

Klimatické zmeny a lesné ekosystémy Slovenska

J. Minďáš, J. Škvarenina: Climate Change and Forest Ecosystems in Slovakia. Život. Prostr., Vol. 34, No. 2, 84–88, 2000.

The Slovak forest ecosystems will be influenced by several aspects of global changes – changes of atmospheric temperature and precipitation, increase of the CO₂ concentrations, extreme meteorological events etc. The analysis of the bioclimatic conditions changes for main forest communities (GCMs and analogue scenarios) has shown that climate in the future will create the most favourable conditions for oak communities (55–88 % from presently afforested area), the worse for coniferous communities (spruce 0.5–4 %, fir 1.5–7.5 %). Also the dynamic models (Gap models) documented significant changes in the tree species and bioproduction dynamics in relation to the altitude. The life cycle of the natural virgin forests would be in the range 200–400 years, the rotation period in the managed forests would be about 100 years. Therefore the strategy in Slovak forestry must be based on anticipatory adaptation measures, otherwise the reactive measures will not be effective.

Problematika možných dôsledkov klimatickej zmeny sa dotýka prakticky všetkých prírodných socioekonomických sfér, teda aj oblasti lesníctva. Na konferencii o ochrane lesov Európy r. 1993 v Helsinkách bola prijatá aj rezolúcia *Stratégia dlhodobej adaptácie lesov Európy na klimatickú zmenu*, ktorú podpísali takmer všetky európske krajiny. Významné aktivity vo vzťahu k efektom globálnej zmeny na lesy a lesné hospodárstvo sa rozvíjajú aj v rámci *Medzioládneho panelu pre klimatické zmeny* (IPCC), IGBP a IUFRO – programu *Global Change and Terrestrial Ecosystems*, z ktorého je pre lesníctvo najvýznamnejšia aktivita *Efekty globálnej zmeny na obhospodarované lesy*.

Súčasná koncepcia rozvoja lesného hospodárstva (LH) Slovenska je založená na princípe trvalo udržateľného rozvoja prírodných zdrojov s dôrazom na posilňovanie produkčného významu lesov a ich verejnoprospešných funkcií. Neobsahuje exaktne formulované opatrenia vo vzťahu k možným vplyvom klimatických zmien. Predpokladá sa, že novopripravovaná koncepcia rozvoja LH ich už bude obsahovať, aspoň v základnom rámci. Nevyhnutnosť prijatia samostatnej adaptačnej stratégie vyplýva zo závažnosti očakávaných dôsledkov, ktoré možno zosumarizovať takto (Minďáš a kol., 1996):

- potenciálne ohrozenie všetkých funkcií lesa vrátane produkčnej,

- nepriaznivý synergizmus pôsobenia zmien klímy pri pretrvávajúcej imisnej záťaži a pôsobení ďalších antropogénnych škodlivých činiteľov,
- dlhodobosť produkčnej doby lesných porastov, ktorá znemožňuje prijímať krátkodobé efektívne opatrenia (nevyhnutné sú opatrenia v dlhodobom predstihu).

Možné dôsledky zmeny klímy na lesné ekosystémy

Klíma, ako jeden z hlavných faktorov, ovplyvňuje celú škálu procesov a dejov v lesných ekosystémoch. Očakávané zmeny klímy vyvolajú zrejme celý rad zmien aj v stave a vývoji lesných spoločenstiev. Najčastejšie uvádzanými faktormi globálnych zmien pôsobiacich na lesné spoločenstvá sú (Landsberg a kol., 1993):

- zvyšovanie koncentrácie CO₂,
- zvyšovanie priemernej teploty,
- zmeny v množstve a distribúcii zrážok s nasledujúcimi zmenami vodnej bilancie,
- zvyšovanie UV-B žiarenia,
- zmeny frekvencie a intenzity extrémnych javov (extrémne teplé alebo chladné periódy, suchá a i.).

