

OČAKÁVANÉ SCENÁRE KLIMATICKÝCH ZMIEN A MOŽNÉ VPLYVY ZMENENEJ KLÍMY NA LESNÉ EKOSYSTÉMY

Jozef MINDÁŠ, Jaroslav ŠKVARENINA, Milan LAPIN, Vladimír ČABOUN,
Jozef VLADOVIČ, Tibor PRIWITZER, Milan ZÚBRIK, Martin MORAVČÍK

Úvod

Problematika možných impaktov klimatickej zmeny sa dotýka prakticky všetkých prírodných aj socioekonomických sfér. Táto skutočnosť našla svoje vyjadrenie aj v aktivitách v oblasti lesníctva, keď na konferencii ministrov o ochrane lesov Európy v r. 1993 v Helsinkách bola prijatá aj rezolúcia H4 „Stratégia dlhodobej adaptácie lesov Európy na klimatickú zmenu“, ktorá bola podpísaná aj slovenskou stranou. Štvrtá ministerská konferencia v apríli roku 2003 prijala ďalšiu rezolúciu zameranú na problematiku klimatickej zmeny V5 „Klimatická zmena a trvalo udržateľné obhospodarovanie lesov v Európe“, ktorá rozšírila rámec rezolúcie H4 o aspekty Kjótskeho protokolu, monitorovacích aktivít, podpory výskumu a zakomponovanie tejto problematiky do národných lesníckych plánov.

Súčasný rozvoj lesného hospodárstva (LH) Slovenska je založená na princípe trvalo udržateľného rozvoja prírodných zdrojov s dôrazom na posilňovanie produkčného významu lesov a verejno-prospešných funkcií lesov. Súčasná strednodobá koncepcia rozvoja LH (2004-2006) neobsahuje exaktne formulované opatrenia vo vzťahu k dopadom klimatických zmien. Nutnosť prijatia samostatnej adaptačnej stratégie vyplýva zo závažnosti očakávaných dôsledkov, ktoré možno zosumarizovať nasledovne (MINDÁŠ *et al.*, 1996):

- potencionálne 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 (nutné sú opatrenia v dlhodobom predstihu).

Scenáre zmeny klímy na Slovensku

Modely používané najnovšie na Slovensku (CCCM97, CCCM2000 a GISS98) poskytujú vo výstupoch časové rady údajov celý rad klimatických a hydrologických prvkov (47 pre CCCM a 59 pre GISS). Z nich sme na regionálnu interpretáciu a na detailnejšiu analýzu na Slovensku doteraz využili iba 11. Ako sme už spomínali, všetky údaje vo výstupoch predstavujú územný priemer okolo uzlového bodu štvorcovej siete z plochy najmenej 60 tisíc km². Vzdialenosť uzlových bodov je okolo 300 km, priemerná nadmorská výška 561 m pri CCCM a 364 m pri GISS. Pri akejkoľvek regionálnej modifikácii sa časová variabilita jednotlivých prvkov znižuje v závislosti od počtu uzlových bodov (čím sa berie do úvahy viac uzlových bodov, tým je variabilita interpolovaného časového radu menšia, my sme použili 4 uzlové body). Z modelu CCCM2000 sme analyzovali časové rady v rokoch 1900–2100 (mesačné charakteristiky po rokoch) a prvky: priemery teploty vzduchu, úhrny zrážok, hustotu toku globálneho žiarenia, mernú vlhkosť vzduchu, územný výpar, vlhkosť pôdy, smerodajnú odchýlku denných priemerov teploty vzduchu, tlak vzduchu a rýchlosť vetra. Z modelu GISS98 (1990–2099, mesačné charakteristiky po desaťročiach a ročné po rokoch) to boli prvky: priemery teploty vzduchu, úhrny zrážok, hustota toku globálneho žiarenia, merná vlhkosť vzduchu, územný výpar, vlhkosť pôdy, smerodajná odchýlka denných priemerov teploty vzduchu, oblačnosť, variačný koeficient denných úhrnov zrážok, rýchlosť vetra a tlak vzduchu (LAPIN *et al.*, 2001).

