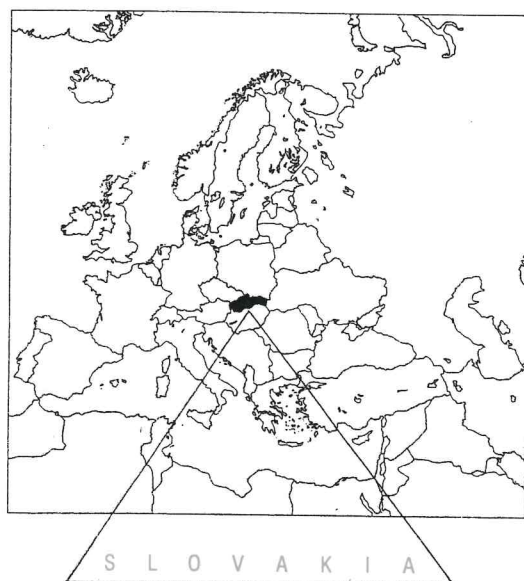


NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY
NATIONAL CLIMATE PROGRAMME OF THE SLOVAK REPUBLIC



NKP
3/95

- **MEDZINÁRODNÉ A DOMÁCE AKTIVITY V POST-BERLÍNSKOM PROCESE**
(International and Domestic Activities in Post-Berlin Process)
- **REGIONÁLNE SCENÁRE ZMIEN TEPLoty VZDUCHU A ZRÁŽOK NA SLOVENSKU**
(Climate scenarios for Air Temperature and Precipitation Change in Slovakia)
- **APLIKÁCIA METÓD DENDROKLIMATOLÓGIE**
VO VÝSKUME RASTOVÝCH REAKCIÍ LESNÝCH DREVÍN
NA PREDPOKLADANÉ KLIMATICKÉ ZMENY
(Application of Dendroclimatology Methods in Investigation of Tree Species Growth Responses for Assumed Climate Changes)
- **DÔSLEDKY ZMIEN TEPLoty VZDUCHU A ZRÁŽOK**
NA ZMENY VARIABILITY ODTOKU V MODELOVOM POVODÍ HRONA
(Consequences of Air Temperature and Precipitation Changes on the Runoff Variability in the Model Basin of the River Hron)

BRATISLAVA 1995

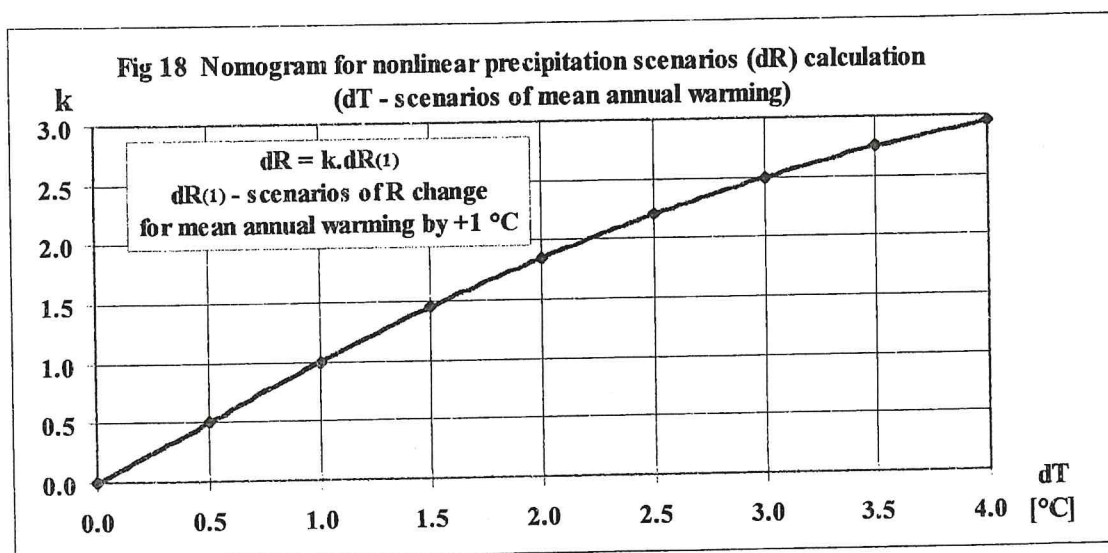
ERRÁTA

Prosíme o opravu textu a obrázkov na nasledujúcich stranách publikácie NKP SR, 1995, zv. 3:

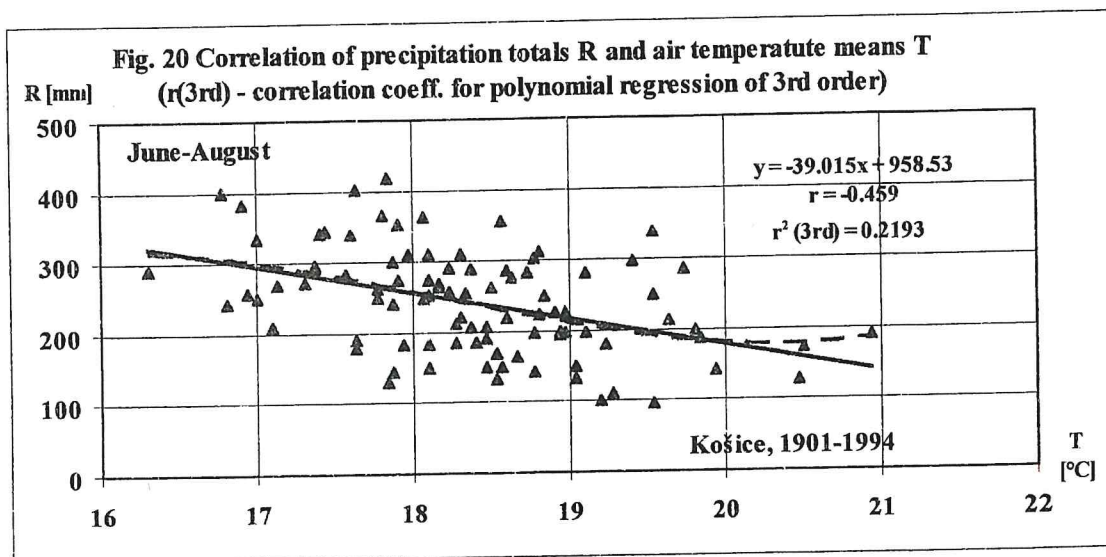
Strana 46, 6. riadok odspodu:

potrebné prijať určitý kompromis kvôli zjednodušeniu výpočtov. Preto sme vybrali opravné koeficienty podľa obr. 18, ktoré zmierňujú zmeny mesačných úhrnov R pri scenároch zmien ročných priemerov T o viac ako $+1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Strana 42, obr. 18:



Strana 51, obr. 20:



Ospravedlňujeme sa za chyby

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

**NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC**

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

Zväzok 3

BRATISLAVA 1995

© MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SR
SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

SLOVAK MINISTRY OF THE ENVIRONMENT
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE

1995

OBSAH

VIOLOVÁ, A

MEDZINÁRODNÉ A DOMÁCE AKTIVITY
V POST - BERLÍNSKOM PROCESSE

5

LAPIN, M. - NIEPLOVÁ, E. - FAŠKO, P.

REGIONÁLNE SCENÁRE
ZMIEN TEPLoty VZDUCHU A ZRÁŽOK
NA SLOVENSKU

19

ĎURSKÝ, J.

APLIKÁCIA METÓD DENDROKLIMATOLÓGIE
VO VÝSKUME RASTOVÝCH REAKCIÍ LESNÝCH DREVÍN
NA PREDPOKLADANÉ KLIMATOLOGICKÉ ZMENY

61

MOSNÝ, V.

DÔSLEDKY
ZMIEN TEPLoty VZDUCHU A ZRÁŽOK
NA ZMENY VARIABILITY ODTOKU
V MODELOVOM POVODÍ HRONA

79

CONTENTS

VIOLOVÁ, A.

INTERNATIONAL AND DOMESTIC ACTIVITIES
IN POST-BERLIN PROCESS

5

LAPIN, M. - NIEPLOVÁ, E. - FAŠKO, P.

CLIMATE SCENARIOS
FOR AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION CHANGE
IN SLOVAKIA

19

ĎURSKÝ, J.

APPLICATION OF DENDROCLIMATOLOGY METHODS
IN INVESTIGATION OF TREE SPECIES GROWTH RESPONSES
FOR ASSUMED CLIMATE CHANGES

61

MOSNÝ, V.

CONSEQUENCES
OF AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION CHANGES
ON THE RUNOFF VARIABILITY
IN THE MODEL BASIN OF THE RIVER HRON

79

*NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY*

*NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC*

**MEDZINÁRODNÉ A DOMÁCE
AKTIVITY
V POST-BERLÍNSKOM PROCESSE**

Riešiteľ:	Ing. Anna Violová, Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava
Projekt:	MŽP SR Výskum zmien kvality ovzdušia, klimatické zmeny a narušovanie ochranných vlastností atmosféry - NKP SR
Zadávatel:	Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava
Lektor:	Doc. RNDr. Dušan Závodský, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

MEDZINÁRODNÉ A DOMÁCE AKTIVITY V POST - BERLÍNSKOM PROCES

Anna Violová

Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava

Medzinárodné aktivity týkajúce sa zmeny klímy nadväzujú na závery a rozhodnutia, ktoré sa prijali na 1. zasadaní Konferencie strán, najvyššieho orgánu Rámcového dohovoru o zmene klímy (ďalej Dohovor) konanej v Berlíne na jar roku 1995.

Najdôležitejším rozhodnutím je tzv. Berlínsky mandát (rozhodnutie 1/CP.1): Zhodnotenie adekvátnosti článku 4 odstavce 2(a) a (b) Dohovoru vrátane návrhu vypracovania protokolu alebo iného legálneho nástroja.

Konferencia strán prišla k záveru, že súčasné záväzky sú neadekvátne a pre dosiahnutie cieľa Dohovoru je potrebné začať proces, ktorý povedie k úmernej aktivite po roku 2000, vrátane sprísnenia záväzkov pre krajiny prílohy 1 Dohovoru (OECD a krajiny s transformujúcou sa ekonomikou) prostredníctvom prijatia protokolu alebo iného legálneho nástroja.

Vychádzalo sa zo skutočnosti, že najväčší rozdiel na historických a súčasných globálnych emisiách skleníkových plynov majú práve tieto krajiny, zatiaľ čo emisie na obyvateľa v rozvojových krajinách sú stále nízke. Súčasne strany Dohovoru sú si vedomé, že emisie rozvojových krajín budú narastať, aby krajiny dosiahli svoje sociálne a ekonomické potreby.

Protokol so sprísnenými záväzkami má obsahovať:

- politiku a opatrenia pre zmiernenie zmeny klímy,
- kvantifikované limity a redukčné ciele v rámci časového rozvrhu, ako je rok 2005, 2010 a 2020 pre antropogénne emisie zo zdrojov, ktoré nie sú regulované Montrealským protokolom, pričom sa berú do úvahy rozdiely v národných podmienkach a ekonomickej úrovni.

Pre krajiny, ktoré nie sú v prílohe 1 Dohovoru sa nevyžadujú nové záväzky, ostávajú iba existujúce podľa článku 4.1. Pokračuje sa v napĺňaní, implementácii týchto záväzkov v rámci dosiahnutia trvalo udržateľného rozvoja.

Krajiny prílohy 1 budú svoje činnosti vzájomne koordinovať v súlade s článkom 4.2 (e) Dohovoru a vyvíjať relevantné ekonomické a administratívne nástroje. V procese prípravy protokolu sa budú využívať dostupné vedecké informácie, zhodnocovanie klimatickej zmeny a jej dôsledkov najmä z Medzivládneho panelu o klimatických zmenách (IPCC).

V počiatočných fázach procesu prípravy protokolu bude tento protokol zahŕňať analýzu a zhodnotenie možných opatrení krajín prílohy 1, ktorými sa dosiahne obmedzenie a redukcia emisií zo zdrojov a ochrana záchytov a rezervoárov skleníkových plynov. V procese by mali byť identifikované environmentálne a ekonomické dôsledky v uvažovaných rokoch časového horizontu.

V procese bude zvažovaný návrh protokolu Aliancie malých ostrovných štátov, ktorý obsahuje redukčné ciele, ako aj iné návrhy.

Pre prípravu protokolu bola zriadená Ad hoc skupina pre Berlínsky mandát (AGBM). O svojej činnosti podá správu na Druhej konferencii strán, ktorá sa bude konať v júli 1996. Ad hoc skupina pre Berlínsky mandát si musí vypracovať svoj program činnosti tak, aby v roku 1997 na Tretej konferencii strán bol protokol pripravený k podpisovaniu.

Ad hoc skupina pre Berlínsky mandát mala svoje druhé stretnutie v prvom novembrovom týždni tohto roku. Opäť sa ukázalo, aké je ťažké prijať konsenzom závery v tak pálčivej téme, akou sú palivá a energetika vo svetovom meradle.

Závery 2. zasadnutia AGBM možno zhrnúť nasledovne:

1. Štáty, ktoré majú vypracované analýzy a zhodnotenia opatrení, vrátane environmentálnych a sociálno-ekonomických impaktov, majú ich dať k dispozícii do 15. 1. 1996. Nie je dostatok časového priestoru robiť detailnú analýzu a zhodnotenie všetkých možných opatrení. Je potrebné zúžiť, ale nie uzavrieť výber opatrení.
2. Politika a opatrenia, ktoré majú byť súčasťou protokolu sú predmetom rozdielnych názorov. Jedným názorom je prístup „annexový“, ktorý reflektuje na rôzny stupeň spoločenských aktivít v rámci krajín prílohy 1 (Annex 1). Iný prístup je sektorový a medzi-sektorový, t.j. napríklad energetika, poľnohospodárstvo, doprava a pod. Iné prístupy sú:

technologický a inštrumentálny. AGBM uvítalo správu krajín prílohy 1 týkajúcu sa projektu politiky a opatrení v rámci spoločnej aktivity krajín prílohy 1. (O tejto činnosti bude zmienka ďalej v texte.)

3. AGBM považuje za základný zdroj informácií pre politiku a opatrenia 2. zhodnocovaciu správu IPCC.
4. AGBM požaduje, aby sekretariát v rámci 3. zasadnutia zorganizoval workshop zameraný na politiku a opatrenia vo väzbe na kvantifikované ciele.
5. Na kvantifikáciu zníženia skleníkových plynov je tiež niekoľko názorov: Jedným je kumulatívny multinárodný, iný je diferencovaný, alebo prijať kolektívne ciele prípadne emisný rozpočet (t.j. určité množstvo emisií v danom časovom termíne, napr. 5 rokov). Strany Dohovoru sú vyzvané, aby predložili svoje návrhy. Koncept diferenciácie medzi krajinami prílohy 1, vrátane indikátorov a kritérií, umožňujúci trvalo udržateľný rozvoj krajín, ako aj spôsob jeho implementácie, si vyžadujú dôkladné štúdium a rozpracovanie.
6. Aj pri kvantifikácii redukcie skleníkových plynov podobne ako pri opatreniach, kľúčovú úlohu hrá 2. zhodnocovacia správa IPCC.
7. AGBM požaduje, aby sekretariát v rámci 3. zasadnutia AGBM (marec 1996) zorganizoval stretnutie na prezentáciu vládnych aj mimovládnych organizácií, zamerané na rozbor kvantifikovaných redukčných cieľov v časových intervaloch 2005, 2010, 2020 a zhodnotenie ich dôsledkov.
8. AGBM požaduje od sekretariátu, aby na 4. zasadnutie pripravil dokument zhodnocujúci možné ukazovatele, pomocou ktorých sa pripravia kritériá diferenciácie záväzkov medzi krajinami prílohy 1.
9. Čo sa týka krajín nezahrnutých do prílohy 1, tieto krajiny vyjadrili svoju pripravenosť k spracovaniu národných komunikácií, ale požadovali príručku (guidelines) na ich spracovanie. Podporný orgán Dohovoru pre vedecké a technologické poradenstvo (SBSTA) má za úlohu ich vypracovať.
10. Rozvojové krajiny vyjadrili potrebu vytvorenia fóra pre výmenu skúseností na metodológiu pre prípravu národných komunikácií. Bolo dohodnuté, že v rámci 2. zasadnutia SBSTA sa fórum zorganizuje a sekretariát Dohovoru zabezpečí jeho financovanie.

11. Boli uznesené požiadavky, aby na 3. zasadnutí AGBM boli diskutované najnovšie technológie a know how.
12. Strany Dohovoru boli vyzvané, aby do 15.1.1996 zaslali ďalšie návrhy na obsah protokolu alebo iného legálneho nástroja. Sekretariát skompiluje návrhy.

Ako už bolo spomenuté v súčasnosti sa rieši projekt OECD/IEA „Spoločná aktivita krajín prílohy 1“ reflektujúci rozhodnutie Konferencie strán o sprísnení záväzkov. Súhrn navrhovaných politík a opatrení je uvedený v tab. 1.

Tab. 1 Prehľad navrhovaných spoločných aktivít krajín prílohy 1 Rámcového dohovoru OSN o zmene klímy

Table 1 Review of the FCCC Annex 1 countries designed joint activities

Druh opatrenia	Skupina I (produkty pred 2. zasadaním Konferencie strán)	Skupina II (produkty po 2. zasadaní Konferencie strán)
Trvalo udržateľná doprava (sustainable transport)	CO ₂ emisie z vozidiel	Infraštruktúra, alternatívne palivá, iné
Reforma energetického trhu	Trhové bariéry / trhový prístup, cenotvorba zahrňujúca všetky náklady	Penetrácie obnoviteľných zdrojov
Ekonomicko-rozpočtové nástroje	Odstránenie dotácií, zdaňovanie, C/energetický obsah	Palivá z medzinárodnej prepravy
Účinnosť na strane spotreby (Demand-site efficiency)	Dobrovoľné dohody s energeticky náročným priemyslom, štandardy pre produkty	Dobrovoľné dohody s výrobcami elektriny, Štítkovanie tovarov (labelling)
Trvalo udržateľné poľnohospodárstvo a lesníctvo	Najlepšia prax pre znižovanie skleníkových plynov	Vypracovať príručku (guidelines)
Iné	Financovanie infraštruktúry pre krajiny s transformujúcou sa ekonomikou	Účinnosť premeny energie

Všetky opatrenia budú v nasledujúcich 18 mesiacoch študované a priority zhodnocované. Zástupcovia vlád budú zahrnutí do pripomienkovacieho procesu a projekčný tím bude zohľadňovať rozhodnutia AGBM.

Krajiny prílohy 1 majú poskytnúť informácie o prijatých opatreniach, najmä tých, kde je urobená analýza. Súčasne môžu navrhnúť expertov, ktorí takúto analýzu vykonávali do pracovného tímu projektu.

Rozhodnutie 2/CP.1 sa týka zhodnotenia prvých národných komunikácií krajín prílohy 1.

Bolo rozhodnuté, že každá národná komunikácia doručená sekretariátu, ktorá pochádza zo štátu prílohy 1, je predmetom hĺbkového zhodnotenia najneskôr do 1 roku od jej doručenia sekretariátu. Hĺbkové zhodnotenie je vykonávané skupinou expertov pod záštitou podporných orgánov Dohovoru (subsidiary bodies - SB). Hodnotiace tímy koordinuje reprezentant sekretariátu a sú zložené z expertov vybraných z nominácie strán Dohovoru, ako aj z nevládných organizácií.

Tím expertov navštívi krajinu, ktorá národnú komunikáciu vypracovala po predchádzajúcom súhlase štátu. Hĺbková správa má byť spracovaná nekonfrontačným štýlom a odovzdá sa SB. Kópia správy je dostupná na vyžiadanie.

Pre 2. zasadanie Konferencie strán SB pripraví druhú kompiláciu (prvá bola vypracovaná pre 1. zasadanie Konferencie strán) a syntézu správ.

Dôvodov pre kompiláciu a syntézu národných správ je niekoľko:

- zhodnotiť implementáciu Dohovoru, vidieť celkový efekt a kumulatívne dôsledky redukčných opatrení vo väzbe na cieľ Dohovoru (stabilizovať emisie do roku 2000 na úrovni roku 1990)
- prispieť k zhodnoteniu, ktoré patrí do kompetencie Konferencie strán o adekvátnosti záväzkov a rozhodnúť o ďalšom postupe (článok 10.2 (b) a 4.2 (d))
- preskúmať povinnosti strán vyplývajúce z článku 4, 5, 6 a 12 Dohovoru
- preskúmať inštitucionálne zariadenia Dohovoru
- prispieť k vývoju a dolad'ovaniu metodológie s cieľom zvýšiť porovnateľnosť správ
- umožniť a uľahčiť výmenu informácií o opatreniach prijatých stranami (článok 7.2 (b))

Vláda Slovenskej republiky schválila 1. národnú správu 23. 5. 1995 a v októbri bola anglická verzia cestou Ministerstva zahraničných vecí doručená sekretariátu Dohovoru v Ženeve. V súčasnosti je v tlači národná správa v slovenčine a bude zaslaná všetkým relevantným pracoviskám koncom novembra. Ďalšie výtlačky bude možno získať na MŽP SR, resp. na SHMÚ, Bratislava.

Rozhodnutie 3/CP.1 vyžaduje dodať 2. národnú správu do 15. 4. 1997. Národné inventúry skleníkových plynov zo zdrojov a ich odstraňovanie záchytní majú byť urobené pre obdobie 1990-1993 a ak je možné aj rok 1994 do 15. 4. 1996. Inventúrne údaje pre nasledujúce roky majú byť vykonávané ročne do 15. 4. nasledujúceho roku. Správy štátov prílohy 1 majú byť vypracované podľa schválených guidelines.

Rozhodnutie 5/CP.1 sa zaoberá kontroverznými aktivitami implementovanými spoločne (AIJ) v rámci pilotnej fázy.

Rámcový dohovor o zmene klímy obsahuje možnosť plnenia záväzkov aj spoločne dvoma alebo viacerými štátmi - tzv. the joint implementation (JI). Inými slovami štát X (donor) alebo investor zníži emisie skleníkových plynov, finančnou alebo technologickou účasťou, alebo vytvorí záchyty oxidu uhličitého (vysadí les) v štáte Y a pripočíta si redukciu skleníkových plynov vo svoj prospech, resp. štáty sa podelia medzi sebou. Je to v podstate výkup emisných práv. Kľúčovou myšlienkou tohto prístupu je, že marginálne náklady opatrení redukujúcich emisie skleníkových plynov sa výrazne líšia v rôznych krajinách. Emisie skleníkových plynov majú globálny účinok, takže z hľadiska environmentálneho je jedno, na ktorom mieste, v ktorej krajine sa znížia.

"Joint implementation" (JI) bola predmetom ostrých kontroverzných diskusií. Rozvojové krajiny považujú tento spôsob za prijateľný len medzi krajinami prílohy 1 a odmietajú, aby vyspelé priemyselné štáty severu si „vykupovali“ svoj konzumný štýl života na úkor chudobného juhu.

Ekonomicky vyspelé štáty považujú JI za efektívny spôsob riešenia redukcie skleníkových plynov, lebo umožňuje za najnižšie náklady dosiahnuť maximálny efekt redukcie.

Konferencia strán ustanovila experimentálnu - pilotnú fázu, v ktorej nie je povolený obchod s emisiami a ani efekty redukcie skleníkových plynov sa nedajú považovať za

plnenie záväzkov Dohovoru. Krajiny prílohy 1 musia súčasné záväzky - stabilizáciu emisií, zabezpečiť doma a spoločné aktivity implementácie (AIJ) Dohovoru sú aditívne.

Účasť štátu na pilotnej fáze musí byť schválená vládou príslušného štátu.

Krajiny majú poskytovať správy o AIJ v transparentnej forme prostredníctvom SBSTA. Konferencia strán bude každoročne zhodnocovať skúsenosti a dosiahnutý progres v tejto otázke a rozhodne, či pilotná fáza bude pokračovať. Najviac môže trvať do konca roka 1999.

Slovenská republika nemá v súčasnosti žiaden projekt, ktorý možno označiť za JI. Oficiálne na 1. zasadnutí Konferencie strán prezentovalo svoj postoj k JI pozitívne, najmä ako nástroj pre krajiny prílohy 1, kde krajiny s transformujúcou ekonomikou sú zdrojom relatívne lacných redukčných možností.

Vláda Slovenskej republiky sa v 1. národnej správe prihlásila k domácejmu environmentálnemu cieľu 20 % redukcie emisie oxidu uhličitého do roku 2005 oproti roku 1988.

Podľa Energetickej koncepcie SR do roku 2005 je potenciál energetických úspor v SR veľký, pričom dominantná časť energie sa v podmienkach slovenského hospodárstva získava spaľovaním fosílnych palív. Vzhľadom na značnú ekonomickú záťaž, ktorú proces transformácie spoločnosti a formovanie nového štátu predstavujú, je potrebné pri plnení uvedeného cieľa sústrediť pozornosť na realizáciu „najlacnejších projektov“.

Za tým účelom MŽP SR v spolupráci s MH SR predložili do vlády materiál na zriadenie Národného panelu na zabezpečenie identifikácie a realizácie environmentálne a ekonomicky efektívnych projektov zameraných na redukciiu skleníkových plynov. Vláda na svojom zasadnutí z 18. 7. 1995 prijala uznanie č. 537, v ktorom:

a) súhlasí s vytvorením národného panelu, ktorým sa zabezpečí systémový prístup v rôznych sektoroch hospodárstva a vzájomná koordinácia činnosti s tým, že sa súčasne inštitucionálne vytvoria podmienky pre zapojenie sa SR do pilotnej fázy mechanizmu spoločného plnenia záväzkov

b) uložila ministrom životného prostredia a ministrom hospodárstva zriadiť národný panel a predložiť na rokovanie vlády jeho štatút tak, aby aktivity zriadeného útvaru napomáhali dosiahnuť národný cieľ redukciiu CO₂.

Národný panel bol zriadený rozhodnutím ministra ŽP z 25. 9. 1995 č. 16/1995-2.1. ako riadiaci výbor, ktorého závery slúžia ako odporúčania pre ministrov jednotlivých rezortov a vedúcich príslušných organizácií. Národný panel tvorí 19 zástupcov, z ktorých 16 sú zástupcovia relevantných rezortov, jeden je člen Národnej Banky. Za nevládne organizácie sú v paneli členmi Slovenský zväz ochrancov prírody a krajiny a Európske centrum Európskeho spoločenstva. Predsedom Národného panelu je štátny tajomník MŽP SR a podpredsedom je štátny tajomník MH SR. Tajomníkom Národného panelu je riaditeľ Slovenskej energetickej inšpekcie - agentúry a súčasne inšpekcia je aj sekretariátom, v ktorom je člen aj zástupca MP SR pre problematiku lesníckych projektov.

V článku 3 štatútu je činnosť národného panelu charakterizovaná v štyroch hlavných úlohách:

1. Koordinuje spoločný postup všetkých zainteresovaných rezortov a zvýšenie celkovej úrovne vzájomnej informovanosti v procese znižovania emisií skleníkových plynov a tvorby ich záchyto.
2. Napomáha pri hľadaní finančného zabezpečenia projektov s výrazným environmentálnym dôsledkom:
 - a) vypracováva a aktualizuje kritériá pre posudzovanie projektov
 - b) stanovuje poradie podľa kritéria a vytvára databázu projektov
 - c) vyhľadáva finančné prostriedky
3. Napomáha vytvoreniu vhodného legislatívno-ekonomického prostredia za účelom postupného znižovania emisií skleníkových plynov a procesu rozvoja tvorby ich záchyto.
4. Špeciálnou úlohou Národného panelu je postupné zapájanie SR do pilotnej fázy II.

Vláda na svojom rokovaní 17. 10. 1995 vzala na vedomie správu ministra ŽP o zriadení Národného panelu.

Posledným rozhodnutím, ktoré je pre Slovensko relevantné (ostatné sa týkajú finančného mechanizmu pre rozvojové krajiny) je rozhodnutie 6/CP.1, ktorým sa ustanovujú podporné orgány Dohovoru v súlade s článkom 9 a 10, a to podporný orgán pre vedecké a technické poradenstvo (SBSTA) a podporný orgán pre implementáciu (SBI).

Konferencia strán ustanovila hlavné úlohy pre podporné orgány:

Podporný orgán Dohovoru pre vedecké a technologické poradenstvo - SBSTA

1. Zabezpečovať zhodnocovanie stavu vedeckého poznania
 - Sumarizovať a konvertovať najnovšie medzinárodné vedecké, technické, sociálno-ekonomické a iné informácie zabezpečované kompetentnými pracoviskami, najmä z IPCC do formy vhodnej pre potreby Konferencie strán, vrátane zhodnocovania adekvátnosti záväzkov
2. Pripraviť vedecké zhodnotenie efektov opatrení prijatých pre implementáciu Dohovoru (čl. 9.2(b)). V tomto kontexte:
 - Posudzovať vedecké, technické a sociálno-ekonomické aspekty hĺbkového hodnotenia národných správ
 - Dohliadať na syntézu národných komunikácií pripravených sekretariátom
3. Identifikovať inovačné, efektívne technológie, určovať stav techniky a know how. V tomto kontexte:
 - Zabezpečovať zber a rozširovanie informácií o vhodných technológiách pre limitáciu emisií zo zdrojov
 - Zabezpečovať poradenstvo v stave techniky
 - Zabezpečovať výmenu informácií o medzinárodných programoch a kooperáciách a výmenu skúseností medzi stranami Dohovoru
4. Zabezpečovať poradenstvo vo vedeckých programoch a v medzinárodnej kooperácii vo výskume a vývoji v problematike zmeny klímy a pomáha stranám v implementácii článku 5 a 6 Dohovoru
5. Zodpovedať na vedecké, technologické a metodologické otázky
 - Poskytovať poradenstvo k vývoju a zlepšeniu porovnávacej metodológie pre národné inventúry, projekcie emisií, agregáciu efektov z prijatých opatrení
 - Zabezpečovať informácie a spoluprácu v technických a metodologických aspektoch pre prípravu protokolu k Dohovoru.

Podporný orgán Dohovoru pre implementáciu - SBI

1. Posudzovať informácie z národných správ a odhaduje celkový agregovaný efekt z krokov, ktoré podnikli strany Dohovoru vo svetle najnovšieho vedeckého poznania.
2. Asistovať Konferencii strán v zabezpečovaní zhodnotenia podľa článku 4.2 (d)
3. Pomáhať Konferencii strán pri príprave a implementácii rozhodnutí berúc do úvahy rady SBSTA
4. Radiť Konferencii strán v dôležitých aspektoch, napr. adekvátnosť záväzkov.

Hlavné úlohy podporných orgánov medzi 1. a 2. zasadáním Konferencie strán:

- Zvážiť 2. zhodnocovaciu správu IPCC a urobiť na jej základe vhodné odporúčania pre Konferenciu strán
- Riešiť otázky metodológie
- Postaviť základy pre poradenstvo vo výskume a vývoji
- Ustanoviť medzinárodný technický poradenský panel pre poradenstvo v technológiách, vrátane ekonomických aspektov a v metodológii.

Zriadenie medzivládneho technického poradného panelu SBSTA malo byť na programe 1. stretnutia SB v auguste 1995 a v januári 1996 malo byť jeho 1. stretnutie. Žiaľ, panel ustanovený nebol a úloha sa presúva na 2. zasadnutie SB vo februári 1996.

Ďalšou významnou udalosťou v problematike klimatickej zmeny bude 11. zasadnutie IPCC v dňoch 11.-15. 12. v Ríme. Hlavným bodom programu bude prijatie syntéznej správy: 2. zhodnotenie vedeckých a technických informácií relevantných pre interpretáciu článku 2 Dohovoru, ktorá zhrnie výsledky všetkých troch pracovných skupín. Pretože pred prijatím správy nie je možné z nej citovať, musí sa počkať na jej schválenie.

Správa je významným dokumentom, z ktorého bude vychádzať SBSTA pri odporúčaniach o kvantifikácii emisií a redukčných cieľoch po roku 2000 pre 2. zasadanie Konferenciu strán v júli 1996.

INTERNATIONAL AND DOMESTIC ACTIVITIES IN POST - BERLIN PROCESS

Anna Violová

Slovak Ministry of the Environment, Bratislava, Slovakia

ABSTRACT

Climate change international and domestic activities come out from the conclusions and decisions adopted by the UN Framework Convention on Climate Change (FCCC) 1st Conference of Parties. Here are presented only these activities which are relevant for the Slovak Republic.

Decision 1/CP.1 has established Ad hoc Group on Berlin Mandate for preparation of protocol or other legal instrument. Here are presented the conclusions from its second session.

At present, OECD/IEA project "Common Action" reflects decision of the FCCC 1st Conference of Parties on strengthening of the commitments of the Parties included in Annex I to the Convention. List of policies and measures for the Common Action study is presented.

The Slovak Republic submitted the first national communication to the FCCC Secretariat in October 1995 and within one year it will be subject to an in-depth review according to decision 2/CP.1.

Decision 5/CP.1 is on activities implemented jointly under the pilot phase. At present there is no Joint Implementation (JI) project in the Slovak Republic.

The Slovak Government adopted domestic target to reduce CO₂ emissions by 20 % in 2005 from the 1988 level. The Slovak Government in order to support this objective has established the National Panel for identification and implementation of cost - effective projects related to GHGs reduction.

The main tasks of the National Panel are as follows:

1. Inter-ministerial co-ordination in order to increase information exchange on climate change issues.
2. Assistance in financial mechanism to identify possible financial resources. In this sense:
 - a) to elaborate criteria for projects-priorities
 - b) to prepare list of projects according to criteria and to create data-base of projects
3. Support for development of legislative and economics instruments for implementation of policies and measures related to reduction of greenhouse gasses.
4. Participation on activities implemented jointly.

Information concerns on the subsidiary bodies established by the Convention and their tasks between the first and the second sessions of the Conference (decision 6/CP.1) and the 11th session of IPCC in Rome are presented as well.

*NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY*

*NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC*

**REGIONÁLNE SCENÁRE
ZMIEN TEPLoty VZDUCHU A ZRÁŽOK
NA SLOVENSKU**

Riešiteľia:	RNDr. Milan Lapin, CSc. RNDr. Elena Nieplová, CSc., RNDr. Pavol Faško, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, 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. Ivan Zuzula, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

REGIONÁLNE SCENÁRE ZMIEN TEPLOTY VZDUCHU A ZRÁŽOK NA SLOVENSKU

M. Lapin, E. Nieplová a P. Faško
Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

Abstrakt

Základné scenáre klimatickej zmeny pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 sú založené na regionálnej modifikácii výstupov globálnych modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs). Pre územie Slovenska boli ako najvhodnejšie vybrané modely CCCM, GISS a s výhradami aj GFDL. "Kombinované" scenáre boli pripravené na základe predpokladu rastu ročných priemerov teploty vzduchu o 1 - 2°C v roku 2025, alebo o 2 - 3°C v roku 2075, alebo o 3,4 - 4,3°C v roku 2075 v porovnaní s priemerom z obdobia 1951 - 1980. Ďalšie parametre "kombinovaných" scenárov boli vypočítané na základe analýzy relatívne teplých období od 1871 do 1994, na korelačnej analýze vzťahov medzi rôznymi prvkami v období 1901 - 1994 a čiastočne aj na základe analýzy zmien atmosférickej cirkulácie v strednej Európe v období 1873 - 1993. Scenáre teploty vzduchu sú rovnaké pre celé územie Slovenska, scenáre úhrnov zrážok sú navrhnuté zvlášť pre severné a ostatné územie Slovenska. Texty obrázkov sú v anglickej verzii, slovenské texty sú v prílohe.

1. Stručný prehľad klimatických pomerov a zmien a variability klímy na Slovensku

Slovensko je pomerne hornatá krajina (obr. 1) s priemernou nadmorskou výškou asi 445 m a rozlohou 49 036 km². Z celkovej rozlohy zaberá poľnohospodárska pôda asi 50 %, lesná pôda asi 41 %, vodné plochy asi 2 %, urbanizované územie asi 3 % a iné plochy asi 4 %.

Klimatické pomery Slovenska sú ovplyvnené predovšetkým polohou v strednej Európe, orografiou západných Karpát a Álp, ale tiež prevládajúcim západným atmosférickým prúdením. Juhozápadná a južná časť Slovenska patrí podľa svetovej klimatickej klasifikácie do mierného klimatického pásma s miernou zimou (január tu má priemernú teplotu vyššiu ako -3 °C), a ostatná časť Slovenska do mierneho klimatického pásma s chladnejšou zimou. Ročný chod atmosférických zrážok je vcelku vyrovnaný prevažne s maximom v júni alebo v júli a s minimom v marci, februári alebo v januári. Ročné obdobie od polovice júla do polovice októbra je pomerne suché, najmä v južnej polovici Slovenska. Pre južnú a východnú polovicu Slovenska je charakteristické, že vyššie úhrny zrážok (aj výdatnejšie sneženie) sa tu vyskytujú iba v niektorých rokoch pri južných a juhozápadných cyklonálnych situáciách, hlavne od októbra po december a v mesiacoch máj a jún. Na druhej strane, západné a severozápadné prúdenie prináša bohatšie zrážky predovšetkým v horských oblastiach na západe a severe Slovenska. Akékoľvek zmeny klímy, ktoré majú za následok zmeny doterajšieho charakteru atmosférického prúdenia, môžu radikálne ovplyvniť uvedenú schému klimatických pomerov na celom Slovensku.

Väčšina klimatických charakteristík Slovenska sa vyznačuje veľkou premenlivosťou, hlavne v zime a na jar. Smerodajná odchýlka (σ), ktorá najlepšie vystihuje veľkosť premenlivosti daného klimatického prvku, je pri mesačných priemeroch teploty vzduchu okolo 3 °C v januári a málo nad 1 °C v auguste, σ mesačných úhrnov zrážok predstavuje asi 75 % z dlhodobých priemerov v októbri a okolo 50 % v júni (v horských oblastiach je to asi 60 % v zime a asi 40 % v júni). Absolútne denné maximum teploty vzduchu bolo 39 °C a minimum -41 °C, priemerné denné maximum teploty vzduchu je

v júli okolo 27 °C na nížinách a priemerné denné minimum teploty vzduchu je v januári okolo -10 °C v kotlinách Slovenska. Priemerné ročné úhrny zrážok dosahujú na nížinách 450 - 650 mm pri 75 % zabezpečení a 600 - 800 mm pri 25 % zabezpečení. Denné úhrny zrážok nad 100 mm sa vyskytujú zriedka, no najvyšší denný úhm vôbec bol až 232 mm v Salke na juhu Slovenska 12. 7. 1957. Suché a horúce počasie, typické pre stredomorskú oblasť v lete, sa vyskytuje v niektorých rokoch aj na značnej časti Slovenska od mája po september. Stabilná snehová pokrývka (s dlhším trvaním ako 1 mesiac) sa vyskytuje iba v nadmorskej výške nad 300 m, no aj na nížinách sa môže snehová pokrývka vyskytnúť od začiatku novembra do polovice apríla, pričom je tam jej dlhšie trvanie ako 2 týždne pomerne zriedkavé. Absolútne maximum výšky snehovej pokrývky je do 100 cm na nížinách a viac ako 300 cm v horách.

Na obr. 2 a 3 vidíme časový priebeh a trendy vybraných klimatických prvkov (teploty vzduchu, úhrnov zrážok a relatívnej vlhkosti vzduchu) v Hurbanove v období 1871 - 1995, resp. 1901 - 1995. Ročné priemery teploty vzduchu majú významne rastúci trend (pri lineárnej regresii o 1,3 °C), čo je zvlášť typické pre posledných 8 rokov (1988 - 1995). Rok 1994 bol vôbec najteplejší od roku 1871 (pravdepodobne aj od roku 1775). Popri závažných dôsledkoch výrazného oteplenia v zime na pokles snehovej pokrývky [5] sa značne zmenili aj pomery vo vegetačnom období (apríl až september), preto uvádzame na obr. 2 a 3 hlavne údaje pre túto ročnú dobu. Pokles úhrnov zrážok a relatívnej vlhkosti vzduchu je taký neobvyklý, že to spolu s mimoriadne vysokou teplotou vzduchu spôsobilo v rokoch 1990 - 1994 závažné problémy vo vodnom a lesnom hospodárstve, ako aj v poľnohospodárstve [11].

Tomuto charakteristickému režimu zmien a premenlivosti klímy sa počas tisícročí prispôbali terajšie prírodné ekosystémy (rastlinstvo a živočíchy) a v posledných desaťročiach aj terajšia ekonomická a sociálna sféra na Slovensku. Predpokladané oteplenie klímy môže uvedené charakteristiky klímy značne zmeniť, pravdepodobne smerom k ešte väčšej premenlivosti pri vyšších priemeroch teploty vzduchu, čo bude mať zrejme za následok zmenu hraničných podmienok tak pre prírodné ekosystémy, ako aj pre ekonomické a sociálne aktivity. Ak by bola zmena klimatických pomerov pomalá - trvajúca tisíce až milióny rokov (ako to bolo v minulých geologických dobách), prírodné ekosystémy by sa bez väčších problémov prispôbali. Porovnateľne veľká zmena počas jedného storočia však môže znamenať pre tieto spoločenstvá neprekonateľný stres s vážnymi dôsledkami na ich stabilitu a životaschopnosť. To je však iba stručná charakteristika časti rizík spojených s očakávanou klimatickou zmenou na Slovensku.

2. Metóda a výsledky

V súlade s modelovými výpočtami realizovanými vo viacerých krajinách je možné s veľkou pravdepodobnosťou očakávať, že rast skleníkového efektu atmosféry bude spojený (v priemere) s celosvetovým oteplením prízemnej vrstvy atmosféry. Vzhľadom na to, že je už teraz koncentrácia CO₂ v atmosfére asi o 30 % vyššia, ako bola počas niekoľkých storočí v predindustriálnom období, vynára sa otázka, či sa už dá identifikovať nástup globálneho oteplenia. Podľa výsledkov analýzy urobenej Medzivládny panelom pre klimatické zmeny (IPCC - Intergovernmental Panel for Climate Change) je možné od začiatku nášho storočia pozorovať rast teploty vzduchu v globálnom priemere asi o 0,5 °C [2]. Napriek tomu nie je možné jednoznačne potvrdiť, že toto zvýšenie teploty vzduchu je skutočne vyvolané iba rastúcim skleníkovým efektom atmosféry. Aj v minulých storočiach sa vyskytovali kratšie alebo dlhšie periody s porovnateľnými odchýlkami teploty vzduchu. Celosvetový monitoring globálnych zmien teploty vzduchu však zrejme už v najbližších rokoch prinesie detailnejšie poznatky o možnosti odlišenia prirodzených zmien klímy od klimatickej zmeny zapríčinené rastúcim skleníkovým efektom atmosféry. Modelové výpočty pomocou modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs - General Circulation Models) sa však zhodujú iba v jednom - rast skleníkového efektu atmosféry určite zapríčiní globálne oteplenie, no nie je celkom jasné, či bude toto oteplenie rovnomerné z

časového i priestorového hľadiska a nie je tiež jasné, aké bude mať sprievodné dôsledky na zmeny iných klimatických prvkov a na zmenu premenlivosti samotnej teploty vzduchu [12].

Predpokladajme, že globálne oteplenie atmosféry bude veľmi pravdepodobne spojené aj s určitými zmenami atmosférickej cirkulácie. To nepochybne vyvolá závažné zmeny zrážkových úhmov, oblačnosti, vlhkosti vzduchu a následne i ďalších prvkov, zvlášť v oblastiach s väčšími horskými masívmi. Dotýkať sa to bude zrejme tak zmeny priestorového, ako aj časového rozloženia týchto prvkov. Odhadý dôsledkov očakávanej klimatickej zmeny nie je možné založiť iba na scenároch zmien teploty vzduchu, potrebujeme aj scenáre iných klimatických prvkov tak, aby boli fyzikálne (meteorologicky i klimatologicky) zdôvodniteľné. Napríklad, na ocenenie dôsledkov zmeny klímy na vodnú bilanciu územia potrebujeme poznať prinajmenšom zmeny úhmov zrážok a územného výparu. K tomu potrebujeme pri jednoduchších výpočtoch mesačné hodnoty úhmov zrážok, teploty vzduchu a vlhkosti vzduchu [4], pri detailnejších výpočtoch aj slnečného žiarenia, rýchlosti vetra a snehovej pokrývky, ale tiež zmien vegetačného krytu.

Na SWCC (Druhá svetová klimatická konferencia) v roku 1990 v Ženeve bolo prezentovaných niekoľko scenárov globálneho rastu teploty vzduchu. Za najpravdepodobnejší sa považoval rast o 1 - 2 °C okolo roku 2025 oproti priemerom z obdobia 1951 - 1980 [1]. Tento "Business as-Usual" scenár sa neskôr prijímal skôr za horný odhad. V prvých štúdiách prezentovaných v rámci NKP ČSFR bol použitý tento scenár teploty vzduchu aj pre naše územie [3,4]. Rast ročnej teploty vzduchu o 1 - 2 °C sa prijal za možnú alternatívu zmeny klímy aj z toho dôvodu, že sa ČSFR nachádzala v stredných zemepisných šírkach so skoro rovnocenným vplyvom oceánu a kontinentov. Ročný chod tohoto oteplenia bol schematicky modifikovaný podľa smerodajnej odchýlky mesačných priemerov teploty vzduchu, ktorá dosahuje u nás v zime takmer 3°C a v lete málo nad 1°C.

Scenáre zmien zrážkových úhmov boli v tom čase (v roku 1990) ešte veľmi neurčité, iba v severnejších oblastiach Európy sa predpokladal s väčšou istotou rast úhmov zrážok [1]. Pre územie Slovenska sme preto pripravili dočasné scenáre zmien zrážkových úhmov tak, aby boli rámcovo v súlade s predpokladom rastu úhmov zrážok v zime a s miernym poklesom vo vegetačnom období na juhu Slovenska. Tento predpoklad bol vcelku v dobrom súlade aj s analýzou relatívne teplých období [4,5]. Analýzou vzťahu úhmov zrážok, teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu na obmedzenom počte staníc boli pripravené aj scenáre relatívnej vlhkosti vzduchu [5]. Všetky tieto scenáre sme považovali za predbežné a mali slúžiť hlavne na zhodnotenie citlivosti územia Slovenska na možné zmeny klímy. Na základe týchto scenárov bolo spracovaných niekoľko štúdií v rámci NKP SR a urobili sa aj prvé odhady možných dôsledkov zmeny klímy v socio-ekonomických sektoroch Slovenska [7].