Viaceri autori upozorňujú na sprievodné faktory, ktoré môžu spôsobiť značný synergický účinok v spojitosti s globálnymi zmenami. Ide najmä o problémy využívania krajiny (land-use) – zmeny v lesnatosti (odlesňova-

nie, zalesňovanie) a o pôsobenie antropogénnych polutantov na lesy.

Landsberg a kol. (1993) formulovali nasledujúce základné okruhy potenciálnych dôsledkov globálnych zmien na lesy:

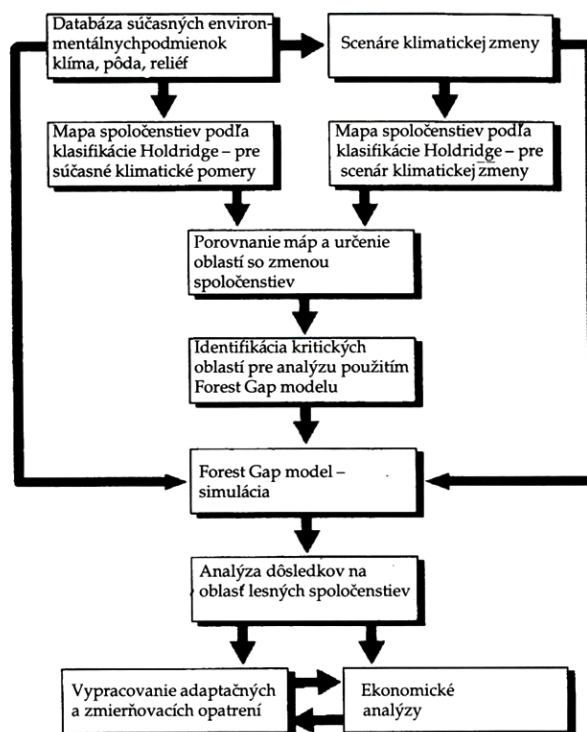
- klimatické zmeny (CO_2 , teplota, zrážky) ovplyvnia prírastky a celkový rastový proces lesa a môžu zmeniť dĺžku rubnej doby v produkčných lesoch,
- efekty zvýšeného CO_2 budú potlačené spätnými väzbami na ekosystémovej úrovni spojenými s kolobehom živín,
- efekt hnojenia CO_2 bude najprv detegovaný na stanovištiach s deficitom vody,
- zvýšené množstvo CO_2 ovplyvní rastové procesy hlavne cez efekty na alokáciu uhlíka, čiastočne zvýši produkciu koreňov a zrýchli kolobeh,
- zvýšenie teploty môže spôsobiť zvýšenie rastu lesa a jeho rozvoj prostredníctvom zvýšenej mineralizácie pôdnej organickej hmoty a rozšírením rastovej sezóny v oblastiach s chladnejšou klímou,
- zvýšená intenzita a frekvencia prírodných extrémnych javov, ako vietor, požiare, premnoženie škodcov môžu kriticky ovplyvniť štruktúru lesov prostredníctvom vplyvov na mortalitu stromov a regeneračné procesy.

Problematika presnej kvantifikácie odoziev lesných ekosystémov na globálne zmeny klímy a chemizmus atmosféry je veľmi zložitá pre komplikovanosť vzájomných vzťahov jednotlivých zložiek lesných ekosystémov a existenciu priamych či spätných väzieb.

V zásade sú dva hlavné prístupy k riešeniu tohto problému, a to *kvalitatívna analýza*, resp. *použitie najrôznejších modelov*. *Kvalitatívna analýza* býva spravidla založená na všeobecných poznatkoch, prípadne na analýze predošlého vývoja lesov v podobných podmienkach, aké očakávame v budúcnosti. Táto analýza je schopná identifikovať základné okruhy problémov, ktoré možno očakávať a predpokladaný smer pôsobenia možných zmien v lesných ekosystémoch (pozitívnych alebo negatívnych). Pre potreby presnejšej kalkulácie zmien lesných spoločenstiev sa používajú *modely*, ktoré sú na rôznej úrovni (časovej, priestorovej) schopné kvantifikovať dôsledky klimatických zmien na lesy. Ich vypovedacia schopnosť závisí od konštrukcie jednotlivých modelov, ich charakteru, komplexnosti, verifikácie a miery zovšeobecnenia.