Metodika regionálnej interpretácie výstupov GCMs do konkrétnych staníc má dve úrovne. Ak potrebujeme zistiť iba zmenu dlhodobých priemerov, tak sa nemusíme príliš zaoberať

porovnávaním charakteristík časových radov výstupov GCMs a pozorovanej klímy v referenčnom období. Ak chceme skonštruovať scenáre ako časové rady ročných, mesačných, prípadne aj denných údajov, tak takéto porovnávanie musíme urobiť detailne. Najdôležitejšou charakteristikou odchýlok výstupov GCMs a pozorovanej klímy v referenčnom období je rozdiel alebo kvocient priemerov za celé referenčné obdobie (v našom prípade 1951–2000). Druhou dôležitou charakteristikou je rozdiel alebo kvocient smerodajných odchýlok alebo variačných koeficientov prvkov uvažovaného radu (ročné, mesačné, denné hodnoty). Predpokladáme, že ak časový rad modelového výstupu z referenčného obdobia modifikujeme podľa rozdielov priemerov a rozptylu, tak rovnaký postup môžeme použiť aj v modelovom období scenárov, teda v období 2001–2090. V tab. 1 a 2 uvádzame základné scenáre teploty vzduchu a úhrnov zrážok v 50-ročných časových horizontoch so stredom v rokoch 2010, 2030 a 2075 v porovnaní s obdobím 1951–1980, pričom ich platnosť je najlepšia pre stred Slovenska.

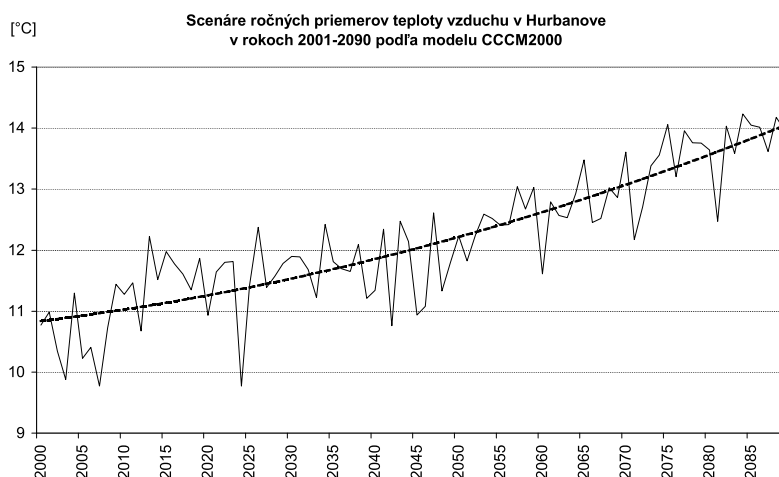
Tabuľka 1. Scenáre zmien mesačných priemerov teploty vzduchu [°C] v 50-ročných horizontoch pre celé Slovensko v porovnaní s normálom 1951–1980 podľa modelov CCCM97, CCCM2000 a GISS98 (pri týchto scenároch pripočítame scenár k mesačným normálom teploty vzduchu z obdobia 1951–1980)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
CCCM97												
2010	0,5	0,7	0,9	0,7	0,4	0,6	0,9	1,0	1,0	0,9	0,6	0,4
2030	0,9	1,2	1,4	1,1	0,8	1,1	1,4	1,5	1,6	1,2	0,7	0,7
2075	2,2	2,9	2,8	2,3	2,3	2,9	3,4	3,6	3,6	3,0	2,0	1,8
CCCM20												
2010	0,6	0,8	1,9	1,8	1,5	0,8	1,4	1,2	1,2	0,9	0,3	0,4
2030	1,4	1,5	2,6	2,4	2,0	1,3	2,0	1,8	1,6	1,3	0,8	1,2
2075	3,5	4,2	4,8	3,8	3,2	2,7	3,5	3,4	3,3	3,0	2,2	2,6
GISS98												
2010	0,3	0,3	0,5	0,7	0,7	0,6	0,6	0,4	0,3	0,5	0,6	0,5
2030	1,2	1,0	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,9	1,2	1,2
2075	2,7	2,4	2,3	2,2	1,9	1,8	2,1	2,4	2,3	2,3	2,6	2,8

