

**MOŽNOSTI KONŠTRUKCIE SCENÁROV DENNÝCH HODNÔT
A EXTRÉMOV KLIMATICKÝCH PRVKOV
Z VÝSTUPOV NAJNOVŠÍCH MODELOV GCMs**

**POSSIBILITIES OF CLIMATE CHANGE SCENARIOS DESIGN
AS DAILY VALUES AND EXTREMES
FROM THE NEWEST GCMs OUTPUT**

Lapin, M., Melo, M. Katedra meteorológie a klimatológie, FMFI UK Bratislava

ABSTRACT: Concise evaluation of usable General Circulation Models (GCMs) and Regional Circulation Models (RCMs) is included. Most of GCMs and RCMs offer outputs only in the form of monthly or annual data series. Experts involved in vulnerability and impacts assessment prefer all climatic inputs for their models in the form of daily or even hourly series. The newest Canadian GCMs CCCM 1997 and CCCM 2000 as well as U.S. GCM GISS 1998 have been used in Slovakia recently. These models bring increase in air temperature all year round and some decrease or small changes in precipitation totals in summer. Monthly precipitation will probably increase in winter by 13-32% until the end of the 21st century. Some changes in precipitation frequency distribution are expected – increase in dry spells and more frequent heavy precipitation events occurrence in summer.

Key words: statistical downscaling, extreme precipitation, daily potential evaporation

Úvod

Pre niektoré aplikácie pri agrometeorologických, hydrologických a iných modelových výpočtoch sa požadujú scenáre časových radov mesačných alebo aj denných až hodinových klimatických údajov, najmä teploty vzduchu a úhrnov atmosférických zrážok. Takéto scenáre sa používajú na odhad možných dôsledkov klimatických zmien v blízkej budúcnosti (do roku 2010) ale aj vzdialenej (do roku 2100). V poslednom období vystupujú do popredia čoraz častejšie aj požiadavky na modelovanie možných budúcich extrémnych epizód počasia, najmä intenzívnych zrážok v súvislosti s protipovodňovými opatreniami. Principiálne najväčším problémom je dosiahnutie vzájomnej fyzikálnej konzistentnosti medzi všetkými klimatologickými prvkami modelovaných časových radov, a to tak v čase ako aj v priestore. Pre budúcnosť by sme mali pripraviť scenáre takej modelovej klímy, ktorá je zložená z prirodzenej časovej a priestorovej premenlivosti jednotlivých klimatických prvkov a zo zmeny klímy vplyvom rastúceho skleníkového efektu atmosféry. Výsledkom bude určite časovo nestacionárna klíma, s dlhodobým rastom alebo poklesom rozhodujúcich klimatických prvkov. Týmito problémami sme sa u nás zaoberali aj v prácach Lapin et al., 1999, 2003.

Prehľad modelov GCMs

Je zrejmé, že najlepším riešením by bolo použitie vhodných výstupov modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry s mesačným alebo denným krokom. Takéto výstupy je možné regionálne modifikovať štatistickým downscaling-om osvedčenými metódami (Lapin et al., 1999, 2000, Melo, 2003).

V súčasnosti najrozšírenejšími (najpoužívanejšími) a najrozvinutejšími klimatickými modelmi sú atmosférické a oceánske modely všeobecnej cirkulácie. Vo viacerých prípadoch boli GCMs atmosféry a oceánu vyvinuté oddelene. Ich vzájomným prepojením vzniká prepojený model všeobecnej cirkulácie alebo aj prepojený oceánsko-atmosférický model. Tieto modely tiež zahrňujú znázornenia povrchových pevninských procesov, procesy dotýkajúce sa morského ľadu a mnohé ďalšie zložité procesy zahrnuté v klimatickom systéme. V niektorých strediskách vyvinuli oddelene aj modely pre ďalšie zložky klimatického systému. V Národnom centre pre atmosférický výskum (NCAR Boulder, Colorado, USA) sa vzájomne prepájajú atmosférický model, oceánsky model, morskoo-ľadovcový model a model pevninského povrchu. Podobné prepojenie uskutočnili aj v Geofyzikálnom laboratóriu dynamiky tekutín (GFDL Princeton, New Jersey, USA). V najnovšej literatúre preto niektorí autori uprednostňujú termín modely klimatického systému, čím lepšie vystihujú aktuálne dosiahnutý pokrok pri klimatickom modelovaní (Melo, 2003).