Doterajšie poznatky o vplyve klimatických zmien na lesy Slovenska

Na analýzu možných dôsledkov klimatických zmien na lesy Slovenska boli použité 2 rôzne modelové postupy s cieľom ich vzájomnej komparácie a objektivizácie výsledkov. Išlo o *Holdridge model* (statický model vegetač-



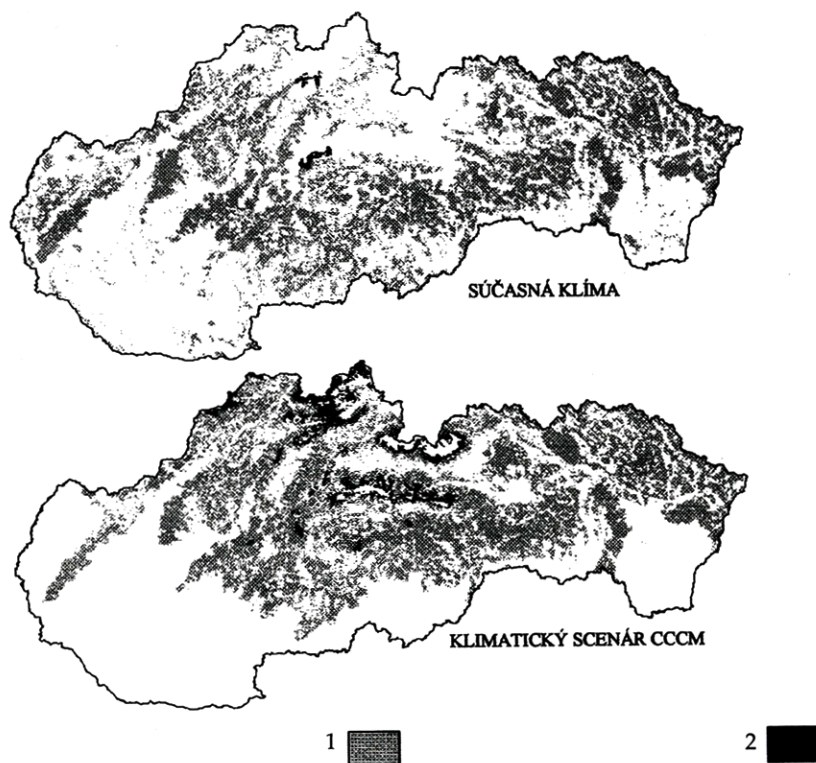
1. Modelovanie dôsledkov potenciálnych klimatických zmien podľa metodiky US Country Study (1994)

ných spoločenstiev) a *Forest Gap model* (dynamický stochastický model vývoja lesných spoločenstiev). Použitie týchto modelov umožnilo získať komplexný obraz o dôsledkoch klimatických zmien na lesné spoločenstvá v zmysle odporúčaného metodického postupu (US Country Study, 1994) prezentovaného na obr. 1.

Statické bioklimatické modely

Statické bioklimatické modely sú konštruované spravidla pre globálne použitie a sú založené na poznaní bioklimatických areálov základných vegetačných biómov na našej planéte. Líšia sa spravidla typom vegetačných, resp. fyto geografických formácií a použitými klimatickými charakteristikami. Ich aplikácia spočíva v komparácii plošného výskytu vegetačných biómov pri súčasných klimatických podmienkach a pre príslušný scenár klimatickej zmeny.

