

## PROBLÉMY SPOJENÉ S FYZIKÁLNĚ A ŠTATISTICKY KOREKTNÝM DOWNSCALING-OM VÝSTUPOV GCMS V TVARE DENNÝCH ČASOVÝCH RADOV A VYBRANÉ VÝSLEDKY

Milan Lapin  
Marián Melo  
Ingrid Damborská  
Martin Vojtek  
Matúš Martini

### Summary:

#### PROBLEMS WITH PHYSICALLY AND STATISTICALLY PLAUSIBLE DOWNSCALING OF DAILY GCMs OUTPUTS AND SELECTED RESULTS

Outputs from the Global and Regional General Circulation Models of the atmosphere (GCMs, RCMs) in the form of daily time series are to disposal recently (means and extremes of air temperature, precipitation totals, incoming solar radiation, specific air humidity and others). Statistical elaboration and method of regional modification of the GCM CGCM2 outputs (Canadian coupled GCM of 2<sup>nd</sup> generation, SRES scenarios A2 and B2) for the Hurbanovo station are presented in this paper. Daily data from the 1961-1990 period have been used as baseline for GCM output downscaling. The nearest 4 gridpoint outputs have been evaluated. Air temperature and solar radiation outputs downscaling were without any serious difficulties (only temperature examples are shown in the paper). Precipitation daily totals modeled for the GCM gridpoints represent areal averages of about 90 thousands sq km, so they are significantly more frequent than those measured at selected stations. Statistically based method of daily totals number lowering based on measured data have been applied. Outputs of specific humidity are much higher than the measured ones. After consulting with the CGCM centre in Victoria (Canada) only humidity variability have been accepted from the GCM output. Specific humidity downscaling results will be presented completely in some of our next papers.

**Key words:** climate change scenarios, daily data, air temperature, precipitation totals

### Abstrakt:

V poslednom období sú k dispozícii výstupy Globálnych a Regionálnych modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs, RCMs) v tvare časových radov denných údajov (priemery a extrémny teploty vzduchu, úhrny zrážok, hustota toku slnečnej radiácie, merná vlhkosť vzduchu a iné). V príspevku prezentujeme štatistické spracovanie výstupov modelu z Kanadského strediska pre klimatické modelovanie a analýzy vo Victorii (Britská Kolumbia, Kanada, CCCM 2000 (coupled CGCM2 II. generácie)) a porovnanie týchto výsledkov s meraniami v Hurbanove v období 1961-2000. Ďalej tu prezentujeme metodický postup novej regionálnej interpretácie výstupov modelu CCCM 2000 (SRES A2 a B2) v tvare časových radov denných údajov na podklade 4 uzlových bodov v okolí Slovenska. Pri downscaling-u teploty vzduchu a hustoty toku globálneho žiarenia nevznikli žiadne závažné problémy, ale v prípade denných úhrnov zrážok a denných priemerov merné vlhkosti vzduchu bolo potrebné uplatniť zvláštny postup regionálnej modifikácie. Po konzultácii s riešiteľským tímom CGCM2 v Kanade sme dospeli k názoru, že vo viacerých prípadoch je modelovaná merná vlhkosť vzduchu vyššia ako stav nasýtenia pri danej teplote vzduchu a prevzali sme z jej časových radov iba charakteristiku variability denných priemerov. Pri úhrnoch zrážok poskytujú výstupy v uzlových bodoch priemerný úhrn z plochy asi 90 tis. km<sup>2</sup>, čo na jednej strane znižuje časovú variabilitu denných úhrnov, ale na strane druhej podstatne zvyšuje počet zrážkových dní s malými úhrnmi. Vážená lineárna interpolácia zo 4 okolitých uzlových bodov tieto charakteristiky ešte viac vzdiaľuje od reálnej skutočnosti pozorovanej na jednotlivých staniách.

**Kľúčové slová:** scenáre klimatickej zmeny, denné údaje, teplota vzduchu, úhrny zrážok

## ÚVOD

Už v predchádzajúcich príspevkoch sme opísali problémy s regionálnou modifikáciou výstupov klimatických modelov (Modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry – GCMs) v tvare radov mesačných údajov. Vyplývajú najmä zo skutočnosti, že výstupy v uzlových bodoch (vzdialených medzi sebou asi 300 km) reprezentujú územné priemery z plochy okolo 90 tis. km<sup>2</sup> na príliš zhladenom reliéfe strednej Európy, kde ani Alpy nemajú väčšiu nadmorskú výšku ako 1000 m a chyba tam dokonca aj Panónska kotlina (Lapin et al., 2001, Melo, 2003).

Uvedené problémy sa ešte viac prejavili pri regionálnej modifikácii časových radov denných údajov. Očakávania užívateľov scenárov vychádzajú z toho, že získajú klimatické scenáre v tvare časových radov porovnateľných s meraniami z referenčného obdobia 1951-1980 alebo 1961-1990, vrátane počtu charakteristických dní a odľahlosti extrémov od dlhodobého priemeru (Lapin et al., (2004). V príspevku sa preto okrem zmien priemerov a variability venujeme aj zmenám počtu dní s charakteristickou priemernou dennou teplotou vzduchu a charakteristickými dennými úhrnmi zrážok.

Regionálnu modifikáciu sme realizovali aj pre denné sumy globálnej slnečnej radiácie a denné priemery mernej vlhkosti vzduchu. Tieto výsledky prezentujeme iba stručne, viac sa im budeme venovať v niektorom z našich nasledujúcich príspevkov.

## MATERIÁL

V súlade s našimi doterajšími aktivitami pri regionálnej modifikácii výstupov GCMs sme využili výstupy modelu z Kanadského strediska pre klimatické modelovanie a analýzy vo Victorii (Britská Kolumbia, Kanada, CCCM2000 (coupled CGCM2 II. generácie)) a porovnanie týchto výsledkov s meraniami v Hurbanove v období 1961-1990. Z výstupov CCCM2000 sme použili alternatívne verzie pre emisné scenáre SRES A2 a B2 (SRES, 2000; hodnoty globálnej emisie uhlíka do roku 2100 sú v tab. 2). Výstupy sú v tvare časových radov denných údajov v období 1961-2100 a použili sme 4 najbližšie uzlové bodov v okolí Slovenska. Prvý gridový bod (A) sa nachádza v južnom Maďarsku (49,39° N; 18,75° E; 616 m n.m.), druhý (B)

v rumunských Karpatoch (46,39° N; 22,50° E; 554 m n.m.), tretí (C) v Sliezske západne od Katovic (50,10° N; 18,75° E; 531 m n.m.) a štvrtý (D) v juhovýchodnom Poľsku (50,10° N; 22,50° E, 566 m n.m.). Uvedené uzlové body sú takmer totožné pre všetky verzie modelov CGCM.

Experimentálne údaje z Hurbanova z obdobia 1951-2004 poskytol Slovenský hydrometeorologický ústav. Ide o súbory veľmi kvalitných meraní, ktoré dobre reprezentujú klímu nížin strednej Európy. Už predtým sme podrobili údaje z Hurbanova testom homogenity a nezistili sme po roku 1950 žiadne závažnejšie problémy (Gaál et al., 2002).

## METODIKA

Už pri regionálnej modifikácii výstupov GCMs v tvare mesačných údajov sme doriešili problém úpravy priemerov a variability (Lapin et al., 2001, 2004). Rozdiely priemerov vo výstupoch GCMs v porovnaní s meraniami na konkrétnych staniaciach vyplývajú predovšetkým z rozdielov nadmorskej výšky, ovplyvňuje ich však aj zhladená orografia, riedka sieť uzlových bodov a zjednodušená fyzikálna interpretácia procesov v klimatickom systéme Zeme (Melo, 2003, Lapin, 2005).

Pri modifikácii rozdielov priemerov a variability sme postupovali podobne ako v prípade časových radov mesačných údajov, ale iba pri teplote vzduchu a globálnom žiarení (Lapin et al., 2004). V prvom kroku sme vypočítali priemer a smerodajnú odchýlku pre každý deň roka za celé obdobie 1961-1990 a postavili sme vedľa seba ročný chod z výstupov CCCM2000 a z Hurbanova. Zistili sme, že 30-ročné obdobie je príliš krátke na to, aby sme dosiahli hladký ročný chod priemerov a ešte horšie to bolo so smerodajnou odchýlkou. Navyše nepravidelnosti v ročnom chode neboli koherentné medzi výstupmi CCCM2000 a meranými údajmi z Hurbanova. Použili sme preto hladenie n-dennými kľazovými priermi od 11 do 31 dní. Ukázalo sa, že optimálne bolo hladenie ročného chodu 21-dennými kľazovými priermi, ktoré zachováva zvláštnosti ročného chodu a potláča nepravidelnosti vyplývajúce z krátkosti použitého obdobia. Potom sme pre modifikáciu priemeru teploty vzduchu použili metódu roz-

dielov v jednotlivých dňoch roka a aplikovali sme ju na celé obdobie výstupov CCCM2000, teda od roku 1961 do 2100. Priemery globálneho žiarenia sme modifikovali rovnako, a navyše sme vyskúšali aj metódu kvocientov, ktorá sa javí ako lepšia pre nízke hodnoty zhladených denných súm globálneho žiarenia. Variabilitu denných hodnôt sme v obidvoch prípadoch modifikovali kvocientovou metódou tak, že sme zväčšovali alebo znižovali rozptyl denných hodnôt okolo 21-denných kľzavých priemerov (detaily sú opísané v Lapin, Melo, 2004). V ďalšej časti prezentujeme pre nedostatok priestoru iba výsledky scenárov teploty vzduchu pre Hurbanovo.

