

ANALÝZA DOPADOV KLIMATICKÝCH ZMIEN NA LESY POMOCOU DYNAMICKÝCH STOCHASTICKÝCH MODELOV

Jozef Mindáš¹, Jaroslav Škvarenina²

¹Lesnícky výskumný ústav Zvolen, ²Lesnícka fakulta TU Zvolen

ÚVOD A CIEĽ PRÁCE

Štúdium predpokladaných dopadov klimatických zmien nastoľuje pred riešiteľov tejto problematiky otázku hodnovernosti a relevantnosti predpovede budúceho možného vývoja lesov. Otázkou je teda čo najobjektívnejšie zhodnotenie metód a postupov presnej predikcie očakávaných zmien.

V rámci riešenia projektu U.S.Country Study na Slovensku zameraného aj na riešenie problematiky dopadu klimatických zmien na lesy a lesné hospodárstvo sa v metodickom postupe doporučuje uplatnenie dvoch druhov modelov. V prvej fáze sa predpokladá plošná analýza zmien bioklimatických podmienok existencie lesných spoločenstiev použitím HOLDRIDGE modelu, ktorý predstavuje statický model komparácie dvoch stavov - súčasnej klímy a klimatickej zmeny podľa zvoleného scenára. Výsledky zmien bioklimatických podmienok výskytu zonálnych lesných spoločenstiev v podmienkach klimatickej zmeny na Slovensku sú podrobne prezentované v práci MINDÁŠ, ŠKVARENINA (1995). V druhej fáze je doporučená aplikácia dynamického stochastického modelu (FOREST GAP MODEL) vývoja lesného ekosystému vplyvom zmien environmentálnych podmienok.

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

METODIKA A POPIS MODELU

Forest Gap modely sú zahrňané 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 (BOTKIN *et al.* 1972).

Odozva jednotlivého stromu k ekologickým podmienkam na danej ploche je definovaná environmentálnymi funkciami odozvy, všeobecne vyjadrených podielom ovplyvnenia optimálneho rastu v relatívnom rozsahu 0 až 100%. Tieto environmentálne funkcie odozvy boli definované použitím rozličných metód. Podrobný rozbor a teoretické základy týchto metód je možné nájsť v prácach: SHUGART (1984) a SMITH *et al.* (ex ANONYMOUS 1994).

Pre stanovenie klimatických hodnôt pre stav 2xCO₂, 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 nasledovnej tabuľke (Tab.1).

Tab 1 Územný priemer mesačných teplôt vzduchu v st.C (Tn) a zrážok v mm (Rn) pre Slovensko za obdobie 1951-80 a regionálna modifikácia odchýlok teploty a zrážkových kvocientov (N-sever Slovenska, S-juh Slovenska) podľa CCCM modelu (2xCO2)

Tab 1 Monthly spatial averages of air temperature (°C) (Tn) and precipitation (mm) (Rn) for Slovakia (period 1951-80) and regional modifications of average monthly air temperature differences and quotients of average monthly precipitation for GCMs scenario CCCM (2xCO2), N - Northern part of Slovakia, S- Southern part of Slovakia

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Tn	-3.8	-1.8	2.2	7.7	12.5	16.1	17.5	16.8	13.0	8.0	3.0	-1.5
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
Rn	44	44	42	53	71	98	93	79	54	53	61	56
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
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

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 typických lokalitách, ktoré reprezentujú prirodzené zonálne lesné spoločenstvá Západných Karpát. Ich základné charakteristiky sú uvedené v tabuľke 2.

