

Vplyv klimatických zmien na vývoj lesných ekosystémov hornej hranice lesa

J. MINĐAŠ¹ a J. ŠKVARENINA²

¹ Lesnícky výskumný ústav, T.G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, Slovensko, e-mail: mindas@classic.fris.sk;

² Lesnícka fakulta Technickej univerzity, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovensko, e-mail: kpp@tuzvo.vsl.d.sk

Abstract. Analyses of dynamic changes of natural ecosystems of the upper tree line using the Forest Gap Model was applied to predict effects of climate changes after doubling the concentration of carbon dioxide (CO₂). The Forest Gap Models belong into the group of dynamic models that are able to calculate varied parameters of forest trees in time series. The models are based on simulations of natural regeneration, growth, mortality of each tree in the studied ecosystem. To simulate effects of double increased concentration of carbon dioxide expected in the year 2070, the regional models of climate change (regional interpretation of the values of climatic elements based on general atmospheric circulation models) from the territory of the Slovak Republic were applied. The values the regional models of climate change were also derived from the Canadian Climate Centre Model (CCCM). The following input parameters of individual forest trees were used in the simulation: the maximal age of tree, the maximal tree width (1.3 m), the maximal height, and the parameters of natural tree regenerations. The model includes several response functions that cover environmental effect of individual trees such as the lights requirements, the temperature requirements, and moisture requirements. Characteristics of individual tree species (age, diameter, height) incorporated in the simulation algorithms were collected in the three long term monitoring plots in the nature reserves by the Forestry Research Institute in Zvolen. Two monitoring plots located in the Pilsko (1 250 m a.s.l.), Oravské Beskydy Mts., and in the Vajskovská valley (1 300 m a.s.l.), Nízke Tatry Mts., represented mountain forest ecosystems dominated by *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, *Abies alba*, and *Sorbus aucuparia*. The third monitoring plot dominated by *Pinus mugo*, *Picea abies*, and *Sorbus aucuparia* was also sited in the Vajskovská valley, 1 700 m a.s.l., represented the dwarf pine communities above the upper tree line (subalpine zone). Simulations of the climate change effects on tree species were based on climatic amplitudes of their geographic range. The model simulations were carried out for the current climate conditions (means 1951-80) and for the expected climatic conditions following the model CCCM. The model

simulations showed significant changes in the potential forest production and distributional patterns of tree species in each studied site. The computer simulations of the two sites located in the mountain forest zone showed significant increase of relative abundance of *Fagus sylvatica* and *Acer pseudoplatanus*, significant decrease or almost absence of relative abundance of *Picea abies*, and increase of the total biomass production for 17–30 %. The simulations showed the most drastic changes in the subalpine zone. The original dwarf pine community will be dominated by *Picea abies*, dominance of other tree species will also increase, yet *Pinus mugo* will decline, and the total biomass production will increase for 200–300 %. The results should be, however, interpreted carefully since the applied models did not incorporate possible effects of chemical climate change e.g., increased concentration of tropospheric ozone, increased UV-B radiation, immissions, etc.

Key words: ecosystem modeling, climate change, global warming, CO₂, forest ecosystems, upper tree line, the Forest Gap Model, the Nízke Tatry Mts.

Úvod

Horské lesy patria k ekosystémom, ktoré sú pod dlhodobým negatívnym vplyvom ľudskej činnosti. 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 reliéfove výškové pôdne a klimatické podmienky vyznačujú prirodzenou fragilitou, 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. kosodrevinového stupňa vo výške 1 500 m n.m. a viac. Košťatuje, že pokrývajú asi 490 000–500 000 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 preto 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.

Materiál a metodika

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 je možné nájsť v prácach: Shurgart (1984) a Smith *et al.* (ex Anonymous 1994).

Pre stanovenie klimatických hodnôt pre stav $2 \times \text{CO}_2$, ktorý sa očakáva okolo roku 2070, 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) modelu, hodnoty ktorého uvádzame v tabuľke 1 (Table 1).