V modifikácii denných úhrnov zrážok sme sa stretli so zdanlivo neprekonateľným problémom, pretože sme chceli dosiahnuť pri scenároch zachovanie reálneho počtu dní bez zrážok a počtu dní aspoň s denným úhrnom zrážok  $\geq 1$  mm a  $\geq 10$  mm. Ako sme už uviedli, výstupy CCCM reprezentujú v jednotlivých uzlových bodoch priemery z územia o rozlohe asi 90 tis km<sup>2</sup>, čím evidentne rastie počet dní s malými priemernými úhrnmi a klesá počet dní s vysokými dennými úhrnmi v porovnaní s jednotlivými stanicami. Principiálne teda porovnávame neporovnateľné, hoci obidva súbory údajov môžu byť správne. Po viacerých pokusoch sme sa priklonili k nasledujúcemu postupu:

Pri downscaling-u bolo nevyhnutné zmenšovať počet zrážkových dní takou metodikou, aby sa čo najmenej porušila fyzikálna konzistentnosť modelových výstupov. Po viacerých experimentoch sme sa rozhodli pre diferenčnú metódu, čiže sme eliminovali časť z malých denných úhrnov zrážok a upravili sme mesačné sumy kvocientom. Zachoval sa tým počet dní s významnejšími úhrnmi zrážok a iba nepatrne sa znížili ich úhrny. Modifikáciu sme

riešili pre každý uzlový bod individuálne, pričom sa výsledné scenáre pre obdobie 1990-2100 postupne stále viac vzájomne odlišovali v jednotlivých uzlových bodoch. Výsledné scenáre časových radov denných úhrnov mali spĺňať nasledujúce požiadavky:

1. Počty dní bez zrážok z modelu CCCM2000 (M) priblížiť k stavu v Hurbanove (HU) v období 1961-1990 (HU=M)

2. Dlhodobé priemery v období 1961-1990 priblížiť k Hurbanovu (HU=M)

3. Počet dní so zrážkami 0,1 mm, 0,2-0,9 mm, 1,0-4,9 mm, 5,0-9,9 mm, 10,0-24,9 mm a  $\geq 25$  mm priblížiť stavu v Hurbanove v období 1961-1990 (HU=M)

V prvom kroku sa transformuje každý originálny časový rad z modelu CCCM2000 (A2-A, ..., B2-D, spolu 8 súborov) tak, aby sa priblížili denné a mesačné úhrny k Hurbanovu v kontrolnom období 1961-1990:

$$M_{365i+j}^1 = M_{365i+j} + (HU_{21} - M_{21})_j,$$

kde  $i=0 \dots 139$  rokov (1961-2100),  
 $j=1 \dots 365$  dni

Tým sa trochu vyrovnali denné dlhodobé priemery (1961-1990) zrážok z CCCM2000 s pozorovaniami v Hurbanove. (Vyskúšali sme 5- a 21-denné dlhodobé kľzavé priemery HU<sub>21</sub>, M<sub>21</sub>, HU<sub>5</sub>, M<sub>5</sub> – inšpirovali sme sa zlomovými bodmi autokorelačnej funkcie zrážok z Hurbanova). Najlepšiu zhodu v počtoch dní so zrážkami s meraniami v Hurbanove sme dosiahli transformáciou 21-dif (diferencie dlhodobých 21-denných kľzavých priemerov), ktorá postupovala do ďalších výpočtov.

Ďalej sme pripočítali (odpočítali) ku každému členu radu M konštantu, aby sme vyrovnali počet dní bez zrážok s Hurbanovom (5634 dní v období 1961-90, tab. 1).

**Tab. 1.  $M_i^{1+} = M_i^1 + k(M)$ , konštantu k v mm bola pre každý uzlový bod samozrejme iná**

	A2				B2			
	A	B	C	D	A	B	C	D
k(M)	-0,831	-0,649	-0.796	-0.736	-0.807	-0.616	-0.781	-0.709

V ďalšom sme odrezali záporné úhrny zrážok, ktoré vznikli transformáciou (odpočítaním), keďže v uzlových bodoch modelu boli väčšie zrážky ako pozorovania v Hurbanove. Napokon sme prenasobili každý deň v roku

(každý 1. január až 31. december) príslušným sezónnym kvocientom, aby sa dlhodobé **denné** priemery vyrovnali s Hurbanovskými (tým sa vyrovnali zároveň aj mesačné dlho-

dobé priemery a zlepšil sa aj počet dní so zrážkami).

$$M^{2}_{365i+j} = M^{1+}_{365i+j} \cdot \left(\frac{HU_{11}}{M_{11}}\right)_j,$$

kde  $i=0\dots 139$  rokov (1961-2100),  
 $j=1\dots 365$  dní

Pri výpočte charakteristík (napr. počet dní so zrážkami 5-10 mm) odporúčame vypočítať tieto charakteristiky pre každý uzlový bod, a

$$0,364491208*[A]+0,179938697*[B]+0,284303142*[C]+0,171266953*[D] = \\ ([A]/195+[B]/395+[C]/250+[D]/415)/(1/195+1/395+1/250+1/395)$$

Ako váhy sa pripadne môžu použiť aj umocnené a normalizované korelačné koeficienty.

Na praktickú aplikáciu odporúčame použiť časové rady denných úhrnov zrážok v 4 variantoch pre každý SRES scenár (A2, B2), pričom je zrejmé, že najlepšie výsledky by sme mali získať z tých uzlových bodov, ktoré sú najbližšie k Hurbanovu a majú tiež najtesnejšiu koreláciu v kontrolnom období. Celkovo máme teda 8 scenárov zrážok (od A2(A) po B2(D)). Dobrú zhodu s Hurbanovom majú scenáre B2(B), B2(A), B2(C), do úvahy je treba brať aj ostatné, pričom v scenári A2(B) sú na prekážku iba občasné vysoké denné úhrny zrážok (nemôžeme ich ale celkom vylúčiť ani v Hurbanove v období po roku 2050). Podmienky na vznik vysokých denných úhrnov zrážok v súvislosti s globálnym otepľovaním sme teoreticky analyzovali napríklad v príspevku Lapin et al. (2003).

Modifikáciu denných priemerov mernej vlhkosti vzduchu sme robili tak, že sme najprv transformovali tlak vodnej pary meraný v Hurbanove na mernú vlhkosť vzduchu a mernú vlhkosť vzduchu z výstupov modelu CCCM2000 na nadmorskú výšku Hurbanova použitím výstupov tlaku vzduchu z modelu CCCM2000. Iným variantom bol prepočet na tlak vodnej pary pre nadmorskú výšku Hurbanova. Ďalej sme postupovali podobne ako v prípade modifikácie denných súm globálneho žiarenia. V oboch prípadoch sme finálne výsledky denných scenárov prepočítali podľa scenárov teploty vzduchu na relatívnu vlhkosť vzduchu a dospeli sme k rovnakému problému – častý výskyt relatívnej vlhkosti vzduchu  $U$  nad 100%, predovšetkým v chladnom polroku. Skúšali sme aj pri-

výsledok prípadne interpolovať do Hurbanova tak, že sa ako váhy použijú recipročné vzdialenosti uzlových bodov od Hurbanova. Je však zrejmé, že takto riešenou interpoláciou sa opäť zvýši počet dní so zrážkami a zmenší sa časová variabilita denných úhrnov zrážok, čo nie je žiadúce. Použiť môžeme nasledujúcu formulu:

márny prepočet výstupov CCCM2000 na  $U$  v jednotlivých uzlových bodoch. Výsledok bol prekvapujúci – pri nižšej teplote vzduchu sú výstupy modelu CCCM2000 často fyzikálne nekorektné, objavuje sa aj  $U > 150\%$ .