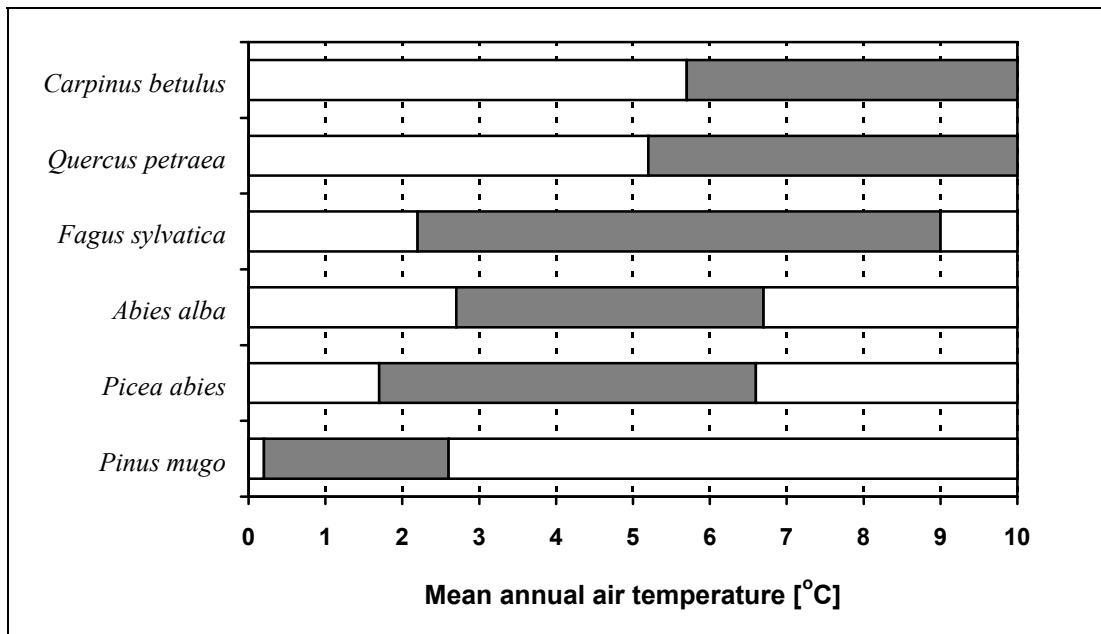
Tab 2 Základné charakteristiky vybraných lokalít pre použitie Forest Gap Modelu

Tab 2 Basic characteristics of selected sites for using of Forest Gap Model

Site	Altitude [m a.s.l.]	Mean annual temperature [°C]	Annual precipitation [mm]	Dominant tree species
Piľsko	1 250	2.6	1450	<i>Picea abies</i> <i>Sorbus aucuparia</i>
Dobroč	850	4.9	940	<i>Abies alba</i> <i>Fagus sylvatica</i>
Sitno	500	7.7	830	<i>Quercus petraea</i> <i>Carpinus betulus</i> <i>Fagus sylvatica</i>

Charakteristiky jednotlivých drevín (vek, hrúbka, výška) boli získané z pozorovaní v prírodných rezerváciách (KORPEL 1989). Vplyv klimatickej zmeny je v modeli zabudovaný prostredníctvom klimatických amplitúd jednotlivých drevín na základe analýz areálov ich

rozšírenia. Obrázok 1 ilustruje použité amplitúdy priemernej ročnej teploty vzduchu získaných analýzou vertikálneho rozšírenia hlavných lesných drevín na Slovensku.



