

Zmeny a variabilita klímy, scenáre zmeny klímy

M. Lapin, M. Melo: Climate Changes and Variability, Climate Change Scenarios. Život. Prostr., Vol. 34, No. 2, 69–74, 2000.

The main aspects of the climate changes and variability, climate change scenarios, vulnerability to climate change and adapting options in Slovakia are presented. Significant rise of atmospheric temperature and decrease of precipitation were observed in Slovakia in the 20th century. The most of climate change scenarios elaborated for Slovakia are predicting an increase in annual mean temperature by 2–4 °C and uncertain changes in precipitation. The climate change issues were the topics of research in the Slovak National Climate Program and the U.S. Country Studies Program. The two documents – First and the Second National Communication on Climate Change – were prepared by the Slovak government in 1995 and 1997.

Zmeny a premenlivosť klímy

Pojmy a fakty súvisiace so zmenami a premenlivosťou klímy sa často dostávajú do centra pozornosti, najmä v obdobiach s výskytom rôznych anomálií počasia v porovnaní s dlhodobými priemerami. Vzhľadom na to, že laická (niekedy aj odborná) verejnosť nemá prehľad o dostupných dlhodobých klimatických priemeroch a o charakteristikách variability klímy, za anomálie sa niekedy považujú prípady počasia s pomerne častým priemerným výskytom (raz za 10 rokov a častejšie). Informácie o zmenách a premenlivosti klímy by mali mať predovšetkým seriózny štatistický základ a mali by byť správne klimatologicky interpretované. V článku sa venujeme predovšetkým zmenám a premenlivosti klímy v závislosti od času. Premenlivosť klimatických prvkov môže mať aj priestorovú závislosť, vtedy však nehovoríme o zmenách a premenlivosti klímy.

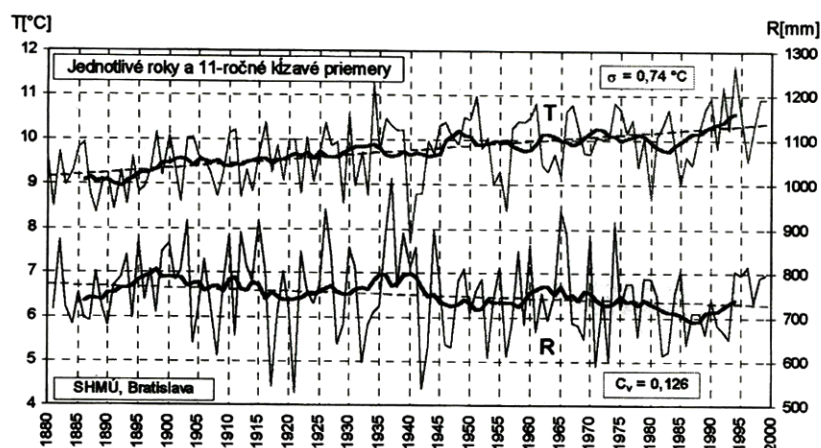
- **Zmeny klímy** – tento termín sa používa pre všetky zmeny súvisiace s klímou (v súčasnosti väčšinou už len pri zmenách klímy prirodzeného charakteru). Zmeny klímy prirodzeného charakteru sú najmä zmeny v minulých geologických dobách Zeme (milióny až stovky miliónov rokov), ľadové doby (desaťtisíce až milióny rokov), sekulárne zmeny (stovky rokov), niekedy aj nízko-frekvenčné zmeny a kolísanie klímy (desiatky rokov).

- **Premenlivosť klímy** – klimatické pomery charakterizujeme stredovými, rozptylovými, trendovými a cy-

klickými charakteristikami – rozptylové charakteristiky reprezentujú premenlivosť klímy (smerodajná odchýlka, kvantily, intersekvenčná premenlivosť atď.). Premenlivosť klímy môžeme podobne charakterizovať aj pre dlhšie časové obdobia ako jeden rok, ako aj pri použití rôzne dlhých základných časových období na výpočet hodnôt vstupných údajov spracovania (10 minút, hodina, deň, mesiac, sezóna, rok, 30 rokov a pod.).