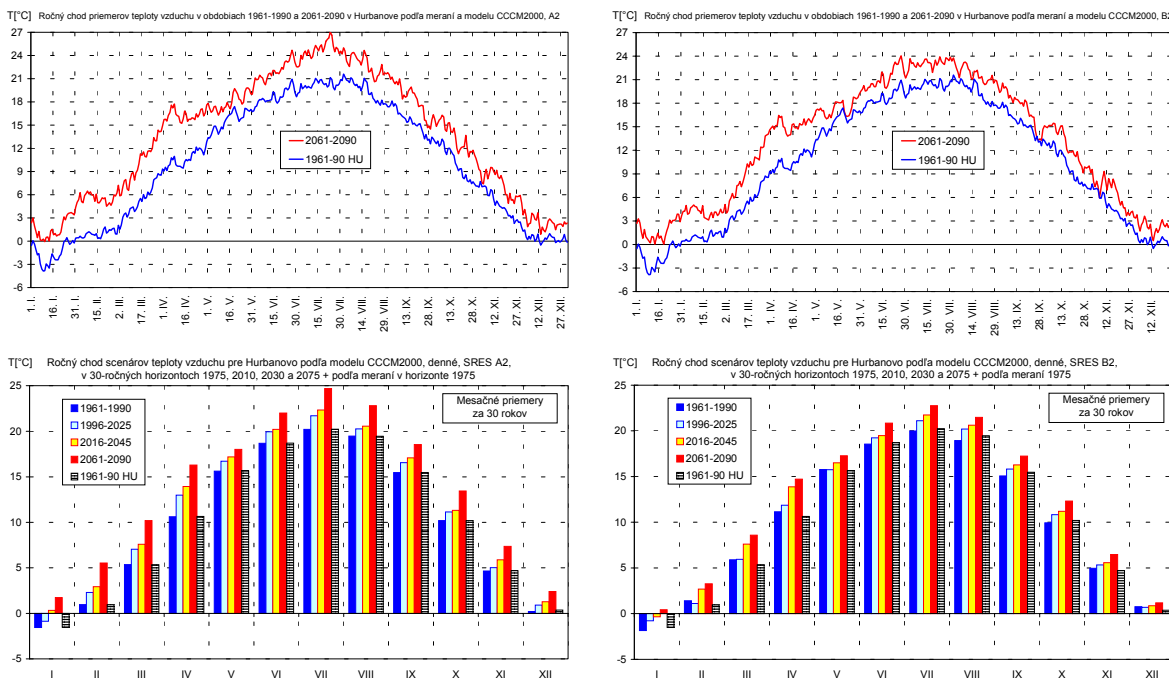
Kontaktovali sme preto riadiace stredisko modelových simulácií CCCM vo Victorii v Kanade. V júli 2005 sme dostali neočakávanú odpoveď – stredisko priznalo problémy s fyzikálnou konzistentnosťou denných hodnôt mernej vlhkosti vzduchu pri nízkej teplote vzduchu a odporučilo nám použiť z výstupov modelu iba variabilitu, čiže upraviť hodnoty diferenciálnou alebo kvocientovou metódou tak, aby priemery a variabilita za jednotlivé mesiace zodpovedali meraniam a nezaoberať sa kopírovaním presného časového priebehu denných hodnôt. Je to značný zásah do fyzikálnej konzistentnosti vzťahov medzi jednotlivými prvkami, preto skúsime najprv modifikovať výstupy mernej vlhkosti vzduchu z modelu z iného centra. Výsledky budeme prezentovať čo najskôr v inom príspevku.

## VÝSLEDKY

V tejto kapitole uvádzame vybrané grafické výsledky spracovania scenárov denných hodnôt teploty vzduchu a denných úhrnov zrážok spolu so stručným komentárom. Najprv sa venujeme scenárom teploty vzduchu pre Hurbanovo ako lineárnej interpolácie zo 4 uzlových bodov modelu CCCM2000 vo verzii emisných scenárov A2 (pesimistický) a B2 (optimistický). Detaily emisných scenárov sú uvedené v tab. 2. Na obr.1 vidíme schematicky ročný chod denných priemerov a tiež mesačné priemery pre rôzne 30-ročné časové horizonty v porovnaní s meraniami v Hurbanove v období 1961-1990.

**Tab. 2. Emisné scenáre SRES A2 a B2 v miliardách ton uhlíka za rok na Zemi len pre CO<sub>2</sub>**

Scenár/Horizont	1990	2020	2050	2100
A2	6,0	11,0	16,5	28,9
B2	6,0	9,0	11,2	13,8



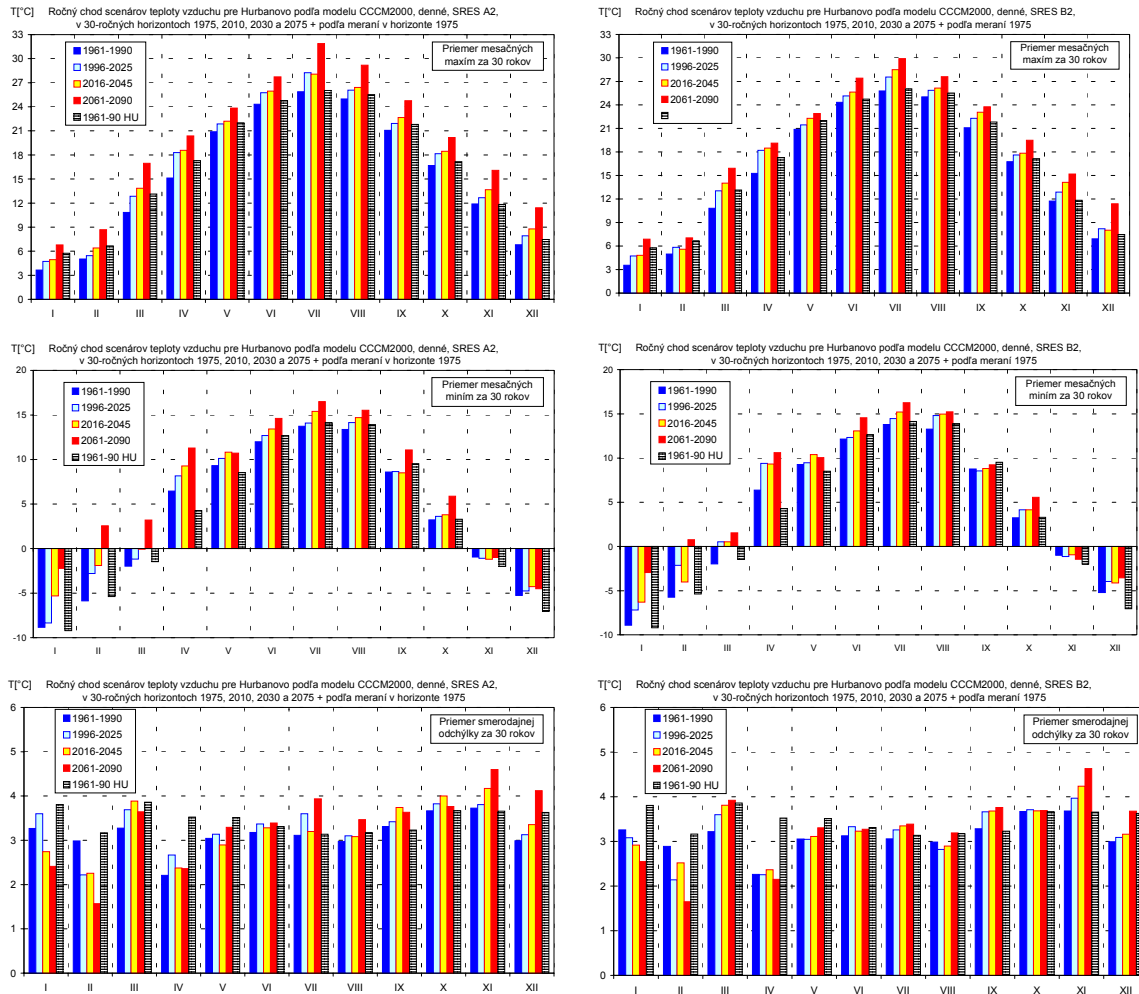
**Obr.1: Merané priemery teploty vzduchu v Hurbanove v období 1961-1990 (hore v ročnom chode po dňoch – dolná krivka, dole v mesačných priemeroch – posledný (šrafovaný) stĺpec) a modifikované výstupy scenára CCCM2000 (SRES A2 – vľavo a SRES B2 – vpravo, hore pre obdobie 2061-2090, dole pre obdobia 1961-1990, 1996-2025, 2016-2046 a 2061-2090 (odľava doprava)).**

Z obr.1 vidíme, že prijatá metodika modifikácie v podstate konzervuje hlavné rysy ročného chodu denných priemerov (tých, ktoré sa môžu prejaviť v 21-denných kľzavých priemeroch). Rast priemerov teploty vzduchu po časový horizont 2075 (2061-2090) je v porovnaní s horizontom 1975 (1961-1990) podobný ako sme publikovali v Lapin et al. (2001) podľa spracovania CCCM1997

a CCCM2000 (emisné scenáre IS92a). V tomto prípade ide o rast podľa tab.3, pričom tu prezentujeme scenáre s nehladeným ročným chodom (rozdiely medzi aprílom a májom). Vzhľadom na to, že modifikácia sa robila primárne na priemery a potom na variabilitu, sú rozdiely mesačných priemerov CCCM2000 a Hurbanova v horizonte 1961-1990 nepatrné.

**Tab. 3: Scenáre zmien mesačných priemerov teploty vzduchu [°C] v Hurbanove v období 2061-2090 oproti obdobiu 1961-1990 vypočítané zo scenárov zmien denných priemerov podľa modelu CCCM2000 a emisných scenárov A2 a B2 (detaily sú v obr.1).**