Modelový scenár predpokladá výraznú zmenu bioklimatických podmienok pre súčasné lesné spoločenstvá v rozsahu 25–35 % z celkovej plochy lesov podľa jednotlivých regionálnych scenárov zmien klímy (Mindáš, Škvarenina, 1996a). Na základe analýzy podľa Holdrid-



2. Plošná distribúcia bioklimatických podmienok montánneho mierne vlhkého lesa (1) a montánneho vlhkého lesa (2) pre súčasnú klímu a klimatický scenár CCCM na súčasnej ploche lesov SR

ge modelu sú vegetačné spoločenstvá definované hraničnými hodnotami biotploty, zrážok a evapotranspirácie). Pri riešení impaktu klimatickej zmeny na bioklimatické podmienky lesných spoločenstiev treba poukázať na tieto zistenia (Mindáš, Škvarenina, 1996b):

- pri uplatnení scenárov klimatickej zmeny možno očakávať najvýraznejšie zmeny bioklimatických podmienok v nížinných a horských oblastiach,
- najmenej bude postihnutá oblasť stredohorských lesov,
- predpokladá sa zánik bioklimatických podmienok alpínskeho stupňa a nástup nových suchomilných spoločenstiev teplejšej miernej zóny v nížinných oblastiach.

Ako príklad uvádzame výsledky plošnej analýzy výskytu dvoch vegetačných lesných spoločenstiev (obr. 2), kde možno vidieť markantnú zmenu v ich bioklimatických areáloch. Doterajšie výsledky aplikácie statických bioklimatických modelov na lesy Slovenska signalizujú dramatické zmeny v bioklimatických areáloch drevín najmä pre scenáre GISS a CCCM, aj pre najmiernejší scenár zmien teploty vzduchu (dT_1) sú však tieto zmeny

významné. Výsledky naznačujú, že v r. 2075 budú bioklimatické podmienky najviac vyhovovať spoločenstvám dubov, ktorých potenciálne zastúpenie by dosahovalo 55–88 %, pre spoločenstvá buka by to bolo 10–34 %, pre smrek 0,5–4 % a pre jedľu 1,5–7,5 % (tieto hodnoty sú len pre uvedené 4 dreviny, nie pre celkovú plochu lesov, Mindáš, Škvarenina, 1996c).

Vychádzajúc z týchto analýz sme sa pokúsili determinovať akútnosť ohrozenia súčasných lesných porastov na základe výskytu drevín podľa ich prirodzených areálov:

- akútne ohrozené lesné porasty – prevládajúce dreviny sa nachádzajú mimo ich prirodzeného areálu,
- ohrozené lesné porasty – prevládajúce dreviny sa nachádzajú na hranici ich prirodzeného areálu,
- potenciálne ohrozené lesné porasty – prevládajúce dreviny sa nachádzajú na okraji ich prirodzeného areálu.

Využili sme pritom údaje o plošnom výskyte jednotlivých porastových typov podľa lesných vegetačných stupňov (Hladík, 1996). Získané výsledky uvádzame v tab. 1.

Z výsledkov možno vidieť, že takmer 30 000 ha lesných porastov je akútne ohrozených (nevyhovujú ani súčasným klimatickým podmienkam) a takmer 260 000 ha lesných porastov je ohrozených (budú atakované klimatickými zmenami už r. 2030). Ďalších viac ako 960 000 ha je potenciálne ohrozených okolo r. 2050–2075.

Stochastické dynamické modely (Forest Gap Models)

Forest Gap modely patria do skupiny dynamických modelov, ktoré sú schopné kalkulácie rôznych charakteristik lesných drevín v časových sériách. Sú založené na simulácii prirodzeného zmladenia, rastu a mortality každého stromu na skúmanej ploche.