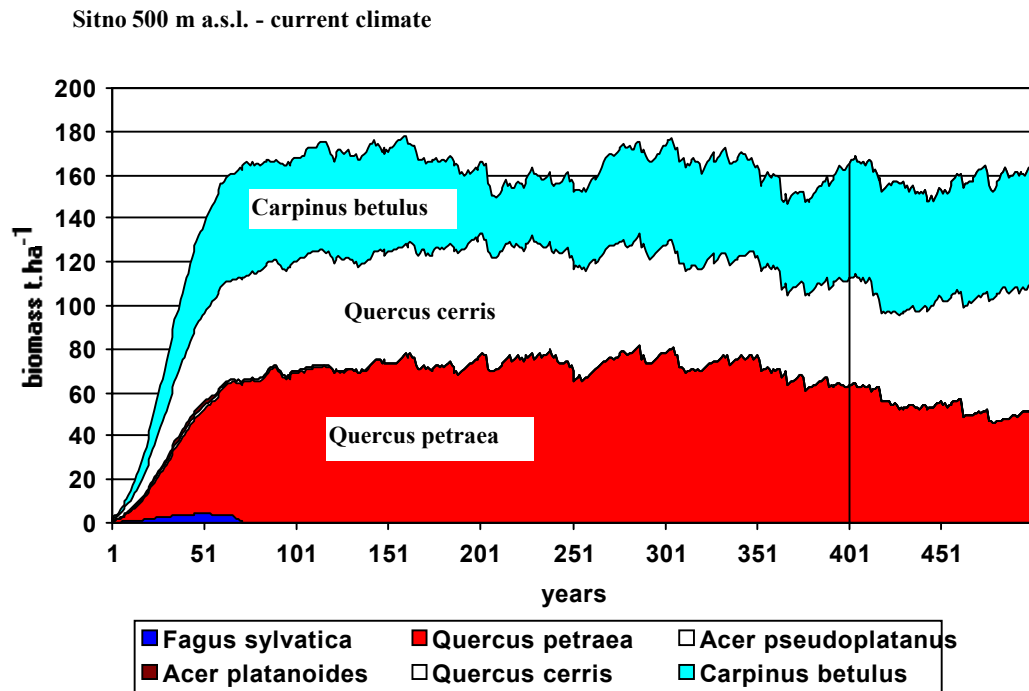
Obr 1 Celkové amplitúdy priemernej ročnej teploty vzduchu hlavných lesných drevín Slovenska

Fig 1 Total mean annual temperature range of main forest trees in Slovakia

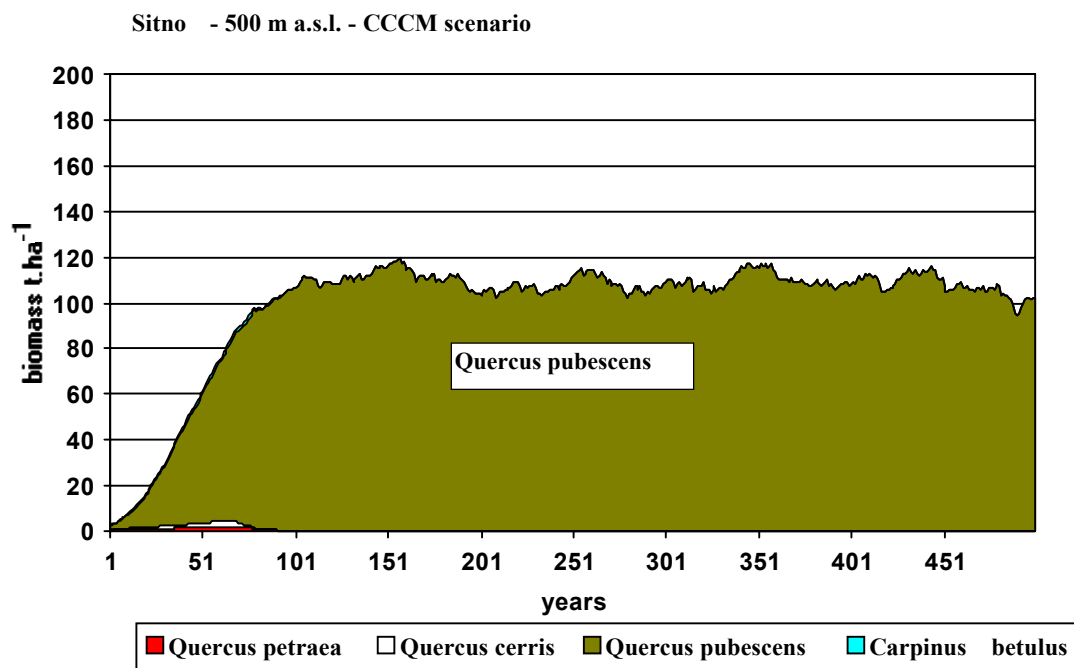
VÝSLEDKY

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 ($t \cdot ha^{-1}$) pre jednotlivé uvažované dreviny. Pre tri zvolené lokality dokumentujú uvedené zistenia obrázky 2-7.

