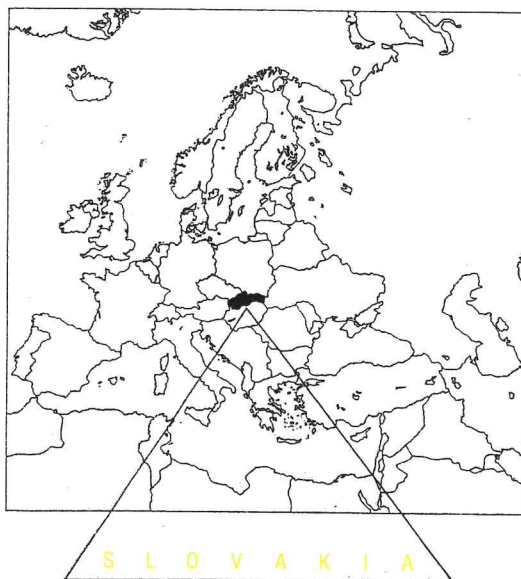


NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY
NATIONAL CLIMATE PROGRAMME OF THE SLOVAK REPUBLIC



NKP
4/96

- **KLIMATICKÉ SCENÁRE**
(Climate scenarios)
- **MODELOVÉ VÝPOČTY DÔSLEDKOV OČAKÁVANÉHO OTEPLENIA NA ZMENY CELKOVEJ BILANCIE ŽIARENIA AKTÍVNEHO POVRCHU A JEJ ZLOŽIEK NA SLOVENSKU**
(Model computation of the expected warming impacts on changes of the total radiation balance of the active surface and its components on the territory of Slovakia)
- **MODELOVÉ VÝPOČTY DÔSLEDKOV ZMENY KLÍMY NA ZMENY POTENCIÁLNEJ A SKUTOČNEJ EVAPOTRANSPIRÁCIE NA SLOVENSKU**
(Model computation of the climatic change impacts on potential and actual evapotranspiration changes on the territory of Slovakia)
- **ANALÝZA NÁSTUPU FENOLOGICKÝCH FÁZ RASTLÍN V SUČANOCH V ZÁVISLOSTI OD ZMIEN TEPLoty VZDUCHU**
(Analysis of the plant phenological phases outset at Sučany depending on changes of the air temperature)
- **DÔSLEDKY KLIMATICKÝCH ZMIEN NA POĽNOHOSPODÁRSTVO A ADAPTAČNÉ OPATRENIA**
(Climate change impacts on plant production and adaptive measures)

BRATISLAVA 1996

*NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY*

*NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC*

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

Zväzok 4

BRATISLAVA 1996

© MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SR
SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

SLOVAK MINISTRY OF THE ENVIRONMENT
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE

1996

OBSAH

MELO, M.

KLIMATICKÉ SCENÁRE

5

HRVOL, J.

*MODELOVÉ VÝPOČTY DÔSLEDKOV OČAKÁVANÉHO OTEPLENIA
NA ZMENY CELKOVEJ BILANCIE ŽIARENIA AKTÍVNEHO
POVRCHU A JEJ ZLOŽIEK
NA SLOVENSKU*

23

TOMLAIN, J.

*MODELOVÉ VÝPOČTY DÔSLEDKOV ZMENY KLÍMY
POTENCIÁLNEJ A SKUTOČNEJ EVAPOTRANSPIRÁCIE
NA SLOVENSKU*

45

BRASLAVSKÁ, O. - BORSÁNYI, P. - ŠEVČOVIČOVÁ, Z.

*ANALÝZA NÁSTUPU FENOLOGICKÝCH FÁZ RASTLÍN
V SUČANOCH V ZÁVISLOSTI OD ZMIEN TEPLoty VZDUCHU*

75

ŠPÁNIK, F. - ŠIŠKA, B. - REPA, Š.

*DÔSLEDKY KLIMATICKÝCH ZMIEN
NA POĽNOHOSPODÁRSTVO A ADAPTAČNÉ OPATRENIA*

91

CONTENTS

MELO, M.

CLIMATE SCENARIOS

5

HRVOL, J.

*MODEL COMPUTATION OF THE EXPECTED WARMING
IMPACTS ON CHANGES OF THE TOTAL RADIATION BALANCE
OF THE ACTIVE SURFACE AND ITS COMPONENTS
ON THE TERRITORY OF SLOVAKIA*

23

TOMLAIN, J.

*MODEL COMPUTATION OF THE CLIMATIC CHANGE IMPACTS
ON POTENTIAL AND ACTUAL EVAPOTRANSPIRATION
CHANGES ON THE TERRITORY OF SLOVAKIA*

45

BRASLAVSKÁ, O. - BORSÁNYI, P. - ŠEVČOVIČOVÁ, Z.

*ANALYSIS OF THE PLANT PHENOLOGICAL PHASES OUTSET
AT SUČANY DEPENDING ON CHANGES OF THE AIR
TEMPERATURE*

75

ŠPÁNIK, F. - ŠIŠKA, B. - ŘEPA, Š.

*CLIMATE CHANGE IMPACTS ON PLANT PRODUCTION
AND ADAPTIVE MEASURES*

91

*NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY*

*NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC*

KLIMATICKÉ SCENÁRE

Riešiteľ:	Mgr. Marián Melo Katedra meteorológie a klimatológie, Matematicko-fyzikálna fakulta UK, Bratislava
Projekt:	MŽP SR Výskum zmien kvality ovzdušia, klimatické zmeny a narušovanie ochranných vlastností atmosféry - NKP SR
Zadávatel:	Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava
Lektor:	RNDr. Milan Lapin, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

KLIMATICKÉ SCENÁRE

Marián Melo

Katedra meteorológie a klimatológie, Matematicko-fyzikálna fakulta UK, Bratislava

ÚVOD

Klimatický systém je v súčasnosti ovplyvňovaný rastom koncentrácie radiačne aktívnych plynov (GHGs) v atmosfére. V tejto súvislosti sa predpokladá globálny rast teploty vzduchu. Jej doterajší rast o 0,3 až 0,6 °C za posledných 100 rokov však nie je možné zatiaľ jednoznačne pripísať na účet zosilňovania skleníkového efektu atmosféry (Kalvová, Brázdil, 1993). Pozorované oteplenie je síce v súlade s predpoveďami klimatických modelov, no súčasne je tiež podobnej veľkosti, ako je prirodzená klimatická variabilita. Pozorovaný rast mohol byť preto spôsobený touto prirodzenou variabilitou, alternatívne táto variabilita a iné ľudské faktory mohli mať kompenzačne zmierňujúci vplyv na prípadné ešte väčšie zapríčinené skleníkové oteplenie (IPCC, 1995). Aj napriek značnému pokroku v posledných rokoch je ešte stále limitovaná naša schopnosť kvantifikovať ľudský vplyv na globálnu klímu. Scenáre ďalšieho vývoja klimatického systému vychádzajú z dvoch základných prístupov. Prvým prístupom je analógová metóda, druhým je simulácia klímy pomocou klimatických modelov.

SÚČASNÉ POZOROVANÉ TRENDY

Od konca 19. storočia vzrástla priemerná globálna teplota vzduchu v prízemnej vrstve atmosféry o 0,3 až 0,6 °C. Oteplenie nie je rovnaké na celej Zemi. Najväčšie oteplenie pozorujeme nad kontinentmi medzi 40 až 70° severnej zemepisnej šírky, a to najmä v zime a na jar. V niektorých oblastiach (ako napríklad v Severnom Atlantickom oceáne na miestach severne od 30° N a v niektorých priľahlých krajinných oblastiach) sa dokonca v posledných desaťročiach ochladilo. Súčasné roky patria medzi najteplejšie od roku 1860, t. j. v období prístrojových záznamov. Od roku 1979 je pozorované ochladenie spodnej stratosféry.

Pozorovaný je rast zrážok vo vysokých zemepisných šírkach severnej pologule nad pevninou, zvlášť v zimnom období. Zrážky rastú aj nad centrálnou ekvatoriálnou oblasťou Tichého oceánu, naopak v severnej a južnej časti je zaznamenaný pokles. Od 60. rokov je zachytený pokles zrážok aj v subtropických a tropických oblastiach medzi Afrikou a Indonéziou (IPCC, 1995).

ZDROJE RADIAČNÉHO ZOSILNENIA KLÍMY

Radiačným zosilnením rozumieme zmeny v radiačnej bilancii na hornej hranici troposféry v dôsledku zmien buď krátkovlnnej, alebo dlhovlnnej radiácie. Prichádzajúca slnečná radiácia dosahuje hodnotu 343 Wm^{-2} , z toho je odrazené atmosférou a zemským povrchom 103 Wm^{-2} . Radiačná bilancia prichádzajúcej slnečnej radiácie tak dosahuje hodnotu 240 Wm^{-2} . Radiačná bilancia odchádzajúcej infračervenej radiácie dosahuje tiež hodnotu 240 Wm^{-2} . Radiačné zosilnenie narušuje túto bilanciu medzi prichádzajúcou a odchádzajúcou radiáciou. Pozitívne radiačné zosilnenie vedie ku globálnemu otepľovaniu povrchu, negatívne radiačné zosilnenie smeruje ku globálnemu ochladeniu povrchu.

Príspevky jednotlivých GHGs v atmosfére k radiačnému zosilneniu uvádza správa IPCC (1994). Antropogénne podmienené emisie plynov, ktoré prispievajú ku zvýšeniu skleníkového

efektu, sú CO_2 , CH_4 , N_2O , CFC a iné halogénované uhlíkovodíky. Niektoré ďalšie atmosférické zložky, ako NO_x a CO , hoci nie sú dôležité GHGs, môžu ovplyvniť koncentrácie niektorých GHGs (najmä troposférický ozón) prostredníctvom atmosférickej chémie. Zdrojom negatívneho radiačného zosilnenia je rozrušovaný stratosférický ozón a aerosóly pochádzajúce z antropogénnych emisií. Zosilnenie vykazuje veľkú regionálnu premenlivosť s najväčšími hodnotami v priemyselných oblastiach severnej pologule.

Uvažované sú aj niektoré prírodné faktory, ktoré môžu spôsobiť vznik pozitívneho alebo negatívneho radiačného zosilnenia. Tak napr. vulkanické erupcie v dôsledku krátko trvajúceho rastu aerosólov v stratosfére (niekoľko rokov) zapríčiňujú veľké, ale krátko trvajúce negatívne radiačné zosilnenie klímy.

SIMULÁCIA KLÍMY POMOCOU ANALÓGOVEJ METÓDY

Podstatou analógovej metódy je vyhľadávanie období vo vývoji klimatického systému, ktoré by mohli byť modelom budúcich podmienok (časový analóg), resp. vyhľadávanie oblastí v súčasnom klimatickom systéme, ktoré by mohli byť pre určitú lokalitu modelom budúcich podmienok (priestorový analóg). S analógovou metódou sa vo svojich prácach zaoberali napríklad Budyko (1980), Lough a kol. (1983), Borzenkova, Zubakov (1984).

Ako príklad časového analógu svetového globálneho otepľovania vyvolaného rastom koncentrácie GHGs v atmosfére sa v literatúre najčastejšie uvádzajú tieto obdobia:

- pliocénne klimatické optimum (pred 3 300 000 - 4 300 000 rokmi), kedy boli v stredných zemepisných šírkach severnej pologule letné teploty vzduchu priemerne o 3 - 4 °C vyššie ako v súčasnosti,
- obdobie interglaciálu Eem (Riss - Würm), ktoré predchádzalo poslednému glaciálu Würmu (pred 125 000 - 130 000 rokmi), kedy priemerná ročná teplota vzduchu bola v strednej Európe asi o 2 °C vyššia ako v súčasnosti,
- obdobie klimatického optima holocénu (6 000 - 4 000 rokov pr. Kr.), kedy bola v strednej Európe teplota vzduchu v lete vyššia viac ako o 3 °C,
- obdobie stredovekého optima (v r. 900 - 1200), kedy bola priemerná ročná teplota vzduchu v Európe približne o 1 °C vyššia ako v súčasnom období.

Podobne vyhľadáваме situácie, ktoré by mohli byť modelom budúcich podmienok aj z teplotných radov, ktoré sú k dispozícii z obdobia prístrojových pozorovaní. Vychádzame z teplejších, resp. chladnejších období, buď súvislých, alebo vytvorených z jednotlivých extrémnych rokov. Lapin (1992), Lapin a kol. (1994) považujú za relatívne teplé obdobie také najmenej 5-ročné obdobie, v ktorom sa nevyskytujú viacmesačné výrazne chladné obdobia a ktorého celkový priemer teploty je aspoň o 0,4 °C vyšší, ako je dlhodobý priemer z obdobia 1901 - 1980. Podľa uvedeného kritéria autori určili, že v Hurbanove sa v tomto storočí vyskytlo 5 takýchto období (1934 - 1939, 1943 - 1953, 1957 - 1961, 1966 - 1977, 1988 - 1993), pričom najteplejším bolo posledné obdobie 1988 - 1993 s odchýlkou teploty od dlhodobého priemeru + 0,8°C. Podľa teploty i ostatných prvkov by mohlo byť toto 6-ročné obdobie vzorkou klímy okolo roku 2015. Výsledky aplikácie analógovej metódy na vybrané meteorologické prvky v ČR a SR ukázali, že pri vzostupe globálnych teplôt severnej pologule o 0,4 °C vzrástli ročné teploty o 0,5 - 0,6 °C, predĺžilo sa trvanie slnečného svitu pri poklese oblačnosti, klesli zrážkové úhrny a prakticky sa nemenil prízemný tlak vzduchu (Kalvová, Brázdil, 1993).

K záveru, že minulé teplé obdobia nie sú vhodnými analógmi pre oteplenie spôsobené skleníkovým efektom atmosféry, dospeli Crowley (1990), Mitchell (1990) (odlišná predpokladaná dvojnásobná koncentrácia GHGs v atmosfére v budúcnosti od predchádzajúcich teplých ob-

dobí, predpokladané budúce oteplenie atmosféry skombinované s prítomnosťou polárnych ľadovcov vytvorí pomery veľmi rozdielne od pomerov, ktoré boli v predpleistocénnych teplých obdobiach,...). Ako príklad priestorového analógu pre klímu našej oblasti možno uviesť pri očakávanom oteplení približenie k súčasnej stredomorskej klíme (Lapin, 1992).

SIMULÁCIA KLÍMY POMOCOУ KLIMATICKÝCH MODELOV

Druhý prístup k riešeniu problematiky vychádza z výstupov klimatických modelov. Klimatické modely sú súbory fyzikálnych a chemických vzťahov vyjadrujúcich väzby medzi zložkami klimatického systému, reprezentované vo forme matematických rovníc (Meteorologický slovník výkladový terminologický, 1993). V súčasnosti existuje celý rad klimatických modelov, od jednoduchých, ktoré zahrňujú malý počet jednoducho prepojených procesov až po zložité modely atmosférickej cirkulácie, spojené s modelom cirkulácie v oceánoch (Kalvová, 1991). Súhrnné poznatky o modelovaní klimatického systému prinášajú Mitchell (1989), IPCC (1990), Kalvová (1991), Trenberth (1992), Kalvová, Brázdil (1993).

Z jednoduchých klimatických modelov sú najrozšírenejšie bilančné energetické modely (EBM) a radiačno-konvekčné modely (RCM). V jednoduchých klimatických modeloch sa berie do úvahy iba niekoľko základných procesov. Tieto modely sú vhodné najmä pri štúdiu jednotlivých väzieb v klimatickom systéme. Vhodnejším prostriedkom štúdia komplexnej odozvy klimatického systému na rast koncentrácie GHG v atmosfére sú modely všeobecnej cirkulácie atmosféry (General Circulation Models - GCMs). GCMs vychádzajú z pohybových rovníc, rovníc termodynamiky, stavovej rovnice, rovníc prenosu radiačnej energie, rovnice tepelnej (energetickej) bilancie zemského povrchu a rovnice vodnej bilancie zemského povrchu, prognostickej rovnice pre vodnú paru (Kalvová, 1991, Washington, Parkinson 1986, Trenberth 1992).

Modely majú horizontálne rozlíšenie od 250 do 1 000 km a vo vertikálnom smere sú rozdelené na 2 až 19 vrstiev. Vo väčšine klimatických simulácií z roku 1995 je použité horizontálne rozlíšenie okolo 250 km a vertikálne zhruba 1 km (s väčším vertikálnym rozlíšením v blízkosti zemského povrchu a s menším v hornej časti troposféry a v stratosfére). Vzhľadom na to, že niektoré procesy prebiehajú na menšom území, ako je krok siete, sú preto tieto javy (napr. konvekčné procesy v atmosfére) uvažované zjednodušene pomocou parametrizácie.

Jedným z najzávažnejších problémov modelovania klímy je zabudovanie oceánu do klimatických modelov. Oceán hrá kľúčovú úlohu pri formovaní klímy. V prvých prácach sa oceán podobal pevnému zemskému povrchu s neobmedzenou zásobou vody pre výpar, pritom sa nebrala do úvahy jeho tepelná kapacita, ani oceánické prúdenie (tzv. "swamp" oceán). Postupne sa začala brať do úvahy premiešavacia vrstva v oceáne, v ktorej sa už uvažuje s tepelnou kapacitou a procesmi prebiehajúcimi v tejto vrstve, neuvažuje sa v nich však s vplyvom hlbinných vôd oceánu (tzv. "slab" oceán). Tento vplyv sa berie do úvahy až v najnovších prácach, v ktorých sa spájajú modely všeobecnej cirkulácie atmosféry spolu s modelom všeobecnej cirkulácie svetového oceánu (OGCM).

PREPOJENÉ MODELY VŠEOBECNEJ CIRKULÁCIE

V súčasnosti najrozvinutejšími klimatickými modelmi sú atmosférické a oceánické modely všeobecnej cirkulácie. V mnohých prípadoch sú GCMs atmosféry a oceánu vyvinuté ako oddelené modely. Ich vzájomným prepojením vzniká prepojený model všeobecnej cirkulácie alebo aj prepojený oceánicko-atmosférický model (coupled GCM). Tieto modely tiež zahrňujú znázor-

nenia krajinno-povrchových procesov, procesy dotýkajúce sa morského ľadu a mnohé ďalšie zložité procesy zahrnuté v klimatickom systéme.

Oceánické zložky súčasných prepojených modelov majú horizontálne rozlíšenie od 1° do 4° a majú od 6 do 30 vertikálnych hladín. Súčasný oceánický model s najvyšším rozlíšením má až do 60 vertikálnych hladín a horizontálne rozlíšenie $1/6^\circ$. Hoci morský ľad zaberá iba malú časť oceánického povrchu, má dôležitú úlohu pri klimatických zmenách prostredníctvom jeho účinkov na povrchovú energiu a výmeny vlhkosti. Najjednoduchší morský-ľadový model sa skladá z nehybnej jednotnej vrstvy ľadu, ktorého hrúbka je riadená termodynamikou. Oveľa reálnejšie modely zahrňujú sneh na ľade, nepatrnú ľadovú pokrývku, viacvrstvový ľad, účinky salinity a morský-ľadovú dynamiku. V dôsledku pohybu morského ľadu sa topenie môže vyskytnúť aj na vzdialenejších miestach od oblasti ich formovania.

Tieto prepojené GCMs zaznamenali rýchly vývin po roku 1990. Kým v tomto období mali iba 4 strediská dokončené prechodové prepojené simulácie, v súčasnosti ďalších 7 stredísk dokončuje takéto simulácie a 4 pôvodné strediská dokončujú nové simulácie s vyššou rozlišovacou schopnosťou a odlišnými scenármi. Ide o tieto strediská: BMRC, CCC, COLA, CSIRO, GFDL, GISS, IAP, MPI, MRI, NCAR, UKMO (IPCC 1995).

POSTUP PRI MODELOVANÍ GLOBÁLNEJ KLÍMY

Výpočty globálnych klimatických modelov sa robia pre súčasnú koncentráciu GHGs v atmosfére (tzv. kontrolnú klímu, označovanú ako $1\times\text{CO}_2$) a pre zdvojnásobenú koncentráciu GHGs v atmosfére (tzv. klímu zosilneného skleníkového efektu, označovanú ako $2\times\text{CO}_2$). Pokiaľ sa koncentrácia GHGs zvýši na dvojnásobok jednorazovo, hovoríme o rovnovážnom experimente. Ak sa koncentrácia GHGs zvyšuje na dvojnásobok postupne (napr. rast CO_2 o 1 % za rok) a pritom sa v modeli berie do úvahy aj reakcia hlbinných vôd oceánu, experiment označujeme ako časovo-závislý ("time-dependent"). Ak uvažujeme s reakciou hlbinných vôd oceánu a pritom sa koncentrácia CO_2 zvýši na dvojnásobok, či už jednorazovo, alebo postupne, experiment označujeme aj ako prechodový ("transient"), čím sa vyjadruje postupná reakcia klimatického systému na radiačnú poruchu v dôsledku veľkej tepelnej kapacity oceánu. Časovo-závislé, resp. prechodové experimenty (mnohí autori nerozlišujú medzi týmito dvoma pojmami a používajú buď jeden, alebo druhý termín) lepšie simulujú reálny klimatický systém ako rovnovážne experimenty a ich teplotné zmeny dosahujú nižšie hodnoty, nakoľko sa v nich výraznejšie prejaví existujúca negatívna spätná väzba oceánu. Podľa IPCC (1995) oteplenie pri simulácii prechodovej odozvy dosahuje len 47 % až 83 % oteplenia simulovaného rovnovážnou odozvou.

Väčšina prechodových experimentov s GCMs je založená na istých zjednodušujúcich predpokladoch:

- 1) Efekt rastu všetkých GHGs je reprezentovaný rastom koncentrácie CO_2 . Pri simulácii skleníkového efektu sa často pracuje s pojmom efektívna alebo ekvivalentná koncentrácia CO_2 . Je to taká koncentrácia CO_2 , ktorá by mala rovnaké radiačné účinky ako koncentrácia CO_2 , CH_4 , N_2O , CFC-11, CFC-12 spolu. Podľa Wanga a kol. (1991) na simulovanie celkového skleníkového efektu CO_2 , CH_4 , N_2O a CFC nie je vhodné používať efektívnu koncentráciu CO_2 , pretože radiačný efekt CO_2 je rozdielny od radiačného efektu ostatných stopových plynov a modelové simulácie vedú k rozdielnym efektom na klímu Zeme.
- 2) Ignorujú účinky historického rastu na radiačné zosilnenie, ktoré vedie k podceneniu počiatočného stavu zmien ("studený štart"). Za posledné dve storočia postupne narastá radiačné zosilnenie spôsobené rastom GHGs. Väčšina modelov však tento jav nezahrňuje do svojich simulácií. Predpokladajú len malú počiatočnú rýchlosť oteplenia za prvé až druhé desaťročie, čo nazývame ako studený štart. Studený štart teda zobrazuje nízku počiatočnú rýchlosť

v experimentoch, ktoré neberú do úvahy účinky dovtedajšieho rastu GHGs. Tento nedostatok je odstránený až v najnovších experimentoch (MPI, UKMO), ktoré štartujú z minulého storočia (kedy bol rast GHGs malý).

- 3) Používajú zjednodušené verzie IPCC scenárov. Väčšina experimentov predpokladá zložený rast v CO₂ o 1 % za rok, ktoré dáva zdvojnásobenie CO₂ za 70 rokov. Pre porovnanie, súčasný rast efektívneho CO₂ za posledné desaťročie je 0,7 % za rok, čo by viedlo k zdvojnásobeniu efektívneho CO₂ za 100 rokov.

Modelovaním klímy pri zmene koncentrácie GHG v atmosfére (buď zdvojnásobením tejto koncentrácie, alebo jej postupným rastom) sa zaoberali napr. Manabe a kol. (1991) a Manabe a kol. (1992) s GFDL modelom, Washington, Meehl (1984) s NCAR modelom, Wilson, Mitchell (1987), Gregory, Mitchell (1995), Murphy (1995), Murphy, Mitchell (1995) (všetci s UKMO modelom), Schlesinger, Zhao (1989) s OSU modelom, Boer a kol. (1992) a McFarlane a kol. (1992) s CCC modelom.

ZOZNAM CENTIER VYVÍJAJÚCICH GCMs

Klimatické modely zaznamenávajú v posledných rokoch veľký rozvoj. Pribúda aj čoraz viac pracovísk, ktoré vyvíjajú vlastné modely. Atmosférické modely všeobecnej cirkulácie (GCMs) sa v súčasnosti rozpracovávajú vo viac ako 30 centrách. Zoznam známych stredísk:

- Bureau of Meteorology Research Centre (BMRC, Melbourne, Australia),
- Canadian Centre for Climate (CCC, Victoria, Canada),
- Centre National de Recherches Meteorologiques (CNRM, Toulouse, France),
- Center for Ocean, Land and Atmosphere (COLA, Calverton, USA),
- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO, Melbourne, Australia),
- Colorado State University (CSU, Ft. Collins, USA),
- Dynamic Extended Range Forecast group at the Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (DERF, Princeton, USA),
- Department of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences (DNM, Moscow, Russia),
- European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF, Reading, UK),
- Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL, Princeton, USA),
- Goddard Institute for Space Studies (GISS, New York, USA),
- Goddard Laboratory for Atmospheres (GLA, Greenbelt, USA),
- Goddard Space Flight Center (GSFC, Greenbelt, USA),
- Institute for Atmospheric Physics of the Chinese Academy of Sciences (IAP, Beijing, China),
- Japan Meteorological Agency (JMA, Tokyo, Japan),
- Laboratoire de Meteorologie Dynamique (LMD, Paris, France),
- Lawrence Livermore National Laboratory v spolupráci s NCAR (NCAR/LLNL, USA) a v spolupráci s OSU (OSU/LLNL, USA),
- Main Geophysical Observatory (MGO, St. Petersburg, Russia),
- Max Planck Institute for Meteorology (MPI, Hamburg, Germany),
- Meteorological Research Institute (MRI, Tsukuba, Japan),
- National Center for Atmospheric Research (NCAR, Boulder, USA),
- National Meteorological Center (NMC, Washington DC, USA),
- Naval Research Laboratory (NRL, Monterey, USA),
- Oregon State University (OSU, Corvallis, USA),

- Recherche en Prevision Numerique group of Environment Canada (RPN, Quebec, Canada),
- State University of New York at Albany (SUNYA, Albany, USA) v spolupráci SUNYA a NCAR,
- University of California at Los Angeles (UCLA, Los Angeles, USA),
- University Global Atmospheric Modelling Project (UGAMP, Reading, UK),
- University of Hamburg v spolupráci s ECMWF (ECMWF/UH),
- University of Illinois at Urban-Champaign (UIUC, Urban-Champaign, USA),
- United Kingdom Meteorological Office (UKMO, Bracknell, UK),
- Yonsei University (YONU, Seoul, Korea).

GCMs VYVINUTÉ V CENTRÁCH, Z KTORÝCH MÁME K DISPOZÍCII MODELOVÉ VÝSTUPY

Výstupy z klimatických modelov, ktoré máme k dispozícii od U.S. Country Studies Program, sú z rovnovážnych experimentov nasledujúcich modelov: GISS, UKMO (UK89), CCC (CCCM), GFDL (GFD3) a prechodového experimentu modelu GFDL (GF01).

Canadian Climate Centre (CCC, Downsview, Ontario, Canada):

- McFarlane a kol. (1992), Boer a kol. (1992) predstavujú model CCC druhej generácie (GCMII). Atmosférický model je spojený s oceánickým modelom, ktorý má jednoduchú premiešavaciu vrstvu s termodynamickou morskou-ladovcovou zložkou.

V porovnaní s predchádzajúcou verziou tohto modelu (GCM I) sa tento model odlišuje v numerickom spracovaní základných rovníc, ako aj v niektorých fyzikálnych parametrizáciách. Atmosférický model má 10 vertikálnych hladín, pričom vrchol najvyššej vrstvy je stanovený na hladine 5 mb. Táto verzia modelu používa ako vlhkosťnú premennú veličinu mernú vlhkosť vzduchu, kým predchádzajúca deficit teploty rosného bodu. Model má prepracovanejší radiačný ohrev vrátane denného a ročného cyklu. Model má aj oveľa zložitejšie spracovanie krajinných povrchových procesov. Na výpočet pôdnej vlhkosti je použitý model jednoduchej pôdnej vrstvy s vymedzenou poľnou kapacitou a pôdnymi vlastnosťami. Poľná kapacita závisí od vegetácie a pôdneho typu. Oceánická a morská-ladovcová zložka je veľmi zjednodušená, hoci sa upresnili oceánické tepelné toky pre otvorený oceán i pod morským ľadom. Model má 50 m hlboký "slab" oceán. Pri znížení povrchovej teploty premiešavacej vrstvy oceánu na bod mrznutia morskej vody sa začína formovať ľad. Rast globálnej teploty pri $2\times\text{CO}_2$ v porovnaní s $1\times\text{CO}_2$ je $3,5^\circ\text{C}$. Model, ktorý máme k dispozícii, je so simuláciou rovnovážnej odozvy (CCCM). Horizontálna rozlišovacia schopnosť modelu je $3,71^\circ$ po zemepisnej šírke x $3,75^\circ$ po zemepisnej dĺžke.

Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL, Princeton, New Jersey, USA):

- GFDL má vypracovaných 5 verzií GCMs.
- 1. model bol dokončený v roku 1985. Má horizontálne rozlíšenie $4,44^\circ \times 7,50^\circ$ (R-15, spektrálny model s 15 vlnami). Uvažuje so 68 m hlbokým "slab" oceánom.
- 2. model bol dokončený v roku 1988. Je podobný predchádzajúcemu modelu, má však lepšie zabudovaný oceán (Q-tokový model).
- 3. model bol vypracovaný v roku 1989. Má lepšie horizontálne rozlíšenie ako predchádzajúce verzie, a to $2,22^\circ \times 3,75^\circ$ (R-30, spektrálny model s 30 vlnami). Model neuvažuje s denným cyklom. Simuluje rovnovážnu odozvu. Pri $2\times\text{CO}_2$ sa v porovnaní s $1\times\text{CO}_2$ globálna povrchová teplota zvýši o $4,0^\circ\text{C}$. Oproti predchádzajúcim verziám týchto modelov dosa-

huje oveľa reálnejšie zrážky a pôdnu vlhkosť pre súčasné pomery. Z tejto verzie modelu máme k dispozícii modelové výstupy (GFD3).

- 4. model mal byť dokončený v roku 1994. Model má 14 vertikálnych hladín, horizontálne rozlíšenie zostáva pri R-30, oceán je podobný ako pri predchádzajúcich verziách, denný cyklus nie je zahrnutý. V dôsledku zmien vo vysokých oblakoch a v albede ľadu sa očakáva nižšia hodnota teplotných zmien ako pri predchádzajúcich verziách.
- Okrem týchto modelov simulujúcich rovnovážnu odozvu, má GFDL vypracovaný aj model so simuláciou prechodovej odozvy. 100-ročný prechodový "beh" bol dokončený v roku 1990. Atmosférická časť má horizontálne rozlíšenie $4,4^\circ$ (šírka) $\times$ $7,5^\circ$ (dĺžka) (R-15), oceánická časť $4,4^\circ$ (šírka) $\times$ $3,75^\circ$ (dĺžka). Má 9 vertikálnych hladín v atmosfére a 12 v oceáne. Najnižšia oceánická hladina je hlboká 5 km. Tento dynamický oceán má zabudované morské prúdy a lepšie vystihuje realitu ako "slab" oceány v predchádzajúcich modeloch. Atmosférický model je podobný predchádzajúcim verziám. Z tohto modelu máme k dispozícii modelové výstupy (GF01).

Tento model (GF01) bol prezentovaný Manabem a kol. (1991), Manabe a kol. (1992) a je modelom všeobecnej cirkulácie spojeného atmosféricko-oceánicko-krajinno povrchového systému. V modeli je zahrnutá globálna geografia, sezónna premenlivosť insolácie, ako aj tepelná (energetická) a vodná bilancia kontinentálneho povrchu. Uvedený model má efekty oblakov, vodnej pary, CO_2 a ozónu zahrnuté v kalkulácii slnečnej a terestrickej radiácie. V modeli je predpovedaná distribúcia vodnej pary, zmiešavací pomer CO_2 je považovaný za konštantu v celej modelovej atmosfére. Ozón je stanovený ako funkcia zemepisnej šírky a nadmorskej výšky z napozorovaných údajov. Keď relatívna vlhkosť vzduchu prevýši kritickú hodnotu (99 %), predpokladá sa oblačná pokrývka, inak sa uvažuje jasná obloha. Insolácia je stanovená na hornej hranici atmosféry, má sezónne kolísanie. Kvôli zjednodušeniu výpočtov sa neuvažuje s jej dennými výkyvmi. Solárna konštanta má hodnotu $1\,353\text{ Wm}^{-2}$. Atmosférické zrážky sú simulované vždy pri dosiahnutí presýtenia podľa prognostickej rovnice pre vodnú paru. Pri poklese teploty vzduchu pod bod mrazu sú zrážky považované za snehové. Konvekčné procesy sú parametrizované.

Albedo pre povrchy bez snehovej pokrývky je priradované podľa prevzatej schémy. Ak je povrch pokrytý snehovou pokrývkou, albedo má vyššiu hodnotu v závislosti od teploty povrchu a výšky snehu. Pre vysoký sneh (vodná hodnota najmenej 2 cm), pri povrchovej teplote pod -10°C je povrchové albedo 60 % a pri 0°C je 45 % s lineárnou interpoláciou medzi týmito hodnotami (od -10°C do 0°C). Ak je vodná hodnota snehovej pokrývky menšia ako 2 cm, predpokladá sa, že albedo klesá z hodnôt pre vysoký sneh k albedu vlastného povrchu ako druhá odmocnina funkcie snehovej výšky. V modeli má horná vrstva pôdy schopnosť obsahovať 15 cm kvapalnej vody. Ak pôda nie je nasýtená vodou, zmeny pôdnej vlhkosti sú predpovedané z čistého príspevku množstva dažďových zrážok, evaporácie a topenia snehu. Ak pôdna vlhkosť dosahuje hodnotu polnej kapacity 15 cm, nadbytok vody sa považuje za odtok.

V oceánickej časti modelu sú dôsledkom hrubej horizontálnej rozlišovacej schopnosti mnohé črty topografie dna načrtnuté iba približne (napr. stredoatlantický podmorský chrbát). Chýba tok cez Beringov prieliv, prúd cez Gibraltársky prieliv nie je zachytený. Morský ľad, ak je jeho hrúbka menšia ako 4 m, sa pohybuje voľne s povrchovými oceánickými prúdmi, ale je nehybný pre vyššie hodnoty. Albedo morského ľadu závisí od povrchovej teploty a hrúbky ľadu. Atmosférická a oceánická zložka interagujú navzájom cez výmenu tepla, vody a hybnosti. Výmena vody (alebo ľadu) sa skladá z evaporácie (sublimácie), dažďových (snehových) zrážok a odtoku z kontinentov. Odtok prebieha v smere najstrmšieho spádu podľa stanovenej topografie. Podobným spôsobom sa predpokladajú aj toky ľadovca. Model GF01 uvažuje s rastom CO_2 o 1 % za rok.

Goddard Institute for Space Studies (GISS, New York, USA):

- V GISS boli doteraz vyvinuté 3 klimatické modely, vrátane jedného prechodového modelu.
- 1. model bol dokončený v roku 1982. Uvažuje s denným cyklom, má horizontálne rozlíšenie $7,83^\circ \times 10,0^\circ$ a 9 vertikálnych hladín. Model využíva jednoduchý, 65 m hlboký tzv. "slab" oceán, pričom sa uvažuje so zmenou premiešavacej hĺbky počas sezónneho cyklu. V stredných zemepisných šírkach je hĺbka menšia v letnom období v porovnaní so zimným obdobím. Model simuluje rovnovážnu odozvu, globálna povrchová teplota sa pre $2\times\text{CO}_2$ v porovnaní s $1\times\text{CO}_2$ zvýši o $4,2^\circ\text{C}$. K dispozícii máme modelové výstupy z tohto typu modelu.
- 2. model bol dokončený v roku 1985 a simuluje prechodovú odozvu. V porovnaní s predchádzajúcim modelom má väčšiu premiešavaciu hĺbku.
- 3. model je novou verziou pôvodného modelu so simuláciou rovnovážnej odozvy. Má lepšie horizontálne rozlíšenie ($3,9^\circ \times 5,0^\circ$), zahrňuje 15 - 18 vertikálnych hladín a má zabudovaný "slab" oceán. Tento model mal byť dokončený v roku 1994.

United Kingdom Meteorological Office (UKMO, Bracknell, Berkshire, UK):

- V UKMO boli vyvinuté 3 klimatické modely.
- 1. model bol dokončený v roku 1986 (predstavený Wilsonom, Mitchellom, 1987). Má horizontálne rozlíšenie $5,00^\circ \times 7,50^\circ$ a 11 vertikálnych hladín (sigma povrchy) a povrch. Zabudovaný má 50 m hrubý "slab" oceán. Uvažuje s denným cyklom. Model simuluje rovnovážnu odozvu.
- 2. model bol dokončený v roku 1989. Má dvojnásobné horizontálne rozlíšenie ($2,50^\circ \times 3,75^\circ$). Táto verzia zahrňuje vodný obsah oblakov, pokrok dosahuje pri vyjadrení oblakov druhov cumulus a cirrus, ale nezahrňuje premenlivé optické vlastnosti. Model má denný cyklus a Q-tokový "slab" oceán. Túto verziu modelu opisujú Gregory, Mitchell (1995). Model má 11 atmosférických hladín a je prepojený so "slab" oceánom, ktorý je 50 m hlboký, bez vertikálnej štruktúry, a v ktorom je predpísané sezónne kolísanie, konvergencia tepla. Model simuluje rovnovážnu odozvu, globálna teplota sa pri $2\times\text{CO}_2$ zvýši o $3,5^\circ\text{C}$. Z tohto typu modelu máme k dispozícii modelové výstupy (UK89).
- Murphy (1995), Murphy, Mitchell (1995) predstavujú ďalší model UKMO. Je to globálny prepojený oceánicko-atmosférický GCM s prechodovou odozvou na postupný rast CO_2 . Model uvažuje s rastom CO_2 o 1 % za rok počas 75 rokov. Aj atmosférická, aj oceánická zložka modelu používa horizontálne rozlíšenie $2,5^\circ$ šírka $\times$ $3,75^\circ$ dĺžka s 11 vertikálnymi hladinami v atmosfére a 17 v oceáne. Model používa reálnu geografiu, orografiu a batymetriu. Radiačné schéma zahrňuje sezónny a denný cyklus insolácie a počíta krátkovlnné a dlhovlnné toky, ktoré závisia od teploty a množstva oblakov, ako aj od koncentrácie vodnej pary, CO_2 a ozónu.

Wilson, Mitchell (1987) predstavujú prvú verziu tohto modelu. Globálny klimatický model sa skladá z modelu všeobecnej cirkulácie atmosféry, ktorý je spojený s 50 m oceánickou premiešavacou vrstvou a energeticko-bilančným morskoo-ľadovcovým modelom. Model má 11 sigma hladín (σ = tlak vzduchu / povrchový tlak vzduchu), ktoré sú nepravidelne rozmiestnené s koncentráciou blízko hraničnej vrstvy a tropopauzy. Hraničná vrstva je zastúpená tromi najnižšími modelovými vrstvami. Toky tepla, vlhkosti a hybností z povrchu sú založené na Monin-Obukhovej teórii. Konvekčná schéma umožňuje evaporáciu zrážok v nasledujúcej nižšej vrstve od miesta ich formovania. V modeli sú zastúpené sezónne a denné zmeny globálneho žiarenia. Radiačné toky závisia od teploty, koncentrácie vodnej pary, CO_2 , ozónu a oblakov.

Povrchové albedo nad krajinou bez snehovej pokrývky sa mení geograficky v závislosti od typu krajiny a pôd. Nad krajinou, ktorá je pokrytá snehovou pokrývkou, sa albedo zvyšuje so snehovou výškou. Albedo sa mení od 0,06 nad nezamrznutým morom po 0,7 nad krajinným ľadov-

com. Pri vrstevnatých oblakoch sa predpokladá hrúbka jednej sigma vrstvy, pri konvekčných oblakoch aj viac. Albedo oblakov je určené na 0,2 pre vysoké oblaky a 0,6 pre ostatné. Oceán je 50 m "slab". Keď teplota oceánu klesá pod bod mrznutia morskej vody (271,2 K), tvorí sa morský ľad. Povrchové albedo stúpa lineárne od 0,4 pri 271,2 K po 0,7 pri hodnote 261,2 K alebo nižšej. Teplota premiešavacej vrstvy pod ľadom je udržiavaná na bode mrznutia.

REGIONÁLNA INTERPRETÁCIA GLOBÁLNYCH MODELOVÝCH SIMULÁCIÍ

Súčasnú horizontálnu rozlíšenie GCMs nedovoľuje zachytiť niektoré regionálne rysy klímy. Preto boli vyvinuté niektoré postupy, umožňujúce získanie detailnejších informácií na regionálnej úrovni z výstupov globálnych klimatických modelov. Ich prehľad priniesol Hykl (1993). Jednou z možností je využitie štatistického prístupu k riešenej problematike. Využívajú sa pritom empiricky odvodené vzťahy medzi regionálnou klímou a simuláciou veľkej mierky (Wigley a kol., 1990, Karl a kol., 1990). V súčasnosti sa rozvojom štatistických metód zaoberajú hlavne v Hadleyho stredisku pre klimatické predpovede a výskum UKMO a v MPI. Ďalšou možnosťou je vypracovanie regionálnych klimatických modelov (RegCMs), ktoré vychádzajú z počiatočných podmienok priamo z GCMs. Používa sa detailný regionálny model v limitovanej oblasti sveta, ktorý je ponorený do globálneho modelového systému. Táto metóda bola pôvodne predstavená skupinou z NCAR. Klimatické simulácie uskutočnené s RegCMs vypracované pre rôzne oblasti na Zemi predstavili Giorgi a kol. (1990), Kislov, Surkova (1995), Jones a kol. (1995), Lynch a kol. (1995), Christensen, Christensen (1996). Najnovšie RegCMs majú horizontálne rozlíšenie od 15 do 125 km. Napr. regionálny model pre oblasť Európy vypracovaný v Hadleyho stredisku má gridovú vzdialenosť 50 km (Jones a kol., 1995).

V klimatickom modeli T63L30 ARPEGE, vypracovanom v Météo France pre oblasť Európy a severnej Afriky je využitý pri horizontálnom rozlíšení prístup variabilnej gridovej vzdialenosti, pri ktorej je vyššie rozlíšenie priamo v záujmovej oblasti a klesajúce smerom k opačnej strane Zeme. Horizontálne rozlíšenie sa mení od 60 km v oblasti Stredozemného mora do 700 km v oblasti južnej časti Tichého oceánu (ECSN, 1995, Casado, Pastor, 1996). Tento model môže byť považovaný za RegCM (Déqué, 1996).

ZHODNOTENIE SIMULÁCIÍ PREPOJENÝCH GCMs

Zhodnotením schopnosti simulovania súčasnej klímy prepojenými GCMs sa zaoberá správa IPCC (1995). Súčasný stav klímy je s dostatočnou presnosťou simulovaný súčasnými prepojenými GCMs. Modely sú najpresnejšie na globálnej úrovni. Na regionálnej úrovni je presnosť menšia. Všetkých 11 prepojených modelov úspešne simuluje veľkopriestorovú sezónnu distribúciu povrchovej teploty vzduchu. Najväčšie rozdiely sú nad krajinou, zvlášť horskou. Nad oceánom sú rozdiely oveľa menšie, s najväčšími rozdielmi v južnom oceáne. Prepojené modely sú vo všeobecnosti v širšom meradle úspešné aj v simulácii pozorovaných zrážok. Pri simulácii regionálnej klímy je hlavnou prekážkou hrubá horizontálna rozlišovacia schopnosť a ich fyzikálna parametrizácia. Modely nie sú schopné reálne zachytiť rozsah a výšku hôr, čo má za následok skreslenie v simulácii orografických zrážok na regionálnej úrovni. Chyby sa dosahujú aj v znázornení pobrežnej čiary s následným účinkom na simuláciu regionálnej cirkulácie a teploty.