Odozva jednotlivého stromu na ekologické podmienky na danej ploche je definovaná environmentálnymi funkciami odozvy, všeobecne vyjadrených podielom ovplyvnenia optimálneho rastu v relatívnom rozsahu 0–100 %. Tieto environmentálne funkcie odozvy možno definovať použitím rozličných metód. Výber funkcií odozvy je v súčasnosti už pomerne široký, ale ich konštrukcia je často limitovaná drevinou, pôdnym typom,

Tab. 1. Ohrozenie hlavných porastových typov

Porastový typ	Absolútne ohrozené		Bezprostredne ohrozené		Potenciálne ohrozené	
	LVS	výmera [ha]	LVS	výmera [ha]	LVS	výmera [ha]
11	1.-3.	14 921	4.	40 236	5.	127 652
12	1.-2.	173	3.-4.	5 686	5.	10 150
14	-	-	1.	19 544	2.	107 556
15	1.	602	2.	9 056	3.-4.	331 069
16			1.	856	2.-3.	126 834
17			1.	2 775	2.	53 839
22	1.-2.	1 688	3.-4.	133 571	5.	96 333
23	1.-3.	11 414	4.	47 111	5.	110 776
Spolu		28 798		258 835		964 209

Porastové typy: 11 – smrečiny, 12 – jedliny, 14 – dubiny, 15 – bučiny, 16 – dubové bučiny, 17 – bukové bučiny, 22 – smrekovo-jedľové bučiny, 23 – bukovo-jedľové smrečiny.

LVS (lesné vegetačné stupne): 1. dubový, 2. bukovo-dubový, 3. dubovo-bukový, 4. bukový, 5. jedľovo-bukový.

klimatickými podmienkami, a preto nie je možná ich univerzálna použiteľnosť (Shugart, 1984). Súčasné verzie týchto modelov už umožňujú plynulú simuláciu klimatickej zmeny pre akékoľvek vekové a drevinové zloženie lesného porastu. Ich verifikácia sa robila na základe výsledkov z dlhoročných trvalých výskumných plôch, ako aj na podmienky vývoja klímy v holocéne a rekonštruovaného vývoja vegetácie v postglaciáli.

Tento model (Smith a kol., 1992) umožňuje analyzovať časové zmeny vývoja lesných spoločenstiev vplyvom zmien prostredia (teploty, zrážok, evapotranspirácie a pod.). Analýza zmien vývoja lesných spoločenstiev prostredníctvom tohto modelu bola uskutočnená pre tri charakteristické lesné spoločenstvá v rôznych nadmorských výškach. Získané výsledky možno zovšeobecniť (Mindáš a kol., 1996):

- **Oblasť horských smrekových lesov** (prevládajúcou drevinou je v súčasnosti smrek):
 - výrazné zvýšenie výskytu buka a javora horského,
 - zníženie zastúpenia smreka,
 - zvýšenie celkovej produkcie biomasy (o 17 % oproti súčasnosti).
- **Oblasť stredohorských zmiešaných lesov** (prevládajúcimi drevinami v súčasnosti sú smrek, jedľa a buk):
 - úplná absencia ihličnatých druhov,
 - výrazné zvýšenie zastúpenia duba, javora a jaseňa,
 - slabé zvýšenie celkovej produkcie biomasy (o 5 % oproti súčasnosti).

- **Oblasť podhorských zmiešaných lesov** (prevládajúcimi drevinami v súčasnosti sú jedľa, dub zimný, buk a hrab):
 - takmer úplná absencia duba zimného a hraba,
 - výrazná dominancia lesostepných spoločenstiev duba plstnatého,
 - zníženie celkovej produkcie biomasy (o 38 % oproti súčasnosti).

Podľa tohto modelu bude postihnutie ihličnanov (smreka a jedle) väčšie ako listnatých drevín. Na základe výsledkov získaných podobnými modelmi pre oblasť Nemecka a Švajčiarska (Alpský región, Solling) treba upozorniť na dôležitú fázu "prechodu" zo súčasných klimatických pomerov k rovnovážnemu stavu v nových klimatických podmienkach, v ktorej dochádza k najvýraznejším zmenám v lesných ekosystémoch. Začiatok tejto fázy možno datovať do 1. polovice 21. storočia.