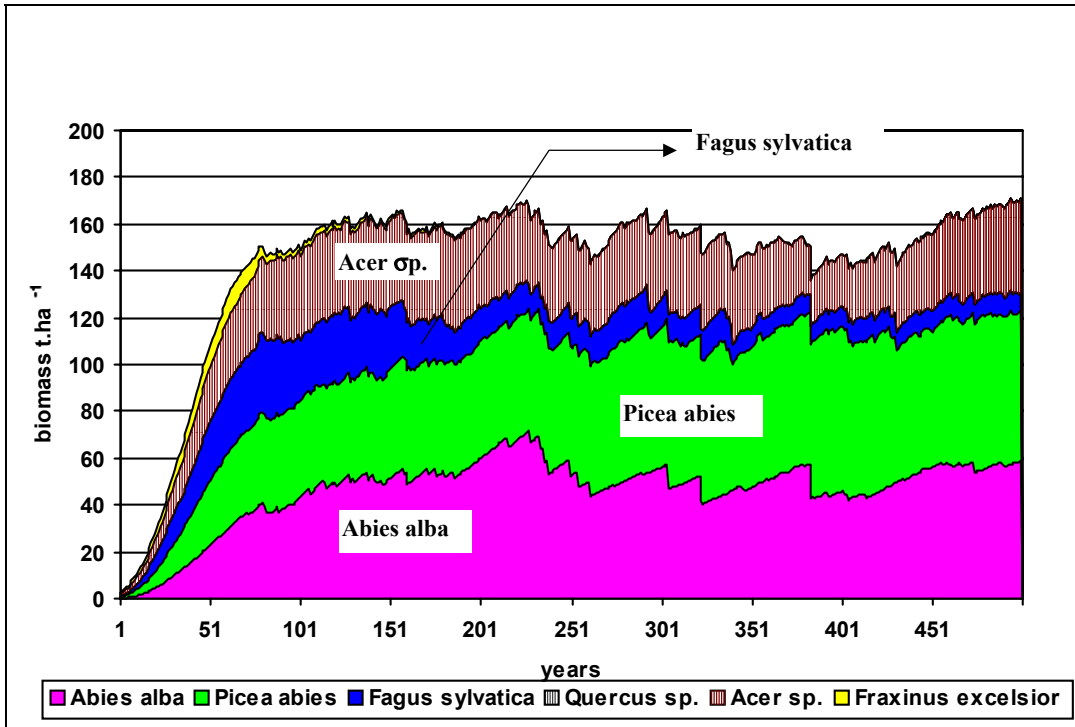
Modelové simulácie poukazujú na významné zmeny vo výskyte a potenciálnej produkcii lesných drevín na všetkých troch skúmaných stanovištiach, najdôležitejšie výsledky sú zhrnuté v tabuľke 3.



Obr 6 Výsledky simulácie Forest Gap Modelu pre oblasť Sitna (500 m n.m.) - súčasná klíma
 Fig 6 Results from a Forest Gap Model simulations for a montane (cool temperate) moist forest (Sitno, 500 m a.s.l.) - Current climate.