Klimatické modely sú stále úspešnejšie pri simulácii klimatického systému. Do ich štruktúry sa postupne zabudováva stále väčšie množstvo existujúcich väzieb tohto systému. Pokrok sa dosahuje aj pri detailnejšom poznávaní určitej oblasti, a to jednak jemnejším horizontálnym rozlíšením globálnych klimatických modelov a jednak ďalším rozvojom regionálnych klimatických modelov. Nové výstupy modelov poskytujú oveľa väčší rozsah klimatických charakteristík v porovnaní s predchádzajúcimi verziami modelov. Najnovší kanadský model CCCM 2000 poskytuje vo výstupoch časové rady údajov pre 47 klimatických prvkov a model GISS 1998 pre 59 klimatických prvkov. V najnovších modeloch sa klimatické charakteristiky začínajú týkať aj problematiky extrémov a rieši sa aj otázka výstupov v tvare časových radov denných hodnôt vybraných klimatických prvkov.

Podľa IPCC (2001) je analýze extrémnych prípadov v simuláciách klimatických modelov venovaná rastúca pozornosť. Analýza sa týka týchto typov extrémnych udalostí: početnosti tropických cyklón, maximálnej a minimálnej dennej teploty vzduchu, trvania horúceho a studeného obdobia, intenzity a pravdepodobnosti atmosférických zrážok (povodne a suchá). Teplotnými extrémami sa zaoberajú napr. tieto klimatické modely: CCCM (denná variabilita teploty vzduchu, trvanie horúceho a studeného obdobia), CSIRO (denná variabilita teploty vzduchu, extrémny teploty vzduchu), GFDL (index tepla), UKMO (denná variabilita teploty vzduchu). Extrémami atmosférických zrážok sa zaoberajú modely: CCCM (denná variabilita zrážok, trvanie suchého a vlhkého obdobia), GFDL (denná variabilita zrážok), HadCM2b (denná variabilita zrážok, extrémny zrážok), UKMO (denná variabilita zrážok). Niektoré modely študujú aj mimotropické cyklóny: modely CCCM, ECHAM (výskyt a postup

týchto cyklón), prípadne tropické cyklóny: modely ARPEGE-C, CCCM, CSIRO, ECHAM, FSU, GFDL, HadCM2, HadAM2, JMA, PMIP, UKMO (napr. početnosť cyklón, intenzita cyklón, ich postup, vlnová aktivita, stred cyklóny, maximálna rýchlosť vetra). Analýza extrémov teploty vzduchu sa v simuláciách klimatických modelov koncentruje hlavne na denné maximum a denné minimum teploty vzduchu pri povrchu, alebo na trvanie horúceho a studeného obdobia. V prípade analýzy extrémov atmosférických zrážok je pozornosť venovaná dennej variabilite anomálií zrážok, intenzívnemu úhrnu zrážok, trvaniu suchého a vlhkého obdobia. Výsledky sa zhodujú s dostupnými pozorovaniami, avšak, na rozdiel od simulácii extrémov teploty vzduchu, sú extrémny pri zrážkach silne ovplyvnené lokálnymi pomermi. Ďalší rozvoj klimatických charakteristík extrémov je preto, najmä v prípade atmosférických zrážok, ešte stále limitovaný relatívne nízkym horizontálnym rozlíšením globálnych modelov. Aj pri analýze tropických cyklón boli pri použití vyššieho horizontálneho rozlíšenia globálnych modelov dosiahnuté lepšie výsledky (IPCC, 2001).