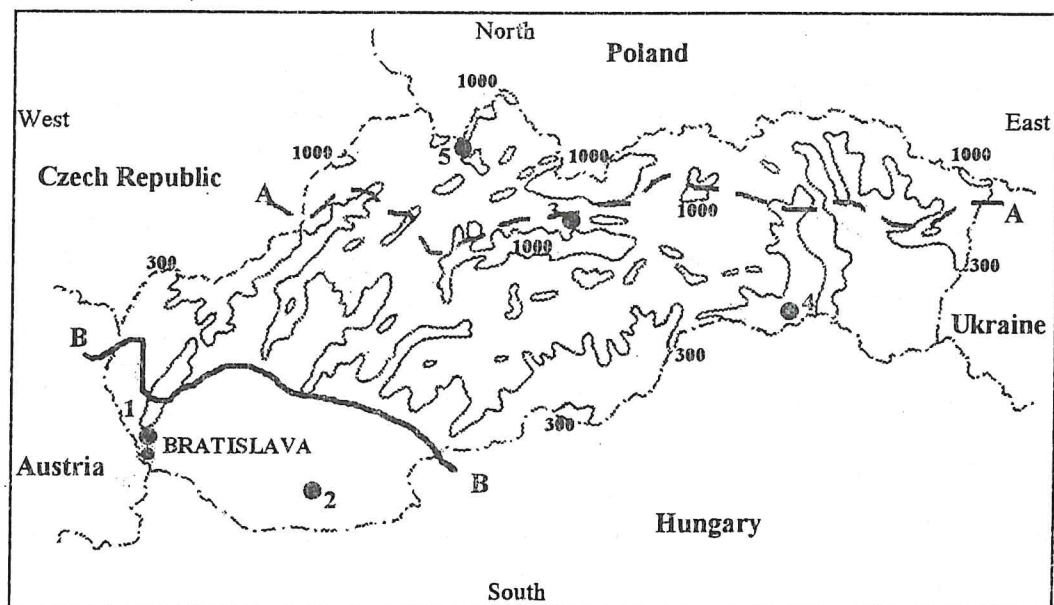
V roku 1992 uviedol IPCC nové GCMs scenáre zmien ročných i mesačných priemerov teploty vzduchu so zahrnutým vplyvom oceánov, rastu aerosólov v atmosfére i detailnejšej orografie. Podobné GCMs scenáre boli pripravené aj pre zmeny mesačných a ročných úhmov zrážok [2,12]. V roku 1994 a 1995 boli tieto výsledky spresnené detailnejšími časovými scenármi rastu koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére. V roku 1994 podpísala SR kontrakt s US EPA o riešení projektu Country Study s podporou USA, v rámci čoho sme získali výstupy piatich GCMs pre teplotu vzduchu, úhmy zrážok a globálnu slnečnú radiáciu v sieti uzlových bodov. Okrem toho sme získali metodiku na prípravu analógových a inkrementálnych scenárov zmeny klímy [12]. V nasledujúcom texte uvádzame detailné výsledky regionálnej modifikácie GCMs výstupov a podstatnú časť výsledkov "kombinovaných" (GCMs-analogových) scenárov pre teplotu vzduchu a úhmy zrážok. Analýza korelačných vzťahov medzi jednotlivými klimatickými prvkami ukázala, že scenáre teploty vzduchu a zrážok hrajú kľúčovú úlohu pri návrhu scenárov iných klimatických prvkov. V súlade s požiadavkou riadiaceho centra Country Study sme sa snažili pripraviť alternatívne scenáre charakterizujúce horný a dolný odhad.

Tab. 1 Mesačné územné priemery teploty vzduchu T_n v SR v období 1951-80 v °C a hodnoty odchýlok modifikovaných GCMs scénárov teploty vzduchu pre stav $2\times\text{CO}_2$ od T_n pre celú SR
 Table 1. Monthly air temperature areal means (T_n) in °C for Slovakia in the 1951-1980 period and regional modification of deviations for $2\times\text{CO}_2$ GCMs air temperature scenarios from T_n for all Slovakia (CCCM, GISS, GFD3 - GCMs scenarios)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T_n	-3.8	-1.8	2.2	7.7	12.5	16.1	17.5	16.8	13.0	8.0	3.0	-1.5
CCCM	3.7	4.5	4.3	3.2	2.9	3.0	3.3	3.2	3.6	3.4	2.7	2.8
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
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

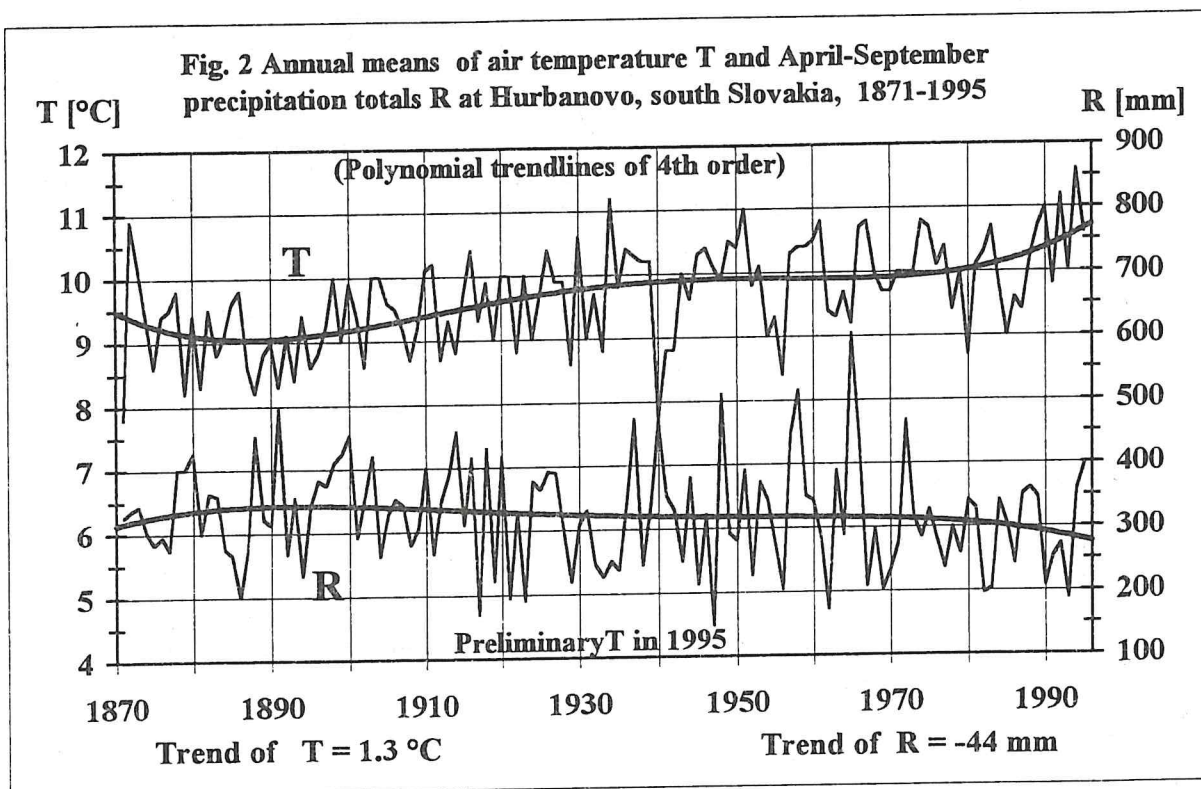
Tab. 2. Územné priemery úhrnov zrážok R_n pre severné (N) a ostatné (S) Slovensko v období 1951-80 a hodnoty kvocientov regionálnych GCMs scénárov úhrnov zrážok pre stav $2\times\text{CO}_2$ oproti stavu R_n
 Table 2. Areal means of monthly precipitation totals (R_n) in mm in northern (N) and southern (S) Slovakia in 1951-1980 period and regional modification of quotients for $2\times\text{CO}_2$ GCMs precipitation scenarios compared to R_n for N and S Slovakia - see Fig. 1 (CCCM, GISS, GFD3 - GCMs scenarios)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
R_n N	55	51	52	62	80	115	116	91	67	59	62	67
R_n S	41	42	38	50	67	94	88	76	50	50	62	52
CCCM-N	1.32	1.17	1.01	1.10	0.94	0.99	0.88	0.87	0.87	1.18	1.27	1.35
CCCM-S	1.29	1.02	1.15	1.04	0.85	0.83	0.79	1.03	0.91	1.11	1.16	1.22
GISS-N	1.16	1.31	1.27	1.34	1.18	1.07	1.08	1.06	0.84	1.25	1.31	1.04
GISS-S	1.16	1.24	1.26	1.28	1.18	1.07	1.20	1.19	0.80	1.28	1.29	1.06
GFD3-N	0.95	1.44	1.08	1.13	1.07	0.99	0.84	1.19	1.36	1.45	1.44	1.01
GFD3-S	0.90	1.50	1.06	1.08	1.03	0.99	0.81	1.39	1.28	1.33	1.43	0.96

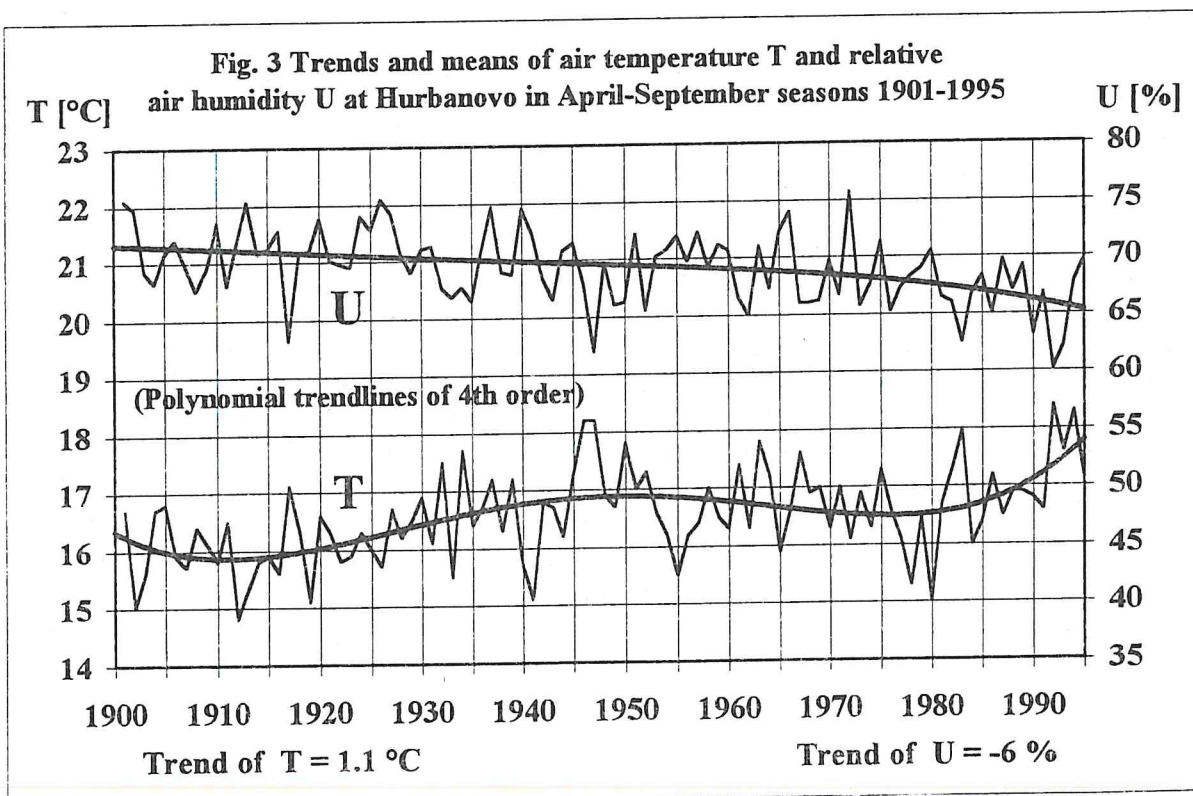


Obr. 1 Mapa SR s vrstevnicami nadmorskej výšky 300 a 1000 m, s polohou staníc Bratislava (1), Hurbanovo (2), Lipt. Hrádok (3), Košice (4) a Oravská Lesná (5). Čiara A oddeľuje severnú od ostatnej SR a čiara B vymedzuje juhozápad SR s významným poklesom relatívnej vlhkosti vzduchu
 Fig. 1 Map of Slovakia with contour lines for 300 and 1000 m altitude, main climatological stations and borders of northern and southern Slovakia (A) and relatively dry south-western Slovakia (B)

Obr. 2 Ročné priemery teploty vzduchu T a úhmy zrážok R vo vegetačnom období (IV-IX) 1871-1995 v Hurbanove. Trend T o 1.3 °C a R o -44 mm zodpovedá lineárnej regresii



Obr. 3 Priemery teploty vzduchu T a relatívnej vlhkosti vzduchu U vo vegetačnom období (IV-IX) 1901-1995 v Hurbanove. Trend T o 1.1 °C a U o -6 % zodpovedá lineárnej regresii



2.1 Regionálna modifikácia výstupov GCMs modelov pre Slovensko

Výstupy modelov všeobecnej cirkulácie (General circulation models - GCMs) sú základom pre vytváranie scenárov klimatickej zmeny. Tieto modely majú globálny charakter, pracujú so značne zhladenou orografiou, parametrizácia fyzikálnych procesov a vstupné údaje modelov reprezentujú relatívne rozsiahle oblasti. Výstupné hodnoty modelov sú vzťahované k sieti uzlových bodov (gridov), ktorých vzdialenosť dosahuje niekoľko stupňov zemepisnej šírky a dĺžky. Simulácie súčasnej klímy sú v globálnej mierke realistické [2,12], avšak pri prechode do regionálnej a lokálnej mierky možno zistiť významné odchýlky medzi výstupmi modelov a pozorovanou klímou.

Na Slovensku nie sú k dispozícii vlastné GCMs. V rámci riešenia Projektu Slovak Republic's Country Study poskytol U.S. Country Study Program (NCAR, Boulder, January 1995) výstupy piatich Globálnych cirkulačných modelov:

GISS (Goddard Institute for Space Studies)	7.83° x 10.0°
CCCM (Canadian Climate Centre)	3.75° x 3.75°
UK89 (United Kingdom Meteorological Office)	2.75° x 3.75°
GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory)	
GF01	4.44° x 7.50°
GFD3	2.22° x 3.75°

Modely GISS a UK89 sú diferenčné, CCCM a obidva GFDL spektrálne. Z uvedených modelov je iba GF01T prechodový (transientný).

Výstupy modelov, ktoré máme k dispozícii obsahujú hodnoty priemerných mesačných teplôt, globálneho žiarenia a priemerných denných úhrnov zrážok v uzlových bodoch pre kontrolnú klímu (simulácia 1xCO₂) a pre simuláciu 2xCO₂. Pre teplotu vzduchu sú to tiež rozdiely medzi simuláciami 1xCO₂ a 2xCO₂, pre zrážky a hustotu toku globálneho žiarenia podiely obidvoch simulácií. Mohli sme sa tiež opierať o ďalšie údaje, ako sú CLIM data - dlhodobé priemery pozorovanej teploty a zrážok v uzlových bodoch a nadmorská výška orografie v uzlových bodoch.

Pri porovnávaní výstupov modelov a ich modifikácii pre územie Slovenska sme zvolili nasledovný postup:

1. Vytvorenie základného klimatického scenára pre Slovensko (baseline climate scenario), ktorý by reprezentoval súčasné reálne klimatické pomery Slovenska,
2. Porovnanie simulácie súčasnej klímy jednotlivými modelmi so základným scenárom,
3. Výber 2 - 3 modelov, ktoré najlepšie simulujú súčasnú klímu,
4. Modifikácia 2xCO₂ scenárov pre teplotu vzduchu a zrážky vybraných modelov pre územie Slovenska,
5. Výpočet scenárov klimatických zmien pre roky 2075 (2xCO₂), 2030 a 2010.

Základný klimatický scenár. Scenáre klimatickej zmeny sa aplikujú na určité referenčné obdobie, ktoré má reprezentovať súčasné klimatické pomery. Pri voľbe tohto referenčného obdobia sme vychádzali z priestorovej a časovej analýzy teplotných a zrážkových pomerov na Slovensku z období 1951 - 1980, 1961 - 1990 a pri zrážkach aj 1901 - 1990. Na základe výsledkov analýz sme sa v súlade s odporúčaniami IPCC rozhodli obdobie 1951 - 1980 považovať za referenčné obdobie. Pri rozhodovaní sme tiež zohľadnili, že počas posledného desaťročia (obdobia) 1961-1990 sa pozoroval výrazný rast teploty vzduchu a tiež, že vstupné meteorologické údaje pre modely sú zo skoršieho obdobia. Priestorová a časová variabilita teploty vzduchu sa analyzovala na základe údajov 40 meteorologických staníc, vytvorený bol súbor priestorových mesačných priemerov teploty vzduchu pre Slo-

vensko. Tieto priestorové priemery sú počítané metódou váženého priemeru z meraní 13 staníc s reprezentatívnymi a hodnovernými meraniami v období 1951-1980 a je predpoklad, že stanice budú v činnosti aj v budúcnosti (tab. 3.). Vhodným výškovým rozložením staníc tieto priestorové priemery reprezentujú údaje pre priemernú nadmorskú výšku Slovenska. Pre časovú a priestorovú analýzu zrážkových pomerov boli použité merania 203 zrážkomerných staníc. Zatiaľ čo priestorové rozdiely v režime teploty vzduchu nie sú významné, z hľadiska zrážkového režimu môžeme rozlíšiť dve oblasti. Severné Slovensko je viac ovplyvňované západným zonálnym prúdením, zostávajúca časť územia južnou meridionálnou atmosférickou cirkuláciou. Pri výpočte priestorových priemerov zrážkových úhrnov pre tieto dve oblasti bola použitá metóda dvojitych vážených priemerov a všetky použité stanice majú vypočítané dlhodobé priemery pre všetky štandardné obdobia a budú pravdepodobne v činnosti aj v budúcnosti. Priestorové priemery teploty vzduchu a zrážok sme využívali ako základný klimatický scenár pri porovnávaní výstupov modelov.

Tab. 3 Zoznam 13 klimatických staníc s nadmorskou výškou a priemernou teplotou vzduchu za rok, zimu a leto, ktoré sa použili pre výpočet územného priemeru teploty vzduchu na Slovensku

Table 3 List of 13 climatological stations in Slovakia used for calculation of air temperature areal means (altitudes in m above sea level as well as mean annual, winter and summer temperatures are included)

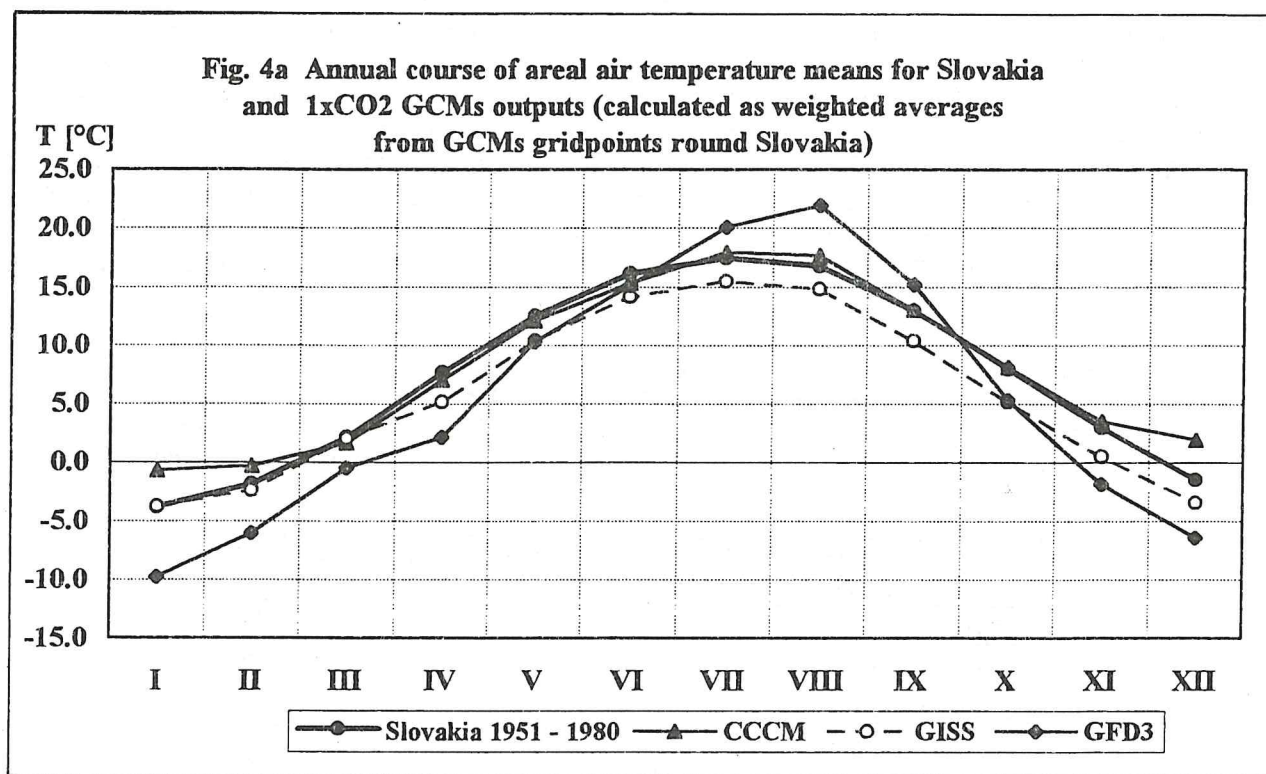
No Č.	Station Stanica	Elevation m a.s.l.	Summer Leto	Winter Zima	Year Rok
1	Boľkovce	214	18.5	-1.6	8.8
2	Bratislava, Koliba	286	18.7	-0.6	9.3
3	Hurbanovo	115	19.4	0.0	9.9
4	Kamenica	176	17.8	-1.8	8.3
5	Košice, letisko	230	18.2	-1.8	8.5
6	Oravská Lesná	780	13.5	-4.5	4.6
7	Piešťany	165	18.3	-0.4	9.2
8	Sliač	313	17.3	-2.3	7.9
9	Somotor	100	19.5	-1.4	9.4
10	Telgárt	901	13.6	-4.3	4.7
11	Lomnický Štit	2635	3.1	-11.0	-3.9
12	Poprad	695	14.8	-3.7	5.7
13	Plaveč	488	16.0	-3.5	6.6
	Weighted average Vážený priemer	427	16,8	-2,4	7,5

Pre hodnotenie simulácií $1xCO_2$ jednotlivých modelov sme zvolili porovnanie ročných chodov analyzovaných prvkov teploty vzduchu a zrážok. V prvom kroku sme porovnávali hodnoty vo všetkých najbližších bodoch k nášmu územiu a ležiacich na našom území a taktiež interpolované hodnoty. Tieto porovnania poukázali na veľké rozdiely medzi existujúcim ročným chodom a simuláciami $1xCO_2$ (obr. 4, 8).

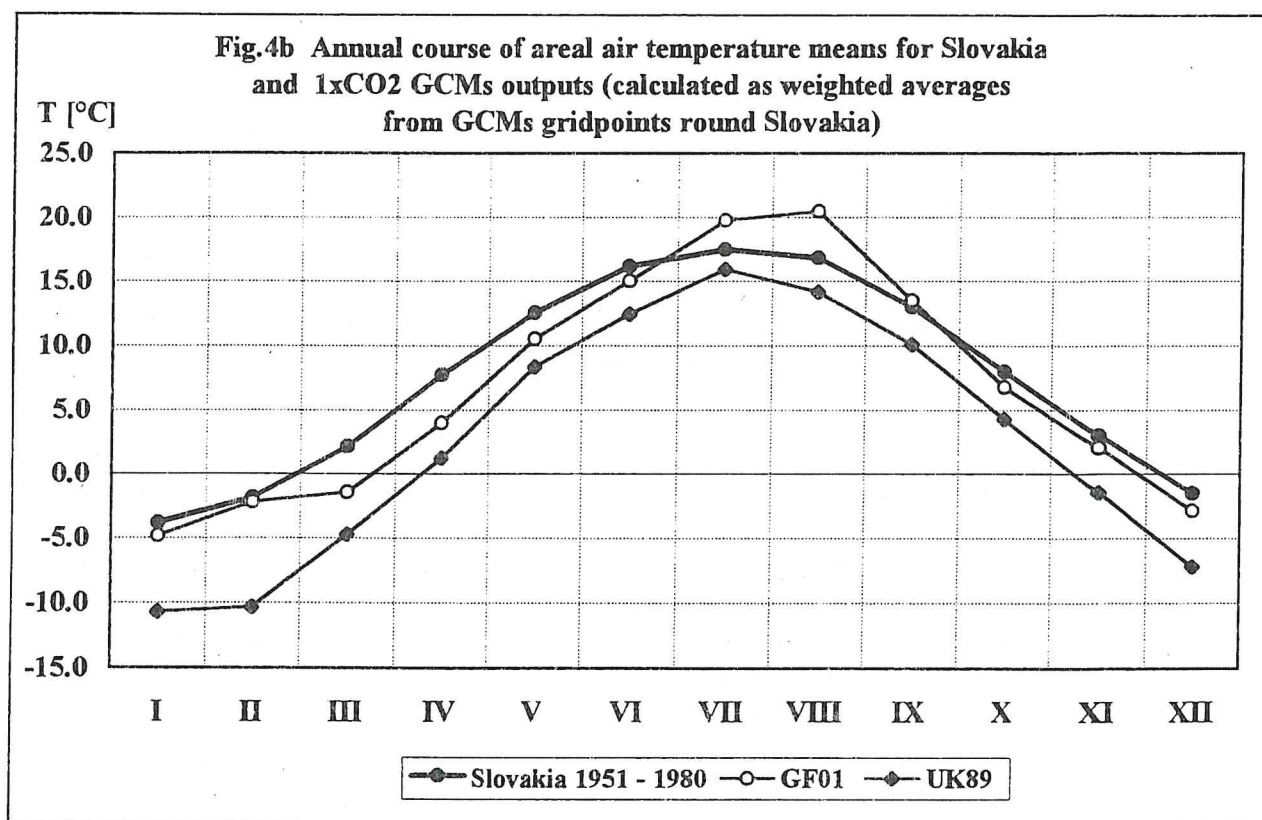
Model CCCM dobre simuluje teploty vzduchu v letnom a jesennom období, zimné hodnoty sú nadhodnotené. Pri zrážkach simulácia vystihuje ročný chod, hodnoty sú však počas celého roka nadhodnotené.

Model GISS pomerne dobre simuluje ročný chod teploty vzduchu, hodnoty sú s výnimkou januára a februára v bode bližšom k nášmu územiu podhodnotené. Model tiež pomerne dobre simuluje ročný chod zrážok, avšak výskyt maxima je oproti skutočnosti posunutý na máj namiesto júna alebo júla. Hodnoty sú však vysoko nadhodnotené, najviac zo všetkých modelov.

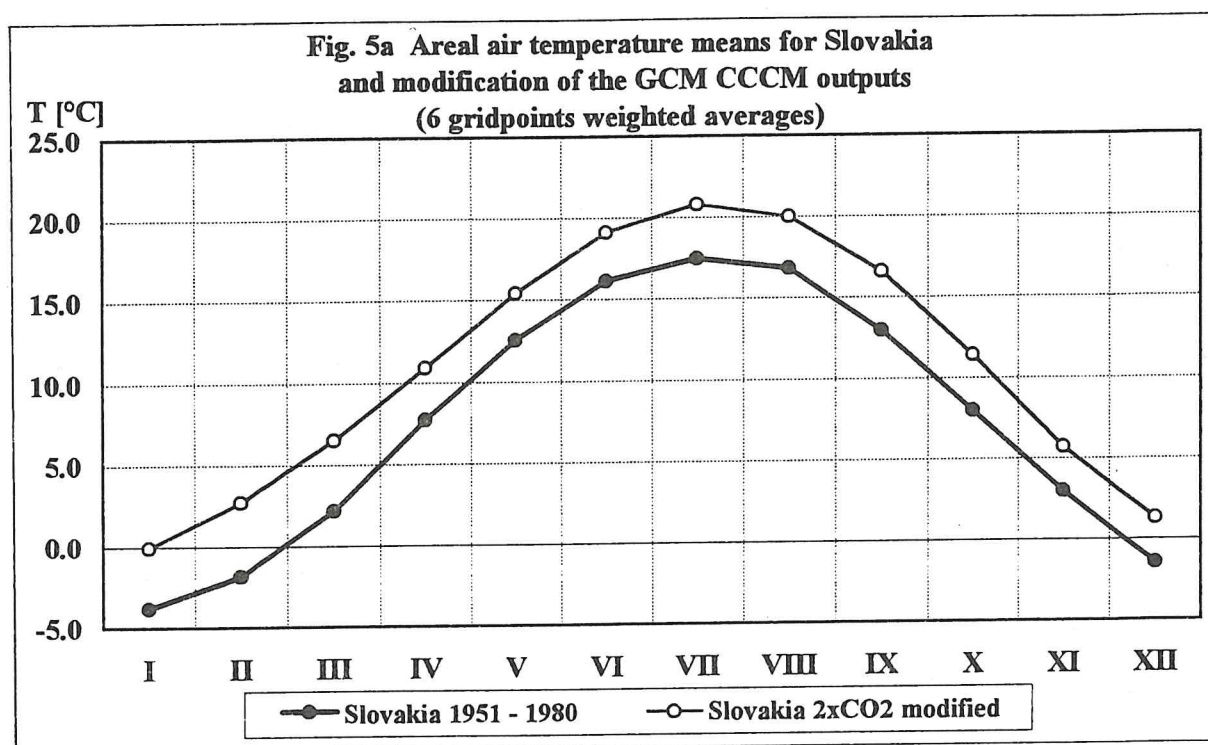
Obr. 4a Ročný chod priestorového priemeru teploty vzduchu na Slovensku a hodnôt GCMs výstupov v uzlových bodoch okolo Slovenska pre simuláciu 1xCO₂



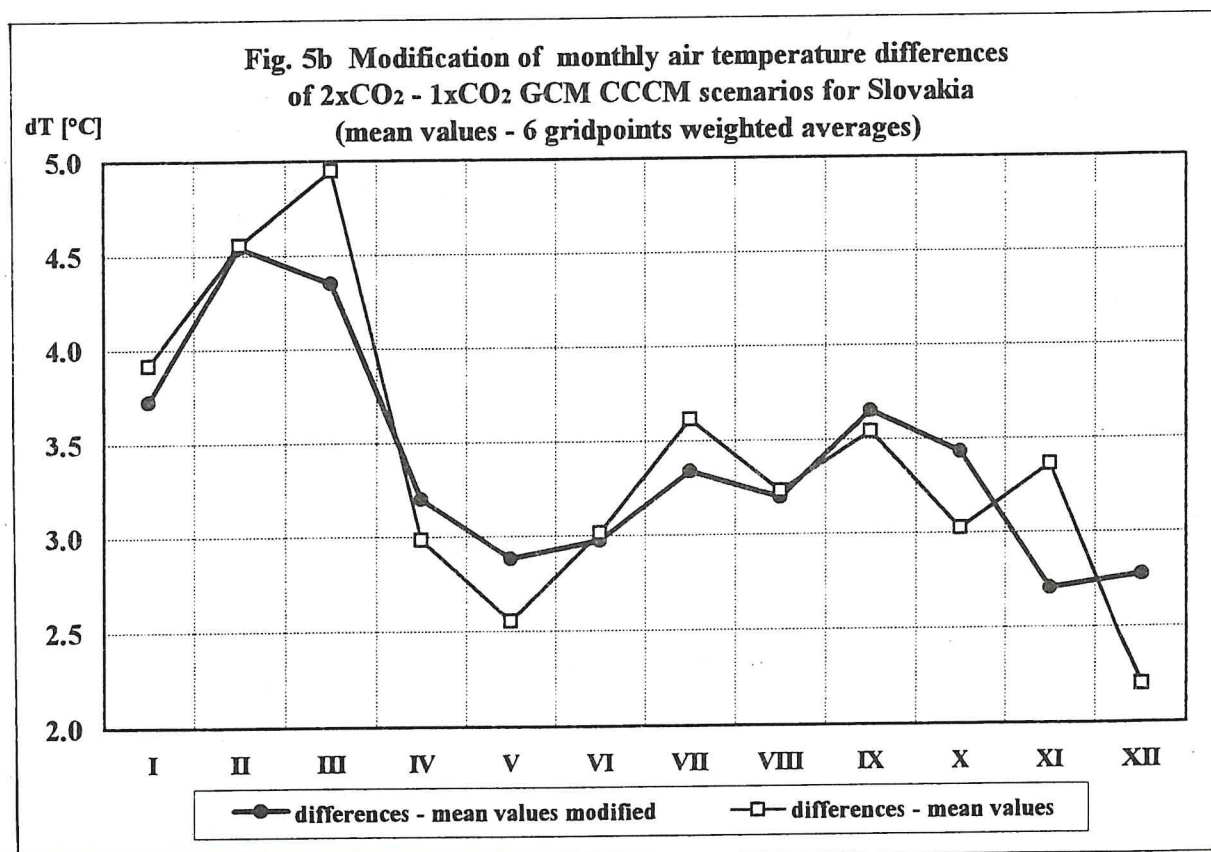
Obr. 4b Ročný chod priestorového priemeru teploty vzduchu na Slovensku a hodnôt GCMs výstupov v uzlových bodoch okolo Slovenska pre simuláciu 1xCO₂



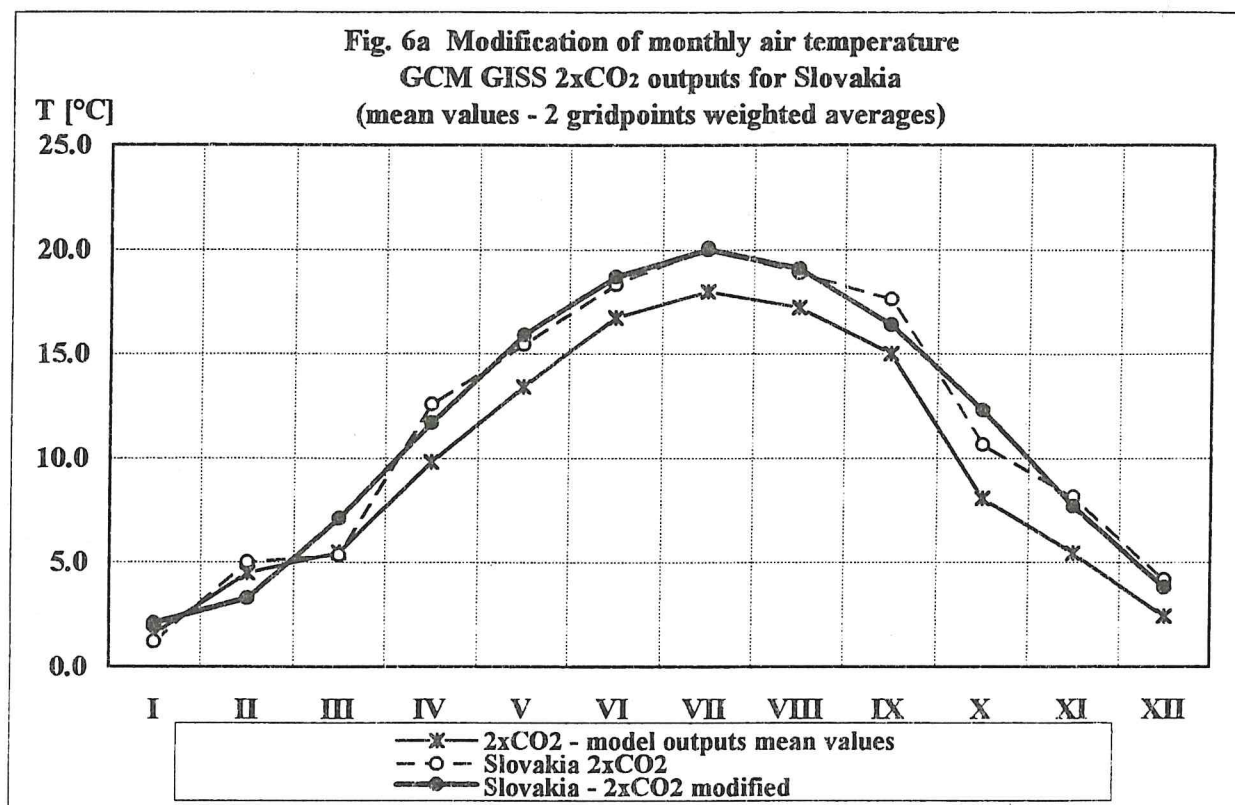
Obr. 5a Priestorové priemery teploty vzduchu na Slovensku za obdobie 1951-1980 a modifikované podľa GCM CCCM modelu pre stav $2\times\text{CO}_2$ ako vážený priemer z 6 bodov



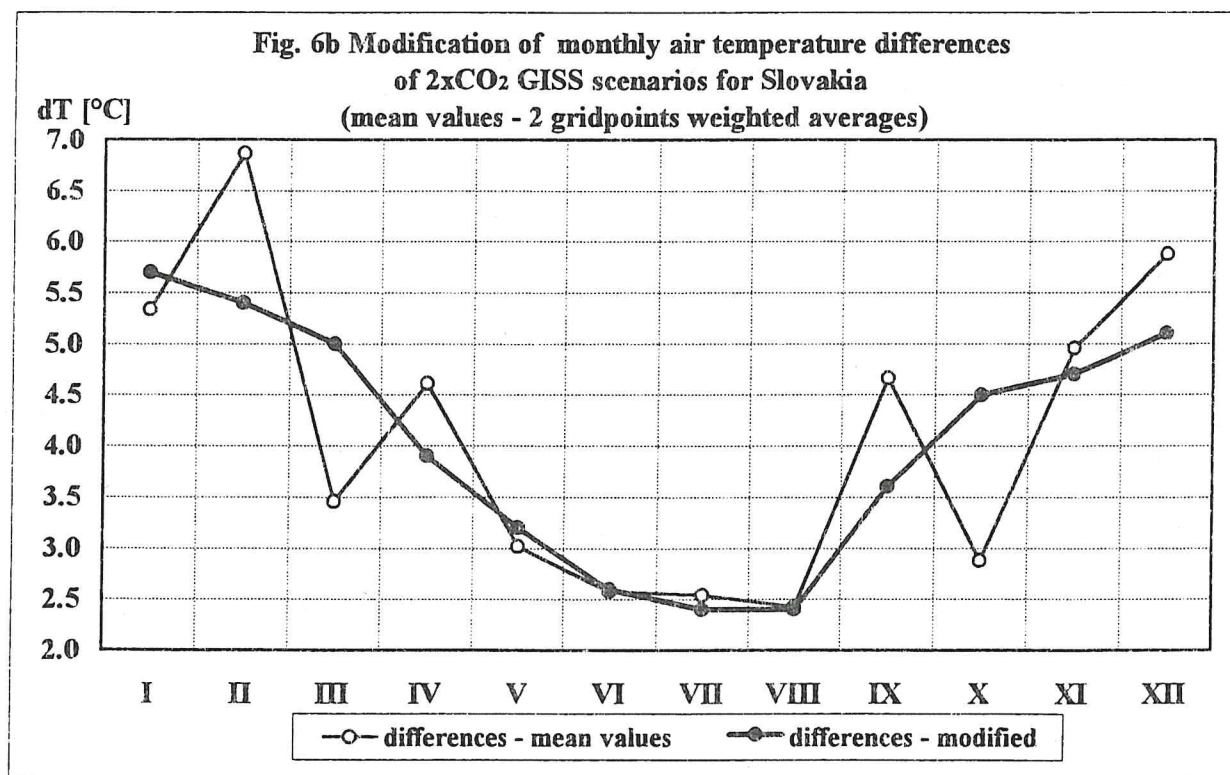
Obr. 5b Modifikované rozdiely priemerov teploty vzduchu pre GCM CCCM model ($2\times\text{CO}_2 - 1\times\text{CO}_2$) a výsledok zhladenia ročného chodu tohoto scenára



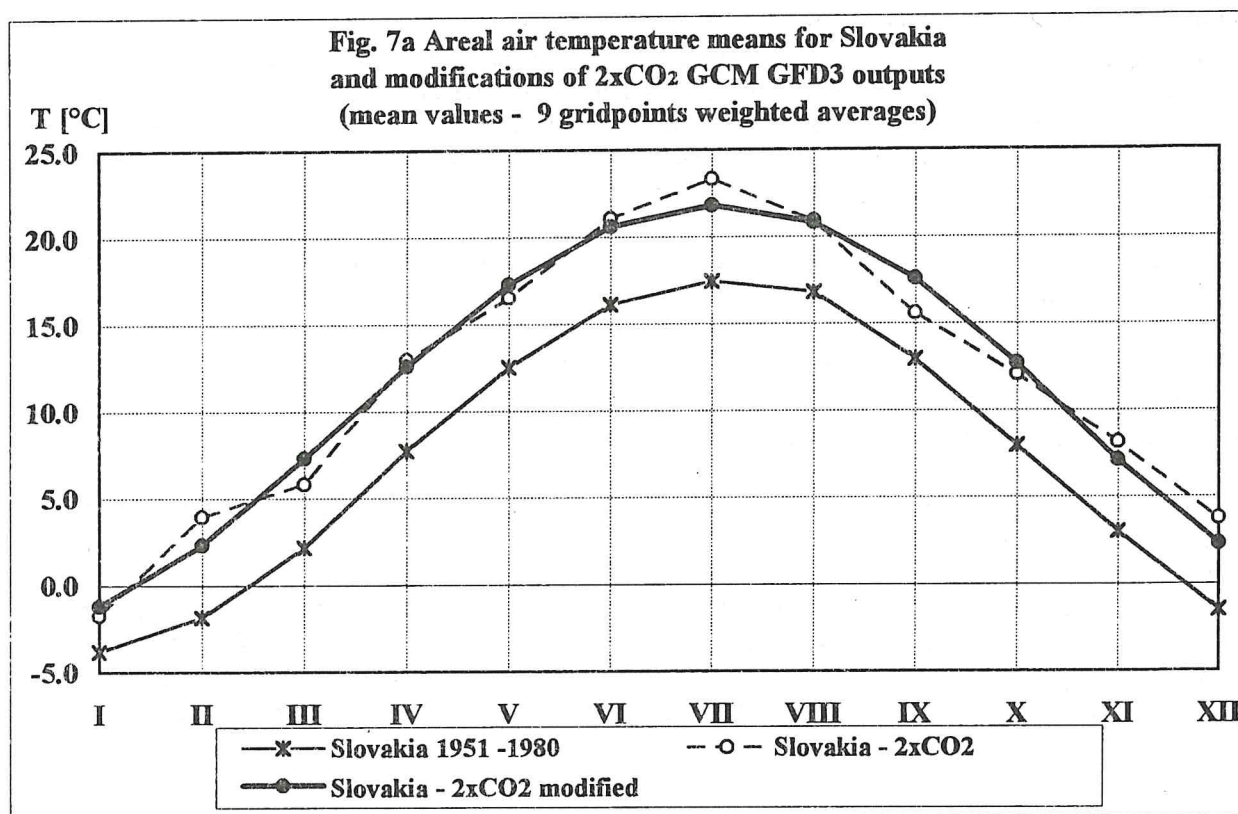
Obr. 6a Priestorové priemery teploty vzduchu na Slovensku modifikované podľa GCM GISS modelu pre stav 2xCO₂ ako vážený priemer z 2 bodov



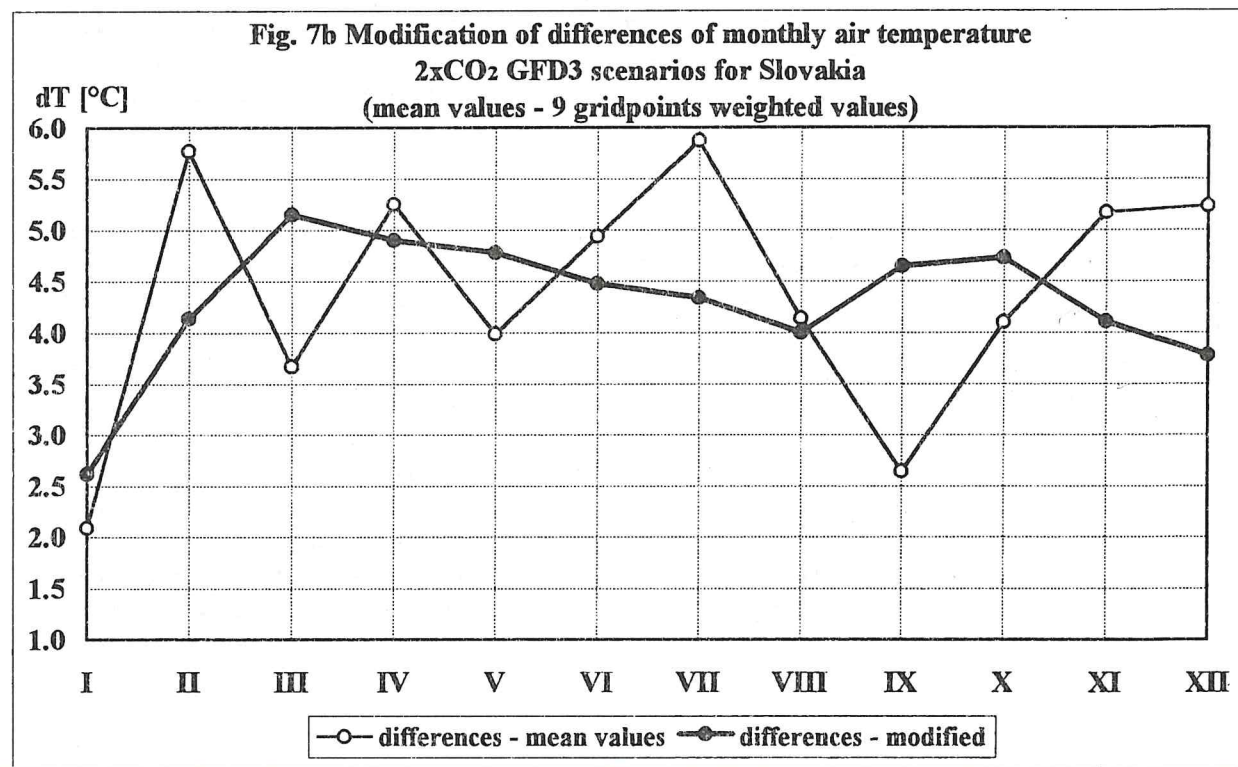
Obr. 6b Modifikované rozdiely priemerov teploty vzduchu pre GCM GISS model (2xCO₂ - 1xCO₂) a výsledok zhladenia ročného chodu tohoto scenára



Obr. 7a Priestorové priemery teploty vzduchu na Slovensku za obdobie 1951-1980 a modifikované podľa GCM GFD3 modelu pre stav $2\times\text{CO}_2$ ako vážený priemer z 9 bodov



Obr. 7b Modifikované rozdiely priemerov teploty vzduchu pre GCM GFD3 model ($2\times\text{CO}_2 - 1\times\text{CO}_2$) a výsledok zhladenia ročného chodu tohoto scenára



Model UK 89 dobre simuluje ročný chod teploty vzduchu, avšak výrazne podhodnocuje hodnoty počas celého roka. V niektorých uzlových bodoch v zimných mesiacoch rozdiel pozorovanej a simulovanej teploty dosahuje 10 °C. Pre zrážky model nevystihuje ročný chod.