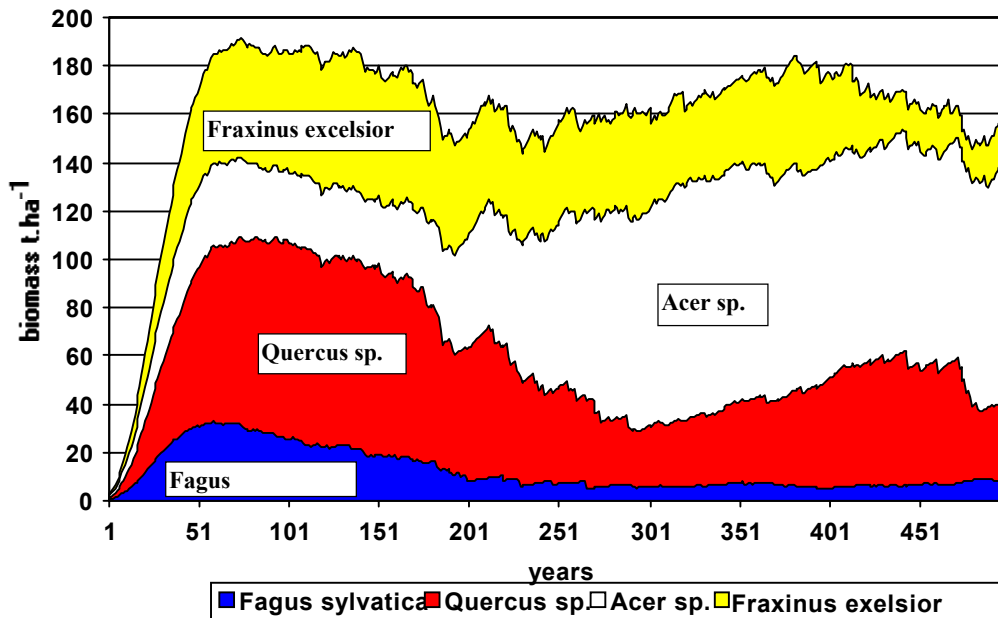
Obr. 7 Výsledky simulácie Forest Gap Modelu pre oblasť Sitna (500 m n.m.) - CCCM scenár
 Fig 7 Results from a Forest Gap Model simulations for a subalpine (boreal) wet forest (Sitno, 500 m a.s.l.) - CCCM scenario.



Obr 4 Výsledky simulácie Forest Gap Modelu pre oblasť Dobročského pralesa (850 m n.m.) - súčasná klíma

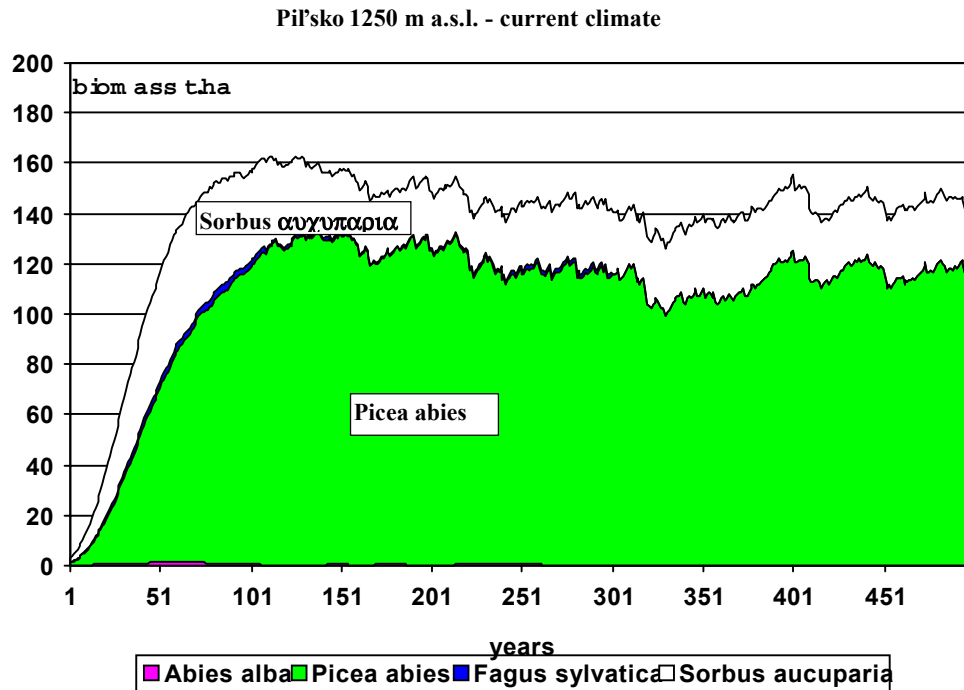
Fig 4 Results from a Forest Gap Model simulations for a subalpine (boreal) wet forest (Dobroč, 850 m a.s.l.) - Current climate.

