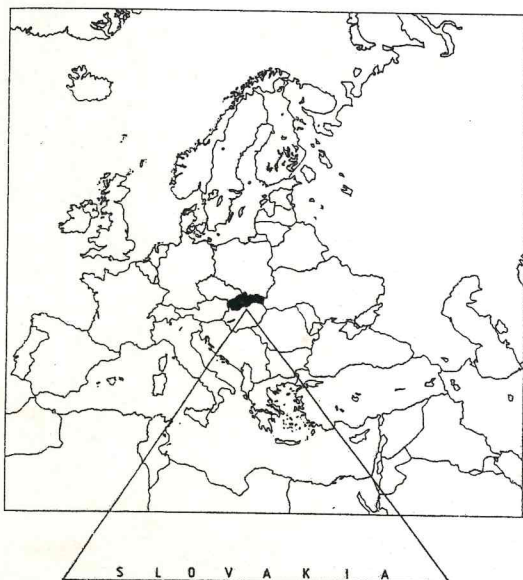


NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY
NATIONAL CLIMATE PROGRAMME OF THE SLOVAK REPUBLIC



NKP
2/94

- **MONITORING ZMIEN KLÍMY NA SLOVENSKU**
(Climate Change Monitoring in Slovakia)
- **OČAKÁVANÉ GLOBÁLNE OTEPLENIE A MOŽNÉ ZMENY NIEKTORÝCH CHARAKTERISTÍK KLÍMY NA SLOVENSKU**
(Expected Global Warming and Possible Change of some Climate Characteristics in Slovakia)
- **PREDBEŽNÁ INVENTARIZÁCIA EMISIE SLENÍKOVÝCH PLYNOV NA SLOVENSKU**
(Preliminary Greenhouse Gases Emission Inventory in Slovakia)
- **ZMENY HYDROLOGICKEJ BILANCIE NA SLOVENSKU A ZMENY KLÍMY**
Change of Hydrological Balance connected with Climate Change
- **MOŽNÉ DÔSLEDKY ZMIEN KLÍMY NA EVAPOTRANSPIRÁCIU OZIMNEJ PŠENICE A CUKROVEJ REPY**
(Possible Impacts of Climate Change on Winter Wheat and Sugar Beet Evapotranspiration)

BRATISLAVA 1994

*NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY*

*NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC*

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

Zväzok 2

BRATISLAVA 1994

OBSAH

NIEPLOVÁ, E. - LAPIN, M. - FAŠKO, P.

NÁVRH SIETE KLIMATOLOGICKÝCH ZRÁŽKOMERNÝCH STANÍC
NA MONITOROVANIE ZMIEN KLÍMY SR

5

LAPIN, M. - FAŠKO, P. - ZEMAN, V. ✓

PRÍSPEVOK K ANALÝZE MOŽNÝCH DÔSLEDKOV
GLOBÁLNEHO OTEPLENIA ATMOSFÉRY O 1 - 2 ° C
NA ZMENY KLIMATICKÝCH POMEROV NA SLOVENSKU

35

MAREČKOVÁ, K.

INVENTARIZÁCIA EMISIÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNOV
NA SLOVENSKU

79

MAJERČÁKOVÁ, O. - ŠEDÍK, P.

ZMENY ODTOKOV NA SLOVENSKÝCH TOKOCH

107

HUZULÁK, J. - MATEJKA, F.

MOŽNÉ DÔSLEDKY ZMIEN KLÍMY
NA EVAPOTRANSPIRÁCIU OZIMNEJ PŠENICE A CUKROVEJ REPY
NA PODUNAJSKEJ NÍŽINE

139

CONTENTS

NIEPLOVÁ, E. - LAPIN, M. - FAŠKO, P.

DESIGN OF CLIMATOLOGICAL AND PRECIPITATION STATIONS
FOR CLIMATE CHANGES AND VARIABILITY MONITORING
IN SLOVAKIA 5

LAPIN, M. - FAŠKO, P. - ZEMAN, V.

COTRIBUTION TO ANALYSIS OF POSSIBLE GLOBAL WARMING
IMPACTS UPON CLIMATE CHANGE IN SLOVAKIA 35

MAREČKOVÁ, K.

GREENHOUSE GASES EMISSION INVENTORY
IN SLOVAKIA 79

MAJERČÁKOVÁ, O. - ŠEDÍK, P.

THE RUNOFF CHANGE OF THE SLOVAK RIVERS 107

HUZULÁK, J. - MATEJKA, F.

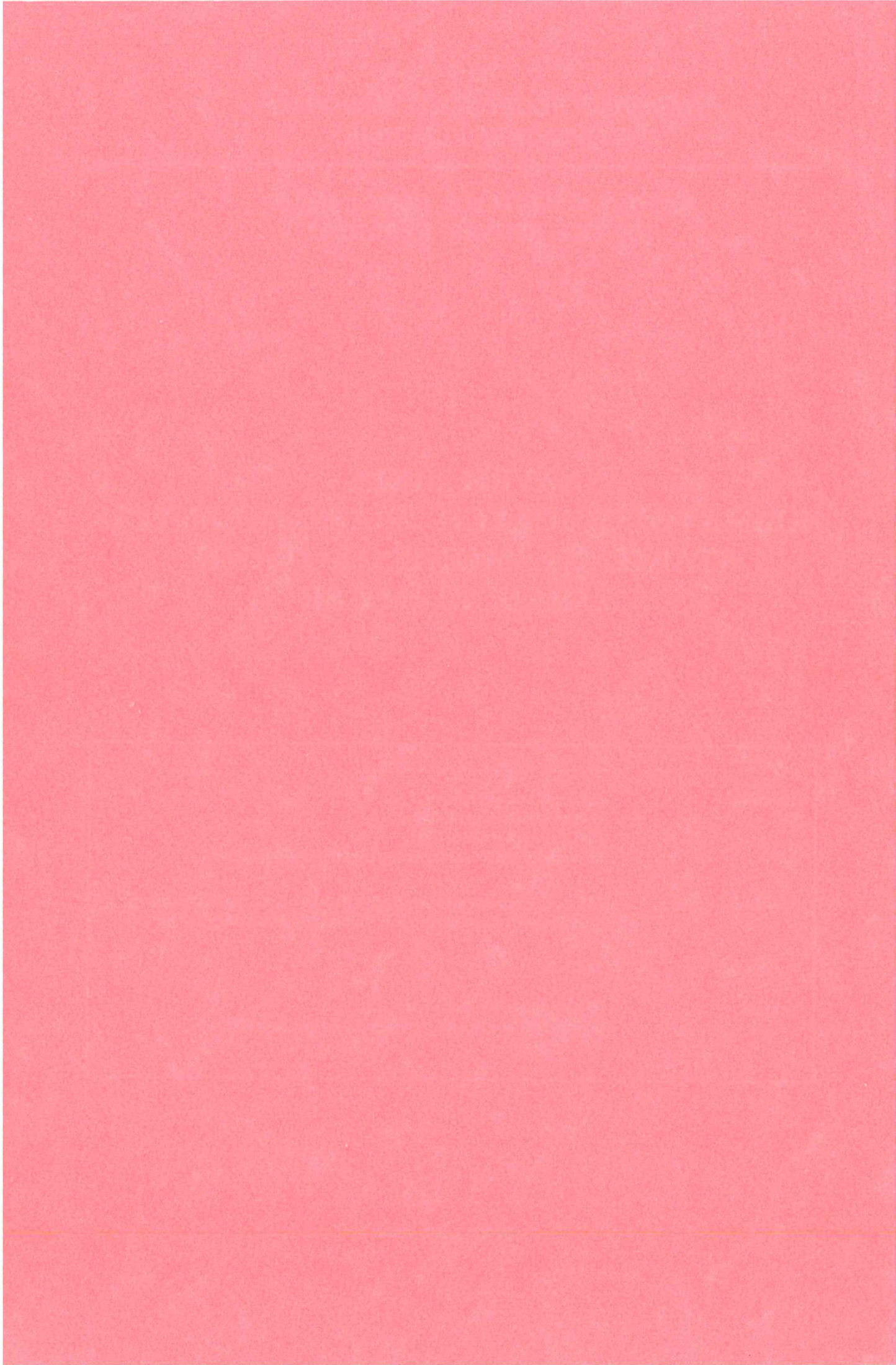
POSSIBLE IMPACTS OF THE CLIMATIC CHANGE
ON THE EVAPOTRANSPIRATION OF WINTER WHEAT
AND SUGAR BEET IN DANUBE LOWLAND 139

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

**NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC**

**NÁVRH SIETE
KLIMATOLOGICKÝCH ZRÁŽKOMERNÝCH
STANÍC NA MONITOROVANIE
ZMIEN KLÍMY SR**

Riešitelia:	RNDr. Elena Nieplová, CSc., RNDr. Milan Lapin, 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
Zadávateľ:	MŽP SR
Lektor:	RNDr. Oľga Majerčáková, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava



Design of Climatological and Precipitation Stations Network for Climate Changes and Variability Monitoring in Slovakia

Elena Nieplová, Milan Lapin & Pavol Faško

Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia

ABSTRACT

Criteria for the selection of the reference climatological stations (RCS) from the existing network in Slovakia seems to be one of the main results presented in this paper. These criteria are based on recommendations established by the WMO Commission on Climatology and they are modified according to the Slovak historical conditions as follows:

1. RCS should be a representative of natural climate regions within Slovakia.
2. RCS is located in an environment unaffected by human activities and it is supposed to remain so in the foreseeable future.
3. RCS has good, trained observers, usually employed with SHMI.
4. RCS has reliable instruments with regular maintenance, and regular inspections.
5. RCS has a wide climatological or/and precipitation programme of observation.
6. RCS has a long, unbroken records of high quality observations.
7. RCS is permanent with continuous existence into the foreseeable future.

A preliminary list of candidate stations was compiled on the basis of these modified criteria (in this stage the climatological and precipitation networks only):

Basic set of stations

Potential set of stations:

- with long time series of observations
- with relatively short time series of observations

Historical stations with voluntary observers:

- operating at present
- not operating at present

Reference precipitation stations

Annual air temperature means from these stations have been tested for homogeneity by standard statistical methods (Student test of mean values identity, Bartlett test of dispersion identity, Kruskal-Wallis test of distribution functions identity). Nonstationarity of time series has been tested by the parametric test (Abbe criteria) and the nonparametric method of trends analysis (Spearman rank-correlation method).

Following set of steps was used for the time series homogeneity testing of RCS candidates:

1. preparing of historical review of stations,
2. homogeneity testing by statistical methods,
3. relative homogeneity testing (Craddock test of relative homogeneity).

Besides of mean annual air temperature testing there have been tested monthly air temperature means, annual and seasonal precipitation totals, annual and seasonal air humidity means.

The first results of homogeneity testing have shown that annual air temperature means from the Basic set of stations can be considered as relatively homogeneous ones.

List of Tables

1. Basic set of climatological stations in Slovakia (starting year of homogeneous annual air temperature data)
2. Potential set of climatological stations - long time series of observations
3. Potential set of climatological stations - relatively short time series of observations
4. Historical climatological stations with voluntary observers - operating at present
5. Historical climatological stations with voluntary observers - not operating at present
6. Basic statistical characteristics of annual air temperature means - basic set of climatological stations (station, region, period, mean, maximum, minimum, standard deviation, coefficient of asymmetry, autocorrelation ratio)
7. Results of statistical homogeneity tests
8. Reference precipitation stations network in Slovakia (stations measuring since 1901)
9. Reference precipitation stations network in Slovakia (stations measuring since 1901 and abolished in the past - recommended for restoration)

List of Figures

1. Homogeneous regions in Slovakia according to air temperature means
2. Climatological stations distribution in Slovakia according to the altitude (n - number of stations, P - surface of altitudinal zones)
3. Number of climatological stations in Slovakia observing up to present since the year in the graph
4. Number of climatological stations in Slovakia observing up to present since the year in the graph and observing in that year
5. Comparison of annual air temperature means at stations Hurbanovo (H), Vienna (V) and Budapest (B)
- 6 - 7. Craddock test of annual air temperature means at Hurbanovo according to Vienna Hohe Warte
- 8 - 15. Craddock test of annual air temperature means among different stations in Slovakia
16. Correlation of relative air humidity means among stations Hurbanovo (858), Bratislava Koliba (813) and Košice airport (968) in the period from April to September
- 17 - 18. Craddock test of annual (solid line) and seasonal (Spring, Summer, Autumn, Winter - the other lines starting from the top) relative air humidity means at stations Hurbanovo (858), Štrbské Pleso (933), Telgárt (938) and Košice airport (968)
19. Comparison of mean water vapour pressure at the stations in south western Slovakia in the period from April to September
20. Craddock test of precipitation totals at the station Bratislava Matušková according to Hurbanovo (annual totals - a, April to September period - b, October to March period - c)
21. Precipitation stations distribution in Slovakia according to the altitude (n - number of stations, P - surface of altitudinal zones)

NÁVRH SIETE KLIMATOLOGICKÝCH A ZRÁŽKOMERNÝCH STANÍC NA MONITOROVANIE ZMIEN KLÍMY SR

Elena Nieplová, Milan Lapin, Pavol Faško
Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

ÚVOD

Globálny nárast skleníkových plynov v atmosfére a úvahy o jeho možných dôsledkoch na klimatický systém, zvýšenie výskytu prírodných katastrof, zmenili základnú filozofiu požiadaviek na sieť monitorujúce klimatické pomery.

Meteorologické pozorovacie siete slúžili pôvodne na skúmanie klimatických pomerov územia, neskoršie aj na získavanie okamžitých údajov pre predpoveď počasia. Tomu zodpovedali aj požiadavky kladené na presnosť a stálosť meraní. Pre klimatologické účely sa považovalo za dostačujúce každé kvalitné, neprerušené meteorologické pozorovanie trvajúce dlhšie ako 10 rokov. Klimatologický výskum je v posledných rokoch zameraný predovšetkým na zmeny a variabilitu klímy, a tým sa zmenili aj požiadavky na monitorovacie siete. Hlavná pozornosť sa obrátila na dlhodobé rady klimatologických pozorovaní a na vytvorenie siete referenčných klimatologických staníc.

Cieľom referenčných klimatologických staníc (RCS) je poskytovať spoľahlivé údaje pre skúmanie všetkých aspektov klímy - od globálnych po lokálne štúdie fluktuácií, trendov, zmien variability a zmien výskytu extrémnych javov.

Za referenčnú klimatologickú stanicu sa podľa definície WMO [13] považuje "klimatologická stanica, ktorej údaje sú určené pre účely sledovania klimatických trendov, má dlhé (aspoň 30-ročné) rady homogénnych pozorovaní, pričom antropogénne vplyvy na zmeny okolia stanice boli alebo budú minimálne. V ideálnom prípade by pozorovania mali mať dostatočnú dĺžku pre identifikovanie sekulárnych zmien klímy".

METÓDY HODNOTENIA STANÍC

Požiadavky na referenčné klimatologické stanice odporúčané WMO (podľa modifikácie R. Heina [15]) sú nasledovné:

1. Stanica reprezentuje danú klimatickú oblasť.
2. Stanica sa nachádza v prírodnom prostredí vzdialenom od husto osídlených alebo priemyselných oblastí.
3. Stanica je obsluhovaná dobrými a školenými pozorovateľmi, má vhodné prístrojové vybavenie, vykonáva sa na nej pravidelná inšpekcia a technická údržba tak, aby bol zabezpečený vysoký technický štandard stanice.
4. Pracovný program stanice zahŕňa široké spektrum klimatologických prvkov, pozorovania sú starostlivo kontrolované.
6. Stanica má dlhé, neprerušené pozorovania vysokej kvality.
7. V histórii stanice sa nevyskytli významné zmeny v jej umiestnení, prístrojovom vybavení, expozícii prístrojov, metódach pozorovania, termínoch pozorovania.
8. Stanica je dlhodobá a stabilne v činnosti a je predpoklad, že bude v činnosti aj v budúcnosti, na rovnakom mieste a v rovnakých podmienkach. Každá zmena prístrojov, ich expozície, miesta, metód pozorovania a okolia v budúcnosti by mala byť spojená s paralel-

nými meraniami v starých a nových podmienkach v trvaní najmenej jedného roka. Stanica je stála.

9. Najvhodnejšie sú synoptické stanice alebo stanice so spravodajstvom CLIMAT.

Odporúčaná hustota siete pre sledovanie globálnych zmien klímy a variability je 2 - 10 staníc na 250 000 km². Hustota siete na sledovanie regionálnych a lokálnych zmien a variability závisí od charakteru a členitosti územia. Sieť má poskytovať reprezentatívne charakteristiky pre všetky typy krajiny (t.j. roviny, údolia, kotliny, horské oblasti, náhorné planiny, pobrežia, ostrovy).

Pri výbere RCS je veľmi dôležité hodnotenie homogenity pozorovacích radov. Odporúčaná je metóda dvoj- až viacstupňového výberu staníc. Podľa uvedených kritérií 1. až 9. sa urobí predbežný výber staníc. Rady pozorovaní týchto staníc sa potom veľmi podrobne skúmajú a testujú. Zvyčajne sa pri kandidátoch na RCS testujú teplotné a zrážkové rady.

Hodnotenie homogenity radov pozorovaní závisí od toho, či sú k dispozícii kompletne informácie o histórii stanice a rady pozorovaní blízkych staníc. Blízka stanica je definovaná ako stanica so signifikantnou koreláciou s testovanou stanicou [13]. História stanice obsahuje údaje o umiestnení prístrojov, pozorovacom programe, presnej polohe prístrojov, termínoch a metódach pozorovania. Dôležitý je tiež údaj o vzdialenosti medzi predchádzajúcou a súčasnou polohou stanice. Následujúce prípady:

- A. Ak je k dispozícii história stanice a tiež údaje blízkej stanice s homogénnym radom pozorovaní, testuje sa každá zmena uvedená v histórii stanice. Odporúčané metódy sú Studentov t-test pre teplotu vzduchu a neparametrický Wilcoxonov rank-sum test pre zrážky [14].
- B. Ak sú k dispozícii údaje z blízkej stanice, nie však história stanice, odporúčané testy sú Abbeho test, von Neumannov test, Alexanderssonov test, Maronnov a Yohaiho test [14]. Výsledky však nie sú obvykle také presné ako v prípadoch A.
- C. Ak je k dispozícii iba história stanice, využívajú sa parametrické a neparametrické testy [14]. Ich výsledky bez možnosti porovnania s meraniami blízkej stanice však nemusia byť jednoznačné.
- D. Ak nie je k dispozícii história stanice ani merania blízkych staníc, môžu sa opäť využiť testy homogenity rozdelením súboru údajov na podsúbory. V prípade zamietnutia nulovej hypotézy sa indikuje nehomogenita v rade pozorovaní [14]. Stanice bez histórie a bez porovnania s blízkou stanicou možno použiť ako RCS len v ojedinelých prípadoch.

Na základe odporúčaní WMO väčšina členských krajín začala práce na výbere referenčných klimatických staníc a na vytvorení národných referenčných klimatologických sietí staníc. Street [27] uvádza kritériá výberu RCS, ktoré použili v Canadian Atmospheric Environmental Service (AES). Kritériá vychádzajú z odporúčaní WMO [13], sú však prispôbené pre geografické, klimatické a demografické podmienky Kanady. Na základe týchto kritérií bolo vybraných 132 staníc na území Kanady. Podľa Streeta je osobitne dôležité posudzovanie reprezentatívnosti údajov o zrážkach. Odporúča tiež vytvoriť určitú hierarchiu RCS, ktorá môže byť vhodne využívaná pri rozdielnych aplikáciách (globálne, regionálne, národné, miestne štúdie variability a impaktov). Napríklad bol urobený výber staníc, ktoré majú sice kratší rad pozorovaní ako 30 rokov, ale existuje reálny predpoklad ich nepretržitej činnosti v budúcnosti.

Metodológia výberu RCS použitá v USA (National Weather Centre) je uvedená v [5]. V auguste 1990 bola v USA vytvorená národná Referenčná klimatologická sieť staníc, ktorá sa skladá z 264 staníc LCD (Local Climatological Data Stations) a zo 640 staníc zo súboru United States Historical Climatology Network. Ide prevažne o dobrovoľné stanice pozorujúce maximálnu a minimálnu teplotu vzduchu a zrážky.

Prvý výber staníc, pri ktorých je predpoklad nepretržitého pozorovania najmenej 30 rokov, bol na území Slovenska urobený v rámci staničnej siete Československa v roku 1965 (7 klima-

tologických staníc, 19 zrážkomerných staníc). Stanice boli rozčlenené na základné, doplnkové a zrážkomerné. Ich výber sa neriadil prísne stanovenými kritériami. Z týchto staníc v štandardnom normálovom období boli premiestnené stanice Ústie nad Priehradou a Trebišov, zrušené Okoličné.

Zo staníc s dlhými radmi pozorovaní publikovaných v Katalógu WMO (WMO No. 174, TP 86, Catalog of Meteorological Data for Research) je dnes v činnosti na pôvodnom mieste iba stanica Hurbanovo. (Ďalšie stanice boli premiestnené alebo zrušené - Bratislava, Trnavská ul., Lučenec.) Vo výbere referenčných klimatických staníc, ktorý pre ČSFR v 1990 urobila Slabá [26], sú stanice Hurbanovo a Poprad ako základné stanice, Lučenec, Stropkov, Telgárt, Chopok ako doplnkové stanice a Jaslovské Bohunice ako stanica reprezentujúca antropogénne ovplyvnené prostredie. Tento výber zodpovedá požadovanej hustote pre sledovanie globálnych zmien. Z hľadiska regionálnych a národných štúdií vzhľadom na zložité orografické a tiež cirkulačné podmienky je potrebná hlbšia analýza staničnej siete a väčšia hustota staníc.

METÓDY HODNOTENIA STANÍC NA SLOVENSKU

Nepravidelné prístrojové meteorologické pozorovania v 17. a 18. storočí boli po založení Centrálného meteorologického ústavu vo Viedni v r. 1850 vystriedané prvou štátnou pozorovacou sieťou. Postupne začali svoju činnosť stanice v Kežmarku, Levoči, Rožňave, Spišskom Podhradí, Štítniku, Košiciach, Spišských Vlachoch, Revúcej, Bratislave, Trnave, Komárne, Nitre, Hurbanove, Nédanovciach, Banskej Štiavnici, Oravskom Podzámku, Banskej Bystrici, Lučenci, Kremnici, Liptovskom Hrádku, Beňuši, Dobroči, Na Starom Vrchu. V 90. rokoch 19. storočia v súvislosti s výstavbou viacerých vodohospodárskych zariadení sa zorganizovala osobitná sieť zrážkomerných staníc. V roku 1901 bolo na území dnešného Slovenska 26 klimatických staníc a 200 zrážkomerných staníc. Klimatické stanice pozorovali základné prvky - teplotu, oblačnosť, vietor, niektoré slnečný svit, neskôršie aj vlhkosť vzduchu - denne, prevažne v troch termínoch. Tieto sa však od stanice k stanici dosť menili. Prístrojové vybavenie sa v princípe menilo málo. Teplota vzduchu sa merala ortuťovými teplomerami, vlhkosť vzduchu Augustovým psychrometrom, zrážky boli merané zrážkomermi v rôznych obdobiach s rôznou zachytňovacou plochou. Menila sa tiež výška teplomerov nad merným pozemkom.

