitatov dravcov (Accipitriiformes, falconiformes) v mimohniezdnom období vo Zvolenskej kotline (ved. práce: prof. Ing. Rudolf Kropil, CSc.).
7. ING. PETER BALOGH: Náhodné ťažby a trvalo udržateľné obhospodarovanie lesov (ved. práce: prof. Ing. Anton Žihlavič, CSc.).

2007

1. GABRIELA OLŠAVSKÁ: Využitie mikrosatelitných genetických markérov na zhodnotenie genetickej diverzity kamzíka vrchovského (ved. práce: prof. Ing. Ladislav Paule, PhD.).

2. IVETA FERENCOVÁ: Vplyv pôdnych kondicionérov na ujímavosť a rast sadeníc po zalesnení (ved. práce: prof. Ing. Ľubica Šmelková, CSc.).
3. MAREK FAŠKO: Možnosti využitia GNSS v lesníckom mapovaní (ved. práce: prof. Ing. Štefan Žihlavník, CSc.).
4. DANIEL KINDERNAY: Využitie harvesterových technológií v kalamitách (ved. práce: Ing. Miroslav Stanovský, CSc.).
5. ING. DANIEL KURJAK: Hydrický deficit ako faktor podieľajúci sa na odumieraní smrekových porastov (ved. práce: doc. Ing. Jaroslav Kmeť, CSc.).
6. ING. JOZEF MELUŠ: Porovnanie družicových systémov GPS a GLONASS pri meraní v zalesnených územiach (ved. práce: prof. Ing. Štefan Žihlavník, CSc.).

2008

1. TIBOR JURGA: Účinky dezinfekcie a mykORIZÁCIE substrátu na vývin semenáčikov smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.) (ved. práce: doc. Ing. Ivan Repáč, PhD.).
2. RADOSLAV OPIŇÁR: Overenie predikčnej schopnosti korfovej rastovej funkcie pri modelovaní hrúbkového rastu bukových stromov (ved. práce: Ing. Róbert Sedmák, PhD.).
3. MARIÁN BUGOŠ: Časová analýza operácií pri sústreďovaní dreva horským procesorom Konrad Mounty 4000 (ved. práce: Ing. Miroslav Stanovský, CSc.).
4. ING. MARGARÉTA TULLOVÁ: Genetická premenlivosť populácií jeleňa lesného (*Cervus elaphus* L.) na Slovensku a v Európe. (ved. práce: prof. Ing. Ladislav Paule, PhD.).
5. ING. JOZEF MELUŠ, ING. MAREK FAŠKO: Družicová geodézia (GNSS) a služba SK POS v lesníckom mapovaní (ved. práce: prof. Ing. Štefan Žihlavník, CSc.).

2009

1. JÁN JAĎUŠ: Štruktúra a regeneračné procesy výberkového lesa v dieleci 631 LHC Korytnica (ved. práce: prof. Ing. Milan Saniga DrSc.).
3. PETER ŠMÁL: Model Gyrolanovky (ved. práce: doc. Ing. Vladimír Štollmann, CSc., PhD.).
4. MONIKA OCHODNIČANOVÁ: Mikropropagácia ambrovníka čínskeho (*Liquidambar formosana* hance) v podmienkach in vitro, parametre fotosyntetickej aktivity a xylogénézy (ved. práce: Dr. Mgr. Jaroslav Ďurkovič).
5. PETER GARAJ, JURAJ HALAHIJA: Experimentálne overenie presnosti merania hrúbky a výšky stromov prostriedkami pozemného laserového skenovania (ved. práce: Mgr. Milan Koreň, PhD.).
6. RNDR. MARTIN KORŇAN: Konvergencia štruktúry potravných gíld ornitocenóz medzi dvomi zoogeografickými oblasťami (ved. práce: prof. Ing. Rudolf Kropil, CSc.).
7. ING. MIROSLAV BALANDA: Zhodnotenie produkčných pomerov prírodného zmiešaného lesa v NPR Hrončecký Grúň (ved. práce: prof. Ing. Milan Saniga, DrSc.).

2010

1. MIRIAM HANZELOVÁ: Biologické vlastnosti snehovej pokrývky v lesných ekosystémoch NAPANT-u – oblasť Chopok v rokoch 2009 a 2010 (ved. práce: Ing. Matúš Hríbik, PhD.).
2. BC. ŠTEFAN TÓBIS: Ekologická konštitúcia druhov a jej využitie pri indikácii lesných spoločentiev (ved. práce: Ing. Juraj Nič, PhD.).
3. BC. TIBOR JURGA: Vplyv aplikácie mikrobiálnych prípravkov na rozsah mykoríznej symbiózy a rast semenáčikov smreka obyčajného (*Picea abies* [L.] Karst.) a borovice lesnej (*Pinus sylvestris* L.) (ved. práce: doc. Ing. Ivan Repáč, PhD.).
4. ING. DANA KOVALČÍKOVÁ: Charakteristiky vodného režimu sadeníc smreka v podmienkach stresu suchom (ved. práce: doc. Ing. Katarína Štrelcová, PhD.).
5. ING. MIROSLAV BALANDA: Dynamika regeneračných procesov prírodného zmiešaného lesa v NPR Hrončecký Grúň (ved. práce: prof. Ing. Milan Saniga, DrSc.).

Použitá literatúra

1. LIESKOVSKÝ, M., 2010: Jubilejná 50. konferencia Študentskej vedeckej a odbornej činnosti na Lesníckej fakulte Technickej univerzity vo Zvolene. Lesník, jún 2010: 9.
 2. LIESKOVSKÝ, M., 2010: Jubilejná päťdesiata. Univerzitné noviny 18(4): 1, 3.
 3. PAULE, L., SLÁDEK, J., 1976: Dvadsať rokov študentskej vedeckej a odbornej činnosti na Lesníckej fakulte VŠLD, Acta Facultatis Forestalis XVIII – 1 – 1976, Príroda, s. 165–178.
 4. Zborník anotácií 42. Fakultná konferencie ŠVOČ: Zvolen, 24. 4. 2002/ed., Marek Fabrika – Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2003. ISBN 80-228-1156-4.
 5. Zborník anotácií 43. Fakultná konferencie ŠVOČ: Zvolen, 16. 4. 2003/ed., Marek Fabrika – Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2003. 47 s.
 6. Zborník anotácií 44. Fakultná konferencie ŠVOČ: Zvolen, 21. 4. 2004/ed., Marek Fabrika – Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2004. 50 s.
 7. Zborník anotácií 45. fakultnej konferencie ŠVOČ: Zvolen, 20. 4. 2005/ed., Jaroslav Šálka – Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2005. 51 s.
 8. Zborník anotácií 46. medzinárodnej lesníckej konferencie ŠVOČ: Zvolen, 19. 4. 2006/ed., Jaroslav Šálka – Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2006. 72 s. 51 s.
 9. Zborník anotácií 47. lesníckej konferencie ŠVOČ s medzinárodnou účasťou : Zvolen, 25. 4. 2007/ed., Jaroslav Šálka, Martin Lieskovský – Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2007. ISBN 978-80-228-1735-6: 57 s.
 10. Zborník anotácií 48. lesníckej konferencie ŠVOČ s medzinárodnou účasťou : Zvolen, 16. 4. 2008/ed. Martin Lieskovský, Jaroslav Šálka. – Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2008. ISBN 978-80-228-1866-7: 50 s.
 11. Zborník anotácií 49. lesníckej konferencie ŠVOČ : Zvolen, 16. 4. 2009/ed. Martin Lieskovský, Jaroslav Šálka. – Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2009. – 46 s. – ISBN 978-80-228-1990-9.
 12. Zborník anotácií 50. lesníckej konferencie ŠVOČ : Zvolen, 14. 4. 2010/ed. Martin Lieskovský, Jaroslav Šálka. – Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2010. – 42 s. – ISBN 978-80-228-2101-8.
-

Adresa autorov:

Prof. Ing. Rudolf Kropil, CSc.
Katedra ochrany lesa a poľovníctva

Ing. Martin Lieskovský, PhD.
Katedra lesnej ťažby a mechanizácie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

e-mail: kropil@vsld.tuzvo.sk

e-mail: lieskov@vsld.tuzvo.sk

DIVIAK LESNÝ (*SUS SCROFA*): KOľKO PODDRUHOV V EURÓPE VLASTNE MÁME?

Jana B A K A N

Bakan, J.: Wild boar (*Sus scrofa*): how many subspecies exactly in Europe we have? Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 17–30.

Wild boar (*Sus scrofa*) has extensive area, even larger than any other representatives of the family *Suidae*. In this area, wild boars are very variable and represented by many subspecies. Subspecies are classified according to geographical region into the Western, Eastern, Indian and Indonesian race. The object of this study is taxonomic classification of Western race which is native in Europe. It is present taxonomic classification based on morphological characteristics. The using of genetic analysis for the separation of species *Sus scrofa* into subspecies is still not enough documented. The aim of this research is to analyze, whether the patterns of genetic diversity and differentiation confirm the current taxonomy of wild boar.

For this purpose 938 samples (muscles, liver, blood and skin) have been collected for analyses of nuclear DNA using with 11 selected microsatellite markers. Acquired data have been evaluated by means of the analysis of genetic structure including *F*-statistic, Bayesian clustering methods and genetics distance – UPGMA. Obtained data prove, though only partially, current taxonomy of wild boar in Europe. But it is still not possible to distinguish all subspecies described by the taxonomists.

Keywords: *Sus scrofa*, subspecies, microsatellites, genetic diversity, fragment analysis

ÚVOD A PROBLEMATIKA

Stručná fylogenéza rodu *Sus*

Prvé druhy sŕviň sa objavili na Zemi už v terciéri asi pred 60 miliónmi rokov. Forma, z ktorej sa postupne vyvinuli dnešné sŕvine, bol *Cebochoerus*, ktorý žil v eocéne. Od neho vývoj postupoval k druhu *Palaeochoerus*, ktorý žil v oligocéne a od neho k recentným sŕviniam (HELL 1986).

Euroázijský diviak lesný je najrozšírenejší suchozemský cicavec. Jeho geografické rozšírenie, vrátane nedávnych introdukcií, zasahuje od západnej Európy a severnej Afriky po Japonsko. Možný pôvod je juhovýchodná Ázia, kde je pozorovaná najväčšia početnosť (LUCCHINI *et al.* 2005). *S. scrofa* je rozdelený najmenej do dvoch hlavných genetických skupín, ktoré zhruba korešpondujú s domestikovanými formami európskych a ázijských sŕviň (GIUFFRA *et al.* 2000; OKUMURA *et al.* 2001; ALVES *et al.* 2003; LARSON *et al.* 2005). Separácia týchto dvoch skupín sa odhaduje pred 0,5 a 0,9 miliónmi rokov (GIUFFRA *et al.*

2000; ALVES *et al.* 2003). Poddruhy sú klasifikované do štyroch skupín (rás). Európske diviaky sa zhodujú s takzvanou skupinou „západné rasy“ (OLIVER *et al.* 1993).

Klimatické oscilácie v štvrtohorách, konkrétne posledná doba ľadová a následná teplá perióda, zapríčinili pozoruhodný dôsledok v štruktúre genetickej variability niektorých druhov (HEWIT 2000). Čo sa týka európskeho diviaka, najmenej štyri ďalšie procesy súvisiace s ľudskou aktivitou ovplyvnili jeho výskyt a štruktúru: domestikácia v neolite, výrazné bottlenecky (zahrdenia) v rozdielnych oblastiach v posledných storočiach, demografická expanzia v posledných 50 rokoch a niekoľko viac alebo menej nekontrolovaných introdukcií, ktoré sa odohrali v posledných desaťročiach s cieľom zazveriť oblasti v ktorých bol diviak vyhynutý alebo mal príliš nízku populačnú hustotu (SCANDURA *et al.* 2008).

Na rozdiel od ostatných párnokopytníkov, diviak vykazuje typické črty r-stratégov (životná stratégia – rýchla reprodukcia s vysokým počtom potomkov): má vysokú ekologickú adaptabilitu, je oportunist a má vysoký reprodukčný potenciál (BOITANI *et al.* 1995, FERNANDEZ-LLARIO & MATEOS-QUESADA 1998, GEISSER & REZER 2005). Preto sa predpokladá, že po poslednej dobe ľadovej, diviak ľahko znovu osídlil lesy strednej a severnej Európy, tým dosiahol takmer kontinuálne a stabilné rozšírenie zmenené len sezónnou zmenou.

Rozšírenie

Areál diviaka lesného (*Sus scrofa*) je rozsiahly, dokonca má oveľa väčší areál než majú všetci ostatní zástupcovia čeľade *Suidae* (diviakotvaré, sviňotvaré). Vyskytuje sa v stepiach a tiež v palearktiskej oblasti, od západnej Európy po Východnú Sibír. Jeho areál sa tiahne smerom na juh až po severnú Afriku, Stredozemné more a Stredný Východ cez Indiu, Indočínu, Japonsko (vrátane Rjúkjú), Taiwan až po juhovýchodnú Áziu. Populácie východne od Bali sú pravdepodobne introdukované. Od 17. storočia je na Britských ostrovoch vyhynutý, aj keď sa ho neskôr pokúsili introdukovať (HARTING 1880). Taktiež je vyhynutý v južnej Škandinávii a naprieč rozľahlým areálom nedávneho výskytu v stredozápadnej a východnej časti bývalého Sovietskeho zväzu (HEPTNER *et al.* 1961) a v severnom Japonsku (CHIBA 1964, 1972). Rozšírenie diviačej zveri siaha na sever až tam, kde priemerná januárová teplota neklesá pod -20 až -30 °C. Severná hranica areálu diviačej zveri v Európe dosť presne sleduje izočiaru 50cm výšky snehovej prikrývky (HELL 1986).

V posledných 15 až 20 rokoch sa diviačia zver na Slovensku značne rozmnožila a prenikla aj do malých lesíkov, remízok a zárastov trstí uprostred intenzívne kultivovanej poľnohospodárskej krajiny, odkiaľ ju v minulosti vytlačili. Preto podstatne vzrástol jej význam v poľovnom hospodárstve ako objektu športového lovu, ale aj ako škodlivého činiteľa v rastlinnej výrobe. Diviačia zver je u nás momentálne rozšírená na celom území, okrem vysokohorských oblastí nad hranicou lesa, ako aj úplne bezlesných poľnohospodárskych oblastí, pravda, v rozličnej populačnej hustote (HELL 1986).

Výskyt poddruhov možno rozdeliť podľa geografických oblastí (GROVES *et al.* 1993):



Obr. 1 Rozšírenie poddruhov *Sus scrofa* (S et al.1993)

Fig. 1 Distribution of *Sus scrofa* subspecies (GROVES et al.1993)

Západné rasy:

1. *Sus scrofa scrofa* – stredná a západná Európa,
2. *Sus scrofa meridionalis* – Andalúzia, Sardínia a Korzika,
3. *Sus scrofa algira* – Tunisko, Alžírsko, Maroko,
4. *Sus scrofa attila* – Európa, Maďarsko, Rumunsko, Balkán, Malá Ázia a severný Irán,
5. *Sus scrofa lybicus* – Zakavkazsko, Turecko, Levant (Izrael, Palestína, Sýria, Jordánsko, Libanon),
6. *Sus scrofa nigripes* – Stredná Ázia, Kazachstan, západné Mongolsko a južný Irán.

Indické rasy:

7. *Sus scrofa davidi* – Pakistan, od severozápadnej Indie po Juhovýchodný Irán,
8. *Sus scrofa cristatus* – subhimalájska oblasť od Ludhiany (severná India), Pandžáb, cez Nepál a Sikkim, Nágáland a Severnú Barmu,
9. *Sus scrofa affinis* – južná India a väčšina Srí Lanky.

Východné rasy:

10. *Sus scrofa sibiricus* – Mongolsko, Transbajkalsko,
11. *Sus scrofa ussuricus* – Východná Sibír, Mandžusko, Kórea,
12. *Sus scrofa leucomystax* – Honshu, Shikoku, Kyushu,
13. *Sus scrofa riukiuanus* – ostrovy Rjúkju (včetně najmenších Ishigaki a Iriomote-džima),
14. *Sus scrofa taivanus* – Taiwan,
15. *Sus scrofa moupinensis* – pobrežie Číny južne k Vietnamu a západne k Sichuanu.

Indonézijské rasy

16. *Sus scrofa vittatus* – Malajzia, Sumatra, Jáva, Bali.

MATERIÁL A METODIKA

Zber materiálu

Vzorky diviakov boli zozbierané počas poľovníckych sezón, v rokoch 2007, 2008 a 2009. Spolu bolo zozbieraných 938 vzoriek tkanív (svalstvo, pečeň, srdce, krv a koža) z rôznych poľovníckych revírov a lesných správ zo Slovenska i z krajín strednej a juhovýchodnej Európy (Taliansko, Nemecko, Rakúsko, Česká republika, Poľsko, Maďarsko, Ukrajina, Slovinsko, Bosna a Hercegovina, Chorvátsko, Srbsko, Rumunsko, Bulharsko a Turecko). Odoberatelia boli poučení o metóde odoberania vzoriek tkaniva a aj o jeho uskladnení. Vzorky tkaniva boli fixované v 96 % etanole.

Na základe medzinárodnej spolupráce boli získané vzorky priamo izolovanej DNA z nasledujúcich krajín: Taliansko, Nemecko a Bulharsko.



Obr. 2 Miesta odberu vzoriek

Fig. 2 Origin of samples

Izolácia DNA, amplifikácia a genotypovanie

Na izoláciu DNA z tkanív bola použitá modifikovaná metóda fenol-chloroformovej deprotenizácie a etanolovej precipitácie podľa Sambrooka (SAMBROOK *et al.* 1989). Pri extrakcii DNA bol použitý malý kúsok tkaniva (20–50 mg), alebo 500 μ l krvi, ktoré boli inkubované cez noc v lyzačnom roztoku (50 mM Tris pH 7,5; 1 mM EDTA; 100 mM NaCl; 1 % SDS) spolu s 25 μ l proteinázy K pri teplote 56 °C. Zlyzovaný materiál bol na druhý deň extrahovaný fenolom a následne zmesou fenol-chloroformu (1:1) a chloroform-izoamylalkoholu (24:1). DNA bola precipitovaná v etanole a nakoniec rozpustená v roztoku TE a skladovaná pri teplote –20 °C.

Presná koncentrácia vyizolovanej DNA bola zmeraná na spektrometri Nanodrop 1000. Následne boli vzorky DNA zriedené, aby mali všetky použité templáty približne rovnakú koncentráciu (30–50 ng. μ l⁻¹). Zriedená DNA sa použila v PCR a zvyšok sa skladuje v mrazničke ako zásobný roztok DNA.

DNA bola izolovaná aj pomocou Chelexu (Bio-Rad), podľa protokolu WALSH *et al.* (1991). DNA extrakt bol prepipetovaný do nových skúmaviek a uskladnený pri -20°C .

Na amplifikáciu DNA bolo vybraných 11 mikrosatelitných markérov, ktoré boli publikované Vernesim a Ferreïrom (VERNESI *et al.* 2003, FERREIRA *et al.* 2006). Mikrosatelitné markéry nukleárnej DNA SW461, SW1465, SW1492, SW2021, SW2496, SW2532, SW1701, SW986, SW1129, SW1129, SW1517 (tab. 1) boli kombinované v polymerázovej reťazovej reakcii (PCR) použitím fluorescenčne značených primerov. Vybrané markéry boli rozdelené do nasledujúcich setov resp. panelov: (1) SW986, SW1129 (2) SW1701, SW1517 (3) SW1465, SW1492, SW1514, SW2532 (4) SW461, SW2021, SW2496. PCR zmesi boli pripravené v objeme 10 μl , pričom koncentrácia všetkých primerov bola 0,200 μM až na primer SW986 (set 1), ktorý mal koncentraciu 0,150 μM . Do zmesi bol použitý QIAGEN Multiplex PCR Kit® (SOUTO *et al.* 2004) v objeme 5 μl a Q-solution v objeme 1 μl . Ďalej bolo pridané 0,2 μl z každého primeru (značený s fluorescenčnými farbivami VIC, PET, NED a 6-FAM) a 0,4 μl vzorky DNA (50 $\text{ng}\cdot\mu\text{l}^{-1}$). Amplifikácia DNA v polymerázovej reťazovej reakcii prebehla v troch po sebe opakujúcich sa krokoch. Pre panely (1) a (2): denaturácia prebiehala 15 min pri 95°C (aktivácia polymerázy), druhý krok prebiehal v 30-tich cykloch: denaturácia prebiehala 30 sec pri 94°C , hybridizácia prebiehala 3 min pri 58°C a extenzia prebiehala 60 sec pri 72°C . Nakoniec, v treťom kroku prebiehala finálna extenzia pri 60°C po 30 min. Termocyklický režim pre panely (3) a (4) prebiehal nasledovne: v prvom kroku denaturácia 95°C 15 min, v druhom kroku nasledovalo 33 cyklov: denaturácia pri 94°C po 30 sec, hybridizácia pri 52°C 30 sec a extenzia pri 72°C 30 sec. Konečná extenzia v treťom kroku prebieha pri 60°C 30 min. Väčšie množstvo DNA (1,6 μl) a viac cyklov PCR (38) je potrebných pri vzorkách z krvi a z kostí. Pri každej sade vzoriek bolo použitých 1–4 negatívnych kontrol kvôli detekcii kontaminácie.

Tab. 1 Charakteristika použitých mikrosatelitných primerov

Tab. 1 Characteristics of used microsatellite primers

Systém		Sekvence primerov 5'–3'	Annealing v $^{\circ}\text{C}$	Ref.
SW986 ¹	F R	AGGAAGCAAAATCTTAAGAGGC GGTGAGCCAGGAACAAGTATG	58	1
SW1129 ²	F R	GATCATATGAGGAAAAGAATGTGT CACAGGGGGAACACCTTAAT	58	1
SW1701 ¹	F R	AGGTAACTCAGGTGTCAGATAGC TCTACTTTAAAAAGCCTGAATGC	58	1
SW1517 ³	F R	CAAATGATTTTATCCATCCTTGC TCTTAGTGATGCATTCTTAAGCTG	58	1
SW1465 ⁴	F R	CTGCTTCTGGCAATAATGAAC TGTGTCGTAGCTGCTGTTCC	52	2
SW1492 ²	F R	CAGACAATGCAAAAGCTTCC TAACCAGGATTTTCAGTGGATTC	52	2

Tab. 1 Pokračovanie
Tab. 1 Continued

Systém		Sekvence primerov 5'-3'	Annealing v °C	Ref.
SW1514 ¹	F	AGAAGAGGTGATTGCTTTTGC	52	2
	R	TCACAAAAGAACCCTCACCC		
SW2532 ³	F	TTCGACACACAGGTTTTAGGG	52	2
	R	GTGGAGGCTTCTGAAATGTACC		
SW461 ⁴	F	GTCCAGGGCAGTCTTGACAG	52	2
	R	GTCTCTCTCCCTCTCCTCCC		
SW2021 ²	F	GCGACACATGAGATAAAACTGC	52	2
	R	AATCCACATGCTTACTCAGATG		
SW2496 ¹	F	TATAGCATTTGGATGTTCCACG	52	2
	R	GCCCAAATAAAGTGGTCTATGC		

¹VIC, ²PET, ³NED, ⁴6-FAM

1: (FERREIRA *et al.* 2006), 2: (VERNESI *et al.* 2003)

Genotypy boli zistené pomocou automatického kapilárneho genetického analyzátoru ABI 3130 (Applied Biosystems, USA), ktorý pri fragmentačnej analýze využíva fluorescenčne značené primery. Zmes pre ABI 3130 bola vytvorená z 9,1 µl formamidu (denaturačné činidlo), 0,2 µl GS-500LIZ (dĺžkový štandard) a 0,7 µl PCR produktu. Táto zmes sa vkladala do prístroja v 96 – vzorkových platničkách, hneď potom, čo bola denaturovaná 3 min pri 95 °C. Vyhodnotením zaznamenaných dát sa generoval hrubý záznam v podobe grafu. Získané výsledky sa vyhodnocovali pomocou softvérového programu GeneMapper (Applied Biosystems, USA), ktorý je súčasťou genetického analyzátoru. Výstupom boli genotypy jednotlivých vzoriek v grafickom prevedení. Z programu GeneMapper (Applied Biosystems, USA) bola exportovaná genotypová tabuľka, ktorá bola upravená pomocou programu CONVERT (GLAUBITZ, 2004) do tvaru, ktorý akceptujú ostatné programy.

Populačno-genetické charakteristiky (pozorovaná a očakávaná heterozygotnosť, percento polymorfných lokusov a genetické vzdialenosti) boli vypočítané pomocou programového balíka POPGEN (YEH *et al.* 1997). Genetický polymorfizmus bol hodnotený pomocou počtu alel na lokus (n_a), pozorovanej heterozygotnosti (H_o) a očakávanej heterozygotnosti (H_e), genetická diferenciácia pomocou Nei-ových genetických vzdialeností (1972). Pomocou programu FSTAT (BELKHIR *et al.* 1996–1997) boli vypočítané F-štatistika, ako aj metóda rarefaction (používa sa pri analýzach rôzne veľkých výberových vzorkách).

Genetická diferenciácia bola hodnotená na základe modelového prístupu procedúrou STRUCTURE 2.2 (PRITCHARD *et al.* 2003).

Fylogenetické vzťahy medzi populáciami boli sledované pomocou programového balíka PHYLIP (FELSENSTEIN 2004). Z matice genetických vzdialeností bol metódou UPGMA zostavený dendrogram sledovaných populácií.

Na zachytenie možného výskytu nulových alel, spôsobujúcich zdanlivý prebytok homozygotov, bol použitý program MICRO-CHECKER 2.2.3 (VAN OOSTERHOUT *et al.* 2004).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

V práci je analyzovaných 938 vzoriek tkanív diviaka lesného z Talianska (20), Nemecka (138), Rakúska (9), Slovenska (208), Česka (60), Poľska (66), Maďarska (62), Ukrajiny (5), Slovinska (15), Chorvátska (16), Bosny a Hercegoviny (26), Srbska (22), Rumunska (128), Bulharska (159) a Turecka (4).

Použitím programového balíka POPGEN (YEH *et al.* 1997) boli vypočítané alelické frekvencie, pozorovaný a očakávaný počet alel a heterozygotnosť. Alelická bohatosť [A] pre každú populáciu bola zistená z haplotypových frekvencií použitím metódy rarefaction programu FSTAD (GOUDET 2001). Z uvedených výsledkov sme zistili, že skutočný počet alel na lokus (n_a) sa pohyboval od 3 po 9 a efektívny počet alel (n_e) sa nachádzal v intervale 2,76–5,40. Alelická bohatosť po rarefaction bola najvyššia v Poľsku pri Poznani (6,99) a najnižšia bola v Slovinsku (5,37). Ďalšie charakteristiky genetickej diverzity ako pozorovaná (H_o) a očakávaná (H_e) heterozygotnosť sa pohybovali v intervale H_o od 0,641 (Ukrajina) po 0,790 (Rakúsko). Interval v H_e sa pohyboval medzi 0,582 (Turecko) – 0,776 (Slovinsko). Zistené hodnoty sú uvedené v tab. 2.

Tab. 2 Charakteristiky genetickej štruktúry európskych populácií diviaka lesného

Tab. 2 Characteristics of genetic structure of European wild boar populations

Populations	n_a	$A_{[26]}$	n_e	H_o	H_e	F_{IS}
BA	4,36	5,90	2,877	0,664	0,631	0,014
BG – West	5,45	6,21	3,702	0,683	0,676	0,036
BG – South	9,82	6,02	5,198	0,716	0,767	–0,008
BG – Middle	8,45	–	4,682	0,693	0,730	–0,008
BG – East	8,55	5,62	4,648	0,762	0,751	0,042
BG – Mountain	5,09	5,90	4,153	0,723	0,733	0,029
CZ Podyji	6,18	6,58	4,655	0,766	0,713	0,001
CZ Lany	6,73	–	4,037	0,732	0,723	0,005
CZ – West	7,27	–	4,356	0,742	0,733	0,015
DE Brandenburg	6,45	6,59	3,917	0,691	0,708	0,010
DE Sachsen-Anhalt	7,64	–	4,958	0,783	0,764	–0,037
DE Sachsen	6,55	6,71	3,868	0,677	0,689	–0,018
DE Thuringen	7,18	–	4,328	0,700	0,714	–0,001
DE Westpalia	6,91	5,49	3,861	0,679	0,666	0,081
DE Bavaria	5,09	6,39	3,664	0,732	0,662	0,193
AT	7,82	–	5,125	0,790	0,756	0,054
PL – West	4,73	6,64	3,543	0,653	0,630	0,096
PL Poznan	6,36	6,99	3,864	0,653	0,705	0,014

Tab. 2 Pokračovanie
Tab. 2 Continued

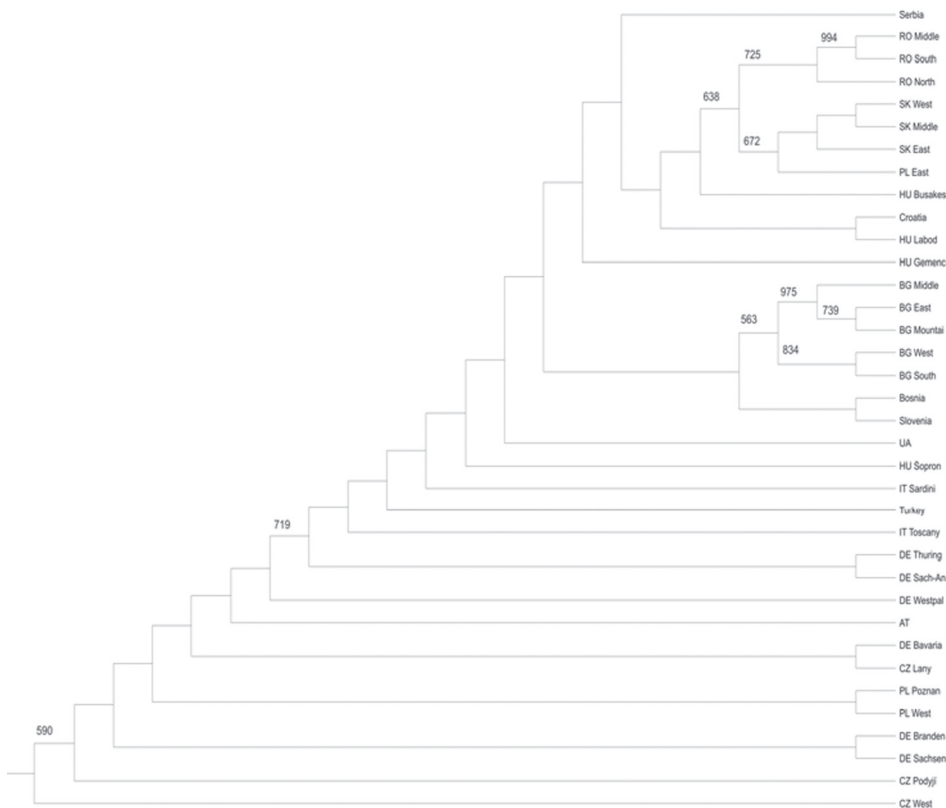
Populations	n_a	$A_{[26]}$	n_e	H_o	H_e	F_{IS}
PL – East	7,55	–	4,301	0,607	0,726	0,025
HU Sopron	5,73	6,48	3,641	0,644	0,667	0,021
HU Labod	5,73	–	3,139	0,682	0,659	0,081
HU Gemenc	5,45	–	3,667	0,748	0,691	–0,009
HU Budakeszi	6,55	–	4,241	0,710	0,724	–0,046
HR	6,18	6,25	4,261	0,747	0,731	0,043
IT – Sardinia	6,91	–	3,808	0,695	0,695	0,143
IT Tuscany	7,82	–	4,164	0,698	0,710	0,005
RO – North	8,09	6,19	4,574	0,772	0,751	0,019
RO – Middle	7,36	6,05	4,663	0,764	0,739	–0,019
RO – South	7,91	6,20	4,784	0,653	0,735	–0,031
SB	7,36	6,84	4,734	0,748	0,752	0,148
SI	8,64	5,37	5,402	0,760	0,776	0,012
SK – West	5,27	–	4,031	0,712	0,711	0,079
SK – Middle	6,36	6,37	4,565	0,694	0,734	0,056
SK – East	6,55	6,52	4,210	0,723	0,713	–0,007
UA	6,18	–	4,191	0,641	0,712	0,132
TR	3,45	–	2,760	0,659	0,582	0,000

kde: N – počet jedincov, n_a – počet pozorovaných alel, $A_{[26]}$ – alelická bohatosť (celkový počet alel po rarefaction), n_e – efektívny počet alel, H_o – pozorovaná heterozygotnosť, H_e – očakávaná heterozygotnosť, F_{IS} – index fixácie

Index fixácie (F_{IS}) nám hovorí o vzťahu medzi homozygotmi a heterozygotmi. Záporné hodnoty znamenajú, že v populácii je nadbytok heterozygotov, čo môže byť spôsobené nadmerným nepříbuzenským krížením. Kladné hodnoty nám zase hovoria, že v populácii sa nachádza nadbytok homozygotov, čo je spôsobené imbreedingom. Nadbytok homozygotov môžu spôsobiť aj nulové alely, ktoré sa počas PCR neamplifikovali a teda jedinec sa javí ako homozygot aj keď je heterozygot. Použitím programu MICRO-CHECKER v 2.2.3 (VAN OOSTERHOUT *et al.* 2004) môžeme vplyv nulových alel vylúčiť. Najväčší nadbytok heterozygotov bol zistený pri Budakeszi v Maďarsku ($F_{IS} = -0,046$). V týchto lokalitách prebieha veľmi intenzívne poľovníctvo a teda veľmi časté osviežovanie krvi, čo mohlo spôsobiť nadbytok heterozygotov. Najväčší nadbytok homozygotov bol zistený v Nemeckom Bavorsku ($F_{IS} = 0,193$). Miera imbreedingu bola v týchto lokalitách najvyššia.

Z matice genetických vzdialeností (NEI 1972, 1973) bol vytvorený dendrogram na základe metódy najbližšieho suseda (UPGMA – Uneighted Pair Group Method with

Arithmetic Meaning) využitím programu PHYLIP (FELSENSTEIN 2004). Významnosť vetiev bola testovaná bootstrapping-algoritmom s 1000 iteráciami (Obr. 4).



Obr. 3 Dendrogram európskych populácií
Fig. 3 Dendrogram of European populations

Dendrogram neodhalil jasnú geografickú štruktúru genetickej premenlivosti, hoci je možné vidieť isté znaky geografického zoskupenia populácií. Rumunské a slovenské populácie vytvorili oddelené vetvy. Taktiež bulharské populácie tvoria vlastnú vetvu, aj keď v rámci jednej vetvy sú ešte diferencované. Južné a západné populácie vykazovali odlišnosť od východných populácií, čo je pravdepodobne spôsobené Hornotráckou nížinou (NIKOLOV *et al.* 2009). U populácií smerom na západ nebola odhalená geografická štruktúra.

Genetickú diferenciáciu populácií sme hodnotili na základe Bayesiankej zhukovacej metódy STRUCTURE verzia 2.2 (PRITCHARD *et al.* 2007). Táto metóda analyzuje vývoj logaritmu sumárnej pravdepodobnosti (*log likelihood*) a parametra ΔK (EVAN *et al.* 2005). Na základe toho bol určený počet skupín geneticky príbuzných jedincov v rámci skúmaného súboru a konkrétnych jedincov sme zaradili na základe genotypu

do získaných skupín. Keďže predpokladáme tok génov medzi populáciami, použili sme model pripúšťajúci prímеси v populáciách. Ako najpravdepodobnejší počet boli stanovené 4 skupiny geneticky príbuzných jedincov.



Obr. 4 Podiel jednotlivých genofondov určených procedúrou STRUCTURE v každej populácii.

Legenda: šedé kruhy – gény 1. skupiny (západné populácie); biele kruhy – gény 2. skupiny (východné populácie); bodkované kruhy – gény 3. skupiny (Bulharské populácie); čierne kruhy – gény 4. skupiny (Balkánske, Talianske a Turecké populácie)

Fig. 4 Proportion of individual gene pools identified by STRUCTURE in each population.

Legend: grey circles – genes of 1st group (western populations), white circles – genes of 2nd group (eastern populations), spotted circle – genes of 3rd group (Bulgarian populations), black circle – genes of 4th group (Balkan, Italian and Turkey populations)

Zreteľnejšia geografická štruktúra bola odhalená procedúrou STRUCTURE (Obr. 4). Čiastočne sa zhoduje s taxonomickým rozdelením diviacej zveri. Gény prvej skupiny boli vysoko zastúpené v západných populáciách a ich zastúpenie sa znižovalo smerom na východ. Predpokladám, že sa jedná o poddruh *Sus scrofa scrofa*. Druhá skupina prevládala v populáciách v Strednej Európe a zastúpenie sa znižovalo smerom na západ ako aj na juhovýchod. Predpokladám, že sa jedná o poddruh *Sus scrofa attila*. Tretia skupina dominovala v Bulharsku. Jedná sa pravdepodobne o poddruh *Sus scrofa lybicus*. Štvrtá skupina bola zastúpená na západnom Balkánskom polostrove, ako aj na Sardínii a Turecku. Tu sme predpokladali, že v populáciách na Sardínii sa podiel genofondu zobrazí zreteľnejšie, pretože tu by sa mal nachádzať poddruh *Sus scrofa meridionalis*. V Turecku by sa mal nachádzať poddruh *Sus scrofa lybicus*. Preto sme tiež neočakávali, že populácia sa zaradi do skupiny spolu s populáciami zo Sardínie. Tieto výsledky poskytujú mnoho ďalších otázok a to objasniť vzťah Sardínskej a Tureckej populácii k súčasnej taxonomickej klasifikácie poddruhov diviaka lesného.

ZÁVER

Cieľom práce bolo pomocou analýzy genetickej variability a diferenciácie potvrdiť alebo vyvrátiť súčasnú taxonómiu diviacej zveri v Európe. Po získaní genotypov z 938 vzoriek diviaka lesného, zo 14 európskych krajín, boli pomocou programového balíka POPGEN vypočítané alelické frekvencie, pozorovaný a očakávaný počet alel a heterozygotnosť. Alelická bohatosť [A] pre každú populáciu bola zistená z haplotypových frekvencií pozitívnou metódou rarefaction programu FSTAD. Z uvedených výsledkov vidieť, že skutočný počet alel na lokus (n_a) sa pohyboval od 3 po 9 a efektívny počet alel (n_e) sa nachádzal v intervale 2,76–5,40. Alelická bohatosť po rarefaction bola najvyššia v strednom Poľsku (6,99) a najnižšia bola v Slovinsku (5,37). Ďalšie charakteristiky genetickej diverzity ako pozorovaná (H_o) a očakávaná (H_e) heterozygotnosť sa pohybovali v intervale H_o od 0,641 (Ukrajina) po 0,790 (Rakúsko). Interval v H_e sa pohyboval medzi 0,582 (Turecko) – 0,776 (Slovinsko). Index fixácie (F_{IS}) nám hovorí o vzťahu medzi homozygotmi a heterozygotmi. Nadbytok homozygotov môžu spôsobiť aj nulové alely. Použitím programu MICRO-CHECKER môžeme vplyv nulových alel vylúčiť. Najväčší nadbytok heterozygotov bol zistený pri Budakeszi v Maďarsku ($F_{IS} = -0,046$). V týchto lokalitách prebieha veľmi intenzívne poľovníctvo a teda veľmi časté osviežovanie krvi, čo mohlo spôsobiť nadbytok heterozygotov. Najväčší nadbytok homozygotov bol zistený v Nemeckom Bavorsku ($F_{IS} = 0,193$). Miera imbreedingu bola v týchto lokalitách najvyššia. Z matice genetických vzdialeností bol vytvorený dendrogram na základe metódy najbližšieho suseda využitím programu PHYLIP. Dendrogram neodhalil jasnú geografickú štruktúru genetickej premenlivosti, hoci je možné vidieť isté znaky geografického zoskupenia populácií. Rumunské a Slovenské populácie vytvorili oddelené vetvy. Taktiež Bulharské populácie tvoria vlastnú vetvu, aj keď v rámci jednej vetvy sú ešte diferencované. Južné a západné populácie vykazovali odlišnosť od východných populácií, čo je pravdepodobne spôsobené Hornotráckou nížinou (NIKOLOV *et al.* 2009). Genetická diferenciácia populácií bola hodnotená na základe Bayesiankej zhukovacej metódy STRUCTURE. Ako najpravdepodobnejší počet boli stanovené 4 skupiny geneticky príbuzných jedincov. Táto štruktúra sa čiastočne zhoduje s taxonomickým rozdelením diviacej zveri. Gény prvej skupiny boli vysoko zastúpené v západných populáciách a ich zastúpenie sa znižovalo smerom na východ. Predpokladám, že sa jedná o poddruh *Sus scrofa scrofa*. Z výsledkov však možno usúdiť, že Slovenské populácie diviaka lesného sa odlišovali od genetickej skupiny, ktorá bola tvorená populáciami z Nemecka, Českej republiky, Maďarska a Poľska. Druhá skupina prevládala v populáciách v Strednej Európe a zastúpenie sa znižovalo smerom na západ ako aj na juhovýchod. Predpokladám, že sa jedná o poddruh *Sus scrofa attila*. Tretia skupina dominovala v Bulharsku. Jedná sa pravdepodobne o poddruh *Sus scrofa lybicus*. Štvrtá skupina bola zastúpená na západnom Balkánskom polostrove, ako aj na Sardínii a Turecku. Tu sme predpokladali, že v populáciách na Sardínii sa podiel genofondu zobrazí zreteľnejšie, pretože tu by sa mal nachádzať poddruh *Sus scrofa meridionalis*. V Turecku by sa mal nachádzať poddruh *Sus scrofa lybicus*. Preto sme tiež neočakávali, že by populácia bola zaradená do skupiny spolu s populáciou zo Sardínie. Tieto výsledky poskytujú mnoho

d'alších otázok a to objasniť vzťah sardínskej a tureckej populácii k súčasnej taxonomickej klasifikácie poddruhov diviaka lesného.

Naša štúdia poskytuje obraz o genetickej štruktúre diviacej zveri v Európe. V pokračovaní sa môžeme dopracovať k výsledkom, ktoré majú uplatnenie pri ochranárskej genetike, ekologickej a evolučnej genetike, štúdiu histórie populácií a ich efektívnu veľkosť, taktiež pri tvorbe genetických máp alebo pri systematike.

V súčasnosti prebiehajú prípravné práce na začatie mitochondriálnej DNA (mtDNA) pre potvrdenie alebo vyvrátenie hypotézy príbuznosti poddruhov v Európe.

Pod'akovanie

Táto práca vznikla v rámci riešenia výskumného projektu APVV-18-032105 „Genetická diverzita a diferenciácia populácií vybraných druhov poľovnej a chránenej zveri“. Osobitné pod'akovanie patrí partnerom na Slovensku a v zahraničí, ktorí získali a poskytli biologické vzorky. Pod'akovanie patrí aj Ivane Romšákovovej, Gabriele Baloghovej a Diane Krajmerovej za pomoc pri laboratórnych prácach a spracovaní výsledkov.

Literatúra

- ALVES, A., OVILO, C., RODRIGUEZ, M.C. & SILIÓ, L., 2003: Mitochondrial DNA sequence variation and phylogenetic relationships among Iberian pigs and others domestic and wild pig populations. *Animal Genetics* 34: 319–324.
- ALVES, J.C., 2004: Molecular markers, natural history and evolution. *Sinauer Associates*, Sunderland.
- BOITANI, L., TAPANES, P., MITTEL, L. & NONIS, D., 1995: Demography of a wild boar (*Sus scrofa*, L.) population, Tuscany, Italy. *Gibier Faune Sauvage* 12: 109–132.
- CHIBA, T., 1964: Geographical distribution of wild boars and deer in the Japanese Islands and their area and quantitative fluctuations (in Japanese). *Geographical Rev.* 37 (11): 575–592.
- CHIBA, T., 1975: Distributions of large wild mammals and their changes in the eastern foot of Mt. Zao, Miyagi Prefecture, northern Honshu (in Japanese). *Annals. Tohoku Geog. Assoc.* (Tohoku Chiri) 27 (2): 74–81.
- EVANNO, G., REGNAUT, S. & GOUDET, J., 2005: Detecting the number of clusters of individuals using the software STRUCTURE: a simulation study. *Molecular Ecology* 14: 2611–2620.
- FRLSENSTEIN, J., 2004: PHYLIP (Phylogeny Inference Package) version 3.6. *Distributed by the author: Department of Genome Sciences, University of Washington, Seattle, USA.*
- FERNANDEZ-LLARIO, P. & MATEOS-QUESADA, P., 1998: Body size and reproductive parameters in the wild boar *Sus scrofa*. *Acta Theriologica* 43: 439–444.
- FERREIRA, E., SOUTO, L., SOARES A.M.V.M. & FONSECA, C., 2006: Genetic structure of the wild boar (*Sus Scrofa* L.) population in Portugal. *Wildl. Biol. Pract.* 2(1): 17–25.
- GEISSER, H. & REYER, H.-U., 2005: The influence of food and temperature on population density of wild boar *Sus scrofa* in the Thurgau (Switzerland). *Journal of Zoology London* 267: 89–96.
- GIUFFRÀ, E., KIJAS, J.M.H., AMARGER, V., CARLBORG, Ö., JEON, J.-T., & ANDERSSON, L., 2000: The origin of the domestic pig: independent domestication and subsequent introgression. *Genetics* 154: 1785–1791.
- GLAUBITZ, J.C., 2004: CONVERT: A user-friendly tool to reformat diploid genotypic data for common used population genetic software packages. *Molecular Ecology Notes* 4: 309–310.
- GROVES, C.P. & GRUBB, P., 1993: The Eurasian Suids *Sus* and *Babirusa*. In: *Pigs, Peccaries and Hippos – Status Survey and Action Plan*.
www.era.lib.ed.ac.uk/bitstream/1842/1028/1/Chapter+5.1.pdf
- HARTING, J. E., 1880: British Animals Extinct within Historic Times. Trubner & Co., London: pp. 77–114.
- HELL, P., 1986: Diviacia zver. *Príroda*, st. 419.
- HEPTNER, V.G., NASIMOVICH, A.A. & BANNIKOV, A.G., 1961: Artiodactyla and Perissodactyla. Vol. 1: 1147 pp., in: V. G. Heptner and N. P. Naumov (eds.): *Mammals of the Soviet Union*, Vysshaya Shkola Publishers,

- Moscow (English translation, 1988, Smithsonian Institution Libraries and The National Science Foundation, Washington D. C.).
- HEWITT, G., 2000: The genetic legacy of the Quaternary ice ages. *Nature* 405: 907–913.
- LARSON, G., DOBNEY, K., ALBARELLA, U., FANG, M., MATISOO-SMITH, JUDITH ROBINS, E., LOWDEN, S., FINLAYSON, H., BRAND, T., WILLERSLEV, E., ROWLEY-CONWY, P., ANDERSSON, L. & COOPER, A., 2005: Worldwide phylogeography of wild boar reveals multiple centers of pig domestication. *Science* 307: 1618–1621.
- LUCCHINI, V., MEJGAARD, E., DIONG, CH., GROVES, C.P. & RANDI, E., 2005: New phylogenetic perspectives among species of South-east Asian wild pig (*Sus* sp.) based on mtDNA sequences and morphometric data. *Journal of Zoology* 266: 25–35.
- NEI, M., 1972: Genetic distance between populations. *American Naturalist* Vol. 106: 283–292.
- NEI, M., 1973: Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 70: 3321–3323.
- NIKOLOV, I. S., GUM, B., MARKOV, G. & KUEHN, R., 2009: Population genetic structure of wild boar *Sus scrofa* in Bulgaria as revealed by microsatellite analysis. *Acta Theriologica* 54 (3): 193 – 205.
- OKUMURA, N., ISHIGURO, N., NAKANO, M., HIRA, K., MATSUI, A. & SAHARA, M., 1996: Geographic population structure and sequence divergence in the mitochondrial dna control region of the japanese wild boar (*Sus scrofa leucomystax*), with reference to those of domestic pigs. *Biochemical Genetics* Vol 34: (5/6): 179–188.
- OKUMURA, N., KUROSAWA, Y., KOBAYASHI, E., WATANABE, T., ISHIGURO, N., YASUE, H., & MITSUHASHI, T., 2001: Genetic relationship amongst the major non-coding regions of mitochondrial DNAs in wild boars and several breeds of domesticated pigs. *Animal Genetics* 32: 139–147.
- OLIVER, W.L.R., BRISBIN, I.L. & TAKAHASHI, S. 1993: The Eurasian wild pig, *Sus scrofa*. In *Pigs, Peccaries and Hippos — Status Survey and Action Plan*. (ed. Oliver WLR), pp. 112–121. IUCN/SSC, Gland, Switzerland.
- PRITCHARD, J.K., & WEN, W., 2003. Documentation for STRUCTURE software: Version 2. Available from <http://pritch.bsd.uchicago.edu>
- SAMBROOK, J., FRITSCH, E. & MANIATIS, T., 1989: Molecular Cloning. Cold Spring Habor Laboratory Press, USA.
- SCANDURA, M., IACOLINA, L., CRESTANELLO, B., PECCHIOLI, E., DIBENEDETTO, M. F., RUSSO, V., DAVIOLI, R., APOLLONIO, M., & BERTORELLE, G., 2008: Ancient vs. recent processes as factors shaping the genetic variation of the European wild boar: are the effects of the last glaciation still detectable? *Molecular Ecology* 10.1111/j.1365-294X.2008.03703.x
- SOUTO, L., FERREIRA, E. & FONSECA, C. 2004. Microsatellite analysis of wild boar populations in Portugal by multiplex PCR. *QIAGEN News* 3: 63–64.
- VERNESI, C., CRESTANELLO, B., PECCHIOLI, E., TARTARI, D., CARAMELLI, D., HAUFFE, H. & BERTORELLE, G., 2003: The genetic impact of demographic decline and reintroduction in the wild boar (*Sus scrofa*): a microsatellite analysis. *Molecular Ecology* 12: 585–595.
- VAN OOSTERHOUT, C., HITCHINSON, W. F., WILLS, D. P. M & SHIPLEY, P., 2004: MICRO-CHECKER: software for identifying and correcting genotyping errors in microsatellite data. *Molecular Ecology* 4: 535–538.
- 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 (4): 506–513.
- WOLF, R. & RAKUŠAN, C.T., 1977: Černá zvěř. SZN, Praha.
- YEH, F.C., YANG, R.C., BOYLE T.BJ., YE Z.H. & MAO. J.X., 1997: POPGENE – the user friendly shareware for population genetic analysis. Molecular Biology and Biotechnology Center, University of Alberta, Edmonton, Canada.

Adresa autora:

Ing. Jana Bakan

Katedra fytológie

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T.G. Masatyka 24

960 53 Zvolen

e-mail: bakan@vsld.tuzvo.sk

Diviak lesný (*Sus scrofa*): Koľko poddruhov v Európe vlastne máme?

Abstrakt

Areál diviaka lesného (*Sus scrofa*) je väčší než majú všetci ostatní zástupcovia čeľade *Suidae* (diviakotvaré). Vo svojom areáli sa vyznačuje veľkou variabilitou a z nej vyplývajúcim vysokým počtom poddruhov. Poddruhy možno zaradiť podľa geografických oblastí medzi západné, východné, indické a indonézijské rasy. Predmetom tejto štúdie je taxonomická klasifikácia západných rás, ktoré sa nachádzajú v Európe. Doteraz bola táto klasifikácia založená na morfológických charakteristikách. Využitie genetických analýz na rozdelenie druhu *Sus scrofa* na poddruhy nie je ešte dostatočne zdokumentované. V rámci výskumu som sledovala vzťah medzi genetickou variabilitou a diferenciáciou k súčasnej taxonomickej klasifikácii diviacej zveri.

Na tento účel bolo zozbieraných 938 vzoriek biologického materiálu (sval, pečeň, krv a koža) zo 14 európskych krajín. Analýzy jadrovej DNA boli vykonané pomocou vybraných 11 mikrosatelitných markérov. Získané dáta boli vyhodnotené rôznymi metódami analýzy genetickej štruktúry (fixačný index, bayesiánska zhlukovacia metóda, genetická vzdialenosť – UPGMA). Výsledky čiastočne potvrdzujú súčasnú taxonómiu diviacej zveri v Európe, avšak nie je možné jednoznačne rozlíšiť všetky popísané poddruhy.

Kľúčové slová: *Sus scrofa*, poddruhy, mikrosatelity, genetická diverzita, fragmentačná analýza

VPLYV PODROBNOSTI ÚDAJOV O DREVINOVOM ZLOŽENÍ NA PRESNOSŤ STANOVENIA STUPŇA PRIRODZENOSTI PORASTOV

Michal M A R T I N Á K

Martinák, M.: Influence of data precision of tree species composition on accuracy determining the degree of stands naturalness. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 31–42.

The aim of the work is to evaluate the influence of data details on the tree species composition on the accuracy of determining the degree of stands naturalness in the buffer zone Dobročský prales NNR. The degree of stands naturalness was determined using GIS tools by comparing the real tree species composition of potential tree species composition, based on the forest typology. We used two methods. First method was based on input data of tree species composition from digital forest management plan. The second method was getting data on tree species composition by terrain mapping in stands in buffer zone regardless of the spatial distribution of forest units. The result is comparasion of synthetic maps of degree of naturalness and the average values of naturalness for each spatial distribution of forest units above used methods. Influence of data details on the average value of naturalness for the whole area of the buffer zone do not consider significant. The comparasion of the average values of naturalness for individual spatial units, influence of data details seems significant. After the generalizations of the results we found confirmation of internal heterogeneity of tree species composition and natural conditions in spatial distribution of forest units. Main benefit of terrain mapping is a digital map provides a relatively precise identification and location of areas probably non-native tree species composition.

Keywords: forest naturalness, tree species composition, GIS, Dobroč Virgin Forest

1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

V poslednej dobe prichádza do popredia potreba trvalo udržateľného hospodárenia v lesoch, pričom za dominujúce kritérium trvalej udržateľnosti sa považuje ekologická stabilita. Dendroflóre sa prisudzuje v ekologickej stabilite lesných ekosystémov kľúčová úloha. Dnes, keď vedecké poznatky a prax poukazujú na negatívny dopad veľkoplošnej zámény pôvodných drevín za smrekové monokultúry, zapríčínujúcej zníženie stability a zvýšené poškodenie porastov, sa často uvažuje o rekonštrukcii nepôvodných lesných spoločenstiev na ekologicky stabilnejšie ekosystémy. Treba však brať na vedomie, že súčasné drevinové zloženie hospodárskych lesov nie je už len výsledkom vzájomných vzťahov v biocenóze, ale je v značnej miere výsledkom interakcie s antropogénnou činnosťou (VOLOŠČUK 2001).

Dobročský prales patrí medzi najstaršie, najzachovanejšie a najznámejšie rezervácie na Slovensku. Lesy ochranného pásma Dobročského pralesa boli v minulosti obhospodarované na svoju dobu bežným spôsobom, čiže prevažnú časť ochranného pásma tvoria málo stabilné smrekové monokultúry (SLÁVIK 2002). Z tohto vyplýva záujem ochrany prírody o postupnú úpravu súčasného drevinového zloženia smerom k prirodzenému drevinovému zloženiu.

Prirodzené drevinové zloženie je zastúpenie drevín v poraste, ktoré sa ustálilo v dôsledku pôsobenia celého komplexu abiotických a biotických faktorov pôsobiacich na lesný porast resp. jednotlivé dreviny v tomto poraste, v dôsledku kompetičných vzťahov medzi jednotlivými drevinami a v dôsledku procesu šírenia drevín. Je to drevinové zloženie prírodných aj prirodzených lesov (SCHWARZ 2002).

Hodnotenie prirodzenosti vychádza teda z poznatkov o pralesoch a prírodných lesoch, ich klimaxových štádií a ich stanovištných podmienok. Tieto poznatky využíva lesnícka typológia, ktorá je postavená na geobiocenologickom princípe (ZLATNÍK 1976). Na základe typologických jednotiek (*sensu* HANČINSKÝ 1972) možno rekonštruovať pravdepodobne pôvodné prirodzené drevinové zloženie lesov.

Základnou typologickou jednotkou je lesný typ (typ geobiocény). Lesný typ je jednotka s úzkym ekologickým rozpätím pre rast drevín, ich produkciu a obnovu a v dôsledku toho i pre žiaduce druhové a priestorové zloženie porastov. Skupina lesných typov je okrem iného aj jednotkou prirodzeného rozšírenia drevín v rámci ich areálu na našom území, a porovnaním so súčasným stavom poukazuje na ich premeny v minulosti (ZLATNÍK 1976).

Na posúdenie prirodzenosti drevinového zloženia lesného porastu potrebujeme poznať vrcholové štádium záujmovej lokality. Klimax možno charakterizovať ako vrcholové štádium sukcesie rastlinného spoločenstva s príslušnou biocenózou, keď spoločenstvo je vyvážené a svojou štruktúrou a funkciou je v dynamickej rovnováhe s abiotickým prostredím. Klimax nemožno však chápať ako čosi trvalé, nemenné. Pozvoľnou zmenou podmienok prostredia sa menia aj vzájomné vzťahy zložiek spoločenstva a opäť vplyvom zmeneného súboru zložiek spoločenstva vznikajú zmeny v podmienkach prostredia (KORPEL *et al.* 1991).

Prirodzenosť drevinového zloženia (ďalej len PDZ) sa najčastejšie hodnotí v rámci stanovenia ekologickej stability lesných ekosystémov. Drevinové zloženie má vo výpočtoch zvyčajne najvyššiu váhu. Vysoká váha faktora vychádza z predpokladu, že konečné štádium vývoja spoločenstva (klimax) predstavuje na konkrétnom stanovišti ekologický systém s najvyššou odolnosťou a stabilitou. V metodike stanovenia ekologickej stability navrhutej VOLOŠČUKOM (2000) sa hodnotí prirodzenosť drevinového zloženia ako aproximácia súčasného zastúpenia drevín vzhľadom na pôvodné zastúpenie drevín. V metodike stanovenia ekologickej stability navrhutej ČABOUNOM (2002) sa hodnotí druhová štruktúra ako stupeň, resp. percento odlišnostiruhovej štruktúry posudzovaného ekosystému oproti druhovej štruktúre stanovištu zodpovedajúcemu spoločenstvu.

V problematike stanovenia PDZ zohráva kvalita vstupných údajov kľúčovú úlohu. V praxi sa často môžeme stretnúť s nepresnosťou údajov v LHP, presnosť typologickej mapy je tiež často pomerne sporná. Časté sú aj chyby v obrysovej mape, keď reálny priebeh hraníc nekorešponduje s priebehom hraníc v mapovom podklade. Táto práca chce

poukázat' na rozdiely výsledkov PDZ, ktoré boli stanovené z údajov o drevinovom zložení z LHP a z údajov o drevinovom zložení získaných v teréne priamym meraním.

Cieľom práce je zhodnotiť vplyv podrobnosti údajov o drevinovom zložení na presnosť stanovenia stupňa prirodzenosti porastov v ochrannom pásme NPR Dobročský prales.

2 MATERIÁL A METODIKA

Záujmovým územím je ochranné pásmo (OP) NPR Dobročský prales (WGS N 48°40'48"; E 19°40'41"). Celková rozloha územia je 204,29 ha, z toho výmera NPR činí 103,85 ha a ochranné pásmo 100,44 ha.

Modelové územie je situované v tektonickej jednotke veporikum. Podľa geologickej mapy Slovenska na záujmovom území pozostáva horninové podložie z biotitického granodioritu ípeľského typu a síhlianskeho typu. Na území sa vyskytujú takmer výlučne kambizeme (SLÁVIK *et al.*, 2002).

Podľa geobiocenologickej klasifikácie lesov Slovenska predstavujú spoločenstvá záujmového územia mozaiku skupín lesných typov jedľovo-bukového (5.) vegetačného stupňa (ZLATNÍK, 1959), edaficko-trofického radu mezotrofného (B), hemioligotrofného (A/B), a heminitrofilného (B/C) (ZLATNÍK, 1976).

Drevinové zloženie predstavuje typickú horskú „karpatskú zmes“ buka lesného (*Fagus sylvatica*), jedle bielej (*Abies alba*) a smreka obyčajného (*Picea abies*) spolu s cennými listnáčmi javorom horským (*Acer pseudoplatanus*), javorom mliečnym (*Acer platanoides*), jaseňom štíhlým (*Fraxinus excelsior*) a brestom horským (*Ulmus glabra*). V podrade sa vyskytujú najmä rastliny na živiny stredne bohatých až bohatých substrátov: *Galium odoratum*, *Dentaria bulbifera*, *Dentaria enneaphyllos*, *Athyrium filix-femina*, *Salvia glutinosa*... (BUBLINEC & PICHLER, 2001).

2.1 Vstupné údaje

Vstupnými údajmi na výpočet PDZ sú informácie o zastúpení drevín v záujmovom území a typologická mapa (NLC 2007). Informáciami o drevinovom zložení sme disponovali v dvoch „formách“. Prvou boli údaje o zastúpení drevín odčítané z digitálneho LHP (NLC 2006). Keďže tieto údaje sme nepovažovali za presné a brali sme na vedomie značnú heterogenitu JPRL, druhou formou údajov boli výsledky z priameho terénneho mapovania drevinového zloženia v OP. Mapovanie sa uskutočnilo v lete 2009, za pomoci ortofotomapy (EUROSENSE & GEODIS 2003), obrysovej mapy (NLC 2007) a GPS. Mapovali sme prvky homogénnej štruktúry, čo sú plochy charakterizované relatívnym homogénnym druhovým drevinovým zložením s približne rovnakým vekom a zakmenením. Registračnou výškou pre dreviny bola výška 1,3 m. Polygóny sme vytvárali bez ohľadu na hospodárske priestorové rozdelenie lesa. Stanovenie PDZ spočívalo v matematickom porovnávaní súčasného drevinového zloženia s pôvodným drevinovým zložením. Pôvodné (modelové) drevinové zloženie bolo stanovené na základe typologickej mapy. Pre záujmové územie sme vytvorili optimalizovaný model zastúpenia prirodzeného drevinového zloženia na úrovni lesných typov, bližší postup je uvedený v práci (MARTINÁK 2008).

Tab. 1 Model prirodzeného drevinového zloženia (MARTINÁK 2008, upravené) cl – cenné listnáče (jh, jm, bt), osp – ostatné pôvodné dreviny (br, rkt, jl, ls, os, jb), osn – ostatné nepôvodné (bo, sc)

Tab. 1 Model of tree species composition, cl – precious broadleaved , osp – other native, osn – other non-native tree species

	Buk		jedľa		Smrek		CL		OSP		OSN	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
AF nst	40	90	10	55	0	15	0	30	0	5	0	0
5301	40	90	10	55	0	15	0	25	0	5	0	0
5302	40	90	10	55	0	15	0	30	0	5	0	0
5303	40	90	10	55	0	15	0	25	0	5	0	0
5304	40	90	10	55	0	15	0	30	0	5	0	0
5306	40	90	10	55	0	15	0	30	0	5	0	0
FA nst	35	70	30	65	0	20	0	25	0	5	0	0
5201	35	70	30	65	0	20	0	20	0	5	0	0
5204	35	70	30	65	0	20	0	25	0	5	0	0
FAc nst	15	80	0	50	0	15	20	85	0	5	0	0
5401	20	80	0	50	0	15	20	80	0	5	0	0
5402	20	80	0	50	0	15	20	80	0	5	0	0
5403	15	75	0	50	0	15	25	85	0	5	0	0
5406	15	75	0	50	0	15	25	85	0	5	0	0

2.2 Výpočet prirodzenosti drevinového zloženia

Výpočet prirodzenosti drevinového zloženia sme realizovali prostredníctvom programového prostredia IDRISI 15 The Andes edition (Clark University ®). Spočívalo v porovnávaní rastrových obrazov zastúpení jednotlivých relevantných drevín s modelovým zastúpením drevín.

Samotný výpočet PDZ sme realizovali použitím vzorca podľa GLONČÁKA (2006, 2007):

$$PDZ = 100 - MAX [\Sigma O_{KL}; \Sigma O_Z] \quad (1)$$

PDZ – prirodzenosť drevinového zloženia (%),

ΣO_{KL} – suma odchýlok skutočného zastúpenia od modelového maxima,

ΣO_Z – suma odchýlok skutočného zastúpenia od modelového minima.

Prirodzenosť drevinového zloženia sme vzťahovali zvlášť pre dve informačné vrstvy, a to pre informačnú vrstvu 1 (nad 60 rokov) a informačnú vrstvu 2 (do 60 rokov) a zvlášť pre údaje zistenými z LHP a pre údaje z vlastného merania.

V prírode sa často vyskytuje prirodzene hlúčikovité (maloplošné) zmiešanie stanovištné pôvodných drevín (KORPEL *et al.* 1991). Ak mapujeme drevinové zloženie veľmi podrobne, takéto zmiešanie sa nám môže javiť ako neprirodzené. Na odstránenie tohto efektu sme použili generalizáciu, čo je expanzia buniek rastra. Za veľkosť generalizovanej bunky rastra sme zvolili hodnotu 900 m² (30 × 30 m) ako kompromis medzi „minimálnym areálom“ drevín pre zmiešanie a stratou informačnej hodnoty. Z uvedeného dôvodu sme rastrové analýzy vykonali bez generalizácie (veľkosť bunky rastra 1 × 1 m) a s generalizáciou (veľkosť bunky rastra 30 × 30 m).

Podrobnejší postup výpočtu PDZ uvádzajú napr. práce (GLONČÁK 2006, 2007; MARTINÁK 2008, GLONČÁK & MARTINÁK 2008).

Výsledné hodnoty PDZ pre JPRL sme zaradili do štyroch stupňov (*sensu* SCHWARZ *et al.* 2002 – upravené):

- | | |
|--|---------|
| 1. porasty s prirodzeným drevinovým zložením | ≥85 % |
| 2. porasty s mierne pozmeneným drevinovým zložením | 75–84 % |
| 3. porasty so stredne pozmeneným drevinovým zložením | 50–74 % |
| 4. porasty s vysoko pozmeneným drevinovým zložením | ≤49 % |

3 VÝSLEDKY

3.1 Mapovanie drevinového zloženia

Cieľom mapovania bolo zachytiť rôznorodosť porastov bez ohľadu na hospodárske priestorové rozdelenie lesa. V záujmovom území sme vylíšili 168 prvkov druhovej štruktúry. Na odstránenie okrajového efektu sme použili metódu mapovania s presahom, takýchto prvkov sme zmapovali 79, čo spolu predstavuje 247 polygónov. Percentuálne zastúpenie drevín (resp. skupiny drevín) na ploche OP uvádzame v tab. 2.

Pre komparáciu uvádzame zastúpenie drevín podľa LHP. Pre potreby lepšieho porovnania je zastúpenie upravené podľa veku (do 60, nad 60 rokov) a skupín drevín (cl, osp, osn). Z porovnania vyplýva výrazný rozdiel medzi zastúpením z údajov LHP a vlastným terénnym mapovaním, predovšetkým v mladšej vrstve. Rozdiely môžu byť spôsobené aj výpočtom, keďže plochy z ktorých boli zisťované zastúpenia nie sú totožné.

Z porovnania vyplýva, že v informačnej vrstve 1 (nad 60 rokov) prevláda smrek. Ide predovšetkým o staré hospodárske smrečiny, hlavne celá západná časť OP pôsobí „monokultúrne“. V informačnej vrstve 2 (do 60 rokov) prevažuje buk. Z terénnych pozorovaní môžeme konštatovať, že buk sa prirodzene zmladzuje pod starším (100 rokov a viac) smrekovým porastom.

Počas mapovania sme zaregistrovali aj dreviny (kry) ktoré nie sú uvedené v LHP. V OP sa miestne vyskytovala baza červená (*Sambucus racemosa*) v južnej časti (hlavne dielec 129 b) aj ruža ovisnutá (*Rosa pendulina*). Ojedinele sme zaznamenali aj výskyt lykovca jedovatého (*Daphne mezereum*).

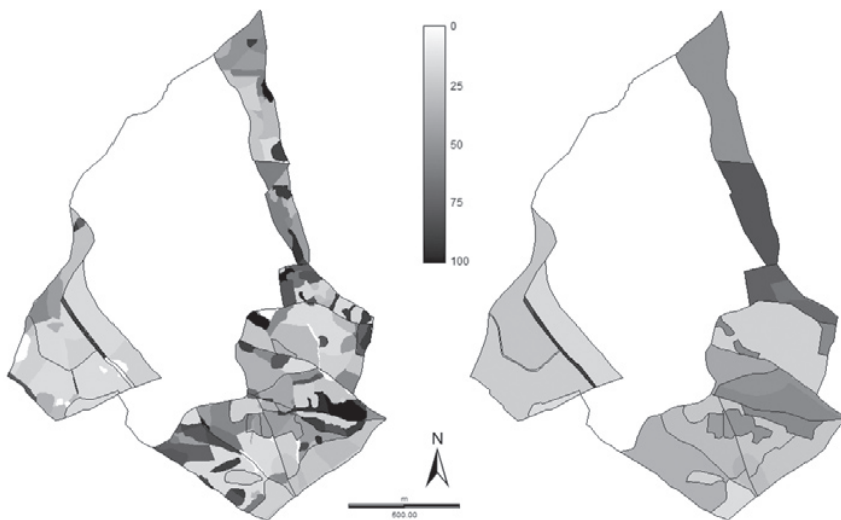
Tab. 2 Percentuálne zastúpenie drevín v OP. TM 1 – percentuálne zastúpenie drevín z údajov z terénneho mapovania pre vrstvu nad 60 rokov, TM 2 – pre vrstvu do 60 rokov. LHP 1 – percentuálne zastúpenie drevín z údajov LHP pre vrstvu nad 60 rokov, LHP 2 – pre vrstvu do 60 rokov

Tab. 2 Percentage of tree species in buffer zone. TM – 1 percentage of tree species from data of terrain mapping for the layer over 60 years, TM – 2 for the layer under 60 years. LHP 1 – percentage of tree species from data of forest management plan for the layer over 60 years, LHP 2 – for the layer under 60 years

	TM 1	LHP 1	TM 2	LHP 2
sm	79,7	74,3	15,2	27,6
jd	4,7	13,1	0,3	0,1
bk	9,4	9,6	76,2	48,1
cl	6,1	3	5,8	24
osp	0,1	0	2,5	0,13
osn	0	0	0,01	0,05

3.2 Prirodzenosť drevinového zloženia

Výsledkom je stanovenie priemernej prirodzenosti drevinového zloženia pre celú plochu OP, pre jednotlivé JPRL a tiež stanovenie stupňa prirodzenosti. Výsledkom sú aj mapy priestorovo definujúce PDZ a mapy stupňa PDZ. Výsledky sú prezentované vo variáciách vyplývajúcich z použitej metodiky (s generalizáciou, bez generalizácie) a sú vzťahované na príslušné informačné vrstvy (1, 2, 1d2). Informačná vrstva 1d2 predstavuje informačnú vrstvu 1 (nad 60 rokov) doplnenú v miestach s absenciou porastu nad 60 rokov informačnou vrstvou 2 (do 60 rokov). Túto vrstvu sme používali na stanovenie PDZ pre celé územie OP. Výsledky prezentované v tabuľke 3. ukazujú, že mladšia vrstva je výrazne prirodzenejšia ako staršia vrstva. Smerodajná odchýlka δ_x môže byť chápaná aj ako ukazovateľ vnútornej heterogenity. Pri použití postupu výpočtu s metódou generalizácie vychádzajú výsledky PDZ vyššie s porovnaním pri postupe bez generalizácie. Tento fenomén je spôsobený pravdepodobne špecifikáciou programu IDRISI, keď pri expanzii buniek rastra dochádza k priemerovaniu hodnôt.



Obr. 1 Mapy PDZ pre informačnú vrstvu nad 60 rokov doplnenú v miestach jej absencie vrstvou do 60 rokov, použitá metóda bez generalizácie. Vľavo bol výpočet realizovaný z údajov získaných vlastným mapovaním, vpravo z údajov LHP

Fig. 1 Maps of naturalness for information layer over 60 years, in absence places added by layer up to 60 years, method without generalization was used

Tab. 3 Komparácia priemerných hodnôt PDZ pre územie OP v % podľa použitej metodik

Tab. 3 Comparasion average values of naturalness for buffer zone by used method

	terénne mapovanie				LHP			
	s generalizáciou		bez generalizácie		s generalizáciou		bez generalizácie	
	PDZ	δ_x	PDZ	δ_x	PDZ	δ_x	PDZ	δ_x
vrstva 1d2	45	22,8	38	25,0	44	17,5	37	19,0
vrstva 1	43	21,4	34	21,4	44	17,5	35	17,7
vrstva 2	79	19,1	77	23,8	77	21,4	77	23,6

4 DISKUSIA A ZÁVER

4.1 Porovnanie výsledkov PDZ a vplyv presnosti údajov o DZ

V tabuľke 4 uvádzame priemerné hodnoty PDZ pre jednotlivé JPRL nachádzajúcich sa v OP podľa úrovne použitých vstupných údajov o drevinovom zložení metódou bez generalizácie. PDZ 1d2 predstavuje informačnú vrstvu 1 doplnenú v miestach jej absencie vrstvou 2. PDZ 2 PDZ TM % predstavuje priemerné hodnoty prirodzenosti drevinového zloženia v % zistených z údajov z vlastného terénneho mapovania. PDZ

LHP % reprezentuje výsledky PDZ v % pri ktorom sme ako vstupné údaje použili informácie o drevinovom zložení z aktuálneho LHP. V stĺpci s názvom rozdiel môžeme vidieť ako sa odlišujú od seba tieto hodnoty. Keďže PDZ je v percentách, aj rozdiel je percentuálna hodnota. Tento rozdiel poukazuje na vplyv presnosti vstupných údajov o DZ na hodnotenie prirodzenosti porastov. Z analýzy sme zistili že vplyv podrobnosti údajov o DZ nemá systematický charakter. Na obrázku 2 je komparácia stupňov PDZ na úrovni JPRL. Porovnávaná sa dotýkajú informačnej vrstvy 1d2 a použité boli výsledky bez generalizácie. Rozdiely medzi stupňami sú markantné v dieľci 188 a, kde je vo vrstve 2 rozdiel dvoch stupňov. V ostatných dieľcoch sa líši výsledok o stupeň alebo je rovnaký, čo je častejší prípad. Treba však poznamenať, že výsledky sa budú líšiť v závislosti od použitej stupnice PDZ (použitých rámcových hodnôt PDZ pre jednotlivé stupne).

Porovnanie výsledkov PDZ počítaných z údajov o DZ z terénneho mapovania z Badínskeho pralesa realizoval GLONČÁK (2007) s výsledkami PDZ vyňatými z databázy NATURA 2000. Rozdiel medzi výsledkami pre celé územie činil takmer 10 %, čo je výrazne viac ako v našom prípade (1–2 %). Rozdielnosť výsledkov PDZ bola zaznamenaná aj na úrovni JPRL, systematický charakter nebol zaznamenaný. Treba však poznamenať, že údaje o drevinovom zložení použité pri výpočte PDZ pre NATURA 2000 boli síce z LHP, avšak hodnoty PDZ boli počítané odlišnou metodikou (*sensu* SCHWARZ *et al.* 2002).

Tab. 4 Porovnanie priemerných hodnôt PDZ pre jednotlivé JPRL

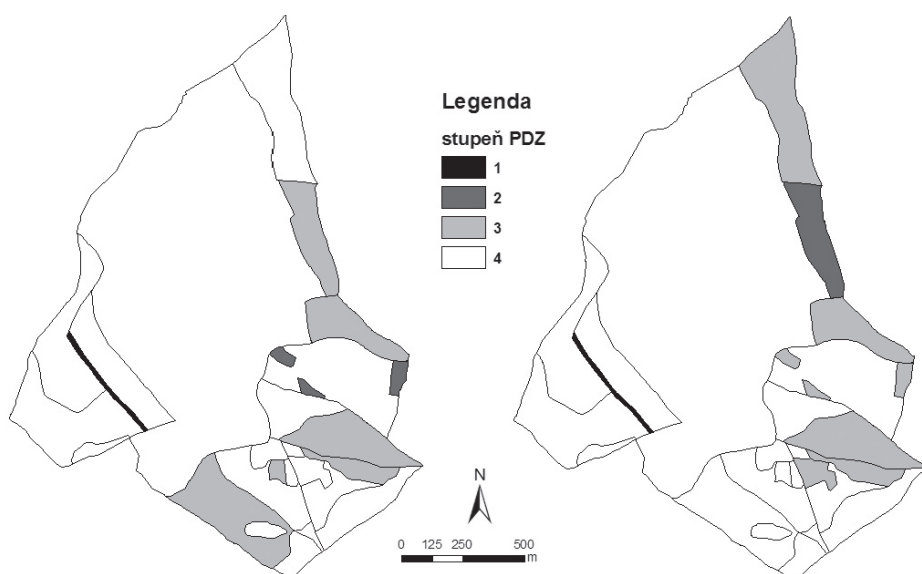
Tab. 4 Comparasion of average naturalness for individual spatial distribution of forest units

dielec	PDZ 1d2			PDZ 2		
	PDZ TM %	PDZ LHP %	rozdiel	PDZ TM %	PDZ LHP %	rozdiel
133	54	71	–17	51	71	–20
187	28	26	2	84	92	–8
125a	50	35	15	89	93	–4
125b	20	20	0	20	20	0
125c	20	15	5	21	15	6
128a – 1	38	30	8	85	93	–8
128a – 2	47	45	2	62	45	17
128a – 3	45	45	0	45	45	0
128b	29	26	3	29	26	3
129a – 1	37	26	11	85	84	1
129a – 2	57	55	2	59	55	4
129a – 3	45	50	–5	46	50	–4
129b	27	26	1	78	26	52
130a	42	40	2	89	99	–11
130b	55	53	2	56	55	1
131 – 1	29	20	9	85	92	–7

Tab. 4 Pokračovanie

Tab. 4 Continued

dielec	PDZ 1d2			PDZ 2		
	PDZ TM %	PDZ LHP %	rozdiel	PDZ TM %	PDZ LHP %	rozdiel
131 – 2	75	55	20	77	55	22
183a	59	80	–21			
183b	42	50	–8	88	90	–2
188a	17	17	0	88	71	17
188b	75	88	–13	88	88	0
189a	21	22	–1	88	90	–2
189b	16	15	1	16	15	1



Obr. 2 Stupne PDZ, vľavo počítané z terénneho mapovania, vpravo z údajov LHP

Fig. 2 Degrees of naturalness. Left field calculated of terrain mapping data, right field from data of forest management plan

4.2 Zhodnotenie výsledkov mapovania drevinového zloženia

Rozdiely vo výsledkoch NLC a podrobným terénnym mapovaním súvisia s vnútornou heterogenitou JPRL. Dielec je definovaný aj ako najnižšia trvalá jednotka priestorového rozdelenia lesa s jednotnými alebo aspoň podobnými produkčnými podmienkami. Dielec by mal teda predstavovať plochu produkčnej jednotnosti reprezentovanú lesným typom.

V praxi sa však bežne môžeme stretnúť s fenoménom, keď plochu dielca tvoria viaceré lesné typy, ba aj skupiny lesných typov (ŽIHĽAVNÍK 2005). Krovinová etáž a akcesorické, hospodársky nezaujímavé dreviny so zastúpením menším ako 1 % nezvyknú byť uvedené v tabuľkovej časti popisu porastu, sú uvedené slovné v charakteristike porastu, alebo často tieto informácie chýbajú. Pritom ide o cenné údaje z hľadiska manažmentu územia, s výpovednou hodnotou o diverzite biotopov.

Lesy v OP majú často charakter plošne a výškovo vyrovnaných porastov tvorených v hornej vrstve smrekom, so zreteľne vylíšenou dolnou vrstvou, ktorá je tvorená bukom druhej generácie. Táto charakteristika vyznie zaujímavo v porovnaní s životným cyklom Dobročského pralesa, kde sa na jednej generácii ihličnatých drevín (jedľa, smrek) – ktoré sú určujúcimi drevinami životného cyklu, podieľa buk takmer dvoma generáciami (SANIGA *in* SLÁVIK *et al.* 2002).