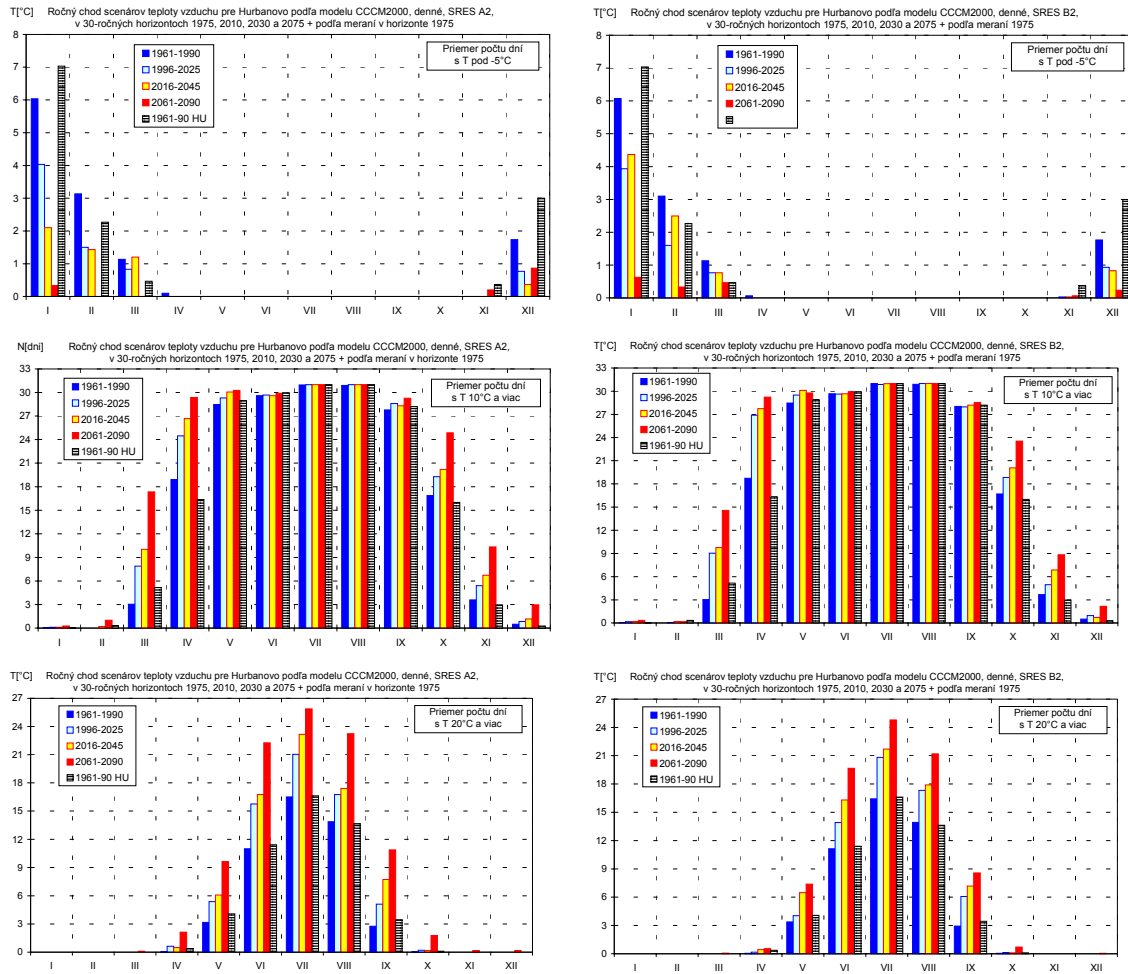
SRES	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
A2	3,25	4,59	4,85	5,64	2,37	3,32	4,47	3,35	3,07	3,24	2,67	2,04
B2	3,34	3,19	3,95	4,60	1,82	2,53	2,87	2,23	1,97	2,57	1,89	2,13



**Obr.2:** Scenáre priemerov mesačných maxim a minim z denných priemerov teploty vzduchu (hore a v strede) a mesačných priemerov zo smerodajnej odchýlky denných priemerov teploty vzduchu (dole) podľa scenára CCCM2000 a SRES A2 (vľavo) a B2 (vpravo) v časových horizontoch a porovnanie s meraniami v Hurbanove podobne ako v obr. 1.

Z obr. 2 zreteľne vidieť, že okrem priemerov prezentovaná modifikácia dobre simuluje aj mesačné maximá a minimá denných priemerov teploty vzduchu – významnejšie odchýlky sú iba v marci a apríli, ale je to v prijateľnom rozsahu. Priemery smerodajnej odchýlky denných priemerov sú trochu ovplyvnené ročným chodom (z normalizovaných denných priemerov by boli reprezentatívnejšie), avšak aj tak sú prekvapujúco korektné. Model dáva menšiu variabilitu v zime a v apríli (aj po modifikácii), pričom v druhom polroku a v marci by mala variabilita rásť a v januári a februári významnejšie klesať. Obráťme teraz pozornosť na početnosť

výskytu charakteristických dní s priemernou dennou teplotou vzduchu. Testovali sme počet dní s priemernou teplotou  $< -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $< 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $\geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tu prezentujeme iba  $< -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  v obr. 3 a 4. Je vidieť evidentný rast počtu teplejších dní a pokles počtu chladných dní, najmä podľa scenára CCCM2000 verzia A2. Zmeny počtu niektorých dní sú viac ako dvojnásobné. Opäť vidíme prekvapujúco dobrú zhodu modifikovaných modelových výstupov a meraných hodnôt v Hurbanove v období 1961-1990, čo dáva predpoklad spoľahlivosti v budúcnosti.

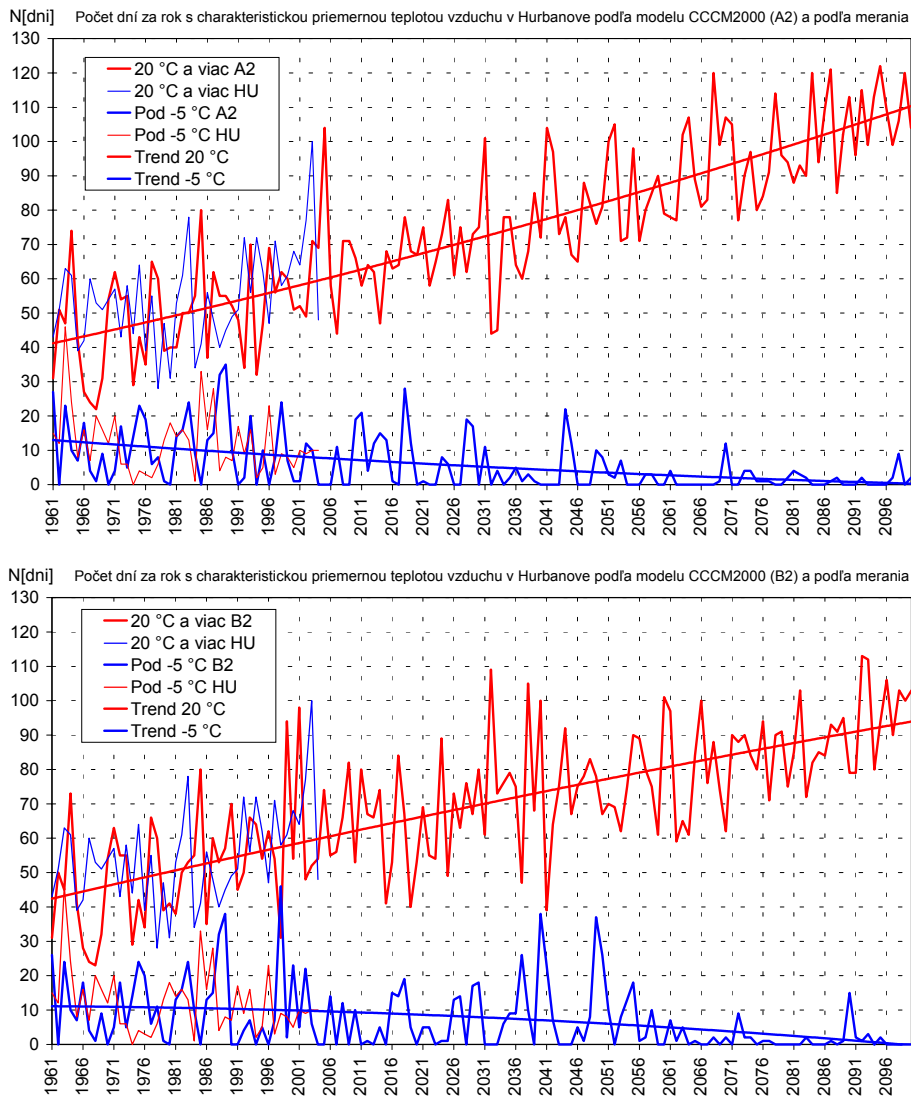


**Obr.3: Scenáre počtu dní s charakteristickým priemerom teploty vzduchu ( $<-5^{\circ}\text{C}$  – hore,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  – v strede a  $\geq 20^{\circ}\text{C}$  – dole) podľa CCCM2000 a SRES A2 (vľavo) a B2 (vpravo) v časových horizontoch a porovnanie s meraniami v Hurbanove podobne ako v obr. 1.**

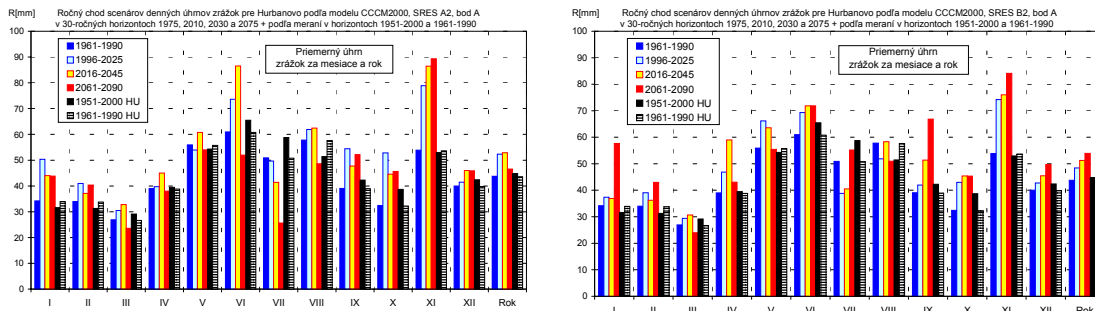
Na obr. 4 vidíme časový trend modelových a meraných hodnôt početnosti dní s priemerom teploty vzduchu  $T < -5^{\circ}\text{C}$  a  $\geq 20^{\circ}\text{C}$ . Okrem dobrej zhody s meraniami v Hurbanove v období 1961-2004 si treba všimnúť aj očakávanú medziročnú premenlivosť v budúcnosti v porovnaní so širšou súčasnosťou.