ZHODNOTENIE SIMULÁCIÍ GCMs, Z KTORÝCH MÁ COUNTRY STUDY SR K DISPOZÍCIÍ MODELOVÉ VÝSTUPY

Ročný chod teploty vzduchu na Slovensku najlepšie vystihujú modely CCCM a GISS. Model CCCM veľmi dobre simuluje teplotu vzduchu najmä v letnom a jesennom období. Model GISS simuluje nižšiu teplotu vzduchu v porovnaní so skutočnosťou najmä v letnom a jesennom období. Model GF01 simuluje nižšiu teplotu vzduchu najmä v jarnom období. Model UK89 simuluje počas celého roka (s výnimkou letného obdobia) nižšiu teplotu vzduchu, ako sa v skutočnosti pozoruje. Najvýraznejšie sa to prejavuje najmä v zimnom období. Model GFD3 simuluje v zimnom období výrazne nižšiu teplotu vzduchu v porovnaní so skutočnosťou, v letnom období vyššiu teplotu vzduchu.

Ročný chod úhrnu zrážok na Slovensku najlepšie vystihuje model GFD3. Výraznejšie menšie úhrny zrážok však vykazuje väčšina výstupov bodov tohto modelu v okolí Slovenska v júli a v auguste, čo nezodpovedá skutočnosti. Model UK89 simuluje zvýšené množstvo zrážok v zimných mesiacoch (najmä v decembri), čo sa nezhoduje so skutočnosťou. Model GISS pomerne dobre simuluje sezónny chod, avšak jednotlivé úhrny zrážok nadhodnocuje počas celého roka (v priemere o 50 %). Model CCCM dosahuje vo väčšine výstupov v bodoch v okolí Slovenska počas celého roka vyššie úhrny zrážok oproti skutočnosti (v priemere o 60 %). Model GF01 nevystihuje ročný chod zrážok na Slovensku, pretože nesimuluje letné zvýšenie zrážok dosahované v tejto oblasti. Naopak, maximálny úhrn zrážok dosahuje v ročnom chode v jesenných mesiacoch, čo tiež nezodpovedá pomerom na Slovensku.

Ročný chod priemernej mesačnej hustoty toku globálneho žiarenia na Slovensku najlepšie vystihujú modely CCCM a GISS. Model GISS mierne podhodnocuje zimné hodnoty hustoty toku globálneho žiarenia (od októbra do marca) a mierne nadhodnocuje letné hodnoty (najmä v júni a v júli). Model GF01 simuluje v letnom období vyššie hodnoty hustoty toku globálneho žiarenia, ako sa v skutočnosti pozoruje. Model UK89 simuluje nižšie hodnoty priemernej mesačnej hustoty toku globálneho žiarenia v porovnaní so skutočným stavom. Zvlášť výrazne je to vidieť pri bodoch lokalizovaných na 51.25°N a 48.75°N. Pomery na Slovensku najlepšie vystihujú výstupy z bodov lokalizovaných na 46.25°N, čo je však výrazne južnejšie od územia Slovenska. Napriek tomu aj v tomto prípade, najmä v jarnom a letnom období, dosahuje nižšie hodnoty v porovnaní so skutočným stavom. Model GFD3 v jarnom období (najmä apríl, máj) výraznejšie podhodnocuje a v letnom období (júl a august) výraznejšie nadhodnocuje hustotu toku globálneho žiarenia v porovnaní so skutočným stavom.

Celkovo možno teda konštatovať, že najlepšie simulovaná súčasná klíma na Slovensku (pre teplotu vzduchu, atmosférické zrážky a globálne žiarenie) je dosiahnutá modelmi CCCM a GISS (Melo, 1996c, Lapin a kol., 1995).

SCENÁRE KLIMATICKÝCH ZMIEN V KONTINENTÁLNO M ERADLE

Projekciou klimatických zmien v kontinentálnom meradle pomocou prepojených GCMs sa zaoberá správa IPCC (1995). Pri použití emisných scenárov IS92 a zahrnutí zmien aerosólov prepojené GCMs ukazujú rast priemernej globálnej teploty medzi 0,9 °C až 3,5 °C v roku 2100 (v porovnaní so súčasnosťou). Rast morskej hladiny pri uvažovaní budúcich zmien aerosólových koncentrácií je projektovaný modelmi na 38 - 55 cm v roku 2100. Pre stredný emisný scenár IPCC (IS92 a) predpokladajúci "najlepší odhad" hodnoty klimatekovej citlivosti a zahrňujúci účinky budúcich rastov aerosólu, modely navrhujú rast priemernej globálnej povrchovej teploty o 2,0 °C v roku 2100 (v porovnaní so súčasnosťou). Najnižší emisný scenár IPCC (IS92 c) navrhuje rast o 1 °C v roku 2100. Najvyšší emisný scenár IPCC (IS92 e) dáva oteple-

nie 3,5 °C. Rast morskej hladiny je projektovaný ako dôsledok tepelnej expanzie oceánov a topenia sa ľadovcov. Pre scenár IS92a modely predpokladajú rast morskej hladiny o 50 cm v roku 2100.

S rastom GHGs je oteplenie nad krajinou vo všeobecnosti väčšie ako nad oceánmi, približujúce sa k výsledkom rovnovážnych simulácií. Len minimálne oteplenie sa dosahuje okolo Antarktídy a v severnej časti Severného Atlantiku, čo je spojené s hlbokým oceánickým premiešavaním v týchto oblastiach. Maximálne priemerné ročné oteplenie sa vyskytuje vo vysokých severných zemepisných šírkach a je spojené s redukciou morského ľadu a snehovej pokrývky. Oteplenie je tu najväčšie v neskorej jeseni a v zime, ale stáva sa zanedbateľným pre krátku dobu v lete. V nízkych zemepisných šírkach a nad južnými cirkumpolárnymi oceánmi sú len malé sezónne zmeny oteplenia. Pri zahrnutí účinkov aerosólov do simulácie budúcej klímy dostávame o niečo znížené oteplenie v stredných zemepisných šírkach severnej pologule a menej rozsiahle maximálne zimné oteplenie vo vysokých severných zemepisných šírkach.

Všetky modely vykazujú rast priemerných globálnych zrážok. Ak sú brané do úvahy aj priame účinky síranových aerosólov, celkový rast globálnych zrážok je menší. Zrážky rastú hlavne vo vysokých zemepisných šírkach v zime a vo väčšine prípadov sa tento rast prejavuje dobre aj v stredných zemepisných šírkach. V tropických oblastiach zmeny kolíšu v závislosti od typu modelu. Zmeny v suchých subtropických oblastiach sú vo všeobecnosti malé. Súčasné prepojené GCMs (uvažujúce iba s rastom GHGs) sa zhodujú s výsledkami predchádzajúcich modelov v tom, že by sa mohli zvýšiť monzúnové dažde v južnej Ázii. Naopak, zatiaľ limitovaný počet simulácií s aerosólmi, ukazuje zníženie zrážok v porovnaní so súčasnosťou.

Pri pôdnej vlhkosti sa pri simulácii zmien dosahuje menšia dôveryhodnosť ako pri teplote. Všetky modely vykazujú prevažne zvyšovanie pôdnej vlhkosti vo vysokých severných zemepisných šírkach v zime. Väčšina modelov vyказuje suchší povrch v lete v stredných zemepisných šírkach severnej pologule. Najdôslednejšie sa to ukazuje nad južnou Európou a severnou Amerikou. Hlavným faktorom vysušovania je zvýšená evaporácia v lete. Absolútna rýchlosť zvyšovania potenciálnej evaporácie rastie exponenciálne s teplotou, pokiaľ sa iné faktory nemenia (vietor, teplotná stabilita, relatívna vlhkosť). Ak sú v modeloch zahrnuté aj účinky aerosólov, letná pôdna vlhkosť v stredných zemepisných šírkach severnej pologule stúpa (v kontraste s poklesom pri zahrnutí iba GHGs simulácii).

SCENÁRE KLIMATICKÝCH ZMIEN V REGIONÁLNOH MERADLE

Podľa správy IPCC (1995) súčasné odhady regionálnych klimatických zmien, ktoré však neberú do úvahy účinky aerosólov, sa pri zdvojnásobení koncentrácie CO₂ pohybujú pri teplote medzi 0,6 °C až 7 °C a pri zrážkach od -35 % do +50 % oproti súčasnosti. Troposférický aerosól pravdepodobne veľmi ovplyvňuje regionálne klimatické zmeny v dôsledku nerovnakej priestorovej distribúcie. Všeobecné oteplenie môže viesť k rastu extrémnych prípadov, ako sú napríklad extrémne vysoké teploty v lete, pokles dní s extrémne nízkymi teplotami v zime. Viaceré modely predpokladajú rast pravdepodobnosti výskytu intenzívnych zrážok. V niektorých oblastiach rastie pravdepodobnosť výskytu suchých dní a dĺžky suchých období. Na miestach s poklesom priemerného množstva zrážok vzrastá pravdepodobnosť vzniku sucha.

V dôsledku krátkej atmosférickej životnosti síranových aerosólov ich koncentrácie sú najväčšie v blízkosti ich zdrojovej oblasti. Hoci ich priemerné globálne radiačné zosilnenie je relatívne malé, zapríčiňujú (na rozdiel od dobre premiešavaných GHGs) potenciálne silné regionálne zmeny v klíme. Priame zosilnenie síranového aerosólu spôsobuje ochladenie, ktoré je najvýraznejšie v stredných zemepisných šírkach severnej pologule nad kontinentmi. Účinok aerosólov v

kombinácii s rastom GHGs od roku 1900, je (v dvoch z troch experimentov) dostatočný na to, že v niektorých oblastiach sveta dochádza dokonca k celkovému ochladeniu. Tak je to projektované napr. pre regióny východnej časti Severnej Ameriky, stredovýchodu a východu Číny. Keď berieme do úvahy iba súčasný rast koncentrácií GHGs, pri simulácii klimatických zmien za posledné storočie, väčšina GCMs a EBMs vykazujú väčšie oteplenie, ako je pozorované. Ak je ochladenie, zapríčinené aerosólmi, zahrnuté v nejakej forme, potom sa dosahuje väčšia zhoda so skutočnosťou.

Pre oblasť Slovenska podrobnejšie výsledky regionálnych scenárov teploty vzduchu a zrážok na základe výstupov GCMs možno nájsť v práci Lapin a kol. (1995), globálneho žiarenia v práci Hrvoľ (1996), Melo (1996c). Napríklad podľa modelov CCCM a GISS dvojnásobné zvýšenie koncentrácie GHGs v atmosfére bude mať za následok, že na území Slovenska priemerné mesačné hodnoty hustoty toku globálneho žiarenia budú v teplej časti roka vyššie (podľa modelu CCCM až o 3,61 % v júli, podľa modelu GISS o 3,20 % v júli), a naopak v chladnej časti roka nižšie (podľa modelu CCCM o 8,02 % v januári, podľa modelu GISS až o 13,01 % v decembri) v porovnaní so súčasným stavom (tab.1, Melo, 1996c).

Tab.1 Priemerné mesačné hodnoty hustoty toku globálneho žiarenia (Wm^{-2}) na Slovensku (1951-1980) a ich scenár pre stav $2\times\text{CO}_2$ podľa modelov CCCM a GISS (Melo, 1996c)

Tab.1 Average monthly values of global solar radiation flux density (Wm^{-2}) in Slovakia (1951-1980) and their scenario for state $2\times\text{CO}_2$ according to models CCCM and GISS

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1951-1980	40	72	125	181	219	234	227	198	151	91	44	31
$2\times\text{CO}_2$ (CCCM)	37	68	121	181	224	242	235	203	152	89	42	29
$2\times\text{CO}_2$ (GISS)	35	65	116	176	220	240	234	202	150	87	40	27

ZÁVER

Základom takmer všetkých scenárov sú informácie pochádzajúce z výsledkov klimatických modelov, predovšetkým GCMs. Klimatické modely sú vhodné najmä pri kvantitatívnom vyjadrení zmien v klimatickom systéme, zatiaľ čo analógová metóda prináša úspech hlavne pri skúmaní prírodných podmienok klimatického systému. Pri štúdiu možných zmien klimatického systému v dôsledku rastu koncentrácie GHGs v atmosfére sa ako vhodné teda javia obidve spomínané metódy (klimatické modely i analógová metóda), ktoré sa vzájomne dopĺňajú.

Pri použití emisných scenárov IS92 a zahrnutí zmien aerosólov prepojené GCMs vykazujú rast priemernej globálnej teploty medzi $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ v roku 2100 (v porovnaní so súčasnosťou), s najlepším odhadom $2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Najnovšie projektované priemerné globálne povrchové teploty na obdobie do roku 2100 sú teda približne o jednu tretinu nižšie ako pôvodné hodnoty uverejnené v IPCC (1990). Je to spôsobené hlavne uvažovaním negatívneho radiačného zosilnenia aerosólov, korekciou uhlíkového cyklu, nižšími emisnými scenármi...

Hlavná oblasť nespoľahlivosti výsledkov modelov sa týka oblakov a ich radiačných účinkov (Melo, 1996a), ako aj hydrologickej bilancie nad krajinným povrchom a tepelného toku na oceánskom povrchu.

V najbližšej budúcnosti môžeme očakávať zlepšenia v parametrizácii oblačnej mikrofyziky, vrátane účinkov aerosólu, dynamike oblakov. Očakávajú sa zlepšenia v oceánickej zložke klimatického modelu, zlepšenia morského-ladovcového modelu a tiež zlepšenia krajinnopovrchových procesov. Zmeny v oblastiach pokrytých permafrostom môžu mať významný vplyv na

klímu, pretože v permafroste sú zachytené GHGs a pri prípadnom roztápaní by sa tieto plyny uvoľňovali do atmosféry, čím by zosilňovali skleníkový efekt. Tento proces má byť ešte zahrnutý do prepojených klimatických modelov. Očakávajú sa tiež zlepšenia radiačnej schémy v modeloch, zvlášť zahrnutím vertikálnych profilov koncentrácie troposférických aerosólov a troposférického ozónu, ďalšie rozpracovanie globálneho uhlíkového cyklu. Viaceré inštitúcie plánujú v blízkej dobe uskutočniť experimenty s vplyvom zmien v troposférickej chémii na klímu.

LITERATÚRA

- Boer, G.J., McFarlane, N.A., Lazare, M. (1992): Greenhouse Gas-induced Climate Change Simulated with the CCC Second-Generation General Circulation Model. *J.Climate*, 5, 1045-1077.
- Borzenkova, I.I., Zubakov, V.A. (1984): Klimatičeskij optimum golocena kak model' global'nogo klimata načala XXI veka. *Meteorologija i gidrologija*, N 8, 69-77.
- Budyko, M.I. (1980): *Klimat v prošlom i buduščem*. Gidrometeoizdat, Leningrad, 350.
- Casado, M.J., Pastor, A. (1996): Atmospheric response to a CO₂ doubling of the ARPEGE climate model over Europe. Internal technical note of the Spanish Meteorological Institute, Madrid, 52.
- Cess, R.D et al. (1989): Interpretation of Cloud-Climate Feedback as Produced by 14 Atmospheric General Circulation Models. *Science* 245, 513-516.
- Christensen, O.B., Christensen, J.H. (1996): Climate simulations with the HIRHAM limited area regional climate model over Scandinavia. In: European Conference on Applied Climatology. Abstract Volume. SMHI, Norrköping, Sweden.
- Crowley, T.J. (1990): Are There Any Satisfactory Geologic Analogs for a Future Greenhouse Warming? *J.Climate*, 3, 1282-1292.
- Déqué, M. (1996): Regional modelling and scenarios of the future climate. In: European Conference on Applied Climatology. Abstract Volume. SMHI, Norrköping, Sweden.
- ECSN (1995): Climate of Europe. European Climate Support Network, 72.
- Giorgi, F., Marinucci, M.R., Visconti, G. (1990): Use of a Limited-Area Model Nested in a General Circulation Model for Regional Climate Simulation Over Europe. *J.Geophys.Res.*, 95, 18413-18431.
- Gregory, J.M., Mitchell, J.F.B. (1995): Simulation of daily variability of surface temperature and precipitation over Europe in the current and 2 x CO₂ climates using the UKMO climate model. *Q.J.R.Meteorol.Soc.*, 121, 1451-1476.
- Hrvol', J. (1996): Modelové výpočty dôsledkov očakávaného oteplenia na zmeny globálneho slnečného žiarenia a celkovej radiačnej bilancie zemského povrchu. [Záverečná správa.] Projekt Country Study SR. SHMÚ, Bratislava.
- Hykl, T. (1993): Metody vytváření regionálních scénářů změn klimatu vyvolaných globálním oteplováním. [Diplomová práce.] Katedra meteorologie a ochrany prostředí, MFF UK, Praha, 84.
- IPCC (1990): Scientific Assessment of Climate Change. IPCC, WMO, UNEP, 365.
- IPCC (1994): Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios. Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Bruce, J., Hoesung, L., Callander, B.A., Haites, E., Harris, N., Maskell, K. (eds). Cambridge University Press, UK, 339.
- 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 University Press, 572.
- Jones, R.G., Murphy, J.M., Noguer, M. (1995): Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model. Part I: Assessment of control climate, including sensitivity to location of lateral boundaries. *Q.J.R.Meteorol.Soc.*, 121, 1413-1449.
- Kalvová, J. (1991): Radiačně aktivní plyny v atmosféře a změny klimatu. In: Národní klimatický program ČSFR, 3, Praha, 1-73.
- Kalvová, J., Brázdil, R. (1993): Změny klimatu. In: Národní klimatický program ČR, 10, Praha, 48-91.
- Karl, T.R., Wang, W.-C., Schlesinger, M.E., Knight, R.W., Portman, D. (1990): A Method of Relating General Circulation Model Simulated Climate to the Observed Local Climate. Part.I: Seasonal Statistics. *J.Climate*, 3, 1053-1079.

- Kislov, A.V., Surkova, G.V. (1995): O modeli regional'nogo klimata. *Meteorologija i gidrologija*, No.5, 23-31.
- Lapin, M. (1992): Možné dopady predpokladaných zmien klímy na vodnú bilanciu na Slovensku. In: Národní klimatický program ČSFR, 7, Praha, 51-87.
- Lapin, M., Faško, P., Zeman, V. (1994): Príspevok k analýze možných dôsledkov globálneho oteplenia atmosféry o 1-2 °C na zmeny klimatických pomerov na Slovensku. In: NKP SR, 2, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, 35-77.
- Lapin, M., Nieplová, E., Faško, P. (1995): Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. In: NKP SR, 3, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, 17-57.
- Lough, J.M., Wigley, T.M.L., Palutikof, J.P. (1983): Climate and Climate Impact Scenarios for Europe in a Warmer World. *J.Climate and Applied Meteorology*, 22, 1673-1684.
- Lynch, A.H., Chapman, W.L., Walsh, J.E., Weller, G. (1995): Development of a Regional Climate Model of the Western Arctic. *J.Climate*, 8, 1555-1570.
- Manabe, S., Spelman, M.J., Stouffer, R.J. (1992): Transient Responses of a Coupled Ocean-Atmosphere Model to Gradual Changes of Atmospheric CO₂. Part II: Seasonal Response. *J.Climate*, 5, 105-126.
- Manabe, S., Stouffer, R.J., Spelman, M.J., Bryan, K. (1991): Transient Responses of a Coupled Ocean-Atmosphere Model to Gradual Changes of Atmospheric CO₂. Part I: Annual Mean Response. *J.Climate*, 4, 785-818.
- McFarlane, N.A., Boer, G.J., Blanchet, J.-P., Lazare, M. (1992): The Canadian Climate Centre Second-Generation General Circulation Model and Its Equilibrium Climate. *J.Climate*, 5, 1013-1044.
- Melo, M. (1995): Globálne scenáre klimatických zmien. Pracovné podklady No.1. Country Study SR, SHMÚ, Bratislava, 14.
- Melo, M. (1996a): Klimatický systém a skleníkový efekt atmosféry. In: Škvarenina, J., Mind'áš, J., Čaboun, V. (eds): Lesné ekosystémy a globálne klimatické zmeny. Lesnícky výskumný ústav, Zvolen, 26-28.
- Melo, M. (1996b): Scenáre globálnej klimatickej zmeny. Rešerš publikácií IPCC 1994 a 1995. Pracovné podklady No.5, Country Study SR, SHMÚ, Bratislava, 15.
- Melo, M. (1996c): The Effect of the Doubling of the CO₂ Concentration on the Global Solar Radiation on the Territory of Slovakia. In: European Conference on Applied Climatology. Abstract Volume. SMHI, Norrköping, Sweden.
- Meteorologický slovník výkladový terminologický (1993). Academia, MŽP ČR, Praha, 186-187.
- Mitchell, J.F.B. (1989): The „Greenhouse“ effect and climate change. *Rev.Geophys.*, 27, 115-139.
- Mitchell, J.F.B. (1990): Greenhouse Warming: Is the Mid-Holocene a Good Analogue? *J.Climate*, 3, 1177-1192.
- Murphy, J.M. (1995): Transient Response of the Hadley Centre Coupled Ocean-Atmosphere Model to Increasing Carbon Dioxide. Part I: Control Climate and Flux Adjustment. *J.Climate*, 8, 36-56.
- Murphy, J.M., Mitchell, J.F.B. (1995): Transient Response of the Hadley Centre Coupled Ocean-Atmosphere Model to Increasing Carbon Dioxide. Part II: Spatial and Temporal Structure of Response. *J.Climate*, 8, 57-80.
- Schlesinger, M.E., Zhao, Z.-C. (1989): Seasonal Climatic Changes Induced by Doubled CO₂ as Simulated by the OSU Atmospheric GCM / Mixed-Layer Ocean Model. *J.Climate*, 2, 459-495.
- Trenberth, K.E.(ed) (1992): *Climate System Modeling*. Cambridge University Press, 788.
- U.S.Country Studies Program (1994): *Guidance for Vulnerability and Adaptation Assessments*. (Preliminary Draft).
- Wang, W.-C., Dudek, M.P., Liang, X.-Z., Kiehl, J.T. (1991): Inadequacy of effective CO₂ as a proxy in simulating the greenhouse effect of other radiatively active gases. *Nature*, 350, 573-577.
- Washington, W.M., Meehl, G.A. (1984): Seasonal Cycle Experiment on the Climate Sensitivity Due to a Doubling of CO₂ With an Atmospheric General Circulation Model Coupled to a Simple Mixed-Layer Ocean Model. *J.Geophys.Res.*, 89, 9475-9503.
- Washington, W.M., Parkinson, C.L. (1986): *An Introduction to Three-Dimensional Climate Modeling*. Oxford University Press, Oxford, New York, 422.
- Wigley, T.M.L., Jones, P.D., Briffa, K.R., Smith, G. (1990): Obtaining Sub-Grid-Scale Information From Coarse-Resolution General Circulation Model Output. *J.Geophys.Res.*, 95, 1943-1953.
- Wilson, C.A., Mitchell, J.F.B. (1987): A Doubled CO₂ Climate Sensitivity Experiment With a Global Climate Model Including a Simple Ocean. *J.Geophys.Res.*, 92, 13315-13343.

CLIMATE SCENARIOS

Marián Melo

Faculty of Mathematics and Physics, Comenius University, Bratislava

SUMMARY

At the present time the climate system is influenced mainly by the growth of the greenhouse gas concentration in the atmosphere. In this context different scenarios of the future evolution of the climate system are being projected. This contribution is a review of the current state in this field.

There are two advisable methods for the study of climate change due to the growth of a greenhouse gas concentration in the atmosphere:

- climate simulations with numerical models,
- analogue method.

The climate models are advisable especially at the quantitative representation of change in the climate system, while the analogue method is better in the studies of the natural conditions of the climate system.

The climate models are presented as the basis for the climate future changes predicting. Climate models have achieved a considerable development in the last years.

The most highly developed climate models are atmospheric and oceanic general circulation models (GCMs). In many cases the GCMs of the atmosphere and oceans are developed as separate models. The coupled GCMs then arise by mutual combining. These models also include representations of other elements of the climate system.

The ability of the coupled GCMs to simulate the observed climate is evaluated in the IPCC 1995 report. Models are the most accurate at the global level; at regional scales more discrepancies can be seen.

The Slovak Republic's Country Study experts have available the outputs from the following GCMs: CCCM, GISS, GFD3, GF01, UK89 which were provided by the U.S. Country Studies Program (NCAR, Boulder).

It is generally possible to state that the current climate (characterized by air temperature, atmospheric precipitation, global solar radiation) in Slovakia having been simulated in the best way is reached by the models CCCM and GISS.

The coupled GCMs project the increase in global mean temperature, relative to the present, of between 0,9 and 3,5 °C by 2100.

*NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY*

*NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC*

**MODELOVÉ VÝPOČTY DÔSLEDKOV
OČAKÁVANEOHO OTEPLENIA NA ZMENY
CELKOVEJ BILANCIE ŽIARENIA
AKTÍVNEHO POVRCHU A JEJ ZLOŽIEK
NA SLOVENSKU**

Riešiteľ:	RNDr. Ján Hrvoľ, CSc. Katedra meteorológie a klimatológie, Matematicko-fyzikálna fakulta UK, Bratislava
Projekt:	MŽP SR Výskum zmien kvality ovzdušia, klimatické zmeny a narušovanie ochranných vlastností atmosféry - NKP SR
Zadávatel:	Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava
Lektor:	RNDr. Viera Horecká Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

MODELOVÉ VÝPOČTY DÔSLEDKOV OČAKÁVANÉHO OTEPLENIA NA ZMENY CELKOVEJ BILANCIE ŽIARENIA AKTÍVNEHO POVRCHU A JEJ ZLOŽIEK NA SLOVENSKU

Ján Hrvol'

Katedra meteorológie a klimatológie, Matematicko-fyzikálna fakulta UK, Bratislava

ÚVOD

Riešenie celého radu tak teoretických, ako aj praktických otázok meteorológie, hydrológie, lesného a vodného hospodárstva, stavebníctva, poľnohospodárstva, energetiky, ochrany a tvorby životného prostredia a pod. si vyžaduje poznanie priestorového a časového rozloženia jednotlivých zložiek celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu, predovšetkým globálneho žiarenia. Globálne žiarenie, ako aj celková bilancia žiarenia aktívneho povrchu sa merajú v radiačnej sieti Slovenského hydrometeorologického ústavu na nevelkom počte staníc, a preto na ich podrobné spracovanie sa využívajú nepriame metódy výpočtu.

METODIKA

Mesačné sumy celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu (B), ktorou rozumieme rozdiel bilancie krátkovlnného žiarenia a bilancie dlhovlnného žiarenia, sme vypočítali podľa vzťahu:

$$B = G (1 - A) - B_L = B_K - B_L, \quad (1)$$

kde

$G (1 - A)$ - bilancia krátkovlnného žiarenia B_K (rozdiel medzi tokom globálneho žiarenia (G) dopadajúceho na vodorovný povrch a tokom žiarenia odrazeného od tohto povrchu),

B_L - bilancia dlhovlnného žiarenia (rozdiel medzi vyžarovaním aktívneho povrchu a spätným žiarením atmosféry),

A - albedo povrchu.

Globálne žiarenie predstavuje súčet priameho slnečného žiarenia dopadajúceho na vodorovný povrch a difúzneho žiarenia. Globálne žiarenie sa v súčasnosti v rámci radiačnej siete SHMÚ meria len na 5 staniciach. Pre nepriame určenie priemerných mesačných a ročných súm globálneho žiarenia bol v našej odbornej literatúre aplikovaný vzťah

$$G = G_0 (1 - k N), \quad (2)$$

kde

G_0 - mesačná suma globálneho žiarenia pri jasnej oblohe a priemerných podmienkach priepustnosti atmosféry, k - koeficient charakterizujúci priemerné zoslabenie globálneho žiarenia oblakmi a vplyv albeda zemského povrchu, N - oblačnosť v desatinách pokrytia oblohy oblakmi.

Mesačné sumy G_0 boli stanovené zostrojením obalovej krivky k naneseným denným sumám globálneho žiarenia za jasných dní počas roka. Merania ukázali, že globálne žiarenie pri jasnej oblohe intenzívne vzrastá s nadmorskou výškou najmä v najnižšej vrstve atmosféry, kde vzduch obsahuje vysoké koncentrácie rôznych nečistôt a vodnej pary. Mesačné sumy G_0 vo vyšších polohách možno vypočítať podľa vzťahu:

$$G_{0,h} = G_A - (G_A - G_{0,0}) \exp\left(-\frac{h}{c}\right), \quad (3)$$

kde

$G_{0,h}$ - mesačná suma globálneho žiarenia pri jasnej oblohe v nadmorskej výške h ,

G_A - mesačná suma slnečného žiarenia dopadajúceho na hornú hranicu atmosféry,

$G_{0,0}$ - mesačná suma globálneho žiarenia pri jasnej oblohe v blízkosti hladiny mora,

c - koeficient, ktorý pre naše podmienky má hodnotu 4 500 [12].

V súčasnosti sa merania celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu vykonávajú na meteorologickej stanici Jaslovské Bohunice. Štúdium priestorového a časového rozloženia B preto predpokladá aplikáciu nepriamych metód jej určenia, ktoré vyjadrujú závislosť medzi zložkami B a meteorologickými prvkami pozorovanými na meteorologických staniciach. Albedo povrchu na určenie krátkovlnného žiarenia pohlteneho povrchom sme vypočítali ako vážený aritmetický priemer albeda v dňoch so snehovou pokrývkou a albeda v dňoch bez snehovej pokrývky [13]. Mesačné sumy B_L sme stanovili aplikáciou metódy navrhutej N. A. Jefimovou [2], ktorá bola spresnená v práci Budyka [1]. Podľa tejto metódy:

$$B_L = \varepsilon \sigma T_2^4 (A' - B' e) \cdot (1 - C.N) + 4 \varepsilon \sigma T_2^3 (T_w - T_2), \quad (4)$$

kde

ε - emisivita,

σ - Stefanova-Boltzmannova konštanta,

T_2 - teplota vzduchu v meteorologickej búde (2 m) v kelvinoch,

T_w - teplota aktívneho povrchu v kelvinoch,

e - napätie vodnej pary,

A' , B' a C - koeficienty.

Koeficient C sa s rastúcou nadmorskou výškou znižuje. Na základe meraní bilancie dlhovlnného žiarenia sme pre výpočet C vo vyšších polohách použili vzťah:

$$C_h = C_0 - 0.05 h, \quad (5)$$

kde

C_0 - hodnota C v blízkosti hladiny mora,

C_h - hodnota C v nadmorskej výške h (km).

Údaje o teplote pôdy určujeme z rovnice energetickej bilancie aktívneho povrchu:

$$B = L E + H + Q, \quad (6)$$

kde

L - merné skupenské teplo vyparovania ($2,5 \cdot 10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$),

E - evapotranspirácia,

H - turbulentný tok tepla medzi aktívnym povrchom a atmosférou a

Q - tok tepla medzi aktívnym povrchom a povrchovou vrstvou pôdy.

Po dosadení do rovnice (6) za

$$B = G (1 - A) - \varepsilon \sigma T_2^4 (A' - B' e) \cdot (1 - C.N) - 4 \varepsilon \sigma T_2^3 (T_w - T_2)$$

a za $H = \rho c_p D (T_w - T_2)$ po úprave dostaneme pre rozdiel teploty aktívneho povrchu a teploty vzduchu

$$T_w - T_2 = \frac{G(1-A) - \varepsilon \sigma T_2^4 (A' - B'e) \cdot (1 - C.N) - LE - Q}{\rho c_p D + 4\varepsilon \sigma T_2^3}, \quad (7)$$

kde

ρ - hustota vzduchu,

c_p - merná tepelná kapacita pri stálom tlaku,

D - integrálny koeficient vonkajšej difúzie (v zime $D = 0,3 \text{ cm.s}^{-1}$ a v lete $D = 0,6-0,7 \text{ cm.s}^{-1}$).

Podľa uvedeného algoritmu bol na Katedre meteorológie a klimatológie MFF UK v Bratislave vypracovaný model pre výpočet mesačných a ročných súm celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu a jej zložiek, v ktorom vstupnými parametrami sú mesačné priemery teploty vzduchu, napätia vodnej pary, oblačnosti, počet dní so snehovou pokrývkou a mesačné úhrny atmosférických zrážok.

Mesačné priemery oblačnosti k časovému horizontu roku 2075 sme určili na základe podielov priemernej hustoty toku globálneho žiarenia, resp. mesačných súm globálneho žiarenia pre stav $2\times\text{CO}_2$ a $1\times\text{CO}_2$ (x) v uzlových bodoch modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs) CCCM, GISS a GFD3. Z bodov ležiacich najbližšie k územia Slovenska bola stanovená hodnota tohto podielu pre priemernú zemepisnú šírku Slovenska, t. j. približne $48,65^\circ$. Z podielu:

$$x_{\varphi=48,65^\circ} = \frac{G(2\times\text{CO}_2)}{G(1\times\text{CO}_2)} = \frac{G_0(1 - kN_2)}{G_0(1 - kN_1)} \quad (8)$$

bola vypočítaná zmena mesačných priemerov oblačnosti ΔN udávajúca rozdiel priemernej mesačnej oblačnosti v časovom horizonte roku 2075 ($2\times\text{CO}_2$) N_2 a priemeru za referenčné obdobie 1951-1980 N_1 :

$$\Delta N = N_2 - N_1 = \frac{(1-x)(1 - kN_1)}{k} \quad (9)$$

Za hodnotu N_1 bola zvolená pre každý mesiac priemerná hodnota oblačnosti spracovaných staníc, aby priemerná zmena oblačnosti nebola výraznejšie ovplyvnená údajmi jednej stanice. Získané hodnoty ΔN boli tiež porovnávané s vypočítanou zmenou oblačnosti v gridových bodoch a ich interpolovanou hodnotou pre územie Slovenska, na ktorú boli v niektorých prípadoch korigované. O hodnotách ΔN možno predpokladať, že budú charakterizovať priemernú zmenu oblačnosti na Slovensku spôsobenú zmenenými podmienkami všeobecnej cirkulácie atmosféry v časovom horizonte rokov zodpovedajúcim stavom $2\times\text{CO}_2$ (2075) a $1\times\text{CO}_2$.

VSTUPNÉ ÚDAJE

Pri stanovení mesačných a ročných súm celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu, ako aj jej zložiek - bilancie krátkovlnného žiarenia a bilancie dlhovlnného žiarenia k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075, boli základné vstupné parametre - mesačné priemery teploty vzduchu a úhrnov atmosférických zrážok za referenčné obdobie korigované podľa regionálne modifikovaných výstupov GCMs CCCM, GISS a GFD3 [9]. Mesačné priemery oblačnosti boli na

jednotlivých stanicích korigované o priemernú zmenu oblačnosti vypočítanú z údajov o globálnom žiarení. Napätie pary k rokum 2010, 2030 a 2075 bolo určené z inkrementálnych scenárov zmien relatívnej vlhkosti, uvedených spolu so zmenami počtu dní so snehovou pokrývkou v pracovných podkladoch [10].

Výpočet mesačných a ročných súm celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu a jej zložiek organicky naväzuje na výpočet potenciálnej a skutočnej evapotranspirácie pomocou matematického modelu rozpracovaného na Katedre meteorológie a klimatológie MFF UK a teda má tie isté vstupné parametre. V práci uvádzame výsledky modelového výpočtu mesačných a ročných súm globálneho žiarenia, ako aj celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu a jej zložiek - bilancie krátkovlnného a dlhovlnného žiarenia na 4 meteorologických stanicích Slovenska, a to: Hurbanovo ($\varphi = 47^{\circ} 52'$, $\lambda = 18^{\circ} 12'$, $h = 115$ m), Košice ($\varphi = 48^{\circ} 40'$, $\lambda = 21^{\circ} 13'$, $h = 230$ m), Liptovský Hrádok ($\varphi = 49^{\circ} 02'$, $\lambda = 19^{\circ} 44'$, $h = 640$ m) a Štrbské Pleso ($\varphi = 49^{\circ} 07'$, $\lambda = 20^{\circ} 04'$, $h = 1\,360$ m). V práci [4] sú uvedené výsledky výpočtu pre 35 meteorologických staníc na území Slovenska. Vybrané stanice sa vyznačujú homogénnym pozorovacím radom vstupných parametrov a reprezentujú tak nížinné a kotlinové polohy Slovenska, ako aj jeho horské oblasti.

ANALÝZA VÝSLEDKOV S NÁVODOM PRE VYUŽITIE V PRAXI

Možno predpokladať, že globálne oteplenie atmosféry bude spojené s určitými zmenami všeobecnej cirkulácie atmosféry, čo sa prejaví v zmenách poľa oblačnosti, a tiež v príleve energie globálneho žiarenia k zemskému povrchu. Zväčšovaním oblačnosti sa globálne žiarenie vo všeobecnosti zoslabuje a naopak. Vplyv oblačnosti na zmenu celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu v našich zemepisných šírkach závisí od ročnej doby. V chladnom polroku pri zväčšovaní oblačnosti úbytok bilancie dlhovlnného žiarenia je väčší ako bilancie krátkovlnného žiarenia a celková bilancia žiarenia sa zväčšuje, v teplom polroku je to opačne. Vzhľadom na skutočnosť, že v dôsledku oteplenia klesá počet dní so snehovou pokrývkou, albedo zemského povrchu sa bude zmenšovať. Znamienko zmeny bilancie krátkovlnného žiarenia v chladnom polroku je dané jednak zmenou oblačnosti, jednak zmenou albeda povrchu, zatiaľ čo v teplom polroku je pri približne nezmenenom albede povrchu určované len zmenou oblačnosti - jej zväčšovaním bilancia krátkovlnného žiarenia klesá.

Pri hodnotení výsledkov zmien oblačnosti vzhľadom na dlhodobý priemer 1951 až 1980 vypočítaných na základe údajov GCMs o globálnom slnečnom žiarení si v prvom rade všimneme tie mesiace, v ktorých dávajú všetky tri modely rovnaké znamienko zmeny oblačnosti. Zväčšením oblačnosti sa budú vyznačovať mesiace október až december, február a apríl, zmenšovaním máj, júl a september (tab. 1). Rovnaké zmeny vo všetkých troch modeloch zaznamenávame teda v 8 mesiacoch, ak neuvažujeme nulovú zmenu oblačnosti v júni vyplývajúcu z modelu GISS. Modely CCCM a GISS nedávajú v ročnom chode zmeny oblačnosti v absolútnej hodnote väčšie ako jedna desatina pokrytia oblohy, t. j. 10 % pokrytia oblohy. V uvedených mesiacoch bude zväčšovanie oblačnosti sprevádzané zmenšovaním mesačných súm globálneho žiarenia a ubúdanie oblačnosti zväčšovaním mesačných súm G (tab. 2 - 5, obr. 1 - 6). Pre ročné sumy G nedávajú všetky 3 modely rovnaké znamienko zmeny vzhľadom na dlhodobý priemer 1951-1980. Z modelov CCCM a GFD3 vyplýva vzrast ročných súm G , čo je v súlade s dlhodobým trendom ročných súm G (obr. 7), prevažne v južnej časti územia SR za obdobie 1951-1990 [3]. Model GISS dáva slabý pokles ročných súm G , keď zväčšenie oblačnosti v auguste a od októbra do apríla nie je dostatočne kompenzované z hľadiska prílevu energie v teplom polroku zmenšením oblačnosti. Z uvedeného vidíme, že k zmene stavu klimatického systému - k jeho otepleniu, môže dôjsť pri rôznych podmienkach oblačnosti.

Ročné sumy bilancie žiarenia aktívneho povrchu k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075 budú rásť na celom území Slovenskej republiky (tab. 6 - 9), čo je dôsledkom zmenšenia počtu dní so snehovou pokrývkou a zväčšovania oblačnosti v chladnom polroku a celkového priemerného ubúdania oblačnosti v teplom polroku. Najmenšia priemerná zmena ročných súm B k roku 2075 bola stanovená z modelu CCCM (8 %), najväčšia z modelu GFD3 (12 %). Z modelu GISS bola vypočítaná priemerná zmena 11 % [4].

Z hľadiska využitia získaných údajov v praxi treba poznamenať, že všetky 3 modely dávajú pre vegetačné obdobie (apríl až september) vzrast globálneho žiarenia, čo má význam z hľadiska tvorby biomasy, nakoľko vzrastie fotosynteticky aktívne žiarenie. Modelové výpočty globálneho žiarenia sa môžu uplatniť pri tvorbe a ochrane životného prostredia v súvislosti s využívaním netradičných zdrojov energie, medzi ktoré patrí i slnečná energia. Údaje celkovej bilancie žiarenia zemského povrchu môžu byť využité pri stanovení teplotných zmien aktívneho povrchu a príľahlej vrstvy pôdy.

ZÁVER

V predkladanej štúdii uvádzame výsledky výpočtu priemerných mesačných a ročných súm globálneho žiarenia a celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu za referenčné obdobie 1951-1980, ako aj ich mesačné a ročné sumy v časových horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075 na vybraných meteorologických staniciach Slovenska. Údaje boli vypočítané pre jednotlivé časové horizonty na základe regionálne modifikovaných výstupov GCMs CCCM, GISS a GFD3.

Z analýzy dlhodobých trendov ročných súm G a B [3, 6], ako aj modelových výpočtov mesačných a ročných súm B a G k časovým horizontom 2010, 2030 a 2075 môžeme konštatovať:

- V porovnaní s dlhodobým priemerom 1951-1980 sa zväčší priemerná mesačná oblačnosť v apríli a v októbri až decembri, úbytok oblačnosti bude pozorovaný v máji, júli a v septembri. V uvedených mesiacoch bude zväčšovanie oblačnosti sprevádzané zmenšovaním mesačných súm globálneho žiarenia a zmenšovanie oblačnosti zväčšovaním mesačných súm G.
- Z modelov CCCM a GFD3 vyplýva vzrast ročných súm G, čo je v súlade s dlhodobým trendom ročných súm G prevažne v južnej časti SR, z modelu GISS naopak mierny pokles ročných súm G.
- Ročné sumy bilancie žiarenia aktívneho povrchu k časovým horizontom 2010, 2030 a 2075 budú rásť na celom území SR, čo je dôsledkom zmenšenia počtu dní so snehovou pokrývkou a priemerného zväčšenia oblačnosti v chladnom polroku a ubúdania v teplom polroku.

Z hľadiska možného vývoja zmien mesačných a ročných súm globálneho žiarenia a celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu predpokladáme, že najlepšie bude vystihovať radiačné pomery na území Slovenska GCM CCCM.

LITERATÚRA

- [1] BUDYKO, M. I., 1978: Teplovoj balans zemli. Gidrometeoizdat, Leningrad, 41 s.
- [2] JEFIMOVA, N. A., 1961: K metodike rasčeta mesiačnych veličin effektivnogo izlučenija. Meteorologija i klimatologija, N° 10.
- [3] HRVOL, J., 1994: Long-Term Oscillations of Global Radiation and Total Radiation Balance on the Territory of Slovakia. Acta Meteorologica Universitatis Comenianae, Vol. XXIII, Vydavateľstvo UK Bratislava, pp.13-23.
- [4] HRVOL, J., 1996 : Modelové výpočty dôsledkov očakávaného oteplenia na zmeny klímy globálneho slnečného žiarenia a celkovej radiačnej bilancie zemského povrchu. Projekt Country Study Slovenskej republiky. [Záverečná správa.] Katedra meteorológie a klimatológie MFF UK Bratislava , 1996 (nepublikované)
- [5] HRVOL, J., TOMLAIN, J., 1990: Globalstrahlung auf verschieden orientierte geneigte Flächen auf dem Territorium der SSR. Acta Meteorologica Universitatis Comenianae, Publ. XVIII, SPN, Bratislava, 72 s.
- [6] HRVOL, J., TOMLAIN, J., 1995: Dlhodobé kolísanie vybraných meteorologických charakteristík v Hurbanove. Zborník prác z Bioklimatologických pracovných dní 1994, SBkS SAV, Bratislava, s. 7-9.
- [7] JOSEPH, D., 1993: Climate Model Output Data. Format Gridded Fields. NCAR, SCD, Data Support Section
- [8] KOLEKTÍV AUTOROV, 1991: Zborník prác SHMÚ, zv. 33/I, Klimatické pomery na Slovensku. Alfa, Bratislava, 240 s.
- [9] LAPIN, M., NIEPLOVÁ, E., FAŠKO, P., 1995: Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. Národný klimatický program Slovenskej republiky, zväzok 3, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava, s. 19-57.
- [10] LAPIN, M., FAŠKO, P., 1996: Regionálne inkrementálne scenáre zmien klimatických charakteristík na Slovensku. Vybrané výsledky scenárov relatívnej vlhkosti vzduchu a snehovej pokrývky. Pracovné podklady N° 8. Slovak Republics Country Study. Element 2, SHMÚ, Bratislava
- [11] MELO, M., 1996: The Effect of Doubling Concentration on the Global Solar Radiation on the Territory of Slovakia. European Conference on Applied Climatology. Abstract Volume. SMHI Norrköping, Sweden.
- [12] TOMLAIN, J., HRVOL, J., 1991: Rozloženie globálneho žiarenia na území Slovenskej republiky za obdobie 1951-1980. Meteorologické zprávy, roč. 44, č.1, ČHMÚ, Praha, s. 18-22.
- [13] TOMLAIN, J. and HRVOL, J., 1992: Distribution of total balance of active surface radiation on the territory of Slovakia during the period 1951-1980. Acta Meteorologica Universitatis Comenianae, Vol. XXI, Vydavateľstvo UK, Bratislava, p. 17-32.
- [14] TOMLAIN, J., 1996: Modelové výpočty dôsledkov zmeny klímy na zmeny potenciálnej a skutočnej evapotranspirácie na Slovensku. Projekt Country Study Slovenskej republiky, Katedra meteorológie a klimatológie MFF UK, Bratislava.