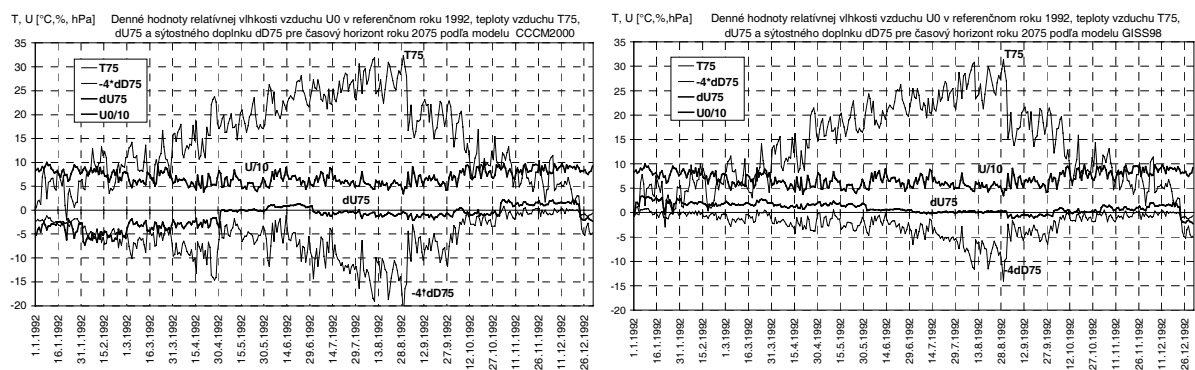
V najnovších modeloch sa rieši aj problematika výstupov v tvare časových radov denných hodnôt vybraných klimatických prvkov. Tak napr. najnovší model Kanadského strediska pre modelovanie a analýzu klímy (CCCM 2000), ktorý je prepojeným modelom 2. generácie, obsahuje spolu 43 klimatických charakteristík v tvare časových radov denných hodnôt pre obdobie 1961-2100 pre dva IPCC SRES „A2“ a „B2“ emisné scenáre, ktoré berú do úvahy aj s radiačne aktívne plyny a aj aerosóly. So systémom SRES emisných scenárov sa môžeme stretnúť v najnovšej správe IPCC (2001). Štruktúra navrhnutého najnovšieho systému scenárov má spolu 35 scenárov, ktoré môžeme rozdeliť do štyroch hlavných skupín scenárov (A1, A2, B1, B2). Skupine A2 zodpovedá predstava veľmi heterogénneho sveta. Základnou myšlienkou je spoliehať sa sám na seba a zachovať miestnu identitu, dodržiavať miestne tradície. Počet obyvateľov kontinuálne rastie v 21. storočí, ekonomický vývoj je výrazne regionálne orientovaný, technologické zmeny a rast hrubého domáceho produktu sú pomalšie ako pri ostatných skupinách scenárov. Skupina B2 vychádza z predstavy sveta, v ktorom sa kladie dôraz na lokálne riešenie ekonomickej a sociálnej rovnováhy, environmentálnej udržateľnosti rozvoja. Populácia kontinuálne rastie v 21. storočí, avšak pomalšie ako v A2.

V prípade výstupov modelu CCCM 2000 sa denné hodnoty týkajú týchto klimatických prvkov: teplota vzduchu vo výške 2 m nad zemským povrchom (°C), priemerná denná maximálna teplota vzduchu (°C), priemerná denná minimálna teplota vzduchu (°C), povrchová teplota vzduchu (°C), merná vlhkosť vzduchu (kg/kg), merná vlhkosť vzduchu na hladinách 500 hPa a 850 hPa (kg/kg), zrážky (mm/deň), evapotranspirácia (mm/deň), tlak vzduchu na hladine mora (hPa), tlak vzduchu na povrchu (hPa), priemerná rýchlosť vetra v 2 m (m/s), pôdna vlhkosť, oblačnosť, globálne žiarenie, obsah vody v snehovej pokrývke, morský ľad, geopotenciálna výška hladín 500 hPa, 850 hPa a 1000 hPa, teplota vzduchu na hladinách 500 hPa a 850 hPa a mnohé ďalšie charakteristiky.