Ako sme už predtým uviedli, pri modifikácii výstupov CCCM2000 v tvare časových radov denných úhrnov zrážok sme museli siahnúť k doplnkovej úprave počtu dní so zrážkami, pričom diferenčné zníženie všetkých úhrnov zrážok o asi 0,7 mm (tab. 1) nepovažujeme za závažné z pohľadu porušenia fyzikálnej konzistentnosti výstupov. Zaujímavé bude, ako sa to prejaví na výsledkoch počtu dní so zrážkami. Testovali sme počet dní bez zrážok, počet dní so zrážkami 0,0 mm,

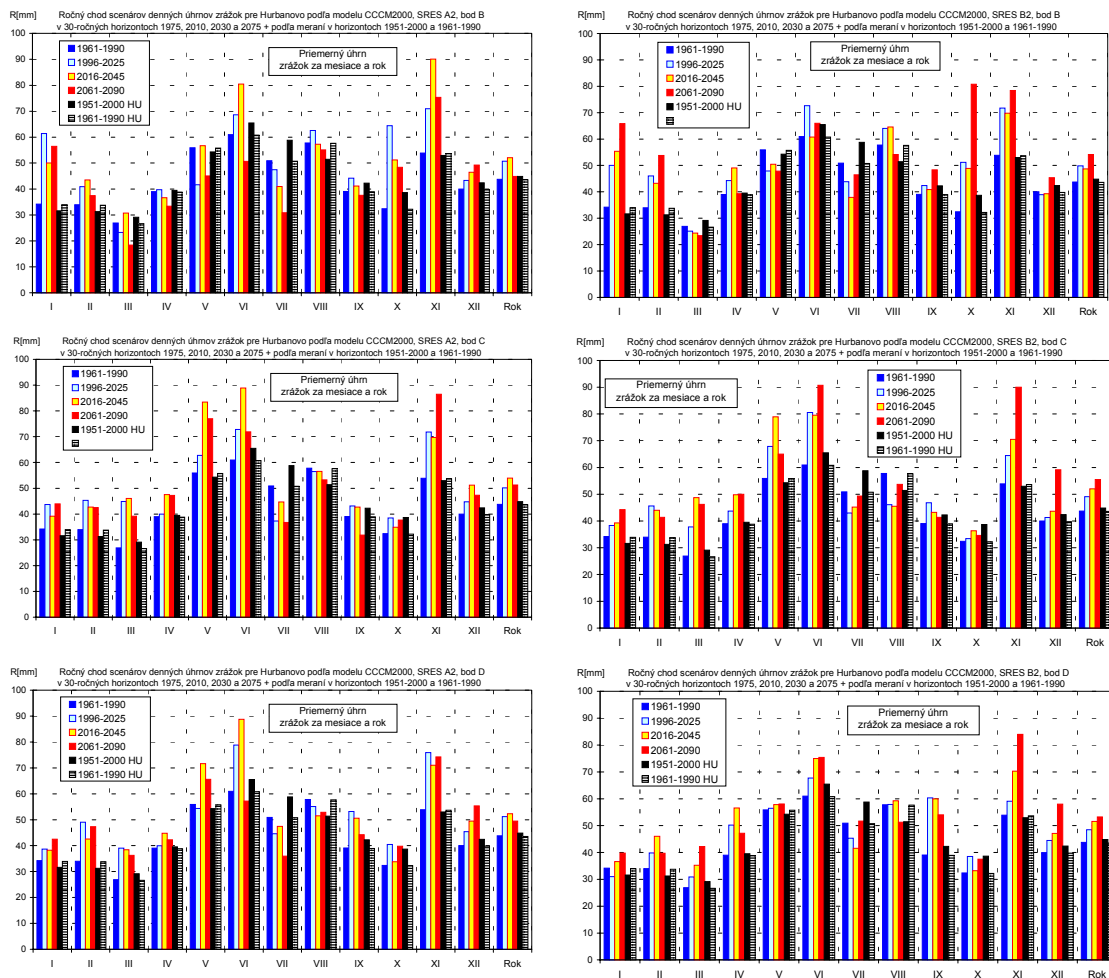
0,1 mm, 0,2 až 0,9 mm, 1,0 až 4,9 mm, 5,0 až 9,9 mm, 10,0 až 24,9 mm a  $\geq 25$  mm. Ako prvý krok však urobíme porovnanie mesačných úhrnov zrážok v jednotlivých uzlových bodoch a v dvoch variantoch SRES scenárov A2 a B2 (tab. 2). Výstupy každého uzlového bodu sme modifikovali zvlášť podľa meraných úhrnov zrážok v Hurbanove, pričom sme predpokladali, že najlepšie výsledky by sme mali dosiahnuť v tých prípadoch, kde je najtesnejšia korelácia originálnych (nemodifikovaných) časových radov z výstupov CCCM2000 a meraných časových radov v Hurbanove. Na druhej strane si uvedomujeme, že čím je komplikovanejšia modifikácia originálnych údajov z modelových výstupov, tým je väčší predpoklad na porušenie fyzikálnej konzistentnosti.



**Obr.4: Trend počtu dní s charakteristickým priemerom teploty vzduchu (<-5 °C – modrou a ≥ 20 °C – červenou) podľa CCCM2000 a SRES A2 (hore) a B2 (dole) v období 1961-2100 a porovnanie s meraniami v Hurbanove (<-5 °C – červenou a ≥ 20 °C – modrou) v období 1961-2004.**







**Obr.5: Merané priemerné mesačné úhrny zrážok v Hurbanove v období 1961-1990 – posledný (šrafovaný) stĺpec, 1951-2000 – čierny stĺpec) a modifikované výstupy scenára CCCM2000 (SRES A2 – vľavo a SRES B2 – vpravo (stĺpce odľava doprava pre obdobia 1961-1990, 1996-2025, 2016-2046 a 2061-2090, odhora dolu pre uzlové body A, B, C a D).**

Z údajov v obr. 5 je vidieť, že s výnimkou mesiacov júl a august predpokladá scenár CCCM2000 rast úhrnov zrážok v oboch variantoch A2 a B2 pre všetky uzlové body (viac pre severné C a D ako pre južné A a B). Keďže vieme o tom, že v období 1961-1990 (šrafované stĺpce) boli v Hurbanove najnižšie úhrny zrážok v 20. storočí, uviedli sme tiež priemerné úhrny za obdobie 1951-2000, ktoré však neboli podstatne vyššie (čierny stĺpec). Aj to tak trochu vysvetľuje skutočnosť, že takto pripravené scenáre poskytujú väčší rast úhrnov zrážok ako scenáre publikované v Lapin et al. (2001) pre referenčné obdobia 1901-1990 a 1951-1980. Pozoruhodný je najmä rast úhrnov zrážok v novembri a júni, v uzlovom bode C aj v máji. Ročné hodnoty predstavujú priemer z mesačných úhrnov.

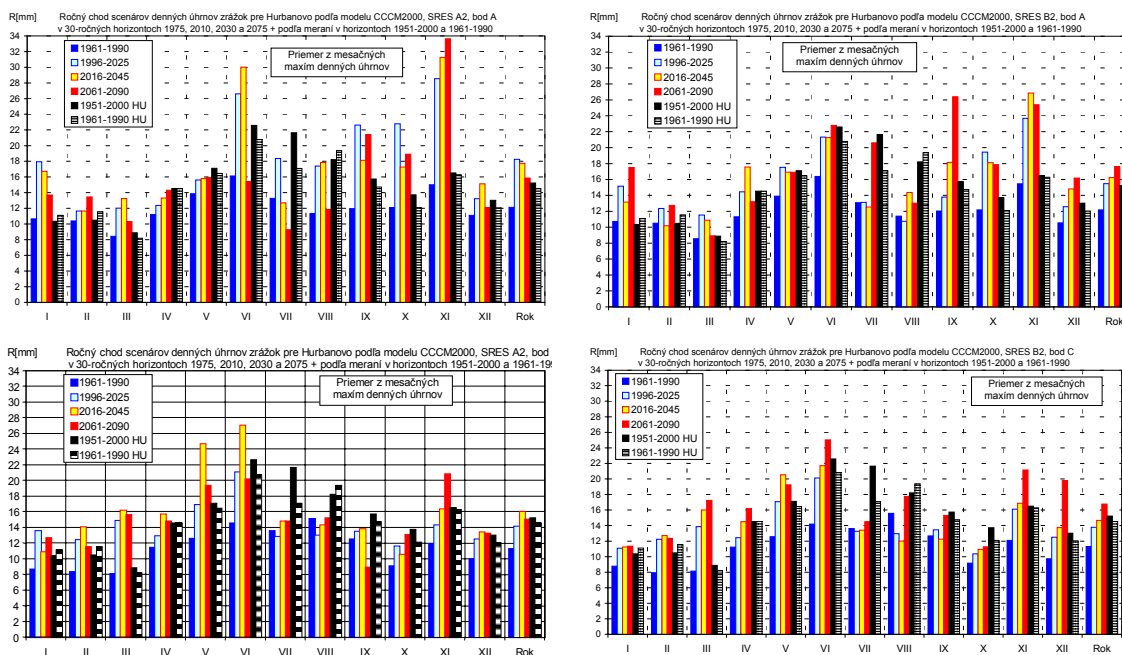
V ďalšom sa venujeme iba uzlovým bodom A a C, ktoré sa nachádzajú najbližšie k Hurbanovu, hoci aj úhrny zrážok v uzlových bodoch B a D pomerne dobre korelujú s časovými radmi meraných úhrnov zrážok v Hurbanove. Na obr.6 sú znázornené priemery z mesačných maximálnych denných úhrnov zrážok. Je vidieť, že tu už nie je taká tesná zhoda medzi Hurbanovom a CCCM2000 v období 1961-1990, ale aj obdobia 1961-1990 a 1951-2000 majú v Hurbanove značné odchýlky v niektorých mesiacoch. Všeobecne je možné konštatovať, že model CCCM2000 signalizuje rast extrémov denných úhrnov zrážok v 21. storočí, čo je v súlade s našimi predchádzajúcimi výpočtami, založenými na odlišnej metodike (Lapin et al., 2003). Týka

sa to viac verzie A2, ktorá predpokladá väčšie oteplenie ako verzia B2. Ročné hodnoty predstavujú priemer z mesačných údajov.