Model GF01 nevystihuje ročný chod teploty vzduchu, v letnom období nadhodnocuje, v jamých a zimných mesiacoch podhodnocuje hodnoty. Model nevystihuje ani ročný chod zrážok.

Model GFD3 nevystihuje ročný chod teploty vzduchu, letné mesiace silne nadhodnocuje, výskyt maxima je posunutý na august, hodnoty v ostatných mesiacoch výrazne podhodnocuje. Model pomerne dobre simuluje ročný chod zrážok, hodnoty priemerných mesačných úhrnov zrážok (okrem júla a augusta) simuluje najlepšie zo všetkých modelov.

Na základe uvedených porovnaní sme vybrali modely, ktoré najlepšie simulujú súčasné klimatické pomery Slovenska:

- CCCM (simuluje lepšie teplotné pomery ako zrážkové)
- GISS (simuluje lepšie teplotné pomery ako zrážkové)
- GFD3 (simuluje lepšie zrážkové pomery ako teplotné)

Výstupy modelov simulujúce stav 1xCO₂ však v žiadnom prípade nemožno používať ako dlhodobé priemery pre obdobie 1951-1980.

Vzhľadom na rozlišovaciu schopnosť modelov a rozlohu Slovenska bolo potrebné riešiť optimálny výber gridových bodov - zvoliť najbližší bod alebo použiť interpolované hodnoty. Rozhodli sme sa vypočítať interpolované hodnoty, pri interpolácii sme použili vážené hodnoty z viacerých gridových bodov, pričom váha závisela od geografickej polohy (klimato-geografická príbuznosť), nadmorskej výšky a vzdialenosti gridových bodov.

Teplotné scenáre klimatickej zmeny 2xCO₂ (rozdiel simulácií 2xCO₂ a 1xCO₂) boli počítané z viacerých gridových bodov (počet sa líšil v závislosti od modelu - CCCM 6 bodov, GISS 2 body, GFD3 9 bodov). Získané hodnoty sme pripočítali k základnému teplotnému scenáru pre Slovensko. Na krivke ročného chodu novej rovnovážnej teplotnej klímy podľa modelu GISS sa vyskytujú zlomy - prudký vzostup teploty vo februári, pokles v marci (obr. 6), prudký pokles v októbri. Nová rovnovážna klíma však má predstavovať priemerný stav, v ktorom nepredpokladáme zlomové zmeny v ročnom chode. Rozhodli sme sa preto tento ročný chod zhladiť (polynómom 5 stupňa). Rozdielom zhladených hodnôt a hodnôt základného scenára sme získali nový scenár teplotných zmien modifikovaný pre Slovensko (obr. 6a,b). Rovnaký postup sme aplikovali aj pri scenároch modelov CCCM (polynóm 5 stupňa, obr. 5a,b) a GFD3 (polynóm 3 stupňa, obr. 7a,b). Hodnoty takto získaných scenárov sú v tab. 1 a 5, ako aj na obr. 14 a 15.

Scenáre zmien zrážkových úhrnov pre časový horizont stavu 2xCO₂ sme počítali tiež váženým priemerom zo 6 uzlových bodov zvlášť pre oblasť severného Slovenska (11 300 km²) a zvlášť pre ostatné Slovensko (37 736 km²). Váhy jednotlivých uzlových bodov boli z tohoto dôvodu mierne odlišné od váh použitých pri teplote vzduchu. Napriek tomu sa odchýlky výsledných scenárov zmien mesačných úhrnov zrážok (kvocienty 2xCO₂/1xCO₂) iba málo odlišujú od hodnôt v najbližších uzlových bodoch. Vzhľadom na to, že v ročnom chode dlhodobých priemerov úhrnov zrážok nemôžeme predpokladať jednoduchú krivku (bez viacerých maxim a miním), rozhodli sme sa ponechať získané výsledky kvocientov (scenárov zmeny zrážok) bez dodatočného hladenia. Podrobnejšie výsledky scenárov zrážok sú uvedené aj na obr. 11, 12, 17 a 19, ako aj v tab. 2 a 6. Na obr. 12 sme sa snažili porovnať ročný chod dlhodobých priemerov mesačných úhrnov zrážok pri stave 2xCO₂ pre jednotlivé GCMs scenáre a zvlášť pre severné a ostatné Slovensko tak, že sme od všetkých úhrnov odpočítali 1/12 príslušného ročného úhrnu pre daný scenár. Otázkou je to, či sa takýmto postupom (diferencovaný vážený prie-

Fig. 8 Annual course of monthly areal precipitation totals in all Slovakia calculated for the 1951-1980 period (Rn) and 1xCO₂ GCMs outputs (calculated as averages from GCMs gridpoints round Slovakia)

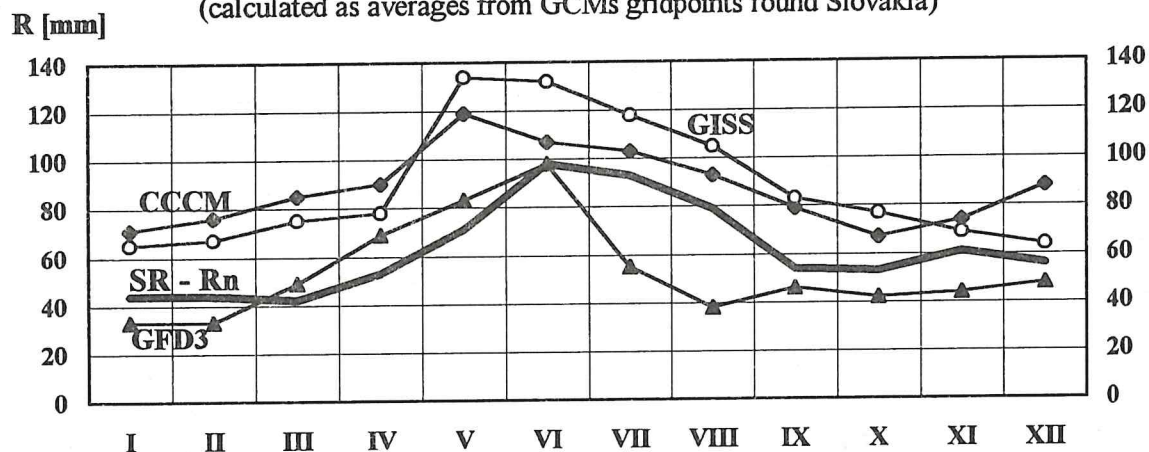


Fig. 9 Areal precipitation totals (Rn) in Slovakia, DW - double weighted averages method, IH - isohyetal method, N,S - northern and southern Slovakia

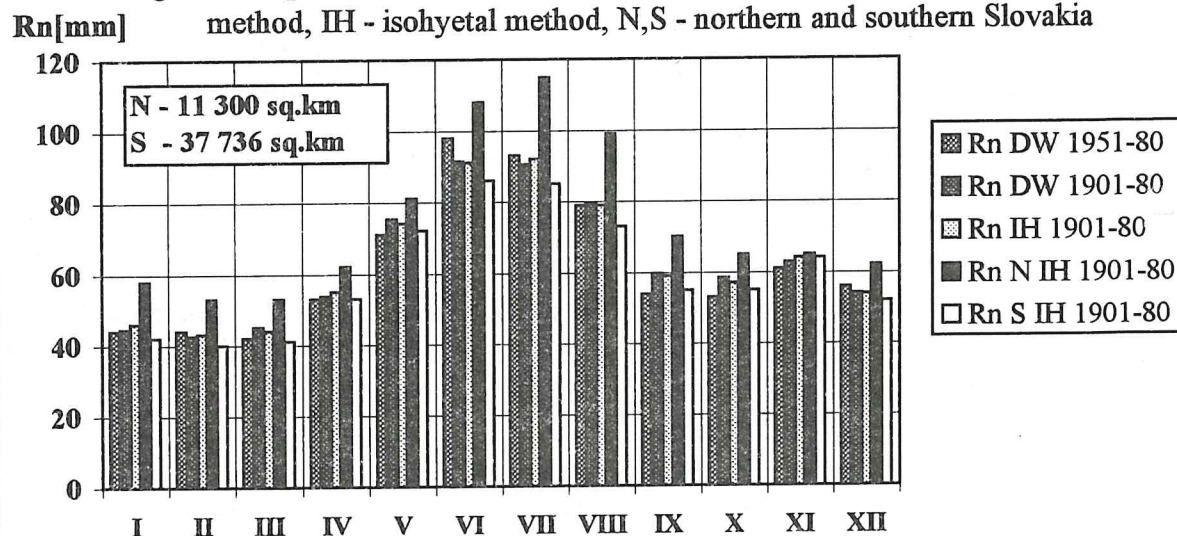
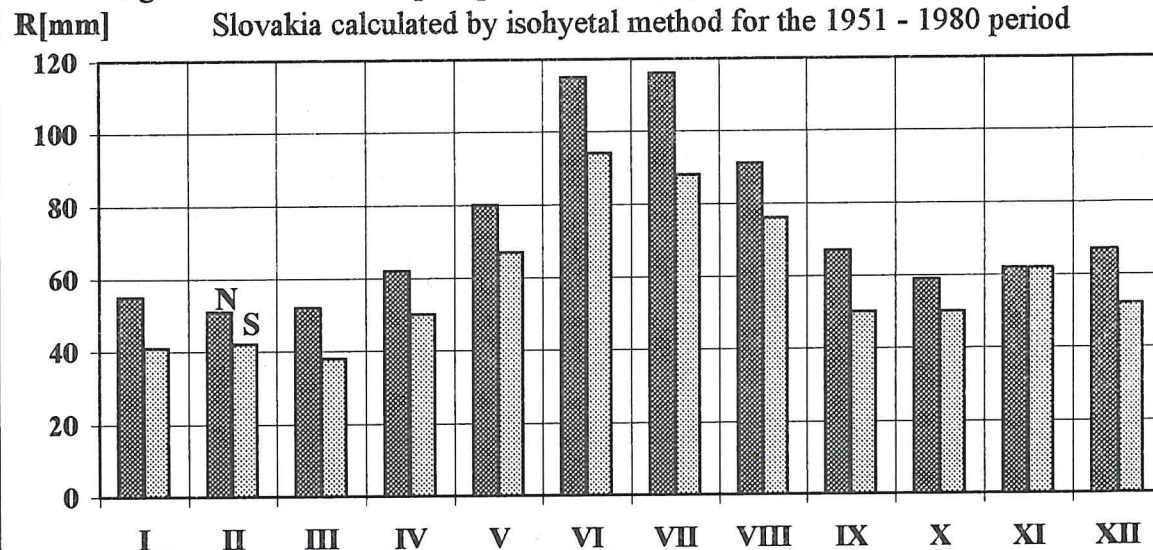
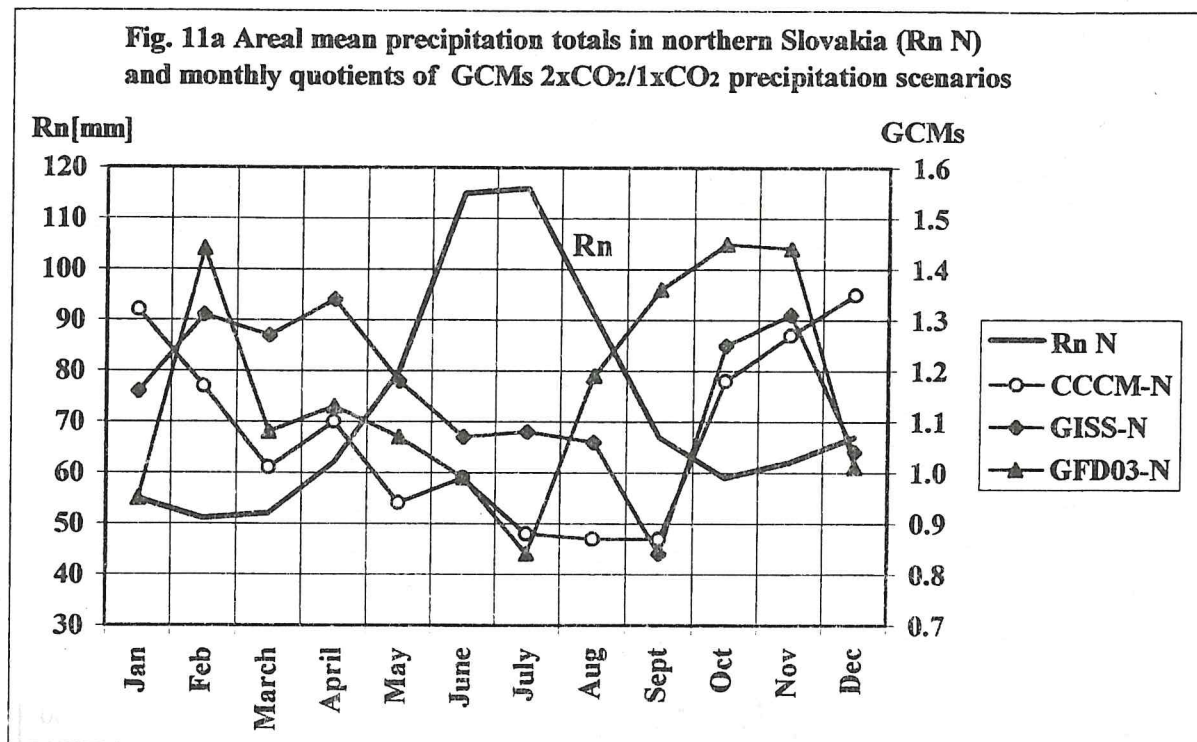


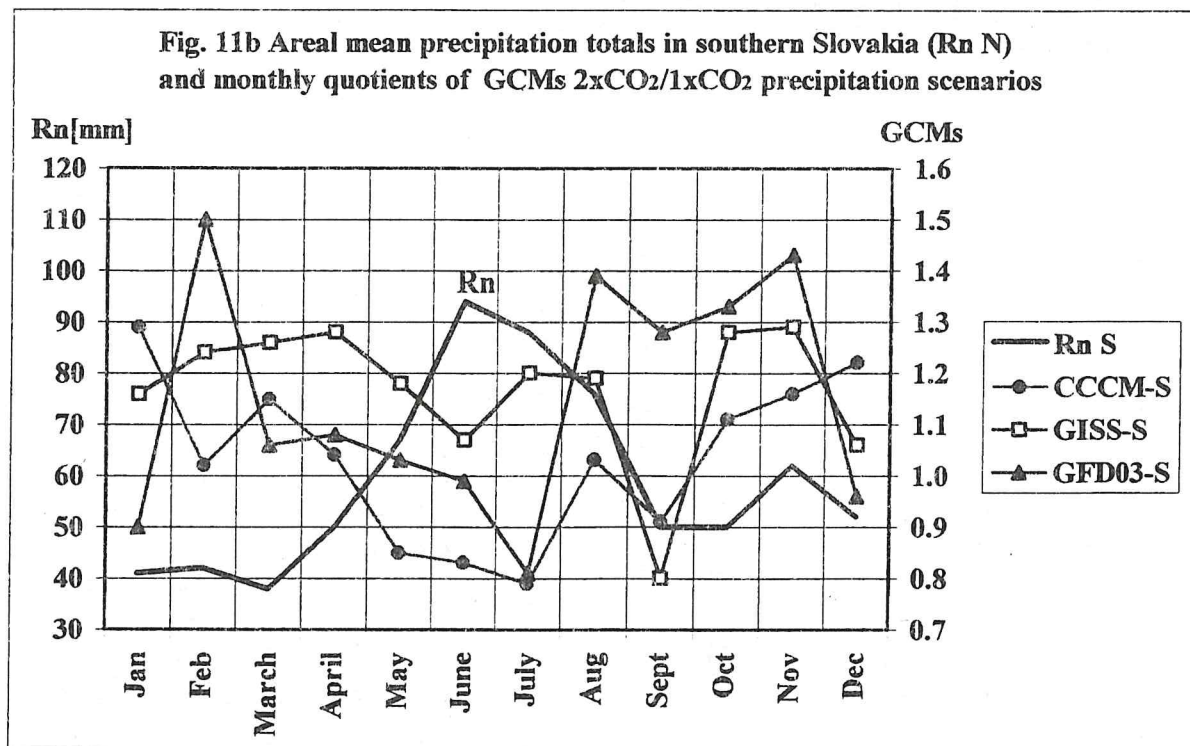
Fig. 10 Areal means of precipitation totals (R) in the northern (N) and southern (S) Slovakia calculated by isohyetal method for the 1951 - 1980 period



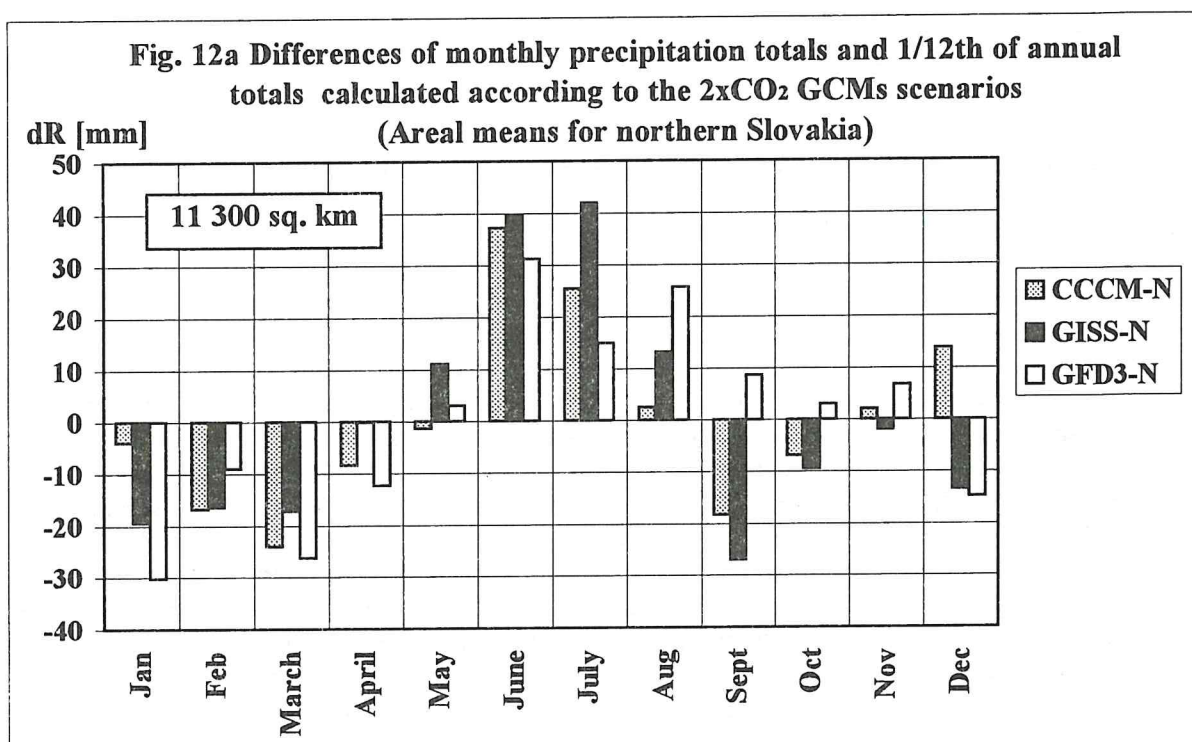
Obr. 11a Priestorové úhrny atmosférických zrážok na severnom Slovensku (Rn N) a mesačné hodnoty kvocientov zrážkových scenárov pre stav $2xCO_2$ oproti stavu $1xCO_2$ podľa vybraných GCMs modelov (Rn N sú vypočítané z obdobia 1951-80 izohyetovou metódou z územia 11 300 km²)



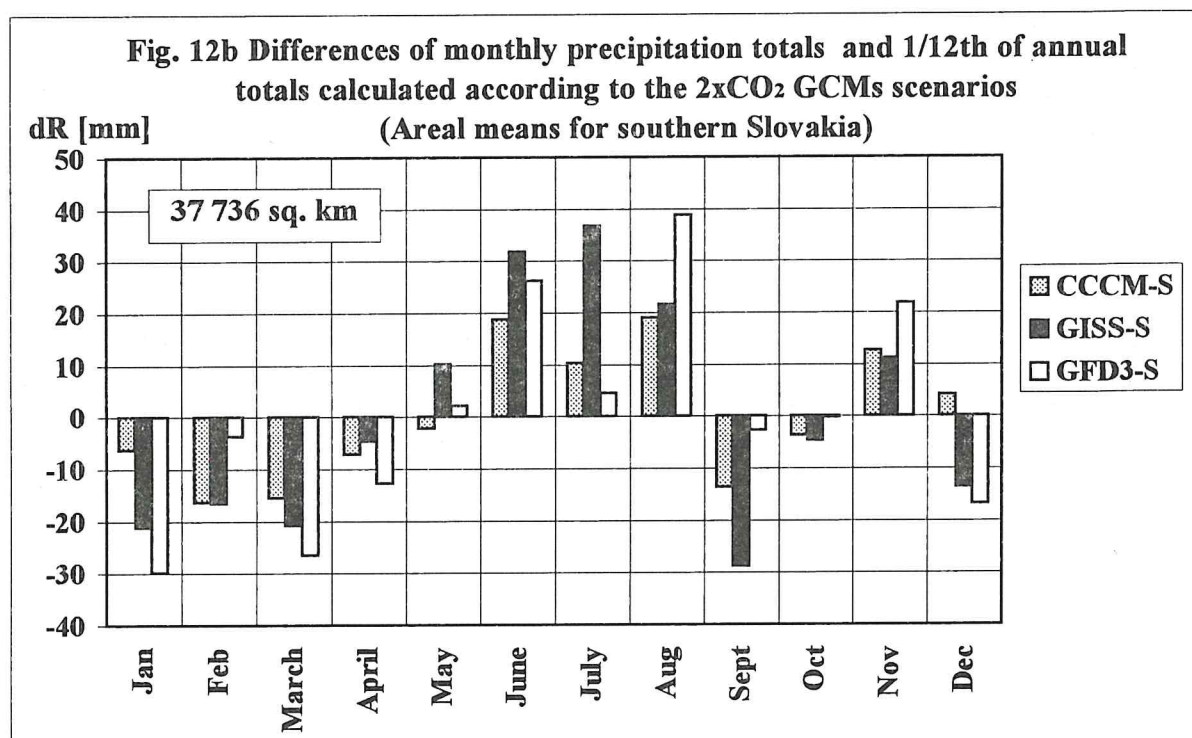
Obr. 11b Priestorové úhrny atmosférických zrážok na južnom Slovensku (Rn S) a mesačné hodnoty kvocientov zrážkových scenárov pre stav $2xCO_2$ oproti stavu $1xCO_2$ podľa vybraných GCMs modelov (Rn S sú vypočítané z obdobia 1951-80 izohyetovou metódou z územia 37 736 km²)



Obr. 12a Rozdiely medzi mesačnými úhmami zrážok vypočítanými podľa GCMs scénárov pre stav 2xCO₂ a 1/12 ročného úhmu pre 2xCO₂ daného scénára. Územný priemer pre sever SR



Obr. 12b Rozdiely medzi mesačnými úhmami zrážok vypočítanými podľa GCMs scénárov pre stav 2xCO₂ a 1/12 ročného úhmu pre 2xCO₂ daného scénára. Územný priemer pre juh SR



mer a hľadanie ročného chodu) nenarušila vnútorná konzistentnosť GCMs výstupov. Podľa nášho názoru však nedošlo k zásadnej zmene ani ročného chodu ani priemerov teploty vzduchu a úhmov zrážok v jednotlivých ročných obdobiach. Použitie váženého priemeru a hľadania krivky ročného chodu teploty vzduchu iba priblížilo výsledný stav dlhodobých priemerov týchto prvkov reálne očakávaným predpokladom založeným na dlhodobých pozorovaniach.

2.2 Kombinované (GCMs - analógové) regionálne scenáre klimatickej zmeny

Zmena priemernej ročnej teploty vzduchu

Za najpravdepodobnejší scenár zmeny priemernej teploty vzduchu v období okolo roku 2025 sa v prvých štúdiách o možných dôsledkoch zmeny klímy považoval v rámci NKP ČSFR rast ročných priemerov teploty vzduchu asi o 1,5 °C (o 1 až 2 °C) oproti priemerom z obdobia 1951-1980 [1,3,4]. Bolo to v zhode s globálnymi scenármi ("Business as-Usual"), ktoré boli založené na výstupoch modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs - General Circulation Models) prezentovanými na WCC II (II. svetovej klimatickej konferencii) v Ženeve v roku 1990 [1]. Od roku 1990 uviedol Medzivládny panel pre klimatické zmeny (IPCC) niekoľko scenárov zohľadňujúcich rôzne scenáre emisie skleníkových plynov do atmosféry a s tým súvisiaci vývoj koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére. Niektoré zo scenárov berú ohľad aj na zmeny koncentrácie aerosólov v atmosfére a najnovšie pokusy už spájajú modely všeobecnej cirkulácie atmosféry spolu s modelom všeobecnej cirkulácie svetového oceánu [2]. Podľa odporúčania Riadiaceho centra U.S. Country Studies (CSMC) sa za najpravdepodobnejší časový horizont zdvojnásobenia koncentrácie CO₂ má považovať obdobie okolo roku 2075 a tiež sa odporúča považovať pre stav 2xCO₂ za najpravdepodobnejší globálny rast teploty vzduchu +2,5 °C oproti priemeru z obdobia 1951-1980 [12]. Vzhľadom na to, že sa Slovensko nachádza v stredných zemepisných šírkach a v priemerných podmienkach vplyvu oceánu a kontinentu, je možné tento scenár rastu ročných priemerov teploty vzduchu považovať za pravdepodobný aj na našom území. Regionálna interpretácia GCMs scenárov však dáva pre Slovensko scenáre zvýšenia ročných priemerov teploty vzduchu o 3,4 až 4,3 °C (kapitola 2.1), čo je podstatne viac ako globálny priemer. Podľa odporúčania CSMC je potrebné používať v impaktných štúdiách alternatívne scenáre zmeny všetkých klimatických prvkov, najlepšie tzv. horný a dolný odhad [12], preto sme aj pri scenári oteplenia o +2,5 °C použili interval 1 °C.

- Kvôli kontinuite s predchádzajúcimi impaktnými štúdiami používajúcimi scenáre NKP ČSFR z roku 1991 (dT1 = 1 °C a dT2 = 2 °C v roku 2025) sme urobili lineárnu extrapoláciu týchto scenárov do roku 2075 s nulovou odchýlkou dT1 a dT2 v roku 1980 (obr. 14). Pre rok 2075 má priemerné ročné oteplenie rozpätie +2,1 až +4,2 °C
- Podľa IPCC môžu síce dosiahnuť rôzne globálne scenáre rastu ročnej priemernej teploty vzduchu od 1,5 do 5,0 °C pri stave 2xCO₂, to je však príliš veľký interval vzhľadom na potrebu výpočtu scenárov iných klimatických prvkov. Preto odporúčame použiť pre Slovensko ako jeden z možných scenárov rast ročných priemerov teploty vzduchu o 2 až 3 °C (hranice boli určené podľa rozptylu vybraných GCMs, pričom stredom tohoto intervalu je najpravdepodobnejšie globálne oteplenie o +2,5 °C). Lineárna časová aproximácia tohoto scenára je na obr. 14
- Hlavnými scenármi rastu ročných priemerov teploty vzduchu pre Slovensko sú hodnoty vyplývajúce z regionálnej interpretácie GCMs, čo je interval 3,4 až 4,3 °C pre stav 2xCO₂. Lineárna časová aproximácia tohoto scenára je na obr. 14.

Figure 13a. Mean deviation of air temperature means in relatively warm periods (41 years - dT_1) and in last warm period (1988-1994 - dT_2) from 1901-1980 mean

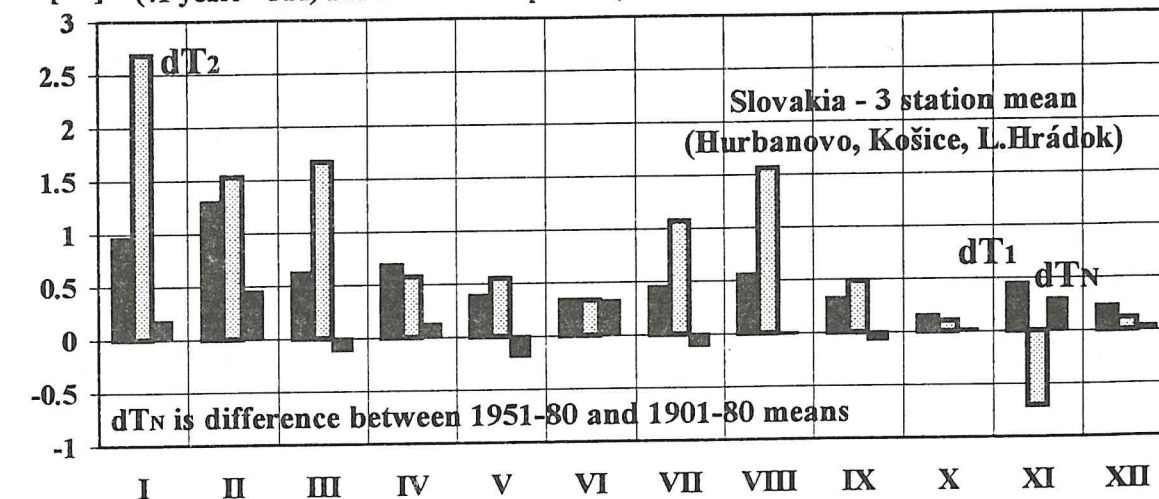


Figure 13b. Deviations dT of mean air temperature in warm periods (41 years) from 1951-1980 average in Slovakia (means - 1, moving averages - 2)

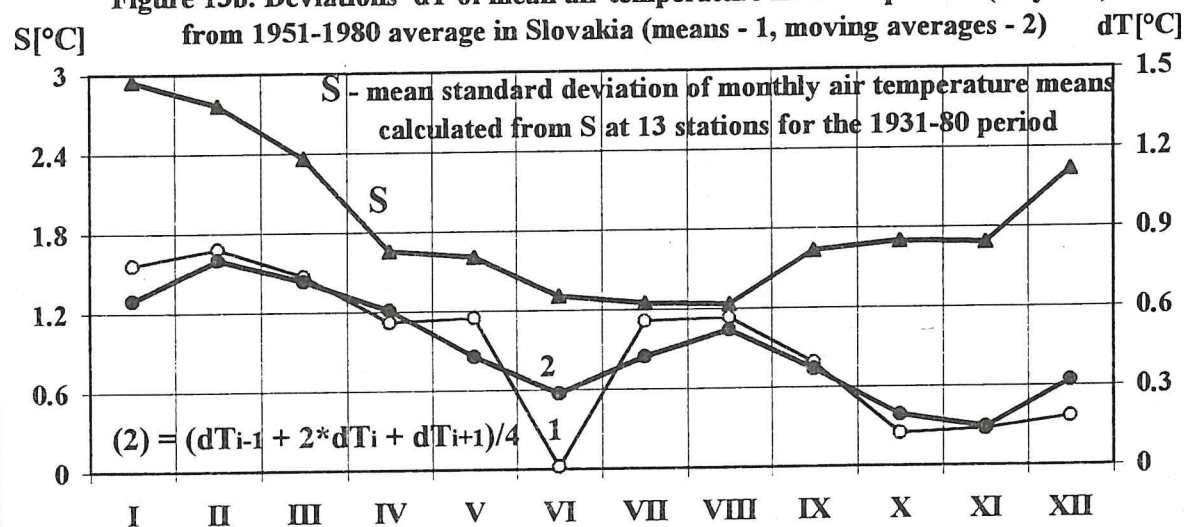


Figure 13c. Deviations dT of monthly air temperature scenarios for 2075 time frame in Slovakia from 1951-1980 means

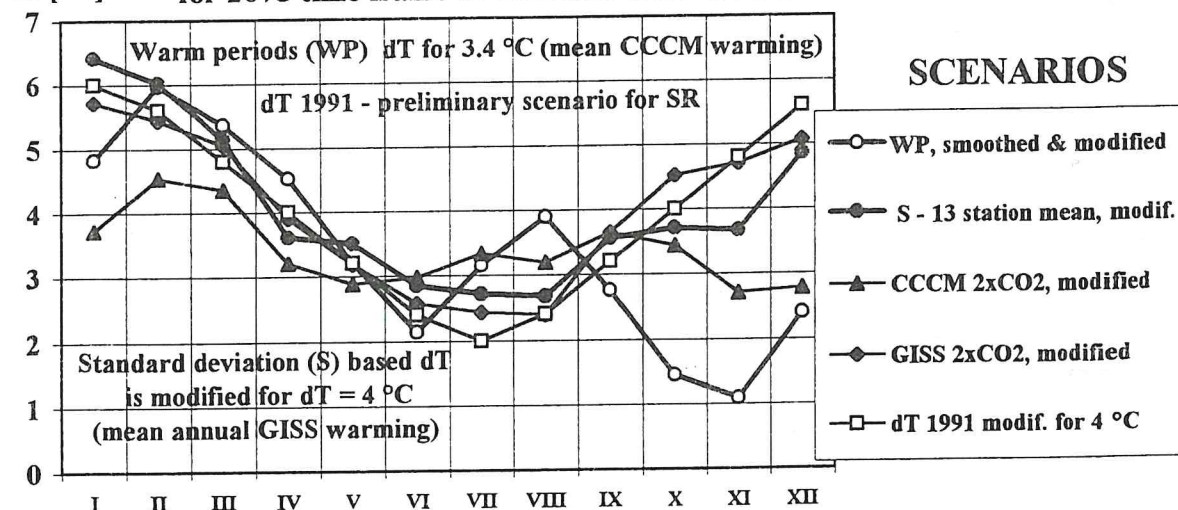


Fig. 14a Modified GCMs scenarios of mean annual air temperature change dT in Slovakia

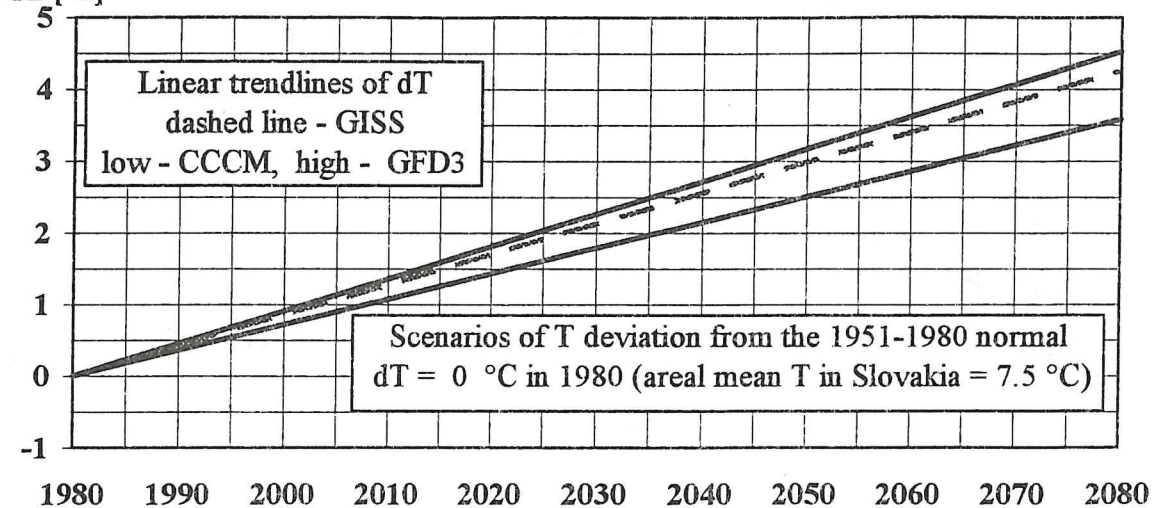


Fig. 14b Modified scenarios of mean annual air temperature change dT in Slovakia

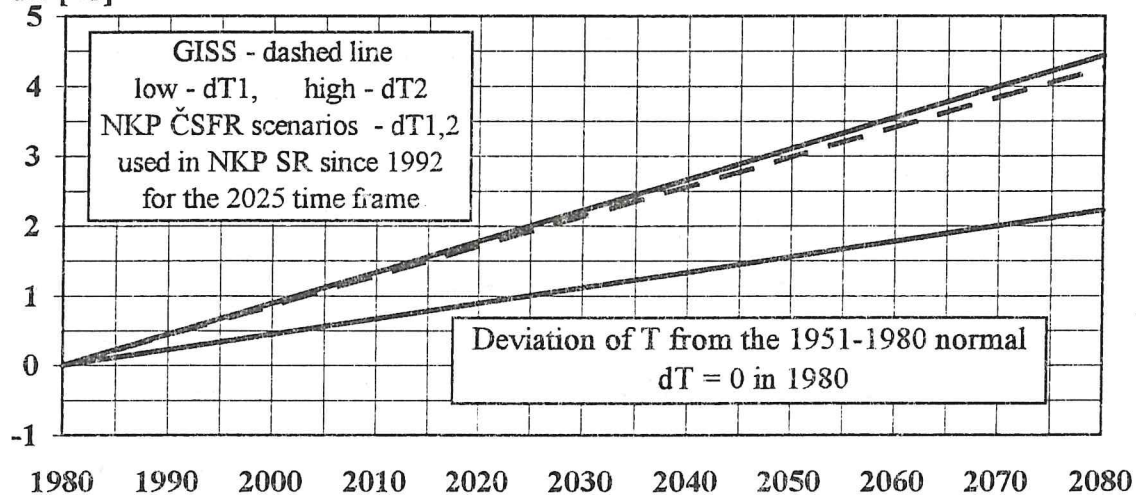


Fig. 14c Modified scenarios of mean annual air temperature change dT in Slovakia

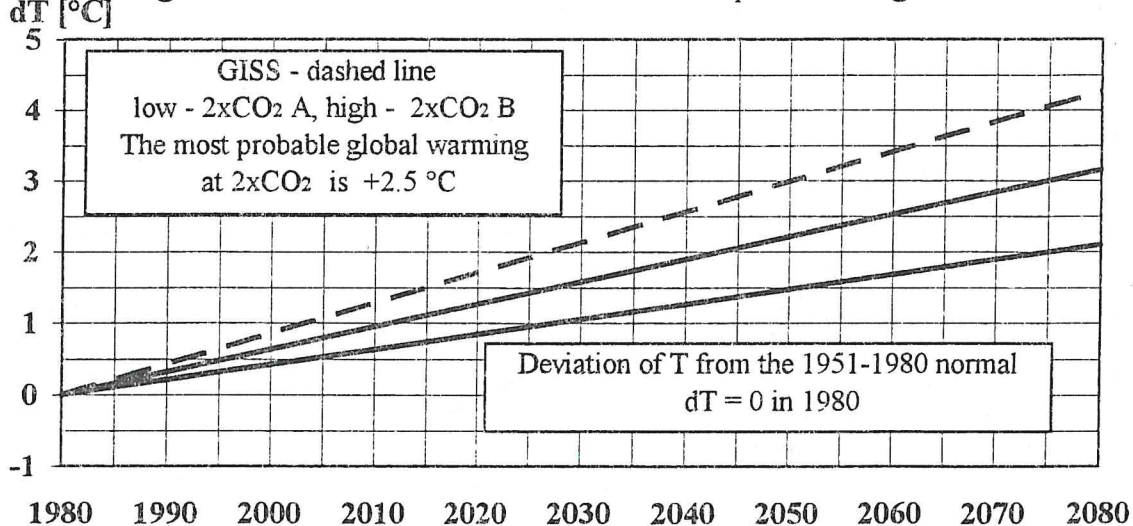


Fig. 15a Air temperature (T) change scenarios for Slovakia
(dT is deviation of mean T from the 1951-1980 normal)

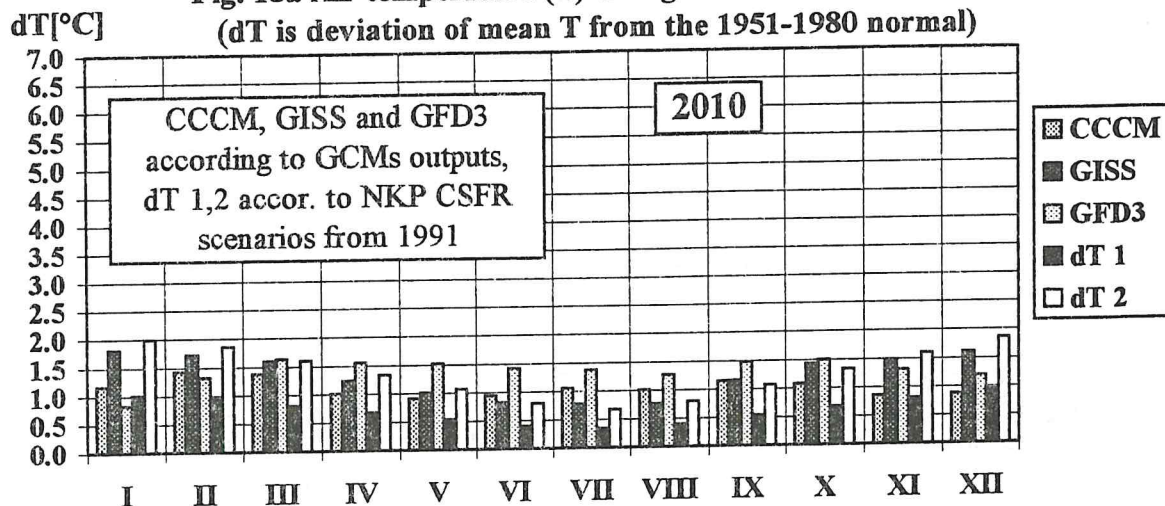


Fig. 15b Air temperature (T) change scenarios for Slovakia
(dT is deviation of mean T from the 1951-1980 normal)

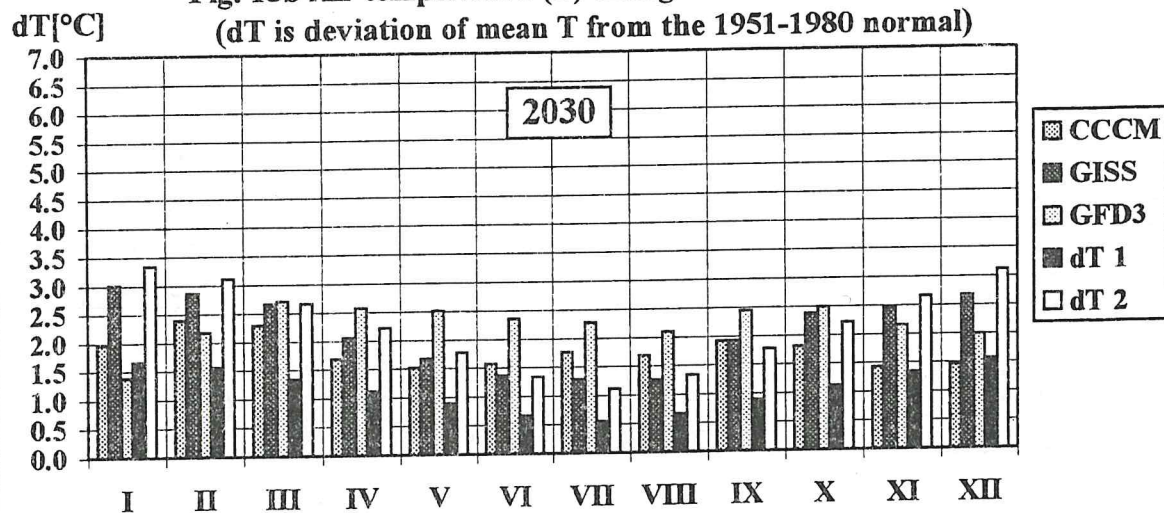


Fig. 15c Air temperature (T) change scenarios for Slovakia
(dT is deviation of mean T from the 1951-1980 normal)