- **Kolísanie klímy** – prirodzené kolísanie klimatických charakteristík je dané predovšetkým solárnou klímou (ročný chod, 11-ročný cyklus a pod.), iné cykly súvisia s cyklickosťou niektorých klimatotvorných procesov (2-ročný cyklus QBO, ENSO – El Niño a južná oscilácia atď.), okrem ročného chodu sú všetky vyjadrené veľmi nevýrazne, cyklus ľadových dôb má periódu okolo 100 000 rokov, za nízko-frekvenčný cyklus sa považuje kolísanie s periódou dlhšou ako 11 rokov (cyklus slnečných škvŕn). Všetky dlhšie cykly sa zložito identifikujú a zanikajú v aperiodických zmenách klímy (šum).

- **Zmena klímy** – pod týmto pojmom rozumieme iba tie zmeny v klimatických pomeroch, ktoré súvisia s antropogénne podmieneným rastom skleníkového efektu atmosféry od začiatku priemyselnej revolúcie (asi od r. 1750 n. l.). Od konca poslednej doby ľadovej do r. 1750 sa menila koncentrácia skleníkových plynov v atmosfére iba nepatrne, odvtedy sa zrýchľuje prírastok všetkých skleníkových plynov v atmosfére, okrem H₂O (vodnej pary). Úplne novými skleníkovými plynmi sú freóny



1. Časový priebeh priemerov teploty vzduchu (T) v Hurbanove a priemerných územných úhrnov zrážok (R) na Slovensku za jednotlivé roky a 11-ročné kľzavé priemery T a R (hrubšia čiara). Lineárny trend je označený tenkou prerušovanou čiarou, σ je smerodajná odchýlka T a C_v je variačný koeficient R pre celé obdobie 1881–1999 ($C_v = \sigma_R/R_p$, kde σ_R je σ pre R a R_p je priemer R).

(iba po r. 1930), r. 1994 bola koncentrácia CO_2 o 28 % a metánu o 155 % vyššia ako pred r. 1750. Terajší rast koncentrácie CO_2 je takmer o 1 % ročne.

Na obr. 1 demonštrujeme na časovom rade ročných priemerov teploty vzduchu (T) a ročných úhrnov zrážok (R) lineárny trend základných klimatických prvkov na Slovensku a čiastočne tam vidíme aj nerovnomernú časovú premenlivosť počas celého obdobia 1881–1999. Napríklad smerodajná odchýlka σ bola pri T v období 1881–1920 iba 0,56 °C a v období 1926–1965 až 0,77 °C. Na druhej strane variačný koeficient C_v bol pre R v tých istých obdobiach 0,111 a 0,144. Druhé obdobie bolo teda premenlivejšie aj z hľadiska ročných priemerov teploty vzduchu i ročných úhrnov zrážok. Zmeny premenlivosti denných hodnôt môžu byť v rovnakých obdobiach odlišné. Tiež sa tu ukazuje, že ani 11-ročné kľzavé priemery nie sú veľmi stabilné, preto sú na výpočet klimatických normálov potrebné aspoň 30-ročné rady údajov. Ak sa v budúcnosti významnejšie zmení premenlivosť jednotlivých klimatických prvkov, tak sa tým menia aj podmienky (limity) na existenciu prírodných ekosystémov i pre socioekonomickú sféru (napríklad dramatická zmena výskytu extrémov zrážok alebo extrémov teploty vzduchu). Rastúci trend teploty vzduchu a klesajúci trend úhrnov zrážok má viacero dôsledkov na prírodné prostredie, najmä na hydrologickú bilanciu. Pri priemeroch T na celej Zemi sa urobila štatistická rekonštrukcia od r. 1861. Výsledky jednoznačne potvrdzujú kumuláciu veľmi teplých rokov v poslednom desaťročí, napr. rok 1998 bol najteplejší, 1997 druhý, 1995 tretí, 1990 piaty, 1991 šiesty a 1994 siedmy najteplejší od r. 1861, (WMO,

1999). Podľa WMO a IPCC je nepravdepodobné, že by mohlo dôjsť k takejto kumulácii iba vplyvom prirodzených klimatotvorných procesov, účinok rastúceho skleníkového efektu atmosféry je už nepopierateľný. Okrem rastu globálnej teploty vzduchu sa za prejav rastúceho skleníkového efektu atmosféry považuje aj zvyšovanie rizika veľmi intenzívnych atmosférických zrážok v najteplejších oblastiach Zeme (tropické a monzúnové dažde) a zvyšovanie rizika sucha v periodicky zrážkovo nedostatkových oblastiach Zeme (stepi, lesostepi, savany, monzúnové oblasti).