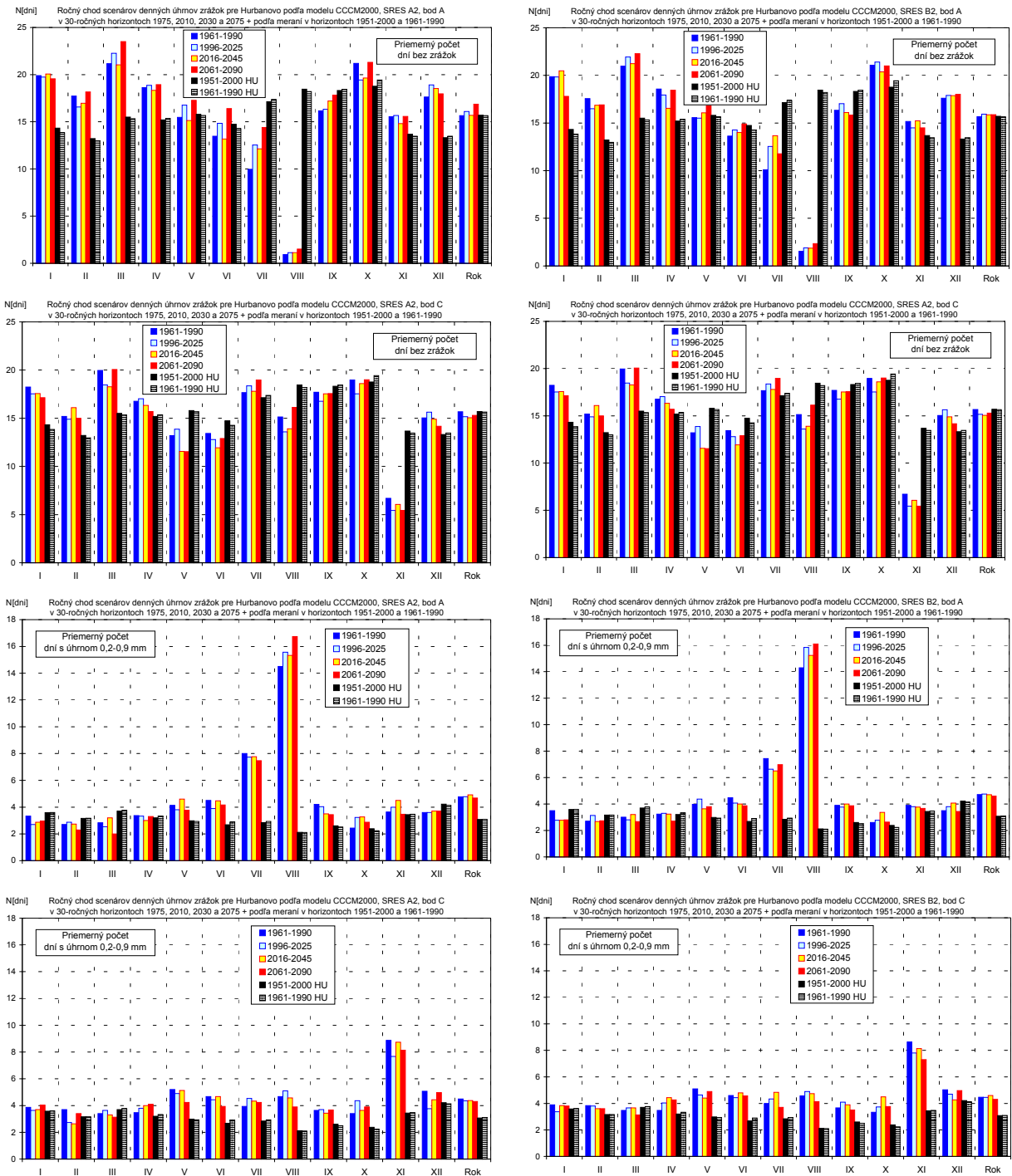
Kľúčovým problémom celej modifikácie modelových výstupov zrážkových časových radov je počet bezzrážkových dní a počet dní s charakteristickým úhrnom zrážok. Predpokladáme, že navrhnutá metodika modifikácie, založená na zosúladení obdobia 1961-1990 v modelových výstupoch s meranými úhrnmi v Hurbanove, znamená aj prijateľnú úpravu modelových časových radov denných úhrnov zrážok v období 1991-2100 tak, že dostaneme reálne výsledky. V ďalšom texte sa tiež budeme venovať iba uzlovým bodom A a C, pričom je potrebné brať do úvahy, že vzhľadom na nižšie modelové úhrny zrážok vo výstupoch z uzlových bodov B a D sú aj v týchto prípadoch modifikované časové rady prijateľné prinajmenšom tak, ako rady z uzlových bodov A a C. Pozoruhodný na modelových výstupoch je predovšetkým fakt, že sa

v porovnaní s výstupmi teploty vzduchu a snežnou radiáciou vyskytujú pomerne veľké individuálne rozdiely medzi jednotlivými uzlovými bodmi v rovnakých dňoch a mesiacoch. To naznačuje, že pri modelovaní zrážkového režimu sa tvorcovia modelu CCCM2000 snažili priblížiť reálne existujúcim pomerom.

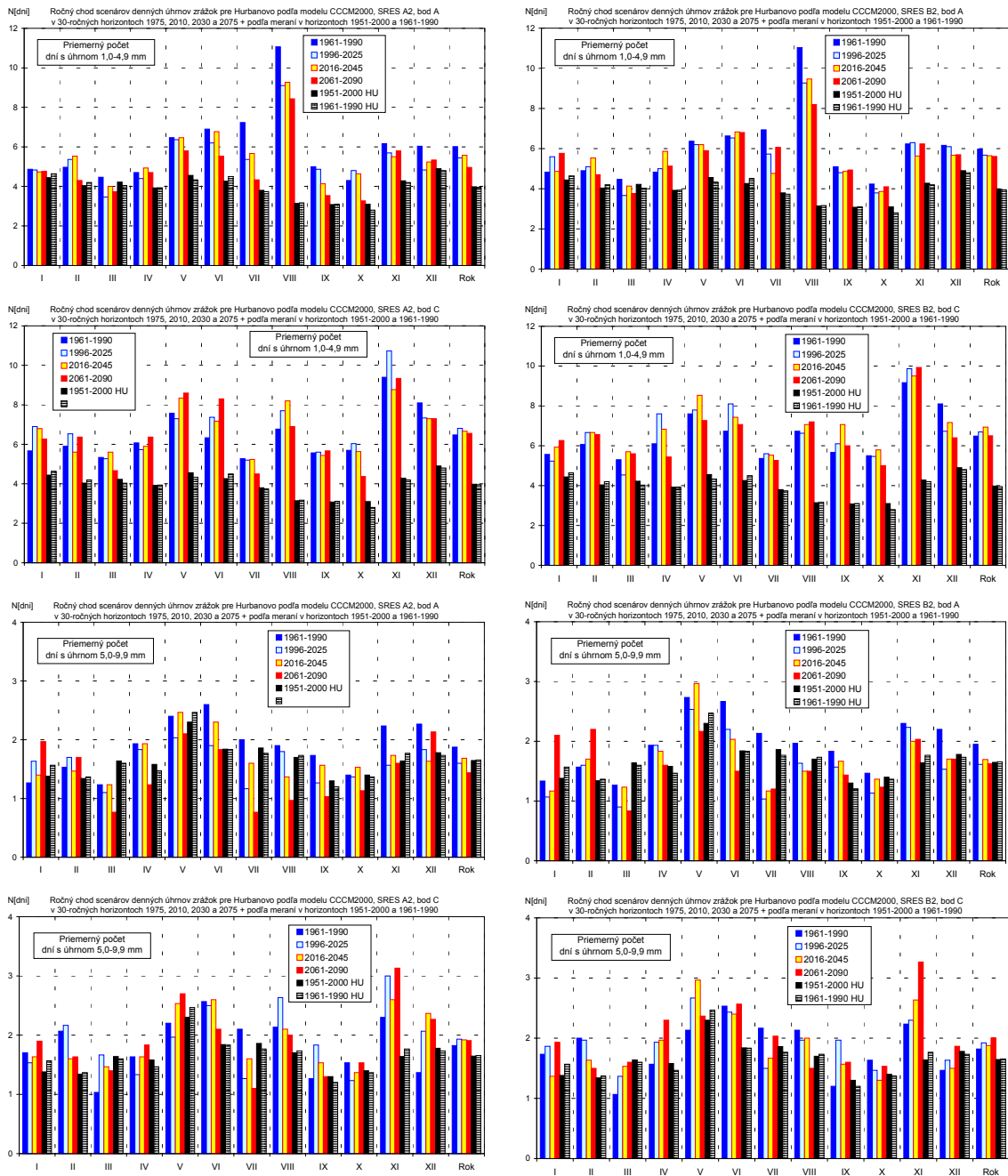
Porovnanie dní bez zrážok a dní so zrážkami 0,2 až 0,9 mm prinieslo zaujímavé výsledky. Z obr. 7 vidíme, že s výnimkou jedného mesiaca (august v bode A a november v bode C) sú výsledky veľmi korektné a porovnateľné s pozorovaniami v Hurbanove. Modelované zrážky s úhrnmi 0,0 a 0,1 mm sú veľmi nízke (okolo 1 dňa v priemere za mesiac) a neovplyvnili by výsledky. Dá sa predpokladať, že zvolená metóda modifikácie mala byť v spomínaných mesiacoch o 0,2 až 0,4 mm väčšia, dodatočne sme ju ale neupravovali.