Samostatným vedeckým problémom je príprava scenárov možných extrémnych prípadov počasia v budúcnosti (LAPIN *et al.*, 2003). Extrémy počasia (sucho, povodne, snehové a veterné kalamity, vlny horúčav) už aj v súčasnosti sužujú mnohé krajiny, Slovensko nevynímajúc. Extrémne meteorologické situácie sa dajú modelovať iba za predpokladu stanovenia určitých parametrov: 1. predpokladajme, že všetky extrémny sa iba lineárne posunú v súlade so scenármi zmien mesačných priemerov, 2. predpokladajme, že sa uplatnia exponenciálne závislosti vlhkosti vzduchu od teploty vzduchu, čo by znamenalo zväčšovanie extrémov počasia spojených s kondenzačnými procesmi pri rastúcej teplote vzduchu. Je oveľa pravdepodobnejšie, že najmä pri extrémoch krátkodobých dažďov (búrky a prehánky v lete), pri extrémoch vln dusného počasia a výsušného počasia v teplom polroku ako aj pri extrémoch spojených s cyklónami počas celého roka (silný vietor, snehové kalamity) dôjde k väčšiemu riziku ako predpokladajú scenáre pre mesačné priemery a mesačné sumy klimatických prvkov.

Tabuľka 2. Scenáre (kvocienty) zmien mesačných úhrnov zrážok v 50-ročných horizontoch pre stred Slovenska v porovnaní s normálom 1951–1980 podľa modelu CCCM97, CCCM2000 a GISS98 (pri týchto scenároch vynásobíme kvociantom mesačné normály zrážok z obdobia 1951–1980)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
CCCM9												
2010	1,03	0,97	1,08	1,00	1,09	0,95	0,93	0,94	1,04	1,08	1,07	1,03
2030	1,05	0,99	1,12	1,06	1,13	0,97	0,94	0,95	1,05	1,10	1,11	1,06
2075	1,22	1,12	1,17	1,04	1,07	0,87	0,89	0,94	1,03	1,09	1,18	1,20
CCCM2												
2010	1,05	0,98	1,06	0,98	1,06	0,91	0,90	0,92	1,06	1,13	1,11	1,04
2030	1,06	1,02	1,11	0,99	1,02	0,86	0,84	0,89	1,05	1,13	1,13	1,06
2075	1,14	1,10	1,18	1,01	1,06	0,88	0,84	0,92	1,11	1,18	1,17	1,11
GISS98												
2010	0,98	0,97	0,98	1,01	1,02	1,00	0,98	1,02	1,06	1,03	1,00	1,00
2030	0,96	0,98	1,00	1,01	1,02	1,01	0,98	1,02	1,07	1,03	0,98	0,96
2075	1,18	1,16	1,10	1,07	1,05	0,99	0,97	0,98	1,02	1,05	1,05	1,10



Obr. 1. Scenáre časových radov ročných priemerov teploty vzduchu v Hurbanove podľa regionálnej modifikácie výstupov modelov CCCM2000 (obdobie 2001–2090; modifikácia podľa priemeru a variability; ide o scenár štatistickej štruktúry a nie o predpoveď pre jednotlivé roky; sú aj iné scenáre)

Doterajšie poznatky možných dôsledkov zmeny klímy na lesné ekosystémy – syntéza

Doterajšie poznatky získané v rámci vedeckovýskumných a expertných aktivít umožňujú určité zovšeobecnenie týchto výsledkov vo vzťahu k perspektívam výskytu a ďalšieho pestovania lesných drevín v oblasti západných Karpát z pohľadu prognózovaných klimatických zmien. Sumarizované výsledky sú prezentované v tab. 3 a 4 (MINĎÁŠ, ŠKVARENINA, 2003) ako prehľad možných zmien bioklimatických podmienok jednotlivých skupín lesných typov, kde sme rámcovo zhodnotili dopad zmien teploty vzduchu a vodnej bilancie (- negatívny dopad, + pozitívny dopad, odstupňované podľa intenzity) z pohľadu existencie lesných spoločenstiev. Osobitne sme v prehľade uviedli perspektívy ďalšej existencie (resp. pestovania) smreka, jedle a buka, štruktúrovane podľa jednotlivých skupín lesných typov. V tejto súvislosti treba podotknúť, že ide o rámcový prehľad, ktorý je výslednicou rôznych metodických prístupov, ktoré však reflektujú podobné analýzy bioklimatických podmienok lesných spoločenstiev v zahraničnej literatúre (NOBLE, 1993; NEILSON, 1993 a ďalší).