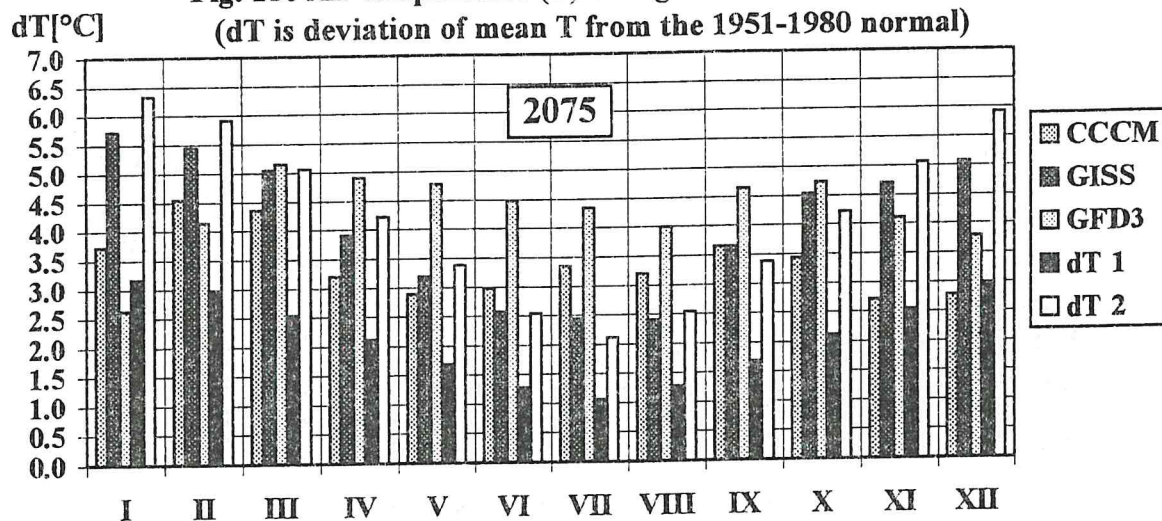


Fig. 15d Air temperature (T) change scenarios for Slovakia
(dT is deviation of mean T from the 1951-1980 normal)

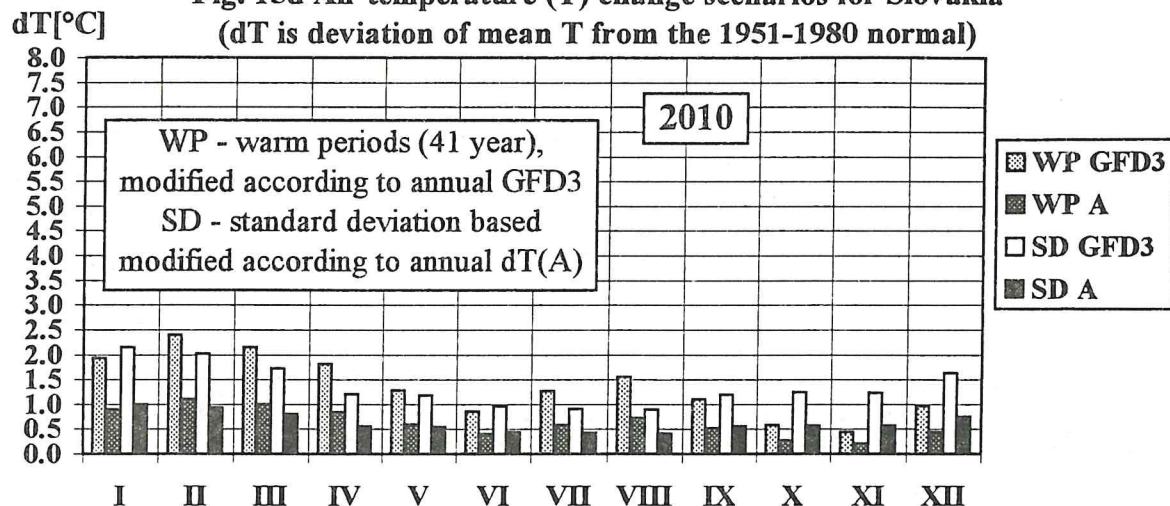


Fig. 15e Air temperature (T) change scenarios for Slovakia
(dT is deviation of mean T from the 1951-1980 normal)

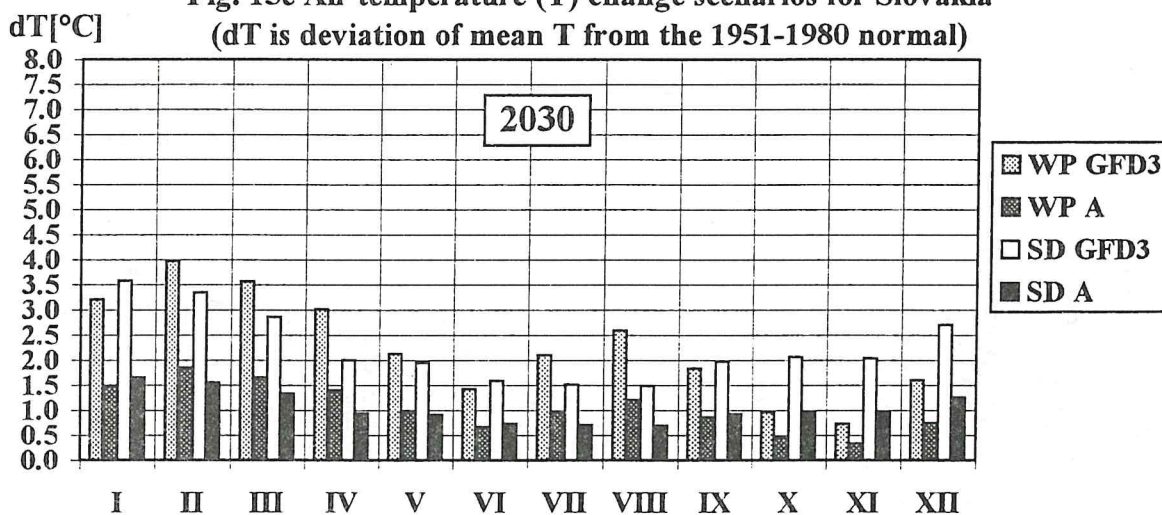
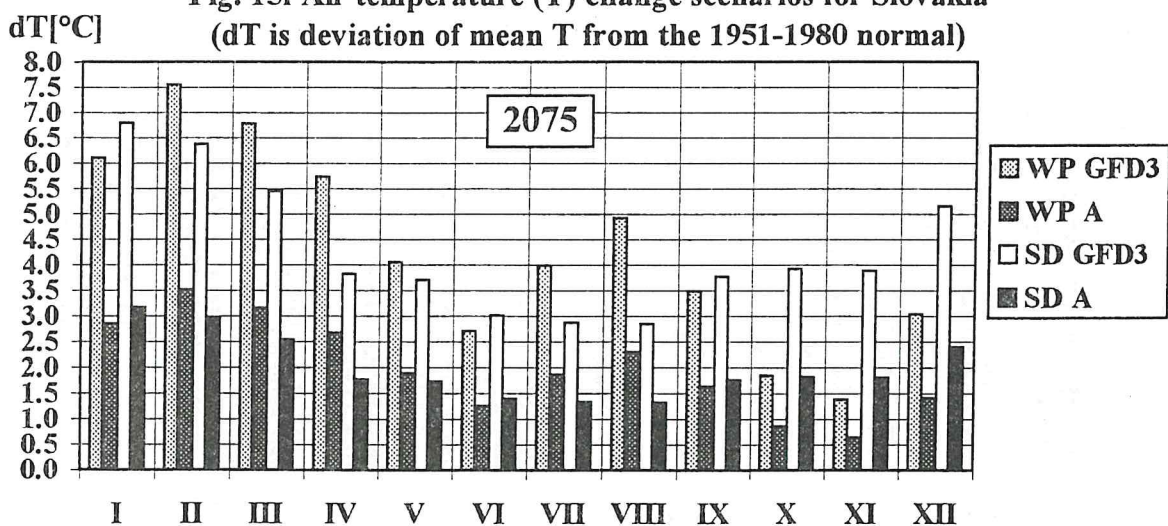


Fig. 15f Air temperature (T) change scenarios for Slovakia
(dT is deviation of mean T from the 1951-1980 normal)



Pre uvedené príčiny navrhujeme používať intervaly okolo všetkých troch (za určitých okolností) pravdepodobných scenárov rastu ročných priemerov teploty vzduchu, teda o 3,4 až 4,3 °C (CCCM a GFD3), o 2 až 3 °C (globálny priemer GCMs) a o 2,1 až 4,2 °C (extrapolované NKP ČSFR scenáre dT1 a dT2) pri stave 2xCO₂. Takýto rozsah scenárov priemernej ročnej teploty vzduchu považujeme za postačujúci na všetky aplikácie, príliš široký interval rastu ročných priemerov teploty vzduchu znamená v konečnom dôsledku nepoužiteľne veľký rozsah scenárov iných klimatických prvkov, čo značne zneisťuje všetky výsledky impaktných štúdií.

K predpokladaným zmenám teploty vzduchu v súvislosti s očakávaným rastom skleníkového efektu atmosféry je potrebné dodať podľa [12] najmä nasledujúce fakty:

- Je nepochybné, že rast skleníkového efektu atmosféry bude znamenať rast globálneho priemeru teploty prizemnej vrstvy atmosféry v rozsahu okolo 2,5 °C pri stave 2xCO₂
- Doteraz je však veľa neurčitostí okolo regionálneho rozloženia týchto zmien
- Nie je známe, aký časový priebeh budú mať tieto zmeny (lineárny alebo nelineárny)
- Oveľa viac neurčitostí je okolo súvisiacich zmien premenlivosti teplotných charakteristík.

Scenáre ročného chodu zmien priemerov teploty vzduchu

Optimálnym riešením by bolo prevzatie ročného chodu scenárov z regionálnej modifikácie výstupov z GCMs pre naše územie (tab. 1). Ako sme však uviedli v predchádzajúcom texte, napriek obrovskému pokroku v modelovaní klimatického systému pri rastúcom skleníkovom efekte atmosféry pomocou modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry, je ešte stále veľa neurčitostí. Nasvedčuje tomu aj porovnanie scenárov za stavu 1xCO₂ a súčasných dlhodobých priemerov teploty vzduchu na Slovensku (obr. 4). Preto sme sa v súlade s odporúčaním CSMC [12] rozhodli použiť, popri ročnom chode vyplývajúcom z GCMs, aj ročný chod zmien T založený na historických analógoch, teda na analýze relatívne teplých období v minulosti a na základe ročného chodu smerodajnej odchýlky mesačných priemerov T na Slovensku. Za relatívne teplé sme považovali v zhode s [4,5] také aspoň 5-ročné obdobia podľa dlhodobého radu z Hurbanova, ktoré mali v každom roku rovnaký alebo vyšší priemer T, ako je dlhodobý priemer z obdobia 1901-1980 a nevyskytovali sa viac ako 2-mesačné studené periódy (s mesačnými priemermi T pod dolným kvartilom). V období 1871 - 1994 sme vybrali 5 takýchto periód v celkovom trvaní 41 rokov (1934-39, 1943-53, 1957-61, 1966-77, 1988-94). Pre rovnaké periódy sme urobili klimatickú analýzu aj na staniciach Košice a Liptovský Hrádok a priemery týchto odchýlok sme zobrali za základ na výpočet ročného chodu jedného zo scenárov zmien T a mesačných úhrnov zrážok (obr. 15 a 19 a tab. 5 a 6). Ročný chod smerodajnej odchýlky (σ) mesačných priemerov T sme vypočítali ako priemer z údajov 13 reprezentatívnych staníc (s priemernou nadmorskou výškou 452 m, ktorá je blízka celoslovenskému priemeru (asi 445 m)) na Slovensku za obdobie 1931-1980. Podľa toho má v januári rovnakú pravdepodobnosť oteplenie o 3 °C ako v auguste o 1,2 °C (obr. 13). Predpokladáme pritom, že v súlade s takto definovanými analógmi sa bude klíma aj v budúcnosti "správať" podobne ako počas relatívne teplých období, resp. relatívne teplých mesiacov v minulosti (pravdepodobne to bude približne platiť aspoň v najbližších desaťročiach). Je zrejmé, že to nemusí úplne platiť vtedy, ak dôjde k zásadnej prestavbe atmosférickej cirkulácie v budúcnosti. Takto definované kombinované scenáre sú však prijateľné ako doplnkové scenáre k scenárom založeným výlučne na výstupoch z GCMs. Na obr. 13 a 15 a v tab. 4 je séria scenárov ročného chodu zmien T pre všetky alternatívy rastu ročných priemerov T. Je pozoruhodné, že scenáre GISS, dT2 (scenár NKP ČSFR z roku 1991) a scenár založený na σ sú veľmi blízke počas celého roka. Scenár založený

Figure 16a. Long term means of monthly precipitation totals (Rn1) in N-SR and S-SR and deviations (dRn) of Rn2 (for the 1951-1980 period) from Rn1 (9 station mean in S-SR, 6 station mean in N-SR)

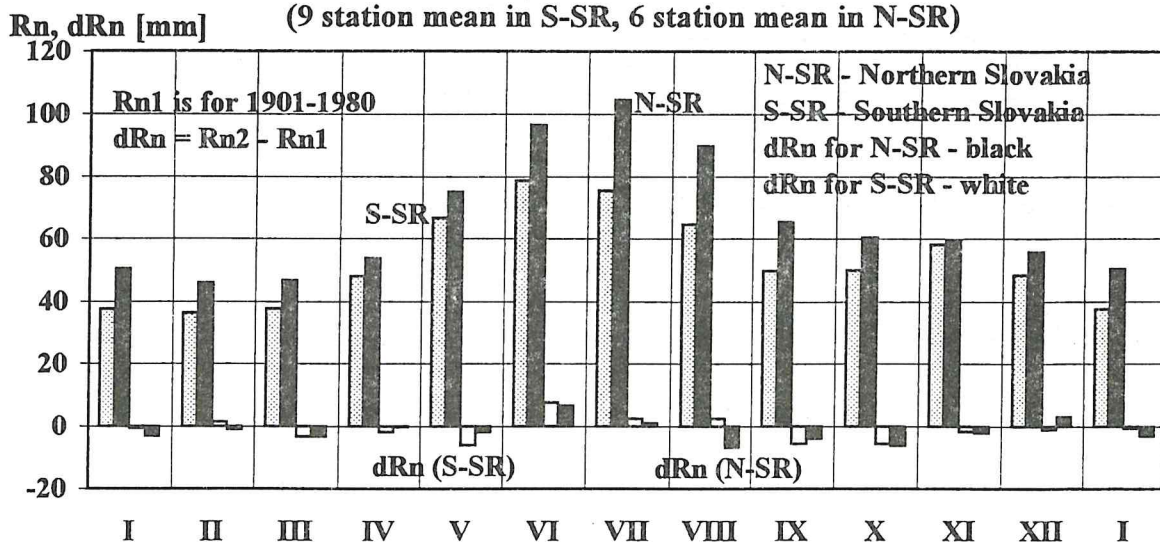


Figure 16b. Deviations (dR) of monthly precipitation totals from 1901-1980 means in the southern (S-SR) and northern (N-SR) Slovakia in warm periods (41 years)

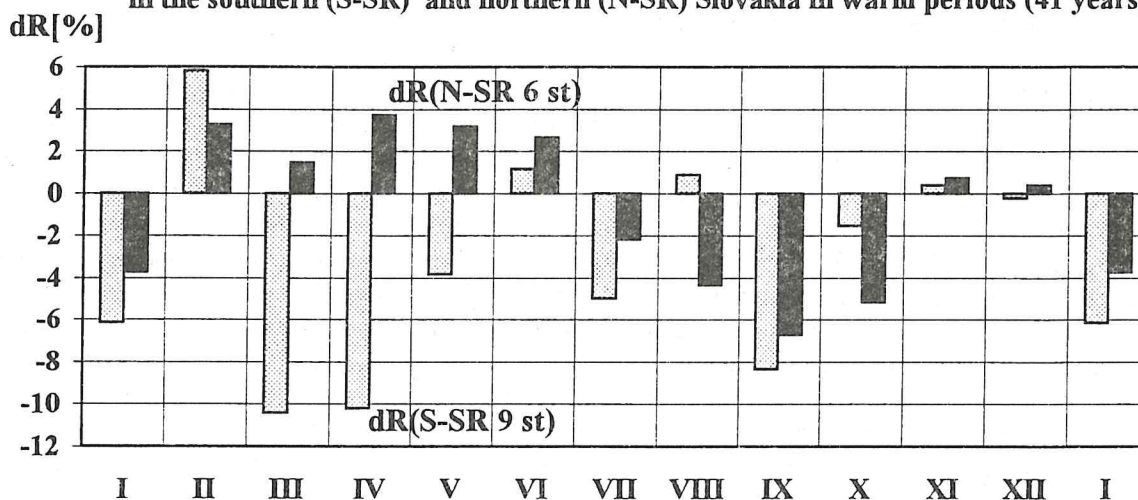


Table 16c. Scenarios of monthly precipitation totals change (dR) in percentage for mean annual increase of air temperature by 1 °C. Annual course of dR is based on warm periods (WP) and correlation/standard dev. analysis (SD)

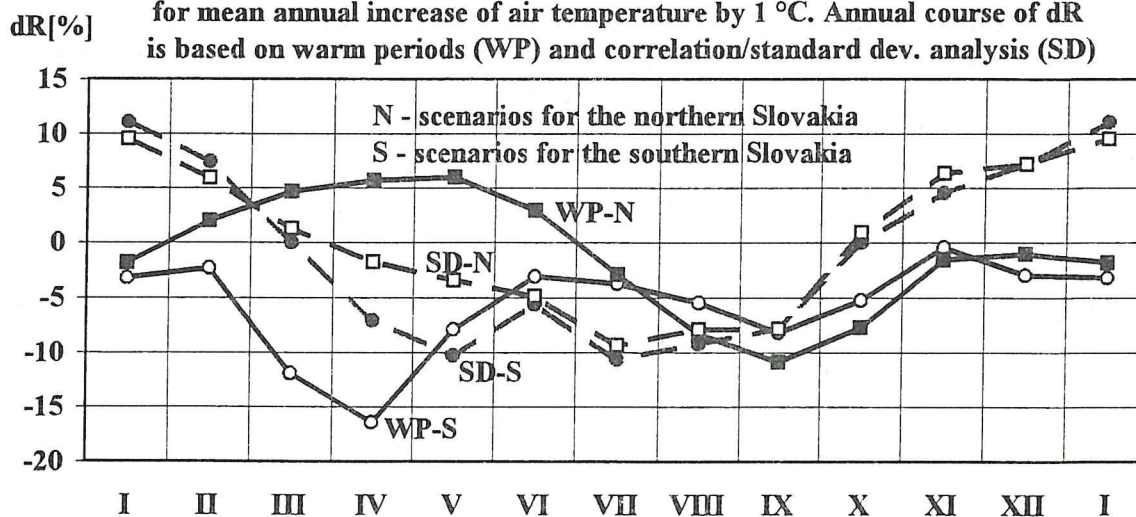


Fig. 17a Scenarios of annual precipitation totals deviation in Slovakia in %

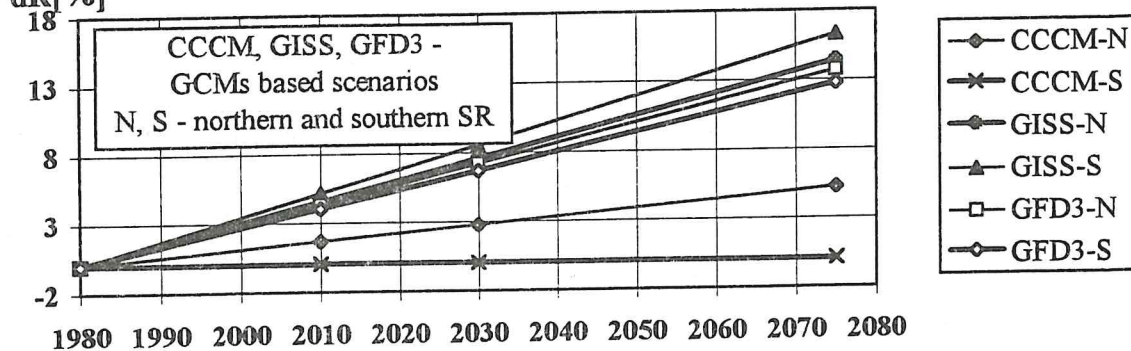


Fig. 17b Scenarios of annual precipitation totals deviation in Slovakia in %

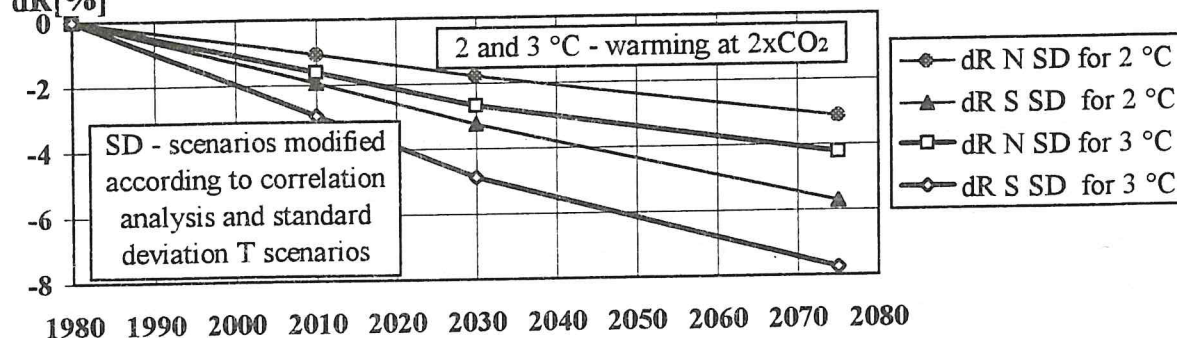


Fig. 17c Scenarios of annual precipitation totals deviation in Slovakia in %

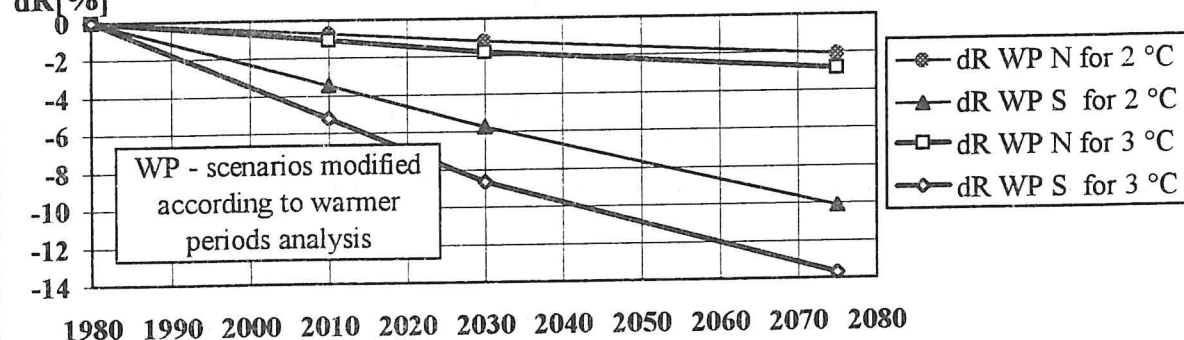


Fig. 17d Scenarios of annual precipitation totals deviation in Slovakia in %

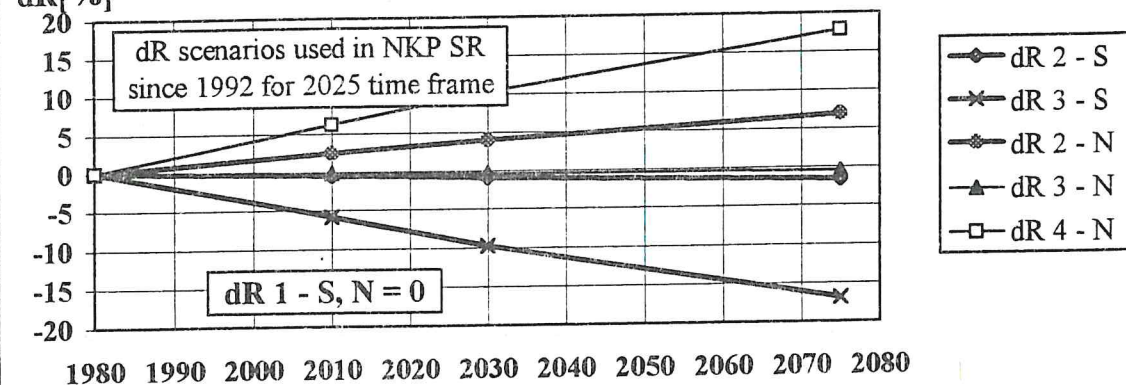


Fig. 17e Scenarios of annual precipitation totals deviation in Slovakia in %

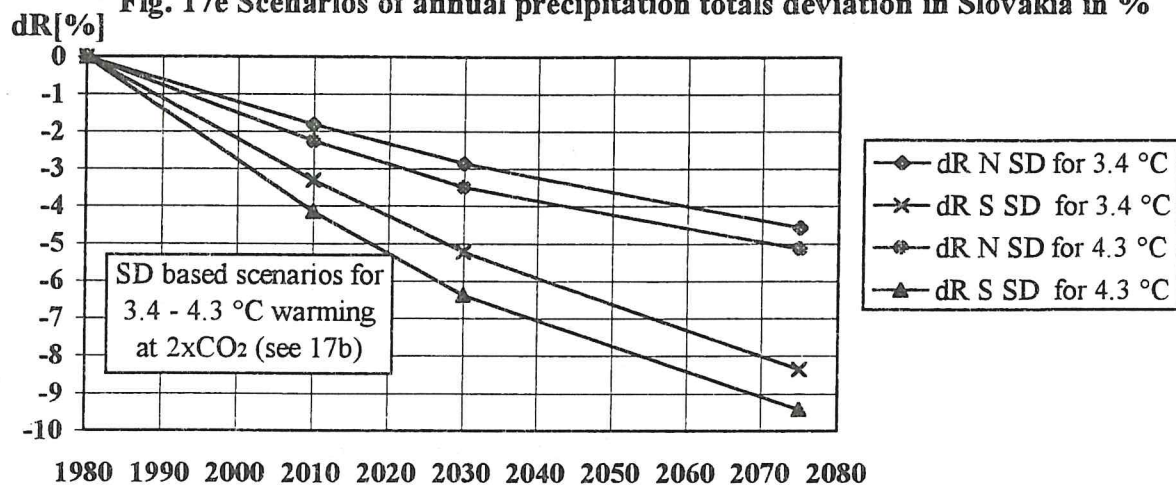


Fig. 17f Scenarios of annual precipitation totals deviation in Slovakia in %

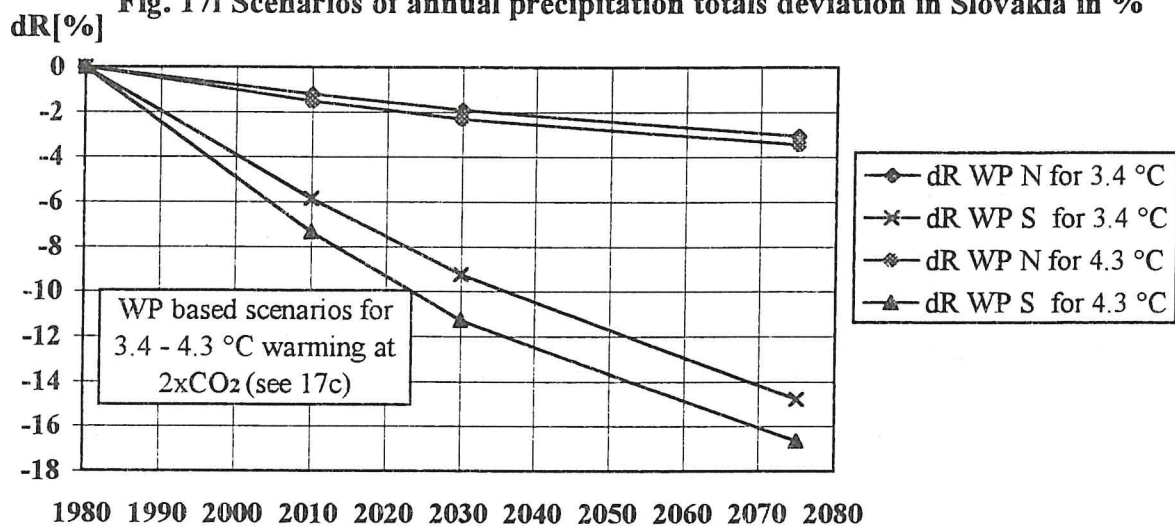


Fig 18 Conversion nomogram for nonlinear annual precipitation scenarios

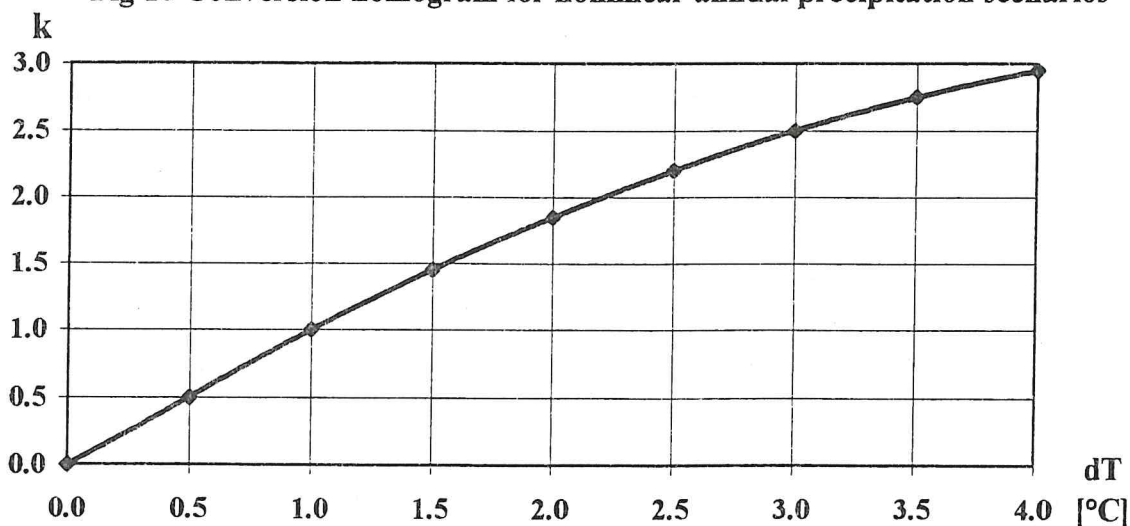


Fig. 19a Scenarios of GCMs based precipitation totals deviation in %

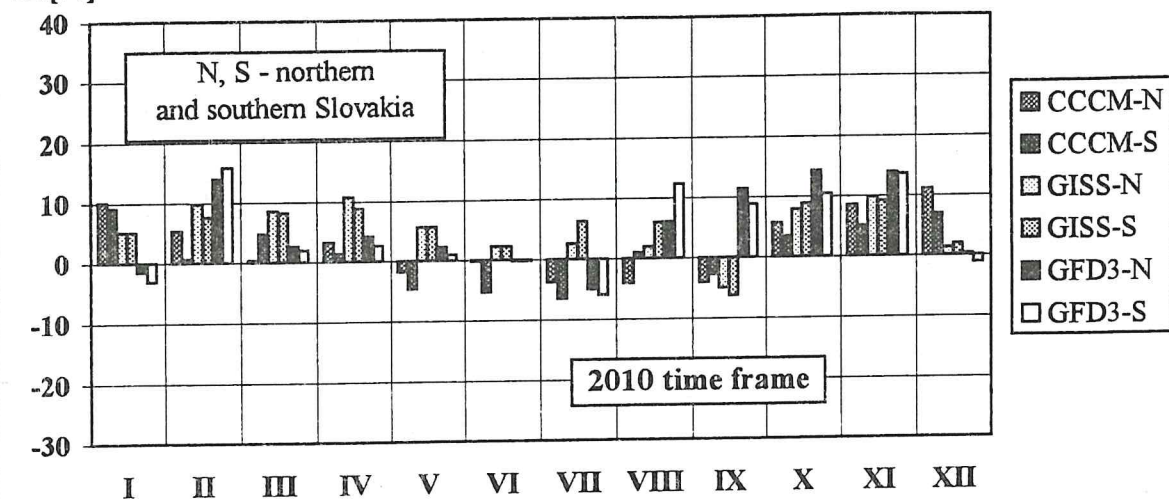


Fig. 19b Scenarios of GCMs based precipitation totals deviation in %

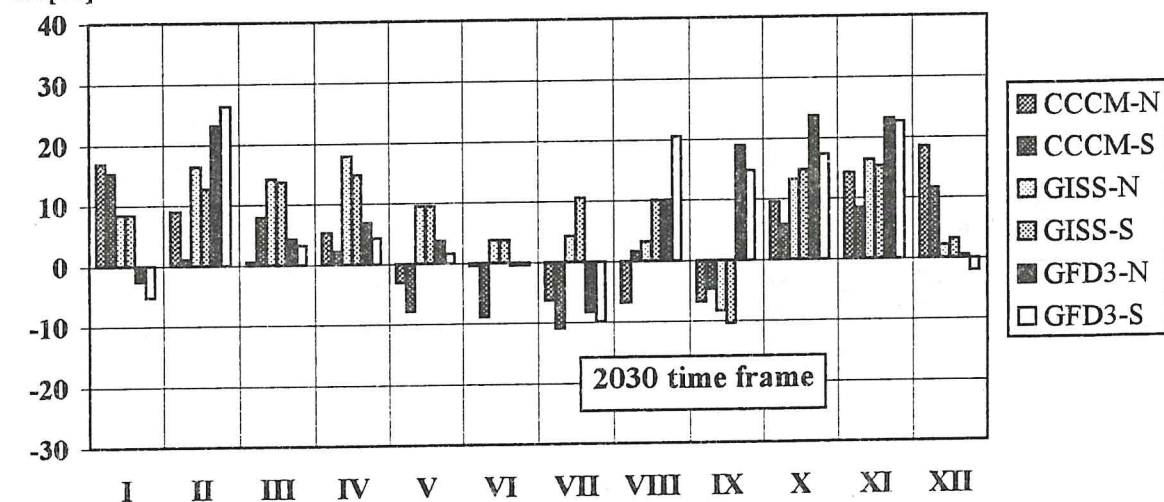
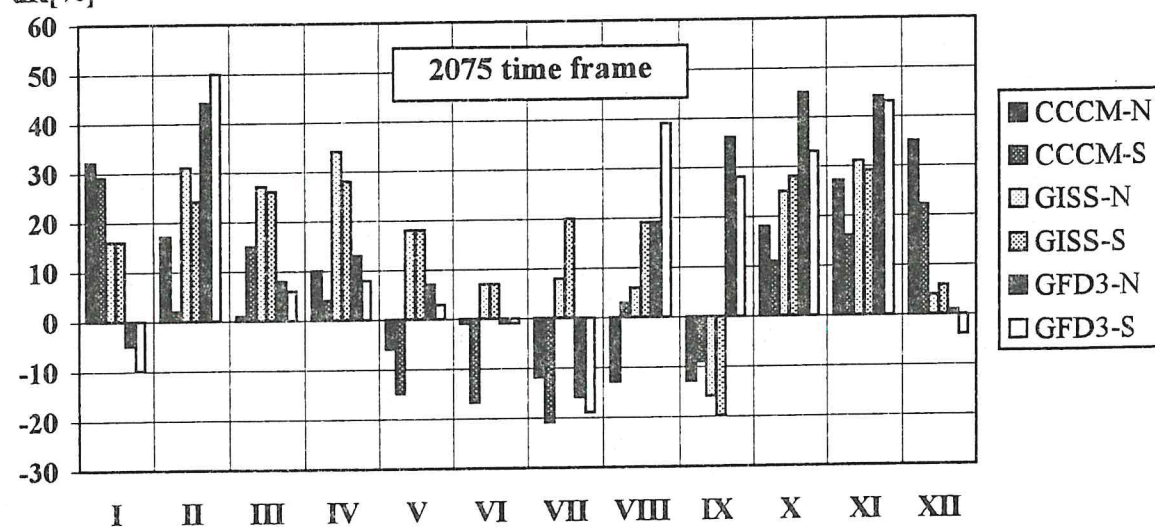
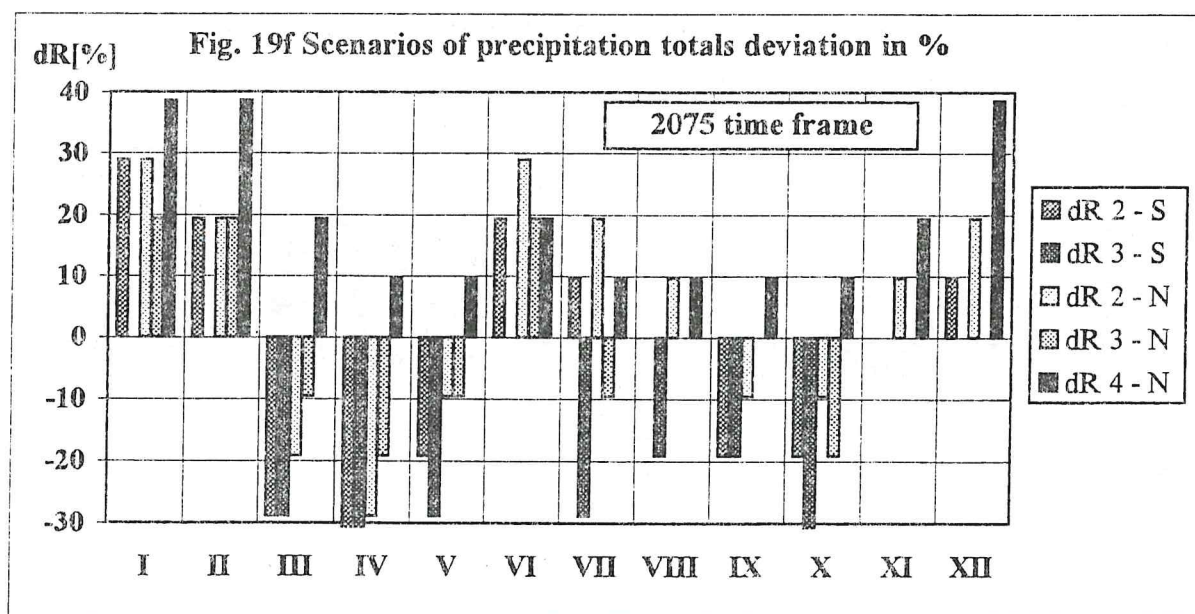
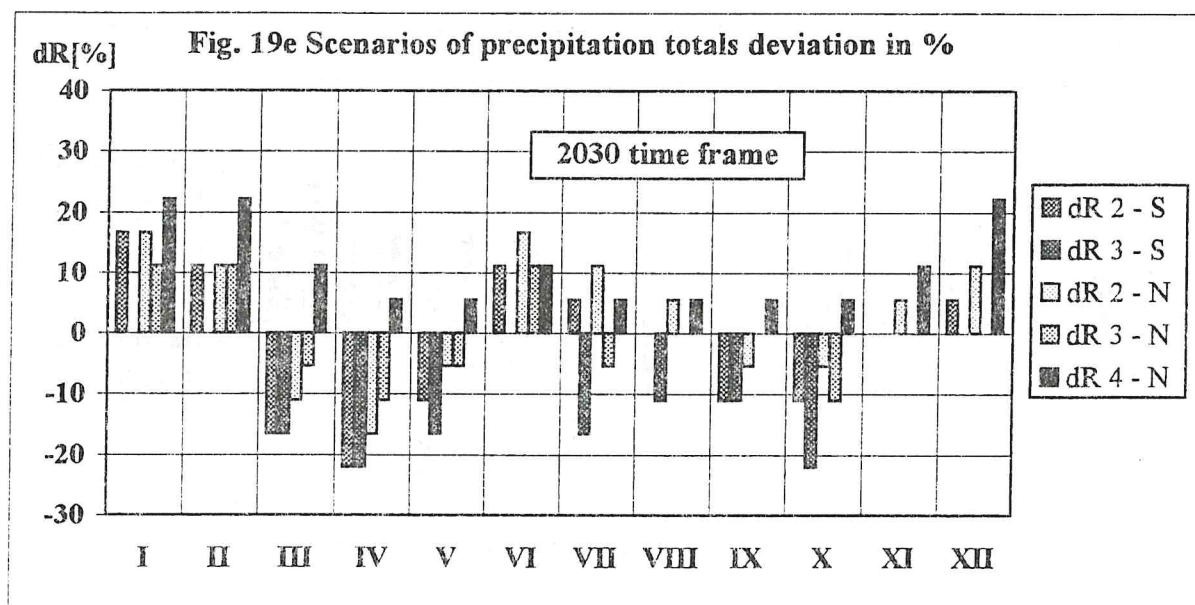
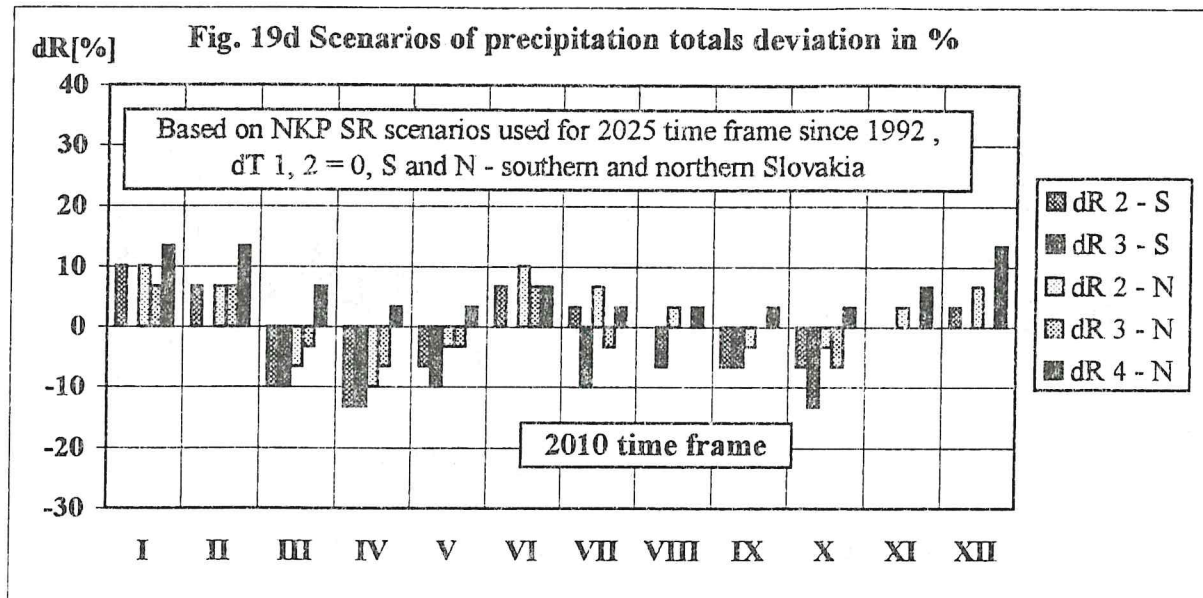


Fig. 19c Scenarios of GCMs based precipitation totals deviation in %





na analýze teplých období je s nimi v súlade len v prvej polovici roka. Pozoruhodné je tiež to, že podobne ako pri GCMs scenároch je pre územie Slovenska najviac neistôt v jesennom období (alebo v celej druhej polovici roka), keď sa inak "správali" teplé obdobia a inak pravdepodobnosť výskytu podľa σ . Táto skutočnosť si zaslúži podrobnejší výskum.

Zmena ročných úhrnov a ročný chod zmien mesačných úhrnov zrážok (R)

Už analýza GCMs scenárov zrážok ukázala veľkú mieru neurčitosti tak pri verifikácii scenárov R za stavu $1xCO_2$ podľa doterajších dlhodobých priemerov R_n , ako aj pri posudzovaní rozdielov medzi stavmi $1xCO_2$ a $2xCO_2$ (obr. 8 a 11). Zvlášť významný nesúlad sa ukázal vo veľkosti úhrnov zrážok ($1xCO_2$ scenáre dávajú aj viac ako o 80 % vyššie úhrny ako R_n), ale tiež v ročnom chode (niektoré scenáre značne posúvajú ročné maximum a minimum úhrnov R oproti R_n). Detaily je dobre vidieť na obr. 8. Po oprave systematických chýb meraní zrážok by sa však zrejme rozdiely zmenšili, pretože na našom území dosahujú tieto opravy v zime okolo +20 % a v lete okolo +10 %. Závažným problémom sú aj veľké rozdiely medzi jednotlivými modelmi. Rozdiely (alebo kvocienty) medzi stavom $2xCO_2$ a $1xCO_2$ sa všeobecne pokladajú za scenáre zmien zrážok oproti súčasnosti. Tu sú výsledky modelov ešte rozpomejšie (obr. 11, 12, 17, 19 a tab. 2, 6). Dajú sa tu však zistiť určité rozdiely v scenároch zmien R medzi uzlovými bodmi severne a južne od Slovenska. Možnou príčinou tak veľkého rozptylu výstupov GCMs je principiálne veľká citlivosť zrážok na vplyv smeru atmosférického prúdenia v orograficky zložitých oblastiach. Už letný pohľad na orografiu zabudovanú do GCMs potvrdzuje, že je príliš vzdialená od skutočnosti (niektoré modely dokonca "nepoznajú" ani Panónsku kotlinu a Karpaty s Alpami tam tvoria jeden plochý horský systém). To nás viedlo k rozhodnutiu použiť popri GCMs scenároch aj analógové scenáre R tak pre veľkosť ročného úhrnu R, ako aj pre ročný chod.