Hodnotenie prirodzenosti lesov len pomocou údajov, ktoré nezohľadňujú ich vnútornú heterogenitu, je zaťažené vyššou chybou a preto je menej vhodné pre aktívny manažment CHÚ (GLONČÁK 2006).

4.3 Vplyv ostatných vstupných komponentov na presnosť stanovenia PDZ

Na presnosť stanovenia PDZ vplývajú samozrejme aj iné vstupné komponenty ako len údaje o drevinovom zložení. Ďalším dôležitým vstupným údajom je presnosť typologickej mapy danej lokality. Prax mapovania ukazuje, že podkladová typologická mapa sa od reality môže významne líšiť, nezriedka sú zmapované nové typologické jednotky lišiace sa edaficko-trofickým radom i lesným vegetačným stupňom (GLONČÁK 2006). V záujme čo najpresnejších výsledkov PDZ preto odporúčame typologickú mapu overiť priamo v teréne. Ďalším významným komponentom je použitý model PDZ. Dnes existuje viac modelov ktoré sa od seba odlišujú, často tieto modely samotní autori spresňujú (napr. VOLOŠČUK 2000, 2004). Pomerne častým problémom bývajú nepresnosti v obrysovej mape, reálny priebeh hraníc JPRL nekorešponduje s mapovým podkladom (GLONČÁK 2006, 2007, MARTINÁK 2008). Tieto nepresnosti sa potom objavujú aj v porastovej mape. Keďže sa stanovenie PDZ realizuje (zjednodušene) prekrytom typologickej a porastovej mapy chyba môže byť významná. Pri mapovaní drevinového zloženia sme zaregistrovali na niektorých miestach výrazné rozdiely v priebehu hraníc dielcov uvedených v obrysovej mape (poskytnutou NLC) a reálnym priebehom hraníc v teréne. Porovnávali sme obrysovú mapu s viacnásobnými GPS meraniami s podporou ortofotomapy.

Charakter výsledkov je ovplyvňovaný aj použitým vzorcom na výpočet PDZ. Analýze sa venujú práce GLONČÁKA (2006, 2007), na ich základe sme použili ním navrhnutý vzorec na výpočet PDZ. Vzorec podľa Papánka (1967 *in* VLADOVIČ 2003) nadhodnocuje vplyv odchýlok od modelového minima a menšiu váhu kladie na odchýlky od modelového maxima (GLONČÁK 2007). V neposlednej rade je to aj subjektivita mapovateľa, keďže mapovanie prvkov druhej štruktúry závisí od jeho pohľadu na problematiku detailnosti a tým aj miery generalizácie a abstrakcie údajov v teréne. Je potrebné si uvedomiť, že

úroveň detailnosti sa pri výpočte PDZ použitím generalizácie (veľkosť bunky 30×30 m) stráca, avšak podrobne zmapované prvky stále slúžia ako cenná mapová informácia.

Stanovenie PDZ pomocou údajov o DZ z LHP:

Výhody:

- časovo menej náročné
- „kancelárska“ práca
- PDZ pre celé územie s vyhovujúcou presnosťou

Nevýhody:

- možná neaktuálnosť údajov (platnosť LHP 10 rokov)
- nezohľadnenie heterogenity JPRL
- na úrovni JPRL vyššia chyba

Stanovenie PDZ z údajov o DZ získaných pomocou terénneho mapovania:

Výhody:

- presné výsledky použiteľné pre manažment
- presná identifikácia a lokalizácia problémových oblastí
- možnosť verifikácie map. podkladov

Nevýhody:

- časovo náročné
- možná subjektivita pri určovaní polygónov

PodĎakovanie

Práca vznikla s podporou grantu agentúry VEGA č. 1/0831/09. Moja vďaka patrí K. Ujházymu a P. Glončákovi za odborné rady a usmernenia a vytvorenie podmienok k práci.

Literatúra

- BUBLINEC, E. & PICHLER, V. *et al.* 2001: Slovenské pralesy, diverzita a ochrana, Ústav ekológie lesa SAV, Zvolen, p. 118–121.
- EUROSENSE & GEODIS 2003: Digitálna ortofotomapa SR.
- ČABOUN, V. 2002: Systém ukazovateľov ekologickej stability lesa a jej klasifikácia. In: Ďurský *et al.* (eds.), Nové trendy v zisťovaní a monitorovaní stavu lesa, zborník odborných referátov a abstraktov z medzinárodného vedeckého sympózia, 16.–17. september 2002, Technická univerzita vo Zvolene. p. 116–135.
- GLONČÁK, P. 2006: Posúdenie prirodzenosti drevinového zloženia ochranného pásma NPR Badínsky prales: diplomová práca, Technická univerzita vo Zvolene, 45 pp.
- GLONČÁK, P. 2007: Hodnotenie prirodzenosti lesných porastov na základe typologických jednotiek (príklad z ochranného pásma Badínskeho pralesa). In: J. Štykar, V. Hrubá, (eds.), Geobiocenologie a její využití, MLZU v Brně, Křtiny, Brno, p. 39–46, Dostupné na internete: <http://www.tuzvo.sk/files/LF-KF/Gloncak_Geobio_2007.pdf>
- GLONČÁK, P. & MARTINÁK, M. 2008: Metodický postup podrobného hodnotenia prirodzenosti drevinového zloženia v prostredí Idrisi. In: Koreň M., Majlingová A., Smreček R. (eds.): Stretnutie užívateľov produktov Idrisi a ESRI, Technická univerzita vo Zvolene. Dostupné na internete: <http://www.tuzvo.sk/files/LF-KF/Gloncak_Martinak_Idrisi_2008.pdf>
- HANČINSKÝ, L. 1972: Lesné typy Slovenska. Príroda, Bratislava, 307 pp.
- KORPEL, Š. *et al.* 1991: Pestovanie lesa. Príroda Bratislava 332 pp.
- KORPEL, Š., 1989: Pralesy Slovenska. Veda Bratislava, 332 pp.
- MARTINÁK, M. 2008: Hodnotenie prirodzenosti drevinového zloženia v ochrannom pásme NPR Dobročský prales: bakalárska práca. Zvolen, TUZVO LF, 38 pp.
- MORAVEC, J. *et al.* 1994: Fytocenologie. Academia, Praha, 403 pp.

- NÁRODNÉ LESNÍCKE CENTRUM: Porastová mapa – LHC Dobroč. Ústav lesných zdrojov a informatiky, Zvolen. Stav k 1. 1. 2006.
- NÁRODNÉ LESNÍCKE CENTRUM: Typologická mapa – LHC Dobroč. Ústav lesných zdrojov a informatiky, Zvolen.
- SANIGA, M. 2002: Štruktúra pralesa. In: Slávik, D. *et al.*: Dobročský prales národná prírodná rezervácia, ÚVVP LVH SR Zvolen, p. 30–34.
- SCHWARZ, M. 2002: Problematika drevinového zloženia lesných porastov. Spravodajca Lesoprojektu 1/2002, roč. 34, Lesoprojekt Zvolen. Dostupné na internete: <http://www.lesoprojekt.sk/lesop_sub/spravodaj/1_2002/clanky/schwarz.html>
- SCHWARZ, M. *et al.* 2002: Spracovanie dát o lesných biotopoch pre potreby vyčlenenia území európskeho významu. [online] Dostupné na internete: <http://www.sopsr.sk/natura/doc/metodiky/spracovanie_dat.doc>
- SLÁVIK, D. *et al.* 2002: Dobročský prales národná prírodná rezervácia, ÚVVP LVH SR Zvolen, 92 pp.
- VOLOŠČUK, I. 2000: Enviromentálne systémy – Lesný ekosystém, Technická univerzita vo Zvolene, 117 pp.
- VOLOŠČUK, I. 2001: Teoretické a praktické problémy ekologickej stability lesných ekosystémov. Technická univerzita vo Zvolene, 89 pp.
- VOLOŠČUK, I. 2004: Pôvodné drevinové zloženie lesných typov kategórie ochranných lesov a lesov osobitného určenia. In: Hradecký, R. (ed.) Ochrana prírody, číslo 23, ročník 2004. Štátna ochrana prírody Slovenskej republiky, Centrum ochrany prírody a krajiny – Banská Bystrica, p. 125–141.
- ZLATNÍK, A. 1976: Lesnícká fytocenologie. SZN, Praha, 495 pp.
- ŽIHĽAVNÍK, A. 2005: Hospodárska úprava lesov. Technická univerzita vo Zvolene, 389 pp.
-

Adresa autora:

Ing. Michal Martinák
Katedra fytológie
Lesnícka fakulta
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

e-mail: martinak@vsld.tuzvo.sk

Vplyv podrobnosti údajov o drevinovom zložení na presnosť stanovenia stupňa prirodzenosti porastov

Abstrakt

Cieľom práce je zhodnotiť vplyv podrobnosti údajov o drevinovom zložení na presnosť stanovenia stupňa prirodzenosti porastov v ochrannom pásme NPR Dobročský prales. Stupeň prirodzenosti porastov sme stanovili pomocou nástrojov GIS porovnaním súčasného drevinového zloženia s potenciálnym drevinovým zložením vychádzajúcim z princípov lesníckej typológie. Použili sme dva metodické postupy. Prvý metodický postup vychádzal zo vstupných údajov o drevinovom zložení zistenom z digitálneho LHP. Druhým metodickým postupom sme zisťovali údaje o drevinovom zložení priamym terénnym meraním v porastoch ochranného pásma bez ohľadu na hospodárske priestorové rozdelenia lesa. Výsledkom je komparácia syntetických máp stupňov prirodzenosti a priemerných hodnôt prirodzenosti pre jednotlivé JPRL zistených uvedenými metodickými postupmi. Vplyv podrobnosti údajov na priemernú hodnotu prirodzenosti pre celú plochu ochranného pásma nepovažujeme za výrazný. Pri porovnaní priemerných hodnôt prirodzenosti v rámci jednotlivých JPRL sa vplyv podrobnosti údajov javí ako významný. Po zovšeobecnení výsledkov môžeme konštatovať potvrdenie vnútornej heterogenity drevinového zloženia a prírodných podmienok v JPRL. Hlavným prínosom terénneho mapovania je digitálna mapa poskytujúca pomerne presnú identifikáciu a lokalizáciu oblastí s pravdepodobne nepôvodným drevinovým zložením.

Kľúčové slová: prirodzenosť lesov, drevinová skladba, GIS, Dobročský prales

ZHODNOTENIE INTERCEPCIE ZRÁŽOK PRIRODZENEJ HORSKEJ SMREČINY ZÁPADNÝCH TATIER

Marek O R E Ň Á K – Michal F R I Č – Jaroslav Š K V A R E N I N A

Oreňák, M., Frič, M., Škvarenina, J.: Assessment of natural mountain spruce forest interception in the West Tatra Mountains area. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 43–55.

This paper is focused on rainfall assessment and interception development in the spruce mountain forests in the area of National Park of the West Tatra Mountains. We measured vertical rainfall and throughfall from year 2007 to 2009, in the “Červenec” area at an altitude of 1420 m a.s.l. The precipitation was monitored as follows: in canopy gaps (small open areas between canopies), in dripping zones (at the edge of the canopies), at dense branches near the tree-trunks and at the understorey of young trees.

The influence of the forest to the total precipitation was stated by means of interception. In 2007, average values of interception under the canopy were as follow: canopy gap 34%, dripping zones 7%, dense branches near the tree-trunks 62% and the understorey of young trees 46%. In 2008, it was: canopy gap 25%, dripping zones 29%, dense branches near the tree-trunks 69% and the understorey of young trees 45%. In 2009, it was: canopy gap 23%, dripping zones 25%, dense branches near the tree-trunks 66% and the understorey of young trees 44%.

The results confirmed important influence of a forest to the total rainfall by means of interception. Different values of interception were shown depending on density and conditions of a forest.

Keywords: rainfall, spruce mountain forests, interception

1. ÚVOD

Lesy sú zložitým biologickým systémom. Sú priestorovo rozsiahlejšie a hmotnostne mohutnejšie, dlhodobejšie a rozmanitosťou svojich skladbových, vekových a bonitných vlastnostiach v pôsobení na prírodné prostredie výraznejšie ako ktorékoľvek iné rastlinné spoločenstvo. Pôsobia preto aj v kolobehu vody účinnejšie ako iné rastlinstvo (napr. poľné kultúry, lúky).

Systematické pozorovanie meteorologických veličín a sledovanie klimatických charakteristík a ich vzájomných vzťahov s jednotlivými druhmi ekosystémov má v súčasnej dobe čoraz väčší význam s ohľadom na problémy, ktorým čelí ľudská spoločnosť, napr. globálne klimatické zmeny, znečisťovanie prírodného a životného prostredia, postupujúca

urbanizácia, globálny populačný rast a rast počtu prírodných katastrof zapríčinený extrémnymi podmienkami prostredia (STŘELCOVÁ, ŠKVARENINA 2005).

V súčasnosti sa všeobecné zhoršovanie stavu lesov vplyvom klimatických zmien prejavuje najmä zmenou teplotných a zrážkových pomerov a na ne nadväzujúcich vlhkostných pomerov v pôde.

V súvislosti s tým možno konštatovať, že od množstva vody v pôde závisí existencia a produkčná schopnosť jednotlivých drevín, ako aj celých porastov. V našich geografických podmienkach sú atmosférické zrážky takmer jediným zdrojom vody a preto je nutné venovať pozornosť výskumu zákonitostí celého komplexu hydrologických procesov (TUŽINSKÝ 1990). Zvlášť dôležitý je výskum vodného režimu vo vyšších lesných vegetačných stupňoch, najmä v smrekových porastoch, pretože práve tieto sú po fyziologickom oslabení najviac napádané sekundárnymi škodcami.

2. PROBLEMATIKA

Vodohospodárske funkcie horských smrečín sú veľmi závislé na množstve zrážok a ich rozložení počas ročného obdobia. Ako je známe, zrážky sú jednou zo základných zložiek hydrologickej bilancie. Ak padajú zrážky nad lesom, dochádza k ich výraznej diferenciacii: časť sa zadržiava na povrchu korún stromov, podrastu a prízemnej vegetácie a vyparuje sa, pričom nedosiahne pôdneho povrchu (intercepčný výpar), ďalšia ich menšia časť steká po kmeni (stok po kmeni), časť zrážok dosahuje povrch pôdy priamo prienikom medzerami v korunách lesného porastu a odkvapom (pri tuhých zrážkach opadom) z nasýteného povrchu rastlinstva.

Jednotlivé zrážky ovplyvňujú intercepciu podľa množstva v tom zmysle, že pri slabom daždi (do 2–3 mm) sa väčšina kvapiek zachytí na povrchu listov, ihličia, konárov a kmeňov a na pôdny povrch sa z nich nedostane nič, alebo len veľmi málo. AUSSENAC (1969) uvádza tzv. kritické hodnoty zrážok pre jednotlivé dreviny, pri ktorých neprenikne cez koruny porastov nijaká zrážková voda takto: smrek 0,6 mm, borovica 0,4 mm, dub a buk, resp. ostatné listnaté dreviny 0,3 mm, ale HOLKO *et al.* (2009) uvádza, že je táto hodnota pre lokalitu Červenec okolo 0,8 až 0,9 mm. Pri väčšom daždi sa postupne namáča povrch vegetácie a po jeho úplnom namočení sa výdatnosť zrážky v lese vyrovná s výdatnosťou zrážky na voľnej ploche a intercepciu podmieňuje len výparnosť. Keďže vodu zachytenú v korunách stromov môže vietor počas dažďa občas striasť, intenzita zrážky v poraste sa môže odlišovať od intenzity zrážky na voľnej ploche.

Intercepcia závisí aj od zrážkového úhrnu, pričom platí, že relatívne intercepčné straty sa znižujú úmerne so zvyšovaním ročného zrážkového úhrnu, a to bez zreteľa na drevinu. ZLATNÍK (1976) uviedol, že v smrekovom poraste pri zrážkach $Z = 500$ mm sú intercepčné straty 60 % zo zrážkového úhrnu, kým pri $Z = 1\,500$ mm predstavujú len 20 %. Treba doplniť, že v oboch prípadoch ide o rovnakú hodnotu – 300 mm.

Meranie na výskumnej ploche prebiehalo v letnom režime (2 týždňový interval) a zimnom režime (mesačný interval). Na zachytávanie zrážok sme používali štandardné československé zrážkomery, zo zachytanou plochou 500 cm². V tejto práci sú zhodnotené údaje z rokov 2007 až 2008.

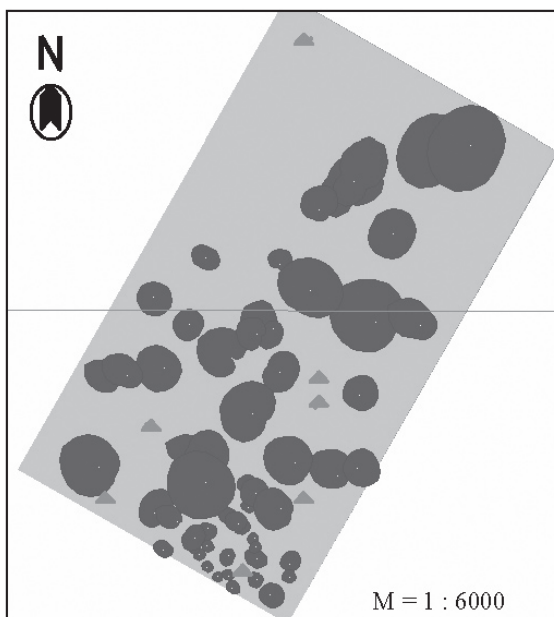
3. CHARAKTERISTIKA VÝSKUMNEJ PLOCHY A METODIKA

3.1. Charakteristika výskumnej plochy Červenec – Západné Tatry

Výskumná plocha Červenec sa nachádza v Západných Tatrách, v Jaloveckej doline v blízkosti chaty pod Náružím, alebo chaty na Červenci. Patrí do lesnej oblasti 47A – (Liptovské Tatry, Roháče, Červené vrchy, Liptovské kopy, Vysoké Tatry (bez Širokej)). Pôda je plytká bez väčších balvanov, ovplyvnená výrazným sklonom. Reliéf je vcelku pravidelný na mierne zvlnenom svahu. Z geologického hľadiska je územie pomerne homogénne. Hlavný hrebeň je zložený z kryštalickej horniny. Charakteristický je ich glaciálny reliéf, vytvorený štvrtohornými ľadovcami. Časti pohoria ktoré boli mimo dosahu ľadovcov majú hladký reliéf hôľneho typu. Západná časť Západných Tatier – Sivý vrch, Biela skala je budovaná z vápencov, zložená z rôznych triasových dolomitov a karbonátických hornín (STAROŇ 2008).

Plocha s výmerou 0,1 ha je situovaná v prestárлом rozpadajúcom sa poraste smreka a bola založená 21. 8. 2006, na severovýchodnej expozícii, so sklonom 65 %. Drevinové zloženie tvorí 100 % zastúpenie smreka. Zakmenenie porastu je výrazne redukované ($\rho = 0,6$). Priemerná výška stromov v dospelom poraste s priemerným vekom 110 rokov a priemernou hrúbkou 40,5 cm je 26,80 m. Mladina s priemerným vekom 20 rokov mala priemernú výšku 7 m a priemernú hrúbku 8 cm. Na ploche sa vyskytuje hustý podrast brusnice čučoriedkovej a pravej, v okrajových častiach aj podrast tráv a bylín, s pomiestnou prirodzenou obnovou najmä smreka a jarabiny vtácej. Na voľnej ploche

je početný výskyt ostružiny malinovej a vysokých tráv. Vizualizácia výskumnej plochy je spracovaná prostredníctvom SVS (Stand Visualization Software), vid' (Obr. 1). Stredová čiara znázorňuje vrstevnicu a zrážkomery na obrázku sú označené trojuholníkmi.



Obr. 1 Pohľad na výskumnú plochu Červenec zhora

Fig. 1 Overhead view on the monitored area

3.2. Metodika výskumnej práce

V lesnom prostredí padá zrážková voda najskôr na koruny stromov, odtiaľ na nižšiu krovitú alebo bylinnú vegetáciu a na rastlinný opad pokrývajúci pôdu. Dažďové kvapky zadržiavajú na rastlinnom povrchu molekulárne sily, pričom sa časť zadržiavanej vody odparí, iná časť postupne odkvapká alebo sa označuje ako intercepcia. V lesných geobiocenózach sa zvykne odlišovať intercepcia v korunovej vrstve od intercepce v podraсте a v opadanke. Na výskumnej ploche sme rozlišovali zrážky nasledovne: porastová medzera, skrop z korún, zrážky pri kmeni a zrážky v mladine (cez vegetačné obdobie).

Z biologického hľadiska sa intercepcia chápe ako súčasť neproduktívneho výparu, z hydrologického hľadiska ako súčasť celkového výparu v povodí. Ak predpokladáme, že lesný porast nedostáva okrem atmosférických zrážok žiadnu doplnkovú vlahu, môžeme intercepciu vyjadriť z jednoduchej rovnice (VALTÝNI 1986):

$$I_l = Z_b - (Z_k + S_k + Z_p)$$

I_l – intercepcia,

Z_b – zrážky nad korunami stromov (v bezlesí),

Z_k – zrážky prenikajúce cez koruny stromov,

S_k – stok zrážok po kmeňoch stromov,

Z_p – zrážky prenikajúce cez podrast, bylinnú pokrývku a opadanku.

So zreteľom na súčasné metódy merania zrážok intercepcia predstavuje v konkrétnom lesnom poraste súčet čiastkových rozdielov medzi množstvami zrážkovej vody na voľnej ploche a v poraste, ktoré sa zistia pri jednotlivých zrážkach. Zrážky na výskumnej ploche sme merali pomocou 13 zrážkomerov v dvojtýždňových intervaloch v letnom režime a so 4 zrážkomermi v mesačných intervaloch v zimnom období. Zrážky v mladine v zimnom období neboli merané.

Intercepcia sa vyjadruje v mm vodného stĺpca alebo v percentuálnom podiele zo zrážkového úhrnu nameraného na príslušnej voľnej ploche za určité obdobie. Výsledná hodnota býva spravidla kladná, ale môže byť aj záporná v prípade, že na pôdny povrch v lesnom poraste spadne viac zrážok ako v bezlesí; v tom prípade môže dôjsť k tzv. zápornej interpeccii.

Intercepciu v lese ovplyvňujú činitele, ktoré možno rozdeliť na tri skupiny (VALTÝNI 1986):

- Zrážky, ich množstvo a dĺžka trvania, resp. intenzita; dĺžky intervalov medzi jednotlivými zrážkami ako aj sezónne rozdelenie zrážok;
- Výparnosť, čiže schopnosť atmosférického prostredia odnímať vodu z povrchu rastlín;
- Lesný porast – veľkosť, druh a charakter jeho záchytného, resp. kondenzačného povrchu.

Zrážky veľkej intenzity rýchle prenikajú do vnútra korún, ktoré sa pri nich celé namočia a podieľajú sa na ich zachytení. Pri malej intenzite zrážok sa namočí len povrch a časť vnútra korún, pričom voda môže odkvapkávať z ich okrajov. Fázy intercepčného procesu sú uvedené v Tab. 1.

Tab. 1 Fázy intercepčného procesu pre kvapalné zrážky (KREČMER *et al.* 1981)

Tab. 1 Phases of interception process for precipitation (KREČMER *et al.* 1981)

1. fáza Začiatok vypadávania zrážok	Všetka zrážková voda zachytávaná vegetáciou je spotrebúvaná na zmáčanie záchytného povrchu až po hodnotu skropnej kapacity korún.
2. fáza Nasycovanie intercepčnej kapacity korunového priestoru	Časť zrážkovej vody už začína odkvapkávať a stekať po kmeňoch, časť je ešte zadržovaná vegetáciou.
3. fáza Fáza nasýtenej intercepčnej kapacity	Celý záchytný povrch je dokonale zmáčaný, všetky zrážky bez straty prenikajú cez korunovú vrstvu.

Na výskumnej ploche Červenec, tak ako aj na iných lesnícko-hydrologických objektoch, sme sa museli vyrovnáť so špecifickým problémom mimoriadne veľkej variability v prepúšťaní atmosférických zrážok korunovým priestorom porastu. Na čo najlepšie eliminovanie týchto problémov, ktoré viac či menej skresľujú výsledky merania bolo pri meraní množstva zrážok nutné dodržiavať zásady:

- v porastovej medzere starostlivo umiestniť zrážkomery, tak aby boli presne v strede porastovej medzery, tzn. aby hodnoty namerané na ňom neboli ovplyvňované napríklad skropom po korune, alebo inými faktormi, pri prípadnom posunutí zrážkomera mimo stredu porastového okna,
- v mieste merania (v porastovej medzere, zóna odkvapku z korún, pri kmeni a v mladine) umiestniť po tri zrážkomery, aby sa minimalizoval vplyv veľkej variability pri meraní úhrnov zrážok,
- pri zóne odkvapku z korún umiestniť zrážkomery starostlivo pod konce vetiev koruny, z toho dôvodu, aby boli zrážky, ktoré stekajú po korune čo najlepšie zachytávané do zrážkomerného prístroja,
- pri porastových zrážkach meraných pri kmeni umiestniť zrážkomery tak, aby čo najlepšie reprezentovali zrážkovú zónu pri kmeni, a aby boli čo najmenej ovplyvňované zrážkami z koruny,
- v mladine umiestniť tri zrážkomery na také pozície, ktoré čo najvýstižnejšie reprezentujú stav mladiny, aby sme mohli čo najpresnejšie zmerať vplyv mladiny pri dopade zrážok na lesnú pôdu,
- na voľnej ploche umiestniť zrážkomernú nádobu tak, aby zrážky do nej zachytávajúce sa neboli ovplyvňované okolitým porastom.

4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Hodnoty jednotlivých ročných úhrnov, množstvo zrážok podľa skupín merania (voľná plocha VP, porastová medzera PM, zóna odkvapku z korún KO a zrážky pri kmeni KM) a hodnoty priemerných interepcií sú v Tab. 2. Na Obr. 2 sú znázornené ročné úhrny zrážok a množstvo zachytených zrážok v jednotlivých miestach merania. Najväčší ročný

úhrn bol v roku 2007 s hodnotou 1 774 mm, nasledoval rok 2009 s úhrnom 1 241 mm a najnižší úhrn bol v roku 2009 s hodnotou 1 154 mm.

Naše hodnoty intercepcie v zóne odkvapu z korún sa pohybovali okolo 25 % a zhodujú sa s výsledkami z práce POBĚDINSKIJ, KREČMER (1984), ktorí uvádzajú, že dospelý plne zakmenený smrekový porast v nadmorskej výške 440 metrov zadržiava počas vegetačného obdobia v korunách 34 až 38 % zrážok voľnej plochy, zatiaľ čo obdobný porast v nadmorskej výške 960 metrov v Orlických vrchoch vykázal vo vegetačnom období len 28 % zrážok z voľnej plochy.

Tab. 2 Celkové úhrny podkorunových zrážok a %-tá intercepcií za jednotlivé roky
Tab. 2 Throughfall Amounts and percentage interception per years

Skupiny merania	Rok	Zrážkový úhrn [mm]	Intercepcia [%]
Porastová medzera (PM)	2007	1 209	34
	2008	877	25
	2009	1 053	23
Zóna odkvap (KO)	2007	1 313	27
	2008	922	29
	2009	1 154	25
Zrážky pri kmeni (KM)	2007	695	62
	2008	441	69
	2009	551	66
Zrážky VP	2007	1 774	
	2008	1 241	
	2009	1 394	

Najviac zachytených zrážok bolo počas troch rokov v zóne pri kmeni, čomu zodpovedá priebeh transformácie zrážok do tohto priestoru, keď všetka zrážková voda zachytávaná asimilačnými orgánmi je spotrebúvaná na zmáčanie záchytného povrchu až po hodnotu skropnej kapacity korún. Následne začína dochádzať k prepadu zrážok cez korunový priestor. Intercepcia v zóne pri kmeni (Obr. 5) mala podobný priebeh počas celého merania, ich hodnoty sa pohybovali okolo 60 %. Najvyššia hodnota intercepcie v tomto priestore bola v roku 2007 v mesiaci apríl (90 %), kedy bol zaznamenaný najnižší zrážkový úhrn o hodnote 6,2 mm na voľnej ploche. V zóne odkvapu z korún bola intercepcia zrážok v roku 2009 až 460 mm, v roku 2008 to bolo 318 a v roku 2007 240 mm. Ak vyjadríme intercepciu ako percentuálny dopočet zachytených zrážok do zrážok na voľnej ploche, tak najvyššia intercepcia v zóne odkvapu z korún bola v roku 2008 29 % pri zachytených zrážkach 318 mm, hoci v roku 2007 bolo zachytených až 460 mm. Čo predstavovalo len 27 %. Tu zohral svoju úlohu vysoký ročný úhrn v tomto roku. V rokoch 2008 a 2009 boli

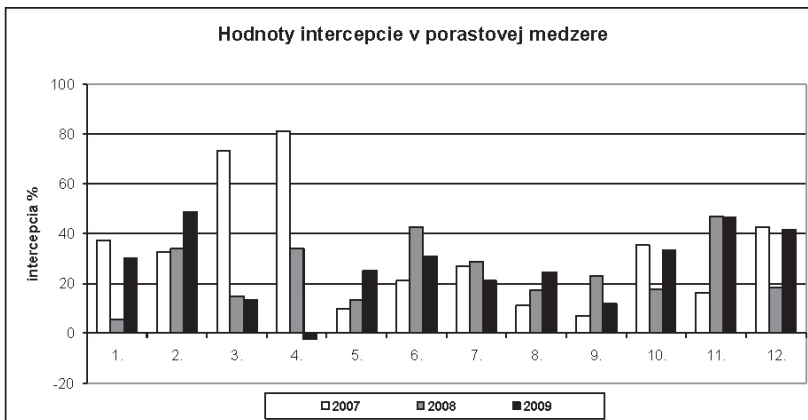
úhrny zrážok pomerne vyrovnané, ale intercepcia v roku 2009 bola o 4 % nižšia v zóne odkvapů z korún.



Obr. 2 Úhrny zrážok (voľná plocha, porastová medzera, zóna odkvapů z korún, zóna pri kmeni) a množstvo intercepcie (mm) v rokoch 2007–2009

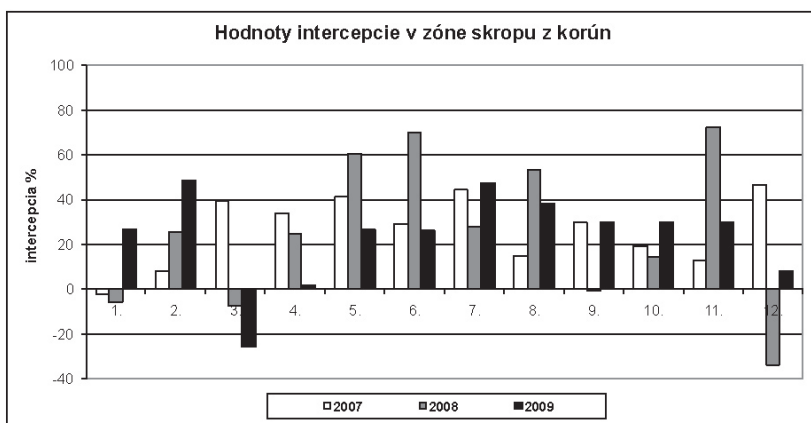
Fig. 2 Total precipitation (open area, canopy gap, dripping zones, dense branches near the tree trunks) and volume of interception (mm) in years 2007–2009

Priemerné mesačné hodnoty intercepcie za jednotlivé roky sú zobrazené na Obrázku 3 až 6. Hodnoty intercepcie boli vyhodnotené nasledovne: v porastovej medzere, v zóne odkvapů z korún, pri kmeni a v mladine, pričom hodnoty v mladine boli merané len cez vegetačné obdobie, čiže tieto hodnoty sú do určitej miery podhodnotené. Najvyššie hodnoty v zóne odkvapů z korún (Obr. 4) dosahovala intercepcia v letných mesiacoch, najviac to je viditeľné v roku 2008 až nad 60 %, kedy boli v mesiacoch máj–august zaznamenané nízke úhrny zrážok. Záporné hodnoty intercepcie boli v zóne odkvapů z korún (Obr. 4) v roku 2008 a 2009 v jarnom a zimnom období (v roku 2009 neboli zaznamenané), kedy dochádza aj k „vyčesávaniu“ zrážok asimilačným aparátom stromov. Výskumná plocha Červenec sa na základe výskytu hmiel nachádza v oblasti č. IV. Oblať tohto typu je oblať horských advektívnych hmiel. Môže platiť, že hmly v tejto oblasti majú dynamický charakter, a že s nadmorskou výškou rastie počet dní s hmlou – platí priemerná hodnota 20 dní s hmlou na 100 m nadmorskej výšky (MINĎÁŠ, ŠKVARENINA 1995). Pri hodnotení intercepcie v porastovej medzere (Obr. 3) sme nezaznamenali zápornú hodnotu. Aj pri tomto mieste merania je však viditeľný vplyv okolitých stromov tohto priestoru v poraste na hodnoty intercepcie. Intercepcie boli spravidla vyrovnané a hodnoty zodpovedali charakteru a zrážok v priebehu jednotlivých mesiacov v rokoch.



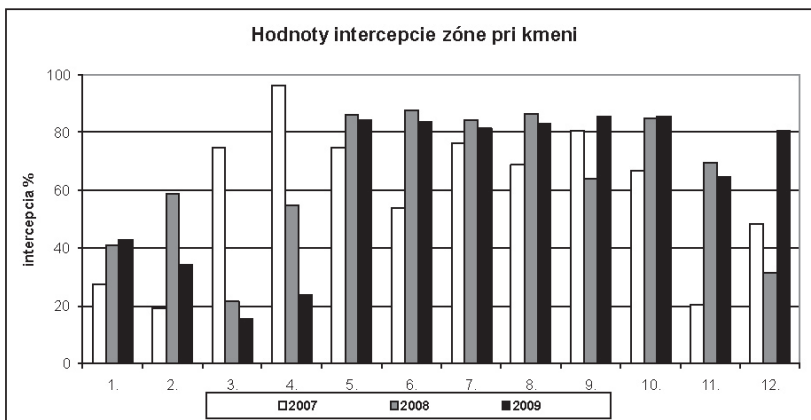
Obr. 3 Hodnoty interepcií v porastovej medzere

Fig. 3 Values of interception in canopy gap



Obr. 4 Hodnoty intercepcií odkvapů z korún

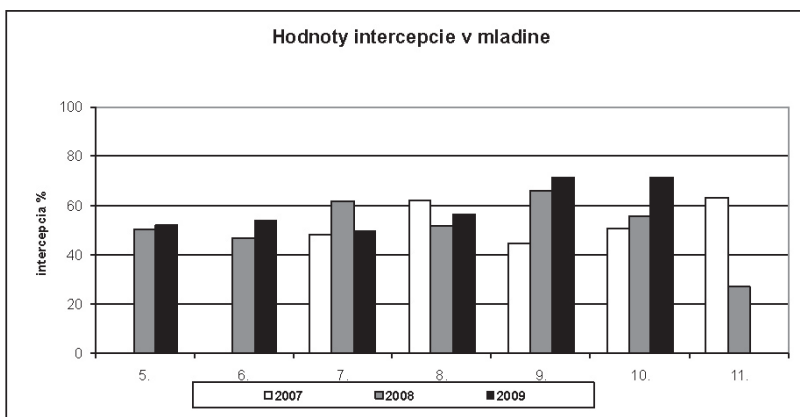
Fig. 4 Values of interception in the dripping zones



Obr. 5 Hodnoty interepcií v zóne pri kmeni

Fig. 5 Values of interception in the dense branches near the tree trunks

Vo vegetačnom období sme merali úhrny zrážok a zisťovali hodnoty intercepce aj v mladine (Obr. 6.). Hodnoty boli vo všetkých troch rokoch pomerne vyrovnané, v priemere sa hodnoty pohybovali okolo 40%, zodpovedá to aj štádiu vývoja mladiny vo vysokohorskom prostredí.



Obr. 6 Hodnoty interepcií v mladine

Fig. 6 Values of interception in the understorey of young trees

Tab. 3 Prehľad intercepcie, podkorunových zrážok a stoku po kmeni rôznych autorov (v % zrážok voľnej plochy) ako uvádza KANTOR 1981, v doplnení o práce Mindáša *et al.* 2001, LANČARIČA *et al.* 2001, STAROŇ 2008 a OREŇÁK 2009

Tab. 3 Overview of the interception, troughfall, and the zone near the tree-trunks – according to various authors (in percentage of total precipitations for the free area), as shown in article of KANTOR 1981, supplemented by articles of MINĐÁŠ *et al.* 2001, LANČARIČ *et al.* 2001, STAROŇ 2008 a OREŇÁK 2009

Smreková kmeňovina			
Autori	Intercepcia (%)	Podkorunové zrážky (%)	Stok po kmeni (%)
Benecke (1978)	28		
Eidman (1961)	26	73	1
Hueveldop (1973)	40		
Krečmer (1971b, 1972, 1973)	27 (bez hmly)	72	1
Molčanov (1960)	31	68,5	0,5
Mitscherlich (1971)	33,5	65	1,5
Rajev (1977)	29		
Serafimov (1974)	26	73	1
Válek (1977)	40	58	2
Weihe (1973)	33	66,5	0,5
Zelený (1967, 1971)	29 (bez hmly)	69	2
Mindáš et al. (2001)	29	70	1
Lančarič (2001)			
– 1 500 m n. m.	26,1		
– 1 450 m n. m.	19		
Staroň (2008) – 1 420 m n. m.			
– porastová medzera	17	83	
– zóna odkvapů	22	78	
– zóna pri kmeni	67	33	
– mladina	46	54	
Oreňák (2009) – 1 420 m n. m.			
– porastová medzera	27	73	
– zóna odkvapů	27	73	
– zóna pri kmeni	62	38	
– mladina	39	61	

Porovnanie našich výsledkov s najvýznamnejšími prácami týkajúcich sa intercepcie smrek a u nás a vo svete podáva prehľadovú tabuľku (Tab. 3). Potvrdzuje, že naše výsledky dobre korešpondujú s inými prácami, najmä z horských oblastí ako MINĐAŠ *et al.* (2001), ako aj s prácou LANČARIČA *et al.* (2001) z Nízkych Tatier.

5. ZÁVER

Výskum prináša výsledky z hodnotenia meraní vertikálnych kvapalných zrážok, kvapalných podkorunových zrážok a interepcií v horských smrečinách Západných Tatier. Cieľom vyhodnocovania bolo objasniť zrážkovo intercepčné procesy voľnej plochy a v podkorunovej zóne na výskumnej ploche Červenec 1 420 m n. m. a ich vzájomné porovnanie.

Dôležitú úlohu v transformácii zrážkovej vody na odtok majú práve lesy v horských oblastiach z dôvodu narastania úhrnov zrážok s nadmorskou výškou a veľkej energie reliéfu. V procese transformácie zrážok zohráva významnú úlohu interepcia – zadržiavanie zrážkovej vody v korunách drevín a krov a v prízemnej bylinnej vegetácii.

Ďalej sme porovnávali zrážkové úhrny voľnej plochy a podkorunových zrážok plochy Červenec s následným vyhodnotením intercepcie. Veľkú pozornosť sme venovali práve hodnotám intercepcie, porovnávaniu rozdielov intercepčných strát v jednotlivých skupinách merania podkorunových zrážok. Merania vyhodnocujeme za roky 2007, 2008, 2009 a určité hodnoty len za vegetačné obdobie (meranie v mladine).

Z výskumu vyplynuli nasledovné závery: Úhrny zrážok z roku 2007 predstavovali na voľnej ploche 1 774 mm, v roku 2008 – 1 241 mm, čo bol najnižší úhrn za sledované obdobie a v roku 2009 to bolo 1 394 mm. Porastové úhrny zrážok sa pohybovali v roku 2007 od 695 mm pri kmeni do 1 313 mm v zóne odkvapu z korún. V roku 2008 od 441 mm do 922 mm a v roku 2009 od 551 mm do 1 154 mm v závislosti od umiestnenia zrážkomera v podkorunovom priestore. Hodnoty úhrnov zrážok v mladine boli v oboch hydrologických rokoch približne 450 mm, ale treba pripomenúť, že meranie zrážok v mladine prebiehalo len počas vegetačného obdobia.

Interepcia v roku 2007 predstavovala v ročnom priemere v podkorunovom priestore podľa jednotlivých bodov odberu nasledovné hodnoty: porastová medzera 34 %, zóna odkvapu 27 %, zóna pri kmeni 62 % a v mladine 46 %. V roku 2008 predstavovala v ročnom priemere podľa jednotlivých bodov odberu nasledovné hodnoty: porastová medzera 25 %, zóna odkvapu 29 %, zóna pri kmeni 69 % a v mladine 45 %. V roku 2009 boli hodnoty intercepcie: porastová medzera 23 %, zóna odkvapu 25 %, zóna pri kmeni 66 % a v mladine 44 %. Bolo preukázané, že veľkosť intercepcie značne závisí od množstva, intenzity zrážok a hustoty podkorunového priestoru. Najmenšia interepcia bola zaznamenaná v jesennom období a v skorom jarnom období. Toto bolo predovšetkým spôsobené väčším vypadávaním zrážok (množstvo, doba trvania) oproti ostatným ročným obdobiam. Naopak v čase slabšieho vypadávania zrážok dosahujú interepcie väčšie hodnoty. To je spôsobené najmä tým, že značná časť spadnutých zrážok bola spotrebovaná na nasýtenie korunového priestoru.

Pod'akovanie:

Autori ďakujú za podporu grantovej agentúry VEGA MŠ SR projekty č. 1/0515/08, 1/4393/07 a práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0022-07.

Literatúra

1. AUSSÉNAC, G., 1969: Influences du couvert forestier sur les précipitations. *Revue forest. franc.*, 21, č. 7, 135–156 s.
 2. HOLKO, L. – ŠKVARENINA, J. – KOSTKA, Z. – FRIČ, M. – STAROŇ, J. 2009: Impact of spruce forest on rainfall interception and seasonal snow cover evolution in the Western Tatra Mountains, Slovakia. *Biologia*, vol. 64, no. 3, 594–599 s.
 3. KANTOR, P., 1981: Intercepce horských smrkových a bukových porostů, *Vědecký časopis*, roč. 27, č. 2, 171–189 s.
 4. KREČMER, V. – FOJT, V. – HYNČICA, V. 1981: Intercepční proces ve smrkových porostech, *Vodohosp. Čas.*, roč. 29, č. 6, 593–661 s.
 5. LANČARIČ P., MINĐÁŠ J., ŠKVARENINA J., 2001: Intercepčia lesných porastov v horskom povodí Nízkyh Tatier. In: *Bioklimatologické pracovné dni 2001: Extrémy prostredia (počasie) – limitujúce faktory bioklimatologických procesov*, medzinárodná konferencia, Račková dolina, 10.–12. 9. 2001, 10 s.
 6. MINĐÁŠ, J., ŠKVARENINA, J., 1995: Výskyt a charakteristika hmiel na Slovensku v období 1971–1989. *Meteorologické zprávy*, roč. 48, č. 5, Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene, 135–139 s.
 7. MINĐÁŠ J., ŠKVARENINA J., STŘELCOVÁ, K., 2001: Význam lesa v hydrologickom režime krajiny. *Životné prostredie XXXV*, (3), 146–151 s.
 8. Lesný hospodársky plán LHP Bobrovec, 2007–2016, Dielec 214.
 9. OREŇÁK, M., 2009: Intercepčia horských smrečín Západných Tatier. Diplomová práca, Lesnícka fakulta TU vo Zvolene, 72 s.
 10. POBĚDINSKIJ, A. V. – KREČMER V. 1984: Funkce lesů v ochraně vod a půdy, *Státní zemědělské nakladatelství*, Praha, 256 s.
 11. STAROŇ, J., 2008: Zrážkovo intercepčný proces horských smrečín Západných Tatier. Diplomová práca, Lesnícka fakulta TU vo Zvolene, 74 s.
 12. STŘELCOVÁ, K., ŠKVARENINA, J., 2005: Bioklimatológia a meteorológia. *Návody na cvičenia*, TU Zvolen, 139 s.
 13. TUŽINSKÝ, L., 1990: Bioklimatológia. *Vysokoškolské učebné texty*, Vydavateľstvo Tecnickej univerzity vo Zvolene 140 s.
 14. VALTÝNI, J., 1986: Vodohospodársky a vodoochranný význam lesa. *Lesnícke štúdie VÚLH* vo Zvolene, 68 s.
 15. ZLATNÍK, A., 1976: *Lesnícká fytoecnologie*. SZN, Praha, 495 s.
-

Adresa autorov:

Ing. Marek Oreňák

Ing. Michal Frič

prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc.

Katedra prírodného prostredia

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 20

960 53 Zvolen

e-mail: marek.oren@centrum.sk

fricmichal@gmail.com

jarosk@vsld.tuzvo.sk

Zhodnotenie intercepce zrážok prirodzenej horskej smrečiny

Abstrakt

Práca je zameraná na zhodnotenie zrážkového a intercepčného procesu v smrekovom poraste horských polôh počas nami sledovaného obdobia. Meranie vertikálnych a podkorunových zrážok prebieha v Západných Tatrách na lokalite Červenec v nadmorskej výške 1 420 m n. m. V práci sú zhodnotené merania od roku 2007–2009 aj počas vegetačných období. Podkorunové zrážky sú monitorované nasledovne: meranie v porastovej medzere, meranie v zóne odkvapu povrchu korún, porastové zrážky pri kmeni a v mladine. Hlavným cieľom je získať priebeh a úhrny horizontálnych a vertikálnych zrážok počas sledovaného obdobia a zistiť vplyv korunového priestoru porastu na veľkosť dopadnutých zrážok na pôdu. Vplyv porastu na zrážkové úhrny sme vyjadrili prostredníctvom intercepcií, podľa skupín merania porastových zrážok. Vo výsledkoch sa potvrdil významný vplyv porastu na dopadnuté zrážky v podobe ich intercepce a taktiež veľmi rozdielne hodnoty intercepcií v podkorunovom priestore v závislosti od hustoty a stavu porastu.

Kľúčové slová: úhrn zrážok, podkorunové zrážky, intercepčia, horské smrečiny, Západné Tatry

CHARAKTERISTIKY VODNÉHO REŽIMU SADENÍC SMREKA V PODMIENKACH STRESU SUCHOM

Dana KOVALČÍKOVÁ – Daniel KURJAK –
– Katarína STŘELCOVÁ – Ľubica DITMAROVÁ

Kovalčíková, D., Kurjak, D., Střelcová, K., Ditmarová, Ľ.: Water regime characteristics in spruce seedlings in conditions of container experiment. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 57–70.

The aim of the presented work was evaluation of meteorological characteristics effect on transpiration intensity and needle water potential of 4 years old spruce seedlings (*Picea abies*, L.) in conditions of progressing drought. The controlled container experiment was established in august 2009. Seedlings were divided into 3 groups with 6 repeats in relations to irrigation level (control, mild stress, severe stress). Decreasing dependence of transpiration intensity on vapour pressure deficit (VPD) was recognized in conditions of drought stress. Whereas 69–91% of effect was caused by VPD in relation to variant at the beginning of experiment, only 22% was caused by VPD in severe stress seedlings at the end of experiment. The needle water potential was additional characteristic expressing influence of drought on the physiological state of spruce seedlings. The values of very strong stress (–2,3 MPa) in needle water potential were achieved already on 20th day without irrigation in severe stress seedlings. The transpiration intensity and needle water potential as physiological responses of spruce seedlings were compared. The higher sensitivity of needle water potential to drought stress and its lower ability to recover after resupplement of water in soil flow from results of container experiment.

Keywords: drought. *Picea abies*, water potential, transpiration

1. ÚVOD A PROBLEMATIKA

Smrek obyčajný (*Picea abies*, Karst. L.) predstavuje svojím zastúpením (25,7 %) našu najrozšírenejšiu ihličnatú drevinu (KOLEKTÍV 2009). Jedným z najdôležitejších faktorov, ktoré podmieňujú jeho rast, rozšírenie a zdravotný stav na našom území je voda. Na extrémne suchu reaguje pomerne citlivo, preto je identifikácia symptómov a následkov pôsobenia sucha z hľadiska jeho ďalšieho vývoja mimoriadne významná.

Trend klimatických zmien za posledných 100 rokov signalizuje stály pokles sumy ročných atmosférických vodných zrážok a pokles ročných priemerov relatívnej vlhkosti vzduchu (MISTRIK *et al.* 2002). Kombinácia nízkej dostupnosti pôdnej vody a vysokého sýtostného doplnku vodnej pary je často považovaná za indikáciu stresu suchom (VERBEEK *et al.* 2007). Zrážky tvoria spolu s ostatnými klimatickými faktormi v určitých optimálnych hraniciach nevyhnutné predpoklady pre rozšírenie, rast a vývoj lesných

ekosystémov. Reakcia drevín na rôzne odchýlky klímy mimo týchto hraníc je podmienená hlavne intenzitou, frekvenciou a dobou trvania klimatických odchýlok v danej oblasti a charakteristikou drevín a stanovišťa (ŽURSÝ, MIKOVÁ 2003).

Naše dreviny, predstavitelia homoiohydrických rastlín, sú schopné vegetovať iba v trvale vlhkých podmienkach. Preto boli nútené vytvoriť si ako ochranu pred stratou vody kutikulu, prieduchy, resp. bohatú koreňovú sústavu. Vďaka týmto adaptačným štruktúram je veľká skupina rastlín schopná udržiavať základný protoplast v metabolickej aktivite aj pri náhlych zmenách pôdnej, resp. vzdušnej vlhkosti (MARENČÍK 1999). Rastliny si vytvorili veľa ďalších domyselných adaptácií na ekonomické hospodárenie s vodou. Napríklad ihličnaté dreviny majú v dutine prieduchov pórovitú voskovú zátku, ktorá znižuje možnú difúziu vodnej pary na jednu tretinu (LARCHER 1988).

Je známe, že charakteristiky vychádzajúce zo stavu vody v rastline sú často spoľahlivejšie, než údaje o stave vody v prostredí. Významnou veličinou, vyjadrujúcou stav vody v rastline je vodný potenciál. Sledovaním zmien vodného potenciálu ihlič smreka následkom simulovaného sucha v podmienkach nádobového pokusu sa vo svojich prácach zaoberali napr. DITMAROVÁ *et al.* (2010) a KURJAK (2009). SELLIN (1998) študoval závislosť vodného potenciálu vetvičiek smreka od vzdušnej a pôdnej vlhkosti v zhoršujúcich sa podmienkach sucha.

Pri bežných mezofilných druhoch rastlín hodnoty vodného potenciálu listov do $-0,5$ MPa indukujú mierny stres, $-0,5$ až $-1,5$ MPa stres stredne silný a pri hodnotách pod $-1,5$ MPa ide o stres veľmi silný (PROCHÁZKA *et al.* 2003). Za hranicu znižovania vodného potenciálu koreňov lesných drevín sa považuje hodnota -3 MPa (LARCHER 1988).

Ak vodný potenciál asimilačných orgánov klesá, môžu nastať vážne metabolické zmeny a to zvlášť pri drevine citlivej na vodný stres, akou je smrek. Nevýhodou smreka je tiež nedostatočná schopnosť mobilizovať pri veľkom vodnom deficite rezervy organických látok v starších orgánoch a presunúť ich do mladších (PRIWITZER *et al.* 2003). Na zvýšenie citlivosti smreka na stres suchom poukazuje i GARTNER *et al.* (2009).

Transpirácia je považovaná za najvýznamnejšiu zložku vodnej bilancie porastov. MATEJKA *et al.* (1999) sa zaoberali štruktúrou evapotranspirácie 20-ročnej vrcholovej smrekovej monokultúry. Podiel transpirácie na evapotranspirácii predstavoval v období jún až október od 72,7 % v zamračených dňoch po 88,6 % v jasných dňoch.

Práce viacerých autorov potvrdzujú priame prepojenie sucha a transpirácie (CIENCIALA *et al.* 1999, MATEJKA *et al.* 2002). Pri dostatočne vlhkej pôde je transpirácia určená hlavne atmosférickými podmienkami, na prvom mieste je teplota a vlhkosť vzduchu. Tiež ožiarenie pôsobí kladne na rýchlosť transpirácie (KINCL, KRPEŠ 2000). LARCHER (1988) uvádza oneskorenie zmien intenzity transpirácie o 1–2 hodiny za zmenami v intenzite žiarenia. Pri vysychajúcej pôde a dehydratácii pletív sa prieduchy uzatvárajú, čím je transpirácia redukovaná (PRIWITZER *et al.* 2003). BALÁŽ *et al.* (2005) potvrdzujú na základe denného chodu hrúbkového prírastku smreka predpoklad, že pri vodnom strese nedokáže drevina dostatočne chladiť svoje pletivá tokom vody, ktorý je redukovaný.

Plytko koreniace druhy, medzi ktoré patrí i smrek, reagujú na suchu zmenou transpirácie ako prvé, ak však sucho prežijú, môžu obnoviť transpiráciu po zrážkach rýchlejšie (PRIWITZER *et al.* 2003). Vertikálnou a horizontálnou redistribúciou vody v koreňoch smreka

prostredníctvom merania transpiračného prúdu v koreňoch sa zaoberala NADEZHDINA (2006). Prijem vody koreňmi rastlín je v našich podmienkach optimálny pri teplote pôdy 25–30 °C a pri 60–80 % vyplnení objemu pôdných kapilár vodou (PENKA 1985).

Pri meraní transpirácie celých stromov sa vychádza z predpokladu, že množstvo vody prijatej koreňovým systémom, transportovanej xylémom a transpirovanej asimilačnými orgánmi je zhodné, pri dostatočnom časovom intervale, pri nemeniacom sa obsahu vody v rastline a pri zanedbaní spotreby vody na rast stromov (KAUFMAN, KELLIHER 1991). Rastlina spotrebuje na tvorbu novej hmoty asi 0,5 % a menej prijatej vody a zvyšok na doplnenie vyparenej alebo v kvapalnom skupenstve uvoľnenej vody (KINCL, KRPEŠ 2000). Stanovením transpirácie na základe metódy tepelnej bilancie sa v dospelom smrekovom poraste zaoberali ČERMÁK, KUČERA (1987). Vplyv sucha na transpiráciu smreka vo vzťahu k prebierkam vo svojich prácach opisuje LAGERGREN (2008).

Nedostatok vody výrazne limituje fyziologickú aktivitu lesných drevín a tvorbu biomasy. V prevažnej miere závisí od meteorologických podmienok prostredia, ale dôležitú úlohu zohrávajú aj vlastnosti tolerancie a odolnosti drevín voči suchu. Preto je dôležité poznať a identifikovať kritické pôsobenie deficitu vody vyvolávajúce stresový stav u drevín.

Cieľom práce bolo zhodnotenie reakcie sadeníc smreka cez proces transpirácie a hodnoty vodného potenciálu ihlíc v rôznych režimoch zavlažovania a prehlbiť tak poznatky o fyziologickej odozve smreka na simulované suchu.

2. MATERIÁL A METÓDY

Pre štúdium reakcií sadeníc smreka na simulované suchu v pôde sme založili riadený nádobový pokus. Štvorročné sadenice smreka sme pestovali v pôdnom substráte, v 5-litrových nádobách. Po zamedzení prístupu zrážok a výparu vody z pôdy bola jediným zdrojom vody pre sadenice zálievka a jedinou výdajovou zložkou vodnej bilancie prostredia sadeníc transpirácia.

Sledované sadenice smreka boli rozdelené do 3 skupín z hľadiska zabezpečenia zásoby vody v pôde: 6 jedincov kontroly (K) – zavlažované v pravidelných intervaloch, 6 jedincov mierne suchom stresovaných (MS) – jedna zálievka za pozorovacie obdobie, 6 jedincov silne suchom stresovaných (SS) – bez zálievky. Prehľad plánu zalievania sadeníc a meraní je uvedený v tab. 1 a tab. 2.

Intenzitu transpirácie sme zisťovali gravimetrickou metódou. Pre zistenie meniacej sa závislosti transpirácie od podmienok prostredia v podmienkach postupujúceho sucha sme vyhodnotili tri dni (20. 8., 3. 9. a 10. 9. 2009), v rámci ktorých sme sledovali dennú dynamiku intenzity transpirácie. Hodnoty transpirácie sme zaznamenávali v hodinových intervaloch od 7. do 19. hodiny. Deň 20. 8. (7. deň pokusu) znamenal 7. deň bez zavlažovania pre varianty MS a SS. Deň 3. 9. (21. deň pokusu) bol 21. deň bez zavlažovania pre variant SS a 6. deň bez zavlažovania pre sadenice variantu MS, ktoré boli 28. 8. zavlažené. Deň 10. 9. znamenal pre variant MS 13. a pre variant SS 28. deň bez zavlažovania. Na meranie vodného potenciálu ihlíc (Ψ_w) sme použili prístroj PSY-PRO (WESCOR, USA), pracujúci na princípe psychrometrickej metódy. Kontinuálny záznam vlhkosti a teploty vzduchu sme zabezpečili zariadením Minikin TH a globálnej radiácie zariadením Minikin RT (EMS

Brno CZ). Vizualizáciu a spracovanie meteorologických charakteristík sme realizovali v MINI 32 software (EMS Brno, ČR). Po ukončení nádobového pokusu sme vykonali analýzu biometrických veličín jednotlivých sadeníc. Asimilačnú plochu ihlíc smreka sme stanovili prostredníctvom programu Černota (KALINA, SLOVÁK 2004) a následne sme vypočítali intenzitu transpirácie na jednotku asimilačnej plochy. Na stanovenie sýtostného doplnku sme použili Magnusonov vzorec (KOLEKTÍV 1993). Štatistické analýzy sme realizovali pomocou programového balíka Statistica 7 (jednofaktorová analýza variancie, Duncanove párové testy).

Tab. 1 Prehľad meraní a zavlažovania sadeníc počas obdobia experimentu (mesiac august)

Tab. 1 Schema of measurements and irrigations of seedlings during experiment (month August)

		august 2009																	
dátum ¹		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
úkon ⁴	zaliatie MS ²																		
	zaliatie K ³																		
	ITR																		
	Ψ _w																		

ITR – intenzita transpirácie (gravimetrická metóda), Ψw – vodný potenciál ihlíc (psychometrická metóda)

ITR – intensity of transpiration (gravimetrical method), Ψw – needle water potential (psychometrical method)

date¹, irrigation of mild water stress seedlings², irrigation of control water stress seedlings³, action⁴

Tab. 2 Prehľad meraní a zavlažovania sadeníc počas obdobia experimentu (mesiac september)

Tab. 2 Schema of measurements and irrigations of seedlings during experiment (month September)

		september 2009									
úkon	dátum ¹	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	zaliatie MS ²										
	zaliatie K ³										
	ITR										
	Ψw										

ITR – intenzita transpirácie (gravimetrická metóda), Ψw – vodný potenciál ihlíc (psychometrická metóda)

ITR – intensity of transpiration (gravimetrical method), Ψw – needle water potential (psychometrical method)

date¹, irrigation of mild water stress seedlings², irrigation of control water stress seedlings³, action⁴

3. VÝSLEDKY

V rámci zisťovania vplyvu sucha na zmenu intenzity transpirácie počas dňa (obr. 1–3) vo vzťahu k meteorologickým faktorom (tab. 3) boli vyhodnocované nasledovné dni:

Tab. 3 Hodnoty meteorologických charakteristík

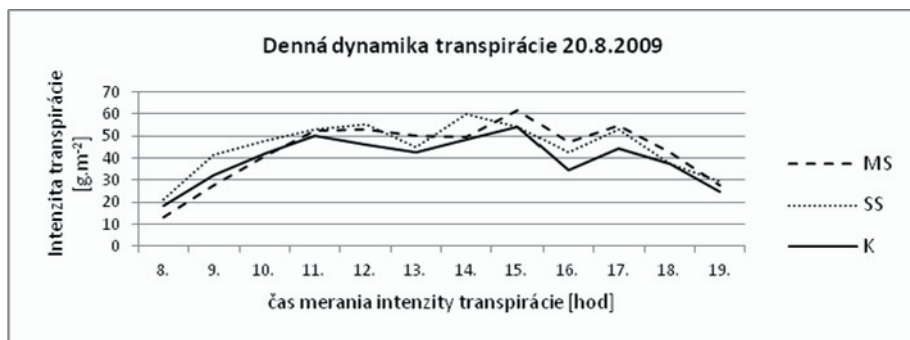
Tab. 3 Values of meteorological characteristics

dátum ¹	GR [Wh.m ⁻²]	TA [°C]		RWH [%]	VPD [Pa]
	suma ²	max. ³	priemer ⁴	priemer	max. ³
20. 8. 2009	5 204	35	22	58	4 464
3. 9. 2009	3 535	31	22	69	2 835
10. 9. 2009	3 344	31	18	74	2 976

GR – globálna radiácia, TA – teplota vzduchu, RWH – relatívna vlhkosť vzduchu, VPD – sýtosťný doplnok

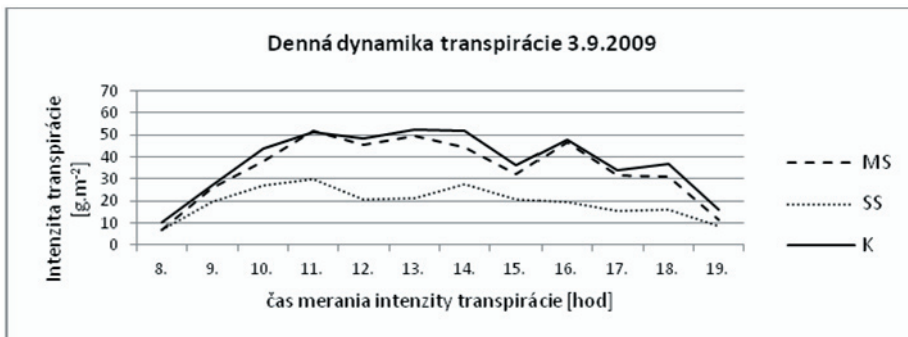
GR – global radiation, TA – air temperature, RWH – relative air humidity, VPD – vapour pressure deficit

date¹, total², maximum³, mean⁴



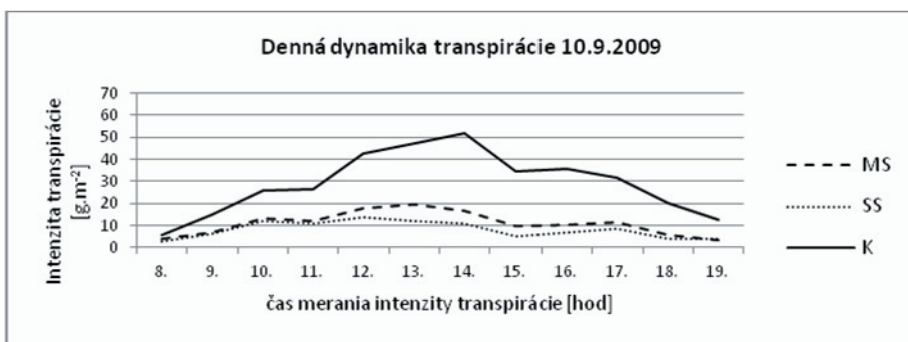
Obr. 1 Denná dynamika priemernej intenzity transpirácie pre rôzne varianty zavlaženia na 7. deň pokusu: K (kontrola), MS (mierny stres), SS (silný stres) stanovená gravimetrickou metódou

Fig. 1 Daily dynamic of mean transpiration intensity for different variants of irrigation at 7th day of experiment: K (control), MS (mild stress), SS (severe stress) evaluated by gravimetrical method



Obr. 2 Denná dynamika priemernej intenzity transpirácie pre rôzne varianty zavlaženia na 21. deň pokusu: K (kontrola), MS (mierny stres), SS (silný stres) stanovená gravimetrickou metódou

Fig. 2 Daily dynamic of mean transpiration intensity for different variants of irrigation at 21st day of experiment: K (control), MS (mild stress), SS (severe stress) evaluated by gravimetrical method



Obr. 3 Denná dynamika priemernej intenzity transpirácie pre rôzne varianty zavlaženia na 28. deň pokusu: K (kontrola), MS (mierny stres), SS (silný stres) stanovená gravimetrickou metódou

Fig. 3 Daily dynamic of mean transpiration intensity for different variants of irrigation at 28th day of experiment: K (control), MS (mild stress), SS (severe stress) evaluated by gravimetrical method

Rozdiel hodnôt intenzity transpirácie medzi všetkými 3 variantmi sa na 7. deň pokusu ukázal ako štatisticky nevýznamný. V 21. deň pokusu sa prejavil štatisticky významný rozdiel medzi variantmi MS a SS a medzi variantmi SS a K. Hodnoty variantu MS a K sa signifikantne neodlišovali, vzhľadom na zavlaženie variantu MS na 15. deň pokusu. Na 28. deň pokusu sa variant K významne líšil od variantov MS a SS. Rozdiel medzi variantmi MS a SS sa ukázal ako štatisticky nevýznamný (tab. 4).

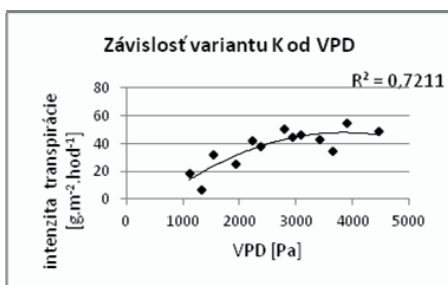
Tab. 4 Priemerné hodnoty dennej intenzity transpirácie ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hod}$) a analýza variancie
 Tab. 4 Mean values of daily transpiration intensity ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hour}$) and analysis of variation

deň merania ¹	20. 8.	3. 9.	10. 9.
MS ²	43,31 a	34,64 a	10,84 b
SS ³	45,02 a	19,37 b	8,18 b
K ⁴	39,64 a	37,96 a	29,06 a
R ² [%]	0,036146	0,318363	0,532789
F	0,618781	7,706424	18,81598
p	0,544733	0,001793	0,000004

date of measurement¹, mild water stress seedlings², severe water stress seedlings³, control seedlings⁴

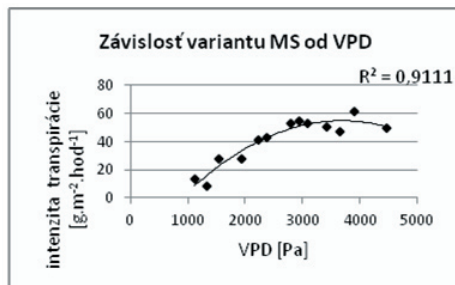
Závislosť intenzity transpirácie od meteorologických charakteristík dňa 20. 8. 2009

Na 7. deň pokusu (20. 8. 2009) sa prejavila pomerne vysoká závislosť všetkých troch variant od hodnôt VPD. Koeficient determinácie udáva, že 69–91 % sa môže pripísať vplyvu VPD (obr. 4–6, tab. 5).



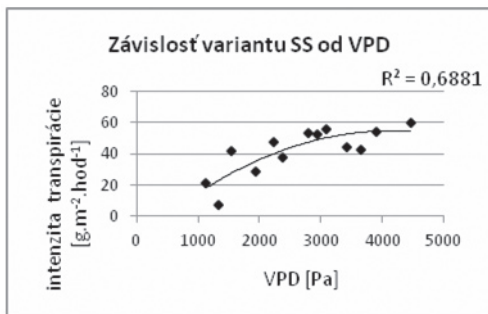
Obr. 4 Závislosť transpirácie jedincov variantu kontrola od sýtostného doplnku (VPD) dňa 20. 8. 2009

Fig. 4 Dependence of transpiration in control seedlings on vapour pressure deficit at August 20, 2009



Obr. 5 Závislosť transpirácie jedincov variantu mierny stres od sýtostného doplnku (VPD) dňa 20. 8. 2009

Fig. 5 Dependence of transpiration in mild stress seedlings on vapour pressure deficit at August 20, 2009



Obr. 6 Závislosť transpirácie jedincov variantu silný stres od sýstostného doplnku (VPD) dňa 20. 8. 2009

Fig. 6 Dependence of transpiration in severe stress seedlings on vapour pressure deficit at August 20, 2009

Tab. 5 Výsledky regresnej a korelačnej analýzy

Tab. 5 Results of regression and correlation analysis

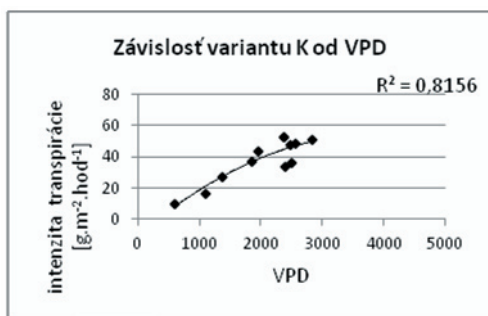
dátum ¹	nezávislá ²	závislá ³	n ⁴	regresná rovnica ⁵
20. 8. 2009	VPD	ITR (K)	13	$y = -5E-06x^2 + 0,0348x - 19,189$
	VPD	ITR (MS)	13	$y = -7E-06x^2 + 0,0513x - 40,051$
	VPD	ITR (SS)	13	$y = -4E-06x^2 + 0,0334x - 14,281$

VPD – sýstostný doplnok, ITR – intenzita transpirácie variantov: K – kontrola, MS – mierny stress, SS – silný stres

VPD – vapour pressure deficit, ITR – transpiration intensity of variants: K – control, MS – mild stress, SS – severe stress; date¹, independent², dependent³, number⁴, regression equation⁵

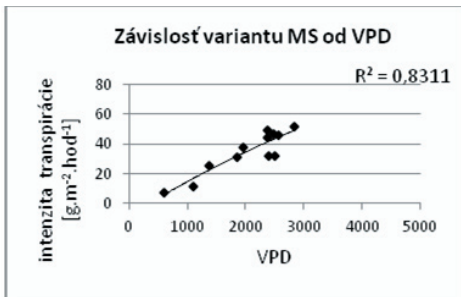
Závislosť intenzity transpirácie od meteorologických charakteristík dňa 3. 9. 2009

V 21. deň pokusu (3. 9. 2009) sa reakcie sadeníc na VPD líšili. Keďže jedince variantu MS boli 28.8. zavlažené, tesnosť závislosti variantu od VPD bola vysoká (83 %). Rovnako to bolo zaznamenané aj u pravidelne zavlažovaného variantu K (82 %). U variantu SS možno vplyvu VPD pripísať dňa 3. 9. už iba 57 % (obr. 7–9, tab. 6).



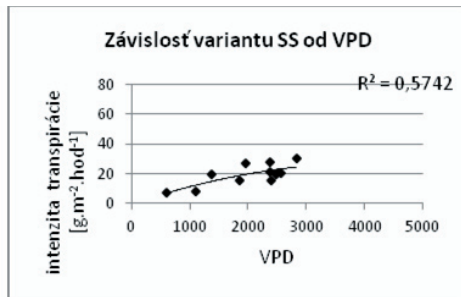
Obr. 7 Závislosť transpirácie jedincov variantu kontrola od sýstostného doplnku (VPD) dňa 3. 9. 2009

Fig. 7 Dependence of transpiration in control seedlings on vapour pressure deficit at Sept. 3, 2009



Obr. 8 Závislosť transpirácie jedincov variantu mierny stres od sýtošného doplnku (VPD) dňa 3. 9. 2009

Fig. 8 Dependence of transpiration in mild stress seedlings on vapour pressure deficit at Sept. 3, 2009



Obr. 9 Závislosť transpirácie jedincov variantu silný stres od sýtošného doplnku (VPD) dňa 3. 9. 2009

Fig. 9 Dependence of transpiration in severe stress seedlings on vapour pressure deficit at Sept. 3, 2009

Tab. 6 Výsledky regresnej a korelačnej analýzy

Tab. 6 Results of regression and correlation analysis

dátum ¹	nezávislá ²	závislá ³	n ⁴	regresná rovnica ⁵
3. 9. 2009	VPD	ITR (K)	12	$y = -4E-06x^2 + 0,0334x - 10,377$
	VPD	ITR (MS)	12	$y = -1E-06x^2 + 0,0243x - 8,1447$
	VPD	ITR (SS)	12	$y = -3E-07x^2 + 0,0016x + 0,0366$

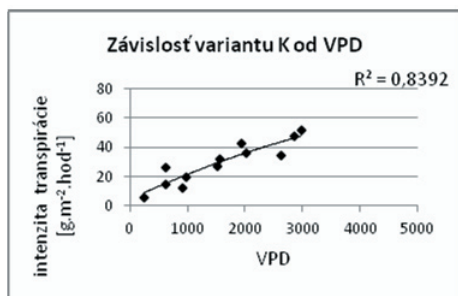
VPD – sýtošný doplnok, ITR – intenzita transpirácie variantov: K – kontrola, MS – mierny stres, SS – silný stres

VPD – vapour pressure deficit, ITR – transpiration intensity of variants: K – control, MS – mild stress, SS – severe stress; date¹, independent², dependent³, number⁴, regression equation⁵

Závislosť intenzity transpirácie od meteorologických charakteristík dňa 10. 9. 2009

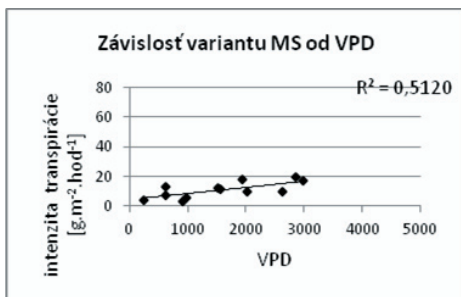
V 28. deň pokusu sa vplyv VPD na transpiráciu znižuje so zvyšovaním sucha.

U variantu K ostáva tesnosť korelácie vysoká (84 %), u variantu MS dosahuje 51 % a u SS len 22 % (obr. 10–12, tab. 7).



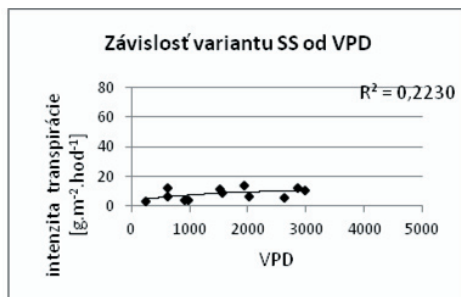
Obr. 10 Závislosť transpirácie jedincov variantu kontrola od sýtošného doplnku (VPD) dňa 10. 9. 2009

Fig. 10 Dependence of transpiration in control seedlings on vapour pressure deficit at Sept. 10, 2009



Obr. 11 Závislosť transpirácie jedincov variantu mierny stres od sýstostného doplnku (VPD) dňa 10. 9. 2009

Fig. 11 Dependence of transpiration in mild stress seedlings on vapour pressure deficit at Sept. 10, 2009



Obr. 12 Závislosť transpirácie jedincov variantu silný stres od sýstostného doplnku (VPD) dňa 10. 9. 2009

Fig. 12 Dependence of transpiration in severe stress seedlings on vapour pressure deficit at Sept. 10, 2009

Tab. 7 Výsledky regresnej a korelačnej analýzy

Tab. 7 Results of regression and correlation analysis

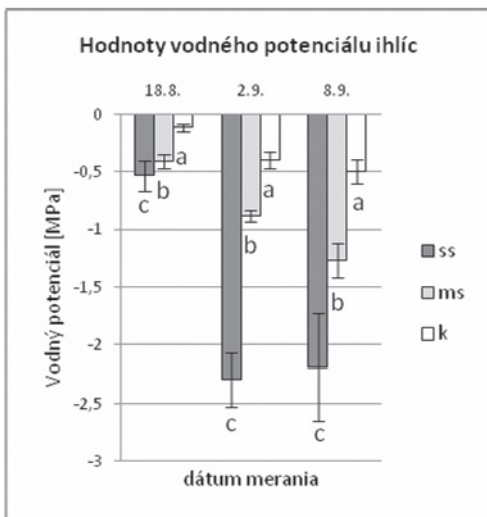
dátum ¹	nezávislá ²	závislá ³	n ⁴	regresná rovnica ⁵
10. 9. 2009	VPD	ITR (K)	12	$y = -1E-06x^2 + 0,0183x + 4,4793$
	VPD	ITR (MS)	12	$y = -6E-08x^2 + 0,0039x + 4,4664$
	VPD	ITR (SS)	12	$y = -8E-07x^2 + 0,0045x + 3,7169$

VPD – sýstostný doplnok, ITR – intenzita transpirácie variantov: K – kontrola, MS – mierny stress, SS – silný stres

VPD – vapour pressure deficit, ITR – transpiration intensity of variants: K – control, MS – mild stress, SS – severe stress; date¹, independent², dependent³, number⁴, regression equation⁵

Vývoj vodného potenciálu ihlíc sadeníc smreka v podmienkach postupujúceho sucha

Z obr. 13 vyplýva, že k poklesu vodného potenciálu u variantov MS a SS došlo už 18. 8., čiže na 5. deň bez zavlaženia. Rozdiel vo vodnom potenciáli medzi týmito variantmi je síce štatisticky významný, ale keďže sa varianty nachádzali v rovnakých podmienkach sucha, považujeme tento jav za náhodný. Deň 2. 9. predstavuje pre variant SS 20. deň bez zavlaženia, pre variant MS, zavlažený 28. 8., 6. deň bez zavlaženia, čo sa odzrkadlilo aj na vodnom potenciáli ihlíc. Priemerný vodný potenciál nedosahuje u variantu MS také nízke hodnoty ako u variantu SS. O 6 dní neskôr sa ukázalo ďalšie zvyšovanie absolútnej hodnoty vodného potenciálu u jedincov variantu MS, priemerná hodnota variantu SS ďalej neklesala, došlo však k zvýšeniu variability medzi jedincami variantu. Priemerná hodnota vodného potenciálu za celé obdobie u jedincov kontroly nepresiahla – 0,5 MPa (tab. 8).



Obr. 13 Hodnoty vodného potenciálu ihlíc stanoveného psychometrickou metódou podľa variantov a dní merania s chybovými úsečkami vyjadrujúcimi hodnotu smerodajnej odchýlky

Fig. 13 Values of needle water potential evaluated by psychometrical method by variant and date of measurement, with error bars express values of standard deviation

Tab. 8 Priemerné hodnoty vodného potenciálu (MPa) a analýza variancie

Tab. 8 Mean values of needle water potential (MPa) a analysis of variation

deň merania ¹	18. 8.	2. 9.	8. 9.
MS ²	-0,41 b	-0,88 b	-1,26 b
SS ³	-0,54 c	-2,30 c	-2,19 c
K ⁴	-0,12 a	-0,40 a	-0,50 a
R ² [%]	0,835504	0,981270	0,880567
F	38,09389	340,5383	18,43218
P	0,000001	0,000000	0,004930

date of measurement¹, mild water stress seedlings², severe water stress seedlings³, control seedlings⁴

4. DISKUSIA A ZÁVER

Výsledky potvrdzujú, že pri dostatočne vlhkej pôde je transpirácia určená hlavne teplotou a vlhkosťou vzduchu (KINCL, KRPEŠ 2000), ako sa to prejavilo pri závislosti intenzity transpirácie od sýtošného doplnku. Závislosť transpirácie od VPD sa postupne znižovala s postupujúcim suchom. Schopnosť rýchlej obnovy transpirácie po zálievke (PRIWITZER *et al.* 2003) sa prejavila na sadenicach variantu MS dňa 3. 9., ktorých závislosť od VPD na 6. deň po zavlažení dosahovala tesnosť 83 %, čím sa vyrovnala jedincem kontroly. Dňa 10. 9. sa závislosť sadeníc MS znížila na 51 %, pričom pri kontrole ostala tesnosť korelácie vysoká (84 %). U jedincov variantu SS sa vtedy vplyvu VPD mohlo pripísať iba 22 %. Dôvodom klesania tesnosti závislosti od meteorologických

charakteristik s postupujúcim suchom je uzatváranie prieduchov pri vysychajúcej pôde a dehydratácii pletív, čím je transpirácia redukovaná (PRIWITZER *et al.* 2003).