Dobročský prales, 850 m a.s.l. - CCCM scenario



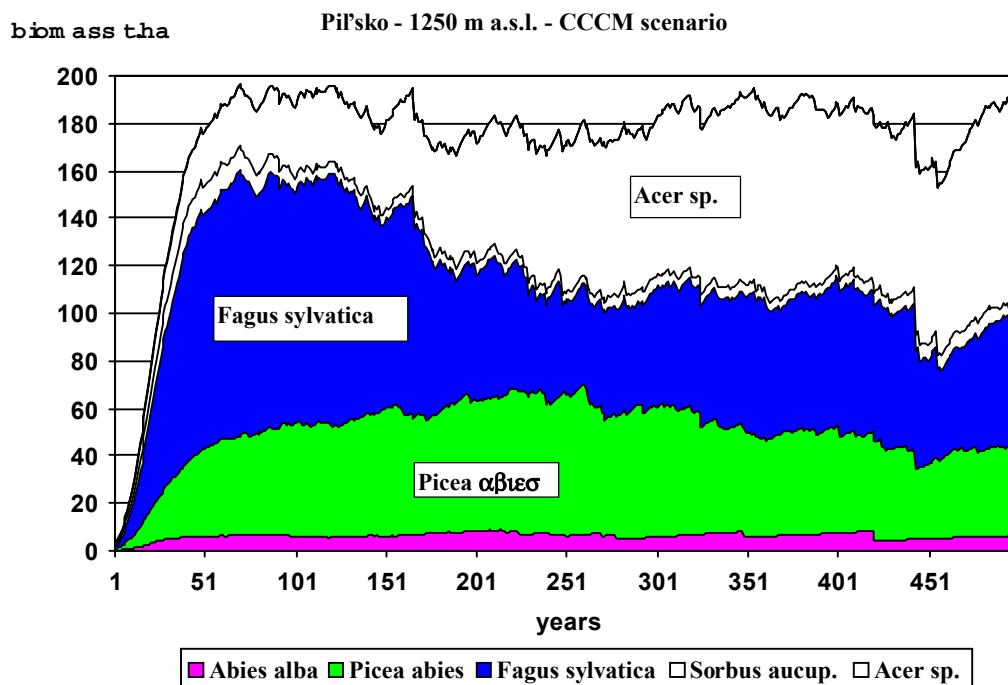
Obr 5 Výsledky simulácie Forest Gap Modelu pre oblasť Dobročského pralesa (850 m n.m.) - CCCM scenár

Fig 5 Results from a Forest Gap Model simulations for a montane (cool temperate) moist forest (Dobroč, 850 m a.s.l.) - CCCM scenario.



Obr 2 Výsledky simulácie Forest Gap Modelu pre oblasť Pišska (1 250 m n.m.) - súčasná klíma
Fig 2 Results from a Forest Gap Model simulations for a subalpine (boreal) rain forest (Pišsko, 1250 m a.s.l.) - Current climate.

s



Obr 3 Výsledky simulácie Forest Gap Modelu pre oblasť Pišska (1 250 m n.m.) - CCCM scenár
Fig 3 Results from a Forest Gap Model simulations for a subalpine (boreal) rain forest (Pišsko, 1250 m a.s.l.) - CCCM scenario.

Tab 3 Najvýznamnejšie zmeny (druhové zloženie, biomasa) na troch nadmorskou výškou diferencovaných lesných stanovištiach Západných Karpát pri aplikácii scenára CCCM

Tab 3 Main changes (species composition, biomass) for three altitudinal different sites in Western Carpathians (CCCM scenario).

Piľsko, 1250 m a.s.l. - Subalpine rain forest - current climate Subalpine rain forest - CCCM scenario
<ul style="list-style-type: none">• výrazné zvýšenie výskytu buka a javora horského• zníženie zastúpenia smreka• zvýšenie celkovej produkcie biomasy (17%)
Dobročský prales, 850 m a.s.l - Subalpine wet forest - current climate Montane moist forest - CCCM scenario
<ul style="list-style-type: none">• úplná absencia ihličnatých druhov• výrazné zvýšenie zastúpenia dubov, javorov a jaseňa• slabé zvýšenie celkovej produkcie biomasy (5%)
Sitno, 500 m a.s.l - Montane (cool temperate) moist forest - current climate Montane (cool temperate) moist forest - CCCM scenario
<ul style="list-style-type: none">• takmer úplná absencia duba zimného a hraba• výrazná dominancia lesostepných spoločenstiev duba plstnatého• zníženie celkovej produkcie biomasy (-38%)

ZÁVER

Na základe zhodnotenia modelových výpočtov Forest Gap Modelu môžeme konštatovať, že uvedený metodický postup v zásade vystihuje drevinové zloženie a produkčné schopnosti hlavných zonálnych lesných spoločenstiev Západných Karpát v podmienkach súčasnej klímy.