Uvedený historický vývoj pozorovacej siete nás viedol k tomu, že výber staníc robíme vo viacerých úrovniach a je rozdelený na dva podsúbory zodpovedajúce dvom typom pozorovacích sietí - klimatické stanice a zrážkomerné stanice.

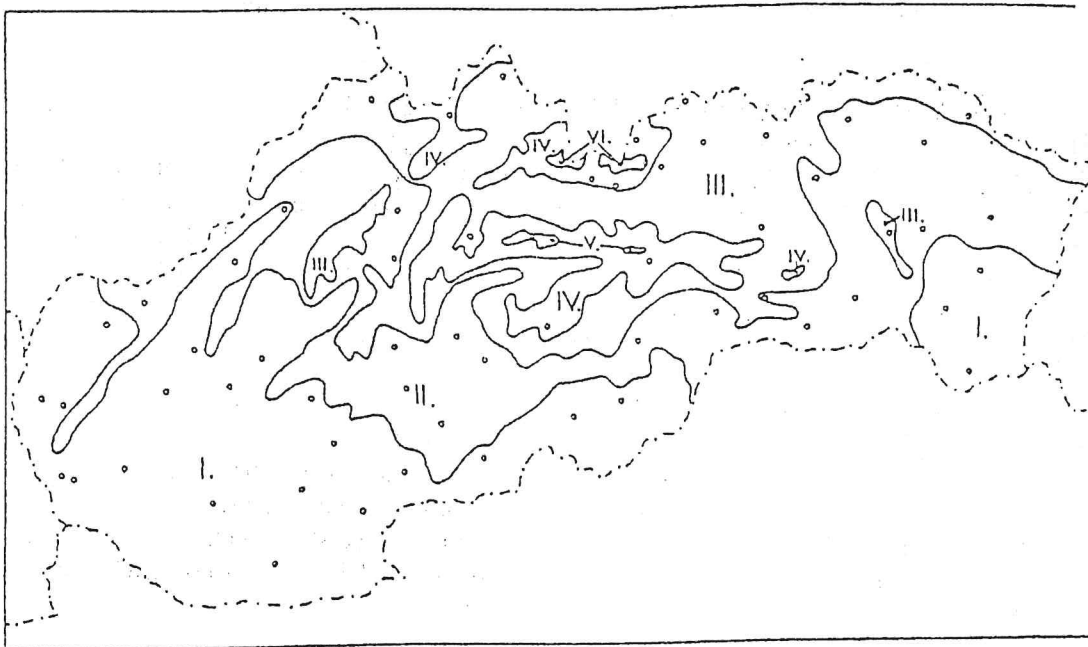
Vzhľadom na historický vývoj pozorovacej siete, orografické a demografické podmienky Slovenska sme volili kritériá výberu takto:

1. Stanica reprezentuje prirodzenú klimatickú oblasť, v ktorej sa nachádza.
2. Okolie stanice je, a dá sa predpokladať, že aj v budúcnosti bude, len minimálne ovplyvnené antropogénnou činnosťou.
3. Stanica má kvalitných, v zásade profesionálnych pozorovateľov.
4. Stanica má štandardné prístrojové vybavenie, pravidelnú údržbu a inšpekciu.
5. Stanica má základný klimatický program, resp. zrážkomerný program.
6. Stanica má čo najdlhší rad kvalitných pozorovaní.
7. Stanica je v súčasnosti v činnosti a je predpoklad, že i v budúcnosti bude v činnosti.

Analýze podľa uvedených kritérií sme podrobili všetky klimatologické stanice, ktoré sú v súčasnosti v činnosti. V sieti klimatologických staníc na Slovensku sú stanice s dlhými radmi kvalitných pozorovaní, ktoré však pracujú na báze dobrovoľných pozorovateľov. Vytvorili sme preto zvláštnu úroveň staníc, v ktorej sme stanice posudzovali podľa uvedených kritérií, avšak pri zoslabení kritéria č. 3. Osobitne sme hodnotili historické stanice s dlhým radom pozorovaní, ktoré v súčasnosti nie sú v činnosti.

HODNOTENIE STANÍC

1. Pri hodnotení reprezentatívnosti staníc sme sa opierali o výsledky prác Nieplovej, Niepela [24] na vymedzení teplotne homogénnych oblastí (obr.1), Gajara, Zemana [9][10][11], v ktorých je analyzovaná problematika priestorovej interpolácie údajov, Lapina, Gajara [8], v ktorej je diskutovaný projekt optimalizovanej pozorovacej siete klimatológie. Pri posudzovaní reprezentatívnosti záleží od skutočného využitia údajov stanice. Pri analýze dlhodobého radu pozorovaní jednej stanice nie je podmienka, aby stanica reprezentovala okolie taká dôležitá ako neprerušenosť a homogenita pozorovaní. Pri priestorových štúdiách je reprezentatívnosť pre oblasť pochopiteľne dôležitá, avšak záleží tiež na priestorovej premenlivosti prvku, ktorý sa skúma. Reprezentatívnosť stanice nie je vždy rovnaká vo všetkých smeroch. Orograficky členité územie spôsobuje nerovnomernú hustotu izolínií prvku v rôznych smeroch (napr. rovnobežne s pohorím a kolmo na pohorie). Chyby priestorovej interpolácie taktiež závisia od orografických podmienok [9][10][11].



Obr.1 Vymedzenie teplotne homogénnych oblastí na Slovensku

Fig. 1 Homogeneous regions in Slovakia according to air temperature means

2. Exaktné požiadavky na okolie stanice sa nedajú definovať. Zo staníc s viac alebo menej narušeným okolím sme vybrali tie, kde sa dajú predpokladať minimálne zmeny okolia. Ak vezmeme do úvahy hustotu osídlenia Slovenska, pri posudzovaní okolia stanice nemožno vylúčiť zmeny spôsobené ľudskou činnosťou, hlavne v minulosti a v súčasnosti, keď je väčšina pozorovaní vykonávaná človekom. V budúcnosti, ak budú pozorovania prevažne automatizované, bude možné stanice umiestniť v prírodnom prostredí ďaleko od ľudských sídel a získať tak neprerušené rady z jedného miesta. Aj keď stanica nie je umiestnená v rozrastajúcom sa meste, vyskytuje sa veľa antropogénnych vplyvov na bezprostredné okolie stanice - nové drobné stavby, rast a výsadba stromov, odlesňovanie, zmeny povrchu a pôdy, zavlažovanie.

3. Ako sme už uviedli vyššie, vzhľadom na historický vývin siete, osobitne sme posudzovali stanice s profesionálnou obsluhou a s dobrovoľnými pozorovateľmi. Na profesionálnych staniaciach sa dá zabezpečiť, aby pozorovatelia boli kvalitne školení, aby školenie a testovanie pozorovateľov bolo pravidelné, aby sa predišlo odchýlkam v pozorovacej praxi. Dá sa tiež zabezpečiť kvalifikované zastupovanie pozorovateľa počas choroby, dovolenky a pod., aby pozorovanie v týchto prípadoch nebolo prerušené. Napríklad stanica Hurbanovo už od r. 1900 mala kvalitný profesionálny personál. Kvalita pozorovateľov dobrovoľných staníc sa od stanice

ku stanici menila. Pred využívaním údajov z týchto staníc treba hodnotiť homogenitu radov pri zmenách pozorovateľov. Príspevkom k tejto problematike je práca Tihláríka [28].

4. Prístrojové vybavenie staníc bolo od vzniku siete pre základné klimatické prvky štandardné (ortuťové teplomery, Augustov psychrometer, heliograf Campbell-Stokes, kvalitné tlakomery). Menili sa však typy meteorologických búdok, výška umiestnenia teplomerov a zrážkomerov, zachytaná plocha zrážkomerov a tiež expozícia prístrojov na stanici. Všetky zaznamenané zmeny prístrojov v histórii pozorovania stanice musia byť testované. Zmeny prístrojov musia byť tiež starostlivo skúmané, aby sa podarilo nájsť diskontinuity. V histórii pozorovacej siete na území Slovenska nedošlo k významnej metodologickej zmene termínov pozorovaní (7, 14 a 21 h stredného miestneho času). Krátkodobé zmeny termínov v počiatočných rokoch pozorovania siete treba testovať a v prípade potreby hodnoty upraviť. Čo sa týka metodiky spracovania, zmenil sa výpočet priemernej dennej teploty v roku 1920. Pri využívaní starších údajov treba testovať zmenu a ak je to potrebné, údaje upraviť. So súčasnými poznatkami o histórii siete nevieme posúdiť, do akej miery boli v minulosti splnené podmienky pravidelnej inšpekcie; v súčasnosti sú zabezpečované riadnou činnosťou meteorologickej a klimatologickej služby.

5. Hodnotené stanice majú štandardný klimatologický program, resp. zrážkomerný program. Osobitné hodnotenie zrážkomerných staníc nie je podmienené len historickým vývinom siete, ale tiež samotným charakterom zrážkového poľa, pretože na hodnotenie variability a zmien zrážok potrebujeme hustejšiu sieť staníc. Nevieme posúdiť, do akej miery bola v minulosti kvalita údajov kontrolovaná. Kvalita údajov od roku 1961 zodpovedá štandardným požiadavkám na kvalitu klimatologických staníc SHMÚ a tiež požiadavkám formulovaným WMO [14] (manuálna a počítačová kontrola kvality údajov [7] je zabezpečovaná riadnou pravidelnou činnosťou klimatologickej služby). Dôležité je zabezpečenie spätnej väzby - stanice musia byť okamžite informované o chybách a odchýlkach v pozorovaní, musí nastať náprava odchýlok.

6. Čím dlhšie sú rady pozorovaní, tým väčšie prerušenia a väčší počet prerušení sa v nich vyskytuje. Ak údaje chýbajú, môžu sa doplniť pre rôzne obdobia, nie však viac ako 2 kompletne roky chýbajúcich údajov. Stanice s kratším radom pozorovaní, napr. z obdobia od roku 1961 môžu byť použité ako referenčné stanice pri analýze údajov z iných viac narušených radov z daného obdobia.

7. Aj keď rady pozorovaní vybraných staníc je nutné v budúcnosti podrobiť testom na všetky zmeny v ich histórii, výber staníc bol robený tak, aby navrhnuté stanice mali podľa možnosti iba minimum premiestnení a ak sa vyskytli, mali by byť klimaticky kompatibilné. Mnohé významné zmeny sa však nemusia objaviť v histórii stanice. Napríklad typickým zdrojom nehomogenity je presun polohy zrážkomera, ktorý môže byť dostatočne veľký pre zmenu efektívneho zachytávania zrážok, ale nie dosť veľký na oficiálnu zmenu stanice. Ak sa však napriek všetkému vyskytnú zmeny v prístrojovom vybavení, v mieste merania, v metódach, expozícii, termínoch a pod., je potrebné vykonávať súbežné merania v nových a starých podmienkach za dostatočne dlhé obdobie. Tento čas závisí od štatistických charakteristík variability a mení sa v závislosti od prvku a klimatickej oblasti.

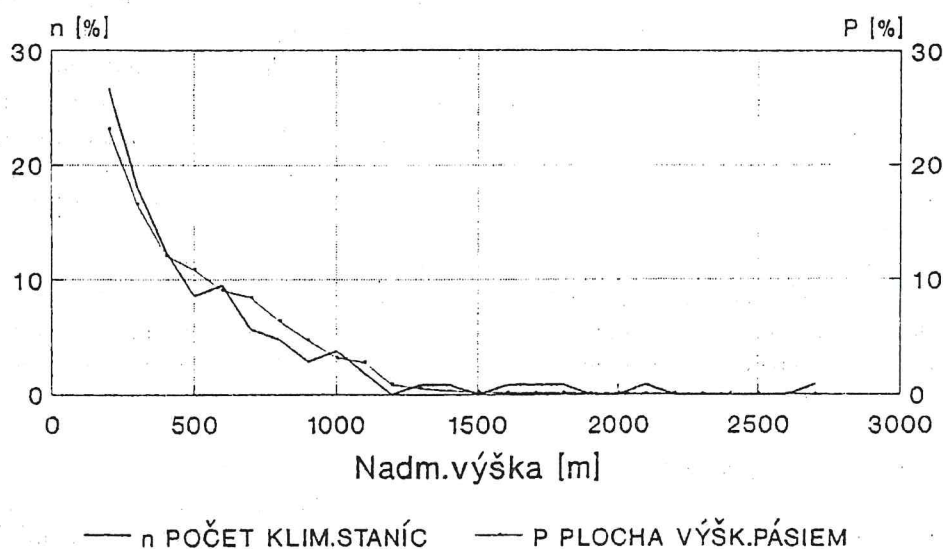
8. Pretože jednou z najdôležitejších úloh referenčných staníc je spolahlivá verifikácia možných budúcich zmien klímy, základnou požiadavkou je činnosť referenčnej stanice v budúcnosti. Stanica s ukončenou alebo prerušenou činnosťou sa veľmi skoro stane nepoužiteľnou tak pre monitorovanie klimatických javov, ako aj pre iné klimatologické štúdie a aplikácie. Napriek tomu sme hodnotili a diskutujeme aj stanice s ukončenými alebo prerušenými pozorovaniami, avšak s dlhými radmi kvalitných pozorovaní v minulosti. A to v prípadoch, ak v čase prerušenia pozorovala blízka alebo blízke stanice. Spomínané stanice sa síce nedajú definovať ako referenčné v pravom slova zmysle (snáď len pre obdobie, kedy boli v činnosti), dajú sa však spolu s referenčnými využiť pri testovaní radov, pri klimatologických štúdiách z obdobia ich činnosti a pod. V prípade obnovenia ich činnosti a po rekonštrukcii chýbajúcich údajov sa môže zväziť ich prípadné zaradenie medzi RCS.

NÁVRH SIETE

Klimatologické stanice

V súčasnosti je na Slovensku v činnosti 106 pozorovacích staníc so základným klimatologickým programom. Na obr.2 uvádzame výškové rozmiestnenie týchto staníc. Výsledky pozorovaní staníc sme hodnotili podľa uvedených podmienok. Mnohé pozorovacie stanice boli počas svojej činnosti premiestňované. V praxi je obvykle ťažké subjektívne posúdiť, či ide o premiestnenie stanice a len malú zmenu vo výsledkoch pozorovaní, alebo o zmenu veľkú, a teda ide o zrušenie stanice a zriadenie novej stanice. Preto je potrebné všetky zmeny tiež štatisticky testovať. Testovanie v minulosti nebolo robené a dodnes nie je otázkou rutínnej prevádzky. Na obr.3 uvádzame historický vývoj počtu staníc, pričom vychádzame z počtu staníc, ktoré sú dodnes v činnosti, na obr. 4 je znázornený počet klimatologických staníc, ktoré boli v činnosti v jednotlivých rokoch.

OBR.2 VÝŠKOVÉ ROZLOŽENIE KLIMATOLOGICKÝCH STANÍC NA SLOVENSKU

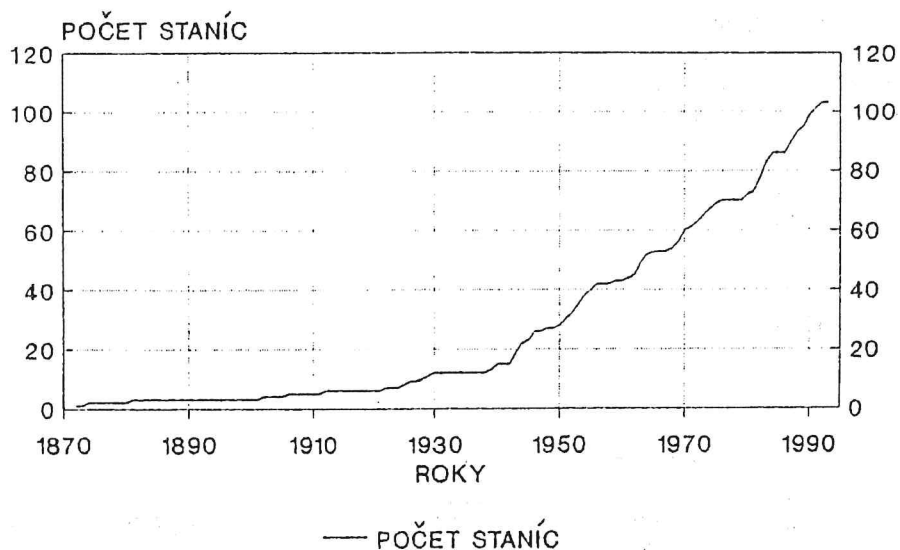


Stav k 1.1.1994

Fig. 2 Climatological stations distribution in Slovakia according to the altitude (n - number of stations, P - surface of altitudinal zones)

Výsledkom hodnotenia činnosti klimatologických staníc je návrh referenčných klimatologických staníc. Rok, od ktorého navrhujeme stanicu zaradiť do zoznamu referenčných staníc, nemusí byť vždy totožný so začiatkom pozorovaní v danej lokalite. Pri posudzovaní histórie staníc sme však v prvom kroku vylúčili obdobia s predpokladanými výraznými zmenami v pozorovaní. Po dôkladnej analýze homogenity pozorovacích radov môže byť návrh staníc a tiež obdobie ďalej modifikovaný.

OBR.3 POČET KLIMATOLOGICKÝCH STANÍC NA SLOVENSKU OD R.1872



IBA STANICE, KTORÉ SÚ V ČINNOSTI
K 1.1.1994

Fig. 3 Number of climatological stations in Slovakia observing up to present since the year in the graph

OBR.4 POČET KLIMATOLOGICKÝCH STANÍC NA SLOVENSKU OD R.1852

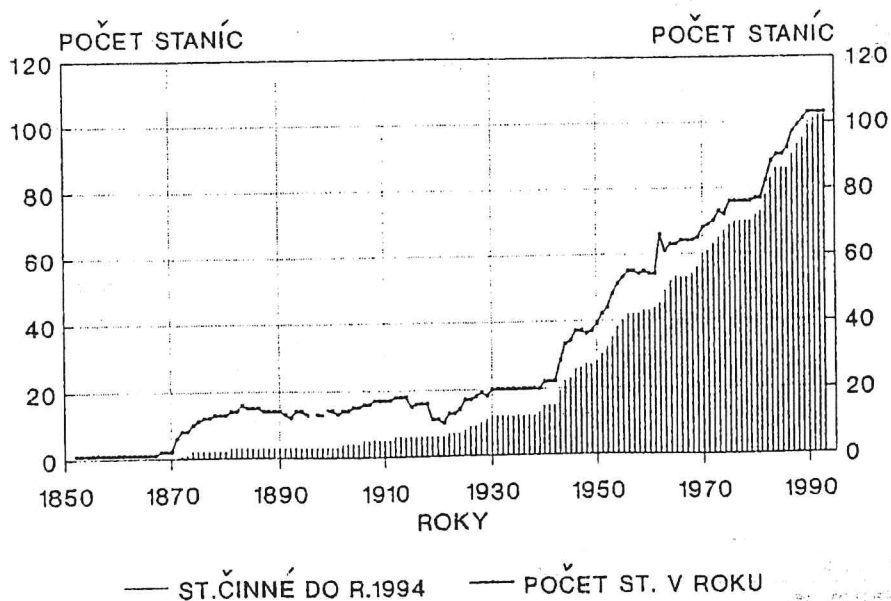


Fig. 4 Number of climatological stations in Slovakia observing up to present since the year in the graph and observing in that year

Návrh siete na monitorovanie klimatických zmien sme rozdelili na súbory:

- referenčné klimatologické stanice:
 - základný súbor staníc
 - potenciálny súbor staníc:
 - s dlhými radmi pozorovaní
 - s krátkymi radmi pozorovaní
- historická dobrovoľnícka sieť:
 - stanice v činnosti
 - ukončená činnosť

Referenčné klimatologické stanice

Tab. 1 Základný súbor staníc

Stanica	Od roku	Poznámka
Hurbanovo	1901	pred r.1901 treba homogenizovať hodnoty
Chopok	1956	
Kamenica nad Cirochou	1944	
Lomnický štít	1947	
Poprad	1945	
Stropkov	1963	
Telgárt	1946	

Tab. 2 Potenciálny súbor staníc - dlhé rady pozorovaní

Stanica	Od roku	Poznámka
Košice, letisko	1945	Posúdiť výsledky testov zmeny polohy v r.1964
Piešťany	1928	Testovať malé zmeny polohy
Sliač	1944	Testovať malé zmeny polohy
Bratislava, Koliba	1951	Testovať zmenu v r.1975
Prievidza/Bojnice	1925	Testovať zmenu polohy v r.1972
Lučenec/Boľkovce	1961	Testovať malé zmeny polohy po r.1985, testovať stanicu od r.1871 so zmenami v 1874, 1933
Štrbské Pleso	1961	Testovať zmenu 1992, testovať stanicu od r.1902, zmeny v 1919, 1931, 1952
Milhostov/Trebišov	1976	Testovať zmenu 1988, testovať stanicu od r.1931, zmena 1946

Tab. 3 Potenciálny súbor staníc - krátke rady pozorovaní

Stanica	Od roku
Žilina - Hričov	1975
Nitra	1982
Gánovce	1982
Liesek	1988

Tab. 4 Historická dobrovoľnícka sieť - stanice v činnosti

Stanica	Od roku	Poznámka
Liptovský Hrádok	1920	Testovať zmeny kvality, testovať stanicu od 1881, zmeny 1918, 1921
Moldava nad Bodvou	1930	Testovať zmeny kvality
Ratková	1906	Testovať zmeny polohy, kvality, prístrojového vybavenia
Žihárec	1953	
Kráľová pri Senci	1953	
Michalovce	1952	
Medzilaborce	1943	Testovať malé zmeny polohy v 1946, 1961
Oravská Lesná	1943	Testovať malé zmeny polohy v 1961
Čadca	1950	Prehodnotiť zmeny kvality pozorovaní
Somotor	1951	Testovať zmeny kvality

V tab.5 sú uvedené dobrovoľnícke stanice s dlhým radom pozorovaní, ktoré v súčasnosti nie sú v činnosti. Je však v činnosti blízka stanica a po obnovení pozorovaní by sa prerušený rad dal pre niektoré klimatologické štúdie rekonštruovať.

