

Vývoj horských lesov a hornej hranice lesa v podmienkach zmeny klímy

Mindáš, J., Škvarenina, J., Hríbik, M.: The Development of Mountain Forests and Upper Timber Line in Terms of Climate Change. Životné prostredie, 2011, 45, 2, p. 93 – 97.

The results of forest dynamic modelling via *forest gap models* in Slovakia are presented in the paper. Our calculations have been carried out by using prof. Smith's version of Forest gap model. Model requires followed input data for individual forest tree: maximum tree age, maximum diameter, maximum high, maximum yearly seedling establishment scaled to plot. This model contains several *response functions* which includes light, water balance, and climate responses to the individual trees. We established for a climate change conditions, that reduction of coniferous (spruce, fir) will be larger than deciduous trees. The observed results about increasing production must be interpreted with fair sized reserve. The modelling of snow cover changes is closely related to mountain forests presence. The model WaSiM shows noticeable decrease of water supplies in snow in mountain catchments of Nízke Tatry Mts. The negative difference between the year 2075 and the base period will be 32 %.

Key words: climate change, mountain forests, gap models, snow cover

Horské lesy patria k ekosystémom, ktoré dlhodobo negatívne ovplyvňuje ľudská činnosť. Spočiatku to bolo odlesňovanie pastiermi a ťažba dreva, neskôr sa začali negatívne uplatňovať aj dopravné, turistické a rekreačné aktivity. Industrializácia európskeho kontinentu narástla koncom 70-tych rokov do rozmerov transhraničného až diaľkového prenosu znečisťujúcich látok a práve oblasti s veľkými nadmorskými výškami sú najviac atakované imisnými depozíciami kyslých látok a fotooxidantov. Najnebezpečnejším dôsledkom znečisťovania atmosféry sa však podľa väčšiny vedeckého frontu javí nárast koncentrácií skleníkových plynov s preindikovaným globálnym oteplením a očakávaným narušením ochranných vlastností atmosféry. Práve horské lesy vysokých pohorí, ktoré sa s ohľadom na reliéfovú, výškovú, pôdnu a klimatickú podmienku vyznačujú prirodzenou fragilnosťou, veľmi citlivo reagujú na regionálne i globálne dôsledky znečisťovania atmosféry. Midriak (1989, 1993) zaraďuje v našich pohoríach medzi horské lesy ekosystémy smrekovo-bukovo-jedľového vegetačného stupňa (900 – 1 300 m n. m.), smrekového stupňa (1 250 – 1 550 m n. m.) a ako osobitnú formáciu aj drevinovo-krovitú vegetáciu 8. ko-

sodrevinového stupňa vo výške 1 500 m n. m. a viac. Košťatuje, že pokrývajú asi 490 – 500 tisíc ha plochy, čo je 26 – 27 % lesnej pôdy Slovenska. Preto si myslíme, že je potrebné začať sa týmto ekosystémom zaoberať aj z pohľadu budúcej možnej klimatickej zmeny.

V našej práci prezentujeme jeden z možných prístupov využitia dynamického Forest Gap modelu pre predikciu zmien klimatických podmienok vybraných horských lesných spoločenstiev na území Slovenska s využitím výsledkov regionálnej interpretácie hodnôt klimatických prvkov podľa modelov všeobecnej cirkulácie ovzdušia.

Metodické východiská a popis modelovania

Ako uvádzajú Botkin et al. (1972), Forest Gap modely patria do skupiny dynamických modelov, ktoré sú schopné kalkulácie rôznych charakteristík lesných drevín v časových sériách. Gap modely sú založené na simulácii prirodzeného zmladenia, rastu a mortality každého stromu na skúmanej ploche. Podrobný rozbor a teoretické základy týchto metód možno nájsť v prácach Shugarta (1984) a Smitha et al. (ex Anonymous 1995).

Pre stanovenie klimatických hodnôt pre stav $2 \times \text{CO}_2$, ktorý očakávame okolo roku 2075, sme použili výsledky regionálnych scenárov klimatickej zmeny pre územie Slovenska (Lapin et al., 1995), z ktorých sme použili hodnoty podľa CCCM – *Canadian Climate Centre Model*, hodnoty ktorého uvádzame v tab. 1.