Ďalšie modelové prístupy

Na špecifické detailnejšie analýzy vzťahu klímy a lesných spoločenstiev sa vo svete používajú aj iné, komplikovanejšie a komplexnejšie ponímané modely, a to najmä *ekofyziologické* (modelovanie rastu a vývoja drevín prostredníctvom modelov fotosyntézy a transpirácie). Osobitný prístup vo výskume odoziev zmien klímy na rast drevnej hmoty lesných drevín predstavujú *dendroklimatické modely* (Ďurský, 1995), ktoré modelujú závislosť tvorby letokruhov od vzťahu k charakteristikám klímy. Vo väzbe na významnú úlohu lesov v kolobehu uhlíka, resp. oxidu uhličitého sa intenzívne rozvíjajú aj *biogeochemické modely* (Sedjo, 1993), ktoré modelujú vplyv zmien klímy na kvantitatívnu a kvalitatívnu stránku, najmä uhlíkového a dusíkového cyklu.

Súčasne s modelovaním však treba rozvíjať aj experimentálny výskum v tejto oblasti, aby sa získavali nové poznatky, a tak sa spresňovali súčasné modely, ako aj na zabezpečenia kvalitných vstupných údajov do existujúcich modelov. Experimentálny výskum sa sústreďuje hlavne na:

- Komplexné štúdie odozvy viacerých komponentov klimatických zmien:
 - teplotu (vysokú/nízku/mráz) a zrážky (vlhko/sucho),
 - zvýšenú koncentráciu CO₂ a polutantov.
- Štúdie adaptačných procesov (teplota, fotoperiód).
- Použitie kombinovaných experimentov (kontrolované verzus reálne podmienky).
- Štúdie kompetičných vzťahov medzi druhmi a genotypmi pre dané klimatické podmienky.
- Štúdie odozvy na extrémne javy (podmienky prežívania druhov).
- Rozvoj dynamických ekofyziologických modelov.

Adaptačná stratégia pre lesné hospodárstvo

Hlavným zmyslom definovania a realizácie adaptačnej stratégie vo vzťahu k dôsledkom klimatickej zmeny v sektore lesného hospodárstva je minimalizovať riziko jej negatívnych dôsledkov. Lesníctvo patrí k tzv. najproblémovjším sektorom, vzhľadom na mimoriadne dlhú produkčnú dobu lesných porastov (asi 100 rokov). Inak povedané, v súčasnosti zakladané, resp. obnovované nové lesné porasty budú dorastať do produkčnej zrelosti v úplne iných klimatických podmienkach, ktoré tento proces môžu významne negatívne ovplyvniť. Hlavná disproporcija spočíva v tom, že súčasné lesné porasty budú v reálnom kontakte s očakávanou zmenou klímy v budúcnosti, ale zároveň miera neistoty predikcie dôsledkov je dnes ešte stále vysoká. Otázkou teda je, či budeme ochotní znášať riziko, ak nebudeme reagovať na možné dôsledky týchto zmien v súčasnosti, alebo či podstúpim riziko realizácie adaptačných opatrení aj za cenu určitej neistoty efektívnosti do nich vložených prostriedkov. Predbežné analýzy ekonomickej efektívnosti adaptačných opatrení naznačujú, že ekonomické riziko dôsledkov klimatickej zmeny je príliš vysoké na to, aby sme neprijímali aspoň čiastkové opatrenia (Mindáš a kol., 1996).

Pre podmienky Slovenska bolo už vypracovaných niekoľko návrhov a alternatív adaptačných opatrení, ktoré by bolo treba realizovať v rôznych časových horizontoch. Môžeme ich rozdeliť do dvoch základných skupín: 1. všeobecne platné opatrenia 2. špecifické opatrenia.

Do prvej kategórie môžeme zahrnúť všetky opatrenia zamerané na posilňovanie biologickej a genetickej diverzity, prírode blízkeho obhospodarovania lesov a princípy trvalo udržateľného rozvoja lesov. Do druhej kategórie môžeme zaradiť špecifické opatrenia zamerané na jednotlivé aspekty predpokladaných dôsledkov klimatických zmien na lesy.