Tab. 5 Historická dobrovoľnícka sieť - ukončené pozorovania

Stanica	Od roku	Poznámka
Bratislava, centrum	1881	Zmeny polohy, ukončená 1981
Banská Štiavnica	1852	V historickej polohe ukončená 1968, odvtedy v činnosti stanica v inej polohe
Starý Smokovec	1875	Prerušenia pozorovania, v historickej polohe ukončená v 1960, odvtedy v činnosti stanice so zmenenou polohou

Testovanie homogenity

Ako sme už uviedli, časové rady údajov z navrhnutých staníc treba ďalej analyzovať a testovať. Pri testovaní homogenity teplotných radov kandidátov na RCS sme zvolili tento postup:

1. vypracovanie histórie stanice,
2. testovanie homogenity pomocou štatistických testov,
3. testovanie homogenity pomocou testu relatívnej homogenity.

História staníc

Pri získavaní údajov o meraniach na staniciach sme sa opierali o všetky dostupné zdroje informácií. Využili sa informácie z archívnych materiálov - mesačné výkazy pozorovaní, denníky pozorovaní, protokoly o založení stanice, protokoly o inšpekcii stanice, správy zo služobných ciest, fotodokumentácia a pod., ako aj informácie publikované - krajo­vé štúdie, klimatografie, monografie, spracovania iných riešiteľov NKP. Žiaľ údaje o staniciach, podmienkach merania, metodikách pozorovania a prístrojovom vybavení sú do 50. rokov nášho storočia iba sporadické a nesystematické.

Štatistické testy homogenity

Zvolili sme nasledujúce štatistické testy:

1. Test zhody stredných hodnôt - Studentov parametrický test
HO: stredná hodnota prvého podsúboru je rovná strednej hodnote druhého podsúboru.
2. Test zhody rozptylov - Bartlettov test
HO: rozptyl prvého podsúboru sa rovná rozptylu druhého podsúboru
3. Test zhody distribučných funkcií - Kruskal-Wallisov test
HO: Distribučná funkcia prvého podsúboru sa rovná distribučnej funkcii druhého podsúboru.

Nestacionaritu radov sme testovali pomocou testov systematických vplyvov:

4. Abbeho kritérium, parametrický test, na testovanie nezávislosti prvkov časového radu
HO: Prvky časového radu sú navzájom nezávislé a stredné hodnoty všetkých realizácií a stredná hodnota radu sú zhodné.
5. Spearmanova korelačná metóda, párový neparametrický test, na posúdenie závislosti dvoch náhodných výberov alebo indexovej (časovej) závislosti v realizácii veličiny.
HO: Neparametricky stanovený koeficient korelácie medzi indexovým (časovým) a skúmaným radom je nevýznamný.

Aplikácia väčšiny parametrických testov je založená na predpoklade normálneho rozdelenia veličiny, aplikácia testov dobrej zhody, vrátane neparametrických, predpokladá splnenie podmienky nezávislého náhodného výberu. V tab.1 sú uvedené základné štatistické charakteristiky ročných priemerov teploty vzduchu staníc zo Základného súboru, vrátane smerodajnej odchýlky S, súčiniteľa asymetrie cs, ktorý slúži pre test normality rozdelenia a autokorelačného súčiniteľa susedných členov ar1, ktorý slúži na orientačný test nezávislosti výberu.

Tab. 6 Základné štatistické charakteristiky ročných priemerov teploty vzduchu
- základný súbor staníc

Stanica	Oblasť	Obdobie	Tpriem	Tmax	Tmin	S	cs	ar1
Hurbanovo	I	1901-1993	9.9	11.3	7.7	0.691	-0.433	0.1937
Chopok	V	1956-1993	-1.1	0.2	-2.6	0.646	-0.293	-0.0854
Kamenica nad Cirochou	II	1944-1993	8.4	9.6	7.1	0.596	-0.427	0.1258
Lomnický štít	VI	1947-1993	-3.8	-2.5	-5.1	0.632	-0.300	-0.1381
Poprad	III	1945-1993	5.9	7.0	4.4	0.628	-0.378	0.1736
Stropkov	II	1963-1993	7.7	8.7	6.7	0.581	-0.271	0.0341
Telgárt	IV	1946-1993	4.9	6.1	3.5	0.613	-0.490	0.1261

Pri testovaní sme zvolili takýto postup:

1. Analýza histórie stanice
2. Voľba prvku a obdobia (mesiac, sezóna, rok)
3. Rozdelenie súboru na dva podsúbory. rovnakej dĺžky, ak sa v histórii stanice nevyskytli významné zmeny, rôzne dlhé, podľa termínu zmien v histórii stanice
4. Postavenie nulovej hypotézy HO, alternatívna hypotéza H1
5. Výpočet testovacieho kritéria, porovnanie s kritickou hodnotou na hladine významnosti $\alpha = 1$ a 5 %, prijatie alebo zamietnutie nulovej hypotézy (prijatie alternatívnej hypotézy).

Pri aplikácii testov sme sa opierali o výsledky prác Benického [1]. Testovacie kritériá, podmienky prijatia, resp. zamietnutia hypotézy sú uvedené v prácach [1,22].

Výsledky aplikácie uvedených testov na rady priemerných ročných teplôt vzduchu pre stanice zo Základného súboru sú uvedené v tab.7.

Tab. 7 Výsledky štatistických testov homogenity

Stanica	Studentov		Bartlett		Kruskal-Wall.		Abbeho		Spearmanov	
	1%	5%	1%	5%	1%	5%	1%	5%	1%	5%
Hurbanovo	H1	H1	H0	H0	H1	H1	H0	H0	H1	H1
Chopok	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0
Kamenica nad Cirochou	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0
Lomnický štít	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0
Poprad	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0
Stropkov	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0
Telgárt	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0	H0

Okrem radov priemerných ročných teplôt vzduchu boli testované aj jednotlivé rady priemerných mesačných teplôt. Výsledky testov najdlhšieho teplotného radu z Hurbanova sú rozporné. Vyplyva z nich, že dlhý rad teploty vzduchu je systematicky ovplyvnený, výsledky poukazujú na existenciu štatisticky významného trendu. Podrobná analýza hurbanovského radu sa nachádza v práci [19]. Autori testovali rad po odčítaní trendu a ten sa javí ako homogénny.

Vzhľadom na nejednoznačné výsledky štatistických testov je vhodné tieto metódy doplniť aj testami relatívnej homogenity. Jednou z metód je grafický Craddockov test [4]. Hodnoty testovaného radu sa porovnávajú s hodnotami referenčnej stanice, ktorú považujeme za homogénnu. V teste sa graficky zobrazuje časový chod kumulatívnych odchýlok obidvoch radov. Kumulatívna odchýlka sa pre jednotlivé roky počíta podľa vzťahu

$$S_i = S_{i-1} + (y_{pr}/x_{pr}) \cdot x_i - y_i$$

kde x_i sú hodnoty referenčného radu, y_i hodnoty testovaného radu, x_{pr} , y_{pr} sú priemerné hodnoty oboch radov, index i označuje roky príslušného časového radu. Výhodou tohto testu je, že je citlivý na vznik systematickej odchýlky, umožňuje určiť obdobie vzniku systematickej odchýlky. Neumožňuje však exaktne posúdiť signifikantnosť nehomogenity. Ako referenčná stanica môže slúžiť blízka stanica s predpokladaným homogénnym radom pozorovaní alebo priemer klimaticky homogénnej oblasti. Nehomogenita testovaného radu sa prejaví ako bod nespojitosti prvej derivácie testovanej veličiny s .

Zo staníc, ktoré vznikli pred začiatkom nášho storočia, je dodnes k dispozícii kompletný rad pozorovaní zo staníc Hurbanovo, Liptovský Hrádok a Košice. Avšak iba hurbanovský rad pozorovaní nie je ovplyvnený významnými zmenami polohy stanice. Preto sme rad priemerných ročných teplôt vzduchu z Hurbanova testovali pomocou homogenizovaného radu Viedne [2] (homogenizácia vzhľadom na rôzne jednotky, termíny pozorovania, umiestnenie budky). Na obr. 5 vidíme časový priebeh odchýlok priemernej ročnej teploty vzduchu na troch významných stanicích v strednej Európe. Výsledky testovania radu z Hurbanova podľa radu vo Viedni (obr. 6) naznačujú možnú nehomogenitu na prelome storočia. Signalizovaná nehomogenita okolo roku 1980 je podľa konzultácie s rakúskymi klimatológmi dnes ešte nevysvetlená, môže to byť aj dôsledkom odlišnej reakcie oboch lokalít na zmeny klímy, ale tiež zmenou metodiky pozorovania v Rakúsku. V roku 1900 sa stanica v Hurbanove presťahovala z bližšie neurčeného miesta na západnej strane astronómického observatória do dnešnej polohy. Na základe výsledku testu hodnôt radu od roku 1901 do roku 1979 (obr. 7) môžeme rad od roku 1901 považovať za homogénny. Údaje pred rokom 1901 treba homogenizovať (jednotky merania, termíny pozorovania, zmena polohy). Podrobne sa problematikou homogenizácie (jednotky, termíny) zaoberá práca [19], ďalšie výsledky testovanie homogenity uvádzajú Lapin a kol. [21].

Časové rady priemernej ročnej teploty vzduchu zo všetkých staníc Základného súboru napriek polohe v rozdielnych klimatických oblastiach signifikantne korelujú so zodpovedajúcim radom z Hurbanova. Na základe výsledkov testovania pomocou radu z Hurbanova (obr. 8 až 13) a vzájomného porovnania staníc v rovnakej oblasti (obr. 14) a vo vysokohorských polohách

(obr.15), môžeme považovať posudzované rady za relatívne homogénne. Pomocou nich je možné testovať ďalšie stanice v danej oblasti.

Pri výbere referenčných klimatických staníc sa všeobecne prijal kompromis posudzovania staníc podľa teplotných a zrážkových radov [15]. Avšak pri aplikácii údajových súborov ďalších veličín je potrebné testovať homogenitu časových radov všetkých použitých údajov. Ako ukážku uvádzame na tomto mieste vybrané výsledky Craddockovho testu a korelačných vzťahov sezónnych priemerov relatívnej vlhkosti vzduchu U a tlaku vodnej pary TP. Testy U sa robili pre 9 vybraných staníc na Slovensku za obdobie 1951 - 1993 (obr. 16 až 18) a testy TP pre 6 staníc v západoslovenskej oblasti (obr. 19). Stanice, ktoré sme vybrali na ukážku: Hurbanovo (858), Bratislava, Koliba (813), Košice (968), Telgárt (938) a Štrbské Pleso (933) predstavujú reprezentatívny výber problematiky testovania homogenity radov mesačných priemerov U na kvalitnejších klimatických staniciach na Slovensku. Testy U ukázali, že výber 9 staníc na analýzu zmien klímy na Slovensku bol správny a okrem neadekvátnych rozdielov U v jednotlivých mesiacoch a rokoch (ukážka korelačného grafu vzťahu U medzi stanicami Hurbanovo a Bratislava, Koliba je na obr. 16a, kde sa javí neadekvátne odlišná U v roku 1968) sa nevyskytli žiadne významnejšie systematické odchýlky trvajúce viac rokov. Dokonca aj korelácia U v teplom polroku medzi vzdialenými stanicami Hurbanovo a Košice, letisko je veľmi významná a bez pozoruhodnejších odchýlok v jednotlivých rokoch (obr. 16b). Obdobie 1951 až 1960 je však pre U v Košiciach podľa Craddockovho testu zdanlivo nehomogénne v porovnaní s obdobím 1961 - 1990 (obr. 18). Jedinou závažnejšou nehomogenitou je časť radu zo Štrbského Plesa v období 1951 - 1955 (prípadne až do roku 1960), keď bola stanica v inej polohe (zrejme vlhkejšej). Pre túto stanicu uvádzame na obr. 17 výsledky testu podľa stanice Telgárt. Rovnako pri testoch TP sa zistila pomerne dobrá relatívna homogenita na vybraných 6 klimatických staniciach (ukážky sú na obr. 19). Závažná signalizácia nehomogenity bola zistená na stanici Žihárec (obr. 19a). V období 1981 - 1990 tam zrejme došlo k závažnejšej zmene, ktorá mohla ovplyvniť meranie TP, doteraz sa však nepodarilo túto zmenu prijateľne interpretovať. Analýza homogenity ďalších veličín (okrem teploty vzduchu a zrážok) je veľmi náročná aj z toho dôvodu, že máme k dispozícii len krátke časové rady a nemáme s týmito testami ešte dostatok skúseností. Očakávame, že v rokoch 1995 - 1996 vypracujeme návrh metodiky homogenizácie štvrtročných a potom aj mesačných priemerov časových radov vlhkostných veličín. Homogenizácia týchto údajových radov je mimoriadne dôležitá, pretože vlhkosť vzduchu je rozhodujúcou veličinou pri výpočtoch evapotranspiračných tokov (potenciálna evapotranspirácia).

Zrážkomerné stanice

Sieť zrážkomerných staníc sa začala budovať v regióne, ktorý ohraničujú súčasné hranice Slovenska, v 19. storočí. Politické zmeny a vojnové udalosti, v období od zakladania tejto siete až do súčasnosti, sa výrazne prejavujú v kompaktnosti, metodických nezrovnalostiach a v dostupnosti výsledkov merania a pozorovania počas celého tohto časového úseku. V priebehu 2. polovice 20. storočia rozloženie a počet zrážkomerných staníc, ktorý dosiahol približne 600, z globálneho hľadiska neprekonal zásadné zmeny. Závažné sú dve skutočnosti. Postupný ústup zrážkomerných staníc zo svahových polôh na dná kotlín a ich časté sťahovanie, spojené s prerušením merania. Ako to ilustruje obr. 21, je stále viac zreteľné, že zastúpenie zrážkomerných staníc vo vyšších výškových stupňoch je nedostačujúce.

V tab. 8 je uvedený návrh siete zrážkomerných staníc s dlhými radmi mesačných úhrnov zrážok. Tieto stanice po preverení homogenity môžu slúžiť ako referenčné zrážkomerné stanice mesačných úhrnov zrážok.

Tab. 8 Referenčné zrážkomerné stanice - návrh
(mesačné úhrny zrážok od roku 1901 do roku 1994)

Por.

čís. Stanica

1. Badín	94. Nitrianske Pravno
2. Banská Bystrica	95. Nižné Ružbachy
3. Banská Štiavnica	96. Nová Baňa
4. Bardejov	97. Nové Mesto nad Váhom
5. Bátovce	98. Nové Zámky
6. Beňuš	99. Oponice
7. Betliar	100. Oravská Lesná
8. Bobrov	101. Oravská Polhora
9. Bojná	102. Oravský Podzámok
10. Bošáca	103. Orlov
11. Brezno	104. Palárikovo
12. Brezová pod Bradlom	105. Papín
13. Bytča	106. Partizánska Ľupča
14. Čadca	107. Piešťany
15. Čierny Váh	108. Plavé Vozokany
16. Dekýš	109. Plešivec
17. Detva	111. Pohorelská Maša
18. Dobrá Voda	112. Polomka
19. Dobšiná	113. Poltár
20. Dolné Plachtince	114. Poprad
21. Dunajská Streda	115. Považská Bystrica
22. Gbely	116. Prešov
23. Gelnica	117. Pribovce
24. Habura	118. Pružina
25. Herľany	119. Pukanec
26. Hliník nad Hronom	120. Rajecká Lesná
27. Hnúšťa	121. Rajecké Teplice
28. Horné Motešice	122. Ratková
29. Horné Semerovce	123. Ráztočno
30. Horné Srnie	124. Revúca
31. Hrachovo	125. Rimavská Sobota
32. Hronov	126. Rožňava
33. Hurbanovo	127. Ružomberok
34. Humenné	128. Sabinov
35. Chmelnica	129. Sečovská Polianka
36. Jalná	130. Senica
37. Jasenie pred Suchou	131. Senohrad
38. Jasov	132. Sihla
39. Jelka	133. Skalica
40. Jelšava	134. Skýcov
41. Jurová	135. Sliač kúpele
42. Katarínska Huta	136. Smolenice
43. Kežmarok	137. Smolník
44. Kláštor pod Znievom	138. Snina
45. Kočovce	139. Sobrance
46. Kokava nad Rimavicou	140. Somotor
47. Kolárovo	141. Spišská Nová Ves
48. Komárno	142. Spišská Stará Ves
49. Košice	143. Stará Bystrica
50. Košúty	144. Staré Hory
51. Kráľová pri Senci	145. Stropkov
52. Krám	146. Sucháň
53. Kráľovský Chlmec	147. Šafárikovo
54. Kremnica	148. Šamorín
55. Krompachy	149. Šaštínske Stráže
56. Krupina	150. Šišov
57. Kuchyňa	151. Štitník
58. Kuchyňa - Vývrat	152. Štrbské Pleso
59. Kuková	153. Štúrovo
60. Ladce	154. Šurianky

61. Ladomirová	155. Švedlár
62. Lazy pod Makytou	156. Tatranská Lomnica
63. Levice	157. Terňa
64. Levoča	158. Tisovec
65. Limbach, horáreň	159. Torysky
66. Lipany	160. Trebišov
67. Liptovská Osada	161. Trenčín
68. Liptovská Teplá	162. Trnava
69. Liptovská Teplica	163. Trnovec nad Váhom
70. Liptovský Hrádok	164. Turany nad Ondavou
71. Liptovský Mikuláš	165. Turčianske Teplice
72. Lokca	166. Turzovka
73. Lúbina	167. Tvrdošín
74. Lúbietová	168. Uhrovec
75. Lúbochná	169. Valašská Belá
76. Lučenec	170. Veľké Ludince
77. Makov	171. Veľké Uherce
78. Malacky	172. Viglaš
79. Malčice	173. Vinné
80. Málinec	174. Vráble
81. Malinovo	175. Vranov
82. Martin	176. Vrbové
83. Medzilaborce	177. Vrútky
84. Michalovce	178. Východná
85. Modra	179. Vyšné Čabiny
86. Motyčky	180. Zázrivá
87. Muráň	181. Zlaté Moravce
88. Myjava	182. Zliechov
89. Nálepokovo	183. Zubák
90. Námestovo	184. Zvolen
91. Necpaly	185. Žarnovica
92. Neded	186. Žihárec
93. Nitra	187. Žilina

V tab. 9 sú uvedené stanice s dlhým radom pozorovaní zrážok, ktoré nie sú v súčasnosti v prevádzke a bolo by vhodné z hľadiska dôležitosti ich polohy, významu predchádzajúcich meraní a pozorovaní, aktuálnych možností výberu pozorovateľov obnoviť ich prevádzku.

Tab. 9 Stanice s ukončenou činnosťou - návrh na obnovenie

Korytnica, kúpele
Magurka
Starý Smokovec
Vyšná Boca

Testovanie homogenity

Podobne ako pri radoch teploty vzduchu, aj pri testovaní zrážok má Craddockov test relatívnej homogenity predpoklad dobrého uplatnenia. Prirodzená premenlivosť zrážok, ktorá podlieha režimovým zmenám v priebehu roka, predstavuje obmedzujúci činiteľ pre uplatnenie tohto testu v teplom polroku, v lete a počas mesiacov s veľkou priestorovou premenlivosťou poľa zrážok.

Dokumentujú to aj obr.20a - 20c. Na základe testovania radu Bratislava, Matúškova podľa radu z Hurbanova pre ročné hodnoty a pre hodnoty chladného polroka môžeme vidieť pozoruhodné zmeny vo vývoji radov, ktoré sa viažu na významné historické udalosti a zmeny v sieti zrážkomerných staníc. Je to obdobie vzniku ČSR, vojnové udalosti (začiatok 40. rokov), obdobie, kedy bola uvedená do prevádzky stanica Bratislava, Koliba (začiatok 50. rokov) a údaje z nej pravdepodobne slúžili na kontrolu a dopĺňanie chýbajúcich údajov na testovanej stanici. Isté úskalia pri použití tohto testu by mohli prameniť z nevhodne zvolenej kombinácie referenčnej a testovanej stanice. Treba zdôrazniť, že možnosti sú často veľmi obmedzené, a preto eliminácia

Porovnanie ročných priem. teploty vzduchu
T na rôznych staniciach v stred. Európe

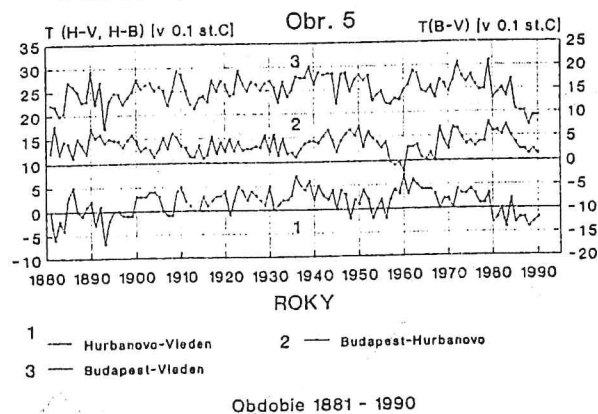
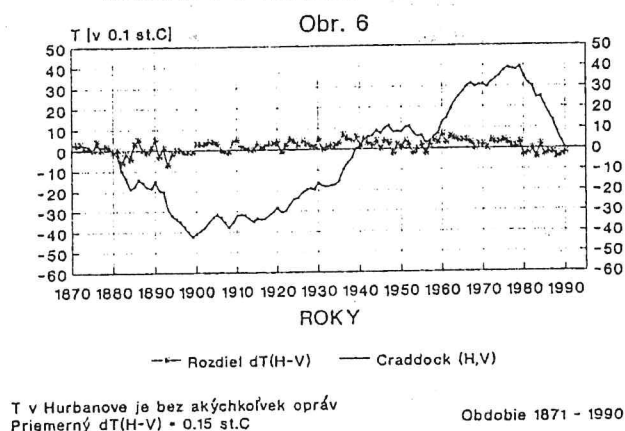


Fig. 5 Comparison of annual air temperature means at stations Hurbanovo (H), Vienna (V) and Budapest (B)

Craddock test ročných priemerov teploty
vzduchu T v Hurbanove podľa Viedne



Craddock test ročných priemerov teploty
vzduchu T v Hurbanove podľa Viedne
v období 1901 - 1979