Vzhľadom na zistené rozdiely v režime zrážok na severe a ostatnom území Slovenska, sústredili sme najprv pozornosť na špecifikovanie hranice územia severného Slovenska. Použili sme analýzu ročných úhrnov a ročného chodu zrážok na 203 staniciach za obdobia 1901-1990 a 1981-1990, ako aj citlivosť R na vybraných 15 staniciach na južné a západné atmosférické prúdenie pomocou korelačnej analýzy úhrnov zrážok a indexov meridionality a zonality [8]. Napriek tomu, že sa na strednom Slovensku objavuje určitá pásmovitosť týchto vplyvov (zrejme ide o záveterné a náveterné efekty jednotlivých pohorí), je možné pomerne spoľahlivo vymedziť oblasť na severe Slovenska s rozlohou asi 11 300 km², kde sú jednoznačne úhrny R viac ovplyvnené západným atmosférickým prúdením ako južným (obr. 1 a 23). Na ostatnom Slovensku (s rozlohou asi 37 736 km²) sú pomery zložitejšie, no smerom na juh rastie vplyv južného prúdenia na veľkosť úhrnov R. Analýza relatívne teplých období tiež potvrdila rozdielnu reakciu severu a juhu Slovenska na zmenené teplotné pomery. V teplých obdobiach bolo zníženie úhrnov R na juhu celkove asi 5-krát väčšie ako na severe Slovenska, pričom na jar bol na severe malý rast zrážok a na juhu veľmi významný pokles (obr. 16). Ak považujeme uvedenú deformáciu zrážkových pomerov za prejav relatívne teplých období, tak môžeme v priblížení predpokladať, že sa môžu podobne vyvíjať zrážkové pomery na Slovensku aj po nástupe globálneho oteplenia aspoň počas najbližších desaťročí. Scenáre zmien R a T v teplých obdobiach považujeme za vnútorne konzistentné.

Iným prístupom je analýza vzťahu úhrnov R a priemerov T na jednotlivých staniciach v období 1901-1990. V tab. 4 sú uvedené výsledky korelačnej analýzy pre vzorku 4 staníc na Slovensku reprezentujúcich rôzne klimaticko-geografické podmienky. Z tohoto spracovania vyplýva tiež rozdielna reakcia jednotlivých lokalít na rast teploty vzduchu. V zásade je možné povedať, že na juhu aj na severe Slovenska všeobecne významne klesajú úhrny R s rastom T od apríla po september (korelačné koeficienty r sú prevažne v rozsahu $r = -0,2$ až $-0,4$, čo je splnenie podmienky významnosti na hladine 95 % alebo pre $\alpha = 0,05$ pri t-teste) a rastú od novembra po január, no na severe Slovenska sa vyskytujú aj veľmi významné odchýlky (ako príklad je uvedený graf zo stanice Košice pre leto na obr. 20).

Celkove je väčší pokles R s rastom T na juhu Slovenska (tab. 4). Ukazuje sa, že korelačné vzťahy zmien R s rastom T sú dosť rozdielne v jednotlivých oblastiach Slovenska i v jednotlivých mesiacoch roka. Preto bude nevyhnutné v tomto spracovaní pokračovať s využitím údajov z ďalších spoľahlivých staníc na Slovensku. Scenáre zmien R podľa korelačnej analýzy a scenáre T podľa smerodajnej odchýlky σ považujeme za vnútorne konzistentné

Tab. 4 Korelácia zrážkových úhrnov R a priemerov teploty vzduchu T v období 1901 - 1994 (vzorka 4 staníc); Rn - normál 1901-1980, dR - odchýlka R od Rn pri raste T o 1 °C (v mm a v %), r - koeficient korelácie R a T, Spr. - jar, Sum - leto, Aut. - jeseň, Wint. - zima

Table 4 Correlation analysis of precipitation totals R and air temperature T in the 1901 - 1994 period (the sample for 4 station in Slovakia); Rn - 1901 - 1980 mean, dR - deviation of R from Rn at T rise by 1 °C (in mm and %), r - correlation coefficient of the R and T

Station / Seasons		Spr.	Sum.	Aut.	Wint.	July	April-Sept.	Oct.-March
Hurbanovo	Rn [mm]	137	172	142	117	60	317	251
(115 m a.s.l.)	dR [mm]	-11.1	-23.5	-2.8	4.2	-9.6	-32.9	5.3
	dR [%]	-8	-14	-2	4	-16	-10	2
	r	-0.259	-0.337	-0.197	0.201	-0.348	-0.313	0.095
Košice	Rn [mm]	148	245	156	98	85	415	232
(230 m a.s.l.)	dR [mm]	-9.7	-39	3.3	8.1	-11	-57.4	16.4
	dR [%]	-7	-16	2	8	-13	-14	7
	r	-0.217	-0.459	0.064	0.319	-0.414	-0.477	0.268
Lipt. Hrádok	Rn [mm]	163	264	172	116	94	450	265
(640 m a.s.l.)	dR [mm]	1.9	-28.9	3.3	7.2	-12.4	-36.9	15.2
	dR [%]	1	-11	2	6	-13	-8	6
	r	0.042	-0.342	0.064	0.31	-0.346	-0.314	0.232
Oravská Lesná	Rn [mm]	239	382	254	226	137	640	461
(780 m a.s.l.)	dR [mm]	-5	-43.9	-10.8	10.8	-17.2	-47.7	8.4
	dR [%]	-2	-11	-4	5	-13	-7	2
	r	-0.095	-0.377	-0.159	0.274	-0.366	-0.322	0.092

Konečným cieľom tejto analýzy je návrh kombinovaných scenárov zmien úhrnov zrážok v obidvoch vymedzených oblastiach Slovenska v časových horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075. Zmena ročných úhrnov R je graficky znázornená na obr. 17. Pri tejto zmene R sme predpokladali lineárny alebo nelineárny časový priebeh v období 1980 až 2080. Viac-menej lineárny priebeh zmien T predpokladajú aj odhady v rámci IPCC, nelinearitu zmien R môžeme oprieť iba o nelinearitu závislosti zmien R od rastu T. Z obr. 20 vidíme, že pre mesiace s významnou koreláciou R a T je nelineárna aproximácia regresného polynómu 3. stupňa väčšinou blízka regresnej priamke a iba pre väčší rast T sa od regresnej priamky odchyľuje. Pre iné mesiace a iné stanice dostávame o málo odlišný obraz, no bolo potrebné prijať určitý kompromis kvôli zjednodušeniu výpočtov. Preto sme vybrali opravné koeficienty podľa obr. 18, ktoré zmierňujú zmeny úhrnov R pri väčších odchýlkach scenárov T ako 1,5 °C.

Všetky scenáre zmien mesačných T a R v časových horizontoch 2010, 2030 a 2075 sú uvedené v tab. 5 a 6 a časť aj v obr. 15 a 19. Naším cieľom bolo poskytnúť expertom impaktných štúdií možnosť porovnať výsledky regionálne interpretovaných výstupov GCMs s výsledkami doteraz používaných scenárov zmien T a R v štúdiách NKP SR, ako aj s výsledkami analýzy relatívne teplých období

**Tab. 5 Modifikované scenáre zmien mesačných priemerov teploty vzduchu v °C
na Slovensku v horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075
(Odchýlky od dlhodobých priemerov vypočítaných z obdobia 1951 - 1980)**

Poznámka: dT1 a dT2 sú scenáre oteplenia modifikované podľa scenárov NKP ČSFR 91, CCCM, GISS a GFD3 sú regionálne modifikované GCMs scenáre pre územie Slovenska, WP - scenár vypočítaný podľa zhodnotenia teplých období a modifikovaný podľa ročných priemerov scenárov GCMs alebo oteplenia o 2 až 3 °C (A, B) v horizonte roku 2075 SD - scenár vypočítaný podľa priemernej smerodajnej odchýlky mesačných priemerov teploty vzduchu na Slovensku a modifikovaný podobne ako pri WP (detailnejšie v texte)

Table. 5 Mean air temperature change scenarios for Slovakia in time frames 2010, 2030 and 2075
(GCMs regional modification, and different "combined" GCMs - analogues scenarios, see Figures 13 - 15)

Scenár	Horizont	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK/YEAR
2010														
CCCM		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
dT 1		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
dT 2		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
WP CCCM		1.5	1.9	1.7	1.4	1.0	0.7	1.0	1.2	0.9	0.5	0.3	0.8	1.1
WP GFD3		1.9	2.4	2.1	1.8	1.3	0.9	1.3	1.6	1.1	0.6	0.4	1.0	1.4
WP A		0.9	1.1	1.0	0.8	0.6	0.4	0.6	0.7	0.5	0.3	0.2	0.4	0.6
WP B		1.3	1.7	1.5	1.3	0.9	0.6	0.9	1.1	0.8	0.4	0.3	0.7	1.0
SD CCCM		1.7	1.6	1.4	0.9	0.9	0.8	0.7	0.7	0.9	1.0	1.0	1.3	1.1
SD GFD3		2.2	2.0	1.7	1.2	1.2	1.0	0.9	0.9	1.2	1.2	1.2	1.6	1.4
SD A		1.0	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.8	0.6
SD B		1.5	1.4	1.2	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.8	0.9	0.9	1.1	0.9
2030														
CCCM		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
dT 1		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
dT 2		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
WP CCCM		2.5	3.1	2.8	2.4	1.7	1.1	1.7	2.1	1.5	0.8	0.6	1.3	1.8
WP GFD3		3.2	4.0	3.6	3.0	2.1	1.4	2.1	2.6	1.8	1.0	0.7	1.6	2.3
WP A		1.5	1.8	1.7	1.4	1.0	0.7	1.0	1.2	0.9	0.4	0.3	0.7	1.1
WP B		2.2	2.8	2.5	2.1	1.5	1.0	1.5	1.8	1.3	0.7	0.5	1.1	1.6
SD CCCM		2.8	2.7	2.3	1.6	1.5	1.3	1.2	1.2	1.6	1.6	1.6	2.1	1.8
SD GFD3		3.6	3.3	2.9	2.0	1.9	1.6	1.5	1.5	2.0	2.1	2.0	2.7	2.3
SD A		1.7	1.6	1.3	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7	0.9	1.0	0.9	1.3	1.0
SD B		2.5	2.3	2.0	1.4	1.4	1.1	1.1	1.0	1.4	1.4	1.4	1.9	1.6
2075														
CCCM		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
dT 1		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
dT 2		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
WP CCCM		4.8	6.0	5.4	4.5	3.2	2.1	3.2	3.9	2.8	1.5	1.1	2.4	3.4
WP GFD3		6.1	7.6	6.8	5.7	4.0	2.7	4.0	4.9	3.5	1.8	1.4	3.0	4.3
WP A		2.8	3.5	3.2	2.7	1.9	1.3	1.9	2.3	1.6	0.9	0.6	1.4	2.0
WP B		4.3	5.3	4.7	4.0	2.8	1.9	2.8	3.4	2.4	1.3	1.0	2.1	3.0
SD CCCM		5.4	5.0	4.3	3.0	2.9	2.4	2.3	2.2	3.0	3.1	3.1	4.1	3.4
SD GFD3		6.8	6.4	5.4	3.8	3.7	3.0	2.9	2.8	3.8	3.9	3.9	5.1	4.3
SD A		3.2	3.0	2.5	1.8	1.7	1.4	1.3	1.3	1.8	1.8	1.8	2.4	2.0
SD B		4.7	4.4	3.8	2.7	2.6	2.1	2.0	2.0	2.6	2.7	2.7	3.6	3.0

Tab. 6a Modifikácia scenárov zmien úhrnov zrážok pre rôzne časové horizonty do roku 2075
Prvých 6 riadkov GCMs scenáre, SD - scenáre založené na korelačnej analýze vzťahu R a teploty vzduchu,
WP - scenáre založené na analýze teplých období, N a S - sever a juh Slovenska (viď obr. 1)

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

(GCMs regional modification, and different "combined" GCMs - analogues scenarios, N, S - northern and southern Slovakia, SD - standard deviation and correlation method based, WP - warmer periods analysis based, see Fig. 1,13,16)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok/Year
Scenáre zmien R v % pre rok 2010 na Slovensku													
CCCM-N	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
dR N SD for 0.63 °C	6	4	1	-1	-2	-3	-6	-5	-5	-1	4	4	-1
dR S SD for 0.63 °C	7	5	0	-4	-6	-4	-7	-6	-5	0	3	4	-2
dR N SD for 0.95 °C	9	6	1	-2	-3	-5	-9	-8	-8	-1	6	7	-2
dR S SD for 0.95 °C	11	7	0	-7	-10	-5	-10	-9	-8	0	4	7	-3
dR WP N for 0.63 °C	-1	1	3	4	4	2	-2	-5	-7	-5	-1	-1	-1
dR WP S for 0.63 °C	-2	-1	-7	-10	-5	-2	-2	-3	-5	-3	0	-2	-3
dR WP N for 0.95 °C	-2	2	4	5	6	3	-3	-8	-10	-7	-2	-1	-1
dR WP S for 0.95 °C	-3	-2	-11	-16	-8	-3	-4	-5	-8	-5	0	-3	-5
Scenáre zmien R v % pre rok 2030 na Slovensku													
CCCM-N	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
dR N SD for 1.05 °C	10	6	1	-2	-4	-5	-10	-8	-8	-1	7	7	-2
dR S SD for 1.05 °C	12	8	0	-7	-11	-6	-11	-10	-8	0	5	7	-3
dR N SD for 1.58 °C	15	9	2	-3	-6	-8	-15	-12	-12	-2	10	11	-3
dR S SD for 1.58 °C	18	12	0	-11	-16	-9	-17	-15	-13	0	7	11	-5
dR WP N for 1.05 °C	-2	2	5	6	6	3	-3	-9	-11	-8	-2	-1	-1
dR WP S for 1.05 °C	-3	-2	-12	-17	-8	-3	-4	-6	-9	-5	0	-3	-6
dR WP N for 1.58 °C	-3	3	7	9	9	5	-4	-13	-17	-12	-3	-2	-2
dR WP S for 1.58 °C	-5	-4	-18	-26	-12	-5	-6	-9	-13	-8	-1	-5	-9
Scenáre zmien R v % pre rok 2075 na Slovensku													
CCCM-N	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	13
GFD3-S	-10	50	6	8	3	-1	-19	39	28	33	43	-4	13
dR N SD for 2 °C	18	11	2	-3	-6	-9	-17	-15	-15	-2	12	13	-3
dR S SD for 2 °C	21	14	0	-13	-19	-10	-20	-17	-15	0	8	13	-6
dR N SD for 3 °C	24	15	3	-5	-9	-12	-23	-20	-20	-3	16	18	-4
dR S SD for 3 °C	28	19	0	-18	-26	-14	-27	-23	-20	0	11	18	-8
dR WP N for 2 °C	-4	4	9	11	11	6	-5	-15	-20	-14	-3	-2	-2
dR WP S for 2 °C	-6	-4	-22	-30	-15	-6	-7	-10	-15	-9	-1	-5	-10
dR WP N for 3 °C	-5	5	12	14	15	8	-7	-21	-27	-20	-4	-3	-3
dR WP S for 3 °C	-8	-6	-29	-41	-20	-8	-10	-14	-20	-13	-1	-7	-14

Tab. 6b Modifikácia doteraz používaných scenárov R podľa doteraz používaných scenárov T za predpokladu lineárneho rastu dT a nelineárnych zmien dR (dR1 N a dR1 S = 0)

V tabuľke sú scenáre pre oteplenie dT = +1 alebo +2 °C v r.2025, (S, N - juh, sever SR)

Table. 6b Mean precipitation change scenarios for Slovakia in time frames 2010, 2030 and 2075 (according to preliminary "combined" GCMs - analogues scenarios used in NKP SR since 1993)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok/Year
Scenáre zmien R v % pre rok 2010													
dR 2 - S	10	7	-10	-13	-7	7	3	0	-7	-7	0	3	-1
dR 3 - S	0	0	-10	-13	-10	0	-10	-7	-7	-13	0	0	-6
dR 2 - N	10	7	-7	-10	-3	10	7	3	-3	-3	3	7	2
dR 3 - N	7	7	-3	-7	-3	7	-3	0	0	-7	0	0	0
dR 4 - N	13	13	7	3	3	7	3	3	3	3	7	13	6
Scenáre zmien R v % pre rok 2030													
dR 2 - S	17	11	-17	-22	-11	11	6	0	-11	-11	0	6	-1
dR 3 - S	0	0	-17	-22	-17	0	-17	-11	-11	-22	0	0	-10
dR 2 - N	17	11	-11	-17	-6	17	11	6	-6	-6	6	11	4
dR 3 - N	11	11	-6	-11	-6	11	-6	0	0	-11	0	0	0
dR 4 - N	22	22	11	6	6	11	6	6	6	6	11	22	10
Scenáre zmien R v % pre rok 2075													
dR 2 - S	29	19	-29	-39	-19	19	10	0	-19	-19	0	10	-2
dR 3 - S	0	0	-29	-39	-29	0	-29	-19	-19	-39	0	0	-17
dR 2 - N	29	19	-19	-29	-10	29	19	10	-10	-10	10	19	7
dR 3 - N	19	19	-10	-19	-10	19	-10	0	0	-19	0	0	-1
dR 4 - N	39	39	19	10	10	19	10	10	10	10	19	39	18

Tab. 6c Modifikácia scenárov zmien úhrnov zrážok pre rôzne časové horizonty do roku 2075

Predpoklad oteplenia o 3,4 - 4,3 °C v roku 2075. SD - scenáre založené na korelačnej analýze vzťahu R a teploty

vzduchu, WP - scenáre založené na analýze teplých období, N a S - sever a juh Slovenska (viď obr. 1)

Table. 6c Mean precipitation change scenarios for Slovakia in time frames 2010, 2030 and 2075 (Table. 6a)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
Scenáre zmien R v % pre rok 2010 na Slovensku													
dR N SD for 1.07 °C	10	6	1	-2	-4	-5	-10	-8	-8	-1	7	8	-2
dR S SD for 1.07 °C	12	8	0	-8	-11	-6	-11	-10	-9	0	5	8	-3
dR N SD for 1.36 °C	13	8	2	-2	-5	-7	-12	-11	-11	-1	9	10	-2
dR S SD for 1.36 °C	15	10	0	-10	-14	-8	-14	-12	-11	0	6	10	-4
dR WP N for 1.07 °C	-2	2	5	6	6	3	-3	-9	-12	-8	-2	-1	-1
dR WP S for 1.07 °C	-3	-2	-13	-18	-8	-3	-4	-6	-9	-5	0	-3	-6
dR WP N for 1.36 °C	-3	3	6	8	8	4	-4	-11	-15	-10	-2	-1	-2
dR WP S for 1.36 °C	-4	-3	-16	-22	-11	-4	-5	-7	-11	-7	-1	-4	-7
Scenáre zmien R v % pre rok 2030 na Slovensku													
dR N SD for 1.79 °C	16	10	2	-3	-6	-8	-16	-13	-13	-2	11	12	-3
dR S SD for 1.79 °C	19	13	0	-12	-17	-9	-18	-16	-14	0	8	12	-5
dR N SD for 2.26 °C	20	12	2	-4	-7	-10	-19	-16	-16	-2	13	15	-3
dR S SD for 2.26 °C	23	15	0	-15	-21	-12	-22	-19	-16	0	9	15	-6
dR WP N for 1.79 °C	-3	3	8	10	10	5	-5	-14	-18	-13	-3	-2	-2
dR WP S for 1.79 °C	-5	-4	-20	-28	-13	-5	-6	-9	-14	-9	-1	-5	-9
dR WP N for 2.26 °C	-4	4	10	12	12	6	-6	-17	-22	-16	-3	-2	-2
dR WP S for 2.26 °C	-6	-5	-24	-34	-16	-6	-8	-11	-17	-11	-1	-6	-11
Scenáre zmien R v % pre rok 2075 na Slovensku													
dR N SD for 3.4 °C	26	16	3	-5	-9	-13	-25	-21	-21	-3	17	19	-5
dR S SD for 3.4 °C	30	20	0	-19	-28	-15	-29	-25	-22	0	12	19	-8
dR N SD for 4.3 °C	29	18	4	-5	-11	-15	-28	-24	-24	-3	19	22	-5
dR S SD for 4.3 °C	34	22	0	-22	-31	-17	-33	-28	-24	0	14	22	-9
dR WP N for 3.4 °C	-5	5	13	15	16	8	-8	-22	-29	-21	-4	-3	-3
dR WP S for 3.4 °C	-8	-6	-32	-44	-21	-8	-10	-15	-22	-14	-1	-8	-15
dR WP N for 4.3 °C	-6	6	14	17	18	9	-9	-25	-33	-24	-5	-3	-3
dR WP S for 4.3 °C	-9	-7	-36	-50	-24	-9	-12	-16	-25	-16	-1	-9	-17

a analýzy závislosti zmien R od T. V súlade s požiadavkou CSMC z USA majú miernu prioritu scenáre založené na analýze GCMs. V tomto príspevku sme zatiaľ nedoriešili používanie scenárov zmien R v prechodnom pásme medzi severom a juhom Slovenska, ktoré je očividne nehomogénne. Zjednodušene môžeme iba uviesť, že sa potvrdzuje predpoklad o rozdielnom režime zrážkových úhmno-
v na južne a severne exponovaných svahoch pohorí, najmä na strednom Slovensku.

Zmena atmosférickej cirkulácie

Zmena doterajšieho charakteru atmosférickej cirkulácie nad strednou Európou môže podstatnou mierou prispieť k zmene doterajšieho režimu atmosférických zrážok a následne aj ďalších klimatických prvkov, ktoré so zrážkami významne korelujú. Súvisí to so skutočnosťou, že v oblastiach s vyššími horskými masívmi dochádza k známym náveterným a záveterným efektom. Na náveternej strane väčších pohorí môžu byť za určitých okolností úhrny zrážok až niekoľkonásobne vyššie. Týka sa to hlavne frontálnych zrážok v chladnom polroku. Ako sme už spomínali v úvode, atmosférické prúdenie, a tým aj dráhy frontálnych porúch, atmosférických frontov a cyklón, má na našom území do určitej miery pravidelný režim. Severozápad a sever Slovenska je viac ovplyvnený západným zonálnym smerom prúdenia, kým ostatná časť Slovenska (najmä juh stredného Slovenska) južnými smermi prúdenia. V posledných dvoch desaťročiach sme zaznamenali závažné zníženie početnosti južných frontálnych porúch prichádzajúcich zo Stredomoria. Súčasne významne poklesli aj úhrny zrážok v južnej polovici Slovenska. Preto sme začali s výskumom dôsledkov zmien atmosférickej cirkulácie na režim zrážok. Môžeme pri tom využiť jednak pomerne kvalitné rady mesačných úhmno-
v zrážok asi z 20 staníc od roku 1901 a z niekoľkých staníc aj od roku 1881, ale hlavne podrobnú klasifikáciu denných indexov charakteru atmosférického prúdenia spracovanú T. Niedzwiedzom pre južné Poľsko za obdobie 1873 - 1993 [8]. Vzhľadom na to, že tieto práce sú ešte iba v začiatkoch, uvádzame na tomto mieste len 4 obrázky (obr. 23a-d) dokumentujúce veľký význam možnej zmeny atmosférického prúdenia, súvisiacej s globálnym oteplením, na klimatické pomery na Slovensku. Indexy určoval T. Niedzwiedz podľa denných synoptických máp, pričom index +2 priradil centrálnej cyklóne, -2 centrálnej anticyklóne, +1 cyklonálnemu a -1 anticyklonálnemu zakriveniu izobár v brázde nízkeho alebo v hrebeni vysokého tlaku vzduchu a nulu indiferentnému tlakovému poľu pri cyklonalite. Podobne priradil index +2 juhozápadnému až severozápadnému prúdeniu, -2 východnému prúdeniu a ostatným smerom postupne -1 až +1 pri západnej zonalite, +2 južnému, -2 severnému prúdeniu a ostatným smerom postupne -1 až +1 pri južnej meridionalite [8]. Na obr. 23a vidíme značnú zmenu charakteru prúdenia (pokles cyklonality a rast západnej zonality) po roku 1965. Pokles južnej meridionality bol významnejší iba v niektorých mesiacoch, a to tiež po roku 1965. Na obr. 23c a 23d vidíme, že v rozdielnych polohách na Slovensku, v Oravskej Lesnej na krajnom severozápade a v Hurbanove na juhu, má zmena západného zonálneho smeru prúdenia opačné dôsledky na úhrny zrážok v dvojmesačnom období XI-XII. Z polohy týchto staníc je zrejmé, že prvá je skôr na návetrí a druhá na záveternej strane väčších pohorí pri juhozápadnom až severozápadnom smere prúdenia. Naznačená analýza bude pokračovať s využitím väčšieho počtu kvalitnejších staníc a aj pre iné klimatické prvky. Podľa vyjadrenia T. Niedzwiedza má táto klasifikácia dobrú platnosť pre oblasť medzi 49 a 51° s.z.š., no naše spracovanie predbežne potvrdilo, že je možné využiť ju pre celé Slovensko. Pri konštrukcii doplnkových scenárov zmien zrážok sa pokúsime využiť aj GCMs scenáre zmien tlakového poľa pre tie modely, ktoré sme vybrali na regionálnu modifikáciu GCMs scenárov teploty vzduchu a zrážok (CCCM, GISS a GFD3).

Fig. 20 Correlation of precipitation totals R and air temperature means T
(r(3rd) / correlation coeff. for polynomial regression of 3rd order)

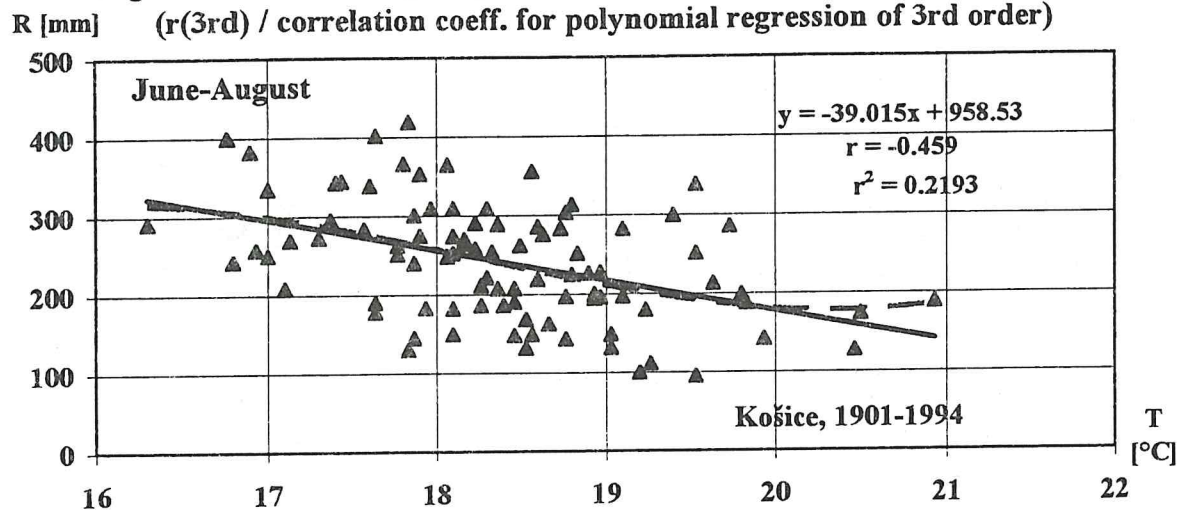


Fig. 21 Correlation of precipitation totals R and relative air humidity means U
(r (3rd) - correlation coeff. for polynomial regression of 3rd order)

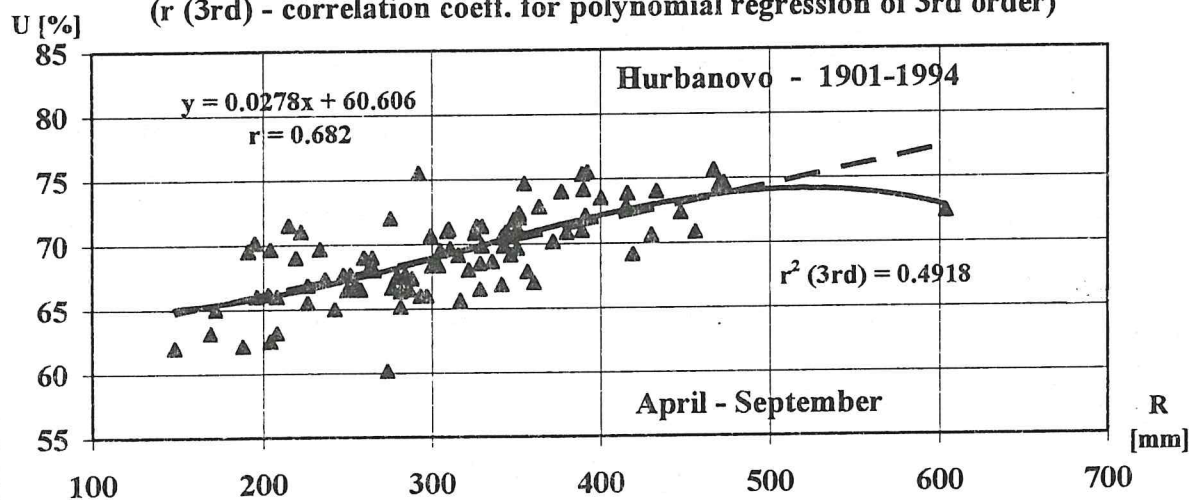


Fig. 22 Correlation of snow cover daily depths totals S and air temp. means T
(r (3rd) - correlation coeff. for polynomial regression of 3rd order)

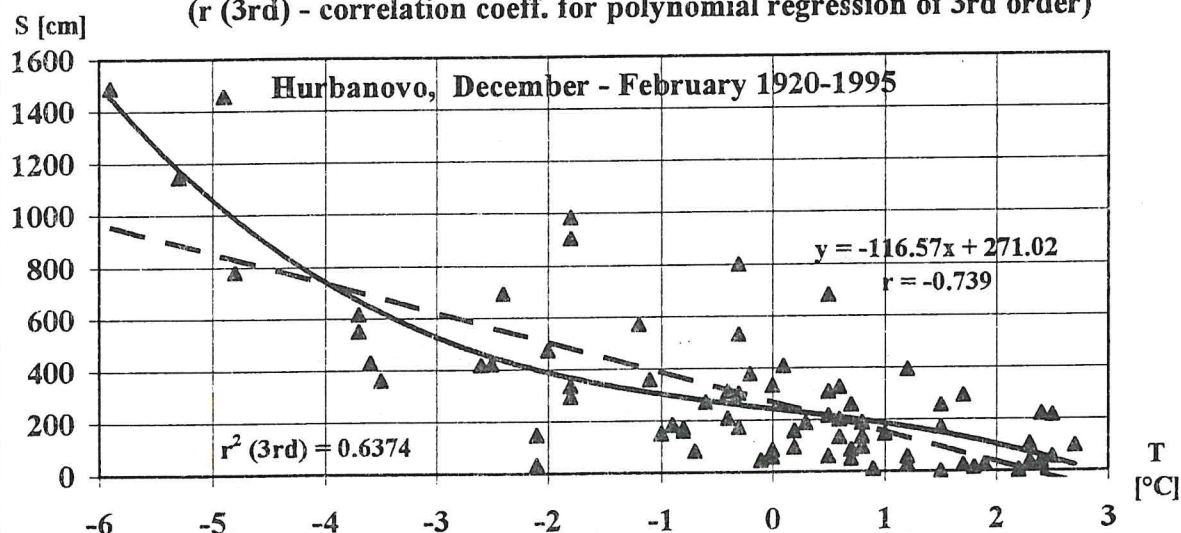


Fig. 23a Annual sums (n) of westerly zonal (WZ), southerly meridional (SM) and cyclonicity indices (CY) in 1874 - 1993

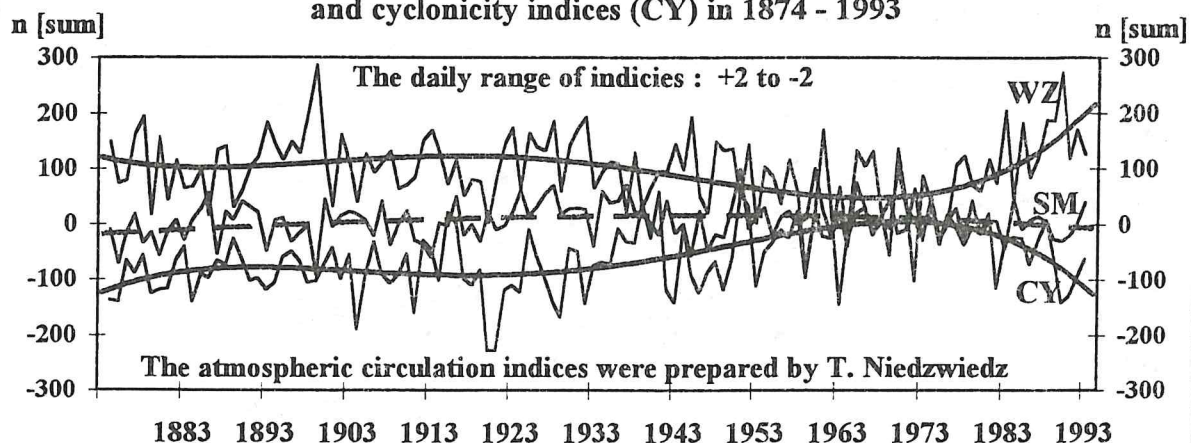


Fig. 23b Sums of westerly zonal circulation indices in November-December

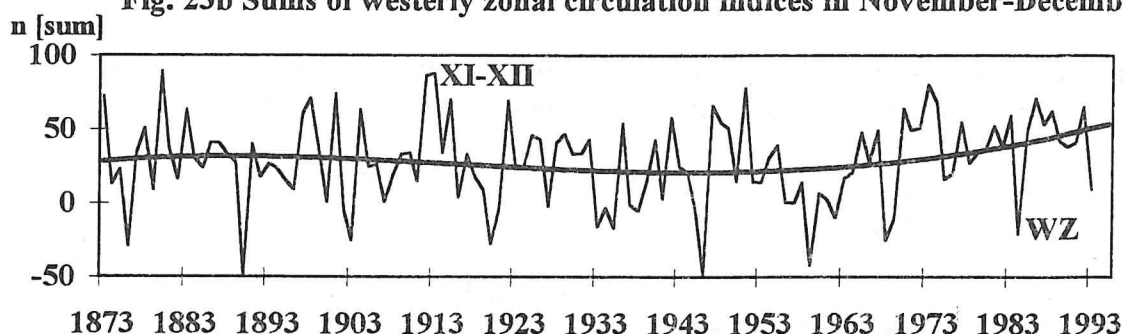


Fig. 23c Correlation of precipitation totals R and WZ indices, 1901-1993

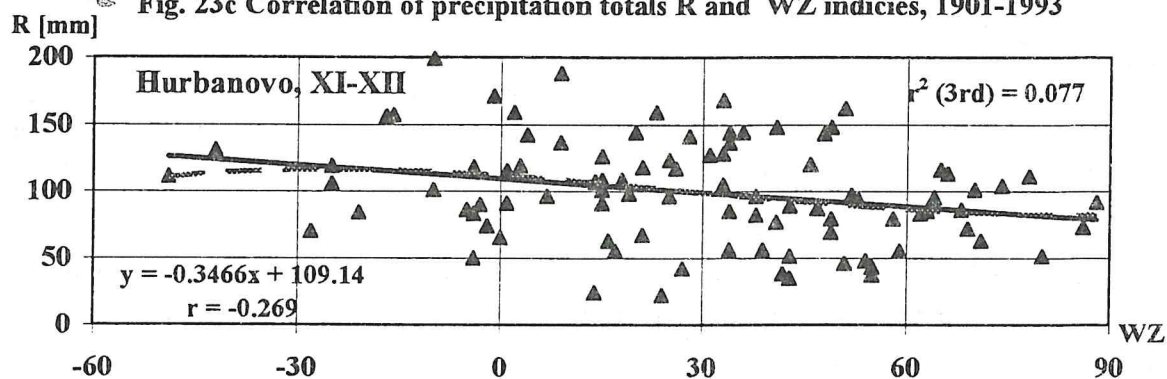
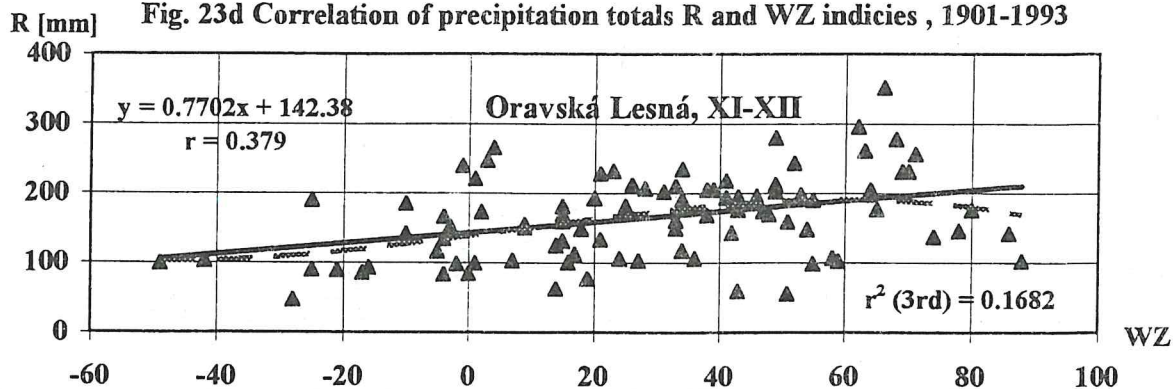


Fig. 23d Correlation of precipitation totals R and WZ indices , 1901-1993



Záver

Konštrukcia regionálne interpretovaných scenárov klimatickej zmeny potvrdila, že ide o zložitý problém. Ani o jednom z prezentovaných scenárov zmien priemerov teploty vzduchu a priemerov úhmov zrážok nie je možné tvrdiť, že ide o prognózu budúcej klímy. Scenáre iba naznačujú dimenzie, v ktorých sa môžu za určitých okolností "pohybovať" niektoré charakteristiky budúcich klimatických pomerov na Slovensku. Uvedené scenáre majú nádej na prijateľnú splniteľnosť za predpokladu nanažčeného vývoja rastu skleníkového efektu atmosféry. Zdá sa, že najväčšiu šancu na prijatie za prognózu má scenár rastu ročného priemeru teploty vzduchu o $+2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pri stave dvojnásobku koncentrácie CO_2 v atmosfére oproti predindustriálnemu obdobiu, čo by mohlo nastať okolo roku 2075. Posledné odhady IPCC z roku 1995, ktoré ešte nie sú publikované, neurčitost' tohoto scenára podstatne znížili. Najviac neurčitostí je stále pri scenároch zmien ročných a mesačných úhmov zrážok. Zvlášť to platí pre oblasti so zložitou orografiou, akou stredná Európa nepochybne je. Zlepšenie v tomto smere môžu priniesť regionálne cirkulačné modely s detailnejšou orografiou, v ktorých bude prijateľnejšie zahrnutý aj vplyv zmien atmosférickej cirkulácie na zmeny režimu zrážok.

Riešenie problému možných dôsledkov zmien klímy na socio-ekonomické sektory a prírodné prostredie vyžaduje aj ďalšie klimatické vstupy, nevystačíme iba so scenármi teploty vzduchu a úhmov zrážok. Z výstupov GCMs je možné využiť scenáre zmien globálneho slnečného žiarenia, prízemného poľa tlaku vzduchu a vlhkosti vzduchu, údaje posledných dvoch prvkov sú však pre riešiteľov Country Study na Slovensku zatiaľ nedostupné. Východisko z danej situácie vidíme v príprave "kombinovaných" scenárov ďalších klimatických prvkov, ktoré sú založené na využití GCMs scenárov teploty vzduchu a úhmov zrážok, alebo iba GCMs scenárov teploty vzduchu a kombinovaných scenárov zrážok a doplnkovej korelačnej analýzy viacerých klimatických prvkov, alebo analýzy relatívne teplých období. Nádejne sa v tomto smere javí príprava scenárov zmien relatívnej vlhkosti vzduchu a snehovej pokrývky a čiastočne aj scenárov zmien prvkov vodnej bilancie. Veľmi málo však môžu takéto metódy prispieť k návrhu scenárov zmien variability najdôležitejších klimatických prvkov, ako sú denné a mesačné úhmy zrážok, výskyt škodlivých meteorologických javov a podobne. Práce na príprave "kombinovaných" scenárov ďalších klimatických prvkov pokračujú veľmi intenzívne a v najbližšej dobe budú k dispozícii riešiteľom impaktných štúdií. Na obr. 21 a 22 sú ukážky vzťahov medzi relatívnou vlhkosťou vzduchu a úhmami zrážok, respektívne medzi snehovou pokrývkou a teplotou vzduchu. Pri analýze takýchto vzťahov a pri následnej interpretácii zistených výsledkov je potrebné venovať mimoriadnu pozornosť spoľahlivosti a reprezentatívnosti časových radov klimatických prvkov, ako aj štatistickej významnosti trendov a regresných kriviek [5, 9].

Samostatným problémom riešenia možných dôsledkov klimatickej zmeny je príprava tzv. inkrementálnych (prírastkových) scenárov. Táto metóda je založená na fyzikálne zdôvodniteľnej kombinácii scenárov viacerých klimatických prvkov, pričom sa za východisko považuje zväčša séria akceptovateľných scenárov zmien ročného priemeru teploty vzduchu, v našom prípade napríklad $+2$, $+3$ a $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ pre stav $2\times\text{CO}_2$. Na tieto scenáre teploty vzduchu sa potom "nabaľujú" zdôvodniteľné prírastkové scenáre ďalších prvkov. Takto pripravené scenáre budú k dispozícii v prvom štvrtroku 1996.

Literatúra

- [1] *Climate Change: Science, Impacts and Policy. Proceedings of the Second World Climate Conference* (J. Jäger and H. L. Ferguson, eds.). Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney 1991, 578 p.
- [2] *Climate Change 1994. Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press. Cambridge 1995, 339 p.
- [3] Kalvová, J. - Vaníček, K.: *Současné prognózy změn klimatu ve vztahu k území ČSFR. Meteorologické zprávy*, 44, 1991, č. 3, s. 68 - 72.
- [4] Lapin, M.: *Možné dopady predpokladaných zmien klímy na vodnú bilanciu na Slovensku. Národný klimatický program ČSFR. ČHMÚ Praha 1992, č. 7, s. 51 - 87.*
- [5] Lapin, M., Faško, P., Zeman, V.: *Príspevok k analýze možných dôsledkov globálneho oteplenia atmosféry o 1 až 2 °C na zmeny klimatických pomerov na Slovensku. NKP SR, zv. 2, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava 1994, s. 35 - 77.*
- [6] Lapin, M.: *Očakávané globálne oteplenie a jeho možné dopady na našom území. In: Prognózovanie zmien klímy a zmiernenie ich negatívneho vplyvu na krajinné prostredie. Zborník z konferencie 22.11.1994. Únia krajinných inžinierov Slovenska a VÚZH, Bratislava 1994, s. 10 - 28.*
- [7] Lapin, M.: *Analýza citlivosti územia Slovenska na klimatické zmeny a príprava rámcového návrhu adaptačných opatrení na zmiernenie možných negatívnych dôsledkov. Súhrnná správa zo subprojektov Projektu NKP SR riešeného v rokoch 1993 a 1994. NKP SR, SHMÚ, Bratislava 1995, 13 s.*
- [8] Niedzwiedz, T.: *Changes of atmospheric circulation (using the P,S,C,M indices) in the winter season and their influence on air temperature in Cracow. Early Meteorological Instrumental Records in Europe - Methods and Results, Zeszyty Naukowe UJ - Prace Geograficzne, Krakow, Z. 95, p. 107-113.*
- [9] Nieplová, E., Lapin, M., Faško, P.: *Návrh siete klimatologických a zrážkomerných staníc na monitorovanie zmien klímy SR. NKP SR, č. 2, MŽP SR, SHMÚ 1994, s. 6 - 33.*
- [10] Nieplová, E., Faško, P., Lapin, M.: *Temperature and precipitation scenarios for Slovakia (GCMs outputs downscaling). SHMÚ, Bratislava. (prezentované na konferencii Regional Workshop on Climate Change, Praha 1995, v tlači)*
- [11] *The Slovak First National Communication on Climate Change. MŽP SR, MH SR, MDST SR, MZV SR, SHMÚ, FAVART, Bratislava 1995, 63s.*
- [12] *US Country Studies Program. Guidance for Vulnerability and Adaptation Assessments. Washington, D.C., US Country Studies Management Team (PO-63) Oct. 1994, 518 p.*

Príloha

Zoznam obrázkov

- Obr. 1 Schematická mapa Slovenska s vrstevnicami nadmorskej výšky 300 a 1000 m, s polohou významných klimatických staníc a s hranicami severného, ostatného a juhozápadného Slovenska
- Obr. 2 a 3 Časový priebeh a trendy teploty vzduchu T (pre rok a teplý polrok) a pre úhrny zrážok R a priemery relatívnej vlhkosti vzduchu U v teplom polroku
- Obr. 4 Ročný chod územných mesačných priemerov teploty vzduchu na Slovensku za obdobie 1951-1980 a priemerov pre simuláciu 1xCO₂ podľa výstupov 5 GCMs modelov
- Obr. 5 - 7 Grafická interpretácia metódy modifikácie scenárov zmeny mesačných priemerov teploty vzduchu v časovom horizonte 2xCO₂ oproti priemerom z obdobia 1951-1980

- Obr. 8. Ročný chod územných priemerov mesačných úhrnov zrážok na Slovensku za obdobie 1951-1980 a priemerov pre simuláciu $1\times\text{CO}_2$ podľa výstupov 3 GCMs modelov
- Obr. 9 a 10 Územné priemery mesačných úhrnov zrážok za rôzne obdobia, pre celé, severné a južné Slovensko, vypočítané pomocou izohyetovej metódy a dvojitém váženým priemerom
- Obr. 11 Porovnanie scenárov zmien mesačných úhrnov zrážok pre 3 vybrané GCMs modely v časovom horizonte $2\times\text{CO}_2$ pre severné a južné Slovensko
- Obr. 12 Porovnanie ročného chodu priemerných územných zrážkových úhrnov podľa modifikovaných GCMs scenárov v časovom horizonte $2\times\text{CO}_2$ pre severné a južné Slovensko
- Obr. 13 Postup odvodenia analógových scenárov zmien mesačných priemerov teploty vzduchu T na základe analýzy teplých období a smerodajnej odchýlky mesačných priemerov T
- Obr. 14 Lineárna modifikácia časového priebehu zmien ročných priemerov teploty vzduchu v časových horizontoch od roku 1980 do 2080
- Obr. 15 Ročný chod zmien mesačných priemerov teploty vzduchu pre rôzne scenáre a časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075
- Obr. 16 Postup odvodenia analógových scenárov zmien priemerov mesačných úhrnov zrážok R na základe analýzy teplých období a korelácie mesačných priemerov T a mesačných úhrnov R
- Obr. 17 Lineárna a nelineárna modifikácia časového priebehu zmien priemerov ročných úhrnov zrážok v časových horizontoch od roku 1980 do 2080
- Obr. 18 Nomogram pre nelineárnu modifikáciu zmien priemerov úhrnov zrážok s rastom teploty vzduchu
- Obr. 19 Ročný chod zmien priemerov mesačných úhrnov zrážok pre rôzne scenáre a časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075
- Obr. 20 - 22 Ukážka korelačných grafov vzťahu radov mesačných údajov rôznych klimatických prvkov za obdobie 1901-1994 v Hurbanove a v Košiciach
- Obr. 23 Ukážka výsledkov analýzy vzťahu zmien atmosférickej cirkulácie a úhrnov zrážok v období 1901-1993 na staniciach Hurbanovo a Oravská Lesná

CLIMATE CHANGE SCENARIOS FOR AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION CHANGE IN SLOVAKIA

M. Lapin, E. Nieplová & P. Faško
Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava

SUMMARY

ABSTRACT: The main climate change scenarios for Slovakia are based on GCMs (GISS, CCCM and GFD3) output regional modification. "Combined scenarios" are prepared with respect to 1 - 2 °C mean annual warming in 2025 and 2 - 3 °C or 3.4 - 4.3 °C in 2075 comparing to the 1951-1980 means in Slovakia. Calculation of supposed change of climatic elements included in the "combined scenarios" group is based on the analysis of relatively warmer periods from 1871 to 1994, on correlation analysis of series from 1901 to 1994 and partly on analysis of atmospheric circulation in the Central Europe since 1873.