Skleníkový efekt atmosféry, jeho možný vývoj a možné dôsledky

Pod pojmom *skleníkový efekt atmosféry* rozumieme sumu dôsledkov radiačne aktívnych plynov v atmosfére, ktoré absorbujú tepelné vyžarovanie Zeme, zohrievajú tú časť atmosféry, kde sa nachádzajú a silnejším spätným vyžarovaním atmosféry menia bilanciu dlhovlnného žiarenia Zeme. V dolnej časti troposféry a na zemskom povrchu sa tak pri silnejšom skleníkovom efekte atmosféry stabilizuje vyššia priemerná teplota ako pri slabšom. Zem ako celok vyžaruje do medziplanetárneho priestoru stále približne rovnaké množstvo energie (30 % je albedo krátkovlnného žiarenia a 70 % je dlhovlnné vyžarovanie Zeme). Tento pomer môže zmeniť najmä zmena albeda Zeme (zmeny aerosólov, oblačnosti, rozlohy ľadovcov, snehovej pokrývky a oceánov a pod.). Celkový prirodzený skleníkový efekt atmosféry dosahuje v hodnote oteplenia prízemnej vrstvy atmosféry Zeme asi 33 °C, teda, ak by skleníkový efekt atmosféry neexistoval a všetko dlhovlnné vyžarovanie zemského povrchu by priamo uniklo do kozmického priestoru, bola by teplota prízemnej vrstvy atmosféry iba asi -18 °C v globálnom priemere, čo je v porovnaní s terajším priemerom (asi 15 °C) o 33 °C menej. V dávnych geologických dobách bola koncentrácia rozhodujúcich skleníkových plynov v atmosfére (H_2O , CO_2 , CH_4) aj oveľa vyššia aj o niečo nižšia ako v súčasnosti. Na celkovom skleníkovom efekte atmosféry sa podieľa vodná para asi 65 %, CO_2 asi 30 % a zvyšok pripadá na iné radiačne aktívne plyny v atmosfére. Od r. 1900 vzrástol ročný priemer globálnej teploty vzduchu asi o 0,7 °C a sú dôkazy o tom, že sústavne rastie aj v poslednom desaťročí (WMO, 1999; IPCC, 1995).

Predpokladá sa, že približne do r. 2060 sa zdvojnásobi účinok skleníkových plynov (okrem vodnej pary) oproti

predindustriálnemu obdobiu a skleníkový efekt atmosféry sa zvýši tak, že celosvetový (globálny) ročný priemer teploty vzduchu sa pravdepodobne zvýši o 2,5 °C oproti obdobiu 1951–1980 (výpočty podľa rôznych modelov sa pohybujú v rozmedzí od 1,5 do 3,5 °C). Vplyv rastu koncentrácie atmosférických aerosólov môže uvedený rast teploty vzduchu znížiť asi o 0,5 °C v globálnom priemere, teda celkový rast globálnej teploty vzduchu bude asi o 2 °C. Takýto vývoj bude mať rad veľmi negatívnych dôsledkov, rozdielných v rôznych oblastiach Zeme, pričom sa predpokladá, že najväčšie oteplenie bude na severe Ázie (aj vyše 10 °C) a najmenšie v rovníkovej časti oceánov. Na Slovensku by mohol do r. 2075 dosiahnuť rast ročného priemeru teploty vzduchu 2–4 °C, čím by sa doterajšie teplotné pomery Podunajskej nížiny premiestnili na Liptov až na Oravu a na juhu Slovenska by boli podobné ako dnes v Pádskej nížine. Najväčšie oteplenie by malo byť v zime a pravidelná snehová pokrývka sa bude pravdepodobne vyskytovať iba v nadmorskej výške nad 900 m. Doteraz nie je jasné, ako sa budú meniť zrážkové pomery, no je isté, že dôjde k zníženiu zásob vody v pôde. Aj keby sa doterajšie úhrny zrážok podstatne nezmenili, vyššia teplota vzduchu bude znamenať zvýšenie výparu a zníženie vlhkosti pôdy a prietokov v riekach, najmä v druhej polovici leta (IPCC, 1995).