Možnosti prípravy časových radov denných hodnôt a extrémov – vybrané výsledky

Existujú prinajmenšom tri základné metódy na získanie takýchto časových radov: 1. Aplikácia teplotných a zrážkových scenárov priemerov vypočítaných pre jednotlivé časové horizonty na základné klimatické rady (mesačných alebo denných hodnôt) z obdobia 1951-1980 (prípadne iného), ktoré budú scenármi pre obdobia 1996-2025, 2016-2045, 2060-2090 ai.; 2. Príprava generovaných (umelých) klimatických radov podľa vopred zvolených štatistických predpokladov - stochastický generátor počasia; 3. Modifikácia vhodných výstupov modelov GCMs podľa experimentálne získaných radov v čo najdlhšom období v bezprostrednej minulosti podľa čo najširšej škály štatistických parametrov.

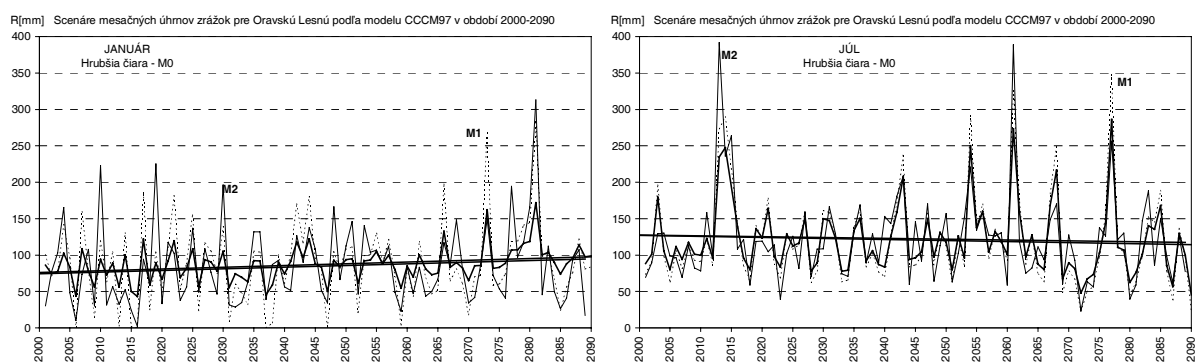
Prvá metóda je najjednoduchšia, najčastejšie sa používa, je najrýchlejšie aplikovateľná a je zrejme, že môže byť v dobrej zhode so skutočnosťou v najbližších desaťročiach. V neskorších desaťročiach však vyžaduje zahrnutie možných zmien variability údajov, odlišného časového priebehu a distribúcie denných, hodinových a extrémnych hodnôt. Prvé analýzy naznačili, že je možné očakávať iba nevýznamnú zmenu variability mesačných teplotných a zrážkových údajov v najbližších desaťročiach oproti obdobiu 1901-1995 smerom k jej rastu pri mesačných hodnotách. To potvrdzujú aj výstupy modelov CCCM a GISS. Pravdepodobne väčšie zmeny variability je možné očakávať až po roku 2050 (napr. Lapin et al., 1998, 2001). Odporúčame teda pri prvej metóde použiť časové rady mesačných alebo denných hodnôt zrážok a teploty vzduchu s nezmenenou variabilitou (smerodajná odchýlka (Sd) pri teplote vzduchu (T) a variačný koeficient (C_v) pri zrážkových úhrnoch (R)) do roku 2050 v porovnaní s obdobím 1901-1990. Príklady modifikácie časových radov denných priemerov teploty vzduchu (T), relatívnej vlhkosti vzduchu (U) a sýtostného doplnku (D) sú uvedené na obr. 1 a 2 pre scenáre CCCM2000 a GISS98. Tu sme použili ako referenčný rad denné hodnoty z pomerne extrémneho roku 1992 namerané v Hurbanove a ako scenáre nehladené mesačné hodnoty podľa Lapin et al. (2001), pričom scenáre mernej vlhkosti vzduchu sme použili pre tlak vodnej pary. Z obr. 1 a 2 vidíme, že aj v prípade malého rastu U v teplom polroku D dosť výrazne rastie, čo znamená rast potenciálnej evapotranspirácie (exponenciálny rast nasýteného tlaku vodnej pary s teplotou vzduchu).