Climate in Slovakia

Slovak Republic is a hilly country (Figure 1) with mean altitude approximately 445 m. It occupies the territory between the river Danube and the Tatra Mountains. The area of the country is 49,036 km², including agricultural land 24,471 km² (50 %), forest land 19,911 km² (41 %), water area 940 km² (2 %), built-up areas 1,275 km² (3 %) and other areas (4 %).

The climate in Slovakia is influenced predominantly by its position in the Central Europe, by the topography of the Western Carpathian mountains and the Alps and by the prevailing western zonal atmospheric circulation. The south-western and southern parts of the country belong to the moderate climate region with mild winters and the remaining part to moderate climate region with colder winters (mean January temperature $T < -3$ °C). The mean January temperatures range from -1 °C in the Danube lowlands to -12 °C on the top of the Tatra Mountains. Mean July temperatures exceed 20 °C in the Slovak lowlands, while at the elevations of 1000 m a.s.l. they reach about 14 °C. Southern Slovakia receives about 2000 hours of bright sunshine each year, while the north-west of the country receives only 1600 hours. Mean annual precipitation for the whole territory of Slovakia is 748 mm of which 65 % is evaporated and 35 % represent runoff. The smallest mean precipitation totals (550 mm annually) are observed in the Danube lowlands, while in the highest elevations of the Carpathians they usually exceed 1500 mm.

Most climate elements in this region are of high variability, mainly in the winter and spring seasons. The areal mean standard deviation (σ of monthly air temperature means (T) is 2.95 °C in January and 1.22 °C in August, the σ at monthly precipitation totals (R) varies by about 75 % of monthly R means in October and by about 50 % in June (in the mountains by about 60 % in winter months, and by about 40 % in June). Snowcover in winter is stable for more than one month only in altitudes above 300 m a.s.l.

Figures 2 and 3 show trends and values of individual years for annual and vegetation period's (April - September) air temperature means (T), April - September precipitation totals (R) and relative air humidity means (U) at the Hurbanovo observatory (115 m a.s.l.), representing the lowlands in the southern Slovakia. Occurrence of exceptional means and totals (extremes) in the 1981 - 1995 period was more frequent than before 1981. The similar trends were calculated for the other climatic elements and stations in Slovakia.

Method and Preliminary Results

The most probable increase of mean global annual air temperature by about 1 - 2 °C in 2025 was presented in SWCC [1] in 1990 and by about 2.5 °C in 2075 (CO₂ doubling) follows from the IPCC assessments [2,12]. Scenarios of T , R and solar radiation change can be calculated according to GCMs outputs. Other elements change scenarios have to be prepared by various analytical methods (some preliminary assessments of air temperature rise impacts upon precipitation, relative air humidity (U), air temperature daily range and snow cover changes in Slovakia were presented in the Slovak National Climate Programme (NCP) reports from 1991 to 1994 [7]). As a next step there were prepared T and R change scenarios based on GCMs out-

puts (GISS, CCCM and GFD3) in 1995 and there are planned to be prepared several updated alternative regional T, R, U, snow cover and other elements change scenarios based on GCMs outputs and historical climate change analogues (relatively warmer periods since 1871, analysis of atmospheric circulation change (influence of the topography), correlation and trend analyses) and "incremental climate change scenarios". The regional air temperature rise and precipitation regime change scenarios are prepared by assistance of US experts (US Country Studies Project [12]). In this paper a summary of NCP results, a review of GCMs outputs regional modification and a review of method considered at "combined scenarios" are presented.

1. GCMs Outputs Regional Modification

The Slovak Republic's Country Study (C.S.) team obtained from the U.S. Country Studies Program (NCAR, Boulder, January 1995) the model runs of five General Circulation Models (GCMs) - GISS, CCC (CCCM), UKMO (UK89), GFDL-T (GF01) and GFDL-30 (GFD3). This package contains monthly means of air temperature, precipitation totals and downward solar radiation at the surface in grids with horizontal resolution from $2.22^\circ \times 3.75^\circ$ (GFD3) to $7.83^\circ \times 10^\circ$ (GISS) and some additional data (CLIM data - long term means for measured air temperature and precipitation, elevation of gridpoints etc.). The main task of the Slovak Republic's C.S. team was to select at least 2 GCMs models where $1 \times \text{CO}_2$ outputs are comparable with long term means of the 1951-1980 period in Slovakia and to modify the $2 \times \text{CO}_2$ air temperature and precipitation change scenarios for the all territory of Slovakia. The next task was to calculate climate change scenarios for the years 2075 ($2 \times \text{CO}_2$), 2030 and 2010. Finally, the selection of GCMs for Slovakia was as follows:

CCCM and GISS (air temperature $1 \times \text{CO}_2$ results fit better than precipitation ones), GFD3 (precipitation $1 \times \text{CO}_2$ results fit much better than air temperature ones). The $1 \times \text{CO}_2$ outputs of these GCMs are not possible to be used as long term means for 1951-1980 period in any case.

2. "Combined" GCMs - Analogues Regional Scenarios

a) Mean global annual warming by 2.5°C is expected in 2075 (CO_2 doubling) [2,12]. At least two alternative scenarios of T change should be considered (high and low estimate), so we proposed to take into account the $1 - 2^\circ \text{C}$ warming for 2025 (as it was used in the past [3, 4]) and $2 - 3^\circ \text{C}$ for 2075 time frame without areal resolution in Slovakia. The range of accepted GCMs (GISS, CCCM and GFD3) scenarios for Slovakia and 2075 time frame represents 3.4 to 4.3°C of mean annual T increase. This range of mean annual warming is proposed as the main annual T scenarios base for the 2075 time frame.

b) Annual course of T scenarios for different time frames can be adopted from GCMs regional modification (Table 1) using the linear interpolation method, or can be modified according to the warmer periods analysis and according to the annual course of standard deviation σ .

c) The GCMs scenarios of monthly precipitation totals (R) are rather uncertain (wide range of R change at different GCMs outputs) for Slovakia (Figure 8, Table 2). Generally can be recognised that there is a tendency of precipitation increase in all Slovakia in winter and decrease in southern Slovakia in the vegetation period (from April to September). The analysis of warmer periods showed a similar tendency at time series for 15 stations (Figure 16). Change of precipitation totals was calculated according to the scenario of air temperature change in each month. Scenarios of R and T based on warm periods as well as scenarios of R based on correlation analysis and scenarios of T based on standard deviation are considered as internally consistent. The sample of correlation analysis of precipitation totals and air temperature changes for 4 stations in Slovakia and the 1901-1994 period is shown in the Table 4. The decrease of R is in a close correlation with increase of T in all Slovakia for July, Summer and vegetation period.

d) The correlation analysis of other climatic elements change with air temperature (T) and with T and R changes is one of the possible means for analogues scenarios calculation. A very close correlation was found between T rise, or R decrease and relative air humidity (U) decrease in the vegetation period (example is in the Figure 21), between air temperature rise and snow cover decrease in winter (Figure 22) etc. The incremental increase of air temperature and change of precipitation lead directly to certain change of other climatic elements. Scenarios of T rise and R change based on GCMs and calculated as "combined" ones are possible to be used in this method.

e) Substantial atmospheric circulation change can modify the topography influence upon precipitation and consequently upon some other climatic elements in the high mountainous areas, this is why the stationarity of atmospheric circulation should be evaluated. Limited results of atmospheric circulation change analysis are presented in the Figures 23 as an example.

*NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY*

*NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC*

**APLIKÁCIA METÓD
DENDROKLIMATOLÓGIE VO VÝSKUME
RASTOVÝCH REAKCIÍ LESNÝCH DREVÍN
NA PREDPOKLADANÉ KLIMATICKÉ
ZMENY**

Riešiteľ:	Ing. Ján Ďurský, CSc., Lesnícka fakulta, Technická univerzita, Zvolen
Projekt:	MŽP SR Výskum zmien kvality ovzdušia, klimatické zmeny a narušovanie ochranných vlastností atmosféry - NKP SR
Zadávatel:	Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava
Lektor:	RNDr. Ing. Jozef Mindáš, Lesnícky výskumný ústav, Zvolen

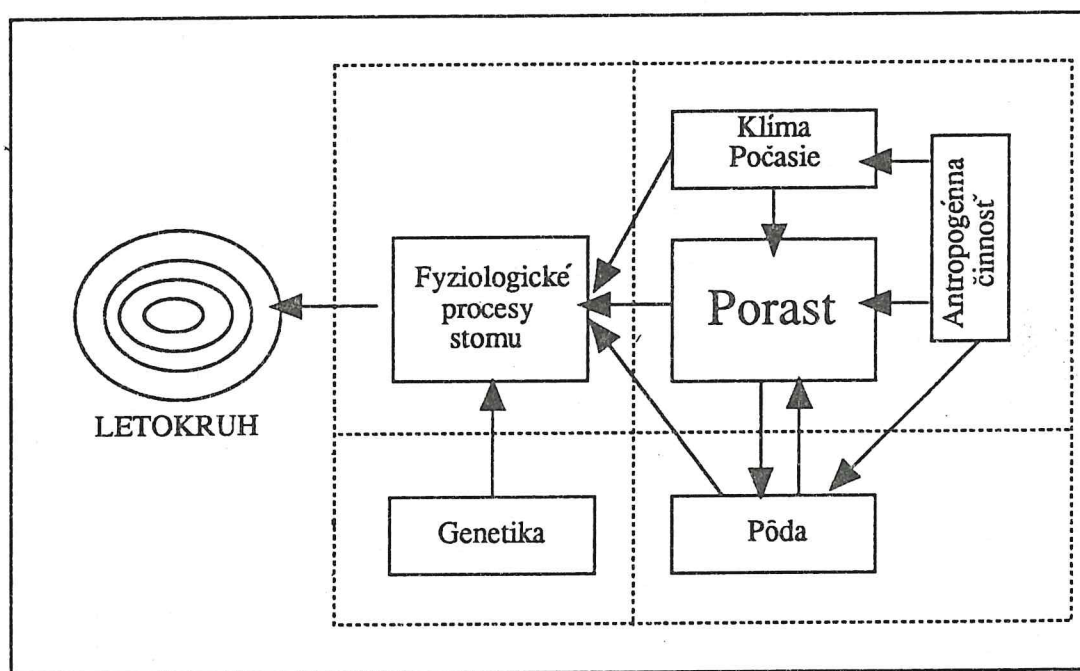
APLIKÁCIA METÓD DENDROKLIMATOLÓGIE VO VÝSKUME RASTOVÝCH REAKCIÍ LESNÝCH DREVÍN NA PREDPOKLADANÉ KLIMATICKÉ ZMENY

Ján Ď u r s k ý

Lesnícka fakulta, Technická univerzita, Zvolen

1. ÚVOD

Les zohráva pre ochranu životného prostredia a aj ako jeho indikátor veľmi dôležitú úlohu. Podmienky životného prostredia ovplyvňujú les predovšetkým na úrovni fyziologických procesov, ktoré sa prejavujú aj štrukturálnymi zmenami. Najčastejšie sú to pozorovateľné a merateľné morfológické zmeny asimilačných orgánov, ročných výhonkov, letokruhov, veľkosti buniek, hrúbky bunkových stien ai. Ročný prírastok, uložený v podobe letokruhov je jedným z najlepších ukazovateľov vzťahu medzi prostredím a rastom. Na základe takto uložených informácií ("databázy") je možné robiť retrospektívne analýzy o podmienkach prostredia a o ich zmenách. Základný vzťah medzi letokruhovou štruktúrou a podmienkami prostredia zachytáva obr. 1.



Obr. 1 Schematické zobrazenie vzťahu medzi letokruhom a rastovými faktormi podľa (YUE 1994)

Vedná disciplína, ktorá sa zaoberá skúmaním vzťahu medzi šírkou letokruhu, faktormi ovplyvňujúcimi jeho formovanie a datovaním jeho vzniku sa nazýva dendrochronológia. Dendrochronológia nachádza uplatnenie v mnohých vedných disciplínach (histórii, archeológii, kriminalistike, geomorfológii, lesníctve ai.), no v poslednom čase hlavne v klimatológii a ekológii. Možno tak hovoriť o dendroklimatológii a dendroekológii. Za nosné práce v tejto oblasti možno považovať diela FRITSS (1976), SCHWEINGRUBER (1983, 1988, 1993), KAIRUKŠTIS et al. (1987), COOK-KAIRUKŠTIS (1990), BRADLEY-JONS (1992), JACOBY-HORNBECK (1987) a BARTHOLIN et al. (1992).

Táto práca prináša poznatky o aplikácii dendrochronológie pri skúmaní globálnych zmien atmosféry so zameraním na:

- zistenie rastových reakcií smreka v oblasti Horná Orava na predpokladané klimatické zmeny podľa scenárov k roku 2030,
- preverenie možnosti použitia dendroklimatických modelov pri kvantifikácii vplyvu možných klimatických zmien na rastový proces jednotlivých stromov,
- analýzu vplyvu rôznych stanovištných faktorov na veľkosť spomínaných možných rastových reakcií smreka.

Ako pracovnú metódu táto práca využíva dendroklimatické modelovanie (FRITTS 1976), ktoré je založené na báze mnohonásobného regresného vzťahu medzi základnými klimatickými faktormi (priemerné mesačné teploty a mesačné úhny zrážok) a hrúbkovým, resp. radiálnym prírastkom.

2. PROBLEMATIKA

2.1 Základné princípy získavania informácií v dendrochronológii

Informácie z letokruhových štruktúr sú v dendroklimatológii a dendroekológii väčšinou vzťahnuté na väčší základný súbor, preto ako základný princíp výberu stromov k letokruhovým analýzám možno použiť:

- a) zákon limitujúcich faktorov (SCHWEINGRUBER 1983)
- b) štatistický výber (RIEMER 1994).

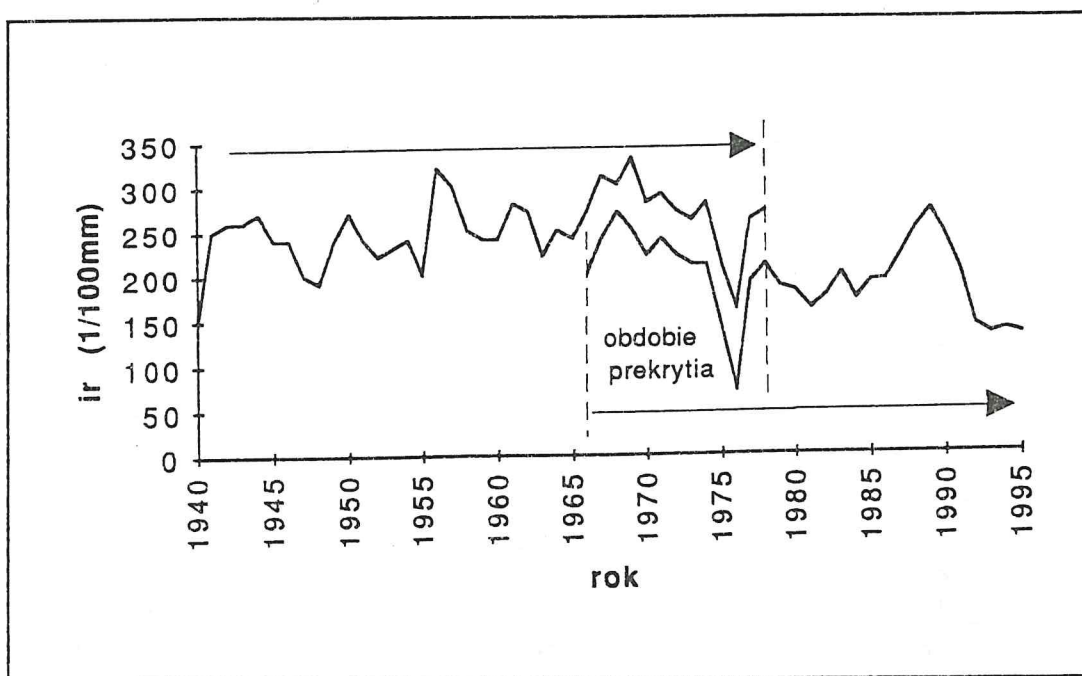
Rozsah empirického materiálu je potom závislý na presnosti požadovaných výsledkov, variabilite podmienok prostredia, času a finančných prostriedkov určených na daný cieľ.

Základným prostriedkom letokruhovej analýzy je buď vývrtová metóda, alebo kmeňová analýza. Následné meranie šírky letokruhov sa najčastejšie uskutočňuje opticky pomocou poloautomatických a plnoautomatických pozíciometrov s presnosťou na 1/100 mm (SLOBODA 1992). S novým princípom pracuje "Densitomat" (RINN 1989) a počítačová tomografia (ONOE 1987).

Pre sledovanie ďalších letokruhových štruktúr existujú špeciálne zariadenia. Rádiodenzitometer (LENZ et al. 1976) umožňuje merať hustotu dreva v priebehu roka, obrazová analýza (SASS 1993) napríklad zisťovať počet, veľkosť a rozdelenie drevných pletív a mikrodendrometer (VOGEL-WÄTZIG 1992) zasa precízne meranie hrúbkového rastu počas dňa a celej vegetačnej periódy.

Významné postavenie v dendrochronológii majú metódy datovania letokruhových sérií, ktoré možno rozdeliť do dvoch skupín:

1. Datovanie na základe tzv. typických rokov. Toto sa môže uskutočniť buď priamo na vzorkách dreva, alebo pomocou metódy "Skeleton-Plot".
2. Krížové datovanie na meraných letokruhových sériách. Toto sa uskutočňuje hľadaním synchronnej polohy (synchronizáciou) dvoch letokruhových diagramov, a to buď prostriedkami optickými, deskriptívnej štatistiky (Pearsonov korelačný koeficient, percento protibežnosti) alebo štatistickými testami. Princíp tejto metódy je zobrazený na obr. 2.



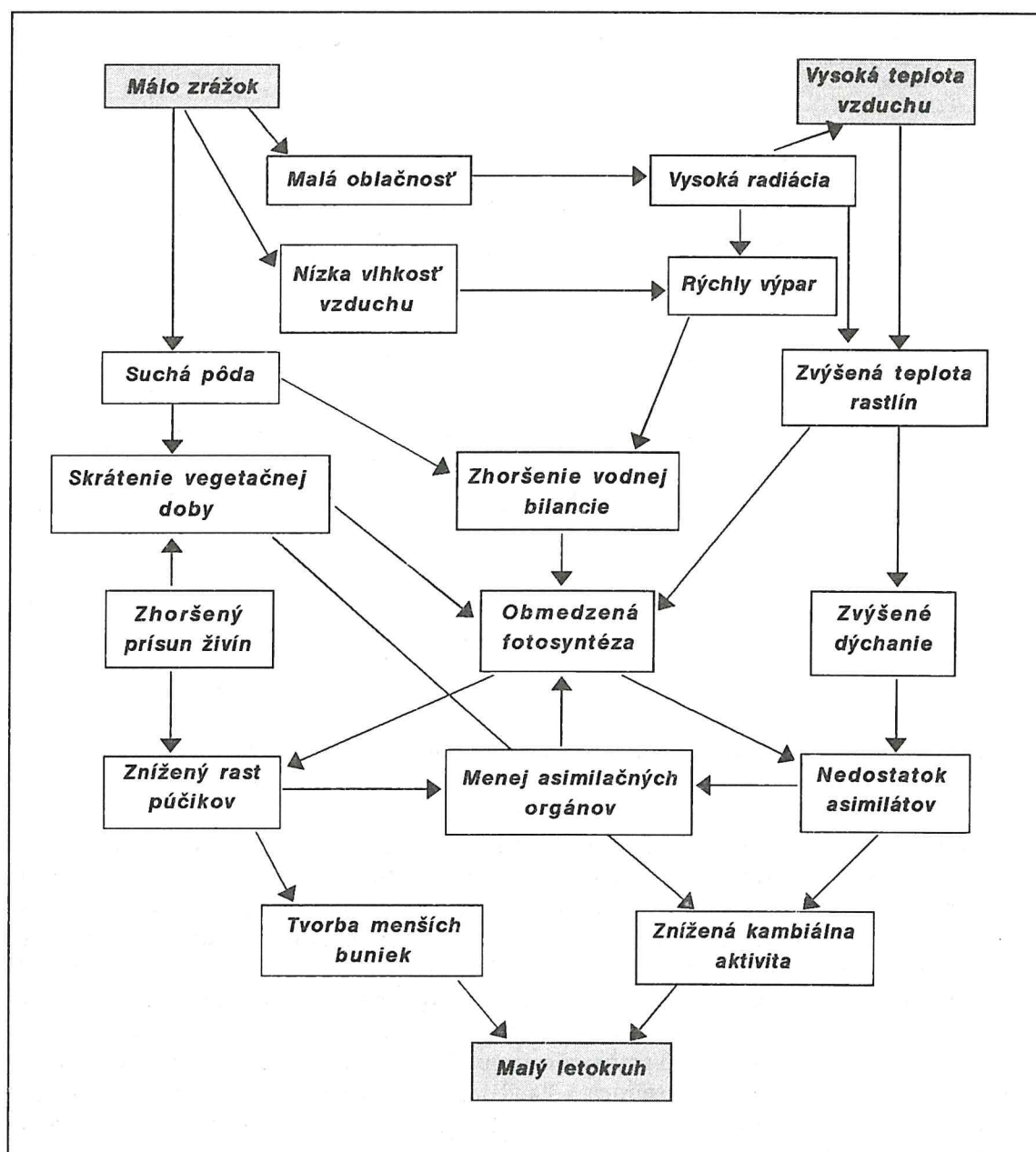
Obr. 2 Synchronizácia dvoch letokruhových diagramov

Dendroekológia a dendroklimatológia musia zákonite okrem dát o letokruhových štruktúrach pracovať aj s inými stromovými, stanovištnými a klimatickými informáciami. K dôležitým stromovým charakteristikám patria: geografická poloha, druh dreviny, kmeňové a korunové parametre, vek, biosociologické postavenie a individuálne poškodenie. Za základné stanovištné charakteristiky sa považujú: typ stanovišťa (pôdny, geologický, fytocenologický) a jeho veľkosť, sklon svahu, expozícia, porastová štruktúra, prirodzené negatívne faktory a hospodárske zásahy človeka. K základným klimatickým informáciám, ktoré sa získavajú najčastejšie kooperáciou s meteorologickou službou patria priemerné mesačné teploty a mesačné úhny zrážok. V dendroklimatológii sa ich homogenizácii a štandardizácii venuje veľká pozornosť a je vypracovaných viacero štatistických postupov (predovšetkým na princípe regresnej analýzy a analýzy variancie) na kontrolu ich spoľahlivosti.

2.2 Letokruh, klíma a počasie

Už v 15. storočí uskutočnil Leonardo da Vinci (SCHWEINGRUBER 1988) sledovanie vzťahu medzi šírkou letokruhu a množstvom zrážok počas vegetačnej periódy. Ku koncu 19. a začiatku 20. storočia možno datovať prelomové práce Hartiga a Douglasa (SCHWEINGRUBER 1983), ktoré položili základy modernej dendrochronológie a snažili sa vysvetliť vzťah medzi šírkou letokruhu a vonkajšími faktormi, predovšetkým klímou.

V zjednodušenej podobe je reakčný mechanizmus hrúbkového rastu na dva najzákladnejšie komponenty klímy (zrážky - teplota) zachytený na obr. 3. Z neho vyplýva, že existuje celý rad reťazcov medzi pôsobiacimi faktormi a receptormi stromu, t.j. že reakčný mechanizmus stromu sa môže rôzne kombinovať a prekryvať.



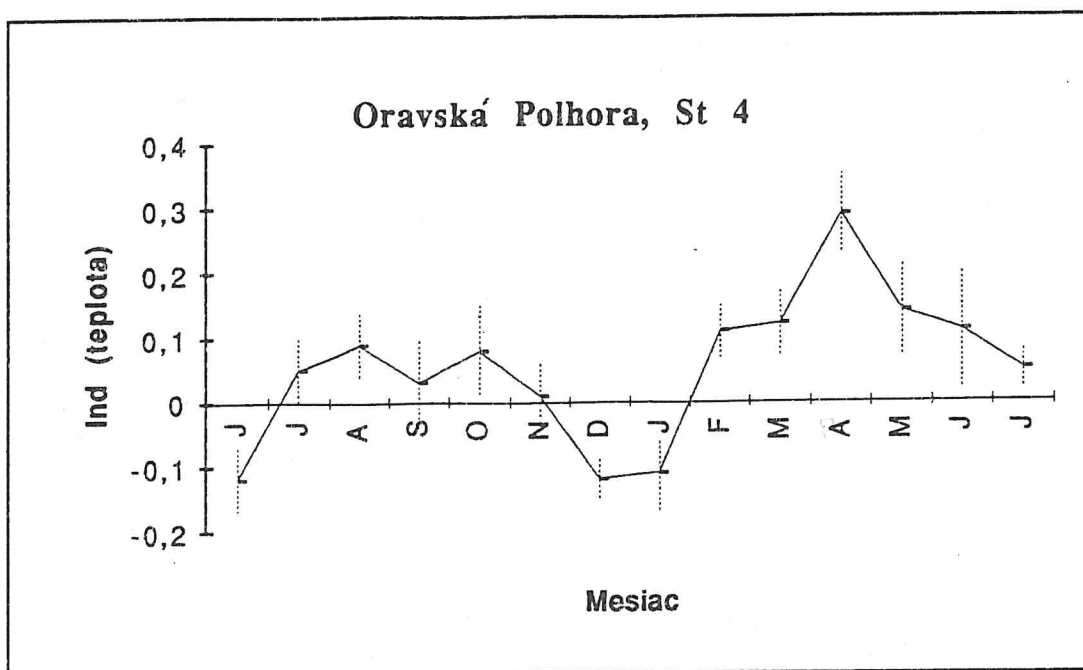
Obr. 3 Reakčný mechanizmus vytvárania letokruhu v závislosti od teploty a zrážok (podľa FRITTS 1976)

Cieľom dendroklimatológie je zisťovať vzťah medzi parametrami letokruhov a klimatickými faktormi. Pre tento účel sa najčastejšie vyberajú stromy zo starších porastov a na zlých stanovištiach, pretože takéto stromy reagujú na klimatické javy veľmi citlivo. Aby sa ostatné faktory (neklimatické) eliminovali, dendrochronologické rady sú zostavené stanovištne špecificky a sú štandardizované do indexovej polohy (vylúčenie vplyvu vekového trendu). Na tomto základe sa potom skúma vzťah medzi letokruhovými parametrami (šírka letokruhu, maximálna hustota, podiel jarného dreva atď.) a faktormi klímy (zrážky, teplota atď.) pomocou tzv. response-function (FRITTS 1976). Pri optimálnych stanovištných a klimatických podmienkach je "response-function" možné použiť len vtedy, ak medzi šírkou letokruhu a klimatickými premennými existuje lineárny vzťah.

Ako klimatické premenné sa nepoužívajú len teplota a zrážky, ale aj oblačnosť, vlhkosť, sila vetra, dĺžka slnečného svitu, tlak vzduchu atď. Tieto faktory pôsobia na prírastok kombinovaným spôsobom, preto sa dopredu selektívne nevylučujú, ale sa na ich redukciu používajú viac-rozmerné štatistické analýzy (analýza hlavných komponentov, faktorová analýza) alebo sa vytvárajú klimatické indexy (napr. PDSI - Palmer Drought Severity Index). Ako dodatočné informácie sa často používajú kvantifikované faktory pôdnej vlhky a ak ide o zisťovanie na stromoch v lesných porastoch, tak aj chronológia hospodárskych zásahov (predovšetkým prebierky a vyvetvovanie).

Z výpočtov "response-function" je možné zostaviť prehľadné grafické zostavy (obr. 4), z ktorých je možné zistiť:

- zmysel (kladný alebo záporný) vplyvu faktora na formovanie prírastku,
- veľkosť vplyvu (vyjadrená parciálnym korekčným koeficientom),
- štatistickú signifikantnosť vplyvu (interval spoľahlivosti pri $P = 95 \%$).



Obr. 4 Príklad grafickej interpretácie tzv. response-function

V centre pozornosti výsledkov je však dendroklimatický model (matematicko-štatistický tvar), ktorý umožňuje prognózovať rastový proces (vytváranie letokruhu) v závislosti od klimatických premenných.

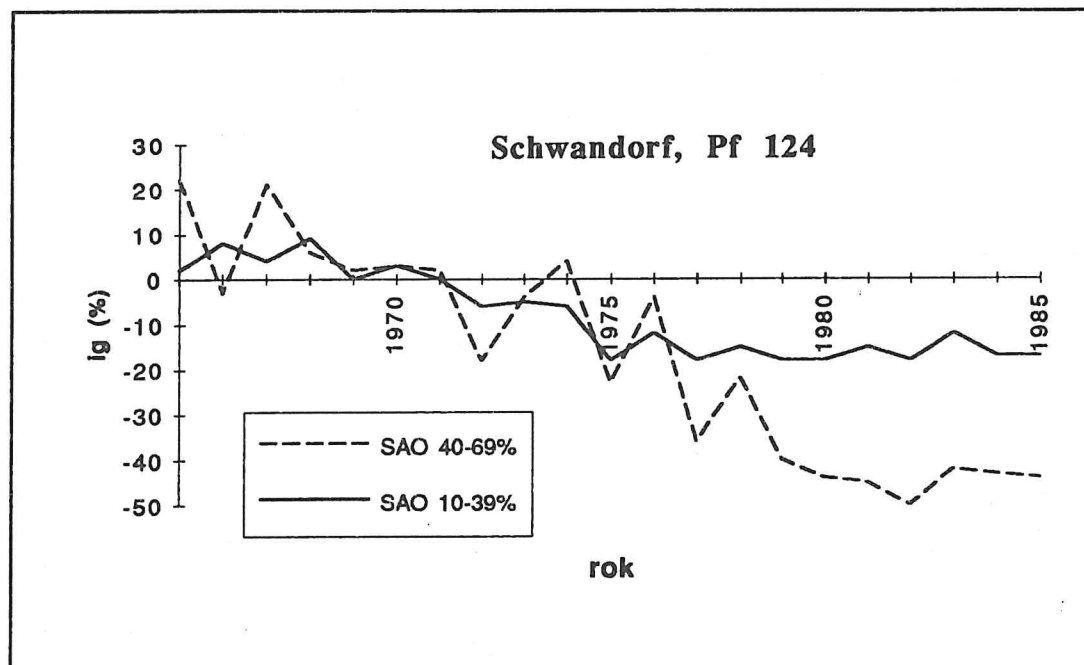
2.3 Rastové reakcie lesných drevín na zmeny chemizmu atmosféry

Problém vplyvu "znečistenia" atmosféry na rastový proces lesných porastov je starý skoro celé storočie. Už prvé práce, sledujúce tento problém, poukazujú na negatívny vplyv "továrenského dymu" na lesné porasty, zvlášť na veľkosť ich prírastku.

Vznikol celý rad metód na kvantifikáciu vplyvu imisií na prírastok lesných drevín (ĎURSKÝ 1993), no ešte aj dnes nemožno povedať, že existuje akási univerzálna metóda, ktorá všetko odhalí. Trend však smeruje k metódam jednotlivito stromovým, založených na kauzálnych rastových súvislostiach, využívajúcich v značnej miere štatistické metódy a k tvorbe rastového modelu.

Z literárneho prehľadu výsledkov však možno urobiť nasledovné závery (FRANZ-PRETZSCH 1988, RÖHLE 1987, UTSCHIG 1989 ai.):

1. Existuje kauzálna závislosť medzi stratou asimilačných orgánov - SAO (vplyv imisií) a veľkosťou radiálneho, resp. objemového prírastku stromov, ktorá sa prejavuje vo všeobecnosti znížovaním prírastku (obr. 5).



Obr. 5 Príklad priebehu radiálneho prírastku zdravých a imisiami poškodených stromov podľa FRANZA-PRETZSCHA 1988

2. Signifikantný vplyv straty asimilačných orgánov na rastový proces sa prejavuje pri SAO väčšej ako 40-50 %.
3. Vzťah medzi SAO a prírastkom je druhovo, časovo a stanovištné špecifický.
4. Negatívny vplyv imisií sa okrem znížovania prírastku prejavuje aj v zmene pomeru medzi jarným a letným drevom letokruhu, zmene podielu tracheíd a zmenšovaním ich dĺžky, v stenčovaní bunkových stien drevných pletív ai., čo má za následok zmeny v kvalitatívnej štruktúre dreva.
5. Atmosférické znečistenie môže na určitých stanovištiach (predovšetkým chudobných) viesť k zvýšeniu celkovej objemovej produkcie (ide o tzv. atmosférické hnojenie).

Súčasný trend výskumu produkcie lesa pod vplyvom imisií ústi ku komplexnému ekofyziologickému výskumu a zameriava sa na objasnenie mechanizmu vplyvu škodlivých činiteľov na základné životné procesy lesných drevín.

3. EMPIRICKÝ MATERIÁL

Empirický materiál použitý v tejto práci je viazaný na územie lesného hospodárskeho celku (LHC) Oravská Polhora, čo predstavuje cca 7 000 ha lesa. Uvedené územie patrí z orografického hľadiska do Kysucko-Oravských Beskýd. Najrozšírenejším pôdnym typom je hnedá lesná pôda (77 %) a podzol (15 %). V dôsledku geomorfologickej stavby Slovenských Beskýd v smere západ-východ prevládajú južné expozície. Územie LHC patrí do flyšovej oblasti, ktorá je charakteristická miernymi oblými reliéfmi.

Územie regiónu je značne orograficky členené, čo má priamy vplyv aj na rozloženie klimatických charakteristík, najmä vo vzťahu k nadmorskej výške. Priemerná mesačná teplota sa pohybuje zhruba od hodnoty 5,6 °C (okrajové časti Oravskej kotliny) po 0,8 °C (vrcholové časti Babej hory a Pilska). Priemerné júlové teploty sa pohybujú v rozmedzí 9,6 do 15,1 °C. Ročné úhmy zrážok sa pohybujú od 800 do 2 000 mm v závislosti od nadmorskej výšky a expozície svahov. Najvyššie úhmy pripadajú na jún a júl a najnižšie na február a marec.

3.1 Radiálny prírastok

Zisťovaný bol na trvalých monitorovacích plochách (TMP) založených v pravidelnej sieti 1x1 km, a to celkovo na 84 stromoch. Využila sa pritom vývrtová metóda použitím Presslerovho nebožieca. Radiálny prírastok sa odvodil z meranej šírky letokruhov pri dodržaní všetkých základných princípov letokruhových analýz (transport a opracovanie vývrtov, presnosť merania, synchronizácia letokruhových diagramov).

Na stromoch, z ktorých sa odobrali vývrty, sa ďalej meraním alebo okulárnym odhadom zisťovali tieto biometrické veličiny: drevina, biosociologické postavenie, hrúbka $d_{1,3}$, poškodenie kmeňa, poškodenie asimilačných orgánov, výška stromu, dĺžka a šírka koruny, charakterizoval sa bezprostredný rastový priestor daného stromu a doba uvoľnenia stromu ťažbou.

Pre celú monitorovaciu plochu sa určili hlavné porastové charakteristiky a charakteristiky prostredia.

Podrobnejšia charakteristika systému založenia TMP a zisťovania radiálneho prírastku, ako aj jeho širšej charakteristiky je v práci ŠMELKO-SCHEER (1993).

3.2 Klimatické charakteristiky

Klimatické charakteristiky (priemerné mesačné teploty a mesačné úhmy zrážok) boli získané z meraní na meteorologickej stanici Oravská Polhora. Klimatický rad bol zostavený pre obdobie rokov 1932-1991.

4. KONŠTRUKCIA DENDROKLIMATICKÉHO MODELU

Dendroklimatický model bol zostavený ako jednotlivo stromový, do ktorého ako nezávislé premenné vstupovali štatisticky signifikatne na prírastok pôsobiace priemerné mesačné teploty ($T_1, \dots, T_{14}$) a mesačné úhmy zrážok ($Z_1, \dots, Z_{14}$) od júna predchádzajúceho roka do augusta bežného roka, teda 28 premenných.

Rastový rad (nezávislá premenná) predstavovali relativizované (uskutočnená indexácia) a transformačné (uskutočnené vylúčenie vplyvu autokorelácie) hodnoty radiálneho prírastku.

Predpokladané klimatické charakteristiky roku 2030 predstavuje scenár popísaný podrobne v práci LAPIN et al. (1993).

Východiskový stav sa dá teda znázorniť nasledovnou schémou:

$$\begin{array}{c} R_m \text{ --- } > \text{F-test --- } > {}_1R_s \\ \\ (s < m) \\ \\ {}_mK_{n-1} \text{ ---} > {}_sK_{n-1} \end{array}$$

kde: ${}_1I_n$ vektor transformačných letokruhovových indexov
 ${}_mK_n$... matica klimatických premenných

Parametrizácia modelu, t.j. zistenie vektora regresných koeficientov (${}_1R_m$) sa uskutočnila za obdobie 1932-1980. Predpokladá sa, že je to obdobie "bez" vplyvu globálnych klimatických zmien. Proces parametrizácie sa dá vyjadriť nasledovným vzťahom:

$${}_1I_{n-1} = {}_1R_m * {}_mK_{n-1}. \quad (1)$$

V ďalšom kroku sa redukoval počet klimatických faktorov iba na štatisticky významný počet (s), o ktorých môžeme povedať (P = 68 %), že ovplyvňujú tvorbu hrúbkového prírastku. Vlastná redukcia sa uskutočnila F-testom významnosti regresných koeficientov:

$$R_m \text{ ---} > \text{F - test ---} > {}_1R_s, \quad (2)$$

$$(s < m)$$

$${}_mK_{n-1} \text{ ---} > {}_sK_{n-1}. \quad (3)$$

Dendroklimatický model potom možno formulovať nasledovne:

$${}_1I(\text{PROG})_n = {}_1R_s \cdot {}_sK_n, \quad (4)$$

pričom ${}_1I(\text{PROG})_n$... je vektor prognózovaného prírastku. Model bol zostavený ako jednotlivo stromový, t.j. pre každý strom osobitne.

Príklad priebehu skutočného a prognózovaného prírastku podľa modelu (4) uvádza obr. 6.

5. VÝSLEDKY

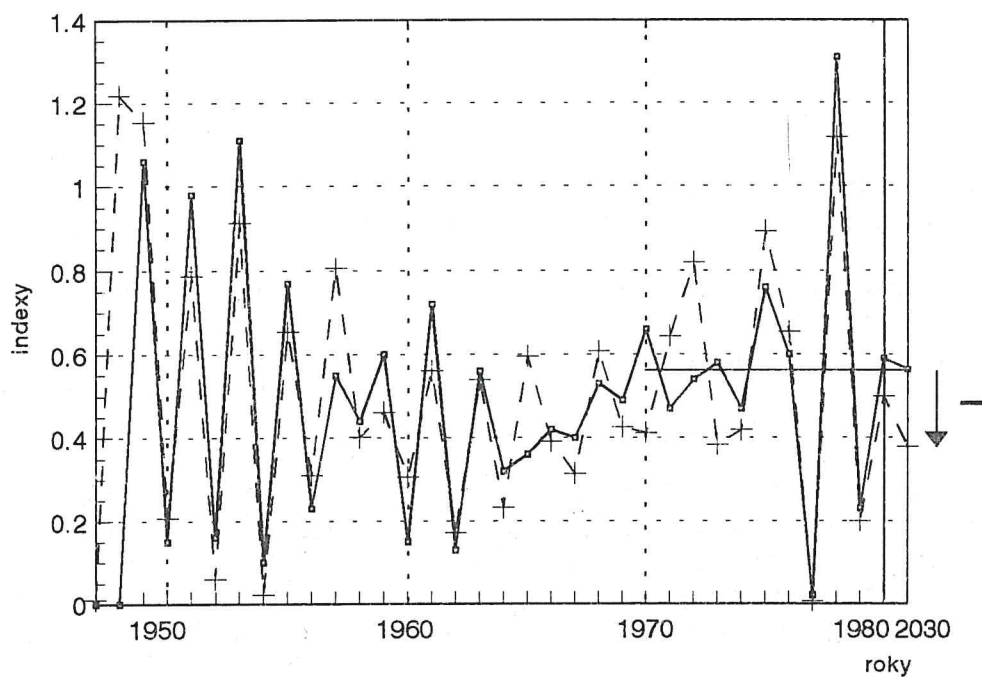
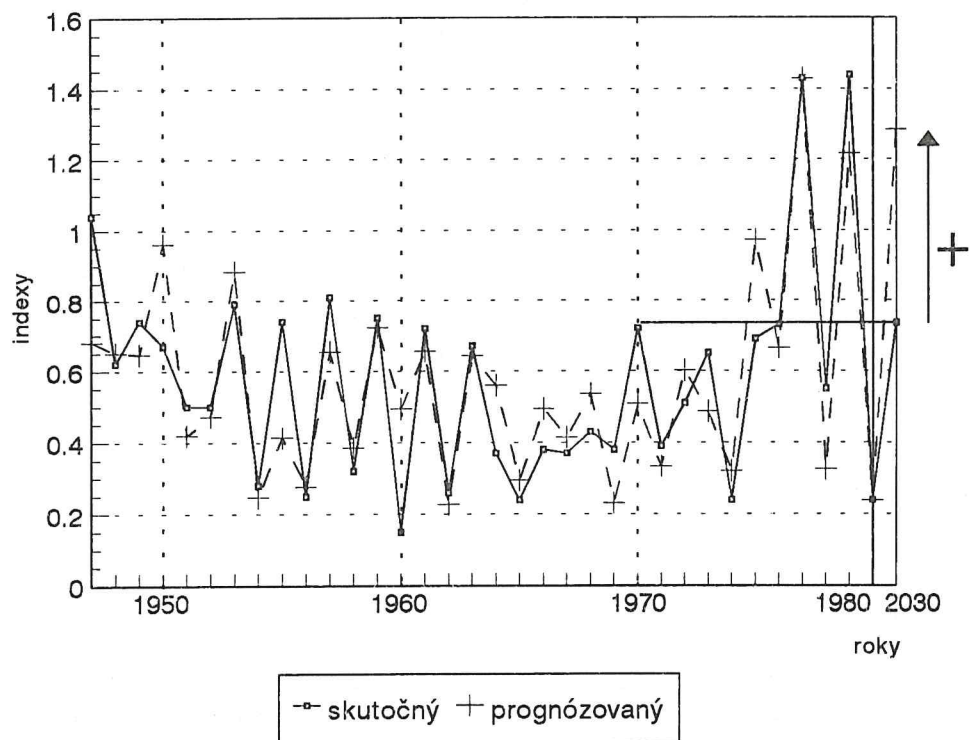
5.1 Kvantifikácia prírastkových zmien

Na základe prognózovaného prírastku k roku 2030 ($i_{(2030)}$) podľa modelu (4) a priemerného prírastku v referenčnom období rokov 1971-1980 ($i_{(ref)}$) sa vypočítali absolútne ($i_{(dif)}$) a relatívne ($i_{(dif\%)}$) diferencie prírastku:

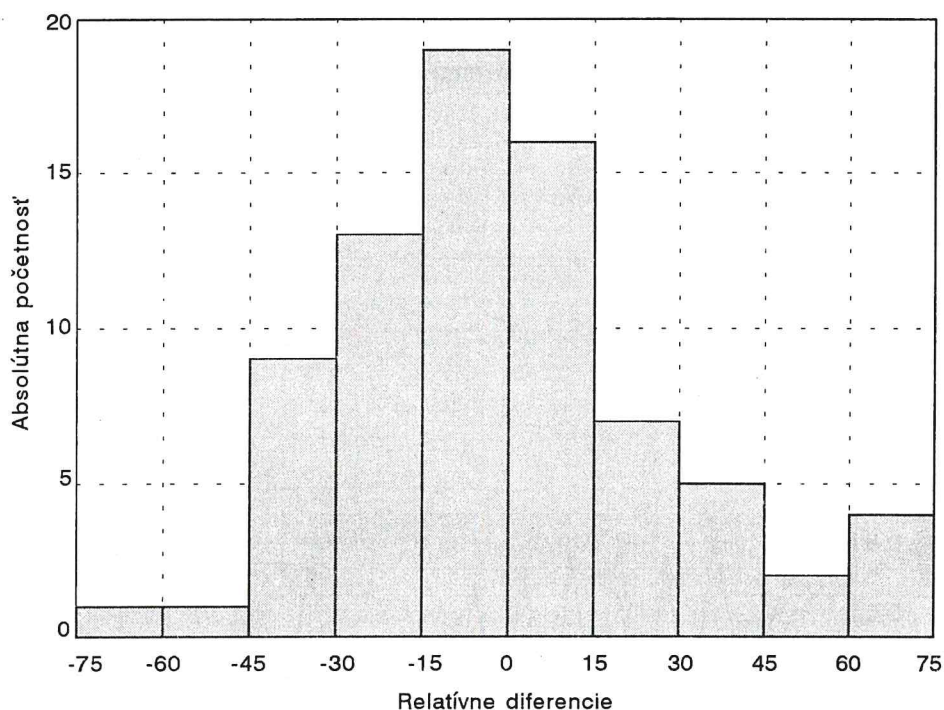
$$i_{(dif)} = i_{(2030)} - i_{(ref)}, \quad (5)$$

$$i_{\text{dif}\%} = (i_{\text{dif}} / i_{\text{ref}}) \cdot 100. \quad (6)$$

Tieto diferencie predstavujú rastové reakcie stromu na predpokladané klimatické zmeny. Ich frekvenčná analýza je zachytená na obr. 7.