ZOZNAM TABULIEK

- Tab. 1 Podiel priemernej hustoty toku globálneho žiarenia pre stav $2\times\text{CO}_2$ a $1\times\text{CO}_2$ v uzlových bodoch GCMs CCCM, GISS a GFD3 a ich interpolované hodnoty pre $\varphi = 48,65^\circ$ v percentách, ako aj zodpovedajúce zmeny oblačnosti ΔN v desatinách pokrytia oblohy v časovom horizonte roku 2075
- Tab. 2 Mesačné a ročné sumy globálneho žiarenia [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$] na stanici Hurbanovo za obdobie 1951-1980 (priemer) a v časových horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075 vypočítané podľa GCMs CCCM, GISS a GFD3
- Tab. 3 Mesačné a ročné sumy globálneho žiarenia [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$] na stanici Košice za obdobie 1951-1980 (priemer) a v časových horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075 vypočítané podľa GCMs CCCM, GISS a GFD3
- Tab. 4 Mesačné a ročné sumy globálneho žiarenia [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$] na stanici Liptovský Hrádok za obdobie 1951-1980 (priemer) a v časových horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075 vypočítané podľa GCMs CCCM, GISS a GFD3
- Tab. 5 Mesačné a ročné sumy globálneho žiarenia [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$] na stanici Štrbské Pleso za obdobie 1951-1980 (priemer) a v časových horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075 vypočítané podľa GCMs CCCM, GISS a GFD3
- Tab. 6 Mesačné a ročné sumy bilancie krátkovlnného (B_S), dlhovlnného žiarenia (B_L) a celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu (B) [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$] na stanici Hurbanovo za obdobie 1951-1980 (priemer) a v časových horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075 vypočítané podľa GCMs CCCM, GISS a GFD3
- Tab. 7 Mesačné a ročné sumy bilancie krátkovlnného (B_S), dlhovlnného žiarenia (B_L) a celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu (B) [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$] na stanici Košice za obdobie 1951-1980 (priemer) a v časových horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075 vypočítané podľa GCMs CCCM, GISS a GFD3
- Tab. 8 Mesačné a ročné sumy bilancie krátkovlnného (B_S), dlhovlnného žiarenia (B_L) a celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu (B) [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$] na stanici Liptovský Hrádok za obdobie 1951-1980 (priemer) a v časových horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075 vypočítané podľa GCMs CCCM, GISS a GFD3
- Tab. 9 Mesačné a ročné sumy bilancie krátkovlnného (B_S), dlhovlnného žiarenia (B_L) a celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu (B) [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$] na stanici Štrbské Pleso za obdobie 1951-1980 (priemer) a v časových horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075 vypočítané podľa GCMs CCCM, GISS a GFD3

Table 1 Ratio of mean global radiation flux density for state 2xCO₂ and 1xCO₂ in grid points of the GCMs CCCM, GISS, and GFD3 and their interpolated values for latitude 48,65° in percentages, as well as corresponding cloudiness change ΔN in tenths of sky cover in the time frame 2075

Latitude	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
CCCM												
50,10°	91	94	103	96	102	98	107	104	106	94	93	95
48,65°	92	98	101	98	106	101	106	103	104	95	94	95
46,39°	94	105	98	101	111	105	104	101	100	97	95	96
GISS												
50,87°	88	87	96	95	103	101	104	97	105	96	88	88
48,65°	93	91	97	97	102	100	102	98	105	97	93	92
43,04°	104	102	98	103	100	98	97	101	106	99	107	101
GFD3												
50,31°	100	84	102	97	109	126	114	104	101	82	78	79
48,65°	107	87	102	99	118	117	110	100	101	86	88	89
48,07°	109	88	102	100	121	114	109	98	101	88	91	93
ΔN (φ = 48,65°)												
CCCM	0,7	0,2	-0,1	0,2	-0,5	-0,1	-0,5	-0,2	-0,3	0,4	0,5	0,4
GISS	0,6	0,8	0,3	0,3	-0,2	0,0	-0,2	0,2	-0,5	0,2	0,6	0,7
GFD3	-0,6	1,2	-0,2	0,1	-1,7	-1,6	-0,9	0,0	-0,1	1,0	1,1	0,9

Table 2 Monthly and annual global solar radiation sums at the station Hurbanovo in kWh.m⁻² for the period 1951-1980 (average), and in the time frames 2010, 2030, and 2075 calculated according to the GCMs CCCM, GISS, and GFD3

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
	Long-term average (1951-1980)												
	33	56	94	140	171	180	180	160	121	73	36	26	1270
	2010												
CCCM	31	56	94	138	173	180	184	162	122	73	36	26	1275
GISS	31	55	93	138	172	180	183	158	123	73	36	24	1266
GFD3	34	53	95	140	178	188	185	160	121	71	35	24	1284
	2030												
CCCM	31	56	95	138	176	181	185	162	123	72	35	24	1278
GISS	31	53	92	136	172	180	183	158	124	73	35	24	1261
GFD3	34	52	95	138	185	194	188	160	122	70	34	24	1296
	2075												
CCCM	30	55	95	136	178	181	188	163	124	70	34	24	1278
GISS	30	51	91	135	173	180	184	157	127	72	34	23	1257
GFD3	35	49	95	138	198	208	195	160	122	65	31	22	1318

Table 3 Monthly and annual global solar radiation sums at the station Košice in kWh.m⁻² for the period 1951-1980 (average), and in the time frames 2010, 2030, and 2075 calculated according to the GCMs CCCM, GISS, and GFD3

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
	Long-term average (1951-1980)												
1202	29	52	92	133	160	173	170	149	116	71	34	23	
	2010												
CCCM	29	51	92	131	164	173	173	151	117	70	33	23	1207
GISS	29	50	91	131	162	173	171	148	119	70	33	22	1199
GFD3	30	50	93	133	169	183	174	149	116	69	33	22	1221
	2030												
CCCM	28	51	93	131	165	176	174	151	119	70	33	22	1213
GISS	28	50	91	130	162	173	171	148	120	70	33	22	1198
GFD3	30	49	93	131	174	187	178	149	117	67	30	21	1226
	2075												
CCCM	27	51	93	130	169	176	178	152	120	67	31	22	1216
GISS	27	48	90	129	164	173	173	147	122	70	30	21	1194
GFD3	31	45	94	131	188	201	185	149	117	63	28	20	1252

Table 4 Monthly and annual global solar radiation sums at the station Liptovský Hrádok in kWh.m⁻² for the period 1951-1980 (average), and in the time frames 2010, 2030, and 2075 calculated according to the GCMs CCCM, GISS, and GFD3

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
	Long-term average (1951-1980)												
	33	55	88	124	148	158	156	136	106	66	33	24	1127
	2010												
CCCM	31	55	88	122	151	158	159	137	107	66	31	23	1128
GISS	31	53	87	122	150	158	158	135	108	66	31	23	1122
GFD3	33	52	90	124	157	169	162	136	106	64	31	23	1147
	2030												
CCCM	30	55	90	122	154	160	162	137	108	65	31	23	1137
GISS	31	52	87	121	150	158	158	135	109	66	31	23	1121
GFD3	34	51	90	122	163	173	165	136	107	63	30	22	1156
	2075												
CCCM	29	53	90	121	157	160	165	140	109	63	30	23	1140
GISS	30	50	86	120	151	158	159	133	112	65	30	22	1116
GFD3	35	48	91	122	177	188	172	136	107	58	28	21	1183

Table 5 Monthly and annual global solar radiation sums at the station Štrbské Pleso in kWh.m⁻² for the period 1951-1980 (average), and in the time frames 2010, 2030, and 2075 calculated according to the GCMs CCCM, GISS, and GFD3

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
	Long-term average (1951-1980)												
	35	56	92	123	144	151	149	140	108	67	35	27	1127
	2010												
CCCM	34	56	92	122	148	151	152	141	109	66	34	27	1132
GISS	34	55	91	122	145	151	150	137	112	66	34	26	1123
GFD3	36	53	93	123	154	162	155	140	108	65	34	26	1149
	2030												
CCCM	33	56	93	122	150	154	155	141	112	66	34	26	1142
GISS	34	53	90	121	145	151	150	137	113	66	34	26	1120
GFD3	36	52	93	122	160	169	158	140	109	63	33	24	1159
	2075												
CCCM	31	55	93	121	154	154	158	143	113	64	33	26	1145
GISS	33	51	90	119	148	151	152	136	115	66	33	24	1118
GFD3	37	49	94	122	176	185	166	140	109	58	29	23	1188

Table 6 Monthly and annual sums of solar (B_s), longwave (B_L) and total radiation balance of the active surface (B) in kWh.m^{-2} at the station Hurbanovo for the period 1951-1980 (average), and in the time frames 2010, 2030, and 2075 calculated according to the GCMs CCCM, GISS, and GFD3

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
Long-term average (1951-1980)													
B_s	15	36	76	111	141	145	149	133	96	60	29	18	1009
B_L	25	29	41	46	53	55	62	63	52	42	28	26	522
B	-10	7	35	65	88	90	87	70	44	18	1	-8	487
2010													
CCCM B_s	15	36	77	110	144	145	152	134	98	60	29	18	1018
CCCM B_L	24	29	41	45	55	56	65	64	54	41	28	25	527
CCCM B	-9	7	36	65	89	89	87	70	44	19	1	-7	491
GISS B_s	21	35	76	110	142	145	151	130	99	60	29	17	1015
GISS B_L	26	28	40	45	53	54	63	60	53	41	28	24	515
GISS B	-5	7	36	65	89	91	88	70	46	19	1	-7	500
GFD3 B_s	17	35	78	111	147	150	153	133	96	58	28	17	1023
GFD3 B_L	26	29	41	45	56	57	65	63	52	40	27	24	525
GFD3 B	-9	6	37	66	91	93	88	70	44	18	1	-7	498
2030													
CCCM B_s	21	36	78	110	145	145	153	134	99	59	28	17	1025
CCCM B_L	26	29	41	45	55	56	66	64	54	41	28	24	529
CCCM B	-5	7	37	65	90	89	87	70	45	18	0	-7	496
GISS B_s	21	35	76	109	142	145	151	130	100	60	28	18	1015
GISS B_L	26	28	39	44	52	53	63	59	55	41	27	25	512
GISS B	-5	7	37	65	90	92	88	71	45	19	1	-7	503
GFD3 B_s	18	34	78	110	153	155	155	133	98	58	26	18	1036
GFD3 B_L	27	27	41	44	58	60	67	63	52	39	25	24	527
GFD3 B	-9	7	37	66	95	95	88	70	46	19	1	-6	509
2075													
CCCM B_s	21	41	78	109	147	145	155	134	100	58	26	18	1032
CCCM B_L	25	29	40	44	57	57	70	66	55	40	26	25	534
CCCM B	-4	12	38	65	90	88	85	68	45	18	0	-7	498
GISS B_s	24	39	75	108	144	145	152	129	101	59	26	19	1021
GISS B_L	25	27	36	40	53	57	63	58	54	40	24	24	501
GISS B	-1	12	39	68	91	88	89	71	47	19	2	-5	520
GFD3 B_s	24	37	78	110	164	166	161	133	98	53	25	18	1067
GFD3 B_L	29	26	39	40	63	69	73	63	51	35	23	23	534
GFD3 B	-5	11	39	70	101	97	88	70	47	18	2	-5	533

Table 7 Monthly and annual sums of solar (B_S), longwave (B_L) and total radiation balance of the active surface (B) in kWh.m^{-2} at the station Košice for the period 1951-1980 (average), and in the time frames 2010, 2030, and 2075 calculated according to the GCMs CCCM, GISS, and GFD3

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
Long-term average (1951-1980)													
B_S	12	25	65	106	133	139	140	123	93	58	23	12	929
B_L	23	25	38	45	50	49	52	51	47	39	25	22	466
B	-11	0	27	61	83	90	88	72	46	19	-2	-10	463
2010													
CCCM B_S	13	32	75	106	135	139	144	125	94	58	25	13	959
CCCM B_L	23	26	41	44	50	52	56	54	48	40	25	22	481
CCCM B	-10	6	34	62	85	87	88	71	46	18	0	-9	478
GISS B_S	14	31	74	106	134	139	141	122	95	58	25	15	954
GISS B_L	23	26	40	44	50	51	53	50	47	40	25	22	471
GISS B	-9	5	34	62	84	88	88	72	48	18	0	-7	483
GFD3 B_S	13	31	76	106	139	146	144	123	93	57	26	15	969
GFD3 B_L	24	25	41	43	52	55	56	51	47	38	25	22	479
GFD3 B	-11	6	35	63	87	91	88	72	46	19	1	-7	490
2030													
CCCM B_S	14	32	77	106	136	140	144	125	95	58	26	15	968
CCCM B_L	22	26	41	44	51	52	57	55	48	40	25	22	483
CCCM B	-8	6	36	62	85	88	87	70	47	18	1	-7	485
GISS B_S	14	32	75	104	134	139	141	122	95	58	26	15	955
GISS B_L	22	25	40	42	48	50	52	50	47	39	25	21	461
GISS B	-8	7	35	62	86	89	89	72	48	19	1	-6	494
GFD3 B_S	14	31	77	106	144	149	147	123	94	56	24	14	979
GFD3 B_L	24	25	41	43	54	56	58	52	47	38	24	22	484
GFD3 B	-10	6	36	63	90	93	89	71	47	18	0	-8	495
2075													
CCCM B_S	18	34	77	104	139	140	147	126	95	56	25	15	976
CCCM B_L	23	27	41	42	52	54	60	56	49	39	25	21	489
CCCM B	-5	7	36	62	87	86	87	70	46	17	0	-6	487
GISS B_S	19	36	74	103	135	139	144	121	98	58	24	18	969
GISS B_L	23	26	38	40	48	49	53	47	48	39	23	22	456
GISS B	-4	10	36	63	87	90	91	74	50	19	1	-4	513
GFD3 B_S	17	29	78	106	155	161	153	123	94	52	22	14	1004
GFD3 B_L	26	23	40	42	59	62	63	52	44	34	22	21	488
GFD3 B	-9	6	38	64	96	99	90	71	50	18	0	-7	516

Table 8 Monthly and annual sums of solar (B_S), longwave (B_L) and total radiation balance of the active surface (B) at the station Liptovský Hrádok in kWh.m^{-2} for the period 1951-1980 (average), and in the time frames 2010, 2030, and 2075 calculated according to the GCMs CCCM, GISS, and GFD3

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
Long-term average (1951-1980)													
B_S	12	18	60	99	122	126	129	113	85	55	22	11	852
B_L	24	23	35	42	45	42	45	46	42	37	25	23	429
B	-12	-5	25	57	77	84	84	67	43	18	-3	-12	423
2010													
CCCM B_S	12	22	62	96	125	126	132	114	86	55	22	11	863
CCCM B_L	23	25	37	39	46	42	48	47	42	38	24	22	433
CCCM B	-11	-3	25	57	79	84	84	67	44	17	-2	-11	430
GISS B_S	12	22	62	96	123	126	130	111	86	55	22	12	857
GISS B_L	24	25	36	39	44	41	45	45	42	37	23	23	424
GISS B	-12	-3	26	57	79	85	85	66	44	18	-1	-11	433
GFD3 B_S	12	21	63	100	129	134	134	113	85	53	22	11	877
GFD3 B_L	25	24	37	42	47	45	49	47	42	35	24	23	440
GFD3 B	-13	-3	26	58	82	89	85	66	43	18	-2	-12	437
2030													
CCCM B_S	12	23	63	98	127	129	134	114	86	53	22	12	873
CCCM B_L	23	25	36	40	47	43	48	47	44	37	24	23	437
CCCM B	-11	-2	27	58	80	86	86	67	42	16	-2	-11	436
GISS B_S	13	23	63	96	123	126	130	111	87	55	25	15	867
GISS B_L	24	25	35	40	44	41	45	44	43	37	24	22	424
GISS B	-11	-2	28	56	79	85	85	67	44	18	1	-7	443
GFD3 B_S	13	21	64	98	134	139	136	113	86	52	24	11	891
GFD3 B_L	25	24	36	41	49	48	50	47	41	34	23	21	439
GFD3 B	-12	-3	28	57	85	91	86	66	45	18	1	-10	452
2075													
CCCM B_S	13	32	74	96	129	129	136	115	87	52	24	15	902
CCCM B_L	22	27	39	40	47	44	50	49	44	36	24	22	444
CCCM B	-9	5	35	56	82	85	86	66	43	16	0	-7	458
GISS B_S	20	31	71	95	125	126	132	109	90	53	24	15	891
GISS B_L	25	25	36	36	43	43	47	43	44	36	22	22	422
GISS B	-5	6	35	59	82	83	85	66	46	17	2	-7	469
GFD3 B_S	14	29	75	98	146	150	142	113	86	49	22	14	938
GFD3 B_L	26	23	39	38	52	54	55	48	42	32	22	21	452
GFD3 B	-12	6	36	60	94	96	87	65	44	17	0	-7	486

Table 9 Monthly and annual sums of solar (B_S), longwave (B_L) and total radiation balance of the active surface (B) at the station Štrbské Pleso in kWh.m^{-2} for the period 1951-1980 (average), and in the time frames 2010, 2030, and 2075 calculated according to the GCMs CCCM, GISS, and GFD3

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
Long-term average (1951-1980)													
B_S	11	15	28	79	117	121	123	115	86	53	17	9	774
B_L	24	23	27	39	46	45	45	46	43	37	24	22	421
B	-13	-8	1	40	71	76	78	69	43	16	-7	-13	353
2010													
CCCM B_S	11	15	30	78	122	121	126	116	87	55	22	9	792
CCCM B_L	23	23	28	38	49	44	45	47	44	38	26	22	427
CCCM B	-12	-8	2	40	73	77	81	69	43	17	-4	-13	365
GISS B_S	11	16	30	79	120	121	123	114	90	55	22	9	790
GISS B_L	23	23	28	38	48	44	45	45	45	38	26	22	425
GISS B	-12	-7	2	41	72	77	78	69	45	17	-4	-13	365
GFD3 B_S	12	15	31	80	127	130	128	115	86	53	22	9	808
GFD3 B_L	24	22	29	38	50	48	46	47	42	36	26	22	430
GFD3 B	-12	-7	2	42	77	82	82	68	44	17	-4	-13	378
2030													
CCCM B_S	11	16	58	87	123	123	128	116	90	55	23	9	839
CCCM B_L	22	23	36	39	49	46	45	47	45	38	26	22	438
CCCM B	-11	-7	22	48	74	77	83	69	45	17	-3	-13	401
GISS B_S	11	15	56	86	120	121	123	114	91	55	23	11	826
GISS B_L	23	22	35	39	48	44	45	45	45	38	26	23	433
GISS B	-12	-7	21	47	72	77	78	69	46	17	-3	-12	393
GFD3 B_S	12	15	58	88	133	134	130	115	87	52	22	9	855
GFD3 B_L	25	22	36	40	53	48	46	46	43	35	25	22	441
GFD3 B	-13	-7	22	48	80	86	84	69	44	17	-3	-13	414
2075													
CCCM B_S	11	16	58	88	127	123	130	119	91	53	22	11	849
CCCM B_L	22	23	36	38	47	43	46	49	46	36	25	23	434
CCCM B	-11	-7	22	50	80	80	84	70	45	17	-3	-12	415
GISS B_S	20	29	57	87	122	121	126	113	92	55	26	15	863
GISS B_L	26	25	34	39	45	43	45	44	45	36	25	24	431
GISS B	-6	4	23	48	77	78	81	69	47	19	1	-9	432
GFD3 B_S	12	14	59	93	145	148	138	115	87	49	23	15	898
GFD3 B_L	26	20	36	40	55	52	51	47	42	32	24	23	448
GFD3 B	-14	-6	23	53	90	96	87	68	45	17	-1	-8	450

ZOZNAM OBRÁZKOV

- Obr. 1 Priemerné zmeny mesačných súm globálneho žiarenia v časovom horizonte roku 2075 ($2\times\text{CO}_2$) oproti stavu $1\times\text{CO}_2$ na území Slovenska interpolované na základe údajov GCM CCCM pre $\varphi = 48,65^\circ$ [%] (1) zhladené polynómom 4. stupňa (2)
- Obr. 2 Ročný chod odchýliek priemernej mesačnej oblačnosti ΔN na území Slovenska v časovom horizonte roku 2075 ($2\times\text{CO}_2$) od priemernej mesačnej oblačnosti za obdobie 1951-1980 podľa GCM CCCM (1) zhladené polynómom 4. stupňa (2) v desatinách pokrytia oblohy
- Obr. 3 Priemerné zmeny mesačných súm globálneho žiarenia v časovom horizonte roku 2075 ($2\times\text{CO}_2$) oproti stavu $1\times\text{CO}_2$ na území Slovenska interpolované na základe údajov GCM GISS pre $\varphi = 48,65^\circ$ [%] (1) zhladené polynómom 4. stupňa (2)
- Obr. 4 Ročný chod odchýliek priemernej mesačnej oblačnosti ΔN na území Slovenska v časovom horizonte roku 2075 ($2\times\text{CO}_2$) od priemernej mesačnej oblačnosti za obdobie 1951-1980 podľa GCM GISS (1) zhladené polynómom 4. stupňa (2) v desatinách pokrytia oblohy
- Obr. 5 Priemerné zmeny mesačných súm globálneho žiarenia v časovom horizonte roku 2075 ($2\times\text{CO}_2$) oproti stavu $1\times\text{CO}_2$ na území Slovenska interpolované na základe údajov GCM GFD3 pre $\varphi = 48,65^\circ$ [%] (1) zhladené polynómom 4. stupňa (2)
- Obr. 6 Ročný chod odchýliek priemernej mesačnej oblačnosti ΔN na území Slovenska v časovom horizonte roku 2075 ($2\times\text{CO}_2$) od priemernej mesačnej oblačnosti za obdobie 1951-1980 podľa GCM GFD3 (1) zhladené polynómom 4. stupňa (2) v desatinách pokrytia oblohy
- Obr. 7 Dlhodobý chod ročných súm globálneho žiarenia (G) a celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu (B) na stanici Hurbanovo za obdobie 1921-1990

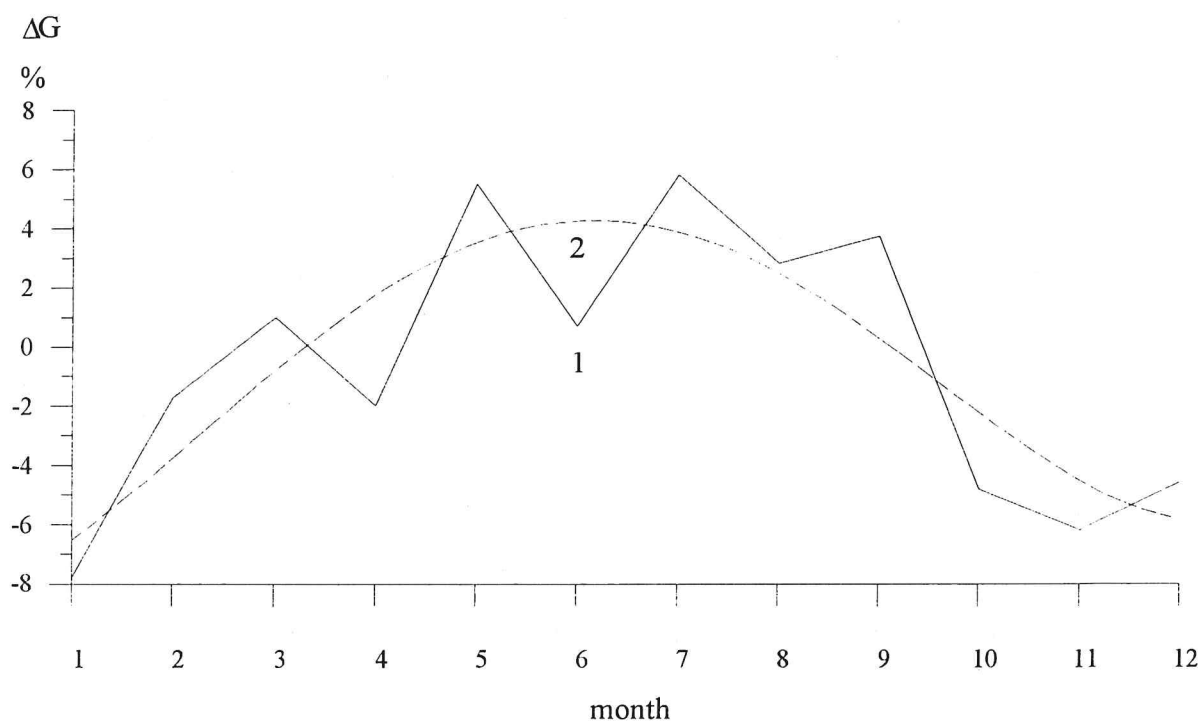


Fig. 1 Mean monthly global radiation sums change in the time frame 2075 ($2\times\text{CO}_2$) from state $1\times\text{CO}_2$ on the territory of Slovakia, interpolated on the basis of the GCM CCCM data for latitude $\varphi = 48,65^\circ$ in percentages (1), and smoothed by polynomial of the 4th order (2)

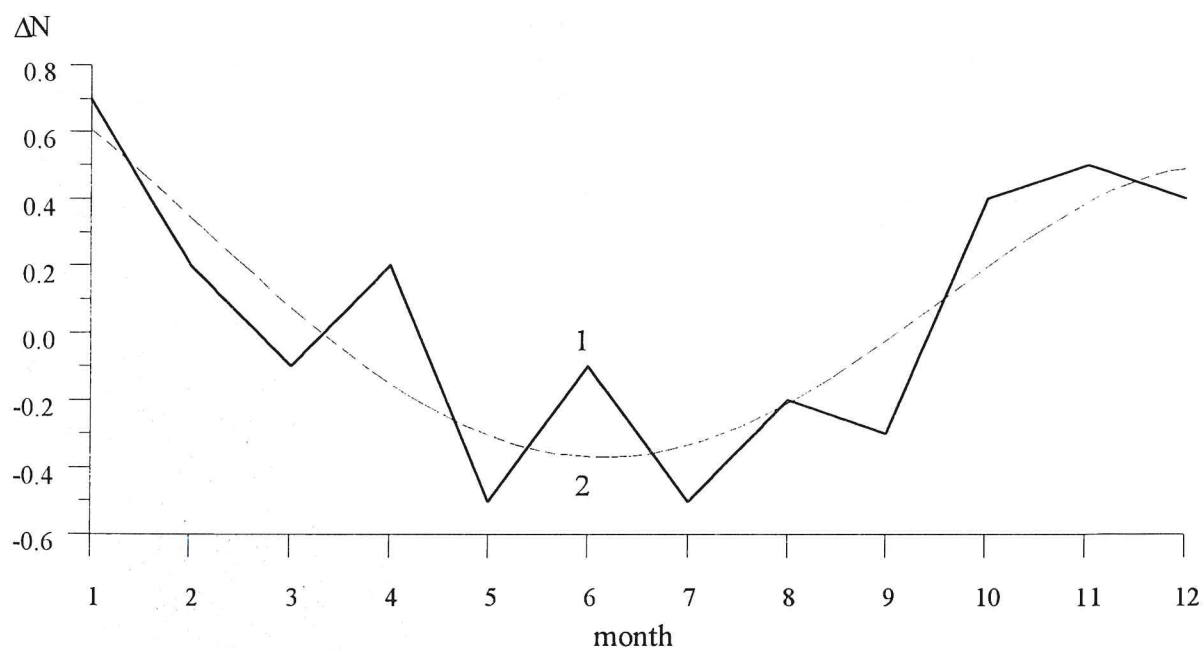


Fig. 2 Yearly course of mean monthly cloudiness deviations ΔN on the territory of Slovakia in the time frame 2075 ($2\times\text{CO}_2$) from mean monthly cloudiness for the period 1951- 1980, calculated according to the GCM CCCM (1), and smoothed by polynomial of the 4th order (2) in tenths of sky cover

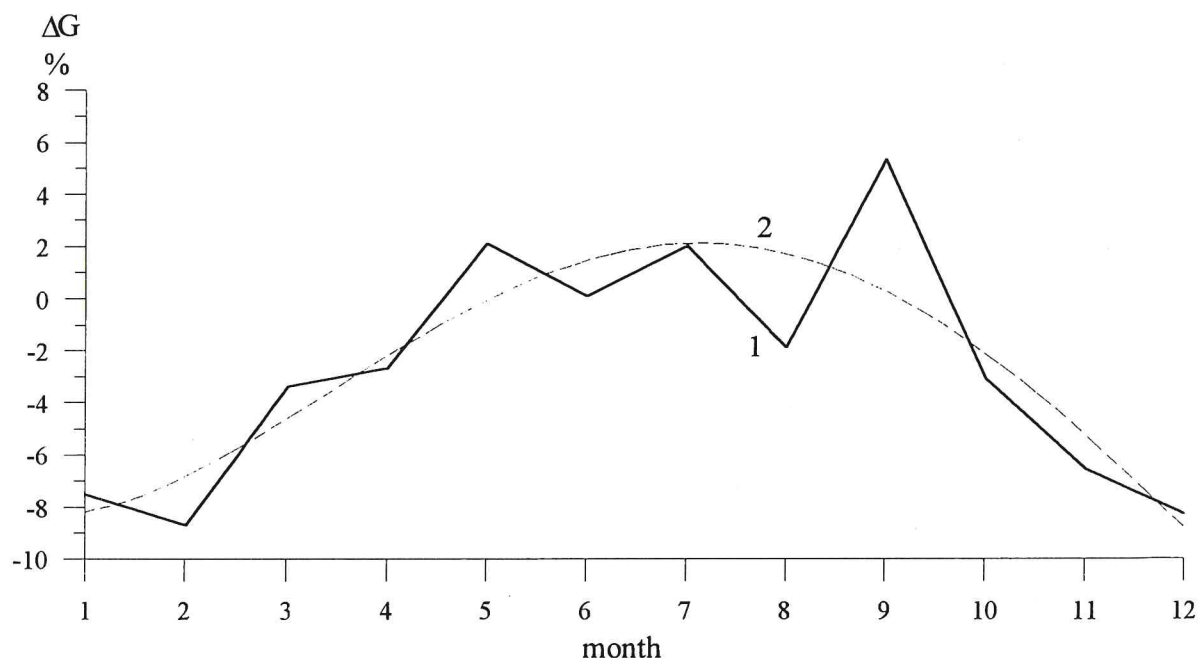


Fig. 3 Mean monthly global radiation sums change in the time frame 2075 ($2\times\text{CO}_2$) from state $1\times\text{CO}_2$ on the territory of Slovakia, interpolated on the basis of the GCM GISS data for latitude $\varphi = 48,65^\circ$ in percentages (1), and smoothed by polynomial of the 4th order (2)

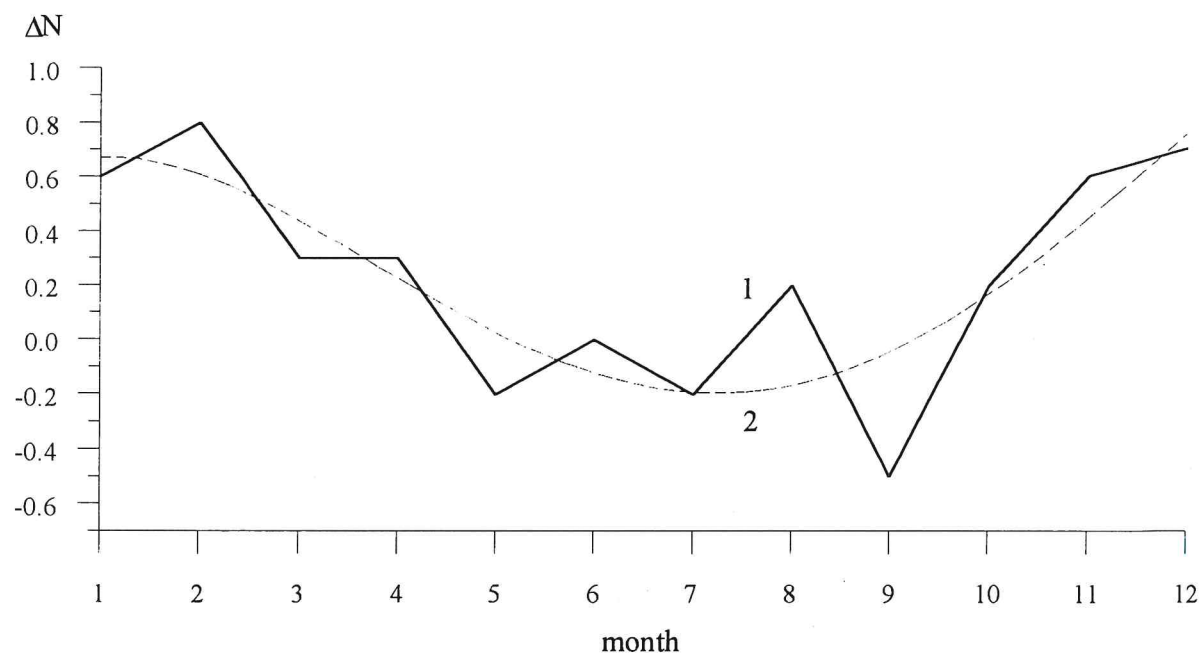


Fig. 4 Yearly course of mean monthly cloudiness deviations ΔN on the territory of Slovakia in the time frame 2075 ($2\times\text{CO}_2$) from the mean monthly cloudiness for the period 1951-1980, calculated according to the GCM GISS (1), and smoothed by polynomial of the 4th order (2) in tenths of sky cover

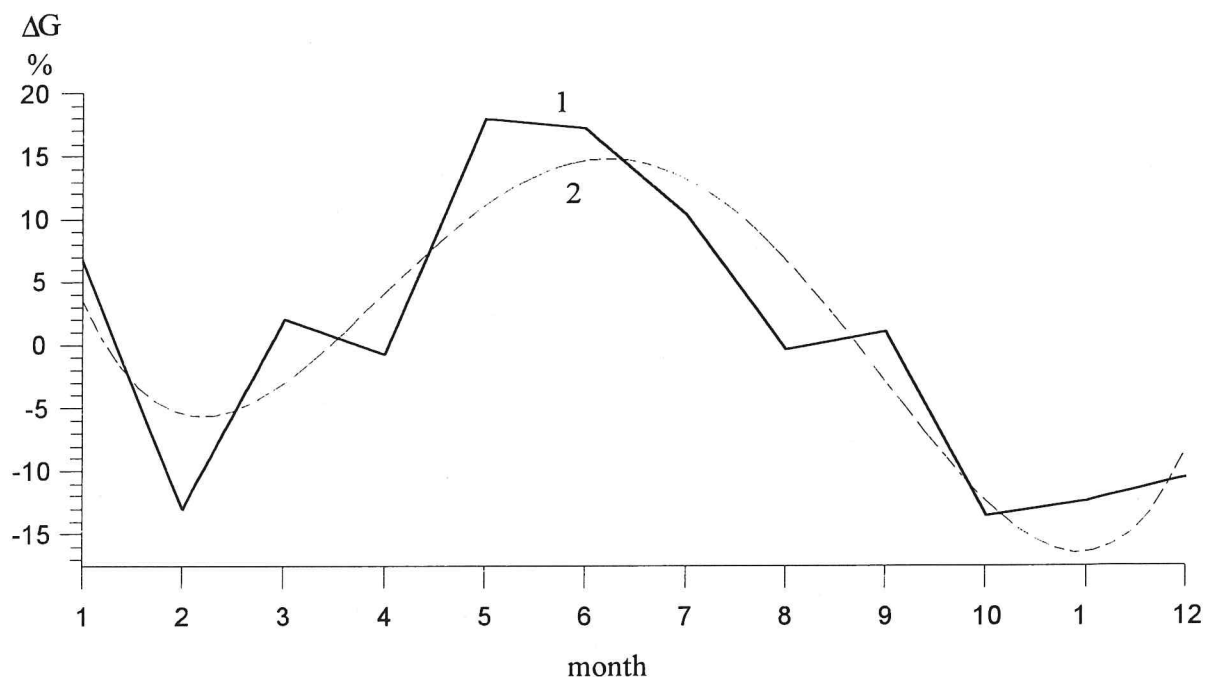


Fig. 5 Mean monthly global radiation sums change in the time frame 2075 ($2\times\text{CO}_2$) from state $1\times\text{CO}_2$ on the territory of Slovakia, interpolated on the basis of the GCM GFD3 data for latitude $\varphi = 48,65^\circ$ in percentages (1), and smoothed by polynomial of the 4th order (2)

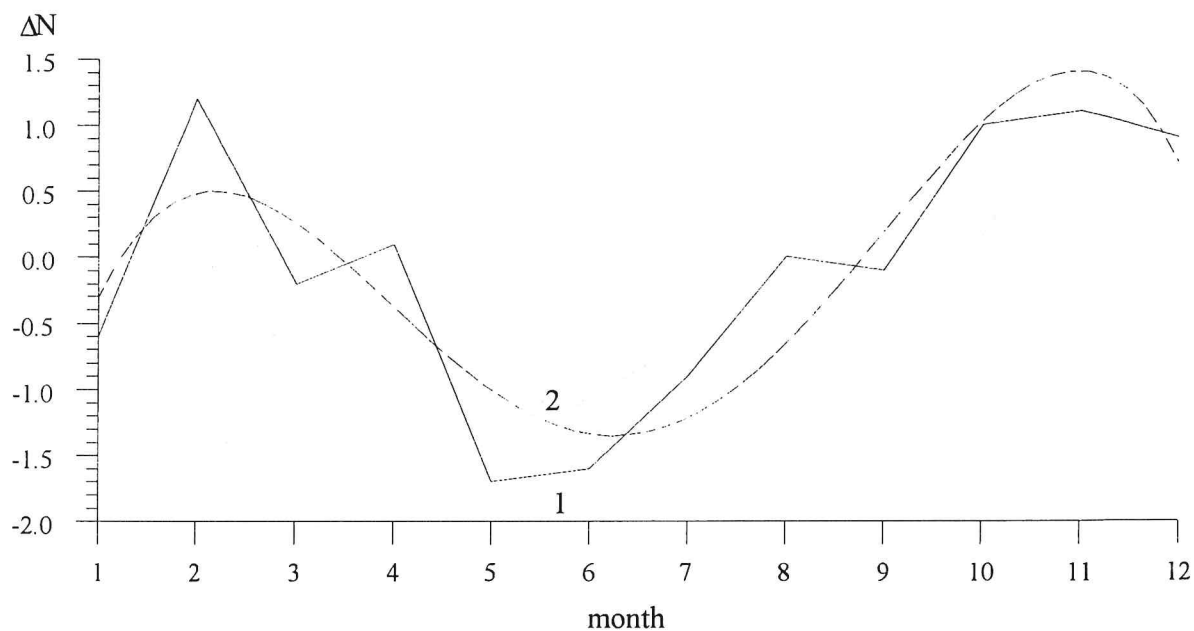


Fig. 6 Yearly course of mean monthly cloudiness deviations ΔN on the territory of Slovakia in the time frame 2075 ($2\times\text{CO}_2$) from mean monthly cloudiness for the period 1951 - 1980, calculated according to the GCM GFD3 (1), and smoothed by polynomial of the 4th order (2) in tenths of sky cover

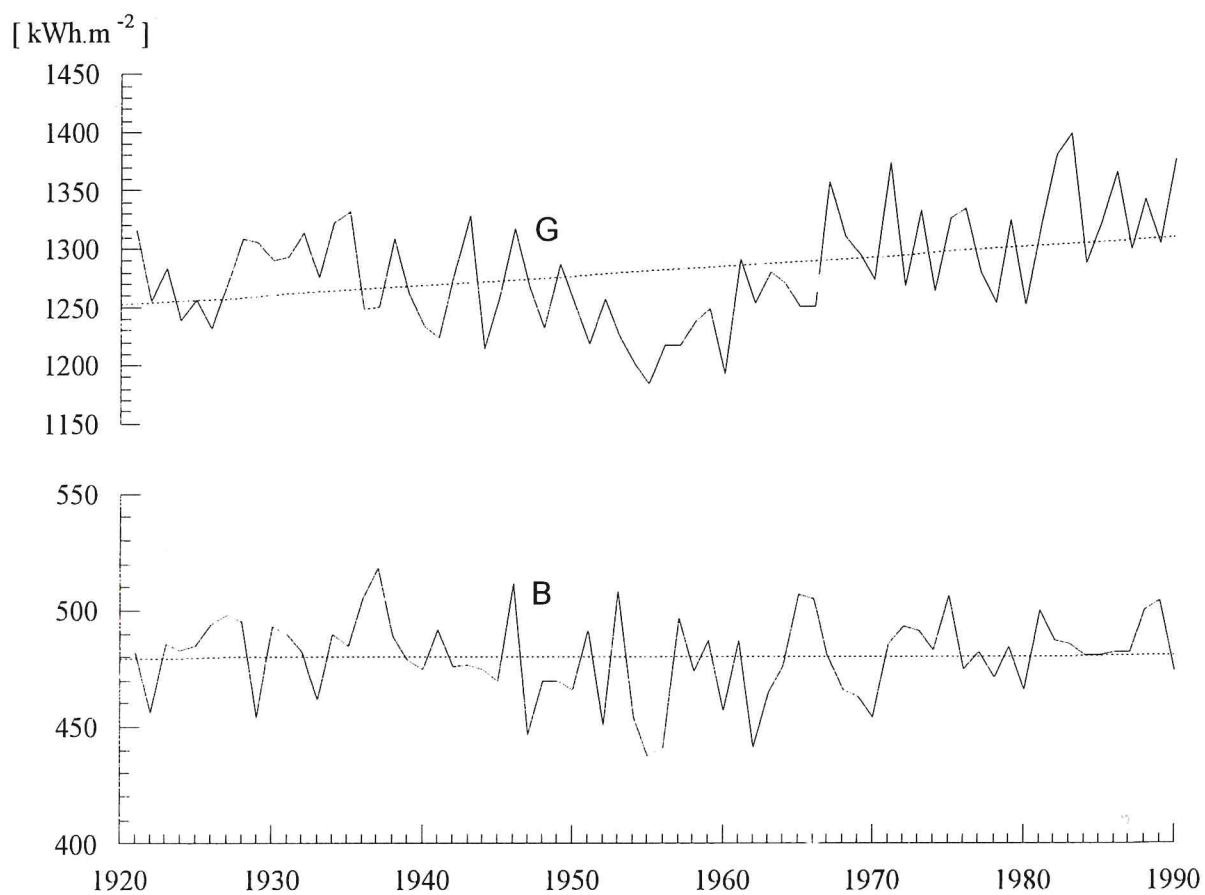


Fig. 7 Long-term annual sums course of global radiation (G) and total radiation balance of the active surface (B) at the station Hurbanovo for the period 1921-1990

MODEL COMPUTATION OF THE EXPECTED WARMING IMPACTS ON CHANGES OF THE TOTAL RADIATION BALANCE OF THE ACTIVE SURFACE AND ITS COMPONENTS ON THE TERRITORY OF SLOVAKIA

Ján Hrvol'

Faculty of Mathematics and Physics, Comenius University, Bratislava

SUMMARY

The results of computation and analysis of monthly and annual sums of global solar radiation and total radiation balance of the active surface in the time frames 2010, 2030, and 2075 worked out on the basis outputs of the GCMs CCCM, GISS, and GFD3 are presented in this study. The global radiation and total radiation balance of the active surface for 4 chosen meteorological stations on the territory of Slovakia were computed. For determination of global radiation, the formula of the linear regression dependence on cloudiness was used. Input parameters of this formula - monthly averages of cloudiness - were estimated by an addition of the cloudiness mean change due to the change of global circulation of atmosphere, and monthly averages of cloudiness at the station for the period 1951-1980.