Pre účely tejto práce sme použili verziu *Forest Gap Model*, ktorú vypracoval prof. Smith zo State University of Virginia (Anonymous, 1995). Gap modely sú založené na simulácii prirodzeného zmladenia, rastu a mortality každého stromu na skúmanej ploche. Podrobný rozbor a teoretické základy týchto metód možno nájsť v práci Shugarta (1984). Do modelu vstupovali nasledovné údaje pre jednotlivé lesné dreviny:

- maximálny vek dreviny;
- maximálna hrúbka $d_{1,3}$;
- maximálna výška;
- parametre prirodzeného zmladenia drevín.

Model obsahuje niekoľko funkcií odozvy (*response functions*), ktoré zahŕňajú nasledovné environmentálne vplyvy jednotlivých drevín:

- nároky na svetlo;
- teplotné podmienky;
- vlhová zabezpečenosť.

Analýzy dynamických zmien lesných ekosystémov sme realizovali na troch lokalitách, ktoré reprezentujú prirodzené lesné spoločenstvá z oblasti hornej hranice horských lesov vysokých pohorí Západných Karpát. Ich základné charakteristiky uvádzame v tab. 2.

Charakteristiky jednotlivých drevín (vek, hrúbka, výška) boli získané z pozorovaní v prírodných rezerváciách (Korpeľ, 1989) a na základe meraní na

výskumných plochách Lesníckeho výskumného ústavu vo Zvolene. Vplyv klimatickej zmeny je v modeli zabudovaný prostredníctvom klimatických amplitúd jednotlivých drevín na základe analýz areálov ich rozšírenia (Mindáš a kol., 1996).

Modelovanie zmien zásob vody v snehovej pokrývke sa uskutočnilo distribuovaným fyzikálne založeným zrážkovo odtokovým modelom WaSiM-ETH podľa práce Kostku a Holka (2000).

Výsledky modelov

Modelové výpočty sme realizovali pre podmienky súčasnej klímy (priemery 1951 – 1980) ako aj pre očakávané klimatické podmienky podľa modelu CCCM. Výsledky týchto výpočtov sú vyjadrené ako časový vývoj celkovej biomasy ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) pre jednotlivé uvažované dreviny. Pre tri zvolené lokality dokumentuje uvedené zistenia obr. 1.

Simulácie Forest gap modelom poukazujú na významné zmeny vo výskyte a potenciálnej produkcii lesných drevín na všetkých troch skúmaných stanovištiach, najdôležitejšie výsledky sú zhrnuté v tab. 3.