Obr.1 a 2. Denné priemery relatívnej vlhkosti vzduchu (U) v referenčnom roku 1992 a scenáre denných hodnôt dU, teploty vzduchu (T) a sýtostného doplnku dD pre časový horizont roku 2075 podľa modelov CCCM2000 (vľavo) a GISS98 (vpravo) úpravou denných údajov z referenčného roku 1992; kvôli lepšiemu prehľadu sú uvedené hodnoty U/10 a $-4*dD$; vidíme, že aj v prípade malého rastu U v teplom polroku sa dD výrazne zvyšuje, najmä pri „suchšom“ modeli CCCM2000 (denné priemery T0 sú na obr. 7).

Použitie stochastického generátora počasia má spoločný nedostatok v tom, že aj keď časové rady jednotlivých klimatických prvkov sú generované v súlade so štatistickými charakteristikami originálnych meraných údajov, nie je možné pomocou nich dosiahnuť dobrú fyzikálnu prepojenosť (konzistentnosť, plausibility) všetkých klimatických prvkov. To sa dá dosiahnuť iba dynamickými atmosférickými modelmi. Umelé generované rady preto v konečnom dôsledku nesimulujú dobre celkovú odozvu klimatických podmienok na klimatickú zmenu v priestore a v čase, pri modelových výpočtoch impaktov sa môžu teda objaviť nereálne výsledky. Na Slovensku sa touto metódou nezaobráame.

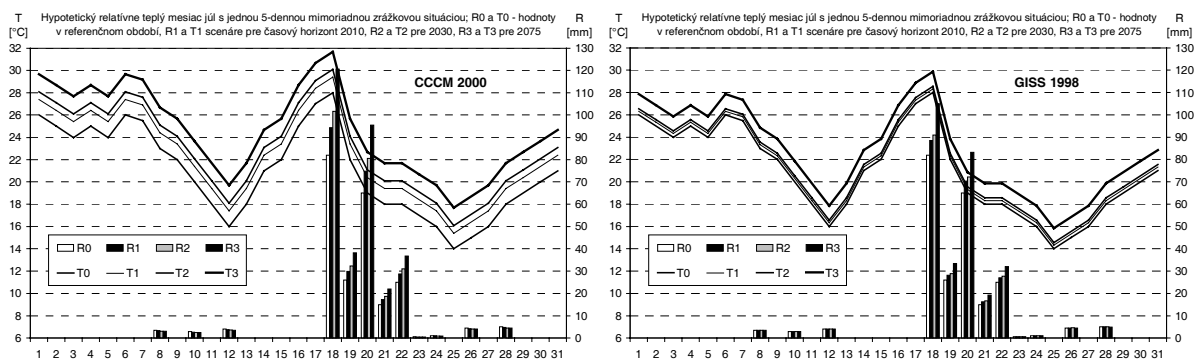
Priame použitie výstupov GCMs nie je možné pri žiadnej aplikácii. Modelové výstupy sú vypočítané za podstatne odlišných predpokladov orografie a majú aj podstatne odlišný ročný chod a variabilitu (najmä v chladnom polroku (X-III) – väčšinou veľmi nízky C_v pri R a nízka Sd pri T). Výstupy GCMs vyžadujú úpravu dlhodobých priemerov a aj variability niektorou zo štatistických metód tak, aby sa zachovala vnútorná konzistentnosť modelových výstupov. Pritom pod vnútornou konzistentnosťou rozumieme aj vzťah medzi jednotlivými prvkami aj vzťah medzi uzlovými bodmi. V doterajšom priebehu riešenia štatistického downscaling-u výstupov GCMs sme takto modifikovali iba časové rady mesačných hodnôt. Na obr. 3 a 4 vidíme príklad lokálnej modifikácie mesačných úhrnov zrážok podľa 3 metód: M0 – iba interpolácia do stanice s úpravou na priemer, M1 – aj s úpravou na časovú variabilitu a M2 – aj s úpravou na priestorovú variabilitu (Lapin et al., 2001).