Priemerný vodný potenciál ihlíc sa u jedincov kontroly pohyboval v intervale hodnôt mierneho stresu. Dňa 8. 9. sa však jeho priemerná hodnota blížila k intervalu stredne silného stresu. Jedince kontroly boli zavlažené 7. 9., no predtým boli po obdobie 6 dní bez zálievky. To by mohlo byť vysvetlením zvýšenej absolútnej hodnoty vodného potenciálu v čase merania. Hodnoty vodného potenciálu medzi variantmi MS a SS sa v 5. deň pokusu štatisticky významne líšili, zatiaľ čo priemerné hodnoty indukujú u MS ešte mierny stres, u SS je to už stredne silný stres. Hodnota vodného potenciálu u jedincov variantu MS zareagovala na zálievku aplikovanú 28. 8. a priemerná hodnota vodného potenciálu sa pohybovala v intervale stredne silného stresu. Do 8. 9. sa priemerná hodnota vodného potenciálu u variantu MS ďalej zvyšovala, no nedostala sa až do intervalu veľmi silného stresu. U jedincov variantu SS dosahoval priemerný vodný potenciál hodnoty veľmi silného stresu už 2. 9., do 8. 9. sa už jeho priemerná hodnota ďalej nezvyšovala.

Pri porovnávaní intenzity transpirácie a vodného potenciálu ihlíc ako fyziologických odoziev sadeníc smreka na stres suchom možno konštatovať, že z výsledkov nádobového pokusu vyplýva vyššia citlivosť vodného potenciálu na stres suchom a jeho menšia schopnosť vrátiť sa po opätovnom zásobení pôdy vodou do pôvodného stavu. Naopak, transpirácia sa javí ako odozva, ktorá ostáva dlhšie vo výrazne nemennom stave a po vylepšení vlhkostných pomerov pôdy sa rýchlejšie zregeneruje. DITMAROVÁ *et al.* (2010) uvádzajú, že vodný potenciál je po stomatálnej vodivosti a rýchlosti výmeny oxidu uhličitého treťou najcitlivejšou charakteristikou vodného stresu v sadenicích smreka.

Práca je súčasťou vedeckého projektu APVV-0022-07 „Hodnotenie úrovne stresu suchom lesných porastov z aspektu vodnej bilancie stromu a porastu“, ktorého cieľom je kvantifikácia vplyvu sucha, ako stresového a predispozičného faktora, na poškodenie lesných drevín a porastov, pomocou novo navrhnutého jednoduchého indexu sucha a fyziologickej odozvy drevín.

Vzhľadom na skutočnosť, že meranie intenzity transpirácie gravimetrickou metódou je práce a časovo náročné, plánujeme v budúcnosti zabezpečiť meranie transpiračného prúdu v kmienkoch sadeníc prostredníctvom „EMS 62 modular system for small diameters“, tzv. „baby system“ (ČERMÁK *et al.* 1984). Meranie rýchlosti transpiračného prúdu sadeníc smreka sa uskutoční metódou tepelnej bilancie „tree trunk heat balance method“ (ČERMÁK *et al.* 1973), ktorá umožňuje kontinuálny záznam intenzity transpiračného prúdu.

Podakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0022-07 (50 %).

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS:26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja (50 %).

Literatúra

- BALÁŽ, P., STŘELCOVÁ, K., BLAŽENEC, M., 2005: Denný chod teploty kmeňa a hrúbkového prírastku ako reakcia smreka obyčajného na zmenu klimatických a vlhových pomerov. In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (ed), Bioklimatologie současnosti a budoucnosti, Křtiny 12.–14. 9. 2005.
- CIENCIALA, E., KUČERA, J., LINDROTH, A., 1999: Long-term measurements of stand water uptake in Swedish boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 98–99: 547–554.
- ČERMÁK J., KUČERA, J., 1987: Transpiration of mature stands of spruce (*Picea abies* Karst. L.) as estimated by the tree-trunk heat balance method. *JAHS Publ.* 167: 311–317.
- ČERMÁK, J., JENÍK, J., KUČERA, J., ŽIDEK, V., 1984: Xylem water flow in a crack willow tree (*Salix fragilis* L.) in relation to diurnal changes of environment. *Oecologia* 64: 145–151.
- ČERMÁK, J., DEML, M., PENKA, M., 1973: A new method of sap flow rate determination in trees. *Biologia Plantarum* 15: 171–178.
- DITMAROVÁ, L., KURJAK, D., PALMROTH, S., KMEŤ, J., STŘELCOVÁ, K., 2010: Physiological responses of Norway spruce (*Picea abies*) seedlings to drought stress. *Tree Physiology* 30 (2): 205–213.
- ĎURSKÝ, J., MIKOVÁ, A., 2003: Rastové procesy lesných drevín. In: MINDÁŠ, J., ŠKVARENINA, J. (eds.), Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny. EFRA Zvolen, Lesnícky výskumný ústav Zvolen: 37–43.
- GARTNER, K., NADEZHINA, N., ENGLISH, M., ČERMÁK, J., LEITGEB, E., 2009: Sap flow of birch and Norway spruce during the European heat and drought in summer 2003. *Forest Ecology and Management* 258: 590–599.
- KALINA, J., SLOVÁK, V., 2004: The inexpensive tool for the determination of projected leaf area. *Ekológia Bratislava* 23 (Suppl. 2): 163–167.
- KAUFMANN, M. R., KELLIHER, F. M., 1991: Estimating tree transpiration rates in forest stands. In: LASOIE, J. P., HINCKLEY, T. M. (eds.), *Techniques and approaches in forest tree ecophysiology*. CRC Press, Boca Raton, FL: 117–140.
- KINCL, M., KRPEŠ, V., 2000: *Základy fyziologie rostlin*. Montanex, Ostrava, 221 s.
- KOLEKTÍV, 1993: *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Ministerstvo ŽP, Praha, s. 394.
- KOLEKTÍV, 2009: *Zelená správa*. Ministerstvo pôdohospodárstva Slovenskej republiky Bratislava, Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav Zvolen, 147 s.
- KURJAK, D., 2009: *Odumieranie smrekových porastov a fyziologická reakcia smreka na zmenený vodný režim*. Dizertačná práca, Lesnícka fakulta, Zvolen, 105 s.
- LAGERGREN, F., LANKREIJER, H., KUČERA, J., CIENCIALA, E., MÖLDER, M., LINDROTH, A., 2008: Thinning effects on pine-spruce forest transpiration in central Sweden. *Forest Ecology and Management* 255: 2312–2323.
- LARCHER, W., 1988: *Fyziologická ekologie rostlin*. Academia Praha, 361 s.
- MARENČÍK, A., 1999: *Fyziológia rastlín*. Univerzita Konštantína filozofa, Nitra, 236 s.
- MATEJKA, F., ROŽNOVSKÝ, J., HURTALOVÁ, T., 1999: Štruktúra evapotranspirácie vrcholových smrečín. In: *Atmosféra 21. storočia, organizmy a ekosystémy: zborník referátov z medzinárodnej vedeckej konferencie Bioklimatologické pracovné dni 1999, Zvolen 7.–9. septembra 1999*. s. 14–17.
- MATEJKA, F., ROŽNOVSKÝ, J., HURTALOVÁ, T., JANOUŠ, D., 2002: Effect of soil drought on evapotranspiration of a young spruce forest. *Journal of forest science* 48 (4): 166–172.
- MISTRÍK, I., JEŠKO, T., REPČÁK, M., MASAROVIČOVÁ, E., GAŠPÁRIKOVÁ, O., 2002: Fyziológia stresu. In: MASAROVIČOVÁ, E., REPČÁK, M. et al. (eds.), *Fyziológia rastlín*. Vydavateľstvo UK, Bratislava: 267–283.
- NADEZHINA, N., ČERMÁK, J., GAŠPÁREK, J., NADEZHIN, V., PRAX, A., 2006: Vertical and horizontal water redistribution in Norway spruce (*Picea abies*) roots in the Moravian Upland. *Tree Physiology* 26: 1277–1288.
- PENKA, M., 1985: *Transpirace a spotřeba vody rostlinami*. Academia Praha, 256 s.
- PRIWITZER, T., STŘELCOVÁ, K., KMEŤ, J., 2003: Ekofyziologické procesy lesných drevín. In: MINDÁŠ, J., ŠKVARENINA, J. (eds.), *Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny*. EFRA Zvolen, Lesnícky výskumný ústav Zvolen: 44–49.
- PROCHÁZKA, S., MACHÁČKOVÁ, I., KREHULE, J., ŠEBÁNEK, J., GLOSER, J., HAVEL, L., NÁTR, L., PRÁŠIL, I., SLADKÝ, Z., ŠANTRŮČEK, J., TESAŘOVÁ, M., VYSKOT, B., 2003: *Fyziologie rostlin*. Academia Praha, 488 s.
- SELLIN, A., 1998: The dependence of water potential in shoots of *Picea abies* on air and soil water status. *Annales Geophysicae* 16: 470–476.

VERBEEK, H., STEPPE, K., NADEZHDINA, N., OP DE BEEK, M., DECKMYN, G., MEIRSONNE, L., LEMEUR, R., ČERMÁK, J., CEULEMANS, R., JANSSENS, I. A., 2007: Model analysis of the effects of atmospheric drivers in storage water use in Scots pine. *Biogeosciences* 4: 657–671.

Adresa autorov:

Ing. Dana Kovalčíková

Ing. Daniel Kurjak, PhD.

Doc. Ing. Katarína Střelcová, PhD.

Technická Univerzita vo Zvolene

Lesnícká fakulta

Katedra prírodného prostredia

Masarykova 24

960 53 Zvolen

e-mail: kovalcikova@vsld.tuzvo.sk

RNDr. Ľubica Ditmarová, PhD.

Ústav ekológie lesa vo Zvolene

Štúrova 2

960 53 Zvolen

Charakteristiky vodného režimu sadeníc smreka v podmienkach stresu suchom

Abstrakt

Práca je zameraná na hodnotenie vplyvu meteorologických charakteristík na intenzitu transpirácie a vodný potenciál asimilačných orgánov štvorročných sadeníc smreka (*Picea abies*, Karst. L.) v podmienkach postupujúceho sucha. V auguste 2009 sme založili riadený nádobový pokus. Sadenice sme rozdelili do 3 skupín po 6 opakovaní podľa úrovne zavlažovania (kontrola, mierny stres, silný stres). V podmienkach stresu suchom sme zaznamenali znižujúcu sa závislosť intenzity transpirácie od sýtoštného doplnku (VPD). Kým na začiatku pokusu sa mohlo vplyvu VPD pripísať 69–91 % podľa jednotlivých variantov, na konci pokusu bol u silne suchom stresovaných sadeníc vplyv VPD iba 22 %. Doplnujúcou charakteristikou vyjadrujúcou vplyv sucha na fyziologický stav sadeníc bol vodný potenciál ihlič. U sadeníc variantu silný stres dosiahol vodný potenciál už na 20. deň bez zavlažovania hodnoty v intervale veľmi silného stresu (–2,3 MPa). Pri porovnávaní intenzity transpirácie a vodného potenciálu ihlič ako fyziologických odoziev sadeníc smreka na stres suchom možno konštatovať, že z výsledkov nádobového pokusu vyplýva vyššia citlivosť vodného potenciálu na stres suchom a jeho menšia schopnosť vrátiť sa po opätovnom zásobení pôdy vodou do pôvodného stavu.

Kľúčové slová: sucho, *Picea abies*, vodný potenciál, transpirácia

LESOSTEPNÉ SPOLOČENSTVÁ VO VYBRANEJ OBLASTI KRUPINSKEJ PLANINY

Marian Ď U R I Š – Ivan L U K Á Č I K

Ďuriš, M., Lukáčik, I.: Waldsteppengemeinschaften in dem ausgewählten Gebiet von „Krupinská planina“. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 71–87.

In den vorgelegten Arbeit werden ausführlich die thermophilen Gemeinschaften des Waldsteppencharakters, die sich in drei Naturschutzgebieten- in Čebovská lesostep, Modrokamenská lesostep und Dedinská hora in dem orographischen Gebiet von Krupinská planina befinden, bewertet. Die genannten Lokalitäten gehören zu den gemeinschaften, die sich zu den meistwärmeliebenden Eichenwälder eingliedern. Sie kommen auf Sonnenexpositionen in warmen und trockenen Gebieten, meist auf Karbonaten und basischen Gesteinen vor. Bewertet werden drei Lokalitäten, in denen vier Dauerforschungsflächen (TVP) gegründet wurden, wo auf jeder Fläche dendrometrische Basisgrößen (Baumdicke, Baumhöhe, Kronenansatzhöhe) gemessen wurden. Die Bedeutung der Unterschiede zwischen den Lokalitäten wurde mit Hilfe der einfaktoriellen Varianzanalyse ausgewertet. Aus den Analyseergebnissen wurde resultiert, dass Breiten- und Höhenunterschiede von Zerr-Eiche (*Quercus cerris*), in den einzelnen Flächen statistisch von grosser Bedeutung (bei der 95 % des Bedeutungsniveaus) waren. Bei den Werten der Kronenansatzhöhe waren die Unterschiede in den einzelnen Lokalitäten statistisch nicht von grosser Bedeutung. Die Testsergebnisse haben die Homogenität mancher Lokalitäten bestätigt.

Schlüsselwörter: Waldsteppe Čebov, Waldsteppe Modrokamen, Dedinská hora, Waldsteppen
– Gemeinschaften, Baumartenzusammensetzung, Krautsynusie

1. ÚVOD A CIEĽ PRÁCE

Lesostepné spoločenstvá sa zaraďujú medzi najxerofilnejšie lesy vyskytujúce sa na slnných expozíciách v teplých a suchých oblastiach, najčastejšie na karbonátoch a bázických horninách. Zaberajú extrémnejšie reliéfové tvary s plytkými pôdami typu rendzín a rankrov. V typickej podobe sú to rozvoľnené porasty duba plstnatého (*Quercus pubescens*) a teplomilných krov dosahujúcich výškou stromovú úroveň. Vo vyšších a chladnejších polohách sa významnejšie uplatňuje dub zimný (*Quercus petraea*). Spoločenstvo často tvorí komplex so xerothermofilnými trávovitými spoločenstvami a charakteristická je veľká druhová diverzita v krovinovej a bylinnej vrstve (STANOVÁ, VALACHOVIČ 2002).

Prírodné rezervácie patria z hľadiska ochrany prírody a zachovania druhovej rozmanitosti medzi naše najvzácnejšie územia. Podľa zákona o ochrane prírody a krajiny č. 543/ 2002 Z. z. je prírodná rezervácia lokalitou s výmerou spravidla do 1 000 ha, ktorá predstavuje pôvodné, alebo ľudskou činnosťou málo pozmenené biotopy európskeho

významu, alebo biotopy národného významu, alebo biotopy druhov európskeho národného významu, so štvrtým, alebo piatym stupňom ochrany. Ich význam spočíva v tom, že sú v nich chránené pôvodné biocenózy, alebo tiež vzácne a zriedkavé druhy rastlín a živočíchov. Výskumy, ktoré prebiehali a naďalej prebiehajú nám pomáhajú poznávať zákonitosti a dynamiku ekologických vzťahov, väzieb a vývoja prírody v relatívne nena-rušených podmienkach. Je potrebné vytvoriť sieť rezervácií, ktorá zachytáva geobiocenózy v rozličných vegetačných stupňoch s rozličným geologickým podložím, a tiež vegetačnú geografickú variabilitu. Veľký vedecký význam rezervácií spočíva aj v zachovaní genetického fondu našej prírody (VOLOŠČUK 1997).

Cieľom práce bolo zhodnotiť zloženie teplomilných spoločenstiev lesostepného charakteru, ktoré sa vyskytujú v prírodných rezerváciách Čebovská lesostep, Modro-kamenská lesostep a Dedinská hora v orografickom celku Krupinská planina. Išlo o zastúpenie stromovitých a kríkovitých druhov drevín a bylinnej synúzie. Pri drevinách stromovitého vzrastu sa merali základné taxačno-dendrometrické veličiny hrúbka, výška stromov a výška nasadenia korún, ktoré sa pre dub cerový (*Quercus cerris*) vyhodnotili štatisticky a otestovali Duncanovým testom.

2. ROZBOR PROBLEMATIKY

2.1 Všeobecná charakteristika lesostepných spoločenstiev

Teplomilné zmiešané submediteránne dubové lesy (zväz *Quercion pubescentis-petraeae*) majú svoje vývojové centrá na Balkánskom polostrove a v južnom Francúzsku. Za útočisko treba považovať aj polostrov Krym vo východnom Stredomorí. Na svoje terajšie stanovištia, nielen na Slovensku, ale aj v ostatných častiach Európy sa rozšírili počas tzv. brezovo-borovicovej a borovicovo-lieskovej postglaciálnej doby. Pred zásahom človeka mali väčšiu rozlohu a siahali viac na sever a do vyšších polôh ako v súčasnosti. Postupný rozvoj mezofilných dubovo-hrbových a bukových lesov spôsobil, že ustúpili na extrémne stanovištia, kde sa dodnes zachovali (KRIPPEL 1986).

Na území Slovenska nezaberajú veľké plochy. Sú rozšírené na rôznych alkalických a neutrálnych podkladoch, ako sú vápence, dolomity, andezity, spraše, vápnité bridlice, zlepenice a pod. Na extrémnych formách reliéfu, akými sú chrbty a hrebene hôr, prudké, na juh exponované svahy, dovoľujú vzniknúť len pôdam typu rendzín (na karbonátoch) a typu ranker (na andezitoch), ktoré sú bohaté na bázy, dobre zásobené humusom a sú skeletnaté až kamenisté. Tvorí u nás trvalé edaficky podmienené spoločenstvá v dubovom lesnom vegetačnom stupni.

Zo stromov najčastejšie prevláda dub plstnatý (*Quercus pubescens*), ktorý je najmenej citlivý na suchu a má na Slovensku súvislú severnú hranicu rozšírenia. Primiešaný je dub cerový (*Quercus cerris*), ktorý sa vyskytuje na menej extrémnych stanovištiach, ďalej sú zo stromovitých druhov zastúpené najmä dub zimný (*Quercus petraea*), jarabina brekyňová (*Sorbus torminalis*), jarabina mukyňová (*Sorbus aria*), oskoruša domáca (*Sorbus domestica*), javor poľný (*Acer campestre*), brest hrabolitý (*Ulmus carpinifolia*) a mnohé iné.

Z kríkov sú na najteplejších územiach hojne zastúpené drieň obyčajný (*Cornus mas*), čerešňa mahalebková (*Cerasus mahaleb*), dráč obyčajný (*Berberis vulgaris*), kalina siriputková (*Viburnum lantana*) a druhy rodu *Crataegus*. Vzácné sa vyskytujú mechúrník stromovitý (*Colutea arborescens*) a škumpa vlasatá (*Cotinus coggygia*) (MICHALKO, BERTA 1972).

Z bylinnej synúzie sú charakteristické druhy teplomilných dubových lesov, vyskytujú sa však aj druhy stepných a skalných trávovitých spoločenstiev.

2.2 Prírodná rezervácia Čebovská lesostep

Prírodná rezervácia (PR) Čebovská lesostep sa rozprestiera severne od obce Čebovce na južne orientovaných svahoch. Územná ochrana je zabezpečená od roku 1988 na ochranu teplomilných rastlinných a živočíšnych spoločenstiev Čebovskej pahorkatiny. Výmera prírodnej rezervácie je 7,5 ha.

Z hľadiska ochrany vegetačného krytu je potrebné vyzdvihnúť zachovalosť a pôvodnosť rastlinných spoločenstiev územia, ktoré majú výrazne teplomilný charakter. V dôsledku značnej rozrôznenosti substrátu vznikli na svahoch plochy charakteru skalnej lesostepi, kde ťažisko významu spočíva v nelesných fytocenózach zväzu (*Festucion vallesiaceae*). Okrem typických xerofytov vyskytujúcich sa na vulkanickom podloží tu nachádzame i niektoré významné floristické prvky dôležité predovšetkým z hľadiska ich ohrozenosti a vzácného výskytu.

Dôvodom pre zaradenie tohto územia do zoznamu európskeho významu je ochrana biotopu Karpatské a panónske dubovo-hrabové lesy a ochrana živočíšnych druhov európskeho významu ako je roháč obyčajný (*Lucanus cervus*) a kunka žltobruchá (*Bombina variegata*) (DAROLA a kol. 1984). Na území prírodnej rezervácie podľa zákona č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny platí piaty stupeň ochrany.

2.3 Prírodná rezervácia Modrokamenská lesostep

Prírodná rezervácia (PR) Modrokamenská lesostep sa rozkladá nad mestom Modrý Kameň, pri jeho severozápadnom okraji na svahoch priľahlého Modrokamenského úbočia. Výmera prírodnej rezervácie je 12,12 ha. Modrokamenská lesostep bola vyhlásená v roku 1986 v kategórii chránené nálezisko na ochranu prirodzených teplomilných lesostepných a lesných spoločenstiev Krupinskej planiny, dôležitých z vedeckovýskumného, náučného a kultúrneho hľadiska. Okrem toho aj z dôvodu zachovalej ukážky geologickej stavby Krupinskej planiny, s príkladmi rôznych typov sedimentácie (CVACHOVÁ a kol. 1983).

Hlavným dôvodom územnej ochrany tohto objektu sú zachovalé prirodzené rastlinné spoločenstvá teplomilného až stepného charakteru. Z hľadiska biotických prvkov je potrebné mať na zreteli výskyt pôvodných teplomilných rastlín a živočíchov ako aj ich spoločenstiev so škálou druhov chránených, ako i druhov zriedkavých a ohrozených.

Zákon č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny ustanovil pre Prírodnú rezerváciu Modrokamenskú lesostep štvrtý stupeň ochrany.

2.4 Prírodná rezervácia Dedinská hora

Prírodná rezervácia (PR) Dedinská hora sa nachádza približne 3 km juho-východne od obce Dolná Strehová a 2,2 km od hranice s Maďarskou republikou. Výmera chráneného územia je 11,79 ha. Za Prírodnú rezerváciu bola Dedinská hora vyhlásená v roku 2000. Vyhlásením územnej ochrany sa zabezpečila ochrana typickej xerothermnej lokality dubového vegetačného stupňa v Ipeľsko-rimavskej brázde s výskytom viacerých chránených druhov flóry a fauny.

Hodnotu územia vyjadruje prítomnosť viac ako 6 ohrozených taxónov vyšších rastlín a stredná až vysoká zachovalosť rastlinných spoločenstiev. Medzi najcennejšie druhy rastlín patria druhy chránené a ohrozené. Ide o kavyľ tenkolistý (*Stipa tirsia*), kukučku vencovú (*Lychnis coronaria*), vemenník dvojlistý (*Platanthera bifolia*) a dvojradovec neskorý (*Cleistogenes serotina*).

Význam tejto lokality zvyrazňuje aj zastúpenie vzácnych druhov bezstavovcov ako sú modlivka zelená (*Mantis religiosa*), vidlochvost ovocný (*Iphiclides podalirius*) a výskyt viacerých druhov stavovcov zaradených do červených kníh. Ide o prepelicu poľnú (*Coturnix coturnix*), tesára čierneho (*Dryocopus martius*), krutihlava hnedého (*Jynx torquilla*), čo len zvyšuje opodstatnenosť zaradenia tejto lokality medzi chránené územia. Na území platí piaty stupeň ochrany, pretože ide o pôvodné, ľudskou činnosťou málo pozmenené ekosystémy so zastúpením viacerých významných biologických prvkov regionálneho až celoslovenského významu (RYBÁR a kol. 1998).

3. MATERIÁL A METODIKA

3.1 Výber a zakladanie plôch

Ako už bolo uvedené, materiál pre predkladanú prácu sme získali vo vybraných častiach prírodných rezervácií Čebovská lesostep, Modrokamenskú lesostep a Dedinská hora, v ktorých boli založené celkom štyri trvale výskumné plochy (TVP).

Výber plôch sa uskutočnil na základe vlastných pochôdzok priamo v teréne a dostupných informácií od pracovníkov Obvodného úradu životného prostredia vo Veľkom Krťiši. Samotné plochy sa založili v tých častiach prírodných rezervácií, ktoré najlepšie vystihovali ich lesostepný charakter. Konkrétne plochy sme zakladali pomocou uhľomernej hlavice a výtyčiek. Každú plochu sme si stabilizovali označenými drevenými kolíkmi. Veľkosť trvalo výskumných plôch TVP 1 a TVP 2, ktoré boli založené v PR Čebovská lesostep bola 0,25 ha, veľkosť TVP 3 a TVP 4, založených v PR Modrokamenskú lesostep a PR Dedinská hora bola 0,1 ha.

V rámci každej plochy sa urobil jej popis, ktorý obsahoval údaje o odštepnom závode, lesnom hospodárskom celku, expozícii, sklone terénu, nadmorskej výške, umiestnení, veľkosti a charaktere plochy (zastúpenie drevín, krikovitá zložka porastu, bylinná a trávna synúzia podrastu).

3.2 Hodnotenie taxačno-dendrometrických veličín

Na každej založenej ploche sme zmerali základné taxačno-dendrometrické veličiny, t.j. výšku stromu, hrúbku $d_{1,3}$ a výšku nasadenia koruny. Výška stromu a výška nasadenia koruny sa merala výškomerom Vertex III. s presnosťou na 0,1 m. Hrúbka kmeňa sa merala priemerkou s presnosťou na 0,1 cm.

Okrem taxačno-dendrometrických znakov sa hodnotil tvar koruny a poškodenie skúmaných jedincov.

4. DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

4.1 Základné údaje o založených plochách

Plocha 1: Čebovská lesostep I.

Plocha sa nachádza v dieľci 456, v lesnom hospodárskom celku (LHC) Čebovská bukovina, ktorý patrí pod Odštepny závod (OZ) Krupina. Podľa údajov z lesného hospodárskeho plánu (LHP) sa porast nachádza v nadmorskej výške 320 m. Svah je juhozápadne orientovaný so sklonom 20 %. Vek porastu je 100 rokov. Prevažujúcim lesným typom (80 %) je suchá hrabová dúbrava na rôznych horninách (1310), plošné zastúpenie skalnej sutinovej stepi (1601) je 20 %. Veľkosť plochy je 50 × 50 m (0,25 ha).

Plocha je situovaná vedľa lesného chodníka, ktorý pokračuje k nezapojeným častiam územia. V jej hornej časti je rozvoľnený porast, na ktorý na severnej hranici nadväzuje lesný porast.

Drevinové zloženie:

Quercus cerris 80 %, *Quercus pubescens* 10 %, *Quercus dalechampii* 5 %, *Acer campestre* 5 %.

Kríkovitý podrast:

Crataegus monogyna, *Rosa canina*, *Ligustrum vulgare*.

Bylinná a trávna synúzia:

Festuca valesiaca, *Fragaria moschata*, *Verbascom pheneceum*, *Carex praecox*, *Euphorbia cyparissias*, *Genista pilosa*, *Galium verum*, *Veronica spicata*, *Dianthus carthusianorum*, *Centaurea jacea*, *Achillea pannonica*, *Primula vulgaris*, *Aster linosiris*, *Dactylis glomerata*, *Teucrium montanum*.

Na základe údajov prevzatých z LHP prevažujúcim lesným typom v poraste je suchá hrabová dúbrava na rôznych horninách (1310) so zastúpením 80 %. Lesný typ zaraďujeme do skupiny lesných typov (slt) hrabová dúbrava *Carpineto-Quercetum* (CQ). Okrem dominantného lesného typu sa v poraste nachádza aj lesný typ skalnej sutinovej stepi (1601), ktorého zastúpenie je 20 %. Radíme ho do skupiny lesných typov drieňová dúbrava *Corneto-Quercetum* (CoQ).

Plocha 2: Čebovská lesostep II.

Plochu sme založili v poraste 456 b. Organizačne patrí do LHC Čebovská bukovina, OZ Krupina. Podľa údajov z LHP sa porast nachádza v nadmorskej výške 315 m, svah je orientovaný južne so sklonom 30 %, vek porastu je 85 rokov. Lesným typom je suchá hrabová dúbrava na rôznych horninách (1310), ktorý radíme do skupiny lesných typov hrabová dúbrava *Carpineto-Quercetum* (CQ). Porast patrí medzi ochranné lesy. Veľkosť plochy je 50 × 50 m (0,25 ha).

Plocha sa nachádza na okraji porastu, nad rozsiahlym vinohradom. Svah je čiastočne kamenitý, pôda mierne hlboká, skeletnatá a značne presychavá.

Drevinové zloženie:

Quercus cerris 80 %, *Quercus pubescens* 20 %, *Quercus dalechampii* +.

Kríkovitý podrast:

Rosa canina, *Crataegus monogyna*, *Prunus spinosa*, *Prunus dosyphilla*, *Ligustrum vulgare*, *Cerasus fruticosa*, *Chamaecytisus austriacus*, *Rosa gallica*, *Pyrus pyraeaster*.

Bylinná a trávna synúzia:

Festuca valesiaca, *Euphorbia cyparissias*, *Fragaria moschata*, *Dianthus carthusianorum*, *Verbascum thapsiforme*, *Teucrium montanum*, *Potentilla argentea*, *Veronica spicata*, *Poa nemoralis*, *Carex praecox*, *Aster linusiris*, *Alchemilla*, *Centaureum*, *Inula*, *Gypsophila*.

Plocha 3: Dedinská hora

Plocha sa nachádza v dieľci 1355 a v LHC Nová Ves, ktorý patrí pod OZ Krupina, v nadmorskej výške 240 m. Svah je orientovaný juhovýchodne so sklonom 30 %. Vek porastu je 75 rokov. Lesným typom je suchá hrabová dúbrava na rôznych horninách (1310). Veľkosť plochy je 50 × 50 m (0,1 ha).

Plocha sa nachádza v strede porastu, ktorá predstavuje lesostepný svah s pozoruhodnými tvarmi na povrch vystupujúcej materskej horniny. Veľkosť plochy je 50 × 50 m.

Drevinové zloženie:

Quercus cerris 80 %, *Quercus petraea* 10 %, *Acer tataricum* 5 %, *Carpinus betulus* 5 %, *Quercus pubescens* +, *Sorbus torminalis* +.

Kríkovitý podrast:

Juniperus communis, *Acer tataricum*, *Cornus mas*, *Rosa canina*.

Bylinná a trávna synúzia:

Poa angustifolia, *Astragalus glycyphyllos*, *Dactylis glomerata*, *Securigera varia*, *Dianthus carthusianorum*, *Sedum acre*, *Hylotelephium maximum*, *Teucrium chamaedrys*, *Seseli osseum*.

Lesný typ patrí do slt hrabová dúbrava *Carpineto-Quercetum* (CQ).

Plocha 4: Modrokamenská lesostep

Plochu sme založili v poraste 56. Organizačne patrí do LHC Čebovská Bukovina a OZ Krupina. Podľa údajov z LHP sa porast nachádza v nadmorskej výške 380 m, svah je juhovýchodne orientovaný so sklonom 35 %. Vek porastu je 105 rokov. Veľkosť plochy je 50 × 20 m (0,1 ha).

Plocha sa nachádza pod horným okrajom územia, vedľa lesného chodníka, kde sa najviac prejavuje lesostepný charakter. Na ploche možno sledovať vystúpenie materskej horniny na povrch, ktorá tak zvyšuje nerovnosť povrchu plochy.

Drevinové zloženie:

Quercus cerris 80 %, *Quercus petraea* 10 %, *Quercus pubescens* 5 %, *Acer campestre* 5 %, *Acer tataricum* +.

Kríkovitý podrast:

Crataegus monogyna, *Rosa canina*, *Cerasus fruticosa*, *Prunus spinosa*, *Colutea arborescens*.

Bylinná a trávna synúzia:

Poa nemoralis, *Teucrium chamaedrys*, *Geum urbanum*, *Potentilla argentea*, *Cotula tinctoria*, *Festuca pseudodalmatica*, *Tithymalus cyparissias*, *Seseli osseum*, *Galium aparine*, *Securigera varia*, *Pulmonaria murini*, *Bupleurum falcatum*, *Lychnis coronaria*.

Prevažujúcim lesným typom (40 %) je viková hrabová dúbrava (1312), ktorý radíme do (slt) hrabová dúbrava *Carpineto-Quercetum* (CQ). Plošné zastúpenie kamenitej lipnicovej bukovej dúbravy s chlpaňou (2305) a lipnicovej bukovej dúbravy s chlpaňou (2306) je po 30 %. Lesné typy patria do slt buková dúbrava *Fageto-Quercetum* (FQ).

4.2 Rozbor skúmaných znakov

Dominantnou drevinou na všetkých založených plochách bol dub cerový (*Quercus cerris*) s priemerným 80 % zastúpením na všetkých založených plochách. Keďže ostatné dreviny sa vyskytovali v nižšom zastúpení, často len ako prímes a nevyskytovali sa na všetkých plochách, nebolo možné otestovať, či zistené rozdiely priemerných hodnôt hrúbky, výšky a výšky nasadenia korún boli štatisticky významné, alebo mali len náhodný charakter. V prípade *Quercus cerris* sa vypočítali priemerné hodnoty hrúbok, výšok a výšok nasadenia korún a posúdila sa ich variabilita.

4.2.1 Hrúbka kmeňa

Tab. 1 Hrúbka kmeňa duba cerového a základné štatistické charakteristiky na založených plochách

Tab. 1 Der Stammdurchmesser der Zerreiche und die statistischen Grundcharakteristika auf gegründeten Flächen

Číslo plochy	Názov plochy	Počet kmeňov	Hrúbka $d_{1,3}$ stromov			
			Rozpätie hrúbok	Aritmetický priemer $\bar{x}$	Smerodajná odchýlka S_x	Variačný koeficient S_x
		ks	cm	cm	cm	%
1	Čebovská lesostep I.	68	0,5–30,0	7,6	6,4	84,2
2	Čebovská lesostep II.	48	1,5–30,0	10,1	5,9	58,4
3	Dedinská hora	23	1,5–36,2	13,4	9,3	69,4
4	Modrokamenská lesostep	17	3,5–31,2	14,0	7,7	55,0
Σ		156	0,5–36,2	9,94	7,29	73,3

Tab. 2 Výsledky analýzy variancie hrúbky duba cerového

Tab. 2 Die Ergebnisse der Varianzanalyse eines Stammdurchmessers der Zerreiche

Zdroj variability	Suma štvorcov odchýlok	Počet stupňov voľnosti	F	Hladina významnosti α
Plocha	931,43	3	6,4579	0,000383
Reziduál	7 307,76	152		

Tab. 3 Výsledky Duncanovho testu (homogénne skupiny) pre priemernú hrúbku duba cerového na založených plochách

Tab. 3 Die Ergebnisse des Duncan-Tests (homogene Gruppe) für eine durchschnittliche Stammdicke der Zerreiche auf gegründeten Flächen

Názov plochy	Homogénná skupina		
	1	2	3
Čebovská lesostep I.	A	B	C
Čebovská lesostep II.	A		
Dedinská hora			
Modrokamenská lesostep			

Významnosť rozdielov medzi lokalitami z hľadiska hrúbky (tabuľka 1) sa hodnotila pomocou jednofaktorovej analýzy variancie. Z jej výsledkov vyplýva (tab. 2), že faktor plochy má štatisticky významný vplyv na priemernú hrúbku stromov. Podľa výsledkov Duncanovho testu (tab. 3) neexistuje z hľadiska priemernej hrúbky významný rozdiel medzi obidvomi plochami založenými v Čebovskej lesostepi. Obidve priemerné hrúbky

sú ale štatisticky významne menšie ako je priemerná hrúbka na ploche 4. Plochy s väčšími priemernými hrúbkami (Dedinská hora, Modrokamenská lesostep) tvoria jednu homogénnu skupinu, t.j. ich hrúbky sa odlišujú len náhodne.

4.2.2 Výška stromov

Tab. 4 Výška stromov duba cerového a základné štatistické charakteristiky na založených plochách

Tab. 4 Die Baumhöhe der Zerreiche und die statistischen Grundcharakteristika auf gegründeten Flächen

Číslo plochy	Názov	Počet kmeňov	Výška stromov			
			Rozpätie výšok	Aritmetický priemer $\bar{x}$	Smerodajná odchýlka S_x	Variačný koeficient S_x
		ks	ks	m	m	%
1	Čebovská lesostep I.	68	0,25–10,0	3,2	2,5	78,1
2	Čebovská lesostep II.	48	0,9–8,5	3,9	1,6	41,0
3	Dedinská hora	23	1,2–11,7	4,7	2,5	53,1
4	Modrokamenská lesostep	17	1,5–8,9	4,5	1,8	40,0
Σ		156	0,25–11,7	3,79	2,29	60,4

Tab. 5 Výsledky analýzy variancie výšky duba cerového

Tab. 5 Die Ergebnisse der Varianzanalyse von der Zerreichehöhe

Zdroj variability	Suma štvorcov odchýlok	Počet stupňov voľnosti	F	Hladina významnosti α
Plocha	52,16	3	3,47	0,017
Reziduál	761,3	152		

Tab. 6 Výsledky Duncanovho testu (homogénne skupiny) pre priemernú výšku duba cerového na založených plochách

Tab. 6 Die Ergebnisse des Duncan-Tests (homogene Gruppe) für eine durchschnittliche Höhe der Zerreiche auf gegründeten Flächen

Zerlehnung der geordneten Flächen		
Názov plochy	Homogénná skupina	
	1	2
Čebovská lesostep I.	A	B
Čebovská lesostep II.	A	
Dedinská hora		
Modrokamenská lesostep		

Z hľadiska priemernej výšky stromov (*Quercus cerris*) je rovnako, ako v prípade hrúbky, evidentný vplyv lokality. Z výsledkov analýzy variancie (tab. 5) vyplýva, že tento vplyv nie je náhodný. Podľa výsledkov Duncanovho testu existujú dve navzájom odlišné

homogénne skupiny. Obidve plochy z lokality Čebovská lesostep predstavujú z hľadiska výšky jednu homogénnu skupinu (populáciu), druhú skupinu tvoria plochy Dedinská hora a Modrokamenská lesostep.

4.2.3 Výška nasadenia korún

Tab. 7 Výšky nasadenia korún duba cerového a základné štatistické charakteristiky na založených plochách

Tab. 7 Die Kronenansatzhöhe der Zerreiche und die statistischen Grundcharakteristika auf gegründeten Flächen

Číslo plochy	Názov	Počet kmeňov	Výška stromov			
			Rozpätie výšok	Aritmetický priemer $\bar{x}$	Smerodajná odchýlka S_x	Variačný koeficient S_x
		ks	ks	m	m	%
1	Čebovská lesostep I.	68	0,1–3,2	1,4	0,9	64,2
2	Čebovská lesostep II.	48	0,2–4,5	1,7	0,9	52,9
3	Dedinská hora	23	0,6–2,1	1,2	0,4	33,0
4	Modrokamenská lesostep	17	0,2–2,5	1,3	0,8	61,5
Σ		156	0,1–4,5	1,46	0,86	58,5

Tab. 8 Výsledky analýzy variancie výšky nasadenia korún stromov duba cerového

Tab. 8 Die Ergebnisse einer Varianzanalyse von der Kronenansatzhöhe der Zerreichenbäume

Zdroj variability	Suma štvorcov odchýlok	Počet stupňov voľnosti	F	Hladina významnosti α
plocha	33,8	3	1,52	0,211
reziduál	1 058,5	143		

Výška nasadenia korún duba cerového nadobúda na všetkých založených plochách veľmi podobné hodnoty. Zistené rozdiely majú v dôsledku vysokej vnútrodruhej variability len náhodný charakter. Výsledky analýzy variancie pri výške nasadenia korún duba cerového potvrdili, že rozdiely na založených plochách nie sú štatisticky významné.

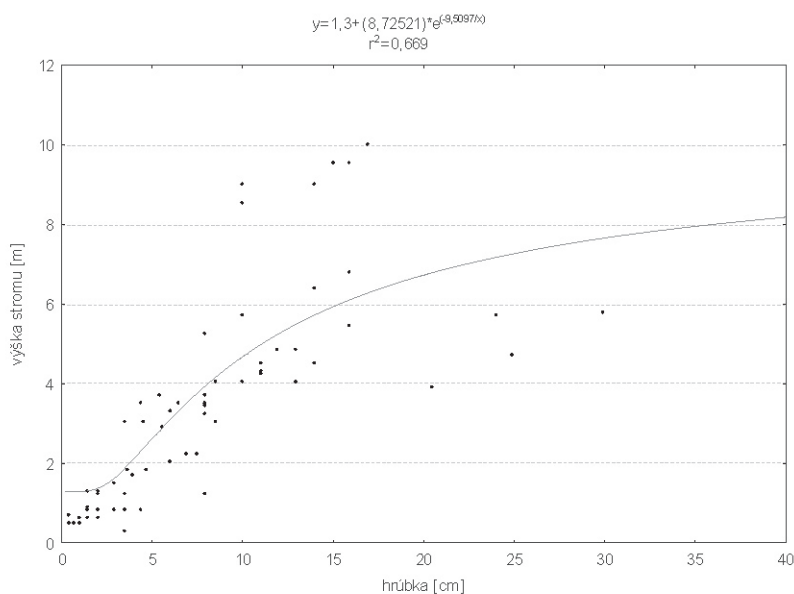
4.2.4 Závislosť výšky stromov od hrúbky

Závislosť výšky stromov od ich hrúbky $d_{1,3}$ sa vypočítala len pre dub cerový z rovnakého dôvodu, ako v prípade porovnávania stredných hodnôt základných dendrometrických veličín. Na vyrovnanie tejto závislosti sa použila Michajlovova funkcia v tvare:

$$\text{výška} = 1,3 + a \cdot e^{(b / \text{hrúbka})}$$

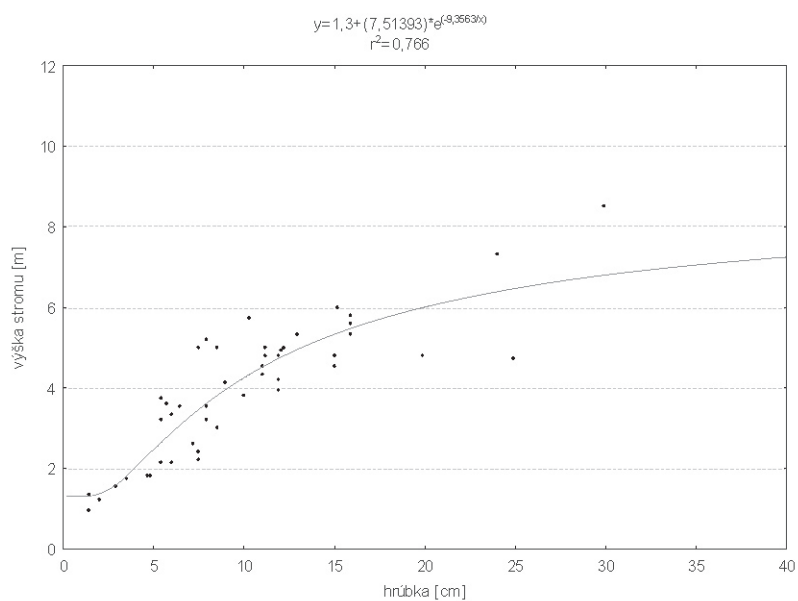
V prípade plôch Čebovská lesostep I. a Čebovská lesostep II. ide o dosť tesné závislosti, s podielom vysvetlenej variability na TVP 1 66,9 % a na TVP 2 76,6 % (obr. 1, 2). Z priebehov výškových kriviek je vidieť, že vo vzťahoch hrúbky a výšky stromov sú medzi lokalitami minimálne rozdiely. Pri hrúbke $d_{1,3}$ okolo 35 cm dosahuje vyrovnaná výška stromov na lokalitách hodnoty v rozpätí 7–8 m (obr. 1, 2).

V prípade plôch Dedinská hora a Modrokamenská lesostep ide o stredne tesné závislosti, s podielom vysvetlenej variability na ploche 3, 43,5% a na ploche 4, 76,6% (obr. 3, 4). Z priebehu výškových kriviek je vidieť, že vo vzťahoch hrúbky a výšky stromov sú medzi lokalitami minimálne rozdiely. Pri hrúbke $d_{1,3}$ okolo 35 cm dosahuje vyrovnaná výška stromov na lokalitách hodnoty okolo 8 m (obr. 3, 4).

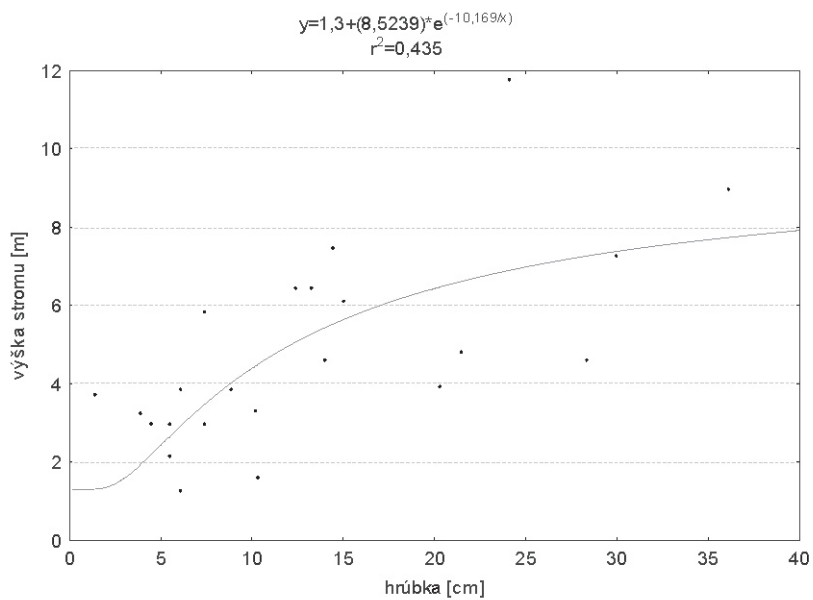


Obr. 1 Závislosť výšky stromov od hrúbky $d_{1,3}$ duba cerového na ploche 1 Čebovská lesostep I.

Abb. 1 Die Abhängigkeit der Baumhöhe von dem Durchmesser bei der Zerreiche auf der Fläche 1 Čebovská Lesostep I.

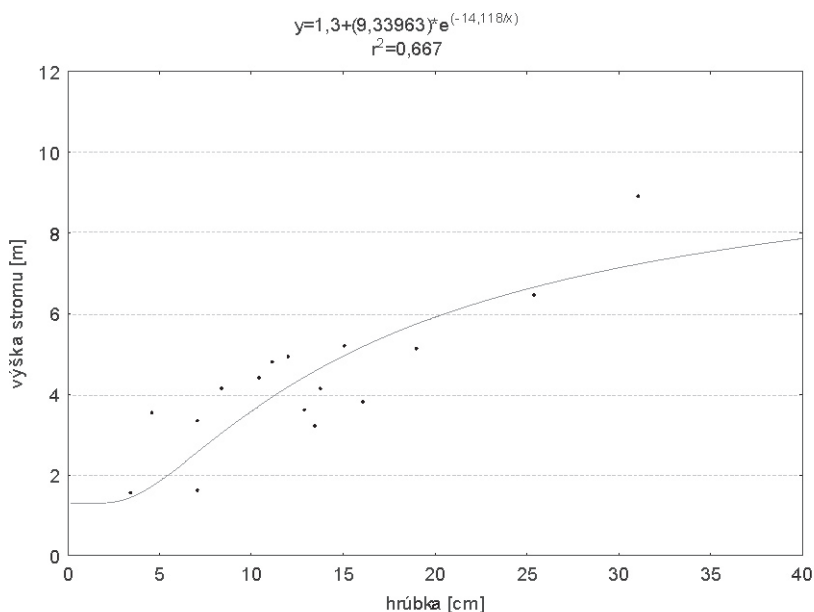


Obr. 2 Závislosť výšky stromov od hrúbky $d_{1,3}$ duba cerového na ploche 2 Čebovská lesostep II.
 Abb. 2 Die Abhängigkeit der Baumhöhe von dem Durchmesser bei der Zerreiche auf der Fläche 2 Čebovská lesostep II.



Obr. 3 Závislosť výšky stromov od hrúbky $d_{1,3}$ duba cerového na ploche 3 Dedinská hora

Abb. 3 Die Abhängigkeit der Baumhöhe von dem Durchmesser bei der Zerreiche auf der Fläche 3 Dedinská hora



Obr. 4 Závislosť výšky stromov od hrúbky $d_{1,3}$ duba cerového na ploche 4 Modrokamenská lesostep

Abb. 4 Die Abhängigkeit der Baumhöhe von dem Durchmesser bei der Zerreiche auf der Fläche 4 Modrokamenská lesostep

4.2.5 Tvar korún

Tab. 9 Tvar korún jedincov duba cerového na založených plochách

Tab. 9 Die Kronenform von Einzelbäumen der Zerreiche auf den gegründeten Flächen

Číslo plochy	Názov plochy	Počet kmeňov	Tvar koruny					
			nepravidelný		vajcovitý		guľovitý	
		ks	ks	%	ks	%	ks	%
1	Čebovská lesostep I.	68	53	77,9	10	14,7	5	7,4
2	Čebovská lesostep II.	48	39	81,3	6	12,5	3	6,3
3	Dedinská hora	23	16	69,6	4	17,3	3	13,0
4	Modrokamenská lesostep	17	15	88,2	2	11,8	—	—
Σ		156	126	80,8	22	14,1	11	7,1

Z tabuľky 9 vidieť, že z posudzovaných tvarov korún má najväčšie percentuálne zastúpenie nepravidelný tvar koruny z 80,8 % zastúpením, vajcovitý tvar koruny malo 14,1 % jedincov. Najmenšie percentuálne zastúpenie mali guľovité koruny (7,1 %).

4.2.6 Hodnotenie zdravotného stavu (poškodenia) jedincov

Tab. 10 Zdravotný stav (poškodenie) jedincov duba cerového na založených plochách

Tab. 10 Gesundheitszustand der Einzelbäume der Zereiche auf gegründeten Flächen

Číslo plochy	Názov plochy	Počet kmeňov	Zdravotný stav jedincov					
			zdravý		poškodenie			
					biotické (zverou)		abiotické (fyziologicky)	
		ks	ks	%	ks	%	ks	%
1	Čebovská lesostep I.	68	51	75,0	11	16,2	6	8,8
2	Čebovská lesostep II.	48	40	83,3	5	10,4	3	6,3
3	Dedinská hora	23	11	47,8	9	39,1	3	13,0
4	Modrokamenská lesostep	17	12	70,6	3	17,6	2	11,8
Σ		156	114	73,1	28	17,9	14	9,0

Na základe hodnotenia poškodenia možno konštatovať, že populácie duba cerového na založených TVP sú najviac poškodené biotickými škodlivými činiteľmi (najmä zverou). Zo všetkých 156 jedincov duba cerového na TVP sa nachádzalo 114 zdravých jedincov čo predstavuje 73,1 % a 42 poškodených jedincov čo predstavuje 27 %. Najviac poškodených jedincov bolo na ploche Dedinská hora 39,1 %.

5. DISKUSIA A ZÁVER

V najteplejších oblastiach Slovenska sa dodnes zachovali najsuchomilnejšie lesné spoločenstvá. Vyvinuli sa po dobe ľadovej na južných expozíciách, prudkých svahoch, hrebeňoch, chrboch hôr a na vulkanických až neutrálnych podkladoch ako sú vápence, dolomity, andezity, spraše, sprašové hliny a pod. Je to skupina submediteránnych, subkontinentálnych a panónsko – pontických lesných spoločenstiev (LUKNIŠ *a kol.* 1972).

Na základe vykonaných terénnych prác na založených plochách môžeme konštatovať, že sa na ich zložení podieľajú druhy lesných fytocenóz, ako aj typické druhy teplomilných skalných stanovišť. Dominantnou drevinou na všetkých založených plochách bol dub cerový, ktorý podľa PAGANA (1996) nemá vysoké nároky na pôdne živiny, rastie aj na chudobných kyslých pôdach. Dub cerový sa hodnotí ako svetlomilná drevina, je súčasťou lesostepných spoločenstiev, aj keď v extrémnejších podmienkach ustupuje a dominantnou drevinou sa stáva dub plstnatý. V mnohých prípadoch sú na lokalitách porasty prevažne výmladkového pôvodu.

Z hľadiska lesníckej typológie radíme lesné spoločenstvá všetkých troch prírodných rezervácií do 1. a 2. lesného vegetačného stupňa. Z prevzatých údajov z lesného hospodárskeho plánu vyplýva, že najviac zastúpeným lesným typom na daných lokalitách je suchá hrabová dúbrava na rôznych horninách (1310), ktorá sa zaraďuje do skupiny lesných typov hrabová dúbrava *Carpineto-Quercetum* (CQ), edaficko-trofického radu B mezotrofného (KRIŽOVÁ 1995).

Pri hodnotení variability *Quercus cerris* sme merali taxačno-dendrometrické veličiny (hrúbku, výšku stromov a výšku nasadenia koruny) a hodnotili zdravotný stav resp. poškodenie jedincov. Všetky tieto znaky dosahovali značnú premenlivosť, pričom najviac premenlivým znakom sa ukázala hrúbka stromov. Je to pravdepodobne zapríčinené tým, že hrúbkový rast duba cerového na extrémne teplých (južných) expozíciách, v spoločenstvách lesostepí nenadobúda také hodnoty ako v zapojených porastoch. Pri výške stromov duba cerového bola premenlivosť na založených plochách menšia. Ako uvádza PAGAN (1996) dub cerový dorastá do výšky 20–30 m. Rozpätie výšok na založených plochách dosahovalo hodnoty 0,25–11,7 m, čo je samozrejme, pretože výškový rast duba cerového v spoločenstvách lesostepí nedosahuje také hodnoty ako v zapojených porastoch. Priemerná výška nasadenia korún všetkých plôch je 1,46 m, čo je v úzkej súvislosti s charakterom stanovišťa. Najväčšia variabilita všetkých znakov bola na ploche Čebovská lesostep I. čo mohlo byť spôsobené najväčšou vekovou rozrôznenosťou porastu, ale aj osobitými stanovištnými a klimatickými podmienkami. Variabilita závislosti výšky stromov od hrúbky kolísala v rozpätí od 43,5 % až 66,7 %, kde ide o stredne tesné závislosti. Ostatné dreviny boli na jednotlivých plochách registrované len ako prímes, preto ich nebolo možné štatisticky otestovať a vyhodnotiť.

Predkladaná práca dopĺňa a rozširuje poznatky najmä o variabilite duba cerového (*Quercus cerris*), ktorý bol dominantnou drevinou na všetkých založených plochách. Pri hodnotení jedincov duba cerového výsledky poukázali na veľkú premenlivosť meraných taxačno dendrometrických veličín (hrúbka, výška stromu a výška nasadenia koruny). Duncanovým testom pri hrúbke a výške stromov sa potvrdila homogénnosť určitých lokalít.

Literatúra

- CVACHOVÁ, A. a kol., 1983: Projekt na vyhlásenie chráneného územia Chránené nálezisko Modrokamenská lesostep. Banská Bystrica, Krajské stredisko štátnej pamiatkovej starostlivosti a ochrany prírody, 1983, 6 s.
- DAROLA, J., 1984: Projekt na vyhlásenie chráneného územia Čebovská lesostep. Banská Bystrica, Krajské stredisko štátnej pamiatkovej starostlivosti a ochrany prírody, 1984, 12 s.
- HANČINSKÝ, L., 1972: Lesné typy Slovenska. Bratislava, Príroda, 1972, 307 s.
- KRIPEL, E., 1986: Postglaciálny vývoj vegetácie Slovenska. Bratislava, Veda 1986, 307 s.
- KRIŽOVÁ, E., 1995: Fytocenológia a lesnícka typológia. *Učebný text*. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 1995, 203 s.
- LUKNIŠ, M., 1972: Slovensko II. Príroda. Bratislava, Obzor, 1972, 917 s.
- MICHALKO, J., BERTA, J., 1972: Lesné spoločenstvá. In: Slovensko II., Príroda. Bratislava, Obzor, 1972, s. 486–531.
- PAGAN, J., 1996: Lesnícka dendrológia. *Učebný text*. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 1996, 378 s.
- STANOVÁ, V., VALACHOVIČ, M., 2002: Katalóg biotopov Slovenska. Bratislava, Inštitút aplikovanej ekológie pre štátnu ochranu prírody SR, 2002, 225 s.
- VOLOŠČUK, I., 1997: Starostlivosť o chránené územia. Zvolen, Technická univerzita vo Zvolene, 1997, 120 s.
- RYBÁR, I. a kol., 1998: Projekt na vyhlásenie chráneného územia Dedinská hora, Banská Bystrica, Krajské stredisko štátnej pamiatkovej starostlivosti a ochrany prírody, 1998, 5 s.
- Zákon NR SR č. 453/ 2002 Z. z. o Ochrane prírody a krajiny.

Adresa autorov:
Ing. Marian Ďuriš
doc. Ing. Ivan Lukáčik, CSc.
Lesnícka fakulta
Katedra pestovania lesa
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
e-mail: durism@centrum.sk
lukacik@vsld.tuzvo.sk

Lesostepné spoločenstvá vo vybranej oblasti Krupinskej planiny

Abstrakt

V predkladanej práci sa hodnotia teplomilné spoločenstvá lesostepného charakteru, ktoré sa nachádzajú v troch prírodných rezerváciách Čebovská lesostep, Modrokamenská lesostep a Dedinská hora v orografickom celku Krupinská planina. Uvedené lokality patria k spoločenstvám, ktoré sa zaraďujú medzi najxerofilnejšie dubové lesy, vyskytujúce sa na slnných expozíciách, v teplých a suchých oblastiach, najčastejšie na karbonátoch a bázických horninách. Hodnotili sa tri lokality, v ktorých boli založené štyri trvalé výskumné plochy, kde sa na každej ploche merali základné taxačno-dendrometrické veličiny (hrúbka, výška stromov a výška nasadenia korún). Významnosť rozdielov medzi lokalitami sa hodnotila pomocou jednofaktorovej analýzy variancie. Z výsledkov vyplynulo, že rozdiely hrúbky a výšky stromov duba cerového (*Quercus cerris*), boli medzi jednotlivými plochami štatisticky významné (na 95 % hladine významnosti). Pri výške nasadenia korún rozdiely medzi lokalitami neboli štatisticky významné. Okrem toho sa Duncanovým testom testovala podobnosť jednotlivých lokalít. Výsledky testu potvrdili homogénnosť niektorých lokalít.

Kľúčové slová: Čebovská lesostep, Modrokamenská lesostep, Dedinská hora, lesostepné spoločenstvá, drevinové zloženie, bylinná synúzia

ZMENY OBVODOV KMEŇOV A TRANSPIRÁCIE SMREKA A SMREKOVCA VPLYVOM MENIACICH SA PODMIENOK PROSTREDIA

Dagmar M A G O V Á – Katarína S T Ř E L C O V Á – Michal Š U D Ý

Magová, D., Střelcová, K., Šudy, M.: The changes of stem circumference and transpiration rate of spruce-larch forest in relation to changes of environmental characteristics. Acta Facultatis forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 89–100.

Transpiration and sap flow rate of trees and their circumference changes are strongly influenced by climate and weather conditions. The transpiration of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and larch (*Larix decidua* Mill.) sample trees and stem circumference changes were investigated during vegetation period 2009 at research plot Smrekovec, located in the Tatra National Park in Slovakia. The research plot is situated in untouched forest at an altitude 1 249 m asl. Sap flow was measured continually in five sample trees of each of both trees species using the tree-trunk heat balance method (THB). Changes of stem circumference were measured in the same trees using digital dendrometers, DRL 26 (EMS Brno, Cz). Simultaneously the microclimate characteristics were measured: air temperature [°C], air humidity [%], global radiation [kW.h⁻¹.m⁻²], precipitation [mm], soil temperature [°C] and soil water potential [Pa]. The stem circumference of the sample trees started to create at the end of May after relatively warmer period. The sap flow of sample trees is depending on global radiation, precipitation and soil water potential. We investigate seasonal and diurnal sap flow changes. At the end of May and at the beginning of June it was observed the decrease of tree transpiration due to higher totals of precipitation and low global radiation. Typically, leaf transpiration rate changes substantially during the day. As a result, stem water potential changes constantly. The aim of this paper is to evaluate the influence of the climatic characteristics upon the stem circumference changes and sap flow of the sample spruce and larch trees in the Tatra National Park.

Keywords: transpiration rate, stem circumference changes TATRA NATIONAL PARK, *Picea abies*, *Larix decidua*

1 ÚVOD A PROBLEMATIKA

Lesné ekosystémy zaberajú veľkú plochu zemského povrchu. Charakteristickým znakom interakcie medzi lesným ekosystémom a atmosférou je neustála výmena hmoty a energie medzi aktívnym povrchom porastu a okolitým ovzduším. Sledovanie transpirácie stromov predstavuje kľúčový faktor pri sledovaní uvedených procesov, pretože sú viazané na stomatárne (prieduchové) bunky (GARTNER *et al.* 2009).

Výskum fyziologických a rastových procesov drevín predstavuje v súčasnosti veľmi aktuálnu tému výskumu vzhľadom k súčasným otázkam ohľadom globálnych klimatických zmien (LAPIN & SZEMESOVÁ 2009). Vo všeobecnosti budúce klimatické zmeny závisia od

vývoja prírodných klimatických faktorov (astronomických, terestriálnych a cirkulačných) a na antropogenickom zväčšovaní, ktoré sa spája hlavne s rastom skleníkových plynov v atmosfére, aerosólnymi emisiami a so zmenami vo využívaní krajiny (LAPIN *et al.* 2006). Denné chody evapotranspirácie v podmienkach dostatku vody v pôde spravidla určujú denné chody tokov energie, s maximom okolo poludnia a s nízkymi hodnotami evapotranspirácie v noci. Ak je pôdna voda limitujúcim faktorom, intenzita evapotranspirácie klesá a závisí od dostupnosti vody v pôde (STŘELCOVÁ & KUČERA 2005). Rastlina je schopná regulovať transpiráciu reguláciou plochy prieduchov v listoch, cez ktoré sa uskutočňuje prenos vodnej pary z listu do atmosféry. Keďže prieduchy majú schopnosť meniť svoj stav otvorenia alebo zatvorenia, tak rastliny môžu prispôsobiť rýchlosť transpirácie vlastným potrebám vodnej bilancie. Najdôležitejšími mechanizmami regulácie vodivosti prieduchov je tzv. fotoreaktívny a hydoreaktívny mechanizmus. Prieduchy sa teda otvárajú a zatvárajú pri zmene intenzity osvetlenia v spektre fotosynteticky aktívnej radiácie (FAR) (NOVÁK 1995). Pri dostatočných svetelných podmienkach sa prieduchy smreka otvoria v priebehu 20–30 minút. Viac ako 70 % žiarenia pohlteneho porastom sa využije ako energia na transpiráciu a konvektívnu a turbulentnú výmenu tepla s okolitým ovzduším (MATEJKA & HUZULÁK 1987). Dreviny začínajú transpirovať skoro ráno po východe slnka. Maximálne hodnoty transpirácie dosahujú okolo poludnia (s výnimkou daždivých dní a dní s veľkou oblačnosťou). Po západe slnka dochádza k prudkému poklesu a opäť zaznamenávame veľmi nízke takmer až nulové (nočné) hodnoty transpirácie. Podiel transpirácie na energeticko-materiálových cykloch lesných ekosystémov je primárne určený klimatickými podmienkami, ktoré predstavujú množstvo a rozloženie zrážok, obsah pôdnej vody a evaporačné požiadavky atmosféry, ktoré súčasne predstavujú vplyv niekoľkých meteorologických faktorov (teplotu a vlhkosť vzduchu, obsah vody v pôde, cirkuláciu atmosféry) (STŘELCOVÁ *et al.* 2009). Optimálny príjem vody rastlinou sa uskutočňuje pri 60–70 % obsahu kapilárnej vody v pôde. Kritická hodnota obsahu dostupnej pôdnej vody sa nazýva bod trvalého vädnutia. Hodnoty bodu trvalého vädnutia sa pre jednotlivé rastliny môže pohybovať v rozpätí –1 a –4 MPa. MATEJKA *et al.* (2002) uvádza, že pôdne sucho zapríčiňuje signifikantne výrazné zníženie aktuálnej evapotranspirácie a jej zložiek. Optimálna teplota pôdy pre príjem vody koreňovým systémom sa v našich podmienkach pohybuje v rozpätí od 25 do 30 °C v závislosti od druhu a odrody jednotlivých rastlín. Prírastok na obvode stromov súvisí predovšetkým s aktivitou sekundárnych laterálnych meristematických pletív – kambia a felogénu (JEŽÍK *et al.* 2007). Produkcia drevín je závislá od biologickej aktivity, ktorá je ovplyvňovaná niekoľkými faktormi, ktoré zahŕňujú nielen podmienky atmosférického a pôdneho prostredia (astronomická dĺžka slnečného svitu, intenzita globálneho žiarenia, teplota a vlhkosť vzduchu a pôdy), ale aj genotyp, lokalitu porastu a obhospodarovanie lesa. Všeobecne je známe, že veľkosť hrúbkového prírastku závisí od kombinácie rastového potenciálu stromu a vonkajších faktorov obmedzujúcich rast (ŠKVARENINOVÁ 2009, MÄKINEN *et al.* 2003). Vonkajšie faktory prostredia teda neovplyvňujú len na evapotranspiráciu, ale ovplyvňujú aj činnosť pletív kambia a felogénu, ktorých aktivita priamo alebo prostredníctvom metabolitov a hormonálnych rastových regulátorov súvisí so základnými fyziologickými procesmi lesných drevín a teda hlavne s hrúbkovým rastom stromov (JEŽÍK & STŘELCOVÁ 2005). Teplota vzduchu je považovaná za rozhodujúci

činiteľ, ktorý vplýva na začiatok a rastúcu intenzitu kambiálnej činnosti (SAVVA *et al.* 2003). Na prírastok majú taktiež kladný vplyv zrážky počas vegetačného obdobia. Pomocou automatických dendrometrov vieme monitorovať denné zmeny v priemere kmeňov a tým skúmať stav vody v drevinách (ZWEIFEL *et al.* 2000). Zmeny v obvode kmeňa nie sú výsledkom iba tvorby xylému, ale často bývajú zapríčinené inými procesmi (MÄKINEN *et al.* 2003, SEVANTO *et al.* 2002). Denné zmeny v obvode kmeňa súvisia hlavne so zmenami vodného deficitu v kôre a celkovo s obsahom vody v strome (ZWEIFEL *et al.* 2001). Počas dňa voda stratená z kôry prispieva na transpiráciu, a tak zapríčiňuje redukciu kmeňa. Počas noci je kôra znovu zásobovaná vodou a kmeň sa rozširuje (MÄKINEN *et al.* 2003). Merania zmien obvodov kmeňov umožňujú relatívne rýchle zistenie zmien vo vodnom potenciáli v pletivách xylému (SEVANTO *et al.* 2002).

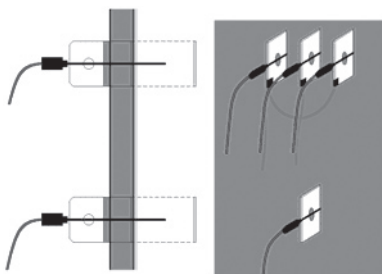
Kalamita v Tatranskom národnom parku v novembri 2004 spôsobila rozpad lesa na ploche 12 600 ha (FLEISCHER 2008). Jedným z nepriamych dôsledkov tejto kalamity bolo aj vytvorenie jedinečného prírodného laboratória na sledovanie fungovania základných procesov lesných ekosystémov. Predložená práca sa zaoberá vplyvom klimatických podmienok na zmeny obvodov kmeňov a transpiračného prúdu na vybraných vzorníkoch smreka a smrekovca v Tatranskom národnom parku.

2 MATERIÁL A METODIKA

Výskum vodného režimu a transpirácie sa uskutočnil na lokalite Smrekovec (N 49° 07' 17,5", E 20° 06' 16,4") pri Vyšných Hágoch v Tatranskom národnom parku. Táto výskumná plocha bolo založená po veternej kalamite v novembri v roku 2004 ako referenčná plocha. Výskumné miesto sa nachádza v nadmorskej výške 1249 m n. m., na svahu s juhovýchodnou expozíciou a miernym sklonom (10–20°). Z hľadiska pôdneho typu prevažuje kambizem podzolová. V zmiešanom 123 ročnom poraste má dominantné zastúpenie smrek obyčajný (*Picea abies* (L.) Karst.) – 80 %, zostávajúcich 20 % dopĺňa smrekovec opadavý (*Larix decidua* Mill.).

Z klimatického hľadiska patrí skúmaná lokalita do klimaticky studenej oblasti s priemernou ročnou teplotou 3,7 °C a priemerným ročným úhrnom zrážok 959 mm (1961–1990).

Transpiračný prúd jednotlivých vzorníkov smreka a smrekovca sme merali metódou tepelnej bilancie podľa Čermáka a Kučeru (THB – tree-trunk heat balance method) (ČERMÁK *et al.* 2004; KUČERA 2003). Dôvodom výberu práve tejto metódy boli jej výhody oproti ostatným metódam, najmä možnosť kontinuálneho, nedeštruktívneho a automatického merania za každého počasia, v akomkoľvek poraste a na ľubovoľne veľkom strome. Meracie zariadenia sa inštalujú na spodnú časť kmeňa, do výšky od 1,3 do 4 m nad zemou, a zároveň pod prvým zeleným prาสlenom stromu. Inštalácia je pomerne rýchla a jednoduchá. THB metóda spočíva na princípe kvantifikácie množstva tepla unášaného prúdom vody cez vopred definovaný priestor vodivého xylému z celkového množstva tepla dodaného do tohto priestoru. Nainštalovaním troch vyhrievaných elektród (0,63 W) do vodorovnej roviny a jednej nevyhrievanej elektródy asi 10 cm pod rovinu troch vyhrievaných elektród môžeme prepočtom cez sériu matematických rovníc stanoviť intenzitu transpiračného prúdu v jednotkách hmotnosti (resp. objemu) vody za určitý čas.



Obr. 1 Schéma inštalácie zariadenia na meranie transpiračného prúdu na kmeni stromu

Fig. 1 Installation schema for sap flow measurement on the tree trunk

Merisko je zahrievané elektrickým prúdom za pomoci troch elektród zarazených do kmeňa tak hlboko, aby bola zachytená celá hrúbka vodivého xylému, ktorú získame odčítaním z grafu zostrojeného na základe experimentálnych meraní, štvrtá elektróda je nevyhrievaná (obrázok 1) (KUČERA 2003). Pri posudzovaní získaných výsledkov sa namerané hodnoty transpiračného prúdu prepočítavajú na konkrétny obvod kmeňa. Merisko musí byť chránené pred vplyvom vonkajších podmienok. Ako ochrana proti zrážkam, stoku po kmeni a vplyvu slnečného žiarenia sa používajú ochranné kryty. Na výskumnej ploche sa na meranie transpiračného prúdu konkrétne používa Sap flow meter P4.2 vyrábaný firmou EMS Brno v Českej republike. Dáta sa zaznamenávajú každých 20 minút a pri následnom spracovávaní sa hodnoty prepočítavajú na hodinové priemery a denné sumy.

Na meranie zmien obvodov kmeňov boli na výskumnej lokalite nainštalované dendrometre DRL 26 vyrábané firmou EMS Brno s automatizovaným ukladaním dát do zabudovaného datalogera. Dendrometer zaznamenáva dlhodobé zmeny obvodu kmeňa pomocou pásky s nehrdzavejúcej ocele, ktorá sa inštaluje priamo na kmeň stromu. Prístroj okrem zmeny obvodu kmeňa zaznamenáva aj vnútornú teplotu elektronickej časti senzora. Dendrometre boli nainštalované na jar v roku 2009 na tie isté stromy, na ktorých sa meria transpiračný prúd. Zmeny obvodov kmeňov sa kontinuálne zaznamenávajú v dvadsať minútových intervaloch (KUČERA 2007).

Transpirácia je cez koreňový systém stromov ovplyvňovaná obsahom dostupnej vody v pôde. Na meranie vodného potenciálu pôdy boli použité sadrové bločky vyrábané firmou EMS (Brno) pod názvom MicroLog SP. Súčasne môže dataloger merať aj okolitú teplotu pôdy (KUČERA 2005). V máji v roku 2009 boli na výskumnej ploche nainštalované do hĺbky 15 a 50 cm dva senzory na meranie vodného potenciálu pôdy.

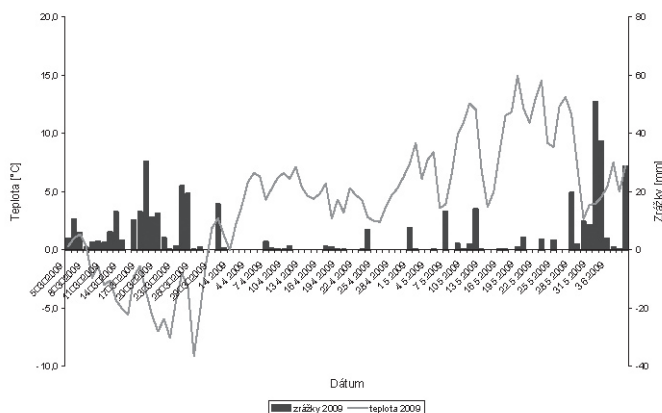
Spolu s uvedenými meraniami prebiehali na výskumnej lokalite Smrekovec aj meranie teploty a vlhkosti vzduchu. Na neďalekej voľnej ploche pri Danielovom dome, ktorá vznikla po kalamite v novembri 2004 sa meria úhrn zrážok a globálna radiácia (FLEISCHER 2008).

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

V práci sa zameriavame na nástup vegetačného obdobia v roku 2009. Transpiračný prúd sa začal merať 5. mája. Z klimatického hľadiska bola jar v tomto roku relatívne teplá (obrázok 2). Na začiatku apríla teplota vzduchu relatívne rýchlo vzrástla.

Apríl bol teplotne nadnormálny, čo odzrkadlilo aj nástup rašenia pupeňov smrekovca 20. apríla. V porovnaní s predchádzajúcimi rokmi to bolo podstatne skôr. Z hľadiska úhrnu zrážok bol marec mimoriadne vlhký (mimoriadne nadnormálny, 332,7 % z normálu), apríl bol zase naopak veľmi suchý (silne podnormálny, 31,7 % z normálu) a máj bol z hľadiska úhrnu zrážok vlhký (nadnormálny, 135 % z normálu).

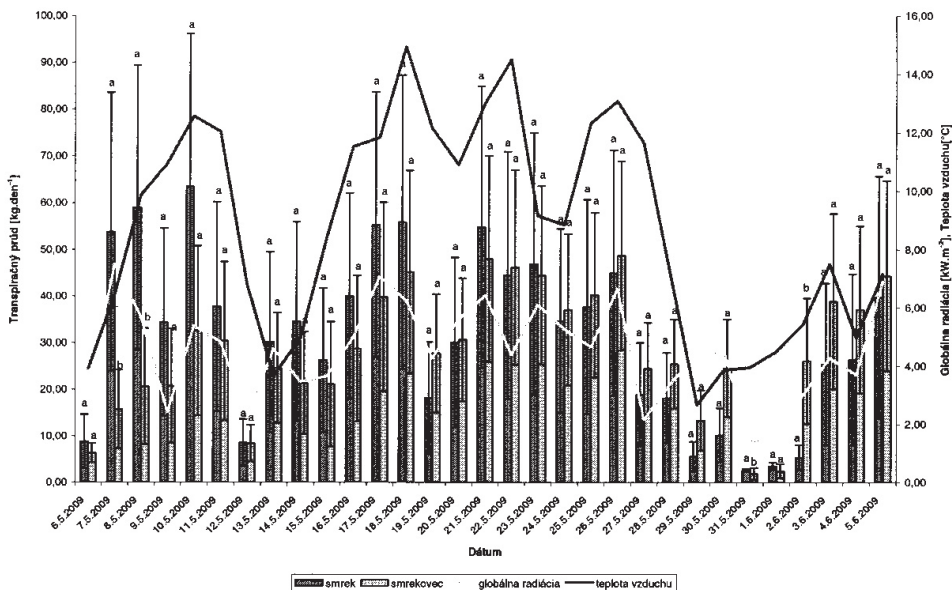
Na začiatku vegetačného obdobia v roku 2009 sme nezaznamenali výrazne výkyvy v priebehu transpiračného prúdu. Na obrázku 3 vidieť kolísavý, viac menej vzrastajúci trend transpiračného prúdu (priemerné denné sumy z piatich vzorníkov smreka a piatich vzorníkov smrekovca) počas nástupu vegetačného obdobia. Výraznejší pokles bol zaznamenaný na prelome mája a júna, čo bolo pravdepodobne spôsobené vysokým úhrnom zrážok (31. mája – 50,8 mm a 1. júna 37,4 mm) a nízkymi sumami dennej globálnej radiácie (2,2 kW.m⁻² a 1,6 kW.m⁻²). Časové oneskorenie denného chodu transpirácie za radiáciou sa uvádza v intervale jednej až dvoch hodín (ČERMÁK *et al.* 1995). Na lokalite v Tatrách sme pozorovali reakciu transpiračného prúdu na zmenu globálnej radiácie s časovým oneskorením troch hodín (korelačný koeficient $r = 0,70$ pri hladine významnosti $\alpha = 0,01$).



Obr. 2 Priebeh teploty vzduchu a súm úhrnov zrážok počas nástupu vegetačného obdobia v roku 2009

Fig. 2 Course of air temperature and precipitation during start of vegetation period in the year 2009

GARCÍA-SANTOS *et al.* (2009) uvádza pri pozorovaní porastovej vodivosti buka (*Myrica faya*) a vresovca stromovitého (*Erica arborea*) optimálnu teplotu 12 až 15 °C (blízka k priemernej teplote 13 °C), pri ktorej zaznamenal maximálne hodnoty porastovej vodivosti. Podobnú súvislosť medzi priemernou teplotou vzduchu a optimálnou porastovou vodivosťou zaznamenal aj HARRIS *et al.* (2004). Počas výskumu na lokalite Smrekovec vo Vysokých Tatrách sme zaznamenali maximálne hodnoty transpirácie smreka pri priemernej dennej teplote vzduchu 12,6 °C a smrekovca pri priemernej dennej teplote vzduchu 13,1 °C.

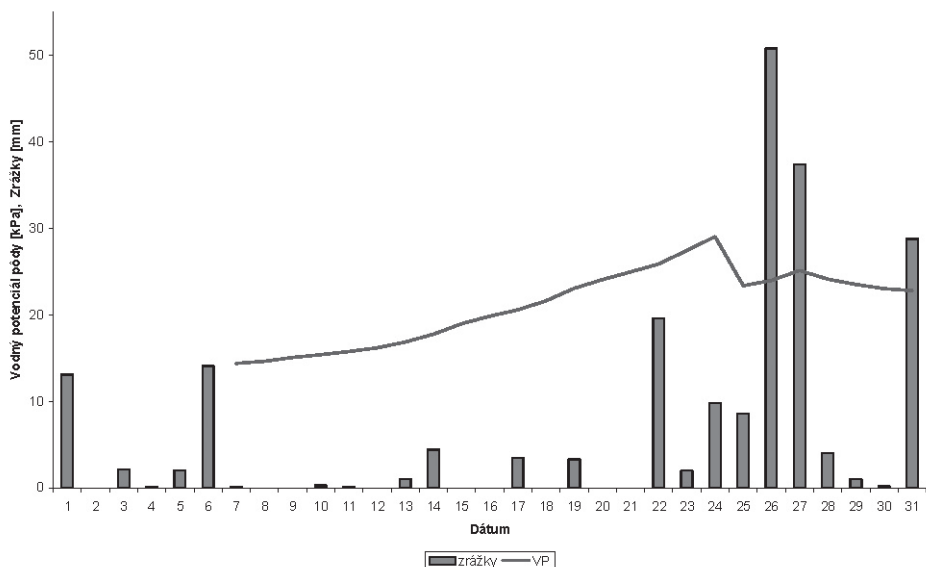


Obr. 3 Denné sumy transpiračného prúdu smreka a smrekovca počas nástupu vegetačného obdobia v roku 2009, sumy globálnej radiácie (GR) a priemerná teplota vzduchu (AT)

Fig. 3 Daily totals of the sap flow of spruce and larch sample trees during start of vegetation period in the year 2009, sums of global radiation (GR) and average air temperature (AT)

Na jar v roku 2009 sme pozorovali aj nástup fenologických fáz smrekovca. Prvá fenofáza – „rašenie pupeňov“ bola pozorovaná ešte pred nainštalovaním prístrojov na meranie transpiračného prúdu a to 20. apríla. Ďalšia fenofáza – „prvé listy“ bola zaznamenaná v deň nainštalovania prístrojov 7. mája. Posledná nami pozorovaná fenofáza – „všeobecné zalistovanie“ bola zaznamenaná 19. mája. Suma transpirácie vybraných vzorníkov smrekov od 7. mája do 19. mája bola 526 litrov, zatiaľ čo suma transpirácie vybraných vzorníkov smrekovcov bola len 343 litrov. Kým sa smrekovcom nevytvorilo nové ihličie, tak smrek transpiroval intenzívnejšie. Suma transpirácie smrekov od 20. mája do 5. júna bola 449 litrov a suma transpirácie smrekovcov bola počas toho istého obdobia 534 litrov. Z uvedeného teda vyplýva, že smrekovec začal postupne po oihličení transpirovať viac ako smrek.