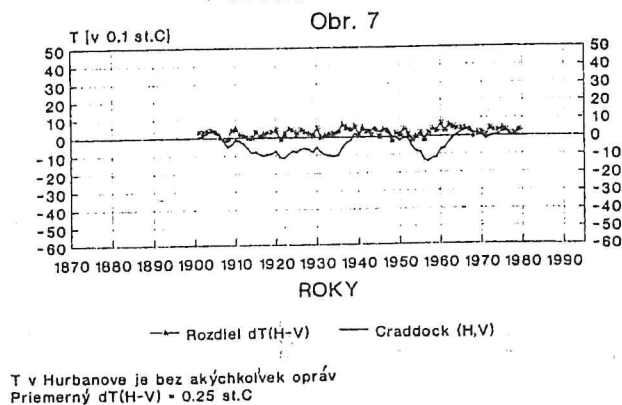
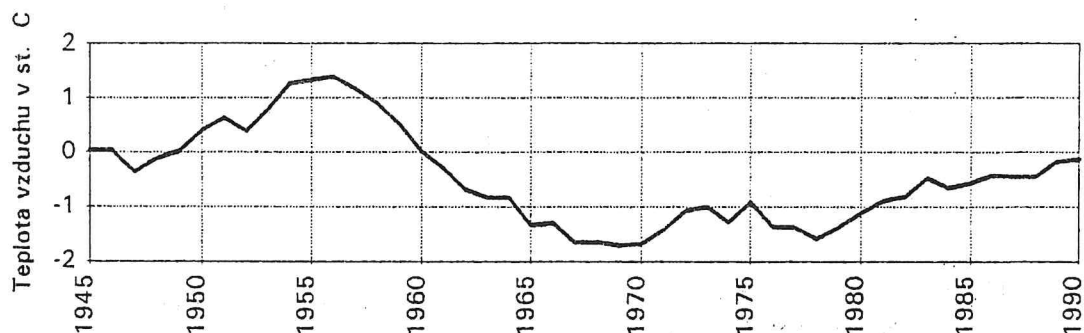
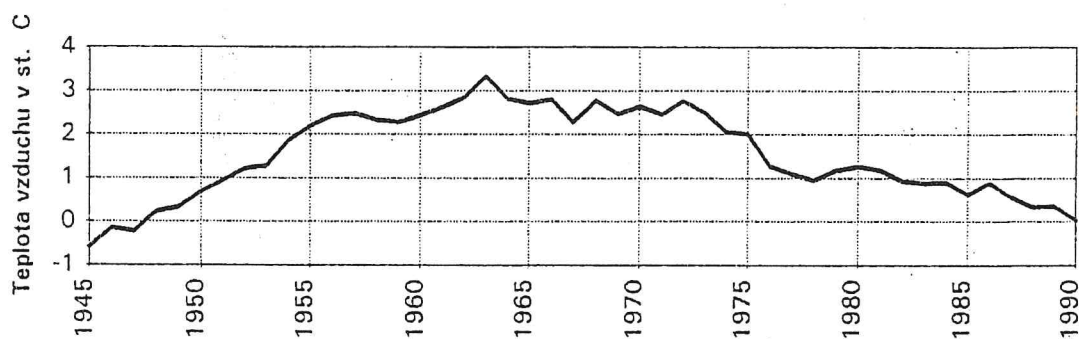


Fig. 6 - 7 Craddock test of annual air temperature means at Hurbanovo according to Vienna Hohe Warte

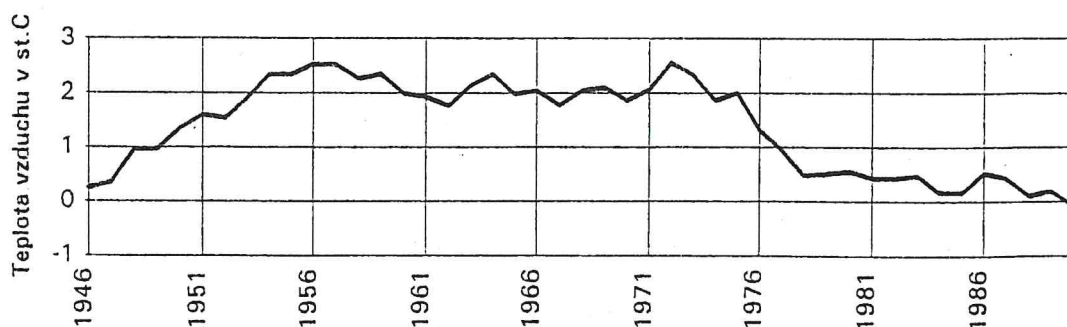
Obr.8 Craddockov test priemernej ročnej teploty vzduchu
HURBANOVO - POPRAD
1945 - 1990



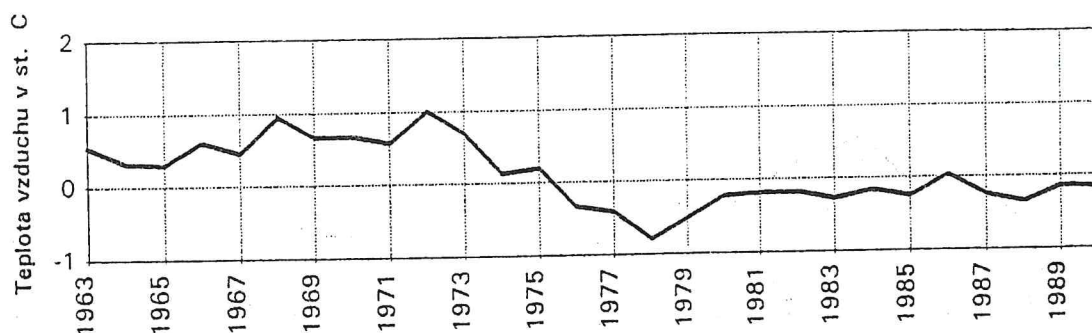
Obr.9 Craddockov test priemernej ročnej teploty vzduchu
HURBANOVO - KAMENICA NAD CIROCHOU
1945 - 1990



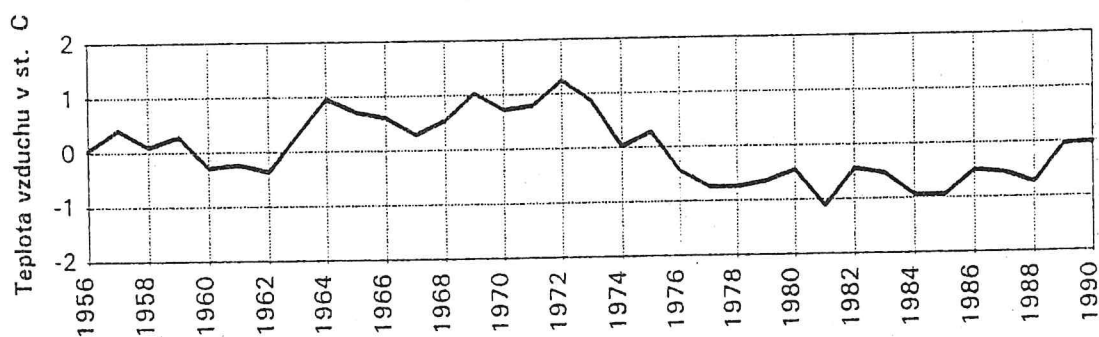
Obr.10 Craddockov test priemernej ročnej teploty vzduchu
HURBANOVO - TELGÁRT
1946 - 1990



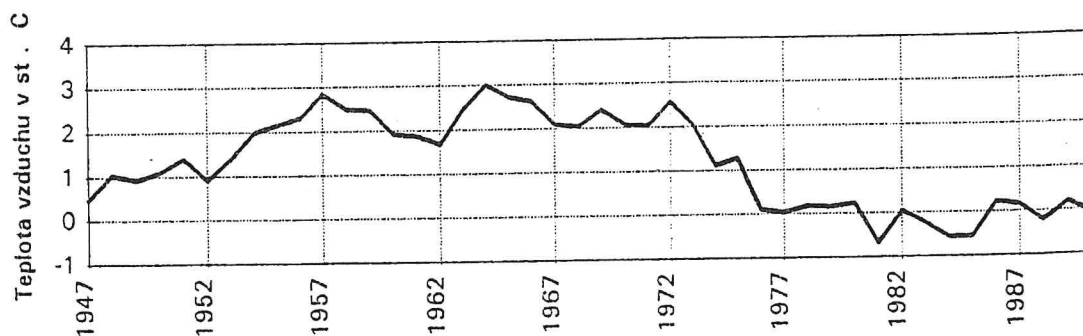
Obr.11 Craddockov test priemernej ročnej teploty vzduchu
HURBANOVO - STROPKOV
1963 - 1990



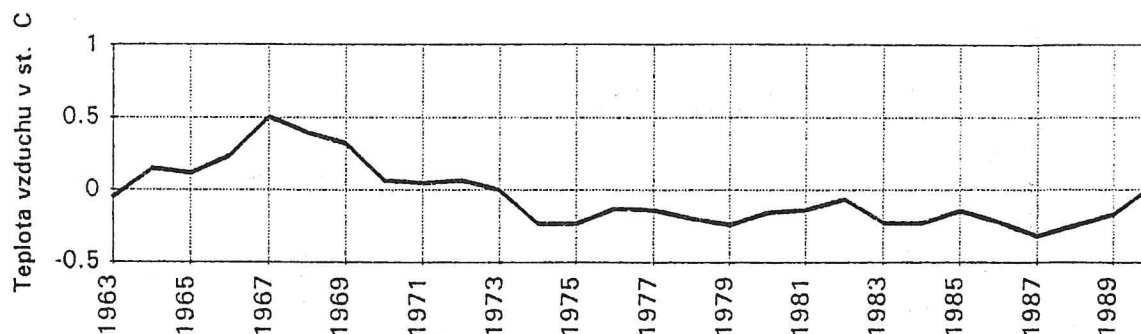
Obr.12 Craddockov test priemernej ročnej teploty vzduchu
HURBANOVO - CHOPOK
1956 - 1990



Obr.13 Craddockov test priemernej ročnej teploty vzduchu
HURBANOVO - LOMNICKÝ ŠTÍT
1947 - 1990



Obr.14 Craddockov test priemernej ročnej teploty vzduchu
KAMENICA NAD CIROCHOU - STROPKOV
1963 - 1990



Obr.15 Craddockov test priemernej ročnej teploty vzduchu
LOMNICKÝ ŠTÍT - CHOPOK
1956 - 1990

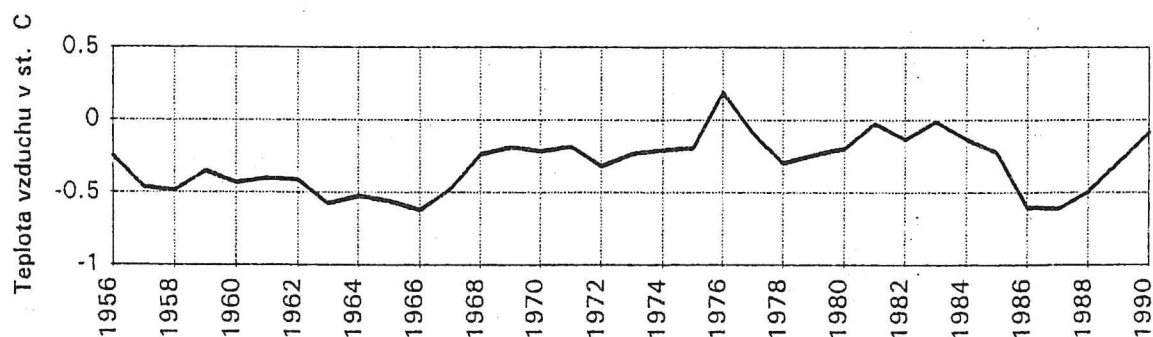
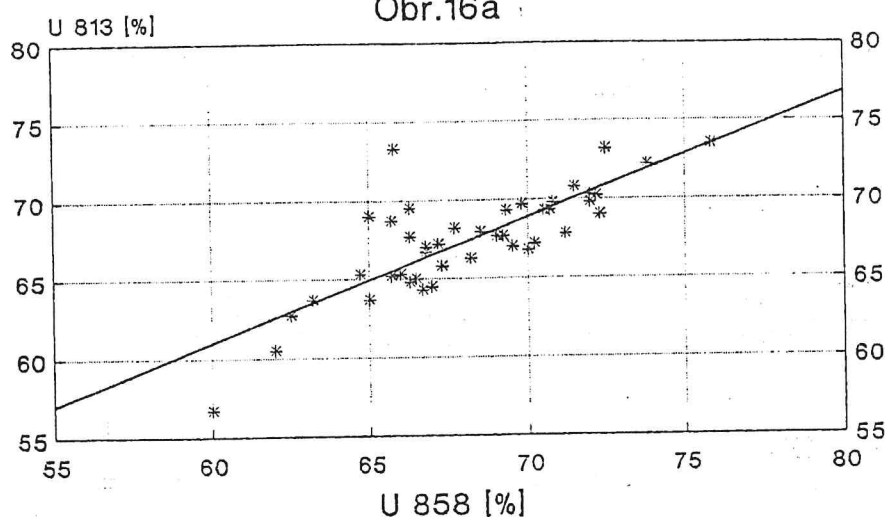


Fig. 8 - 15 Craddock test of annual air temperature means among different stations in Slovakia

Vzťah priemerov relat. vlhk. vzduchu U
na MS 858 a 813 v tepl. polr. 1951-1993

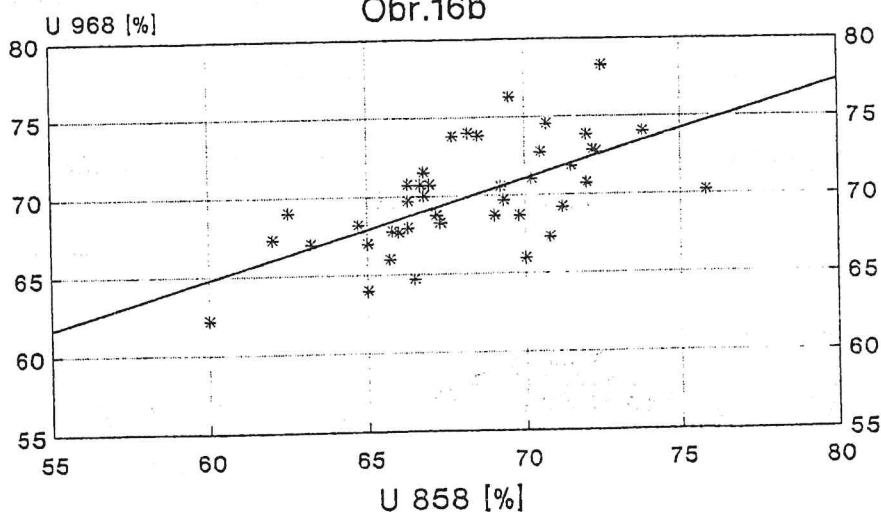
Obr.16a



Teplý polrok je ročné obdobie IV - IX
Korelačný koeficient $r = 0.7952$
Lineárny člen $b = 0.801$

Vzťah priemerov relat. vlhk. vzduchu U
na MS 858 a 968 v tepl. polr. 1951-1993

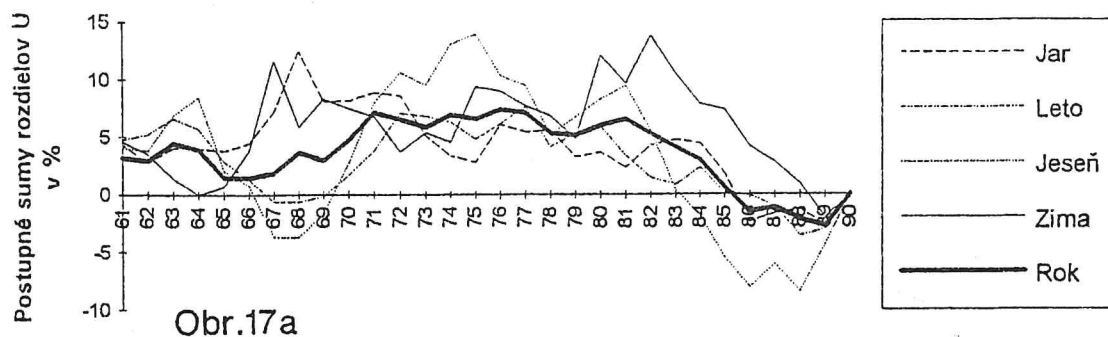
Obr.16b



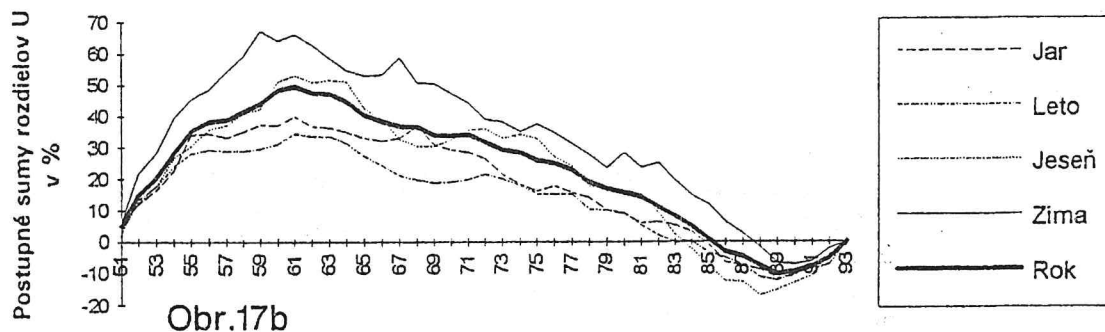
Teplý polrok je ročné obdobie IV - IX
Korelačný koeficient $r = 0.6218$
Lineárny člen $b = 0.624$

Fig. 16 Correlation of relative air humidity means among stations Hurbanovo (858), Bratislava Koliba (813) and Košice airport (968) in the period from April to September

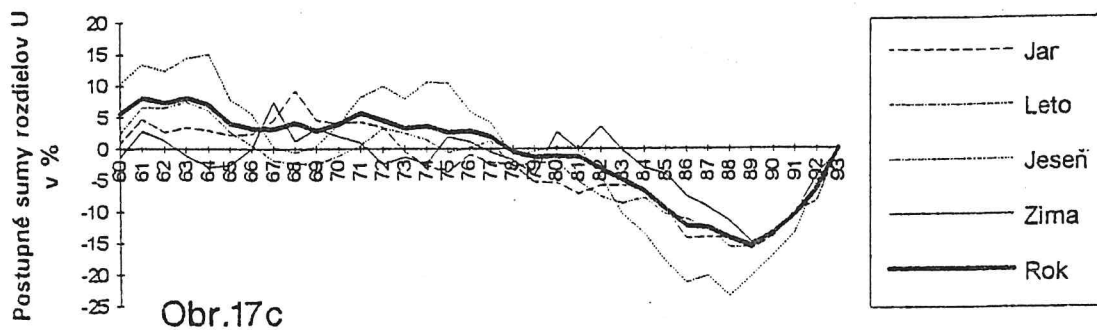
Craddock test rel. vlhkosti vzduchu U na stanici 933 podľa 938
v období 1961-1990



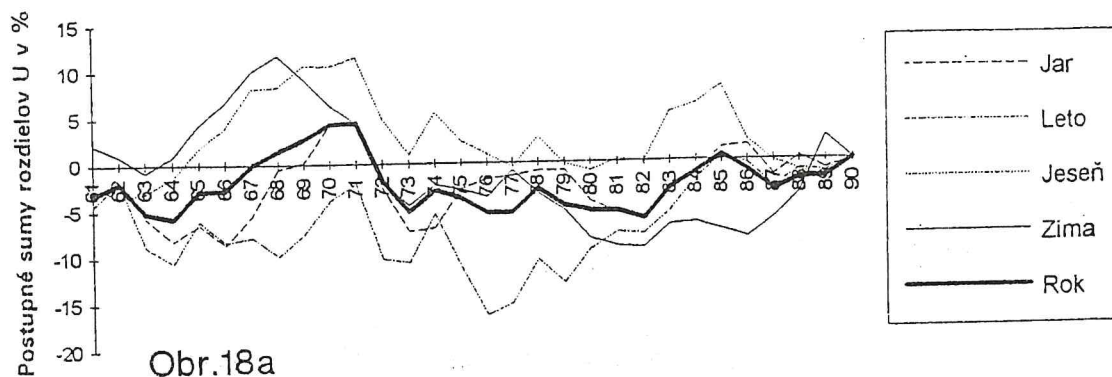
Craddock test rel. vlhkosti vzduchu U na stanici 933 podľa 938
za obdobie 1951-1993



Craddock test rel. vlhkosti vzduchu U na stanici 933 podľa 938
v období 1960-1993



Craddock test rel. vlhkosti vzduchu U na stanici 968 podľa 858
v období 1961-1990



Craddock test rel. vlhkosti vzduchu U na stanici 968 podľa 858
v období 1951-1993

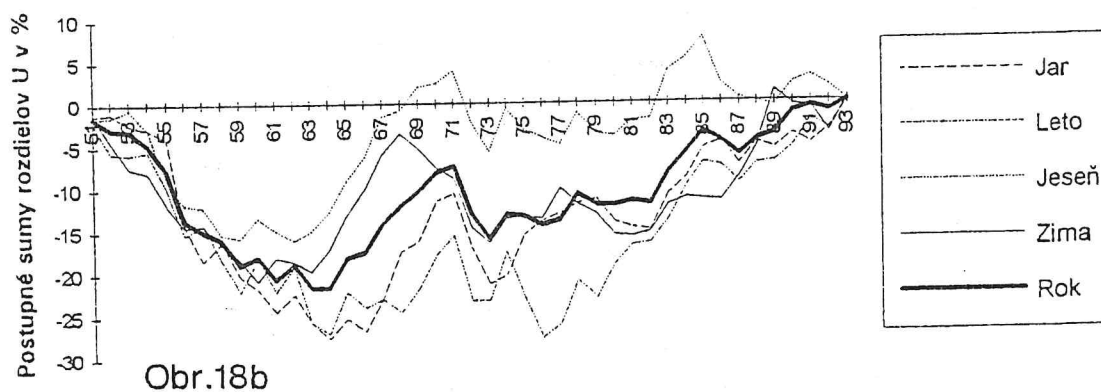
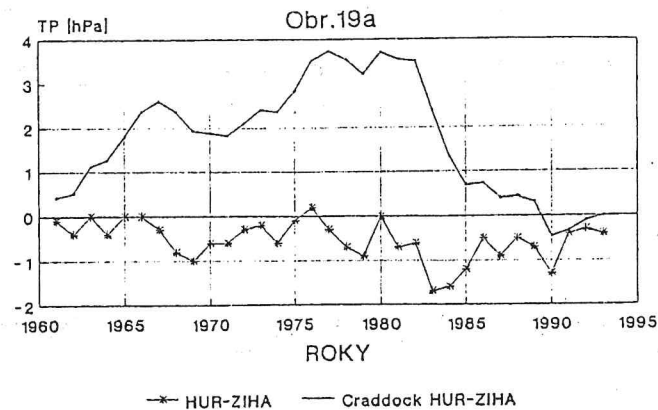
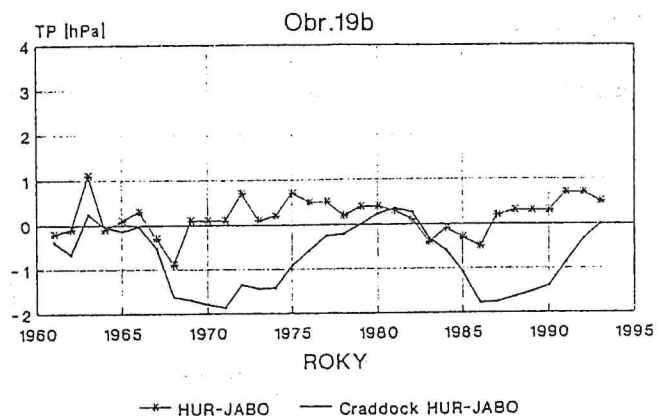


Fig. 17-18 Craddock test of annual (solid line) and seasonal (Spring, Summer, Autumn, Winter - the other lines starting from the top) relative air humidity means at stations Hurbanovo (858), Štrbské Pleso (933), Telgárt (938) and Košice airport (968)

Porovnanie tlaku vodnej pary za teplé
polroky medzi Hurbanovom a Žiharcom



Porovnanie tlaku vodnej pary za teplé
polroky medzi Hurbanovom a J. Bohunicami



Porovnanie tlaku vodnej pary za teplé
polroky medzi Hurbanovom a Bratisl. Kol.