Pre účely tejto práce sme použili verziu Forest Gap Modelu vypracovanú prof. Smithom zo State University of Virginia. Do modelu vstupovali nasledovné údaje pre jednotlivé lesné dreviny:

- maximálny vek dreviny
- maximálna hrúbka d 1,3
- maximálna výška
- parametre prirodzeného zmladenia drevín

Tento model obsahuje niekoľko funkcií odozvy (response functions), ktoré zahŕňajú nasledovné

environmentálne vplyvy jednotlivých drevín:

- nároky na svetlo
- teplotné podmienky
- vlhová zabezpečenosť

Analýza dynamických zmien lesných ekosystémov bola realizovaná na troch lokalitách, ktoré reprezentujú prirodzené lesné spoločenstvá z oblasti hornej hranice horských lesov vysokých pohorí Západných Karpát. Ich základné charakteristiky sú uvedené v tabuľke 2 (Table 2).

Charakteristiky jednotlivých drevín (vek, hrúbka, výška) boli získané z pozorovaní v prírodných rezerváciách (Korpeľ 1989) a na základe meraní na výskumných plochách LVÚ vo Zvolene. Vplyv klimatickej zmeny je v modeli zabudovaný prostredníctvom klimatických amplitúd jednotlivých drevín na základe analýz areálov ich rozšírenia (Mindáš *et al.* 1996).

Výsledky

Modelové výpočty sme realizovali pre podmienky súčasnej klímy (priemery 1951-80) ako aj pre očakávané klimatické podmienky podľa modelu CCCM. Výsledky týchto výpočtov sú vyjadrené ako časový vývoj celkovej biomasy (t ha^{-1}) pre jednotlivé uvažované dreviny. Pre tri zvolené lokality dokumentuje uvedené zistenia obrázok 1 (Fig. 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 tabuľke 3 (Table 3).

Záver

Môžeme konštatovať, že uvedený metodický postup (Forest Gap Modelu) v zásade vystihuje drevinové

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
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

Table 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 priemerami z obdobia 1951-1980.

Lokalita	Nadmor. výška (m n.m.)	Priemerná ročná teplota ($^{\circ}\text{C}$)	Priemerný ročný úhrn zrážok (mm)	Dominantné dreviny
Pillsko	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>Sor. aucuparia</i> <i>Pinus mugo</i> <i>Picea abies</i>

Table 2. Základné charakteristiky vybraných lokalít pre použitie Fores gap Modelu.

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 môžeme 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 ai.), nedostatok tiež vidíme v skutočnosti, že dnes nám dostupné scenáre poskytujú budúce klimatické údaje na úrovni mesačných priemerov, absentujú údaje o extrémnych hodnotách klimatických prvkov horskej klímy a pod.