From the above mentioned follows, that in months with an increased cloudiness, in comparison with the long-term average, according to all three models, in February, April and October to December, the monthly sums of global radiation will be decreased, in May, July and September, on the contrary, increased. Annual sums in the time frame 2075, according to the GCMs CCCM, and GFD3 will be increased - according to the CCCM in average by 1.1%, and according to the model GFD3 by 4.5%. Model GISS gives decrease of the annual global radiation sums to the time frame 2075 by 0.9%.

Monthly and annual sums of the total radiation balance of the active surface were estimated by using of the model for computation of the active surface energy balance components, worked out at the Faculty of Mathematics and Physics of Comenius University in Bratislava. Input parameters of the model - monthly averages of air temperature, water vapour pressure, cloudiness, monthly precipitation totals and number of days with the snow cover were determined for each GCM, and time frame on the basis data of the regional modified outputs of these models. The annual sums of total radiation balance of active surface are increasing, in respect to all three time frames. The greatest increase in the time frame 2075 was calculated for the GFD3 model - 13.7% in average, the least for the CCCM - 7.8%. The model GISS gives increase by 10.5%. In the annual course of total radiation balance of the active surface in the time frame 2075, the same character of tendency - the monthly sums increase was observed at all stations in February, May and December. The increase of cloudiness, and decrease of number of days with the snow cover are observed in December and February, which are the factors increasing monthly sums of the total active surface radiation balance in the cool half-year. Increase of sums in May is caused by decreasing of cloudiness in this month. If we take into account the character of long-term trends of global radiation and total radiation balance of the active surface on the territory of Slovakia, we can suppose that GCM CCCM describes the possible changes of the radiation conditions on this territory in the best way.

*NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY*

*NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC*

**MODELOVÉ VÝPOČTY DÔSLEDKOV
ZMENY KLÍMY NA ZMENY
POTENCIÁLNEJ A SKUTOČNEJ
EVAPOTRANSPIRÁCIE NA SLOVENSKU**

Riešiteľ:	Prof. RNDr. Ján Tomlain, DrSc., Katedra meteorológie a klimatológie, MFF UK, Bratislava
Projekt:	MŽP SR Výskum zmien kvality ovzdušia, klimatické zmeny a narušovanie ochranných vlastností atmosféry - NKP SR
Zadávatel':	Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava
Lektor:	RNDr. Milan Lapin, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

MODELOVÉ VÝPOČTY DÔSLEDKOV ZMENY KLÍMY NA ZMENY POTENCIÁLNEJ A SKUTOČNEJ EVAPOTRANSPIRÁCIE NA SLOVENSKU

Ján Tomlain

Katedra meteorológie a klimatológie, Matematicko-fyzikálna fakulta UK, Bratislava

ÚVOD

Informácie o priestorovom a časovom rozložení atmosférických zrážok, odtoku a výparu z povrchu pôdy a rastlín (evapotranspirácie) sú dôležitými vstupnými údajmi pre riešenie celého radu teoretických i praktických otázok poľnohospodárstva, lesného a vodného hospodárstva, energetiky, tvorby a ochrany životného a prírodného prostredia a pod. Naša odborná literatúra obsahuje pomerne veľký počet prác venovaných štúdiu zrážkových a odtokových pomerov na území Slovenska, čo súvisí s dobre vybudovanou sieťou zrážkomerných a vodomerných staníc. Merania evapotranspirácie sa však na území SR robia len na veľmi malom počte meteorologických a hydrologických staníc, čo neumožňuje získať spoľahlivé informácie o priestorovom a časovom rozložení tejto základnej zložky rovnice vodnej bilancie pre väčšie územné celky. Nedostatok priamych meraní vedie k stanoveniu evapotranspirácie pomocou empirických a poloempirických vzťahov, určujúcich spojitosť evapotranspirácie s meteorologickými prvkami pravidelne meranými na meteorologických staniciach.

METODIKA

Evapotranspirácia závisí od celého radu činiteľov, z ktorých najdôležitejšími sú: celková bilancia žiarenia, vlhkosť pôdy a turbulentný stav atmosféry. Celková bilancia žiarenia (rozdiel medzi globálnym žiarením pohlteným vyparujúcim povrchom a bilanciou dlhovlnného žiarenia) je určovaná výškou Slnka nad horizontom, dĺžkou dňa, zemepisnou šírkou, nadmorskou výškou, priepustnosťou atmosféry, stupňom pokrytia oblohy oblakmi, albedom povrchu, obsahom vodnej pary v atmosfére a teplotou vzduchu a povrchu pôdy. Rozloženie vlhkosti pôdy v priebehu roka závisí predovšetkým od ročného chodu atmosférických zrážok. Turbulentný tok vodnej pary od povrchu do atmosféry je určený jej vertikálnym gradientom a štruktúrou poľa vetra nad vyparujúcim sa povrchom.

Energetické možnosti vyparujúceho povrchu udáva rovnica energetickej bilancie pre daný povrch

$$B = \lambda E + H + Q \quad (1)$$

a zásoby vody v pôde rovnica vodnej bilancie

$$P = E + O + (W_2 - W_1), \quad (2)$$

kde

B - celková bilancia žiarenia, E - evapotranspirácia, λ - merné skupenské teplo vyparovania ($\lambda = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$), H - turbulentný tok tepla medzi povrchom a atmosférou, Q - tok tepla v pôde, P - atmosférické zrážky, O - odtok, $W_2 - W_1$ zmena vlhkosti pôdy (W_1 - vlhkosť pôdy na začiatku a W_2 na konci uvažovaného časového intervalu).

Pre výpočet evapotranspirácie sme aplikovali matematický model rozpracovaný Katedrou mete-

orológie a klimatológie Matematicko-fyzikálnej fakulty UK v Bratislave, ktorý vychádza z metódy navrhutej M. I. BUDYKOM a L. I. ZUBENOKOVOU [2]. Model vychádza zo spoločného riešenia rovníc energetickej a vodnej bilancie povrchu, ako aj experimentálne zistenej závislosti intenzity evapotranspirácie od vlhkosti pôdy. Ak pôda je dostatočne vlhká a v zime pri snehovej pokrývke evapotranspirácia závisí len od vonkajších meteorologických činiteľov a rovná sa potenciálnej evapotranspirácii (maximálne možnej evapotranspirácii pri daných meteorologických podmienkach z dostatočne vlhkej povrchovej vrstvy pôdy - E_o). Pri vlhkosti menšej, ako je jej kritická hodnota (W_o), evapotranspirácia sa znižuje úmerne s poklesom vlhkosti pôdy ($\bar{W}$)

$$E = E_o \frac{\bar{W}}{W_o} \quad (3)$$

Úpravou rovnice turbulentného prenosu vodnej pary v atmosfére bol v modeli pre výpočet potenciálnej evapotranspirácie (E_o) aplikovaný vzťah

$$E_o = \rho D (q_s - q_2), \quad (4)$$

kde

ρ - hustota vzduchu, D - integrálny koeficient difúzie (v zime $D = 0,30 \text{ cm.s}^{-1}$ a v lete $D = 0,6$ až $0,7 \text{ cm.s}^{-1}$), q_s - merná vlhkosť vzduchu nasýteného vodnou parou pri teplote vyparujúceho povrchu, q_2 - merná vlhkosť vzduchu vo výške 2 m nad povrchom.

Priemernú vlhkosť pôdy $\bar{W} = \frac{W_1 + W_2}{2}$ určujeme z rovnice vodnej bilancie metódou postup-

ných priblížení. Správnosť postupu pri určovaní priemernej vlhkosti pôdy a evapotranspirácie za jednotlivé mesiace kontrolujeme rovnicou vodnej bilancie pre rok ($P = E + O$), (P - úhrn zrážok, O - odtok).

Hodnoty kritickej vlhkosti pôdy (W_o) pre najvyššiu jednometrovú vrstvu pôdy sa menia od 100 do 200 mm v závislosti od klimatických podmienok a ročného obdobia. V ročnom chode pozorujeme pokles W_o od jari k letu a jej rast na jeseň.

Popísaný model je veľmi dobre fyzikálne zdôvodnený. Vstupnými údajmi sú teplota a vlhkosť vzduchu, oblačnosť, počet dní so snehovou pokrývkou a atmosférické zrážky, čo sú meteorologické prvky pravidelne merané v sieti meteorologických staníc.

Testovanie modelu bolo robené s cieľom zhodnotiť presnosť výpočtu evapotranspirácie vzhľadom na možné chyby pri určovaní celkovej bilancie žiarenia, integrálneho koeficientu difúzie, kritickej vlhkosti pôdy a pri meraní zrážok. Zhodnotený bol tiež vplyv atmosférických zrážok zachytených vegetáciou na úhrny evapotranspirácie. Analýza výpočtu E_o vykonaná vzhľadom na možné chyby uvedených parametrov ukázala, že chyba v stanovení mesačných úhrnov E_o pre letné mesiace tvorí 7 až 10 % a pre celý rok 4 až 5 %. Rozdiely medzi priemernými ročnými úhrnmi evapotranspirácie určenými z rovnice vodnej bilancie (ročný úhrn zrážok - ročný odtok) a úhrnmi evapotranspirácie stanovenými aplikáciou navrhovaného modelu pre územie Slovenska a Čiech tvoria v priemere okolo 6 %. Väčšie rozdiely sme zistili len pre horské doliny a naše najsuchšie oblasti.

ANALÝZA VÝSLEDKOV A MOŽNOSTI ICH VYUŽITIA V PRAXI

Predkladaná štúdia uvádza výsledky modelového výpočtu mesačných a ročných úhrnov potenciálnej (E_o), skutočnej (E) evapotranspirácie a ich rozdielov ($E_o - E$) tak za referenčné obdobie

1951 - 1980, resp. 1951 - 1990, ako aj v časových horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075 na vybraných staniciach Slovenska, ktoré majú homogenizovaný pozorovací meteorologický materiál. Scenáre dlhodobých zmien teploty a vlhkosti vzduchu, oblačnosti, atmosférických zrážok a počtu dní so snehovou pokrývkou boli stanovené podľa modifikovaných scenárov zmien uvedených meteorologických prvkov pre územie Slovenska pre 3 varianty GCM ((Globálne modely všeobecnej cirkulácie atmosféry): CCCM (Canadian Climate Centre), GISS (Goddard Institute for Space Studies) a GFD3 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory [3], [7], [8]).

Obr. 1 až obr. 4 prinášajú dlhodobý chod ročných úhrnov E_o , E a (E_o-E) v klimaticky rozdielnych podmienkach SR. (Hurbanovo - nížina južného Slovenska, Liptovský Hrádok - kotlinová poloha severného Slovenska, Košice - kotlinová poloha východného Slovenska, Štrbské Pleso - horská stanica).

Analýza dlhodobých zmien ročných úhrnov E_o , E , (E_o-E) a atmosférických zrážok na 35 staniciach SR [12, 15] ukázala, že za obdobie 1951 - 1990 v južnej polovici Slovenska bol zaznamenaný rastúci trend úhrnov potenciálnej evapotranspirácie a pokles skutočnej evapotranspirácie, čoho dôsledkom je zväčšovanie deficitu vlhkosti pôdy (E_o-E) . Rast úhrnov potenciálnej evapotranspirácie je spôsobený zväčšovaním energetických možností evapotranspirácie (rast teploty vzduchu, sytostného doplnku a celkovej bilancie žiarenia). Klesajúci trend skutočnej evapotranspirácie zodpovedá postupnému znižovaniu úhrnov atmosférických zrážok. V severnej polovici Slovenska prevládala rastúci trend atmosférických zrážok a slabý pokles úhrnov potenciálnej evapotranspirácie, ako aj deficitu evapotranspirácie. V horách, kde pozorujeme dostatok zrážok počas roka, rast teploty vzduchu, pokles relatívnej vlhkosti vzduchu a znižovanie počtu dní so snehovou pokrývkou sa odrazil v raste E_o i E bez výraznejšej zmeny vlhkostných pomerov pôdy.

Priestorové rozloženie priemerných ročných úhrnov potenciálnej a skutočnej evapotranspirácie na území Slovenska za obdobie 1951 - 1980 prinášajú obr. 5 a obr. 6. V priemere najväčšie ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie (nad 700 mm) pripadajú na Podunajskú nížinu a južné Slovensko. V Košickej kotline a na Východoslovenskej nížine sa pri optimálnych vlhkostných podmienkach pôdy môže za rok vypariť viac ako 650 mm. Hory dostávajú v priemere za rok najmenej radiačného tepla, a preto energetické možnosti evapotranspirácie sú tu najmenšie. V najvyšších polohách Tatier priemerné ročné úhrny E_o klesajú pod 300 mm (obr. 5). Ročný chod potenciálnej evapotranspirácie je charakterizovaný výskytom maxima v júli. V zime, kedy celková radiačná bilancia je záporná, priemerné mesačné úhrny E_o dosahujú len niekoľko mm.

Vertikálna zmena skutočnej evapotranspirácie (E) má odlišný charakter ako v prípade E_o . Rastom zrážok pri dostatočných energetických možnostiach evapotranspirácia s výškou vzrastá po určitú hranicu a potom, v dôsledku nedostatku energie (pribúdanie oblačnosti, počtu dní so snehovou pokrývkou a relatívnej vlhkosti vzduchu, ubúdanie teploty vzduchu a povrchu pôdy) E s nadmorskou výškou klesá, pričom tento pokles je tým intenzívnejší, čím ide o väčšiu nadmorskú výšku. Na južných svahoch Vysokých Tatier vertikálny gradient evapotranspirácie za rok mení svoje znamienko v nadmorskej výške okolo 900 m. V priemere najmenšie ročné úhrny E (pod 300 mm) sa vyskytujú v najvyšších polohách Vysokých a Nízkyh Tatier, kde tvoria len 20 až 30 % ročných úhrnov zrážok (obr. 6). V horách pozorujeme dostatok zrážok počas celého roka, a preto evapotranspirácia je tu limitovaná predovšetkým celkovou bilanciou žiarenia. Znižovaním nadmorskej výšky rastú teplota vzduchu a sumy celkovej bilancie žiarenia. Pri dostatku vody v pôde sa úhrny evapotranspirácie zväčšujú. Maximálne úhrny (nad 500 mm) dosahuje E v predhoriach, kde tvoria 60 až 75 % ročných úhrnov zrážok. V našich najteplejších oblastiach je evapotranspirácia limitovaná zásobami vody v pôde a ročné úhrny E na Podunajskej nížine a Východoslovenskej nížine dosahujú 450 až 460 mm. V našich najsuchších oblastiach (Podunajská nížina, Záhorská nížina a južná časť Východoslovenskej nížiny) sa v

priemere za rok vyparí vyše 80 % spadnutých zrážok. V dôsledku menších zásob pôdnej vlhkosti v lete maximum evapotranspirácie na Podunajskej nížine pozorujeme v máji. Na ostatných staniciach v súlade s letným maximum zrážok najväčšie úhrny E pripadajú na jún. V chladných a vlhkých oblastiach SR maximum E pozorujeme v júli. Modelové výpočty E_0 , E a $(E_0 - E)$ k horizontom rokov 2010, 2030 a 2075 s udaním vstupných modelových parametrov podľa scenárov modelov CCCM, GISS a GFD3 na vybraných lokalitách Slovenska prinášajú tab. 1 až tab. 4.

Z hľadiska zrážkového režimu môžeme na Slovensku rozlíšiť dve oblasti. Severné Slovensko je viac ovplyvňované západným zonálnym prúdením, zatiaľ čo zostávajúca časť územia južnou meridionálnou cirkuláciou. Zvláštnym klimatickým režimom sa vyznačujú aj naše horské oblasti. Preto pri návrhu scenárov zmien E_0 a E sme zohľadnili tieto skutočnosti vytvorením 3 skupín meteorologických staníc s približne podobným klimatickým režimom. Do skupiny "Juh" sme zaradili stanice: Bratislava, letisko, Hurbanovo, Boľkovce (o. Lučenec), Somotor a Michalovce. Do skupiny "Sever" boli zaradené stanice: Čadca, Oravská Lesná, Liptovský Hrádok, Poprad a Červený Kláštor. Do skupiny "Hory" patria stanice s nadmorskou výškou nad 900 m: Podbanské, Štrbské Pleso, Ždiar-Javorina a Telgárt. Scenáre zmien priemerných mesačných a ročných úhrnov potenciálnej a skutočnej evapotranspirácie prinášajú tab. 5 a tab. 6. Zatiaľ zostala otvorenou otázka používania scenárov zmien E_0 a E v prechodnom pásme medzi severom a juhom Slovenska, ktoré je nehomogénne.

Z tab. 5 vidíme, že ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie podľa scenárov všetkých troch modelov budú sa postupne zväčšovať, pričom najintenzívnejší rast pripadá na scenáre modelu GFD3, čo je v súlade s predpokladaným najväčším rastom teploty vzduchu v mesiacoch apríl až október podľa tohto modelu. Scenáre modelov CCCM a GISS sa len málo líšia v prírastkoch E_0 . Ročné úhrny E_0 k roku 2075 v porovnaní s priemerom za obdobie 1951 - 1980 vzrastú podľa scenára modelu CCCM na juhu Slovenska o 18 %, na severe o 21 % a v horách o 26 %. Tento prírastok podľa scenára modelu GISS bude predstavovať na juhu Slovenska 17 %, na severe 21 % a v horách 27 %. Podľa scenárov modelu GFD3 rozdiel v ročných úhrnoch E_0 medzi priemerom za roky 1951 až 1980 a modelovým výpočtom k roku 2075 dosiahne na juhu Slovenska 27 %, na severe 32 % a v horách až 39 %. V horách sa predpokladá výraznejší rast E_0 začiatkom jari a koncom jesene, kedy sa očakáva rýchly pokles počtu dní so snehovou pokrývkou v dôsledku postupného otepľovania.

Skutočná evapotranspirácia, okrem energetických činiteľov veľmi silne závisí od množstva zrážok a ich rozloženia počas roka. Podľa scenárov všetkých troch modelov ročné úhrny skutočnej evapotranspirácie sa budú postupne zväčšovať na celom našom území. Scenáre modelu CCCM predpokladajú rast ročných úhrnov E k roku 2075 v porovnaní s obdobím 1951 - 1980 na juhu Slovenska o 3 %, na severe o 9 % a v horách o 18 %. Podľa scenára modelu GISS rast ročných úhrnov evapotranspirácie k roku 2075 bude v nižších polohách Slovenska predstavovať 16 % a v horách 24 %. Podľa scenára modelu GFD3 ročné úhrny E vzrastú k roku 2075 v porovnaní s úhrnmi za referenčné obdobie na južnom Slovensku o 13 %, na severnom Slovensku o 17 % a v horách o 29 %. Podobný obraz zmeny evapotranspirácie dostaneme aj pre vegetačné obdobie (Σ IV - IX) s výnimkou scenára modelu CCCM pre južné Slovensko, kde sa úhrny evapotranspirácie postupne znižujú a k roku 2075 ich pokles predstavuje 3 % v porovnaní s obdobím 1951 - 1980. Je to v súlade so scenárom zmien zrážkových úhrnov, ktorý predpokladá postupné znižovanie zrážkových úhrnov od mája do septembra. Za mesiace jún až september úhrny skutočnej evapotranspirácie k roku 2075 v porovnaní s referenčným obdobím klesnú až o 9 %. Scenáre zmien priemerných mesačných a ročných úhrnov skutočnej evapotranspirácie prináša tab. 6.

Produkcia poľných plodín pri dostatku tepla, svetla a modernej agrotechnike závisí predovšetkým od zásob vody v najvyššom horizonte pôdy. Efektívnosť zrážok, ktoré sú prirodzeným

zdrojom zásob vody v pôde, závisí tak od ich množstva a rozloženia počas roka, ako aj intenzity evapotranspirácie. Experimentálne bolo dokázané [1], že pri optimálnych podmienkach rastu poľných plodín skutočná evapotranspirácia (E) dosahuje maximálne možnú evapotranspiráciu (E_0) v daných klimatických podmienkach. Preto rozdiel medzi potenciálnou a skutočnou evapotranspiráciou ($E_0 - E$) môžeme použiť na ocenenie dlhodobých oscilácií zásob vody v pôde. Rozdiel ($E_0 - E$) charakterizuje deficit vody pre optimálny rast poľných plodín, t. j. udáva množstvo vody potrebnej na závlahy.

Výsledky výpočtu priemerných mesačných a ročných úhrnov ($E_0 - E$) za obdobie 1951 - 1980 a pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075 podľa scenárov modelov CCCM, GISS a GFD3 prináša tab. 7. Z tejto tabuľky vidíme, že priemerný úhrn ($E_0 - E$) za vegetačné obdobie (Σ IV-IX) referenčného obdobia dosiahol na južnom Slovensku 189 mm, na severe 27 mm a v horách len 8 mm. Podľa scenárov všetkých troch použitých modelov sa úhrny ($E_0 - E$) za vegetačné obdobie budú rastom teploty zväčšovať na celom našom území, pričom najväčší rast pripadá na južné Slovensko a model GFD3. Rast úhrnov ($E_0 - E$) za vegetačné obdobie bude na južnom Slovensku k roku 2075 v porovnaní s referenčným obdobím predstavovať podľa scenára modelu CCCM 103 mm, podľa modelu GISS 34 mm a podľa modelu GFD3 120 mm. Tento rast k roku 2075 na severe nášho územia bude predstavovať podľa modelu CCCM 52 mm, podľa modelu GISS 22 mm a podľa modelu GFD3 75 mm. V horských oblastiach úhrn ($E_0 - E$) za vegetačné obdobie k roku 2075 v porovnaní s obdobím 1951 - 1980 vzrastie podľa modelu CCCM o 24 mm, podľa modelu GISS o 10 mm a modelu GFD3 o 38 mm.

SÚHRN

Aplikáciou matematického modelu, ktorý bol rozpracovaný na Katedre meteorológie a klimatológie Matematicko-fyzikálnej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave, v predkladanej štúdiu uvádzame výsledky výpočtu potenciálnej (E_0) a skutočnej (E) evapotranspirácie a ich rozdielu ($E_0 - E$) za referenčné obdobie 1951 - 1980, ako aj v časových horizontoch 2010, 2030 a 2075 na vybraných meteorologických stanicích Slovenska. Scenáre dlhodobých zmien teploty a vlhkosti vzduchu, oblačnosti, atmosférických zrážok a počtu dní so snehovou pokrývkou sme stanovili v súlade s modifikovanými zmenami týchto meteorologických prvkov pre územie Slovenska pre 3 varianty GCM: CCCM, GISS a GFD3.

Na základe analýzy dlhodobých trendov ročných úhrnov E_0 , E , ($E_0 - E$) a atmosférických zrážok za obdobie 1951 - 1990 [15], ako aj modelových výpočtov podľa očakávaných zmien prvkov k časovým horizontom 2010, 2030 a 2075 podľa modelov CCCM, GISS a GFD3, môžeme urobiť tieto závery:

- Za obdobie rokov 1951 - 1990 v južnej polovici Slovenska bol zaznamenaný rastúci trend úhrnov potenciálnej evapotranspirácie a klesajúci trend zrážkových úhrnov. V severnej polovici Slovenska prevládala rastúci trend ročných úhrnov zrážok a slabý pokles úhrnov potenciálnej evapotranspirácie.
- Zvyšovanie teploty vzduchu a znižovanie úhrnov zrážok v teplom polroku (južné Slovensko) vedie k znižovaniu relatívnej vlhkosti vzduchu, čo sa odrazí v rastúcom trende sytostného doplnku a úhrnov potenciálnej evapotranspirácie. Znižovanie počtu dní so snehovou pokrývkou a oblačnosti v teplom polroku bude mať za následok rast celkovej bilancie žiarenia.
- V dôsledku uvedených tendencií na nížinách Slovenska sa očakáva klesajúci trend aktuálnej evapotranspirácie a rast deficitu vlhkosti pôdy. V horách, kde pozorujeme dostatok zrážok počas roka, rast teploty vzduchu, pokles relatívnej vlhkosti a znižovanie počtu dní so snehovou pokrývkou povedie k rastu úhrnov potenciálnej i skutočnej evapotranspirácie bez

výraznejšej zmeny vlhkostných pomerov pôdy.

- Analýza priestorového rozloženia ročných úhrnov potenciálnej evapotranspirácie ukázala, že táto zložka rovnice vodnej bilancie v dôsledku ubúdania energetických možností evapotranspirácie sa s nadmorskou výškou znižuje. Vertikálna zmena skutočnej evapotranspirácie má však odlišný charakter. Rastom úhrnov atmosférických zrážok pri dostatočných energetických možnostiach evapotranspirácia s nadmorskou výškou vzrastá po určitú hranicu a potom, v dôsledku nedostatku energie (pribúdanie oblačnosti, počtu dní so snehovou pokrývkou a relatívnej vlhkosti vzduchu, pokles teploty vzduchu a povrchu pôdy) E s nadmorskou výškou klesá.
- Ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie podľa scenárov všetkých troch modelov na celom našom území sa budú zväčšovať, pričom najintenzívnejší rast pripadá na scenáre modelu GFD3, čo je v súlade s predpokladaným najväčším rastom teploty vzduchu v mesiacoch apríl až október podľa tohto modelu. K roku 2075 bude ročný úhrn E_0 v Hurbanove (Podunajská nížina) podľa modelu CCCM predstavovať 842 mm, podľa modelu GISS 833 mm a podľa modelu GFD3 až 900 mm. Na Štrbskom Plese (hory) k roku 2075 sa očakávajú ročné úhrny E_0 podľa modelu CCCM 552 mm, podľa modelu GISS 561 mm a podľa modelu GFD3 615 mm.
- Podľa scenárov všetkých troch modelov sa budú postupne zväčšovať aj ročné úhrny skutočnej evapotranspirácie a k roku 2075 v porovnaní s obdobím 1951 - 1980 budú na juhu Slovenska väčšie podľa modelu CCCM o 3 %, podľa modelu GISS o 16 % a podľa modelu GFD3 o 13 %. Na horách tento prírastok bude podľa modelu CCCM 18 %, podľa modelu GISS 24 % a podľa modelu GFD3 29 %. Podobný obraz zmeny evapotranspirácie dostaneme aj pre vegetačné obdobie (Σ IV - IX) s výnimkou scenárov modelu CCCM pre južné Slovensko, kde úhrny skutočnej evapotranspirácie, v súlade so znižovaním zrážkových úhrnov, budú klesať a k roku 2075 ich pokles bude predstavovať 3 % v porovnaní s referenčným obdobím.
- Podľa scenárov všetkých troch použitých modelov úhrny ($E_0 - E$) za vegetačné obdobie sa budú s rastom teploty zväčšovať na celom našom území, pričom najväčší rast pripadá na juh Slovenska a model GFD3. Na južnom Slovensku k roku 2075 množstvo vody potrebnej na závlahy pre optimálne vlhkostné podmienky rastu poľných plodín za apríl až september dosiahne podľa modelu CCCM 292 mm, podľa modelu GISS 223 mm a podľa modelu GFD3 309 mm. Na severe Slovenska úhrny ($E_0 - E$) za vegetačné obdobie k roku 2075 sa podľa modelov, ktoré sme použili, budú meniť od 50 do 100 mm.
- Vychádzajúc z analýzy vykonanej klimatológmi Slovenského hydrometeorologického ústavu v Bratislave [7], dlhodobých trendov vychádzajúcich z meteorologických pozorovaní a modelových výpočtov k časovým horizontom 2010, 2030 a 2075 podľa scenárov modelov CCCM, GISS a GFD3 sa zdá, že najlepšie výsledky pre naše územie (hlavne juh Slovenska) poskytuje model CCCM, ktorý dobre simuluje ročný chod teploty vzduchu. Treba si však uvedomiť, že tento model dáva mierne nadhodnotenú úhrny zrážok v porovnaní s nameranými údajmi.

LITERATÚRA

- [1] ALPATJEV, A. M., 1952 : Isparjajemost' kak približennij pokazatel' potrebnosti sel'sko-chozjajstvennykh kul'tur v vode. Meteorologija i gidrologija, No 5
- [2] BUDYKO, M. I., 1980 : Klimat v prošlom i buduščem. Gidrometeoizdat, Leningrad, 350 s.
- [3] HRVOL, J., 1996: Modelové výpočty dôsledkov očakávaného oteplenia na zmeny globálneho slnečného žiarenia a celkovej radiačnej bilancie zemského povrchu. Projekt Country Study Slovenskej republiky, Katedra meteorológie a klimatológie MFF UK, Bratislava
- [4] LAPIN, M., 1993: Dopady rastúceho skleníkového efektu atmosféry na zmeny charakteristik vlhkosti vzduchu a snehovej pokrývky na Slovensku. Studia XI, Slovenská bioklimatologická spoločnosť pri SAV, s. 8 - 18.
- [5] LAPIN, M., 1993: Dôsledky zmien teploty vzduchu a zrážok na zmeny iných klimatických prvkov v zmysle alternatívnych scenárov zmien klímy v roku 2035 na Slovensku. NKP SR, MŽP SR a SHMÚ, Bratislava
- [6] LAPIN, M., 1992 : Možné dopady predpokladaných zmien klímy na vodnú bilanciu na Slovensku. Národný klimatický program ČSFR No 7, Praha.
- [7] LAPIN, M., NIEPLOVÁ, E., FAŠKO, P., 1995 : Climate Scenarios for Air Temperature and Precipitation Change in Slovakia. National Climatic Programme of the Slovak Republic, No 3, Bratislava.
- [8] LAPIN, M., FAŠKO, P., 1996 : Regionálne inkrementálne scenáre zmien klimatických charakteristik na Slovensku. Vybrané výsledky scenárov relatívnej vlhkosti vzduchu a snehovej pokrývky. Pracovné podklady No 8. Slovak Republics Country Study. Element 2, SHMÚ, Bratislava.
- [9] TOMLAIN, J., 1993: Charakteristika pôdnej vlhkosti z hľadiska produkčných procesov. Studia XI, Slovenská bioklimatologická spoločnosť pri SAV, s. 19-25.
- [10] TOMLAIN, J., 1991: Charakteristika suchých a vlhkých oblastí Slovenska. Zborník prác SHMÚ Zv. 33/I, Bratislava, s. 173-183.
- [11] TOMLAIN, J., 1991: Modelovanie evapotranspirácie z rôznych povrchov na území Slovenska. Hydrogeológia - výskum a prax, Katedra podzemných vôd Prírodovedeckej fakulty UK, Bratislava, s. 118-134.
- [12] TOMLAIN, J., 1994: Dôsledky zmien základných klimatických charakteristik na zmeny obsahu vlhky v pôde vo vybraných lokalitách Slovenska. Acta Meteorologica No XXIII. Bratislava
- [13] TOMLAIN, J., 1993: Distribution of Evapotranspiration on the Territory of Slovakia. Proc. of Symp. on Precipitation and Evaporation. Vol. 3, Bratislava, s. 181-184.
- [14] TOMLAIN, J., HRVOL, J., 1994: Dlhodobý chod pôdnej vlhkosti na vybraných staniách Slovenska. Studia XII Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti pri SAV v Bratislave
- [15] TOMLAIN, J., 1994: Dôsledky zmien potenciálnej a skutočnej evapotranspirácie na zmeny obsahu vody v pôde na vybraných staniách Slovenska. Národný klimatický program SR, Katedra meteorológie a klimatológie MFF UK, MŽP SR a SHMÚ, Bratislava

ZOZNAM TABULIEK

- Tab. 1 Mesačné a ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie (E_o), skutočnej evapotranspirácie (E), ich rozdielov ($E_o - E$), atmosférických zrážok (P) v mm, teplota vzduchu (T) v °C, tlak vodnej pary (U) v hPa, oblačnosť (N) a počet dní so snehovou pokrývkou (S), priemer za obdobie 1951 až 1980 a pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 podľa scenárov modelov CCCM, GISS a GFD3 v Hurbanove ($\varphi = 47^{\circ}12'$; $\lambda = 18^{\circ}12'$; $H = 115$ m)
- Tab. 2 Mesačné a ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie (E_o), skutočnej evapotranspirácie (E), ich rozdielov ($E_o - E$), atmosférických zrážok (P) v mm, teplota vzduchu (T) v °C, tlak vodnej pary (U) v hPa, oblačnosť (N) a počet dní so snehovou pokrývkou (S), priemer za obdobie 1951 až 1980 a pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 podľa scenárov modelov CCCM, GISS a GFD3 v Košiciach ($\varphi = 48^{\circ}40'$; $\lambda = 21^{\circ}13'$; $H = 230$ m)
- Tab. 3 Mesačné a ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie (E_o), skutočnej evapotranspirácie (E), ich rozdielov ($E_o - E$), atmosférických zrážok (P) v mm, teplota vzduchu (T) v °C, tlak vodnej pary (U) v hPa, oblačnosť (N) a počet dní so snehovou pokrývkou (S), priemer za obdobie 1951 až 1980 a pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 podľa scenárov modelov CCCM, GISS a GFD3 v Liptovskom Hrádku ($\varphi = 49^{\circ}02'$; $\lambda = 19^{\circ}44'$; $H = 640$ m)
- Tab. 4 Mesačné a ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie (E_o), skutočnej evapotranspirácie (E), ich rozdielov ($E_o - E$), atmosférických zrážok (P) v mm, teplota vzduchu (T) v °C, tlak vodnej pary (U) v hPa, oblačnosť (N) a počet dní so snehovou pokrývkou (S), priemer za obdobie 1951 až 1980 a pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 podľa scenárov modelov CCCM, GISS a GFD3 na Štrbskom Plese ($\varphi = 49^{\circ}07'$; $\lambda = 20^{\circ}04'$; $H = 1360$ m)
- Tab. 5 Scenáre zmien priemerných mesačných a ročných úhrnov potenciálnej evapotranspirácie (E_o) v % na Slovensku pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075
- Tab. 6 Scenáre zmien priemerných mesačných a ročných úhrnov evapotranspirácie (E) v % na Slovensku pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075
- Tab. 7 Priemerné mesačné a ročné úhrny ($E_o - E$) v mm na Slovensku za obdobie 1951 až 1980 a pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075

Table 1 Monthly and annual totals of potential evapotranspiration (E_o), actual evapotranspiration (E), their difference (E_o-E), precipitation (P) in mm, air temperature (T) in $^{\circ}\text{C}$, vapour pressure (U) in hPa, cloudiness (N) and number of days with snow cover (S), average for the period 1951 - 1980, and in time frames 2010, 2030, and 2075, according to the models CCCM, GISS, and GFD3, at Hurbanovo ($\varphi=47^{\circ}52'$, $\lambda=18^{\circ}12'$, $H=115\text{ m}$)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
Long-term average (1951 - 1980)													
T	-1.5	0.7	5.0	10.5	15.3	18.8	20.1	19.4	15.4	10.0	5.0	0.8	10.0
N	6.9	6.5	6.0	5.5	5.2	5.3	4.7	4.3	4.5	5.1	7.0	7.3	5.7
U	4.7	5.2	6.4	8.5	11.8	15.0	16.1	15.9	13.0	9.7	7.3	5.6	9.9
P	33	34	29	41	52	69	61	52	41	38	54	42	546
S	16.4	8.1	3.0	0.1	-	-	-	-	-	-	1.9	6.9	36.4
E_o	2	18	43	73	105	115	128	110	70	35	15	5	719
E	2	13	33	57	80	79	70	52	34	20	10	3	453
E_o-E	0	5	10	16	25	36	58	58	36	15	5	2	266
CCCM													
2010													
T	-0.3	2.1	6.4	11.5	16.2	19.7	21.2	20.4	16.5	11.1	5.9	1.7	11.0
N	7.1	6.6	6.0	5.6	5.0	5.3	4.5	4.2	4.4	5.2	7.2	7.4	5.7
U	5.1	5.8	6.9	9.0	12.2	15.6	16.5	16.2	13.7	10.4	7.8	5.9	10.4
P	36	34	30	41	49	66	57	53	40	39	57	45	547
S	14.1	6.0	1.5	-	-	-	-	-	-	-	1.2	5.6	28.4
E_o	4	18	46	74	111	121	135	117	74	40	15	8	763
E	4	13	36	57	81	76	67	51	34	22	10	5	456
E_o-E	0	5	10	17	30	45	68	66	40	18	5	3	307
2030													
T	0.5	3.1	7.3	12.2	16.8	20.4	21.9	21.1	17.3	11.8	6.4	2.3	11.8
N	7.3	6.6	5.9	5.6	4.9	5.2	4.4	4.2	4.3	5.3	7.3	7.5	5.7
U	5.3	6.2	7.3	9.3	12.7	16.2	16.9	16.4	14.3	10.8	8.1	6.2	10.8
P	38	34	31	42	48	63	54	53	39	40	58	47	547
S	12.5	4.6	0.5	-	-	-	-	-	-	-	0.7	4.7	23.0
E_o	9	18	47	77	114	124	140	120	79	40	15	8	791
E	7	14	37	60	82	74	64	49	34	21	10	5	457
E_o-E	2	4	10	17	32	50	76	71	45	19	5	3	334
2075													
T	2.2	5.2	9.3	13.7	18.2	21.8	23.4	22.6	19.0	13.4	7.7	3.6	13.3
N	7.6	6.7	5.9	5.7	4.7	5.2	4.2	4.1	4.2	5.5	7.5	7.7	5.8
U	6.1	7.1	8.2	10.3	13.7	17.5	17.4	16.9	15.6	12.2	8.9	6.9	11.7
P	43	35	33	43	44	57	48	54	37	42	63	51	550
S	9.0	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	2.7	13.3
E_o	10	23	54	80	118	128	151	130	85	41	15	7	842
E	7	19	42	61	82	70	60	46	33	20	9	4	453
E_o-E	3	4	12	19	36	58	91	84	52	21	6	3	389

Table 1 - continued

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
GISS							2010						
T	0.3	2.4	6.6	11.7	16.3	19.6	20.9	20.2	16.6	11.4	6.5	2.4	11.2
N	7.1	6.8	6.1	5.6	5.1	5.3	4.6	4.4	4.3	5.2	7.2	7.5	5.8
U	5.2	5.9	7.0	9.1	12.3	15.7	16.5	16.2	13.9	10.6	8.1	6.3	10.6
P	35	37	31	45	55	70	65	55	39	41	59	43	575
S	12.8	5.6	1.3	-	-	-	-	-	-	-	0.9	4.5	25.1
E _o	9	18	46	76	111	121	134	113	76	40	17	7	768
E	7	14	36	60	85	81	72	54	36	22	11	4	482
E _o -E	2	4	10	16	26	40	62	59	40	18	6	3	286
							2030						
T	1.5	3.6	7.7	12.6	17.0	20.2	21.4	20.7	17.3	12.4	7.5	3.5	12.1
N	7.2	6.9	6.2	5.7	5.1	5.3	4.6	4.4	4.2	5.2	7.3	7.7	5.8
U	5.7	6.4	7.5	9.6	12.8	16.0	16.8	16.5	14.3	11.3	8.7	6.8	11.0
P	36	38	33	47	57	72	68	57	36	44	62	43	593
S	10.5	4.0	0.1	-	-	-	-	-	-	-	0.3	2.8	17.7
E _o	10	17	49	79	114	126	137	116	79	40	17	8	792
E	7	13	39	62	87	83	73	56	36	22	11	5	494
E _o -E	3	4	10	17	27	43	64	60	43	18	6	3	298
							2075						
T	4.2	6.1	10.0	14.4	18.5	21.4	22.5	21.8	19.0	14.5	9.7	5.9	14.0
N	7.5	7.3	6.3	5.8	5.0	5.3	4.5	4.5	4.0	5.3	7.6	8.0	5.9
U	7.0	7.7	8.5	10.6	14.0	17.1	17.0	16.9	15.6	13.1	10.2	8.1	12.2
P	38	42	37	52	61	74	73	62	33	49	70	45	636
S	5.1	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.3
E _o	10	23	54	83	118	130	144	121	85	41	16	8	833
E	8	19	48	77	92	75	75	60	38	22	11	5	530
E _o -E	2	4	6	6	26	55	69	61	47	19	5	3	303
GFD3							2010						
T	-0.7	2.0	6.6	12.0	16.8	20.2	21.5	20.7	16.9	11.5	6.3	2.0	11.3
N	6.7	6.9	5.9	5.5	4.7	4.8	4.4	4.3	4.5	5.4	7.3	7.6	5.7
U	4.9	5.8	7.0	9.2	12.7	16.0	16.8	16.5	14.1	10.6	8.0	6.1	10.6
P	32	39	30	42	53	69	57	58	45	42	62	42	571
S	14.8	6.2	1.2	-	-	-	-	-	-	-	0.9	5.1	28.2
E _o	4	16	46	77	114	128	138	117	74	39	17	7	777
E	4	12	36	60	84	81	67	52	37	23	12	5	473
E _o -E	0	4	10	17	30	47	71	65	37	16	5	2	304
							2030						
T	-0.1	2.9	7.7	13.1	17.8	21.2	22.4	21.5	17.8	12.5	7.2	2.8	12.2
N	6.6	7.1	5.9	5.6	4.3	4.5	4.2	4.3	4.4	5.6	7.6	7.8	5.6
U	5.2	6.1	7.5	9.9	13.4	17.0	17.3	16.5	14.8	11.4	8.5	6.5	11.2
P	31	43	30	43	53	68	55	62	47	44	66	41	583
S	13.6	4.9	0.1	-	-	-	-	-	-	-	0.2	3.9	22.7
E _o	4	19	49	80	120	132	144	123	80	40	17	8	816
E	4	14	39	62	86	79	66	53	39	24	12	5	483
E _o -E	0	5	10	18	34	53	78	70	41	16	5	3	333
							2075						
T	1.1	4.8	10.1	15.4	20.1	23.3	24.4	23.4	20.0	14.7	9.1	4.6	14.2
N	6.3	7.7	5.8	5.6	3.5	3.7	3.8	4.3	4.4	6.1	8.1	8.2	5.6
U	5.6	7.0	8.5	11.3	15.2	18.8	17.9	17.1	16.5	13.3	9.8	7.4	12.4
P	30	51	31	44	54	68	49	72	52	51	77	40	619
S	11.3	2.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	14.5
E _o	8	21	54	86	136	151	162	134	84	40	16	8	900
E	6	18	49	76	92	69	60	52	43	26	12	6	509
E _o -E	2	3	5	10	44	82	102	82	41	14	4	2	391

Table 2 Monthly and annual totals of potential evapotranspiration (E_o), actual evapotranspiration (E), their difference (E_o-E), precipitation (P) in mm, air temperature (T) in $^{\circ}\text{C}$, vapour pressure (U) in hPa, cloudiness (N) and number of days with snow cover (S), average for the period 1951 - 1980, and in time frames 2010, 2030, and 2075, according to the models CCCM, GISS, and GFD3, at Košice ($\varphi=48^{\circ}40'$, $\lambda=21^{\circ}13'$, $H=230\text{ m}$)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
Long-term average (1951 - 1980)													
T	-3.4	-1.1	3.1	9.1	13.9	17.6	18.9	18.3	14.2	8.7	3.6	-1.0	8.5
N	7.4	7.1	6.2	5.9	5.8	5.7	5.4	4.9	4.9	5.3	7.4	7.7	6.1
U	4.1	4.6	5.7	7.8	10.9	14.2	15.4	15.1	12.2	8.8	6.7	5.0	9.2
P	29	29	27	40	67	86	91	77	50	42	50	37	625
S	19.7	10.1	3.7	0.1	-	-	-	-	-	-	2.0	11.7	47.3
E_o	1	8	33	67	94	109	116	99	67	36	12	1	643
E	1	8	24	51	75	88	87	71	47	26	10	1	489
E_o-E	0	0	9	16	19	21	29	28	20	10	2	0	154
CCCM													
2010													
T	-2.2	0.3	4.5	10.1	14.8	18.5	20.0	19.3	15.3	9.8	4.5	-0.1	9.6
N	7.6	7.2	6.2	6.0	5.6	5.7	5.2	4.8	4.8	5.4	7.6	7.8	6.2
U	4.4	5.1	6.2	8.4	11.4	14.8	15.8	15.4	12.9	9.5	7.2	5.3	9.7
P	32	29	28	40	64	82	85	78	49	43	52	40	622
S	16.9	7.5	1.9	-	-	-	-	-	-	-	1.2	9.5	37.0
E_o	2	16	41	68	100	113	124	107	70	37	13	4	695
E	2	11	31	55	78	78	82	69	45	25	10	4	490
E_o-E	0	5	10	13	22	35	42	38	25	12	3	0	205
2030													
T	-1.4	1.3	5.4	10.8	15.4	19.2	20.7	20.0	16.1	10.5	5.0	0.5	10.3
N	7.8	7.2	6.1	6.0	5.5	5.6	5.1	4.8	4.7	5.5	7.7	7.9	6.2
U	4.7	5.5	6.6	8.6	11.9	15.4	16.2	15.6	13.4	10.0	7.4	5.5	10.1
P	33	29	29	41	62	78	81	79	48	45	54	41	620
S	15.0	5.8	0.7	-	-	-	-	-	-	-	0.7	8.0	30.2
E_o	4	16	44	71	102	115	128	109	73	37	13	7	719
E	4	12	33	57	77	77	80	67	45	24	10	6	492
E_o-E	0	4	11	14	25	38	48	42	28	13	3	1	227
2075													
T	0.3	3.4	7.4	12.3	16.8	20.6	22.2	21.5	17.8	12.1	6.3	1.8	11.9
N	8.1	7.3	6.1	6.1	5.3	5.6	4.9	4.7	4.6	5.7	7.9	8.1	6.2
U	5.2	6.4	7.4	9.6	12.8	16.6	16.7	16.1	14.7	11.2	8.2	6.2	10.9
P	37	30	31	42	57	71	72	79	46	47	58	45	615
S	10.8	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1	4.6	17.3
E_o	9	19	47	72	108	119	139	120	79	37	15	7	771
E	7	14	35	57	80	73	76	65	44	22	11	5	489
E_o-E	2	5	12	15	28	46	63	55	35	15	4	2	282