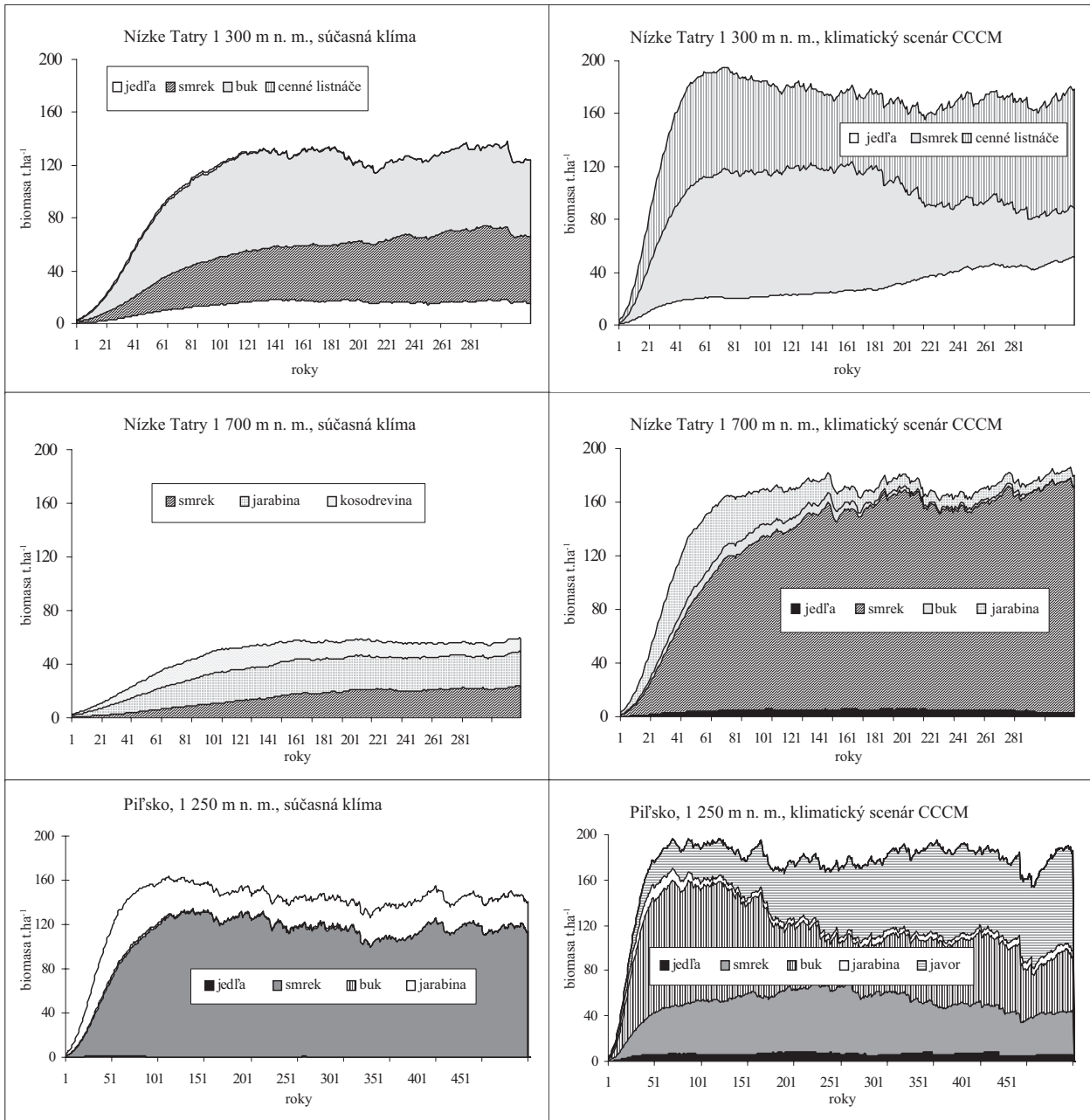
Využili sme výstup z modelu, ktorý vygeneroval koeficienty zmeny pre rôzne nadmorské výšky ako pre rok 2030, tak aj pre rok 2075. Vychádzali sme z logickej analógie a predpokladali sme, že rovnako ako dnes sa budú vyskytovať zimy priemerné, bohatšie a chudobnejšie na snehovú pokrývku. Preto sme na namerané hodnoty použili tento princíp a vygenerovali sme zimy, ktoré sa budú vyskytovať pri zrážkovo podpriemerných, priemerných a aj nadpriemerných zimách v rokoch 2030 a 2075. V tejto práci hodnotíme priemernú zimu na príklade našich meraní v roku 2007. $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$

Tab. 1. Regionálna modifikácia odchýlok teploty ΔT - CCCM a zrážkových kvocientov qR (N – sever Slovenska, S – juh Slovenska) podľa CCCM modelu ($2 \times \text{CO}_2$), v porovnaní s priemermi z obdobia 1951 – 1980

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	[°C]											
ΔT - CCCM	3,7	4,5	4,3	3,2	2,9	3,0	3,3	3,2	3,6	3,4	2,7	2,8
qR -CCCM-N	1,32	1,17	1,01	1,1	0,94	0,99	0,88	0,87	0,87	1,18	1,27	1,35
qR -CCCM-S	1,29	1,02	1,15	1,04	0,85	0,83	0,79	1,03	0,91	1,11	1,16	1,22

Tab. 2. Základné charakteristiky vybraných lokalít pre použitie *Forest Gap Modelu*