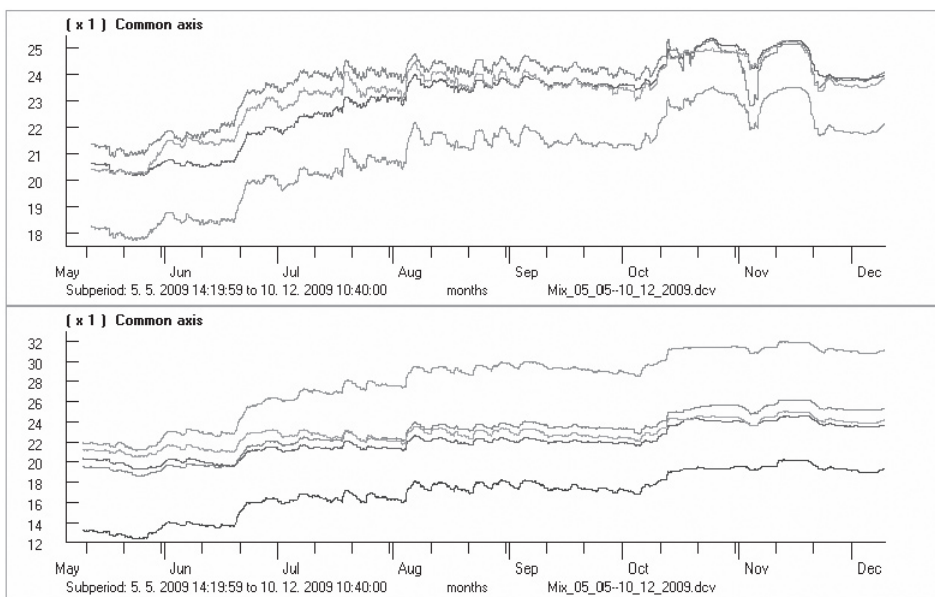
Na obrázku 4 je zobrazený úhrn zrážok a vodný potenciál pôdy (hodnoty vodného potenciálu pôdy boli korektne spracované a vyhodnocované až od 12. mája kvôli potrebe vyrovnania hodnôt s okolitou pôdou). Priemerná hodnota vodného potenciálu pôdy vyschnutej k bodu trvalého vädnutia je uvádzaná $-1,5$ MPa. Pre vlhkú pôdu sa hodnota vodného potenciálu uvádza v rozpätí od $-0,01$ do $-1,5$ MPa (KMEŤ 1998). Na výskumnej ploche bol vodný potenciál pôdy v sledovanom období zaznamenaný v rozpätí od $-0,014$ do $-0,029$ čiže pôda bola dostatočne vlhká a zásobená vodou.



Obr. 4 Priebeh zrážok a vodného potenciálu pôdy (VP v absolútnych hodnotách) počas nástupu vegetačného obdobia v roku 2009

Fig. 4 Course of precipitation and soil water potential (VP in absolute value) during start of vegetation period in the year 2009

V jarnom období v roku 2009 sme na vybraných vzorníkoch smreka a smrekovca začali merať zmeny v obvode kmeňov a následný prírastok. Vzorníky sú totožné s tými, na ktorých sa meria transpiračný prúd. Výsledky viacerých autorov potvrdili dôležitú úlohu teploty vzduchu pri začatí a ukončení aktívnej činnosti kambia a v produkcii xylému a felogénu. Rossi *et al.* (2006) predpokladá počiatočnú hodnotu teploty potrebnú pre xylogenézu smreka v intervale od 6,5 °C do 10 °C. Obrázok 5 znázorňuje dynamiku zmien obvodu kmeňa v priebehu celého vegetačného obdobia v roku 2009. KAMLEROVÁ & SCHEJBALOVÁ (2006) zaznamenali hrúbkový prírastok smreka na začiatku a v prvej polovici mája. Na našich vzorníkoch stromov sme po ustálení prístrojov zaznamenali začiatok tvorby hrúbkového prírastku na konci mája, kedy boli zaznamenané optimálne teplotné podmienky pre prírastok stromu. Táto čiastočná odlišnosť môže byť v našom prípade spôsobená vyššou nadmorskou výškou výskumnej lokality. V polovici júna pozorujeme výrazné zrýchľovanie prírastku. Na obrázku 5 je však zaznamenané aj druhé takéto obdobie v netypickom časovom období, a to na začiatku októbra. JEŽÍK *et al.* (2007) uvádza, že hrúbkové prírastky kmeňov sú silne ovplyvňované klimatickými činiteľmi ako sú zrážky a teplota. V roku 2009 sme v prvej októbrovej dekáde zaznamenali relatívne vysokú priemernú teplotu vzduchu až 8,9 °C, čo mohlo byť príčinou nástupu druhého obdobia zrýchľovania prírastku.



Obr. 5 Dynamika zmien obvodov kmeňov smreka (horný obrázok) a smrekovca (dolný obrázok) v priebehu vegetačného obdobia v roku 2009

Fig. 5 The course of stem circumference changes of spruce (top picture) and larch (bottom picture) trees during growing season 2009

4 ZÁVER

Vonkajšie faktory prostredia pôsobia na transpiráciu predovšetkým tak, že ovplyvňujú gradient vodného potenciálu medzi rastlinou a okolitým ovzduším. S klesajúcou vlhkosťou vzduchu, stúpajúcou teplotou vzduchu a zvyšujúcou sa rýchlosťou pohybu vzduchu sa zvyšuje aj rýchlosť transpirácie. Globálna radiácia a sýtosťný deficit (VPD) sa ukazujú ako veľmi dôležité klimatické faktory ovplyvňujúce transpiráciu (GRANIER & BRÉDA 1995). Zároveň CIENCIELA *et al.* (1994) uvádza závislosť porastovej vodivosti na relatívnej vlhkosti vzduchu, globálnej radiácii a vodnom potenciáli listov. Dominantnou drevinou Tatranského národného parku je smrek obyčajný (*Picea abies* (L.) Karst.). Okrem iných dopĺňa drevinové zloženie týchto zmiešaných lesov aj smrekovec opadavý (*Larix decidua* Mill.). Kalamita v novembri 2004 zasiahla svojou ničivou činnosťou prevažne smrek. Následne neoptimálne spracovanie tejto vetrovej kalamity začalo spôsobovať ďalšie odumieranie zostávajúceho smrekového porastu pôsobením pôdkorníkového hmyzu, predovšetkým lykožrúta. Nevieme predpovedať do budúcnosti akým smerom sa bude uberať nasledujúci vývoj TANAPu, preto je potrebné zamerať sa na analýzu rôznych možností a kombinácií drevinového zloženia, ktoré by bolo najvhodnejšie pre tatranskú oblasť z hľadiska odolnosti voči rôznym meteorologickým vplyvom.

V predloženej práci sme zhodnotili rozdiel v transpirácii smreka a smrekovca na začiatku vegetačného obdobia pred oihličiením smrekovca a po vyvinutí jeho asimilačných orgánov. Transpirácia smrekovca bola po vyvinutí ihličia vyššia ako transpirácia smreka. Pri porovnaní zmien v obvode kmeňov u smreka a smrekovca sme nezaznamenali žiadne signifikantné rozdiely. Začiatok aktivity kambia a následný hrúbkový prírastok bol pozorovaný približne v rovnakom časovom období.

Smrek je drevina charakteristická veľkou vnútroduhovou a geografickou premenlivosťou, vie sa prispôbiť klimatickým aj pôdnym podmienkam. Vyhovuje mu chladná klíma, nie je citlivý na nízke teploty a je odolný voči zimnému vysychaniu alebo fyziologickému suchu, nie je však odolný voči neustále narastajúcemu deficitu zrážok najmä vo vegetačnom období. Podmienky tatranskej oblasti sú teda pre smrek optimálne, aj keď medzi jeden z hlavných škodlivých činiteľov, ktorý limituje jeho výskyt patrí vietor, ktorý predstavuje v tatranskej oblasti opakujúci sa fenomén. Smrekovec je tiež odolný voči chladnej klíme a teplotným výkyvom a jeho odolnosť voči nepriaznivým poveternostným podmienkam je vyššia ako u smreka.

Zmeny klímy a ich negatívne vplyvy priamo pôsobia aj na lesné ekosystémy ako jednu z hlavných zložiek životného prostredia. Ich následkom môže dôjsť k zmenám fenologických procesov, čo by mohlo mať vplyv na prirodzené rozšírenie drevín a zmeny ich pôvodných areálov (ŠKVARENINOVÁ 2009). Následkom zmeny klímy nastávajú zmeny najmä v teplotnom a zrážkovom režime v priebehu roka, čo nám odzrkadľujú aj nadnormálne a podnormálne záznamy teploty vzduchu a úhrnu zrážok na výskumnej lokalite. Vzhľadom na nárast teplôt a predpokladané zmeny v distribúcii zrážok sa očakávajú relatívne dlhšie suché obdobia a obdobia s nadmernými zrážkami v krátkom období, ako aj obdobia s teplotnými extrémami (MINĐÁŠ & ŠKVARENINA 2003). Takéto zmeny pôsobia na fyziologické procesy a zdravotný stav smreka, ktorý je kvôli plytkému koreňovému systému, svojej náročnosti na pôdnu vlhkosť a netolerancii k vysokým teplotám veľmi zraniteľnou drevinou (ŠKVARENINOVÁ 2009). Doteraz nezodpovedanou otázkou ostáva, akú úlohu bude hrať smrekovec v budúcom vývoji charakteru Tatranského národného parku a či je možné uvažovať o ňom ako o drevine, ktorá by v budúcnosti mohla nahradiť fyziologicky zraniteľný smrek.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0022-07 (30 %).

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0456-07 (30 %).

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja (40 %).

Literatúra

- CIENCIALA, E., LINDROTH, A., ČERMÁK, J., HÄLLGREN, J. E., KUČERA, J. 1994: The effects of water availability on transpiration, water potential and growth of *Picea abies* during a growing season. *Journal of Hydrology* 155: 57–71.
- ČERMÁK, J., CIENCIALA, E., KUČERA, J., LINDROTH, A., BEDNÁŘOVÁ, E. 1995: Individual variation of sap-flow rate in large pine and spruce trees and stand transpiration: a pilot study at the central NOPEX site. *Journal of Hydrology* 168: 17–27.
- ČERMÁK, J., KUČERA, J., NADEZHINA, N. 2004: Sap flow measurements with thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. *Trees* 18: 529–546.
- FLEISCHER, P. 2008: Windfall research and monitoring in the High Tatra Mts., objectives, principles, methods, and current status. *Contributions to Geophysics and Geodesy* 38 (3): 233–248.
- GARCÍA-SANTOS, G., BRUIJNZELL, L. A., DOLMAN, A. J. 2009: Modelling canopy conductance under wet and dry conditions in a subtropical cloud forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 149: 1565–1572.
- GARTNER, K., NADEZHINA, N., ENGLISCH, M., ČERMÁK, J., LEITGEB, E. 2009: Sap flow of birch and Norway spruce during the European heat and drought in summer 2003. *Forest Ecology and Management* 258: 590–599.
- GRANIER, A., BRÉDA, N. 1995: Modelling canopy conductance and stand transpiration of an oak forest from sap flow measurements. *Ann Sci For* 53: 537–546.
- HARRIS, P. P., HUNTINGFORD, C., COX, P. M., GASH, J. H. C., MALHI, Y. 2004: Effect of soil moisture on canopy conductance of Amazonian rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology* 122: 215–227.
- JEŽÍK, M., BLAŽENEC, M., STŘELCOVÁ, K. 2007: Intraseasonal stem circumference oscillations: their connection to weather course. In: Střelcová, K., Škvarenina, J., Blaženec, M., (eds.): Bioclimatology and natural hazards. International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, September 17. – 20. 2007 (CD).
- JEŽÍK, M., STŘELCOVÁ, K. 2005: Sezónna dynamika hrúbkového prírastku buka vo vzťahu k faktorom klímy a priebehu počasia. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): Bioklimatologie súčasnosti a budúcnosti, Křtiny 12. – 14. Septembra 2005 (CD).
- KAMLEROVÁ, K., SCHEJBALOVÁ, H. 2006: Vliv klimatických faktorů na sezónní dynamiku tloušťkového přírůstku smrku ztepilého. In: Rožnovský, J., Litschmann, T., Vyskot, I. (eds.): Fenologická odezva proměnlivosti podnebí. Brno 22. 3. 2006.
- KMEŤ, J. 1998: Fyziológia rastlín. TU Zvolen, 164 pp.
- KUČERA, J. 2003: Sap Flow Meter – P4.2, Instruction Manual. Výrobca EMS Brno, 10 pp.
- KUČERA, J. 2005: MicroLog SP – One-channel datalogger for soil water potential Measurement, User's Manual. Výrobca EMS Brno, 9 pp.
- KUČERA, J. 2007: Dendrometer Increment Sensor – DRL 26, User's Manual. Výrobca EMS Brno, 15 pp.
- LAPIN, M., DAMBORSKÁ, I., DRINKA, R., GERA, M., MELO, M. 2006: Scenarios of climatic elements daily values for Slovakia until 2100. *Slovak Meteorological Journal* 9: (3–4): 149– 56.
- LAPIN, M., SZEMESOVÁ, J. 2009: Review of climate change and GHGs inventory in Slovakia. *Meteorologický časopis* 12: 151–155.
- MATEJKA, F., HUZULÁK, J. 1987: Analýza mikroklimy porastu. SAV Bratislava, 228 pp.
- MATEJKA, F., ROŽNOVSKÝ, J., HURTALOVÁ, T., JANOUŠ, D. 2002: Effect of soil drought on evapotranspiration of a young spruce forest. *Journal of Forest Science* 48(4): 166–172.
- MÄKINEN, H., NÖJD, P., SARANPÄÄ, P. 2003: Seasonal changes in stem radius and production of new tracheids in Norway spruce. *Tree Physiology* 23: 959–968.
- MINDÁŠ, J., ŠKVARENINA, J. 2003: Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny. LVÚ s. Zvolen, 128 pp.
- NOVÁK, V. 1995: Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania, Veda, Bratislava 260 pp.
- ROSSI, S., DESLAURIERS, A., ANFODILLO, T., CARRARO, V. 2006: Evidence of threshold temperatures for xylogenesis in conifers at high altitudes. *Oecologia* 152: 1–12.
- SAVVA, YU. V., SCHWEINGRUBER, F. H., VAGANOV, E. A., MILYUTIN, L. I. 2003: Influence of climate changes on tree – ring characteristics of Scots pine provenances in southern Siberia (forest-steppe). *IAWA Journal* 24 (4): 371–383.
- SEVANTO, S., VESALA, T., PERÄMÄKI, M., NIKINMAA, E. 2002: Time lags for xylem and stem diameter variations in a Scots pine tree. *Plant, Cell and Environment* 25: 1071–1077.

- STŘELCOVÁ, K., KUČERA, J. 2005: Stanovenie evapotranspirácie smrekového porastu metódou s dendrometrickým prístupom. In: Rožnovský, J., Litschmann, T., (eds): Seminář „Evaporace a evapotranspirace“, Brno, 23. marca 2005, pp. 73–80.
- STŘELCOVÁ, K., KUČERA, J., FLEISCHER, P., GIORGI, S., GÖMÖRYOVÁ, E., ŠKVARENINA, J., DITMAROVÁ, L. 2009: Canopy transpiration of mountain mixed forest as a function of environmental conditions in boundary layer. *Biologia* 64 (3): 507–511.
- ŠKVARENINOVÁ, J. (ed.) 2009: Fenológia rastlín v meniacich sa podmienkach prostredia. Vydavateľstvo Technickej univerzity, Zvolen, 103 pp.
- ZWEIFEL, R., ITEM, H., HÄSLER, R. 2000: Stem radius changes and their relation to stored water in stems of young Norway spruce trees. *Trees* 15: 50–57.
- ZWEIFEL, R., ITEM, H., HÄSLER, R. 2001: Link between diurnal stem radius changes and tree water relations. *Tree Physiology* 21: 869–877.
-

Adresa autorov:

Ing. Dagmar Magová
Doc. Ing. Katarína Střelcová, PhD.
Katedra prírodného prostredia
Lesnícka fakulta TU vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

Ing. Michal Šudý, PhD.
Katedra environmentálneho manažérstva
Fakulta prírodných vied Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici
Tajovského 40
974 01 Banská Bystrica

e-mail: magova@vsld.tuzvo.sk
strelcov@vsld.tuzvo.sk
sudy@fpv.umb.sk

Zmeny obvodov kmeňov a transpirácie smreka a smrekovca vplyvom meniacich sa podmienok prostredia

Abstrakt

Transpirácia a zmeny obvodov kmeňov sú ovplyvňované meniacimi sa podmienkami prostredia (klimatickými, evaporačnými atď.). Počas nástupu vegetačného obdobia v roku 2009 bol na lokalite Smrekovec, v Tatranskom národnom parku, meraný transpiračný prúd a zmeny obvodov kmeňov na vybraných vzorníkoch smreka (*Picea abies* (L.) Karst.) a smrekovca (*Larix decidua* Mill.). Výskumná plocha sa nachádza v poraste, ktorý nebol zasiahnutý vetrovou kalamitou v roku 2004, v nadmorskej výške 1 249 m n. m. Transpiračný prúd bol meraný na piatich vzorníkoch smreka a piatich vzorníkoch smrekovca použitím metódy tepelnej bilancie. Zmeny obvodov kmeňov boli merané na tých istých vzorníkoch stromov pomocou digitálnych dendrometrov DRL 26. Na lokalite súčasne prebiehali klimatické merania. Prvé výraznejšie zmeny obvodov kmeňov boli zaznamenané na konci mája po relatívne teplej perióde. Transpiračný prúd je ovplyvňovaný najmä globálnou radiáciou, vodným potenciálom pôdy a úhrnom zrážok. Na konci mája a na začiatku júna bol zaznamenaný výrazný pokles transpirácie, čo bolo pravdepodobne zapríčinené vysokým úhrnom zrážok a nízkymi hodnotami

globálnej radiácie. Transpiračný prúd sa v priebehu dňa podstatne mení a následkom toho dochádza k zmenám vodného potenciálu kmeňa. Predložená práca sa zaoberá vplyvom klimatických podmienok na zmeny obvodov kmeňov a transpiračného prúdu na vybraných vzorníkoch smreka a smrekovca v Tatranskom národnom parku.

Kľúčové slová: transpiračný prúd, zmeny obvodov kmeňov, Tatranský národný park, smrek obyčajný, smrekovec opadavý

DYNAMIKA REGENERAČNÝCH PROCESOV PRÍRODNÉHO ZMIEŠANÉHO LESA V NPR HRONČECKÝ GRÚŇ

Miroslav B A L A N D A

Balanda, M., 2010: The dynamics of natural regeneration processes of mixed natural forest in NNR Hrončecký grúň. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 101–111.

The paper deals with evaluation of natural regeneration processes in natural mixed forest NNR Hrončecký grúň. The presence of six groups of forest types on the plot of reserve: *Fageto-Abietum*, *Fagetum pauper*, *Abieto-Fagetum*, *Abieto-Fagetum acerosum*, *Fageto-Aceretum* a *Fraxineto-Aceretum* is documenting the tree species diversity in this condions. There was the permanent research plot (50 × 500 m) established in the reserve in 2008. The recorded numbers of tree regenerations ranged from 38345 pcs.ha⁻¹ to 82283 pcs.ha⁻¹, in dependence on developmental stage. The high mortality trend was observed across gradient of height categories. According to result of tree regeneration analysis, we can consider the deer as a main factor affecting the survival and next growth of particular species progeny. Typical outgrowth of ash individuals in the shelter of well – developed next generation of beech can be consider as possible growth strategy of ash in condition of high deer numbers. The statistically significant influence of light enviroment to next outgrowth of tree individuals was confirmed.

Keywords: natural regeneration, natural forest, *Fraxinus excelsior* L., impact of deer browsing

ÚVOD A PROBLEMATIKA

Prirodzená obnova hrá dôležitú úlohu v obhospodarovaní lesov Slovenska. Jej uplatňovanie naberá na význame hlavne v súčasnej forme lesníctva, založeného na postulátoch prírody blízkeho obhospodarovania.

Samotné uplatňovanie prirodzenej obnovy v obnove porastov je ideálnym spôsobom ochrany genofondu autochtónnych drevín, zároveň je zárukou zachovania biodiverzity porastov ako takých. Obnova porastov prostredníctvom prirodzeného zmladenia je jednou zo základných podmienok certifikácie lesov, pričom jej uplatňovanie pri obhospodarovaní prináša i nemalý pozitívny ekonomický efekt.

Autoregenerácia a autoregulácia patria k základným vlastnostiam prírodných lesov. Regeneračné procesy pralesa zabezpečujú kontinuálne striedanie generácií drevín v rámci vývojového cyklu. Vznikom otvoru v porastovom zápoji (medzery) dochádza v poraste k zmene prísunu svetelného žiarenia a k zmene porastovej mikroklimy. Spomedzi všetkých hlavných potrieb prirodzeného zmladenia (živiny, voda, mikroklima atď.) má dostupnosť svetla základný význam.

Kombinácia drevín s výrazne odlišnými ekologickými nárokmi komplikuje interpretáciu dynamiky regeneračných procesov pralesa a tým špecifikáciu priebehu vývojového cyklu. Rôzna tolerancia drevín na svetelné podmienky má za následok časovo a priestorovo odlišné spôsoby nástupu prirodzenej obnovy jednotlivých drevín (NAGEL *et al.* 2006, ROZENBERGAR *et al.* 2007, YAMAMOTO 2000).

Typ disturbančného režimu priamo určuje spôsob odumierania jedincov. Súbežné pôsobenie exogénnych a endogénnych škodlivých činiteľov má za následok, kombináciu rozdielných spôsobov odumierania jedincov (odumieranie „na stojato“, vs. plošné rozvrátenie porastu). V porastovom zápoji vznikajú otvory rôznej veľkosti a tvaru, ktoré sú priamo determinované typom pôsobiaceho disturbančného činiteľa.

V drevinovom zložení lesného ekosystému na príklade NPR Hrončecký Grúň, reprezentujú jaseň štíhly a javor horský rastovú stratégiu drevín porastových medzier, schopných pohotovo reagovať na zvýšený svetelný pôžitok intenzívnym a konštantným rastom (PETRITAN *et al.* 2008). Uvedené dreviny sú schopné do určitej miery kompenzovať nevhodné svetelné pomery, hlavne v juvenilnom štádiu rastu, tvorbou tiennych listov (jaseň), resp. vytvorením dáždnikovitého usporiadania listov v korune (javor) (KERR, CAHALAN 2004), avšak nie sú schopné v týchto podmienkach konkurovať typickým tiennym drevinám, akými sú buk a jedľa. Tieto druhy sú typickými zástupcami drevín dlhodobu tolerujúcich nevhodné svetelné pomery, v ktorých jednoznačne dominujú v medzidruhovej kompetícii, sú schopné odrastať, výškovým rastom dosahovať zvýšený svetelný pôžitok (STANCIOIU, O'HARA 2006). Z tohto dôvodu sa variabilita vo veľkosti porastových medzier, podmieňujúca špecifické svetelné pomery v poraste, významnou mierou podieľa na udržaní druhovej rozmanitosti porastovej úrovne v prírodnom lese (RUNKLE 1982; CANHAM 1989, TANOUCHI A YAMAMOTO 1995).

Cieľom tejto práce je zhodnotiť priebeh regeneračných procesov zmiešaného prírodného lesa v závislosti od vývojového štádia, v ktorom sa porast nachádza. V druhej časti sa pokúsime evaluovať vplyv rozdielných svetelných pomerov porastu na dynamiku prirodzenej obnovy.

MATERIÁL A METODIKA

NPR Hrončecký Grúň bola vyhlásená dňa 21. 8. 1964. Vlastné jadro rezervácie má výmeru 55,20 ha, spolu s nárazníkovou zónou – ochranným pásmom 167,10 ha. Hlavným účelom vyhlásenia NPR bola ochrana pôvodného drevinove pestrého pralesovitého spoločenstva. Orograficky patrí územie NPR do pohoria Poľana, z hľadiska ochrany prírody do Biosférickej rezervácie CHKO Poľana. Zemepisné súradnice záujmového územia 48° 43' N a 19° 35' E. NPR Hrončecký Grúň sa nachádza v nadmorskej výške od 730 do 1 050 m n. m. Prevládajúcou pôdotvornou horninou záujmového územia sú vulkanoklastické horniny, avšak na územie zasahuje i komplex křiřtalínika. Na väčšej časti plochy prevládajú pôdy odvodené zo sopečných substrátov, t. j. kambizeme a andozeme, ktoré mozaikovite prechádzajú do kambizemí typických a andozemných, ako aj do pôd rankrových. Na ploche tvorenej migmatitmi sa nachádzajú kambizeme nenasytené.

Rezervácia predstavuje z hľadiska druhového zloženia vrchol zastúpenia drevín, nakoľko je tu prítomných päť druhov listnatých drevín (*Fagus sylvatica*, L.; *Fraxinus excelsior* L.; *Acer pseudoplatanus* L.; *Acer platanoides* L.; *Ulmus glabra* Mill.) a dva druhy ihličnatých drevín (*Picea abies*, L. Karst.; *Abies alba*, Mill.). Rôznorodosť stanovištných pomerov rezervácie dokumentuje prítomnosť šiestich skupín lesných typov: *Fageto-Abietum*, *Fagetum pauper*, *Abieto-Fagetum*, *Abieto-Fagetum acerosum*, *Fageto-Aceretum* a *Fraxineto-Aceretum*.

Na ploche pralesa bola v roku 2008 založená trvalá výskumná plocha o rozmeroch 50 × 500 m (2,5 ha). Z dôvodu zlepšenia prehľadnosti bola celá TVP zahustená rastrom 25 × 25 m. Táto čiastková plocha predstavuje základnú evidenčnú jednotku. Plocha bola následne z dôvodu odlišných stanovištných pomerov (rozdielne geologické podložie) rozdelená na dve časti, ktoré podliehali následnej analýze oddelene.

Samotný zber dát na TVP pozostával z dvoch častí. Ako prvé boli na ploche pozične zachytené porastové medzery. Osobitne boli evidované otvorené a rozšírené porastové medzery (RUNKLE 1992).

Evidencia prirodzeného zmladenia bola na jednotlivých čiastkových plochách z dôvodu vysokej početnosti a druhovej rôznorodosti prirodzeného zmladenia evidovaná na piatich kruhových skusných plochách o polomere 2 m. Získané početnosti boli následne prepočítané na hektár. Jednotlivé jedince boli kategorizované do piatich výškových tried podľa KORPEEA (1989).

Pri analýze vplyvu svetelných pomerov bol stanovený percentuálny plošný podiel clonenej plochy na každej čiastkovej ploche. Tento bol vypočítaný ako rozdiel výmery čiastkovej plochy (625 m²) a výmery rozšírených medzier na tejto ploche. Následne sme čiastkové plochy rozdelili do troch tried (do 1/3, od 1/3 do 2/3 a nad 2/3), podľa podielu clonenej plochy. Vzhľadom na štruktúru nameraných dát bola na analýzu vplyvu clonenej plochy na početnosti jedincov prirodzenej obnovy použitá neparametrická analýza variancie, Kruskal – Wallisova ANOVA.

Výsledky

Získané hodnoty početností jedincov prirodzenej obnovy na ploche Optimum I prezentuje tabuľka 1. Celkový zaznamenaný počet jedincov 82 283 ks.ha⁻¹, je tvorený prevažne jaseňom (58,83 %). Buk a javor horský sa zúčastňujú na tomto zložení približne rovnakým podielom (19,87 % a 16,45 %, podľa poradia).

Z uvedenej tabuľky je zreteľná jednoznačná dominancia jedincov prirodzenej obnovy vo výškovej kategórii do 20 cm (86,96 %). I tejto kategórii dominuje drevina jaseň, pričom opäť pozorujeme rovnaký podiel buka a javora horského. Vo vyšších kategóriách je zrejma vysoká mortalita jedincov, pričom do najvyšších kategórií (nad 80 cm) prechádza len 2,5 % jedincov. V týchto kategóriách však už 100 % dominuje drevina buk. Tento jav je zrejmy z toho dôvodu, že uvedená plocha sa nachádza vo vývojovom štádiu optimum, ktoré je typické absenciou porastových medzier v úrovni. Svetelné podmienky v spodnej vrstve porastu sú ešte dostatočné pre ujímanie a prežívanie jedincov svetlomilných drevín, avšak následného odrastania sú schopné iba druhy tolerantné k zatieneniu (buk).

Tieto sú schopné i dlhodobejšieho prežívania a odrastania v nepriaznivých svetelných podmienkach uzavretého zápoja.

Tab. 1 Štruktúra jedincov prirodzenej obnovy v závislosti od druhu dreviny a výškovej kategórie, (Optimum I.)

Table 1 The structure of natural regeneration according to height category and tree species, (Optimum I.)

OI	Výšková kategória										spolu	%
	do 20 cm		21–50 cm		51–80 cm		81–130 cm		131–2 cm			
	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%		
bh	319	0,45	531	8,47	54	2,21	0	0,00	0	0,00	904	1,10
bk	8 812	12,32	3 185	50,83	2 336	95,58	1 805	100,00	213	100,00	16 351	19,87
jh	13 324	18,62	213	3,40	0	0,00	0	0,00	0	0,00	13 537	16,45
jm	2 867	4,01	213	3,40	0	0,00	0	0,00	0	0,00	3 080	3,74
js	46 233	64,61	2 124	33,90	54	2,21	0	0,00	0	0,00	48 411	58,83
spolu	71 555	86,96	6 266	7,62	2 444	2,97	1 805	2,19	213	0,26	82 283	100,00

Tab. 2 Štruktúra jedincov prirodzenej obnovy v závislosti od druhu dreviny a výškovej kategórie, (Rozpad I.)

Table 2 The structure of natural regeneration according to height category and tree species, (Breakdown I.)

RI	Výšková kategória										spolu	%
	do 20 cm		21–50 cm		51–80 cm		81–130 cm		131–2 cm			
	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%		
bh	613	1,59	637	2,47	380	4,88	98	3,67	74	3,72	1 802	2,34
bk	5 329	13,79	4 239	16,44	2 438	31,28	2 071	77,51	1 887	94,97	15 964	20,76
jd	74	0,19	13	0,05	0	0,00	0	0,00	0	0,00	87	0,11
jh	7 767	20,10	1 225	4,75	147	1,89	0	0,00	13	0,65	9 152	11,90
jm	895	2,32	196	0,76	13	0,17	13	0,49	0	0,00	1 117	1,45
jp	25	0,06	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	25	0,03
js	23 937	61,95	19 478	75,53	4 815	61,79	490	18,34	13	0,65	48 733	63,39
spolu	38 640	50,26	25 788	33,54	7 793	10,14	2 672	3,48	1 987	2,58	76 880	100,00

Situácia na ploche Rozpad I. 76 880 ks.ha⁻¹, je čo do celkového počtu jedincov totožná ako pri štádiu optima na tejto ploche (tab. 2). Odlišná však je distribúcia počtu jedincov pozdĺž gradientu výškových kategórií. Zrejmé je úspešnejšie odrastanie jedincov do vyšších kategórií (6 % z celkového počtu), avšak mortalita jedincov jaseňa je ešte stále značná. Počet jedincov jaseňa vo výškových kategóriách nad 80 cm, 503 ks.ha⁻¹ je vo výraznej disproporcii s jeho zastúpením v úrovni. Jaseň na ploche I. tvorí v optime dominantnú časť úrovne, kde podiel tejto dreviny je približne 72,80 % z celkovej zásoby porastu. Príčinou tohto javu je pravdepodobne nepretržité systematické poškodzovanie prirodzeného zmladenia jaseňa

odhryzom jeleňou zverou, ktorá v týchto lokalitách dosiahla v súčasnosti značne vysoké kmeňové stavy. Pribeh rozdelenia početností buka vo výškových kategóriách poukazuje na jeho dobré prežívanie a postupné presadzovanie sa v uvoľnenom rastovom priestore, pričom tlak jelenej zveri je orientovaný na drevinu jaseň. Samotné odrastanie jaseňa do vyšších výškových kategórií je potom viazané na prítomnosť prirodzeného zmladenia buka, ktoré tvorí istý druh krytu pred odhryzom jaseňových terminálov. Je však nutné si uvedomiť i vysoký kompetičný tlak buka, ktorý pôsobí na tieto jedince jaseňa v týchto kategóriách, čo je zrejme jedným z dôvodov jeho nízkej početnosti. Pôsobenie zveri je zrejme i pri analýze početností ostatných druhov drevín (jedľa, javor), ktoré sa taktiež vyznačujú značnou mortalitou voči konkurenčne silnému buku.

Situáciu na ploche optimum II. charakterizuje tabuľka 3. Celkový počet jedincov prirodzenej obnovy (38 345 ks.ha⁻¹) je značne nižší ako na ploche optimum I. Tento rozdiel je spôsobený hlavne výrazne nižšou početnosťou jedincov vo výškovej kategórii do 20 cm. Príčinu tohto javu je potrebné hľadať v zložení hornej vrstvy porastu na ploche II., ktorá je tvorená zo značnej časti bukom (28,33 %) a smrekom (36,67 %). Priepustnosť slnečného žiarenia korunami týchto drevín je značne nižšia ako priepustnosť úrovne tvorenej jaseňom na ploche I. Nedostatok fotosynteticky aktívneho žiarenia v spodnej vrstve porastu má za následok výrazne nižšie celkové počty jedincov prirodzenej obnovy. Čo sa týka mortality jedincov pozdĺž gradientu kategórií, je situácia totožná s plochou optimum I. V najnižšej kategórii však dominuje jaseň (47,52 %) spolu s javorom horským (40,22 %). Presadenie sa javora horského v tejto kategórii, ktorý je značne tolerantnejší k zatieneniu ako jaseň, potvrdzuje skutočnosť nižšieho svetelného pôžitku v prízemnej časti porastu.

Tab. 3 Štruktúra jedincov prirodzenej obnovy v závislosti od druhu dreveniny a výškovej kategórie, (Optimum II.)

Table 3 The structure of natural regeneration according to height category and tree species, (Optimum II.)

OII	Výšková kategória										spolu	%
	do 20 cm		21–50 cm		51–80 cm		81–130 cm		131–2 cm			
	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%		
bk	558	1,93	1 155	16,20	1 075	64,26	319	100,00	319	100,00	3 426	8,93
bt	40	0,14	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	40	0,10
jd	2 270	7,85	120	1,68	0	0,00	0	0,00	0	0,00	2 390	6,23
js	13 735	47,52	4 738	66,46	279	16,68	0	0,00	0	0,00	18 752	48,90
jvh	11 625	40,22	1 036	14,53	319	19,07	0	0,00	0	0,00	12 980	33,85
jvm	438	1,52	80	1,12	0	0,00	0	0,00	0	0,00	518	1,35
sm	239	0,83	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	239	0,62
spolu	28 905	75,38	7 129	18,59	1 673	4,36	319	0,83	319	0,83	38 345	100,00

Tab. 4 Štruktúra jedincov prirodzenej obnovy v závislosti od druhu dreviny a výškovej kategórie, (Rozpad II.)

Table 4 The structure of natural regeneration according to height category and tree species, (Breakdown II.)

RII	Výšková kategória										spolu	%
	do 20 cm		21–50 cm		51–80 cm		81–130 cm		131–2 cm			
	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%	ks.ha ⁻¹	%		
bk	414	2,48	1 027	6,33	1 250	26,61	1 752	71,86	2 046	94,11	6 489	15,36
bt	64	0,38	168	1,04	96	2,04	40	1,64	8	0,37	376	0,89
jd	1 083	6,48	192	1,18	8	0,17	8	0,33	0	0,00	1 291	3,06
js	8 940	53,47	11 757	72,46	3 025	64,39	574	23,54	104	4,78	24 400	57,75
jvh	5 214	31,19	2 277	14,03	215	4,58	48	1,97	8	0,37	7 762	18,37
jvm	677	4,05	796	4,91	104	2,21	16	0,66	8	0,37	1 601	3,79
sm	327	1,96	8	0,05	0	0,00	0	0,00	0	0,00	335	0,79
spolu	16 719	39,57	16 225	38,40	4 698	11,12	2 438	5,77	2 174	5,15	42 254	100,00

Štruktúru prirodzenej obnovy na ploche rozpad II. znázorňuje tabuľka 4. Zaujímavá je prítomnosť prirodzeného zmladenia jedle na ploche II. (1 291 ks.ha⁻¹ v rozpade a 2 390 ks.ha⁻¹ v optime). Je pravdepodobné, že svetelné pomery pod úrovňou zloženou z buka a smreka umožňujú ujímanie a prežívanie semenáčikov jedle, ktorá vyniká najvyšším stupňom tolerancie k zatieneniu spomedzi všetkých tu uvedených druhov drevín. Avšak jej ďalšie odrastanie je i v tomto prípade limitované vplyvom jelenej zveri. Celkový počet jedincov v kategóriách nad 80 cm (4 612 ks.ha⁻¹), tvorený prevažne bukom, sa zdá dostatočný z pohľadu zabezpečenia kontinuálneho striedania generácií v rámci vývojového cyklu pralesa. Taktiež odrastanie jaseňa v kryte početnejšieho buka na tejto ploche načrtáva možnú stratégiu prežitia jedincov jaseňa v podmienkach silného tlaku jelenej zveri.

Tab. 5 Kruskal – Wallisov test pre kategóriu prirodzeného zmladenia „do 20 cm“

Table 5 The results of Kruskal – Wallis ANOVA for category “up to 20 cm“

Multiple Comparisons p values (2-tailed); do 20 cm (regeneracia analyza) Independent (grouping) variable: podiel clonenej plochy Kruskal – Wallis test: H (2, N = 40) = 10,98651 p = 0,0041			
	do 2/3	nad 2/3	do 1/3
do 2/3		0,052428	0,584631
nad 2/3	0,052428		0,00776**
do 1/3	0,584631	0,00776**	

Druhá časť vyhodnotenia výsledkov je venovaná analýze vplyvu svetelných pomerov v porastovom priestore na početnosť prirodzeného zmladenia. Analýze boli podrobené

všetky výškové kategórie bez ohľadu na druh dreviny. Testovali sme tri stupne tienenia kompaktnej úrovňovej vrstvy. Štatisticky významná závislosť medzi stupňom clonenia hornou vrstvou a početnosťou jedincov prirodzenej obnovy bola zistená pri výškových kategóriách „do 20 cm“ a „od 130 cm do $d_{1,3}$ 2 cm“ (tab. 5 a 6).

Tab. 6 Kruskal – Wallisov test pre kategóriu prirodzeného zmladenia „od 130 cm do $d_{1,3}$ 2 cm“
Table 6 The results of Kruskal – Wallis ANOVA for category "from 130 cm up to DBH 2cm"

Multiple Comparisons p values (2-tailed); do 2 cm hr. (regeneracia analyza) Independent (grouping) variable: podiel clonenej plochy Kruskal – Wallis test: H (2, N = 40) = 9,416675 p = ,0090			
	do 2/3	nad 2/3	do 1/3
do 2/3		0,105837	0,574659
nad 2/3	0,105837		0,014115*
do 1/3	0,574659	0,014115*	

Z uvedeného výsledku vyplýva, že štatistický veľmi významný vplyv na početnosť prirodzeného zmladenia má podiel clonenej plochy, resp. takto nepriamo vyjadrený svetelný pôžitok v spodnej vrstve porastu. Štatisticky významný rozdiel v oboch prípadoch bol preukázaný medzi triedami clonenia do 1/3 clonenej plochy, čo reprezentuje podmienky porastovej medzery s príslušným okolím a nad 2/3 clonenej plochy. Plochy s clonením nad 2/3 plochy reprezentujú svetelné podmienky pod prakticky kompaktnou úrovňovou vrstvou porastu.

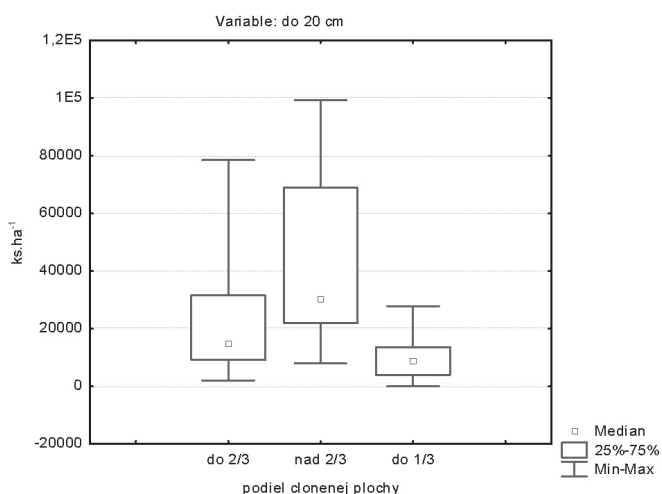
Fakt, že závislosť bola potvrdená iba pre najnižšiu a najvyššiu výškovú kategóriu prirodzeného zmladenia napovedá o význame svetla pre existenciu jedincov v týchto kategóriách. Maximálny počet jedincov kategórie do 20 cm sa nachádzal na plochách s clonením viac ako 2/3 porastu (obr. 1). Uvedené potvrdzuje skutočnosť výraznej dominancie tejto kategórie v podmienkach kompaktnej úrovňovej vrstvy štádia optima na oboch plochách I. a II. Svetelné podmienky uzavretého zápoja sú dostatočné pre ujímanie a prežívanie semnáčikov, avšak postupnou mortalitou tieto nie sú schopné odrastania do vyšších kategórií. Pozvoľný trend mortality jedincov pozdĺž gradientu výškových kategórií je príčinou až 57 % podobnosti medzi plochami reprezentujúcimi podmienky porastovej medzery (do 1/3) a prerušeného zápoja (do 2/3). Pre odrastenie do najvyššej kategórie nad 130 cm je svetelný pôžitok jedincov jednoznačne významný. Maximálny počet jedincov bol z tohto dôvodu zaznamenaný v skupine do 1/3 reprezentujúcej podmienky porastovej medzery (obr. 2).

Uvedené dokumentujú i tabuľky 2 a 4, ktoré prezentujú početnosti jedincov v triedach nad 80 cm na plochách v štádiu rozpadu, charakteristického prítomnosťou porastových medzier v zápoji.

DISKUSIA A ZÁVER

Na základe zistených početností jedincov prirodzenej obnovy v jednotlivých kategóriách môžeme konštatovať, že regeneračné procesy prírodného zmiešaného lesa NPR Hrončeský Grúň prebiehajú dostatočne, nie sú badateľné žiadne poruchy autoregenerácie, a počet jedincov v najvyšších výškových kategóriách je z pohľadu kontinuálneho striedania generácií v rámci vývojového cyklu pralesa dostatočný.

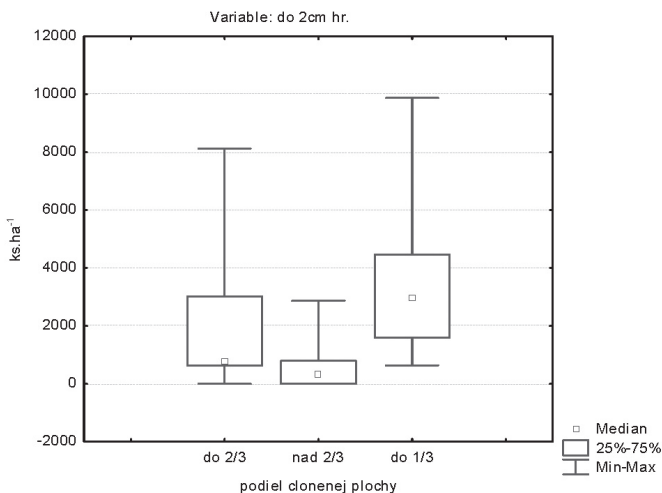
Celkový zistený počet jedincov prirodzenej obnovy zodpovedá štádiám vývojového cyklu, v ktorých sa prírodný les na danej ploche nachádza. V štádiu optima bolo na ploche I. (podložie andezit) zistených 82 283 ks.ha⁻¹, pričom v štádium rozpadu je na tejto ploche charakterizované hodnotou 76 880 ks.ha⁻¹.



Obr. 1 Charakteristika variačného rozpätia početností prirodzenej obnovy v kategórii „do 20 cm“ v závislosti od podielu clonenej plochy

Fig. 1 The variation characteristics of natural regeneration number in category “up to 20 cm” according to shaded area

Na ploche II. (podložie migmatit) bola situácia nasledovná: štádium optima 38 345 ks.ha⁻¹, štádium rozpadu 42 254 ks.ha⁻¹. Čo sa týka druhej štruktúry, môžeme sledovať totálnu dominanciu jaseňa v nižších výškových kategóriách, pričom vo vyšších kategóriách dochádza k ich takmer úplnej redukcii. Vo výškových kategóriách nad 130 cm je zrejma dominancia buka. Pribeh rozdelenia početností buka vo výškových kategóriách poukazuje na jeho dobré prežívanie a postupné presadzovanie sa v uvoľnenom rastovom priestore, pričom tlak jelenej zveri je orientovaný na drevinu jaseň. Samotné odrastanie jaseňa do vyšších výškových kategórií je potom viazané na prítomnosť prirodzeného zmladenia buka, ktoré tvorí istý druh krytu pred odhryzom jaseňových terminálov. Typické odrastanie jaseňa v kryte početnejšieho buka načrtáva možnú stratégiu prežitia jedincov jaseňa v podmienkach silného tlaku jelenej zveri.



Obr. 2 Charakteristika variačného rozpätia početností prirodzenej obnovy v kategórii „od 130 cm do $d_{1,3}$ 2 cm“ v závislosti od podielu clonej plochy

Fig. 2 The variation characteristics of natural regeneration number in category “from 130 cm up to DBH 2 cm” according to shaded area

SANIGA (2004) uvádza nasledovné početnosti jedincov prirodzeného zmladenia: štádium optima 19 232 ks.ha⁻¹, štádium rozpadu 14 801 ks.ha⁻¹ a štádium dorastania 11 998 ks.ha⁻¹. Z tohto pohľadu možno konštatovať, že došlo k značnému naštartovaniu regeneračných procesov, hlavne jaseňa, ktoré sa v zmiešaných prírodných lesoch vyskytuje niekoľkokrát počas vývojového cyklu.

Pri testovaní vplyvu clonej plochy na početnosť a prežívanie prirodzenej obnovy bola štatistická významnosť zistená pri výškových kategóriách „do 20 cm“ a „od 130 cm do $d_{1,3}$ 2 cm“. Štatisticky významný rozdiel v oboch prípadoch bolo preukázaný medzi triedami clonenia do 1/3 clonej plochy, čo reprezentuje podmienky porastovej medzery s príslušným okolím a nad 2/3 clonej plochy. Z uvedeného výsledku vyplýva, že štatistický veľmi významný vplyv na početnosť prirodzeného zmladenia má podiel clonej plochy, resp. takto nepriamo vyjadrený svetelný pôžitok v spodnej vrstve porastu.

Výskumu regeneračnej dynamiky po veternej disturbancii sa venoval NAGEL *et al.* (2006). Autor porovnával regeneračnú dynamiku v rámci medzery a zapojeného porastu. Uvádza dvojnásobný rozdiel v početnosti jedincov obnovy buka nad 130 cm medzi medzerou a zapojeným porastom, avšak na kontrolnej (zapojenej) ploche zaznamenáva šesť krát viac jedincov buka do 130 cm v porovnaní s otvorenou medzerou.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy, ITMS: 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- CANHAM, C. D., 1989: Different responses to gaps among shade-tolerant tree species. *Ecology*, 70: 548–550.
- KERR, G., CAHALAN, CH., 2004: A review of site factors affecting the early growth of ash (*Fraxinus excelsior* L.) Forest Ecology and Management 188 (2004) 225–234.
- KORPEL, Š., 1989: Pralesy Slovenska. Bratislava : Veda, SAV. 332 s.
- NAGEL, T.A., DIACI, J., 2006: Intermediate wind disturbance in an old-growth beech-fir forest in southeastern Slovenia. *Canadian Journal of Forest Research* 36, 629–638.
- PETRITAN A.M., VON LUPKE C. B., PETRITAN C.I.C, 2009: Influence of light availability on growth, leaf morphology and plant architecture of beech (*Fagus sylvatica* L.), maple (*Acer pseudoplatanus* L.) and ash (*Fraxinus excelsior* L.) saplings. *Eur J Forest Res* (2009) 128: 61–74.
- ROZENBERGAR, D., MIKAC S., ANIĆ I., DIACI, J., 2007: Gap regeneration patterns in relationship to light heterogeneity in two old-growth beech – fir forest reserves in South East Europe. *Forestry*. doi:10.1093/forestry/cpm037
- RUNKLE, J., 1992: Guidelines and Sample Protocol for Sampling Forest Gaps, General Technical Report, 1992, 31 s.
- RUNKLE, J.R., 1982: Patterns of disturbance in some old-growth mesic forests of eastern North America. *Ecology* 63: 1533–1546.
- SANIGA, M., 2004: Štruktúra, rastové a regeneračné procesy prírodného lesa v NPR Hrončeský Grúň. *Ochrana prírody*, Banská Bystrica, 23: 112–124.
- STANCIOIU, P.T., O'HARA, C., K., 2006: Regeneration growth in different light environments of mixed species, multiaged, mountainous forests of Romania *Eur J Forest Res* (2006) 125: 151–162.
- TANOUCHI, H., YAMAMOTO, S., 1995: Structure and regeneration of canopy species in an old-growth evergreen broad-leaved forest in Aya district, southwestern Japan. *Vegetatio*, 117: 51–60.
- YAMAMOTO, S., 2000: Forest Gap Dynamics and Tree Regeneration. *J. For. Res.* 5: 223–229.
-

Adresa autora:

Ing. Miroslav Balanda
Katedra pestovania lesa
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovenská Republika
e-mail: balanda@vsld.tuzvo.sk

Dynamika regeneračných procesov prírodného zmiešaného lesa v NPR Hrončeský Grúň

Abstrakt

Práca sa zaoberá hodnotením dynamiky prirodzenej obnovy v podmienkach drevinovo bohatého prírodného lesa v NPR Hrončeský Grúň. Rôznorodosť stanovištných pomerov dokumentuje prítomnosť šiestich skupín lesných typov: *Fageto-Abietum*, *Fagetum pauper*, *Abieto-Fagetum*, *Abieto-Fagetum acerosum*, *Fageto-Aceretum* a *Fraxineto-Aceretum*. Na ploche pralesa bola v roku 2008 založená trvalá výskumná plocha o rozmeroch 50 × 500 m (2,5 ha). Táto práca predkladá výsledky získané podrobnou evidenciou prirodzeného zmladenia jednotlivých druhov drevín na celej trvalej výskumnej ploche. Keďže plocha bola následne z dôvodu

odlišných stanovištných pomerov (rozdielne geologické podložie) rozdelená na dve časti, výsledky boli taktiež analyzované oddelene. Celkový zistený počet jedincov prirodzenej obnovy rozpovedá štádiám vývojového cyklu, v ktorých sa prírodný les na danej ploche nachádza. V štádiu optima bolo na ploche I. (podložie andezit) zistených 82 283 ks.ha⁻¹, pričom v štádium rozpadu je na tejto ploche charakterizované hodnotou 76 880 ks.ha⁻¹. Na ploche II. (podložie migmatit) bola situácia nasledovná: štádium optima 38 345 ks.ha⁻¹, štádium rozpadu 42 254 ks.ha⁻¹. Čo sa týka druhovej štruktúry, môžeme sledovať totálnu dominanciu jaseňa v nižších výškových kategóriách, pričom vo vyšších kategóriách dochádza k jeho úplnej redukcii. Vo výškových kategóriách nad 130 cm je zrejma dominancia buka. Príčina tohto javu je pravdepodobne vo výrazne odlišných ekologických nárokoch týchto drevín, ich stratégiách obsadzovania porastových medzier, ako i vo výrazne odlišných kmeňových stavoch jelenej zveri v minulosti a dnes. Práca poukazuje na špecifický typ nepriameho antropogénneho vplyvu na dynamiku porastu v národnej prírodnej rezervácii s piatym stupňom ochrany.

Kľúčové slová: prirodzené zmladenie, prales, *Fraxinus excelsior* L., vplyv zveri

VYUŽITIE VEGETAČNÉHO INDEXU ODVODENÉHO ZO SATELITNÝCH ÚDAJOV MODIS PRI FENOLOGICKÝCH POZOROVANIACH

VERONIKA BRANDÝSOVÁ

Brandýsová, V.: Utilization of vegetation index derivated from satellite data MODIS in phenological observations. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 113–124.

This work solves the mater of deriving the vegetation index from satellite data MODIS and interpretation its course in relation with phenological phases. NDVI is considered as a relevant indicator of forest ecosystem response on environment changes. Graphic presentation of NDVI time series is phenological function. This function from Phenological profile was used to determine spring and autumn onset of phenological phases. Extreme values from phenological function were compared with terrestrial observations. Fenological function interpreted in this way shows, that sigmoid logistic function and her extreme values is suitable to explain course of phenological phases of beech forests in Slovakia. Monitoring of ground vegetation is impotrant by detecting validation data, because its reflectance significantly influence the course of phenological curve.

Keywords: MODIS, NDVI, phenology, logistic function

ÚVOD A PROBLEMATIKA

Diaľkový prieskum Zeme (DPZ) je geoinformačná technológia, ktorá sa zaoberá zaobstarávaním leteckých a družicových snímok, ich spracovávaním a analýzou. Snímky DPZ umožňujú klasifikovať poškodenie lesa, vegetačný kryt, lesné dreviny a ich zastúpenie, odhadnúť niektoré porastové veličiny (vek, zásoba) a zisťovať a monitorovať stav niektorých ďalších zložiek lesa ako je ťažba, obnova alebo sprístupnenie lesov a i. (SCHEER, SITKO, 2009).

Údaje DPZ získavané zo satelitov zabezpečujúcich prehľadné pokrytie a opakované snímanie územia predstavujú vhodné prostriedky na sledovanie prebiehajúcich zmien vegetácie (Myneni et al., 1997). Preto v posledných rokoch nadobudli údaje DPZ významné postavenie v oblasti sledovania fenológie vegetácie. V roku 2000 bola na orbit vypustená družica Terra (NASA Earth Observation System Satellites) so spektorrádiometrom MODIS. Snímky MODIS poskytujú široký spektrálny rozsah (0,4–14,5 μm), priestorovú rozlišovaciu schopnosť 250–1000 m a denné snímanie celého územia, čo umožňuje kontinuálne monitorovanie a kvantifikovanie stavu a vývoja lesných ekosystémov. Za základnú jednotku priestorového rozdelenia lesa, ku ktorej môžeme vzťahovať údaje

odvodené z MODISu považujeme dielec. Jeho výmera (~ od 5 do 20 ha) približne korešponduje s veľkosťou obrazového elementu MODIS 6,25 ha.

Naša práca je riešená v kontexte výskumného projektu zameraného na návrh systému kontinuálneho a plošného sledovania odozvy lesných ekosystémov na meniace sa podmienky prírodného prostredia pomocou biofyzikálnych a produkčných charakteristík odvodených zo satelitných údajov zo spektorádiometra MODIS. V práci overujeme použitie biofyzikálneho indikátora – normalizovaného vegetačného indexu (NDVI) odvodeného z MODISu pri interpretácii fenologických fáz lesných drevín. NDVI je jednoduchý numerický ukazovateľ, používaný pri analýze údajov DPZ. Umožňuje posúdiť, či sledované objekty obsahujú živú zelenú vegetáciu alebo nie. Fenológia skúma časový priebeh významných, periodicky sa opakujúcich životných prejavov rastlín, tzv. fenologických fáz, v závislosti od komplexu podmienok vonkajšieho prostredia, najmä od počasia a podnebia (Kolektív autorov, 1993).

Problematickou využívania biofyzikálnych indikátorov odvodených so snímok MODIS pri interpretácii fenológie sa v zahraničí zaoberali napr. ZHANG (2003) a FISHER (2007). Zhang modeluje ročný priebeh vegetačných indexov pomocou úsekovej logistickej funkcie. Touto funkciou môže byť určený ľubovoľný počet vzrastových cyklov v rámci jednoročného časového radu. Fisher používa na modelovanie priebehu fenologickej krivky modifikovanú Zhangovu funkciu, ktorá je použiteľná pri jednoročných cykloch s jedným obdobím nástupu a ústupu olistenia. Na Slovensku sa danou problematikou zaoberá výskumný tím na Národnom lešníckom centre (NLC) – Lešníckom výskumnom ústave (LVÚ) vo Zvolene v spolupráci s Technickou univerzitou vo Zvolene.

Na odvodenie vegetačného indexu používame program Idrisi Andes, ktorý pomocou funkcie VEGINDEX vypočíta hodnoty NDVI prostredníctvom spektrálnej odrazivosti v červenom kanály (RED) a infračervenom kanály (IRED). Celoročný vývoj vegetačného indexu opisujeme pomocou sigmoidnej logistickej funkcie (FISCHER 2007), ktorej vstupnými údajmi okrem parametrov tvaru a sklonu krivky sú zistená minimálna hodnota NDVI a amplitúda. Na modelovanie ročného priebehu NDVI používame aplikáciu Phenological profile (© Milan Koreň), ktorá okrem znázornenia vlastnej fenologickej krivky umožňuje zobrazit' priebeh jej prvej, druhej a tretej derivácie a zakrivenia. Existujú dva možné aspekty analýz. Prvý aspekt je celoslovenský, kedy sa analyzujú všetky pixle a druhý aspekt je analýza konkrétnych porastov, ktorou sa zaoberáme my.

Záujmový región vymedzujeme oblasťou Karpát a Panónskou nížinou. Validáciu realizujeme na modelovanom území organizačne patriacom VŠLP. V práci overujeme do akej miery sú údaje získané z MODIS snímok použiteľné pri interpretácii fenológie lesných ekosystémov, pričom porovnávame hodnoty odvodené z vytvorených fenologických kriviek s údajmi zistenými pri terénnych pozorovaniach. Predmetom analýz je časový rad satelitných snímok z rokov 2002–2009, snímokovaných v jednoduchých intervaloch.

METÓDY A MATERIÁL

Vyhľadanie, zhodnotenie a stiahnutie snímky MODIS

Na internetovom portáli MODIS Rapid Response System sú ukladané snímky z družíc Terra a Aqua. Pre moju prácu je potrebné získať čo najviac vhodných snímok. Keďže v nadíre má snímka najlepšie rozlíšenie (cca 250 resp. 500 m) je optimálne, aby sa územie Slovenska nachádzalo čo najbližšie k nemu. Pre ďalšiu prácu je potrebné, aby bolo naše územie čo najmenej ovplyvnené atmosférickými javmi. Zhodnotenie snímok evidujeme osobitne v tabuľke podľa mesiacov, kde má každý deň svoje poradové číslo v roku, to znamená od 001 (1. január) po 365 (31. december). Stupnicu vhodnosti snímok z jednotlivých dní sme si označili nasledovne: vhodná snímka – zelená, čo znamená územie blízko nadíru, slnečné počasie so žiadnymi alebo len minimálnymi atmosférickými javmi, alternatívne vhodná snímka – žltá, ktorá je poznačená lokálnymi atmosférickými javmi a nedá sa jednoznačne označiť za vhodnú alebo nevhodnú, nevhodná snímka – červená, sú to dni, z ktorých snímky chýbajú, alebo je územie Slovenska zaznamenané v nižšej rozlišovacej schopnosti, či pod oblakmi. Po zhodnotení všetkých dní daného roka sa snímky označené ako vhodné a alternatívne vhodné stiahnu zo servera do archívu. Sťahuje sa buď so stránky <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/> alebo <http://wist.echo.nasa.gov/api/>. Na riešenie úlohy používame snímky produktu MOD09, ktorý reprezentuje spektrálnu odrazivosť povrchu terénu v priestorovej rozlišovacej schopnosti 250 (produkt MOD09GQ) a 500 m (produkt MOD09GA). Územie Slovenska je zaznamenávané v predpoludňajších hodinách. Na tomto produkte boli vykonané rádiometrické a atmosférické korekcie, čo znamená, že vplyv absorpcie a rozptylu žiarenia v atmosfére je eliminovaný. Z produktu MOD09 následne odvodzujeme NDVI.

Predspracovanie snímok a analýza kvality

Tieto dva úkony boli vykonané výskumným tímom na NLC-LVÚ Zvolen. Predspracovanie snímok bolo plne automatizované od prihlásenia sa na NASA server, cez stiahnutie snímok až po ich uloženie v systéme JTSK v archíve snímok. V procese spracovania boli MODIS snímky prevedené z formátu HDF (Hierarchical Data Format) do Erdasovského formátu IMG, s ktorým je možné ďalej pracovať. V ďalšom pracujeme len s časťou vrstiev produktov MOD09GQ a MOD09GA. Využívame 7 vrstiev odrazivosti, a to kanály o vlnovej dĺžke 648 nm, 858 nm, 470 nm, 555 nm, 1 240 nm, 1 640 nm, a 2 130 nm a vrstvu kvality. Súčasťou predspracovania je aj zmena kartografickej projekcie zo sinusoidálnej do systému JTSK (BUCHA, KOREŇ, 2009).

Analýza kvality spočíva v eliminácii pixlov ovplyvnených oblačnosťou, tieňov z oblakov a v posúdení vplyvu geometrie snímania. Okrem vizuálneho zhodnotenia boli analyzované získané súbory kvality. Ide o rastrové vrstvy, ktoré umožňujú posúdiť kvalitu zaznamenananej odrazivosti na úrovni pixla. Výsledkom tohto rozboru produktu MOD09 je informácia o kvalite jednotlivých pixlov podľa hodnoty bitu v 16 bitovom priestore a návrh optimálnej kombinácie hodnôt jednotlivých bitov, ktorá je rozhodujúca pri

zaradení daného pixla do analýzy. Na základe tohto bol vytvorený systém kritérií kvality. Stanoveným kritériám vyhovujú tie obrazové prvky, v ktorých príslušný pixel vo vrstve kvality nadobúda jednu z hodnôt: 8, 72, 76, 136, 140, 200 a 8200. (Bucha, Koreň, 2009).

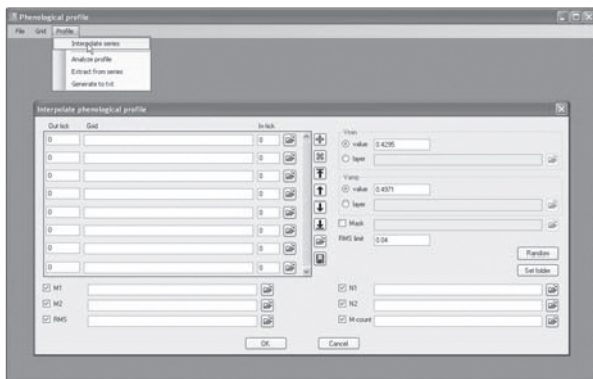
Stanovenie vegetačného indexu zo snímok a interpolácia chýbajúcich hodnôt

Na prácu so snímkami sme použili program Idrisi Andes. Tento program obsahuje užívateľské rozhranie (obsahujúce menu a systém nástrojov) a kolekciu množstva programových modulov obsahujúcich prostriedky pre vstup, zobrazenie a analýzu geografických dát. Program pomocou funkcie VEGINDEX vypočíta hodnoty NDVI prostredníctvom spektrálnej odrazivosti v červenom kanáli (RED) a infračervenom kanáli (IRED). Vegetačné indexy odvodené zo všetkých snímok tvoria časové rady NDVI pre roky 2002–2009. Na analýzu časových radov bolo potrebné vytvoriť vlastné softwarové nástroje pre modelovanie priebehu a doplnenie chýbajúcich hodnôt NDVI. Obrazové prvky s chýbajúcou hodnotou resp. hodnotou 0 sú výsledkom analýzy kvality. Na doplnenie chýbajúcich hodnôt obrazových prvkov sa využíva interpolácia. Pre tento účel bola vyvinutá aplikácia Phenological profile (© Milan Koreň). Vstupom sú snímky časového radu NDVI upravené kritériami kvality. Pred samotnou interpoláciou je potrebné importovať tieto snímky z Idrisi do Phenological profile. Prvým výstupom sú NDVI súbory doplnené o interpolované chýbajúce hodnoty. Pri interpolácii sa využívajú reálne hodnoty NDVI pred a po dni s chýbajúcou hodnotou pričom sa interpoluje pomocou sigmoidnej funkcie (1). Na Obr. 1 je zobrazené užívateľské prostredie pre interpoláciu chýbajúcich hodnôt. Druhým výstupom sú súbory s odhadnutými parametrami funkcie (1) m_1 , m_2 , n_1 , n_2 , a parametre $v_{\min}$, $v_{\max}$, ktoré sú odvodené z celoslovenských údajov.

$$v(t) = v_{\min} + v_{\max} \left(\frac{1}{1 + e^{m_1 - n_1 t}} - \frac{1}{1 + e^{m_2 - n_2 t}} \right) \quad (1)$$

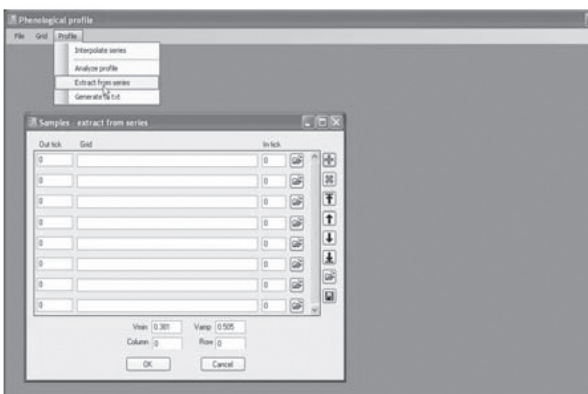
Kde: $v(t)$ – hodnota vegetačného indexu pre deň t ,
 $v_{\min}$ a $v_{\max}$ – minimálna hodnota vegetačného indexu (NDVI) a celková amplitúda,
 m_1 , m_2 , n_1 , n_2 – parametre určujúce tvar krivky a sklon krivky pre nástupnú fázu (m_1 , n_1) a zostupnú fázu (m_2 , n_2).

Horná hranica strednej kvadratickej odchýlky interpolovanej funkcie (RMS) je stanovená podľa nami zvolenej presnosti, ktorú chceme dosiahnuť. Skutočná RMS podľa jednotlivých obrazových prvkov je uložená v samostatnom súbore. V poslednom výstupnom súbore je uložený počet hodnôt, ktoré boli použité na interpoláciu (BUCHA, KOREŇ, 2009).



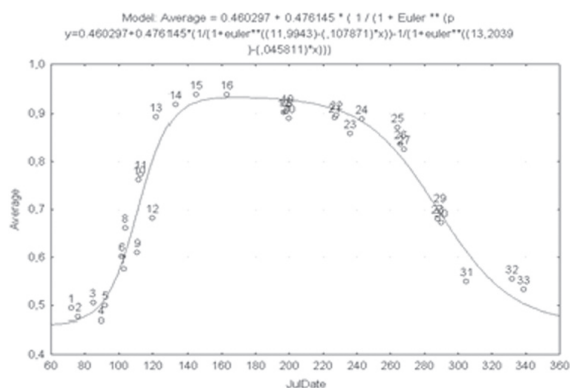
Obr. 1 Funkcionalita Phenological profile pre interpoláciu chýbajúcich hodnôt NDVI

Fig. 1 Functionality of Phenological profile for interpolation missing NDVI values



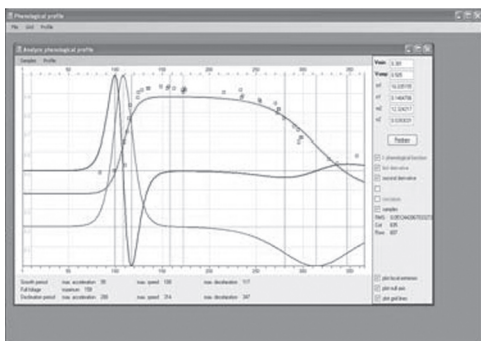
Obr. 2 Funkcionalita Phenological profile na extrakciu hodnôt NDVI z konkrétneho pixla

Fig. 2 Functionality of Phenological profile for extracion NDVI values from particular pixel



Obr. 3 Funkcia znázorňujúca priebeh vegetačných indexov v rámci roka v programe Statistica. Na osi x: poradový deň v roku; na osi y: hodnota NDVI

Fig. 3 Function showing the in traannual course of vegetation index in Statistica. The x-axis: day of year, the y-axis: NDVI value



Obr. 4 Funkcionalita Phenological profile pre grafické vyjadrenie fenologickej krivky, jej derivácií a krivosti. Na obrázku je znázorený ročný priebeh krivky NDVI a jej prvá a druhá derivácie.

Fig. 4 Functionality of Phenological profile for graphic representation of phenological curve, her derivations and curvature. This picture shows intraannual course of curve and her first and second derivation

Modelovanie priebehu fenologických fáz

Priebeh fenologických fáz vyjadruje ako za sebou nasledujú jednotlivé fenologické udalosti v rámci vegetačného obdobia. Na modelovanie vývoja vegetačného indexu v rámci jedného roka sme použili sigmoidnú logistickú funkciu (1). K vytvoreniu fenologickej krivky sme použili dva rôzne programy. Program Statistica (Obr. 3), pri ktorom je na grafické znázornenie priebehu NDVI potrebné extrahovať hodnotu NDVI pre konkrétne pixle v programe Idrisi a program Phenological profile (Obr. 4), ktorého funkcionlita „Extract from series“ umožňuje extrakciu hodnôt NDVI pre konkrétny pixel. Vyplyva to z toho, že Phenological profile umožňuje pracovať priamo s NDVI snímkami celého územia Slovenska, pričom hodnota NDVI konkrétneho pixla sa získa zadáním súradníc jeho riadku a stĺpca (Obr. 2). Program Statistica vyžaduje k vytvoreniu krivky časové rady NDVI konkrétneho územia, pre ktoré chceme krivku analyzovať, pričom tieto rady musia byť pripravené v textovom formáte.

Fenologické pozorovania a validácia údajov NDVI

Pre analýzu fenologických kriviek sme si vybrali územie trvalej monitorovacej plochy (TMP) Turová na VŠLP Zvolen na ktorej sú vykonávané fenologické pozorovania v rámci Čiastkového monitorovacieho systému (ČMS) Lesy. Údaje zaznamenané na tejto lokalite sú vhodné na validáciu hlavne z hľadiska dlhodobosti. V roku 2009 bol na tejto lokalite založený fenologický transekt za účelom detailnejšieho sledovania fenologických zmien. Fenologické pozorovania z tejto TMP sú zdrojom validačných údajov pre interpretáciu fenologickej krivky odvodennej zo snímkov MODIS. Okrem toho máme k dispozícii aktuálne údaje z LHP pre základné jednotky priestorového rozdelenia lesa.

Opis pozorovanej plochy

TMP Turová sa nachádza v dielci 541. Lesy patria pod Vysokoškolský lesný podnik vo Zvolene a sú kategóriou lesov osobitného určenia. Drevinové zloženie tvorí buk

(100 % s prímiesou duba zimného a jedle), lesný typ je 3313 – zubačková bučina nižšieho stupňa so zastúpením 100 %. Najväčšiu pokrývnosť má *Dentaria bulbifera*.

VÝSLEDKY PRÁCE

Porovnanie fenologických pozorovaní na TMP Turová s fenologickou krivkou odvodenou z údajov MODIS

Začiatok a dĺžka trvania pozorovaných fenologických fáz na TMP Turová v rokoch 2002–2009 sú zaznamenané v tabuľke 1. Na základe týchto údajov a údajov získaných z fenologických kriviek a ich derivácií modelovaných v programe Phenological profile pre jednotlivé roky odvodzujeme všeobecné závery o priebehu vegetačného obdobia počas rokov 2002–2009 na TMP Turová.

Krivka NDVI začína stúpať (dosiahnutie hodnoty NDVI 0.4) v čase od 16. marca do 7. apríla (deň v roku 75–97) čo je o 14 až 27 dní skôr ako je datovaný začiatok pučania buka lesného (*Fagus sylvatica*) v jednotlivých rokoch na TMP Turová. Tieto rozdiely môže spôsobovať prízemná vegetácia, ktorá sa rozvíja skoro na jar. Konkrétne na tejto lokalite má najväčšiu pokrývnosť zubačka cibuľkonosná (*Dentaria bulbifera*), ktorá začína rásť koncom marca – začiatkom apríla.

Začiatok pučania prebiehal v jednotlivých rokoch od 12. do 22. apríla (deň v roku 102–112). K termínu začiatku pučania sa na fenologickej krivke približuje maximum prvej derivácie, ktoré určuje inflexný bod krivky. Termíny dosiahnutia tohto maxima boli od 14. do 27. apríla (deň v roku 104–117). Hodnoty NDVI sa pohybujú v rozpätí 0,51–0,63. Časová vzdialenosť začiatku pučania od maxima 1. derivácie predstavuje 0 až 6 dní. Na základe takejto malej časovej odchýlky môžeme predpokladať, že maximum 1. derivácie je vhodným ukazovateľom začiatku pučania bukov na tejto lokalite.

Začiatok zalisťovania prebiehal od 17. do 29. apríla (deň v roku 107–119) a vyznačuje sa rýchlym rozvojom asimilačného aparátu. Táto fenofáza sa na krivke nachádza za inflexným bodom a približuje sa k minimálnej hodnote 2. derivácie v nástupnej fáze. Minimálne hodnoty dosahuje 2. derivácia v čase od 24. apríla do 6. mája (deň v roku 114–126). NDVI nadobúda hodnoty 0,61–0,77. Časová vzdialenosť medzi začiatkom zalisťovania a minimom druhej derivácie v nástupnej fáze predstavuje 1–9 dní, na základe čoho môžeme predpokladať, že minimum 2. derivácie v nástupnej fáze je vhodným ukazovateľom začiatku zalisťovania bukov na TMP Turová.

Začiatok fenofázy všeobecné zalisťovanie bol zaznamenaný v čase od 24. apríla do 14. mája (deň v roku 114–135). Prejavuje sa odrazivosťou plne olisteného porastu, kedy sa listová plocha stabilizuje. NDVI dosahujú modelované hodnoty 0,77–0,86. Na fenologickej krivke sa hodnoty NDVI približujú k maximálnej hodnote, ktorá je dosahovaná v rokoch 2002–2005 o 23–27 dní neskôr, a v rokoch 2006–2009 o 39–51 dní neskôr, ako je pozorované ukončenie všeobecného zalisťovania na TMP Turová. Maximálna hodnota NDVI ktorú dosahuje fenologická krivka je 0,88–0,89.

Letné žltnutie listov na TMP Turová nebolo zaznamenané ani v jednom zo sledovaných rokov 2002–2009. Napriek tomu bol zaznamenaný výraznejší pokles hodnôt NDVI v roku 2004 už 12 dní po dosiahnutí maxima.

Jesenné žltnutie listov je fenofáza, v ktorej začína v listoch ubúdať chlorofyl. Táto fenofáza začínala v čase od 22. septembra do 13. októbra (deň v roku 265–286). NDVI dosahujú modelované hodnoty 0,74–0,85. Na fenologickej krivke sa táto fenofáza približuje k minimálnej hodnote 2. derivácie v zostupnej fáze. 2. derivácia dosahuje minimálne hodnoty v čase od 20. septembra do 19. októbra (deň v roku 264–292). Časová vzdialenosť začiatku žltnutia listov od dátumu tohto minima sa pohybuje v rozmedzí 5 až 9 dní. Výnimkou je rok 2003, v ktorom je toto časové rozmedzie až 22 dní. Datovanie začiatku tejto fenofázy nesúhlasí s modelovanými hodnotami NDVI, ktoré by mali byť v tejto fenofáze blízke hodnote 0,8. Modelované hodnoty NDVI v čase pozorovaného začiatku žltnutia listov dosahovali hodnotu 0,85.

Ukončenie vegetačného obdobia predstavuje fáza začiatku a konca opadu listov. Začiatok opadu listov bol pozorovaný od 2. do 28. októbra (deň v roku 275–302) a z fenologickej krivky sa odhadnúť nedá. Okrem rokov 2002, 2004 a 2007 je táto fenofáza zhodná so začiatkom všeobecného žltnutia. Modelované hodnoty NDVI sa pohybujú od 0,64 do 0,83.

Všeobecné žltnutie listov začína v jednotlivých rokoch od 2. do 27. októbra (deň v roku 275–300). NDVI nadobúda modelované hodnoty 0,63–0,76, okrem roku 2003, v ktorom je to hodnota 0,83. Podobne ako pri predchádzajúcej fenofáze je dôsledkom nezhody pozorovaných hodnôt s modelovanými.

Koniec opadu listov v jednotlivých rokoch začínal od 7. do 24. novembra (deň v roku 311–328). Dátumy začiatku tejto fenofázy sa približujú k dátumom, v ktorých dosahuje 1. derivácia minimum. Časová vzdialenosť konca opadu listov od minima prvej derivácie je 0–15 dní, okrem roka 2005, v ktorom je to 25 dní. Termín dosiahnutia minima 1. derivácie je od 14. októbra do 22. novembra (deň v roku 288–326). Modelované hodnoty NDVI sa pohybujú od 0,48 do 0,7. Hodnoty NDVI naďalej klesajú k minimálnej hodnote, čo môže rovnako ako v období pred pučaním bukov súvisieť s výskytom prízemnej vegetácie.