**Obr.6: Merané priemerné mesačné maximá z denných úhrnov zrážok v Hurbanove v období 1961-1990 – posledný (šrafovaný) stĺpec, 1951-2000 – čierny stĺpec a modifikované výstupy scenára CCCM2000 (SRES A2 – vľavo a SRES B2 – vpravo (stĺpce odľava doprava pre obdobia 1961-1990, 1996-2025, 2016-2046 a 2061-2090, odhora dolu pre uzlové body A a C).**

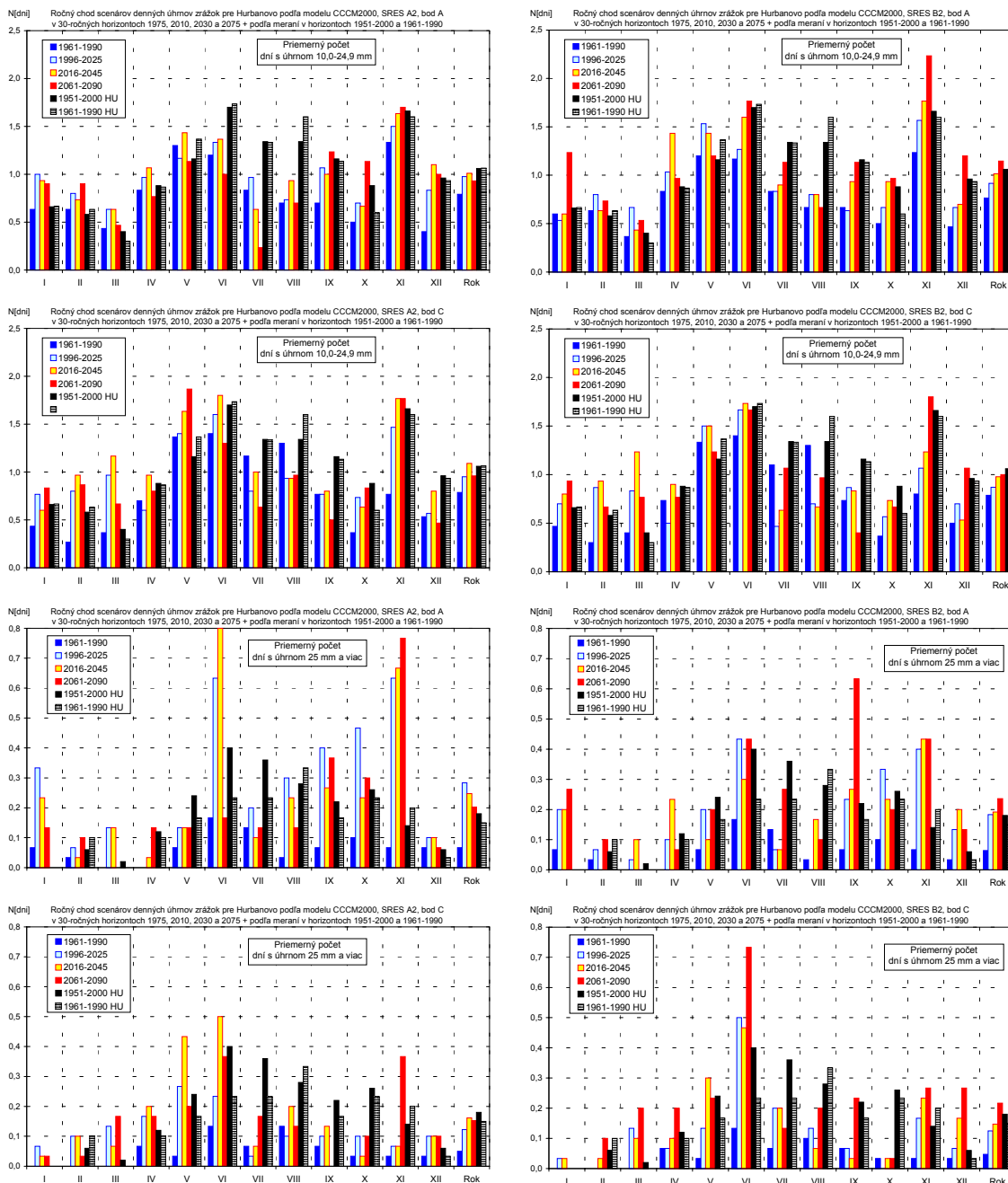


**Obr.7:** Merané priemerné mesačné počty dní bez zrážok (horné 4 obrázky) a počty dní so zrážkami 0,2 až 0,9 mm (dole) v Hurbanove v období 1961-1990 - posledný (šrafovaný) stĺpec, 1951-2000 – čierny stĺpec) a modifikované výstupy scenára CCCM2000 (SRES A2 – vľavo a SRES B2 – vpravo (stĺpce odľava doprava pre obdobia 1961-1990, 1996-2025, 2016-2046 a 2061-2090, odhora dolu pre uzlové body A a C); horné 4 obrázky sú pre dni bez zrážok.



**Obr.8:** Merané priemerné mesačné počty dní so zrážkami 1,0 až 4,9 mm (horné 4 obrázky) a počty dní so zrážkami 5,0 až 9,9 mm (dole) v Hurbanove v období 1961-1990 - posledný (šrafovaný) stĺpec, 1951-2000 – čierny stĺpec) a modifikované výstupy scenára CCM2000 (SRES A2 – vľavo a SRES B2 – vpravo (stĺpce odľava doprava pre obdobia 1961-1990, 1996-2025, 2016-2046 a 2061-2090, odhora dolu pre uzlové body A a C).

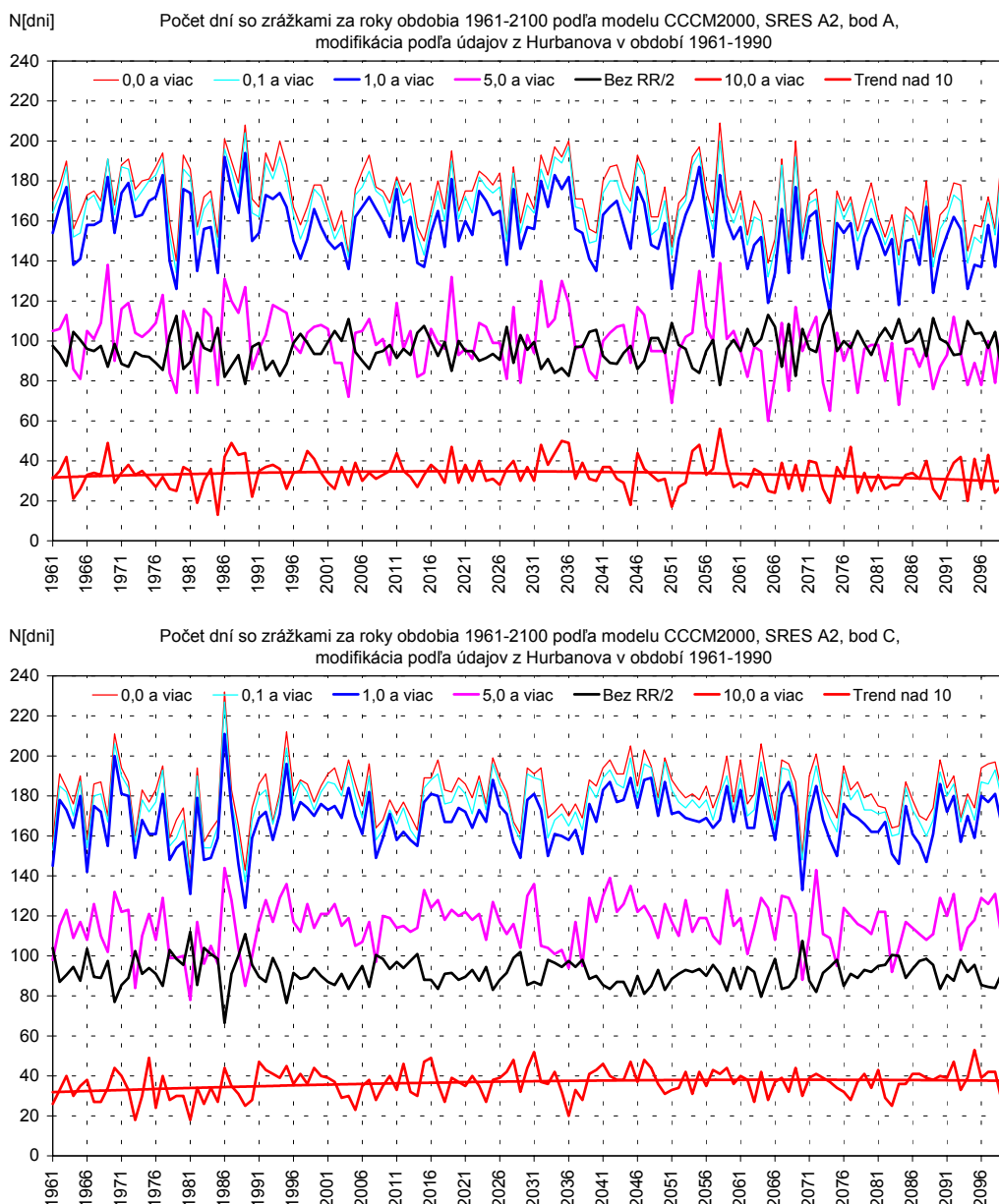
Pozrime sa teraz na počet dní so zrážkami 1,0 až 4,9 a 5,0 až 9,9 mm, ktoré sa rozhodujúcou mierou podieľajú na mesačných úhrnoch. Znázornené sú na obr. 8 v rovnakom usporiadaní ako v obr. 7. Kým počet dní so zrážkami 5,0 až 9,9 mm v modelovom výstupe takmer súhlasí s pozorovaniami, počet dní 1,0 až 4,9 je v modelovom výstupe asi o 50% vyšší, hlavne v teplom polroku a v severných uzlových bodoch. Na eliminovanie tohto menšieho nedostatku sme nerobili ďalšiu modifikáciu.