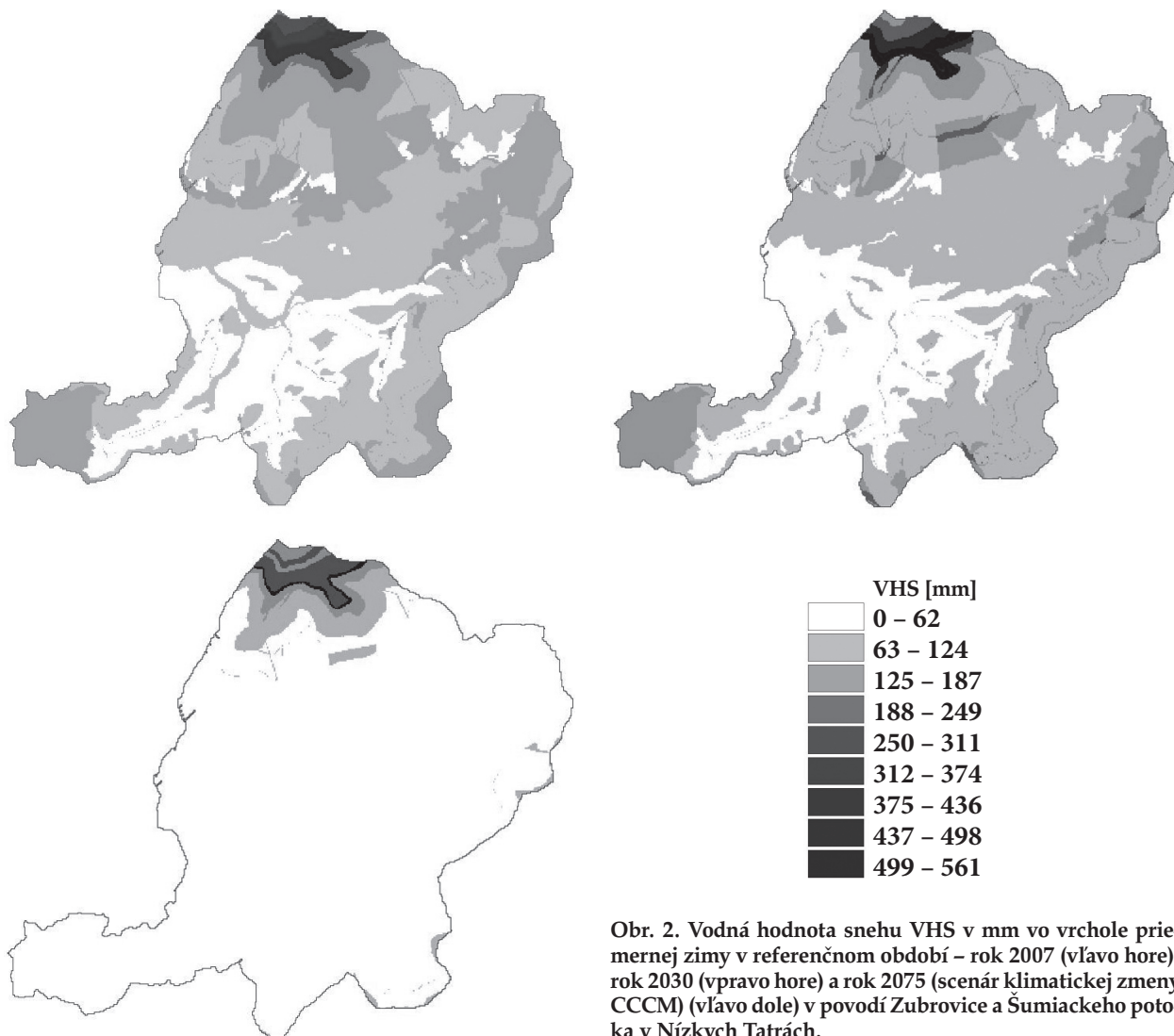
Lokalita	Nadmorská výška [m]	Priemerná ročná teplota [°C]	Priemerný ročný úhrn zrážok [mm]	Dominantné dreviny
Pišsko	1 250	2,6	1 450	<i>Picea abies</i> <i>Sorbus aucuparia</i>
Nízke Tatry Vajskovská dolina	1 300	3,2	1 270	<i>Picea abies</i> <i>Fagus sylvatica</i>
Nízke Tatry Vajskovská dolina	1 700	1,0	1 330	<i>Sorbus aucuparia</i> <i>Pinus mugo</i> <i>Picea abies</i>