Tab. 1 Fenologické fázy buka lesného (*Fagus sylvatica*) sledované na TMP Turová v rokoch 2002–2009, v zátvorke trvanie fenofázy v dňoch (PRIWITZER, 2009)

Tab. 1 Phenological phases of beech trees (*Fagus sylvatica*) observed on TMP Turová in 2002–2009, in parentheses duration of a phenological phases in days

rok	deň v roku	začiat.	zalistovanie		letné	žltnutie listov		opad listov	
		puč.	začiat.	všeob.	žlt.	začiat.	všeob.	začiat.	koniec
2002	Kalendár. deň	12. 4.	26. 4.	13. 5. (15)		10. 10. (150)	23. 10. (15)	10. 10.	7. 11. (29)
	Julian day	102	116	133		283	296	283	311
2003	Kalendár. deň	22. 4.	29. 4.	13. 5. (15)		22. 9. (132)	2. 10. (10)	2. 10.	13. 11. (42)
	Julian day	112	119	133		265	275	275	317
2004	Kalendár. deň	16. 4.	26. 4. (11)	14. 5. (19)		29. 9. (138)	14. 10. (16)	28. 10.	11. 11. (15)
	Julian day	107	117	135		273	288	302	316

Tab. 1 Pokračovanie

Tab. 1 Continued

rok	deň v roku	začiat.	zalistovanie		letné	žltnutie listov		opad listov	
		puč.	začiat.	všeob.	žlt.	začiat.	všeob.	začiat.	koniec
2005	Kalendár. deň	21. 4.	28. 4. (8)	12.5. (15)		13. 10. (155)	27. 10. (15)	27. 10.	24. 11. (29)
	Julian day	111	118	132		286	300	300	328
2006	Kalendár. deň	21. 4.	28. 4. (8)	2.5. (5)		28. 9. (150)	26. 10. (29)	26. 10.	9. 11. (15)
	Julian day	111	118	122		271	299	299	313
2007	Kalendár. deň	12. 4.	17. 4. (6)	26. 4. (10)		27. 9. (155)	24. 10. (28)	11. 10.	8. 11. (29)
	Julian day	102	107	116		270	297	284	312
2008	Kalendár. deň	12. 4.	25. 4. (14)	6. 5. (12)		25. 9. (142)	10. 10. (15)	10. 10.	7. 11. (28)
	Julian day	103	116	127		269	284	284	312
2009	Kalendár. deň	14. 4.	17. 4. (4)	24. 4. (8)		5. 10. (164)	19. 10. (14)	19. 10.	18. 11. (28)
	Julian day	104	107	114		278	292	292	322

DISKUSIA

V podmienkach našich bukových porastov sa osvedčilo stanovenie začiatku pučania podľa maxima 1. derivácie, začiatku olistovania s minimom 2. derivácie v nástupnej fáze, stav plného olistenia maximálnou hodnotou NDVI na fenologickej krivke, začiatok žltnutia listov podľa minima 2. derivácie v zostupnej fáze a termín ukončenia opadu listov minimom 1. derivácie. Podobné výsledky uvádza Priwitzer a kol. (2009), ktorý porovnáva fenologickú krivku – funkcia (1) a jej prvú a druhú deriváciu na modelovanom území Čífare s terénnymi pozorovaniami. Zvyšovanie NDVI pred začiatkom pučania duba cerového (*Quercus cerris*) a jeho ďalšie klesanie po opade listov zdôvodňuje vplyvom skoršieho pučania krovinej vegetácie, predovšetkým slivky trnkovej (*Prunus spinosa*) a zobu vtáčieho (*Ligustrum vulgare*). Z toho vyplýva potreba uvažovať s krovinnou a bylinnou vrstvou vegetácie pri vzájomnej interpretácii fenologickej krivky a fenologických pozorovaní. Výsledky a prístup pri interpretácii fenologickej krivky v práci FISHERA (2007) sú v súlade s našou prácou. Termín nástupu olistenia definuje ako dátum, v ktorom sigmoidná funkcia dosahuje hodnotu polovičného maxima. Polovičným maximom označuje najstrmejší bod na sigmoide, alebo maximum prvej derivácie a chápe ho ako termín, kedy vypučí najviac listov. Za vhodného biofyzikálneho indikátora považuje SMA (analýza spektrálnej zmesi) kvôli jeho lineárnej závislosti s hustotou vegetácie. Odlišný prístup zvolil ZHANG (2003), ktorý používa na modelovanie priebehu vegetačných

indexov úsekovú logistickú funkciu. Dátumy začiatku fenologických fáz identifikuje mierou zmeny zakrivenia krivky vyrovnaného logistického modelu. Prostredníctvom jej maximálnych a minimálnych hodnôt odvodzuje štyri hlavné premenné: (1) olistenie, čas nástupu fotosyntetickej aktivity, (2) zrelosť, čas, v ktorom má rastlina zelenú listovú plochu, (3) starnutie, čas v ktorom fotosyntetická aktivita a zelená listová plocha klesá, (4) latentný stav, čas v ktorom je fotosyntetická aktivita blízka nule. Na odvodenie fenologického modelu používa hodnoty zvýrazneného vegetačného indexu (EVI). Tento prístup využívajúci miery zakrivenia bude potrebné v našich podmienkach overiť. K tomu sme si vytvorili vhodné predpoklady, pretože výpočet tretej derivácie a krivosti je súčasťou produktu Phenological Profile.

Predmetom ďalšieho výskumu bude využitie 10-ročnej údajovej bázy pri analýzach časových radov, trendov, posunov v začiatku vegetačného obdobia a i. predovšetkým v súvislosti s globálnymi klimatickými zmenami, a prípadnou potrebou zmeny drevinovej skladby v obnovnom zložení.

ZÁVER

V práci riešime problematiku odvodenia normalizovaného vegetačného indexu zo satelitných snímok MODIS a interpretácie jeho priebehu vo vzťahu k fenologickým fázam. NDVI považujeme za vhodného indikátora reakcie lesných ekosystémov na zmeny prírodného prostredia. Grafickým vyjadrením časových radov NDVI je fenologická krivka. Táto krivka vytvorená programom Phenological profile bola použitá na stanovenie času nástupu jednotlivých jarných a jesenných fenologických fáz. Extrémne hodnoty fenologickej krivky porovnávame s terénnymi pozorovaniami. Týmto spôsobom interpretovaná fenologická krivka dokazuje vhodnosť použitia sigmoidnej logistickej funkcie (1) a jej extrémnych hodnôt na vysvetlenie priebehu fenologických fáz bukových porastov v podmienkach Slovenska. Pri zisťovaní validačných údajov je potrebné sledovať aj prízemnú vegetáciu, ktorá môže svojou odrazivosťou významne ovplyvniť priebeh fenologickej krivky.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0670-07 „Satelitne založené sledovania odozvy lesných ekosystémov na globálne sa meniace podmienky prostredia“

Literatúra

- BUCHA, T. – KOREŇ, M. 2009. Kontinuálne sledovanie odozvy lesných ekosystémov na meniace sa podmienky prírodného prostredia pomocou údajov DPZ – tvorba údajovej bázy. In Bucha, T., Pavlendová, H., Eds.: *Diaľkový prieskum Zeme – lesy v meniacich sa prírodných podmienkach*. Vedecký seminár. Zvolen : NLC – LVÚ, ISBN 978-80-8093-098-1, 2009, s. 35–50.
- FISHER, J.I. – MUSTARD J.F. 2007. Cross-scalar satellite phenology from ground, Landsat, and MODIS data. In *Remote Sensing of Environment*, 2007, 109, s. 261–273.

- IŠTOŇA, J. 2007. Hodnotenie prízemnej vegetácie. In Pavlenda Ed.: *Monitoring lesov Slovenska*. Zvolen: NLC-LVÚ, 2007, s. 78–85.
- KOLEKTÍV AUTOROV. 1993. *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Praha: Ministerstvo životného prostredia ČR, 1993. 594 s.
- KOLEKTÍV AUTOROV. 2005. *Tézy k predmetu Základy geografických informačných systémov*. Technická univerzita vo Zvolene, 2005, 47 s.
- MYNENI, R. B. – KEELING, C. D. – TUCKER, C. J. – ASRAR, G. – NEMANI, R. R. 1997. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981–1991. In *Nature*, 1997, 386, s. 698–702. Zdroj: ZHANG, X., et. al., 2003. Monitoring vegetation phenology using MODIS. In *Remote Sensing of Environment*, 1997, 84, s. 471–475.
- PRIWITZER, T. – BUCHA, T. – KOREŇ, M. 2009. Využitie vegetačného indexu NDVI odvodeného z MODISu pri fenologických pozorovaniach lesných drevín. In Bucha, T., Pavlendová, H., Eds.: *Dial'kový prieskum Zeme – lesy v meniacich sa prírodných podmienkach*. Vedecký seminár. Zvolen: NLC – LVÚ, ISBN 978-80-8093-098-1, 2009, s. 51–64.
- SHEER, L., SITKO, R. 2009. Satelitné snímky a potenciál ich využitia v lesníctve. In *Životné prostredie*, 2009, roč. 43, č. 4, s. 220–223.
- ZHANG, X. – FRIEDL, M. A. – SCHAAF, C. B. – STRAHLE, A. H. – HODGES, J. C. F. – GAO, F. – REED, B. C. – HEUTE, A. 2003. Monitoring vegetation phenology using MODIS. In *Remote Sensing of Environment*, 2003, 84, s. 471–475.
-

Adresa autora:

Ing. Veronika Brandýsová
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
e-mail: veronika.brandysova@gmail.com

Využitie vegetačného indexu odvodeného zo satelitných údajov MODIS pri fenologických pozorovaniach

Abstrakt

Cieľom práce bolo získanie a spracovanie satelitných údajov MODIS a od-vodenie vegetačného indexu, ktorý používame pri interpretácii fenológie lesných drevín. Využívame produkt MOD 09 (Surface reflectance). Pred stiahnutím bolo potrebné zhodnotiť vhodnosť snímok pre ďalšie analýzy a sťahovali sa len vhodné a čiastočne vhodné snímky. V procese spracovania boli MODIS snímky prevedené z formátu HDF (Hierarchical Data Format) do Erdasovského formátu IMG a vykonala sa na nich analýza kvality použitím vrstvy kvality MOD 09. Z spracovaných snímok sme odvodili normalizovaný vegetačný index (NDVI) v programe Idrisi Andes. Chýbajúce hodnoty NDVI pre pixle, ktoré nevyhoveli stanoveným kritériám kvality v analýze kvality, boli interpolované z údajov časových radov. Na interpoláciu bola použitá aplikácia Phenological profile. Priebeh NDVI ako biofyzikálneho indikátora meniacich sa podmienok prostredia počas jedného roka modelujeme pomocou sigmoidnej krivky. Použitím ročného priebehu NDVI interpretujeme fenologické fázy lesných drevín, pričom využívame prvú a druhú deriváciu funkcie fenologickej krivky. Validáciu údajov odvodených zo satelitných snímok MODIS vykonávame pomocou pozemných fenologických pozorovaní z TMP Turová. Výsledky ukazujú vhodnosť použitia časových radov NDVI pri interpretácii fenologických fáz. Modelované

hodnoty sú blízke pozorovaným hodnotám, okrem roku 2003, kedy boli zaznamenané výraznejšie odchýlky v zostupnej fáze. Zistené stúpanie fenologickej krivky pred začiatkom pučania a ďalšie klesanie krivky po opade listov je zapríčinené skorším pučaním a neskorším ústupom prízemnej vegetácie.

Kľúčové slová: MODIS, NDVI, fenológia, logistická funkcia

EKOLOGICKÁ KONŠTITÚCIA DRUHOV A JEJ VYUŽITIE PRI INDIKÁCII LESNÝCH SPOLOČENSTIEV

Štefan T Ó B I S

Tóbis, Š.: *Ecological constitution of species and its use for indicating forest communities.* Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 125–132.

On the basis of the results, we can state that in spite of minor diversities, bioindication through plants species is an inseparable part of forest phytocenology, forest ecology and also of all sciences of applied ecology.

In the work, qualities of the chosen taxon species were evaluated according to their ecological values to the environment factors given. Bioindicative values of the chosen species were considered according to on the basis of seven classification scales by different authors. The general aim of the work was to evaluate the differences between the seven classification scales and to consider the suitability or unsuitability of the usage of Ellenberg's econumbers. Through a complete ecological analysis and subsequent average ecological number, relatively minor differences between the seven classification scales were noted.

Keywords: phytoindication of forest communities, phytoindicative classification scales, ecological environmental factors

ÚVOD

Bioindikačné hodnoty rôznych druhov rastlín boli prepracované pravdepodobne ešte v minulom storočí hlavne pre potreby vedných disciplín ako sú fytocenológia a ekológia (ELLENBERG 1974). Prakticky od roku 1950 sa datuje záujem ekológov o využitie organizmov k bioindikácii a k biomonitorovaniu kvality nášho životného prostredia (ERNST 1980, POSTHUMUS 1982, NOVÁKOVÁ 1987 in MEJSTŘÍK 1989).

Pri orientačnom zisťovaní kvality zložiek životného prostredia sa uplatňujú bioindikátory, ktoré možno charakterizovať ako skupinu jedincov určitého druhu alebo biotického spoločenstva, ktoré zreteľne odrážajú vplyv niektorého faktora prostredia. Z ich existencie, stavu alebo správania možno poukazovať na zmeny v prostredí, vrátane existencie a koncentrácie škodlivín.

Termín indikátor zahŕňa pohyb, zmenu od známeho „normálu“, to znamená, že indikuje práve prebiehajúcu zmenu. K indikácii stresových faktorov v životnom prostredí môžu byť použité všetky druhy organizmov, a to ako na úrovni druhov, kultivarov, populácií, spoločenstiev, ekosystémov tak aj krajinných celkov. Samotný druh indikátora nie je dôležitý, ale musí poskytovať lepšie informácie ako ostatné druhy.

Pre lesnícku prax sú rastlinné indikátory jedny z najdôležitejších. Či sa jedná o indikátory nadmerného obsahu dusíka v pôde, alebo nadmernej vlhkosti, vždy poukazujú na aktuálne podmienky stanovišťa. Lišajníky (*Lichenes*) sú nielen priekopníkmi vegetácie v miestach, kde žiadne iné rastliny nenachádzajú podmienky pre existenciu, ale sú aj veľmi citlivými ukazovateľmi čistoty ovzdušia vôbec. Sú to prvé organizmy, ktoré miznú zo znečisteného prostredia. Sú značne citlivé na kyslíčnik siričitý, zlúčeniny fluóru, rôzne dusíkaté látky a magnezitové imisie.

Ďalej napríklad vstavačovité rastliny najviac postihuje hnojenie lúk a pastvín minerálnymi a dusíkatými hnojivami, ktoré má za následok ich totálne zničenie na lokalite.

Niektoré rastliny sa využívajú aj ako indikátory ovzdušia, pretože reagujú na nepriaznivé atmosférické podmienky buď nekrotickými škvrnami, alebo celým sfarbením asimilačných orgánov, prípadne aj ich opadom.

Dôležité postavenie majú aj indikátory kvality vody, či sa jedná o kvalitu úžitkovej, pitnej, alebo odpadovej vody. Vodné organizmy v skúmaných vodách indikujú stupeň ich čistoty alebo znečistenia, ktoré môžu spôsobovať organické alebo anorganické látky.

Bioindikácia v širšom chápaní sa vzťahuje na celý rad ukazovateľov, napríklad na nadbytok niektorých chemických prvkov v pôde, na poškodzovanie porastov zošliapaním, ohryzom, prehnojením a na mnohé ďalšie negatívne zásahy človeka do prírody

CIEĽ PRÁCE

Pre typologický a geobotanický výskum na Slovensku sa pre zistenie indikačných hodnôt spoločenstiev najviac používajú ekologické analýzy podrastu podľa nasledovných autorov, ZÓLYOMIHO (1967), ZLATNÍKA (1970), LANDOLTA (1977), AMBROSA (1986, 1991), JURKA (1990) a ELLENBERGA (1974, 1992). Autori vychádzajú z ekologického správania druhov, ktoré vyhodnotili na základe ich empirických hodnôt, ako aj na základe priamych výskumov v teréne. Ellenbergove indikačné hodnoty boli vypracované pre rastlinné taxóny západnej časti strednej Európy, Landoltove indikačné hodnoty platia pre územie Švajčiarska, a Zolyomové pre Maďarsko. Pre územie Česka a Slovenska zostavili indikačné hodnoty Zlatník, Ambros a Jurko.

Nasledovné cieľe práce:

1. porovnať indikačné hodnoty najrozšírenejších druhov našich lesných spoločenstiev podľa hore uvedených autorov k šiestim ekologickým faktorom – svetlo, teplota, kontinentalita, vlhkosť, pôdna reakcia a obsah dusíka v pôde,
2. pre vybrané lesné spoločenstvá vypracovať komplexnú ekologickú analýzu s použitím indikačných hodnôt, ktoré boli priradené jednotlivým druhom rôznymi autormi,
3. na základe porovnania získaných výsledkov posúdiť správnosť používania Ellenbergových ekočísiel, alebo používať ekočísla zavedené inými autormi.

MATERIÁL A METODIKA

Základný materiál pre splnenie stanovených cieľov tvorí 30 fytocenologických zápisov zo skupiny lesných typov (slt) *Abieto-Fagetum* nst., ktorú reprezentuje lesný typ 5305 – podmäčaná jedľová bučina nst (HANČINSKÝ 1997).

Časť z týchto zápisov (14) bola prevzatá z dostupnej literatúry (Nič 1977), ostatné plochy boli založené v geografickom celku Nízke Tatry. Uvedená slt predstavuje lesné spoločenstvá tvorené taxónmi, ktoré majú široký areál svojho výskytu a patria medzi tzv. bežné lesné druhy.

Plochy o rozmeroch 20 × 20m sa v teréne stabilizovali stredným a rohovými kmeňmi. Na plochách bolo celkove zachytených 38 taxónov, z toho 4 druhov tráv, 4 druhov papraďorastov, a 30 druhov bylín.

Pri zakladaní plôch, ako aj pri vypracovaní fytocenologických zápisov sa použila metodika zaužívaná v typologickej praxi (KRIŽOVÁ, Nič 2000). Latinské názvy taxónov sú uvádzané podľa DOSTÁL, ČERVENKA (1992).

Na posúdenie zmien prostredia bola použitá nepriama metóda indikácie vegetáciou pomocou ekologickej analýzy Ellenberg (1992), s použitím programu PHYTEC (ČERNUŠÁK, ČERNUŠÁKOVÁ 1989). Metodiky ďalších autorov ZLATNÍK (1970), AMBROS (1986, 1991), JURKO (1990), ktoré boli pre analýzu spoločenstiev použité slúžili na posúdenie, do akej miery sa ich výsledky zhodujú, resp. odlišujú od výsledkov podľa ELLENBERG (1992).

Skôr ako sa prišlo k vlastnej ekologickej analýze bolo potrebné vziať do úvahy určité rozdielnosti medzi použitými indikačnými metódami, týkajúce sa hodnotenia vzťahu spoločenstvo – ekologický faktor, ako aj jeho vlastnej klasifikácie.

Zatiaľ čo ZLATNÍK (1970), AMBROS (1986) a ELLENBERG (1992) používajú pre kvantitatívne zhodnotenie ekotopu správanie sa rastlinných taxónov k šiestim základným ekologickým faktorom (svetlo, teplota, kontinentalita, vlhkosť, pôdna reakcia a obsah dusíka v pôde), JURKO (1990) hodnotí vzťah spoločenstiev len k trom faktorom (vlhkosť, reakcia, dusík), ktoré majú podľa neho najvyššiu výpovednú hodnotu. Každý z autorov používa pre stanovenie indikačnej stupňovitosti v rámci ekologického spektra určitého faktora inú klasifikačnú stupnicu. Napr. ELLENBERG (1992) používa pri bioindikácii 8 až 12 člennú stupnicu, AMBROS (1986) a JURKO (1990) len 5 člennú, pričom AMBROS pri klasifikácii dvoch faktorov (kontinentalita, dusík) len dvojstupňovú. ZLATNÍK (1970) pre charakteristiku vzťahu rastlinných taxónov k ekologickým faktorom používa vo väčšine prípadov len slovné hodnotenie, bez stanovenia indikačnej stupňovitosti.

Z toho dôvodu bolo v prvom rade potrebné zjednotiť navrhované bioindikačné stupnice na základe spoločných znakov na približne rovnakú úroveň, ktorá by zabezpečila vzájomné porovnanie výsledkov ekologickej analýzy. Pre tento účel bol využitý dôležitý fakt, že všetci autori sa pri konštrukcii indikačných stupňov opierali o podobné údaje získané dlhodobými pozorovaniami, ako aj o priame merania v teréne.

Pri svetelnom režime sa využilo triedenie rastlín na tri základné skupiny a to: *heliofyty*, *hemiheliofyty* a *sciofyty*, od ktorých boli na základe percentuálneho vyjadrenia relatívnej svetlosti (RS) k svetlosti na voľnom priestranstve odvodené ďalšie medzistupne.

Pri teplotnom režime bola pri zostavovaní indikačných stupňov využitá závislosť taxónov od výškového gradientu – vegetačnej stupňovitosti.

Pri faktore klíma sa brali do úvahy dva základné typy klímy a to oceanická a kontinentálna. Z týchto dvoch základných stupňov boli odvodené ďalšie medzistupne.

Pre pôdnu vlhkosť boli indikačné stupne odvodené z hodnôt vodného potenciálu (pF), prípadne z hodnôt W (relatívneho podielu využitej zásoby vody v pôde v hĺbke do 80 cm v letnom období).

Pre zostavenie indikačnej stupňovitosti reakcie pôdy slúžili za základ hodnoty reakčného čísla (pH), ktoré vyjadruje obsah voľných vodíkových iónov v pôde.

Za základ pri zostavení indikačnej stupňovitosti obsahu dusíka v pôde slúžili jeho najnižšie a najvyššie namerané hodnoty, pričom ostatné hodnoty medzi nimi boli len relatívne odstupňované.

VÝSLEDKY

Cieľom práce bolo posúdiť a zhodnotiť, ktorá z bežne používaných ekologických analýz je najvhodnejšia pre sledovanie vplyvu ekologických faktorov v našich podmienkach. Na posúdenie bolo použitých 30 fytocenologických zápisov zo skupiny lesných typov *Abieto-Fagetum* (AF).

Táto slt patrí do edaficko-trofického radu B, (mezotrofný). Z veľkého radu skupín lesných typov bol vybraný práve tento vzhlľadom ku skutočnosti, že edaficko trofický rad B je jedným z najrozšírenejších na Slovensku. Predstavuje až 65 % rozlohy lesov Slovenska a zároveň patrí aj medzi najproduktívnejšie a hospodársky najvýznamnejšie.

Dôvodom výberu lesného typu podmäčaná jedľová bučina nst. (lt 5305) bol predpoklad malých odchýliek ekologických hodnôt ku jednotlivým faktorom prostredia. Malá variabilita ekologických hodnôt sa predpokladala s faktu, že daný lesný typ sa vyskytuje v celej strednej Európe, v ktorej boli vykonané podrobné ekologické prieskumy sledovanými autormi.



Graf č. 1 Graf zvukovej analýzy

Graf č. 1 Diagram of the cluster analysis

Z výsledného grafu (Graf č. 1) zhlukovej analýzy môžeme dospieť k záveru, že faktory prostredia 2, 3 a 4, 5 sú v tesnom zhluku, čo znamená že majú podobný priebeh u všetkých

autorov, naopak faktory prostredia 1 a 6 sa najviac vymykajú. Čísla od 1 po 6 udávajú poradové číslo faktoru prostredia, to znamená 1 – svetelný režim, 2 – teplotný režim, 3 – kontinentalita, 4 – vlhkostný režim, 5 – režim pôdnej reakcie, 6 – režim dusíka v pôde. V slovnom hodnotení možno konštatovať, že u všetkých autorov majú faktory prostredia teplotný režim, kontinentalita, vlhkostný režim a režim pôdnej reakcie relatívne podobný priebeh s minimálnymi odchýlkami, a faktory svetelný režim a obsah minerálnych látok v pôde majú oproti ostatným faktorom značné odchýlky.

Na základe zistených hodnôt ekologických čísiel k daným faktorom prostredia je v niektorých prípadoch značná odchýlka medzi hodnoteniami podľa jednotlivých autorov. Tieto rozdiely sú zapríčinené rôznymi klasifikačnými stupnicami ktoré uvádzajú jednotliví autori. Napríklad ELLENBERG (1974,1992) rozlišuje vo svojej klasifikácii v niektorých prípadoch až 12 člennú stupnicu a na druhej strane ostatní autori ako AMBROS (1986), AMBROS (1991), ZLATNÍK (1970), LANDOLT (1977), JURKO (1990) a ZOLYOMI (1967) uvádzajú zväčša len 5 člennú stupnicu a v niektorých prípadoch len dvoj člennú. Rovnako treba brať do úvahy aj fakt, že jednotliví autori zostrojovali svoje klasifikačné stupnice pre rôzne štáty Európy.

Tab. č. 1 Indikačné hodnoty vybraných taxónov vo vzťahu k obsahu dusíka

Tab. č. 1 Bioindicative values of the chosen species in relation to contents of the nitrogen

	ELLENBERG 1974, 1992	AMBROS 1986	AMBROS 1991	ZLATNÍK 1970	LANDOLT 1977	JURKO 1990
<i>Athyrium filix-femina</i>	stredne bohaté až bohaté	indiferentné	mezotrofné	dostatok živín	stredne bohaté	stredné
<i>Dentaria bulbifera</i>	stredne bohaté až bohaté	indiferentné	eutrofné	chudobné až bohaté	stredne bohaté	stredné
<i>Galium odoratum</i>	stredne bohaté	indiferentné	mezotrof – eutrofné	chudobné až bohaté	stredne bohaté	chudobné
<i>Mercurialis perennis</i>	bohaté	indiferentné	indiferentné	chudobné až bohaté	stredne bohaté	stredné
<i>Oxalis acetosella</i>	stredne bohaté až bohaté	indiferentné	mezotrofné	dostatok živín	stredne bohaté	chudobné
<i>Prenanthes purpurea</i>	stredne bohaté	indiferentné	mezotrof – eutrofné	dostatok živín	stredne bohaté	stredné
<i>Senecio fuchsii</i>	bohaté až stredne bohaté	nitrofyty	mezotrofné	chudobné až bohaté	bohaté	bohaté

DISKUSIA A ZÁVER

Ako vyplýva z výsledkov medzi vypočítanými hodnotami priemerných ekologických čísiel existujú väčšie, alebo menšie rozdiely, na čom sa podieľa viacero faktorov. Významnú úlohu zohrávajú v tomto prípade rozdiely v indikačných hodnotách taxónov, ktoré uvádzajú jednotliví autori. Tieto súvisia s veľkosťou areálu ich rozšírenia, s rozdielnou geologickou stavbou územia, reliéfom terénu, jeho vertikálnym členením,

ako aj rozdielnymi klimatickými podmienkami. Nič (1977) uvádza vo svojej publikácii indikačné hodnoty niektorých taxónov (Tab. č. 1), ktorých areál rozšírenia v rámci európskeho kontinentu je pomerne rozsiahly. Indikačné hodnoty k jednotlivým ekologickým faktorom sú uvádzané slovne, pretože každý z autorov použil klasifikačnú stupnicu s rôzne širokou škálou indikačných stupňov. Ako z tabuliek vyplýva, ekočísla niektorých druhov sa u jednotlivých autorov líšia (pri niektorom faktore viac, pri inom menej), hoci spravidla rozdiel v hodnotách predstavuje ($\pm$) jeden stupeň (medzistupeň) a len zriedkavo je väčší, čo možno pripísať viacerým subjektívnym, prípadne objektívno-regionálnym príčinám. Z tohto dôvodu sa javia ako správne úvahy MUCINU (1985), že určitý taxón sa v odlišných územiach správa ekologicky a cenologicky odlišne a preto jeho indikačné hodnoty určené pre jedno územie by sa nemali prenášať do iných geografických podmienok. Ďalším faktorom, ktorý či už priamo, alebo nepriamo môže ovplyvniť vzájomné porovnanie výsledkov ekologických analýz, je rôzne široká škála indikačných stupňov, ktorú používajú autori vo svojich bioindikačných klasifikáciách pri hodnotení ekologického spektra jednotlivých faktorov. Napr. ELLENBERG (1974, 1992) používa pre bioindikáciu 8 až 12 člennú stupnicu, AMBROS (1986) a JURKO (1990) 5 člennú, ZLATNÍK (1970) a AMBROS (1991) klasifikujú vzťah taxónov k jednotlivým ekologickým faktorom len slovne, pričom používajú 3 až 5 člennú klasifikáciu vyjadrenú pomocou symbolov.

Osobitnú skupinu tvoria taxóny, ktoré sú k jednému, prípadne k viacerým ekologickým faktorom indiferentné a v rámci indikačných stupňov sú označené hodnotou „0“, alebo „i“. Mnohé druhy zaradené do tejto skupiny majú zvláštnu adaptívnu stratégiu, ktorej podstatou je genetická heterogenita a veľká plasticnosť, t.j. schopnosť individua prežiť v širokom spektre životných podmienok. Ako však uvádza MUCINA (1985), flexibilita, genetická heterogenita druhov a rozrôznenosť podmienok prostredia sú hlavnými predpokladmi vzniku adaptovaných biotypov v rámci široko tolerantného druhu, čo znamená, že druh označený ako indiferentný, môže byť komplexom rôznej indikačnej výpovede. Táto skutočnosť bola pravdepodobne príčinou toho, že v rámci porovnávaných bioindikačných klasifikácií boli niektoré taxóny označené jedným autorom ako indiferentné k určitému ekologickému faktoru, zatiaľ čo iný autor im priradil úplne inú indikačnú hodnotu. Najmarkantnejšie sa tieto rozdielnosti prejavujú vo vzťahu k teplote, pôdnej vlhkosti a reakcii.

Ako uvádza JURKO (1986), najviac indiferentných druhov je zahrnutých v bioindikačnej klasifikácii podľa ELLENBERGA (1974, 1992), kde z pomedzi 2091 druhov je k svetlu indiferentných 6%, k pôdnej reakcii 27% a k teplote 28% druhov. Ostatní autori majú vo svojich klasifikačných stupniciach menšie počty indiferentných druhov, pričom sa z tohto rámca úplne vymyká klasifikácia podľa LANDOLTA (1977), v ktorej autor vôbec neuvažuje s možnosťou, že taxóny môžu byť k niektorému ekologickému faktoru aj indiferentné.

Aj napriek tomu, že výsledky ekologických analýz nepotvrdili výraznejšie rozdiely medzi použitými bioindikačnými metódami (výnimku tvorí len ekofaktor svetlo), treba získané údaje brať s určitou rezervou. Ekologická analýza bola vypracovaná pre spoločenstvo s pomerne nízkou taxonomickou diverzitou, preto je možné vysloviť domienku, či práve malý počet druhov nespôsobil, že rozdiely medzi výsledkami porovnávaných

bioindikačných metód nie sú až také výrazné zatiaľ čo u druhovo bohatších fytocenóz by boli tieto rozdiely výraznejšie. Pokiaľ však nie sú tieto údaje k dispozícii, nie je možné stanoviť, ktorá z bioindikačných metód je najvhodnejšia pre vypracovanie ekologickej analýzy našich lesných spoločenstiev.

Literatúra

- AMBROS, Z.,: *Bioindikace abiotického prostředí lesných ekosytémů*. Část II. Acta universitatis agriculturae, LV, 1–4, Brno, 1986, s. 33–56.
- AMBROS, Z.,: *Ekologické skupiny druhů*. VŠZ Brno 1991, s. 55.
- ČERNUŠÁK, I., ČERNUŠÁKOVÁ, D.,: PHYTEC, softwarový produkt ZN-37/87. UK Bratislava, 1989.
- DOSTÁL, J., ČERVENKA, M.,: *Velký klíč na určování vyšších rastlin II*. Slovenské pedagogické nakladatelstvo, Bratislava, 1992.
- ELLENBERG, H.: *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropas*. In: Scripta Geobotanica XVIII, 2. verbesserte und erweiterte Auflage, D 3400 Gottingen Auflage, 1992, 258 s.
- ELLENBERG, H.,: *Zeigerwerte der Gefässpflanzen Mitteleuropas*. In: Scripta Geobotanica. Gottingen. Bd. 9, Verl, Gotze E. 1974. 97 s.
- HANČINSKÝ, L. 1997. *Lesné typy Slovenska*. TU Zvolen. 1997. 218 s.
- JURKO, A.,: *Poznámky k diskusi o užitočnosti Ellenbergových indikačných hodnôt*. Biológia 41/1, Bratislava, 1986, s. 91–100.
- KRIŽOVÁ, E., NIČ, J.,: *Fytocenológia a lesnícka typológia*. Učebné texty, Technická univerzita Zvolen, 2000, s. 31–33, 106–107, 143–145.
- KRIŽOVÁ, E., KROPIL, R., ČABOUN, V., MIDRIAK, R.,: *Základy ekológie*. Učebné texty, Technická univerzita Zvolen, 1999, s. 49–54.
- LANDOLT, E.,: *Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora* Veröffentlichungen des geobotanischen institutes der eidg. techn. hochschule, stiftung Rubel, in Zurich, 1977.
- MEJSTRÍK, V., *Bioindikace a biomonitorování – teoretické otázky a praktická aplikace*. In: Životné prostredie, Roč. 23., č. 1, 1989 s. 6–10.
- MUCINA, L.,: *Používat, či nepoužívat Ellenbergove indikačné hodnoty?* Biológia 40, 5, Bratislava, 1985, s. 511–516.
- NÍČ, J.,: *Využití fytoekologických indikačných stupnic při hodnotení lesných ekosystémov Slovenska*. Učebné texty, Technická univerzita Zvolen, 1977.
- ZLATNÍK, A. et al.,: *Lesnícka botanika speciální*. Vysokoškolská učebnica, Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1970, s. 420–609.
- ZÓLYOMI, B. et al.,: *Einreihung von 1400 Arten der ungarischen Flora in ökologische Gruppen nach TWR-Zahlen*. Fragmenta Botanica Musei Historico-Natural. Hungarici, Tom 4, 1967, s. 101–142.

Adresa autora:

Ing. Štefan Tóbis

Katedra fytológie

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

e-mail: tobis@vsld.tuzvo.sk

Ekologická konštitúcia druhov a jej využitie pri indikácii lesných spoločenstiev

Abstrakt

V predkladanej práci boli zhodnotené vlastnosti vybraných druhov rastlinných taxónov na základe ich ekologických hodnôt k daným faktorom prostredia. Bioindikačné hodnoty vybraných druhov boli prehodnotené na základe siedmich klasifikačných stupní podľa jednotlivých autorov.

Všeobecným cieľom práce bolo zhodnotenie odlišností medzi jednotlivými klasifikačnými stupnicami, a zhodnotenie vhodnosti, resp. nevhodnosti používania Ellenbergových ekočísiel.

Úplnou ekologickou analýzou a následne priemerným ekologickým číslom boli zistené relatívne malé odlišnosti v jednotlivých klasifikačných stupniciach.

Na základe zistených výsledkov môžeme vysloviť skutočnosť, že aj napriek malým odchýlkam je bioindikácia pomocou rastlinných druhov neoddeliteľnou súčasťou lesníckej fytocenológie, a všetkých vedných disciplín aplikovanej ekológie.

Kľúčové slová: fytoindikácia lesných spoločenstiev, fytoindikačné klasifikačné stupnice, ekologické faktory prostredia

SÚČASNÝ STAV DREVINOVÉHO PORASTU AKO LIMITUJÚCI FAKTOR REKREAČNÉHO VYUŽÍVANIA CHRÁNENÉHO AREÁLU BANSKOŠTIANVICKÁ KALVÁRIA

Slavka TUREČKOVÁ

Turečková, S.: Present state of wooden growth as an limiting factor of recreational use of protected area Calvary of Banská Štiavnica. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 133–145.

Calvaries represent an important aesthetic element of the country reminding valuable heritage that was consigned to us. It is not only their cultural, historical and spiritual protection that is important, but also natural values conservation. For revitalisation of mentioned protected area complete reconstruction and care from the point of view of nature and country protection is needed. This is considered as an conditional factor for other possibilities of its use. Result of this work is lime trees alley health state exaulation in order to afford recreational use opportunities near by. In this work, few notes refer to proposals and recommendation for maintainance works while revitalisation.

Keywords: calvary of Banská Štiavnica, recreation, revitalisation, lime tree alley

1. ÚVOD

Regenerácia organizmu a odpočinok patria k hlavným a základným funkciám voľného času. Voľný čas bol vždy súčasťou každodenného života ľudí, súčasťou denného, týždenného i celoročného cyklu práce. Jeho spôsob a rozsah využívania závisia od dosiahnutého stupňa rozvoja spoločnosti. S pojmom voľný čas úzko súvisia rekreačné aktivity a pojem rekreácia. Rekreácia je aktivita človeka, ktorá zamestnáva iné mozgové centrá ako vlastná práca (SLÁVIKOVÁ 2009). Rekrečné aktivity majú priamy súvis s pojmom rekreácia. Vyhľadávanými miestami na rekreáciu sú miesta v krajine, ktoré majú svoju históriu, identitu, kultúru, symboliku a génia loci. Za takéto miesto sa odpradáva považuje aj Banskoštiavnická kalvária.

Každý typ krajiny má v realite rekreačný potenciál, či už je to krajina urbanizovaná, poľnohospodárska alebo lesná, ktorá má potenciál z dôvodu pozitívnych účinkov lesa na zdravie človeka a taktiež pre svoju estetickú hodnotu. Podľa SLÁVIKOVEJ (2010) je rekreačná hodnota krajiny súhrn čiastkových hodnôt stavových veličín krajiny z hľadiska možnosti ich využitia pre rekreačné aktivity. Krajina Kalvárie má vysokú potenciálnu

rekreačnú hodnotu, čo znamená vhodnosť jej fyzicko-geografických podmienok a kultúrno-historických predpokladov pre rekreačné využitie. Jej aktuálna rekreačná hodnota je však pomerne nízka kvôli nepohodlnému prístupu k úpätiu Kalvárie, absentujúcej vybavenosti funkčných plôch rekreácie a hygienických zariadení, informačných symbolov, atď. Napriek aktuálnemu stavu môžeme povedať, že sa v tomto mieste skrýva vysoký rekreačný potenciál a jeho naplnenie by odzrkadľoval zvýšený funkčný efekt areálu, ktorý je v súčasnosti nedostatočný.

Významným atraktívnym prvkom miesta je popri komplexe sakrálnych objektov aj lipová aleja v štýle baroka, ktorá tvorí líniovú vstupnú bránu. Postupom času sa stala neoddeliteľnou súčasťou Kalvárie a prispieva k jej krajinnno-estetickej a historickej hodnote. Vysadená bola pravdepodobne tesne po dostavaní sakrálnych objektov v rokoch 1751–1752. Výrazne pozitívne dotvára celkový krajinný obraz a zároveň vhodný priestor pre rekreáciu, ale po takmer 20 ročnej absencii akejkoľvek starostlivosti prírodná aj kultúrna zložka chráneného areálu začala podliehať pôsobeniu času. Aktuálny zdravotný stav lipovej aleje je pre akékoľvek rekreačné aktivity nevyhovujúci, ohrozuje bezpečnosť návštevníkov, čo má negatívny vplyv na jej rekreačné využívanie.

Banskoštiavnická kalvária je veľmi silnou dominantou mesta Banská Štiavnica. Staviteľmi bola umiestnená v extraviláne mesta a je veľmi dobre viditeľná z každej cestnej komunikácie vedúcej do mesta. Má vysoký kultúrno-historický a vedecko-výskumný význam. Je najvýznamnejšou barokovou kalváriou, ktorá vznikla na našom území (BENOVIC, ČELKO a kol. 2001). Výborne zvolené miesto na jej výstavbu, osamotený kužeľovitý sopúch, je dominantou mesta a najvzácnejšia baroková kalvária na Slovensku znásobuje jeho výnimočnosť. Môžeme povedať, že Banskoštiavnická kalvária je svojim spôsobom nositeľkou informácií o krajine Banskej Štiavnice, jej vývoji, je veľmi silným symbolom a predstavuje obdivuhodný krajinný obraz. Podľa SUPUKU a kol. (2000) pri posudzovaní vhodnosti objektov na rekreáciu sa hodnotia podmienky prírodné, územno-technické, územno-ekonomické a demograficko-sociologické. Prednostný význam majú podmienky prírodné. Na Banskoštiavnickej kalvárii z nich môžeme vyzdvihnúť najmä morfológiu terénu.

Z vedecko-výskumného hľadiska význam Kalvárie spočíva predovšetkým v geologickom vývoji. Je súčasťou štiavnického stratovulkánu a druhou najmladšou sopkou na Slovensku. Vzácnu súčasťou vegetácie sú najmä staré jedince líp, niekoľko brestov a tiež zriedkavý druh ruže *Rosa reversa* (RAČKOVÁ 1984 in TUREČEKOVÁ 2007).

Vegetačné prvky, ich formácie a diferencované štruktúry sa považujú za pozitívne pôsobiace krajinné prvky, čo sa prejavuje na množstve a intenzite rekreačných účinkov. Cieľom práce je hodnotenie zdravotného stavu a navrhnutie následných opatrení pre revitalizáciu lipovej aleje, ako základný krok k zatraktívneniu celého areálu pre rekreáciu.

Z legislatívneho hľadiska je Banskoštiavnická kalvária podľa Zákona 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny zaradená do kategórie chránený areál s 3. stupňom ochrany. Vďaka svojim hodnotným sakrálnym objektom je tiež pod ochranou zákona č. 49/2002 Z. z. o ochrane pamiatkového fondu. Pre svoju osobitosť bola Banskoštiavnická kalvária zaradená 12. 11. 1993 na zoznam Svetového prírodného a kultúrneho dedičstva UNESCO, čo jej zabezpečuje ochranu podľa zákona č. 159/1991 Zb. o ochrane prírodného

a kultúrneho dedičstva. V roku 2007 bola zaradená na zoznam Svetového pamiatkového fondu s názvom 100 najohrozenejších miest sveta. Vyplývajú z definícií Európskeho dohovoru o krajine, ktorý na Slovensku vstúpil do platnosti 1. 12. 2005, je nevyhnutná ochrana a manažment prírodného a kultúrneho dedičstva, a dodržiavanie zásad Dohovoru o ochrane architektonického dedičstva Európy, Dohovoru o biologickej diverzite, Dohovoru o ochrane svetového kultúrneho a prírodného dedičstva a ďalších.

2. METODIKA

Pre celkové zhodnotenie stavu drevín bola použitá Metodika hodnotenia drevín v parkových objektoch vypracovaná Ing. MODRANSKÝM (2006), vychádzajúca z MACHOVCA (1987) a PEJCHALA (1997). Pre zdravotný stav bola použitá 5 bodová stupnica, kde číslo 1 bolo prideľované jedincom s najlepším zdravotným stavom a číslo 5 bolo prideľované jedincom s najhorším zdravotným stavom. (1 – dreviny zdravé, 2 – dreviny zdravé s výskytom hubových ochorení alebo výskytom škodcov, 3 – dreviny so zhoršeným zdravotným stavom, 4 – dreviny s výrazne zlým zdravotným stavom, 5 – dreviny hynúce). Každé číslo je charakterizované určitým typom a spôsobom poškodenia.

Pre určenie sadovníckej hodnoty, ktorá vychádza z metodiky MACHOVCA (1987), bola použitá 5 bodová stupnica s podobným hodnotením ako pre zdravotný stav (1 – optimálna životnosť, 2 – mierne znížená životnosť, 3 – stredne znížená životnosť, 4 – silne znížená životnosť, 5 – minimálna životnosť). Namerané hodnoty obvodov jednotlivých stromov boli jedince zaradené do kategórií (jedince do 150 cm, 151–200 cm, 201–250 cm, 251–300 cm, 301–350 cm, viac ako 350 cm). Výška stromov bola meraná pre každého jedinca.

3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Lipová aleja je situovaná na západnom svahu Kalvárie. Vysadená bola tesne po dostavaní sakrálnych objektov, približne v rokoch 1751–1752. Vek jedincov aleje je teda rovnaký. Počet hodnotených jedincov bol 49 (27 jedincov pravej strany a 22 jedincov ľavej strany aleje). V minulosti bolo vykonaných niekoľko озdravných zásahov, za posledných 20 rokov však minimálne, o čom vypovedá aktuálny stav drevín aleje.

Tab. 1 Parametre jednotlivých jedincov lipovej aleje

Tab. 1 Parameters of single lime-tree alley individuals

	obvod [cm]	výška [m]	zdrav. stav	sadov. hodnota	poznámky
0 pravá strana	283	18	3	3	
1 pravá strana	189	16	2	3	
2 pravá strana	185	17	2	2	
3 pravá strana	256	19,5	2	2	
4 pravá strana	112	17	3	4	previs. koruna

Tab. 1 Pokračovanie
Tab. 1 Continued

	obvod [cm]	výška [m]	zdrav. stav	sadov. hodnota	poznámky
5 pravá strana	149	15	2	3	
6 pravá strana	191	18	2	2	
7 pravá strana	230	18	3	4	strieška
8 pravá strana	222	17	4	4	
9 pravá strana	207	18	2	3	
10 pravá strana	280	24	2	2	
11 pravá strana	295	20	3	3	strieška
12 pravá strana	199	20	3	5	
13 pravá strana	210	19	3	3	
14 pravá strana	270	18	2	2	
15 pravá strana	262	22	3	3	
16 pravá strana	180	19	3	5	
17 pravá strana	224	18	3	4	
18 pravá strana	360	21	2	2	
19 pravá strana	364	20	2	2	
20 pravá strana	255	18	2	3	
21 pravá strana	299	20	2	2	
22 pravá strana	234	20	2	3	
23 pravá strana	262	20	2	3	
24 pravá strana	330	18	4	4	
25 pravá strana	243	19	2	3	
26 pravá strana	252	19	2	3	
0 ľavá strana	320	21	3	2	
1 ľavá strana	175	19,5	2	2	
2 ľavá strana	182	20	3	4	strieška
3 ľavá strana	260	20	3	4	strieška
4 ľavá strana	168	16	2	2	
5 ľavá strana	170	17	2	3	
6 ľavá strana	147	19	3	3	
7 ľavá strana	250	18	4	5	
8 ľavá strana	292	16	4	5	strieška
9 ľavá strana	140	12	3	5	

Tab. 1 Pokračovanie
Tab. 1 Continued

	obvod [cm]	výška [m]	zdrav. stav	sadov. hodnota	poznámky
10 ľavá strana	216	18	3	3	strieška
11 ľavá strana	240	19	3	3	
12 ľavá strana	283	20	2	2	
13 ľavá strana	300	20	3	4	
14 ľavá strana	300	18	3	4	
15 ľavá strana	235	17	2	3	
16 ľavá strana	255	19	2	3	
17 ľavá strana	272	18	3	3	
18 ľavá strana	235	18	3	4	
19 ľavá strana	310	18	4	5	
20 ľavá strana	257	17	3	3	
21 ľavá strana	250	18	3	4	

Z hľadiska zdravotného stavu jednotlivých drevín možno konštatovať, že lipová aleja potrebuje v značnej miere sanačné zásahy. Ani jednému jedincovi nebola pridelená bodová hodnota 1. Jedince s bodovou hodnotou 2 a 3 boli vyrovnané zastúpené (22 jedincov (45 %) s bodovou hodnotou 2 a 22 jedincov (45 %) s bodovou hodnotou 3). Celkovo 5 jedincov, čo predstavovalo 10,2 % malo pridelenú bodovú hodnotu 5, ktorá je charakterizovaná ako hynutie dreviny, kde preschnutie koruny presahuje až 50 % jej objemu, alebo dutina na kmeni presahuje 2–3 hlčky. Aj keď dominantné postavenie majú jedince s bodovou hodnotou 2, teda dreviny relatívne zdravé, s výskytom hubových ochorení alebo živočíšnych škodcov, príp. dreviny s bodovou hodnotou 3, ktoré sú charakterizované celkovo zhoršeným zdravotným stavom, kde preschnutie koruny je max. 25 %, je namieste sa domnievať, že daná výška a hrúbka budú nadhodnotené a zdravotný stav daných jedincov bude horší. Vyplýva to zo skutočnosti, že merania prebiehali v mimovegetačnom období, kedy sa zdravotný stav mohol ťažšie určiť a odhadnúť.

Tab. 2 Zdravotný stav jedincov lipovej aleje
Tab. 2 Health state of single lime trees alley individuals

Hodnota	Počet	%	Hodnota	Počet	%
1	0	0	4	5	10,2
2	22	44,9	5	0	0
3	22	44,9	Σ	49	100



Obr. 1 Zdravotný stav jedincov lipovej aleje

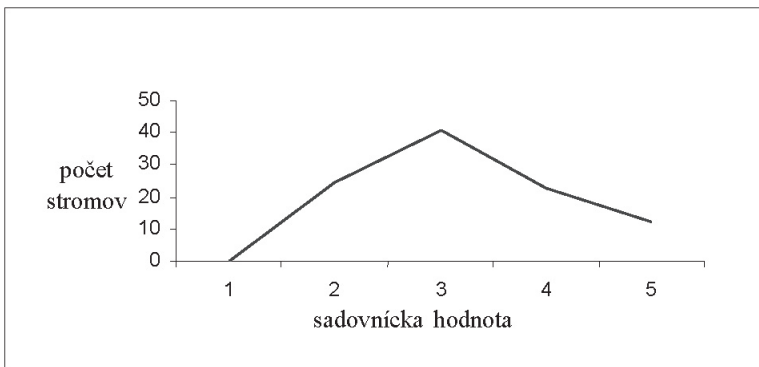
Fig. 1 Health state of single lime trees alley individuals

Uvedený stav následne kopíruje aj celkové vyjadrenie ich sadovníckej hodnoty. Najviac bolo zastúpených jedincov so sadovníckou hodnotou 3–20 jedincov (41 %). Nasledovalo pomerne vyrovnané zastúpenie jedincov s bodovou hodnotou 2, 12 jedincov (24 %) a s bodovou hodnotou 4, 11 jedincov (22 %). Najmenej (6 jedincov (12 %) bolo zastúpených tých jedincov, ktorým bola pridelená bodová hodnota 5, ako vyjadrenie najnižšej životnosti, kde je drevina prakticky ohrozená úhynom, bez perspektívy ďalšej existencie. Tieto jedince vykazujú najhoršie znaky zdravotného stavu sadovníckej hodnoty. Z výsledkov je zrejmé, že dominantné postavenie majú jedince, ktoré charakterizuje stredne znížená životnosť (bodová hodnota 3), kedy je drevina schopná strednodobej existencie (niekoľko desiatok rokov), so zníženou schopnosťou udržať si súčasný zdravotný stav a sadovnícku hodnotu. Drevinu možno, v niektorých prípadoch, správnym ošetrovaním zlepšiť sadovnícku hodnotu a pomôcť pri udržaní prijateľného zdravotného stavu. Tu je možné konštatovať, že drevinám zaradeným do tejto kategórie je prípadne možné priradiť bodovú hodnotu 4.

Tab. 3 Sadovnícka hodnota jedincov lipovej aleje

Tab. 3 Seeding value of single lime trees alley individuals

Hodnota	Počet	%
1	0	0
2	12	24,5
3	20	40,8
4	11	22,4
5	6	12,2
Σ	49	100



Obr. 2 Sadovnícka hodnota jedincov lipovej aleje

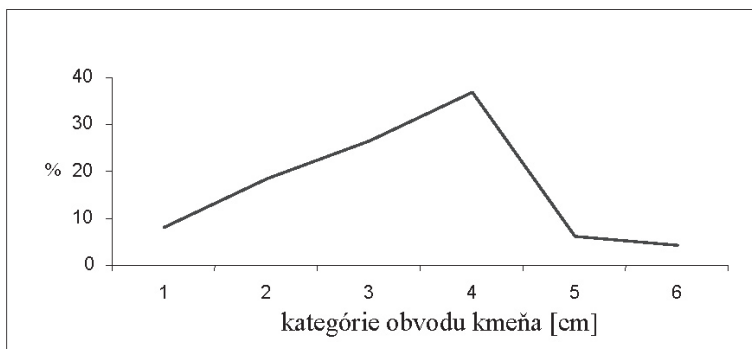
Fig. 2 Seeding value of single lime trees alley individuals

Čo sa týka celkovej hrúbkovej diferenciácie jednotlivých stromov, najviac bola zastúpená kategória v rozsahu 251 až 300 cm (18 jedincov (37 %) a 201 až 250 cm (13 jedincov (27 %). Celkovo 6 jedincov [4,1 %], čo bolo najmenej, bolo zastúpených v kategórii s obvodom kmeňa viac ako 350 cm.

Tab. 4 Obvod kmeňa jedincov lipovej aleje

Tab. 4 Trunk perimeter of single lime trees alley individuals

Priemer	Počet	%
do 150	4	8,16
151–200	9	18,4
201–250	13	26,5
251–300	18	36,7
301–350	3	6,12
351 a viac	2	4,08
Σ	49	100



Obr. 3 Obvod kmeňa lipovej aleje

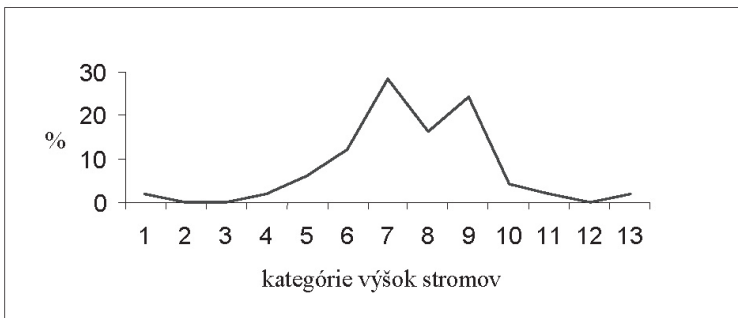
Fig. 3 Trunk perimeter of single lime trees alley individuals

Z celkového rozsahu zistených výšok jednotlivých stromov možno konštatovať, že dominantné postavenie majú jedince s výškou okolo 18 m (28,6 %) a 20 m (12 %). Možno povedať, že jedince lipovej aleje, čo do vzrastu a mohutnosti dosahujú len stredné hodnoty.

Tab. 5 Výška stromov lipovej aleje

Tab. 5 Trees heigth of single lime trees alley individuals

Výška [m]	Počet	%
12	1	2,04
13	0	0
14	0	0
15	1	2,04
16	3	6,12
17	6	12,2
18	14	28,6
19	8	16,3
20	12	24,5
21	2	4,08
22	1	2,04
23	0	0
24	1	2,04
Σ	49	100



Obr. 4 Výška stromov lipovej aleje

Fig. 4 Trees height of single lime trees alley individuals

Napriek tomu ich celkový zdravotný stav a sadovnícka hodnota dosahujú nízke hodnoty. Pri absencii akéhokoľvek sanačného zásahu sa dá odhadovať životnosť väčšiny jedincov max. 20 až 50 rokov. Vzhľadom na krajinotvorný význam a estetickú funkciu pôsobí celkový habitus a tvarovanie koruny niektorých jedincov výrazne rušivo, čo bolo podmienené aj niektorými sanačnými zásahmi v nedávnej minulosti.

Pôvodné jedince aleje majú približne 200, 250 rokov (rezervačná kniha Správy CHKO Štiavnické vrchy). Zachovalo sa ich len niekoľko. Zdravotný stav stromov v aleji je rôzny – od zdravých po odumierajúce.

V roku 1985 bola Kalvária vyhlásená za Chránený prírodný výtvor. Kvôli stretom záujmov vo využívaní územia sa v roku 1986 Chráneným prírodným prvkom. V súčasnosti tu platí podľa zákona 543/2002 Z. z. 3. stupeň ochrany. Areál Banskoštiavnickej kalvárie je od septembra 2006 pod správou mesta Banská Štiavnica, čiže starostlivosť o aleju je v jeho rukách (pričom povolenie na ošetrovanie a zásahy vydáva správa CHKO Štiavnické vrchy, Pamiatkový úrad a taktiež Krajský úrad ŽP v Banskej Bystrici (podľa zákona 543/2002 Z. z., § 14, ods. 2).

4. DOTERAJŠIA STAROSTLIVOSŤ, NAVRHOVANÁ STAROSTLIVOSŤ

Pri starostlivosti o aleju platí dôležitá zásada neoddeliteľnosti aleje. Aleju je nutné chápať ako celok, ktorý je možné len vo výnimočných prípadoch rozdeliť na jednotlivé stromy. Pri údržbe aleje je vždy nevyhnutné „záujmy jedincov“ podriaďiť „záujmom celku“ (LEONTOVIČ, 2005). Zohľadňujúc zdravotný stav aleje Banskoštiavnickej kalvárie by sa dalo v zmysle tvrdení vyššie spomenutého autora uvažovať aj o komplexnej výmene za nové jedince, čo by ale znamenalo výrazný zásah do celkového charakteru daného objektu. Veľká väčšina jedincov môže byť vďaka vhodným a primeraným ošetrovujúcim zásahom zachovaná. Je dôležité aleju, ako historický prvok s krajinno-estetickou funkciou, udržať čo najdlhší čas a zvoliť čo najšetrnejšie spôsoby starostlivosti pre predĺženie životnosti

pôvodných jedincov. Vhodnejšie by teda bolo prikloniť sa k realizácii jemnejších zásahov a pristupovať k jednotlivým stromom šetrne v záujme zachovania komplexnosti aleje.

Snaha o zachránenie lipovej aleje sa v minulosti realizovala viacerými spôsobmi. Nahrádzanie odstránených jedincov výsadbou nových na pôvodné miesto nebolo veľmi úspešné kvôli nevhodným svetelným podmienkam v samotnom rade aleje. Mladé jedince líp boli v stromoradí zatienené, často ostávali zakrpatené alebo celkom vyhynuli. Pracovníci Správy CHKO Štiavnické vrchy za vhodný spôsob záchrany zvolili výsadbu mladých lípiek po vonkajšej línii pozdĺž pôvodnej aleje. Okolo roku 1994 (presne neuvedené) bolo na Kalvárii vysadených 150 kusov lípiek. Keďže všetky sa neujali, neskôr tu pracovníci CHKO za pomoci Farského úradu vysadili ešte 60 sadeníc. (rezervačná kniha Správy CHKO Štiavnické vrchy). Veľká časť vysadených lípiek bola údajne zničená pasúcim sa dobytkom, pri detských hrách. Napriek týmto skutočnostiam je v súčasnosti po vonkajšej línii starej aleje vysadená nová. Tvorí ju 56 približne 12-ročných stromčekov. Táto skutočnosť znamená narušenie pôvodného tvaru (pôdorysu) výsadby aleje, čo môžeme definovať ako problém. Nová línia je badateľná najmä okolo Dolného kostola. Pôvodný tvar môžeme usudzovať už len z historických fotografií, alebo z ortofotosnímkov dedukovať pôvodný zámer vysádzajúceho.

Celkovo je aleja líp na Kalvárii orientovaná nevhodne. JZ orientácia spôsobuje výraznú asymetriu aleje ako celku aj jednotlivých jedincov smerom na juh. Zvlášť jedince na južnej strane aleje majú výrazne asymetrickú korunu, čo značne znižuje hornú hranicu veku líp, severná je zasa lipami z južnej strany výrazne tienená. Starostlivosť bola zanedbávaná a vzhľadom na spomenuté skutočnosti je potrebné zmieriť sa s tým, že aleja bude najmä v dôsledku zlej priestorovej orientácie z dendrologického a čiastočne estetického hľadiska vždy problematická, udržateľná v požadovanej kvalite len za cenu permanentných a pomerne značných dodatočných vstupov.

Krajinno-estetickú funkciu aleje znižuje aj stromoradie prevažne orechov kolmo sa dotýkajúce aleje zo severnej strany asi v 2/3 jej dĺžky. Našťastie z tejto strany už nie je aleja zakrývaná žiadnym ďalším porastom, ktorý by bránil výhľadu, čo sa javí ako pozitívum. Návštevník ostáva v tomto prípade v kontakte s otvorenou krajinou a pri pohľade na sever sa mu otvára výhľad na Kremnické vrchy a Veľkú Fatru (pri priaznivom počasi). Oveľa výraznejšie v súčasnosti ovplyvňuje krajinno-estetickú funkciu aleje súbežné stromoradie ovocných stromov v hornej časti s prechodom do jaseňov, ktoré sa nachádza na južnej strane. Súčasťou stromoradia je aj umelo vysadený hustý kríkovitý porast tvorený prevažne *Syringa vulgaris* (orgován). Taktiež nebol ošetrovaný už niekoľko desiatok rokov. Celý tento zárasť je vhodné ponechať, vyžaduje však dôkladné preriedenie a ošetrovanie. V prípade odbornej starostlivosti bude spomínaný porast pozitívnym prvkom z estetického hľadiska, pretože z JZ (výhľad na obytnú časť mesta) bude tvoriť upravenú prírodnú bariéru medzi okolitou krajinou a priestorom vrchu kalvárie, ktorý je obklopený lesom.

Na základe dosiahnutých výsledkov možno vysloviť niekoľko námetov smerujúcim k celkovému zlepšeniu lipovej aleje. Akúkoľvek starostlivosť v tomto prípade predchádza vypracovanie projektu ozdravenia historickej zelene s dôrazom na záchranu maximálneho počtu historických líp. Ak bude po analýze zrejmé, že väčšina stromov je vhodná na

odstránenie, vhodným riešením by bolo nechať ich dožiť (pokiaľ neohrozujú návštevníkov a kaplnky). Odborným zásahom je možné udržať ich existenciu ešte minimálne 50 rokov. V tomto prípade je to napr. radikálny rez koruny asi v 1/3 výšky stromu (priamo od kmeňa). Takýmto zásahom dosiahneme zachovanie pôvodnej aleje, čiže aj pôdorysu, vhodné ošetrovanie stromov aleje, nový atraktívny vzhľad aleje, zaistenie bezpečnosti návštevníkov, tiež zaistenie bezpečnosti obnovených kaplniek a Dolného kostola, čo je veľmi pozitívne z hľadiska rekreačnej hodnoty a využiteľnosti územia.

5. ZÁVER

Podľa SUPUKU a kol. (2004) je vegetácia súčasným dominantným krajinným prvkom a vzhľadom na geologické podmienky Slovenska aj dominantným nástrojom tvorby krajiny Slovenska v jej rôznych štruktúrno-priestorových podobách. Tieto tvrdenia v plnej miere vystihujú charakter popisovanej Kalvárie, ktorá svojou geomorfologickou štruktúrou, dentokrytom a kultúrno-historickými objektmi zvyšuje hodnotu krajinného obrazu okolitej krajiny. Celostný prístup ku skúmaniu krajiny berie do úvahy aj percepčnú dimenziu. SUPUKA a kol. (2004) vyčlenil pozitívne pôsobiace krajinné prvky, z ktorých na Kalvárii nachádzame prirodzené reliéfne tvary, kultúrne štruktúry lesa a drevinové vegetačné formácie.

Na základe komplexného zhodnotenia zdravotného stavu a následne sadovníckej hodnoty jednotlivých stromov lipovej aleje Banskoštiavnickej kalvárie možno konštatovať, že väčšina jedincov potrebuje naliehavé zákroky. V opačnom prípade sa dá očakávať životnosť niektorých jedincov a následne celej lipovej aleje len niekoľko rokov. Utrpela by tak nie len autenticita kultúrno-historickej pamiatky, ale aj celkový dojem z nej. V prípade areálu Banskoštiavnickej kalvárie je však potrebné vypracovať komplexnejší plán revitalizácie aleje a okolitého drevinového porastu s dôrazom na krajinnotvornú a estetickú hodnotu celého objektu, čo by výrazne prispelo k rozšíreniu možností realizácie rekreačných aktivít.

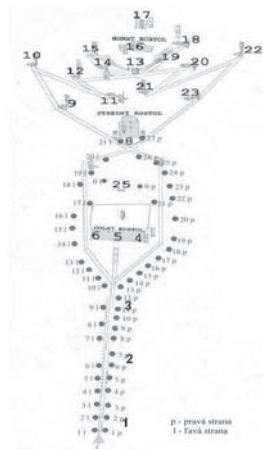
Literatúra

- KLEMENT, A. a kol. 1986: Turistický sprievodca ČSSR. Štiavnické vrchy, Šport, Bratislava, 206 s.
- KUNCA, V., ŠTEFFEK, J., OLAH, B., GAVLAS, V., WIEZIK, M. 2005: Dynamika ekosystémov Štiavnických vrchov. Technická Univerzita vo Zvolene, Zvolen, 103 s.
- LEONTOVIČ, R. 2005: Projekt revitalizácie lipovej aleje v oblasti chráneného areálu „Banskoštiavnická kalvária“. I. etapa, Banská Štiavnica, 20 s.
- MACHOVEC, J. 1987: Hodnocení vzrostlé zeleně v městských parcích. ŽP, XXI, s. 134–139.
- PEJCHAL, M. 1997: Hodnocení vitality stromů. In: Městský park. SPU, Nitra, s. 9–38.
- RAČKOVÁ, M. 1984: Návrh na vyhlásenie masívu štiavnickej Kalvárie za chránenú prírodnú pamiatku (CHPP). Stredoškolská odborná činnosť, Banská Štiavnica, 61 s.
- SLÁVIKOVÁ a kol. 2010: Ekológia krajiny, učebnica. (v tlači), 181 s.
- SLÁVIKOVÁ, D. 2009: Disturbancia lesných ekosystémov v dôsledku realizácie rekreačných aktivít, rukopis.
- SUPUKA A KOL. 2000: Ekológia urbanizovaného prostredia, TU vo Zvolene, 223 s.
- SUPUKA, J., FERIANCOVÁ, L., SCHAMPOLOVÁ, T., JANČURA, P. 2004: Krajinnárska tvorba, SPU Nitra, 256 s.
- TUREČEKOVÁ, S. 2007: Revitalizácia Banskoštiavnickej kalvárie, Diplomová práca, Banská Štiavnica, 61 s.

Obrazová príloha:



Obr. 1 Ortofotostnímka lipovej aleje
Fig. 1 Orthophotograph of lime-tree alley



Obr. 2 Bodový plán lipovej aleje
Fig. 2 Point map of lime-tree alley



Obr. 3 Rozsiahle poškodenie kôry
Fig. 3 Extensive bark damage



Obr. 4 Dutina v kmeni
Fig. 4 Hollow in trunk

Adresa autora:

Ing. Slavka Turečeková
Katedra ochrany lesa a poľovníctva
Ul. T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

Súčasný stav drevinového porastu ako limitujúci faktor rekreačného využívania Chráneného areálu Banskoštiavnická kalvária

Abstrakt

Kalvárie v krajine pôsobia ako významný krajinno-estetický prvok, pripomínajúci cenné dedičstvo, ktoré nám bolo zverené. Podstatná nie je len ich kultúrno-historicko-pamiatkárská a duchovná ochrana, ale tiež ochrana prírodných hodnôt. Pre revitalizáciu Chráneného areálu Banskoštiavnická kalvária je potrebná celková obnova a starostlivosť aj z pohľadu ochrany prírody a krajiny, čo je podmieňujúci faktor pre ostatné oblasti využívania. Výsledkom práce je zhodnotenie zdravotného stavu jedincov lipovej aleje, ktorá je vo veľmi zlom zdravotnom stave a ohrozuje bezpečnosť návštevníkov, za účelom možnosti realizácie rekreačných aktivít v jej blízkosti. Niekoľkými poznámkami sa dotýkame návrhov a odporúčaní pre realizáciu sanačných prác pri jej revitalizácii.

Kľúčové slová: Bankoštiavnická kalvária, rekreácia, revitalizácia, lipová aleja

MODERNIZÁCIA DIGITÁLNEJ AEROTRIANGULÁCIE V LESNÍCKOM MAPOVANÍ

Jozef Š A D I B O L

Šadibol, J.: Modernisation of digital aerotriangulation in forestry mapping. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 147–159.

This paper has proved that the use of extern orientation data obtained by differential GPS and IMU are suitable for the aerotriangulation process. Using extern orientation data decrease necessary number of ground control points for one block and increase the precision of aerotriangulation results. Obtained results have confirmed the advantages and perspective of the GPS/INS – IMU data usage for smaller number of ground control points in the field of forestry mapping.

Keywords: aerotriangulation, ground control point, inertial measurement unit

1 ÚVOD A CIEĽ

V súčasnej dobe zaznamenávame výrazný vývoj spracovania priestorových objektov na zemskom povrchu. Samozrejme tento vývoj sa prejavil aj v oblasti digitálnej fotogrametrie, ktorá sa využíva v lesníckom mapovaní. Až 80 % mapovacích prác sa uskutočňuje práve digitálnou fotogrametriou, čo predstavuje plochu 2007 mil. ha. Lesnícke mapovanie je dôležitou súčasťou lesného hospodárstva, najmä lesných hospodárskych plánov (LHP). Hlavnou náplňou lesníckeho mapovania je tvorba lesníckych máp, ktoré slúžia potrebám lesného hospodárstva a zobrazujú stav lesov na začiatku platnosti lesného hospodárskeho plánu.

V oblasti digitálnej fotogrametrie vidíme výrazný pokrok automatizácie jednotlivých krokov vo fotogrametrickom procese a to najmä v aerotriangulácii, tvorbe digitálnych výškových modelov, ortofotosnímkov, ortofotomáp.

Z nástupom digitálnych kamier sa proces fotogrametrického vyhodnotenia podstatne zrýchlil. Nie je potrebné skenovať letecké snímky do digitálnej podoby, zvýšila sa interpretabilita snímok. Pri digitálnych snímkach je vyššia kvalita automatického vyhľadávania spojovacích bodov. Ďalšou výhodou je možnosť súčasného vyhotovenia snímok v pravých a nepravých farbách a farebne infračervených snímok v rámci jedného snímkového letu.

Pri automatickej aerotriangulácii je potrebný určitý počet vĺčovacích bodov. V súčasnosti z nástupom GPS/IMU jednotiek v procese automatickej aerotriangulácie sa výrazne znížil počet potrebných vĺčovacích bodov vo fotogrametrickom spracovaní leteckých meračských snímok (LMS). Práve v lesnom prostredí je veľký problém signalizovať

potrebný počet vličovacích bodov a využitie GPS/IMU jednotiek umožňuje zvýšenie efektívnosti spracovania LMS. V súčasnej etape vývoja digitálnej fotogrametrie síce nie je potrebné mať také veľké množstvo vličovacích bodov ako v etape analógovej fotogrametrie, ale stále je potrebný ich určitý, hoci minimálny počet najmä pre úspešné riešenie digitálnej automatickej aerotriangulácie (KLUSOŇ, *et al.* 2004). Na spracovanie LMS má výrazný vývoj softvérových prostriedkov pre digitálnu fotogrametriu, ktoré zrýchľujú proces tvorby automatickej aerotriangulácie, stereomodelov, ortofosnímkov.

2 ROZBOR PROBLEMATIKY

2.1 Digitálna fotogrametria

Fotogrametrické metódy zberu dát prešli za pomerne krátke časové obdobie prudkým vývojom od analógových, cez analytické, v súčasnej dobe k digitálnym fotogrametrickým metódam.

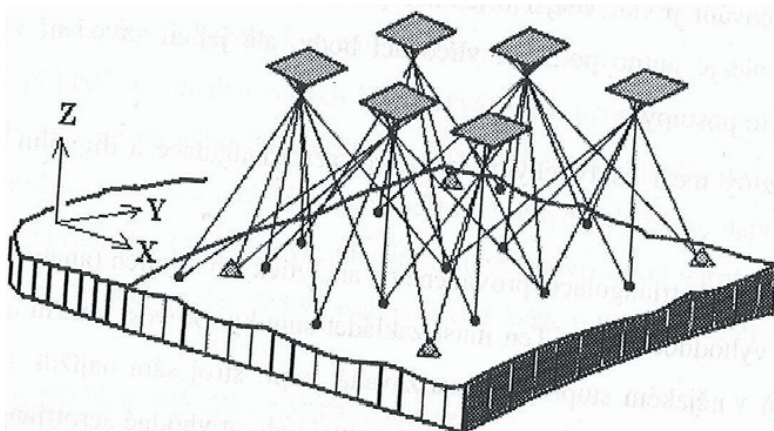
Podľa *Terminologického slovníka geodézie, kartografie a katastra (1998)* "digitálna fotogrametria je proces vyhodnotenia digitálneho obrazu v počítači bez ľudskej asistencie, digitálny obraz sa získa buď priamo digitálnou kamerou prípadne iným snímačom (primárna digitalizácia), alebo digitalizáciou snímky (sekundárna digitalizácia)".

2.2 Digitálna aerotriangulácia

Pod pojmom digitálna aerotriangulácia chápeme analytickú aerotrianguláciu uskutočnenú na digitálnych snímkach. Základom je vzťah medzi meranými snímkovými súradnicami bodu, ktorý je zobrazený aspoň na dvoch snímkach, a jeho priestorovými geodetickými súradnicami (PAVELKA, 2006). Analytické metódy sú najpresnejšie pre oblasť fotogrametrie, umožňujú vypočítať geodetické súradnice metódou najmenších štvorcov a zahrnúť aj neznáme prvky (prvky vonkajšej orientácie, podchytiť systematické chyby, radiálne skreslenie, zakrivenie Zeme).

V rámci riešenia analytickej aerotriangulácie sa používajú tieto základne metódy:

- Etapové riešenie (SCHUT, JERIE, LOBANOV): postupne pomocou vzájomnej orientácie zostavujeme jednotlivé snímky do celého bloku a ich snímkové súradnice transformujeme do sústavy prvého snímku. Potom tento systém na základe podmienkových rovníc pre zväzok lúčov jednotlivých snímok sa prevedie do geodetického súradnicového systému.
- Komplexné riešenie (Schmid): všetky modely sa orientujú súčasne bez medzikrokov relatívnej a absolútnej orientácie pomocou zmeraní vličovacích bodov s vyrovnaním.
- Komplexné riešenie s podporou GPS/INS:



Obr. 1 Komplexné riešenie automatickej aerotriangulácie, zväzkové vyrovnanie lúčov
Fig. 1 Complex solution of automatic aerotriangulation, bundle adjustment

Najkvalitnejšou metódou aerotriangulácie je zväzkové vyrovnanie bloku. Komplexné riešenie využíva Schmidovú metódu, kde sa zväzkové lúče vyrovnávajú pre celý blok (PAVELKA, HODÁČ, 2008).

S rozvojom využitia digitálnych obrazov a nárastom výkonného počítačového hardvéru a softvéru sa stala vo fotogrametrii nevyhnutnou automatizácia jej procesov. Preto digitálna fotogrametria a digitálne fotogrametrické systémy utvorili nové predpoklady pre využitie digitálnej aerotriangulácie tým, že manuálne spracovanie v analytickej fotogrametrii bolo nahradené automatizovanými postupmi, najmä aplikáciami digitálnej obrazovej korelácie a digitálneho obrazového priradovania – image matching. Digitálnou automatickou aerotrianguláciou generujeme blokovú konfiguráciu snímok, umožňuje automaticky vyhľadávať spojovacie body bloku s presnosťou pod úrovňou priestorového rozlíšenia obrazového prvku snímky, tzv. sub-pixelovú presnosť. Celý postup digitálnej automatickej aerotriangulácie predstavuje hlavne automatické riešenie vzájomnej orientácie v bloku snímok, pri ktorej sa automaticky vyberajú spojovacie body v pásmach dvojnásobného, trojnásobného a priečného prekrytu a navzájom sú priradované do susedných snímok. Výsledkom riešenia sú vytvorené stereodvojice, resp. blok snímok (KARDOŠ, CHUDÝ, 2007). V riešení sa zavádzajú opravy z refrakcie, distorzie objektívu a zakrivenia Zeme. Vstupné dáta pre digitálnu aerotrianguláciu sú digitálne snímky (naskenované analógové snímky alebo získane priamo z digitálnej kamery), súradnice vlícovacích bodov a prípadne prvky vonkajšej orientácie snímky získane z IMU jednotky.

2.3 Využitie GPS/IMU jednotiek

Z nástupom družicových navigačných systémoch (GNSS) sa proces aerotriangulácie podstatne zrýchlil. Prvky vonkajšej orientácie (poloha projekčného centra, náklon lietadla) je možné určiť už počas snímkového letu. Samozrejme využitie družicových

systémoch nesie určité problémy, najmä to že poloha projekčného centra je daná v geocentrických súradniciach a je potrebné previesť súradnice do lokálneho súradnicového systému. Vnútna presnosť zmerania projekčných centier metódou DGPS je cca 5 cm, ale treba si uvedomiť vplyv systematických chýb počas snímkového letu, preto je reálna presnosť odhadovaná cca na 20 cm. Diskutovanou novinkou je možnosť aerotriangulácie s využitým leteckého DGPS bez použitia vlícovacích bodov. Teoreticky sa tomu nič nebráni, ale z dôvodu kontroly je vždy potrebný určitý počet vlícovacích bodov.

GPS prijímače priniesli aj modernizáciu určovania vlícovacích bodov. V dnešnej dobe pomaly vytlačujú klasické geodetické metódy zamerania bodu. Výrazným prínosom pre zefektívnenie meraní GNSS je vybudovanie infraštruktúry permanentnej služby na šírenie korekčných členov potrebných na presné určovanie priestorovej polohy v závažných súradnicových systémoch využívajúcich signály GNSS pod označením Slovenský priestorový observačný systém (ďalej SKPOS) (HALVOŇ, 2007). Tým meranie vlícovacieho bodu trvá niekoľko minút a postprocesingom je možné zlepšiť presnosť zmerania vlícovacieho bodu. V rámci aerotriangulácie s využitím údajov z GPS/IMU sú potrebné najmä výškové vlícovacie body, najmä ak nie je známy priebeh geoidu daného územia (PAVELKA, 2008).

Pre určenie orientácie digitálnej kamery sa využíva inerciálna meračská jednotka (IMU), ktorá dodáva veľmi presne údaje o uhloch v rámci krátkeho časového okamžiku. Treba určite spomenúť, že tieto systémy sú často zaťažované systematickými chybami, ktoré sú spôsobené najmä veľmi náročnou časovou synchronizáciou počas snímkového letu.

2.4 Problematika vlícovacích bodov

Dôležitou časťou prípravy fotogrametrického projektu je signalizácia vlícovacích a kontrolných bodov. Vlícovací bod je bod stanovenej presnosti vhodne umiestnený v teréne, v prípade potreby aj fotogrametricky signalizovateľný a na meračskej snímke identifikovateľný (ŽIHĽAVNÍK, Š. 2004).

Zriaďované vlícovacie body musia byť volené tak, aby ich poloha na snímke bola dobre identifikovateľná. Na ich signalizáciu sa využívajú biele kríže s ramenami dlhými 1 m a širokými 0,30 m, v strede s čiernou fóliou o rozmere 15 × 15 cm, prípadne kruhového alebo štvorcového tvaru najčastejšie bielej alebo žltej farby. Často sa stretávame s dodatočným domeraním vlícovacích bodov po snímkovom lete, kde je vhodné voliť za vlícovacie body kruhové útvary, najčastejšie kanalizačné šachty, kruhové obruče, vodorovné dopravné značky, ktoré sú dobre identifikovateľné na snímke. Výhodne je využiť i existujúcu sieť bodov štátnej priestorovej siete (ŠPS), pri ktorej sa počítalo aj s využitím pre účely vlícovacích bodov – stabilizácia skružou a použitie signalizačnej fólie. Najmä v lesnom prostredí je veľmi náročne nájsť vhodné identifikovateľné vlícovacie body ako i problém ich určenia s dostatočnou presnosťou. V súčasnosti vidíme prínos využitia družicových navigačných systémoch a získania prvkov vonkajšej orientácie snímky počas snímkového letu, ktoré znižujú početnosť vlícovacieho bodu. Vlícovacie body určujeme tradičnými geodetickými meraniami (polygonové ťahy, pretínaním). Nástupom určovania

polohy bodu pomocou globálneho polohového systému sa rapídne znížil čas na určenie pravouhlých súradníc vlícovacieho bodu.

3 MATERIÁL A METÓDY

Pre tvorbu projektu automatickej aerotriangulácie boli použité letecké meračské snímky, kalibračný protokol digitálnej kamery a údaje o polohe kamery počas snímkového letu, geodetické prístroje pre zmeranie vlícovacích bodov a softvérové prostredie INPHO pre automatizované spracovanie leteckých snímok. Snímkový materiál predstavuje panchromatické a multispektrálne snímky z digitálnej kamery UltraCamD od firmy Vexcel zachytávajúce územie Vysokoškolského lesníckeho podniku vo Zvolene. Pre potreby výskumu bolo vybratých 160 snímok nasnímaných v 6 radoch s 85 % pozdĺžnym a 35 % priečnym prekrytom. Digitálne snímky sú v úrovni spracovania 2 (Level 2 – označenie výrobcu) po odstránení geometrických a rádiometrických nepresností s veľkosťou GSD pri panchromatických snímkach 10 cm a pri multispektrálnych snímkach 25 cm. Bežne výrobca produkuje na trhu snímky Level 3, čiže po panchromatickom zaostrení a po obrazovom vylepšení s 8 bitovou farebnou hĺbkou jednotlivých kanálov. V našom projekte boli snímky po panchromatickom zaostrení, konkrétne sa jednalo o farebné infračervené snímky (ŠADIBOL, BECZE, 2007).

Parametre farebnej infračervenej snímky

Rozmer snímky: 7 500 × 11 500 pixelov (67,5 × 103,5 mm)

Veľkosť pixla: 9,000 μm × 9,000 μm

Konštanta fotokomory ck: 101,4 mm

Rádiometrické rozlíšenie snímok, čiže farebná hĺbka pixla je 12 bitov v dynamickom rozsahu. Obrazový element (pixel) môže nadobudnúť hodnoty optickej hustoty v rozsahu 0–4096.