Table 2 - continued

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
GISS							2010						
T	-1.6	0.6	4.7	10.3	14.9	18.4	19.7	19.1	15.4	10.1	5.1	0.6	9.8
N	7.6	7.4	6.3	6.0	5.7	5.7	5.3	5.0	4.7	5.4	7.6	7.9	6.2
U	4.6	5.3	6.3	8.5	11.5	14.9	15.7	15.4	12.9	9.7	7.5	5.6	9.8
P	30	31	29	44	71	88	96	82	47	46	55	38	657
S	15.4	7.0	1.6	-	-	-	-	-	-	-	1.0	7.6	32.6
E _o	4	14	41	68	100	112	121	102	71	35	13	5	686
E	4	10	31	56	81	82	87	73	49	25	11	4	513
E _o -E	0	4	10	12	19	30	34	29	22	10	2	1	173
							2030						
T	-0.4	1.8	5.8	11.2	15.6	19.0	20.2	19.6	16.1	11.1	6.1	1.7	10.6
N	7.7	7.5	6.4	6.1	5.7	5.7	5.3	5.0	4.6	5.4	7.7	8.1	6.3
U	5.0	5.8	6.7	8.9	12.0	15.2	15.9	15.7	13.4	10.4	8.0	6.1	10.2
P	31	33	31	46	73	89	101	85	45	48	58	38	678
S	12.6	4.9	0.1	-	-	-	-	-	-	-	0.3	4.8	22.7
E _o	5	16	44	71	103	114	124	105	73	37	15	7	714
E	5	12	34	59	83	84	89	76	50	26	12	6	536
E _o -E	0	4	10	12	20	30	35	29	23	11	3	1	178
							2075						
T	2.3	4.3	8.1	13.0	17.1	20.2	21.3	20.7	17.8	13.2	8.3	4.1	12.5
N	8.0	7.9	6.5	6.2	5.6	5.7	5.2	5.1	4.4	5.5	8.0	8.4	6.4
U	6.1	6.9	7.6	9.9	13.0	16.1	16.3	16.1	14.7	12.1	9.4	7.2	11.3
P	34	36	34	51	79	92	109	92	40	54	65	39	725
S	6.1	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.3
E _o	8	19	49	77	109	120	132	112	80	38	15	8	767
E	6	14	38	63	88	87	94	82	54	25	12	7	570
E _o -E	2	5	11	14	21	33	38	30	26	13	3	1	197
GFD3							2010						
T	-2.6	0.2	4.7	10.6	15.4	19.0	20.3	19.6	15.7	10.2	4.9	0.2	9.8
N	7.2	7.5	6.1	5.9	5.3	5.2	5.1	4.9	4.9	5.6	7.7	8.0	6.1
U	4.2	5.1	6.3	8.6	11.9	15.2	16.0	15.7	13.2	9.8	7.4	5.4	9.9
P	28	34	28	41	68	86	86	86	55	46	57	37	652
S	17.7	7.7	1.5	-	-	-	-	-	-	-	0.9	8.7	36.5
E _o	2	16	43	69	103	119	125	106	70	35	13	7	708
E	2	12	33	56	81	83	83	70	48	25	11	6	510
E _o -E	0	4	10	13	22	36	42	36	22	10	2	1	198
							2030						
T	-2.0	1.1	5.8	11.7	16.4	20.0	21.2	20.4	16.6	11.2	5.8	1.0	10.8
N	7.1	7.7	6.1	6.0	4.9	4.9	4.9	4.9	4.8	5.8	8.0	8.2	6.1
U	4.5	5.4	6.7	9.2	12.4	16.2	16.4	15.7	13.8	10.5	7.9	5.8	10.4
P	28	37	28	42	68	85	82	92	58	49	62	36	667
S	16.4	6.2	0.1	-	-	-	-	-	-	-	0.2	6.6	29.5
E _o	2	16	46	72	111	123	132	111	73	37	13	5	741
E	2	12	36	58	85	82	82	71	50	27	11	4	520
E _o -E	0	4	10	14	26	41	50	40	23	10	2	1	221
							2075						
T	-0.8	3.0	8.2	14.0	18.7	22.1	23.2	22.3	18.8	13.4	7.7	2.8	12.8
N	6.8	8.3	6.0	6.0	4.1	4.1	4.5	4.9	4.8	6.3	8.5	8.6	6.1
U	4.9	6.3	7.7	10.5	14.1	17.9	17.1	16.4	15.4	12.3	9.1	6.6	11.5
P	26	44	29	43	69	85	74	107	64	56	72	36	705
S	13.6	2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	18.1
E _o	4	18	51	78	124	141	148	120	82	37	13	8	824
E	4	14	40	62	91	85	80	71	56	27	11	7	548
E _o -E	0	4	11	16	33	56	68	49	26	10	2	1	276

Table 3 Monthly and annual totals of potential evapotranspiration (E_o), actual evapotranspiration (E), their difference (E_o-E), precipitation (P) in mm, air temperature (T) in °C, vapour pressure (U) in hPa, cloudiness (N) and number of days with snow cover (S), average for the period 1951 - 1980, and in time frames 2010, 2030, and 2075, according to the models CCCM, GISS, and GFD3, at Liptovský Hrádok ($\varphi = 49^{\circ}02'$, $\lambda = 19^{\circ}44'$, $H = 640$ m)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
Long-term average (1951 - 1980)													
T	-4.8	-3.1	0.8	6.2	11.2	14.7	15.9	15.1	11.3	6.6	2.0	-2.5	6.1
N	6.8	6.7	6.7	6.6	6.5	6.4	6.1	5.8	5.8	5.7	7.5	7.4	6.5
U	3.6	4.0	4.9	6.8	9.4	12.1	13.3	12.9	10.3	7.6	5.9	4.4	7.9
P	33	30	32	45	65	97	91	71	57	53	50	44	668
S	26.3	21.5	11.6	1.5	0.1	-	-	-	-	0.5	6.2	19.3	87.0
E_o	1	4	30	54	82	92	98	82	56	31	10	1	541
E	1	4	24	46	75	88	89	69	47	27	8	1	479
E_o-E	0	0	6	8	7	4	9	13	9	4	2	0	62
CCCM													
2010													
T	-3.6	-1.7	2.2	7.2	12.1	15.6	17.0	16.1	12.4	7.7	2.9	-1.6	7.2
N	7.0	6.8	6.7	6.7	6.3	6.4	5.9	5.7	5.7	5.8	7.7	7.5	6.5
U	3.9	4.4	5.4	7.1	9.8	12.8	13.9	13.4	11.0	8.3	6.2	4.6	8.4
P	36	31	32	46	64	97	87	68	55	56	54	49	675
S	23.9	18.5	7.4	1.1	-	-	-	-	-	-	4.0	17.0	71.9
E_o	2	6	30	57	87	95	104	89	59	32	13	2	576
E	2	6	24	48	77	87	90	70	45	26	10	2	487
E_o-E	0	0	6	9	10	8	14	19	14	6	3	0	89
2030													
T	-2.8	-0.7	3.1	7.9	12.7	16.3	17.7	16.8	13.2	8.4	3.4	-1.0	7.9
N	7.2	6.8	6.6	6.7	6.2	6.3	5.8	5.7	5.6	5.9	7.8	7.6	6.5
U	4.2	4.7	5.7	7.5	10.3	13.2	14.3	13.8	11.6	8.6	6.5	4.9	8.8
P	39	33	32	47	63	96	86	66	53	58	57	52	682
S	22.1	16.3	4.6	0.8	-	-	-	-	-	-	2.6	15.4	61.8
E_o	2	7	33	60	88	100	109	92	59	32	12	1	595
E	2	7	26	50	77	90	90	68	43	25	11	1	490
E_o-E	0	0	7	10	11	10	19	24	16	7	1	0	105
2075													
T	-1.1	1.4	5.1	9.4	14.1	17.7	19.2	18.3	14.9	10.0	4.7	0.3	9.5
N	7.5	6.9	6.6	6.8	6.0	6.3	5.6	5.6	5.5	6.1	8.0	7.8	6.6
U	4.7	5.5	6.5	8.2	11.1	14.4	15.3	14.8	12.7	9.8	7.1	5.4	9.6
P	44	35	32	50	61	96	80	62	50	63	64	59	696
S	18.4	11.8	-	0.3	-	-	-	-	-	-	0.8	11.8	43.1
E_o	4	14	41	61	96	104	115	96	65	32	13	5	646
E	4	11	34	49	80	87	89	65	43	23	11	4	500
E_o-E	0	3	7	12	16	17	26	31	22	9	2	1	146

Table 3 - continued

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
GISS													
	2010												
T	-3.0	-1.4	2.4	7.4	12.2	15.5	16.7	15.9	12.5	8.0	3.5	-0.9	7.4
N	7.0	7.0	6.8	6.7	6.4	6.4	6.0	5.9	5.6	5.8	7.7	7.6	6.6
U	4.1	4.5	5.5	7.3	9.9	12.8	13.8	13.4	11.0	8.4	6.5	4.9	8.5
P	35	33	35	50	69	99	94	72	54	57	55	44	697
S	22.6	17.8	6.8	1.0	-	-	-	-	-	-	3.3	15.1	66.6
E _o	1	5	31	57	85	95	103	85	59	32	12	1	566
E	1	5	25	49	78	91	93	71	48	27	11	1	500
E _o -E	0	0	6	8	7	4	10	14	11	5	1	0	66
	2030												
T	-1.8	-0.2	3.5	8.3	12.9	16.1	17.2	16.4	13.2	9.0	4.5	0.2	8.3
N	7.1	7.1	6.9	6.8	6.4	6.4	6.0	5.9	5.5	5.8	7.8	7.8	6.6
U	4.5	4.9	5.8	7.7	10.4	13.1	14.1	13.6	11.6	9.0	7.0	5.4	8.9
P	36	35	36	53	71	101	95	73	52	60	58	45	715
S	20.0	15.3	3.6	0.7	-	-	-	-	-	-	1.5	12.2	53.3
E _o	1	7	35	58	88	98	104	88	59	32	13	5	588
E	1	7	29	50	81	93	93	73	47	27	12	5	518
E _o -E	0	0	6	8	7	5	11	15	12	5	1	0	70
	2075												
T	0.9	2.3	5.8	10.1	14.4	17.3	18.3	17.5	14.9	11.1	6.7	2.6	10.2
N	7.4	7.5	7.0	6.9	6.3	6.4	5.9	6.0	5.3	5.9	8.1	8.1	6.7
U	5.5	5.9	6.8	8.6	11.3	14.1	14.7	14.3	12.7	10.5	8.3	6.4	9.9
P	38	39	41	60	77	104	98	75	48	66	66	46	758
S	14.2	9.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6	29.7
E _o	7	16	43	63	94	101	109	91	67	32	15	5	643
E	6	13	36	60	91	89	94	73	51	25	14	5	557
E _o -E	1	3	7	3	3	12	15	18	16	7	1	0	86
GFD3													
	2010												
T	-4.0	-1.8	2.4	7.7	12.7	16.1	17.3	16.4	12.8	8.1	3.3	-1.3	7.5
N	6.6	7.1	6.6	6.6	6.0	5.9	5.8	5.8	5.8	6.0	7.8	7.7	6.5
U	3.8	4.4	5.5	7.4	10.3	13.1	14.2	13.6	11.3	8.5	6.5	4.8	8.6
P	32	34	33	47	66	97	86	75	63	60	57	44	694
S	24.5	18.7	6.7	0.9	-	-	-	-	-	-	3.2	16.0	70.0
E _o	1	5	31	59	90	102	107	88	57	32	12	1	585
E	1	5	25	50	80	92	89	68	46	28	11	1	496
E _o -E	0	0	6	9	10	10	18	20	11	4	1	0	89
	2030												
T	-3.4	-0.9	3.5	8.8	13.7	17.1	18.2	17.2	13.7	9.1	4.2	-0.5	8.4
N	6.5	7.3	6.6	6.7	5.6	5.6	5.6	5.8	5.7	6.2	8.1	7.9	6.5
U	4.0	4.6	5.8	7.9	10.8	13.9	14.6	14.0	12.0	9.0	6.9	5.1	9.0
P	32	37	33	48	68	96	84	78	68	66	62	44	716
S	23.4	16.8	3.5	0.5	-	-	-	-	-	-	1.2	13.9	59.3
E _o	1	7	35	60	94	108	110	91	62	34	13	2	617
E	1	7	28	51	84	95	88	68	49	29	12	2	514
E _o -E	0	0	7	9	10	13	22	23	13	5	1	0	103
	2075												
T	-2.2	1.0	5.9	11.1	16.0	19.2	20.2	19.1	15.9	11.3	6.1	1.3	10.4
N	6.2	7.9	6.5	6.7	4.8	4.8	5.2	5.8	5.7	6.7	8.6	8.3	6.4
U	4.3	5.3	6.9	9.1	12.3	15.6	15.8	15.1	13.3	10.6	8.0	5.8	10.2
P	31	43	35	51	70	96	76	84	78	77	72	44	757
S	20.8	12.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.1	42.6
E _o	2	16	43	66	109	122	125	99	66	34	13	5	700
E	2	13	36	61	96	91	84	65	50	29	13	5	545
E _o -E	0	3	7	5	13	31	41	34	16	5	0	0	155

Table 4 Monthly and annual totals of potential evapotranspiration (E_o), actual evapotranspiration (E), their difference (E_o-E), precipitation (P) in mm, air temperature (T) in $^{\circ}\text{C}$, vapour pressure (U) in hPa, cloudiness (N) and number of days with snow cover (S), average for the period 1951 - 1980, and in time frames 2010, 2030, and 2075, according to the models CCCM, GISS, and GFD3, at Štrbské Pleso ($\varphi=49^{\circ}07'$, $\lambda=20^{\circ}04'$, $H=1360\text{ m}$)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
Long-term average (1951 - 1980)													
T	-5.3	-4.7	-2.1	2.4	7.3	11.0	12.4	12.1	8.8	4.9	-0.1	-3.5	3.6
N	6.6	6.6	6.7	6.6	6.5	6.5	6.3	5.7	5.5	5.5	7.0	6.8	6.4
U	3.3	3.4	4.0	5.5	7.6	10.0	11.1	10.8	8.8	6.7	5.1	3.9	6.7
P	63	60	60	67	91	120	129	95	71	61	71	73	961
S	30.4	28.3	29.7	17.6	2.1	0.4	-	-	0.5	4.1	13.8	27.2	154.1
E_o	0	2	6	37	69	79	85	78	50	28	4	1	439
E	0	2	6	32	66	79	85	78	49	27	4	1	429
E_o-E	0	0	0	5	3	0	0	0	1	1	0	0	10
CCCM													
2010													
T	-4.1	-3.3	-0.7	3.4	8.2	11.9	13.5	13.1	9.9	6.0	0.8	-2.6	4.7
N	6.8	6.7	6.7	6.7	6.3	6.5	6.1	5.6	5.4	5.6	7.2	6.9	6.4
U	3.6	3.8	4.4	5.8	8.1	10.4	11.6	11.3	9.4	7.0	5.4	4.1	7.1
P	69	63	60	69	89	120	124	91	68	65	77	81	976
S	30.1	28.0	28.8	15.1	-	-	-	-	-	-	10.8	25.8	138.6
E_o	1	4	9	37	72	82	91	81	53	31	7	1	469
E	1	4	9	32	67	82	91	78	49	29	6	1	449
E_o-E	0	0	0	5	5	0	0	3	4	2	1	0	20
2030													
T	-3.3	-2.3	0.2	4.1	8.8	12.6	14.2	13.8	10.7	6.7	1.3	-2.0	5.4
N	7.0	6.7	6.6	6.7	6.2	6.4	6.0	5.6	5.3	5.7	7.3	7.0	6.4
U	3.9	4.1	4.7	6.1	8.3	11.0	12.0	11.6	9.7	7.3	5.5	4.4	7.4
P	74	65	61	70	88	119	121	88	66	66	81	86	985
S	29.8	27.7	28.2	13.4	-	-	-	-	-	-	8.8	24.8	132.7
E_o	1	4	27	44	75	82	94	84	58	31	10	0	510
E	1	4	23	42	67	81	94	78	51	28	9	0	478
E_o-E	0	0	4	2	8	1	0	6	7	3	1	0	32
2075													
T	-1.6	-0.2	2.2	5.6	10.2	14.0	15.7	15.3	12.4	8.3	2.6	-0.7	7.0
N	7.3	6.8	6.6	6.8	6.0	6.4	5.8	5.5	5.2	5.9	7.5	7.2	6.4
U	4.4	4.8	5.4	6.6	9.0	11.9	12.8	12.4	10.6	8.0	6.1	4.8	8.1
P	83	70	61	74	86	119	114	83	62	72	90	99	1013
S	29.2	26.9	27.0	9.7	-	-	-	-	-	-	6.3	22.6	121.7
E_o	1	5	28	49	82	88	102	92	62	34	8	1	552
E	1	5	24	46	82	88	96	77	49	28	7	1	504
E_o-E	0	0	4	3	0	0	6	15	13	6	1	0	48

Table 4 - continued

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Year
GISS							2010						
T	-3.5	-3.0	-0.5	3.6	8.3	11.8	13.2	12.9	10.0	6.3	1.4	-1.9	4.9
N	6.8	6.9	6.8	6.7	6.4	6.5	6.2	5.8	5.3	5.6	7.2	7.0	6.4
U	3.8	3.9	4.5	5.9	8.1	10.4	11.5	11.3	9.5	7.2	5.6	4.4	7.2
P	66	66	65	74	96	122	133	97	67	66	78	74	1004
S	29.8	27.7	28.8	14.6	-	-	-	-	-	-	9.8	24.5	135.2
E _o	1	4	9	38	70	82	86	80	55	31	8	0	464
E	1	4	9	34	66	82	86	80	52	29	7	0	450
E _o -E	0	0	0	4	4	0	0	0	3	2	1	0	14
							2030						
T	-2.3	-1.8	0.6	4.5	9.0	12.4	13.7	13.4	10.7	7.3	2.4	-0.8	5.8
N	6.9	7.0	6.9	6.8	6.4	6.5	6.2	5.8	5.2	5.6	7.3	7.2	6.5
U	4.2	4.3	4.9	6.2	8.5	10.8	11.8	11.5	9.7	7.6	6.0	4.8	7.5
P	68	70	68	79	99	125	134	98	65	69	82	74	1031
S	29.5	27.5	28.2	12.5	-	-	-	-	-	-	7.2	22.8	127.7
E _o	1	4	24	44	72	82	88	81	58	32	10	1	497
E	1	4	22	42	66	82	88	80	54	29	9	1	478
E _o -E	0	0	2	2	6	0	0	1	4	3	1	0	19
							2075						
T	0.4	0.7	2.9	6.3	10.5	13.6	14.8	14.5	12.4	9.4	4.6	1.6	7.6
N	7.2	7.4	7.0	6.9	6.3	6.5	6.1	5.9	5.0	5.7	7.6	7.5	6.6
U	5.2	5.2	5.6	6.9	9.2	11.6	12.2	12.0	10.6	8.4	6.9	5.7	8.3
P	73	79	76	90	107	128	139	101	60	76	93	76	1098
S	28.6	26.9	26.7	7.9	-	-	-	-	-	-	0.8	19.0	109.9
E _o	7	13	30	47	81	86	94	86	62	37	13	5	561
E	6	12	27	43	81	86	94	82	55	33	13	5	537
E _o -E	1	1	3	4	0	0	0	4	7	4	0	0	24
GFD3							2010						
T	-4.5	-3.4	-0.5	3.9	8.8	12.4	13.8	13.4	10.3	6.4	1.2	-2.3	5.0
N	6.4	7.0	6.6	6.6	6.0	6.0	6.0	5.7	5.5	5.8	7.3	7.1	6.3
U	3.6	3.8	4.5	6.0	8.3	10.8	11.8	11.5	9.5	7.3	5.5	4.3	7.2
P	62	68	62	70	93	120	123	101	79	70	81	73	1002
S	30.1	28.0	28.8	13.7	-	-	-	-	-	-	9.7	25.3	135.6
E _o	0	4	9	39	78	87	91	81	55	31	8	0	483
E	0	4	9	35	72	87	91	78	52	29	7	0	464
E _o -E	0	0	0	4	6	0	0	3	3	2	1	0	19
							2030						
T	-3.9	-2.5	0.6	5.0	9.8	13.4	14.7	14.2	11.2	7.4	2.1	-1.5	5.9
N	6.3	7.2	6.6	6.7	5.6	5.7	5.8	5.7	5.4	6.0	7.6	7.3	6.3
U	3.7	4.1	4.9	6.4	8.8	11.4	12.2	11.7	10.0	7.7	5.9	4.5	7.6
P	61	74	62	72	95	119	119	105	84	76	87	74	1028
S	30.1	27.7	28.2	11.3	-	-	-	-	-	-	6.9	23.9	128.1
E _o	1	4	25	46	84	93	97	84	56	31	10	1	532
E	1	4	23	44	74	89	96	77	52	29	9	1	499
E _o -E	0	0	2	2	10	4	1	7	4	2	1	0	33
							2075						
T	-2.7	-0.6	3.0	7.3	12.1	15.5	16.7	16.1	13.4	9.6	4.0	0.3	7.9
N	6.0	7.8	6.5	6.7	4.8	4.9	5.4	5.7	5.4	6.5	8.1	7.7	6.3
U	4.1	4.6	5.7	7.3	10.1	12.9	13.3	12.7	11.1	8.5	6.6	5.1	8.5
P	60	86	65	76	97	119	108	113	97	88	102	74	1085
S	29.5	27.2	26.7	5.5	-	-	-	-	-	-	2.5	20.9	112.3
E _o	0	5	30	54	96	108	109	92	64	35	13	9	615
E	0	5	27	50	94	103	93	76	56	33	13	9	559
E _o -E	0	0	3	4	2	5	16	16	8	2	0	0	56

Table 5 Mean potential evapotranspiration change scenarios (%) for Slovakia in time frames 2010, 2030, and 2075

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	YEAR	$\Sigma(IV-IX)$
Average sums of E_o in mm for the period 1951 - 1980														
South	2	10	39	70	99	113	122	104	68	35	13	4	679	576
North	0	3	23	50	78	89	93	78	52	28	9	0	503	440
Mountains	0	3	8	40	70	80	86	76	50	27	7	1	448	402
E_o change scenarios in % for year 2010														
CCCM														
South	-	50	10	1	6	4	7	7	6	8	8	-	7	5
North	-	33	26	6	5	3	8	8	4	7	11	-	7	6
Mountains	-	0	125	12	6	4	7	5	8	11	14	-	9	6
GISS														
South	-	60	13	4	6	3	5	4	7	8	8	-	7	5
North	-	67	26	8	5	3	5	2	6	7	11	-	7	5
Mountains	-	33	175	12	4	4	3	3	8	11	28	-	9	5
GFD3														
South	-	50	13	6	10	8	8	6	7	6	15	-	9	8
North	-	33	26	10	10	10	10	6	4	4	11	-	10	9
Mountains	-	0	188	12	11	10	9	4	10	11	28	-	12	9
E_o change scenarios in % for year 2030														
CCCM														
South	-	60	15	6	9	5	11	10	12	8	8	-	11	9
North	-	133	30	12	8	7	12	12	8	7	11	-	12	10
Mountains	-	0	225	18	8	6	12	9	12	15	28	-	14	10
GISS														
South	-	60	18	8	9	5	7	6	12	8	15	-	10	8
North	-	133	35	12	8	7	6	6	8	7	22	-	10	8
Mountains	-	0	225	18	7	6	7	5	14	15	28	-	13	8
GFD3														
South	-	60	20	8	16	13	15	12	13	8	15	-	14	13
North	-	100	35	14	17	16	15	12	10	11	22	-	16	14
Mountains	-	0	225	22	21	19	15	9	14	15	57	-	21	16
E_o change scenarios in % for year 2075														
CCCM														
South	-	90	28	10	14	11	20	18	20	11	8	-	18	16
North	-	300	65	18	15	11	19	17	15	7	33	-	21	16
Mountains	-	267	262	28	18	12	20	20	24	22	43	-	26	19
GISS														
South	-	100	31	14	13	10	14	12	20	14	8	-	17	13
North	-	367	70	22	15	10	13	13	19	11	33	-	21	14
Mountains	-	333	288	30	17	11	13	10	26	33	86	-	27	16
GFD3														
South	-	90	33	17	31	29	27	22	22	8	15	-	27	26
North	-	333	74	26	35	31	28	22	21	11	33	-	32	28
Mountains	-	133	300	40	38	36	29	20	30	26	86	-	39	32

Table 6 Mean evapotranspiration change scenarios (%) for Slovakia in time frames 2010, 2030, and 2075

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	YEAR	Σ(IV-IX)
Average sums of E in mm for the period 1951 - 1980														
South	2	8	29	58	78	79	75	59	38	21	10	3	460	387
North	0	3	19	44	73	87	89	72	47	26	8	0	468	412
Mountains	0	3	8	36	67	80	86	76	50	27	7	1	441	395
E change scenarios in % for year 2010														
CCCM														
South	-	38	14	0	1	-5	-3	-3	0	5	0	-	1	-2
North	-	33	21	4	4	2	4	1	0	0	12	-	4	3
Mountains	-	0	100	14	4	4	7	3	4	7	0	-	7	5
GISS														
South	-	50	17	5	5	0	4	3	5	10	0	-	6	4
North	-	67	26	7	7	3	4	3	4	4	12	-	6	5
Mountains	-	33	150	17	3	4	3	3	4	7	14	-	8	4
GFD3														
South	-	38	21	5	5	-1	-1	-2	5	10	10	-	4	2
North	-	33	26	9	10	7	4	0	2	4	12	-	7	5
Mountains	-	0	150	17	12	10	8	0	4	7	14	-	10	8
E change scenarios in % for year 2030														
CCCM														
South	-	50	21	5	4	-5	-5	-7	0	0	0	-	2	-2
North	-	133	32	9	7	4	6	1	-2	0	12	-	7	4
Mountains	-	0	188	22	9	5	12	1	2	4	14	-	11	8
GISS														
South	-	50	24	10	8	1	5	7	8	5	10	-	9	6
North	-	133	37	11	8	6	3	3	2	0	25	-	8	5
Mountains	-	0	188	22	7	6	7	4	8	7	28	-	12	8
GFD3														
South	-	50	28	7	9	-1	-3	-2	10	10	10	-	6	3
North	-	100	37	14	14	9	2	-1	4	4	38	-	9	6
Mountains	-	0	200	28	22	18	13	1	6	11	43	-	17	14
E change scenarios in % for year 2075														
CCCM														
South	-	100	38	9	6	-8	-11	-12	-3	0	0	-	3	-3
North	-	233	68	11	11	3	6	-1	-4	-8	25	-	9	4
Mountains	-	233	225	30	22	12	14	4	4	4	28	-	18	13
GISS														
South	-	100	45	19	13	2	11	12	13	10	0	-	16	11
North	-	300	74	27	18	6	7	6	8	-4	38	-	16	11
Mountains	-	300	250	30	21	11	12	5	14	18	86	-	24	14
GFD3														
South	-	88	48	19	18	1	-8	0	24	19	10	-	13	7
North	-	267	79	34	32	9	-1	-3	8	4	38	-	17	11
Mountains	-	133	262	42	40	31	14	3	16	18	86	-	29	22

Table 7 Average monthly and annual sums of ($E_0 - E$) in mm on the territory of Slovakia for the period 1951 - 1980, and in time frames 2010, 2030, and 2075

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK	$\Sigma(IV-IX)$
CCCM														
South														
1951-1980	0	2	10	12	21	34	47	45	30	14	3	1	219	189
2010	0	4	10	13	26	42	58	54	35	16	4	2	264	228
2030	1	4	10	14	27	44	64	59	39	17	4	2	285	247
2075	2	4	10	14	30	52	80	71	45	18	5	2	333	292
North														
1951-1980	0	0	4	6	5	2	4	6	4	2	1	0	34	27
2010	0	0	5	7	5	4	7	11	7	4	1	0	51	41
2030	0	0	5	7	6	5	10	14	10	4	1	0	62	52
2075	0	2	6	9	10	8	16	21	15	6	1	0	94	79
Mountains														
1951-1980	0	0	0	4	4	0	0	0	0	1	0	0	9	8
2010	0	0	2	4	4	0	0	2	2	1	1	0	16	12
2030	0	0	4	3	3	0	1	5	5	3	1	0	25	17
2075	0	1	3	4	1	0	5	12	10	5	1	0	42	32
GISS														
South														
2010	1	4	9	12	23	38	50	47	33	16	4	2	239	203
2030	2	4	10	12	24	39	51	47	35	16	4	1	245	208
2075	2	4	10	11	24	43	56	50	39	17	4	1	261	223
North														
2010	0	0	5	6	4	2	5	7	6	3	1	0	39	30
2030	0	0	5	7	5	3	8	10	8	4	1	0	51	41
2075	1	2	6	5	4	7	10	12	11	6	1	0	65	49
Mountains														
2010	0	0	2	3	4	0	0	0	2	1	1	0	13	9
2030	0	0	3	3	3	0	0	1	3	2	0	0	15	10
2075	1	1	3	5	1	0	1	5	6	4	0	0	27	18
GFD3														
South														
2010	0	4	9	13	26	44	59	52	32	14	4	1	258	226
2030	0	4	10	14	30	50	67	58	35	14	4	2	288	254
2075	1	4	9	14	38	66	86	68	37	13	3	1	340	309
North														
2010	0	0	5	7	6	5	9	11	6	3	1	0	53	44
2030	0	0	5	7	8	8	16	16	9	4	1	0	74	64
2075	0	2	6	4	9	22	31	25	11	4	0	0	114	102
Mountains														
2010	0	0	3	4	3	0	1	3	2	1	1	0	18	13
2030	0	0	2	3	3	1	3	6	4	1	1	0	24	20
2075	0	0	3	5	3	4	14	13	7	2	0	0	51	46

ZOZNAM OBRÁZKOV

- Obr. 1 Dlhodobý chod ročných úhrnov potenciálnej (E_o), skutočnej (E) evapotranspirácie a ich rozdielov ($E_o - E$) v mm na stanici Hurbanovo za obdobie 1951 až 1990
- Obr. 2 Dlhodobý chod ročných úhrnov potenciálnej (E_o), skutočnej (E) evapotranspirácie a ich rozdielov ($E_o - E$) v mm na stanici Košice za obdobie 1951 až 1990
- Obr. 3 Dlhodobý chod ročných úhrnov potenciálnej (E_o), skutočnej (E) evapotranspirácie a ich rozdielov ($E_o - E$) v mm na stanici Liptovský Hrádok za obdobie 1951 až 1990
- Obr. 4 Dlhodobý chod ročných úhrnov potenciálnej (E_o), skutočnej (E) evapotranspirácie a ich rozdielov ($E_o - E$) v mm na stanici Štrbské Pleso za obdobie 1951 až 1990
- Obr. 5 Priemerné ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie v mm za obdobie 1951 až 1980
- Obr. 6 Priemerné ročné úhrny evapotranspirácie v mm za obdobie 1951 až 1980

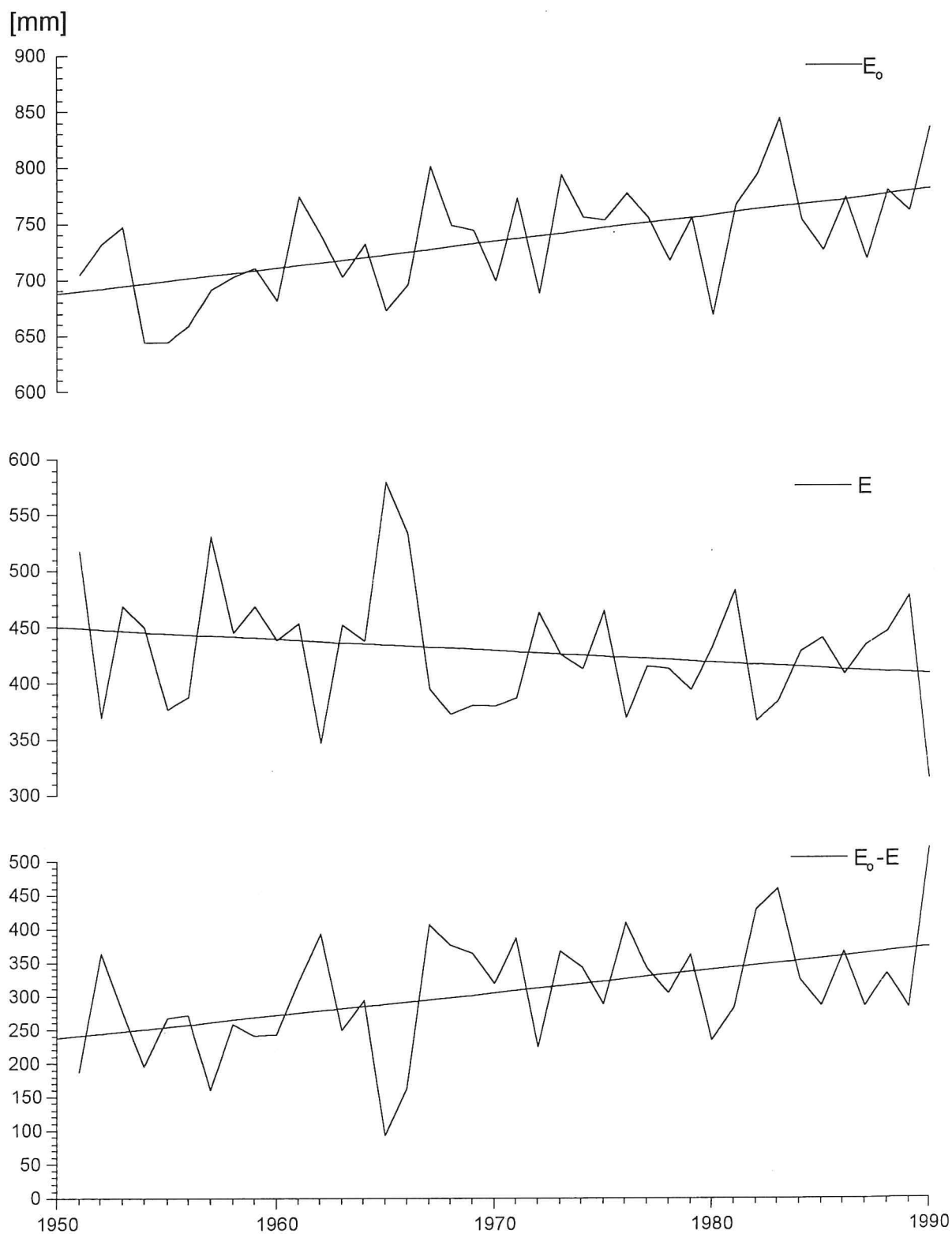


Fig. 1 Long-term annual totals course of potential (E_0), actual (E) evapotranspiration and their differences ($E_0 - E$) in mm at station Hurbanovo for the period from 1951 to 1990

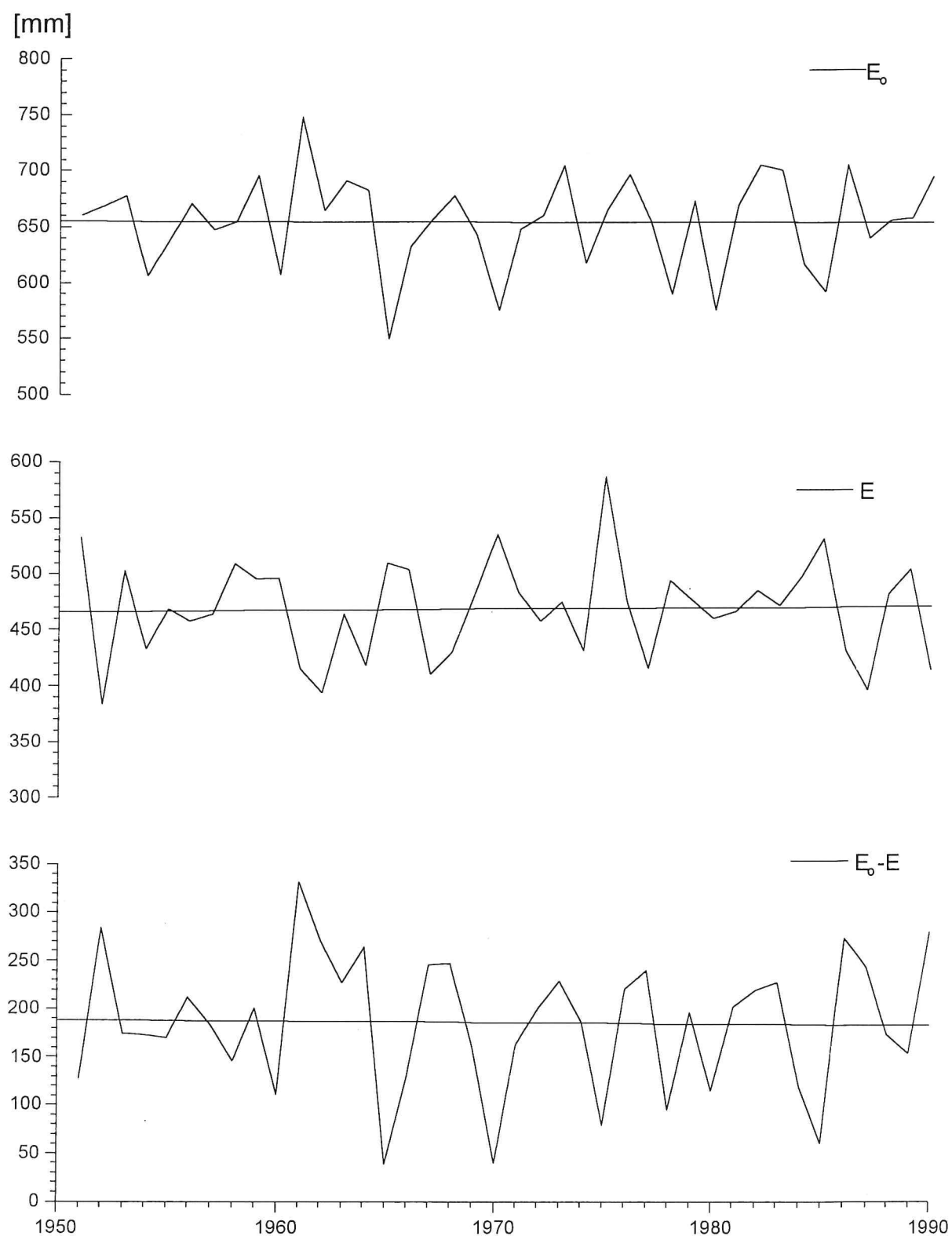


Fig. 2 Long-term annual totals course of potential (E_0), actual (E) evapotranspiration and their differences ($E_0 - E$) in mm at station Košice for the period from 1951 to 1990

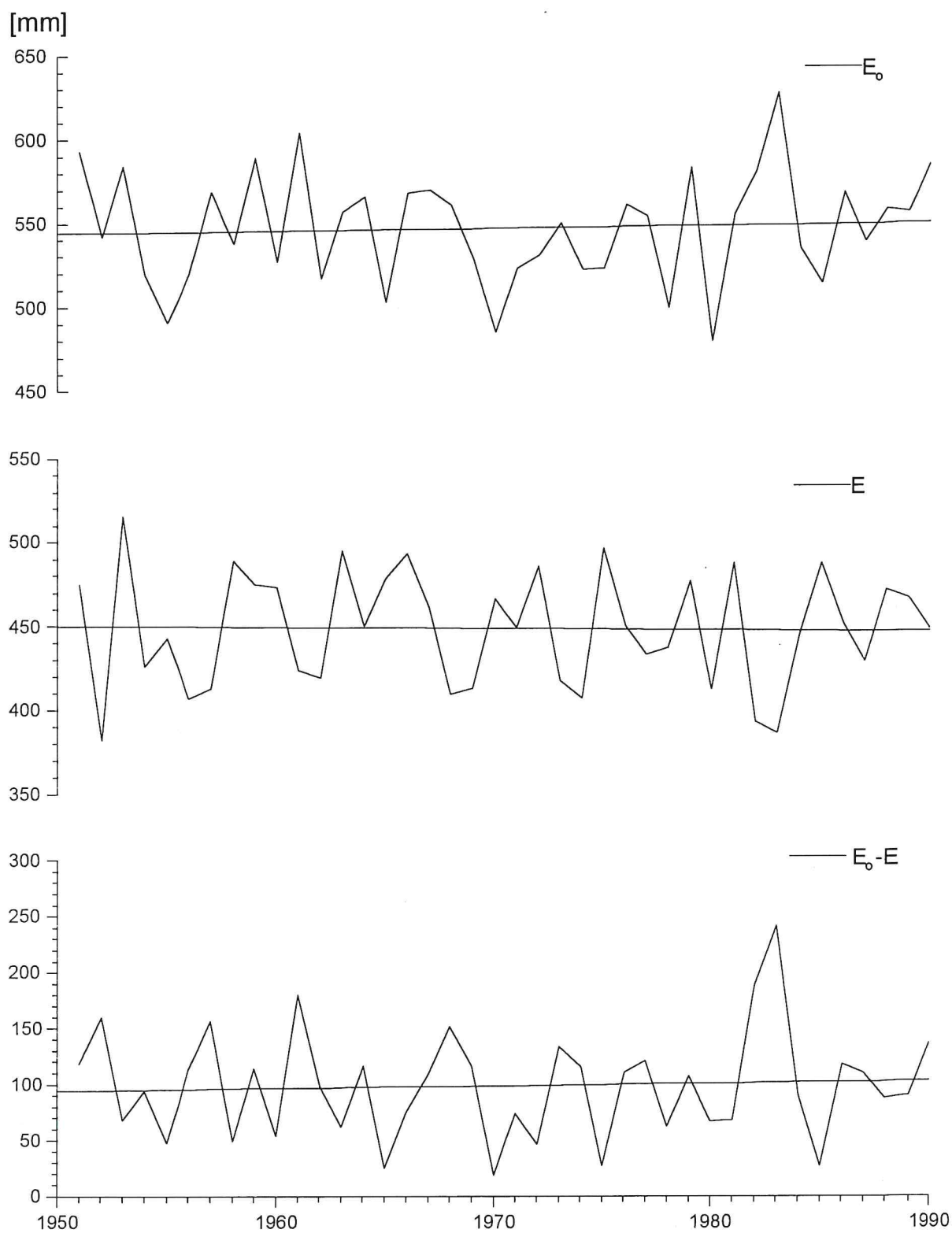


Fig. 3 Long-term annual totals course of potential (E_0), actual (E) evapotranspiration and their differences ($E_0 - E$) in mm at station Liptovský Hrádok for the period from 1951 to 1990