Tabuľka 3. Sumárne výsledky hodnotenia výskytu a perspektívy ďalšieho pestovania lesných drevín v oblasti Západných Karpát z hľadiska predikcie klimatických zmien (MINĎAŠ, ŠKVARENINA 2003)

Lesné spoločenstvá	Holdridge model	Forest Gap Model	Analýza Bioklimatických areálov	Analýza klimatickej vodnej bilancie
1. – 3. vegetačný stupeň	<ul style="list-style-type: none"> • absencia podmienok pre výskyt SM, JD • podmienky pre lesné spoločenstvá „balkánskeho typu“ 	<ul style="list-style-type: none"> • zánik spoločenstiev s účasťou smreka a jedle • nástup dubových xerothermných lesov 	<ul style="list-style-type: none"> • zánik podmienok pre výskyt smreka a jedle • zhoršenie podmienok pre buk 	<ul style="list-style-type: none"> • limitujúci deficit zrážok pre smrek, jedľu, ale aj buk
4. – 6. vegetačný stupeň	<ul style="list-style-type: none"> • podmienky pre pokles zastúpenia SM, JD • podmienky pre zmiešané lesy mierneho pásma 	<ul style="list-style-type: none"> • zánik prípadne okrajový výskyt SM, JD • rozvoj zmiešaných spoločenstiev buka s účasťou cenných listnáčov 	<ul style="list-style-type: none"> • všeobecný ústup ihličnanov (SM) • priaznivé bioklimatické podmienky pre buk (5. – 6.vš) • vytváranie podmienok pre dubové spoloč. (najmä 4.vš) 	<ul style="list-style-type: none"> • dostatok zrážok pre SM, JD len na severe oblasti v 6.vš • priaznivá vodná bilancia pre buk
7. – 8. vegetačný stupeň	<ul style="list-style-type: none"> • podmienky pre rozvoj zmiešaných spoločenstiev SM, posun hornej hranice lesa 	<ul style="list-style-type: none"> • rozvoj zmiešaných SM-JD – BK porastov, posun hornej hranice lesa 	<ul style="list-style-type: none"> • zníženie zastúpenia SM, plošná redukcia, posun hornej hranice lesa 	<ul style="list-style-type: none"> • dostatok zrážok pre existenciu SM

Tabuľka 4a. Syntéza poznatkov vplyvu klimatických zmien na dreviny smrek, jedľu a buk z hľadiska zmien stanovištných podmienok (1. – 3. vegetačný stupeň) (MINĎAŠ, ŠKVARENINA, 2003)

1. – 3. vegetačný stupeň

Rad	SLT	Teplota vzduchu	Vodná bilancia	Konverzia podmienok na	Perspektíva (KZ)		
					SM	JD	BK
A	PiQ	----	----	?	----	----	----
	Q	---	----	?	----	----	----
	Fq nst	--	----	Q	----	----	--
	Fq vst	--	--	Q, Fq nst	--	----	-
B	CQ	--	----	?	----	----	--
	FQ	--	--	?, CQ, CoQnst	----	----	--
	QF	--	--	CQ, FQ	----	----	+
	Fp nst	--	--	?, CQ	----	----	-
B/C	Fp vst	--	--	FQ, Fp nst	----	--	-
	CQ ac	--	--	CQ	----	----	--
	FQ ac	--	-	CQ, CQ ac	----	----	-
	QF til	--	-	FQ, CQ, CQ ac	----	----	+
C	Cac nst	--	--	?, CQ	----	----	-
	Cac vst	--	--	CQ, CQ ac	----	----	-
	Tac vst	--	-	CQ ac, FQ ac, CQ	--	----	+
D	CoQ nst	----	----	?	----	----	----
	CoQ vst	----	----	?	----	----	--
	FQ de	----	----	CoQ nst	----	----	-
	Pide	--	----	?	----	----	--
	CoF	--	----	?	----	----	-