Vlícovacie a kontrolné body boli zamerané pomocou merania GNSS statickou metódou, alebo to boli body štátnej priestorovej siete ŠPS. Na zameranie vlícovacích bodov sa používa dvojfrekvenčný GNSS prijímač Topcon Hiper GGD. Ďalšie spracovanie meraných dát sa vykonáva v softvéri Topcon Tools 7.3. Súradnice bodov sú určené v pravouhlom súradnicovom systéme UTM 34 N. Nadmorské výšky jednotlivých bodov boli vzťahované na geoid Slovenska. Vlícovacie body sa v teréne signalizovali krížmi bielej farby s ramenami dlhými 1m a širokými 30 cm. Dodatočne domerané vlícovacie body boli dobre identifikovateľné objekty, zväčša sa jednalo o kanalizačné poklopy, šúpatka, vodorovné dopravné značky, križovatky. Tieto vlícovacie body sme zamerali pomocou merania GNSS statickou metódou s využitím služby SKPOS (Slovenský priestorový observačný systém). Služba SKPOS nám vlastne nahrádza vlastnú referenčnú stanicu, z ktorej získavame potrebné korekcie signálov. Súradnice vlícovacích bodov určené využitím GNSS môžu byť vyjadrené v geografickom súradnicovom systéme ETRS89 (zem. dĺžka, šírka), v pravouhlom súradnicovom systéme (UTM 34, JTSK 03). Konkrétne v našom záujmovom území bolo použitých 47 vlícovacích bodov, z toho 20 bodov slúžilo na kontrolu presnosti aerotriangulácie. Tieto body sa nezahrňovali do výpočtu aerotriangulácie.

Na spracovanie danej problematiky sme využili integrovaný digitálny fotogrametrický systém INPHO od nemeckej firmy. Konkrétne sa jednalo o program Match-AT, ktorý slúži na automatickú digitálnu fotogrametriu.

Automatickú aerotrianguláciu sme riešili v nasledujúcich krokoch:

- Editovanie typu kamery z kalibračného protokolu (konštanta fotokomory, rozmery snímky, výška letu, poloha hlavného snímkového bodu).
- Pri digitálnych meračských kamerách nie sú nadefinované žiadne špeciálne rámové značky ako je to u analógových kamerách (KONECNY, G. 2003). V tomto prípade sa vnútorná orientácia určí z polohy hlavného snímkového bodu (principal point) vyjadrenú pozíciou pixla, keďže v kalibračnom protokole je poloha hlavného snímkového bodu daná v snímkovom súradnicovom systéme (mm). Akú pozíciu pixla bude mať hlavný snímkový bod, určíme pomocou veľkosti pixla, rozmerom snímky v mm a polohou hlavného bodu (PP) v mm, vyjadrených v kalibračnom protokole.
- Použitie prvkov externej orientácie z GPS/IMU jednotiek počas snímkového letu. Prvky vonkajšej orientácie môžeme určiť v okamihu exponovania snímky. Priestorové súradnice sú určované metódou diferenciálneho globálneho určenia polohy (DGPS) a pomocou inerciálnej meračskej jednotky (IMU) priečny, pozdĺžny sklon a pootočenie snímky. Orientácia je usmernená gyroskopickou stabilizáciou osi záberu. Relatívnu výšku letu udáva napr. rádiový výškomer, alebo diferenčný barometer – statoskop. S takouto metódou získavania prvkov vonkajšej orientácie sa zvyšuje presnosť dosahovania výsledkov vzájomnej a absolútnej orientácie snímok a kladú sa menšie nároky na vytvorenie priestorového modelu bez vertikálnych paraláx a jeho orientáciu v priestore. Diskutovanou novinkou je možnosť aerotriangulácie iba s využitým leteckého diferenciálneho GPS bez použitia vlícovacích bodov (PAVELKA, 2006).
- Importovanie vlícovacích bodov, pomocou ktorých sa stereomodel prevedie do geodetického súradnicového systému. Následne sa určí poloha vlícovacích bodov v programe Match-AT. Zvolíme, ktoré body budú vstupovať do výpočtu aerotriangulácie a body kontrolné na overenie presnosti aerotriangulácie.
- Automatické vyhľadávanie spojovacích bodov v bloku snímok. Výber bodov využíva digitálnu obrazovú koreláciu. Cieľom je nájsť polohu dvoch odpovedajúcich bodov na snímke bez zásahu operátora. Určia sa snímkové súradnice za predpokladu známych prvkov vnútornej orientácie. Počet a kvalitu spojovacích bodov je možné ovplyvniť a závisí od druhu digitálnej snímky. Vyhľadávanie spojovacích bodov vychádza z predpokladu unikátneho okolia daného spojovacieho bodu a určuje sa dopredu zvolenou pravdepodobnosťou. Na počet spojovacích bodov má vplyv najmä textúra a štruktúra snímky a samozrejme farebnosť snímky.
- Automatický prenos spojovacích bodov v rámci stereoskopického, trojnásobného pozdĺžneho prekrytu a priečného prekrytu snímok. Prenos je spojený s blokovým vyrovnaním spojovacích a vlícovacích bodov. Zvýšenie spoľahlivosti blokového vyrovnanie sa dá zaistiť zväčšením počtu spojovacích bodov.
- Kontrola blokovej aerotriangulácie pomocou kontrolných bodov, ktoré sa nezaraďujú do automatického výpočtu aerotriangulácie. Program Match-AT automaticky vyradzuje z výpočtu výskyt hrubých chýb a analyzuje priebeh celej aerotriangulácie.

3.1 Výpočet presnosti súradníc

Postup pre zhodnotenie presnosti a správnosti pozostáva z týchto krokov (BÖHM, J. a kol., 1990).

1. Výpočet rozdielov súradníc (odchýlok)

$$\delta_{xi} = X_G - X_F \quad \delta_{yi} = Y_G - Y_F \quad \delta_{zi} = Z_G - Z_F \quad [1]$$

Kde: X_G, Y_G, Z_G – sú správne geodetické súradnice,
 X_F, Y_F, Z_F – sú vypočítané geodetické súradnice,
 i – je poradové číslo bodu.

2. Posúdenie presnosti určenia bodov:

2a. Presnosť merania posudzujeme podľa aritmetického priemeru a smerodajnej odchýlky podľa nasledovných vzťahov:

$$\delta_x = \frac{\sum \delta}{n} \quad \delta_y = \frac{\sum \delta_y}{n} \quad \delta_z = \frac{\sum \delta_z}{n} \quad [2]$$

$$s\delta_x = \pm \sqrt{\frac{\sum (\delta_{xi} - \delta_x)^2}{n}} \quad s\delta_y = \pm \sqrt{\frac{\sum (\delta_{yi} - \delta_y)^2}{n}} \quad s\delta_z = \pm \sqrt{\frac{\sum (\delta_{zi} - \delta_z)^2}{n}} \quad [3]$$

– vychýlenie: systematická zložka strednej kvadratickej chyby

2b. Systematickú zložku strednej kvadratickej (vychýlenosť) posudzujeme na základe T-testu, ktorý má potvrdiť, alebo vyvrátiť, že ak vznikne nejaká systematická chyba pri určovaní súradníc bodov z fotogrametrického modelu, tak nevznikla z titulu náhodných činiteľov.

$$\delta_x = 0 \quad \delta_y = 0 \quad \delta_z = 0 \quad [4]$$

3. Stanovenie nulovej hypotézy:

Výpočet hodnoty T (BÖHM, J. a kol., 1990)

$$T_x = \frac{\frac{\delta_x}{S_x}}{\sqrt{n-1}} \quad T_y = \frac{\frac{\delta_y}{S_y}}{\sqrt{n-1}} \quad T_z = \frac{\frac{\delta_z}{S_z}}{\sqrt{n-1}} \quad [5]$$

Určenie hodnoty: $t_{0,025(x)}$

Určíme ju z tabuľky „Kritické hodnoty Studentovho t rozdelenia pre zvolenú hladinu významnosti“ (BÖHM, J. a kol., 1990).

x – je počet uvažovaných hodnôt v súbore pri testovaní.

Potvrdenie alebo popretie hypotézy:

- ak $T < t_{0,025(x)}$ – nulová hypotéza sa prijíma, čo znamená, že systematická chyba je štatisticky nevýznamná,
- ak $T > t_{0,025(x)}$ – nulová hypotéza sa zamietá a vysloví sa tvrdenie s 95 % spoľahlivosťou, že súbor je zaťažený systematickou chybou.

Ak sa má táto systematická chyba odstrániť, je potrebné príslušné hodnoty opraviť o hodnotu rovnajúcu sa opačnej hodnote aritmetického priemeru základného súboru hodnôt.

Výpočet stredných súradnicových chýb (správnosti) m_x , m_y , m_z a podľa vzťahov:

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{[\delta^2_{xoi}]}{n}} \quad m_y = \pm \sqrt{\frac{[\delta^2_{yoi}]}{n}} \quad m_z = \pm \sqrt{\frac{[\delta^2_{zoi}]}{n}} \quad [6]$$

Kde: n – počet meraní,

δx_0 – opravené hodnoty,

δy_0 – opravené hodnoty,

δz_0 – opravené hodnoty.

4. Stredné súradnicové chyby m_{xy} jednotlivých meraní podľa vzťahu:

$$m_{xy} = \pm \sqrt{0,5 (m_x^2 + m_y^2)} \quad [7]$$

4 VÝSLEDKY

V rámci našej výskumnej lokality bolo vytvorených 8 projektov automatickej aerotriangulácie v programe Match-AT. Hlavnou úlohou bolo posúdenie presnosti jednotlivých projektoch aerotriangulácie v závislosti od počtu vlícovacích bodov s využitím údajov z GPS/IMU jednotiek. Najmä v lesnom prostredí sa stretávame s problematikou zamerania vlícovacích bodov ako i vyhľadávania spojovacích bodov na jednotlivých snímkach. V súčasnosti sa dostávajú do popredia snímky z digitálnych kamier, využitie GPS/IMU jednotiek počas snímkového letu ako i využitie družicových navigačných systémoch pri určený priestorovej polohy bodov. Tieto možnosti nám urýchľujú proces automatickej aerotriangulácie.

Presnosť aerotriangulácie v jednotlivých projektoch sme posudzovali pomocou kontrolných bodov. Kontrolné body sú geodetické body, ktoré boli zmerané statickou metódou GPS merania s využitím služby SKPOS. Polohová presnosť zamerania jednotlivých bodov sa pohybovala cca 3 cm. V rámci jednotlivých projektoch bolo zvolených 20 rovnakých kontrolných bodov rozmiestnených na celom skúmanom území. Výška kontrolných a vlícovacích bodov bola stiahnutá na geoid. Presnosť aerotriangulácie sme charakterizovali pomocou strednej kvadratickej chyby M_{xy} (RMS) na kontrolných bodov. Následne sme hodnoty strednej kvadratickej chyby porovnávali so STN 01 3410 Mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy.

Ďalej sme posudzovali presnosť vyhľadávania spojovacích bodov, ktoré sa vygenerovali automaticky v programe Match-AT. Tu sme zvolili len pravdepodobnosť a spôsob vyhľadávania spojovacích bodov. Kritérium na posúdenie presnosti snímkových súradníc jednotlivých spojovacích bodov sú hodnoty stredných kvadratických chýb, ktoré na celom území vo všetkých projektoch dosiahli hodnotu 0,8 μm , čo predstavuje 1/10 z veľkosti pixla.

V prvom projekte sme posudzovali presnosť automatickej aerotriangulácie bez použitia vlčovacích bodov. V ostatných projektoch sme posudzovali vplyv početnosti na polohovú a výškovú presnosť automatickej aerotriangulácií s využitým údajov GPS/IMU jednotiek.

Tab. 1 Hodnoty strednej polohovej kvadratickej chyby aerotriangulácie [m]

Tab. 1 Values of mean coordinate error of aerotriangulation

projekt	počet vlčovacích bodov	Mx [m]	My [m]	Mxy [m]	Mxy [m] bez systematickej chyby
1	0	0,496	0,503	0,499	0,400
2	4	0,059	0,068	0,064	0,064
3	8	0,061	0,063	0,062	0,062
4	12	0,060	0,068	0,064	0,060
5	15	0,060	0,061	0,063	0,063
6	19	0,060	0,068	0,064	0,064
7	23	0,064	0,067	0,065	0,065
8	27	0,063	0,066	0,064	0,064

Tab. 2 Hodnoty strednej výškovej kvadratickej chyby aerotriangulácie [m]

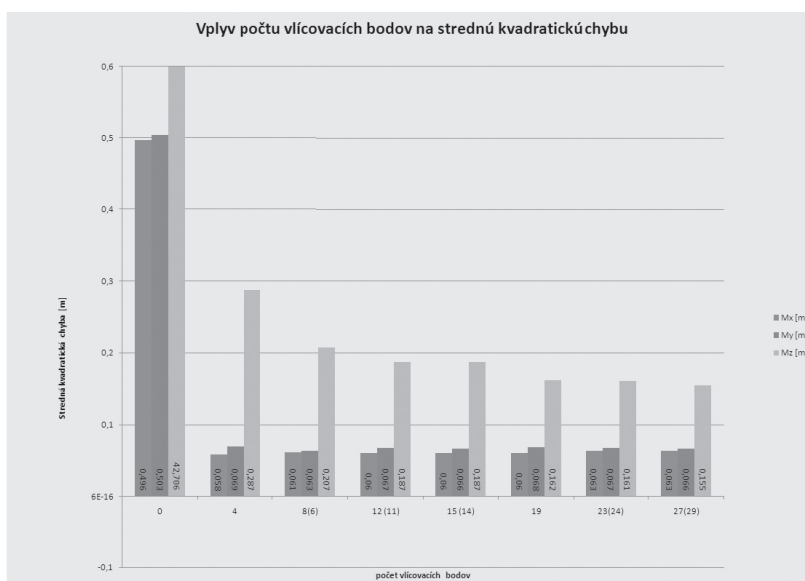
Tab. 2 Values of mean height error of aerotriangulation

projekt	Počet vlčovacích bodov	Mz [m]	Mz [m] bez systematickej chyby
1	0	42,706	0,140
2	4	0,286	0,150
3	6	0,206	0,183
4	11	0,186	0,186
5	14	0,187	0,187
6	19	0,162	0,162
7	24	0,161	0,161
8	27	0,155	0,155

Tab. 3 Triedy presnosti podľa STN 01 3410
Mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy

Tab. 3 Accuracy classes according to STN 01 3410
Maps of large scales-basic and thematic maps

Triedy presnosti	m_{xy} [m]
1. trieda	0,04
2. trieda	0,08
3. trieda	0,14
4. trieda	0,26
5. trieda	0,50



Graf 2 Stredné kvadratické chyby aerotriangulácie od rôzneho počtu vličovacích bodov
Fig. 2 Mean square errors of aerotriangulation with various number of ground control points

Z výsledkov jednotlivých projektov sme zistili, že stredná polohová súradnicová chyba nie je závislá od zvyšujúceho sa počtu vličovacích bodov s použitím údajov z GPS/IMU jednotiek (poloha projekčného centra, orientácia kamery počas snímkového letu). Stredná polohová chyba Mxy bola v rozpätí od 0,062 do 0,065 m pri použití vličovacích bodov a neprekročila 3. triedu presnosti pre mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy (tab. 1). Údaje z GPS/IMU jednotiek boli upravené automaticky v programe Match-AT o systematickú chybu pomocou potrebného počtu vličovacích bodov. V projekte bez použitia vličovacích bodov sme mali najväčšie polohové odchýlky, kde samotná aero-

triangulácia bola vykonaná pomocou údajov z GPS/IMU jednotiek. V tomto prípade bola hodnota M_{xy} 0,499 m, čo je v dôsledku systematickej chyby počas snímkového letu.

Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme konštatovať, že pri riešení automatickej aerotriangulácie je potrebné mať 4 vlícovacie body rozmiestnené po okrajoch daného bloku snímok. Iná situácia je pri overovaní závislosti medzi počtom vlícovacích bodov a strednou výškovou chybou (tab. 2). V tomto prípade sa so zvyšovaním počtu vlícovacích bodov sa zlepšila výšková presnosť aerotriangulácie. Bez použitia vlícovacích bodov hodnota strednej výškovej chyby dosiahla hodnotu 42,7062 m (tab. 2) Táto systematická chyba je spôsobená odchýlkou medzi geoidom a elipsoidom, pretože súradnice projekčného centra sú určené na elipsoide a vlícovacie body boli určované na geoide. Z hľadiska výškovej presnosti dosiahnuté výsledky neprekračujú teoreticky očakávanú výškovú presnosť, ktorá je viacerými autormi (FRYER *et al.* 1994, POTŮČKOVÁ 2004) definovaná ako 0,01 % až 0,02 % výšky letu (0,16 m – 0,32 m).

5 ZÁVER

Môžeme konštatovať, že využitie údajov externej orientácie získanej pomocou diferenciálneho GPS a inerciálnej meračskej jednotky (IMU) (súradnice x , y , z a uhly ω , ϕ , χ – rotácie osi záberu v priestore), má svoje opodstatnenie v procese aerotriangulácie. Využitím týchto údajov klesol potrebný počet vlícovacích bodov na blok a zároveň sa zvýšila presnosť výslednej aerotriangulácie. Pri súčasnom stave fotogrametrických softvérových prostredí a využívaných algoritmov ešte stále nie je možné sa spoliehať výlučne na údaje externej orientácie, pretože akokoľvek presné sú údaje z inerciálnej meračskej jednotky, vlícovacie body naďalej hrajú kľúčovú rolu pri digitálnej blokovej aerotriangulácii. Parametre externej orientácie získané z jednotiek GPS/INS s dostatočnou presnosťou sú opodstatnené aj z ekonomického hľadiska nakoľko využitím údajov z týchto meračských jednotiek je možné znížiť počet vlícovacích bodov a tým aj náklady na projekt. Lesnícke mapovanie predstavuje špecifickú oblasť mapovania. Bežným problémom je signalizácia a zameranie vlícovacích bodov na lesných pozemkoch, na lokalitách kde hustota lesného porastu nedovoľuje umiestnenie potrebného počtu vlícovacích bodov. Dosiahnuté výsledky nám potvrdili výhody a perspektívu využitia údajov z GPS/INS – IMU jednotiek s kombináciou menšieho počtu vlícovacích bodov pre oblasť lesníckeho mapovania.

Digitálna aerotriangulácia je jedna z najdôležitejších úloh vo fotogrametrickom projekte, pretože presnosť danej aerotriangulácie výrazne vplýva na tvorbu digitálneho modelu povrchu a následne tvorbu ortofosnimky ako i na zber podrobných bodov (vektORIZÁCIA) zo stereomodelov.

PodĎakovanie

Príspevok vznikol v rámci riešenia vedeckého projektu VEGA MŠ SR a SAV č. 1/0560/09 s názvom „Racionalizácia lesníckeho mapovania“.

Literatúra

1. BÖHM, J. a kol., 1990 : Teórie chýb a vyrovnávací počet. GKP Praha, 416 s.
 2. FRYER, J. G., CHANDLER, J. H., COOPER, M. A. R., 1994: On the accuracy of heighting from aerial photographs and maps: Implications to process modellers, *Earth Surface Processes and Landforms* (1994), pp. 577–583.
 3. HALVOŇ, L., 2007 : Digitálna fotogrametria a GNSS v lesníckom mapovaní. In. Aktuálne problémy lesníckeho mapovania. TU Zvolen, s. 93–107.
 4. Kalibračný protokol ku kamere UltraCamD, Vexcel, 2006.
 5. Kardoš, M. – Chudý, F., 2007: Posúdenie presnosti automatickej blokovej aerotriangulácie pri použití materiálov digitálneho snímkovania. In Aktuálne problémy lesníckeho mapovania, zborník referátov, TU Zvolen, 19–29 s.
 6. Klusoň, Z. – Janoš, M. – Ďurica, M., 2004: Letecké meračské snímkovanie s využitím systému aerocontrol. In: Aktuálne problémy lesníckeho mapovania, zborník referátov, TU Zvolen, s. 137–142.
 7. Konečný, G., 2003: Geoinformation, Remote sensing, photogrammetry and geographic informatik systems. Taylor&Francis London, s. 248.
 8. Pavelka, K., 2006. Fotogrametrie 20. Praha: FSv ČVUT, 2006. 193 s.
 9. Pavelka, K., 2008. Fotogrametrie 3: Digitální metody a laserové skenování. Praha : FSv ČVUT, 2006. 190 s.
 10. Potůčková, M., 2004: Image matching and its application in photogrammetry. Ph.D. thesis. Aalborg university, 2004, 132 s.
 11. STN 01 3410 Mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy., SÚGK, 1990, 20 s.
 12. Šadibol, J. – Becze F., 2007: Panchromatické zaostrovanie (pan-sharpening) digitálnych snímok. In Aktuálne problémy lesníckeho mapovania, zborník referátov, TU Zvolen, 30–39 s.
 13. Šadibol, J. – Becze F., 2009: Posúdenie presnosti aerotriangulácie na základe známych údajov externej orientácie. In Acta facultatis forestalis Zvolen Slovakia LI, Supp. 1 – 2009, 115–126 s.
 14. TERMINOLOGICKÝ SLOVNÍK GEODÉZIE, KARTOGRAFIE A KATASTRA (1998): Úrad geodézie, kartografie a katastra SR, Český úřad zeměměřický a katastrální, 1. vydanie, Bratislava, 540 s.
 15. Uživatelský manuál firmy INPHO: ApplicationsMaster Manual for Version 5.2 and higher. INPHO GmbH 2005, (2009), 360 s.
 16. Žihlavník, Š., 2004: Geodézia, fotogrametria a mapovanie v lesníctve. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 387 s. ISBN 80-228-1287-0.
-

Adresa autora:

Ing. Bc. Jozef Šadibol
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
Masarykova 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
e-mail: josa@atlas.sk

Modernizácia digitálnej aerotriangulácie v lesníckom mapovaní

Abstrakt

Digitálna aerotriangulácia je dôležitou súčasťou fotogrametrického procesu spracovania leteckých snímok. Bez správneho vyriešenia automatickej aerotriangulácie nemožno vytvoriť ďalšie produkty fotogrametrie ako sú ortofotosnímky, následne ortofotomapy, digitálne výškové modely. Z nástupom digitálnych kamier, s využitím prvkov vonkajšej orientácie získaných priamo z inerciálnych meračských jednotiek a novšími softvérovými produktmi sa zvýšila efektívnosť samotnej aerotriangulácie. Aj napriek tomu je stále potrebný určitý počet vličovacích bodov, ktorých získanie v zalesnených územiach je doteraz problémom. Predložená práca sa zaoberá vplyvom počtu vličovacích bodov na presnosť automatickej aerotriangulácie v softvérovom prostredí INPHO s využitím údajov z inerciálnej meračskej jednotky (IMU) a údajov z GPS počas snímkového letu.

Kľúčové slová: aerotriangulácia, vličovací bod, inerciálna meračská jednotka

POROVNANIE METÓD MERANIA GNSS (RÝCHLEJ STATICKEJ A PSEUDOKINEMATICKEJ) PRE MERANIE V LESE

Marek FAŠKO – Štefan ŽÍHLAVNÍK

Faško, M., Žihlavník, Š.: Die Vergleichung der Methoden der GNSS Messungen (fast static and pseudokinematic) für die Messungen im Wald. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 161–172.

Die durchgeführten Messungen und Analysen deren Genauigkeit mit dem Gerät TOCON Hiper GGD mit der GNSS Messmethoden (Global Navigation Satellite System) „fast static“ und „pseudokinematic“ zeigten, dass die Waldumwelt bei der Ausnutzung dieser Methoden auf die Genauigkeit der Messungen markant einwirkt. In der Arbeit wird auch der Einfluss des russischen Satellitensystems GLONASS (zusammen mit dem amerikanischen Satellitensystem GPS) auf die Genauigkeit der mittleren Koordinatenfehler m_{xy} und mittleren Höhenfehler m_h in der Waldbedingungen beurteilt.

Das experimentale Material wurde im Zeitraum der Vegetationsruhe in der Waldschneise gewonnen. Bei der Vergleichung der Ergebnisse (der mittlere Koordinatenfehler m_{xy} und der mittlere Höhenfehler m_h) kann man konstatieren, dass bei der Methode „pseudokinematic“ die Ergebnisse im Durchschnitt um 13 % besser waren. Die Ergebnisse auf den freien Flächen (die Waldschneise) zeigten an die Möglichkeit der Vermessung von Einheiten der räumlichen Ordnung des Waldes (Eigentumsgrenzen ebenso).

Keywords: GNSS, Präzision der Lagebestimmung, Forstliche Kartierung

1 ÚVOD A ROZBOR PROBLEMATIKY

Jednou z klíčových činností zabezpečujících integritu lesného hospodárstva v rámci všetkých lesníckych disciplín je hospodárska úprava lesa. Predstavuje „odbor lesníckej činnosti, ktorý zisťuje stav lesa, jeho produkčné a ťažbové možnosti a podmienky hospodárenia“ (ŽÍHLAVNÍK, A., 2008). Jednou z primárnych úloh hospodárskej úpravy lesov (HÚL) je plánovité, trvalo udržateľné hospodárenie v lesoch. Nástrojom pre zabezpečenie takého hospodárenia je lesný hospodársky plán (LHP). Pre poskytovanie prehľadu o kvalitatívnych a kvantitatívnych charakteristikách jednotiek priestorového rozdelenia lesa (JPRL), pre vedenie evidencie a kontrolu realizovaných hospodárskych opatrení ako súčasť LHP sú aj lesnícke mapy. Každoročne sú vydávané lesnícke mapy pre lesné celky o ploche približne 200 000 ha.

Veľká väčšina mapovacích a meračských prác sa v súčasnosti vykonáva fotogrametricky. Naďalej však ostávajú úlohy, ktoré sa touto cestou vyriešiť nedajú a vyžadujú terestrické meračské práce. Jedná sa napríklad o predmety pod clonou lesných porastov ako aj vytyčovanie hraníc a línii v lesnom území. V oblasti terestrických prác v horizonte posledných rokov dochádza k technickému pokroku a využívaniu nových technológií. Pre mapovanie časti lesníckeho detailu sa často využívajú menej presné metódy ako napríklad buzolové meranie (TOMAŠTÍK, 2008). Práce vyžadujúce vyššie nároky presnosti sú vykonávané predovšetkým elektronickými tachymetrami použitím geodetických meračských metód (polygónové ťahy, polárna metóda). Tieto vyžadujú pripojenie na existujúce bodové pole, čo je práve jedným z kľúčových obmedzení, vzhľadom na jeho malú hustotu a stále zhoršujúci sa stav. Preto sa aj v oblasti lesníckeho mapovania a všeobecne meračských prác v prostredí lesných komplexov využívajú pre lokálne zhustenie bodového poľa, ako aj samotné podrobné meranie globálne navigačné družicové systémy (GNSS).

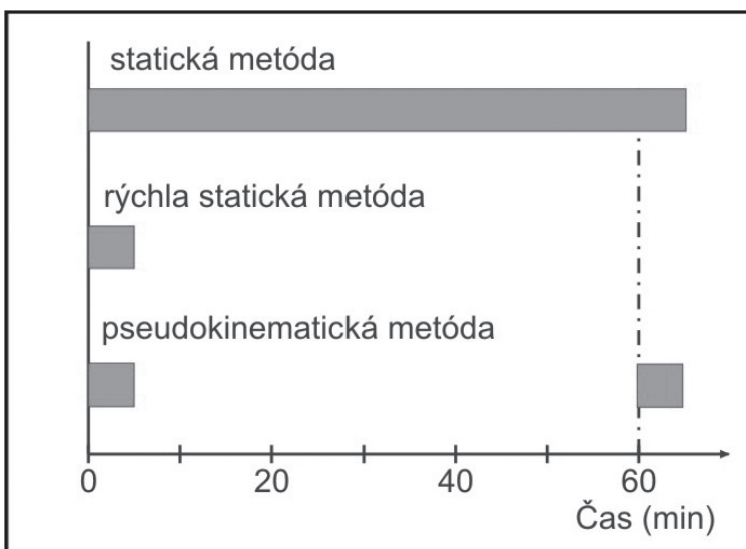
Príspevok rieši otázku moderných geodetických metód merania technológiou GNSS pre aplikácie lesníckej meračskej praxe. Lesný priesek bol pre túto prácu zvolený preto, lebo v zalesnenom území najčastejšie predstavuje vhodný priestor pre príjem signálov z družíc GNSS.

Pri voľbe metód merania GNSS sa zohľadňovali kritériá, ktoré majú spätné väzby na súčasnú geodetickú prax. Pri terénnych prácach sú pre zhustovanie bodových polí a merania podrobných bodov spravidla využívané dve metódy. Je to kinematická metóda RTK a statická metóda. Je známe, že statická metóda poskytuje najpresnejšie a najspoľahlivejšie výsledky. Jej charakteristickou črtou je kontinuálne meranie počas niekoľkých desiatok minút až po niekoľko hodín resp. dní, pričom sa vyžaduje dodatočné kancelárske spracovanie tohto merania v špecializovanom počítačovom programe (post-processing). Meračská prax však vytvára na používanie statickej metódy značný tlak, zdôvodňovaný časovou náročnosťou a nutnosťou kancelárskeho spracovania. Možno pritom hovoriť o faktore efektivity a hospodárnosti, ktorý sa uplatňuje vo všetkých oblastiach ľudskej činnosti. V dôsledku toho je častejšie využívaná rýchla metóda merania v reálnom čase RTK.

Uvedené vzťahy sa týkajú všeobecnej geodetickej praxe. Podmienky v ktorých sa vykonáva lesnícke mapovanie sa však vyznačujú mnohými osobitosťami, ktoré zásadne ovplyvňujú možnosti nasadenia metód merania v porovnaní so všeobecnou praxou. Spomenúť možno napríklad odľahlosť, veľkú sklonitosť, členitosť reliéfu, veľmi malú hustotu existujúceho bodového poľa (geodetických základov) a v neposlednom rade samotné lesné porasty. Nie je preto možné skúsenosti a trendy z meraní na voľných priestranstvách plošne aplikovať do oblasti lesníckeho mapovania.

Rýchla statická metóda (fast static) je variantom klasickej statickej metódy s krátkymi dobami merania, spravidla niekoľko minút (3–20 min). Kancelárske spracovanie, teda výpočet vektorov a vyrovnanie ich siete môže prebehnúť s plným využitím fázového princípu merania, pričom je možné výsledky aj niekoľkokrát dodatočne korigovať (napr. vylúčenie družice z výpočtu, kontrola súradníc referenčného bodu). V porovnaní s klasickou statickou metódou je významne hospodárnejšia (úspora času) pričom zníženie presnosti výsledkov je v optimálnych meračských podmienkach len relatívne malé.

Pseudokinematická metóda (pseudokinematic) rovnako koncepcne vychádza zo statickej metódy. Vyžaduje krátke niekoľkominútové meranie tak ako rýchla statická metóda, pričom je ale nutné po uplynutí prinajmenšom jednej hodiny toto krátke meranie zopakovať (HEFTY, HUSÁR, 2008). Teoreticky za optimálnych vonkajších observačných podmienok poskytuje dvojité meranie každého bodu počas 5 minút s dodržaným odstupom presnosťou rádovo porovnateľné výsledky ako jedna súvislá observácia počas celej hodiny. Za tohto predpokladu sa pri možnosti rýchleho presunu medzi jednotlivými meranými bodmi vyznačuje v porovnaní so statickou metódou jednoznačnou úsporou času (obr. 1).



Obr. 1 Schéma porovnania časovej náročnosti pri meraní

Abb. 1 Das Schema der Zeitaufwendigkeit der Messmethoden

Uvedené charakteristiky metód sa vzťahujú na optimálne meračské podmienky. Lokalita prieseku lesnej cesty v prostredí vysokého tvaru lesa sa však takýmito podmienkami nevyznačuje (ŽIHLAVNÍK, MELUŠ, 2009). Aj preto je opodstatnená snaha preveriť viaceré metódy merania GNSS pre presné určovanie polohy bodov v prostredí lesa. Vo všeobecnosti existuje veľké množstvo činiteľov (modelovateľných i daných), o ktorých je známe že zásadným spôsobom ovplyvňujú priebeh a výsledky meraní GNSS.

Cieľom práce je na podklade experimentálnych meraní porovnať a posúdiť potenciál a vhodnosť rýchlej statickej metódy a pseudokinematickej metódy určovania polohy bodov technológiou GNSS v lesníckej meračskej praxi. Takto získané poznatky zovšeobecniť a vysloviť odporúčania pre lesnícku meračskú prax.

2 MATERIÁL A METÓDY

2.1 Použité prístrojové a programové vybavenie

Pre potreby získania a spracovania experimentálneho materiálu tejto práce sa využívajú geodetické prístroje a softvérové aplikácie, umožňujúce automatizáciu celého procesu spracovania jednotlivých meraní.

Geodetický GNSS prijímač TOPCON Hiper GGD je moderný dvojfrekvenčný geodetický prijímač, umožňujúci meranie využitím družíc satelitných systémov GPS a GLONASS. Riadenie činnosti prijímača zabezpečuje čip PARADIGM, umožňujúci štyridsiatimi nezávislými kanálmi sledovanie všetkých dostupných družicových signálov na frekvenciách L1 a L2. Pre prácu v reálnom čase a pri potrebe monitorovania niektorých dôležitých činiteľov merania sa funkcie prijímača ovládajú prostredníctvom mobilného kontrolera TOPCON FC 100/200. Toto mobilné zariadenie, spravované operačným systémom Windows CE umožňuje nastavenie príjmu korekčných dát v reálnom čase, aktualizáciu nastavenia vybraných parametrov merania, editáciu číslovania bodov, výšok antény a rôznych poznámok, ako aj okamžitú kontrolu kvality merania v jeho priebehu.

Elektronický tachymeter TOPCON GPT 3002 LN je kompaktný prístroj v prevedení totálnej stanice. Je preto vybavený interným pamäťovým zariadením a radom aplikácií pre geodetické výpočty. Disponuje možnosťou merania dĺžok pomocou odrazového hranola do vzdialenosti 3 km s presnosťou ± 3 mm a bezhranolového merania pulzným laserom do vzdialenosti 1 200 m s presnosťou ± 5 mm. Presnosť merania uhlov je dvojsekundová.

Prípravu terénnych prác, ich vykonanie a vyhodnotenie výsledkov umožnili programy CGS Kokeš, Geoplot, TranGPS, Microsoft Excel ako aj špecializovaný štatistický program. Kľúčovým programom v ktorom prebiehalo samotné spracovanie primárnych (surových) družicových dát je softvérový balík TOPCON Tools verzia 7.3. Pri spracovaní observácií bol použitý transformačný kľúč, ktorý vznikol vyrovnaním siete 7 trigonometrických bodov, s transformačnými parametrami $m_{xy} = 0,043$ m; $m_h = 0,020$ m.

2.2 Metodika práce

Metodika príspevku bola navrhnutá tak, aby bolo možné preveriť možnosti využitia rýchlej statickej metódy (fast static) a metódy pseudokinemetickej (pseudokinematic) v prostredí lesa a navzájom ich porovnať.

Experimentálny materiál predstavuje rozsiahly súbor nameraných dát, získaných ako odchýlky nameranej polohy od polohy správnej – a to zvlášť v jednotlivých smeroch (x, y, h) súradnicových systémov S-JTSK a Bpv. Výskumné objekty zriadené pre tento účel predstavujú 2 siete bodov, stabilizované geodetickými klincami v telese lesnej cesty, ktoré sa nachádzajú na 2 lokalitách s odlišnými porastovými charakteristikami. Lokality sa v porastových charakteristikách líšia predovšetkým vekom (hrúbková a výšková štruktúra, objem korún). Drevinové zloženie bolo posudzované najmä z ohľadom na vyrovnanosť zastúpenia listnatých a ihličnatých drevín, resp. u oboch lokalít bolo žiaduce prinajmenšom 50 % zastúpenie listnatých drevín.

Obesiet tvorí 10 jednotlivých bodov, ktorých správna poloha bola určená najpresnejšou dostupnou geodetickou metódou: polárnou metódou pomocou elektronického tachymetra TOPCON GPT 3002LN v dvoch polohách ďalekohľadu zo stanovísk, ktoré sú bodmi obojstranne pripojeného polygónového ťahu. Polygónový ťah spĺňa kritériá pre hlavné ťahy s krátkymi dĺžkami strán (podľa Inštrukcie na práce v polohových bodových poliach 984 121 I/93 (1994)).

Pri výbere vhodných lokalít pre založenie výskumných objektov sa prihliadalo okrem porastových charakteristík aj na iné kritériá. Pre dosiahnutie cieľov tejto práce, bolo pri výbere snahou do určitej miery optimalizovať podmienky, ktoré majú zásadný súvis s vybranými, presnosť ovplyvňujúcimi faktormi.

Primeraná odľahlosť záujmového územia od intravilánu blízkych obcí ako aj mesta Zvolen a hustota existujúceho bodového poľa sa využila pre získanie referenčných súradníc. Podmienky lesného prieseku, kde všetky merania prebiehali sú z pohľadu lokálnych observačných podmienok limitované výrazným zmenšením uhla, pod ktorým sa k prijímaču môžu priamo šíriť družicové signály. Priaznivá geometrická konfigurácia družíc na ktoré sa vykonávajú merania je pritom ovplyvnená dvoma spôsobmi. Jednak prítomnosť drevinovej zložky lesných porastov v blízkosti stanovišťa merania a na druhej strane lokálne reliéfne pomery spôsobujú vznik rozdielu medzi otvoreným a skutočným horizontom.

Podiel priechodnosti neskreslených družicových signálov korunovou a kmeňovou úrovňou lesného porastu nie je exaktne kvantifikovateľný. S ohľadom na čo najobjektívnejšie posúdenie tohto podielu pri vyhodnotení výsledkov boli lokality pre založenie výskumných objektov koncipované v rovinatom (sklonitosť do 25 %), lokálne nečlenenom teréne. Eliminuje sa tým vplyv expozície a sklonu terénu, ako aj vplyv geomorfologických prekážok.

Na počet družíc využiteľných pre meranie z teoretického hľadiska môže mať vplyv i orientácia pozdĺžnej osi cesty, resp. uhol ktorý zvierá táto os s pomyselnou horizontálnou osou družicových dráh. Počet družíc a dĺžky úsekov dráh odpovedajúce časovým intervalom, počas ktorých je možné priame šírenie signálov k prijímaču sú z tohto pohľadu rôzne. Aby sa z výsledkov meraní eliminoval tento efekt, boli body na lesných priesekoch rozvrhnuté tak, aby bola orientácia osí jednotlivých úsekov premenlivá.

2.3 Postup zberu a členenie experimentálneho materiálu

Prvú etapu vonkajších prác tvorilo založenie výskumných objektov v zvolených lokalitách. Po uskutočnení rozhodnutia o umiestnení dvoch bodových sietí sa vykonalo meranie pre získanie referenčných súradníc. Použil sa pri tom existujúci polygónový ťah zriadený katedrou HÚLaG pre výskumné účely a meranie s elektronickým tachymetrom TOPCON GPT 3002 LN.

Testovacie meranie prebiehalo tak, že sa v rámci jednej lokality vykonalo meranie s príslušnou dĺžkou observácie postupne na všetkých desiatich bodoch a následne sa celý postup zopakoval. Výsledkom boli dvojice observácií v trvaní 5 + 5 minút a 3 + 3 minúty. Prakticky sa tak získal materiál pre uplatnenie oboch predmetných metód merania

GNSS. Pri kancelárskom spracovaní sa výpočet nameraných polôh bodov vykonal najprv len s použitím prvej časti jednotlivých dvojíc observácií, čo predstavuje rýchlu statickú metódu. Následne sa výpočet zopakoval už s použitím oboch observácií každého bodu a tým sa naplnili podmienky pre metódu pseudokinematickú. Takto prebehli postupne štyri série meraní na lokalitách Porast 1 aj Porast 2, pričom všetky série prebehli v čase vegetačného pokoja. Pri všetkých meraniach bol prednastavený záznam všetkých dostupných družíc družicových systémov GPS a GLONASS s výškovým filtrom prijímača GNSS na hodnotu 10°. Počas všetkých observácií prebiehalo paralelné meranie druhým identickým prijímačom s rovnakým nastavením na trigonometrickom bode o známych súradniciach, čím sa získali dáta referenčnej stanice pre výpočet vektorov. Na druhej strane sa okrem tejto zriadenej referenčnej stanice získali aj dáta virtuálnej referenčnej stanice prostredníctvom Slovenskej permanentnej observačnej služby SKPOS. Prvá a druhá séria meraní sa realizovala s nastavením intervalu registrácie družicových dát na hodnotu 5 s. Tretia a štvrtá séria sa vykonala s cieľom otestovať zhustenie záznamu surových dát s nastavením registrácie na hodnotu 1 s.

Výpočty nameraných polôh prebiehali postupne so získavaním jednotlivých sérií dát. Každý výpočet sa vykonal jednak so všetkými zaznamenanými dátami družíc systémov GPS a GLONASS a zvlášť s použitím dát plne funkčného amerického systému GPS. Rovnako každý výpočet polôh bodov prebiehal v dvoch variantoch: 1) ako vektory vzhľadom na vlastnú referenčnú stanicu vzdialenú cca. 0,5 km ; 2) ako vektory vzhľadom na virtuálnu referenčnú stanicu služby SKPOS.

2.4 Postup štatistického spracovania a vyhodnotenia materiálu

Každý výberový podsúbor najnižšej úrovne VS1 (ďalej len VS1) s 20 hodnotami sa primárne spracovával samostatne. Pri samotnom vyhodnocovaní jednotlivých meraní sa najprv získali jednoduché diferencie nameranej (určenej) polohy od referenčnej (správnej) polohy vo všetkých smeroch súradnicových systémov S-JTSK a Bpv. Pre účely ďalších analýz, sa známe súradnice bodov pokladali za absolútne správne.

$$\Delta x = X_{i_{GNSS}} - X_{i_T} \quad \Delta y = Y_{i_{GNSS}} - Y_{i_T} \quad \Delta h = h_{i_{GNSS}} - h_{i_T} \quad (1)$$

kde: i_{GNSS} – namerané hodnoty súradnice,
 i_T – správne hodnoty súradnice (elektronický tachymeter).

V rámci každého VS1 boli následne vypočítané základné štatistické charakteristiky: aritmetický priemer, smerodajná odchýlka, rozptyl, stredná kvadratická chyba a stredná polohová chyba (SCHEER 2006).

Z podstaty odchýlky nameranej hodnoty od správnej hodnoty vyplýva, že dostatočne rozsiahly výberový súbor odchýlok nadobúda normálne rozdelenie. Rozsah jednotlivých výberových podsúborov VS1 najnižšej úrovne však nepostačuje na to aby sa mohlo spoľahlivo potvrdiť či vylúčiť normálnosť rozdelenia hodnôt. Každý VS1 je preto len charakterizovaný smerodajnou odchýlkou, strednou kvadratickou odchýlkou všetkých troch súradníc x, y, h a strednými chybami m_{xy} a m_h .

V rámci každého VS1 je stanovený počet fixných riešení, ktorých odchýlky sa v ďalšom postupe uvažujú ako súčasť výberového súboru vyššej úrovne ako VS1. Združovanie hodnôt odchýlok fixných riešení VS1 do podsúborov vyššej úrovne VS2 je možné nielen z hľadiska logického, ale aj z pohľadu štatistického, nakoľko VS2 podsúbory vykazujú normalitu rozdelenia hodnôt (posúdenie histogramu, testy normality).

Pre každý vyhodnocovaný činiteľ merania jednej zo 6 úrovni členenia experimentálneho materiálu sa tak vykonáva dvojité vyhodnotenie. Uvažuje sa zvlášť všetky hodnoty odchýlok, a zvlášť len odchýlky fixných riešení. Zovšeobecnením získaných poznatkov o všetkých dosiahnutých hodnotách sa získa predstava o všeobecnej presnosti danej metódy. Pri zovšeobcnení poznatkov o hodnotách fixných riešení sa ohodnotí úspešnosť použitia a zároveň najvyššia dosiahnuteľná presnosť.

3 VÝSLEDKY

Les samotný a prítomnosť geomorfologických prekážok spôsobujú, že pri meraní technológiou GNSS pod clonou lesného porastu nie je možné plnohodnotne využiť fázový princíp merania (code-phase), čo často vedie k určeniu nestabilnej tzv. plávajúcej polohy, resp. k možnosti merania iba prostredníctvom kódov (code-range). Kódová technika sa využíva u väčšiny civilných negeodetických aplikácií ako napríklad cestná či turistická navigácia, pričom dosiahnutie subdecimetrovej presnosti vyžaduje dlhodobé meranie, alebo využitie rôznych podporných systémov či špeciálnych postupov (WENDEL, 2007). U krátkych observácií, ktorými sa vyznačujú rýchle metódy GNSS merania je pre dosiahnutie geodetickej presnosti nevyhnutné uplatňovať fázový princíp výpočtu polohy. Dosiahnutie výlučne fixných výpočtov polohy bodov by bolo mimoriadne časovo náročné a vyžadovalo by si opakovanie meraní s neuspokojivými výsledkami. Toto by bolo jednoznačne v rozpore s väzbou na geodetickú prax, keďže testované metódy sú v prvom rade rýchle a hospodárne. Spracovaním surových dát boli tak získané polohy bodov s fixným aj plávajúcim výpočtom. Ako je uvedené v kapitole 2.2, osobitne boli hodnotené súbory hodnôt odchýlok všetkých riešení a osobitne fixné riešenia. Z geodetického hľadiska sú jednoznačne vyhovujúce a upotrebitelne iba fixné výpočty polohy bodov, u ktorých je riziko nespolahlivosti veľmi nízke. Vyhodnotenie všetkých riešení bez ohľadu na fixáciu určenej polohy však umožňuje posudzovať všeobecnú presnosť jednotlivých variantov meraní.

Prvou sledovanou úrovňou hodnotenia výsledkov meraní je samotná metóda merania. Každú z testovaných metód charakterizujú vybrané ukazovatele (tab. 1) Uvedenými ukazovateľmi je kvantifikovaný potenciál jednotlivých metód na základe čoho sú následne vzájomne porovnané.

Z tabuľky 1 je zrejmé že pseudokinematická metóda poskytla bez ohľadu na vedľajšie sledované faktory jednoznačne lepšie výsledky. V 51 % prípadov bolo u pseudokinematickej metódy dosiahnuté fixné riešenie polohy, zatiaľ čo u rýchlej statickej v 38 % prípadov. Jej výsledná presnosť v polohovej a výškovej zložke bola $m_{xy} = 0,075$ m a $m_h = 0,093$ m naproti hodnotám $m_{xy} = 0,087$ m a $m_h = 0,101$ m u rýchlej statickej metódy. Dosiahnutá presnosť všetkých riešení bola u pseudokinematickej metódy

$m_{xy} = 0,526$ m a $m_h = 1,459$ m, teda vyššia o 0,25 m v polohe a o 0,37 m v nadmorskej výške.

Tab. 1 Vybrané ukazovatele výsledkov pseudokinematickej a rýchlej statickej metódy

Tab. 1 Ausgewählte Kennziffern der Ergebnisse von Messungen der Methoden „pseudokinematic“ und „fast static“

Pseudokinetická metóda				Rýchla statická metóda			
presnosť riešení	m_{xy} m_h	úspešnosť riešení	N N%	presnosť riešení	m_{xy} m_h	úspešnosť riešení	N N%
všetky	0,526 1,459	všetky	608	všetky	0,778 1,867	všetky	608
fixné	0,075 0,093	fixné	310 51	fixné	0,087 0,101	fixné	234 38

Následne sa vykonalo zhodnotenie ďalšej úrovne hodnotenia – korekcie pre výpočet vektorov. V prvom prípade boli pre vektory vo výpočtoch využité dáta vlastnej referenčnej stanice, v prípade druhom to boli dáta virtuálnej referenčnej stanice observačnej služby SKPOS. Tabuľka 2 poskytuje prehľad o ukazovateľoch charakterizujúcich výpočet s dátami vlastnej a virtuálnej referenčnej stanice bez ohľadu na ostatné sledované faktory.

Tab. 2 Vybrané ukazovatele výsledkov meraní s vlastnou a virtuálnou referenčnou stanicou

Tab. 2 Ausgewählte Kennziffern der Ergebnisse von Messungen mit der eigenen Referenzstation und der virtuellen Referenzstation

Vlastná referenčná stanica				Virtuálna stanica SKPOS			
presnosť riešení	m_{xy} m_h	úspešnosť riešení	N N%	presnosť riešení	m_{xy} m_h	úspešnosť riešení	N N%
všetky	0,593 1,413	všetky	608	všetky	0,729 1,903	všetky	608
fixné	0,077 0,131	fixné	339 55,8	fixné	0,085 0,360	fixné	234 33,7

Z tabuľky 2 je zrejmé, že vo vzájomnom porovnaní všetkých sledovaných ukazovateľov sa lepšie javí meranie s vlastnou referenčnou stanicou. Poloha tu bola určená s fixným riešením v 56% prípadoch, zatiaľ čo pri virtuálnej stanici to bolo len 34 %. Výsledná presnosť meraní s fixným riešením bola v polohe 0,077 m a výškovej zložke 0,131 m, zatiaľ čo u dát virtuálnej stanice to bolo $m_{xy} = 0,085$ m a $m_h = 0,360$ m. Významné rozdiely sa teda prejavili najmä vo výškovej zložke vypočítanej polohy. Pri zhodnotení všetkých riešení výpočty s vlastnou referenčnou stanicou poskytli presnosť určenia polohy 0,593 m a určenia výšky 1,413 m oproti hodnotám m_{xy} 0,729 m a m_h 1,903 m.

Nasledujúcim vedľajším sledovaným faktorom je využitie globálnych družicových systémov. Tabuľka 3 poskytuje prehľad o ukazovateľoch výsledkov pri porovnaní merania s využitím plne funkčného družicového systému GPS a využitím oboch dostupných globálnych systémov GPS a GLONASS. Tabuľka nezohľadňuje ostatné v práci sledované faktory.

Tab. 3 Vybrané ukazovatele výsledkov meraní s využitím družicového systému GPS a oboch systémov GPS a GLONASS

Tab. 3 Ausgewählte Kennziffern der Ergebnisse von Messungen mit GPS bzw. GPS+GLONASS

GPS				GPS a GLONASS			
presnosť riešení	m_{xy} m_h	úspešnosť riešení	N N%	presnosť riešení	m_{xy} m_h	úspešnosť riešení	N N%
všetky	0,675 1,531	všetky	608	všetky	0,653 1,809	všetky	608
fixné	0,060 0,281	fixné	300 49	fixné	0,053 0,191	fixné	244 40

Výsledky ukázali, že úspešnosť fixných riešení bola u systému GPS 49 %, u oboch systémov GPS a GLONASS 40 %. Pri využití oboch systémov s uvažovaním fixných riešení boli dosiahnuté presnosti v polohe 0,053 m a nadmorskej výške 0,191 m, zatiaľ čo pri využití len systému GPS $m_{xy} = 0,060$ m a $m_h = 0,281$ m. Pri zhodnotení analýzy všetkých riešení sa zistila o málo vyššia presnosť u oboch družicových systémov v polohovej zložke m_{xy} 0,653 m v porovnaní s hodnotou 0,675 m u systému GPS. Z tabuľky 3 je ale zrejmé že výšková presnosť bola u oboch systémov v porovnaní s GPS významne nižšia, čo však vyvažuje fakt, že rozptyly hodnôt v rámci výberových podsúborov najnižšej úrovne tu boli menšie.

Posledným sledovaným faktorom, ktorého výsledky analýz boli zovšeobecnené je dĺžka observačnej doby. Pristúpilo sa preto najprv k štatistickému spracovaniu dát všetkých meraní so zreteľom na dĺžku observácie (5 min resp. 3 min), bez ohľadu na ostatné sledované činitele. Prehľad sumarizovaných ukazovateľov poskytuje tabuľka 4.

Tab. 4 Vybrané ukazovatele výsledkov meraní s dobou observácie 5 minút a 3 minúty

Tab. 4 Ausgewählte Kennziffern der Ergebnisse von Messungen mit der Dauer 5 und 3 Minuten

5 minút resp. 5 + 5 min				3 minút resp. 3 + 3 min			
presnosť riešení	m_{xy} m_h	úspešnosť riešení	N N%	presnosť riešení	m_{xy} m_h	úspešnosť riešení	N N%
všetky	0,628 1,564	všetky	608	všetky	0,669 1,780	všetky	608
fixné	0,054 0,269	fixné	308 51	fixné	0,061 0,207	fixné	236 39

Pri 5 minútových observáciach dosiahla úspešnosť fixných riešení 51 %, pričom u kratších 3 minútových to bolo 39%. Vyhodnotením analýz fixných riešení sa pri dlhších meraniach zistila vyššia polohová presnosť $m_{xy} = 0,054$ m a naopak zhoršená výšková presnosť $m_h = 0,269$ m. Poloha bodov pri 5 minútových observáciach bola určená o 0,007 m presnejšie a nadmorská výška o 0,066 m nepresnejšie ako tomu bolo u 3 minútových observácií. Pri analýzach všetkých riešení sme konštatovali pozitívnejšie výsledky u 5 minútových observácií, kde sa dosiahli presnosti $m_{xy} = 0,628$ m a $m_h = 1,564$ m, v porovnaní s hodnotami 0,698 m v polohe a 1,780 m vo výške u 3 minútových observácií.

4 DISKUSIA A ZÁVER

Pri vzájomnom porovnaní pseudokinematickej a rýchlej statickej metódy merania technológiou GNSS možno konštatovať, že prvá z uvedených sa ukázala po všetkých stránkach lepšia. Úspešnosť fixného výpočtu polohy je o 13 % vyššia ako u rýchlej statickej metódy, čo možno pripísať dvojnásobne väčšiemu objemu dát pre výpočet a tým zvýšeniu pravdepodobnosti správneho riešenia. Samotná presnosť je u fixných riešení taktiež vyššia, avšak len o hodnotu 0,012 m v polohovej a 0,008 m vo výškovej zložke čo činí asi o 14 % a 8 % vyššiu presnosť oproti rýchlej statickej metóde. Pri posúdení všetkých riešení možno taktiež konštatovať celkové zlepšenie o 0,25 m v polohovej a o 0,37 m vo výškovej zložke.

Vzájomné porovnanie výsledkov získaných výpočtom s vlastnou a virtuálnou referenčnou stanicou sa ako úspešnejšia i presnejšia jasne prejavila fyzicky zriadená vlastná stanica. Podiel úspešnosti fixných riešení z celkového počtu meraní tu bol 56 %, čo je o 22 % viac ako u virtuálnej stanice. Pri porovnaní presnosti u fixných riešení sa významným spôsobom prejavili najmä rozdiely v určení nadmorskej výšky. Výpočty s dátami vlastnej stanice určili nadmorskú výšku s presnosťou 0,13 m, zatiaľ čo u dát virtuálnej stanice to bolo až 0,36 m. Služba SKPOS s virtuálnymi referenčnými dátami sa teda osvedčila pri určovaní polohy, kde sú zistené rozdiely zanedbateľné, no pri určovaní nadmorských výšok sa dáta vlastnej stanice preukázali ako výrazne (0,23 m; 64 %) presnejšie. U všetkých riešení bola dosiahnutá presnosť vlastnej referenčnej stanice vyššia o 0,25 m v polohe a o 0,37 m v nadmorskej výške. Tieto výsledky možno vziať ako určitú konfrontáciu voči tvrdeniam o rovnocennosti virtuálnych a vlastných referenčných dát.

Pri skúmaní prínosu družicového systému GLONASS na úspešnosť a presnosť meraní sa preukázalo, že u fixných riešení poskytuje spoločné využitie s družicami GPS značne vyššiu presnosť najmä pri určovaní nadmorských výšok. Stredná výšková chyba m_h vykázala hodnotu 0,191 m, teda o 0,09 m (32 %) nižšiu ako u systému GPS. Významný rozdiel bol zistený pri výškovej zložke presnosti, čo možno pripísať zvýšenému počtu spoločne observovaných družíc (MELUŠ, 2008). Ak sa zameriame na všeobecnú presnosť, táto vykazuje rovnocennosť v oboch prípadoch použitia družicových systémov. Na základe uvedeného možno konštatovať, že pri súčasnom vysokom počte družíc GNSS nie je hlavným prínosom systému GLONASS zvýšenie presnosti, ale zvýšenie spoľahlivosti výsledkov čo sa prejavuje najmä v neštandardných meračských podmienkach.

Zhrnutím zistených poznatkov o prínose predĺženia observačnej doby z 3 na 5 minút možno konštatovať nasledovné. Podiel fixných riešení sa v dôsledku jej predĺženia zvýšil z 39 % na 51 %. Došlo tak k významnému zvýšeniu úspešnosti merania, čo treba vyzdvihnúť aj napriek tomu že u výškovej zložky presnosti došlo po predĺžení observačnej doby k jej miernemu zhoršeniu z mh 0,207 m na hodnotu 0,269 m. Všeobecná presnosť merania sa mierne zvýšila, no markantné je najmä zníženie podielu extrémnych hodnôt, čo dokazujú nižšie hodnoty rozptylov u 5 minútových observácií.

Pre praktické uplatnenie v lesníckej meračskej praxi možno na podklade uvedených výsledkov analýz vysloviť niekoľko zásadných odporúčaní. Ak sa uvažuje o nasadení niektorého z variantov rýchleho statického merania technológiou GNSS, a predmetné územie, na ktorom sa majú merania vykonať nie je členité čo umožňuje rýchly presun medzi stanovišťami merania, je vhodné prikloniť sa k opakovanej observácii, čiže metóde pseudokinematickej. Pre meranie možno tiež odporučiť zriadenie vlastnej referenčnej stanice, samozrejme za predpokladu dispozície dvoch geodetických prijímacích aparátů GNSS. Aj napriek nižšej presnosti a spoľahlivosti služby SKPOS, predpokladáme že bude naďalej plnohodnotne využívaná, vzhľadom na jej ďalšiu modernizáciu a relatívnu finančnú nenáročnosť. Pri zriaďovaní vlastnej referenčnej stanice v súvislo lesnatých územiach možno navyše naraziť na ďalšie problémy predovšetkým týkajúce sa zníženia flexibility merania. V dnešnej dobe sa už štandardne vyrábajú geodetické prijímače s možnosťou využitia ruského systému, bez navýšenia obstarávacích nákladov. Odporúča sa preto vykonávať merania s minimálnou dĺžkou observácie 5 minút, pri súčasnom využívaní družíc oboch dostupných družicových systémov GPS a GLONASS. Zásadne tým merač zvyšuje nielen presnosť ale predovšetkým spoľahlivosť výsledkov meraní. U vyššieho počtu družíc a väčšieho objemu surových dát, možno prípadný výskyt komplikácií vyriešiť niekoľkými cestami a pritom napríklad pri predĺžení doby observácie na 2 krát 5 až 7 minút nie je výrazne ovplyvnená časová náročnosť merania.

Pod'akovanie

Príspevok vznikol vďaka finančnej podpore v rámci riešenia vedeckého projektu VEGA MŠ SR a SAV č. 1/0560/09 s názvom „Racionalizácia lesníckeho mapovania“ na Katedre hospodárskej úpravy lesov a geodézie Lesníckej fakulty TU vo Zvolene.

Literatúra

1. HEFTY, J., HUSÁR, L.: Družicová geodézia. Globálny polohový systém, STU Bratislava, 2008, 188 s., ISBN 978-80-227-2807-2.
2. WENDEL, J.: Integrierte Navigationssysteme, Sensordatenfusion, GPS und inertielle Navigation, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München, 2007, 336 s., ISBN 978-3-486-58160-7.
3. MELUŠ, J.: Využitie GNSS pri lesníckom mapovaní, Dizertačná práca, TU vo Zvolene, 2008, 96 s.
4. SCHEER, L.: Biometria, Vysokoškolská učebnica, Technická univerzita Zvolen, 2006, 334 s., ISBN 978-80-228-1723-3.
5. TOMAŠTÍK, J.: Porovnanie metód merania a výpočtu buzolového ťahu v lesníckom mapovaní, In: Lesnícka geodézia a fotogrametria – trendy, zborník referátov sympózia, Technická univerzita vo Zvolene, 2008, s. 65–75, ISBN 978-80-228-1949-7.

6. ŽIHĽAVNÍK, A.: Hospodárska úprava lesov, vysokoškolská učebnica, TU vo Zvolene, 2008, 388 s., ISBN 978-80-228-1862-9.
 7. ŽIHĽAVNÍK, Š., MELUŠ, J.: Využitie GNSS pri lesníckom mapovaní, Vedecká štúdia, Technická univerzita vo Zvolene, 2009, 77 s., ISBN 978-80-228-2013-4.
 8. Inštrukcia na práce v polohových bodových poliach 984 121 I/93 (1994).
 9. Technická norma STN 013410 „Mapy veľkých mierok – základné a účelové mapy“
 10. Uživatelské príručky a firemná literatúra TOPCON.
-

Adresy autorov:

Ing. Marek Faško

Prof. Ing. Štefan Žihlavič, CSc.

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie

Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

e-mail: marekfasko@gmail.com

e-mail: zihlav@vsl.tuzvo.sk

Porovnanie metód merania GNSS (rýchlej statickej a pseudokinematickej) pre meranie v lese

Abstrakt

Predložená práca sa zaoberá porovnaním dvoch metód merania GNSS a to rýchlej statickej metódy („fast static“) a pseudokinematickej („pseudokinematic“) pre meranie v lesnom prostredí. Uvedené metódy vyžadujú použitie geodetickej prijímacej aparatury GNSS v teréne a kancelárske spracovanie zaznamenaných dát špecializovaným softvérom. Metodika práce bola navrhnutá tak, aby bolo možné ohodnotiť mieru vplyvu lesného porastu na presnosť a spoľahlivosť výsledkov meraní. Okrem uvedeného sa analýza experimentálneho materiálu zamerala na zhodnotenie vplyvu vybraných vonkajších modelovateľných faktorov merania. Cieľom analýzy je kvantifikovať miery vplyvu limitujúcich činiteľov použitia GNSS a zovšeobecniť získané poznatky za účelom predikcie úspešnosti meraní a optimalizácie plánovania vysoko presných meraní GNSS v podmienkach lesných porastov. Experimentálny materiál bol získaný v čase vegetačného pokoja a charakteristiky presnosti (m_{xy} , m_b) preukázali možnosť použitia týchto metód aj pre účely vyžadujúce presnosť katastrálneho mapovania (vlastnícke hranice). Pri porovnaní výsledkov rýchlej statickej metódy a pseudokinematickej metódy možno konštatovať, že pri pseudokinematickej metóde sa dosiahli v priemere o 13 % lepšie výsledky.

Kľúčové slová: GNSS, presnosť určenia polohy, lesnícke mapovanie

VYUŽITIE RTK METÓD GNSS MERANIA V PROSTREDÍ LESNÉHO PRIESEKU

Andrej T R A J T E L

Trajtel, A.: RTK method utilization for GNSS measurement in forest cleared line. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 173–184.

The GNSS technology is very actually for forest mapping. The paper deals with utilization of RTK methods for GNSS measurement. The advantages of RTK methods are the high flexibility and real time of measurements. They favor those methods before another one. The static method brings the highest accuracy but it is more time consuming and it require post processing. The rationalization of forest mapping is utilization of SKPOS service with classic terrestrial measurement.

Keywords: forest mapping, RTK method, GNSS systems

1. ÚVOD A CIELE PRÁCE

Lesnícke mapovanie sa na Slovensku vzťahuje na plochu takmer 2,007 milióna hektárov, čo predstavuje takmer 41 % z celkovej rozlohy štátu. Medzi jeho úlohy patria zabezpečenie dôveryhodných polohopisných a výškopisných informácií potrebných pre tvorbu lesníckych máp, na určovanie výmery jednotiek priestorového rozdelenia lesa, na evidenciu pozemkov, na budovanie rôznych objektov, inžinierskych sietí a stavieb nachádzajúcich sa na lesných pozemkoch. Lesnícke mapovanie sa nezaobrá len tvorbou lesníckych máp, ale jedná sa o širší záber dotýkajúci sa rôznych oblastí pri zisťovaní stavu lesa. Jeho špecifikom je to, že aj keď využíva výsledky verejného mapovania, tie nedokážu zobraziť vlastnosti lesného detailu (rozsiahosť, rozmanitosť, premenlivosť) tak, aby boli zohľadnené biologické, technické i ekonomické činitele lesného hospodárstva. Pri výbere metód mapovania sa musia zvažovať osobitosti lesného prostredia, ktoré kladie špecifické nároky pri mapovaní lesov (ŽÍHLAVNÍK, Š., 2004). Lesnícke mapovanie je v súčasnej dobe plne zastrešené Národným lesníckym centrom (NLC), odbor diaľkového prieskumu Zeme a kartografie. Je začlenené do hospodárskej úpravy lesov, kde mapovanie zaberá podstatnú časť prác, ktorých výsledkom sú jednotlivé súčasti lesných hospodárskych plánov (LHP), ako nástrojov na trvalo udržateľné obhospodarovanie v lesoch. Neoddeliteľnou súčasťou LHP sú aj lesnícke mapy, zobrazujúce kvalitatívne i kvantitatívne charakteristiky stavu lesa k začiatku platnosti LHP. Ďalšou súčasťou LHP je plochová tabuľka, na ktorej zostavenie je potrebné zisťovať výmery lesných pozemkov, čo tvorí významnú zložku prác pri mapovaní. Plochová tabuľka poskytuje prehľad a sumárne údaje o všetkých

lesných pozemkoch, pre ktoré bol vyhotovený LHP. Na meračské práce vykonávané pre potreby HÚL, ako aj pre ostatné oblasti meraní týkajúcich sa lesných pozemkov sú kladené rôzne nároky na presnosť. Tieto požiadavky možno rozdeliť do dvoch hlavných skupín. Do prvej skupiny, na ktorú sú kladené vyššie nároky na presnosť sú začlenené merania dotýkajúce sa vlastníckych hraníc, resp. zameranie, alebo vytýčenie vlastníckych hraníc. V druhej skupine sú začlenené merania vnútorných nevlastníckych hraníc JPRL a rôznych geopriestorových informácií, pre ktoré sú stanovené nižšie kritériá presnosti. V súčasnej dobe sa takmer 80% mapovacích prác vykonáva fotogrametricky, avšak existujú oblasti, kedy sú potrebné terestrické metódy. A to pri zameriavaní vĺčovacích bodov pre účely aerotriangulácie a pri určení predmetov, ktoré sa na snímkach nedajú identifikovať (napr. cesty pod lesným porastom, potoky, hraničné kopce atď.). Pri terestrických metódach prevláda používanie buzolových teodolitov. Taktiež sú často používané totálne stanice, resp. kombinácia totálnej stanice a GNSS prijímačov. V predloženom príspevku sú stručne zhrnuté použité metódy, výsledky dosiahnuté pri kinematických RTK metódach merania GNSS v prostredí lesného prieseku.

2. EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL

2.1. Prístrojové vybavenie

Elektronický tachymeter TOPCON GPT 3002 LN je kompaktná totálna stanica vybavená pulzným laserom, vďaka ktorému dokáže odmerať vzdialenosť až 1 200 m s presnosťou ± 5 mm pri bezhranolovom meraní dĺžok a taktiež dokáže odfiltrovať signály odrážané od rôznych predmetov nachádzajúcich sa v blízkosti meraného bodu, čím je zaistená identifikácia odrazu signálu od meraného bodu. S použitím odrazového hranola odmeria vzdialenosť 3 000 m s presnosťou ± 3 mm. Uhlová presnosť dosahuje hodnotu dvoch sekúnd. Prístroj je vybavený interným pamäťovým zariadením a rôznymi softwarovými funkciami.

Geodetický GNSS prijímač TOPCON Hiper GGD sa radí medzi moderné dvoj-frekvenčné geodetické prijímače so schopnosťou prijímať signály z družicových systémov GPS a GLONASS na nosných frekvenciách L1 a L2. Signál vysielaný družicami prijíma na 40 univerzálnych sledovacích kanáloch. Do internej pamäte sa uloží 96 MB surových dát pri frekvencii záznamu 20 Hz. Li-iontové batérie s kapacitou 3000 mAh umožňujú podľa výrobcu prevádzkovú dobu 14 hodín. Vďaka integrovanej anténe typu Microstrip (Zero-Centered) dokáže prijímač redukovať časť odrazených častí signálu a tým zamedziť tzv. Multipath effect-u. Súčasťou prijímača sú aj mobilné kontrolery FC 100, alebo FC 200. Jedná sa o príručný počítač do terénu, disponujúcim farebnou dotykovou obrazovkou a Windows CE® operačným systémom. Pomocou softvéru TopSURV sa po nastavení rádiového spojenia s vlastnou referenčnou stanicou, alebo po nadviazaní spojenia prostredníctvom mobilného operátora so službou SKPOS umožní okamžité počítanie súradníc meraných bodov. Tento softvér obsahuje okrem iného grafické znázornenie trasy vedúcej k vytyčovanému bodu, nastavenia potrebných parametrov merania, znázorňuje merané údaje ako aj aktuálnu kvalitu merania počas jeho priebehu. Pripravu terénnych

prác, ich vykonanie a vyhodnotenie výsledkov umožnili programy CGS Kokeš, Geoplot, TranGPS a Microsoft Excel.

2.2. Výber záujmovej lokality a metód merania

Terénne merania prebiehali v katastrálnom území obce Kováčová pri Zvolene. Výskumný objekt je situovaný tak, aby zohľadňoval najmä topologické vlastnosti územia a vybrané porastové charakteristiky. Objekt je tvorený sieťou desiatich bodov stabilizovaných geodetickými klincami v telese asfaltovej vozovky, ktorá prechádza cez lesný priesek. Približovacia cesta je zatriedená do kategórie L3 a je vedená hrebeňovými časťami porastu. To umožňuje elimináciu obmedzujúcich faktorov, hlavne morfológických tvarov územia (doliny, sklon a členitosť terénu). Dôvodom voľby prostredia lesného prieseku a následného skúmania výsledkov merania v týchto podmienkach je častý prípad potreby pripojenia sa k existujúcemu bodovému poľu v husto a súvisle zalesnených, odľahlých lokalitách. Výber lokality v blízkosti obce Kováčová, ako aj mesta Zvolen zaručuje kvalitatívnu aj kvantitatívnu stránku hustoty bodového poľa, ktoré je využívané na získanie referenčných súradníc. Taktiež je záujmové územie dostatočne kvalitne pokryté signálom mobilného operátora, prostredníctvom ktorého sa uskutočňuje prenos korekčných dát priestorovej observačnej služby SKPOS. Výskumný objekt sa nachádza v zmiešanom poraste s podielom zastúpenia listnatých drevín okolo 50 %. To umožňuje skúmať vplyv porastových zložiek na príjem a kvalitu družicového signálu a taktiež posúdiť vplyv asimilačných orgánov na presnosť meraní GPS počas vegetačného obdobia aj počas vegetačného pokoja. Výber metód merania GNSS, ktoré boli použité bol ovplyvnený hlavne myšlienkou o efektívnosti, kvalite a časovej hospodárnosti merania a zároveň častým používaním týchto metód pri zhŕšťovaní bodových polí v odľahlých lokalitách. Kinematická RTK metóda s použitím referenčnej stanice sa vyznačuje hlavne výhodami ako sú možnosť získavania výsledkov meraní pri minimálnom niekoľko sekundovom omeškaní a časová efektívnosť merania. Pri dodržaní určitých podmienok, ako sú vzdialenosť referenčnej stanice do 30 km a prijímaný kvalitný signál z rádiodemom vykazuje RTK metóda z vlastnou referenčnou stanicou vyššiu presnosť ako meranie s využitím služby SKPOS. Medzi hlavné nevýhody tejto metódy patrí hlavne ekonomická efektívnosť merania. Keďže je potrebné mať k dispozícii dva plne funkčné, kompatibilné GNSS prijímače a rádiodemom, je pri súčasných cenách GNSS prijímačov podstatne výhodnejšie meranie s využitím služby SKPOS, pri ktorej je používaný iba jeden GNSS prijímač, mobilný telefón a predplatená služba SKPOS.

2.3. Terénne práce

Predmetom merania v prvej fáze terénnych prác bolo vybudovanie výskumných objektov. Body na nich boli rozmiestnené s ohľadom na vplyvajúce faktory, ktorých pôsobenie na meranie budú predmetom výskumu tejto aj ďalších prác. Následne boli stabilizované geodetickými klincami v telese asfaltovej vozovky na lesnom prieseku a kovovými rúrkami stabilizovanými na voľnom priestranstve. Sieť bodov je pripojená na trigonometrické body 5914-23 Dibákovo a 5914-47 Trebuľa prostredníctvom

vyrovnaného polygónového ťahu zameraného totálnou stanicou značky TOPCON GPT 3002 LN v dvoch polohách ďalekohľadu. Parametre týchto polygónových ťahov spĺňajú kritériá na hlavné ťahy s krátkymi dĺžkami strán (60 – 400 m) v zmysle Inštrukcie na práce v polohových bodových poliach 984 121 I/93 (1994). Priestorové súradnice získané týmito meraním sú považované za referenčné a slúžia na kontrolu a posudzovanie presnosti so súradnicami získanými z meraní GNSS. Následne sa vykonalo experimentálne meranie geodetickým GNSS prijímačom TOPCON Hiper GGD v marci roku 2010. Ako prvá bola zvolená metóda určovania polohy s vlastnou referenčnou stanicou, v prevedení RTK (Real Time Kinematic) s rôzne dlhými observáciami (5, 15, 30 a 60 epoch). Na meranie boli použité oba satelitné systémy GPS a GLONASS so všetkými dostupnými družicami. Uhol výškového filtra bol nastavený na hodnotu 5° . Referenčná stanica bola stotožnená s trigonometrickým bodom 5914-23 Dibákovo. Pre transformáciu geocentrických súradníc ETRS 89 do lokálneho súradnicového systému S-JTSK bol použitý lokálny transformačný kľúč, ktorý bol vytvorený vyrovnaním siete siedmich trigonometrických bodov. Parametre tohto lokálneho transformačného kľúča charakterizujú stredná polohová chyba $m_{xy} = 0,042$ m a stredná výšková chyba $m_z = 0,027$ m. Vzdialenosť referenčného prijímača od výskumného objektu dosahuje hodnotu okolo 1 kilometra.

Druhá metóda merania GNSS, bolo meranie v reálnom čase s využitím Slovenskej priestorovej observačnej služby – SKPOS. Táto sieť pozostáva z 21 duálnych referenčných staníc, ktoré sú zaradené do štátnej priestorovej siete, kde ju tvoria geodetické body triedy „A“. Táto sieť poskytuje presné geocentrické súradnice na určovanie polohy objektov a javov v záväzných súradnicových systémoch ETRS89, S-JTSK, Bpv v reálnom čase s vysokým polohovým a časovým rozlíšením a patrí do nadnárodnej siete EUPOS. Pri tejto metóde boli zvolené rovnaké parametre merania ako pri predošlej metóde. Teda observácie s dĺžkou (5, 15, 30 a 60 epoch), oba satelitné systémy GPS a GLONASS so všetkými dostupnými družicami a uhol výškového filtra bol nastavený na hodnotu 5° .

2.4. Metódy vyhodnotenia spracovaných dát

Získané hodnoty súradníc v jednotlivých smeroch osí referenčného systému S-JTSK a Bpv boli predmetom základnej matematicko-štatistickej analýzy. Porovnávali sa pritom so súradnicami identických bodov, získanými meraním elektronickým tachymetrom zo stanovísk vyrovnaného polygónového ťahu. Pre účely zhodnotenia výsledkov observácií boli tieto súradnice považované za správne a štatistické ukazovatele správnosti a presnosti merania boli počítané na podklade odchýlok nameraných hodnôt od hodnôt „správnych“. Použitý bol klasický postup v zmysle vyrovnávacieho počtu (BÖHM, 1990):

- výpočet súradnicových rozdielov (odchýlok) $\delta x_i, \delta y_i, \delta z_i$;
- výpočet aritmetického priemeru súradnicových rozdielov a ich smerodajných odchýlok $\delta x, \delta y, \delta z$ a $s_{\delta x}, s_{\delta y}, s_{\delta z}$;
- určenie stredných chýb určenia súradníc m_x, m_y, m_z ;
- stanovenie a testovanie nulovej hypotézy o výskyte systematickej chyby merania

$$H_0: \delta_{\bar{x}} = 0, \quad \delta_{\bar{y}} = 0, \quad \delta_{\bar{z}} = 0;$$

e) výpočet strednej polohovej a strednej výškovej chyby m_{xy} a m_z ;

3. VÝSLEDKY

Pri realizácii experimentálnych meraní sa prostredníctvom lokálneho transformačného kľúča získali súradnice meraných bodov v súradnicovom systéme S-JTSK a výškovom systéme Bpv. Namerané súradnice jednotlivých bodov boli porovnávané so súradnicami získanými z totálnej stanice a následne sa stanovili jednotlivé odchýlky v smere osí Y, X a Z. Objektom merania bola pri použití oboch metód sieť desiatich bodov. Na každom bode sa posudzovala úspešnosť riešenia, to znamená či sa dosiahlo fixné riešenie meraného bodu, alebo sa výpočet súradníc zrealizoval len pomocou tzv. plávajúceho riešenia (float). Za fixné riešenie možno považovať riešenia, kedy pri výpočte parametrov vektora nepresiahne počas n epoch určitú hodnotu smerodajnej odchýlky, najčastejšie 0,05 m.

Tab. 3.1 Vyjadrenie priemerných odchýlok jednotlivých bodov bez ohľadu na dĺžku observácie s využitím vlastnej referenčnej stanice

Tab. 3.1 The average deviation of point measurements not influenced by time of observation with base reference measurements

č. b.	Y	X	Z
2	-0,079	0,030	0,223
3	-0,087	0,010	0,215
4	0,443	0,690	1,131
5	-0,101	0,035	0,224
6	-0,095	0,036	0,212
7	-0,090	0,054	0,247
8	-0,119	0,034	0,237
9	-0,120	0,002	0,285
10	-0,129	0,056	0,233
11	-0,985	1,672	10,942

Z množiny desiatich bodov sa na ôsmich z nich podarilo dosiahnuť fixné riešenie pri všetkých dĺžkach observácií. Pri dvoch bodoch sa výpočet polohy zrealizoval len s plávajúcim riešením. V tabuľkách 3.1 a 3.2 sú vyjadrené hodnoty odchýlok jednotlivých bodov. Výsledky s fixným riešením sú označené svetlejšou farbou. Pri každom z nich bola dosiahnutá odchýlka v polohovej zložke (Y, X) lepšia ako 0,14 m čo plne vyhovuje kritériám 3. triedy presnosti mapovania pre mapy veľkých mierok. Vo výškovej zložke (Z) výsledky nepresiahli hodnotu 0,30 m.

Tab. 3.2 Vyjadrenie priemerných odchýlok jednotlivých bodov bez ohľadu na dĺžku observácie s využitím služby SKPOS

Tab. 3.2 The average deviation of point measurements not influenced by time of observation with SKPOS service

č. b.	Y	X	Z
2	0,223	-0,002	1,614
3	1,556	0,043	4,854
4	-0,146	0,122	0,903
5	-0,142	0,184	1,316
6	-0,148	0,140	0,878
7	-0,162	0,156	0,929
8	-0,180	0,158	0,953
9	-0,168	0,115	0,928
10	-0,188	0,160	0,901
11	-0,204	0,156	0,915

Ako z prehľadu tabuľky 3.2 vidieť zo všetkých desiatich bodov sa len na jednom z nich nepodarilo dosiahnuť fixné riešenie, čo sa opäť prejavilo na veľkosti odchýlok v polohovej a výškovej zložke. Hodnoty pri fixných riešeniach nepresiahli 0,26m čo plne postačuje kritériám 4. triedy presnosti mapovania pre mapy veľkých mierok. Avšak vo výškovej zložke sa namerané odchýlky pohybujú okolo 1m, čo nevyhovuje ani kritériám 5. triedy presnosti mapovania pre mapy veľkých mierok.