Obr. 6 Príklad kladnej a zápornej prírastkovej reakcie na predpokladanú zmenu klímy k roku 2030



Obr. 7 Frekvenčný histogram relatívnych diferencií $i_{(dif\%)}$

Z uvedenej frekvenčnej analýzy vyplýva, že cca 56 % stromov by reagovalo na predpokladané klimatické zmeny záporne, t.j. znížením prírastku a cca 44 % stromov zvýšením prírastku. Frekvenčný histogram sa dá charakterizovať ako ľavostranne asymetrický, s $\bar{x} = -1,24 \%$ a $s_x = \pm 28,3 \%$. Veľká variabilita reakcií vyplýva zo stanovištno značne diferencovaného územia, preto sa v ďalšom kroku sledovala závislosť rastových reakcií (diferencií) od rôznych stanovištných faktorov.

5.2 Závislosť rastových reakcií od rôznych stanovištných faktorov

Závislosť relatívnych diferencií od rôznych faktorov sa sledovala analýzou variancie a následným viacnásobným LSD - testom štatistickej významnosti rozdielu jednotlivých úrovní faktora.

Už predbežná analýza diferencií ($i_{(dif\%)}$) v závislosti od ekologických skupín stromov (ESS), ktoré boli vytvorené zhľukovou analýzou priebehu prírastku v rokoch 1940 - 1970, ukázala (tab. 1), že je medzi nimi v prírastkových reakciách na klímu r. 2030 rozdiel, vcelku však nie signifikantný ($\alpha = 0,486$). Preto sa ďalej analyzovali základné komponenty prostredia, ktoré mohli mať na zhľukovanie skupín stromov najväčší význam.

Na hladine významnosti ($\alpha = 0,05$) sa ukázal významný vplyv expozície stanovišťa. Rozdiely v diferenciách podľa expozície stanovišťa udáva tab. 2. Z nej vyplýva, že zníženie prírastku sa signifikantne prejaví na severozápadných, severných a západných expozíciách. Naopak, vzrast prírastku je badateľný na východných expozíciách, menej už na južných a juhozápadných. Tento výsledok vlastne potvrdzuje už známe poznatky z bioklimatológie o vplyve expozície na základné klimatické faktory.

Tab. 1 Analýza relatívnych diferencií v závislosti od ekologických skupín stromov

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	Sig. level
MAIN EFFECTS	3619,8119	5	723,96238	0,4855
ESS	3619,8119	5	723,96238	0,4855
RESIDUAL	57057,089	71	803,62098	
TOTAL (CORR.)	60676,901	76		
Multiple range analysis for RELAT.DIFERENCIA by ESS				
Method: 68 Percent LSD Intervals				
Level	Count	Average	Homogeneous Groups	
set B	29	-7,549886	*	
set D	26	-1,384177	**	
set A	8	0,866988	***	
set E	7	5,861786	**	
set F	5	15,0921	*	
set C	2	18,0265	**	

Tab. 2 Analýza relatívnych diferencií v závislosti od expozície

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	Sig. level
MAIN EFFECTS	16270,96	8	2033,87	0,0047
EXP	16270,96	8	2033,87	0,0047
RESIDUAL	44405,941	68	653,02854	
TOTAL (CORR.)	60676,901	76		
Multiple range analysis for RELAT.DIFERENCIA by EXP				
Method: 68 Percent LSD Intervals				
Level	Count	Average	Homogeneous Groups	
SZ	6	-25,101983	*	
s	9	-15,841856	**	
z	5	-14,6165	***	
o	7	-7,836643	***	
jv	6	-2,1614	***	
sv	17	0,288065	**	
jz	6	1,121933	**	
j	13	5,127654	*	
v	8	32,5443	*	

Tab. 3 Analýza relatívnych diferencií v závislosti od nadmorskej výšky

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	Sig. level
MAIN EFFECTS	3300,0531	2	1650,0265	0,1263
NMV	3300,0531	2	1650,0265	0,1263
RESIDUAL	57376,848	74	775,36281	
TOTAL (CORR.)	60676,901	76		
Multiple range analysis for RELAT.DIFERENCIA by NMV				
Method: 68 Percent LSD Intervals				
Level	Count	Average	Homogeneous Groups	
2	35	-7,2368229	*	do 800 m n.m.
1	19	-1,5897421	*	800-1000 m n.m.
3	23	8,1756739	*	nad 1000 m n.m.

Signifikantné rozdiely v diferenciách ($\alpha = 0,126$) sa ukázali aj podľa nadmorskej výšky (tab. 3). Záporné diferencie ($x = -7,3$ %) prevládali v nadmorskej výške od 800 do 1 000 m n.m., vyrovnanosť diferencií sa ukázala v pásme do 800 m n.m. a kladné diferencie ($x = +8,2$ %) prevládali v nadmorských výškach nad 1 000 m n.m.

Tab. 4 Analýza relatívnych diferencií v závislosti od bonity

Source of variation	Sum of Squares	d.f.	Mean square	Sig. level
MAIN EFFECTS	2454,5002	2	1227,2501	0,217
BONITA	2454,5002	2	1227,2501	0,217
RESIDUAL	58222,401	74	786,7892	
TOTAL (CORR.)	60676,901	76		
Multiple range analysis for RELAT.DIFERENCIA by BONITA				
Method: 68 Percent LSD Intervals				
Level	Count	Average	Homogeneous Groups	
3	14	-5,441129	*	AVB nad 3
2	50	-3,28645	*	AVB 24-30
1	13	11,1573	*	AVB do 24

Bonita dreveny (vyjadruje kvalitu stanovišťa z hľadiska produkčných podmienok) sa taktiež ukázala významná ($\alpha = 0,217$) (tab. 4). Záporné diferencie ($x = -5,4\%$) prevládali na najlepších bonitách (potvrdzuje sa známy produkčný poznatok, že bonita stanovišťa, okrem pôdnych podmienok, je ešte vo veľkej miere ovplyvnená zásobovaním prístupnou vodou), stredne kvalitné stanovištia (AVB 24-30) vykazovali kladné aj záporné diferencie a na najhorších bonitách (AVB do 24) dominovali kladné diferencie ($x = +11,1\%$). Posledne spomínaný poznatok súvisí s poklesom bonity v závislosti od nadmorskej výšky, kde pri dostatočnosti zrážok vzrast teploty spôsobí aj vzrast prírastku.

Ďalšie skúmané porastové a stromové charakteristiky už však nepotvrdili významný vplyv:

- | | |
|--|--------------------|
| - mikrozakmenenie (mikrohustota) | $\alpha = 0,419$, |
| - biosociologické postavenie | $\alpha = 0,986$, |
| - súčasný stupeň poškodenia asimilačných orgánov | $\alpha = 0,620$. |

už však nepotvrdili významný vplyv.

6. ZÁVER

Výsledky poukazujú na široké spektrum možných rastových reakcií smreka na predpokladané klimatické zmeny k roku 2030 a na ich stanovištnú závislosť. Podiel stromov s kladnou odozvou na možné klimatické zmeny nemôže byť prekvapujúci, pretože v skúmanej oblasti nie sú limitujúcim faktorom zrážky, ale teplota, ktorej vzrast spôsobí na niektorých stanovištiach vzrast bonity. Analýza záporne reagujúceho materiálu ukázala, že tento je viazaný na špecifiky extrémne stanovištia (predovšetkým pedologicky).

Treba však upozorniť, že výsledky sa vzťahujú iba na jednu drevinu a majú regionálnu platnosť.

LITERATÚRA

- [1] BARTHOLIN, T.S.: *Tree ring and environment. Proc. Int. Dendrochronological Symp. Ystad, South Sweden, 1992, Lundqua Rep. 34, 374 s.*
- [2] BRADLEY, R.S. - JONES, P.D.: *When was the "Little Ice Age"? Proc. Int. Symp. on Little Ice Age Climate. T. Mikami, ed. Dept. of Geography Tokyo, 1992, Metropolitan Univ., 1-4.*
- [3] COOK, E.R. - KAIRUKŠTIS, L.A.: *Methods of Dendrochronology. Applications in the environmental sciences. Kluwer Academic Publisher Dordrecht, Boston, London 1990, 394 s.*
- [4] ĎURSKÝ, J.: *Kvantifikácia prírastkových zmien smreka v oblasti Horná Orava, KDP, Zvolen 1993, 91 s.*
- [5] FRANZ, F. - PRETZSCH, H.: *Zuwachsverhalten und Gesundheitszustand der Waldbestände im Bereich des Braunkohlekraftwerkes Schwandorf. Forstliche Forschungsberichte, München 1988, 92, 156 s.*
- [6] FRITTS, H.C.: *Tree rings and climate. Academic Press, London, New York, San Francisco 1976, 567 s.*
- [7] JACOBY G.C. - HORNBECK, J.W.: *Proc. Int. Symp. on Ecological Aspects of Tree-Ring-Analysis. Tarrytown, New York 1987, 726 s.*
- [8] KAIRUKŠTIS, L. - BEDNARZ, Z. - FELIKSIK, E.: *Methods of dendrochronology. Proc. Task Force Meeting Krakau, 1987, East/West Approaches. Int. Inst. for Applied System Analysis, 319 s.*
- [9] LAPIN, M. et al.: *Upresnenie alternatívnych scenárov zmien základných klimatických prvkov na Slovensku do r. 2035. Priebežná správa z riešenia projektu NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1993, 15 s.*
- [10] LENZ, O. - SCHAER, E. - SCHWEINGRUBER, F.H.: *Methodische Probleme bei der radiographisch-densitometrischen Bestimmung der Dichte und der Jahrringbreiten von Holz. Holzforschung, 1976, 30, s. 114-123.*
- [11] ONOE, M.: *How to Observe Tree-Ring without really Cutting. Proc. Int. Symp. Ecol. Aspects of Tree-Ring Analysis, Tarrytown, New York 1987, s. 666-670.*

- [12] RIEMER, T.: Über die Variant von Jahrringbreiten. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A, Bd 121, Göttingen*, 375 s.
- [13] RINN, F.: Eine neue Methode zur Messung von Jahrringparametern. *Diplomarbeit, Heidelberg*, 85 s.
- [14] RÖHLE, H.: Entwicklung von Vitalität Zuwachs und Biomassenstruktur der Fichte in verschiedenen bayerischen Untersuchungsgebieten unter dem Einfluß der neuartigen Walderkrankungen. *Forstl. For. Berichte, München 1987, 83*, 112 s.
- [15] SASS, V.: Die Gefäße der Buche als Ökologische Variable. *Dissertation, Hamburg 1993*, 172 s.
- [16] SLOBODA, B.: Modelle zu automatisierten Zuwachsmess- und Auswertungstechniken, klimaorientierte Wachstumsmodelle, Inventurmethode und ihre Anwendungen. *Schriften aus der Forstl. Fakultät der Univ. Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanstalt, 1992, 106*, 372 s.
- [17] SCHWEINGRUBER, F.H.: Der Jahrring. Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. *Paul Haupt, Bern und Stuttgart 1983*, 234 s.
- [18] SCHWEINGRUBER, F.H.: *Tree Rings. Basics and applications of dendrochronology. Kluwer, Dordrecht, Boston, London 1988*, 276 s.
- [19] SCHWEINGRUBER, F.H.: *Jahrringe und Umwelt- Dendrochronologie. Birmensdorf, 1993, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 1993*, 474 s.
- [20] ŠMELKO, Š. - SCHEER, L.: Zisťovanie a permanentné porovnávanie stavu lesa pomocou terestrických a fotogrametrických výberových metód. *ZS úlohy AL-II-01, Zvolen 1993*, 100 s.
- [21] UTSCHIG, M.: Waldwachstumskundliche untersuchungen im Zusammenhang mit Waldschäden. *Forstl. Forsch. Berichte, München 1989, 97*, 185 s.
- [22] VOGEL, M. - WÄTZING, H.: Erfahrungen mit der automatischen Zuwachsfine messung. In: Modelle zu automatisierten Zuwachsmess- und Auswertungstechniken, klimaorientierte Wachstumsmodelle, Inventurmethode und ihre Anwendungen. *Schriften aus der Forstl. Fakultät der Univ. Göttingen und der Nieders. Forstl. Versuchsanstalt, 1992, s. 299-304*.
- [23] YUE, CH.: Untersuchung des Radialzuwachses mit Longitudinaldaten - Analyse. *Mitteilungen der Abteilung für Forstliche Biometrie 94-1, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau, 1994*, 153 s.

APPLICATION OF DENDROCLIMATOLOGY METHODS IN INVESTIGATION OF TREE SPECIES GROWTH RESPONSES FOR ASSUMED CLIMATE CHANGES

Ján Ďurský

Faculty of Forestry, Technical University in Zvolen, Slovakia

ABSTRACT

The paper deals with the methodology for investigation of tree species growth responses on assumed climatic changes and with evaluation of spruce growth in the region of Horná Orava at the scenarios of changing temperature and precipitation which have been published for Slovakia in the paper of LAPIN et al. (1993).

The basic principles of dendrochronology and dendroclimatology are documented and characterised, their methods and applications for processing of the empirical data. Analytical part contain the annual ring analyses from 35 permanent sample plots which were established at the management plan unit Oravská Polhora in the density of 1x1 km and climatic series for the period 1932-1991.

The substance of paper resides in dendroclimatic model compiling which express the multiple regression between the increment indices (relative increment vacillation against the trend) and the basic climatic factors (mean monthly precipitation and monthly temperature from actual and previous year).

The method of periodical comparing of increment was used for growth responses quantifying. For significant factors determination, influencing the character and greatness of growth responses the analysis of variance was used. The results showed, that majority of the trees (56 %) should be responded to climatic changes by decreasing of the increment in comparison with present standard (Fig. 7). Important is a knowledge that these differences significantly depend on ecological conditions, first of all the aspects (Tab. 2) altitude (Tab. 3) and species site (Tab. 4) are very important.

The results relate to spruce, which is the most important species in this region, therefore they have a regional validity.

List of Tables:

Tab. 1 Analysis of relative increment differences in dependence on ecological groups of the trees

Tab. 2 Analysis of relative increment differences in dependence on aspect

Tab. 3 Analysis of relative increment differences in dependence on altitude

Tab. 4 Analysis of relative increment differences in dependence on site index

List of Figures:

Fig. 1 Schematic relationship among the annual ring and growth factors (YUE 1994)

Fig. 2 Synchronising of two annual ring diagrams

Fig. 3 Reactive mechanism of annual ring creation in dependence on temperature and precipitation (FRITTS 1976)

Fig. 4 An example of response-function (SCHWEINGRUBER 1983)

Fig. 5 An example of radial increment progress of healthy and damaged trees by air pollution (UTSCHIG 1989)

Fig. 6 An example of positive and negative response increment on possible change of climate to the year 2030

Fig. 7 Frequency histogram of relative increment differences ($i_{(dif)}$)

*NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY*

*NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC*

**DÔSLEDKY ZMIEN
TEPLOTY VZDUCHU A ZRÁŽOK
NA ZMENY VARIABILITY ODTOKU
V MODELOVOM POVODÍ HRONA**

Riešiteľ:	Ing. Vladimír Mosný, CSc., Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita, 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. Oľga Majerčáková, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

DÔSLEDKY ZMIEN TEPLOTY VZDUCHU A ZRÁŽOK NA ZMENY VARIABILITY ODTOKU V MODELOVOM POVODÍ HRONA

Vladimír Mosný

Katedra vodného hospodárstva krajiny SvF STU, Bratislava

ÚVOD

Voda ako významný krajinný a ekologický článok podmieňujúci a vplývajúci na život človeka má nezastupiteľnú funkciu v prírode a spoločnosti. Jej zdroje sú podrobované sústavnej analýze z pohľadov kvalitatívnych a kvantitatívnych zmien.

Kvantitatívne zmeny zdrojov vody, ich súčasný pokles a následné prejavy v kvalite vody v posledných rokoch ovplyvňujú ako kvantitatívnu, tak kvalitatívnu vodohospodársku bilanciu. Bilancia stavu vodných zdrojov pre jednotlivé regióny Slovenska je rôzna. Potreby odberateľov a ich časová premenlivosť vplývajú na kapacitu zdrojov a možnosť ich využiteľnosti, vzhľadom na časovú a priestorovú odlišnosť.

Berúc do úvahy zmeny teploty vzduchu a ich dôsledky na prirodzený vývoj zrážok, a tým aj tvorbu odtoku, zostáva otvorená otázka, ako sa budú vyvíjať vodné zdroje k definovaným časovým horizontom po roku 2000 na Slovensku. Časové horizonty po roku 2000 môžu byť rôzne (napríklad rok 2035, ktorý je daný klimatickými scenármi), ale poznanie mechanizmu vývoja prvkov hydrologickej bilancie, jej štatistické a návrhové charakteristiky sú prioritné pre alternatívne sféry rozhodovania. Odpoveď je o to dôležitejšia, že riešenia týchto problémov aj dnes vychádzajú z predpokladov statického vývoja. Tento stav vyvracajú skúsenosti, s ktorými sa stretávame v posledných rokoch, kedy pripúšťame premenlivosť základných štatistických parametrov v spojení s možnými klimatickými zmenami na Zemi. Tie sa však odrazia nielen v globálnej mierke kontinentov, ale aj v spoločenských a ekonomických rovinách jednotlivých regiónov Slovenska.

STAV RIEŠENIA PROBLÉMU KLIMATICKÝCH ZMIEN

Súčasný riešenie problémov klimatických zmien a v nadväznosti zmien hydrologických prvkov v povodí sa opiera o tieto hlavné smery:

- a) Modelový výskum opierajúci sa o fyzikálne modely typu GCMs (General Circulation Models) [1]. Tento výskum na základe definovaných vstupov, prostredníctvom systému algoritmov zahrňujúcich fyzikálne a dynamické procesy v priestore, odhaduje jednotlivé komponenty klimatického systému. Model sa primárne opiera o vývoj CO_2 v minulosti a jeho odhadu k určeným časovým horizontom [8]. Na základe týchto zmien sa odvodzujú predpokladané zmeny vo vývoji prvkov hydrologickej bilancie.
- b) Analýzou pozorovaní jednotlivých hydrometeorologických prvkov použitím matematického aparátu [2]. Výsledky pozorovaní jednotlivých prvkov a vlastností aplikovaných metód pre analýzu umožňujú posúdenie vývoja časových radov a na základe zistených štatistických vlastností odhad ich zmien. K takýmto metódam patria rôzne filtre časových radov [3], korelačné analýzy, analýzy periodických vlastností časových radov a v poslednom období dekompozíciou časových radov sa pristupuje k hodnoteniu trendu prostredníctvom trendovej zložky časových radov [4].

VÝBER MODELOVÉHO POVODIA

Idea riešenia odhaliť možné zmeny základných charakteristík časových radoch je v číselnom vyjadrení zmien vývoja dvoch základných prvkov zrážkoodtokového procesu v povodí, a to zrážok a prietokov.

Snahou príspevku je poskytnúť informácie o vývoji zrážok a prietokov v modelovom povodí horného Hrona po vodomerný profil Banská Bystrica.

Výber povodia horného Hrona je z dôvodov hodnotenia časových radov relatívne málo postihnutých ľudskou činnosťou, čo umožní regionálne postihnúť prejavy či prirodzených, alebo možných globálnych klimatických zmien bez lokálnych vplyvov.

K hodnoteniu zrážkovej činnosti boli použité zrážkomerné stanice Telgárt (Švermovo), Beňuš, Jarabá, Jasenie, Motyčky, B. Bystrica. Vybrané zrážkomerné stanice sú plošne rovnomerne rozložené v povodí a majú pre analyzované časové rady kontinuálne pozorovania s dostatočnou dostupnou dĺžkou. Prehľadnú informáciu o výbere staníc dáva tabuľka 1a, doplnená indikatívnymi SHMÚ, dobou pozorovania a nadmorskou výškou.

Tab. 1a Zoznam zrážkomerných staníc v modelovom povodí Hrona

Por. číslo	Stanica	Ind. SHMÚ	Pozorovania	Nadm. výš. stanice [m n. m.]
1.	Telgárt	33020	1931-1993	901
2.	Beňuš	33140	1900-1993	557
3.	Jarabá	34020	1931-1992	823
4.	Jasenie	34070	1901-1982	530
5.	Motyčky	34180	1901-1993	681
6.	B. Bystrica	34300	1901-1993	371

Výber vodomerných staníc prihliadal primárne na hlavný tok povodia Hron s bilančnými profilmi a na toky, v ktorých z výsledkov predchádzajúcich analýz [5] možno očakávať neovplyvnený odtokový režim a vierohodné napozorované časové rady vhodné k trendovej analýze.

Vhodnosť časových radov vzhľadom k napozorovaným údajom je hypotetická, nakoľko nemôžeme ani o jednom časovom rade tvrdiť o jeho nedotknuteľnosti v procese vývoja. Pod pojmom nedotknuteľnosť máme na mysli či priame, alebo nepriame narušenia radu v procese tvorby v povodí, v procese merania alebo jeho spracovania.

Z týchto dôvodov tieto problémy hlbšie nebudeme rozoberať. Voľba vodomerných staníc vychádzala z hodnotenia synchronizácie časového priebehu prietokov v skúmanom regióne.

Na Hrone sú to vodomerné stanice v profiloch Zlatno, Brezno a B. Bystrica. Zo svahov Nízkych Tatier sú to stanice Mýto pod Ďumbierom na toku Štiavnica, Dolná Lehota na Vajskovskom potoku a stanica Staré Hory na Starohorskom potoku. Zo Slovenského rudohoria je to stanica Hronec na Čiernom Hrone. Voľba tokov sa opiera o rôznorodosť podmienok tvorby špecifických odtokov v povodí Hrona, čo sa zohľadnilo výberom tokov z takýchto geografických celkov. Informácia o výbere je v tabuľke 1b.

Tab. 1b Zoznam tokov a prietokomerných staníc v povodí Hrona

Por. číslo	Tok	Stanica	Čís. zn. SHMÚ	Pozorovania	Pl. povodia [km ²]
1.	Hron	Zlatno	6950	1931-1993	79,28
2.	Hron	Brezno	7015	1931-1993	582,08
3.	Hron	B. Bystrica	7160	1931-1993	1766,48
4.	Štiavnica	Mýto pod Ďumbierom	7065	1931-1993	47,10
5.	Vajskovský p.	Dolná Lehota	7070	1931-1993	53,02
6.	Starohorský p.	Staré Hory	7145	1931-1993	62,64
7.	Čierny Hron	Hronec	7045	1931-1993	239,41

Tabuľka obsahuje vybrané toky s príslušnými vodomernými stanicami, dobou pozorovania a plochou povodia k príslušnému profilu.

Údajovú základňu časových radov vybraných zrážkomerných a prietokomerných staníc na riešenie trendovej analýzy poskytol SHMÚ. Údaje boli poskytnuté v časovom kroku jeden mesiac. Z týchto údajov boli odvodené iné časové rady s časovým krokom jeden rok. Časové rady pri zrážkach, mesačných, resp. ročných zrážkových úhrnoch a pri prietokoch, rady priemerných mesačných prietokov, boli východiskom trendovej analýzy. Doplnením riešenia bola analýza minimálnych mesačných prietokov s hodnotením ročných minim ako prietokov tvorených v období minimálnych vodností na povodí.

METODIKA RIEŠENIA ZMIEN ČASOVÝCH RADOV

Metóda riešenia analýzy vývoja hydrometeorologických prvkov je jednoduchá a názorná. Opiera sa o regresný vzťah medzi meranými hodnotami a rokmi pozorovania, čím tento vzťah určuje tendenciu vývoja prvkov v rade. Regresná funkcia môže byť rôzna, no najbežnejšie je aplikovaná lineárna priamka. Princíp je založený na vyrovnaní priebehu pozorovaní priamkou, ktorá prechádza optimálne medzi množinou bodov. Táto vlastnosť priamky filtruje možnosť prudkých zmien výkyvov, vplyvom vybočenia niektorého pozorovania z celkového trendu. Zmenami prvkov v časových radoch dochádza k zmenám aj ich štatistických parametrov, odrážajúcich vývoj radov.

Určenie parametrov trendovej priamky (smernica K a posun priamky po vertikálnej osi q) sa určuje metódou najmenších štvorcov.

Z tejto úvahy a matematickými úpravami [6] sa dopracujeme ku vzťahu pre určenie K a q v priamke $\hat{Y} = k \cdot t + q$:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot y_i - \bar{t} \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n t_i^2 - n \cdot \bar{t}^2} \quad (1)$$

a

$$q = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i - k \cdot \frac{n+1}{2} = \bar{y} - k \cdot \bar{t}, \quad (2)$$

kde

- t - rok pozorovania,
- y_i - prvok časového radu,
- n - počet prvkov radu.

Pre predikciu hodnôt $\hat{Y}_t$ podľa lineárneho trendu v čase t_x môžeme použiť vzťah hore definovanej priamky s intervalmi spoľahlivosti I_α pri vopred definovanej hladine významnosti α .

Interval spoľahlivosti I_α je definovaný vzťahom :

$$I_\alpha = t_{n-2}(\alpha) \cdot s \cdot f_x, \quad (3)$$

kde

$t_{n-2}(\alpha)$ - je kritická hodnota t-rozdelenia s $n-2$ stupňami voľnosti na hladine významnosti α .

s - je dané vzťahom:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n y_t^2 - \sum_{t=1}^n \hat{y}_t^2}{n-2}}, \quad (4)$$

pričom:

y_t - hodnota pozorovania v čase t n -členného radu

$\hat{y}_t$ - hodnota trendovej priamky v bode t

f_x je dané vzťahom:

$$f_x = \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(t_x - \bar{t})^2}{\sum_{t=1}^n t^2 - n \cdot \bar{t}^2}}. \quad (5)$$

Vyčíslením vzťahov uvedených k trendovej analýze môžeme prognózu v ľubovoľnom čase t_x uviesť nasledovným vzťahom:

$$\hat{Y} = k \cdot t_x + q \pm I_\alpha. \quad (6)$$

Teoretickým rozborom metódy trendovej analýzy môžeme konštatovať nasledovné:

- Trendová analýza poskytuje kvalitatívnu informáciu o tendencii vývoja prvkov časového radu reprezentovanej funkciou optimálne prechádzajúcou prvkami časového radu.
- Hodnota smernice trendovej priamky kvantifikuje veľkosti zmien v časových radoch a ich významnosť [7].
- Predikcia hodnôt $\hat{Y}$ pomocou trendovej priamky je viazaná na interval spoľahlivosti I_α . Jeho rozptätie je nepriamo úmerné dĺžke pozorovania n a závisí od variability prvkov časového radu.

V regionálnej analýze je výhodné pracovať s normovanými časovými radmi z dôvodov odfiltrovaní rôznej veľkosti prvkov v časových radoch. Tým sa vytvoria nové časové rady so štatistickými parametrami $\bar{X} = 0$ a $\sigma_x = 1$. Takéto časové rady majú rovnakú rovinu hodnotenia ich vývoja.

Normovanie časových radov bolo urobené podľa vzťahu:

$$X_t = \frac{y_t - \bar{y}}{\sigma_y}, \quad (7)$$

kde

$\bar{y}, \sigma_y$ sú aritmetický priemer a smerodajná odchýlka pôvodného radu.

Na základe definovania metódy riešenia pristúpime k riešeniu zmien v časových radoch a definovanie rovin riešenia. Tie budú nasledovné:

- A. Zhodnotenie vývoja zrážkových a prietokových časových radov s mesačným a ročným časovým krokom pozorovania za celé obdobie pozorovania.
- B. Zmeny trendov vývoja analyzovaných radov po roku 1960 oproti výsledkom za celé pozorovanie.
- C. Zmeny minimálnych mesačných prietokov a vývoj minim v roku.
- D. Podiel trendov v jednotlivých mesiacoch na ročný trend prvkov časového radu.

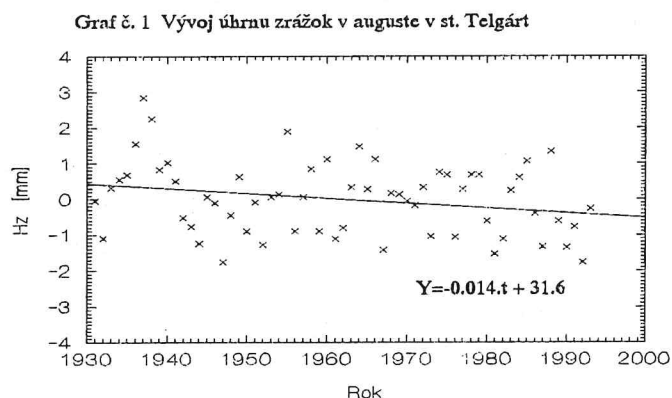
HODNOTENIE TRENDOV HYDROMETEOROLOGICKÝCH PRVKOV V POVODÍ HRONA

Na základe vytýčených cieľov trendovej analýzy môžeme pristúpiť k hodnoteniu vývoja zrážkovej činnosti a prietokového režimu v povodí horného Hrona. Analýza trendov v časových radoch bola uskutočnená pomocou výpočtovej techniky prostredníctvom štatistického softvéru SYSTAT. Výsledky sú spracované v tabuľkách s grafickou interpretáciou a závermi vyplývajúcimi z výsledkov. Úvodná je tabuľka 2a.

Je to tabuľka hodnotenia primárneho prvku hydrologickej bilancie, a to zrážok, ktoré prvotne ovplyvňujú zmeny prietokov v povodí. Výsledky trendovej analýzy pre celé roky pozorovania sú uvedené prehľadne pre jednotlivé mesiace a v poslednom stĺpci je zhodnotený ročný zrážkový úhm. Zrážkomerné stanice sú označené indikatívmi, pod ktorými je uvedené analyzované obdobie. V jednotlivých riadkoch tabuľky sú uvedené smernice trendových priamok K so znamienkom pre rast (+) alebo pokles (-), posuny trendových priamok po vertikálnej osi, aritmetický priemer $\bar{X}$ a smerodajná odchýlka σ_x .

V kolónkach smerníc priamok K pri hodnotách 0,000 sú uvedené znamienka, ktoré dávajú informáciu rastu alebo poklesu, aj keď hodnoty sa nachádzajú na štvrtom desatinnom mieste, čo zaokrúhľovaním nie je možné uviesť.

Z vizuálneho pohľadu na tabuľku môžeme hneď konštatovať pokles ročného úhrnu zrážok na všetkých analyzovaných staniciach. Najmenej výrazný je pokles v stanici Jarabá, ktorá má analyzované obdobie do roku 1982, z dôvodov chýbajúcich pozorovaní v posledných desiatich rokoch, čo ovplyvňuje výsledky trendov.



Najvýraznejší pokles zrážok v povodí horného Hrona je na stanici Telgárt (33020) a stanici Beňuš (33140). Od tejto stanice postupom po celom povodí pozorujeme postupné zmierňovanie poklesu k uzáverovému profilu v B. Bystrici, kde pokles je daný smernicou trendovej priamky $K = -0,005$.

Grafická interpretácia trendovej priamky je na grafe 1 pre časový rad augustových zrážkových úhrnov na stanici Telgárt s extrémnou hodnotou smernice.

Tento graf uvádza problematiku hodnotenia trendov v jednotlivých mesiacoch.

Jeho hodnotenie je tiež rôznorodé, pričom môžeme rok rozdeliť na mesiace s výraznejším poklesom a obdobia mesiacov s minimálnym poklesom prípadne rastom. Tento stav má vplyv na celkové ročné hodnotenie trendu a vývoj tvorby odtoku v priebehu roka.

K prvej skupine patria stanice v hornej časti povodia, kde od novembra po marec je všeobecný pokles zrážkových úhrnov s najvýraznejšími hodnotami poklesu v Telgárte.

Tab. 2a Parametre trendových priamok K a q pre vybrané zrážkomerné stanice

Č. zn. SHMÚ	Časové obdobie													
		nov.	dec.	jan.	feb.	mar.	apr.	máj	jún	júl	aug.	sep.	okt.	rok
33020	K	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
	ΔK_i	0,011	0,004	0,003	0,010	0,007	0,004	0,003	0,001	0,012	0,014	0,002	0,002	0,016
1931-93	q	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,000
	$\bar{X}$	0,004	0,012	0,008	0,006	0,009	0,020	0,019	0,015	0,004	0,002	0,014	0,014	
	σ_x	20,6	6,92	14,7	19,3	13,2	-6,91	-4,98	1,83	24,3	26,6	4,06	4,76	31,6
	σ_x	71	50	36	42	46	60	106	123	102	91	63	65	855
33140	K	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-
	ΔK_i	0,001	0,003	0,009	0,001	0,006	0,006	0,005	0,004	0,006	0,000	0,006	0,004	0,011
1901-93	q	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,000
	$\bar{X}$	0,010	0,008	0,002	0,010	0,005	0,005	0,006	0,015	0,005	0,011	0,005	0,007	
	σ_x	2,54	6,58	17,6	2,8	11,0	11,2	9,01	-8,38	11,8	-0,11	11,6	8,32	20,5
	σ_x	69	59	48	43	46	56	90	100	93	83	62	60	808
34020	K	-	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	-
	ΔK_i	0,007	0,006	0,001	0,003	0,002	0,009	0,004	0,004	0,014	0,014	0,005	0,004	0,008
1931-92	q	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	0,000
	$\bar{X}$	0,001	0,014	0,007	0,005	0,006	0,017	0,012	0,004	0,006	0,006	0,013	0,004	
	σ_x	13,1	-12,2	1,89	6,69	4,66	-18,1	-7,84	7,7	27,9	27,5	-9,98	8,38	14,8
	σ_x	93	80	61	66	64	66	104	123	104	101	75	80	1017
34070	K	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	-
	ΔK_i	0,002	0,005	0,001	0,001	0,004	0,007	0,006	0,006	0,002	0,001	0,008	0,002	0,001
1901-82	q	+	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	0,000
	$\bar{X}$	0,003	0,006	0,002	0,002	0,003	0,006	0,005	0,007	0,003	0,002	0,007	0,001	
	σ_x	-4,75	-9,3	-1,52	-2,07	7,7	12,8	10,8	-11,5	-4,59	-2,79	14,8	3,44	2,37
	σ_x	82	75	57	56	59	62	88	98	95	80	69	73	895
34180	K	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-
	ΔK_i	0,000	0,001	0,002	0,001	0,004	0,005	0,001	0,002	0,003	0,005	0,006	0,001	0,003
1901-93	q	+	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	0,000
	$\bar{X}$	0,003	0,004	0,001	0,004	0,001	0,002	0,002	0,005	0,000	0,002	0,003	0,002	
	σ_x	0,232	-2,83	3,03	-2,85	7,37	10,5	1,53	-4,74	5,70	10,1	12,5	1,25	9,64
	σ_x	100	92	66	65	69	76	102	111	102	92	79	88	1044
34300	K	+	-	-	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-
	ΔK_i	0,001	0,003	0,005	0,001	0,003	0,003	0,001	0,001	0,006	0,000	0,004	0,001	0,005
1901-93	q	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	0,000
	$\bar{X}$	0,006	0,002	0,000	0,004	0,002	0,002	0,004	0,006	0,001	0,005	0,001	0,006	
	σ_x	-1,94	5,56	10,2	2,32	6,04	6,38	1,69	-2,49	10,9	-0,49	7,98	-1,25	9,80
	σ_x	83	74	54	54	53	55	82	88	74	66	62	66	814
	σ_x	47	42	32	35	39	30	42	37	39	39	41	48	166

To znamená, že smernice priamok v jednotlivých mesiacoch zimného polroku vo väčšine analyzovaných staníc (72%) vykazujú pokles, okrem stanice Jarabá, bez ktorej by percento poklesu smerníc v

jednotlivých prípadoch vzrástlo na 83%. Najvýraznejšie sa na týchto poklesoch podieľajú mesiace november a január.

Tab. 2b Parametre trendových priamok K a q pre vybrané vodomerné stanice

		Časové obdobie												
Č. zn. SHMÚ		nov.	dec.	jan.	feb.	mar.	apr.	máj	jún	júl	aug.	sep.	okt.	rok
6950	K	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		0,020	0,018	0,021	0,017	0,015	0,008	0,001	0,006	0,006	0,008	0,015	0,001	0,019
1931-93	ΔK_t	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,000
		0,001	0,001	0,002	0,002	0,004	0,011	0,020	0,013	0,013	0,011	0,004	0,020	
	q	39,9	36,3	41,2	34,1	30,2	15,2	-2,07	12,7	11,9	16,2	30,3	-0,99	37,8
	$\bar{X}$	1,43	1,14	0,785	0,799	1,64	2,74	2,39	1,88	1,51	1,14	0,971	1,107	1,46
	σ_x	1,09	0,813	0,582	0,538	1,29	1,45	1,22	0,916	0,929	0,682	0,580	1,11	0,494
7015	K	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
		0,016	0,010	0,014	0,008	0,008	0,004	0,000	0,001	0,000	0,003	0,007	0,004	0,010
1931-93	ΔK_t	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,000
		0,006	0,000	0,004	0,002	0,002	0,006	0,010	0,011	0,000	0,007	0,003	0,014	
	q	31,4	20,1	27,1	15,2	16,2	7,78	0,503	-1,09	0,158	5,89	13,5	-7,96	19,9
	$\bar{X}$	7,21	6,53	4,74	5,38	10,1	15,4	12,1	9,41	7,23	5,28	4,38	5,40	7,76
	σ_x	5,22	4,74	3,31	3,89	6,22	7,69	6,04	4,82	4,83	3,20	2,72	6,29	2,40
7160	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
		0,019	0,012	0,013	0,005	0,009	0,007	0,003	0,004	0,003	0,009	0,012	0,002	0,015
1931-93	ΔK_t	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,000
		0,004	0,003	0,002	0,010	0,006	0,008	0,012	0,011	0,012	0,006	0,003	0,017	
	q	37,6	22,9	26,4	9,06	18,2	13,3	6,80	7,90	6,60	16,8	22,6	-3,42	29,3
	$\bar{X}$	25,4	23,1	16,6	18,6	35,3	54,4	41,9	30,8	23,0	17,7	15,6	18,6	26,7
	σ_x	16,2	14,1	8,52	12,8	20,5	23,7	17,8	13,9	12,3	9,05	8,98	17,7	7,32
7065	K	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
		0,021	0,022	0,033	0,023	0,002	0,005	0,001	0,008	0,015	0,021	0,021	0,005	0,020
1931-93	ΔK_t	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-	+	0,000
		0,001	0,002	0,013	0,003	0,018	0,025	0,021	0,012	0,005	0,001	0,001	0,015	
	q	42,1	42,7	63,9	44,6	4,49	-10,1	-2,26	15,9	28,6	41,2	41,2	9,06	39,6
	$\bar{X}$	0,989	0,840	0,576	0,569	1,00	2,31	2,12	1,38	1,02	0,830	0,739	0,840	1,1
	σ_x	0,568	0,438	0,248	0,276	0,578	0,928	0,911	0,664	0,581	0,422	0,429	0,688	0,274
7070	K	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		0,019	0,010	0,015	0,008	0,003	0,005	0,004	0,005	0,007	0,010	0,011	0,000	0,012
1931-93	ΔK_t	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	0,000
		0,007	0,002	0,003	0,004	0,009	0,007	0,016	0,007	0,005	0,002	0,001	0,012	
	q	37,8	19,9	29,2	14,9	6,43	9,46	-7,65	10,3	13,1	19,6	12,1	-0,83	23,6
	$\bar{X}$	1,32	1,04	0,714	0,719	1,19	2,63	2,92	1,84	1,34	1,07	0,955	1,10	1,40
	σ_x	0,930	0,492	0,300	0,387	0,625	1,08	1,22	0,855	0,693	0,526	0,532	0,799	0,362
7145	K	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-
		0,019	0,015	0,015	0,010	0,000	0,003	0,000	0,009	0,004	0,017	0,020	0,003	0,012
1931-93	ΔK_t	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	0,000
		0,007	0,003	0,003	0,002	0,012	0,015	0,012	0,003	0,008	0,005	0,008	0,009	
	q	36,6	30,3	29,0	19,8	0,62	-6,28	-0,43	18,1	7,15	33,3	38,3	6,41	24,0
	$\bar{X}$	1,35	1,31	1,04	1,02	1,75	3,04	1,99	1,57	1,22	0,935	0,928	1,07	1,44
	σ_x	0,748	0,676	0,485	0,594	1,12	1,2	0,745	0,610	0,761	0,425	0,499	0,821	0,421
7045	K	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-
		0,010	0,010	0,018	0,007	0,014	0,004	0,003	0,004	0,001	0,003	0,003	0,006	0,009
1931-93	ΔK_t	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+	+	0,000
		0,001	0,001	0,009	0,002	0,005	0,005	0,012	0,012	0,008	0,006	0,006	0,015	
	q	20,2	19,2	35,3	13,4	27,1	8,27	-5,81	-6,96	2,74	6,4	5,12	-12,3	16,9
	$\bar{X}$	2,65	2,55	1,83	2,15	4,36	6,65	4,18	3,41	2,49	1,95	1,60	2,08	2,99
	σ_x	1,96	1,90	0,927	1,80	3,04	3,87	2,57	1,94	1,79	1,42	1,26	2,97	1,01

K druhej skupine hodnotenia patria mesiace v období máj až august. V tomto časovom období pozorujeme dve zmeny.

Prvá zmena je rast, prípadne minimálny pokles v mesiacoch máj a jún a druhá zmena je výrazný pokles v júli až v septembri vo väčšine staníc. Júl a august sú v poslednom období mesiace sucha, ktoré sa hlavne v posledných rokoch pozorovania najviac podieľajú na poklese.

Kvôli prehľadnosti uvedieme v tabuľke 2a údaje ΔK_r , ktoré vyjadrujú zmenu smernice v jednotlivých mesiacoch k smernici určenej z časových radov ročných úhrnov. Z týchto údajov môžeme konštatovať, aké zmeny nastávajú v zrážkových úhrnoch v priebehu roka a aké sú tieto zmeny oproti výsledným ročným. Prietokový režim pre celé obdobia pozorovania je zhodnotený obdobne ako pri zrážkach v tabuľke 2b. Popis tabuľky je podobný ako pri zrážkach pri nasledovnom konštatovaní vývoja prietokov.

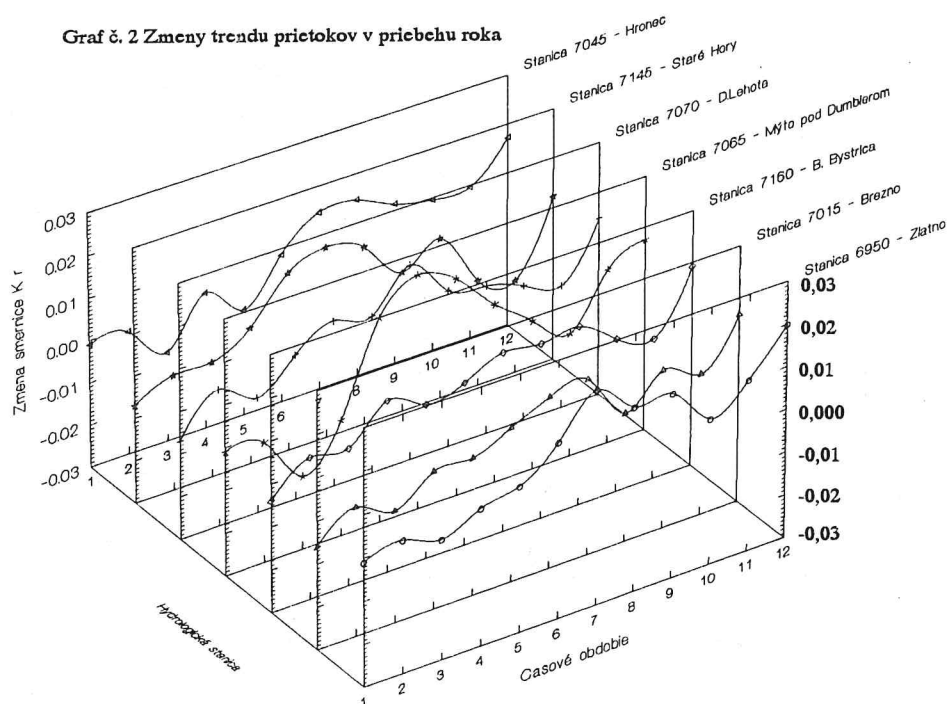
Ak pristúpime k hodnoteniu priemerných ročných prietokov, tak všetky stanice vykazujú výraznejší pokles prietokov, ako sme mohli konštatovať pri zrážkach.

Absolútne hodnoty smerníc K sú vo väčšine staníc násobne vyššie ako pri zrážkach, čo charakterizuje väčší pokles v prietokových časových radov (normované časové rady). To znamená, že prietoky klesajú v tokoch násobne výraznejšie.

Presnejšia informácia o zmene prietokového režimu je v smerniciach pre jednotlivé mesiace. Z celkových hodnotených 84 časových radov jednotlivých prietokových radov v mesiacoch hydrologického roku vykazuje 83% pokles prietokov a zvyšných 17% nevýrazný rast.