Globálne modely všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs)

Najvhodnejším prostriedkom pri štúdiu možnej zmeny klimatických pomerov sa javia klimatické modely. Klimatické modely sú súbory fyzikálnych, chemických a biologických vzťahov vyjadrujúcich väzby medzi zložkami klimatického systému, reprezentované vo forme matematických rovníc. Existuje celý rad modelov od jednoduchých, ktoré simulujú len určitý proces v atmosfére až po zložité modely, ktoré simulujú množstvo procesov prebiehajúcich v celom klimatickom systéme Zeme. Medzi najrozšírenejšie modely v súčasnosti patria modely všeobecnej cirkulácie atmosféry (General Circulation Models – GCMs).

Pokusy matematicky modelovať atmosféru Zeme a jej odozvu na prípadné vnútorné alebo vonkajšie zmenené podmienky sú staré najmenej sto rokov. Výraznejší pokrok pri matematickom modelovaní atmosféry však nastal až s rozvojom modernej počítačovej techniky. V 50. rokoch boli vypracované numerické riešenia zjednodušených verzií atmosférických pohybových rovníc v Geofyzikálnom laboratóriu dynamiky tekutín (GFDL) na Princetonskej univerzite (New Jersey, USA). Kým v tom období bol hlavný záujem sústredený na modelovanie atmosféry (fyziku atmosféry), od 70. rokov sa pozornosť postupne sústreďuje na celý klimatický systém vrátane

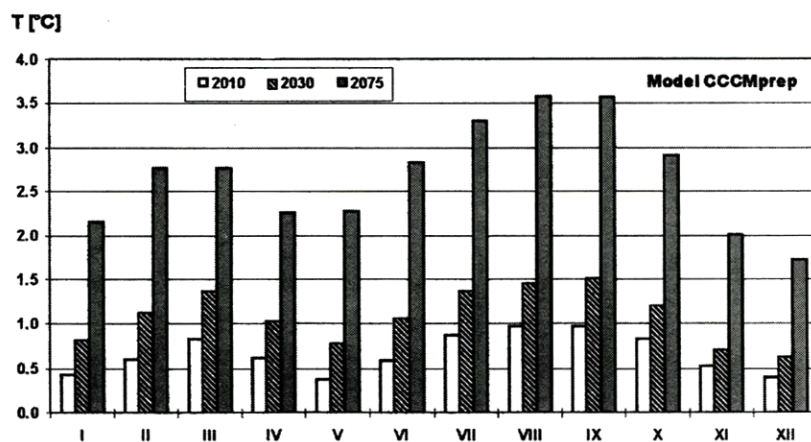
hydrosféry, litosféry, kryosféry a biosféry. Atmosférické zložky klimatických modelov boli v podstate prevzaté z numerických predpovedných modelov počasia. Pri vývoji klimatických modelov spolupracujú celé tímy odborníkov nielen z meteorologickej a klimatologickej oblasti, ale aj fyzici, matematici, chemici, biológovia, hydroológovia a oceánológovia, geografi, geológovia a ďalší.

Medzi najaktívnejšie pracoviská, ktoré sa venujú výskumu a vývoju klimatických modelov, patria: Geofyzikálne laboratórium dynamiky tekutín (GFDL) na Princetonskej univerzite (New Jersey, USA), Goddardov ústav pre výskum vesmíru pri NASA (GISS) v New Yorku, USA, Národné centrum pre atmosférický výskum (NCAR) v Boulder, USA, Kanadské stredisko pre klimatické modelovanie a analýzy (CCC) vo Victorii v Kanade. V Európe je to hlavne Meteorologický úrad Spojeného kráľovstva (UKMO) v Bracknell vo Veľkej Británii, Inštitút Maxa Plancka pre meteorológiu (MPI) v Hamburgu v Nemecku a Météo France v Toulouse vo Francúzsku.

Pri starších modeloch sa koncentrácia radiačne aktívnych (skleníkových) plynov v atmosfére zvýši na dvojnásobok jednorazovo. V novších modeloch sa koncentrácia skleníkových plynov zvyšuje na dvojnásobok postupne (o 1 % za rok). Postupné zvyšovanie koncentrácie lepšie vystihuje reálny stav, nakoľko je vyjadrená postupná reakcia klimatického systému na radiačnú poruchu v dôsledku veľkej tepelnej kapacity oceánu.

Mnohé modely berú do úvahy iba najvyššiu povrchovú vrstvu oceánu. Vzhľadom na dôležitú úlohu oceánu v klimatickom systéme treba brať do úvahy aj vplyv ich hlbinných vôd, s čím sa už môžeme stretnúť pri najnovších modeloch. Niekedy sú modely atmosféry a oceánu rozpracované oddelene. Ich vzájomným prepojením vzniká nová generácia klimatických modelov, a to *prepojené oceánicko-atmosférické modely* (prepojené GCMs). Tieto modely zahrňujú aj znázornenia krajinnopovrchových procesov, procesov dotýkajúcich sa morského ľadu a iných zložitých procesov zahrnutých v klimatickom systéme.