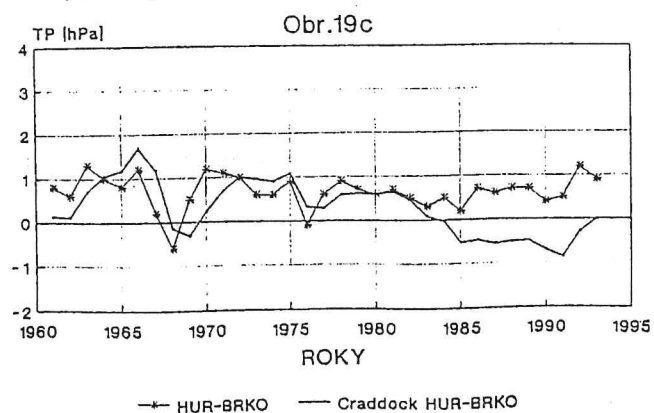
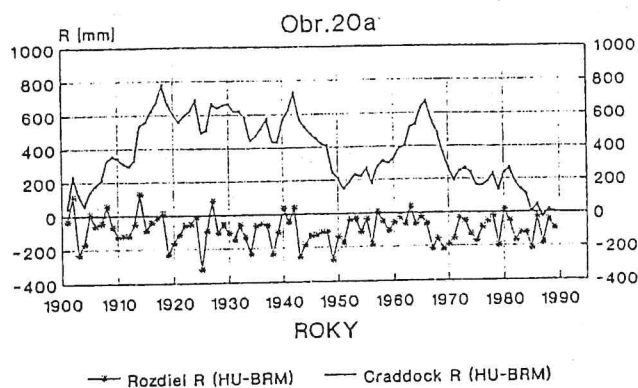
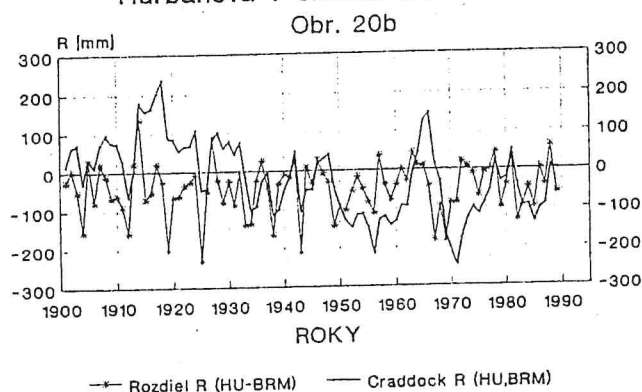


Fig. 19. Comparison of mean water vapour pressure at the stations in south western Slovakia in the period from April to September

Craddock test ročných úhrnov zrážok R
v Bratislave, Matušková podľa Hurbanova
v období 1901-1989



Craddock test úhrnov zrážok R za teplé
polroky v Bratislave, Matušková podľa
Hurbanova v období 1901-1989



Craddock test úhrnov zrážok R za chladné
polroky v Bratislave, Matušková podľa
Hurbanova v období 1901-1989

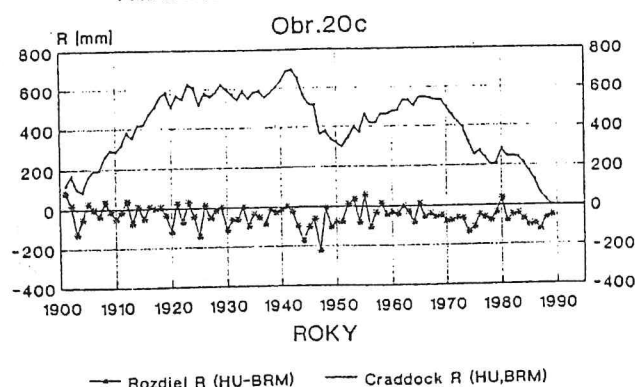
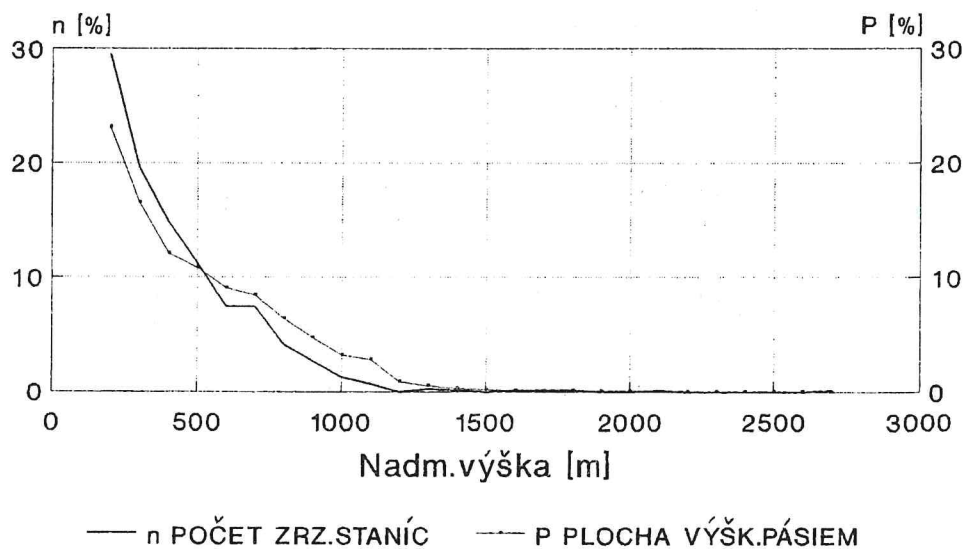


Fig. 20 Craddock test of precipitation totals at the station Bratislava Matušková according to Hurbanovo (annual totals - a, April - September period - b, October - March period - c)

tohto nedostatku by mohla spočívať vo vytvorení regionalizovaného referenčného radu z údajov niekoľkých zrážkomerných staníc.

Podobne ako pri teplotných radoch boli časové rady navrhnutých staníc podrobené štatistickým testom. Analýza ich výsledkov, porovnanie s výsledkami Craddockovho testu, ich homogenizácia je úlohou ďalšej etapy analýzy časových radov.

OBR. 21 VÝŠKOVÉ ROZLOŽENIE ZRÁŽKOMERNÝCH STANÍC NA SLOVENSKU



Stav k 1.1.1994

Fig. 21 Precipitation stations distribution in Slovakia according to the altitude (n - number of stations, P - surface of altitudinal zones)

ZÁVER

V štúdií sú popísané metodické postupy použité pri výbere staníc na monitorovanie variability a zmien klímy. Testy homogenity aplikované na Základný súbor staníc potvrdili správnosť výberu týchto staníc. V ďalšom období je však potrebné postupne analyzovať a testovať všetky navrhnuté stanice a podľa výsledkov týchto analýz modifikovať navrhnuté súbory. Doplniť ich tiež súbormi staníc, ktoré majú homogénne iba časti radov pozorovaní. Navrhnuté súbory staníc a tiež homogénne časti radov bude možné využiť v ďalšej etape prípravy homogénnych radov, v etape homogenizácie. Ako sme už spomínali, okrem teploty vzduchu a zrážok je pred analýzou časových radov potrebné skúmať homogenitu radu každého analyzovaného prvku.

LITERATÚRA

- [1] Benický, J.: Testovanie homogenity hydrologických údajov, *Práce a štúdie VÚVH*, 124, Bratislava 1992, 108 s.
- [2] Böhm, R.: *Lufttemperaturschwankungen in Österreich seit 1775. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*, Heft 5, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Publ. Nr. 333, 1992.
- [3] Brázdil, R., Dobrovolný, P., Faško, P., Košťálová, J., Šamaj, F., Valovič, Š.: Variabilita charakteristik sněhových poměrů v karpatské části ČSFR v období 1920/21 - 1984/85. In: *Zborník prác SHMÚ*, zv. 34, SHMÚ, Bratislava 1991, 176 s.

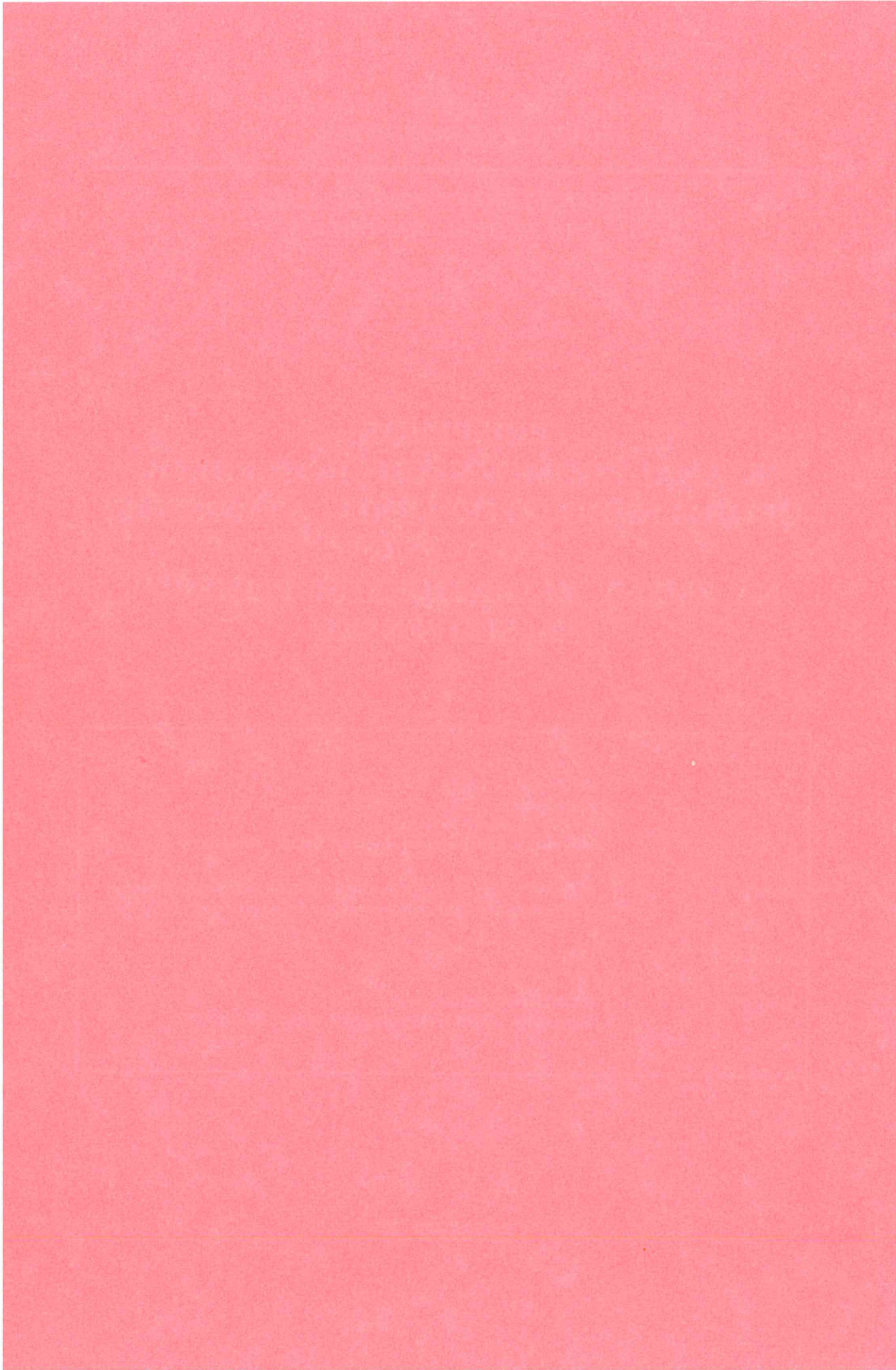
- [4] Craddock, J.M.: *Methods for Comparing Annual Rainfall Records for Climatic Purposes*. *Weather* 34, 1979, pp. 332-346.
- [5] Easterling, D.R.: *United States Reference Climate Network*. In *Report of the Experts Meeting on Reference Climatological Stations (RCS) and National Climate Data Catalogues (NCC) 1993*, WMO-TD NO.353, WCDMP-NO.23.
- [6] Faško, P., Košťálová, J., Lapin, M.: *Time homogeneity testing of monthly and yearly precipitation totals by double mass analysis method in Slovakia in period 1901-1990*. SHMÚ, Bratislava, 1992. (Nepublikované. Prednáška na Workshope v rámci CEI krajín v Bratislave).
- [7] Faško, P., Košťálová, J., Nieplová, E., Zeman, V.: *Systém prvotného spracovania a algoritmus kontroly meteorologických údajov v klimatológii*. *Meteorologické zprávy*, 41, č.6, s.174-181.
- [8] Gajar, B., Lapin, M.: *Projekt optimalizovanej siete meteorologických staníc SHMÚ*. *Meteorologické zprávy*, 39, č.3, s.65-72.
- [9] Gajar, B., Zeman, V.: *Niektoré vlastnosti poľa teploty vzduchu v priestore Malých Karpát a ich okolia*. *Meteorologické zprávy*, 40, č.6, s.177-184.
- [10] Gajar, B., Zeman, V.: *Príspevok k racionalizácii zrážkomernej siete SSR*. *Meteorologické zprávy*, 39, č.2, s.58 - 61.
- [11] Gajar, B., Zeman, V.: *Problematika racionalizácie siete staníc na meranie teploty vzduchu*. *Meteorologické zprávy*, 38, č.2, s.41-50.
- [12] Griffiths, J. F., 1983: *The need for information on station histories in studies of climatic variation and in the application of climatic data*. WCP - 57.
- [13] *Guidlines on the Selection of reference Climatological Stations(RCSs) from the existing Climatological Station Network*, 1986, WCP - 116.
- [14] *Guidlines on the Quality Control of Surface Climatological Data*, 1986, WMO/TD-No.111, WCP - 85.
- [15] Heino, R.: *Reference climatological stations (RCS)*. In *Report of the Experts Meeting on Reference Climatological Stations (RCS) and National Climate Data Catalogues (NCC)*, 1993, WMO-TD NO.353, WCDMP-NO.23.
- [16] Jones P., D.: *Problems of Data Homogeneity and Representativeness of Historical Stations Records*. In *Report of the Experts Meeting on Reference Climatological Stations (RCS) and National Climate Data Catalogues (NCC)*, 1993, WMO-TD NO.353, WCDMP-NO.23.
- [17] Karl, T.R., Williams, C.N.Jr.: *An approach to adjusting climatological time series for discontinuous inhomogeneities*. *J.Clim.Appl.Meteor.*, 26, 1987, pp.1744-1763.
- [18] Karl, T.R., Williams, C.N.Jr., Young, P.J., Wendland, W.M.: *A model to estimate the time of observation bias associated with monthly mean maximum, minimum, and mean temperatures for the United States*. *J.Clim. Appl. Meteor.*, 25, 1986, pp. 145-160.
- [19] Kundisová, M., Pišútová, Z., Tekušová, M., Zuzula, I.: *Testovanie homogenity dlhodobého teplotného radu z Hurbanova*. *Meteorologické zprávy*, 45, č.1, s.1-7.
- [20] Landsberg, H. E., 1980: *The role of reference stations in the search for climatic trends*. *Analen der Meteorologie (Neu Folge)*, Nr.16, Offenbach.
- [21] 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.
- [22] Majerčáková O.a kol.: *Analýza zmien variability hydrologických prvkov*. [Priebežná správa pre Národný klimatický program SR, J, SHMÚ, Bratislava 1993.
- [23] Mitchell, J.M.Jr.: *On the causes of Instrumentally Observed Secular Temperature Trends*. *Journal of Meteorology*, No.10, 1953, pp.244-261.
- [24] Nieplová, E., Niepel, L.: *Využitie klastrovej analýzy na určenie teplotne homogénnych oblastí*. *Meteorologické zprávy* 45, č.3, s.80-85.
- [25] Quayle, R.G., Easterling, D.R., Karl, T.R., Hughes, P.Y.: *Effects of recent thermometer changes in the Cooperative Network*, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 72, 1991, pp. 1718-1723.
- [26] Slabá, N.: *Referenční klimatologické stanice na území Československa*. *Meteorologické zprávy* 43, č.6, s.172-179.
- [27] Street, R.: *Canadian Reference Climatological Stations*. In *Report of the Experts Meeting on Reference Climatological Stations (RCS) and National Climate Data Catalogues (NCC)*, 1993, WMO-TD NO.353, WCDMP-NO.23.
- [28] Tihlárík, R.: *Spolahlivost' dlhodobých klimatických záznamov z hľadiska vplyvu ľudského faktora v pozorovacom procese a história pozorovaní na vybraných klimatických stanicích Slovenska*. NKP SR, zv.1, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava 1994, s.85-118.

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

**NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC**

**PRÍSPEVOK
K ANALÝZE MOŽNÝCH DÔSLEDKOV
GLOBÁLNEHO OTEPLENIA ATMOSFÉRY
O 1 - 2 °C
NA ZMENY KLIMATICKÝCH POMEROV
NA SLOVENSKU**

Riešitelia:	RNDr. Milan Lapin, CSc., RNDr. Pavol Fáško, CSc., RNDr. Vladimír Zeman, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
Projekt:	MŽP SR Výskum zmien kvality ovzdušia, klimatické zmeny a narušovanie ochranných vlastností atmosféry - NKP SR
Zadávatel:	MŽP SR
Lektor:	RNDr. Ivan Zuzula, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava



Contribution to Analysis of Possible Global Warming Impacts upon Climate Change in Slovakia

Milan Lapin, Pavol Faško & Vladimír Zeman
Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia

ABSTRACT

Predicted global warming (connected with atmospheric greenhouse effect increase) will probably cause change of atmospheric circulation and, from this, resulting changes in precipitation, cloudiness, snowcover, air humidity and in other climatic elements all over the world. These changes can seriously influence the natural environment and socio-economic activities in many countries. Some results of analysis and some scientific assessments of temperature rise impacts upon precipitation, relative air humidity, daily range of air temperature and snow cover changes in Slovakia are presented in this paper. Scenarios of temperature rise by 1-2 °C (in comparison with means of the 1951-1980 period) are considered for the periods about the year 2025. Preliminary temperature change scenarios based on GCM results (annual means) and historical analogues (annual course) have been prepared for Czech and Slovak Republics in 1991 [21], preliminary precipitation and relative air humidity change scenarios (Table 4, Figure 8) are based on supposed air temperature change and historical analogues (only partly on GCM scenarios). Calculations presented in this paper were carried out using correlation and trend analysis. This paper represents a review of results obtained in completing some of the Slovak National Climate Programme tasks from 1991 to 1994.

Methods and Data

The Slovak Hydrometeorological Institute (SHMI) provides meteorological observations (for climatological purposes) in a network of more than 100 stations. After the data quality control only some of these stations are acceptable for time series analysis. Two stations have been selected for calculation of water balance elements change, trend and correlation analyses in the period 1901-1994 (Hurbanovo, 115 m a.s.l., representing lowlands in southern Slovakia and Liptovský Hrádok, 640 m a.s.l., representing valleys in northern Slovakia near the High Tatras). Seven other stations in Slovakia have been utilized for the correlation and trend analyses application in the period 1951 - 1994 (Table 1, Figure 1). Monthly and seasonal means and totals of several climatological elements in each year (precipitation totals, air temperature and relative air humidity means, sunshine duration and snow cover characteristics) have been tested for relative homogeneity by Craddock method and by Double mass analysis at precipitation (examples are shown in Table 2, Figures 2, 3 and 4). Then a correlation analysis was realized for nine stations in Slovakia. Brief results are shown in the Table 1 (for the period 1951 - 1991). More detailed analysis was done at seasonal values of stations Hurbanovo and Liptovský Hrádok for the period 1881 (1901) - 1994 (Figures 5 - 7, 9 - 12, 14 - 16, 18, 27, 28), Telgart and Štrbské Pleso for the period 1951 - 1994 (Figures 13, 17, 19-26). Levels of linear regression significance Alpha (α) according to the t-test [39] and it's slopes b can be found in the figures.

Results

The period 1901 - 1994 was in Slovakia characteristic with increasing trend of mean annual temperature (T) by about 1 °C, decreasing trend of precipitation totals (P) from spring to autumn by about 20 % in the south and by about 10 % in the north and decreasing trend of relative air humidity (U) by 2-4 %, especially in spring months. Resulted values of these trends are the most significant for climate in Slovakia in the period 1971 - 1994. This is one of the reasons why we have selected the period 1901-1994 for atmosphere warming impacts assessment on climate in Slovakia. We consider this method of analysis only as one of the possibility of the climate change impacts solving. Selected results of water balance model calculations for stations Hur-

banovo and Liptovský Hrádok were presented by Lapin and Šipöcz (1991) and by Lapin (1992). From results presented there it follows the significant rise of potential evaporation calculated according to Zubenok method (1968) at both stations by about 15 % since 1901. Detailed analysis of possible impact of temperature rise upon the other climate elements in Slovakia indicates that we can probably expect similar change of precipitation and air humidity regime as it was observed in several last decades in Slovakia (Lapin, 1992, analysis of warmer periods from 1871 to 1990). Table 3 shows deviations of some means in the 1988-1993 from normals 1901-1980. This 6-year period was the warmest and driest one since 1871 in Slovakia. There can be seen significant deviations of all elements toward lowering of relative air humidity and precipitation (particularly in spring and summer months).

The results of correlation analysis for selected nine stations are shown in the Table 1. Significantly close correlation was found between mean relative air humidity (U) and precipitation totals (R) in warm half-year on the whole territory of Slovakia. If R totals decrease by 100 mm in average, U will probably decrease by 2 % in lowlands and by 1 % in other regions. Acceptable correlation was found also between U and mean air temperature (T) in warm half-year. The rise of T by 1 °C will probably cause decrease of U by about 2 % in all Slovakia. In cold half-year and in winter no significant correlation between U and R or U and T was found there. Snow characteristics are in a close correlation with mean air temperature of cold half-year. The average number of days with snowcover (N) will decrease probably by about 15 days if T increases by 1 °C. That is about 30 % in lowlands but only 10 % of the present average of N in the mountains. The decrease of the daily depths of snowcover totals (S) will be even more important than decrease of N if T increases. The 1 °C rise of T in cold half-year will probably cause the decrease of S by 100 to 300 cm in lowlands (approx. by 50 %) and by 400 to 1400 cm in the middle altitudes (approx. by 35 to 15 %). More detailed correlation analysis was realized at the station Hurbanovo, where are to disposal reliable professionally observed data for all elements since 1901. Selected results for summer and winter seasons are presented in Figures 5-7, 9, 11, 14-16, 18, 27 and 28. We can see significant correlation between air temperature (T) rise and relative air humidity (U) decreases, between U decrease and daily range of air temperature (Ta) rise, between T rise in winter and snow characteristics decrease. Linear regression is only approximately significant at snow characteristics near zero, so we calculated exponential regression there (Figure 18b, dotted line). Correlation of N and S with T is more significant than with R up to altitude 900 m. Above this elevation the change of R is more important for snow characteristics change than the change of T, that means the expected rise of precipitation totals in the Slovak mountains in winter can compensate temperature rise at snowcover change only in higher altitudes.