**Obr.9: Merané priemerné mesačné počty dní so zrážkami 10,0 až 24,9 mm (horné 4 obrázky) a počty dní so zrážkami  $\geq 25$  mm (dole) v Hurbanove v období 1961-1990 - posledný (šrafovaný) stĺpec, 1951-2000 – čierny stĺpec a modifikované výstupy scenára CCCM2000 (SRES A2 – vľavo a SRES B2 – vpravo (stĺpce odľava doprava pre obdobia 1961-1990, 1996-2025, 2016-2046 a 2061-2090, odhora dolu pre uzlové body A a C).**

Nakoniec analyzujeme počet dní so zrážkami 10,0 až 24,9 a  $\geq 25$  mm, na ktoré sa sústreďuje najväčšia pozornosť v súvislosti s klimatickou zmenou. Znárodné sú na obr. 9 v rovnakom usporiadaní ako v obr. 7 a 8. V obidvoch prípadoch môžeme hovoriť o dobrej zhode pozorovaných a modelova-

ných vyšších denných úhrov zrážok. Tiež sa potvrdil už dávnejšie očakávaný výsledok, že najmä v teplom polroku môže dôjsť k významnému rastu vysokých denných úhrov zrážok a aj počtu dní s vysokými úhrami zrážok. V horizonte 2061-2090 dosahuje rast počtu takýchto dní aj viac ako 200%.



**Obr. 10:** Trend modelových výpočtov počtu dní so zrážkami  $\geq 0,0$  mm,  $\geq 0,1$  mm,  $\geq 1,0$  mm,  $\geq 5,0$  a  $\geq 10,0$  za roky 1961-2100 podľa modifikovaných výstupov scenára CCCM2000 (SRES A2, odhora dolu pre uzlové body A a C, v strede je hrubšou čiernou čiarou znázornená polovica počtu dní bez zrážok).

Záverom uvádzame v obr. 10 iba pre uzlové body A a C a SRES scenár A2 trend modelových ročných počtov dní s charakteristickými zrážkami v takom rozdelení, ako sa používa aj v klimatologickej službe na Slovensku a v Českej republike. Je zreteľne vidieť rast počtu dní s vyššími úhrnmi zrážok na severe a stagnáciu na juhu, pričom celkový počet dní so zrážkami má na juhu klesajúci trend a na

severe stagnujúci. Je to v podstate v súlade s očakávaniami aj s pozorovanými trendmi v strednej Európe a na Slovensku za posledných 100 rokov (TAR IPCC, 2001, Lapin et al., 2003). Uvedené trendy sú vcelku podobné s výsledkami z ostatných 7 verzií modifikovaných výstupov denných úhrnov zrážok, pričom sa vyskytujú dobre interpretovateľné rozdiely medzi scenármi SRES A2 a B2 ako

aj medzi severnými a južnými a západnými a východnými uzlovými bodmi.

### ZÁVER

V predložennom príspevku sme sa snažili stručne prezentovať rozsiahle výsledky z prvej etapy modifikácie výstupov časových radov denných údajov z modelov všeobecnej cirkula-

cie atmosféry (GCMs) na Slovensku. V tomto prípade ide o kanadský model CGCM2. V uvedených analýzach budeme pokračovať ďalej, pretože predpokladáme, že tento prvý pokus ešte nespĺňa všetky požiadavky našich užívateľov z rôznych socio-ekonomických sektorov (Hlavčová et al., 2000 a iné).

**Pod'akovanie:** Výsledky projektov VEGA, č. 1/1042/04 (Grantová agentúra SR) a APVT-51-006502, ako aj údaje SHMÚ boli využité v tomto príspevku. Autori ďakujú za poskytnutie podkladov.

### LITERATÚRA

- IPCC, TAR, 2001,** Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge Univ. Press, UK, 944 p. ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch))
- Gaál, L., Lapin, M., 2002:** Extrémne viacdenné zrážkové úhrny v Hurbanove v 20. storočí. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds): Zborník z XIV. Česko-slovenskej bioklimatologickej konferencie „Bioklima-Prostředí-Hospodářství“. Lednice 2.-4.9.2002, text na s. 97-108 na CD ISBN 80-85813-99-8.
- Hlavčová, K., Szolgay, J., Parajka, J., Čunderlík, J., 2000:** Modelovanie vplyvu zmeny klímy na režim odtoku v regióne stredného Slovenska. In: NKP SR, Vol. V, No. 9, MŽP SR a SHMÚ, Bratislava, 15-38.
- Lapin, M., Melo, M., Damborská, I., Gera, M., Faško, P., 2000:** Nové scenáre klimatickej zmeny pre Slovensko na báze výstupov prepojených modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry. In.: Národný klimatický program SR, V, zv. 8, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava 2000, 5-34.
- Lapin, M., Damborská, I., Melo, M., 2001:** Scenáre súborov viacerých vzájomne fyzikálne konzistentných klimatických prvkov. Národný klimatický program SR, VI, No. 11, SHMÚ a MŽP SR, Bratislava, 5-30.
- Lapin, M., Damborská, I., Melo, M., 2001:** Downscaling of GCM outputs for precipitation time series in Slovakia. Meteorologický časopis, IV, No. 3, (2001), 29-40.
- Lapin, M., Damborská, I., Gaál, L., Melo, M., 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, Vol. 33, No. 3, 2003, 161-190.
- Lapin, M., Hlavčová, K. (2003):** Changes in Summer Type of Flash Floods in the Slovak Carpathians due to Changing Climate. Proceedings of the International Conference on Alpine Meteorology and MAP2003 Meeting, Brig, Switzerland, 19.-23.V.2003, Publ. Of MeteoSwiss, No. 66, 105-108.
- Lapin, M., Melo, M., Damborská, I., Gera, M., 2004:** Scenáre úhrnov zrážok počas extrémnych zrážkových situácií na Slovensku. In.: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed): Seminár „Extrémy počasí a podnebí“, Brno, 11. března 2004, ISBN 80-86690-12-1, 18 strán na CD
- Lapin, M., Melo, M., 2004:** Methods of climate change scenarios projection in Slovakia and selected results. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 52, 2004, 4, 224-238.
- Lapin, M., 2005:** Stručne o teórii klimatického systému Zeme, najmä v súvislosti so zmenou klímy. Meteorologický časopis, Vol. 8, No. 1, 25-34.
- Melo, M., 2003:** Klimatické modely a ich využitie na odhad klimatických zmien na území Slovenska. Kandidátska dizertačná práca. GFÚ SAV, Bratislava, 155 s.
- SRES, Emissions Scenarios, 2000:** Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Nebojsa, Nakicenovic and Rob Swart (Eds.). Cambridge University Press, UK, 570 pp.

**Kontaktná adresa: Prof. RNDr. M. Lapin, CSc, RNDr. Marián Melo, PhD., RNDr. Ingrid Damborská, CSc., Mgr. Martin Vojtek, Mgr. Matúš Martini.,** Oddelenie meteorológie a klima-

tológie, KAFZM FMFI UK, Mlynská dolina, 842 48 Bratislava, e-mail: [lapin@fmph.uniba.sk](mailto:lapin@fmph.uniba.sk),  
[melo@fmph.uniba.sk](mailto:melo@fmph.uniba.sk), [damborska@fmph.uniba.sk](mailto:damborska@fmph.uniba.sk), [mvojtek@fmph.uniba.sk](mailto:mvojtek@fmph.uniba.sk), [puciatko@yahoo.com](mailto:puciatko@yahoo.com)