	QF de	--	---	?	---	---	-
--	-------	----	-----	---	-----	-----	---

4. – 6. vegetačný stupeň

Rad	SLT	Teplota vzduchu	Vodná bilancia	Konverzia podmienok na	Perspektíva (KZ)		
					SM	JD	BK
A	Qpi	--	--	?	-	--	+
	Fqa	-	-	Fq nst, Fq vst	-	-	+
	Fap nst	-	-	Fqa, Fq vst	+	+	++
	Fap vst	+	-	Fap nst, Fqa	++	+	+++
A/B	FA nst	-	-	Fqa	+	++	+++
	FA vst	+	-	Fqa, FA nst	++	++	+++
B	Ft	-	---	FQ, QF	---	-	+
	AF nst	-	-	QF, Ft	-	+	++
	AF vst	+	-	Ft, AF nst	+	++	+++
B/C	F til	-	-	Fqac, FQ	-	-	-
	Fac nst	-	-	Ftil, QF til, QF, Ft	-	-	+
	Fac vst	-	-	Ftil, Fac nst, Ft, AF nst	+	+	++
C	Tac vst	-	-	Cac vst, Tac nst, Qftil	-	-	+
	FrAc nst	-	-	Tac vst, Ftil	-	-	++
	FrAc vst	-	-	Tac vst, Fac nst	+	+	+++
D	Pide	--	--	?	---	---	-
	Fde	---	---	Qfde	---	---	-
	FP nst	-	-	?	-	-	+
	PiL	-	-	?	-	+	-

Tabuľka 4b. Syntéza poznatkov vplyvu klimatických zmien na dreviny smrek, jedľa a buk z hľadiska zmien stanovištných podmienok (7. – 8. vegetačný stupeň)

7. – 8. vegetačný stupeň

Rad	SLT	Teplota vzduchu	Vodná bilancia	Konverzia podmienok na	Perspektíva (KZ)		
					SM	JD	BK
A	SP	++	-	Fap	++	+++	+++
	LP	-	-	Fap nst, SP	?	?	?
	Macid	++	-	SP	+++	++	++
B/C	AcP	++	+	FAC, AF	+++	++	+++
	RM	++	+	AcP, SP	+++	+	+++
D	PiL	-	-	?	?	?	++
	FP vst	-	-	?, Fpns	+	+	+++
	Mc	++	-	?, Fp vst	+	+	+++

Intenzita vplyvu	Pozitívna zmena	Negatívna zmena
významná	+	-
veľmi významná	++	—
mimoriadne významná	+++	—
nevieme definovať	?	?

Záver

Jednou z povinností zmluvných strán (krajín) Rámcového dohovoru OSN o klimatickej zmene (FCCC) je aj pripravovať odhady (výpočty) citlivosti územia na predpokladanú klimatickú zmenu. Ide o analýzu možných priaznivých a nepriaznivých dôsledkov na prírodné prostredie a rozhodujúce ekonomické a sociálne odvetvia daného štátu, pričom sa berú do úvahy odporúčané scenáre klimatickej zmeny, scenáre zmien v socioekonomickej sfére a odporúčané modely na výpočet vývoja dôsledkov. Najčastejšie sa robia analýzy dôsledkov na hydrologický cyklus, vodné zdroje a vodné hospodárstvo, prirodzené lesné ekosystémy a lesné hospodárstvo, poľnohospodárske ekosystémy a poľnohospodárstvo, rybolov, nízko ležiace a ostrovné lokality, stepné oblasti, ľadovce, energetiku, vodnú dopravu, zdravie obyvateľstva, šírenie patogénov, chorôb, škodcov, burín a mikroorganizmov a iné. Na Slovensku sa robila v rámci Národného klimatického programu a projektu Country Study SR analýza dôsledkov na odvetvia od hydrologického cyklu, cez lesníctvo až po poľnohospodárstvo. Za najzávažnejšie negatívne dôsledky sa považujú: pokles vodných zdrojov, pokles prietokov v riekach a pokles pôdnej vlhkosti na juhu Slovenska, zmeny podmienok pre veľkú časť lesných spoločenstiev na celom Slovensku, introdukcia nových biologických druhov a patogénov z teplejších oblastí a iné. Popri dôsledkoch očakávanej klimatickej zmeny v budúcnosti sa obvykle analyzujú aj dôsledky klimatických zmien v minulosti a porovnávajú sa kvantitatívne a kvalitatívne výsledky. V prevažnej väčšine by mali negatívne dôsledky klimatickej zmeny v rôznych krajinách sveta prekonať známe negatívne dôsledky klimatických zmien za posledných 200 rokov (IPCC 2001).