Conclusions

Brief results presented in this paper indicate that observed and expected warming of atmosphere can cause serious change in climate in Slovakia. Warmer periods in the past were usually connected with significant decrease of snow in winter months, especially in lowlands, with decrease of precipitation and relative air humidity from spring to autumn. Decrease of mean daily range of air temperature Ta is surprising and it shows that some climate changes connected with greenhouse effect rise can compensate its primary impacts. Rise of greenhouse effect should cause decrease of Ta (Brázdil et al., 1994). Changes of air temperature, precipitation, relative air humidity and snowcover will probably cause significant changes in water balance or/and in hydrological cycle in Slovakia that can influence very seriously several socio-economic sectors there. At these analyses we plan to do some model calculations using new regional scenarios of air temperature rise and precipitation regime change prepared by assistance of the US experts (Country Studies Project solving [59]) and using more detailed methods or models. Next plans are based on atmospheric circulation change impact on precipitation and on some other elements evaluation. This is connected with an implementation of reliable synoptic classification of each day in the period 1901 - 1994 (synoptic categories and wind direction in 850-700 hPa level).

PRÍSPEVOK K ANALÝZE MOŽNÝCH DÔSLEDKOV GLOBÁLNEHO OTEPLENIA ATMOSFÉRY O 1 - 2 °C NA ZMENY KLIMATICKÝCH POMEROV NA SLOVENSKU

Milan Lapin, Pavol Faško, Vladimír Zeman
Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

1. ÚVOD

Klimatické pomery Slovenska a ich zmeny môžeme analyzovať hlavne na základe stredových a rozptylových charakteristík klimatických prvkov (vrátane zhodnotenia extrémov za určité obdobia), akými sú napríklad teplota vzduchu, atmosférické zrážky, relatívna vlhkosť vzduchu, výška snehovej pokrývky a pod. Okrem toho sú dôležité aj ďalšie charakteristiky časovo-priestorových údajových súborov alebo polí týchto prvkov a ich vzájomné vzťahy v čase a v priestore. Z nich uvádzame najmä časové trendy, výskyt periodických a aperiodických zmien a korelačné závislosti. Vzhľadom na to, že klimatické charakteristiky sú významnými vstupmi pri riešení rôznych vedecko-technických problémov a aplikácií, je potrebné detailnejšie sa zaoberať aj možnými zmenami všetkých klimatických prvkov komplexne v súvislosti s predpokladaným globálnym rastom teploty prizemnej vrstvy atmosféry.

V súvislosti s predpokladaným rastom priemernej teploty vzduchu podmieneným zosilňovaním skleníkového efektu atmosféry sa vynárajú otázky možných dôsledkov globálneho oteplenia na zmeny klimatických pomerov v komplexnom ponímaní [7,12,13,21,28,45,46,51,52,58]. V tomto príspevku sa budeme zaoberať jednak metodickými otázkami riešenia daného problému, no zhrnieme aj výsledky získané v doterajšom priebehu riešenia tejto problematiky v rámci projektu Národný klimatický program SR (NKP) a navrhujeme postup riešenia v ďalších rokoch. Analýzu sme urobili na základe dostupných informácií v domácej a zahraničnej literatúre a tiež na základe vlastného spracovania mesačných priemerov a súm vybraných charakteristík z 9 meteorologických staníc na Slovensku za obdobie 1951 až 1994 a z jednej stanice (Hurbanovo) za obdobie 1871 až 1994. Pri riešení problematiky sme využili aj poznatky získané spoluprácou s NKP ČR, s Katedrou geografie MU Brno a čiastočne sme sa opierali aj o mesačné údaje získané z okolitých krajín.

Pri výpočtoch boli použité údaje z klimatickej časti databankového systému Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) v Bratislave (METEOSYS/DB), pričom na ich spracovaní sa podieľali aj ďalší pracovníci úseku meteorológie a klimatológie SHMÚ.

2. VŠEOBECNÁ ČASŤ

Predmetom príspevku je analýza zmien charakteristík klimatických prvkov v súvislosti s očakávaným oteplením klímy do roku 2030. Na začiatku preto stručne definujeme parametre základných predpokladov riešenej problematiky.

2.1. Globálne oteplenie

Na základe záverov rozsiahlych analýz v rámci Medzivládneho panelu pre zmeny klímy (IPCC), na ktorom sa podieľajú vedci z viac ako 20 krajín a ktoré boli všeobecne prijaté na II. Svetovej klimatickej konferencii v Ženeve v roku 1990 i na Svetovej konferencii o životnom prostredí a rozvoji v Rio de Janeiro (UNCED) v roku 1992, môže sa zvýšiť priemerná teplota vzduchu okolo roku 2025 aj v našom regióne o 1 až 2 °C oproti priemeru predindustriálneho obdobia

[45,52]. Na účely prvých odborných analýz boli pre ČR a SR navrhnuté predbežné scenáre zmien ročného chodu priemernej teploty vzduchu v tom zmysle, že v januári by sa v priemere zvýšila teplota vzduchu o 1,5 až 3 °C a v júli o 0,5 až 1 °C [21]. Neskôr urobil analýzu výsledkov scenárov oteplenia vypočítaných pre 2xCO₂ podľa 4 globálnych cirkulačných modelov (UKMO, GISS, OSU a GFDL) pre územie ČR a SR Brázdil [7] (ale aj iní autori). Výsledky týchto modelov [7] dávajú pre naše územie oteplenie 1,7 - 2,5 °C v lete a 2,2 - 2,9 °C v zime. Ak predpokladáme stav 2xCO₂ okolo roku 2060, tak predbežné scenáre oteplenia podľa [21] sú vcelku v súlade s globálnymi scenármi, lepšie však zodpovedajú historickým analógom pre zimné mesiace, a preto ich uprednostnili riešitelia úloh NKP SR v roku 1994 pri analýze možných dôsledkov oteplenia na území Slovenska. Doteraz spracované globálne scenáre rastu teploty vzduchu neberú do úvahy možné zmeny variability charakteristík teploty vzduchu a ani možné regionálne odchýlky zapríčinené hlavne orografickými zvláštnosťami. Predpokladané zvýšenie teploty vzduchu vplyvom rastúceho skleníkového efektu atmosféry je doplnkovou trendovou zložkou k reálne existujúcim prirodzeným zmenám a kolísaniu teploty vzduchu [45,52].

2.2. Zmeny zrážkových pomerov

Úhrny atmosférických zrážok (ďalej len zrážok) vykazujú ďaleko väčšie prirodzené časové zmeny ako teplota vzduchu a aj priemerné úhrny za jednotlivé desaťročia sa môžu líšiť aj viac ako o 10 % na tej istej stanici [44]. Preto je aj prognóza zmien zrážok v súvislosti s globálnym oteplením obťažná a problematická [7,12,52]. Pri riešení úloh NKP SR sme pri prvých analýzach použili v zásade 2 predbežné scenáre zmien úhrnov zrážok a ich ročného chodu [28,34]:

- a) žiadna zmena oproti doterajším dlhodobým mesačným priemerným úhrnom, vrátane ich ročného chodu
- b) zvýšenie úhrnov zrážok v zime o 10 až 20 % a zníženie úhrnov zrážok v prechodných obdobiach (jar, jeseň) o 10 až 20 %.

Tiež pri zrážkach predpokladáme, že uvedené scenáre vyjadrujú doplnkovú trendovú zložku oproti prirodzeným zmenám a kolísaniu zrážkových charakteristík. V ďalších úvahách budeme používať údaje zrážok podľa meraní v sieti Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ) bez akýchkoľvek doplnkových opráv systematických chýb meraní [29]. Uvedené dva scenáre sú rámcovo v súlade so scenármi navrhovanými pre južnú až strednú Európu v materiáloch IPCC a ich detailizácia pre územie Slovenska bola založená na analýze obmedzeného počtu staníc v relatívne teplých obdobiach po roku 1871 [12,31,45,46].

3. METODIKA RIEŠENIA A PRVÉ VÝSLEDKY

Ciele stanovené v úvode bolo možné splniť jednak analýzou a následnou syntézou výsledkov publikovaných v iných spracovaniach, no podstatná časť analýz sa opiera o vlastné spracovanie mesačných údajov z vybraných 9 staníc za obdobie 1951 - 1994 a z Hurbanova za obdobie 1871 - 1994, resp. 1901 - 1994 (pri zrážkach za obdobie 1881 - 1994, resp. 1901 - 1994 pre viaceré stanice).

Najkomplexnejšie z dostupnej literatúry z bývalej ČSFR sú metódy štatistickej analýzy v klimatológii opísané v [39], zo svetovej literatúry napríklad v [27] alebo stručnejšie v GUIDE WMO No 100 [18]. Na základe týchto metód boli rôzne klimatické charakteristiky podrobnejšie spracované vo viacerých publikáciách na Slovensku, napríklad v [1,5,25,26,43,54].

V ďalšom texte sa budeme venovať hlavne tým problémom a tým klimatickým charakteristikám, ktoré majú z hľadiska možných dôsledkov klimatických zmien dominantný význam v regióne Slovenska.

3.1. Zoznam prvkov a charakteristík, navrhovaných na analýzu možných dôsledkov zmien klímy

Teplota vzduchu

- v prvej etape: mesačné, sezónne a ročné priemery a priemery dennej amplitúdy
- perspektívne: teplotné sumy, nástupy a ukončenie určitých priemerov, priemery denných extrémov, absolútne extrémny nástupy a ukončenia určitých denných extrémov, charakteristiky variability priemerných a extrémnych teplôt (vrátane zabezpečenia výskytu), výskyt období s charakteristickými (i škodlivými) teplotami.

Atmosférické zrážky

- v prvej etape: mesačné, sezónne a ročné úhrny
- perspektívne: denné úhrny a ich variabilita, zabezpečenie (pravdepodobnosť) výskytu určitých hodnôt úhrnov zrážok, intenzity krátkodobých zrážkových oddielov (od 5 minút do 3 hodín), výskyt období s malými úhrnmi zrážok, priemery a extrémny počet dní so zrážkami.

Vlhkosť vzduchu

- v prvej etape: mesačné, sezónne a ročné priemery relatívnej vlhkosti vzduchu a tlaku vodnej pary
- perspektívne: variabilita mesačných, sezónnych a ročných priemerov relatívnej vlhkosti vzduchu, tlaku vodnej pary a sýtoštného doplnku, zabezpečenie určitých hodnôt priemernej vlhkosti vzduchu, výskyt období s nízkou relatívnou vlhkosťou vzduchu alebo vysokou absolútnou vlhkosťou vzduchu.

Oblačnosť a slnečný svit

- perspektívne: priemerné a extrémne mesačné, sezónne a ročné priemery a ich variabilita, zabezpečenie určitých hodnôt priemernej oblačnosti a slnečného svitu, výskyt období s nízkym trvaním slnečného svitu alebo vysokou priemernou oblačnosťou

Snehová pokrývka

- v prvej etape: mesačné a sezónne počty dní so snehovou pokrývkou a sumy denných výšok snehovej pokrývky
- perspektívne: denné a extrémne charakteristiky (počet dní so snehovou pokrývkou, suma denných výšok snehovej pokrývky) a ich variabilita, zabezpečenie určitých hodnôt nástupov a ukončenia charakteristik snehovej pokrývky, výskyt období bez snehovej pokrývky v zime a období s vysokou snehovou pokrývkou

Teplota pôdy

- perspektívne: priemerné a extrémne mesačné, sezónne a ročné priemery a ich variabilita, zabezpečenie určitých hodnôt priemernej teploty pôdy, trvanie a intenzita premrzania pôdy

Potenciálny výpar

- v prvej etape: vypočítané mesačné, sezónne a ročné sumy z mesačných charakteristík teploty a vlhkosti vzduchu pomocou metódy Zubenokovej
- perspektívne: variabilita mesačných, sezónnych a ročných súm, vypočítané mesačné sumy inými metódami, zabezpečenie určitých hodnôt súm potenciálneho výparu

Skutočný výpar

- v prvej etape: vypočítané mesačné, sezónne a ročné sumy z mesačných charakteristík zrážok, teploty a vlhkosti vzduchu pomocou metódy Zubenoková-Budyko
- perspektívne: variabilita mesačných, sezónnych a ročných súm, vypočítané mesačné sumy inými metódami, zabezpečenie určitých hodnôt súm potenciálneho výparu, zhodnotenie rozdielov medzi potenciálnym a skutočným výparom a medzi zrážkami a skutočným výparom

Využitelná vlhkosť pôdy (meraná a vypočítaná)

- v prvej etape: mesačné, sezónne a ročné priemery vypočítanej využiteľnej vlhkosti pôdy metódou Zubenoková-Budyko
- perspektívne: porovnanie meraných a vypočítaných mesačných charakteristík a ich variabilita, zabezpečenie určitých hodnôt priemernej využiteľnej vlhkosti pôdy (bod vädnutia, optimálna vlhkosť pôdy)

Atmosférické prúdenie

- v prvej etape: príprava mesačných charakteristík typov cirkulácie podľa prúdenia na hladine 850 hPa alebo 700 hPa
- perspektívne: početnosť smerov a priemery rýchlosti výškového prúdenia (850 hPa, 700 hPa), výskyt charakteristických synoptických situácií po štvrtrokoch, priemerné a extrémne mesačné, sezónne a ročné priemery rýchlosti prízemného prúdenia a ich variabilita, zabezpečenie určitých hodnôt priemernej a okamžitej rýchlosti vetra, výskyt škodlivých rýchlostí vetra

Fenologické charakteristiky

- perspektívne: priemerné a extrémne výskyty fenologických fáz divorastúcich a vybraných poľnohospodárskych a lesných rastlín a drevín v závislosti od klimatických charakteristík

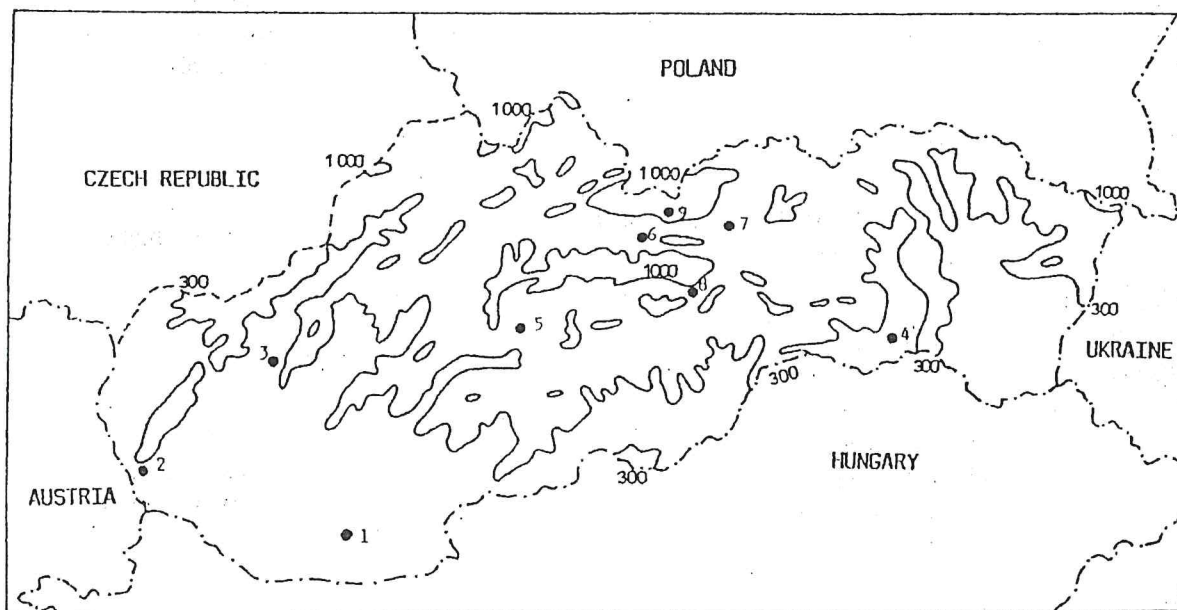


Fig.1 Slovak Republic; location of selected climatological stations (see Table 1), contour lines 300 and 1 000 m a.s.l.

Obr.1 Mapa Slovenskej republiky s vrstevnicami nadmorskej výšky 300 a 1000 m a s polohami klimatologických staníc v zmysle tabuľky 1

3.2. Príprava údajov na spracovanie

Pri všetkých uvedených prvkoch a charakteristikách je potrebné v prvom rade vybrať, prípadne vytvoriť časové rady údajov z pozorovaní v sieťach staníc, prípadne časových radov údajov vypočítaných na základe údajov pozorovaných v sieťach staníc pomocou odporúčaných metód. Vzhľadom na to, že za dlhšie obdobia ako 1961 - 1994 sú k dispozícii na počítačových

médiách takmer výlučne iba mesačné priemery a sumy, sústredili sme sa v prvej etape na tieto charakteristiky. Súborné 9 staníc (obr. 1 a tab. 1) za obdobie 1951 - 1994 boli vybrané predovšetkým vzhľadom na kompletnosť a predpokladanú lepšiu kvalitu pozorovaní. Údaje zo stanice Hurbanovo majú v rámci Slovenska výnimočné postavenie, pretože boli od roku 1901 až doteraz pozorované na jednom mieste, prostredníctvom profesionálnych pozorovateľov, rovnakou metodikou a bez rušivých vplyvov lokálnych zmien okolia. Mesačné charakteristiky využiteľnej vlhkosti pôdy, potenciálneho a aktuálneho výparu boli vypočítané pomocou zjednodušenej komplexnej metódy podľa Zubenokovej a Budyka [57]. Značnú časť mesačných údajov bolo potrebné pripraviť v priebehu riešenia úloh NKP z prvotných dokladov na počítačové médiá (hlavne charakteristiky snehovej pokrývky, dennej amplitúdy teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu).

3.3. Analýza spoľahlivosti vstupných údajov

Ďalším krokom bola analýza spoľahlivosti a časovej homogenity údajov v časových radoch mesačných hodnôt podľa odporúčaných metód. Za základnú testovaciu metódu relatívnej homogenity sme zvolili Craddock test [14] pre všetky prvky a Double Mass Analysis [16,40] pre mesačné úhrny zrážok. Časové rady údajov vyhovujúce zvoleným kritériám môžu byť použité na analýzy charakteristik pri hodnotení zmien a kolísania klímy a ich možných dôsledkov. Vzťahy Craddock testu môžeme podľa [14] napísať v tvare:

$$(1) \quad C_i = C_{i-1} + [x_i - y_i (x/y)],$$

kde C_i je postupný kumulatívny súčet rozdielov príslušných prvkov z dvoch časových radov x_i a y_i pre $i = 1, 2, 3, \dots, n$, pričom n je celkový počet prvkov (rovnaký v rade x_i aj y_i); x a y sú stredné hodnoty jednotlivých súborov údajov. Vzťah (1) nie je celkom vhodný na testovanie teploty vzduchu pri hodnotách okolo 0°C , preto sme použili aj diferenčnú verziu Craddock testu:

$$(2) \quad C_i = C_{i-1} + [x_i - y_i + (x - y)]$$

Na obr. 2 až 4 sú ukážky testov radov teploty vzduchu, zrážok a slnečného svitu. Rozhodujúcim problémom metód testovania relatívnej homogenity je existencia spoľahlivého (homogénneho) radu y_i , pomocou ktorého testujeme iné porovnateľné rady údajov. Interpretácia získaných výsledkov testov je založená na posudzovaní veľkosti rozdielov medzi radmi postupných súčtov C_i , ktoré sa na grafickom alebo numerickom výstupe javia buď ako zlomové, alebo ako plynulé zmeny smernice krivky. Cieľom je identifikácia systematických rozdielov medzi radmi údajov, ktoré sú časovo limitované závažnými zmenami polohy stanice, alebo zmenami metodiky merania, zmenami prístroja a pod. Časť z týchto rozdielov, nápadne pripomínajúcich nehomogenosť radu testovanej stanice, môže byť zapríčinená rozdielnou reakciou daného prvku na dočasné zmeny klimatických podmienok, najmä prúdenia, ak sú obidve polohy v rozdielnych klimatických okráskoch. Zväčšenie šumu na krivke postupných súčtov tiež svedčí o väčšej meteorologickej variabilite daného klimatického prvku v čase. Ukazuje sa, že táto metóda (Craddock) je mimoriadne vhodná na testovanie radov priemernej teploty vzduchu a trvania slnečného svitu, no je takmer nepoužiteľná na testovanie radov mesačných úhrnov zrážok v teplom polroku a pre stanice v horských oblastiach alebo na rovine vo väčšej vzdialenosti ako 50 km. Prípustnú veľkosť časovo limitovanej systematickej odchýlky medzi stanicami je potrebné hodnotiť individuálne v závislosti od variability rozdielov medzi radmi na obidvoch stanicích, od dĺžky trvania odchýlky, od súvisu začiatku a konca odchýlky so závažnými zmenami v pozorovaní na stanicích a od posudzovaného klimatického prvku. Vzhľadom na to, že táto etapa testov je iba v začiatkoch, nemáme ešte vypracované definitívne testovacie pravidlá.

Na testovaných radoch uvedených na obr. 2 a 3 vidíme znaky svedčiace očasovo obmedzenej nehomogenity. Odstránenie týchto nedostatkov údajových súborov (homogenizácia) je v niektorých prípadoch jednoduchá a spočíva v nahradení príslušných mesačných hodnôt údajmi zodpovedajúcimi priemernej odchýlke (alebo kvocientu) tej časti súborov, ktoré sú

Tab. 1 Koeficienty korelácie (r) vzťahu rôznych klimatických prvkov na 9 staniciach na Slovensku v teplom polroku (stĺpce 1 a 2) a v chladnom polroku (stĺpce 3 až 8) v období 1951-1991. (U-relatívna vlhkosť vzduchu, T-teplota vzduchu, R-úhrny zrážok, N-počet dní so snehovou pokrývkou, S-sumy denných výšok snehovej pokrývky)

Table 1 Correlation coefficients (r) of elements: U - relative air humidity, T - air temperature, R - precipitation, N - number of days with snowcover, S - daily snowcover depths totals. In columns 1 and 2 are values for warm half-years (April-September) and in other ones for cold half-years (October-March) of the period 1951-1991 are presented.