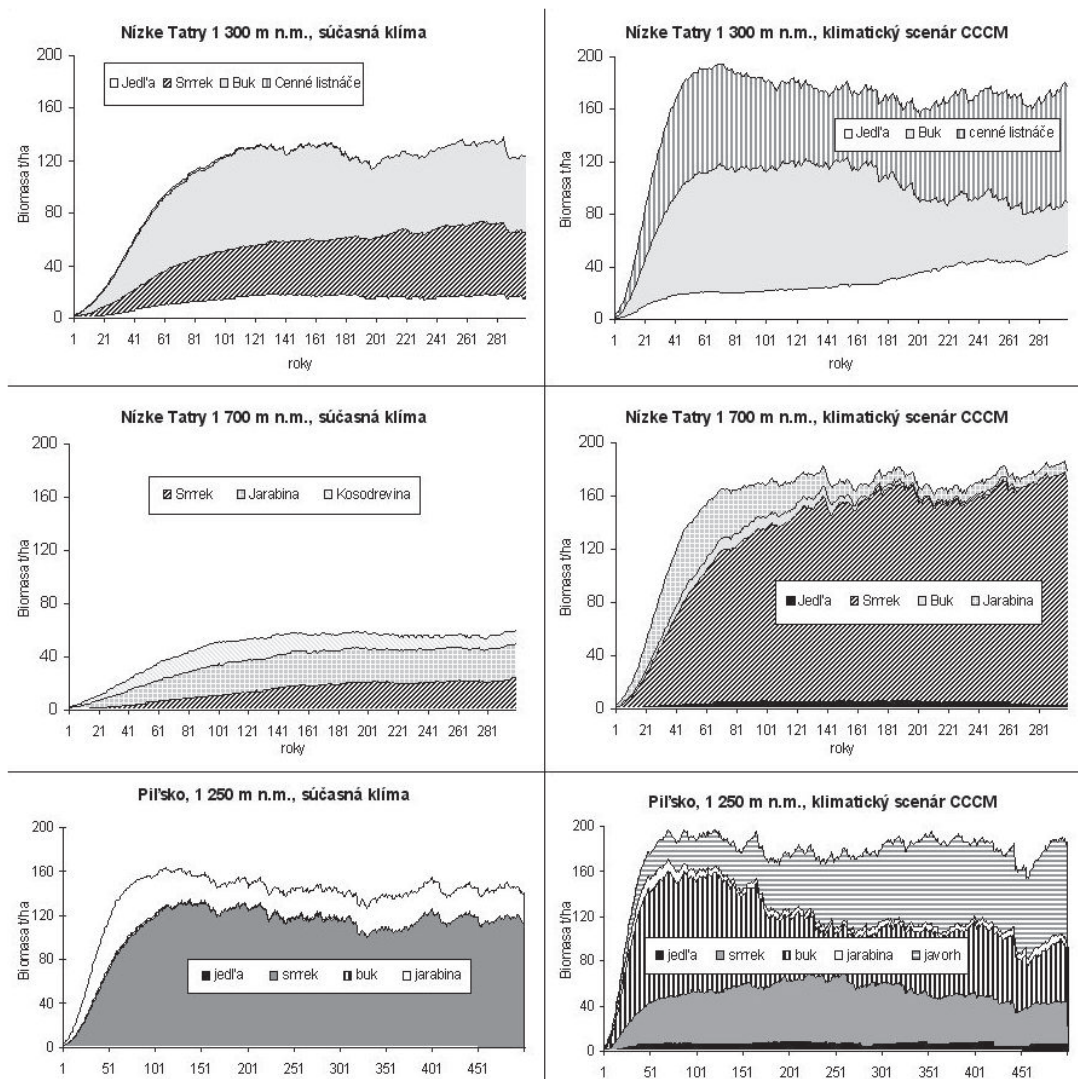


Fig. 1. Grafické výsledky simulácie Forest Gap Model-u pre súčasnú klimatické podmienky (vľavo) a pre podmienky očakávanej klimatickej zmeny (vpravo).

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 zástúpenia 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 %)

Table 3. Zhrnutie výsledkov modelovej analýzy.

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).

Literatúra

- Botkin, D.B., Janak, J.F. and Wallis, J.R. 1972: Some ecological consequences of a computer model of forest growth. *Journal of Ecology*, **60**: 49-873.
- Korpeľ, Š. 1989: Pralesy Slovenska. Veda, Bratislava, ČSSR.
- Lapin, M., Nieplová, E., Faško, P., 1995: Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. Národný

- klimatický program SR, zv.3, MŽP SR a SHMÚ, Bratislava, pp. 17 - 57.
- Midriak, R. 1989: Vplyv ekologických zmien na plnenie celospoločenských funkcií horských lesných ekosystémov. In *Výskum a obhospodarovanie lesov v zmenených ekologických podmienkach*. pp. 89-94. Príroda, Bratislava.
- Midriak, R. 1993: Lesný pôdny fond v horských oblastiach Slovenska – jeho ohrozenie a ochrana. *Forestry Journal*, **39**: 101–115.
- Mindáš, J. and Škvarenina, J. 1995: Modelové zmeny bioklimatických podmienok výskytu zonálnych lesných spoločenstiev pre podmienky modifikovaných GCMs scenárov klimatickej zmeny na Slovensku. Národný klimatický program SR, Zvolen, Slovensko.
- Mindáš, J., Lapin, M., Škvarenina, J. 1996: Klimatické zmeny a lesy Slovenska. NKP SR, 5/96, Bratislava, pp. 98.
- Shugart, H.H. 1984: *A Theory of Forest Dynamics*. Springer-Verlag, New York, USA.
- U. S. Country Studies Program, 1994: *Guidance for Vulnerability and Adaption Assessment*. Washington, F1 - F38.