Obr. 3 a 4. Scenáre mesačných úhrnov zrážok v januári a júli 2000-2090 pre Oravskú Lesnú podľa modifikácie výstupov modelu CCCM97 (M0 – iba modifikácia podľa priemeru, M1 – aj podľa časovej variability, M2 – aj podľa priestorovej variability; lineárny trend M0, M1 a M2 je takmer totožný)

Samostatným problémom je príprava časových radov scenárov denných a hodinových hodnôt epizód extrémov počasia (napr. suché periódy, udalosti s veľkými úhrnmi zrážok, epizódy dusna). Na tomto mieste prezentujeme iba prípravu scenárov mimoriadnych viacdenných úhrnov zrážok vo vybraných povodiach na Slovensku (Lapin et al., 2003). Ako sme už spomínali, takmer všetky GCMs scenáre predpokladajú u nás v lete pokles mesačných úhrnov zrážok v lete (CCCM až o 16% v júli) alebo iba malé zmeny (GISS98 rast o 1% v júli) až do horizontu roku 2075 (Lapin et al., 2001). To na jednej strane nasvedčuje postupnému rastu aridity na našom území, najmä na nížinách na juhu Slovenska, na druhej strane sa však evidentne vytvárajú podmienky na výskyt vysokých krátkodobých úhrnov zrážok

za špecifických synoptických situácií. Okrem rastu mesačných priemerov teploty vzduchu o 2-4 °C scenáre GCMs predpokladajú do horizontu roku 2075 aj rast priemerov mernej vlhkosti vzduchu o 13-23%. Už pri aplikácii jednoduchej rovnice zrážok pri usporiadaných pohyboch vzniká pri raste teploty vzduchu o 3 °C rast denných úhrnov zrážok pri nezmenenej rýchlosti výstupných pohybov a pri rovnakej výške kondenzácie o 15-25% (Lapin et al., 2003). Keďže pri vyššej mernej vlhkosti vzduchu je aj väčšia energia instability a intenzívnejšia turbulencia, môžu sa denné úhrny zrážok zvýšiť až o ďalších 20%, prípadne aj viac, ak ide o búrkové lejaky. Ani jeden z modelov GCMs totiž nevylučuje, že aj v budúcnosti sa budú v lete vyskytovať v strednej Európe brázdny nízkeho tlaku vzduchu alebo samostatné cyklóny, ktoré sú nevyhnutné na vznik niekoľkodenných intenzívnych privalových dažďov s povodňovými dôsledkami.



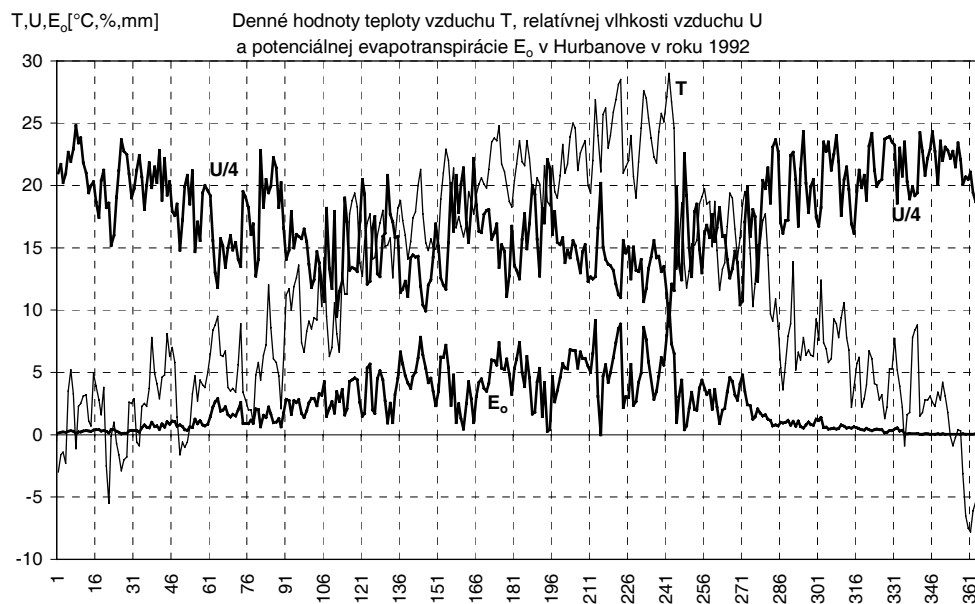
Obr. 5 a 6. Hypotetický relatívne teplý mesiac s jednou mimoriadnou 5-dennou zrážkovou situáciou (R0 a T0 - denné hodnoty zrážok a teploty vzduchu v nejakom referenčnom období; R1 a T1 - scenáre pre časový horizont 2010, R2 a T2 pre 2030, R3 a T3 pre 2075 podľa modelu CCCM 2000 vľavo a podľa GISS 1998 vpravo)