Obr. 1. Grafické výsledky simulácie *Forest Gap Model*-u pre súčasné klimatické podmienky (vľavo) a pre podmienky očakávanej klimatickej zmeny (vpravo)

Výsledky vodnej hodnoty snehu pre referenčné obdobie, rok 2030 a rok 2075 z povodia Zubrovica a Šumiackeho potoka v Nízkych Tatrách, pre priemerné snehové podmienky súčasnej zimy sú znázornené na obr. 2. Nadmorská výška sledovaného povodia je od 820 do 1 945 m n. m. Výsledky simulácií v uvedenom

povodí poukazujú na výrazné zmeny hydrologického režimu snehovej pokrývky v dôsledku pôsobenia klimatickej zmeny. V povodí Zubrovica a Šumiackeho potoka klesne zásoba vody viazanej v snehu v roku 2030 o 0,97 mil. m³ (88 % z referenčného obdobia) a zásoba v roku 2075 klesne o 5,24 mil. m³ (32 % z referenčného



Obr. 2. Vodná hodnota snehu VHS v mm vo vrchole priemernej zimy v referenčnom období – rok 2007 (vľavo hore), rok 2030 (vpravo hore) a rok 2075 (scenár klimateckej zmeny CCCM) (vľavo dole) v povodí Zubrovice a Šumiackeho potoka v Nízkych Tatrách.

Tab. 3. Zhrnutie výsledkov modelovej analýzy

Oblasť horských lesov – Oravské Beskydy, Pišsko, 1 250 m n. m.
– výrazné zvýšenie výskytu buka a javora horského; – zníženie zastúpenia smreka; – zvýšenie celkovej produkcie biomasy (17 %).
Oblasť horských lesov – Nízke Tatry, Vajskovská dolina, 1 300 m n. m.
– výrazné zvýšenie výskytu buka a cenných listnáčov; – takmer úplná absencia zastúpenia smreka; – zvýšenie celkovej produkcie biomasy (20 – 30 %).
Oblasť kosodrevinového pásma nad hranicou lesa – Nízke Tatry Vajskovská dolina, 1 700 m n. m.
– výrazné zvýšenie zastúpenia stromových druhov; – dominancia zastúpenia smreka; – ústup kosodreviny; – výrazné zvýšenie celkovej produkcie biomasy (200 – 300 %).

obdobia). Zo zisteného vyplýva, že klimatická zmena sa najviac dotkne snehových zásob území s nižšou nadmorskou výškou (obr. 2). Zmeny v snehových pomeroch budú mať za následok pokles prietokov v horských potokoch, hlavne v jarnom období. Pravdepodobne bude častejší výskyt sezón s malou resp. absentujúcou snehovou pokrývkou v zimnom období, hlavne v nižších častiach sledovaných území. Tento stav môže vyvolať častejší výskyt holomrazov s následným poškodením koreňového systému drevín.

* * *

Možno konštatovať, že uvedený metodický postup (*Forest Gap Model*) v zásade vystihuje drevinové zloženie

a produkčné schopnosti lesných spoločenstiev z oblasti hornej hranice horských lesov vysokých pohorí Západných Karpát v podmienkach súčasnej klímy. Táto verifikácia nás oprávňuje považovať modelové zmeny podľa CCCM scenára (pre podmienky $2 \times \text{CO}_2$) za relevantné. Pre podmienky klimatickej zmeny možno vo všeobecnosti konštatovať, že postihnutie ihličnanov ako smreka a jedle bude väčšie ako listnatých drevín.