V súčasnosti už vo svete existujú prvé modely, ktoré berú do úvahy vplyv aerosólov na zmenu klímy. Síranové aerosóly môžu redukovať radiačné otepľovanie atmosféry spôsobené rastom koncentrácie CO₂ v strednej Európe skoro o 50 %. Ak pri skleníkovom oteplení vezmeme do úvahy túto negatívnu spätnú väzbu v klimatickom systéme, dostávame, vzhľadom na predchádzajúce závery (pri ktorých sa so zmenou koncentrácie aerosólov nepočítalo), zaujímavé výsledky. Pri rastúcom skleníkovom efekte atmosféry môže dôjsť v niektorých oblastiach na Zemi dokonca k celkovému ochladeniu klímy. V najbližšom období očakávame, že vo viacerých modelových centrách dokončia podobné simulácie so zahrnutím vplyvu aerosólov na klímu.



2. Zmeny dlhodobých priemerov teploty vzduchu na Slovensku v 30-ročných horizontoch okolo rokov 2010, 2030 a 2075 v porovnaní s priemerom obdobia 1951–1980 podľa kanadského modelu CCCM prep.

V súčasnosti je už v modeloch zachytená aj biosféra (vegetácia) a vo viacerých modelových centrách prebieha rozpracúvanie globálneho uhlíkového cyklu a atmosférickej chémie. V blízkej budúcnosti očakávame ďalšie zlepšenia oceánickej zložky klimatického modelu, zlepšenia morskofadovcového modelu a tiež zlepšenia krajinnopovrchových procesov. Zdokonalíť by sa mala radiačná schéma v modeloch, zvlášť zahrnutím vertikálnych profilov koncentrácie troposférických aerosólov a troposférického ozónu. Očakávajú sa tiež zlepšenia v dynamike oblakov, v parametrizácii oblačnej mikrofyziky a zahrnutie vln do modelov. Plánovaný je aj vstup pedosféry do modelov.

Najnovšie modely GCMs sú viac prepracované ako ich pôvodné verzie. Postupne sa do nich zabudovávajú ďalšie prvky a väzby existujúce v klimatickom systéme. V niektorých modeloch sa dosiahlo lepšie horizontálne rozlíšenie (hustejšia sieť gridových bodov) a je v nich zahrnutých viac vertikálnych výškových hladín (v atmosférickej časti modelov) i viac hĺbkových hladín (v oceánickej časti modelov). Podrobnejšie prepracované modely reálnejšie znázorňujú existujúce pomery v klimatickom systéme, čo sa prejavuje aj lepšími výsledkami pri testovaní kontrolného obdobia. Nové modelové výstupy poskytujú aj oveľa väčší rozsah klimatických charakteristík ako predchádzajúce verzie.

Prostredníctvom klimatických modelov možno študovať napr. klímu v minulosti, reakciu klimatického systému na zmeny spôsobené javom El Niño (vyvolaného interakciou medzi atmosférou a Tichým oceánom, ktorý zapríčiňuje suchá a záplavy v mnohých oblastiach sveta), ďalej zmeny spôsobené sopečnou činnosťou, ekologickými katastrofami (napr. skúmanie následkov za-

pálených vrtných polí počas vojny v Perzskom zálive), prípadným celosvetovým jadrovým konfliktom atď. Najčastejší problém, ktorý klimatické modely študujú, je reakcia klimatického systému na rast koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére. V tejto súvislosti nás zaujíma predovšetkým ako by sa mohla zmeniť klíma v najbližších 100 rokoch v rôznych častiach našej Zeme.

Regionálna modifikácia výstupov GCMs, scenáre klimatickej zmeny

Budúca klíma (budúce podnebie) akéhokoľvek miesta na Zemi bude veľmi pravdepodobne závisieť od dvoch rozhodujúcich fenoménov:

- od charakteru prirodzených zmien, variability a kolísania klímy,
- od veľkosti vplyvu "zmeny klímy" spôsobenej antropogénne podmieneným rastom skleníkového efektu atmosféry.

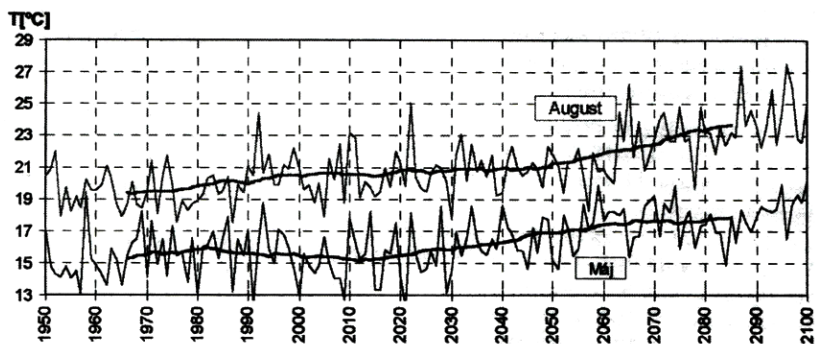
Oba fenomény bude zrejme ešte dlho veľmi ťažko odlišiť, najmä preto, že prirodzené zmeny, variabilita a kolísanie klímy dosahujú v krátkom časovom horizonte (do niekoľkých desaťročí) relatívne veľké odchýlky od dlhodobých priemerov. Na druhej strane "zmena klímy" bude mať pravdepodobne jednoznačný dlhodobý trend iba pri teplote vzduchu (rast dlhodobých priemerov o 0,2 až 0,4 °C za desaťročie) a bude mať zrejme veľmi neurčité krátkodobé variácie teploty vzduchu a veľmi neurčité krátkodobé aj dlhodobé zmeny všetkých ostatných klimatických prvkov (podľa doterajších poznatkov). Z praktických dôvodov treba pripravovať scenáre "zmeny klímy" pre zmeny dlhodobých priemerov nad úroveň prirodzených zmien klímy a scenáre možného budúceho vývoja klímy ako generované časové rady klimatických údajov. Vždy sa pripravujú najmenej dva alternatívne scenáre podľa rôznych GCMs alebo metód.

Regionálnu interpretáciu scenárov zmeny klímy môžeme robiť na základe troch primárnych metód: 1. z výstupov modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs); 2. metódou založenou na analýze analógov v historických radoch meteorologických pozorovaní; 3. metódou tzv. prírastkových (inkrementálnych) scenárov. Možná je tiež kombinácia všetkých troch primárnych metód. Dôležitým predpokladom je fyzikálna korektnosť (plausibility) metód prípravy scenárov klimatickej zmeny. Musíme predpokladať, že aj v budúcnosti sa klimatické pomery každého regiónu Zeme budú riadiť tými istými fyzikálnymi vzťahmi a zákonmi platnými pre meteorologické a iné procesy ovplyvňujúce kli-

matický systém tak, ako v súčasnosti.

Modely GCMs berú do úvahy orografiu strednej Európy ako veľmi zchladenú a "nepoznajú" väčšinou ani Panónsku kotlinu (Alpy a Karpaty tvoria jedno ploché pohorie). Hodnoty v jednotlivých uzlových bodoch teda vyjadrujú akýsi priestorový klimatický priemer pri orografickej expozícii terénu značne vzdialeného od reálnej skutočnosti. Väčšie rozlíšenie možno dosiahnuť iba v regionálnych GCMs, ktorých spoľahlivosť (posudzovaná podľa zhody s pozorovanou klímou) je doteraz ešte horšia ako pri globálnych GCMs. Napriek tomu poskytujú výstupy GCMs niektoré veľmi cenné informácie o budúcom "správaní sa" klímy. Metóda regionálnej modifikácie je založená na využití buď dynamického, alebo štatistického "downscalingu". Pri prvom použijeme nejaký regionálny fyzikálny cirkulačný model atmosféry, pri druhom využívame štatistické porovnanie výstupov GCMs s kontrolnou klímou podľa prístrojových pozorovaní na danom území v kontrolnom období. Porovnanie robíme s výsledkami pozorovaní viacerých staníc na Slovensku a s celkovým priemerom pre celé Slovensko. Pre zrážky sme vybrali porovnávacie obdobie 1901–1990 a pre teplotu vzduchu obdobie 1951–1980. Príčinou rozdielnych porovnávacích období je skutočnosť, že pre zrážky nestačí 30-ročné obdobie kvôli ich veľkej premenlivosti. Pri teplote vzduchu nemáme k dispozícii priemery za obdobie 1901–1990 z väčšieho počtu staníc a 30-ročné obdobie úplne stačí na charakterizovanie ročného chodu (navyše, obdobie 1951–1980 odporúča IPCC ako základ na odvodzovanie scenárov teploty vzduchu). Príklad scenárov zmeny dlhodobých priemerov teploty vzduchu v horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075 je na obr. 2.