Pri konštrukcii scenárov potenciálne povodňových situácií sme postupovali takto: 1. Vybrali sme niekoľko mimoriadnych historických zrážkových udalostí (1-5 denných), ktoré zapríčinili povodňové situácie; 2. Aplikovali sme na obdobie predchádzajúce zmienenej zrážkovo mimoriadnej epizóde a po tejto epizóde scenáre zodpovedajúce scenárom mesačným priemerom (preniesli sme ich do časových horizontov rokov 2010, 2030 a 2075); 3. Na dni 1-5 dennej epizódy s mimoriadnymi zrážkami sme aplikovali zrážkové scenáre vyplývajúce z teoretického výpočtu možného zvýšenia úhrnov zrážok pri vyššej teplote a mernej vlhkosti vzduchu, teda rast až o 47% pri CCCM a o 28% pri GISS98 v časovom horizonte roku 2075. Na obr. 5 a 6 vidíme hypotetické historické zrážkové situácie a ich scenáre pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 za uvedených predpokladov.

Ďalším závažným problémom je príprava scenárov takých prvkov, ktoré sú vo výstupoch GCMs menej spoľahlivé (výpar, vlhkosť pôdy, odtok, snehová pokrývka). Venujme sa teraz pre nedostatok priestoru iba potenciálnej evapotranspirácii (E_0). V bežnej klimatologickej a hydrologickej praxi sa spracúvajú a využívajú predovšetkým mesačné a sezónne sumy E_0 a aktuálnej evapotranspirácie (E). Výpočty sa robia buď na základe meraní výparu z voľnej vodnej hladiny, alebo (častejšie) pomocou

poloempirických a empirických formúl pričom sa ako vstupy používajú mesačné hodnoty iných klimatických prvkov (teplota vzduchu, tlak vodnej pary, trvanie slnečného svitu, snehová pokrývka...). Na Slovensku sa počítajú mesačné sumy E_o a E predovšetkým komplexnou (Budykovou) metódou modifikovanou Tomlainom (1999) na podmienky Slovenska. Z mesačných súm E_o v aktuálnom období alebo pri scenároch v nejakom období z 2001-2100 je možné vypočítať denné sumy pre každý mesiac roka štatistickým generovaním za nasledujúcich zjednodušených predpokladov:

1. Rozdelenie mesačnej sumy E_o na denné sumy závisí v danom mesiaci len od denných hodnôt teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu.
2. Mesačná suma odchýlok denných súm E_o od mesačného priemeru na jeden deň je ovplyvnená rovnomerne odchýlkami teploty (T) a relatívnej vlhkosti vzduchu (U) od priemeru za daný mesiac. Tento predpoklad približne vyplýva z formuly na výpočet denných hodnôt výparu z voľnej vodnej hladiny $E = c.T/U$, kde c je koeficient vypočítaný štatisticky, T je teplota vzduchu v °C pre kladné T a U relatívna vlhkosť vzduchu v % (Lapin et al., 1987).
3. Váha T a U na modifikovanie rozptylu denných súm E_o závisí od variability T a U lineárne, aj keď je známe, že distribučná krivka hustoty pravdepodobnosti denných súm E_o je odlišná od normálneho rozdelenia a má v niektorých mesiacoch miernu ľavú asymetriu. Je tiež pravdepodobné, že distribučná krivka denných súm E_o je mierne odlišná ako pre T a U . Zjednodušený vzťah na výpočet denných súm E_o má tvar $E_o = E_{oM}/n + k.E_{oM}/n/Sd T.\Delta T - k.E_{oM}/n/Sd U.\Delta U$, kde E_{oM} sú príslušné mesačné sumy E_o , ΔT a ΔU sú odchýlky denných hodnôt T a U od mesačných priemerov, $Sd T$ a $Sd U$ sú smerodajné odchýlky denných hodnôt v mesiaci, n je počet dní v mesiaci, k je koeficient stanovený empiricky.