Vyhodnotenie vplyvu dĺžky observácie na presnosť meraní je zobrazené v tabuľke 3.3. V nej sú zobrazené priemerné stredné polohové a stredné výškové chyby s ohľadom na dĺžku observácie a úspešnosti merania.

Tab. 3.3 Vyjadrenie priemerných m_{xy} a m_z pri zohľadnení dĺžky observácie a úspešnosti merania s využitím vlastnej referenčnej stanice

Tab. 3.3 The RMS influenced by time of observation for different type of measurement (float, fixed) with base reference measurements

N epoch	všetky riešenia		len fixné riešenia		relatívne zvýšenie presnosti	
	m_{xy}	m_z	m_{xy}	m_z	m_{xy}	m_z
5	0,850	6,845	0,075	0,227	91,1	96,7
15	0,869	6,880	0,074	0,221	91,5	96,8
30	0,309	0,281	0,075	0,213	75,8	24,3
60	0,221	0,527	0,078	0,226	64,9	57,0
všetky	0,637	4,862	0,081	0,237	87,4	95,1

Z prehľadu tabuľky 3.3 vidieť, že vplyv dĺžky observácie na presnosť meraní sa pri uvažovaní všetkých výsledkov merania bez ohľadu na úspešnosť riešenia prejavil ako pozitívny a presnosť polohovej zložky má výrazne klesajúcu tendenciu. Pri výškovej zložke sa vplyv dĺžky observácie pozitívne prejavil hlavne medzi meraniami s dĺžkou meraní 15 a 30 s. Pri 60 sekundovom meraní mala dĺžka observácie negatívny vplyv. Hodnoty priemerných m_{xy} a m_z sú ale značne ovplyvnené veľkými odchýlkami u bodov s plávajúcim riešením výpočtu polohy. Po odstránení plávajúcich riešení je dosiahnuté relatívne zvýšenie presnosti v rozmedzí od 65 po 92 %. Preukázalo sa, že pri observáciách s úspešným fixným riešením bola dosiahnutá presnosť nezávislá od dĺžky observácie. U polohovej aj u výškovej zložky je kolísanie hodnôt odchýlok okolo ich priemeru menšie ako 2 %. Stredná polohová chyba tak dosiahla hodnoty približne 0,081 cm a stredná výšková chyba približne 0,24 cm. V polohe boli teda splnené kritériá 2. triedy a vo výške kritériá 4. triedy presnosti mapovania pre mapy veľkých mierok.

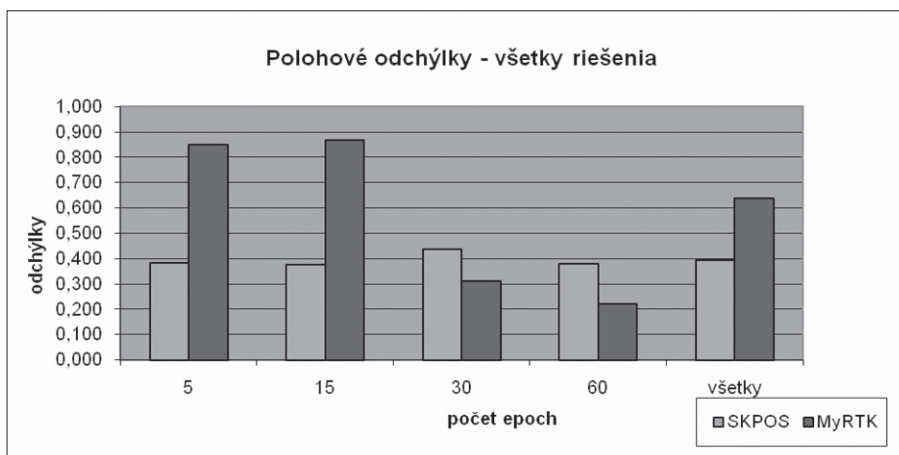
Tab. 3.4 Vyjadrenie priemerných m_{xy} a m_z pri zohľadnení dĺžky observácie a úspešnosti merania s využitím služby SKPOS

Tab. 3.4 The RMS influenced by time of observation for different settings of measurement (float, fixed) with SKPOS service

N epoch	všetky riešenia		len fixné riešenia		relatívne zvýšenie presnosti	
	m_{xy}	m_z	m_{xy}	m_z	m_{xy}	m_z
5	0,382	1,731	0,382	1,731	0,0	0,0
15	0,377	1,751	0,379	1,707	-0,7	2,5
30	0,438	2,009	0,379	1,707	13,4	15,0
60	0,380	1,931	0,379	1,707	0,1	11,6
všetky	0,395	1,859	0,395	1,781	0,0	4,2

V tabuľke 3.4 sú uvedené tie isté charakteristiky ako v tabuľke 3.3 tým rozdielom, že boli používané korekčné dáta služby SKPOS. Z tohto prehľadu vidieť, že pri uvažovaní všetkých výsledkov merania bez ohľadu na faktor úspešnosti sa v polohovej zložke výrazne neprejavil vplyv dĺžky observácie a teda presnosť v nej sa takmer nezmenila. Vo výškovej zložke sa naopak so stúpajúcim počtom epoch ukazuje tendencia zhoršenia presnosti. Keďže fixné riešenia boli dosiahnuté takmer na každom bode okrem bodu č. 2 nedošlo ku zvýšeniu presnosti v polohovej zložke ani po jeho odstránení. Relatívne zvýšenie presnosti sa prejavuje iba pri 30 s meraní o hodnotu 13 %. K miernemu zvýšeniu presnosti došlo aj vo výškovej zložke a to o 4 %. Aj v tomto prípade sa preukázalo, že pri observáciách s fixným riešením bola dosiahnutá presnosť nezávislá od dĺžky observácie. Kolísanie hodnôt odchýlok okolo ich priemeru pri polohovej zložke ako aj pri výškovej zložke dosahuje 1 %. Stredná polohová chyba dosiahla hodnotu zhruba 0,40 m a stredná výšková chyba dosahuje hodnotu až 1,78 m. V polohe bola dosiahnutá 5. trieda presnosti mapovania pre mapy veľkých mierok a vo výškovej zložke sa nespĺnili žiadne kritériá

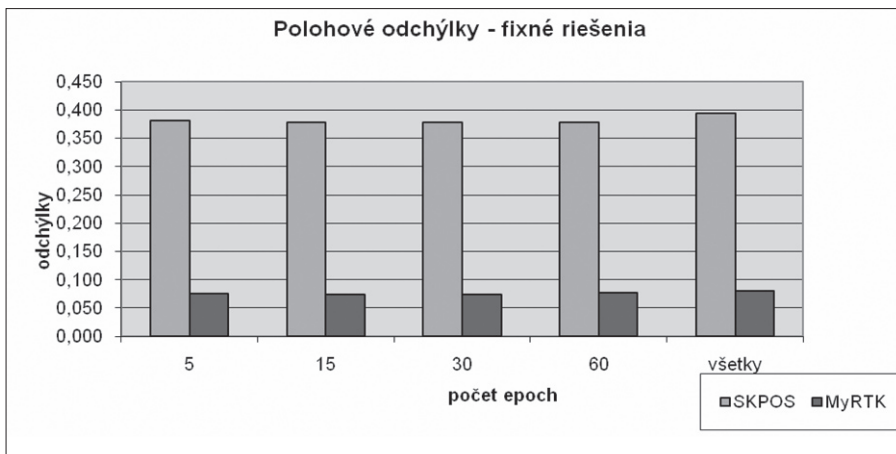
presnosti. V prípade ak súbor nameraných hodnôt fixných riešení v niektorej z osí vykazoval nadmerné vychýlenie od charakteristík normálneho rozdelenia, pristúpilo sa k identifikácii a eliminácii systematickej zložky odchýlok v smere danej osi. Uplatnil sa pritom T-Studentov test o prítomnosti systematickej chyby. Ak sa vychádza z predpokladu, že referenčné súradnice sú absolútne správne (miera ich neistoty sa rovná nule) a rozsah výberového súboru odchýlok je dostatočne veľký, môžu sa za smerodajné pokladať stredné polohové a výškové chyby po odstránení identifikovanej systematickej zložky jednotlivých odchýlok. V takomto prípade by presnosť týkajúca sa RTK metódy s vlastnou referenčnou stanicou spĺňala kritériá 1. triedy v polohovej a 2. triedy presnosti vo výškovej zložke ($m_{xy} = 0,04$ m, $m_z = 0,07$ m). Stredná polohová chyba a stredná výšková chyba je uvedená v tabuľke 3.5 a dosahuje hodnoty $m_{xy} = 0,02$ m, $m_z = 0,031$ m. V prípade použitia metódy merania v reálnom čase so službou SKPOS sú hodnoty odchýlok po odstránení systematickej chyby v polohovej zložke približne $m_{xy} = 0,38$ m, čo spĺňa kritériá 5. triedy presnosti a vo výškovej zložke dosahujú hodnotu $m_z = 1,18$ m. Táto hodnota nespĺňa kritériá žiadnej triedy presnosti mapovania pre mapy veľkých mierok. Pre ilustráciu zhodnotenia vplyvu dĺžky observácie na presnosť merania poslúžia nasledujúce obrázky. Z obrázku 3.1 vyplýva, že dĺžka observácie pri uvažovaní všetkých riešení sa pozitívne prejavila iba pri RTK metóde s použitím vlastnej referenčnej stanice. Pri RTK meraní s využitím služby SKPOS dosahujú namerané odchýlky minimálny rozptyl bez ohľadu na dĺžku observácie.



Obr. 3.1 Vyjadrenie priemerných polohových odchýlok pri porovnaní oboch metód merania s použitím všetkých riešení

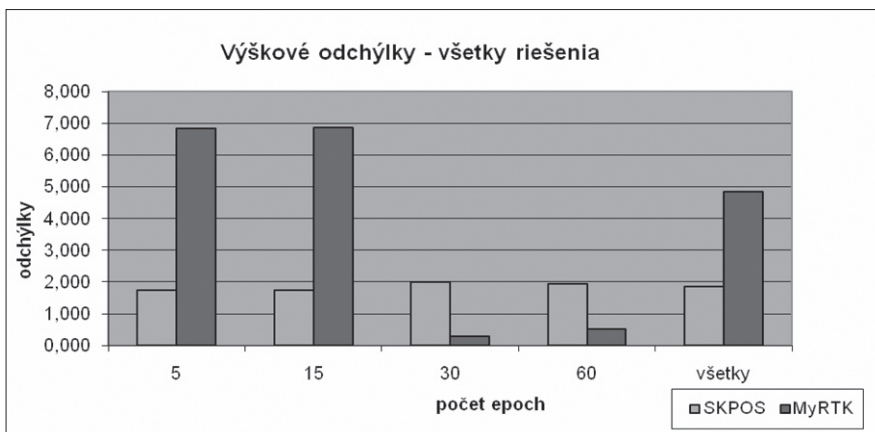
Fig. 3.1 The average deviation for the both type and all settings of measurements

Z obrázku 3.2 vyplýva, že pri použití iba fixných riešení sa pri oboch metódach merania vplyv dĺžky observácie neprejavil, teda dosiahnutá presnosť je nezávislá od dĺžky merania.



Obr. 3.2 Vyjadrenie priemerných polohových odchýlok pri porovnaní oboch metód merania s použitím fixných riešení

Fig. 3.2 The average deviation for the both type and fixed setting of measurements

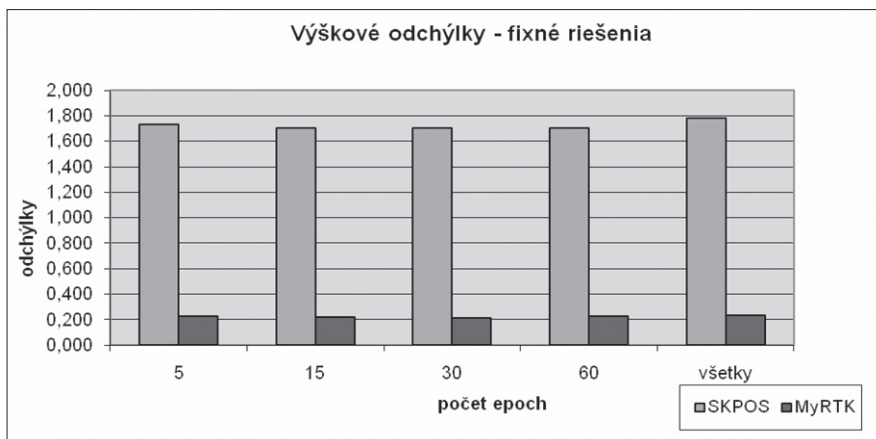


Obr. 3.3 Vyjadrenie priemerných výškových odchýlok pri porovnaní oboch metód merania s použitím všetkých riešení

Fig. 3.3 The average deviation of heights for the both type and all settings of measurements

Obrázok 3.3 vypovedá, že výškové odchýlky tak ako aj pri zobrazených polohových odchýlkach so všetkými uvažovanými riešeniami majú výrazne klesajúcu tendenciu v závislosti od dĺžky observácie iba pri meraniach s vlastnou referenčnou stanicou a pri využívaní služby SKPOS sa vplyv dĺžky observácie prejavil miernym zhoršením výškových odchýlok. Po vylúčení presnosť znižujúcich plávajúcich riešení sa vplyv dĺžky

observácie nepotvrdil ani pri výškových odchýlkach. Toto konštatovanie platí pre obe metódy merania a je podložené obrázkom 3.4.



Obr. 3.4 Vyjadrenie priemerných výškových odchýlok pri porovnaní oboch metód merania s použitím fixných riešení

Fig. 3.4 The average deviation of heights for the both type and fixed setting of measurements

4. VYHODNOTENIE A ZÁVER

Experimentálne terénne merania boli situované do podmienok nevýrazného lesného prieseku, tvoreného približovacou lesnou cestou, kde meraný objekt pozostával zo siete 10 podrobných bodov. Pri RTK metóde s vlastnou referenčnou stanicou sa v 80 % prípadoch dosiahlo fixné riešenie vektorov čo možno považovať za pozitívny výsledok. Pri využití služby SKPOS sa podarilo až v 90 % prípadoch dosiahnuť fixné riešenia. Neúspešné (plávajúce) riešenia sa prejavili na bodoch č. 3 a č. 4. Pripísať to možno ich lokalizácii, nakoľko sa nachádzajú v mieste s najväčším zastúpením ihličnatých drevín vo fáze kmeňovín, pričom priesek je v týchto miestach široký len približne 3,5 m. Možno teda potvrdiť, že kmene nachádzajúce sa v blízkosti meraných bodov majú negatívny vplyv na kvalitný príjem signálu a teda aj na presnosť merania. Keďže súradnice na predchádzajúcich a nasledujúcich bodoch boli vypočítané fixným riešením v relatívne krátkom časovom období, nemožno za neúspech merania na spomínaných bodoch považovať nepriaznivú geometrickú konfiguráciu družíc. Pri bode č. 11 sa tiež preukázalo plávajúce riešenie, i keď priamo pri meraní v teréne vykazoval prístroj, že typ riešenia výpočtu vektorov je fixný. Celková dosiahnutá presnosť pri RTK metóde s vlastnou referenčnou stanicou je definovaná strednou polohovou $m_{xy} = 0,64$ m a strednou výškovou chybou $m_z = 4,86$ m. Takáto presnosť nespĺňa kritériá ani pre účely merania nevládnických hraníc JPRL. Avšak po vylúčení meraní s plávajúcim riešením sa presnosť podstatne zlepšila a spĺňala kritériá 2. triedy presnosti v polohe a 4. triedy presnosti vo výške. Ak zväžíme možnosť výskytu systematickej chyby

pri meraní tak po jej eliminácii sa dostávame na hodnoty $m_{xy} = 0,022$ m a $m_z = 0,031$ m spĺňajúce najprísnejšie kritériá. Celková dosiahnutá presnosť pri meraní s využitím služby SKPOS možno charakterizovať strednou polohovou chybou $m_{xy} = 0,395$ m a strednou výškovou chybou $m_z = 1,859$ m, kde v polohovej zložke spĺňa kritériá 5. triedy presnosti. Po nezahrnutí plávajúcich riešení sa hodnota strednej chyby v polohovej zložke vôbec nezmenila a stredná chyba vo výškovej zložke zaznamenala mierne zlepšenie na hodnotu $m_z = 1,78$ m, čo však nespĺňa kritériá ani 5. triedy presnosti. Po odstránení systematickej zložky odchýlok od správnych hodnôt sa dostávame na hodnoty $m_{xy} = 0,38$ m a $m_z = 1,18$ m čo postačuje pre účely merania nevlastníckych hraníc JPRL. Pri vyhodnotení faktora dĺžky observácie možno konštatovať nasledovné. V prípade riešenia výpočtu vektorov s plávajúcim riešením možno očakávať mierne zlepšenia presnosti a zníženia hodnôt stredných odchýlok úmerne s rastúcou dĺžkou observácie. Toto tvrdenie však platí pre RTK metódu s vlastnou referenčnou stanicou. Pri využití služby SKPOS sa vplyv dĺžky observácie na zlepšenie, alebo zhoršenie presnosti výrazne neprejavil. Pri takomto meraní bez ohľadu na dĺžku observácie však s určitosťou nemožno zaručiť presnosť lepšiu ako 1m. V prípade fixného riešenia výpočtu vektora je pre spoľahlivé a presné určenie polohy plne postačuje krátka observácia s 5 epochami, kedy hodnoty odchýlok dosahujú pri oboch metódach bez ohľadu na dĺžku observácie takmer rovnaké hodnoty. Po analýze výsledkov možno konštatovať, že použitie RTK metódy s vlastnou referenčnou stanicou nájde uplatnenie pri náročných aplikáciách s vysokými nárokmi na presnosť. Merania s využitím služby SKPOS však napriek vyšším dosiahnutým odchýlkam, ktoré boli odprezentované v tejto práci, v porovnaní s meraním MyRTK nachádzajú v geodetickej praxi podstatne väčšie uplatnenie. Jedným z dôvodov je aj ekonomická efektívnosť merania, kedy pri využívaní služby SKPOS nie je potrebný referenčný prijímač, čo predstavuje podstatné zefektívnenie prác z ekonomického hľadiska. Využívanie služby SKPOS nachádza uplatnenie aj pri zhŕšťovaní bodového poľa, kedy v kombinácii s klasickými terestrickými metódami predstavuje podstatnú racionalizáciu mapovacích prác. Pri oboch metódach treba zoptimalizovať podmienky merania, či už plánovaním observácií v softvérovom GNSS prostredí, v ktorom sa získajú informácie o geometrickej konfigurácii družíc v danom čase nad záujmovým územím. Ďalej vhodnou lokalizáciou merania, kedy sa dosahujú presnejšie výsledky meraní na stanoviskách bez cloniacich prekážok, alebo aspoň s čiastočne otvoreným horizontom, ako sú napríklad lesné priesečky, lesné cesty, či voľné plochy. Pri meraní a vytyčovaní vlastníckych hraníc spomínanými metódami treba vziať do úvahy vyššie spomínané fakty, resp. vhodne skombinovať klasické terestrické metódy s testovanými RTK metódami.

Podakovanie

Príspevok vznikol vďaka finančnej podpore v rámci riešenia vedeckého projektu VEGA MŠ SR a SAV č. 1/0560/09 s názvom „Racionalizácia lesníckeho mapovania“ na Katedre hospodárskej úpravy lesov a geodézie Lesníckej fakulty TU vo Zvolene.

Literatúra

1. BÖHM, J. a kol.: Teórie chýb za vyrovnávací počet. GKP Praha, 1990, 416 s.
 2. HALVOŇ, L.: Využitie metód GPS pri lesníckom mapovaní, In. Geodézia v lesníctve, TU Zvolen, 2006, s. 26–38.
 3. HEFTY, J., HUSÁR, L.: Družicová geodézia. Globálny polohový systém, STU, Bratislava, 2003, 186 s.
 4. VITÁSKOVÁ, J.: Využití metódy GPS v lesním hospodářství, Autoreferát dizertačnej práce, Modelová zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2002, s. 14.
 5. ŽIHĽAVNÍK, Š.: Geodézia, fotogrametria a mapovanie v lesníctve, TU vo Zvolene, 2004, 388 s.
 6. MELUŠ, J., ŽIHĽAVNÍK, Š., Problematika aplikácie GNSS v lesníckej geodetickej praxi, Zborník referátov, Bratislava, 2006, 125–137.
 7. Inštrukcia na práce v polohových bodových poliach 984 121 (1994), ÚGKK SR, 110 s.
 8. Firemná literatúra TOPCON Hiper GGD, TOPCON GPT 3002.
<http://www.geodis.sk/>
<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls>
-

Adresa autora:

Ing. Andrej Trajtel
Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
e-mail: andrej.trajtel@gmail.com

Využitie RTK metód GNSS merania v prostredí lesného prieseku

Abstrakt

Technológie GNSS (Globálne navigačné satelitné systémy) svojou koncepciou umožňujú efektívne získavanie údajov o polohe kdekoľvek na Zemi. Tento fakt podnecuje využívanie týchto systémov aj pre potreby lesníckeho mapovania. Vzhľadom na odľahlosť územia, jeho členitosť a relatívnu nedostupnosť k čoraz viac zanedbávanému existujúcemu bodovému poľu sa používanie systémov GNSS považuje za jednoznačnú racionalizáciu v oblasti geodetických prác. Presnosť týchto technológií je však podmienená viacerými faktormi ako sú samotná presnosť prijímacích aparátúr a v neposlednom rade optimálnosť observačných podmienok. Meranie v lesnom prostredí je neodmysliteľnou súčasťou lesníckeho mapovania.

Táto práca sa sústreďuje práve na posúdenie presnosti meraní v reálnom čase s využitím vlastnej referenčnej stanice, ako aj s využitím služby SKPOS.

Kľúčové slová: GNSS, RTK metódy, lesnícke mapovanie

MOŽNOSTI VYUŽITIA STATICKEJ METÓDY GNSS PRI LESNÍCKOM MAPOVANÍ

Peter K A M E N S K Ý – Štefan Ž Í H L A V N Í K

Kamenský, P., Žihlavník, Š.: **Possibilities of using of static method of GNSS at forest mapping.** Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 185–197.

Using the technology of global navigation satellite systems increases effectivity and operativity of geodetic terrain works. The subject of research of this work is application of fast static method with 3– minute observational period in terms of open area and forest ride. It was proved that the chosen method with very short period of observation suffices fully for mapping in terms of open area in cases where the 4th class of the cadastral mapping accuracy ($u_{xy} = 0,26$ m, $u_y = 0,18$ m) is required. In case of planimetric mapping the mentioned method fulfils the criterions of the 3rd class of mapping accuracy in terms of open area. In terms of forest rides, the method is appropriate for mapping of forest detail which is not used for the production of forest basemap. This mapping falls in 2nd and 3rd category of map work accuracy according Standard of digital map work with content of forest management. After execution of regression and correlation analysis we came to the knowledge that the number of observed satellites of NAVSTAR GPS system is the most important factor influencing the final accuracy of the determination of position, the next relevant factor is stocking degree. After determination of prediction bands, it is possible to make the estimation of future achieved mean error of coordinates depending on the considered factors of measurement (eg. the number of american system satellites).

Keywords: Forest mapping, GNSS, fast static method

1. ÚVOD

Lesy pokrývajú viac ako 2,007 mil. ha územia Slovenska, čo predstavuje 40,9 % rozlohy štátu (ZELENÁ SPRÁVA 2009). Na približne 1/10 tejto plochy je každoročne obnovené lesnícke mapové dielo.

Významným fenoménom geodetickej praxe je meranie pomocou globálnych navigačných satelitných systémov (GNSS). 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.

Prax ukázala výhody aplikácie meraní GNSS na voľných priestranstvách, kde je príjem družicových signálov bezproblémový. Iné podmienky sú v lesnom prostredí, ktoré významne vplyva na kvalitu prijímaných signálov a tým aj na dosahovanú presnosť merania. Rôzne výskumné práce (napr. ŽÍHLAVNÍK, Š. – MELUŠ 2009, MELUŠ 2007) poukazujú na faktory vplyvajúce na dosahovanú presnosť v lese: geomorfológia terénu, hrúbka a vzdialenosť tieniacej dreviny k určovanému bodu, zakmenenie porastu, zápoj, použitá metóda merania a dĺžka observácie, vegetačné obdobie, počet a konštelácia pozorovaných satelitov.

Práca si kladie tri ciele. Prvým je posúdenie vhodnosti aplikácie rýchlej statickej metódy s veľmi krátkou dobou observácie (3 min.) v podmienkach lesného prostredia i voľného priestranstva z hľadiska dosahovanej presnosti. Druhým cieľom je vyhodnotenie závislosti strednej súradnicovej chyby m_{xy} od faktorov, ktoré na ňu vplyvajú. Posledným cieľom je posúdenie možnosti predikcie m_{xy} od očakávaných podmienok merania.

2. MATERIÁL A METÓDY

Pre statickú metódu merania GNSS sme použili prijímač TOPCON Hiper GGD. Výrobcom udávaná presnosť pre statickú metódu merania je 3 mm + 0,5 ppm v horizontálnej polohe a 5 mm + 0,5 ppm vo vertikálnej polohe.

Pre získanie súradníc referenčných bodov metódou polygónových ťahov sme použili kompaktnú totálnu stanicu TOPCON GPT 3002. Pri meraní dĺžok týmto prístrojom pomocou odrazového hranola je dosahovaná presnosť ± 3 mm pri meraní vzdialenosti do 3 km, uhlová presnosť je dvojsekundová.

Na konfiguráciu prijímača sme použili softvér PC – CDU. Samotné spracovanie dát získaných meraním prebehlo v softvérovom produkte TOPCON Tools 7.3 určenom na post-processingové spracovanie dát získaných statickou metódou merania. Výpočet pravouhlých súradníc vrcholov zameraných polygónových ťahov bol realizovaný v geodetickom programe GROMA 7.0. Vyhodnotenie výsledkov prebehlo v programoch Microsoft Office EXCEL 2007, štatistická časť vyhodnotenia v štatistickom softvéri STATISTICA 7.

Terénne merania boli realizované v mesiaci september roku 2009. Lokalizované boli v blízkosti Zvolena v katastrálnych územiach Hájniky, Sielnica a Kováčová. Predmetom prác bolo zameranie vrcholových bodov dvoch polygónových ťahov – jedného s krátkymi stranami vedeného prevažne lesom, druhého s dlhými stranami umiestneného na voľnom priestranstve. Les, ktorého priesekom bol vedený jeden z predmetných polygónov, môžeme charakterizovať ako zmiešaný, na 3/4 plochy dvojetážový porast. Merania prebehli v 2 fázach. V prvej boli spomenuté body zamerané totálnou stanicou TOPCON GPT 3002. Celkovo bolo zameraných 21 bodov na voľnom priestranstve a 27 bodov na lesnom prieseke. V druhej fáze sme pristúpili k zameraniu identických bodov rýchlou statickou metódou merania GNSS s observačnou dobou 3 minúty. 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 siedmich 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.

Po ukončení meraní sme pristúpili k spracovaniu surových dát z prístrojov. V prípade dát nameraných totálnou stanicou išlo 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. V prípade dát nameraných GNSS prijímačom išlo najprv o získanie súradníc identických meraných bodov v systéme ETRS 89 a ich následnú transformáciu do systémov S-JTSK a Bpv. Korekčné dáta pre výpočet vektorov boli poskytnuté službou SKPOS vo formáte RINEX pre vybranú polohu virtuálnej referenčnej stanice. V ďalšom kroku sme postupovali podľa zásad klasického postupu vyrovnávacieho počtu (BÖHM *a kol.* 1990), pričom sme navyše overili kvalitu nameraných údajov:

- Výpočet súradnicových rozdielov (diferencií) d_{xi} , d_{yi} , d_{zi} .
- Overenie kvality nameraných údajov – vylúčenie extrémnych hodnôt niektorých odchýlok vzniknutých po hrubých chybách merania. Celkovo bolo vylúčených 15 % hodnôt (pochádzajúcich zo 4 stanovišť z celkového počtu 27 stanovišť na lesnom priestrechu).
- Výpočet aritmetického priemeru súradnicových rozdielov a ich smerodajných odchýlok.
- Stanovenie nulovej hypotézy o výskyte systematickej chyby a jej posúdenie pomocou Studentovho t -testu.
- Výpočet stredných súradnicových chýb pre jednotlivé osi (m_x , m_y , m_z) a strednej súradnicovej chyby (m_{xy}).

Pre skúmanie závislosti medzi strednou súradnicovou chybou m_{xy} a faktormi, ktoré na ňu vplyvajú, bola zvolená metóda regresnej a korelačnej analýzy, nakoľko nezávislé znaky (hrúbka a vzdialenosť tieniacej dreviny, zakmenenie porastu a jeho zápoj, percento viditeľnej oblohy, počet NAVSTAR GPS satelitov, počet GLONASS družíc) a závislý znak (stredná súradnicová chyba) majú kvantitatívny charakter.

Prvoradým cieľom analýzy bolo skúmanie možnosti predikcie strednej súradnicovej chyby v závislosti od podmienok merania v lesnom prostredí. Ďalším cieľom bola kvantifikácia sily závislosti medzi strednou súradnicovou chybou m_{xy} a jednotlivými faktormi, ktoré na ňu pôsobia.

V prvej etape analýzy bolo vykonané hľadanie predbežného tvaru regresného modelu grafickým spôsobom na základe posúdenia tvaru závislosti medzi m_{xy} a jednotlivými faktormi sériou grafov.

V druhej etape boli vypočítané koeficienty regresnej rovnice.

V tretej etape sme pristúpili k overeniu vhodnosti tvaru regresného modelu, pri ktorom sa exaktne testovalo, či vybraný model skutočne svojim tvarom (priebehom) odpovedá nameraným údajom. Pre tento účel bol použitý graf typu „predpovedané vs. pozorované“. Ďalej sme overili štatistickú významnosť celého modelu pomocou všeobecného F -testu. V prípade viacnásobnej závislosti sme v ďalšom kroku posúdili opodstatnenosť zavedenia jednotlivých nezávislých premenných do regresnej rovnice pomocou t -testov významnosti jednotlivých regresných koeficientov, nakoľko sa viacnásobný model budoval tak, že sa všetky potenciálne nezávislé premenné vložili do rovnice naraz. Následne

sme zmerali silu závislosti medzi m_{xy} a vybranými faktormi pomocou výberového korelačného koeficienta. V prípade viacnásobnej závislosti sme na zmeranie sily korelácie použili viacnásobný korelačný koeficient. Na kvantifikáciu sily individuálneho vplyvu konkrétnej nezávislej premennej vyskytujúcej sa v lineárnej kombinácii nezávislých premenných sme použili tzv. semi – parciálny korelačný koeficient.

V poslednej, štvrtej etape, sme zovšeobecniili výsledky regresnej a korelačnej analýzy konštrukciou pásov spoľahlivosti predikcie. Treba podotknúť, že v rámci zovšeobecnenia výsledkov analýzy je vhodné uskutočniť tiež intervalové odhady parametrov lineárneho regresného modelu a testy štatistických hypotéz o korelačnom koeficiente. Tieto úkony by však prekračovali rozsah tejto práce, preto sme sa nimi nezaoberali.

3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

3.1 Meranie polygónových ťahov totálnou stanicou

Geometrické parametre zameraných polygónových ťahov spĺňajú kritériá na ťahy hlavné s krátkymi stranami (60–400 m) v prípade ťahu vedeného z väčšej časti lesom, resp. s dlhými stranami (200–1500 m) v prípade ťahu na voľnom priestranstve podľa Inštrukcie na práce v polohových bodových poliach 984 121 I/93 (1994) (ďalej len „Inštrukcia“) okrem kritéria krajnej dĺžky strany, ktoré nie je dodržané pri ani jednom z ťahov. Dodržanie tohto kritéria bolo problematické kvôli veľkej terénnej členitosti, v prípade lesa aj kvôli neprehľadnosti terénu. Inštrukcia v takýchto prípadoch predpisuje individuálne posúdenie dosiahnutej presnosti podľa STN 73 0415 Geodetické body. Po prevedení testovania podľa normy môžeme konštatovať, že bola dosiahnutá 4. trieda presnosti určenia bodov PPBP pre ťah s krátkymi stranami (vedený lesom) a 3. trieda presnosti určenia bodov PPBP pre ťah s dlhými stranami (na voľnom priestranstve).

3.2 Meranie polygónových ťahov rýchlou statickou metódou GNSS

Po spracovaní surových dát sme získali súradnice vrcholových bodov oboch polygónových ťahov v súradnicovom systéme ETRS 89, pričom súradnice boli získané v dvoch etapách. V prvej boli vypočítané s využitím oboch GNSS, v druhej etape len s využitím amerického systému NAVSTAR GPS. V oboch etapách sa pri výpočte použili rôzne nastavenia výškového filtra – 10°, 15° a 20°. Následnou transformáciou sme previedli súradnice v ETRS 89 do súradnicových systémov štandardne používaných na našom území, teda do S-JTSK a Bpv. Po odstránení systematickej chyby boli predmetom porovnávania stredná súradnicová chyba m_{xy} a stredná výšková chyba m_z pri zohľadnení použitého družicového systému a výškového filtra.

3.2.1 Polygón na voľnom priestranstve

Vplyv ruského systému GLONASS sa prejavil mierne pozitívne len v prípade určenia horizontálnej polohy pri použití 10° výškového filtra, v prípade určenia vertikálnej polohy pri rovnakom nastavení výškového filtra bol vplyv mierne negatívny. Vzhľadom

na dosiahnuté absolútne hodnoty zlepšenia (0,008 m), resp. zhoršenia (0,023 m) stredných chýb možno považovať vplyv GLONASSu pri 10° výškovom filtri za zanedbateľný. Výraznejší vplyv ruského systému bol pozorovaný pri 15° a 20° výškovom filtri, kde sa prejavil výrazne negatívne ako pri určení horizontálnej tak i vertikálnej polohy.

Ďalším posudzovaným faktorom bol použitý výškový filter. Pri 10° nastavení boli dosiahnuté hodnoty spĺňajúce len 5. triedu presnosti mapovania kvôli vyššej hodnote m_z . Hodnota m_{xy} 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.

Vypočítané 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. 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. ŽÍHLAVNÍK – 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 ($u_{xy} = 0,04$ m, $u_v = 0,03$ 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.

Tab. 3.01 Prehľad m_{xy} a m_z pri meraní polygónu na voľnom priestranstve pri rôznych satelitných systémoch a výškových filtroch

Table 3.01 Summary of the m_{xy} and m_z at measurement of polygonal course in open area at various satellite systems and elevation mask

Objekt merania	Výškový filter (°)	Použité satelitné systémy				Rozdiel m_{xy}		Rozdiel m_z	
		GPS + GLONASS		GPS					
		m_{xy} (m)	m_z (m)	m_{xy} (m)	m_z (m)	(m)	(%)	(m)	(%)
Polygón na voľnej ploche	10	0,0957	0,2820	0,1039	0,2592	-0,0082	-7,9	+0,0228	+8,8
	15	0,2032	0,1156	0,1555	0,0421	+0,0477	+30,7	+0,0735	+174,6
	20	0,2231	0,1018	0,1561	0,0437	+0,0670	+42,9	+0,0581	+133,0

- zníženie m_{xy} a m_z pri využití GLONASSu (decrease of the m_{xy} and m_z values at utilization of the GLONASS system)
- zvýšenie m_{xy} a m_z pri využití GLONASSu (increase of the m_{xy} and m_z values at utilization of the GLONASS system)

3.2.2 Polygón na lesnom prieseku

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 ($u_{xy} = 0,50$ m, $u_v = 0,35$ 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).

Aj v prípade merania polygónu na lesnom prieseku boli predmetom posudzovania použitý družicový systém a výškový filter. Ako z tabuľky 3.02 vidno, 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 hodnotiť vplyv GLONASSu v podmienkach lesného prieseku negatívne.

Po analýze výsledkov môžeme povedať, že so stúpajúcou hodnotou výškového filtra dochádzalo pri meraní v lese k zvyšovaniu hodnôt stredných chýb merania (m_{xy} , m_z). Výnimkou je len pokles m_{xy} pri zmene nastavenia výškového filtra z 10° na 15° pri použití oboch GNSS. Vzhľadom na dosiahnuté absolútne hodnoty strednej súradnicovej a strednej výškovej chyby môžeme pre meranie v podmienkach lesných priesekov odporučiť používanie nižšieho výškového filtra (10°).

Tab. 3.02 Prehľad m_{xy} a m_z pri meraní polygónu na lesnom prieseku pri rôznych satelitných systémoch a výškových filtroch

Table 3.02 Summary of the m_{xy} and m_z at measurement of polygonal course at forest ride at various satellite systems and elevation mask

Objekt merania	Výškový filter (°)	Použité satelitné systémy				Rozdiel m _{xy}		Rozdiel m _z	
		GPS + GLONASS		GPS					
		m _{xy} (m)	m _z (m)	m _{xy} (m)	m _z (m)	(m)	(%)	(m)	(%)
Polygón na voľnej ploche	10	0,6797	1,5880	0,5590	1,3593	+0,1207	+21,6	+0,2287	+16,8
	15	0,6425	1,6638	0,5995	0,3697	+0,0430	+7,2	+0,2941	+21,5
	20	0,6900	1,9110	0,7646	1,4742	-0,0743	-9,8	+0,4368	+29,6

– zníženie m_{xy} a m_z pri využití GLONASSu (decrease of the m_{xy} and m_z values at utilization of the GLONASS system)

– zvýšenie m_{xy} a m_z pri využití GLONASSu (increase of the m_{xy} and m_z values at utilization of the GLONASS system)

3.3 Skúmanie závislosti medzi strednou súradnicovou chybou m_{xy} a faktormi na ňu pôsobiacimi

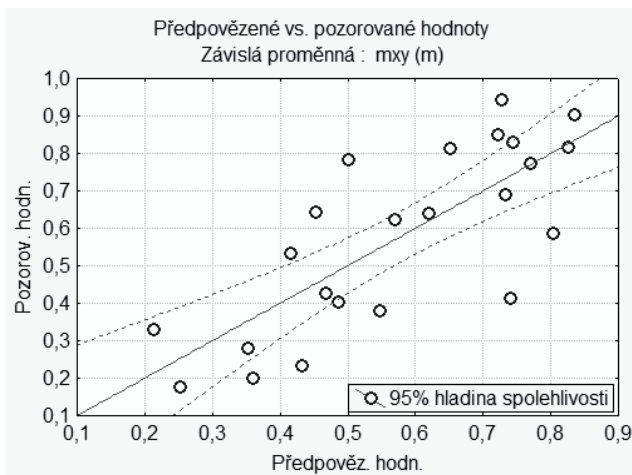
Po predbežnom zistení tvaru regresného modelu závislosti medzi m_{xy} a všetkými faktormi, ktorých hodnoty boli zaznamenané v teréne, sme previedli výpočet koeficientov regresnej rovnice:

$m_{xy} = 0,3520 - 0,0267 k + 0,0024 l + 1,0119 m + 0,0110 n + 0,0335 o - 0,1100 p - 0,0120 q$
 k – vzdialenosť tieniacej dreviny, n – viditeľná obloha, q – počet GLONASS satelitov,
 l – hrúbka tieniacej dreviny, o – zápoj porastu,
 m – zakmenenie porastu, p – počet GPS satelitov.

Následne sme pristúpili k exaktnému testovaniu priebehu modelu. Predmetom testovania bol uvedený model závislosti medzi m_{xy} a všetkými skúmanými faktormi. Overenie vhodnosti tvaru regresného modelu sa vykonalo konštrukciou grafu „predpovedané vs. pozorované“ (obr. 3.01). Model svojím tvarom vhodne odpovedá nameraným údajom vtedy, ak porovnávacia priamka prechádza počiatkom súradnicovej sústavy a stúpa grafom pod 45° uhlom, pričom zobrazené body kolíšu okolo nej náhodne (SCHEER – SEDMÁK 2007). Z obrázka 3.01 môžeme dedukovať vhodný tvar nami skúmaného regresného modelu.

Všeobecný F -test potvrdil štatistickú významnosť celého modelu. Po prevedení t -testov významnosti jednotlivých regresných koeficientov sme zistili multikolinearitu nezávislých premenných a ich možnú redundanciu v modeli, nakoľko len v prípade jednej nezávislej premennej, v prípade faktora počtu satelitov systému NAVSTAR GPS, bol t -test významný. V ďalšom postupe sme zistili pomocou charakteristiky tolerancie T , medzi ktorými nezávislými faktormi existuje zistená multikolinearita. Vzťah multikolinearity sa preukázal medzi faktormi zakmenenia ($T = 0,25$), zápoja ($T = 0,28$) a percenta viditeľnej oblohy ($T = 0,20$). V prípadoch skúmania viacnásobného modelu, kedy je všeobecný F -test celého regresného modelu významný a t -testy významnosti jednotlivých regresných

koeficientov sú nevýznamné, je potrebné regresný model upraviť alebo celkom zmeniť (SCHEER – SEDMÁK 2007).

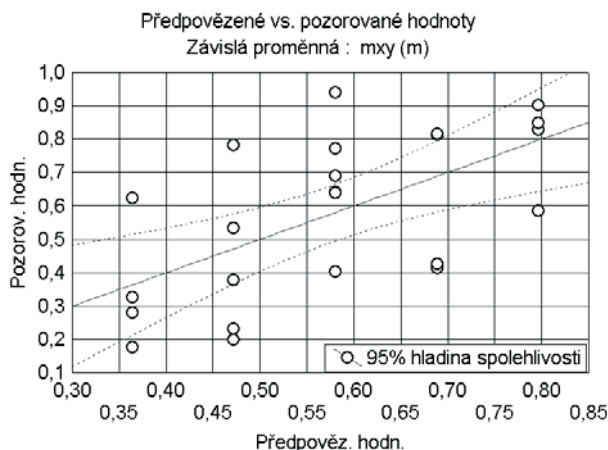


Obr. 3.01 Graf „predpovedané vs. pozorované“ modelu závislosti m_{xy} od všetkých faktorov
Fig. 3.01 Diagram „predicted vs. observed“ of model of m_{xy} dependency on the all factors

Po kvantifikácii sily závislosti medzi strednou súradnicovou chybou m_{xy} a faktormi na ňu pôsobiacimi sme zistili hodnoty viacnásobného korelačného koeficienta $r = 0,77$ a koeficienta determinácie $r^2 = 0,6$. Jednalo sa teda o silnú až stredne silnú závislosť. Zo semi – parciálnych korelačných koeficientov nadobudli významné hodnoty koeficienty počtu satelitov systému NAVSTAR GPS ($-0,5$), percenta viditeľnej oblohy ($0,34$) a zakrmenenia ($0,32$). Ostatné koeficienty nadobudli zanedbateľné hodnoty.

Kvôli zistenej multikolinearite medzi nezávislými premennými a ich redundancii sme sa rozhodli nepokračovať v regresnej a korelačnej analýze modelu, nakoľko bolo potrebné ho upraviť, resp. celkom zmeniť. V nasledujúcom postupe sme z modelu odstránili premenné, medzi ktorými bol vzťah multikolinearity a nadbytočné premenné, teda tie, u ktorých bol t -test významnosti regresných koeficientov nevýznamný. V modeli tak ostala jedna nezávislá premenná a to počet družíc amerického systému.

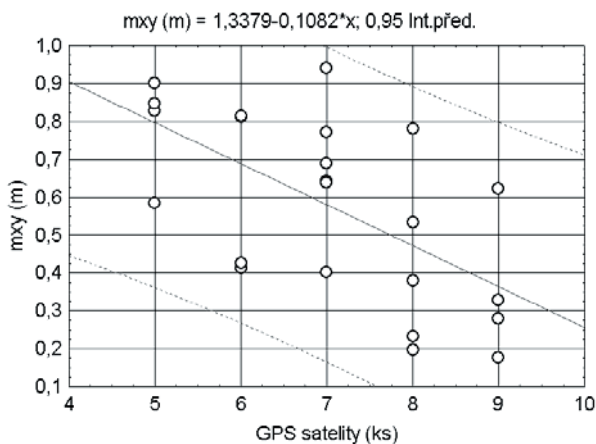
Postup nasledovnej regresnej a korelačnej analýzy bol analogický k postupu analyzovania predchádzajúceho modelu. Po predbežnom zistení tvaru modelu boli vypočítané parametre regresnej rovnice ($m_{xy} = 1,3379 - 0,1082 x$, kde x je počet satelitov NAVSTAR GPS) a skonštruovaný graf „predpovedané vs. pozorované“ (obr. 3.02). Zo zostrojeného grafu môžeme dedukovať, že nami skúmaný model neodpovedá celkom vhodne nameraným údajom, keďže porovnávacia priamka neprechádza počiatkom súradnicovej sústavy a nestúpa grafom pod uhlom 45° . Badáme systematický odklon modelových hodnôt od nameraných. Svedčí to o prítomnosti vplyvu neuvažovaných faktorov na veľkosť m_{xy} . Pre účel teoretického skúmania možnosti predikcie m_{xy} v závislosti od faktorov na ňu pôsobiacich nepovažujeme zistený odklon predpovedaných hodnôt od skutočných za relevantný.



Obr. 3.02 Graf „předpovědané vs. pozorované“ modelu závislosti m_{xy} od počtu satelitů systému NAVSTAR GPS

Fig. 3.02 Diagram „predicted vs. observed“ of model of m_{xy} dependency on the number of satellites of NAVSTAR GPS system

Všeobecný F -test potvrdil štatistickú významnosť celého modelu. Silu závislosti m_{xy} od počtu družíc amerického systému charakterizujú hodnoty výberového korelačného koeficienta $r = 0,61$ a koeficienta determinácie $r^2 = 0,37$. Jedná sa teda o stredne silnú závislosť.



Obr. 3.03 Pásky spoľahlivosti predikcie m_{xy} pomocou počtu satelitů systému NAVSTAR GPS

Fig. 3.03 Prediction bands of m_{xy} by number of satellites of NAVSTAR GPS system

V záverečnej fáze analýzy sme zovšeobecnilí výsledky na základný súbor konštrukciu pásov spoľahlivosti predikcie. Ide o pásy vymedzené okolo regresného modelu, ktoré so zvolenou spoľahlivosťou vytyčujú rámce možných chýb predikcie neznámych hodnôt závislého znaku (strednej súradnicovej chyby m_{xy}) pomocou známych hodnôt nezávislého znaku (počet NAVSTAR GPS satelitov) nameraných na novej výberovej vzorke nezaradenej do predošlého výberového súboru (SCHEER – SEDMÁK 2007).

Z obrázka 3.03 môžeme usudzovať, že pri zameriavaní ďalšieho polygónového ťahu na inom prieseku lesného porastu, kde bolo realizované meranie, môžeme očakávať pri počte napr. 7 satelitov amerického systému minimálnu chybu približne 0,17 m a maximálnu 1,0 m. Pri počte 9 satelitov klesne možná maximálna chyba na približne 0,80 m. Z praktického hľadiska je skúmaný model nevhodný na používanie, nakoľko aj pri vysokom počte satelitov (9 ks) je maximálna možná chyba m_{xy} vymedzená pásom spoľahlivosti predikcie príliš vysoká v porovnaní s hodnotou požadovanou 5. triedou presnosti mapovania ($u_{xy} = 0,50$ m) používanou pre mapovanie nevlastníckych hraníc JPRL. Ani pri ideálnych podmienkach merania (vysoký počet satelitov) nedokáže model predpovedať so zvolenou spoľahlivosťou 95% dosiahnutie hodnoty zaujímavej z pohľadu lesníckej praxe. Tento fakt nie je nedostatkom modelu, ale zvolenej metódy merania s veľmi krátkou observačnou dobou. Preto by bolo zaujímavé skúmanie závislosti m_{xy} a faktorov na ňu pôsobiacich metódou regresnej a korelačnej analýzy pri dlhších časových observáciách (10 – 15 min.), nakoľko je známe, že sa pri nich dosahujú výrazne lepšie výsledky (napr. ŽÍHLAVNÍK – MELUŠ 2009) a existuje predpoklad zostrojenia prakticky upotrebitel'ného modelu. Otázne tiež je, akú štatistickú významnosť by dosiahli pri dlhšej dobe observácie ostatné skúmané faktory, teda či by nemali opodstatnenie v regresnom modeli viaceré nezávislé premenné (napr. zakmenenie), čo by malo za následok zvýšenie percenta modelom vysvetlenej variability strednej súradnicovej chyby m_{xy} . Táto problematika môže byť predmetom ďalšieho výskumu.

Predmetom nasledovného skúmania boli tiež modely s rôznymi kombináciami na strane nezávislých premenných. Postup analýzy bol identický s postupom uvedeným pri už skúmaných modeloch. Cieľom bolo získanie modelu, v ktorom by bola závislosť medzi strednou súradnicovou chybou m_{xy} a ostatnými faktormi čo najtesnejšia a zároveň sme sledovali minimalizáciu vstupov. Pri zistení javu multikolinearity bolo našou snahou ju oslabiť a až následne sme sa rozhodovali pre vylúčenie jednotlivých nezávislých premenných z modelu. Nezískali sme však model, ktorý by bol charakterizovaný výrazne vyššou hodnotou viacnásobného korelačného koeficienta v porovnaní s modelom závislosti m_{xy} od počtu satelitov amerického systému NAVSTAR GPS.

4. ZÁVER

Vykonaná regresná a korelačná analýza ukázala, že pri použití rýchlej statickej metódy v podmienkach lesných priesekov majú vplyv na dosahovanú presnosť pri určovaní priestorovej polohy bodov nasledovné faktory:

- počet observovaných družíc systému NAVSTAR GPS a ich konštelácia,
- počet observovaných družíc systému GLONASS a ich konštelácia,
- zakmenenie porastu,
- hrúbka $d_{l,3}$ a vzdialenosť tieniacej dreviny.

Najvýznamnejší je pozitívny vplyv faktora počtu satelitov amerického GNSS. Vplyv ruského GLONASSu bol pri zvolenej metóde merania v podmienkach lesného prieseku negatívny a zanedbateľný pri meraniach na voľnom priestranstve.

Po konštrukcii pásov spoľahlivosti predikcie strednej súradnicovej chyby m_{xy} je možné urobiť jej odhad pre budúce meranie v závislosti od uvažovaného faktora, resp. skupiny faktorov. Potrebné je najprv určenie prakticky upotrebitelného regresného modelu, pri ktorom je treba riešiť problém multikolinearity niektorých uvažovaných faktorov (zakmenenia, zápoja a percenta viditeľnej oblohy), resp. ich redundanciu. Riešenie problematiky si vyžaduje ďalší výskum, v ktorom by bola skúmaná zvolená metóda s dlhšou observačnou dobou, nakoľko pri dlhších observáciách sa dosahujú lepšie výsledky a je predpoklad získania regresného modelu s väčším praktickým využitím.

V podmienkach voľného priestranstva boli pri zvolenej metóde merania dosiahnuté výsledky vyhovujúce kritériám 4. triedy presnosti mapovania ($u_{xy} = 0,26$ m, $u_v = 0,18$ m) požadovanej katastrálnym zákonom pre mapovanie extravilánu obcí pri 15° a 20° výškovom filtri. Pre prax možno odporučiť 15° nastavenie výškového filtra, nakoľko pri ňom boli dosiahnuté lepšie výsledky. Pri 10° nastavení bola dosiahnutá 3. trieda presnosti mapovania len v horizontálnej polohe, kritérium $u_v = 0,12$ m nebolo dodržané. Uvedená metóda teda spĺňa kritériá kladené 3. triedou presnosti mapovania len v prípade polohopisného mapovania.

V podmienkach lesného prieseku nebola dosiahnutá ani 5. trieda presnosti mapovania bez ohľadu na použitý družicový systém a výškový filter. Dosiahnutá presnosť je však vyhovujúca pre zameriavanie ostatného lesného 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.

Na základe uvedených výsledkov možno uviesť pre praktické využitie v podmienkach lesných priesekov nasledujúce odporúčania:

- nepoužívať pri aplikácii rýchlej statickej metódy s 3 min. dobou observácie ruský GNSS GLONASS,
- nastavovať nižšiu hodnotu výškového filtra (10°),
- využívať nižší interval registrácie dát (1–3 sekundy) počas merania,
- pristupovať k dlhším časovým observáciám, pri ktorých je predpoklad spoľahlivejšieho vyriešenia ambiguit a teda presnejšieho určenia geodetickej polohy bodov,
- nebudovať bodové polia v blízkosti drevín s veľkou hrúbkou $d_{1,3}$,
- pristupovať k plánovaniu meraní, vyhýbať sa meraniu medzi 11.00–14.00 hod, kedy je v podmienkach Slovenska na oblohe najmenej družíc amerického systému NAVSTAR GPS.

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.

Podakovanie

Príspevok vznikol vďaka finančnej podpore v rámci riešenia vedeckého projektu VEGA MŠ SR a SAV č. 1/0560/09 s názvom „Racionalizácia lesníckeho mapovania“ na Katedre hospodárskej úpravy lesov a geodézie Lesníckej fakulty TU vo Zvolene.

Literatúra

1. BÖHM, J. – RADOUCH, V. – HAMPACHER, M.: Teorie chyb a vyrovnávací počet. Praha: Geodetický a kartografický podnik Praha, s. p., 1990. 416 s. ISBN 80-7011-056-2.
2. FAŠKO, M.: Meranie hraníc lesných porastov statickou metódou merania GNSS. In: Aktuálne problémy lesníckeho mapovania: Zborník referátov. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2007. s. 82–92.
3. Firemná literatúra pre prístroje TOPCON HIPER GGD a TOPCON GPT 3002.
4. Inštrukcia na práce v polohových bodových poliach. Bratislava: Úrad Geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, 1994. 110 s.
5. MELUŠ, J.: Vplyv lesného prostredia na presnosť pri meraniach GNSS. In: Aktuálne problémy lesníckeho mapovania: Zborník referátov. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2007. s. 61–73.
6. RAPANT, P.: Družicové polohové systémy. Ostrava: VŠB– TU Ostrava, 2002. 200 s. ISBN 80-248-0124-8.
7. SCHEER, L. – SEDMÁK, R.: Biometria. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2007. 334 s. ISBN 978-80-228-1723-3.
8. STN 73 0415: Geodetické body.
9. Uživatelské manuály softvérov PC – CDU a Topcon Tools.
10. Zelená správa. Bratislava: Ministerstvo pôdohospodárstva Slovenskej republiky, Zvolen: Národné lesnícke centrum – Lesnícky výskumný ústav, 2009. 147 s. ISBN 978-80-8093-093-6.
11. ŽIHĽAVNÍK, Š. – MELUŠ, J.: Využitie GNSS pri lesníckom mapovaní – Utilization of GNSS at forest mapping. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2009. 77 s. ISBN 978-80-228-2013-4.

Adresa autorov:

Bc. Peter Kamenský

Prof. Ing. Štefan Žihlavič, CSc.

Katedra hospodárskej úpravy lesov a geodézie, Lesnícka fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

e-mail: kamensky3@gmail.com

e-mail: zihlav@vsld.tuzvo.sk

Možnosti využitia statickej metódy GNSS pri lesníckom mapovaní

Abstrakt

Použitie technológie globálnych navigačných satelitných systémov zvyšuje efektivitu a ope-ratívnosť geodetických terénnych prác. Predmetom výskumu tejto práce je aplikácia rýchlej statickej metódy s 3-minútovou observačnou dobou v podmienkach voľného priestranstva i lesného porastu. Ukázalo sa, že zvolená metóda s veľmi krátkou observačnou dobou plne postačuje pre mapovanie na voľnom priestranstve v prípadoch, kde je požadovaná 4. trieda presnosti katastrálneho mapovania ($u_{xy} = 0,26$ m, $u_v = 0,18$ m). V prípade polohopisného mapovania spĺňa na voľnom priestranstve kritériá kladené 3. triedou presnosti mapovania ($u_{xy} = 0,14$ m). V podmienkach lesných

prieškov je vhodná pre mapovanie lesného detailu, ktorý nie je podkladom pre tvorbu základnej lesníckej mapy, mapovanie ktorého spadá do 2. a 3. kategórie presnosti podľa Štandardu digitálneho mapového diela s obsahom lesného hospodárstva. Po prevedení regresnej a korelačnej analýzy sme dospeli k poznatku, že najvýznamnejším faktorom vplyvujúcim na výslednú presnosť určenia polohy je počet pozorovaných satelitov systému NAVSTAR GPS, ďalším relevantným faktorom je zakmenenie porastu. Po zostrojení pásov spoľahlivosti predikcie je možné urobiť odhad budúcej dosiahnutej strednej súradnicovej chyby v závislosti od uvažovaných faktorov merania (napr. počet satelitov amerického systému).

Kľúčové slová: lesnícke mapovanie, GNSS, rýchla statická metóda

ŤAŽBOVÁ ÚPRAVA LESA VO VYBRANEJ KALAMITNEJ OBLASTI

Milan MACHANSKÝ – Anton ŽÍHLAVNÍK

Machanský, M., Žihlavič, Š.: Forest cut regulation in selected forest dieback area. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 199–220.

The paper presents practical aspects of forest cut regulation on a selected example of forest property in the area affected by forest dieback. Its main objective is to investigate forest condition and its development under active influence of harmful agents. The fundamental objective of forest cut regulation in the selected area of forest dieback is to estimate removal of losses and harmonise incidental and planned felling volumes to ensure sustainability of forest and stability of its production.

Colour and infrared aerial images were combined with terrestrial investigation to obtain comprehensive data for the analysis of current forest condition. Gathered data were processed using GIS, remote sensing and biometric methods. In the second step the outputs were combined with reviewed data on realised felling and updated imagery sequence to calculate forest dieback percentage for particular age classes in the selected area. Average and current percentages deducted from growing stock of particular age classes were used to estimate short- and medium-term trends in incidental felling.

The obtained results indicate correlation between the intensity of harmful agents and age, development stage and exposition of investigated forest stands. Owing to the size of the area, air pollution loads and mass dieback of spruce other factors such as site characteristics, percentage of spruce in a particular stand, pollution zone, etc. did not manifest their influence. In the monitored 5-year period the intensity of bark beetle attacks significantly grew – up to 41% of spruce stock died back in the monitored period. The pest substantially increased the volume of felling realized in the selected area when the total allowable cut was exceeded by 136%. The detailed analysis of collected empiric data provided a realistic 5-year projection of forest dieback progress.

The paper presents a detailed, stand condition based method of forest reconstruction which put the total felling volume of pest affected tree species at 85 thousand cubic metres as opposed to upper felling limit of some 18.6 thousand cubic metres resulting from a traditional deduction method. The difference between the two figures indicates an unrealistic nature of the deduction method results. As a result, an alternative deduction method of forest reconstruction in the selected dieback area was proposed. This method determines the upper limit of the allowable cut using comparative optimization which readily incorporates predicted future volume of dieback into the deduction of allowable cut. The result of the deduction of felling possibilities is 88 thousand cubic metres of timber, thrice the volume originally planned.

The method, which is not based on the currently enforced detailed investigation of forest stands results of which have been associated with the artificial reduction in rotation periods, considers felling in stands below the age of full maturity (regeneration age) premature. The results of our research have largely confirmed limited effectiveness of preventive forest protection measures as well as untimely forest protection itself, subject to complete failure in some areas. Hence alternative approaches should be sought to protect integrity of forests at risk. One of

them is to implement management practices enhancing vitality and resilience of forests in dieback areas through supporting natural regeneration, diverse spatial structure and forest biodiversity.

To conclude it is possible to say that forest cut regulation has proven itself as instrumental in optimizing exploitation of timber production particularly with respect to forest ecosystem adaptation to changing conditions of the environment. This approach proves critical in areas affected by forest dieback.

Translated: Ing. Z. Kmeťová

Keywords: forest cut regulation, forest dieback, incidental felling, deduced allowable cut, forest reconstruction

1. ROZBOR PROBLEMATIKY A CIEĽ PRÁCE

Ťažbovú úpravu lesa môžeme všeobecne charakterizovať ako súbor poznatkov a postupov na odvodenie a určenie výšky obnovnej a výchovnej ťažby (etátu) na plánovacie obdobie v rámci základnej jednotky pre ťažbovú úpravu lesa samostatne pre kategóriu a tvar lesa (ŽIHLAVNÍK 2008). Takouto základnou jednotkou v súčasnosti je lesný celok.

Optimálne využívanie lesa je jednou z najdôležitejších úloh lesného hospodárstva. Pri starostlivosti o les platí základný princíp trvalosti lesa. V súčasnosti menej preferovaná vyrovnanosť ťažby, ktorá síce môže v odôvodnených prípadoch prinášať ekonomickú stratu, ale s ohľadom na zlepšenie štruktúr lesa a ďalšie plánovanie, je odporúčaným princípom pri využívaní drevnej produkcie lesa.

V dôsledku uplatňovania jemnejších hospodárskych spôsobov sa v súčasnom lesnom hospodárstve požaduje, aby ťažbová úprava lesa zaistila nielen vyrovnanosť a trvalosť ťažby, ale aby vytvorila v lesných porastoch aj podmienky pre sústavné zvyšovanie ich produktívnosti, či už zmenami druhového zloženia, alebo úpravou priestorových vzťahov porastových zložiek, zvyšovaním produkčnej schopnosti a miery využitia porastového zloženia ako aj zvyšovaním stability lesných porastov (ŽIHLAVNÍK 2008).

Na základe dlhého produkčného obdobia a rôznorodosti prírodných, ekonomických a technických podmienok, existuje pre lesný ekosystém aj množstvo rizík. Lesné hospodárstvo musí riešiť nielen produkčné a ekonomické ciele, ale aj ciele stability a trvalosti lesa. Tieto sa zakladajú na vytvorení zásobových rezerv, ktoré môžu byť použité v krízovom období. Prejavuje sa to vo voľbe drevín a zabezpečení lesných porastov proti ohňu a iným škodlivým činiteľom (VON GADOW 2005).

Využitie veľkej rôznorodosti možností vývoja lesa patrí medzi rozhodujúce úlohy hospodárskej úpravy lesov (HÚL) a vo vzťahu k optimálnemu využívaniu zásob drevnej hmoty je aj dôležitou úlohou ťažbovej úpravy lesa.

Teória ťažbovej úpravy lesa vznikla súčasne s hospodárskou úpravou lesa. Vyjadrovala pranie vlastníka lesa na také usporiadanie výnosu, ktoré by odpovedalo jeho potrebám. V dôsledku toho sa aj chápanie ťažbovej úpravy lesa v priebehu vývoja hospodárskej úpravy menilo (ŽIHLAVNÍK 2008).

Počas vývoja HÚL vzniklo mnoho metód a spôsobov, pomocou ktorých sa jednotliví autori snažia riešiť problematiku ťažbovej úpravy. Ich spoločným cieľom je zisťovať ťažbové možnosti v porastoch upravovanej skupiny a prostredníctvom vhodne zvolených

ťažbových ukazovateľov a rozboru stavu porastov navrhnúť čo najoptimálnejšiu výšku ťažby (ŽIHĽAVNÍK, BAHÝL 2009).

Ťažbová úprava lesa rieši vzťah zásoba – prírastok – ťažba. Cieľom ťažbovej úpravy lesa je teda stanovenie takej výšky ťažby a jej rozloženia, aby sa prírastok zvyšoval, a to pri plnení všetkých piatich základných princípov dlhodobého rozvoja lesného hospodárstva – trvalosti, optimálneho plnenia verejnoprospešných a produkčných funkcií, stability, ekologizácie a hospodárnosti (GREGUŠ 2008).

Trendy vývoja náhodných ťažieb v kalamitných oblastiach podľa hlavných skupín škodlivých činiteľov boli v rokoch 1999–2003 nasledovné (ZÚBRÍK a VARÍNSKY, 2004 ex ŠEBEŇ a kol., 2009):

- V súlade s celoslovenským priemerom poklesol objem imisných náhodných ťažieb (z cca 300 tis. na 200 tis. m³ ročne);
- Napriek celoslovenskému poklesu stúpol objem vetrových kalamít (z cca 300 tis. na 700 tis. m³ ročne), a to najmä v oblastiach Tatry a Spiš;
- V súlade s celoslovenským priemerom významne stúpol objem náhodných ťažieb spôsobených hubovými patogénmi (z cca 40 na 120 tis m³ ročne), a to najmä v oblasti Kysuce – Orava;
- V súlade s celoslovenským priemerom na relatívne vysokej úrovni osciloval objem podkôrníkových kalamít (cca 200–300 tis. m³ ročne).

Po vetrovej kalamite z 19. novembra 2004, ktorej dôsledkom bolo 5,3 mil. m³ kalamitnej hmoty a zvýšenie atraktívnosti poškodených porastov najmä pre podkôrny hmyz, len náhodné ťažby SM presahujú ročne 3 mil. m³, čo je viac ako 70 % celkovej ročnej ťažby ihličnatých drevín (tabuľka 1).

Tab. 1 Spracovaná náhodná ťažba v roku 2006–2008 pre vybrané škodlivé činitele (Zelená správa)
Tab. 1 Incidental felling by selected harmful agents 2006–2008 (Green Report)

rok	vietor	podkôrny a drevokazný hmyz	sneh	huby	imisie
2006	1 684 tis. m ³	1 185 tis. m ³	460 tis. m ³	345 tis. m ³	214 tis. m ³
z toho SM	73 %	98 %	87 %	86%	89 %
2007	1 943 tis. m ³	2 025 tis. m ³	93 tis. m ³	236 tis. m ³	170 tis. m ³
2008	2 331 tis. m ³	2 827 tis. m ³	20 tis. m ³	275 tis. m ³	89 tis. m ³

Na optimálne využívanie zásob dreva na Slovensku má v súčasnosti najväčší vplyv práve odumieranie smrečín. Podiel náhodných ťažieb sa z roka na rok neúmerne zvyšuje, čo má za následok, že vznikajú problémy pri vykonávaní plánovaného obhospodarovania lesa.

Dochádza k odkladu realizácie úmyselných obnovných ťažieb a výchovných ťažieb, prestarnutiu niektorých porastov, zhoršovaniu hygieny, zdravotného stavu a stability porastov, skracovaniu obnovnej doby, vytváraniu nevhodných a niekedy až extrémnych vekových štruktúr. Výskyt náhodných ťažieb a s ním vznikajúce problémy sú súčasťou

nielen rubných, ale aj rubne nezrelých (vychovávaných) porastov. Na niektorých lesných celkoch v kalamitných oblastiach už v 4. až 5. roku platnosti lesných hospodárskych plánov dochádza k dosiahnutiu plánovaných 10 ročných etátov a následne je potrebné riešiť využívanie lesa v ďalšom 5 ročnom období.

V mnohých kalamitných oblastiach vznikajú problémy so zabezpečovaním princípu trvalosti lesa. Najvýraznejšie sa prejavujú v neprístupných oblastiach na hornej hranici lesa. Na tieto problémy aktuálne reaguje ťažbová úprava lesa a hospodársko-úpravnícke plánovanie, ktoré musí odrážať dynamiku škodlivých činiteľov vo vopred stanovenom časovom a priestorovom rámci. Zisťovanie stavu lesa a plánovanie má práve v kalamitných oblastiach oveľa väčší význam ako na lesných celkoch bez výrazného permanentného vplyvu škodlivých činiteľov. Plánovanie hodnotnej obnovy, výchovy a ochrany lesa je práve v týchto oblastiach zárukou jeho stability a trvalosti.

Ťažbová úprava lesa v kalamitných oblastiach musí venovať prednostne pozornosť otázke: Ako zasiahne vývoj kalamitných ťažieb resp. permanentné pôsobenie škodlivých činiteľov do vzťahu zásoba – prírastok – ťažba.

Cieľom tejto práce je zdefinovať časovú a priestorovú potrebu riešenia náhodných ťažieb pri plánovanom obhospodarovaní lesa a predstaviť možné alternatívy v riešení ťažbovej úpravy lesa v kalamitných oblastiach.

2. PODKLADOVÝ MATERIÁL

Na základe kontinuity zisťovaní a aktuálnej potreby praxe bolo vybrané modelové územie v lesnej oblasti Volovské vrchy s výmerou 2 265 ha. Ochranné lesy tvoria 345 ha (15 %) a hospodárske lesy 1 920 ha. Na území sa nachádza pásma ohrozenia imisiami B (467 ha) a C (1 218 ha). Spolu 1 685 ha, čo predstavuje 74 % celého záujmového územia.

Približne 65 % hospodárskych lesov tvoria porasty s prevahou SM, kde rovnorodé smrečiny (so 100 % zastúpením SM) predstavujú až 322 ha. Vo veľkom množstve je zastúpená aj JD, ktorá dosahuje podobne ako BK celkové plošné zastúpenie cca 20 %. Porasty s prevahou listnatých drevín tvoria cca 20 % (v ochranných lesoch len 15 %).

Územie sa nachádza v 5. lesnom vegetačnom stupni (85 %) a 6. lesnom vegetačnom stupni (15 %) s dominanciou HSLT 511 (44 %).

Veková štruktúra a štruktúra zásob hospodárskeho lesa je uvedená v tabuľke 6 (časť LHP). Priemerná hektárová zásoba je 246 m³, z toho 135 m³ tvorí SM.

Veková štruktúra hospodárskych lesov je vyjadrená indexom zhody s normálnym zastúpením 0,746. Skutočné zastúpenie rubných porastov je poddimenzované o 30 %. Zastúpenie 1. a 2. vekového stupňa (VS) naopak prekračuje normálne zastúpenie až o 63 %, z čoho možno dedukovať vysoké ťažby v posledných dvoch desaťročiach.

Porastové plánovanie bolo vykonané k termínu 1. 1. 2003. Z plánovaných porastových úloh predstavuje v hospodárskych lesoch sumárna obnovná ťažba 49 500 m³ (z toho imisná 3 000 m³) a sumárna výchovná 4 000 m³ (z toho imisná 3 500 m³). Obnovná ťažbová plocha predstavuje 114 ha, čo je 30 % výmery rubných porastov. Zhodnotenie výšky ťažby pomocou zákonných ťažbových ukazovateľov preukázalo vyššie možnosti

ťažby (tabuľka 2) ako aj vyššiu možnú výmeru ťažbovej plochy v súvislosti s normálnym zastúpením 1. VS (175 ha).

Tab. 2 Dedukcia ťažbových možností hospodárskeho lesa na obdobie 2003–2012
Tab. 2 Deduction of felling potential in commercial forests 2003–2012

RD	OD	Výmera (ha)	PRP (m³)	1/20 (m³)	1/30 (m³)	ŤP (m³)	EŤP (m³)	Zásoba rubných porastov (m³)	Výmera rubných porastov (ha)	Normálna výmera rubných porastov (ha)
100	30	307	14 569	3 604	12 670	4 836	5 402	7 209	13	93
100	40	298	12 141	10 230	11 332	11 686	9 878	29 665	70	74
110	30	298	11 500	10 864	9 669	8 821	8 670	21 777	51	80
110	40	632	25 039	44 650	40 347	54 507	42 411	91 651	196	142
120	30	174	5 729	4 690	7 054	4 052	5 433	9 380	26	43
120	40	211	6 905	4 359	5 985	9 827	6 184	10 953	25	46
priemer		spolu								
109	36	1 920	75 883	78 397	87 057	93 729	77 978	170 635	381	478

3. METODIKA A POSTUPNOSŤ PRÁCE

Metodika práce pozostáva z dvoch na seba nadväzujúcich metodických postupov pre strednodobé prognózovanie kalamity a stanovenie ťažbových možností lesa.

Predpokladom kvalitnej strednodobej prognózy kalamitnej ťažby (5 až 10 rokov) je aktualizácia stavu lesa a sledovanie časových a priestorových trendov aktivity škodlivých činiteľov, poškodzovania a odumierania lesa.

Pri aktualizácii stavu lesa sa využili aktuálne letecké snímky. Vyhodnotením odkrytých a preriedených plôch sa aktualizovali plochové zmeny až na úroveň porastovej skupiny. S využitím údajov evidencie realizovaných ťažieb sa zhodnotil dôvod lesopestovných zásahov (náhodná, úmyselná ťažba) a v prípade nezrovnalosti evidencie, starších inventarizačných údajov, došlo k ich oprave.

Pre aktualizáciu zastúpenia drevín v porastoch boli využité farebné a infračervené letecké snímky. Odhad skutočnej zásoby v poraste V_s bol vypočítaný na základe vzťahu, kde sa od pôvodnej zásoby porastu V_p odpočíta zásoba zodpovedajúca odkrytej ploche V_H a preriedeniu na zostávajúcej ploche porastu:

$$V_s = V_p - \left(P_H \cdot V/ha \right) - \left(P_R \cdot \left(1 - \frac{Z_s}{Z_p} \right) \cdot V/ha \right)$$

kde: P_H – výmera odkrytej plochy (holiny),

P_R – výmera preriedenej plochy (riediny),

Z_s – skutočné (odhadnuté – snímkové) zakmenenie porastu,

Z_p – pôvodné zakmenenie porastu,
 V/ha – pôvodná zásoba porastu na 1 ha.

Zásoba preriedenej plochy V_R sa upraví opravným koeficientom zakmenenia.

Na základe aktualizácie stavu lesa pomocou leteckých snímok, údajov o realizovaných ťažbách v ročných intervaloch (L 146), hlásení o výskyte škodlivých činiteľov (L 116) a súčasnej aktivity škodlivých činiteľov sa vytvoril trend kalamity len pre poškodzovanú drevinu.

Keďže je predpoklad závislosti poškodzovania a odumierania porastov (dreviny) od ich veku a rastovej fázy, vypracovala sa analýza náhodných ťažieb drevín po vekových stupňoch (so zohľadnením škodlivých činiteľov, zastúpenia dreviny a stanovištných pomerov). Vypočítali sa relatívne podiely náhodných ťažieb zo zásoby poškodzovanej dreviny vo vekových stupňoch v ročných intervaloch a za celé obdobie (s evidovaním nespracovanej kalamity).

Relatívne vyjadrenie náhodnej ťažby vo vekovom stupni zo zásoby vekového stupňa na začiatku desaťročia (päťročia), označené ako priemerné kalamitné objemové percento $p_i\%$, vychádza zo sumárnych údajov ťažby a ochrany lesa za desaťročie alebo päťročie. Uplatňuje sa v prípade rovnakého dlhodobého trendu odumierania a poškodzovania dreviny.

$$p_i \% = \frac{NT_{0i}}{V_{0i}}$$

kde: NT_{0i} – výška náhodnej ťažby (m^3) vo vekovom stupni i pre drevinu za minulé desaťročie (päťročie),

V_{0i} – zásoba vekového stupňa i na začiatku desaťročia (päťročia).

Relatívne vyjadrenie náhodnej ťažby vo vekovom stupni z aktuálnej zásoby vekového stupňa, označené ako aktuálne kalamitné objemové percento $a_i\%$, vychádza z údajov ťažby a ochrany lesa za jeden rok. Uplatňuje sa v prípade, ak trend vývoja škodlivých činiteľov nadobúda optimistickejší resp. pesimistickejší scenár. V prípade veľkého množstva vzniknutej a nespracovanej kalamity môže vychádzať aj z obdobia 2 rokov (ako ročný priemer).

$$a_i \% = \frac{NT_{xi}}{V_{xi}}$$

kde: NT_{xi} – výška náhodnej ťažby vo vekovom stupni i pre drevinu za rok x ,

V_{xi} – aktualizovaná zásoba dreviny vo vekovom i stupni pre rok x .

Pre prognózu náhodných ťažieb je významné nielen objemové vyjadrenie, ale aj plochové % vyjadrenie náhodnej ťažby. Keďže plochové kalamitné percento pri znížení zakmenenia (preriedené plochy) sa neuvádza, ide o kalamitné plochové % s ťažbovou plochou (kalamitné medzery a holiny).

Podstatným pre ohrozenie lesa a naliehavosť rekonštrukcie sú trendy určené práve kalamitným percentom z holín resp. odkrytých plôch. Pri výpočte týchto percent je vhodné

aplikovať metódy DPZ ako napr. ročné alebo viacročné porovnávanie a vyhodnocovanie zmien zdravotného stavu lesa zo satelitných snímok (BUCHA 2009).

Kalamitné percentá za uplynulé obdobie sú vhodným základom pre objektívnu prognózu náhodných ťažieb v rámci deduktívnych metód ťažbovej úpravy lesa.

Induktívne metódy sú založené na zhodnotení aktuálneho poškodenia lesa s vylišením pásiem (zón) ohrozenia antropickými alebo biotickými činiteľmi pre plánovanie rekonštrukcií.

Stupeň poškodenia bol vyhodnocovaný pre jednotlivé porasty na základe infračerveného spektra leteckých snímok. Vytvorenie stupnice poškodenia pre interpretáciu infračervených snímok sa realizovalo na základe terénneho zisťovania na vybraných vzorkách v závislosti od druhu dreviny, vekového a rastového stupňa. Na základe vytvorenej vizuálnej škály pre poškodenie dreviny v príslušnom rastovom stupni boli jednotlivé porasty zaradené do stupňa poškodenia 1–3 (ŠEBEŇ a kol., 2009): 1. neporušený zápoj a defoliácia < 30 %; 2. porušený zápoj (prevažujú trhliny do 0,01 ha) alebo defoliácia 30–60 %; 3. otvorený zápoj (prevažujú medzery nad 0,01 ha) alebo defoliácia > 60 %. Pri aktuálnom poškodení lesa sa okrem defoliácie zohľadňovali aj trhliny a medzery vzniknuté pôsobením škodlivých činiteľov.

V súvislosti s poškodením sa vykonal aj odhad stojacej kalamity, a to v preriedených a starších porastoch metódou spočítavania stromov, a v mladších a hustejších porastoch výpočtom na základe odhadnutého plošného rozsahu kalamity a hektárovej zásoby porastu.

Na základe zaradenia porastu do príslušného stupňa poškodenia sa stanovil stupeň ohrozenia porastu a stupeň naliehavosti rekonštrukcie lesa. Stupeň ohrozenia lesa bol aktualizovaný na základe vhodnosti drevinového zloženia, výstavby porastu, sanitárneho kvocienta (stupňa poškodenia) a stanovištnej dispozície (Pracovné postupy HÚL 2008, Prílohy I.). Tabuľka 3 na základe uvedených kritérií stanovuje stupne naliehavosti rekonštrukcie lesa: V – vysoká naliehavosť rekonštrukcie – neodkladné vykonanie do 5 rokov; S – stredná naliehavosť rekonštrukcie – odklad rekonštrukcie o 5 až 10 rokov; N – nízka naliehavosť rekonštrukcie – do 10 rokov nie je potrebná.

Tab. 3 Stupeň naliehavosti rekonštrukcií (ŠEBEŇ a kol. 2009)

Tab. 3 Degree of forest reconstruction urgency (ŠEBEŇ *et al.* 2009)

stupeň ohrozenia lesa	stupeň poškodenia				
	3, 4	2		1	
	zóna biotického ohrozenia				
	ABC	A	BC	A	BC
1 – nízke ohrozenie	V	S	S	N	N
2 – stredné ohrozenie	V	V	S	S	N
3 – vysoké ohrozenie	V	V	V	S	S
4 – kritické ohrozenie	V	V	V	V	S

Plánovanie rekonštrukcií umožňuje obnovu ohrozených (aj nezrelých) porastov a slúži k ťažbovej regulácii lesného majetku (induktívny prístup). Na základe dynamiky škodlivých činiteľov sa v kalamitných oblastiach neodporúča opatrný prístup pri rekonštrukciách lesa tzn. nenavrhovať len spracovanie kalamity, ale systematicky pôsobiť plánovaním ťažby aktívnych chrobačiarov.

Návrh rekonštrukcie lesa bol spojený s odhadom objemu ťažby SM (kalamitnej dreveniny) podľa JPRL na obdobie ďalších 5 rokov. Ide o induktívny návrh s využitím kombinácie priamych zisťovaní s metódami DPZ.

Induktívny návrh rekonštrukcií sa vyrovnáva trendom kalamity v rámci dedukcie celkovej výšky ťažby.

Prognóza náhodnej ťažby sa stanovuje len pre ohrozenú drevinu resp. skupinu drevín. Prognózuje sa výška náhodnej ťažby (spolu v rubných a predrubných porastoch) podľa priemerného kalamitného % ($p_i\%$ – alternatíva I.) alebo podľa aktuálneho kalamitného % ($a_i\%$ – alternatíva II.).