Verifikácia prognózovaných zmien klímy a následne predpokladaných impaktov na lesy a lesné hospodárstvo je veľmi obtiažna. Z uvedeného tiež vyplýva aj otázka nutnosti prijímania či neprijímania opatrení na elimináciu predpokladaných negatívnych dopadov. Vo vzťahu k realite naplnenia regionálnych scenárov klimatickej zmeny je treba upozorniť na nasledovné skutočnosti:

- svetový klimatický systém je veľmi úzko prepojený s obsahom radiačne aktívnych plynov v atmosfére,
- antropogénne emisie skleníkových plynov vykazujú trvale rastúci trend, ktorý bude pokračovať minimálne v najbližších 2 – 3 desaťročiach; adekvátne so vzrastajúcimi emisiami rastú aj skutočné koncentrácie skleníkových plynov,
- pozorované dlhodobé trendy teploty vzduchu v oblasti strednej Európy vykazujú trvalý rast s výraznou dynamizáciou od začiatku 80-tych rokov.

Navrhovaný postup realizácie naznačených adaptačných opatrení je možné veľmi pružne modifikovať podľa reálneho vývoja lesných spoločenstiev, pričom uplatňovanie všeobecne platných princípov pri obhospodarovaní lesa, ktoré boli načrtnuté, je možné bez priamej väzby na klimatické zmeny nakoľko ich úspešná realizácia prispeje k ich zvýšenej ekologickej stabilite a tým aj k odolnosti voči akejkolvek zmene stanovištných podmienok.

Literatúra

- MINDÁŠ, J., LAPIN, M., ŠKVARENINA, J., 1996: Klimatické zmeny a lesy Slovenska. In: Národný klimatický program SR, Bratislava: MŽP SR, Zväzok 5, 96 s.
- LAPIN, M., DAMBORSKÁ, I., MELO, M., 2001: Scenáre súborov viacerých vzájomne fyzikálne konzistentných klimatických prvkov. In.: NKP SR, 11, SHMÚ a MŽP SR, Bratislava, 5–30.
- LAPIN *et al.*, 2003: Possible precipitation regime change in Slovakia due to air pressure and circulation changes in the Euro-Atlantic area until 2100. Contributions to Geophysics and Geodesy, **33**(3): 161 – 189.
- MINDÁŠ, ŠKVARENINA (Eds.) 2003: Lesy Slovenska a globálne klimatické zmeny. EFRA Zvolen, LVÚ Zvolen, 129 s.

NOBLE, I. R., 1993: A model of the responses of ecotones to climate change. *Ecological Applications*, **3**(3): 396 – 403.

NEILSON, R. P., 1993: Transient ecotone response to climatic change: some conceptual and modelling approaches. *Ecological Applications*, **3**(3): 385 – 395.

RNDr. Ing. Jozef MINDÁŠ, PhD.

doc. Ing. Vladimír ČABOUN, CSc.

Ing. Jozef VLADOVIČ, PhD.

Ing. Tibor PRIWITZER, PhD.

Ing. Milan ZÚBRIK, PhD.

Ing. Martin MORAVČÍK, CSc.

Lesnícky výskumný ústav Zvolen
T. G. Masaryka 22
960 92 Zvolen

*e-mail: mindas@fris.sk; caboun@fris.sk;
vladovic@fris.sk; priwitzer@fris.sk; zubrik@fris.sk;
moravcik@fris.sk*

doc. Ing. Jaroslav ŠKVARENINA, CSc.

Technická univerzita vo Zvolene
Lesnícka fakulta
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

e-mail: jarosk@vsld.tuzvo.sk

doc. Ing. Milan LAPIN, CSc.

Fakulta MFI Univerzity Komenského
Katedra meteorológie a klimatológie
Mlynská dolina – pavilón F1
842 48 Bratislava

e-mail: lapin@fmph.uniba.sk