C O R R E L A T I O N S

Stations (altitude)		1 (TU)	2 (RU)	3 (TU)	4 (RU)	5 (NU)	6 (SU)	7 (TN)	8 (TS)
1. Hurbanovo (115)	r	-0,4	0,7	-0,3	0,4	0,4	0,4	-0,8	-0,7
2. Bratislava, Kol. (286)	r	-0,4	0,7	-0,2	0,5	0,2	0,2	-0,7	-0,6
3. Piešťany (165)	r	-0,3	0,6	-0,2	0,6	0,4	0,2	-0,7	-0,6
4. Košice, let. (230)	r	-0,5	0,7	0,0	0,6	0,1	0,0	-0,6	-0,5
5. Sliač, let. (313)	r	-0,4	0,6	0,1	0,3	0,2	0,1	-0,7	-0,6
6. Lipt. Hrádok (640)	r	-0,4	0,6	0,0	0,4	0,4	0,1	-0,4	-0,5
7. Poprad, let. (695)	r	-0,3	0,6	-0,3	0,4	0,4	0,2	-0,6	-0,6
8. Telgárt (901)	r	-0,4	0,5	0,1	0,4	0,2	0,1	-0,6	-0,6
9. Štrbské Pleso (1360)	r	-0,5	0,4	-0,2	0,3	0,0	0,1	-0,1	-0,4

Tab. 2 Vzorka testov homogenity ročných úhrnov zrážok za obdobie 1901-1980 na staniciach Hurbanovo a Liptovský Hrádok (interval 0 je 1901-80, 1 je 1901-10, 2 je 1911-20 atď, (-) označuje signalizáciu miernej nehomogenity)

Table 2 Sample of Double-mass analysis test of annual precipitation totals homogeneity for stations Hurbanovo and Liptovský Hrádok (interval 0 is for 1901-1980, 1 for 1901-1910...8 for 1970-1980, (-) indicates moderate inhomogeneity)

INTERVAL CORREL. COEF. ABS. TERM LIN. TERM QUOTIENT OF LIN. TERMS

Station: Hurbanovo

0	0.99998	-27.442	1.006284	1.000000
1	0.99988	0.478	0.977057	0.970955
2	0.99976	-61.626	1.025250	1.018847
3	0.99989	-22.112	0.999294	0.993053
4	0.99973	23.773	0.987908	0.981739
5	0.99964	-154.460	1.034553	1.028091
6	0.99982	-54.696	1.014317	1.007982
7	0.99947	80.771	0.992194	0.985999
8	0.99977	201.669	0.973815	0.967734

Station: Liptovský Hrádok

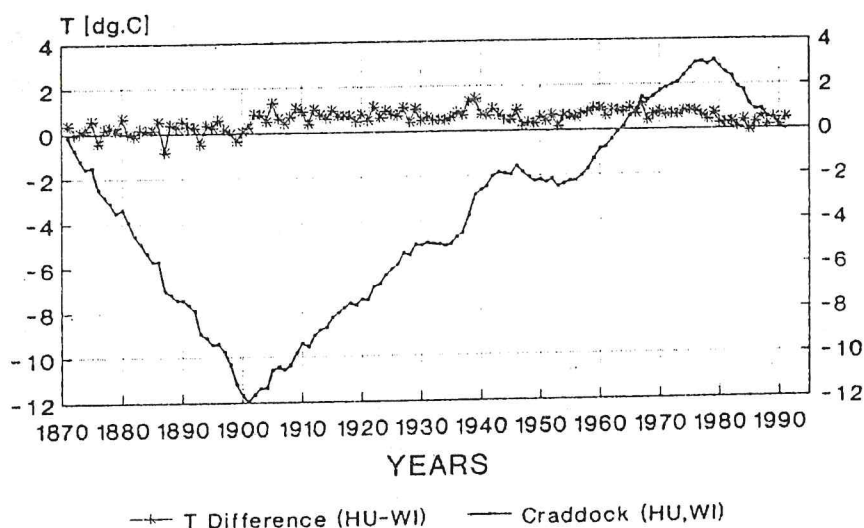
0	0.99958	114.851	0.997093	1.000000
1	0.99965	-0.533	1.036306	1.039338
2	0.99995	13.966	1.044323	1.047378
3	0.99903	-1.592	1.063327 (-)	1.066438 (-)
4	0.99966	29.261	1.043348	1.046400
5	0.99976	365.354	0.961177	0.963989
6	0.99983	596.385	0.912510 (-)	0.915179 (-)
7	0.99947	386.881	0.950753	0.953534
8	0.99990	231.031	0.971289	0.974130

Tab. 3 Odchýlky Δ vybraných meteorologických charakteristík najnovšieho relatívne teplého obdobia (1988 - 1993) od dlhodobých priemerov obdobia 1901 - 80 (N) v Hurbanove (T - teplota vzduchu v °C, R - zrážky v mm, U - relatívna vlhkosť vzduchu v %)

Table 3 Deviations Δ of selected climatological characteristics of the period 1988-1993 from normals of the period 1901-1980 (N) at Hurbanovo (T, R, U - elements according to the Table 1)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
T(N)	-1,7	0,2	4,9	10,2	15,3	18,4	20,1	19,3	15,3	9,9	4,4	0,6	9,7
ΔT	2,3	1,5	1,6	0,6	0,8	0,3	0,8	1,7	0,3	0,4	-0,8	0,0	0,8
R(N)	36	35	35	44	58	62	60	51	43	46	53	47	570
ΔR	-22	-7	-5	-12	-27	7	-1	-8	-5	6	1	0	-74
U(N)	85	81	74	68	70	70	69	70	74	80	85	87	76
ΔU	-1	-3	-5	-5	-9	-4	-6	-6	-2	-6	-3	-3	-4

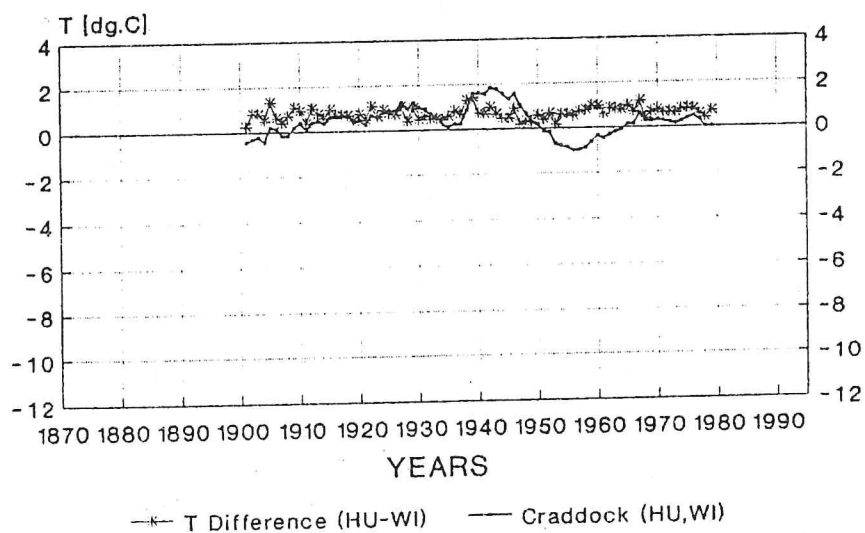
Fig. 2a Craddock test of T means at Hurbanovo according to Vienna in VI-VIII.1871-1991



T - Air temperature

Mean T difference $dT = 0.52$ dg.C

Fig. 2b Craddock test of T means at Hurbanovo according to Vienna in VI-VIII.1901-1979

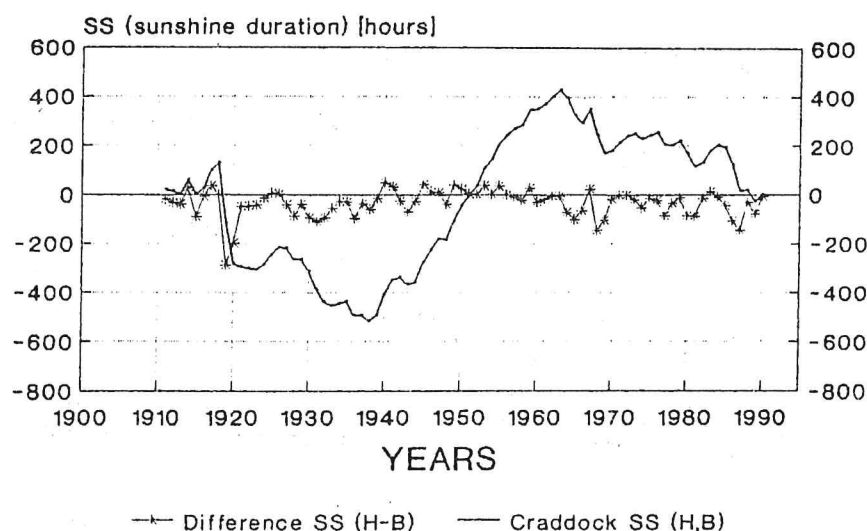


T - Air temperature

Mean T difference $dT = 0.70$ dg.C

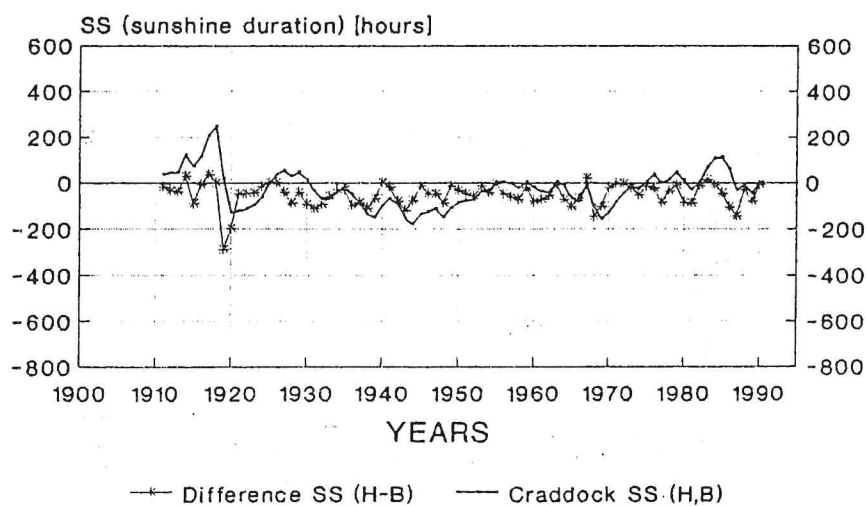
Obr.2 Craddock test (relatívnej homogenity) priemernej teploty vzduchu T v Hurbanove podľa Viedne, Hohe Warte v lete (jún až august), a) v období 1871 až 1991, b) 1901 až 1979

Fig. 3a Craddock test of SS sums at Hurbanovo and Budapest in June-August 1901-1990



Not corrected SS sums at Hurbanovo

Fig. 3b Craddock test of SS sums at Hurbanovo and Budapest in June-August 1901-1990



SS sums at Hurbanovo are corrected
by $(SS \cdot 0.94)$ in 1937-1962

Obr.3 Craddock test (relatívnej homogenity) súm trvania slnečného svitu SS v Hurbanove podľa Budapešti v lete (jún až august) 1901 až 1990 a) nekorigované údaje z Hurbanova, b) korigované údaje v Hurbanove v období 1937 až 1962 kvocientom 0.94

Fig. 4a Craddock test of precipitation totals R at station Dunajská Streda according to totals at Hurbanovo in VI-VIII.1901-1990

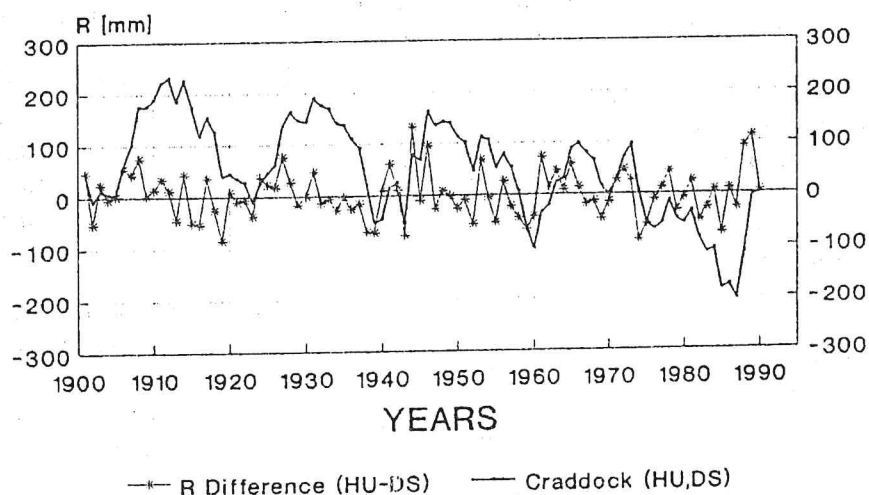
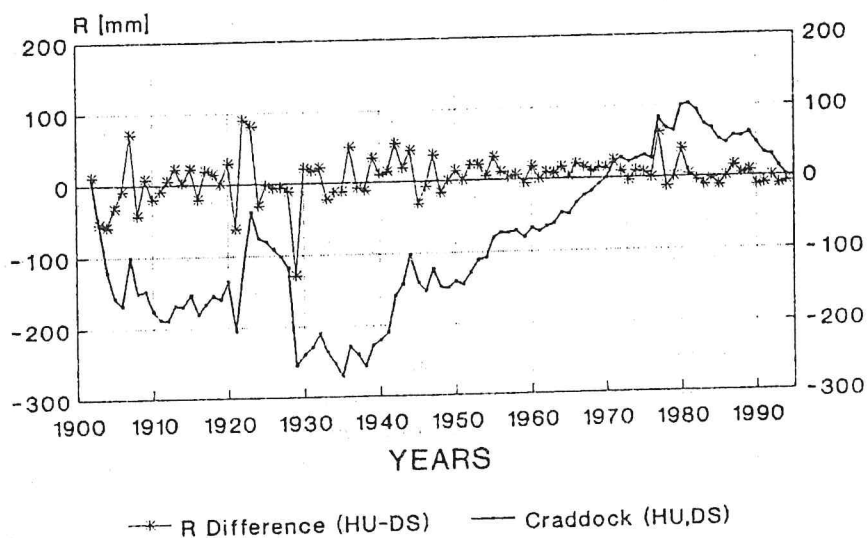


Fig. 4b Craddock test of R totals at Hurbanovo and D.Streda in Decemb.-February 1901-94



Dun.Streda lies 40 km from Hurbanovo

Obr.4 Craddock test (relatívnej homogenity) úhrnov zrážok R v Dunajskej Strede podľa Hurbanova a) v lete (jún až august) 1901 - 1990, b) v zime (december až február) 1901 - 1994

nepochybne homogénne (obr. 3). Pri teplote vzduchu sme sa ešte nerozhodli korigovať nepatrnú odchýlku v Hurbanove (asi 0,3 °C) v období 1871-1900 oproti Viedni, pretože si to vyžaduje urobiť aj iné testy a s viacerými stanicami. Signalizovaná nehomogenita po roku 1980 sa vyskytuje celoročne a je pravdepodobne spôsobená zmenou metodiky pozorovania alebo inými zmenami na stanici Viedeň, no rakúski klimatológovia nevylučujú ani vplyv zmenených cirkulačných pomerov v blízkosti Álp. Testovaním teploty vzduchu sa detailnejšie zaoberá Nieplová v inom príspevku tohoto zväzku [38]. Na obr. 4. je ukážka testu úhrnov zrážok na stanici Dunajská Streda podľa Hurbanova pre leto a zimu. Napriek pomerne malej vzdialenosti staníc (40 km) je tu markantný rozdiel v obidvoch obdobiach a s určitosťou môžeme tvrdiť, že pre úhrny zrážok v lete je tento test takmer nepoužiteľný ani na rovine pri malej vzdialenosti staníc.

Metóda Double mass analysis (Dvojitá súčtová čiara) je podobne ako Craddock test založená na porovnávaní homogénneho y_i a testovaného x_i radu, pričom za homogénny rad sa obvykle považuje rad vytvorený ako priemer z niekoľkých kvalitnejších staníc v danej klimatickej oblasti, pričom za x_i a y_i sa môžu dosadiť v časovej postupnosti buď hodnoty za jednotlivé prvky časového radu, alebo prvky vytvorené zhladením pomocou kľazavých priemerov. Zhladenie zabezpečí odstránenie alebo zmiernenie náhodných odchýlok a šumu. Každá zmena smernice dvojitej súčtovej čiary znamená signalizáciu začiatku alebo konca prechodnej systematickej odchýlky medzi prvkami radov (podobne ako pri Craddock teste). Za nehomogénnosť považujeme iba také odchýlky, ktoré sa potvrdia METADATAMI (údajmi o zmenách na pozorovacej stanici), alebo, ak sa inými testovacími metódami vylúči vplyv lokálne-klimatického pôvodu. Túto metódu je možné doplniť aj výpočtom korelačných koeficientov postupných súčtov základného (priemerného) a testovaného radu údajov, napríklad v kroku po 10 rokov. Tak použili Double mass analysis Petrovič a Koňakovská v [40] a podobne boli testované ročné a mesačné úhrny zrážok na 203 staniaciach na Slovensku za obdobie 1901 - 1980 [16]. Na základe analýzy korelačných koeficientov testov všetkých staníc podľa radov priemerných úhrnov zrážok v šiestich oblastiach Slovenska bolo vybraných 20 staníc s najlepšimi výsledkami. Tieto stanice sa dnes používajú pri výskume zmien klímy a na medzinárodnú výmenu (Faško, Košťálová, Lapin [16]). V tab. 2 je ukážka výsledkov testu (koeficienty korelácie, absolútne a lineárne členy lineárnej regresie v kroku po 10 rokov v období 1901-1980) pre stanice Hurbanovo a Liptovský Hrádok. Výsledky testu sú pre Hurbanovo očividne lepšie, no je treba brať do úvahy zložitejšie klimatické pomery Liptovského Hrádku, kde musia byť aj miernejšie kritériá. Pri staniaciach v horských polohách alebo v blízkosti pohorí musí byť doplnená interpretácia zdanlivej nehomogenity analýzou zmien cirkulačných pomerov. Takúto analýzu sa chystáme urobiť v roku 1995.

V ďalšom priebehu riešenia úloh NKP pripravujeme aj použitie iných metód testov absolútnej a relatívnej homogenity časových radov. V rámci NKP sa rieši samostatná úloha zameraná na testovanie spoľahlivosti a následnú homogenizáciu dlhých časových radov klimatických údajov, ktorej zodpovednou riešiteľkou je Nieplová (pozri iný príspevok v tomto zväzku [38]).

3.4. Zoznam problémových oblastí možných dôsledkov globálneho oteplenia na zmeny iných klimatických charakteristík

V tejto podkapitole sa budeme venovať jednak problémom, ktoré už boli určitými metódami riešené v rámci NKP ČSFR alebo mimo jeho rámca a tiež problémom, ktoré je potrebné rozpracovať. V domácej i svetovej literatúre sa objavuje priebežne rad nových impulzov, súvisiacich s klimatickými zmenami, využiteľných aj pre podmienky nášho regiónu. Vzhľadom na veľkú zložitosť a rozsah tejto problematiky je nevyhnutné stanoviť poradie krokov podľa možnosti riešiteľov na Slovensku. V zátvorke sú uvedené publikované príspevky s prvými výsledkami:

- predbežná analýza korelačných vzťahov teploty vzduchu, úhrnov zrážok, relatívnej vlhkosti vzduchu, počtu dní so snehovou pokrývkou a súm denných výšok snehovej pokrývky na základe polročných priemerov a súm zo stanice Hurbanovo za obdobie od 1901 a z ďalších 8 staníc na Slovensku za obdobie od 1951 do 1991 (Lapin 1992 [33])

- analýza zmien súm a výskytu charakteristických priemerných teplôt a zmien termínov vykurovacieho obdobia v súvislosti s očakávaným oteplením na Slovensku (Tekušová 1992 [55])
- analýza zmien charakteristík vodnej bilancie v súvislosti s rastom teploty vzduchu na Slovensku (Lapin 1992 [28])
- analýza zmien zrážkových úhrnov v obdobiach s rastom teploty vzduchu a výskytu suchých období na Slovensku (Faško 1992 [9])
- analýza dôsledkov rastu teploty vzduchu na zmeny denných amplitúd teploty vzduchu; v SHMÚ boli pripravené štvrtročné priemery extrémnych denných teplôt a oblačnosti z 15 staníc na Slovensku za obdobie 1951-1993 a v spolupráci s Katedrou geografie Masarykovej Univerzity v Brne bola urobená prvá analýza trendov denných amplitúd teploty vzduchu (Brázdil a kol. 1994 [10,11])
- na Katedre meteorológie a klimatológie MFF UK bola urobená prvá analýza vzťahu teploty vzduchu a charakteristík výparu a slnečného žiarenia (samostatná úloha NKP SR od roku 1993 [35])
- na SHMÚ pokračovali práce na príprave údajov a metód pre podrobnejšiu analýzu závislosti zmien vlhkosti vzduchu, zrážok, snehových charakteristík a charakteristík vodnej bilancie od rastu teploty vzduchu
- analýza zmien cirkulácie atmosféry v oblasti Západných Karpát v súvislosti s rastom teploty vzduchu - pripravuje sa metodika riešenia v spolupráci s IMiGW v Krakove
- analýza zmien úhrnov zrážok a vlhkosti vzduchu v závislosti od výškového prúdenia v oblasti Západných Karpát - pripravuje sa metodika riešenia
- analýza zmien vybraných fenologických fáz v závislosti od rastu teploty vzduchu na Slovensku - príprava metodiky a príprava časových radov údajov vybraných fenologických fáz za obdobie od roku 1931
- analýza zmien výskytu vybraných škodlivých meteorologických javov a období s vybraným škodlivým počasím v súvislosti s rastom teploty vzduchu na Slovensku - príprava metodiky riešenia a príprava údajov z vybraných staníc alebo z vybranej oblasti
- analýza zmien teploty pôdy a využiteľnej vlhkosti pôdy v Hurbanove v závislosti od zmien teploty vzduchu za obdobie 1921-1993 (príprava údajovej základne, príprava metodiky)
- pripravuje sa metodika na riešenie problematiky možných zmien variability dôležitých klimatických prvkov v súvislosti s predpokladaným rastom teploty vzduchu do roku 2030.

3.5. Odporúčané metódy na riešenie danej problematiky

Problematiku analýzy dôsledkov rastu teploty vzduchu na zmeny iných klimatických prvkov je z hľadiska prístupu možné riešiť v zásade dvoma spôsobmi:

- 1) Analýzou období s kladným trendom priemernej teploty vzduchu alebo období s dlhšie trvajúcim nadnormálne teplým počasím v minulosti, pričom tieto obdobia musia mať také trvanie, aby boli súbory údajov z týchto období dostatočne početné pre štatistické spracovanie
- 2) Analýzou modelových výpočtov niektorých klimatických charakteristík, pričom vstupmi do modelov sú hodnoty v zmysle scenárov predpokladaných klimatických zmien v súlade s očakávaným globálnym oteplením. Do tejto skupiny zaraďujeme aj tzv. globálne cirkulačné modely zmien klímy (GCM [7,12,21,45,52]), ktorých riešenie je v našich podmienkach nereálne, no môžeme úspešne interpretovať ich výsledky v podmienkach stredoeurópskeho regiónu.