Opatrenia prvej kategórie majú viac-menej univerzálnu platnosť a s ich realizáciou treba uvažovať bez ohľadu na neurčitosť predikcií klimatických zmien, hoci aj tu by bolo vhodné zakomponovať niektoré spoločné rysy špecifických opatrení. Realizácia druhej kategórie opatrení by mohla byť štruktúrovaná podľa nasledujúcich priorít:

- opatrenia v lesoch, ktorých súčasný stav a štruktúra nezodpovedajú súčasným podmienkam prostredia (typologicky nevhodné drevinové zloženie),
- opatrenia v lesoch prichádzajúcich do štádia obnovy,
- opatrenia, ktoré sú v súlade s návrhom znižovania emisií skleníkových plynov v lesoch (zalesňovanie nelesných plôch).

Navrhané adaptačné opatrenia zamerané na minimalizáciu rizík spojených s dôsledkami klimatických zmien na lesy sa týkajú predovšetkým oblasti genetiky a šľachtenia lesných drevín, pestovania a ochrany lesov.

Literatúra

- Ďurský, J., 1995: Aplikácia metód dendroklimatológie vo výskume rastových reakcií lesných drevín na predpokladané klimatické zmeny. NKP SR 3/95, Bratislava, p. 61–75.
- Hladík, M., 1996: Prírodné podmienky hospodárenia, súčasná štruktúra lesného fondu. In: Mindáš, J., Lapin, M., Škvarenina, J.: Klimatické zmeny a lesy Slovenska. NKP SR 5/96, Bratislava, p. 12–18.
- Holdridge, L. R., 1967: Life Zone Ecology. Tropical Science Centre San Jose.
- Landsberg, J. J., Linder, S., McMurtie, R. E., 1993: Global Change Impacts on Managed Forests – A Strategic Plan for Research on Managed Forest Ecosystems in a Globally Changing Environment. Summary from GCTE Workshop, Seattle, April 1993.
- 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, p. 17–57.
- Mindáš, J., Lapin, M., Škvarenina, J., 1996: Klimatické zmeny a lesy Slovenska. NKP SR, 5/96, Bratislava, 98 pp.
- Mindáš, J., Škvarenina, J., 1996a: Analýza zmien klimatických podmienok lesných spoločenstiev podľa scenárov GCMs. Vedecké práce LVÚ Zvolen, 41, p. 9–14.
- Mindáš, J., Škvarenina, J., 1996b: Possible Impacts of Climate Change and Preparation of the Adaptation Strategy for Slovak Forests. U. S. Country Study Programme. Zvolen., 36 pp.
- Mindáš, J., Škvarenina, J., 1996c: Drevinové zloženie lesov Slovenska vo vzťahu ku klimatickej zmene. Správa NKP SR, LVÚ Zvolen 15 pp.
- Sedjo, R. A., 1993: The Carbon Cycle and Global Forest Ecosystem. Water, Air, and Soil Pollution, 70, p. 295–307.
- Shugart, H. H., 1984: A Theory of Forest Dynamics. Springer-Verlag, New York, 278 pp.
- Smith, T., Shugart, H. H., Bonan, G. B., Smith, J. B., 1992: Modelling the Potential Response of Vegetation to Global Climate Change. Advances in Ecological Research, 22, p. 93–116.
- U.S. Country Studies Program, 1994: Guidance for Vulnerability and Adaption Assessment. Washington, F1–F38.

RNDr. Ing. Jozef Mindáš, PhD. (1963), vedecký pracovník Lesníckeho výskumného ústavu, T. G. Masaryka 22, 960 92 Zvolen, e-mail: jozef.mindas@fris.sk

Doc. Ing. Jaroslav Škvarenina (1963), vedecko-pedagogický pracovník Katedry prírodného prostredia Lesníckej fakulty TU Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, e-mail: jarosk@vsld.tuzov.sk