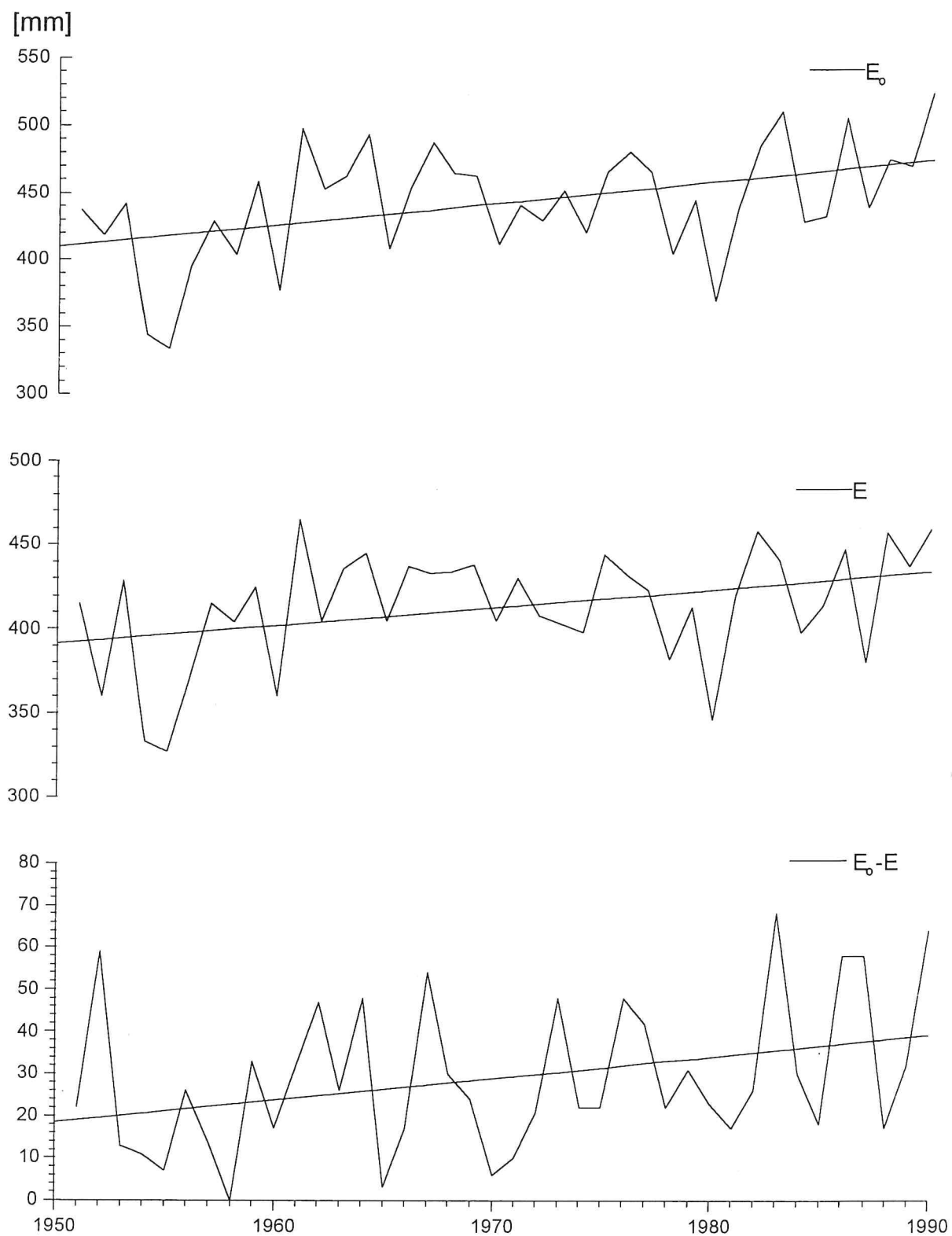


Fig. 4 Long-term annual totals course of potential (E_0), actual (E) evapotranspiration and their differences ($E_0 - E$) in mm at station Štrbské Pleso for the period from 1951 to 1990

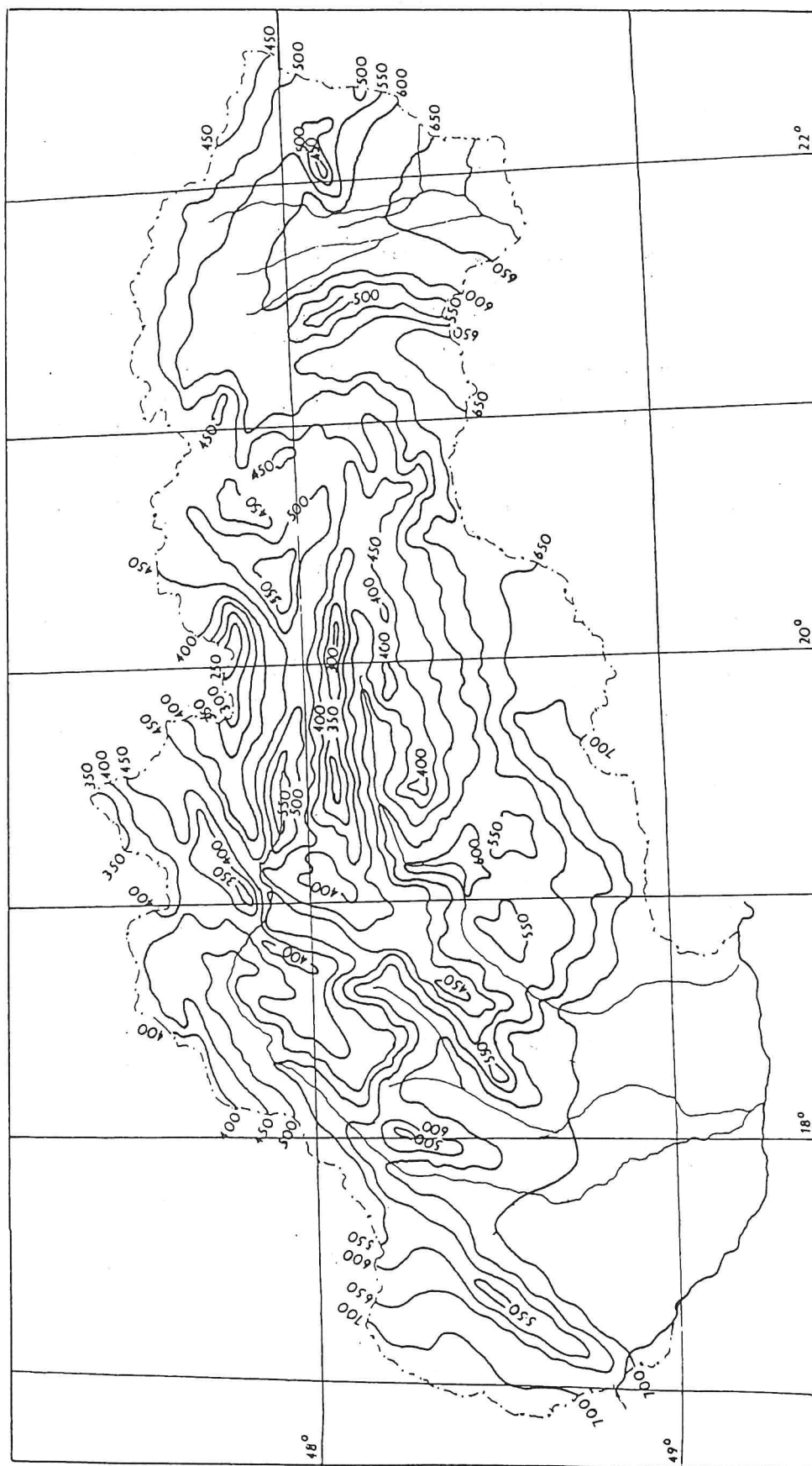


Fig. 5 Average annual potential evapotranspiration totals in mm for the period 1951 - 1980

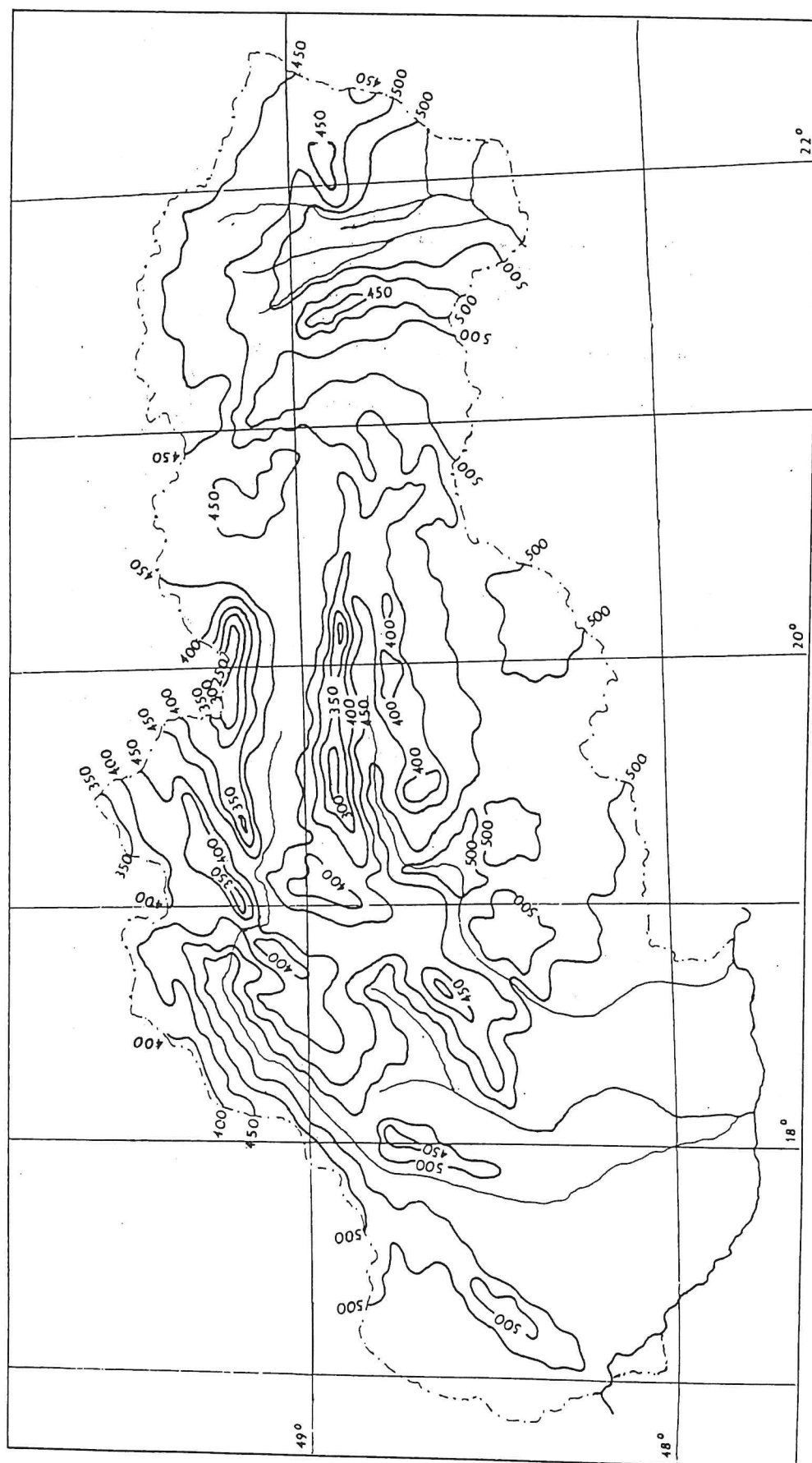


Fig. 6 Average annual actual evapotranspiration totals in mm for the period 1951 - 1980

MODEL COMPUTATION OF THE CLIMATIC CHANGE IMPACTS ON POTENTIAL AND ACTUAL EVAPOTRANSPIRATION CHANGES ON THE TERRITORY OF SLOVAKIA

J. Tomlain

Faculty of Mathematics and Physics, Comenius University, Bratislava

SUMMARY

By means of the mathematical model which has been developed at the Faculty of Mathematics and Physics of Comenius University in Bratislava monthly and annual totals of potential (E_o) and actual (E) evapotranspiration, evapotranspiration deficit ($E_o - E$) were estimated on 35 meteorological stations of Slovakia for the period 1951 to 1980 as well as in time frames 2010, 2030, and 2075. The climate change scenarios for the air temperature and humidity, precipitation, cloudiness and number of days with snow cover have been designated in accordance with the modified change of the above mentioned meteorological elements for 3 varieties of GCMs CCCM, GISS and GFD3.

On the basis of the analysis of long-term trends of potential and actual evapotranspiration, precipitation and evapotranspiration deficit for a period 1951-1990 (TOMLAIN, 1994) as well as the model computation according to the three scenarios of the expected climatic characteristics change in time frames 2010, 2030, and 2075, we can make conclusions as follows:

- For the period 1951 - 1990 an increasing trend of potential evapotranspiration annual totals and decreasing trend of precipitation were recorded in the southern parts of Slovakia. In the northern half of Slovakia an increasing trend of precipitation and small decrease of potential evapotranspiration predominate.
- An expected increase of the air temperature and simultaneous decrease of precipitation sums in warm half-year (southern parts of Slovakia) will cause the decrease of relative air humidity that will reflect itself in the increasing trend of saturation deficit and sums of potential evapotranspiration. Decrease of the number of days with snow cover and cloudiness (during warm half year) will result in an increasing of net radiation sums.
- As a consequence of the above mentioned trends, the decreasing of actual evapotranspiration and increase of lack of soil moisture is expected in the lowlands of Slovakia. In the mountainous regions, where sufficient amount of precipitation is observed during the year, increase of air temperature decrease of relative air humidity, and decrease of number of days with snow cover will evoke the increase of potential and actual evapotranspiration without substantial change of the soil moisture condition.
- Analysis of space distribution of potential evapotranspiration annual totals on the territory of Slovakia for the period 1951 - 1980 showed up that this component of water balance equation on the whole territory SR had decreased with altitude as a result of the net radiation decrease. In mountain areas of Slovakia where excess moisture is observed during the year, the actual evapotranspiration shows only small differences from the potential evapotranspiration (less than 4 %) and is about 25-30 % of the annual sums of precipitation. In relatively dry areas (south Slovakia) about 80-85 % of the annual precipitation evaporates. With the increase of precipitation, E grows according to the altitude until a definite boundary, then, as a result of the net radiation decrease (the growth of cloudiness, relative humidity of the air,

number of days with snow cover, the decrease of the air and soil surface temperature) the actual evapotranspiration decreases with height.

- According to the scenarios of three used models (CCCM, GISS and GFD3), the annual totals of potential evapotranspiration will gradually rise on the whole territory of Slovakia. The most intensive increase of E_o will be by GFD3 model due to the most increasing warming from April to October. At the station Hurbanovo (115 m a.s. l.), representing the lowlands in the southern Slovakia, by the year 2075 the annual sums of E_o 842 mm according to the model CCCM, 833 mm according to the model GISS, and 900 mm according to the model GFD3, are expected. At the station Štrbské Pleso (mountain region - 1360 m a.s.l.) by the year 2075, the annual sums of E_o 522 mm by the model CCCM, 561 mm by the model GISS, and 615 mm by the model GFD3, are expected.
- According to the scenarios of three used models the annual sums of actual evapotranspiration (E) will gradually increase, too. By the year 2075, in comparison with the period 1951-1980, in the southern Slovakia they will be higher by about 3 % by the model CCCM, 16 % by the model GISS, and 13 % by the model GFD3. In the mountain regions this increase will be 18 % according to the model CCCM, 24 % according to the model GISS, and 29 % according to the model GFD3. Similar picture of the actual evapotranspiration change on the territory of Slovakia we receive for the vegetation period (April to September) with the exception of scenarios by the model CCCM in the southern Slovakia, where sums of E will gradually decrease due to precipitation decrease. By the year 2075 this decrease will be by about 3 %, in comparison with the period 1951 to 1980.
- According to the scenarios of three used models on the whole territory of Slovakia the sums of the evapotranspiration deficit ($E_o - E$) for the vegetation period due to the increasing trend of the air temperature will rise. The greatest increase will occur in the southern Slovakia by the model GFD3. In the southern Slovakia in time frame 2075, the totals of irrigation water for optimal conditions of field growth from April to September will reach 292 mm according to the model CCCM, 223 mm according to the model GISS, and 309 mm according to the model GFD3. In the northern Slovakia by the year 2075, the sums of ($E_o - E$) for the vegetation period according to three used models will alter from 50 to 100 mm.
- On the basis of the analysis which has been done by climatologists of the Slovak Hydrometeorological Institute in Bratislava, as well as of long-term trends and model computation of E_o , E and ($E_o - E$) in time frames 2010, 2030, and 2075 by the models CCCM, GISS, and GFD3, it seems that the best results for our territory, especially for the southern Slovakia, can grant scenarios by the model CCCM which very good simulates the annual air temperature course. We must take into consideration that this model gives the slightly higher precipitation in comparison with the measured means.

NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC

ANALÝZA NÁSTUPU
FENOLOGICKÝCH FÁZ RASTLÍN
V SUČANOCH V ZÁVISLOSTI
OD ZMIEN TEPLoty VZDUCHU

Riešitelia:	RNDr. Oľga Braslavská, CSc. - Ing. Peter Borsányi - - RNDr. Zuzana Ševčovičová, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
Projekt:	MŽP SR Výskum zmien kvality ovzdušia, klimatické zmeny a narušovanie ochranných vlastností atmosféry - NKP SR
Zadávateľ:	Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava
Lektor:	Doc. RNDr. Daniel Miadok, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

ANALÝZA NÁSTUPU FENOLOGICKÝCH FÁZ RASTLÍN V SUČANOCH V ZÁVISLOSTI OD ZMIEN TEPLoty VZDUCHU

Ol'ga Braslavská, Peter Borsányi, Zuzana Ševčovičová
Slovenský hydrometeorologický ústav, pracovisko Banská Bystrica

Abstrakt

Analýza zmien nástupu fenologických fáz rastlín v závislosti od zmien teploty vzduchu hodnotí dlhodobú sezónnu dynamiku začiatku kvitnutia vybraných druhov rastlín na fenologickej stanici Sučany. Výsledky práce ukázali nielen úzku koreláciu medzi začiatkom kvitnutia a teplotou vzduchu, ale aj dlhodobý trend v nástupe tejto fenologickej fázy v prípade hodnotených rastlín.

1. ÚVOD

Jednou z možností hodnotenia dôsledkov klimatickej zmeny je aj analýza sezónnej a priestorovej dynamiky vegetácie v zmenených podmienkach. Sezónnu dynamiku vývinu rastlín monitoruje fenologické pozorovanie rastlín, ktoré na Slovensku začalo už v druhej polovici minulého storočia. Metodicky a organizačne bolo zabezpečované viacerými organizáciami. Napozorované údaje boli publikované v rakúskych a maďarských ročenkách.

V tomto storočí začalo pravidelné fenologické pozorovanie v roku 1923. Počet fenologických staníc bol opäť variabilný a podobne to bolo aj s kvalitou napozorovaných údajov. Až do súčasnosti sieť fenologických staníc prekonala niekoľko organizačných aj metodických zmien, následkom čoho sa zachovalo len málo fenologických staníc, ktoré majú dlhé a relatívne kvalitné rady fenologických údajov. V rámci riešenia projektu NKP SR bola v roku 1995 vypracovaná záverečná správa zameraná na hodnotenie kvality dlhých radov fenologických fáz ovocných a lesných rastlín.

2. ÚDAJE A METÓDA

Jednou z fenologických staníc, ktoré pracujú s malými prerušeniami dlhodobo na tej istej lokalite, je fenologická stanica v Sučanoch. Pozorovanie tu prebieha od roku 1923 s prerušením v rokoch 1945, 1973 a 1974. Za celé obdobie bola zaznamenaná len jedna zmena pozorovateľa (v roku 1975). Stanica spĺňala kritériá na výber fenologických staníc na analýzu dlhých radov fenologických údajov, ktoré boli navrhnuté v spomínanej záverečnej správe NKP SR za rok 1995 [1]. Vzhľadom na dlhšie rady fenologických údajov, ktoré sú z tejto lokality k dispozícii, sme v tomto hodnotení spracovali celé obdobie 1923 - 1996. Fenologické údaje boli pomerne kompletne, aj keď sa okrem spomínaných rokov, keď bolo pozorovanie prerušené, sporadicky vyskytli chýbajúce údaje aj v ďalších rokoch. V pôvodných materiáloch nie je vždy možné zistiť príčinu neúplnosti údajov, preto sme ich pri tomto spracovaní doplnili podľa okolitých fenologických staníc so zreteľom na chod sumy kumulovanej kladnej priemernej mesačnej teploty vzduchu (KKPMTV) v danom roku.

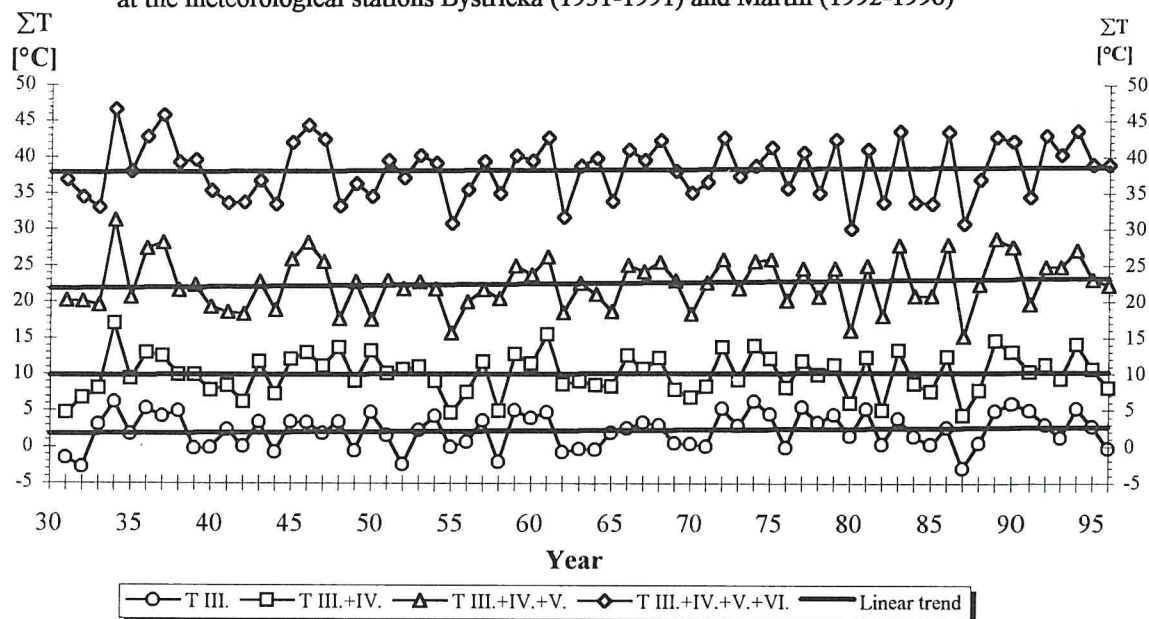
V prvej etape bola vyhodnotená fenologická fáza začiatok kvitnutia na štyroch druhoch kultúrnych ovocných drevín: ríbezľa červená (*Ribes rubrum* L.), skoré odrody čerešne vtácej (*Cerasus avium* (L.) MOENCH.), hrušky obyčajnej (*Pyrus communis* L.) a jablone domácej (*Malus domestica* BORKH.) za obdobie 1923 - 1996, na siedmich druhoch divorastúcich a okrasných drevín: lieska obyčajná (*Corylus avellana* L.), trnka obyčajná (*Prunus spinosa* L.), pagaštan konský (*Aesculus hippocastanum* L.), orgován obyčajný (*Syringa vulgaris* L.), agát biely (*Robinia pseudo-acacia* L.), baza čierna (*Sambucus nigra* L.) a lipa malolistá (*Tilia cordata* MILL.) za obdobie 1923 - 1985 a na dvoch druhoch trvácich bylín: podbeľ liečivý (*Tussilago farfara* L.) a králik biely (*Chrysanthemum leucanthemum* L.) za obdobie 1941 - 1985.

Pri zmene metodiky fenologického pozorovania (v roku 1986) došlo k zásahu, ktorý prerušil dlhé rady pozorovania fenologických fáz na divorastúcich a okrasných drevinách aj bylínach v sieti všeobecnofenologických staníc. Preto v ich prípade bolo hodnotené len skrátené obdobie 1923 - 1985 (dreviny), resp. 1941 - 1985 (byliny).

Výber hodnotených druhov bol urobený na základe kompletnosti a kontroly kvality údajov pomocou sumy (KKPMTV) z najbližšej meteorologickej stanice (MS) v Bystričke (1931 - 1991) a v Martine (1992 - 1996). Sumu KKPMTV sme počítali od marca do hlavného mesiaca kvitnutia daného druhu (dlhodobý priemer). V prípade, že priemerný dátum začiatku kvitnutia bol v prvej polovici mesiaca, priemernú mesačnú teplotu vzduchu z tohoto mesiaca sme do sumy KKPMTV nepočítali. Na obr. 1 sú zobrazené dlhodobé chody súm KKPMTV a ich trendy.

Obr. 1 Chod a trend súm kumulovanej priemernej mesačnej teploty vzduchu ΣT na meteorologickej stanici Bystrička (1931-1991) a Martin (1992-1996)

Fig. 1 Courses and trends of sums of cumulated average monthly air temperature ΣT at the meteorological stations Bystrička (1931-1991) and Martin (1992-1996)



V tab. 1 uvádzame základné štatistické zhodnotenie fenologických údajov posudzovaných druhov rastlín, ktoré sme použili pre výber sumy KKPMTV na zistenie závislosti medzi teplotou vzduchu a začiatkom kvitnutia.

Tab. 1 Štatistické charakteristiky fenologickej fázy začiatok kvitnutia vybraných rastlinných druhov rastlín v Sučanoch

Tab. 1 Statistic characteristics of the phenological phase the beginning of flowering of the chosen plant species at Sučany

Druh Species	Priemerný dátum Mean date	Štandardná odchýlka Standard deviation	Prvý dátum First date	Rok Year	Posledný dátum The latest date	Rok Year
Ríbezľa červená Redcurrant	26.04.	8	06.04.	1974.	12.05.	1944
Čerešňa vtáčia Sweet cherry	27.04.	8	04.04.	1974	16.05.	1941
Hruška obyčajná Pear	04.05.	9	14.04.	1990	21.05.	1941
Jabloň domáca Apple	07.05.	8	16.04.	1990	24.05.	1941
Lieska obyčajná Hazel	13.03.	14	04.02.	1923	14.04.	1932
Trnka obyčajná Blackthorn	30.04.	7	16.04.	1934	15.05.	1941
Pagaštan konský Horse Chesnut	13.05.	7	27.04.	1983	28.05.	1941
Orgován obyčajný Lilac	15.05.	8	24.04.	1934	29.05.	1954
Agát biely Robinia	06.06.	9	11.05.	1934	26.06.	1955
Baza čierna Eldertree	07.06.	10	18.05.	1934	28.06.	1941
Lipa malolistá Linden	01.07.	8	17.06.	1968	25.07.	1962
Podbeľ liečivý Coltsfoot	25.03.	13	28.02.	1966	16.04.	1963
Králik biely Ox-eye Daisy	29.05.	11	06.05.	1981	20.06.	1956

3. VÝSLEDKY

3.1 Teplota vzduchu a začiatok kvitnutia

Kvitnutie druhov uvedených v tejto práci prebieha v prvej polovici vegetačného obdobia, teda od marca až do začiatku júla. Hodnotenú dreviny aj byliny sú trváce rastliny, ktoré na danom stanovisku rastú viacej rokov. Po ukončení obdobia vegetačného pokoja nastupujú rastliny za určitého tepelného aj svetelného režimu dňa do vegetačného obdobia [3, 4]. Medzi jarné fenologické fázy väčšiny u nás rastúcich rastlín patrí kvitnutie. Limitujúcim faktorom pre začiatok kvitnutia v danom roku je teplota vzduchu. Podľa literárnych údajov [5], nástup fenologickej fázy ovplyvňuje teplota vzduchu najmenej 2 mesiace pred dátumom výskytu danej fenologickej fázy. Funkciu teploty v tomto procese dobre charakterizuje koeficient korelácie [6], ktorý je na vyjadrenie korelácie medzi začiatkom kvitnutia a teplotou vzduchu uvedený v tab. 2. Pre ríbezľu

červenú, čerešňu vtáčiu, hrušku obyčajnú a jabloň letnú bol počítaný za obdobie 1931 - 1996 pre ostatné druhy drevín za obdobie 1931 - 1985 a pre byliny za obdobie 1941 - 1985.

Tab. 2 Korelácia medzi začiatkom kvitnutia vybraných druhov rastlín v Sučanoch a teplotou vzduchu v Bystričke od marca do hlavného mesiaca kvitnutia

Tab. 2 Correlation between the beginning of the chosen plant species flowering at Sučany and the air temperature from March to the main moth of the flowering at Bystrička

Druh Species	Teplota vzduchu mesiace Air temperature months	Lineárny člen b Linear term b	Koeficient korelácie r Correlation coefficient r
Ríbezľa červená Redcurrant	III. & IV.	-2,12	-0,79
Čerešňa vtáčia Sweet cherry	III. & IV.	-2,18	-0,75
Hruška obyčajná Pear	III. & IV.	-2,10	-0,78
Jabloň domáca Apple	III. & IV.	-2,00	-0,72
Lieska obyčajná Hazel	III.	-3,48	-0,64
Trnka obyčajná Blackthorn	III. & IV.	-2,05	-0,80
Pagaštan konský Horse Chesnut	III. & IV.	-1,95	-0,70
Orgován obyčajný Lilac	III. & IV.	-1,92	-0,66
Agát biely Robinia	III. & IV. & V.	-1,96	-0,68
Baza čierna Eldertree	III. & IV. & V.	-1,87	-0,63
Lipa malolistá Linden	III. & IV. & V. & VI.	-1,18	-0,52
Podbeľ liečivý Coltsfoot	III.	-3,25	-0,56
Králik biely Ox-eye Daisy	III. & IV. & V.	-1,66	-0,49

Nárast sumy KKPMTV o 1 °C posunie začiatok kvitnutia hodnotených druhov (lineárny člen b) do skoršieho obdobia o jeden až tri dni. Hodnoty lineárneho člena b v tab. 2 ukazujú, že druhy kvitnúce skoro na jar (lieska obyčajná a podbeľ liečivý) reagovali na sumu KKPMTV zvýšenú o 1 °C skorším nástupom fenologickej fázy o tri dni. Druhy kvitnúce na konci jarného obdobia a na začiatku leta (králik biely a lipa malolistá) reagovali skorším nástupom fenologickej fázy o jeden deň.

Koeficient korelácie medzi teplotou vzduchu a začiatkom kvitnutia hodnotených druhov rastlín bol významný. Vyššie hodnoty dosiahol v prípade druhov kvitnúcich v apríli až v júni. Druhy kvitnúce v marci alebo až v júli, mali nižšiu hodnotu koeficientu korelácie. Kvitnutie liesky obyčajnej a podbeľa liečivého bolo zrejme ovplyvňované nielen extrémnymi teplotami vzduchu (krátkodobé oteplenie na konci zimy), ale aj polohou stanovišťa, na ktorom boli pozorované. Koeficient korelácie medzi teplotou vzduchu a začiatkom kvitnutia bylín bol tiež nižší, čo súviselo s väčším vplyvom ostatných faktorov prostredia na tieto rastliny na rozdiel od drevín a krov.

Začiatok kvitnutia v každom roku závisí nielen od teplotných pomerov 2 - 3 mesiace pred kvitnutím, ale aj od teploty vzduchu a jej extrémnych hodnôt niekoľko dní pred kvitnutím (predovšetkým neskoré jarné mrazy), čo mohlo byť príčinou chýbajúcich údajov z niektorých rokov.

3.2 Dlhodobý trend teploty vzduchu na MS Bystrička a Martin

Výsledky detailného hodnotenia teplotných trendov sú predmetom iných prác projektu NKP SR, preto ich v tejto práci nebudeme podrobnejšie analyzovať. Priemerná mesačná teplota vzduchu v marci za obdobie 1931 - 1996 mala rastúci trend. Toto ovplyvnilo aj sumu KKPM TV za mesiace marec a apríl, hoci priemerná mesačná teplota vzduchu v apríli mala klesajúci trend. Trend sumy KKPM TV za marec, apríl a máj aj trend sumy KKPM TV za mesiace marec, apríl, máj a jún v období 1931 - 1996 bol rastúci.

3.3 Dlhodobý trend fenologickej fázy začiatok kvitnutia

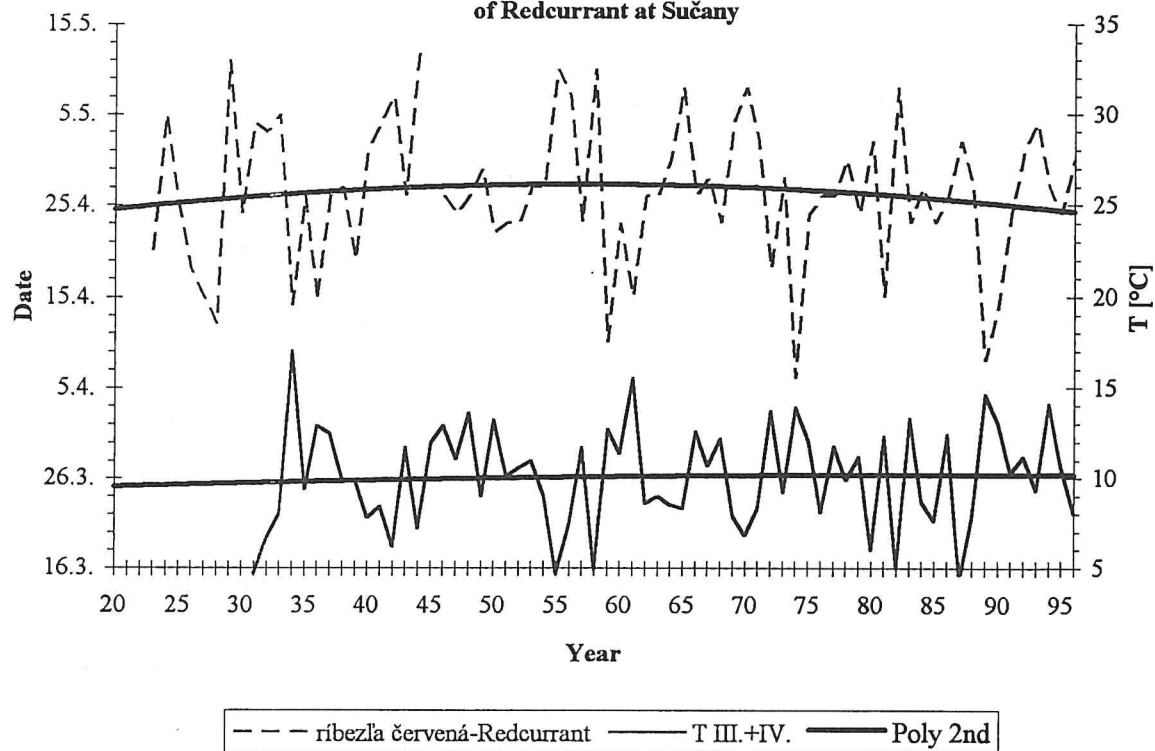
Kultúrne dreviny vykazovali v začiatku kvitnutia za hodnotené obdobie posun ku skoršiemu dátumu nástupu fenologickej fázy, najmä od roku 1960 (obr. 2 - 5). Najväčší posun bol zaznamenaný v prípade čerešne vtácej, najmenší v prípade ríbezle červenej (obr. 6 - 13). Ostatné divorastúce a okrasné dreviny, aj byliny, ktoré boli hodnotené len za obdobie do roku 1985 tiež vykazovali posun začiatku kvitnutia ku skoršiemu dátumu nástupu fenologickej fázy od roku 1960. Najmenší posun bol v prípade trnky obyčajnej, najväčší posun v prípade liesky obyčajnej, podbeľ a liečivého a kráľika bieleho. Jediný druh, ktorý vykazoval posun dátumu kvitnutia do neskoršieho obdobia bola lipa malolistá. Dá sa predpokladať, že začiatok kvitnutia liesky obyčajnej a podbeľ a liečivého priaznivo ovplyvnili teplotné pomery na konci zimy a v marci. Začiatok kvitnutia ríbezle červenej a trnky obyčajnej bol zrejme ovplyvnený predovšetkým teplotou vzduchu v apríli. Tento mesiac má podľa analýz teplotných radov klesajúci teplotný trend. Lipa malolistá, ktorá kvitne na začiatku leta, pravdepodobne reagovala na teplotu vzduchu v júni. Za obdobie 1931 - 1985 mala suma KKPM TV klesajúci trend, čo bolo spôsobené najmä nižšími priemernými mesačnými teplotami vzduchu v júni. Okrem toho kvitnutie tohoto druhu mohlo byť negatívne ovplyvnené aj v tomto mesiaci periodicky sa opakujúcim vlhkým zonálnym prúdením vzduchu spojeným so zrážkami.

4. ZÁVER

Zmenené teplotné pomery vyvolali zmenu sezónnej dynamiky v začiatku kvitnutia rastlín. V prípade hodnotených druhov sa tento vplyv prejavil najmä v období po roku 1960. Kvitnutie väčšiny našich rastlín prebieha v jarných mesiacoch a závisí predovšetkým od teploty vzduchu, aj keď ani ostatné faktory prostredia nemožno zanedbať. Vplyv teploty vzduchu sa však na tejto fenologickej fáze prejaví nielen cez teplotnú sumu, potrebnú na jej nástup, ale aj cez extrémne teploty vzduchu, predovšetkým záporné, ktoré môžu poškodiť kvety. Posun termínu kvitnutia rastlín do skoršieho obdobia pri väčšej krátkodobej variabilite klímy môže znamenať ohrozenie úrody kultúrnych rastlín aj napriek rastúcej teplotnej zabezpečenosti vegetačného obdobia.

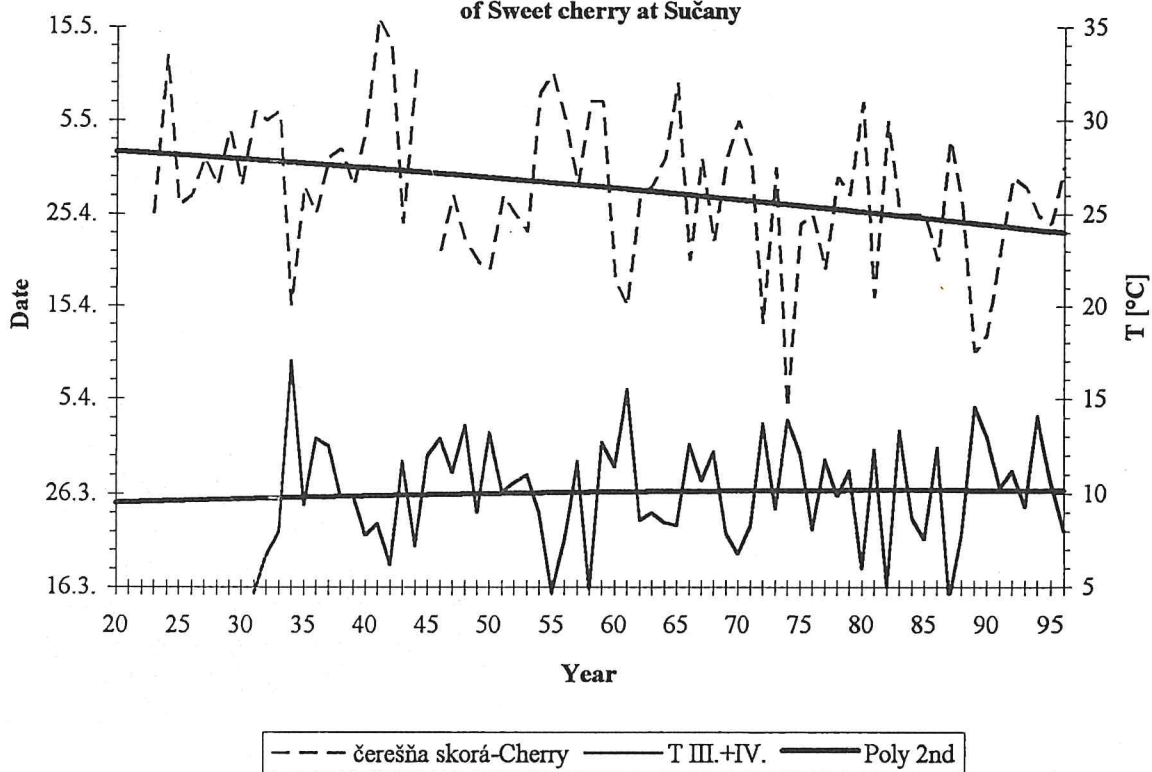
Obr. 2 Chod a trend teploty vzduchu T a začiatku kvitnutia
ríbezle červenej v Sučanoch

Fig. 2 Courses and trends of the air temperature T and the beginning of flowering
of Redcurrant at Sučany



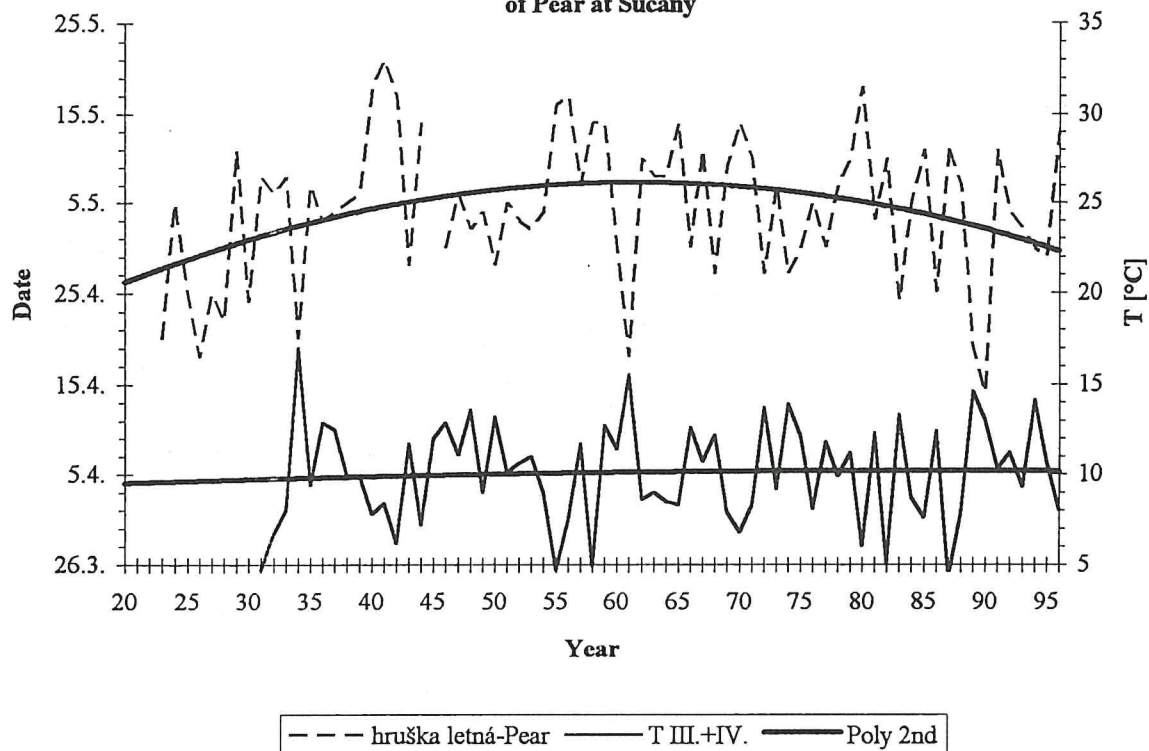
Obr. 3 Chod a trend teploty vzduchu T a začiatku kvitnutia
čerešne vtácej v Sučanoch

Fig. 3 Courses and trends of the air temperature T and the beginning of flowering
of Sweet cherry at Sučany



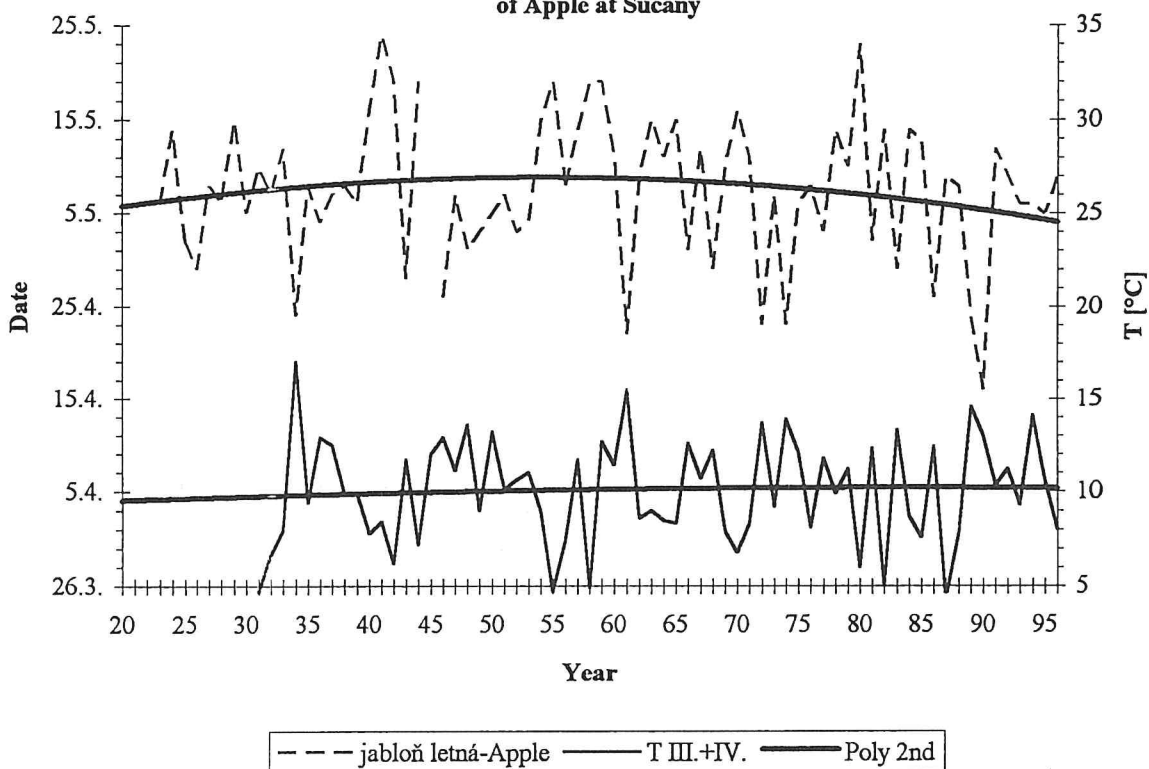
Obr. 4 Chod a trend teploty vzduchu T a začiatku kvitnutia
hrušky obyčajnej v Sučanoch