Zistené poznatky o náraste produkcie je však potrebné interpretovať so značnou dávkou opatrnosti. Aplikovaný model nezohľadňuje reálne možné zmeny chemickej klímy (nárast koncentrácií troposférického ozónu, zvyšovanie UV-B radiácie, kyslé depozičné vstupy a i.), nedostatok tiež vidíme v skutočnosti, že dnes nám dostupné scenáre poskytujú budúce klimatické dáta na úrovni mesačných priemerov, absentujú údaje o extrémnych hodnotách klimatických prvkov horskej klímy a pod.

Modelovanie zmien snehovej pokrývky úzko súvisí s existenciou horských lesov. Model poukazuje na zistenie, že zásoby vody viazanej v snehu v horských povodiach Nízkych Tatier do roku 2075 poklesnú na 32 % v porovnaní s referenčným obdobím.

Napriek konštatovaným nedostatkom si myslíme, že je potrebné pokračovať vo výskume možných dopadov meniacej sa klímy na horské lesy. Nádejnú cestu vidíme v konštrukcii komplexných dynamických modelov, ktoré by poskytovali ucelenú informáciu o hlavných potenciálnych stresových činiteľoch (napr. spojenie modelov kritických imisných záťaží s modelmi klimatickými).

Príspevok vznikol s podporou projektov APVV-0423-10 a VEGA 1/0281/11 a 1/0642/10.

Literatúra

- Anonymous: U. S. Country Studies Program: Guidance for Vulnerability and Adaption Assessment. Washington, 1995, F1 – F38.
- Botkin, D. B., Janak, J. F., Wallis, J. R.: Some Ecological Consequences of a Computer Model of Forest Growth. *Journal of Ecology*, 1972, 60, p. 849 – 873.
- Korpeľ, Š.: Pralesy Slovenska. Bratislava : Veda, 1989, 332 s.
- Kostka, Z., Holko, L.: Vplyv klimatickej zmeny na priebeh odtoku v malom horskom povodí. *Národný klimatický program SROV*. Bratislava : MŽP SR a SHMÚ, 2000, 8, s. 91 – 109.



Imisie, patogénny, hmyz a nastupujúce zmeny klímy na mnohých miestach poškodili citlivé horské ekosystémy. Foto: Jaroslav Škvarenina

- Lapin, M. et al.: *Príprava regionálnych scenárov zmien klímy podľa GCMs modelov*. Bratislava : SHMÚ, 1995, 3 s.
- Midriak, R.: Vplyv ekologických zmien na plnenie celospoločenských funkcií horských lesných ekosystémov. In: *Výskum a obhospodarovanie lesov v zmenených ekologických podmienkach*. Bratislava : Príroda, 1989, s. 89 – 94.
- Midriak, R.: Lesný pôdny fond v horských oblastiach Slovenska – jeho ohrozenie a ochrana. *Lesn. Čas. – Forestry Journal*, 1993, 39, 2, s. 101 – 115.
- Mindáš, J., Škvarenina, J.: *Modelové zmeny bioklimatických podmienok výskytu zonálnych lesných spoločenstiev pre podmienky modifikovaných GCMs scenárov klimatickej zmeny na Slovensku*. *Národný klimatický program SR*, Zvolen, 1995, 13 s.
- Mindáš, J., Lapin, M., Škvarenina, J.: *Klimatické zmeny a lesy Slovenska*. *Národný klimatický program SR*, 1996, 5, s. 29 – 40.
- Shugart, H.: *A Theory of Forest Dynamics*. New York : Springer-Verlag, 1984, 278 p.

Doc. Ing. RNDr. Jozef Mindáš, PhD.,

jozefmindassk@gmail.com

Ústav životného prostredia a regionálneho rozvoja, Stredoeurópska vysoká škola v Skalici, Kráľovská 386/11, 909 01 Skalica

Prof. Ing. Jaroslav Škvarenina, CSc., *jarosk@tuzvo.vsl.d.sk*

Ing. Matúš Hríbik, PhD., *vrchar@gmail.com*

Katedra prírodného prostredia Lesníckej fakulty Technickej univerzity Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen