

**MOŽNÉ BIOKLIMATOLOGICKÉ SÚVISLOSTI
ZMENY KLÍMY A VARIABILITY KLÍMY**

**POTENTIAL BIOCLIMATOLOGICAL RELATIONSHIP BETWEEN
CHANGES IN CLIMATE AND ITS VARIABILITY**

Ondráš, M., Lapin M.

Abstract

Essential aspects of climate changes and variability, climate change scenarios, vulnerability to climate changes and possible bioclimatological impacts in Slovakia are presented. Significant rise in air temperature and decrease in precipitations have been observed in Slovakia in the 20th century. The majority of climate change scenarios assess the annual increase in mean temperature to about 2 - 4 °C while the future trend in precipitations in Slovakia is uncertain. Climate change issues were the topics of research of the Slovak National Climate Program and U.S. Country Studies Program, both co-ordinated by the Slovak Hydrometeorological Institute. The First and The Second National Communication on Climate Change were prepared by the SR Government in 1995 and 1997.

ÚVOD

Biosféra je jedným z najcitlivejších indikátorov zmien a variability klímy. Viaceré rastlinné a živočíšne druhy majú pomerne presne vymedzené hranice výskytu a aj ročný cyklus vývoja, pričom klimatické limity tu majú rozhodujúcu funkciu. V Slovenskom hydrometeorologickom ústave (SHMÚ) sa popri klimatologickom monitoringu (v sieti meteorologických, klimatologických a zrážkomerných staníc) robí aj monitoring fenologický, teda pozoruje sa vývoj rastlín a niektorých živočíšnych druhov v závislosti od počasia [Ondráš, 2000]. V príspevku sa pokúsime stručne oboznámiť záujemcov s hlavnými výsledkami analýzy zmien a variability klímy na Zemi a na Slovensku, s možným vývojom (scenármi) klímy do roku 2100 a s niektorými zmenami v prírodnom prostredí a v socio-ekonomickej sfére, ktoré pravdepodobne primárne zapríčinia zmenené klimatické a bioklimatické podmienky. Stručne tiež uvedieme podstatu monitoringu klimatickej zmeny a princípy fyzikálnych modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry Zeme (GCMs), ktoré sa používajú na výpočet možných parametrov zmien klímy v budúcom storočí. Záverom stručne spomenieme metodiku odhadu citlivosti na klimatickú zmenu a uvedieme príklady možných negatívnych dôsledkov zmeny klímy na biosféru v priestore Slovenska.

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 priemermi. 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). Úlohou profesionálnych meteorológov a klimatológov je poskytovanie a rozširovanie takých informácií o zmenách a premenlivosti klímy, ktoré majú predovšetkým seriózny štatistický základ a sú správne klimatologicky interpretované. V tomto príspevku sa budeme venovať predo-

všetkým zmenám a premenlivosti klímy v závislosti od času. Premenlivosť klimatických prvkov môže mať aj priestorovú závislosť, vtedy však nehovoríme o zmenách a premenlivosti klímy.

a) 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 nízkofrekvenčné zmeny a kolísanie klímy (desiatky rokov).

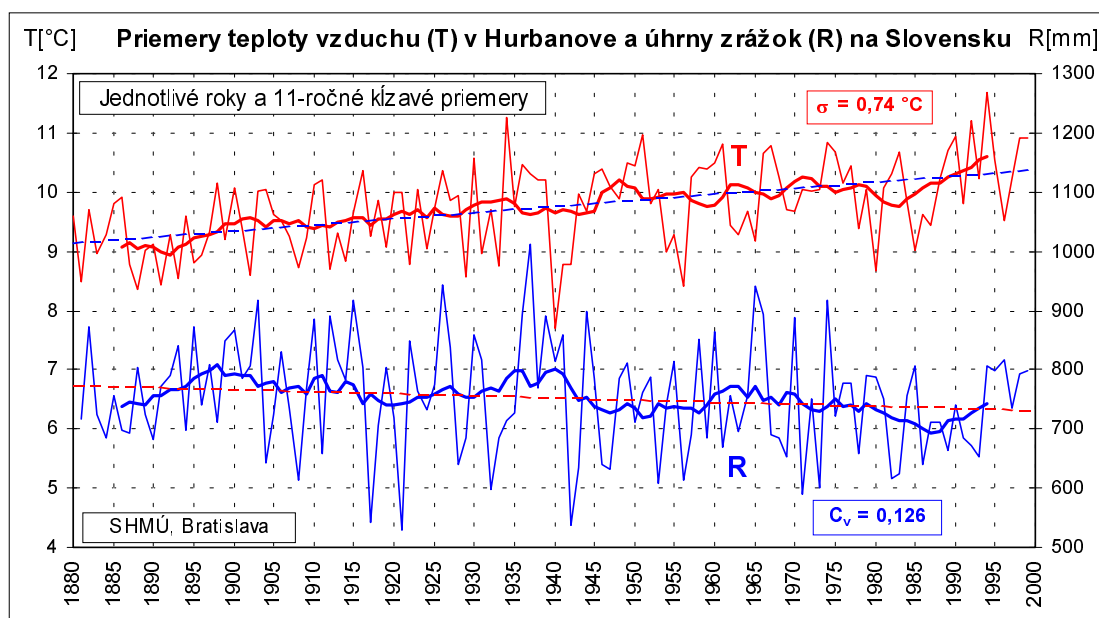
b) Premenlivosť klímy - klimatické pomery charakterizujeme stredovými, rozptylovými, trendovými a cyklickými charakteristikami - rozptylové charakteristiky reprezentujú premenlivosť klímy (smerodajná odchýlka, kvantily, intersekvenčná premenlivosť...). Premenlivosť klímy môžeme podobne charakterizovať 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 iné).

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

d) 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 roku 1750 n. l.). Od konca poslednej doby ľadovej sa do roku 1750 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 (iba po roku 1930), v roku 1994 bola koncentrácia CO₂ o 28% a metánu o 155% vyššia ako pred rokom 1750. Terajší rast koncentrácie CO₂ 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 T a aj ročných úhrnov R. Zmeny premenlivosti denných hodnôt môžu byť v rovnakých obdobiach odlišné. Tiež sa tu ukazuje, že ani 11-ročné kĺzavé priemery nie sú veľmi stabilné, preto sú na výpočet klimatických normálov potrebné aspoň 30-ročné rady údajov. Z hľadiska biosférickej odozvy však aj 11-ročné kĺzavé priemery môžu signalizovať zmenu podmienok pre niektoré druhy. Ak sa v budúcnosti významnejšie zmení premenlivosť jednotlivých klimatických prvkov, tak sa tým zmenia aj podmienky (limity) pre prírodné ekosystémy a pre socio-ekonomickú sféru (napríklad dramatická zmena výskytu extrémov zrážok alebo extrémov teploty vzduchu). Rastúci trend T a klesajúci trend R má viacero súvisiacich dôsledkov na prírodné prostredie, najmä prostredníctvom zmeny hydrologickej bilancie. Pri priemeroch T na celej Zemi bola urobená štatistická rekonštrukcia od roku 1861. Výsledky jednoznačne potvrdzujú kumuláciu veľmi teplých rokov v poslednom desaťročí (rok 1998 bol najteplejší, 1997 druhý, 1995 tretí, 1990 štvrtý, 1999 piaty, 1991 šiesty a 1994 siedmy najteplejší od roku 1861, [WMO, 2000]). Podľa WMO a IPCC je nepravdepodobné, že by mohlo dôjsť k takejto kumulácii iba

vplyvom prirodzených klimatotvorných procesov a účinkov 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). V SR sa pravdepodobne zvýši aj riziko sucha a aj intenzívnych zrážok.



Obr. 1 Časový priebeh priemerov teploty vzduchu (T) v Hurbanove a priemerných územných úhrnov zrážok (R) na Slovensku za jednotlivé roky a 11-ročné kĺzavé 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).

V súvislosti s očakávanou zmenou klímy vystupuje do popredia potreba dôsledného monitoringu prebiehajúcich zmien. Svetová meteorologická organizácia, Svetový klimatický program a Medzivládny panel pre zmenu klímy odporúčajú robiť uvedený monitoring predovšetkým v rámci medzinárodného programu GCOS (Globálny klimatický pozorovací systém). V rámci tohoto systému existuje sieť referenčných pozemných staníc (GSN) na monitorovanie variability klímy a na pomoc pri detekcii zmeny klímy. GSN bola zriadená v roku 1999 a Poprad je jednou zo staníc zaradených do GSN. V tomto programe sa predpokladá celosvetovo jednotné a dlhodobé stabilné pozorovanie všetkých zložiek klimatického systému, socio-ekonomickej sféry a prírodného prostredia, ktoré môžu byť klimatickou zmenou nejakým spôsobom dotknuté. Na Slovensku sa takýto monitoring dá úspešne realizovať predovšetkým v pozorovacích sieťach SHMÚ (meteorologická, klimatologická, zrážkomerná, hydrologická a fenologická) [Ondráš, 2000, Šťastný a Ondráš, 2000]. Cieľom je zachovanie existujúcich dlhých radov pozorovaní aj počas budúceho storočia, rekonštrukcia doterajších radov pozorovaní, budovanie databáz v počítačových systémoch a priebežná interpretácia zistených trendov a zmien. Každá z uvedených pozorovacích sietí súvisí do určitej miery s bioklimatológiou, no sieť fenologická je bioklimatologickému monitoringu asi najbližšia. Z medzinárodných fenologických projektov môžeme spomenúť aspoň IPGs (International Phenological Gardens, IPN (International Phenological Network) a GPM (Global Phenological Monitoring) [Braslavská, 2000]. V roku 2000 sa začal riešiť bilaterálny fenologický projekt v spolupráci SRN a SR zameraný na vzťah fenologických a klimatických prvkov pri detekcii klimatickej zmeny.

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, oceánov, geobotanických oblastí...). 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 (H₂O, CO₂, CH₄) aj ďaleko vyššia aj o niečo nižšia ako v súčasnosti. Na celkovom skleníkovom efekte atmosféry sa podieľa vodná para asi 65%, CO₂ asi 30% a zvyšok pripadá na iné radiačne aktívne plyny v atmosfére. Pred 4,5 miliardami rokov dosahovala koncentrácia CO₂ najprv hodnoty okolo 90% z celkovej hmoty atmosféry, o 3,5 miliardy rokov neskôr klesla na nižšiu úroveň ako dnes. Na poklese koncentrácie CO₂ sa rozhodujúcou mierou v predkambriálnom období podieľal biosférický záchyt. Aj v neskorších geologických dobách biosféra významne "regulovala" najmä koncentráciu CO₂ v atmosfére a dominantne sa podieľala na akumulácii uhlíka v sedimentoch. Počas zaľadnení v Pleistocéne bola koncentrácia CO₂ asi o 10 až 30% nižšia ako v predindustriálnom období v Holocéne a prirodzene bola nižšia aj koncentrácia H₂O (kvôli nižšej priemernej teplote vzduchu v nižších vrstvách atmosféry). Od roku 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, 2000, IPCC, 1995].

Predpokladá sa, že približne do roku 2060 dôjde k zdvojnásobeniu účinku 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 dávajú výsledky globálneho oteplenia 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 rozdielne 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 roku 2075 dosiahnuť rast ročného priemeru teploty vzduchu 2 až 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. Okrem iných dôsledkov to bude znamenať skorší nástup vegetačného obdobia, čo môže zvýšiť riziko poškodenia jarnými mrazmi [Špánik, et al., 2000]. Doteraz sú určité neistoty v scenároch zmien zrážkových pomerov, 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, Druhá národná správa o zmene klímy, 1997].

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 jedno storočie. Výraznejší pokrok pri matematickom modelovaní atmosféry však nastal až s rozvojom modernej počítačovej techniky. V 50-tych rokoch boli vypracované numerické riešenia zjednodušených verzií atmosferických pohybových rovníc v Geofyzikálnom laboratóriu dynamiky tekutín (GFDL) na Princetonskej univerzite (New Jersey, USA). Kým v tomto období bol hlavný záujem sústredený na modelovanie atmosféry (fyziku atmosféry), od 70-tych rokov sa pozornosť postupne sústreďuje na celý klimatický systém, vrátane hydrosféry, litosféry, kryosféry a biosféry. Atmosferické 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, hydrológovia a oceánológovia, geografi, geológovia, a ďalší.

Niektoré modely berú do úvahy iba najvyššiu povrchovú vrstvu oceánu. Vzhľadom na dôležitú úlohu oceánov v klimatickom systéme je dôležité brať do úvahy aj vplyv hlbinných vôd oceánu, s čím sa môžeme už stretnúť pri najnovších modeloch. Vzájomným prepojením modelu atmosféry a oceánu vzniká nová generácia klimatických modelov, a to prepojené oceánicko-atmosferické modely (prepojené GCMs). Tieto modely tiež zahrňujú znázornenia krajinnopovrchových procesov, procesy dotýkajúce sa morského ľadu a iné zložité procesy zahrnuté 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 CO₂ v strednej Európe skoro o 50% [IPCC, 1995, Lapin a Melo, 1999 a 2000].

REGIONÁLNA MODIFIKÁCIA VÝSTUPOV GCMs, SCENÁRE KLIMATICKEJ ZMENY

Budúca klíma (budúce podnebie) akéhokoľvek miesta na Zemi bude veľmi pravdepodobne závisieť od dvoch rozhodujúcich fenoménov. 1. Od charakteru prirodzených zmien, variability a kolísania klímy; 2. Od veľkosti vplyvu "zmeny klímy" spôsobenej antropogénne podmieneným rastom skleníkového efektu atmosféry. Obidva tieto fenomény budú zrejme ešte dlho veľmi ťažko odlíšiteľné najmä z toho dôvodu, že prirodzené zmeny, variabilita a kolísanie klímy dosahujú v krátkom časovom horizonte (do niekoľkých desaťročí) relatívne veľké odchýlky od dlhodobých priemerov a pomerne malý alebo neurčitý dlhodobý časový trend. Na druhej strane "zmena klímy" bude mať pravdepodobne iba pri teplote vzduchu jednoznačný dlhodobý trend (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 je potrebné pripravovať scenáre "zmeny klímy" pre zmeny dlhodobých priemerov nad úroveň prirodzených zmien klímy a scenáre možného budúceho vývoja klímy ako genero-

vané 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 klimatický systém tak, ako v súčasnosti [Lapin a Melo, 1999].

CITLIVOSŤ NA KLIMATICKÚ ZMENU A NÁVRH ADAPTAČNÝCH OPATRENÍ

Jednou z povinností zmluvných strán (krajín) Rámcového dohovoru OSN o zmene klímy (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-ekonomickej 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 a iné. Uvedené analýzy sa robia na základe zjednodušených modelov prírodných a socio-ekonomických procesov, v ktorých tvoria zmenené klimatické a bioklimatické podmienky veľmi významné vstupy. V minulosti sa klimatické a bioklimatické podmienky považovali za dlhodobu stacionárne.

Za najzávažnejšie negatívne dôsledky sa na Slovensku považujú: pokles vodných zdrojov v celej SR, pokles prietokov v riekach a pokles pôdnej vlhkosti na juhu SR, zmeny podmienok pre veľkú časť 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.

Z pohľadu humánnej bioklimatológie budú určite závažnými tie zmeny, ktoré súvisia s výskytom vysokej teploty a vlhkosti vzduchu v lete. Je známe, že v minulosti sa na Slovensku nevyskytovali často dlhšie periódy veľmi teplého a dusného počasia (s tlakom vodnej pary nad 18,7 hPa), preto ani nebolo potrebné širšie uplatnenie klimatizácie interiérov. Letá v poslednom desaťročí naznačili možný vývoj a scenáre zmien vlhkosti a teploty vzduchu potvrdzujú, že môžeme očakávať až niekoľkonásobné zvýšenie počtu diskomfortných dní z hľadiska pocitu dusna. Ďalším dôležitým problémom v oblasti humánnej bioklimatológie môže byť šírenie patogénov, chorôb a škodcov podmieňujúcich potenciálne zvýšenie chorobnosti obyvateľstva. Je známe, že v teplejšej klíme (zimy s priemernou teplotou vzduchu $>0^{\circ}\text{C}$ a letá $>22^{\circ}\text{C}$) sú priaznivejšie podmienky pre výskyt určitých špecifických ochorení (malária, salmonelóza, žltáčka, týfus...), najmä v skupinách obyvateľstva nedostatočne dodržiujúcich elementárne zásady hygieny. Už sa objavili príklady takýchto ochorení dokonca aj v USA. Nie menej závažnými sú aj problémy súvisiace so zhoršenou kvalitou vodných zdrojov v teplejšej klíme.

Ďalšou z povinností zmluvných krajín FCCC je príprava adaptačných opatrení na zmiernenie možných negatívnych dôsledkov klimatickej zmeny a súvisiacich zmien klímy 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 toho sa navrhujú iba také adaptačné opatrenia, ktoré sú ekonomicky únosné a nemali by ohroziť trvalo udržateľný rozvoj a potravinovú bezpečnosť. Adaptačné opatrenia sa navrhujú tiež vo viacerých alternatívach (podobne ako scenáre klimatickej zmeny) a sústreďujú sa najmä na strategické plánovanie. Tiež je možné navrhnúť 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; zaujímavým je aj stratégia klimatizácie interiérov a dopravných prostriedkov atď. Tieto opatrenia si vyžadujú miliardové náklady a musia byť rozvrhnuté na viac desaťročí.

Adaptačné opatrenia by sa mali robiť v súlade so zmierňujúcimi opatreniami (povinnosti vyplývajúce z FCCC), teda s opatreniami zameranými na redukciu emisie skleníkových plynov do atmosféry a s opatreniami na zvýšenie biosférického záchytu skleníkových plynov, najmä CO₂. Emisia a záchyt skleníkových plynov je významne spojená aj s biosférickými procesmi. Spomenúť treba emisiu CO₂ a CH₄ pri rozklade organickej hmoty (horenie, kvasné procesy, pestovanie ryže, chov dobytka...), emisiu N₂O v súvislosti s používaním umelých hnojív, redukciu záchytu CO₂ v súvislosti s ničením tropických pralesov a mimotropických lesov. Biosférický význam má však aj rast koncentrácie prízemného ozónu, ktorý poškodzuje väčšinu rastlín a živočíchov v okolí miest a v horských oblastiach a pokles koncentrácie ozónu v stratosfére, ktorý zvyšuje intenzitu škodlivého UV žiarenia poškodzujúceho rastliny a živočíchy predovšetkým v polárnych oblastiach. Na druhej strane rast koncentrácie CO₂ v atmosfére vytvára podmienky na intenzívnejšiu fotosyntézu a rýchlejšiu produkciu biomasy, ak energia, voda a živiny nie sú limitujúcimi faktormi fotosyntézy. Všetky opatrenia, teda aj adaptačné a aj zmierňujúce, by nemali ohroziť biodiverzitu a ekologickú rovnováhu v prírodnom prostredí, vrátane mikroorganizmov.

Podrobnosti o citlivosti územia Slovenska na klimatickú zmenu a o navrhovaných adaptačných a zmierňujúcich opatreniach sú uvedené v záverečnej správe projektu Country Study (riešeného za významnej podpory vlády USA v rokoch 1994 až 1996), v Druhej národnej správe o zmene klímy a v publikáciách NKP SR [napríklad Szolgay, et al., 1997, Mind'áš, et al., 1996]. Novšie adaptačné opatrenia by mali byť vypracované už na základe uplatnenia (regionálnej modifikácie) výstupov najnovších globálnych modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry [Lapin a Melo, 1999] a tiež na základe výsledkov a odporúčaní Tretej správy IPCC (Medzivládny panel pre zmenu klímy), ktorá je pripravená na vydanie v roku 2000.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Zmena klímy, premenlivosť klímy, dôsledky zmien klímy, adaptačné opatrenia, dôsledky na biosféru.

LITERATÚRA

Braslavská, O. (2000): Monitoring zmeny klímy v rastlinných ekosystémoch prostredníctvom fenologických pozorovaní. Životné prostredie, XXXIV, č. 2, 81 -83.

Druhá národná správa o zmene klímy. MŽP SR, MH SR, MDPT SR, MPô SR, MZV SR, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava 1997, 74 s.

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 s.

Lapin, M., Melo, M. (1999): Climatic Changes and Climate Change Scenarios in Slovakia. Meteorologický časopis, 2, č. 4, SHMÚ, Bratislava, 5-15.

Lapin, M., Melo, M. (2000): Zmeny a variabilita klímy, scenáre zmeny klímy. Životné prostredie, XXXIV, č. 2, 69 -74.

Mind'áš J., Lapin M., Škvarenina J. (1996): Klimatické zmeny a lesy Slovenska. In.: Publikácia NKP SR, zv. 5, MŽP SR a SHMÚ, Bratislava, 98 s.

Ondráš, M. (2000): Rozvoj meteorológie na Slovensku a očakávania do budúcnosti. Bulletin SMS, XI, č. 1, 7 - 17, (v tlači).

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, 11-110.

Špánik, F., Hričovský, I., Repa, Š., Šiška, B., Tomlain, J., (2000): Vypracovanie zásad pre agroklimatickú rajonizáciu záhradníckych a poľných plodín v zmenených agroklimatických podmienkach. Záverečná správa GÚ "ČÚ A-3407". SPU, Nitra 1999.

Šťastný, P., Ondráš, M. (2000): Čiastkový monitorovací systém meteorológie a klimatológie a jeho rozvoj. Zborník referátov z 5. Vedeckej konferencie "Riešenie krízových situácií v špecifickom prostredí", Žilina (v tlači).

WMO Statement on the Status of the Global Climate in 1999 (2000). World Meteorological Organisation, Geneva, 12 s.

Kontaktné adresy:

Slovenská meteorologická spoločnosť pri SAV

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava,

alebo Katedra meteorológie a klimatológie MFF UK, Mlynská dolina, F-1, 842 48 Bratislava