Výstupy niektorých modelov GCMs sú v tvare časových radov mesačných alebo denných hodnôt. Takéto výstupy môžeme aj regionálne modifikovať podľa štatistickej štruktúry časových radov meraných údajov v kontrolnom období v minulosti na danom území. Príklad časového radu priemerov teploty vzduchu je na obr. 3. Takéto scenáre klimatickej zmeny nie sú prognózou skutočného priebehu teploty vzduchu v jednotlivých rokoch a mesiacoch, ale reprezentujú charakter klímy v budúcnosti v očakávanej štatistickej štruktúre. Ak podobným spôsobom pripravíme scenáre časových radov viacerých prvkov, musíme dbať predovšetkým na to, aby spĺňali podmienku vzájomnej fyzikálnej previazanosti. Takéto časové rady sa môžu spoľahlivo použiť v modeloch na hodnotenie možných dôsledkov klimatickej zmeny, napríklad v hydrologickom cykle vybraného povodia. Aj



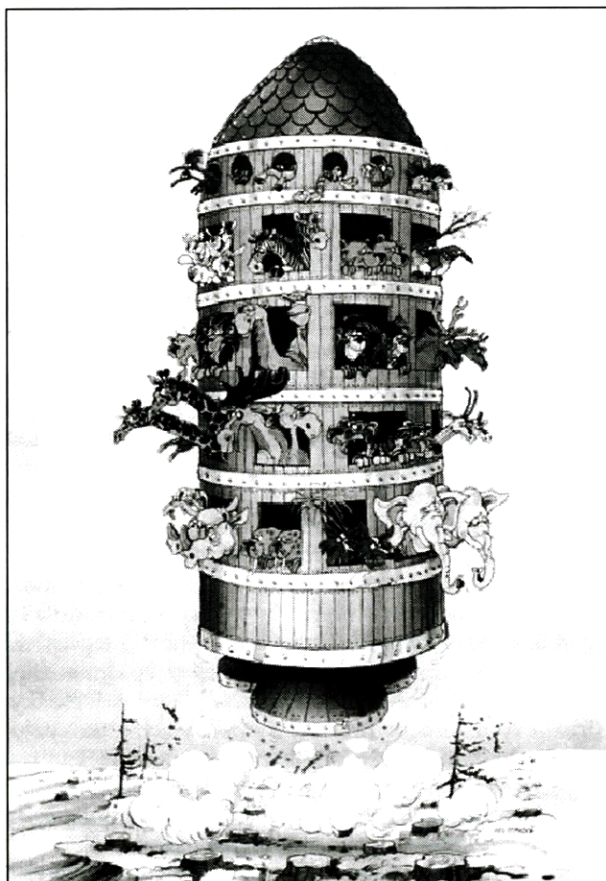
3. Mesačné priemery teploty vzduchu v máji a v auguste v Hurbanove v období 1950–2100 a 30-ročné klzavé priemery (1950–1998 – merané hodnoty, 1999–2100 – scenáre, modifikované výstupy modelu CCCM prep.)

takéto scenáre klimatickej zmeny pripravujeme vždy ako alternatívne, t. j. najmenej dva scenáre podľa dvoch odporúčaných metód (Lapin, Melo, 1999).

Citlivosť na klimatickú zmenu a návrh adaptačných opatrení

Jednou z povinností zmluvných strán (krajín) 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 socio-ekonomickom sfére a odporúčané modely na výpočet vývoja dôsledkov. Najčastejšie sa v zahraničí robia analýzy dôsledkov na hydrologický cyklus, vodné zdroje a vodné hospodárstvo, prirodzené lesné ekosystémy a lesné hospodárstvo, poľnohospodárske ekosystémy a poľnohospodárstvo, rybolov, nízkoležiace a ostrovné lokality, stepné oblasti, ľadovce, energetiku, vodnú dopravu, zdravie obyvateľstva, šírenie patogénov, chorôb, škodcov, burín a mikroorganizmov atď. Za najzávažnejšie negatívne dôsledky sa na Slovensku považujú: pokles hladiny vodných zdrojov, pokles prietokov v riekach a pokles pôdnej vlhkosti na juhu SR, zmeny podmienok veľkej časti lesných spoločenstiev v celej SR, 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, aj na Slovensku, prekonať známe negatívne dôsledky klimatických zmien za posledných 200 rokov.