Fig. 4 Courses and trends of the air temperature T and the beginning of flowering
of Pear at Sučany



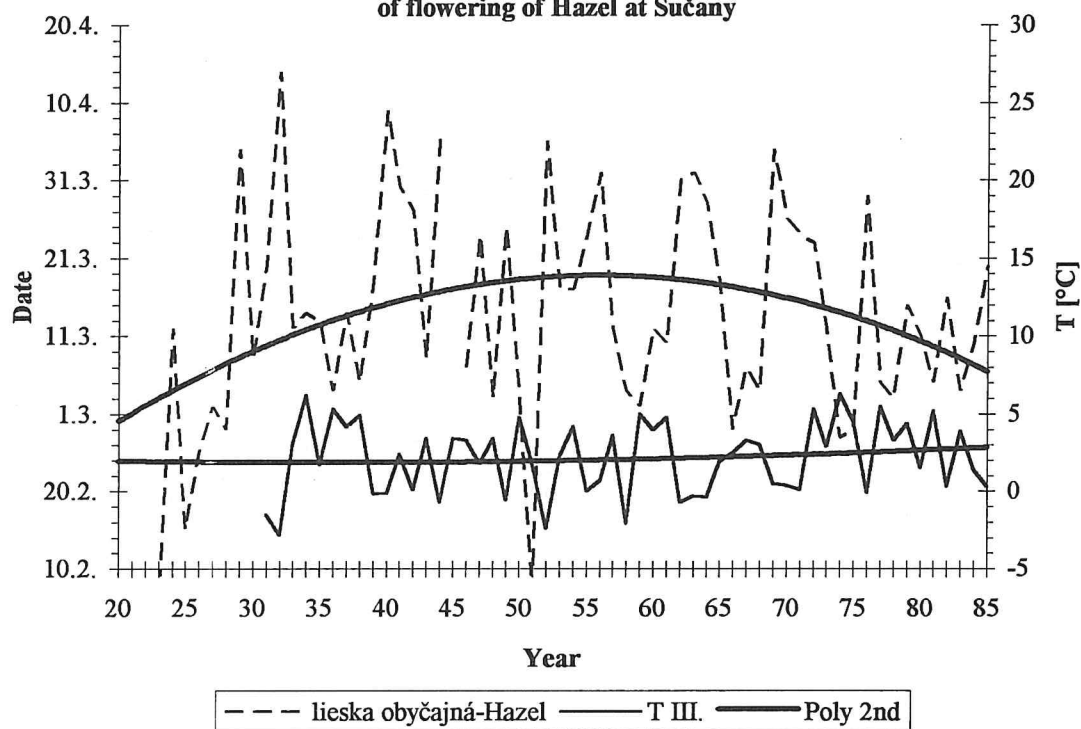
Obr. 5 Chod a trend teploty vzduchu T a začiatku kvitnutia
jablone domácej v Sučanoch

Fig. 5 Courses and trends of the air temperature T and the beginning of flowering
of Apple at Sučany



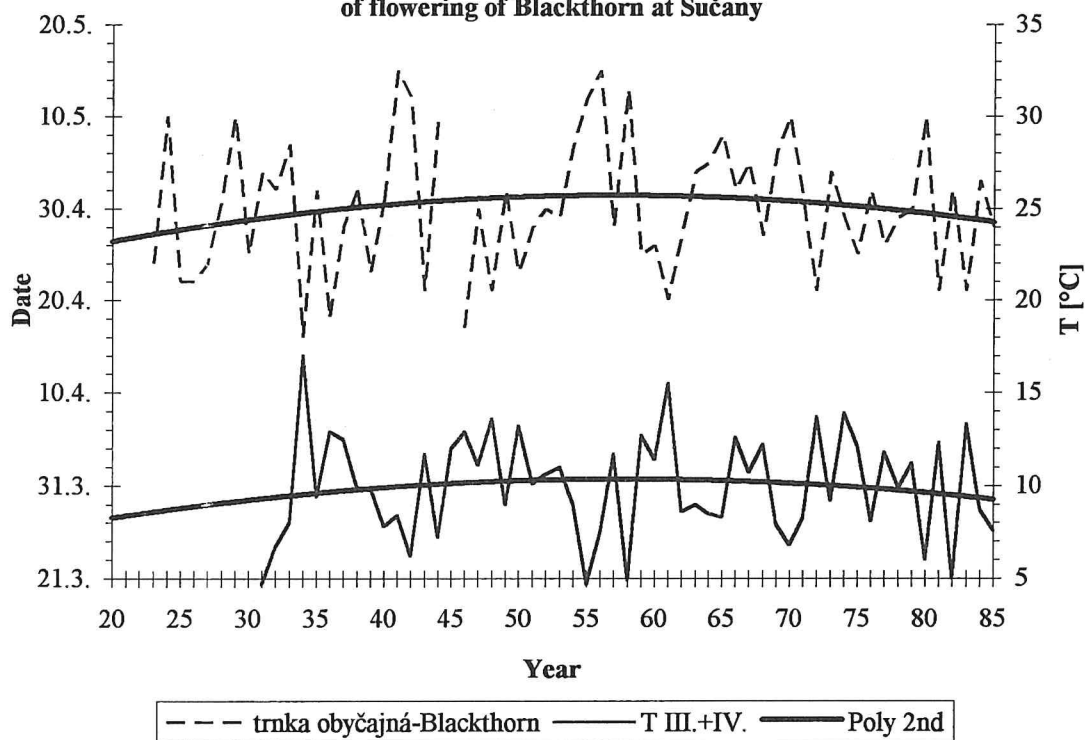
Obr. 6 Chod a trend teploty vzduchu T a začiatku kvitnutia
liesky obyčajnej v Sučanoch

Fig. 6 Courses and trends of the air temperature T and the beginning
of flowering of Hazel at Sučany

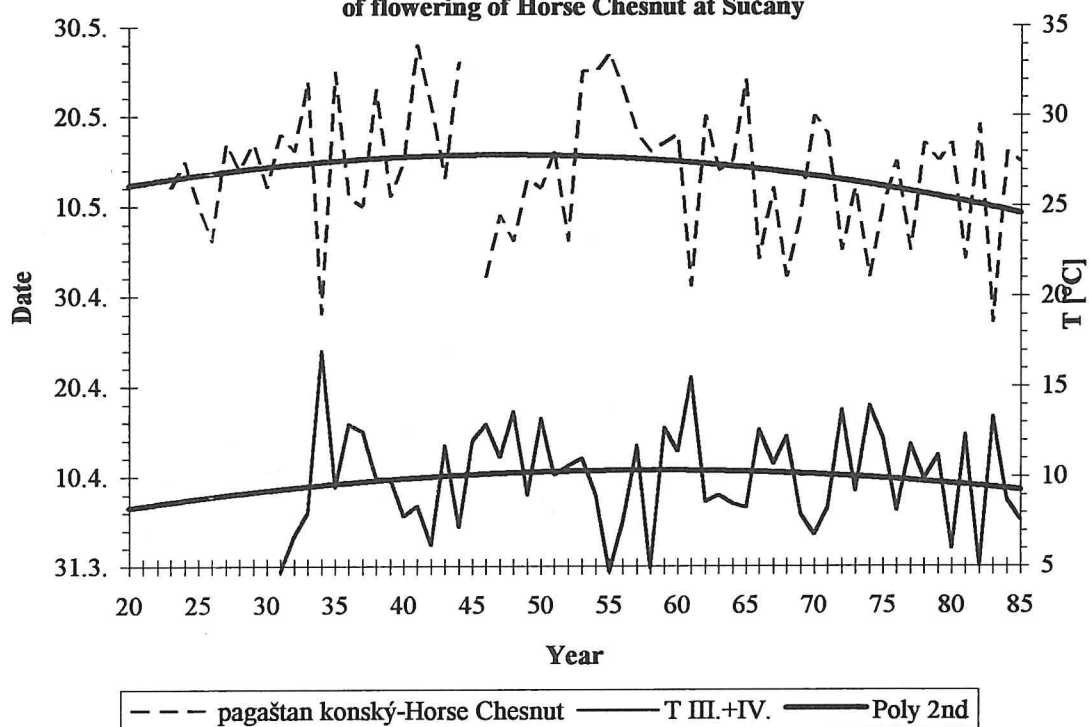


Obr. 7 Chod a trend teploty vzduchu T a začiatku kvitnutia
trnky obyčajnej v Sučanoch

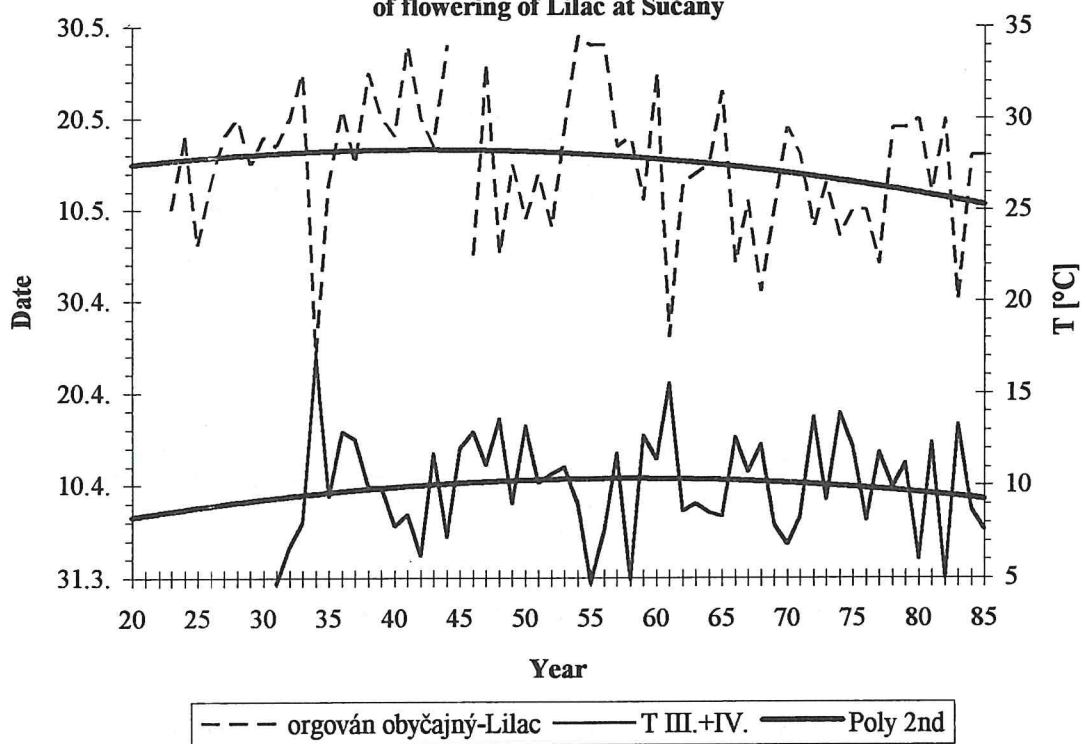
Fig. 7 Courses and trends of the air temperature T and the beginning
of flowering of Blackthorn at Sučany



Obr. 8 Chod a trend teploty vzduchu T a začiatku kvitnutia
pagaštana konského v Sučanoch
Fig. 8 Courses and trends of the air temperature T and the beginning
of flowering of Horse Chesnut at Sučany

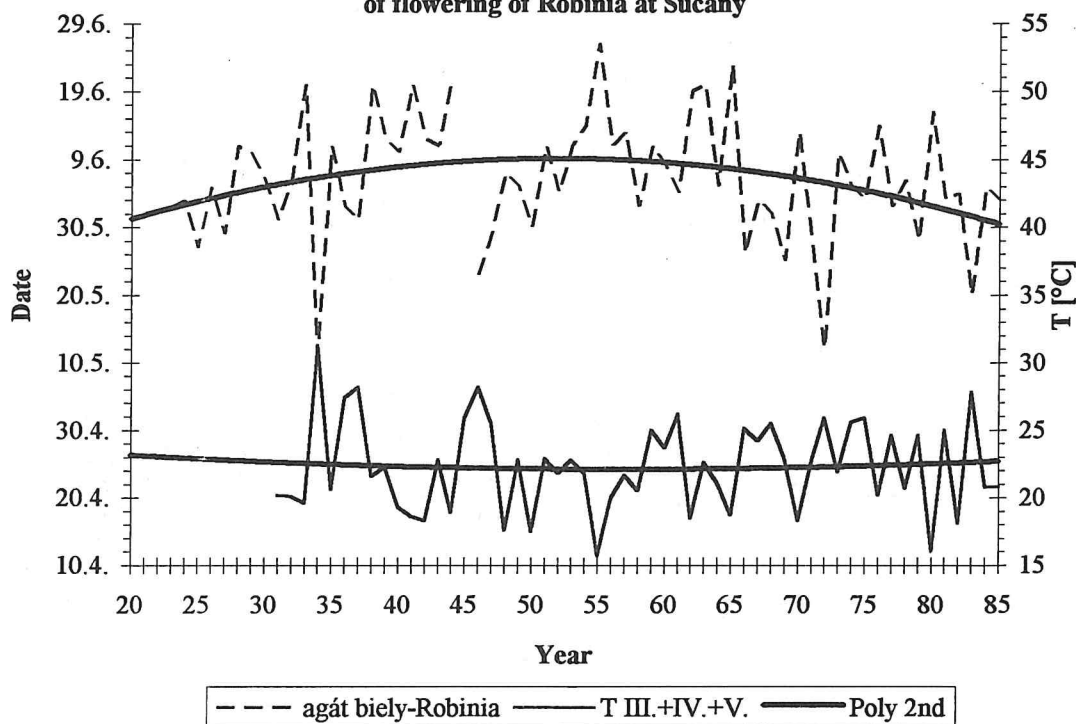


Obr. 9 Chod a trend teploty vzduchu T a začiatku kvitnutia
orgována obyčajného v Sučanoch
Fig. 9 Courses and trends of the air temperature T and the beginning
of flowering of Lilac at Sučany



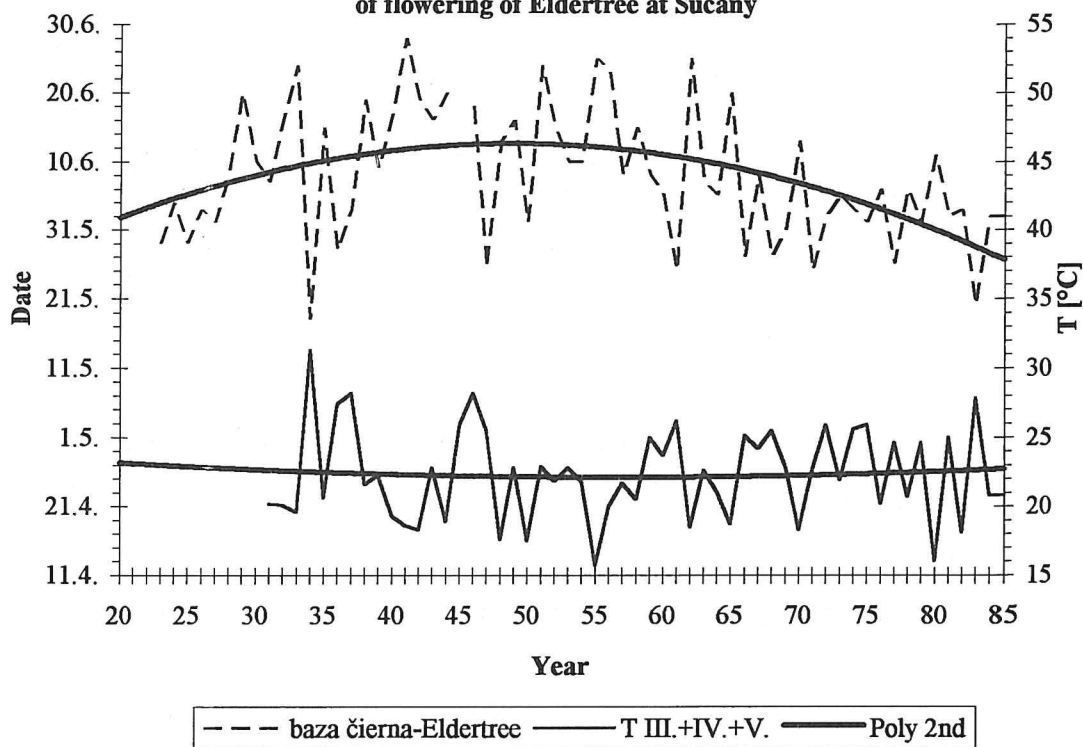
Obr. 10 Chod a trend teploty vzduchu T a začiatku kvitnutia
agáta bieleho v Sučanoch

Fig. 10 Courses and trends of the air temperature T and the beginning
of flowering of Robinia at Sučany



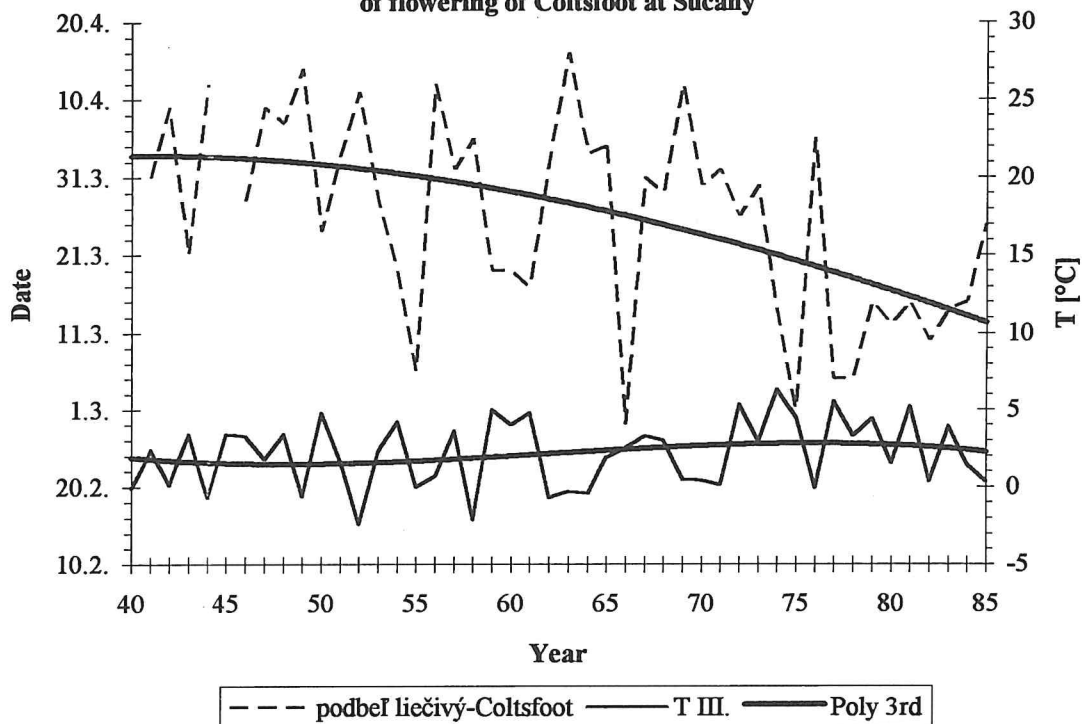
Obr. 11 Chod a trend teploty vzduchu T a začiatku kvitnutia
bazy čiernej v Sučanoch

Fig. 11 Courses and trends of the air temperature T and the beginning
of flowering of Eldertree at Sučany



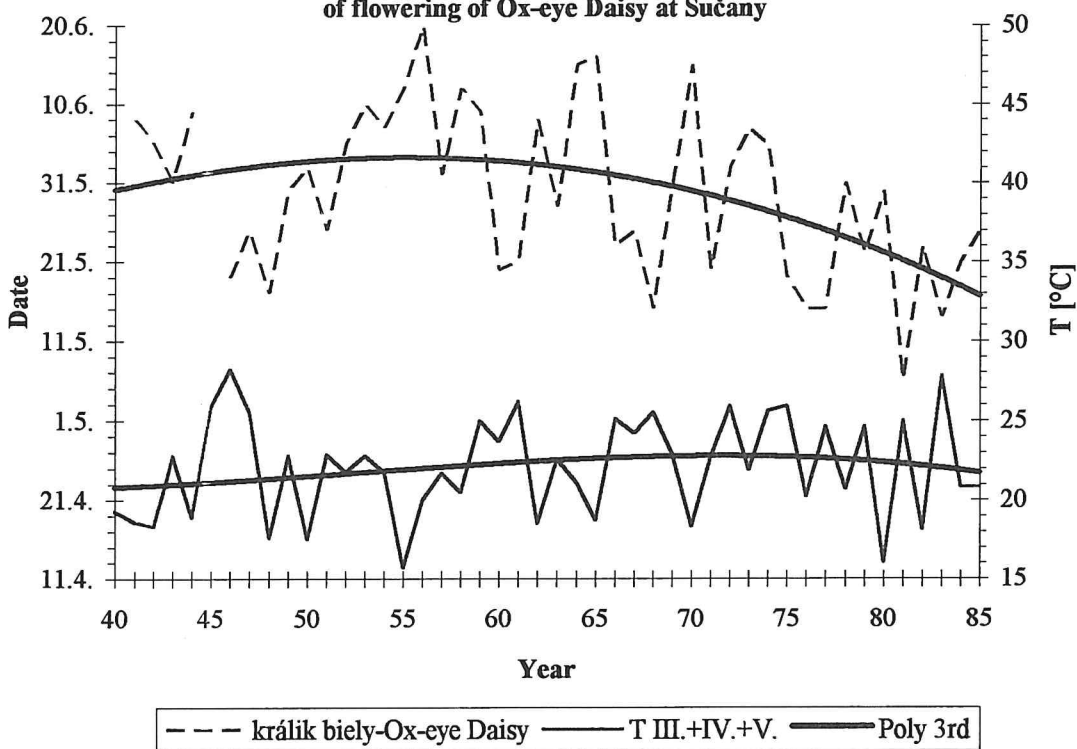
Obr. 12 Chod a trend teploty vzduchu T a začiatku kvitnutia
podbeľa liečivého v Sučanoch

Fig. 12 Courses and trends of the air temperature T and the beginning
of flowering of Coltsfoot at Sučany



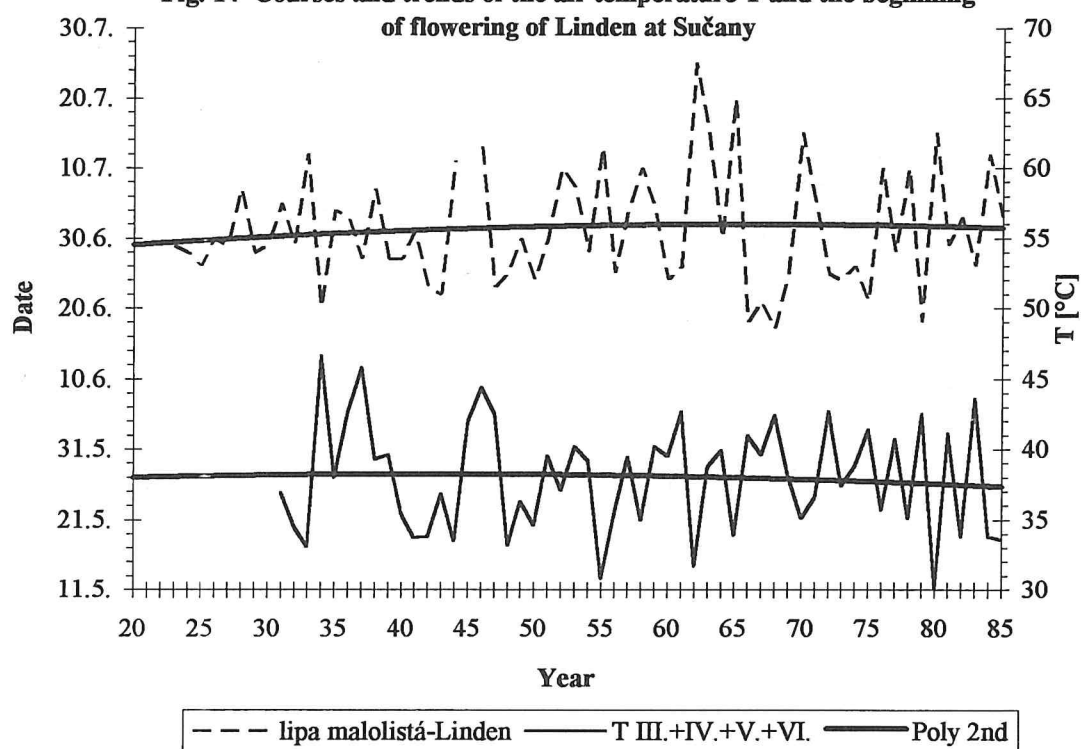
Obr. 13 Chod a trend teploty vzduchu T a začiatku kvitnutia
kráľika bieleho v Sučanoch

Fig. 13 Courses and trends of the air temperature T and the beginning
of flowering of Ox-eye Daisy at Sučany



Obr. 14 Chod a trend teploty vzduchu T a začiatku kvitnutia
lipy malolistej v Sučanoch

Fig. 14 Courses and trends of the air temperature T and the beginning
of flowering of Linden at Sučany



LITERATÚRA

- [1] BRASLAVSKÁ O., BORSÁNYI P.: Výber reprezentatívnych fenologických staníc na hodnotenie dlhých radov fenologických fáz ovocných a lesných rastlín. [Záverečná správa Projektu NKP SR.] Banská Bystrica 1995.
- [2] BRASLAVSKÁ O.: Zhodnotenie nástupu vybraných fenologických fáz niektorých ovocných a lesných drevín na Slovensku. Obdobie 1961-1985, resp. 1990. Zborník prác SHMÚ, 38, SHMÚ, Bratislava 1996, s. 139 - 221.
- [3] HUDÁK J. a kol.: Biológia rastlín. SPN, Bratislava 1989.
- [4] LARCHER W.: Fyziologická ekologie rostlin. Academia, Praha 1988.
- [5] LAUSCHER F., SCHNELLE F.: Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr.169. Beiträge zur Phänologie Europas V - Lange phänologische Reihen Europas und ihre Beziehungen zur Temperature. Deutche Wetterdienst, Offenbach am Main 1986.
- [6] NOSEK M.: Metody v klimatologii. Academia, Praha 1972

ANALYSIS OF THE PLANT PHENOLOGICAL PHASES OUTSET AT SUČANY DEPENDING ON CHANGES OF THE AIR TEMPERATURE

Ol'ga Braslavská, Peter Borsányi, Zuzana Ševčovičová
Slovak Hydrometeorological Institute, Banská Bystrica

SUMMARY

One of the possibilities of the climate change estimation is an analysis of the seasonal and the spatial dynamics of the vegetation in the changed conditions. The seasonal dynamics of the plant development is observed at the phenological stations. The phenological observation have started in 1923 but only a few phenological stations have long and relatively homogeneous series of the phenological data. The phenological station at Sučany began with the plant observation in 1923 and there were only two short time interruptions of the observation - in 1945 and 1973 - 1974.

The best observed phenological phase - the beginning of flowering - on four species of the cultural plants (Redcurrant, early varieties of Sweet cherry, Pear and Apple), seven wild and ornamental species (Hazel, Blackthorn, Horse Chesnut, Lilac, Robinia, Eldertree and Linden) and also two perennial herbs (Coltsfoot and Ox-eye Daisy) were choosen for the estimation. The missing data were supplemented according to the neighbouring phenological stations and sums of cumulated positive average monthly air temperature (CPAMAT) from the nearest meteorological stations at Bystrička (1931 - 1991) and Martin (1992 - 1996) in the given year. The CPAMAT sum was calculated from the month of March to the main month of the flowering of the chosen species.

The correlation between the beginning of flowering and the sum of CPAMAT was expressed by the correlation coefficient. It varied from -0,49 (Ox-eye Daisy) to -0,79 (Redcurrant). The higher correlation coefficient in the case of cultural plants exceeded -0,7. The change of the CPAMAT sums by one Celsius degree will cause the shift of the beginning of flowering to an earlier date. A greater shift can be expected at plant species which flower in early spring season (Hazel, Coltsfoot). From 1960 there was observed the shift of the beginning of flowering to an earlier date by every plant species except of Linden.

The changed temperature conditions caused the change of the seasonal dynamics in the beginning of the plant flowering. The flowering of the plants depends not only on the temperature sum but also on the extreme temperatures (especially below zero) which can damage the flowers. The shift of the plant flowering to the earlier date by a higher short time weather variability can negatively influence the harvest of the cultural plants in spite of the increasing temperature sum in the vegetation period.

*NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY*

*NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC*

**DÔSLEDKY KLIMATICKÝCH ZMIEN
NA POĽNOHOSPODÁRSTVO
A ADAPTAČNÉ OPATRENIA**

Riešitelia:	Prof. Ing. František Špánik, CSc. - RNDr. Bernard Šiška, CSc. - - Ing. Štefan Repa, CSc. Katedra biometeorológie a hydrológie, FZKI, VŠP, Nitra
Projekt:	MŽP SR Výskum zmien kvality ovzdušia, klimatické zmeny a narušovanie ochranných vlastností atmosféry - NKP SR
Zadávatel:	Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava
Lektor:	Prof. RNDr. Ján Tomlain, DrSc., Katedra meteorológie a klimatológie, MFF UK, Bratislava

DÔSLEDKY KLIMATICKÝCH ZMIEN NA POĽNOHOSPODÁRSTVO A ADAPTAČNÉ OPATRENIA

F. Špánik, B. Šiška, Š. Repa

Katedra biometeorológie a hydrológie, FZKI, VŠP, Nitra

1. ÚVOD

Predpokladané klimatické zmeny, predovšetkým zmeny energetického a vodného režimu prostredia, koncentrácie CO₂, ale aj iné, budú mať mnohostranné raz kladné, inokedy negatívne dôsledky na rôzne oblasti ľudských činností, hlavne však na poľnohospodárstvo. Úlohou odborníkov v systéme poľnohospodárskych vied je už v súčasnosti, tieto dôsledky stanovovať, analyzovať a hľadať možnosti pozitívneho využitia kladných a znižovania negatívnych vplyvov týchto dôsledkov na všeobecnú a špeciálnu rastlinnú výrobu.

Cieľom predloženej práce je uviesť niektoré príklady dôsledkov klimatickej zmeny na poľnohospodársku rastlinnú výrobu v podmienkach najproduktívnejšej časti Slovenska - Podunajskej nížiny, zvlášť so zameraním na zmeny radiačnej, teplotnej a vlhového zabezpečenia vegetačného obdobia, zmeny fenologických pomerov, agroklimatického produkčného potenciálu, ale aj zmeny ďalších špecifických oblastí poľnohospodárskej výroby. Ďalšiu časť práce tvoria návrhy adaptačných opatrení smerujúcich k znižovaniu rizík vyplývajúcich z klimatických zmien.

2. MATERIÁL, METÓDA A ZÁKLADNÉ SCENÁRE

Meteorologické a fenologické údaje k riešeniu úlohy za referenčný časový rad (RČR) rokov 1951 - 1980 boli získané na Slovenskom hydrometeorologickom ústave v Bratislave, biologické údaje o úrodách na Slovenskom štatistickom úrade v Bratislave a na Vysokej škole poľnohospodárskej v Nitre. Vytýpovanou lokalitou analýz bolo Hurbanovo, ktoré svojou polohou najlepšie reprezentuje Podunajskú nížinu.

Agroklimatické a fenologické charakteristiky a charakteristiky úrod boli hodnotené za:

- veľké vegetačné obdobie (VVO), ktoré je v podstate ohraničené biologickým teplotným minimom (dennými priemerami teploty vzduchu $t \geq 5,0$ °C), a teda aj obdobím celoročnej produkcie biomasy i hospodárskej úrody. Stotožňuje sa s produkčným obdobím trvalých trávnych porastov, viacročných krmovín na ornej pôde, na teplotu menej náročných ovocných stromov i ostatných trvalých kultúr.
- hlavné vegetačné obdobie (HVO) je ohraničené $t \geq 10,0$ °C a je obdobím produkcie biomasy a tvorby úrod na teplotu náročných plodín, napr. kukurice, cukrovej repy, ale tiež ovocných stromov: marhule, broskyne, čerešne, viniča hroznorodého a iných.

Zmeny agroklimatických charakteristík, či ukazovateľov boli simulované k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075 podľa scenárov klimatických zmien podľa modelov CCCM, GISS, GFD3 a voľne kombinovaných scenárov zmien teplôt dT1, dT2 a zmien zrážkových úhrnov dR1, dR2 a dR3, platných pre Slovensko.

Tab. 1 Modifikácie scenárov zmien priemernej mesačnej teploty vzduchu [$^{\circ}\text{C}$] pre rôzne časové horizonty (LAPIN et al., 1995)

Tab. 1. Modifications of changed mean air months temperatures scenarios up to year 2075 in $^{\circ}\text{C}$ (LAPIN et al., 1995)

Scenár	Čas. horiz	Mesiac												Rok
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
CCCM	2 010	1,2	1,4	1,4	1,0	0,9	0,9	1,1	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9	1,1
GISS		1,8	1,7	1,6	1,2	1,0	0,8	0,8	0,8	1,2	1,4	1,5	1,6	1,3
GFD3		0,8	1,3	1,6	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,5	1,5	1,3	1,2	1,4
dT1		1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	0,7
dT2		2,0	1,9	1,6	1,3	1,1	0,8	0,7	0,8	1,1	1,3	1,6	1,9	1,3
CCCM	2 030	2,0	2,4	2,3	1,7	1,5	1,6	1,8	1,7	1,9	1,8	1,4	1,5	1,8
GISS		3,0	2,9	2,7	2,1	1,7	1,4	1,3	1,3	1,9	2,4	2,5	2,7	2,1
GFD3		1,4	2,2	2,7	2,6	2,5	2,4	2,3	2,1	2,4	2,5	2,2	2,0	2,3
dT1		1,7	1,6	1,3	1,1	0,9	0,7	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	1,1
dT2		3,3	3,1	2,7	2,2	1,8	1,3	1,1	1,3	1,8	2,2	2,7	3,1	2,2
CCCM	2 075	3,7	4,5	4,3	3,2	2,9	3,0	3,3	3,2	3,6	3,4	2,7	2,8	3,4
GISS		5,7	5,4	5,0	3,9	3,2	2,6	2,4	2,4	3,6	4,5	4,7	5,1	4,1
GFD3		2,6	4,1	5,1	4,9	4,8	4,5	4,3	4,0	4,6	4,7	4,1	3,8	4,3
dT1		3,2	3,0	2,5	2,1	1,7	1,3	1,1	1,3	1,7	2,1	2,5	3,0	2,1
dT2		6,3	5,9	5,1	4,2	3,4	2,5	2,1	2,5	3,4	4,2	5,1	5,9	4,2

Produkčný potenciál biomasy podľa príkonu radiačnej energie do biologickej sústavy (U_{pQ}) bol vypočítaný podľa vzťahu:

$$U_{pQ} = \frac{Q_{FAR} \cdot e_{FAR}}{Q_c} \quad v \text{ [kg.m}^{-2}\text{]}$$

kde:

Q_{FAR} - suma fotosynteticky aktívneho žiarenia za vegetačné obdobie v kWh.m^{-2}

e_{FAR} - koeficient využitia žiarenia

Q_c - energetický ekvivalent potrebný na vytvorenie 1 kg sušiny

Modifikácie scenárov zmien priemernej teploty vzduchu [$^{\circ}\text{C}$] pre rôzne časové horizonty sú v tab.1 a modifikácie scenárov zmien úhrnov zrážok [$\text{v \%}$] sú v tab.2.

Tab. 2 Modifikácie scenárov zmien úhrnov zrážok [v %] pre rôzne časové horizonty (LAPIN et al., 1995)

N - modifikácie pre severné oblasti Slovenska, S - pre južné oblasti Slovenska

Table 2 Modifications of changed scenarios of rainfall sums in per cents up to year 2075 (LAPIN et al. 1995)

N - modifications for northern part of Slovakia, S - for southern part of Slovakia

Scenár	Čas. horiz	Mesiac												Rok
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
CCCM-N	2 010	10	5	0	3	-2	0	-4	-4	-4	6	8	11	2
CCCM-S		9	1	5	1	-5	-5	-7	1	-3	3	5	7	0
GISS-N		5	10	9	11	6	2	3	2	-5	8	10	1	5
GISS-S		5	8	8	9	6	2	6	6	-6	9	9	2	5
GFD3-N		-2	14	3	4	2	0	-5	6	11	14	14	0	4
GFD3-S		-3	16	2	3	1	0	-6	12	9	10	14	-1	4
dR2 N		6	4	1	-1	-2	-3	-6	-5	-5	-1	4	4	-1
dR2 S		7	5	0	-4	-6	-4	-7	-6	-5	0	3	4	-2
dR3 N		9	6	1	-2	-3	-5	-9	-8	-8	-1	6	7	-2
dR3 S		11	7	0	-7	-10	-5	-10	-9	-8	0	4	7	-3
CCCM-N	2 030	17	9	1	5	-3	-1	-6	-7	-7	9	14	18	3
CCCM-S		15	1	8	2	-8	-9	-11	2	-5	6	8	12	0
GISS-N		8	16	14	18	9	4	4	3	-8	13	16	2	8
GISS-S		8	13	14	15	9	4	11	10	-11	15	15	3	9
GFD3-N		-3	23	4	7	4	-1	-8	10	19	24	23	1	7
GFD3-S		-5	26	3	4	2	-1	-10	20	15	17	23	-2	7
dR2 N		10	6	1	-2	-4	-5	-10	-8	-8	-1	7	7	-2
dR2 S		12	8	0	-7	-11	-6	-11	-10	-8	0	5	7	-3
dR3 N		15	9	2	-3	-6	-8	-15	-12	-12	-2	10	11	-3
dR3 S		18	12	0	-11	-16	-9	-17	-15	-13	0	7	11	-5
CCCM-N	2 075	32	17	1	10	-6	-1	-12	-13	-13	18	27	35	5
CCCM-S		29	2	15	4	-15	-17	-21	3	-9	11	16	22	0
GISS-N		16	31	27	34	18	7	8	6	-16	25	31	4	14
GISS-S		16	24	26	28	18	7	20	19	-20	28	29	6	16
GFD3-N		-5	44	8	13	7	-1	-16	19	36	45	44	1	14
GFD3-S		-10	50	6	8	3	-1	-19	39	28	33	43	-4	13
dR2 N		18	11	2	-3	-6	-9	-17	-15	-15	-2	12	13	-3
dR2 S		21	14	0	-13	-19	-10	-20	-17	-15	0	8	13	-6
dR3 N		24	15	3	-5	-9	-12	-23	-20	-20	-3	16	18	-4
dR3 S		28	19	0	-18	-26	-14	-27	-23	-20	0	11	18	-8

3. VÝSLEDKY A HODNOTENIE

3.1. Zmeny zabezpečenia rastlinnej výroby agroklimatickými charakteristikami

Zmeny zabezpečenia agroklimatických charakteristík, fenologických pomerov a agroklimatického produkčného potenciálu sú stanovované k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075 v lokalite Hurbanovo.

a) Zmeny zabezpečenia rastlinnej výroby fotosynteticky aktívnym žiarením (Q_{FAR}) vo VVO a HVO

Slnčné žiarenie fotochemickými účinkami vyvoláva v rastlinných orgánoch syntetické reakcie v procese fotosyntézy, podmieňuje tvorbu úrod a fyzikálnymi účinkami tieto procesy urýchľuje alebo spomaľuje. V agroklimatickej rajonizácii patrí k základným a nezastupiteľným charakteristikám.

Zmeny zabezpečenia Q_{FAR} vo VVO a HVO prináša tab. 3 a obr. 1.

Všeobecne platí, že sumy Q_{FAR} v južných častiach Slovenska, reprezentovaného klimatickou stanicou Hurbanovo k časovým horizontom 2010 až 2075 vo VVO a HVO postupne narastajú podľa všetkých uplatnených scenárov. Napr. podľa scenára dT2 sa predpokladá zvýšenie Q_{FAR} od roku 1980 do roku 2075 vo VVO o 15 %, v HVO o 17 %. Vyplýva to z ďalej analyzovaných fenologických pomerov, kde sa konštatuje vplyvom otepľovania predlžovanie analyzovaných vegetačných období, za ktoré sa nahromadí aj väčšia suma Q_{FAR} .

b) Zmeny zabezpečenia rastlinnej výroby teplotnou sumou (TS) vo VVO a HVO

Teplota ako základná charakteristika energetickej zložky prostredia podmieňuje také životné funkcie rastlín, ako sú fotosyntéza, dýchanie, príjem živín, transpirácia a iné, teda tie, ktoré rozhodujú o produkcii organickej hmoty - úrody. Preto boli niektoré charakteristiky teploty vzduchu povýšené do kategórie ukazovateľov rajonizácie poľnohospodárskej rastlinnej výroby.

Predpokladané klimatické zmeny v smere otepľovania výrazne ovplyvnia súčasnú regionalizáciu poľnohospodárskej výroby, pásmovitost' rozmiestnenia poľných i záhradníckych plodín, rozloženie výrobných územných celkov a i.

Najvhodnejšou z teplotných charakteristík je suma teplôt za VVO a HVO alebo za vegetačné obdobie plodiny, ohraničené sejbou a plnou zrelosťou tzv. „vegetačná termická konštanta“.

Sumy teplôt sú v tab. 3 a na obr.2.

TS sa na stanici Hurbanovo podľa všetkých scenárov k časovým horizontom 2010 až 2075 postupne zväčšujú úmerne predpokladanému otepľovaniu a jeho vplyvom predlžovaniu vegetačných období. Napríklad podľa scenára dT2dR1 sa predpokladá k roku 2075 zväčšenie TS za VVO o 48 % a HVO o 42 %.