Najväčší pokles v priebehu roka je v období november až marec s dominantným postavením januára, kde smernica klesajúcej trendovej priamky sa pohybuje od 0,013 po 0,033. Tento stav je preukázateľný aj hodnotou ΔK_r v tabuľke 2a, kde smernica v januári je nižšia aj ako smernica časového radu priemerného ročného prietoku.

Vizuálny pohľad na vývoj hodnôt ΔK_r je v grafe 2 s grafickým znázornením zmien smerníc pre všetky stanice modelového povodia.



Cieľom bolo graficky interpretovať zmeny trendov v jednotlivých mesiacoch pozorovania a ich podiel na tvorbe výsledného dlhodobého ročného vývoja prietokov. Mesiace sú uvedené poradovým číslom v hydrologickom roku pozorovania.

Jednotlivé odchýlky od ročného trendu sú pospájané plynulou čiarou. V pravom hornom rohu sú uvedené čísla vodomerných staníc s názvom profilu. V rovine základne XY sú osi delené na jednotlivé mesiace, kde na prvom grafe sú mesiace číselne vyjadrené a na ostatných grafoch sú mesiace vyznačené. Vertikálna os v rovine ZX je delená podrobnejšie na šesť častí zahrňujúc rozpätie odchýlky 0,06 s označením hodnôt na poslednom grafe.

Ako možno pozorovať na grafe 2, čiary vykazujú väčšinou synchronný priebeh.

V priebehu roka však zamerajme pozornosť na obdobie od apríla po jún, kde sa zo 17% rastu v jednotlivých mesiacoch podieľa toto obdobie 11 %, t.j. 9 prípadmi prevažne v apríli a máji. Pozornosť si zasluhuje aj mesiac október, kde zo 7 staníc 5 staníc vykazuje rast.

Na niektorých staniciach (7065, 7045) je možné pozorovať výraznejšie odchýlky vývoja priemerných mesačných prietokov v januári (pokles) a opačný trend rastu (6950, 7015) v októbri.

Takéto charakterizovanie stavu vývoja prietokových radov dáva informáciu o mesiacoch, v ktorých prietoky výrazne klesajú a mesiacoch s miernymi rastúcimi prietokmi. Táto informácia je dôležitá z hľadiska zmien priemerných ročných prietokov, nakoľko tie filtrujú výrazné kolísania zmien prietokov v priebehu roka.

Pri hodnotení zmien priemerných ročných prietokov uvidíme tabuľku 3, ktorá pre jednotlivé profily poskytuje odhad prietokov cez prietokové moduly k trom vybraným časovým horizontom (1995-2000-2005). Hodnoty prietokových modulov k roku 2000 sú doplnené hranicami spoľahlivosti I_{α} .

Tab. 3 Vývoj prietokov vo vybraných vo vodomerných profiloch povodia Hrona

Vodný tok	Vodomerná stanica	Vývoj K			Vývoj $K \pm I_{\alpha}$		
		1995	2000	2005	+I	2000	-I
Hron	Zlatno	0,826	0,803	0,779	+0,82	0,803	-0,82
Hron	Brezno	0,960	0,954	0,949	+0,52	0,954	-0,52
Čierny Hron	Hronec	0,996	0,995	0,994	+0,49	0,995	-0,49
Štiavnička	Mýto p. Ďumb.	0,879	0,862	0,845	+0,38	0,862	-0,38
Vajskovský p.	Dolná Lehota	0,984	0,983	0,981	+0,34	0,983	-0,34
Starohorský p.	Staré Hory	1,000	1,000	0,999	+0,46	0,876	-0,46
Hron	Banská Bystrica	0,916	0,905	0,894	+0,11	0,905	-0,11

Výsledky prognóz zmien prietokov sú výrazné a je možné viesť aj o ich presnosti diskusiu. No rozhodujúca je informácia o poklese týchto prietokov z regionálneho pohľadu v povodí Hrona.

Prvá skupina sú údaje prietokov v profiloch na samotnom toku Hrona na staniciach Zlatno, Brezno a B.Bystrica, kde sa pokles prietokov vo vybraných časových horizontoch pohybuje okolo 0-20 %. K týmto staniciam môžeme pridať stanicu Mýto pod Ďumbierom.

Druhá skupina je tvorená stanicami Hronec, Dolná Lehota a Staré Hory s nevýrazným miernym poklesom prietokov.

Výsledky prognózovaných hodnôt intervalov spoľahlivosti I_{α} , v akých sa môžu pohybovať predikované prietoky, sú intervaly spoľahlivosti uvedené v pomerných hodnotách k prognózovaným prietokom na hladine významnosti $\alpha = 0.95$ a k časovému horizontu roku 2000.

Výsledky trendovej analýzy pre časové rady pozorovaní preukazujú klesajúci trend. Rozpätie poklesu prietokov k časovému horizontu roku 2005 sa pohybuje do 20 % dlhodobého priemerného ročného prietoku.

Otvorená zostáva otázka zmeny tendencie vývoja hydrometeorologických prvkov časových radov po roku 1992 s odhadom do časového horizontu k roku 2035. Tu je potrebné prihliadať na vlastnosti trendovej analýzy ako matematickej metódy s okrajovými hodnotami. Alternatívne riešenie odhadu s hornou a spodnou hranicou riešenia pri definovanej hladine významnosti α určuje maximálnu a minimálnu hodnotu rozpätia predikcie hodnôt.

Hodnotenie priemerných prietokov za celé obdobie pozorovania dalo informáciu o zmenách prietokov v jednotlivých mesiacoch roka. Premennivosť smerníc v priebehu roka a vstup globálnych zmien nastoluje otázky stability tendencie vývoja prvkov časových radov v priebehu celého radu pozorovania. Presnejšie vyjadrené, ako sa zmenil vývoj prvkov v analyzovaných časových radoch pre definované časové intervaly pozorovania.

V tomto príspevku uvádzame delenie časových radov na dve obdobia analýzy. Je to obdobie od začiatku pozorovania do roku 1960 a obdobie od roku 1961 do konca pozorovania. Analýza druhého časového obdobia je porovnaná s celým radom pozorovania. Týmto krokom získavame informáciu, ako sa zmenili tendencie vývoja hydrometeorologických prvkov časového radu po roku 1960 oproti celému obdobiu pozorovania.

Vývoj zrážok po roku 1960 do konca pozorovania je oproti celej dĺžke časových radov diferencovaný.

Stanice v hornej časti povodia sú stanicami, v ktorých dochádza k prehĺbeniu poklesu ročných zrážkových úhrnov. K týmto staniciam patria prvé štyri stanice v tabuľke 4a, pričom extrémny pokles nastáva v staniaciach Beňuš, Jarabá a Jasenie. Zvyšné stanice Motyčky a B. Bystrica vykazujú v ročných zrážkových úhrnoch zmiernenie poklesu a stanica Motyčky nepatrný rast.

Hodnotenie mesačných úhrnov zrážok vykazuje tendenciu poklesu s extrémnymi poklesmi v staniaciach Jarabá a Jasenie. Štatistické parametre a rozdielnosť výsledkov trendov na zrážkomerných staniaciach odrážajú niektoré vlastnosti zrážok a spôsob získavania údajovej základne. Toto tvrdenie sa opiera o rozdielnosť výsledkov štatistických parametrov priemeru a variability na staniaciach s príbuznými orografickými podmienkami. V jednotlivých mesiacoch pozorujeme na príbuzných staniaciach odlišnosti v synchrónnosti vývoja týchto štatistických parametrov.

Uvedieme ako príklad dve stanice Telgárt a Beňuš. Pokiaľ analyzujeme jednotlivé mesiace, ich priemery a smerodajnú odchýlku, tak v prvých mesiacoch roka dlhodobý priemerný mesačný úhm zrážok je vždy vyšší na stanici Beňuš. Stanica Telgárt začína vykazovať väčšie dlhodobé priemerné úhmy až od marca, kedy sa mení aj tendencia vývoja úhmu zrážok na rast. Koniec roka vykazuje tie isté výsledky ako na začiatku roka. Tento stav je možné vysvetliť miestnymi zvláštnosťami zrážkových pomerov v určitom období pozorovania alebo zmenami zrážkových pomerov vplyvom klimatických zmien v regióne.

Tab. 4a Parametre trendových priamok K a q pre vybrané zrážkomerné stanice

Č. zn. SHMÚ	Časové obdobie													
		nov.	dec.	jan.	feb.	mar.	apr.	máj	jún	júl	aug.	sep.	okt.	rok
33020	K	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-
		0,024	0,013	0,004	0,012	0,014	0,007	0,008	0,018	0,037	0,023	0,015	0,005	0,018
1961-93	ΔK	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-
		0,013	0,017	0,012	0,002	0,021	0,003	0,005	0,017	0,025	0,009	0,017	0,007	0,002
	$\bar{X}$	68,4	45,9	32,5	39,1	43,2	62,0	110	119	90,2	84,5	60,9	66,2	822
	σ_x	46,7	29,4	25,3	24,8	27,3	31,9	50,8	43,5	36,9	37,5	44,0	70,6	109
33140	K	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	+	-
		0,031	0,002	0,015	0,026	0,001	0,008	0,008	0,020	0,017	0,030	0,006	0,007	0,033
1961-93	ΔK	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	+	+	-
		0,030	0,001	0,006	0,025	0,005	0,002	0,013	0,016	0,011	0,030	0,012	0,011	0,022
	q	61,5	3,03	29,2	51,4	2,69	15,6	-15,8	39,6	34	59,2	-11,2	-14,8	66,2
	$\bar{X}$	70,5	58,6	41,2	42,6	42,9	53,0	87,2	106	82,4	85,6	58,9	56,5	785
	σ_x	37,2	36,0	26,0	27,6	27,8	32,2	42,0	37,6	35,6	36,8	36,5	51,2	124
34020	K	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-
		0,032	0,010	0,018	0,025	0,002	0,006	0,015	0,030	0,025	0,025	0,003	0,007	0,032
1961-92	ΔK	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-
		0,025	0,016	0,017	0,022	0,000	0,003	0,011	0,026	0,011	0,011	0,002	0,011	0,024
	q	63,7	18,9	35,6	49,8	3,77	-12,6	-29,9	58,8	49,9	49,05	-5,07	-14,1	63,7
	$\bar{X}$	93,2	82,3	61,1	64,9	64,7	71,5	109	118	92,8	91,8	79,3	77,7	1007
	σ_x	50,3	47,3	40,9	41,9	38,5	42,2	48,2	43,9	37,6	50,2	45,7	67,3	181
34070	K	-	+	+	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-
		0,084	0,040	0,046	0,062	0,010	0,018	0,011	0,071	0,043	0,035	0,018	0,011	0,028
1961-82	ΔK	-	+	+	-	-	-	+	-	+	-	+	+	-
		0,086	0,035	0,045	0,063	0,006	0,011	0,017	0,077	0,041	0,036	0,026	0,013	0,027
	q	165,3	-79,4	-90,9	122,8	19,4	36,3	-21,9	140,1	-84,2	69,6	-34,6	-21,7	54,4
	$\bar{X}$	88,7	80,3	54,8	53,7	53,2	58,7	75,5	105	97,5	80,5	63,4	68,6	880
	σ_x	40,5	51,4	27,6	35,8	29,7	27,6	31,8	43,4	40,7	47,8	35,1	65,9	160
34180	K	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+
		0,013	0,026	0,006	0,014	0,010	0,001	0,010	0,013	0,007	0,016	0,010	0,008	0,002
1961-93	ΔK	-	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	+	+
		0,013	0,025	0,004	0,015	0,014	0,004	0,011	0,015	0,004	0,011	0,016	0,009	0,005
	q	26,6	-51,9	12,6	27,3	-20,4	2,52	-18,9	25,9	13,3	32,1	-20,5	-15,4	-3,97
	$\bar{X}$	99,0	90,4	62,8	64,2	63,3	70,1	102	114	94,8	82,7	69,0	86,2	998
	σ_x	43,3	52,5	39,3	37,3	40,2	33,8	52,8	46,3	39,0	47,2	44,5	70,0	140
34300	K	-	+	+	-	+	-	+	-	-	-	+	+	-
		0,018	0,012	0,002	0,005	0,010	0,000	0,021	0,015	0,034	0,021	0,007	0,011	0,004
1961-93	ΔK	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+
		0,019	0,015	0,007	0,004	0,013	0,003	0,022	0,016	0,028	0,021	0,011	0,010	0,001
	q	34,6	-24,1	-4,67	9,25	-19,3	0,892	-41,8	28,7	66,3	41,4	-12,9	-22,1	7,84
	$\bar{X}$	83,6	68,3	47,1	50,2	48,7	53,1	79,8	89,7	65,3	67,1	58,0	65,7	777
	σ_x	41,9	43,3	30,2	30,3	31,8	31,1	44,0	30,1	31,6	44,1	46,0	55,1	142

Extrémny pokles zrážok v mesiaci sa dá označiť v júni, júli a auguste, kde rozdiely trendu poklesu sa pohybujú v hodnote ΔK od 0,011 po extrémne hodnoty 0,077 na stanici Jasenie v júni. Podobnú situáciu v zrážkach môžeme konštatovať v mesiacoch od novembra po február s výrazným poklesom za posledných tridsať rokov pozorovania.

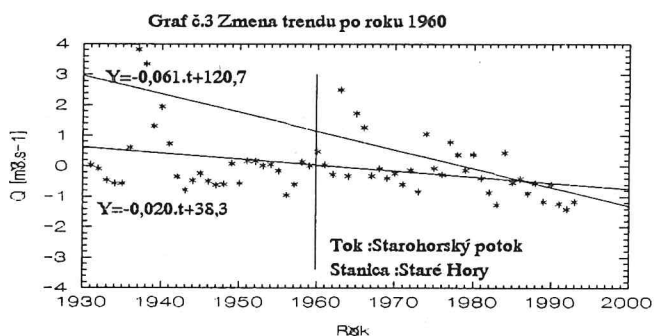
Ojedinelé sú aj prípady zmiernenia poklesu dlhodobých priemerných mesačných úhmov na jednotlivých staniciach, prípadne zmeny tendencie vývoja zrážok v mesiacoch marec až máj.

Prehľadne sú informácie o stave trendov po roku 1960 a zmeny v trendoch ΔK oproti celému obdobiu pozorovania informatívne usporiadané v tabuľke 4a.

Stav vývoja prietokov oproti zrážkam je ako kvalitatívne, tak kvantitatívne odlišný.

Všeobecne možno konštatovať, že obdobie práve posledných 30 rokov má najväčší podiel na poklese prietokov.

Z grafu 3 pre Starohorský potok vo vodomernej stanici Staré Hory v mesiaci september môžeme túto informáciu spresniť z vizuálneho priebehu prietokov.



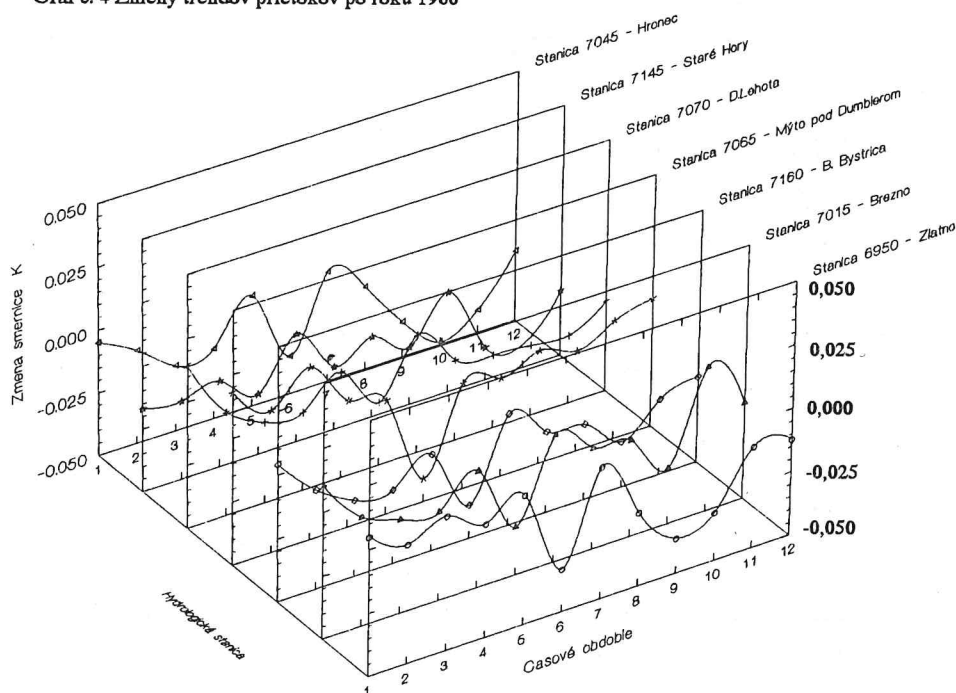
Voľba tohto profilu a mesiaca bola volená zámerne na zdokumentovanie dynamických zmien vývoja prietokových pomerov v toku, a tým aj zmeny priebehu trendových priamok pre určité intervaly pozorovania. Je vidieť, že zmena trendu je spôsobená poklesom prietokov v posledných 10 rokoch, ale aj nadpriemernými prietokmi po

roku 1960. Tento stav spôsobil, že trendová priamka sa na začiatku obdobia zdvihla k nadpriemerným prietokom a klesla na konci obdobia v dôsledku podpriemerných prietokov. S týmito zmenami súvisia aj zmeny smerníc trendových priamok.

Výraznejšie poklesy priemerných mesačných prietokov pozorujeme v období jún až september. Miernejší pokles je v novembri až januári.

Grafický prehľad o zmiernení alebo prehĺbení poklesov priemerných mesačných prietokoch je v grafe 4, kde v hodnote ΔK sa dá pozorovať synchrónnosť priebehov jednotlivých smerníc trendových priamok pre jednotlivé stanice.

Graf č. 4 Zmeny trendov prietokov po roku 1960



Ak sme konštatovali v predchádzajúcich častiach, pokles priemerných mesačných a priemerných ročných prietokov vo väčšine analyzovaných časových radov, potom je nutné zamerať pozornosť na hodnotenie minimálnych prietokov. Je to oblasť, v ktorej sa nepriamo dotýkame zdrojov podzemnej vody, ak berieme do úvahy tendenciu poklesu.

Tab. 4b Parametre trendových priamok K a q pre vybrané vodomerné stanice

Č. zn. SHMÚ	Časové obdobie													
		nov.	dec.	jan.	feb.	mar.	apr.	máj	jún	júl	aug.	sep.	okt.	rok
6950	K	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		0,015	0,021	0,018	0,022	0,014	0,041	0,003	0,027	0,042	0,039	0,019	0,011	0,042
1961-93	ΔK	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-
		0,005	0,003	0,003	0,005	0,001	0,033	0,002	0,021	0,036	0,031	0,004	0,012	0,023
	q	29,8	41,3	35,4	43,1	27,0	80,4	-5,56	52,6	83,4	78,1	37,9	21,7	83,6
	$\bar{X}$	1,16	0,904	0,598	0,677	1,37	2,71	2,43	1,81	1,31	1,05	0,844	1,20	1,34
	σ_x	0,754	0,597	0,269	0,491	0,816	1,30	1,22	0,869	0,607	0,631	0,488	1,47	0,393
7015	K	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		0,006	0,017	0,027	0,023	0,012	0,035	0,000	0,009	0,012	0,031	0,012	0,008	0,033
1961-93	ΔK	+	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		0,010	0,007	0,013	0,015	0,004	0,031	0,000	0,010	0,012	0,028	0,005	0,012	0,023
	q	12,8	34,1	53,6	46,4	23,6	69,9	-0,19	18,4	24,5	61,6	23,0	15,4	65,1
	$\bar{X}$	6,31	5,78	4,01	5,01	9,58	15,6	12,2	9,52	6,51	5,07	4,21	6,23	7,50
	σ_x	3,83	3,67	1,88	4,47	5,20	7,77	6,18	5,03	3,28	2,18	2,32	8,36	2,14
7160	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0,015	0,023	0,033	0,026	0,021	0,044	0,009	0,022	0,023	0,041	0,032	0,014	0,049
1961-93	ΔK	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0,004	0,011	0,020	0,021	0,012	0,037	0,006	0,018	0,020	0,032	0,011	0,016	0,034
	q	28,9	45,5	65,3	51,1	41,5	86,7	17,2	43,6	45,6	80,3	63,9	26,7	96,3
	$\bar{X}$	22,1	21,0	15,1	18,4	33,2	53,8	41,3	30,8	21,0	16,6	14,7	20,7	25,7
	σ_x	12,4	12,2	6,28	15,63	16,0	24,0	18,0	15,4	10,7	8,50	7,36	23,2	7,01
7065	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0,003	0,016	0,015	0,023	0,007	0,036	0,007	0,019	0,020	0,032	0,012	0,004	0,032
1961-93	ΔK	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
		0,018	0,006	0,018	0,000	0,005	0,041	0,008	0,011	0,005	0,011	0,001	0,001	0,012
	q	6,25	31,3	30,1	45,1	13,4	71,6	13,4	36,9	40,4	63,12	23,1	8,76	63,2
	$\bar{X}$	0,848	0,709	0,450	0,478	0,995	2,48	2,17	1,32	0,82	0,696	0,609	0,835	1,04
	σ_x	0,491	0,404	0,178	0,305	0,715	0,993	1,04	0,748	0,402	0,391	0,390	0,880	0,283
7070	K	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
		0,005	0,019	0,033	0,027	0,011	0,030	0,001	0,023	0,028	0,032	0,029	0,014	0,033
1961-93	ΔK	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0,014	0,009	0,018	0,019	0,008	0,025	0,003	0,018	0,021	0,022	0,018	0,014	0,021
	q	9,15	38,4	66,0	53,6	21,2	59,7	-1,97	45,1	55,7	63,8	56,8	27,6	64,4
	$\bar{X}$	1,09	0,958	0,629	0,668	1,14	2,52	2,94	1,79	1,22	1,02	0,885	1,16	1,34
	σ_x	0,560	0,498	0,224	0,461	0,700	0,901	1,23	0,97	0,595	0,586	0,423	0,981	0,379
7145	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0,036	0,034	0,031	0,036	0,007	0,022	0,018	0,036	0,014	0,054	0,061	0,027	0,051
1961-93	ΔK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0,017	0,019	0,016	0,026	0,007	0,025	0,018	0,027	0,010	0,037	0,041	0,024	0,039
	q	71,5	67,5	62,0	70,3	14,8	43,4	36,5	70,4	28,6	107,4	120,7	53,3	99,9
	$\bar{X}$	1,23	1,21	0,953	0,961	1,78	3,19	2,04	1,55	1,20	0,874	0,845	1,12	1,41
	σ_x	0,683	0,662	0,470	0,666	1,24	1,32	0,866	0,687	0,942	0,429	0,435	1,08	0,424
7045	K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0,015	0,023	0,042	0,029	0,020	0,039	0,003	0,013	0,035	0,046	0,038	0,016	0,051
1961-93	ΔK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0,005	0,013	0,024	0,022	0,006	0,035	0,006	0,017	0,036	0,049	0,041	0,022	0,042
	q	29,3	45,8	82,4	57,7	39,6	76,6	5,6	25,0	69,5	90,9	74,5	32,2	99,9
	$\bar{X}$	2,50	2,31	1,64	2,09	3,78	6,72	4,33	3,52	2,23	1,86	1,60	2,65	2,93
	σ_x	1,76	1,70	0,779	2,32	2,56	3,88	2,85	1,92	1,13	1,24	1,02	3,96	0,988

Tieto majú dlhodobejší charakter zmien a sú zdrojom prietokov, ktoré majú prioritné postavenie v suchých obdobiach. Vývoj týchto prietokov, a to minim v mesiacoch a minima v roku, je analyzovaný v časti povodia s bohatou výdatnosťou prameňov na úseku toku Hrona medzi vodomernými stanicami Zlatno a Brezno.

Časové rady sú kratšie ako pri priemeroch, čo môže ovplyvniť presnosť výsledkov trendovej analýzy, ale nie kvalitu stavu vývoja prietokov.

Zatiaľ čo v profile Zlatno v priebehu celého roku je výrazný pokles s extrémnymi hodnotami v auguste a septembri, tak v profile Brezno tak výrazný pokles nie je. Odlišná je situácia v mesiacoch január a február, kde aj pri hodnotení priemerných prietokov sme konštatovali najvýraznejší pokles.

Výsledky trendov sú zdokumentované v tabuľke 5.

Ako je vidieť z tabuľky, situácia trendov je v profiloch Zlatno a Brezno výrazne odlišná, aj keď ide o susedné profily na Hrone.

Analýza stavu vývoja smerníc trendových priamok v januári pri priemerných mesačných prietokoch vykazuje v stanici Zlatno $K=-0,021$ a v nižšom profile Brezno hodnotu $K=-0,014$, nižšiu o $+0,007$, tak pri minimálnych prietokoch je vývoj hodnoty smernice iný. V profile Zlatno je hodnota $K=-0,013$ a v Brezne $K=-0,022$, čím sa pokles zväčšil v smernici trendovej priamky o $-0,009$. Táto situácia upozorňuje, že riešenie trendovej analýzy priemerných prietokov je ovplyvňované režimom podzemných vôd, ktoré je potrebné brať do úvahy.

Tab. 5 Parametre trendových priamok Q_{min} pre vybrané vodomerné stanice

	Časové obdobie													
Č. zn. SHMÚ		nov.	dec.	jan.	feb.	mar.	apr.	máj	jún	júl	aug.	sep.	okt.	rok
6950	K	- 0,012	- 0,012	- 0,013	- 0,015	- 0,008	- 0,006	- 0,004	- 0,005	- 0,025	- 0,026	- 0,033	- 0,008	- 0,020
1951-92	q	24,1	24,1	25,1	30,4	15,5	11,7	8,12	10,4	48,5	50,8	64,7	15,9	39,9
	$\bar{X}$	0,649	0,613	0,483	0,458	0,573	1,49	1,28	1,12	0,841	0,719	0,611	0,612	0,787
	σ_x	0,405	0,324	0,187	0,161	0,349	0,599	0,491	0,467	0,345	0,354	0,243	0,376	0,219
7015	K	+ 0,004	- 0,008	- 0,022	- 0,019	- 0,002	+ 0,000	+ 0,000	+ 0,015	- 0,011	+ 0,003	+ 0,003	+ 0,005	- 0,003
1948-92	q	-7,49	15,4	43,2	37,5	4,58	-0,24	-0,30	-28,6	20,9	-5,17	-6,48	-9,56	6,24
	$\bar{X}$	3,24	3,61	3,12	3,09	4,13	8,68	6,42	5,49	4,15	3,38	2,64	2,95	4,24
	σ_x	1,87	1,80	1,41	1,50	2,79	3,98	2,43	2,34	1,76	1,54	0,936	2,24	1,02
K7015-K6950		+ 0,016	+ 0,004	- 0,009	- 0,004	+ 0,006	+ 0,006	+ 0,004	+ 0,020	+ 0,014	+ 0,029	+ 0,036	+ 0,013	+ 0,017

To znamená, že ak sú priemerné prietoky v poklese a zároveň aj absolútne minimá v týchto mesiacoch, potom dochádza aj k poklesu dlhodobých zdrojov podzemných vôd v tomto úseku Hrona. Ak si uvedomíme časovo dlhšie obdobie zmien vývoja zásob podzemných zdrojov vody, tak na jednej strane môžeme konštatovať nadlepšovanie klesajúcich prietokov Hrona podzemnými vodami a na druhej strane postupný pokles týchto zásob.

Príkladná je situácia pri hodnotení minim v letných mesiacoch júl a august, kde podzemné vody sajú prietokový režim po profil Brezno, čo sa odráža v zmene smerníc.

Ak berieme do úvahy hodnoty minimálneho bilančného prietoku určeného podľa metodiky na stanovenie MQ používanej SHMÚ, tak v analyzovaných profiloch je situácia nasledovná.

Prehľadne sú prietokové pomery absolútnych minimálnych prietokov v jednotlivých mesiacoch vo vzťahu k vybraným limitom uvedené v tabuľke 6.

Tabuľka v riadkoch $\overline{Q}_{\min}$ a $\overline{Q}_{\min 61-93}$ dáva informáciu v jednotlivých mesiacoch roka o vývoji priemerov absolútnych miním za celé obdobie pozorovania a za časový úsek od roku 1961 po 1993. V zátvorkách sú uvedené zmeny prietokov v percentách vzhľadom k celému obdobiu pozorovania. Záporné znamienka charakterizujú pokles priemeru mesačných minimálnych prietokov a minima v roku. Najvýraznejšie poklesli minimálne prietoky v stanici 6950 v auguste a septembri, čo v globáli korešponduje s vývojom zrážkovej činnosti. Tento stav charakterizuje tvorbu minimálnych prietokov v hornej časti povodia Hrona.

Tab. 6 Minimálne prietoky na Hrone v profiloch Zlatno a Brezno

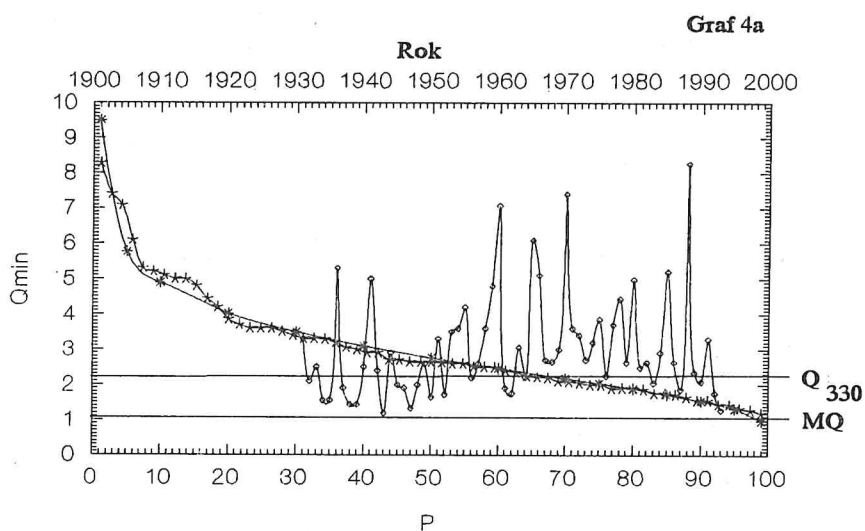
Č. zn. SHMÚ	Časové obdobie													
		nov.	dec.	jan.	feb.	mar.	apr.	máj	jún	júl	aug.	sep.	okt.	rok
6950	$\overline{Q}_{\min}$	0,653 (100)	0,614 (100)	0,483 (100)	0,458 (100)	0,568 (100)	1,47 (100)	1,263 (100)	1,099 (100)	0,830 (100)	0,708 (100)	0,605 (100)	0,608 (100)	0,378 (100)
	$(\overline{Q}_{\min 61-93})$	0,648 (-0,8)	0,612 (-0,4)	0,472 (-2,3)	0,442 (-3,5)	0,558 (-1,7)	1,47 (-0,1)	1,26 (-0,6)	1,09 (-0,8)	0,784 (-5,6)	0,648 (-8,5)	0,554 (-8,5)	0,586 (-3,6)	0,36 (-4,6)
1951-93	$MQ=0,227$	4,1	3,3	3,5	3,4	5,7	0	0	0	0	0	0	2,4	4,5
	$Q_{330}=0,473$	36,9	38	55	60	46	0,04	1,1	3,5	10,6	24,9	31,5	37,6	82,5
	$Q_{355}=0,357$	19,2	18,8	27,1	29,4	25,2	0	0,1	0	2,4	9,5	10,7	17	47,3
	$Q_{364}=0,264$	7,4	6,5	8	8,1	10,1	0	0	0	0	2,3	1,9	5,1	12,5
7015	$\overline{Q}_{\min}$	3,70 (100)	3,78 (100)	3,12 (100)	2,98 (100)	4,20 (100)	8,33 (100)	6,36 (100)	5,20 (100)	3,88 (100)	3,06 (100)	2,66 (100)	2,82 (100)	1,84 (100)
	$(\overline{Q}_{\min 61-93})$	3,5 (-5,5)	3,66 (-3,0)	2,91 (-6,8)	2,87 (-3,9)	4,11 (-2,2)	8,46 +	6,36 (0,1)	5,54 (6,5)	3,89 (0,3)	3,32 (8,5)	2,68 (0,8)	3,07 (8,8)	1,92 (4,1)
1931-93	$MQ=1,085$	2,8	2,1	1,8	1,4	0	0	0	0	0,3	1,8	2,1	2,5	2,2
	$Q_{330}=2,27$	28,2	25,6	31,9	33,2	17,1	1,2	2,27	6	15,3	33,2	42,3	40,6	83,2
	$Q_{355}=1,71$	13,8	11,8	13,8	13,5	6,4	0,3	0,6	1,5	4,6	14,2	18,4	18,5	42,9
	$Q_{364}=1,22$	4,5	3,5	3,4	2,8	1,4	0	0	0,2	0,6	3,4	4	4,6	6,1

Odlišná situácia v tvorbe miním nastáva na úseku od Zlatna po Brezno. Prietoky sú v obdobiach letných a jesenných mesiacoch, obdobiach minimálnych prietokov nadlepšované, ako už bolo spomenuté, zdrojmi podzemnej vody, ktoré v tejto časti povodia intenzívne vyvierajú do Hrona. To sa prejavuje v zmenách vývoja miním v priebehu celého roka vzhľadom k vyššie položenému profilu.

Porovnanie vývoja minimálnych mesačných prietokov vzhľadom limitným hodnotám minimálneho bilančného prietoku a limitnými m-dennými vodami sú uvedené v nasledujúcich riadkoch.

V jednotlivých mesiacoch sú skonštruované empirické čiary prekročenia, ktoré sú preložené analytickými. Teoretické rozdelenie pravdepodobnosti bolo použité logaritmicko-normálne ako najvhodnejšie rozdelenie pre časti čiar prekročenia s pravdepodobnosťou väčšou ako 50 %. Z týchto čiar sú pre zvolené hodnoty MQ , Q_{330} , Q_{355} , Q_{364} (určených z SHMÚ 1931-80) odčítané pravdepodobnosti prekročenia minimálnych prietokov P . To sú hodnoty, ktoré udávajú pravdepodobnosť, s akou sa minimá vyskytli nad zvolenými hodnotami v priebehu celého pozorovania.

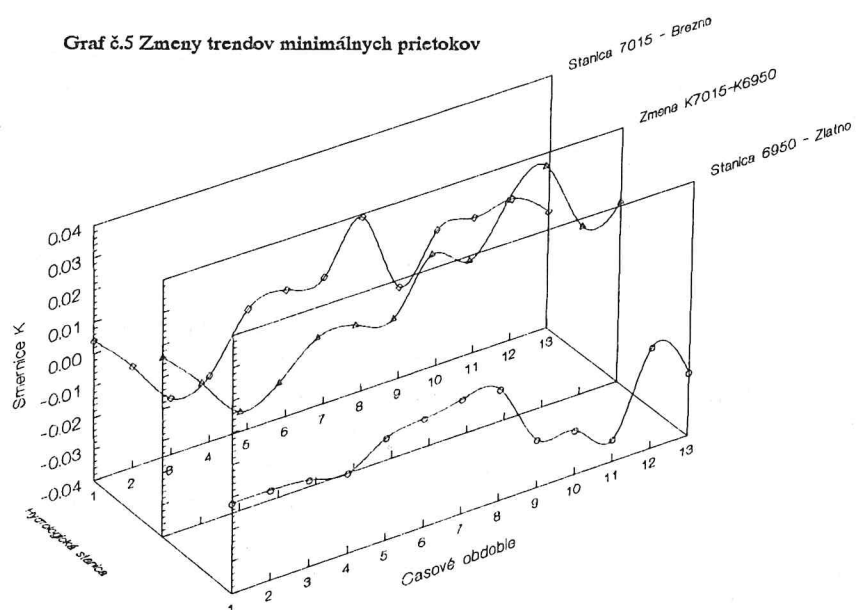
Názorne je ilustrovaný postup určovania hodnôt v tabuľke v grafe 4a. Pre minimá v mesiaci august na stanici Brezno sú v grafe vynesené empirická a analytická čiara prekročenia minimálnych prietokov s chronologickým priebehom miním v období pozorovania.



$$MQ = 1,085 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_{330} = 2,27 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Z analytickej čiary prekročenia sú odčítané ako príklad pravdepodobnosti prekročenia pre MQ a Q_{330} . Z takto získaných hodnôt sú v tabuľke spracované k jednotlivým limitným hodnotám všetky pravdepodobnosti podkročenia analyzovaných prietokov v jednotlivých mesiacoch a v roku.



Z výsledkov možno zhodnotiť vývoj minim a definovanie samotnej hodnoty MQ. Nie menej závažný je nerovnomerný vývoj minim v priebehu roka, kedy pravdepodobnosť podkročenia je najväčšia.

Zvláštnu kapitolu tvoria minimálne bilančné prietoky. Tie v malých hodnotách pravdepodobnosti podkročenia preukazujú, že hodnota MQ je stanovená tak, aby sa v priebehu celého roka minimá nachádzali nad touto hodnotou. Prísnosť definovania MQ je postavená na spodnú hranicu prietokového režimu toku.

Vývoj trendov minim je graficky ilustrovaný v zmenách smerníc minim na Hrone je v grafe 5, kde sú interpretované hodnoty smerníc trendových priamok pre časové rady minim v jednotlivých mesiacoch, ktoré sú označené poradovými číslami v hydrologickom roku. Trináste poradové číslo je priradené hodnote smernice určenej z časových radov minim v roku. Zmeny tendencie vývoja minimálnych prietokov medzi profilmi Zlatno a Brezno sú interpretované v hodnote K7015-K6950 pre jednotlivé mesiace.

Diferencie vývoja minimálnych prietokov na úseku Hrona medzi vodomernými stanicami Zlatno a Brezno sú značne ovplyvňované odčerpávaním podzemných vodných zdrojov. Táto situácia ovplyvňuje dlhodobejšie zdroje podzemných vôd a zmeny trendov prietokov.

DÔSLEDKY ZMIEN NA JEDNOTLIVÉ SFÉRY VODNÉHO HOSPODÁRSTVA

Hodnotenie zmien vo vodnom hospodárstve v povodí horného Hrona je nutné riešiť v rovinách variantných alternatív možných situácií, ktoré by nastali, ak by dynamika zmien v čase zostala stabilná. Z týchto dôvodov môžeme dnes konštatovať stav zmien zrážok a prietokov v povodí. Alternatívne riešenia však musia zahŕňať odraz analyzovaných zmien do dvoch hlavných rovín vodného hospodárstva, a to do roviny kvalitatívnej a kvantitatívnej.

Kvantitatívne zmeny vo vodnom hospodárstve majú prioritnú úlohu. Zmeny v kvantite vodných zdrojov sekundárne ovplyvňujú kvalitatívne procesy ako v povodí, tak priamo v tokoch za predpokladu konštantných aktivít vplývajúcich na kvalitu vôd. Zmenšovanie úhmu zrážok v priebehu roka, nerovnomerne ovplyvňuje bilanciu vodného hospodárstva, a tým ohrozuje uspokojovanie potrieb užívateľov vo vodnom hospodárstve. Tento stav sa začína prejavovať v posledných rokoch, kedy úbytky vody v tokoch sú citeľné v riešeniach vodohospodárskych bilancií, kedy sa niektoré toky dostávajú do kategórií stavu vodohospodársky pasívnych. Podobný problém je v zdrojoch vody, slúžiacich pre vodné nádrže. Tieto nádrže svojou prevádzkou zrovnomeňujú prietokový režim a zlepšujú vodohospodársku bilanciu, ale ich zásobné objemy trpia deficitom.

Najzávažnejšia situácia kvantitatívnych parametrov je v hodnotení minimálnych prietokov. Táto situácia pri používaní hraničných hodnôt minimálnych bilančných prietokov ako hodnôt nižších ako Q_{355} , sa ukazuje ako nevyhovujúca. Preto sa začína zavádzať pojem hydroekologických limitov, ktoré by mali v tokoch definovať prietok, zohľadňujúci základné podmienky pre život. Táto informácia je nenahradiateľná pre orgány štátnej správy, ktoré dnes nemajú možnosť odborného rozhodnutia opierajúceho sa o hodnoty takéhoto prietoku.

Tieto zmeny je možné podrobnejšie pretransformovať do jednotlivých sfér národného hospodárstva, kde konkrétne dôsledky úbytku zdrojov vody sa prejavujú vo variantných opatreniach do budúcnosti a rozhodovania dlhodobějších alternatívnych prognóz.

Kvalitatívne zmeny sa prejavujú sekundárne po kvantitatívnych. Ak si uvedomíme, že zdroje znečistenia ovzdušia a vody zostanú stabilné v čase a koncentráciách, tak zmenšovaním úhmu zrážok a znižovaním prietokov dôjde logicky k zvýšeniu koncentrácií znečisťujúcich látok.

Situácia sa zvlášť zhorší v obdobiach minimálnych prietokov, kedy premiešavacie procesy v toku pri malých prietokoch nie sú tak intenzívne. Toto má za následok zmeny v biologickom živote v toku so zmenami flóry v príbrežnej zóne a priamo v toku. Extrémne stavy môžu nastať v obdobiach ekologických havárií.

Zmeny zrážok a prietokov sú na základe výsledkov analýz preukázateľné a dôsledky zmien v regióne pravdepodobné s rôznou intenzitou. Pre spoločnosť je dôležité sa na tieto zmeny včas pripraviť a vedieť alternatívnymi riešeniami eliminovať ich negatívny dosah na prírodu a celú spoločnosť.

LITERATÚRA

- [1] *Bach, W.: Projected climatic changes and impacts in Europe due to increased CO₂. In: Conference on climate and water. Helsinki. IX. 1989, s. 31-59.*
- [2] *Arnell, N. : Human influence on hydrological behaviour: An international literature survey. [IHP-III. Project 6.1] Paríž, UNESCO 1989, 195 s.*
- [3] *Auer, I. : Precipitation fluctuations in Austria since 1845. In: Precipitation variability & climate change. Bratislava. IX. 1993, s.69-77.*
- [4] *Mosný, V. : Analýza časových radov prietokov v povodí horného Hrona. In: Konferencia s medzinárodnou účasťou v odbore vodného hospodárstva a vodných stavieb. Brno, VUT 1992, s.296-298.*
- [5] *Mosný, V. : Changing of discharge regime of the Hron basin. In: Advances in water sciences. Stará Lesná, Institute of hydrology, Slovak academy of sciences, 1993, s.8-12.*
- [6] *Cipra, T. : Analýza časových řad s aplikacemi v ekonómii, 1. ed. Praha, Alfa 1986, s.30.*
- [7] *Международное руководство по методам расчёта основных гидрологических характеристик. 2. ed. , Leningrad, Гидрометеоиздат Leningrad 1989, s.247.*
- [8] *Meko, D. , Hughes, M. ,Stockton, CH. : Climate change and climate variability: The paleo record. In: Managing water resources in the west under conditions of climate uncertainty. Washington. XI. 1990, National research council, s. 71-130.*

CONSEQUENCES OF AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION CHANGES ON THE RUNOFF VARIABILITY IN THE MODEL HRON RIVER BASIN

Vladimír Mosný

Slovak Technical University, Bratislava, Slovakia

ABSTRACT

The present quantitative changes of water resources have been recently determining both quality and quantity balance. Local variability solutions are able to analyse development of resources and their time variability in all regions of Slovakia.

Now, solution of climate changes impact can be solved at two basic levels:

- A. Model research based on physical models as CGMs, which is intended on climatic elements development in the past and their estimate in the future.
- B. The analysis of time series and estimation of statistical parameters.

The aim of the paper is to analyse precipitation and discharges development in result of air temperature change. This analysis was made in time series of the model Hron river basin (annual course and long-term observations).

The development of runoff elements is analysed in whole catchment of the river Hron to the discharge-gagging site Banská Bystrica. Telgart, Benuš, Jarabá, Jasenie, Motyčky and B.Bystrica are precipitation stations considered. The length of time series is from 63 to 94 year. Zlatno (the river Hron), Brezno (Hron), B.Bystrica (Hron), Mýto pod Ďumbierom (Štiavnica), Dolná Lehota (Vajskovský potok), Staré Hory (Starohorský potok), Hronec (Čierny Hron) are the discharge-gagging stations used (with the same observation series of 64 year). The selection of stations was based on conditions of time observations length, geography and runoff in the catchment.

Trend analysis was applied as a method for solving these problems. This method is based on linear regression between the time series values and the years of observation. The results of trend analysis are not uniform. At some stations the positive trend (increase) was found, but for most stations the negative trend (decrease) of time series can be considered as characteristic.

The significant level and interval of reliability determinate the characteristics of trend lines.

The trend analysis was applied for the annual and monthly values. These values were analysed as standardised ones. The task was amplified by solution of monthly and annual minimum discharges at some stations in the upper Hron basin.

The trend analysis results are as follows:

- a) The annual precipitation totals time series have a decreasing trend at all precipitation stations, especially in the upper part of the basin (stations Telgart and Benuš),
- b) Monthly precipitation totals were decreased from November to January and negligible increase was found from May to September. This development is not uniform during the year.
- c) The average annual discharges have more expressively decreasing trend than precipitation one. The expressive decrease was on the rivers Štiavnica and Hron (an example $k = 0,020, 0,019, 0,010 \dots$).
- d) The monthly discharges decreased expressively from November to March with some extremes in January ($k = 0,013 - 0,033$). The increasing trend is not expressive in April - June.
- e) The last thirty year period of observation influenced some statistical characteristics changes. Discharges have decreased two or three times more than in the first period of observation. The discharges are more expressively decreasing in monthly average than in annual average ($k=0,032-0,051$).
- f) The minimum discharges were declined as well. The discharge-gage stations Zlatno and Brezno are at the river Hron. There is the territory of active ground water resources with a discharge compensation into the Hron up to the gage station Brezno.

The results of analysis are reflecting regional precipitation and discharges changes based on observations. For the future, the aim of research could be defined briefly as follows: solving of parameter changes by trend analysis reflecting time series characteristics to assess the development of hydrological time series.

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 3

Vydáva:

Ministerstvo životného prostredia SR, Hlboká 2, 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 1995

Účelová publikácia, 100 s., 22 tab., 65 obr., náklad 400 výtlačkov