Ďalšou z povinností zmluvných krajín FCCC je práva adaptačných opatrení na zmiernenie možných negatívnych dôsledkov klimatickej zmeny a s nimi súvisiacich zmien v budúcnosti. Tieto aktivity nadväzujú na analýzu citlivosti (zraniteľnosti) územia na klimatickú zmenu a klimatické zmeny všeobecne a tiež na analýzu ekonomických, demografických a sociálnych aspektov. Jednou z metód je tzv. *cost/benefit assessment*, teda odhad nákladovosti a ziskovosti navrhovaných (alebo prijatých) adaptačných opatrení. Podľa tejto metódy sa navrhujú iba také adaptačné opatrenia, ktoré sú ekonomicky únosné aj z hľadiska trvalo udržateľného rozvoja. Adaptačné opatrenia sa navrhujú vo viacerých alternatívach (podobne ako scenáre klimatickej zmeny) a sústreďujú sa najmä na strategické plánovanie. Možno navrhnuť i rad adaptačných opatrení realizovateľných v bežnom živote občanov a inštitúcií. Jedným z príkladov je zakladanie nových lesných porastov, ktoré budú rásť najmenej 50 rokov, a teda predpokladaná klimatická zmena by ich mohla značne ovplyvniť; ďalším je stratégia vodohospodárskych úprav a zariadení; zaujímavá je



aj stratégia klimatizácie interiérov a dopravných prostriedkov a pod. Podrobnosti o citlivosti územia Slovenska na klimatickú zmenu a o navrhovaných adaptačných a zmiernujúcich opatreniach uvádza záverečná správa projektu Country Study (riešeného za významnej podpory vlády USA v r. 1994–1996). Druhá národná správa o zmene klímy a publikácie NKP SR (Szolgay a kol., 1997; Mindáš a kol., 1996). Novšie adaptačné opatrenia by mali byť vypracované už na základe uplatnenia (regionálnej modifikácie) výstupov najnovších globálnych modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (Lapin, Melo, 1999) i podľa výsledkov a odporúčaní Tretej správy IPCC z r. 2000.

Autori použili v príspevku výsledky výskumu podporovaného grantom VEGA č. 1/5196/98 a údaje SHMÚ.

Literatúra

- IPCC, 1995: Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Houghton, J. T., Meira Filho, L. G., Callander, B. A., Harris, N., Kattenberg, A., Maskell, K. (eds). WMO, UNEP, Cambridge Univ. Press, 572 pp.
- Lapin, M., Melo, M., 1999: Climatic Changes and Climate Change Scenarios in Slovakia. Meteorologický časopis, 2, 4, p. 5–15.
- Melo, M., 1996: Klimatické scenáre. In: NKP SR, 4, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, p. 5–21.
- Mindáš, J., Lapin, M., Škvarenina, J., 1996: Klimatické zmeny a lesy Slovenska. In.: Publikácia NKP SR, zv. 5, MŽP SR a SHMÚ, Bratislava, 98 pp.
- Szolgay, J., Hlavčová, K., Parajka, J., Čunderlík, J., 1997: Vplyv klimatickej zmeny na odtokový režim na Slovensku. In.: Publikácia NKP SR, zv. 6, MŽP SR a SHMÚ, Bratislava, p. 11–110.
- Trenberth, K. E. (ed.), 1992: Climate System Modelling. Cambridge University Press, 788 pp.
- WMO, 1999: Statement on the Status of the Global Climate in 1998 World Meteorological Organisation, Geneva, 12 pp.

Doc. RNDr. Milan Lapin, CSc. (1948), predseda Národného klimatického programu SR, vedecký pracovník SHMÚ, vedúci Katedry meteorológie a klimatológie MFF UK, Mlynská dolina F-1, 842 15 Bratislava. E-mail: lapin@fmph.uniba.sk

Mgr. Marián Melo (1968), odborný asistent Katedry meteorológie a klimatológie MFF UK, Mlynská dolina F-1, 842 15 Bratislava. E-mail: melo@fmph.uniba.sk