Tab. 3 Sumy priemerných denných teplôt vzduchu (TS), zrážok a fotosynteticky aktívneho žiarenia (Q_{FAR}) za veľké vegetačné obdobie (VVO) a hlavné vegetačné obdobie (HVO) v Hurbanove

Tab. 3 Sums of daily mean air temperatures (TS), rainfall and photosynthetically active radiation (Q_{FAR}) during long vegetative period (LVP), main vegetative period (MVP) in Hurbanovo according to the climate change scenarios up to year 2075

according to the climate change scenarios up to year 2075										
Scenár	Časový horizont	Charakteristika								
		TS [°C]			Zrážky [mm]			Q _{FAR} [kWh.m ⁻²]		
		Rok	VVO	HVO	Rok	VVO	HVO	Rok	VVO	HVO
1951-80		3654.8	3 02,4	3063.8	546.0	318.0	395.1	615.0	533.5	457.0
CCCM	2010	4050.8	3858,9	3409.5	546.9	326.3	410.3	615.0	551.8	480.5
GISS		4127.5	3911.5	3431.8	574.3	353.3	446.6	615.0	555.5	483.9
GFD3		4154.4	3976.4	3542.0	570.0	352.2	438.3	615.0	552.9	487.3
dT1dR1		3897.3	3702.2	3249.4	546.0	329.6	411.2	615.0	545.5	471.6
dT1dR2		3897.3	3702.2	3249.4	536.4	313.1	395.3	615.0	545.5	471.6
dT1dR3		3897.3	3702.2	3249.4	531.5	304.8	387.0	615.0	545.5	471.6
dT2dR1		4149.1	3930.3	3440.4	546.0	340.0	429.0	615.0	558.0	485.1
dT2dR2		4149.1	3930.3	3440.4	536.4	323.2	413.5	615.0	558.0	485.1
dT2dR3		4149.1	3930.3	3440.4	531.5	314.8	405.3	615.0	558.0	485.1
CCCM	2030	4317.8	4101.2	3645.4	548.0	331.1	418.6	615.0	561.6	494.0
GISS		4449.8	4213.1	3722.5	593.2	381.4	486.9	615.0	569.0	503.7
GFD3		4491.5	4314.1	3873.8	584.5	374.4	468.6	615.0	564.3	505.2
dT1dR1		4069.3	3849.3	3375.2	546.0	336.1	421.9	615.0	553.5	480.5
dT1dR2		4069.3	3849.3	3375.2	530.4	308.7	396.1	615.0	553.5	480.5
dT1dR3		4069.3	3849.3	3375.2	521.9	294.3	382.4	615.0	553.5	480.5
dT2dR1		4471.4	4225.2	3710.4	546.0	354.6	452.6	615.0	571.0	503.7
dT2dR2		4471.4	4225.2	3710.4	530.4	326.7	428.5	615.0	571.0	503.7
dT2dR3		4471.4	4225.2	3710.4	521.9	312.1	415.6	615.0	571.0	503.7
CCCM	2075	4900.9	4670.0	4175.3	549.8	344.5	449.4	615.0	579.6	521.1
GISS		5143.5	5034.3	4336.4	635.4	454.4	603.2	615.0	602.4	534.0
GFD3		5233.2	5036.6	4584.3	619.8	433.5	539.4	615.0	580.2	532.3
dT1dR1		4437.7	4187.9	3678.3	546.0	308.5	448.6	615.0	569.4	501.1
dT1dR2		4437.7	4187.9	3678.3	518.2	303.2	405.2	615.0	569.4	501.1
dT1dR3		4437.7	4187.9	3678.3	508.0	285.3	389.5	615.0	569.4	501.1
dT2dR1		5208.2	5179.4	4364.3	546.0	398.7	539.6	615.0	612.1	535.7
dT2dR2		5208.2	5179.4	4364.3	518.2	351.7	510.4	615.0	612.1	535.7
dT2dR3		5208.2	5179.4	4364.3	508.0	334.7	499.8	615.0	612.1	535.7

c) **Zmeny zabezpečenia rastlinnej výroby zrážkami (Z) vo VVO a HVO**

Voda je základnou stavebnou zložkou rastlinných orgánov, v ktorých plní významné životné funkcie, sprostredkováva transport živín aj vzniknutých organických zlúčenín. Má preto v agroklimatickej rajonizácii nezastupiteľnú funkciu. Zmena zabezpečenia jednotlivých vegetačných období zrážkami nemá k stanoveným časovým horizontom, podľa hodnotených scenárov, jednotné tendencie. Výrazný rast zrážkových úhrnov okolo roku 2075 sa predpokladá hlavne podľa scenárov GISS a GFD3, pokles zrážkových úhrnov podľa scenára dT1dR2 (tab. 3 a obr. 3).

d) **Zmena fenologických pomerov**

Časový priebeh životných prejavov rastlín - fytofenofáz ovplyvňujú hlavne teplota a voda. Klimatické zmeny teploty, zrážkových úhrnov, ale aj iných faktorov prostredia menia nástupy určitých fenofáz, a tým aj dĺžky fenofázových intervalov a celých vegetačných období plodín. V nadväznosti na tieto zmeny mení sa aj celý systém agronomických opatrení. Zmeny fenologických pomerov v lokalite Hurbanovo udáva tab. 4.

Tab. 4 Dátum nástupu (Z) a ukončenia (K) veľkého a hlavného vegetačného obdobia a ich trvanie v dňoch v Hurbanove

Tab. 4 Dates of beginning (B) and ends (E) of LVP and MVP and their duration in days in Hurbanovo

Scenár	Časový horizont	VVO			HVO		
		Z	K	Trvanie	Z	K	Trvanie
	1951-1980	15.3.	15.11.	246	13.4.	15.10.	184
CCCM	2010	6.3.	22.11.	262	6.4.	22.10.	198
GISS		5.3.	26.11.	267	5.4.	23.10.	198
GFD3		6.3.	24.11.	264	4.4.	24.10.	200
dT1		10.3.	21.11.	256	9.4.	20.10.	191
dT2		4.3.	28.11.	269	5.4.	24.10.	192
CCCM	2030	28.2.	25.11.	270	2.4.	26.10.	197
GISS		25.2.	4.12.	282	30.3.	30.10.	215
GFD3		28.2.	30.11.	275	29.3.	30.10.	216
dT1		6.3.	25.11.	265	6.4.	22.10.	189
dT2		24.2.	7.12.	286	30.3.	30.10.	215
CCCM	2075	13.2.	5.12.	295	20.3.	3.11.	228
GISS		28.1.	1.1.	339	15.3.	13.11.	243
GFD3		16.2.	13.12.	300	15.3.	10.11.	240
dT1		25.2.	5.12.	283	31.3.	29.10.	213
dT2		19.1.	12.1.	360	15.3.	16.11.	246

Tab. 5 Potenciál tvorby biomasy podľa príkonu radiačnej energie za veľké (VVO) a hlavné (HVO) vegetačné obdobie a odchýlky v porovnaní s referenčným časovým radom podľa scenárov klimatickej zmeny do roku 2075 v Hurbanove

Tab. 5 Potential of biomass production according to radiative energy input during LVP and MVP up to year 2075 and their derivations from potentials estimated from RCP in Hurbanovo

Scenár	Časový horiz.	VVO		HVO	
		U _{pQ} [kg.m ⁻²]	%	U _{pQ} [kg.m ⁻²]	%
1951-80		4.37	-	3.74	-
CCCM	2010	4.71	7.79	4.10	9.68
GISS		4.74	8.50	4.13	10.45
GFD3		4.72	8.00	4.16	11.22
dT1dR1		4.66	6.55	4.03	7.65
dT1dR2		4.66	6.55	4.03	7.65
dT1dR3		4.66	6.55	4.03	7.65
dT2dR1		4.76	9.00	4.14	10.71
dT2dR2		4.76	9.00	4.14	10.71
dT2dR3		4.76	9.00	4.14	10.71
CCCM	2030	5.21	19.17	4.58	22.49
GISS		5.28	20.74	4.67	24.90
GFD3		5.23	19.75	4.68	25.26
dT1dR1		5.13	17.44	4.46	19.15
dT1dR2		5.13	17.44	4.46	19.15
dT1dR3		5.13	17.44	4.46	19.15
dT2dR1		5.30	21.17	4.67	24.90
dT2dR2		5.30	21.17	4.67	24.90
dT2dR3		5.30	21.17	4.67	24.90
CCCM	2075	6.42	46.90	5.77	54.31
GISS		6.67	52.67	5.91	58.14
GFD3		6.43	47.03	5.90	57.64
dT1dR1		6.31	44.29	5.55	48.39
dT1dR2		6.31	44.29	5.55	48.39
dT1dR3		6.31	44.29	5.55	48.39
dT2dR1		6.78	55.12	5.93	58.64
dT2dR2		6.78	55.12	5.93	58.64
dT2dR3		6.78	55.12	5.93	58.64

Všeobecne platí pre vegetačné obdobia ohraničené významnými teplotami, teda VVO a HVO, urýchlenie nástupu a neskoršie ukončenie, a tým ich predĺženie. V lokalite Hurbanovo sa predpokladá do roku 2075 podľa uplatnených scenárov predĺženie VVO o 15 - 46 %, t.j. o 37 - 114 dní, HVO o 26 - 34 % t.j. 29 - 62 dní. Ak sa prehodnotia tieto zmeny možnosťami produkcie

organickej hmoty - teda úrody, potom fenologické zmeny patria k najvýznamnejším faktorom budúcej reštrukturalizácie poľnohospodárskej rastlinnej, ale aj živočíšnej výroby.

e) *Zmeny agroklimatického produkčného potenciálu*

Potenciálnou úrodou plodiny sa chápe úroda zodpovedajúca maximálnemu využitiu faktorov vonkajšieho prostredia alebo úroda dosiahnutá pri maximálnej rýchlosti fotosyntézy. K rozhodujúcim faktorom vonkajšieho prostredia patrí prikon fotosynteticky aktívneho žiarenia do biologickej sústavy. Podľa jeho časovopriestorových zmien sa menia aj potenciálne úrody plodín (tab. 5).

Podľa jednotlivých scenárov sa predpokladá postupne zvyšovanie produkčného potenciálu priamo úmerne od vzrastu energetickej zložky prostredia a predlžovania VVO a HVO. Napríklad, podľa scenára CCCM sa v Hurbanove zvýši agroklimatický produkčný potenciál k časovému horizontu 2010 o 7,8 %, 2030 o 19,2 % a 2075 o 46,9 %.

3. 2. *Zmeny špecifických oblastí poľnohospodárskej výroby*

a) *Zmeny podmienok prezimovania*

Zima je obdobím, v ktorom na rastliny interakčne pôsobí komplex faktorov počasia. Z klimatického hľadiska sa menia aj podmienky zimy, a tým aj ich vplyv na rastliny. Agroklimatické analýzy ukázali, že podmienky prezimovania interakčne ovplyvňujú hlavne extrémne minimálne teploty, výšku a trvanie snehovej pokrývky a hĺbku premrzania pôdy. Všeobecne možno v budúcnosti predpokladať zhoršovanie podmienok prezimovania vplyvom absencie snehovej pokrývky. Napríklad podľa Repu (1980) suma záporných minimálnych teplôt v mesiacoch december a január v rozsahu 140 až 310 °C, môže znížiť počet prezimovaných rastlín ozimnej pšenice o 5 až 25 % a úrodu zrna o 6 až 42 %.

b) *Zmeny koncentrácie CO₂ a rast plodín*

Rast koncentrácie CO₂ pôsobí priamo na rast plodín. Táto závislosť sa zvlášť prejavuje na rastlinách patriacich podľa charakteru fotosyntézy a prvotnej fixácie CO₂ do skupiny C-3. Do tejto skupiny patrí 95 % suchozemských rastlín vrátane poľnohospodárskych plodín. V skupine rastlín C-4, do ktorej patria napríklad kukurica, proso, láskavec a iné, bola zistená vysoká výkonnosť fotosyntézy, teda aj produkcia organickej hmoty pri nízkej respirácii aj za výrazného vodného deficitu pôdy a vysokých teplôt. V tejto skupine rastlín možno hľadať aj vhodné plodiny pre predpokladané klimatické podmienky v budúcnosti.

c) *Zmeny fyzikálnych a chemických vlastností pôdy*

Predpokladaná klimatická zmena, hlavne otepľovanie a vysušovanie, bude ovplyvňovať fyzikálne a chemické vlastnosti pôdy. Vyššie teploty urýchlia rozklad organickej pôdnej hmoty, ale tiež pravdepodobne podmienka rast podzemnej koreňovej hmoty. V suchých oblastiach Slovenska predovšetkým na piesočnatých pôdach Záhoria, bude výrazne zvýšená veterná erózia.

d) Zmeny vo výskyte chorôb, škodcov a burín

Teplota patrí k najdôležitejším faktorom prostredia ovplyvňujúcim biologické systémy patogénov, živočíšnych škodcov rastlín, ale aj burín. Je regulátorom intenzity ich reprodukčných procesov, a tým aj ich výskytu a stupňa škodlivosti. Pri vyšších teplotách v budúcnosti sa predpokladá podľa Prasličku (cit. in Špánik, 1994) vyšší výskyt hniloby jadrového ovocia, spôsobená hubou *Monilia fructigena*, múčnatky viniča, múčnatky jablonovej, častejší výskyt vírusových ochorení. Pre výskyt škodcov majú význam aj teplotné extrémny zimy. Nízke zimné teploty znižujú napr. výskyt vrtivky čerešňovej, ale aj iných škodcov. Vysoká vlhkosť vzduchu a pôdy môže opačne podporovať výskyt vošiek ako prenášačov šarky sliviek.

3.3. Návrh opatrení na zníženie rizika klimatických zmien pre rôzne oblasti poľnohospodárstva

Dôsledky predpokladanej klimatickej zmeny na poľnohospodárstvo budú mnohostranné, niekedy pozitívne, inokedy negatívne. Treba ich však chápať komplexne, predovšetkým v snahách o ich zmiernenie. Dôležitým je tiež dostatočný predstih, pretože mnohé z opatrení majú z biologického hľadiska charakter dlhodobých adaptačných procesov a činností. Adaptácia na zmeny klímy by mala prebiehať v týchto hlavných smeroch:

a) Na úseku dlhodobého plánovania poľnohospodárskej stratégie:

- Zmeny v technológiách pestovania plodín

V súčasnej agronómii sa volá po návrate k tzv. „trvale udržateľnému“ systému hospodárenia bez extrémov a pádov (Húska, 1994), systému s prirodzenou obnovou úrodnosti pôdy bez znehodnocovania životného prostredia. Šanta (1994) zdôrazňuje znižovanie zásahov do pôdy a optimalizáciu termínov uplatnenia jednotlivých operácií. Je to jedna z dôležitých ciest šetrenia pôdnou vodou.

- Zmeny v agroklimatickej rajonizácii a štruktúre pestovania rastlinných druhov a odrôd

Cieľom je najúčinnšie využitie prirodzených zdrojov, hlavne celkovej radiačnej bilancie a vodného režimu. Určítym vzorom by mohla byť už v súčasnosti vypracovaná nová rajonizácia pestovania kukurice na zrnó na Slovensku. Pravda prepracovanie rajonizácie na území Slovenska podľa predpokladaných teplôt, radiačnej a vodnej bilancie si žiadajú aj ďalšie poľné plodiny, ale tiež ovocné druhy, zeleniny, vinič hroznorodý a i. Ako uvádza Hričovský (1994), bude sa vyžadovať prehodnotenie zastúpenia teplomilných záhradníckych plodín ako sú kiwi, figovníky, nektarinky a pod. Iným hospodársky významným dôsledkom bude rozšírenie pestovania aj teplomilnejších druhov zeleniny (paprika, rajčiaky, melóny) v severnejších okresoch Slovenska. Zabráni sa tým presunu zelenín a strátam prepravou. Do výroby bude potrebné zavádzať pestovanie aj ďalších druhov menej známej zeleniny.

V ostatnom období sa venuje mimoriadna pozornosť produkcii „biomasy“ pre energetické účely (bioplyn, bionafta), ale tiež pre priemyselné spracovanie. Na tento účel sa využívajú hlavne pôdy menej úrodné s nepriaznivým vodným režimom. V tomto smere boli už v susedných krajinách (Rakúsko, Švajčiarsko) úspešne použité rastliny z rodu *Salix* (vrba). Tiež využitie biomasy netradičným spôsobom je v tejto súvislosti aktuálnym. Húska (1994) ako príklad uvádza využitie oklaskov kukurice na výrobu pentóz - cenného komponentu veľkého množstva výrobkov. Podobne drevené štiepky, drte odrezkov z ovocných stromov, viniča a pod. sú významným energetickým

zdrojom pre sušiarne, teplárne a pod. Slama napr. v Rakúsku (Wolfstahl a Berg) sa využíva ako palivo pre ohrievanie teplej vody. Volá sa po tzv. uzavretých technológiách produkčných procesov. Do rastlinárskych a krmovinárskych programov sa predpokladá a odporúča zaraďovať plodiny schopné prispôbiť sa zmeneným klimatickým podmienkam, hlavne suchu, prípadne nadmernej radiácii, to znamená s nižším transpiračným koeficientom, mohutnejším a hlbším koreňovým systémom, rýchlejšim rastom a kratšou vegetačnou dobou. V tejto súvislosti k mimoriadne atraktívnym patrí napr. *Amaranthus* (láskavec), ktorý pri nízkych spotrebách vody je schopný vysokej produkcie. Veľmi dobre využívajú vlahu ciroky, krížence sudánskej trávy s cirokom (HISO), mrlíky a iné. V suchých podmienkach bude potrebné - nahrádzať jednoročné plodiny trvalými viacročnými kultúrami, žiaduca bude nová delimitácia pôdneho fondu.

- Zmeny šľachtiteľských zámerov:

Šľachtitelia a genetici musia vplyvom klimatických zmien plniť v predstihu mimoriadne aktuálne úlohy. Vo svojej práci sa však, ako uvádza Čermín (cit. in Špánik a kol (1994)), musia zameriavať na šľachtenie odrôd a hybridov produkčného typu s väčším dôrazom na adaptáciu proti biotickým a abiotickým stresom, čo umožní vyšľachteným odrodám menej citlivo reagovať na extrémne teploty, sucha, výskytu chorôb a pod. Tým by sa obmedzila chemická ochrana a zhoršovanie životného prostredia. Pri šľachtení tiež uprednostňovať znaky zvyšujúce príjem živín (koreňový systém), intenzitu a produktivitu fotosyntézy. Zvláštnu pozornosť venovať rajonizácii osív a sadív.

- Zmeny v ochrane plodín

Bude potrebné orientovať sa predovšetkým na biologickú ochranu a prepracovanie integrovanej ochrany.

b) Na úseku vlastnej poľnohospodárskej prevádzky

- Regulácia vodného režimu melioráciami:

Najúčinnnejšou, i keď plošne obmedzenou cestou boja proti suchu sú podľa Šantu (1994) závlahy. Ich využívanie v posledných rokoch pokleslo z 300 mil. m³ na 120 mil. m³. Bude preto potrebné všetky v súčasnosti existujúce závlahové systémy uviesť do prevádzky schopného stavu. To si vyžaduje značné rekonštrukčné zásahy a dokompletizovanie závlahových strojov a zariadení.

Riadenie závlahového režimu, ako uvádzajú Huzulák a Matejka (1994), treba v budúcnosti postaviť na vyššiu teoretickú, ale aj technickú úroveň. Pri stanovovaní závlahových dávok je v súčasnosti možné vychádzať z teoretických fyziologických poznatkov využiteľných pri stanovovaní potenciálnej evapotranspirácie systémom monitoringu s využitím výpočtovej techniky.

Hričovský (1994) tiež zdôrazňuje, aby vybudované závlahové systémy, hlavne v južných častiach Slovenska sa využívali predovšetkým na produkciu zeleniny a teplomilných ovocných druhov. Naliehavá je podľa Šantu (1994) rekonštrukcia odvodňovacích systémov a ich údržba. Zvýšenú pozornosť bude tiež potrebné venovať technickým protieróznym opatreniam, zúrodňovaniu exhalátnymi poškodených pôd atď. V rámci protieróznych opatrení zvyšovať podiel krmovín na ornjej pôde.

- Nové pohľady vo výžive rastlín

Podľa Bartu (1994) má najvýznamnejší pozitívny účinok na tolerantnosť rastlín proti nedostatku vody aplikácia organických hnojív (napr. maštalný hnoj, pozberové zvyšky rastlín, zelený hnoj a i.) v kombinácii s priemyselnými hnojivami, najmä dusíkatými. Samotná výživa dusíkom vedie k znižovaniu obsahu humusu v pôde, a tým zhoršovaniu fyzikálnych i chemických vlastností pôdy.

- Regulácia vodného a energetického režimu porastu mulčovaním

Prax ukázala, že mulčovacie fólie, resp. mulčovacie netkané textílie sú vhodnými prostriedkami na zvyšovanie účinnosti vody dodanej do pôdy, môžu však byť aj regulátorom energetického režimu porastu, a tým zvýšenej biologickej aktivity pôdy. Mulčovacie fólie možno zvlášť účinne uplatniť v intenzívnej zeleninárskej výrobe jednak ako trvalý mulč počas celého vegetačného obdobia alebo mulč iba na urýchlenie počiatočného rastu rastlín (Hričovský 1994, Barta 1994).

- Výstavba zakrytých plôch

Budovať systémy skleníkov a fóliovníkov za účelom lepšieho a regulovaného využívania prírodných zdrojov, hlavne slnečného žiarenia a vody, ale tiež energetických zdrojov z termálnych vôd napr. Patince, Dudince, Santovka a i.

- Obnovovanie pôdnej aktivity

Chemizácia, ale aj nepriaznivá bilancia pôdnej vody majú nepriaznivý vplyv na život organizmov v pôde. V tejto súvislosti odporúča Húska (1995) aplikáciu MIKROBION-u do pôdy. Tento prostriedok napomáha pôde lepšie hospodáriť vlhokou v dôsledku dodania mikroorganizmov v koncentrovanej forme, ktoré urýchľujú rozklad organických zvyškov v pôde a zvyšuje sa aj obsah humusu v pôde.

- Osveta v oblasti šírenia poznatkov o klimatických zmenách

V tomto smere navrhuje Hričovský (1994) šírenie osvedčených poznatkov v oblasti fyzikálnych zákonitostí podmienujúcich klimatické zmeny a dôsledky na rôzne oblasti ľudských činností prostredníctvom seminárov, konferencií, ale tiež rôznych foriem vzdelávania (napr. postgraduálneho). Tiež navrhuje užšie prepojenie agroklimatických pracovísk s vedecko-výskumnými i prevádzkovými organizáciami s intenzívnou záhradníckou výrobou. Týmto otázkam venovať väčšiu pozornosť v publicite.

4. ZÁVERY

Predložená práca je zameraná na analýzu vplyvu klimatickej zmeny, predpokladanej v časovom horizonte rokov 2010, 2030 a 2075. Predpokladaná zmena bola stanovená modelovo (model DSSAT3) podľa scenárov klimatickej zmeny CCCM, GISS, GFD3, dT1, dT2 a dR1, dR2, dR3. Modelovou lokalitou je najproduktívnejšia oblasť Slovenska - Podunajská nížina, reprezentovaná klimatickou stanicou Hurbanovo.

Práca je podľa stanovených cieľov členená na 2 časti:

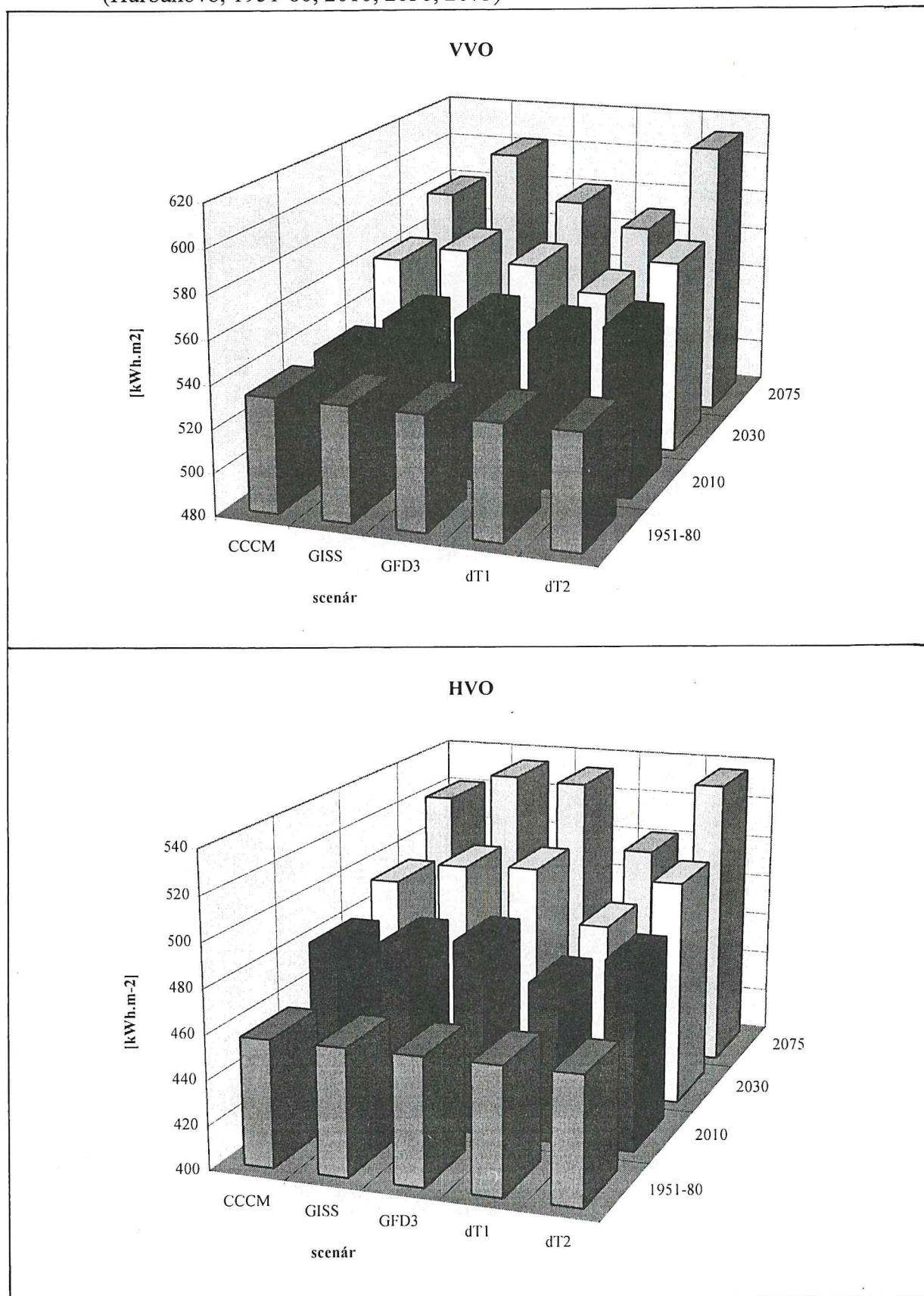
- a) Prvá časť obsahuje analýzy dôsledkov klimatických zmien na: radiačnú, teplotnú a vlhkovú zabezpečenosť rastlinnej výroby, fenologické pomery, agroklimatický produkčný potenciál, pomery prezimovania, pôdnofyzikálne vlastnosti, výskyt chorôb, škodcov a burín, obsah CO₂ v ovzduší a ďalšie.
- b) Druhú časť tvoria návrhy adaptačných opatrení smerujúcich k zníženiu rizík vplyvom negatívnych účinkov klimatických zmien. Patria k nim hlavne:
 - zmeny v infraštruktúre poľnohospodárskej výroby; predpokladajú úpravy agroklimatickej rajonizácie, ústup od monokultúr, produkciu biomasy pre priemyselné využitie a i.
 - zmeny v technológiách pestovania plodín; zvlášť sa zdôrazňuje prirodzená obnova úrodnosti pôdy bez znehodnocovania životného prostredia,

- zmeny šľachtiteľských zámerov; zameriavať sa hlavne na väčšiu adaptabilitu proti biotickým a abiotickým stresom,
- zmeny v ochrane plodín; orientovať sa hlavne na biologickú ochranu,
- zlepšenie regulácie vodného režimu a využívania závlahových systémov na produkciu zelenín a teplomilných ovocných druhov,
- zlepšenie energetického a vodného režimu mulčovaním,
- obnovovanie pôdnej aktivity aplikáciou biostimulátorov (MIKROBION), ale aj organickými hnojivami,
- zlepšenie osvetly v oblasti šírenia poznatkov o klimatických zmenách a iné.

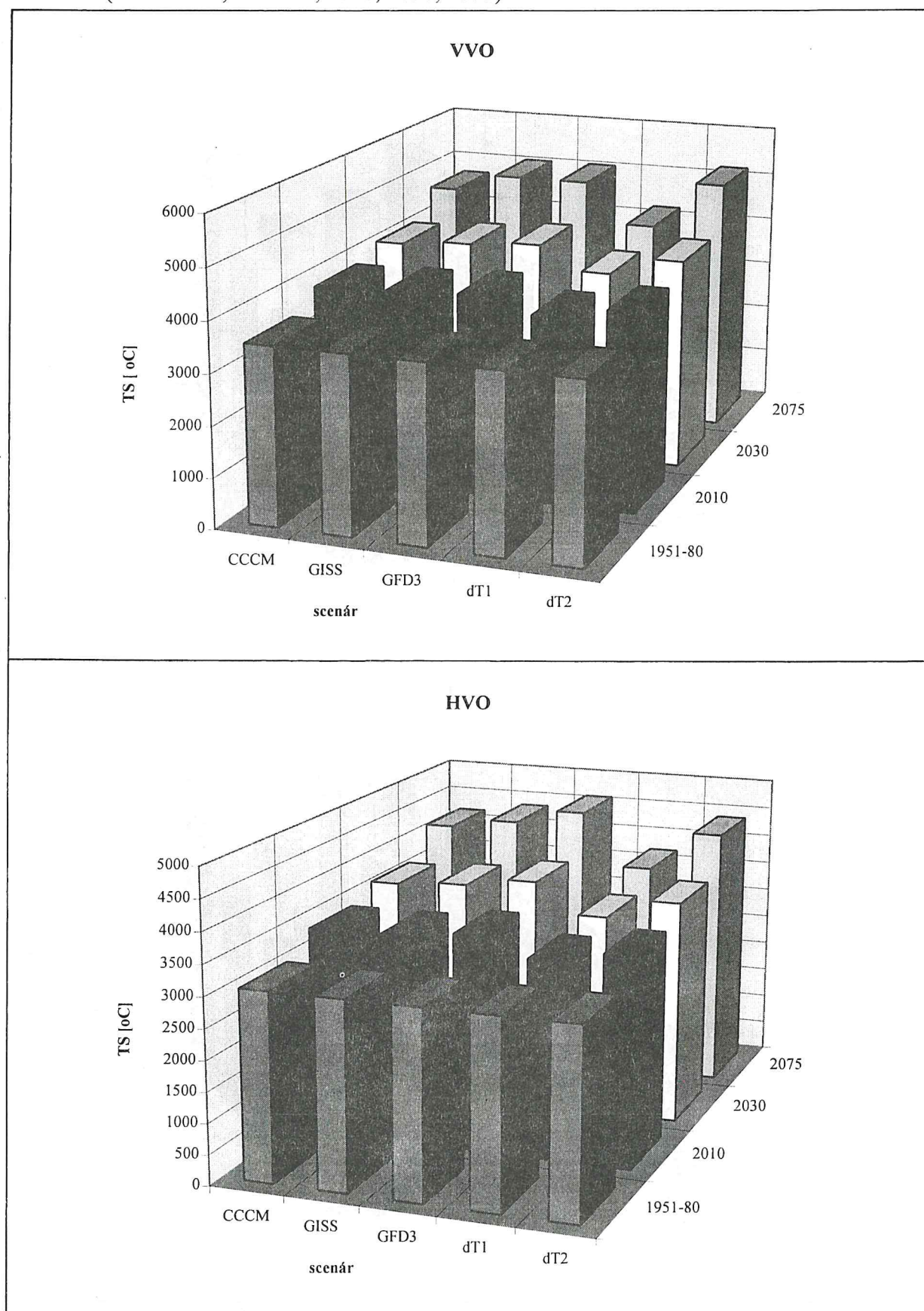
5. LITERATÚRA

- [1] BARTA, V.: Rámcový návrh opatrení na zníženie rizika klimatických zmien v rastlinnej výrobe v závlahových podmienkach SR. [Záverečná správa za subprojekt NKP SR.] MŽP SR, SHMÚ, VÚZH, Bratislava 1994.
- [2] HRIČOVSKÝ, I.: Zhodnotenie špeciálnej rastlinnej výroby - záhradníctvo v súčasných klimatických podmienkach. [Záverečná správa za subprojekt NKP SR.] MŽP SR, SHMÚ, VŠP, Nitra 1994.
- [3] HÚSKA, J.: Expertíza za tematický okruh „poľnohospodárstvo“, časť Všeobecná rastlinná výroba. Biomasa. [Záverečná správa za subprojekt NKP SR.] MŽP SR, SHMÚ, VŠP, Nitra 1994.
- [4] HUZULÁK, J. - MATEJKA, F.: Možné dôsledky zmien klímy na evapotranspiráciu ozimnej pšenice a cukrovej repy na Podunajskej nížine. [Záverečná správa za subprojekt NKP SR.] MŽP SR, SHMÚ, VÚRV, GFÚ SAV, Bratislava 1994
- [5] LAPIN, M. - NIEPLOVÁ, E. - FAŠKO, P.: Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. In: NKP SR, 3, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava 1995, s.17-57.
- [6] REPA, Š.: Vplyv meteorologických podmienok na prezimovanie ozimnej pšenice. [Atestačná práca.] AF VŠP, Nitra 1980.
- [7] SHMÚ: Tabuľky scenárov zmien teploty vzduchu a úhrnov zrážok na Slovensku. Country Study SR, No 3, Bratislava 1995.
- [8] ŠANTA, M.: Vplyv klimatických zmien na poľnohospodársku výrobu a opatrenia na ich zmiernenie. [Záverečná správa za subprojekt NKP SR.] MŽP SR, SHMÚ, VÚZH, Bratislava 1994.
- [9] ŠIŠKA, B.: Očakávané zmeny produkčného potenciálu ozimnej pšenice do roku 2025. In: Sborník referátů s bioklimatologické konference. V. Bílovice 1996 (v tlači).
- [10] ŠPÁNIK, F. - ŠIŠKA, B. - REPA, Š.: Možné dôsledky zmien klímy na rastlinnú poľnohospodársku výrobu do roku 2025. [Priebežná správa za subprojekt NKP SR.] MŽP SR, SHMÚ, VŠP, Nitra 1994.
- [11] ŠPÁNIK, F. - ŠIŠKA, B. - REPA, Š.: Dopady klimatických zmien na rastlinnú výrobu a adaptačné opatrenia. [Záverečná správa za subprojekt NKP SR.] MŽP SR, SHMÚ, VŠP, Nitra 1995.
- [12] TOMLAIN, J. - HRVOL, J.: Dôsledky zmien potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie na zmeny obsahu vlhky v pôde na vybraných staniciach Slovenska. [Záverečná správa za subprojekt NKP SR.] MŽP SR, SHMÚ, MFF UK, Bratislava 1994.

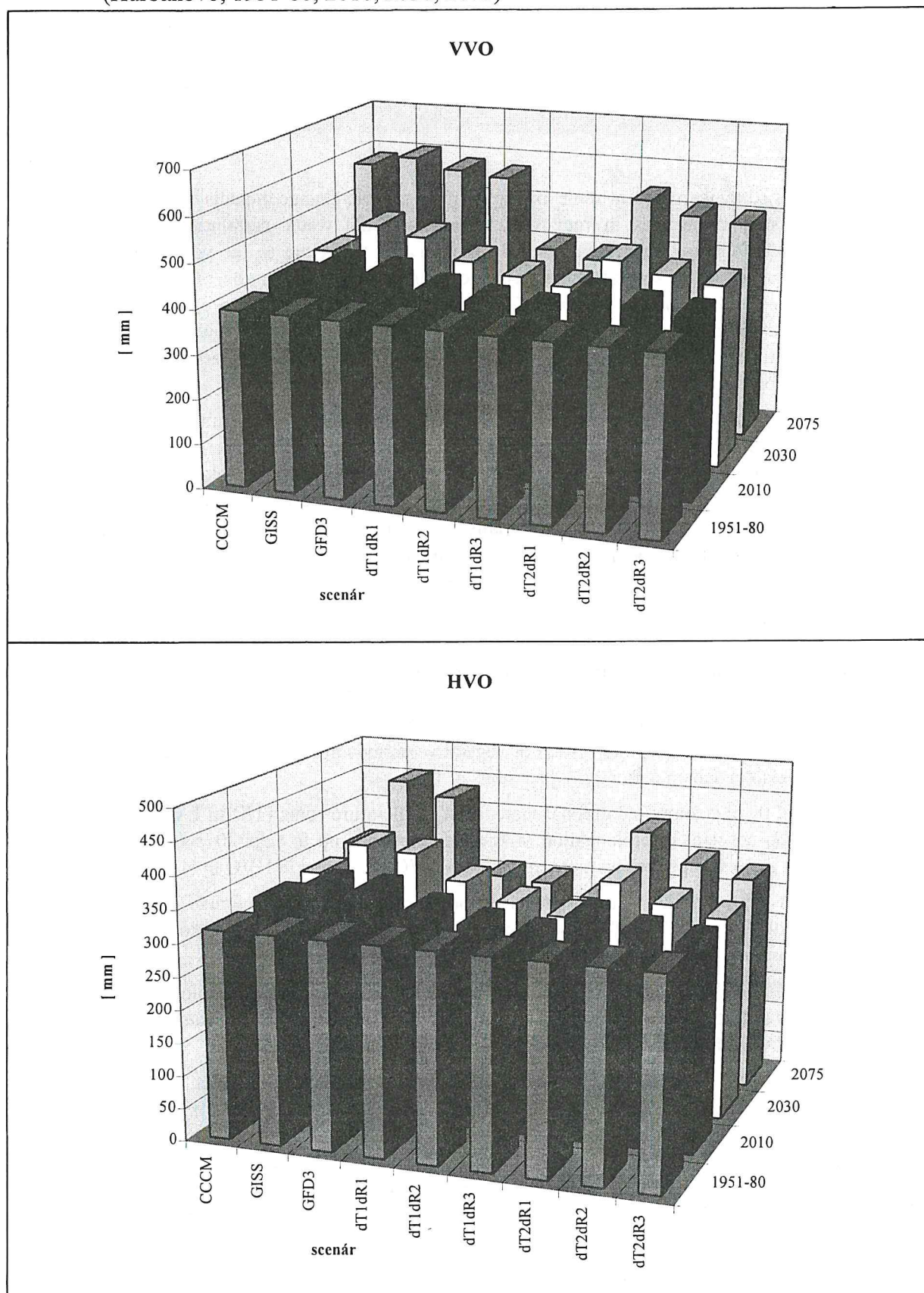
Obr. 1 Chod súm fotosynteticky aktívneho žiarenia za veľké (VVO) a hlavné (HVO) vegetačné obdobie podľa jednotlivých scenárov klimatickej zmeny (Hurbanovo, 1951-80, 2010, 2030, 2075)



Obr. 2 Chod súm priemerných denných teplôt vzduchu (TS) za veľké (VVO) a hlavné (HVO) vegetačné obdobie podľa jednotlivých scenárov klimatickej zmeny (Hurbanovo, 1951-80, 2010, 2030, 2075)



Obr. 3 Chod úhrnov zrážok za veľké (VVO) a hlavné (HVO) vegetačné obdobie podľa jednotlivých scenárov klimatickej zmeny (Hurbanovo, 1951-80, 2010, 2030, 2075)



CLIMATE CHANGE IMPACTS ON PLANT PRODUCTION AND ADAPTIVE MEASURES

F. Špánik, B. Šiška, Š. Repa

Department of biometeorology and hydrology, FZKI, VŠP, Nitra

SUMMARY

The aim of this study is to present some examples of the climate change impacts on plant production specially focused on changes in radiation, temperature and water certainties, as well as on phenological relations and agroclimatological productive potential up to the year 2075. Adaptive measures design for decreasing of climate change risks or proper utilisation of positive effects in agricultural practice also belong to aims of the report. For model evaluation of factors mentioned above there was selected the most productive region of Slovakia - Danubian lowland represented by station Hurbanovo. Meteorological and phenological data from database of the Slovak Hydrometeorological Institute in Bratislava there were used for evaluation.

In consequence on the reference climate period (RCP - the period of years 1951 - 1980) for evaluation of climate conditions no influenced by an increased saturation of CO₂ there were estimated changes of radiation, temperature and rainfall regimes, phenological relationships, productive potential up to year 2010, 2030 and 2075. Factors and limits were analysed for long vegetative period (VVO - is limited by mean daily air temperature $t \geq 5^\circ\text{C}$), main vegetative period (HVO - is limited by air temperature $t \geq 10^\circ\text{C}$). Climate change impacts on limits of environment as well as productive process were evaluated according to the climate change scenarios CCCM, GISS, GFD3, dT1dR1, dT1dR2, dT1dR3, dT2dR1, dT2dR2, dT2dR3 (Tab. 1 and 2).

Generally, sums of Q_{FAR} during LVP and MVP in southern parts of Slovakia gradually growth according to the all applied scenarios of climate change up to year 2075 (Tab. 3). For instance, in Hurbanovo, according to the dT2 scenarios, there is supposed an increase of Q_{FAR} in comparison with RCP in LVP by 15 and in MVP by 17 per cents up to year 2075. This follows from analysed phenological relations where prolongation of vegetative periods due to global warming is noted and consequently also in accumulation of higher sums of Q_{FAR} .

In Hurbanovo, there is supposed gradual increase of temperature sums (TS) in LVP and MVP due to warming and consequent prolongation of vegetative periods up to year 2075 (e.g. according to dT2 scenarios there is supposed an increase of TS in VVO by 48 and in HVO by 42 per cents).

Decrease of VVO rainfall in Hurbanovo is supposed according to the climate change scenarios dT1dR1, dT1dR2, dT1dR3, on the other hand increases of rainfall from by 36 to 43 per cents are supposed according to the scenarios GISS and GFD3.

For VVO and HVO acceleration of beginning and delay of result in their prolongation generally apply (Tab. 4) (e.g. there is supposed prolongation of VVO by 15 - 46 per cents (from 37 to 114 days) and HVO by 26 - 34 per cents (from 29 - 62 days) up to the year 2075).

As a potential yield is understood a yield responding to maximum utilisation of environmental factors, or yield reached by maximum rate of photosynthesis. Input of photosynthetically active radiation into the biological system presents a crucial factor among factors of environment. According to its spatial changes in time, agroclimatological productive potential of landscape has been changing. Saturation of CO₂, phenological relations as well as water and temperature regimes, all together directly influencing productive processes, belong to environmental factors.

According to used climate change scenarios there is supposed a gradual increase of biomass production up to year 2075, which proportionally directly depends on rise of energetic compounds of environment, as well as on prolongation of VVO and HVO (Tab. 5).

Measures for risks decreasing in result of climate change upon agriculture are necessary to be prepared in two scales in proper advance.

1. Long-term planning of agricultural strategy

- a) Re-evaluation of agricultural crops growing technologies which will result in „sustainable agriculture“ without extremes, systems with natural reparation of soil fertility without destruction of landscape.
- b) Re-evaluation of agroclimatic regionalisation and structure of crops and varieties growing. The aim split in the most effective utilisation of natural sources, mainly of radiation and water regimes. It will be necessary to respect also basic economical aspects.
- c) Re-evaluation of breeding aims. Due to the climate change the research workers in genetics and breeding should load extraordinary actual works. They should focus on breeding of varieties and hybrids of new productive type with stress on adaptability to both biotic, and abiotic extremes.
- d) In the field of crops protection first of all it is needful to focus an attention on biological protection and re-evaluation of integrated protection.

2 Agricultural production

- a) Regulation of water regime by melioration. It is needful to increase a management of irrigation regime, mainly from the point of view of theoretical and technical levels. It is possible already at presense to estimate irrigation amounts according to the theoretical physiologic knowledge by aids of computers (e.g. for estimation of evapotranspiration).
- b) New aspects in plant nutrition. The most significant effect from the point of view of drought resistant has got application of combined industrial and organic fertilisers, mainly nitrogen ones.
- c) Regulation of energy and water regimes of crops by mulching.
- d) Reparation of soil activity. For instance, an application of MICCROBION fertiliser improves more economical use soil water. There are applied concentrated micro-organisms into the soil that accelerate decomposition of organic residuals and consequently increase content of terramare.
- e) As a exigency and very effective aid we consider propagation of knowledge on climate change via conferences, TV and radio broadcasting, as well as different forms of education too.

Fig. 1 Mean daily air temperature sums (TS) during long (VVO) and main (HVO) vegetation periods according to the different climate change scenarios (Hurbanovo, 1951-80, 2010, 2030, 2075)

Fig. 2 Rainfall sums during long (VVO) and main (HVO) vegetation periods according to the different climate change scenarios (Hurbanovo, 1951-80, 2010, 2030, 2075)

Fig. 3 Photosynthetically active radiation sums (TS) during long (VVO) and main (HVO) vegetation periods according to the different climate change scenarios (Hurbanovo, 1951-80, 2010, 2030, 2075)

Redakčná rada

Predseda:

Ing. Ľubomír Žiak, MŽP SR

Členovia:

RNDr. Milan Lapin, CSc., SHMÚ

RNDr. Oľga Majerčáková, CSc., SHMÚ

Mgr. Ľubica Prokopová, SHMÚ

Doc. RNDr. Dušan Závodský, CSc., SHMÚ

NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY
Zväzok 4

Vydáva:

Ministerstvo životného prostredia SR, Nám. L. Štúra 1, 812 35 Bratislava
Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

Odborný redaktor: RNDr. M. Lapin, CSc.

Rediguje: Mgr. Ľ. Prokopová

Tlač: GRAPHIC, tel. 07/ 377 337 v roku 1996

Účelová publikácia, 110 s., 24 tab., 30 obr., náklad 400 výtlačkov