Táto verifikácia nás oprávňuje považovať modelové zmeny podľa CCCM scenára (pre podmienky 2xCO₂) za relevantné. Pre podmienky klimateckej zmeny môžeme vo všeobecnosti konštatovať, že postihnutie ihličnanov ako smreka a jedle bude väčšie ako listnatých drevín. Z uvedeného dôvodu je možné predpokladať zníženie dlhodobej ekologickej stability lesných porastov ihličnatých drevín (najmä monokultúr).

Na základe poznatkov získaných podobnými modelmi pre oblasť Nemecka a Švajčiarska (Alpský región, Solling) (KRAUCHI 1994) je potrebné upozorniť na dôležitú fázu "prechodu" z pomerov súčasnej klímy po rovnovážny stav v nových klimatických podmienkach. Táto fáza podľa výsledkov citovaného autora trvá 100 - 150 rokov, kedy môže dôjsť aj k výraznému zníženiu celkovej produkcie najmä u monodrevinových porastov (smreková monokultúra Solling). Fázu prechodu môžeme datovať do obdobia 2050-2200.

SUMMARY

The results of Forest Gap Model application are presented in the paper. The model calculations were realized according to the CCCM scenario (GCMs scenario from Canadian Climate Centre) for three altitudinal different sites in Western Carpathians. Main results can be described as follows:

Piňsko, 1250 m a.s.l.

Subalpine rain forest - current climate and CCCM scenario

- marked increase of occurrence of *Fagus sylvatica* and *Acer pseudoplatanus*
- decrease of occurrence of *Picea abies*, *Sorbus aucuparia*
- increase of total production of biomass (17%)

Dobročský prales, 850 m a.s.l

Subalpine wet forest - current climate, Montane moist forest - CCCM scenario

- total absence of coniferous tree species
- marked dominance of occurrence of *Quercus sp.*, *Acer sp.* and *Fraxinus excelsior*
- slight increase of total production of biomass (5%)

Sitno, 500 m a.s.l

Montane (cool temperate) moist forest - current climate and CCCM scenario

- nearly total absence of *Quercus petraea* and *Carpinus betulus*
- marked dominance of forest steppe communities of *Quercus pubescens*
- decrease of total production of biomass (-38%)

LITERATÚRA

- ANONYMOUS, 1995: U.S. Country Studies Program: Guidance for Vulnerability and Adaption Assessment. Washington, F1-F38.
- BOTKIN, D.B.-JANAK, J.F.-WALLIS, J.R., 1972: Some ecological consequences of a computer model of forest growth. *Journal of Ecology*, 60, p.849-873.
- KORPEL, Š., 1989: Pralesy Slovenska. Veda, SAV, Bratislava, 332 pp.
- KRAUCHI, N., 1994: Modelling Forest Succession as Influenced by a Changing Environments. *Mit. Eidgenoss. Forsch. für Wald, Schnee und Landschaft*, 69, 2, p. 145-271.
- LAPIN, M. et al., 1995: Príprava regionálnych scenárov zmien klímy podľa GCMs modelov. Bratislava 1995, SHMÚ Bratislava, 1995, 3p.
- MINDÁŠ, J.-ŠKVARENINA, J., 1995: Modelové zmeny bioklimatických podmienok výskytu zonálnych lesných spoločenstiev pre podmienky modifikovaných GCMs scenárov klimateckej zmeny na Slovensku. Národný klimatecký program SR, Zvolen, 13 pp.
- SHUGART, H.H., 1984: A Theory of Forest Dynamics. Springer-Verlag New York, 278 pp.