Obr. 7. Denné priemery teploty vzduchu T , relatívnej vlhkosti vzduchu U (tu $0,25*U$) a štatisticky generovaných denných súm potenciálnej evapotranspirácie E_o (z vypočítaných mesačných súm E_o) v Hurbanove v roku 1992.

4. Pri takejto štatistickej modifikácii sa ojedinele vyskytli malé záporné hodnoty denných súm E_0 , všetky takéto hodnoty boli manuálne upravené na 0,0 mm a finálne denné sumy E_0 boli kvocientami upravené tak, aby boli v súlade s pôvodnými mesačnými sumami E_0 .

Uvedené výsledky však vcelku dobre vystihujú očakávaný reálny rozptyl denných súm E_0 počas celého roka (vzorka je uvedená na obr. 7 pre extrémnejší rok 1992 v Hurbanove). Pripúšťame aj výskyt o niečo vyšších denných hodnôt E_0 ako 10,5 mm, takouto jednoduchou metódou ich však nie je možné generovať. Takto modifikované denné sumy E_0 je možné úspešne použiť v hydrologických a agrometeorologických modeloch tak pre aktuálne situácie ako aj pre scenáre.

V prípade potreby je možné vyvinúť aj zložitejšiu metódu downscalingu založeného na 3 denných meraniach teploty a vlhkosti vzduchu, prípadne aj trvania slnečného svitu a rýchlosti vetra. Je možné urobiť výpočet aj podľa iných formúl, napríklad podľa Penmana. Takýto výpočet je však podstatne náročnejší a najmä v prípade scenárov nie sú k dispozícii požadované podklady.

Záver

V príspevku sme uviedli iba veľmi obmedzený rozsah možných aplikácií jednoduchých metód na prípravu scenárov časových radov. Akékoľvek ďalšie „spresňovanie“, alebo skôr „zreálnovanie“ takýchto scenárov je možné iba použitím dynamického downscaling-u, teda dynamických modelov.

PodĎakovanie: Výsledky projektov VEGA č. 1/8255/01 (Grantová agentúra SR) a APVT-51-006502 ako aj údaje SHMÚ boli využité v tomto príspevku. Autori ďakujú za poskytnutie podkladov.

Literatúra

IPCC (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 pp.

Lapin, M., Košťálová, J. (1987): Zhodnotenie výparu podľa meraní výparomerov GGI - 3000 na Slovensku. Meteorologické zprávy, 40, č. 4, 106 – 110.

Lapin, M., Faško, P. (1998): Denné úhrny zrážok v Hurbanove v období 1871 - 1995. Bulletin SMS pri SAV, IX, č.1, Bratislava, 13 - 20.

Lapin, M., Damborská, I., Melo, M. (1999): Modifikované GCMs scenáre časových radov teploty vzduchu a zrážok pre Slovensko. In: Atmosféra 21.storočia, organizny a ekosystémy, Bioklim. prac. dni, Zvolen, 207-214

Lapin, M., Damborská, I., Melo, M. (2001): Downscaling of GCM outputs for precipitation time series in Slovakia. Meteorologický časopis, IV, No. 3, SHMÚ, Bratislava, 29-40.

Lapin, M., Hlavčová, K., Petrovič, P. (2003): Vplyv klimateckej zmeny na hydrologické procesy. In.: Zborník z konferencie: Hydrológia na prahu 21. storočia, Smolenice, 5-7.5.2003, ÚH SAV, CD ISBN 80-89139-00-0.

Melo, M. (2003): Klimatické modely a ich využitie na odhad klimatických zmien na území Slovenska. Kandidátska dizertačná práca. GFÚ SAV, Bratislava, 155 s.

Tomlain, J. (1999): Expected climate change impacts on changes of potential and actual evapotranspiration on the territory of Slovakia. Acta Meteorol. Univ. Comen., XXVIII, 21-26.