Alternatíva I.:

$$K_i = V_i \cdot p_i\% \cdot n$$

Alternatíva II.:

$$K_i = V_i \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{a_i\%}{100} \right)^n \right]$$

kde: K_i – kalamita v i -tom vekovom stupni prognózovaná na n rokov,

V_i – zásoba i -tého vekového stupňa na začiatku prognózovaného obdobia,

n – dĺžka prognózovaného obdobia.

Pre stanovenie ťažbových možností lesa a riešenie ťažbovej úpravy lesa je potrebné poznať odhad kalamitnej ťažby so zohľadnením súčasného stavu nespracovanej kalamity, ktorá sa pri kalkulácii zákonných ťažbových ukazovateľov odpočítava zo zásoby porastov - ako neperspektívna zásoba, na ktorej sa nevytvára prírastok.

V rámci riešenia ťažbovej úpravy lesa prechádza výmera odkrytých plôch a plocha so stojacimi suchármi (zakmenenie žijúcich alebo perspektívnych jedincov je do 0,05) do 1. VS a preriedené plochy zostávajú v pôvodných VS. V prípade etážových porastov je presun možný do VS spodných etáží.

Kalkulácia ťažbových ukazovateľov sa vykoná spolu s návrhom výchovných ťažieb osobitne podľa drevín (skupín drevín) s rešpektovaním prírastkových pomerov v kalamitných oblastiach.

Následne sa v dedukcii zohľadní prognóza náhodnej ťažby len poškodzovanej dreveniny. Pri ostatných drevinách, pri ktorých sa vyskytuje náhodná ťažba malého rozsahu alebo nie je permanentná, sa prognóza neuplatní. Zpracovanie prognózy kalamity bude riešené komparatívnou optimalizáciou len pre poškodzovanú drevinu (skupinu drevín) s ohľadom na objem ťažby vo vzťahu k výchove a obnove lesa.

Na základe kalamitného percenta vo vekovom stupni (VS_i) sa vypočíta prognóza náhodnej ťažby čiže kalamita K_i . Hodnota ťažbového ukazovateľa TU_i vo VS_i poškodzovanej drevinu sa posúdi vo vzťahu k vypočítanej kalamite.

V prípade, že hodnota TU_i je vyššia alebo rovná hodnote vypočítanej K_i , táto hodnota zostáva pre drevinu vo VS nezmenená. V opačnom prípade (TU_i je nižší ako vypočítaná hodnota K_i) sa nahradí hodnotou K_i .

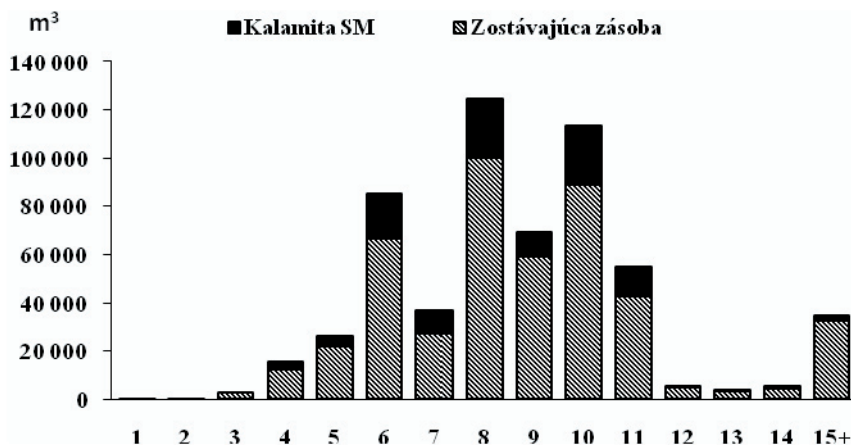
Toto porovnanie platí aj pre výchovnú ťažbu, kde hodnota prognózovanej ťažby drevinu po VS sa porovnáva s navrhnutou indukčnou ťažbou. V prípade, že vypočítaná hodnota K_i je vyššia ako indukčne (deduktívne) navrhnutá výchovná ťažba, nahradí sa touto hodnotou.

Vo VS so zastúpením rubných a predrubných porastov sa kalamita rovnomerne rozdelí podľa zásoby kalamitnej drevinu (SM) v skupine rubných porastov a v skupine predrubných porastov.

Deduktívne stanovenie výšky ťažby sa vzťahuje tak na výchovnú, ako aj obnovnú ťažbu s určením optimálnej hornej hranice celkovej ťažby dreva pre lesný celok s ohľadom na funkciu a spôsob obhospodarovania lesa.

4. DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

Na základe vykonanej aktualizácie zásob možno konštatovať, že stanovená celková výška ťažby 55 tis. m³ na obdobie 10 rokov (5,5 tis. m³ za rok) bola prekročená už v treťom roku.



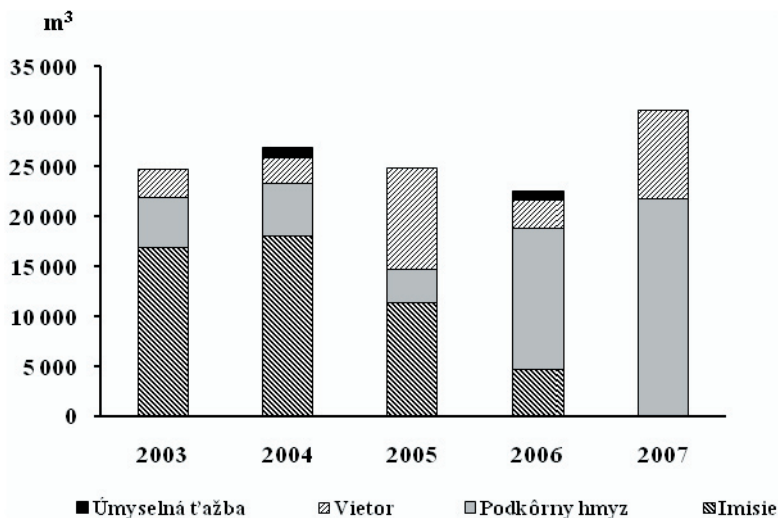
Obr. 1 Výška kalamitnej ťažby smreka z celkových zásob vekových stupňov

Fig. 1 Volume of salvage logging of spruce from total growing stock in particular age classes

Za obdobie piatich rokov došlo k prekročeniu celkovej ťažby o 136 %. Pri nezohľadnení prírastku bolo z celkovej zásoby odčerpané 23,4 % a zo zásoby smreka

41 %. Na obrázku 1 je znázornená náhodná ťažba SM z celkovej zásoby hospodárskych lesov.

Z obrázku 2 vyplýva, že hodnota náhodných ťažieb v roku 2007 prekračuje 30 tis. m³. Výška úmyselnej ťažby tvorí za celé obdobie len 1,6 % a realizovala sa len v rokoch 2004 a 2006.



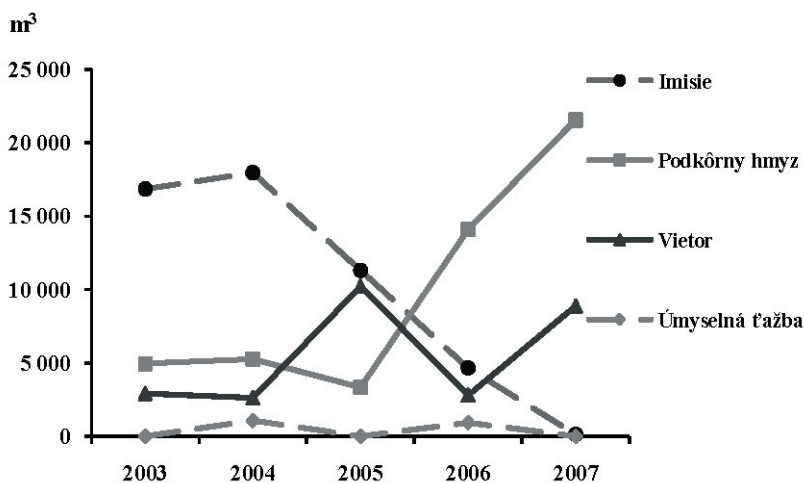
Obr. 2 Prehľad ročných celkových a náhodných ťažieb s konkretizáciou škodlivého činiteľa
Fig. 2 Overview of total and incidental annual felling by harmful agent

Zo zhodnenia vplyvu škodlivých činiteľov (obrázok 3) vyplýva, že počas päťročného obdobia aktivita podkôrneho hmyzu výrazne vzrástla a na území pod vplyvom imisií možno vylíšiť A zónu biotického ohrozenia, ktorú charakterizuje relatívna hodnota odumierania na jednom hektári redukovanej plochy kalamitnej dreviny za 5-ročné obdobie. Na hodnotenom území je to viac ako 50 %-né odumieranie smreka v A zóne, zostávajúce okolité porasty sa zaradili aj vzhľadom na malý polomer lesného celku do B zóny biotického ohrozenia.

Z podrobnej analýzy kalamitných percent vyplýva:

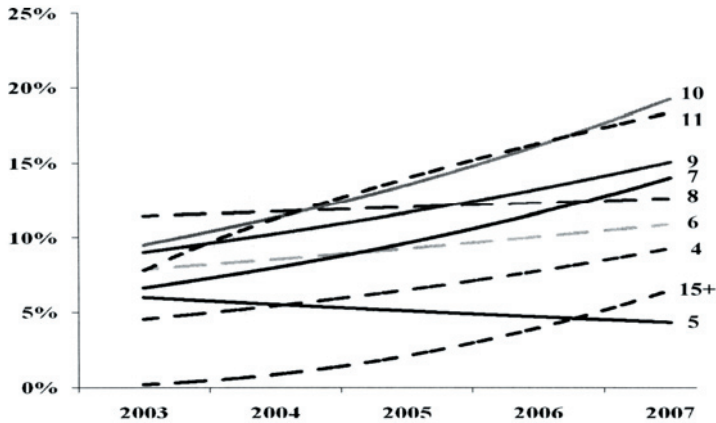
1. Vývoj objemových kalamitných % v predrubných VS so vznikom ťažbovej plochy naznačuje výrazný nárast objemu náhodných ťažieb, najmä vo väzbe na vznik kalamitných trhlín a medzier. Z úrovne cca 1 % objemu VS dosahuje po 5 rokoch výška náhodnej predrubnej ťažby 4 až 11 objemových % ročne za VS. Najvýraznejšie v 9. VS až 13,1 %.
2. V prípade plochových kalamitných % v predrubných VS je celkový trend stúpajúci. Z úrovne cca 2 % plochy VS dosahuje po 5 rokoch ročná výška náhodnej predrubnej ťažby 4 až 12 % plochy VS s výnimkou 4. a 5. VS. Výrazný prírastok kalamitných medzier a trhlín sa sledoval v 6. VS z úrovne 1,92 ha (v rokoch 2003–2005) nárast na 6,72 ha (rok 2006) a v roku 2007 až 11,32 ha.

3. Vývoj objemových kalamitných % v predrubných porastoch bez vzniku ťažbovej plochy, ktorý sleduje odstraňovanie jednotlivého hynúceho stromu má skôr vyrovnaný charakter. Pohybuje sa na úrovni 5 % ročne z objemu VS. Podstatný pokles tejto kalamitnej ťažby sa sledoval v 8. a 6. VS, a to z úrovne 4 504 m³ resp. 3 583 m³ až na hodnotu 1 350 m³ resp. 1291 m³ ročne. Zdôvodnenie tejto tendencie je skôr v zvyšovaní počtu ohnísk a plošného poškodzovania porastov.
4. Vývoj objemových a plochových kalamitných % v rubných porastoch možno jednoznačne zachytiť len v 10., 11. a 15. a starších VS, pretože zastúpenie SM porastov v 12., 13. a 14. VS je minimálne. Získané údaje z 10., 11. a 15. a starších VS možno využiť pri zovšeobecnení trendov v menej zastúpených rubných VS, ktoré pre prognózu kalamity nie sú až tak podstatné. Objem náhodných ťažieb za päťročné obdobie má vo všetkých VS kolísavý charakter s naznačením mierneho nárastu. Z vyrovnaného trendu možno dedukovať 5 % odumieranie v porastoch 15. a starších VS, ale až 20 % (aktuálne až 30 %) v 10. a 11. VS.
5. Vo väzbe na vznik kalamitných trhlín, medzier a holín má celkový vývoj kalamity v rubných porastoch, vyjadrený v absolútnych hodnotách, kolísavý charakter. V 11. VS sa vyrovnané hodnoty pohybujú priemerne na úrovni 6 až 8 ha a aktuálne 9,62 ha. Najväčší absolútny podiel plošnej kalamity v rubných porastoch je v 10. VS a to v absolútnom vyjadrení 8 až 14 ha ročne (za rok 2007 až takmer 19 ha). Trend plochových kalamitných % je výraznejší ako v prípade objemových kalamitných %.



Obr. 3 Výška náhodných ťažieb podľa škodlivých činiteľov a výška úmyselnej ťažby

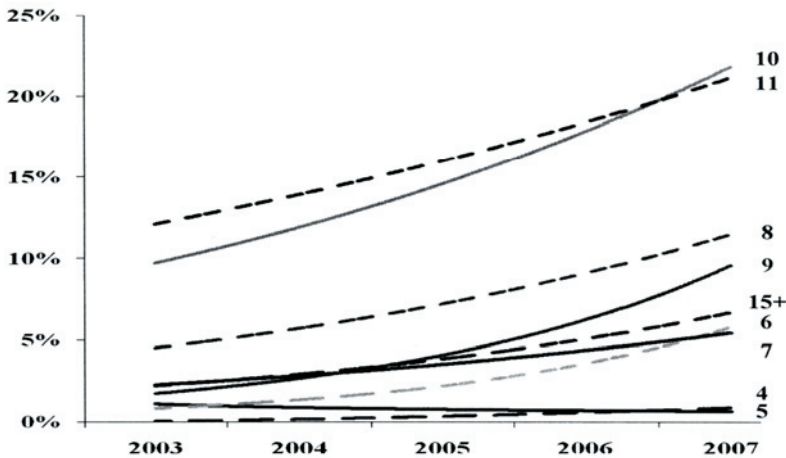
Fig. 3 Volumes of incidental felling attributed to particular harmful agents compared to intentional felling



Obr. 4 Aktuálne kalamitné percentá po vekových stupňoch v relatívnom objemovom vyjadrení zo zásoby kalamitnej dreviny smrek

Fig. 4 Current percentage of forest dieback by age class as relative volume of spruce growing stock

Z vyhodnotenia trendov plošnej a objemovej kalamity, vo vzťahu k jednotlivým vekovým stupňom (obrázok 4 a 5), je zrejme najvyššie poškodzovanie v 10. a 11. VS, a to na úrovni 20 % ročne zo zásoby a výmery (realistický variant). Rozdiel medzi vekovými stupňami sa najviac prejavil pri plošnej kalamite, kde v 8. a 9. VS sa dosiahla len úroveň 10 %.



Obr. 5 Aktuálne kalamitné percentá po vekových stupňoch v relatívnom plochovom vyjadrení z výmery kalamitnej dreviny smrek

Fig. 5 Current percentage of forest dieback by age class as relative area of spruce forest area

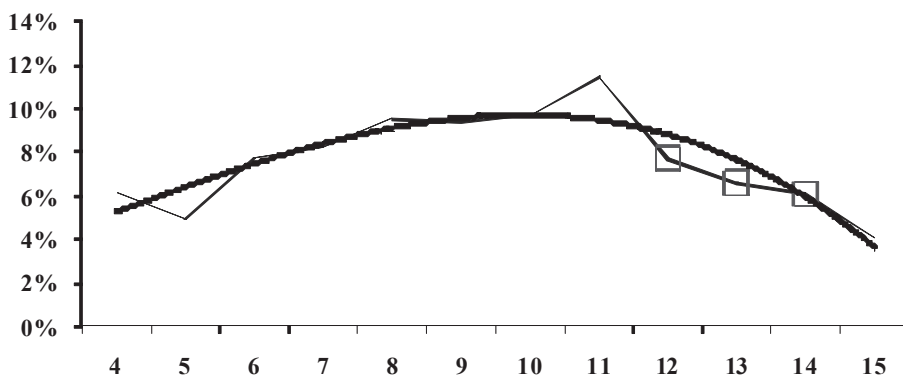
V rámci porovnania aktivity škodlivých činiteľov v jednotlivých rokoch (tabuľka 4) sa v rokoch 2003 až 2006 neprejavuje výrazný nárast objemu kalamitnej ťažby. Avšak pri plošnej kalamite dochádza k zmenám v podieli predrubnej a rubnej plošnej kalamity. Pomer v roku 2003 sa v nasledujúcich štyroch rokoch otáča v „prospech“ kalamitnej ťažby v rubne nezrelých porastoch. Zdôvodnením by mohla byť vyššia atraktivita porastov v 6. až 10. VS, čo sa naplno prejavilo v roku 2007, kde sa plocha kalamitných holín zdvojnásobila.

Tab. 4 Ročné údaje kalamitných plôch a vyťaženej kalamitnej hmoty

Tab. 4 Yearly figures on forest dieback area and removed timber volume

kalamitné medzery a holiny (ha)				kalamitná hmoty (m ³)					
				predrubné porasty					
rok	predrubné porasty	rubné porasty	spolu	rok	kalamita s plochou	kalamita bez plochy	spolu	rubné porasty	spolu
2003	9,32	24,30	33,62	2003	2 066	13 003	15 069	6 857	21 926
2004	14,55	16,54	31,09	2004	3 078	13 284	16 362	6 298	22 660
2005	24,74	12,06	36,80	2005	3 638	11 436	15 074	5 583	20 657
2006	21,18	13,60	34,78	2006	3 916	10 583	14 499	4 475	18 974
2007	44,81	21,70	66,51	2007	10 625	5 276	15 901	10 047	25 948

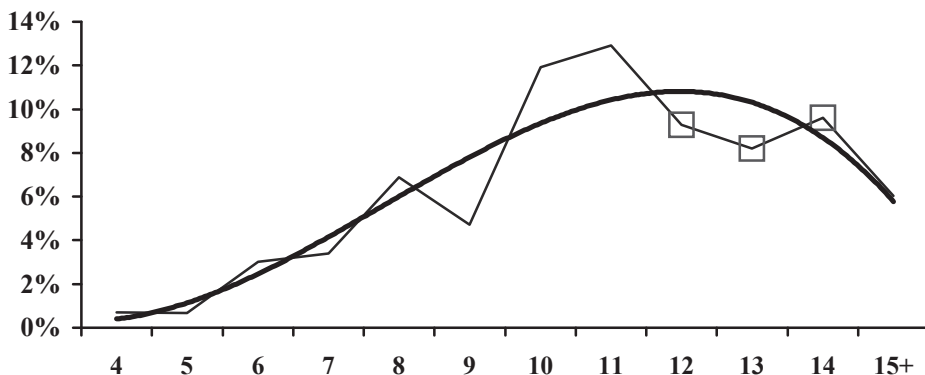
Vyrovnané krivky priemerných kalamitných percent na obrázkoch 6 a 7 potvrdujú rozdielne pôsobenie škodlivých činiteľov v závislosti od veku. Kalamita sa prejavuje už od 4. VS, ale výraznejšie vytváranie kalamitných trhlín, medzier a holín je až od 6. VS. Kulmináciu kriviek v tomto prípade nemožno jednoznačne potvrdiť vzhľadom na hodnoty v 12. až 14. VS, ktoré sú nedostatočne podložené empirickým materiálom.



Obr. 6 Priemerné kalamitné percentá (2003–2007) v relatívnom objemovom vyjadrení zo zásoby kalamitnej dreviny smrek vo vekovom stupni

Fig. 6 Average percentage of forest dieback as relative volume of spruce growing stock in particular age class 2003–2007

Okrem veku sa skúmal vplyv iných faktorov, ktoré môžu ovplyvňovať výšku náhodných ťažieb. Na danom území sa nepreukázal vplyv zastúpenia smreka v poraste. Smrek v porastoch so 100 % zastúpením je poškodzovaný rovnako ako v porastoch s iným zastúpením napr. 10 %. Výrazný vplyv stanovištných pomerov vyjadrených HSLT resp. ZHS sa nepreukázal, aj keď mierny pokles hodnôt (kalamitných plôch a objemu suchárov) vykazujú ochranné stanovištia.



Obr. 7 Priemerné kalamitné percentá (2003–2007) v relatívnom plochovom vyjadrení zo zásoby kalamitnej dreviny smrek vo vekovom stupni

Fig. 7 Average area percentage of forest dieback as relative area of spruce forest area in particular age class 2003–2007

A keďže sa nepreukázal ani vplyv imisného zaťaženia (pásma B, C ohrozenia imisiami) možno konštatovať, že v takto intenzívne poškodzovanej oblasti je pre atraktivnosť rozhodujúce kritérium veku, rastovej fázy a do určitej miery aj expozície, a to najmä južnej s pomednou orientáciou na východ.

Rozdiel medzi stavom lesa k 1. 1. 2003 určeným odpočtom evidencie ťažieb (ťažbových plôch) a skutočným stavom určeným aktualizáciou s využitím leteckých snímok (bez zohľadnenia prírastkov) bol $\pm 5\%$. Celkovo však stav po odpočte evidencie bol vyšší ako skutočnosť (rozdiel $-2,5\%$). Presnosť evidencie na tomto území bola dostatočne spoľahlivá pre určenie ročných sumárov pre stanovenie trendu náhodných ťažieb. Podiel nespracovanej kalamity po rokoch bol vyrovnaný a pohyboval sa na úrovni 1 000 m³/rok s výnimkou posledného roka 2007, kedy prekročil hodnotu 5 000 m³.

Na najbližších 5 rokov sa induktívne navrhlo (podľa metodiky) na rekonštrukciu takmer 85 tis. m³ SM (tabuľka 6), čo predstavuje takmer 320 ha výmery porastov.

Deduktívna prognóza kalamitnej ťažby SM na 5 rokov vypočítaná podľa priemerných objemových kalamitných percent predstavuje 63,5 tis. m³ (tabuľka 5). Prognóza podľa aktuálnych objemových kalamitných percent 77 tis. m³ (tabuľka 5).

Kalkulácia bola vykonaná osobitne pre drevinu smrek a osobitne pre ostatné drevinu z dôvodu zapracovania prognózy kalamity pri kalkulácii ťažbových ukazovateľov pre poškodzovanú drevinu (tabuľka 5). Pri výpočte bola zásoba aktualizovaná cez 5-ročný

prírastkový koeficient (druhá odmocnina 10-ročného koeficienta očakávanej zásoby), ale s vylúčením aktuálnej kalamitnej hmoty (sucháre). Pri kalkulácii nebol vykonaný posun porastov do vyšších VS z dôvodu zachovania kontinuity na výmeru pôvodných VS a s ohľadom na použitie kalamitných percent.

Výpočet bol realizovaný spoločne pre výchovu a obnovu lesa. Zohľadnenie prognózovanej kalamitnej ťažby sa týkalo aj predrubných porastov. Vo VS so zastúpením rubných a predrubných porastov sa kalamita rovnomerne rozdelila podľa zásoby SM v skupine rubných porastov a v skupine predrubných porastov.

V prípade, že uvažujeme s ťažbovým ukazovateľom ťažbové percentá podľa vekových stupňov a dĺžky obnovnej doby (ŤP) – výška ťažby SM bez aktuálnej nespracovanej kalamity (suchárov) predstavuje 18,6 tis. m³. Po zapracovaní prognózovanej kalamitnej ťažby už ide o hodnotu 83 tis. m³. Vzhľadom na extrémne odumieranie SM v tejto oblasti sú takmer všetky hodnoty $\dot{T}U_i$ nahradené hodnotami K_i . V tabuľke 5 je vypočítaná aj deduktívna výška ťažby ostatných drevín a ťažbový ukazovateľ ŤP je 33,8 tis. m³.

Celkovú deduktívnu ťažbu na najbližších 5 rokov možno charakterizovať súčtom deduktívnych hodnôt celkovej ťažby pre SM (83 tis. m³), ostatné dreviny (33,8 tis. m³) a aktuálnej nespracovanej kalamity (5 tis. m³). Táto hodnota 122 tis. m³ je hornou hranicou celkovej ťažby, s tým že pre drevinu SM je optimálna horná hranica celkovej ťažby 88 tis. m³. Z toho vyplýva ročný deduktívny etát 24,4 tis. m³ (16,6 tis. m³ pre SM).

Induktívne navrhnutá výška rekonštrukcií bez aktuálnej kalamity (79 775 m³) sa porovnala s dedukciou celkovej ťažby poškodzovanej dreviny (83 004 m³). Induktívny návrh by nemal presiahnuť deduktívnu výšku ťažby ako v tomto prípade.

Pri použití iného ťažbového ukazovateľa, napr. empirických ťažbových percent (EŤP), je deduktívna výška celkovej ťažby bez kalamity 17 220 m³, so zapracovaním prognózy kalamitnej ťažby 80 900 m³ a pri ostatných drevinách 28 500 m³. Celková deduktívna výška ťažby je určená hodnotou 114,5 tis. m³, čo predstavuje takmer o 7,5 tis. m³ menej ako pri ťažbových percentách po vekových stupňoch (ŤP).

Vzhľadom na to, že daná lokalita je pod extrémnym synergickým tlakom škodlivých činiteľov, rozdiely medzi hodnotami deduktívne určenými ťažbovými ukazovateľmi vyrovnáva prognózovaná výška kalamity.

Aj v tomto prípade platí, že ak induktívne navrhnutá ťažba prekračuje deduktívnu výšku ťažby (so zohľadnením kalamitnej ťažby) je ju potrebné znížiť (upraviť). Pri návrhu obnovných ťažieb v kalamitných oblastiach platí v závislosti od štruktúr lesa – šetrný model ťažby v skupine porastov so stupňom ohrozenia 1–2 pri ostatnej (nižšej) naliehavosti ťažby.

Tab. 5 Kalkulácia vybraného ťažbového ukazovateľa (ťažbové percentá podľa vekových stupňov a obnovnej doby) na 5 rokov pre drevinu SM so zohľadnením prognózy kalamity

Tab. 5 Five-year projection of selected allowable cut indicator (cut percentage by age class and regeneration period) for spruce (dieback trends considered)

Vekový stupeň	Aktualizovaná zásoba SM	Aktualizovaná zásoba ostatných drevin	Obnovné ťažbové % (TP)	Induktívne výchovné %	Deduktívne výchovné %	Deduktívny ukazovateľ celkovej ťažby SM	Deduktívny ukazovateľ celkovej ťažby ostatných drevin	Aktuálne kalamitné percento a %	Kalamita podľa a %	Priemerné kalamitné percento p %	Kalamita podľa p %	Deduktívny ukazovateľ celkovej ťažby pri zohľadnení prognózy kalamity	Deduktívny ukazovateľ predrubnej ťažby pri zohľadnení kalamity	Deduktívny ukazovateľ rubnej ťažby pri zohľadnení kalamity
1	100	217												
2	1 500	2 109		0,1	10	150	211					150	150	
3	4 000	855		1,2	10	400	86					400	400	
4	8 701	2 378		1,8	10	870	238	11,8	4 057	6,2	2 697	4 057	4 057	
5	14 886	6 111		2,4	10	1 489	611	2,7	1 904	4,9	3 647	3 647	3 647	
6	32 852	19 396		1,8	7	2 300	1 358	10,9	14 404	7,7	12 648	14 404	14 404	
7	14 792	4 568		1,3	5	740	228	13,7	7 711	8,2	6 065	7 711	7 711	
8	27 096	50 939		1,5	5	1 355	2 547	15,4	15 354	9,6	13 006	15 354	15 354	
9	12 269	38 484	2	1,6	3	613	1 924	15,6	7 015	9,4	5 766	7 015	2 460	4 555
10	25 320	37 432	15	0,2	0	3 798	5 615	21,4	17 724	9,7	12 280	17 724		17 724
11	8 921	20 326	25			2 230	5 082	31,0	7 526	11,5	5 130	7 526		7 526
12	633	4 513	44			279	1 986		0	4,8	152	279		279
13	1 116	1 645	50			558	823		0	4,4	246	558		558
14	906	2 727	50			453	1 364		812	9,9	448	812		812
15+	6 733	23 505	50			3 367	11 753	1,5	490	4,1	1 380	3 367		3 367
spolu	159 825	215 205				18 600	33 826		76 997		63 465	83 004	48 183	34 821

Tab. 6 Aktualizácia stavu lesa a návrh rekonštrukcii
 Tab. 6 Forest condition update including forest reconstruction proposal

Vekový stupeň VS	LHP			LHE	Aktualizácia zásob a návrh rekonštrukcii								Návrh rekonštrukcie SM		Z toho sucháre SM
	Výmera	Zásoba	z toho SM	Náhodnan ťažba SM	Aktualizovaná zásoba (let. snímky)	Aktualizovaná zásoba (prírasťky)	Aktualizovaná zásoba SM (let. snímky)	Aktualizovaná zásoba SM (let. snámky)	Holiny z náhodnej ťažby	Preriedené plochy z náhodnej ťažby	Návrh rekonštrukcie SM	Návrh rekonštrukcie SM	Návrh rekonštrukcie SM	Návrh rekonštrukcie SM	
	ha	m³			ha			m³			ha		m³		
1	307,03	38	12		38	317	12	100							
2	185,42	1 324	555		1 270	3 609	555	1 524							
3	29,80	2 721	2 246		2 698	4 855	2 223	3 976							
4	70,99	12 378	10 363	3 110	9 330	11 079	7 373	8 701	2,5		2519	3 432	222		
5	90,68	22 135	16 669	4 125	18 753	20 997	13 314	14 886	2,4	6,3	32,58	6 920	255		
6	227,41	66 658	48 353	18 730	47 875	52 248	30 378	32 852	23,4	22,5	91,60	21 497	1 583		
7	77,87	27 856	23 297	9 590	18 261	19 360	13 953	14 792	12,5	13,5	30,99	8 657	810		
8	279,32	100 184	50 559	24 140	71 047	78 035	25 889	27 096	43,5	28,0	56,36	16 979	749		
9	170,51	59 176	22 138	10 375	47 300	50 753	11 808	12 269	12,5	12,0	23,60	7 065	485		
10	215,93	89 137	50 298	24 375	56 882	62 752	24 568	25 320	60,4	24,5	31,47	11 511	480		
11	100,95	42 735	21 884	12 540	28 158	29 247	8 679	8 921	33,7	4,5	10,99	4 601	180		
12	14,19	5 194	809	195	4 990	5 146	615	633	0,3		0,52	188	5		
13	8,39	3 417	1 574	350	2 711	2 761	1 096	1 116	1,3	2,5	0,61	233	85		
14	12,45	4 627	1 785	885	3 465	3 633	888	906	1,0		2,47	749	0		
15+	129,37	32 813	8 200	1 670	29 667	30 238	6 618	6 733	5,0	5,0	12,93	3085	287		
Σ	1 920,37	470 123	258 739	110 085	342 445	375 030	147 969	159 825	198,5	118,8	319,31	84 917	5 141		

5. DISKUSIA

Na prognózovanie aktivity škodlivých činiteľov v súvislosti s výškou náhodných ťažieb niektorí autori (HLÁSNY a kol. 2008) využívajú varianty prognóz podľa pesimistického, realistického a optimistického scenára.

S optimistickým scenárom môžeme uvažovať v prípade vhodného obhospodarovania lesa zameraného na zníženie atraktivity porastov pre rozhodujúcich biotických škodcov resp. abiotických a antropogénnych škodlivých činiteľov.

V prípade, že intenzita a výskyt biotických činiteľov bude pokračovať v nezmenenom resp. mierne stúpajúcom trende a najmä abiotické faktory (vietor, sucho) začnú prekračovať rámce svojej doterajšej aktivity, ide o realistickú prognózu, kde náročnosť ochranných a obranných opatrení bude rásť a ich účinnosť klesať.

To potvrdzujú aj dosiahnuté výsledky tejto práce, keď počas sledovaného päťročného obdobia aktivita podkôrneho hmyzu výrazne vzrástla, čo sa prejavilo na zvýšení celkovej výšky ťažby v danej oblasti. Realistická prognóza je v tomto prípade vyjadrená vyrovnanými aktuálnymi kalamitnými percentami v roku 2007 (obrázok 4). No vzhľadom na výrazný až 100 % prírastok kalamitných holín v roku 2007 v porovnaní s predchádzajúcimi rokmi, je potrebné uvažovať s vyššími hodnotami nevyrovnaných aktuálnych % (tabuľka 5).

Pri pesimistickom scenári sú ťažko odhadovateľné riziká následkom extrémov ako napr. výskyt silných búrok po dlhotrvajúcich zrážkach alebo ohňa v období sucha pri súčasnom výskyte vysokej rýchlosti vetra. Miera neistoty je tým vyššia, čím sa udalosti vyskytujú zriedkavejšie a čím menej údajov je k dispozícii. Globálne klimatické zmeny podporujú dynamiku rozhodujúcich škodlivých činiteľov, a preto prognózy z dlhodobého hľadiska môžu byť nepresné najmä s ohľadom na frekvenciu a intenzitu abiotických činiteľov, na aktivitu inváznych druhov škodcov, alebo škodcov, ktorí majú v súčasnosti len okrajový význam a na zmeny v populačnej dynamike podkôrneho hmyzu vo vyšších vegetačných stupňoch.

KOUBA (1989) použil Weibullovú funkciu k odhadu pravdepodobnosti prežitia smrekových porastov pre viaceré rizikové faktory a ich kumulatívne pôsobenia. Dokázal odhadovať mieru prežitia pre tri rizikové faktory: škody na výsadbách, snehové polomy a vetrové vývraty. Po zavedení vylučovacej miery c (plocha lesa zničená daným škodlivým činiteľom) sa môže pre odhad pravdepodobnosti prežitia pre ľubovoľný rizikový faktor použiť nasledujúca rovnica:

$$R(t) = c \cdot e^{-\lambda \cdot t^\alpha} + (1 - c)$$

Kde: $R(t)$ – miera prežitia porastu,

t – vek porastu,

α, λ – koeficienty vypočítané na základe dvoch reálnych hodnôt R a im zodpovedajúcim vekom (najlepšie vek, keď začína a keď končí pôsobenie škodlivého činiteľa).

Tento vzťah otvára ďalšie možnosti pre odvodenie koeficientov α, λ napr. pre podkôrny hmyz, huby, sucho a iné významné škodlivé činitele.

Mnohí autori pre prognózu vývoja vekových štruktúr lesa využívajú homogénny regulárny Markovov reťazec, ktorý vyjadruje statické pravdepodobnosti prechodu z vekového stupňa do nasledujúceho staršieho vekového stupňa. Tranzitná matica pravdepodobností prechodu procesu (podielu plochy lesov) zo stavu i do stavu j s prvkami p_{ij} sa vypočíta na základe relatívneho podielu decenálnej náhodnej ťažby zo zásoby porastov vekového stupňa.

Aj táto práca z časti využíva túto metodiku a to pre výpočet priemerných kalamitných percent.

V záverečnej správe výskumnej úlohy (ŠEBEŇ *a kol.* 2009) je prognóza riešená prostredníctvom pravdepodobnosti kritického poškodenia, ktorá je vypočítaná na základe logistického regresného modelu. Logistické regresné modely sú odvodené pre tri modelové územia Kysuce, Orava, Nízke Tatry a s určitou mierou neistoty je ich možné použiť v podobných podmienkach najmä stredného Považia, Spišskej Magury, Zamaguria, pre oblasť Tatier a ostatných centrálnych pohorí Západných Karpát.

Logistický regresný model zohľadňuje kritériá: ekologický rad, hydrický rad, úroveň radiácie, zónu biotického ohrozenia, % smreka v poraste, bezbukovosť, vek porastu, počet porastových vrstiev (vrstva: zakmenenie od 0,2 a vek nad 10 rokov), východiskový stupeň poškodenia lesa na začiatku prognózovaného obdobia, neistotu hospodárenia a imisnú záťaž.

Modelový stupeň ohrozenia vyjadruje viacfaktorovo podmienenú pravdepodobnosť kritického poškodenia lesa v strednodobom horizonte 10 rokov, odvodenú na základe vývoja zaznamenaného v poslednom desaťročí.

Dosiahnuté výsledky v tejto práci poukazujú na rozdielne pôsobenie škodlivých činiteľov v závislosti od veku, rastovej fázy a expozície porastov. Vhľadom na výmeru územia, imisné zaťaženie a silné odumieranie smreka (až 41 % z jeho zásoby za 5 rokov) sa ostatné faktory (stanovište, zastúpenie SM v poraste, imisná zóna apod.) neprejavili.

Pre stanovenie čo najlepších prognóz kalamít je potrebné neustále dopĺňať poznatkové bázy empirickými pozorovaniami napr. pri využití bayesových metód, fuzzy logiky alebo delfi technik. V súčasnosti už existuje množstvo expertných systémov pre odhad rizík životného prostredia, ktoré sú však v lesníckej praxi málo využívané (VON GADOW 2005).

Sledovaním vplyvu náhodných ťažieb na plánované obhospodarovanie lesa sa na Slovensku venovali viacerí autori (DANČEK, I., ŽÍHLAVNÍK, A., 2003; ŽÍHLAVNÍK, A., BALOGH, P., BAHÝL, J., 2006; ŽÍHLAVNÍK, A., BALOGH, P., 2008).

V práci ŽÍHLAVNÍK, A., BALOGH, P., BAHÝL, J. (2006) je riešená problematika náhodných rubných ťažieb v lesných hospodárskych celkoch. Výsledky potvrdili negatívny vplyv náhodných ťažieb na ďalšie obhospodarovanie lesa. Vysoký podiel náhodných ťažieb spôsobil následne neúmerne vysoké náklady na zalesňovanie. Ďalej obmedzil použitie jemnejších spôsobov hospodárenia. Náhodné ťažby ovplyvnili požadovanú vyrovnanosť ťažieb v príslušných lesných hospodárskych celkoch a spôsobili veľkú nepravidelnosť ich vekových štruktúr. Uvedený nepriaznivý stav súvisí následne s problematickým stanovením optimálnej výšky rubnej ťažby pre príslušný lesný celok.

Keďže náhodné ťažby pravidelne narušujú vývoj vekových stupňov a vylučujú možnosť počítat s nerušeným posunom vekových stupňov cez viac desaťročí, mali by

byť neoddeliteľnou súčasťou stanovenia výšky ťažby pri hospodársko-úpravníckom plánovaní v kalamitných oblastiach. Výška náhodných ťažieb negatívne vplýva na realizáciu úmyselných ťažieb, ktoré sa nestihnú realizovať, alebo nemôžu byť realizované z dôvodu vysokého prekročenia celkovej výšky ťažieb. Negatívne to vplýva aj na stabilitu a zdravotný stav doteraz zdravých a odolných porastov.

V súčasnosti sú v kalamitných územiach pri podrobnom plánovaní navrhované intenzívne rekonštrukcie (induktívna metóda) – čo v mnohých prípadoch vedie k prekročeniu deduktívnej výšky obnovnej ťažby určenej na základe najvhodnejšieho zákonného ťažbového ukazovateľa. Z tohto dôvodu je potrebné v oblastiach, kde je prakticky nemožné dodržanie tejto hornej hranice ťažby, do dedukcie zapracovať prognózu kalamity a stanoviť tak únosnú hranicu ťažby na lesnom celku.

6. ZÁVER

Ťažbová úprava vo vybranej kalamitnej oblasti rieši prognózu kalamitnej ťažby a optimalizáciu náhodnej a úmyselnej ťažby pre zabezpečenie trvalosti lesa a zvyšovanie stability jeho produkcie.

Práca je praktickou aplikáciou riešenia ťažbovej úpravy lesa na lesnom majetku v kalamitnej oblasti a je zameraná na skúmanie stavu lesa a jeho vývoja pri aktívnom pôsobení škodlivých činiteľov.

Pre dôkladnú analýzu aktuálneho stavu lesa sa použili farebné a infračervené letecké snímky, ako aj terénne zisťovania na ich interpretáciu. Spracovanie dát sa realizovalo v prostredí GIS s využitím metód DPZ a biometrických metód. Na tomto základe v kombinácii s údajmi o realizovaných ťažbách a doplneného snímkového radu boli pre relevantnú vekovú stratifikáciu daného územia vypočítané kalamitné percentá. Priemerné a aktuálne kalamitné percentá zo zásoby vekových stupňov sa využili na predikciu krátkodobých a strednodobých trendov náhodných ťažieb.

Dosiahnuté výsledky poukazujú na rozdielne pôsobenie škodlivých činiteľov v závislosti od veku a expozície porastov. Vzhľadom na výmeru územia, imisné zaťaženie a silné odumieranie smreka sa ostatné faktory ako napr. stanovište, zastúpenie smreka v poraste, imisná zóna apod. neprejavili. Počas sledovaného päťročného obdobia aktivita podkôrneho hmyzu výrazne vzrástla (až 41 % zo zásoby smreka), čo sa prejavilo na zvýšení celkovej výšky ťažby v danej oblasti (prekročenie celkovej ťažby o 136 %). Podrobným rozborom získaných empirických údajov sa vytvoril scenár prognózy kalamity na obdobie piatich rokov.

V tejto práci je prezentovaný postup induktívneho návrhu rekonštrukcií lesa, ktorý dosiahol hodnotu 85 tis. m³. Avšak klasickou deduktívnou metódou sa dosiahla horná hranica výšky ťažby pre poškodzovanú (kalamitnú) drevinu 18,6 tis. m³. Z rozdielu týchto hodnôt je zrejmé a nereálne dodržanie deduktívne určenej výšky ťažby. Z tohoto dôvodu sa navrhla alternatívna deduktívna metóda ťažbovej úpravy lesa v kalamitnej oblasti, kde pre stanovenie hornej hranice celkovej ťažby sa do dedukcie celkovej ťažby komparatívnou optimalizáciou zapracoval objem prognózovanej kalamity. Dedukcia ťažbových možností tak dosiahla 88 tis. m³, čo zodpovedá trojnásobku pôvodne plánovanej výšky ťažby.

Táto metóda nevyužíva v súčasnosti uplatňovaný indukčný postup, v rámci ktorého dochádza k znižovaniu rubnej doby (skrátenej rubnej zrelosti), ale ťažbu v porastoch s vekom nižším ako vek začatia obnovy považuje za predčasnú obnovu rubne nezrelých porastov.

Na záver možno konštatovať, že opatrenia ochrany lesa v mnohých prípadoch zlyhávajú, a preto najistejšou zárukou stability a trvalosti lesov v kalamitných oblastiach je ich správne obhospodarovanie, ktoré je zamerané na prítomnosť prirodzeného zmladenia, bohatú štruktúrovanosť a zvyšovanie biodiverzity lesa.

Ťažbová úprava lesa je ako nástroj využívania drevnej produkcie lesa s ohľadom na adaptivnosť lesných ekosystémov, nevyhnutná práve v kalamitných oblastiach.

Pod'akovanie:

Táto práca vznikla vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt: „Centrum excelentnosti: Adaptívne lesné ekosystémy“, kód ITMS 26220120006, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

1. BAVLŠÍK, J. a kol., 2009: Pracovné postupy HÚL 2008. NLC, Zvolen, 147 s.
2. BAVLŠÍK, J. a kol., 2009: Pracovné postupy HÚL – Prílohy I. 2008. NLC, Zvolen, 211 s.
3. BUCHA, T., 2009: Využitie satelitných snímok pri vyhodnotení stavu a vývoja smrekových porastov na Slovensku. Životné prostredie 43 (č. 4), s. 230–234.
4. DANČEK, I., ŽIHĽAVNÍK, A., 2003: Vplyv náhodných ťažieb na obhospodarovanie lesa jemnejšími spôsobmi. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, XLV, s. 237–251.
5. GREGUŠ, C., 2008: Komplexná ťažbová úprava v dlhodobom rozvoji lesného hospodárstva na Slovensku. NLC, Zvolen, 134 s.
6. HLÁSNY, T. a kol., 2008: Výpracovanie krátkodobých a strednodobých prognóz a kvantifikácia ekologických strát regiónu Rudohorie. NLC-LVÚ, 110 s.
7. KOUBA, J., 1989: Teória odhadu vývoje kalamit a řízení procesu vyrovnání lesa na normální les. Lesnictví 35 (č.10), s. 925–944.
8. ŠEBEŇ a kol., 2009: Závěrečná správa výskumnej úlohy Rekonštrukcie nepôvodných lesných spoločenstiev ohrozených zmenou prírodných podmienok (najmä klímy) na ekologicky stabilnejšie ekosystémy. NLC, Zvolen, 379 s.
9. VON GADOW, K., 2005: Forsteinrichtung, Analyse und Entwurf der Waldentwicklung. Universitätsverlag Göttingen, 342 s.
10. ŽIHĽAVNÍK, A., 2008: Hospodárska úprava lesov. Učebnica. Technická univerzita Zvolen, 388 s.
11. ŽIHĽAVNÍK, A., BALOGH, P., BAHÝL, J., 2006: Problematika náhodných ťažieb v rubných porastoch vo väzbe na obhospodarovanie lesa. Acta Facultatis Forestalis Zvolen, XLVIII, s. 269–280.
12. ŽIHĽAVNÍK, A., BALOGH, P., 2008: Vplyv náhodných ťažieb na ťažbovú úpravu lesa. Vedecké štúdie 6/2007/A, Technická univerzita Zvolen, 86 s.
13. ŽIHĽAVNÍK, A., BAHÝL, J., 2009: Možnosti využitia metód ťažbovej úpravy lesa na reguláciu vekových štruktúr. Vedecké štúdie 2/2009/A, Technická univerzita Zvolen, 58 s.
14. Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike Zelená správa, 2007, NLC Zvolen, 164 s.
15. Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike Zelená správa, 2008, NLC Zvolen, 168 s.
16. Správa o lesnom hospodárstve v Slovenskej republike Zelená správa, 2009, NLC Zvolen, 147 s.
17. Výhláška MP SR č. 453/2006 Z. z. o hospodárskej úprave lesov a o ochrane lesa.
18. Zákon NR SR č. 326/2005 Z. z. o lesoch v znení neskorších predpisov.

Adresa autora:

Ing. Milan Machanský
NLC – Ústav pre hospodársku úpravu lesov
Odbor HÚL
Sokolská 2
960 52 Zvolen

e-mail: machansky@nlcsk.org

Prof. Ing. Anton Žihlavič, CSc.
Lesnícka fakulta TU Zvolen
Katedra HÚL a G
T.G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
e-mail: azihlav@vsld.tuzvo.sk

Ťažbová úprava lesa vo vybranej kalamitnej oblasti

Abstract

Cieľom práce je prognóza kalamitnej ťažby a optimalizácia náhodnej a úmyselnej ťažby na lesnom majetku pre zabezpečenie trvalosti lesa a stability jeho produkcie. Práca je zameraná na skúmanie stavu lesa a jeho vývoja pri aktívnom pôsobení škodlivých činiteľov. Na vybranej lokalite v lesnej oblasti Volovské vrchy boli pre dôkladnú analýzu aktuálneho stavu lesa využité farebné a infračervené letecké snímky, ako aj terénne zisťovania na ich interpretáciu. Spracovanie dát sa realizovalo v prostredí GIS s využitím metód DPZ a biometrických metód. Na tomto základe v kombinácii s údajmi o realizovaných ťažbách a doplneného snímkového radu boli pre relevantnú vekovú stratifikáciu daného územia vypočítané kalamitné percentá. Podľa priemerných a aktuálnych kalamitných percent zo zásoby vekových stupňov boli stanovené krátkodobé a strednodobé trendy náhodných ťažieb. Pre stanovenie ťažbových možností sa do dedukcie celkovej ťažby komparatívnou optimalizáciou zapracoval objem prognózovanej kalamity. Dosiahnuté výsledky poukazujú na rozdielne pôsobenie škodlivých činiteľov v závislosti od veku a expozície porastov. Vzhľadom na výmeru územia, imisné zaťaženie a silné odumieranie smreka, až 41 % z jeho zásoby za 5 rokov, sa ostatné faktory ako napr. stanovište, zastúpenie smreka v poraste, imisná zóna apod. neprejavili. Počas sledovaného päťročného obdobia aktivita podkôrneho hmyzu výrazne vzrástla, čo sa prejavilo na zvýšení celkovej výšky ťažby v danej oblasti. Podrobným rozborom získaných empirických údajov sa vytvoril scenár prognózy kalamity na obdobie piatich rokov, ktorý reálne zodpovedá trojnásobku pôvodne plánovanej výšky ťažby. Ťažbová úprava lesa je ako nástroj využívania drevnej produkcie lesa nevyhnutná práve v kalamitných oblastiach.

Kľúčové slová: ťažbová úprava lesa, prognóza kalamity, náhodná ťažba, deduktívny etát, rekonštrukcia lesa, lesný celok

MODELY KRÁTKODOBEJ TECHNOLOGICKEJ PRÍPRAVY PRACOVISKA PRE PODRASTOVÝ HOSPODÁRSKY SPÔSOB V LANOVKOVÝCH TERÉNOCH

Peter K O V Á Č I K

Kováčik, P.: Skyline yarding systems planning in steep terrains for the shelterwood system. Acta Facultatis Forestalis, Zvolen 52, Suppl. 1, 2010, s. 221–230.

Paper gives an overview to the newest data about the potential of the Slovak forests for skyline logging. Data are divided according to the forest vegetation levels, which represent the steep terrains (slope above 40 %) following altitude and tree species.

The aim of this paper is to introduce the short term planning models, which are the result of silvicultural and logging requirements combination. Purpose of the models is to divide the work place (forest stand), in the initial growth stages of the forest stand, into proper work areas (shape, width and length), that would be appropriate for the different slopes, logging methods and tree species during the whole existence of the forest stand.

Keywords: skyline logging, long and short term planning, shelterwood system, steep slope

1 ÚVOD

Správne vykonaná technologická príprava pracovísk v lanovkových terénoch je mimoriadne dôležitá, pretože porasty týchto oblastí sa väčšinou vyskytujú v sklonoch nad 40 % a vyznačujú sa náchylosťou na pôdnu eróziu. LUKÁČ *et al.* (2003) uvádza, že približne 50 % lesov Slovenska je situovaných v pásme lanovkových terénov (nad 40 % sklonu, resp. s veľkou reliéfovou energiou). Veľké percento z nich taktiež tvoria lesy s ochrannou funkciou. Preto je nutné v nich hospodáriť podľa zásad trvalo udržateľného hospodárenia, čoho súčasťou je aj kvalitná technologická príprava.

Prepojenie plánovania ťažbovo-dopravného procesu na pestovné ciele by malo byť samozrejmosťou. Už pri definovaní cieľov pestovania lesa by mali byť rozpracované vhodné postupy, ktoré umožnia jeho technické i technologické zabezpečenie. Priestorové rozdelenie pracoviska by malo vyhovovať jednak rastovému optimu konkrétnej dreviny (drevín), no musí umožňovať čo najšetrnejšie vykonanie ťažby a sústredovania dreva.

Z pohľadu lesníckej praxe je technologická príprava pracoviska veľmi často zanedbávaná. V súčasnej dobe ekonomického pohľadu na riešenie problémov to predstavuje značný nedostatok. Kvalitné naplánovanie ťažbovo-dopravného procesu znižuje náklady na jeho vykonanie jednak primárne (napr. náklady na sprístupňovanie), ale čo je

nemenej dôležité aj sekundárne, cez zachovanie väčšej produkčnej plochy porastov, nižšie poškodenie ostávajúceho porastu (príp. podrastu), menšiu eróziu pôdy, atď.

LUKÁČ (1996) uvádza, že treba uplatniť takú techniku pestovania (sila zásahu, smer postupu, tvar prvku a pod.), ktorá umožňuje vyťahovanie dreva z porastu, a naopak spôsob ťažby a dopravy dreva treba voliť podľa fytotechniky.

2 PROBLEMATIKA

Tvar, šírka, dĺžka a orientácia pracovných polí ovplyvňujú environmentálnu i ekonomickú stránku ťažbovo-dopravného procesu. Ich správne navrhnutie je preto kľúčovou otázkou pri krátkodobej technologickej príprave pracoviska.

Správne situované a navrhnuté približovacie linky sú nevyhnutné pre bezpečnú a efektívnu prácu. Návrh rozmiestnenia liniek nie je jednoduchý, zvlášť v štádiu prvých prebierok. Ak sú linky nesprávne umiestnené, odráža sa to na zvýšených nákladoch a znížení výnosov počas celej doby existencie porastu (SAUNDERS, 2006).

Už pred štyridsiatimi rokmi ŠEBÖK A ŠEDÍK (1968) navrhli obnovné postupy pre lanovkové terény podľa rôznych spôsobov pestovania lesa. Jednalo sa o aditívne (súbežné aj následné) i substitutívne kombinácie základných obnovných rubov v rámci jedného i viacerých lanovkových polí pre trasy orientované ako po spádnici tak aj šikmo.

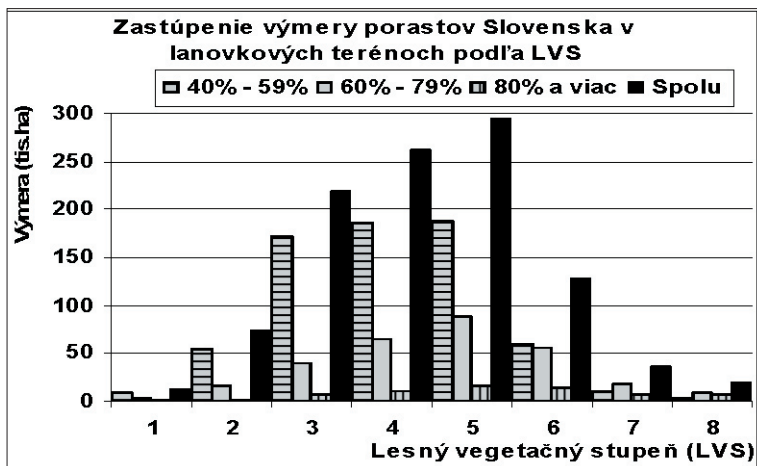
Z toho vyplýva, že zvolili úplne správny postup a prepojili požiadavky pestovania lesa s vtedajšími možnosťami techniky a technológie. V súčasnej dobe, kedy došlo k vývoju nielen pestovateľských postupov ale aj techniky a technológie, je nutné nadviazať na tento princíp a prispôbiť ťažbovo-dopravné postupy súčasným metódam pestovania lesa.

LUKÁČ (1996) načrtá iba nepatrné množstvo z pôvodnej práce ŠEBÖKA A ŠEDÍKA (1968). Uvádza však, že jednotlivé príklady nie sú dogmou. Ku každému porastu (trase lanovky) treba pristupovať individuálne. V evidencii treba dokonale podchytiť pestovateľský zámer a technológiu ťažby, spolu s podrobnou technologicou prípravou pracoviska tak, aby rôzni hospodári v rôznom čase (obnovná doba je cca 30 rokov) mohli dotvárať prvotné koncepčné zámeru obnovy.

2.1 Potenciál lanovkového sústred'ovania dreva na Slovensku

HNILICA (2003) uvádza, že oblasť horských lesov sa vymedzuje 6. (smrekovo-bukovo-jedľovým) a 7. (smrekovým) lesným vegetačným stupňom, ktoré sa vyskytujú v najvyšších horstvách SR. Lesy 6. lesného vegetačného stupňa sa rozprestierajú na ploche približne 186 434 ha a lesy 7. lesného vegetačného stupňa na ploche 41 141 ha. Podľa klasifikácie vypracovanej pre jednotlivé lesné oblasti Slovenska predstavujú sklony svahov v kategórii 41–50 % 314 946 ha a sklony svahov nad 51 % predstavujú 416 061 ha.

Najnovšie poznatky o výmere lesov v lanovkových terénoch uvádzajú výmeru 1 046 936 ha, čo predstavuje 52 % z celkovej výmery lesov Slovenska. Obrázok 1 uvádza rozdelenie výmery lesov Slovenska v lanovkových terénoch podľa lesných vegetačných stupňov (LVS), ktoré reprezentujú ako nadmorskú výšku, tak aj drevinové zloženie porastov.



Obrázok 1 Výmera porastov SR v lanovkových terénoch podľa LVS (NLC-ÚLZI, 2010)

Figure 1 SR forests area (ha) in steep terrains (above 40%) (National Forest Centre, 2010)

2.2 Vplyv pestovateľských zásad na rozstup liniek

V rastovej fáze mladiny sa porast rozčleňuje sieťou rovnobežných liniek z dôvodu výchovných zásahov. Rozstup liniek z hľadiska pestovateľských zásad ovplyvňuje počet cieľových stromov na hektár plochy podľa konkrétnej dreviny. Vytvorené linky v rastovej fáze mladiny síce neslúžia dopravnému účelu (sústredovaniu dreva), pretože vyťažené stromy zostávajú v poraste, no z hľadiska ekonomického, environmentálneho by mali byť zachované a využívané aj v neskorších rastových fázach už na ťažbovo-dopravné účely.

Pri plánovaní rozčlenenia porastu na systém pracovných polí sa vychádza z poznatku o počte cieľových stromov (CS) pri rôznych drevinách. Pre bukové porasty sa uvažuje s počtom 200 ks cieľových stromov na 1 hektár, pre dubové porasty s počtom 100–150 kusov. Z týchto počtov sa vypočíta úživná plocha pre jeden strom a následne idealizovaný štvorcový rozstup stromov podľa rovnice 1:

$$\text{úživná plocha} = 10\,000 \text{ m}^2 / \text{počet CS}$$

Rovnica 1

- pre buk je to 50 m²,
- pre dub je to 66–100 m² (v závislosti od stanoveného počtu CS).

Rozstup sa vypočíta ako druhá odmocnina z hodnoty úživnej plochy. V prípade buka sa počíta s rozstupom CS 7 m a pracovné pole má šírku dvoj- alebo trojnásobku rozstupu, teda 14 alebo 21 m. Linka v prípade mladiny nemá dopravnú funkciu, preto postačuje šírka 1–1,5 m (JALOVIAR, KUCBEL, 2005).

Spôsoby rozčlenenia pracovných polí ostatných drevín, príp. zmiešania drevín, ich spôsoby výchovy uvádzajú JALOVIAR, KUCBEL (2005) a SANIGA (2002).

Uvedeným spôsobom je teda možné napláňovať rozstup liniek (šírku pracovných polí) pre celé obdobie existencie porastu od výchovy až po jeho obnovu.

2.3 Vplyv ťažbovo-dopravných zásad na šírku pracovného poľa

Z technologického, environmentálneho i ekonomického hľadiska je optimálne vedenie liniek čo najkratšou trasou a teda kolmo na vrstevnice. Z tohto dôvodu je možné systém rovnobežných liniek rozvinúť paralelne, divergentne, konvergentne a taktiež jednotlivé varianty kombinovať. Možnosť gravitačného i antigravitačného sústreďovania v kombinácii s uvedenými variantmi vedenia liniek umožňujú takmer bez obmedzení sa prispôbiť akémukoľvek terénu.

Uhol vyťahovania sa mení podľa sklonu, členitosti a tvaru povrchu terénu. V priemerných podmienkach, t. j. pravidelných a mierne zvlnených terénoch (v rozpätí ťaženej plochy), smer vyťahovania najviac ovplyvňuje sklon terénu. Čím je terén strmší, tým je uhol vyťahovania menší (ROŠKO, 1984). Z toho vyplýva, že čím je percento sklonu terénu vyššie, tým užšie je pracovné pole.

Dôležitým činiteľom ovplyvňujúcim šírku a tvar pracovných polí je smerové spiľovanie stromov. LUKÁČ *a kol.* (2001) uvádza, že pri gravitačnom sústreďovaní (dole svahom) sa stromy spiľujú vrcholcom nadol smerom k trase a približujú za tenší koniec. Pri antigravitačnom sústreďovaní (hore svahom) sa stromy spiľujú nadol smerom od trasy a približujú za hrubší koniec.

Sklon terénu i smer približovania majú zásadný vplyv na šírku pracovného poľa pri lanovkovom sústreďovaní dreva. Správne navrhnutie tejto šírky má významný vplyv na počet pracovných polí v konkrétnom poraste a teda na počet prestavieb trasy lanovky, čo v konečnom dôsledku značne vplýva na ekonomickú efektivitu sústreďovania.

3 METODIKA VLASTNEJ PRÁCE

3.1 Tvar pracovného poľa

Tvar pracovného poľa lesníckych lanoviek vychádza z technických a technologických možností lanovkového sústreďovania. Sústreďovanie dreva je rozdelené na dve fázy, a to vyťahovanie a približovanie. V prípade lesníckych lanoviek úkon vyťahovania reprezentuje vyťahovanie nákladu pod lano a fázu približovania jazda vozíka s nákladom na miesto prvotného zloženia nákladu. Podľa technických možností lanovky potom nastáva buď priamo odvoz dreva, alebo sa náklad ešte odťahuje od miesta zloženia lanovkou na odvozné miesto iným prostriedkom. Prvé dve fázy sústreďovania však spolu vytvárajú idealizovaný tvar obdĺžnika.

Aby bolo možné skĺbenie pestovateľských a ťažbovo-dopravných požiadaviek pri technologickom plánovaní, bolo potrebné identifikovať také pestovné spôsoby, ktoré by vyhovovali uvedenému tvaru pracovného poľa.

Pre rastový typ buka je týmto pestovným spôsobom maloplošný clonný rub v pásoch, kde šírka rubu (ŠR) je maximálne na 2 výšky porastu, plocha rubu je maximálne 3 ha. Vzdialenosť rubov je minimálne na 1 šírku rubu a ruby sa nerozširujú. Pre zmiešanie drevín je to okrajový clonný rub v pásoch, kde šírka rubu je maximálne na 2 výšky porastu, plocha rubu je maximálne 3 ha a vzdialenosť rubov je minimálne na 3 výšky

porastu. Vzhľadom k ekonomike lanovkového sústreďovania boli z časového hľadiska vybrané dvojfázové ruby. Pre rastový typ smreka je vhodným pestovným spôsobom tvaru obdĺžnika okrajový odrub v pásoch, kde šírka rubu je maximálne na 2 výšky porastu, plocha rubu je maximálne 3 ha. Odclonenie na dosiahnutie prirodzeného zmladenia vedľa obnovovaného lesného porastu maximálne do vzdialenosti 1 výšky porastu, vzdialenosť rubov je minimálne na 1 šírku rubu.

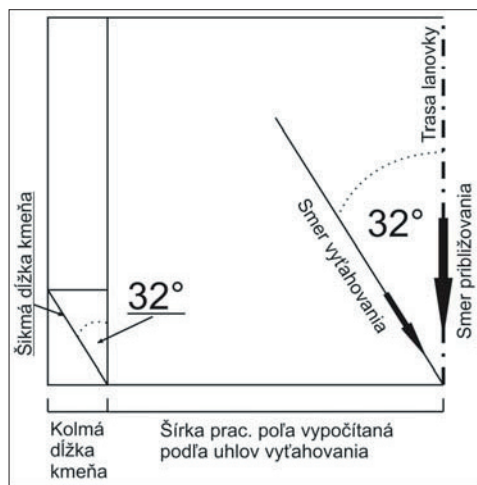
3.2 Šírka pracovného poľa

Ako bolo uvedené v kapitole 2.2, šírka pracovného poľa podľa pestovateľských požiadaviek závisí na počte cieľových stromov konkrétnej dreviny a počte pásov cieľových stromov medzi samotnými linkami. Na základe konkrétnych podmienok porastu, dostávame značný počet rozstupov liniek a teda širok pracovných polí. Tieto sa v neskorších rastových fázach porastu (žrdovina, kmeňovina) rozširujú vynechávaním určitého počtu liniek. Tým dostaneme širšie pracovné polia, ktoré by mali vyhovovať konkrétnej ťažbovo-dopravnej technológii. Počet variácií šírky pracovného poľa sa tak ešte zväčšuje, pretože v rámci rozširovania pracovného poľa v neskorších rastových fázach môžeme vynechať 1, 2, alebo až 3 linky, čím dostávame dvoj-, troj- a štvornásobok pôvodnej šírky pracovného poľa v mladine.

Kapitola 2.3 pojednáva o vplyve sklonu terénu a smeru sústreďovania (gravitačné, antigravitačné) na šírku pracovného poľa. Sklon terénu ovplyvňuje uhol vyťahovania dreva tak, že čím je sklon terénu strmší, tým je užšie pracovné pole.

Smer sústreďovania dreva ovplyvňuje spôsob vykonania smerového spiľovania stromov. Zatiaľ čo pri antigravitačnom sústreďovaní sa spiľujú stromy tenším koncom od trasy, pri gravitačnom sústreďovaní sa stromy spiľujú tenším koncom ku trase a tým ovplyvňujú šírku pracovného poľa o vzdialenosť vypočítanú z dĺžky vyťahovaného nákladu a uhla jeho vyťahovania (obrázok 2). Uhly vyťahovania nákladu a smerové

spiľovanie stromov musia byť identické aby bolo zabezpečené čo najšetnejšie vyťahovanie dreva z porastu.

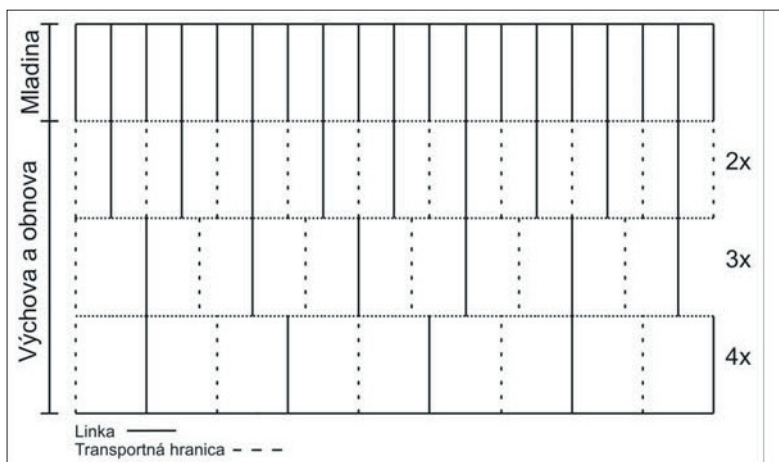


Obrázok 2 Vplyv smerového spiľovania stromov na šírku pracovného poľa
Figure 2 Influence of the predetermine direction falling to the work area width

4 DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

Na základe uvedeného v kapitole 3 vyplýva, že množstvo požiadaviek na šírku pracovného poľa, ktorá zásadne ovplyvňuje ekonomiku sústredovania lesníckymi lanovkami je z hľadiska pestovateľského i ťažbovo-dopravného značné množstvo. Preto boli vytvorené modely krátkodobej technologickej prípravy pracoviska v zmysle rozčlenenia porastu pracovnými linkami na pracovné polia tak, aby vyhovovali požiadavkám oboch spomínaných lesníckych oblastí počas celej existencie porastu.

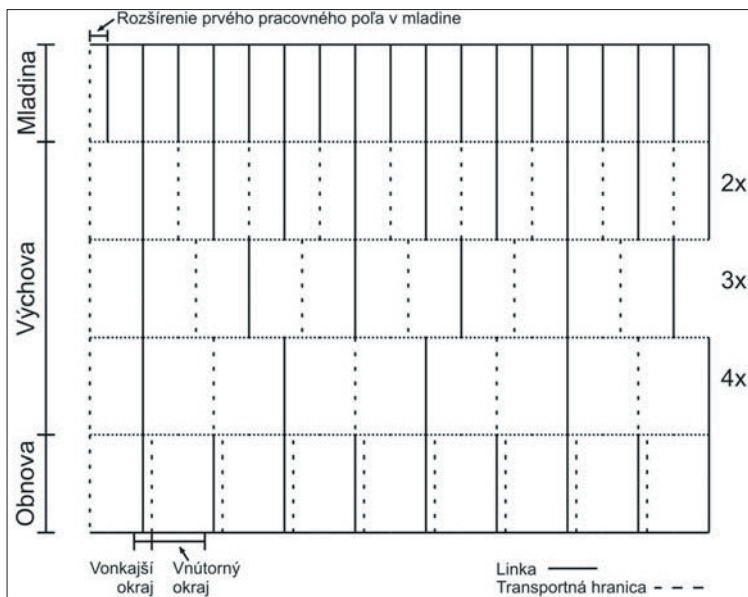
Modely sú rozdelené do dvoch hlavných skupín, a to podľa drevín na modely pre rastový typ buka a rastový typ smreka. Pre rastový typ buka sa po rozčlení porastu linkami v rastovej fáze mladiny postupuje spôsobom vynechania určitého počtu liniek (1–3), čím sa vytvorí pracovné pole o dvoj-, troj- alebo štvornásobku šírky pracovného poľa v mladine, tak aby bolo možné trvale využívať linky vytvorené rozčlenením v rastovej fáze mladiny počas celej existencie porastu (obrázok 3).



Obrázok 3 Schéma tvorenia rôznej šírky pracovného poľa vynechávaním liniek pre RT BUK

Figure 3 Creation scheme of the different work area width by yarding trails skipping for hardwood stands

Keďže pre dreviny rastového typu smrek uvažujeme použitie okrajového odrubného obnovného spôsobu, je potrebné šírku pracovného poľa naplánovať podľa obnovy z ohľadom na parametre šírky obnovného prvku, čo je 1 výška porastu. Takáto šírka pracovného poľa však nemusí vyhovovať ekonomicky efektívnej práci lanovkového sústredovania v predchádzajúcich rastových fázach (výchove porastu) a tak opäť uvažujeme s násobkami šírky pracovného poľa ako je uvedené na obrázku 4, samozrejme s ohľadom na rozčleňovanie porastu linkami v rastovej fáze mladiny. Vzhľadom na posun porastovej steny pri použití okrajového odrubného obnovného spôsobu o polovicu šírky vonkajšieho okraja (podľa SANIGA, 2002) voči trase lanovky, je nutné túto odchýlku opraviť už pri rozčleňovaní porastu v rastovej fáze mladiny.



Obrázok 4 Schéma tvorenia rôznej šírky pracovného poľa vynechávaním liniek pre RT SMREK
Figure 4 Creation scheme of the different work area width by yarding trails skipping for softwood stands

Pre značný počet kombinácií širok pracovného poľa vyplývajúceho z pestovateľských i ťažbovo-dopravných požiadaviek boli vytvorené v programe Microsoft Excel súbory na výpočet šírky pracovného poľa pre rastový typ buk a smrek (obrázok 5 a 6). Súbory sú zložené z troch častí, ktorými sú bunky pre zadávanie vstupných údajov, tabuľka šírky pracovného poľa podľa ťažbovo-dopravných požiadaviek rozdelená v kategóriách sklonov od 40 do 100 % a tabuľka šírky pracovného poľa podľa pestovateľských požiadaviek rozdelená podľa jednotlivých rastových fáz porastu a počtu pásov cieľových stromov medzi linkami pri rozdeľovaní porastu v rastovej fáze mladiny. V prípade RT SMREK sa v súbore nachádza aj bunka rozšírenia prvého pracovného poľa v mladine.

Postup zistenia šírky pracovného poľa pre RT BUK (obrázok 5) je nasledovný:

1. do bunky „Stredná výška združeného porastu v rubnom veku s ohľadom na bonitu“ zadáme požadovaný údaj,
2. následne je vypočítaná šírka pracovného poľa pre gravitačný i antigravitačný spôsob sústreďovania dreva s ohľadom na ťažbovo-dopravné požiadavky v rubnej dobe podľa jednotlivých sklonov,
3. do bunky „Počet cieľových stromov na hektár“ vzhľadom na drevinu zadáme požadovaný údaj,
4. následne je vypočítaná šírka pracovného poľa vzhľadom na pestovateľské požiadavky podľa počtu pásov CS v jednotlivých rastových fázach porastu,

5. v ďalšom kroku stačí porovnať šírku pracovného poľa podľa ťažbovo-dopravných požiadaviek a pestovateľských požiadaviek a nájsť najbližšiu zhodu šírky pracovného poľa, čím táto bude vyhovovať požiadavke oboch lesníckych odvetví.

V prípade zistenia šírky pracovného poľa pre RT SMREK (obrázok 6) je postup obdobný ako v prípade RT BUK. Rozdielom je však v prvom rade šírka obnovného prvku v obnovnej dobe, ktorá je totožná s výškou porastu (výška sa mení v závislosti od bonity). Výške porastu v obnovnej dobe sa musia prispôbiť ostatné hodnoty. Avšak v prípade, kedy je výška porastu v obnovnej dobe vyššia ako požadovaná šírka pracovného poľa podľa ťažbovo-dopravných požiadaviek, je nutné šírku pracovného poľa podľa pestovateľských požiadaviek upraviť podľa požiadaviek ťažbovo-dopravných. V druhom rade je rozdielom bunka „Rozšírenie prvého pracovného poľa v mladine“, o hodnotu ktorej je potrebné upraviť prvé pracovné pole v rastovej fáze mladiny.

Výpočet šírky pracovného poľa pre lanovkové sústredovanie			
hodnoty pre zadanie			
30	Stredná výška združeného porastu v rubnom veku s ohľadom na bonitu (m)		
Šírka PP podľa ťažbovo-dopravných požiadaviek (m)			
Sklon svahu	Šírka pracovného poľa		
	gravitačné približ., antigravitačné približ.		
40	67	50	
45	60	46	
50	55	42	
55	51	39	
60	47	36	
65	44	33	
70	41	31	
75	39	29	
80	37	28	
85	35	26	
90	33	25	
95	31	24	
100	30	23	

min.	max.	Počet cieľových stromov na hektár (ks)
150	200	

Šírka PP podľa pestovných požiadaviek (m)					
		2 pásy CS		3 pásy CS	
		počet CS 150	počet CS 200	počet CS 150	počet CS 200
Obnova	Mladina	16	14	24	21
	2-násobok	32	28	48	42
	3-násobok	48	42	72	63
	4-násobok	64	56	96	84

Obrázok 5 Súbor programu Microsoft Excel na výpočet šírky pracovného poľa pre RT BUK
Figure 5 Microsoft Excel file for the work area width calculation (hardwood)

Vypočet šírky pracovného poľa pre lanovkové sústreďovanie			
hodnoty pre zadanie			
30	Stredná výška združeného porastu v rubnom veku s ohľadom na bonitu (m)	min. 350	max. 400
		Počet cieľových stromov	

Šírka PP podľa ťažbovo-dopravných požiadaviek (m)	
Sklon svahu	Šírka pracovného poľa
	gravitačné približ. antigravitačné približ.
40	33 25
45	30 23
50	28 21
55	25 19
60	24 18
65	22 17
70	21 16
75	19 15
80	18 14
85	17 13
90	17 13
95	16 12
100	15 11

Šírka PP podľa pestovných požiadaviek (m)													
		2 pásy CS		3 pásy CS		4 pásy CS		5 pásov CS		6 pásov CS			
		CS 350	CS 400	CS 350	CS 400	CS 350	CS 400	CS 350	CS 400	CS 350	CS 400		
Prebierka	Mladina	11	10	16	15	21	20	27	25	32	30		
	2-násobok	22	20	32	30	42	40	54	50	64	60		
	3-násobok	33	30	48	45	63	60						
	4-násobok	44	40	64	60								
Obnova		30		30		30		30		30			

Rozšírenie prvého pracovného poľa v mladine	5
---	---

Obrázok 6 Súbor programu Microsoft Excel na výpočet šírky pracovného poľa pre RT SMREK
Figure 6 Microsoft Excel file for the work area width calculation (softwood)

5 DISKUSIA A ZÁVER

Potenciál lanovkového sústreďovania dreva na Slovensku je značný. Realitou však zostáva, že lanovkové sústreďovanie má na celkovom objeme sústredeného dreva na Slovensku iba malé percento. Veľkou mierou sa na tomto stave podieľa názor praxe o ekonomicky väčšej zaťaženosť práce lesníckych lanoviek z viacerých príčin. Faktom však je, že pracovné podmienky v lanovkových terénoch sú výrazne sťažené oproti miernejším terénom. Vhodnou technologickou prípravou, technologickými možnosťami samotných lesníckych lanoviek i možnosťami pestovania lesov je možné zlepšovať ekonomický výsledok práce lanoviek. Uvedené modely optimalizujú tvar, šírku a dĺžku pracovného poľa lanovky pre konkrétne dreviny, čím klesá počet prestavieb trasy lanovky ako neproduktívneho času a teda ekonomickej straty. Vhodne navrhnuté pracovné pole a dodržaná technologická disciplína významnou mierou taktiež vplýva na ekonomiku samotného sústreďovania dreva. Zlepšením postavenia lesníckych lanoviek v lesníckej praxi oproti ostatným sústreďovacím prostriedkom (najmä traktorom) dosiahneme v druhom rade, ale rozhodne nie v poslednej rade starostlivosť o porasty prostredníctvom šetrnejšieho sústreďovania dreva s ohľadom na poškodenie pôdy, ostávajúceho porastu a prirodzeného zmladenia.

Literatúra

1. HNILICA, R.: Aplikácia dvojhubnových navijakov pri konštrukcii a technologickom využití lanových systémov. Dizertačná práca, Zvolen, 2003, 84 s.
2. JALOVIAR, P., KUCBEL, S.: Pestovanie lesa, Návod na cvičenia, Technická univerzita vo Zvolene, Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2005, 64 s.
3. LUKÁČ, T.: Lesné dopravníctvo. Zvolen, 1996, 228 s.
4. LUKÁČ, T. a kol.: Lanovky v lesníctve. Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR, Zvolen, 2001, 167 s.
5. LUKÁČ, T. a kol.: Ťažbovo-dopravné technológie v lesnom hospodárstve. Ústav pre výchovu a vzdelávanie pracovníkov LVH SR, Zvolen, 2003, 218 s.
6. ROŠKO, P.: Teoretické základy približovania dreva a sprístupňovania lesov v horských terénoch, Veda, Bratislava, 1984, 285 s.
7. SANIGA, M.: Pestovanie lesa. TU Zvolen, Zvolen, 2002, 246 s.
8. SAUNDERS, C.: Cableway extraction. Forest Research, Forest Management Division, Technical Development, 2006, 57 p.
9. ŠEBŮK, V., ŠEDÍK, A.: Sprístupňovanie a obnova lesov v horách. 1968, 150 s.

Adresa autora:

Ing. Peter Kováčik
Katedra lesnej ťažby a mechanizácie
Lesnícka fakulta
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

Modely krátkodobej technologickej prípravy pracoviska pre podrastový hospodársky spôsob v lanovkových terénoch

Abstrakt

Práca podáva prehľad o najnovších údajoch potenciálu lanovkového sústreďovania na Slovensku. Údaje sú rozdelené podľa lesných vegetačných stupňov (LVS), ktoré reprezentujú prehľad lanovkových terénov (sklon nad 40 %) podľa nadmorskej výšky a potrebu technologickej prípravy lanovkového sústreďovania pre jednotlivé dreviny, príp. zmiešanie drevín.

Cieľom práce je predstaviť modely krátkodobej technologickej prípravy pracoviska, ktoré sú výsledkom skĺbenia ako pestovateľských, tak aj ťažbovo-dopravných požiadaviek priestorového rozdelenia porastu na pracovné polia. Úlohou modelov je v rastovej fáze mladiny správne navrhnuť tvar, šírku a dĺžku pracovných polí v rôznych sklonoch pre gravitačný i antigravitačný spôsob sústreďovania dreva lesníckymi lanovkami tak, aby vyhovovali fyto technike pestovania jednotlivých drevín vo všetkých rastových fázach porastu.

Kľúčové slová: lanovkové sústreďovanie, technologická príprava pracoviska, podrastový hospodársky spôsob

Sponzori Acta Facultatis Forestalis, Zvolen LII, Suppl. 1.

Zvolenská teplárenská a.s.



www.zvtp.sk

PRO POPULO, s.r.o



www.propopulo-poprad.sk

Vojenské lesy a majetky SR, š.p.



www.vlm.sk



www.lesy.sk



www.lkttrstena.sk



www.mpsr.sk



www.uniagro.sk



www.zvolen.sk



www.bbsk.sk



www.grube.sk



www.lesmedium.sk



www.sazp.sk



www.sopsr.sk



Vysokoškolský lesnícky podnik
Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 20
www.tuzvo.sk/vslp



www.komatsuforest.com



www.dalkia.sk

IZONA s.r.o. – Ing. Alojz Zapletal
Železničná 809/4, 990 01 Veľký Krtíš