Vzhľadom na to, že okrem teploty vzduchu nie sú k dispozícii všeobecne uznávané scenáre klimatických zmien [45,52], je v praxi obvyčajne potrebné kombinovať obidva spôsoby vyššie uvedenej analýzy. Znamená to, že ak sa rozhodneme robiť určité modelové výpočty, je potrebné prevziať alebo vypočítať scenáre zmien potrebných vstupov do modelov. Okrem teploty vzduchu sú najčastejšie vstupmi modelových výpočtov úhrny zrážok, relatívna vlhkosť vzduchu alebo sýtosťný doplnok, oblačnosť alebo trvanie slnečného svitu, prípadne aj rýchlosť vetra a výskyt snehovej pokrývky. Tieto dôvody nás viedli k rozhodnutiu začať v roku 1992 s podrobnejšou

analýzou možných zmien vlhkosti vzduchu, úhrnov zrážok a charakteristík snehovej pokrývky v súvislosti s očakávaným rastom teploty vzduchu (Lapin [33], Faško [9]). Uvedená analýza je stále ešte iba v začiatkoch, no už priniesla niektoré zaujímavé výsledky, ktoré nám umožňujú naznačiť riešenie tejto problematiky v najbližšej budúcnosti.

Najdôležitejšou časťou tejto úlohy je výber údajových súborov vhodných na analýzu klímy v relatívne teplých obdobiach alebo v obdobiach s rastúcou teplotou vzduchu z dostatočne dlhých a časovo homogénnych radov napozorovaných údajov. Po viacerých pokusoch sa ukázalo, že na Slovensku spĺňa tieto predpoklady iba rad pozorovaní v Hurbanove od roku 1901, a to prakticky pre všetky pozorované prvky. Z ďalších staníc sú od roku 1901 k dispozícii iba vhodné rady úhrnov zrážok asi z 20 staníc a rady teploty vzduchu z 3 staníc. Vo všetkých prípadoch ide iba o mesačné charakteristiky, čo v tejto fáze riešenia úloh tvorí postačujúcu údajovú základňu. V ďalšej etape, keď sa budú riešiť otázky zmien variability klímy, bude nevyhnutné používať aj denné, prípadne hodinové alebo termínové pozorovania.

Dôležitým problémom je aj stanovenie obdobia na výpočet doterajších klimatických nor-
málov. IPCC používa normály z obdobia 1951-1980, čo je podľa našich analýz síce prijateľné, no z viacerých príčin krátke obdobie. Navrhujeme použiť aj obdobie 1901-1980 pre zrážky, teplotu vzduchu i relatívnu vlhkosť vzduchu a obdobie 1921-1980, ak sa používajú aj ďalšie prvky, alebo ak nie sú dlhšie rady k dispozícii. Obdobie po roku 1980 je pravdepodobne už ovplyvnené rastúcim skleníkovým efektom atmosféry a neodporúčame ho zahrnúť do obdobia na výpočet doterajších klimatických normálov pre účely analýzy dôsledkov klimatických zmien [28].

Ďalšou dôležitou otázkou riešenia tejto problematiky je výber vhodných štatistických alebo grafických metód na výpočet alebo interpretáciu klimatických zmien. Nevyhnutné je pri tom dodržiavať používanie dohodnutých klimatických charakteristík tak, aby bolo možné bezproblémové porovnávanie výsledkov rôznych autorov:

- ako štandardné normály používame stále charakteristiky z obdobia 1931 - 1960, prípustné je používanie dlhodobých priemerov z obdobia 1951 - 1980, ideálne sú dlhodobé priemery z obdobia 1901 - 1980, prípadne z obdobia 1921 - 1980; štandardné normály z obdobia 1961 - 1990 predbežne nepoužívame pri hodnotení klimatických zmien kvôli zatiaľ nedostatočne oceneným odchýlkam v porovnaní s predchádzajúcimi dlhodobými priemermi
- pri vyjadreniach odchýlok od normálov alebo dlhodobých priemerov používame vyjadrenia v absolútnych hodnotách pri tých prvkoch, ktoré dosahujú aj kladné aj záporné hodnoty a aj v absolútnych hodnotách aj v percentách pri tých prvkoch, ktoré dosahujú len kladné hodnoty.
- často používanou metódou je vyjadrovanie trendov časových radov prvkov; pri tejto metóde je nevyhnutné testovanie významnosti lineárneho alebo iného trendu a ocenenie vplyvu extrémnych hodnôt na deformáciu vypočítaného trendu v málopočetných súboroch; na testovanie sa používa korelačná metóda (tzv. t-test) a extrémne hodnoty, ktorých pravdepodobnosť výskytu je ďaleko menšia, ako zodpovedá časovej dĺžke radu, môžeme eliminovať filtráciou (v tomto príspevku sú na viacerých miestach uvedené koeficienty korelácie, vyjadrujúce buď korelačný vzťah dvoch klimatických radov, alebo časového radu údajov a lineárnej regresnej priamky časového trendu; tiež uvádzame na viacerých miestach hodnoty parametra Alfa (α) z t-testu, ktorý vyjadruje mieru významnosti lineárnej regresie)
- z viacerých spracovaní je zrejmé, že trendy zistené v časových radoch z 20. storočia môžu byť iba čiastočne zapríčinené vplyvom rastúceho skleníkového efektu atmosféry [2,45,52]; pri priemernej ročnej teplote vzduchu môže byť tento podiel asi 0,5 °C od začiatku storočia; všetky ostatné zmeny sú jednoznačne iného pôvodu (prirodzené krátkodobé zmeny klímy, mestský ostrov tepla, lokálne antropogénne zásahy do prostredia..)
- niektoré klimatické prvky vzájomne tesne korelujú z fyzikálnych príčin (z definície prvkov) - veľmi tesná korelácia je medzi oblačnosťou a trvaním slnečného svitu, medzi potenciálnym výparom a sytostným doplnkom, medzi teplotou vzduchu a tlakom vodnej pary a pod.; pri iných prvkoch je tesnosť korelácie daná klimatologickými príčinami a o tieto nám pri analýze klimatických zmien hlavne ide - uveďme koreláciu medzi teplotou vzduchu v zime a snehovou

pokryvkou, medzi smerom výškového prúdenia a režimom zrážok, medzi teplotou vzduchu a relatívnou vlhkosťou vzduchu, medzi úhrnmi zrážok a relatívnou vlhkosťou vzduchu, medzi dennou teplotnou amplitúdou a oblačnosťou a pod.

- v celom rade prípadov ide o viacnásobnú korelačnú závislosť, čo analýzu príčin zmien a kolísania klímy značne komplikuje; prelínajú sa pri nich fyzikálne a klimatologické príčiny závislosti s neurčitým podielom (napríklad vzťahy medzi prvkami vodnej alebo energetickej bilancie zemského povrchu); v niektorých prípadoch ani vysoký korelačný koeficient ($r > 0.9$) nemá v klimatologickej analýze prakticky žiaden význam, v iných vzťahoch každý prípad, keď je r rôzne od nuly, sa môže klimatologicky interpretovať; z uvedeného vyplýva, že je v podstate najdôležitejšie odborné - klimatologické zhodnotenie výberu prvkov a charakteristík, ktoré použijeme pri korelačnej analýze
- na tomto mieste nie je potrebné detailnejšie sa zaoberať použitým matematickým aparátom a interpretačnými metódami, na niektoré dôležitejšie skutočnosti upozorníme priamo pri hodnotení dosiahnutých výsledkov.

3.6 Trend priemerných ročných teplôt vzduchu

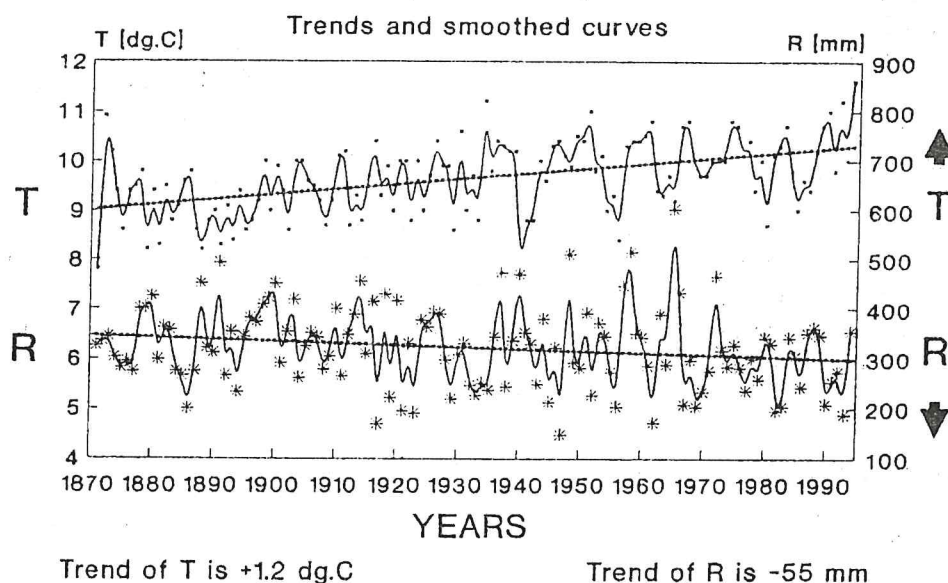
Na obr. 5 je graficky znázornený trend priemerných ročných teplôt (T) v Hurbanove za obdobie 1871 - 1994, vrátane jednotlivých ročných priemerov a zhladenej časovej krivky spolu s podobným spracovaním úhrnov zrážok za teplé polroky. Z tohoto trendu už na prvý pohľad jasne vyplýva rast teploty vzduchu o asi $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ od roku 1901. Platí to tak pre lineárnu, ako aj pre kvadratickú aproximáciu trendov, ktoré sa líšia iba nepatrne. Koeficient korelácie lineárnej regresie je $r = 0,46$ pre 124-ročný rad, čo potvrdzuje vysokú významnosť trendu podľa t -testu (na hladine Alfa = 0.001). Veľmi podobné trendy pozorujeme aj na iných staniciach na Slovensku, no smerom na sever a východ sa väčšinou znižuje veľkosť kladného trendu. Priebeh teploty vzduchu v tomto storočí môžeme interpretovať a klimatologicky aplikovať niekoľkými spôsobmi:

1. Jednoznačne rastúci trend T zvädza k potvrdeniu vplyvu rastu skleníkového efektu atmosféry. Skutočnosť je však taká, že tento trend je prevažne zapríčinený nízkymi teplotami na začiatku storočia a menej vysokými teplotami v poslednom tridsaťročí. Porovnateľne vysoké T sa vyskytovali v našom regióne aj začiatkom minulého storočia [2]. Podrobnejšia analýza trendu T na celej severnej pologuli potvrdzuje, že rast T pravdepodobne zapríčinený rastom skleníkového efektu atmosféry je od roku 1900 len asi $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (IPCC [45,52]).
2. Uvedený rast T je približne v takom rozsahu, aký trend očakávame v našom regióne vplyvom rastu skleníkového efektu atmosféry v období 1951 - 2030, čiže ho môžeme v zjednodušení považovať za modelový príklad očakávanej zmeny klímy v najbližšom období. Takáto interpretácia má však aj niektoré riziká. Trend T v Hurbanove v tomto storočí bol výsledkom určitých pomerov cirkulácie atmosféry na severnej pologuli, ktoré mali za následok iné trendy, vrátane poklesu T v iných regiónoch. Rast skleníkového efektu atmosféry a s tým súvisiaci rast T bude mať zrejme za následok celkovú zmenu cirkulačných pomerov na severnej pologuli s inou priemernou polohou frontálnej zóny i kvázistacionárnych cyklón a anticyklón. Napriek tomu však môžeme do určitej miery využiť existujúci trend T na analýzu možných dôsledkov globálneho oteplenia na zmeny iných klimatických charakteristík v našom regióne tak, ako to budeme ďalej v príspevku prezentovať.

3.7. Relatívne teplé obdobia v minulosti

Ako sme už uviedli v iných príspevkoch [28,31], je analýza relatívne teplých období ďalšou z možností ocenenia možných dôsledkov globálneho oteplenia na zmeny klimatických charakteristík. Je potrebné uvedomiť si, že podobne ako pri trende T v tomto storočí sú aj pomery v teplých obdobiach výsledkom určitých cirkulačných pomerov v atmosfére, ktoré sa môžu líšiť od pomerov keď sa globálne oteplenie skutočne prejaví. Navrhujeme, aby sa za relatívne teplé obdobie považovalo najmenej 5-ročné obdobie také, v ktorom sa nevyskytujú viacmesačné výrazne

Fig. 5 Annual means of air temperature T and precipitation totals in April–September R at Hurbanovo, Slovakia, in 1871–1994



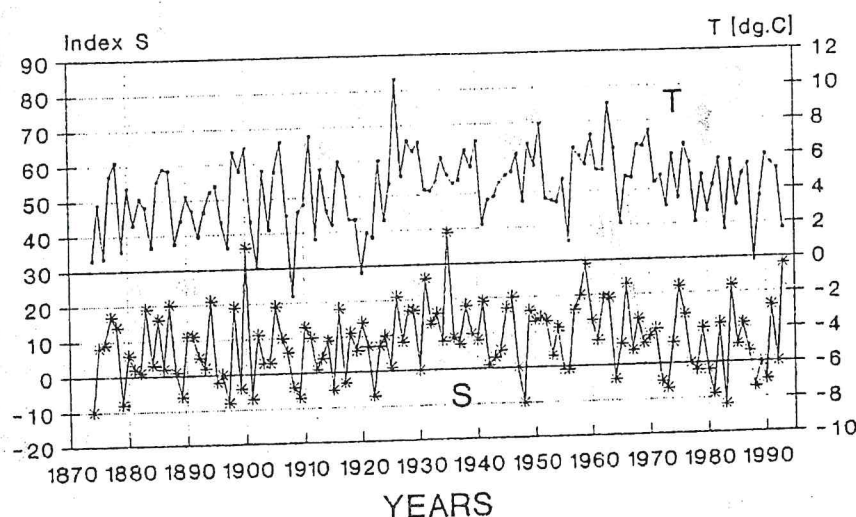
Obr.5 Trendy a zhladené časové krivky priemernej ročnej teploty vzduchu T a úhrnov zrážok R za vegetačné obdobie (apríl až september) 1871 až 1994 v Hurbanove

chladné obdobia a ktorého celkový priemer T je aspoň o $0,4^{\circ}\text{C}$ vyšší, ako je dlhodobý priemer z obdobia 1901 - 1980. Podľa uvedeného kritéria sa v Hurbanove v tomto storočí vyskytlo 5 takýchto období [28] v celkovom trvaní 39 rokov. Najteplejším bolo posledné obdobie 1988-1993 s odchýlkou T od dlhodobého priemeru $+0,8^{\circ}\text{C}$. Podľa T i ostatných prvkov by mohlo byť toto 6-ročné obdobie vzorkou klímy okolo roku 2015 (tab. 3.). Z tab. 3. okrem iného vyplýva, že okrem XI a XII boli v poslednom 6-ročnom období priemerné teploty v každom mesiaci vyššie, ako je dlhodobý priemer. Na obr. 6. sme preto znázornili aj trend a časový priebeh novembrových priemerných teplôt. V porovnaní s trendom ročných priemerných teplôt za obdobie 1871 - 1993 vyplýva, že lineárna aproximácia teplotného trendu je pre november podobná ako pre rok, no je zrejme ďaleko menej významná a od roku 1961 tu pozorujeme skôr klesajúci trend priemernej teploty vzduchu za november.

Relatívny pokles teploty vzduchu v novembri po roku 1961 je pozorovaný nielen v Hurbanove, ale aj v rozsiahlej oblasti východne a juhovýchodne od Álp až po východ Ukrajiny [podľa rôznych zdrojov]. Najväčší záporný trend (až -3°C) sa vyskytuje na východnom Balkáne. Pre uvedené príčiny sme sa na obr. 6 a 7 pokúsili urobiť porovnanie a koreláciu priemerných novembrových teplôt od roku 1874 a indexov južnej meridionality spracovaných Niedzwiedzom [37]. Vysoký koeficient korelácie $r = 0,41$ a vysoká významnosť lineárnej regresie po roku 1961 potvrdzuje, že pokles novembrových teplôt v posledných 34 rokoch je výsledkom významnej zmeny cirkulačných pomerov v Európe. Pokles južnej meridionality sa zrejme prejavuje aj na poklese úhrnov zrážok v niektorých oblastiach Slovenska. Túto rozsiahlu problematiku budeme analyzovať v niektorom z našich ďalších príspevkov.

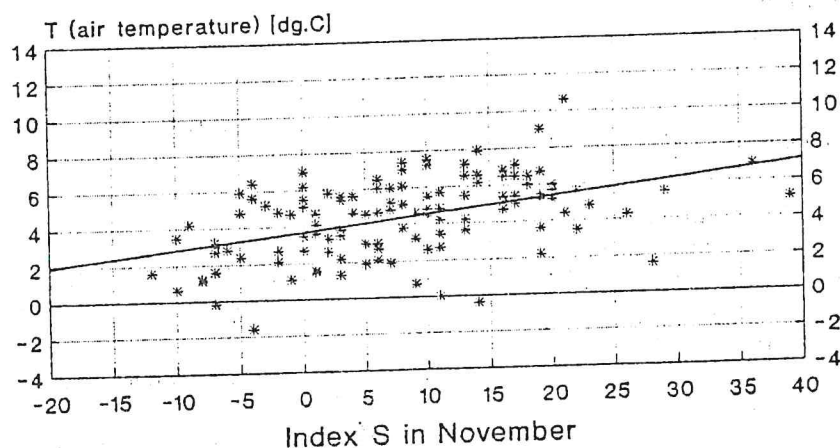
Zistené trendy i korelačné vzťahy potvrdili, že navrhované scenáre zmien teploty vzduchu [21] môžeme pre našu oblasť predbežne považovať stále za aktuálne pri modelových výpočtoch možných dôsledkov globálneho oteplenia na rôzne socioekonomické sektory (tieto scenáre sú

Fig. 6 Index of southerly meridional circulation S and mean air temperature T at Hurbanovo in November 1874-1993



S classification according to Niedzwiedz

Fig. 7 Correlation of index of southerly meridional circulation S and T means at Hurbanovo in November 1874-1993



S classification according to Niedzwiedz

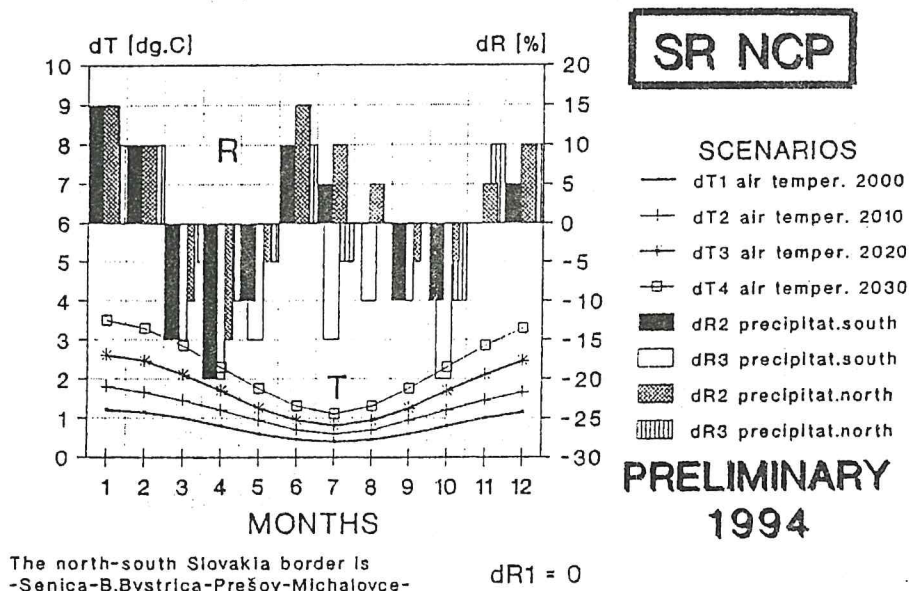
Hurbanovo, 115 m a.s.l.,
South Slovakia

Corr.coef. $r(S,T) = 0.4121$
Slope $b = 0.085$, Alpha = 0.001

Obr.6 Časový priebeh priemernej mesačnej teploty vzduchu T a indexov južnej meridionálnej cirkulácie S (podľa Niedzwiedza) v novembri 1874 až 1993

Obr.7 Korelácia indexu južnej meridionálnej cirkulácie S a priemernej mesačnej teploty T za november 1874 až 1993 (v tomto a v ďalších obrázkoch sú uvedené koeficienty korelácie r , lineárne členy lineárnej regresie b a hodnoty Alfa v t-teste významnosti lineárnej regresie [39])

Fig. 8 Deviations of preliminary mean T and R scenarios from normals; prepared for NCP impact studies solving in Slovakia



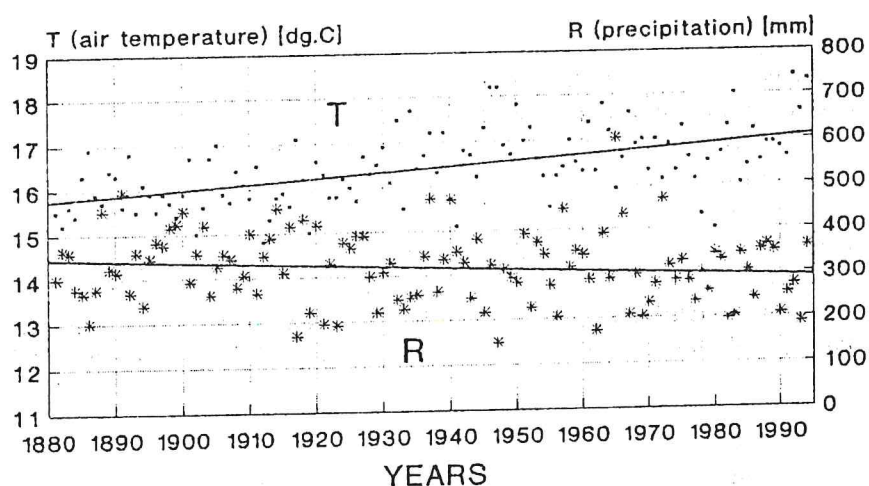
Obr.8 Odchýlky predbežných scenárov priemerov teploty vzduchu T v období 2000 až 2030 a priemerných úhrnov zrážok R v období okolo roku 2025 od doterajších normálov

uvedené aj v tab. 4 ako dve alternatívy a na obr. 8 v rozdelení podľa časovej postupnosti možného splnenia). Scenáre zmien priemerných mesačných teplôt vzduchu podľa [21] majú väčšiu ročnú amplitúdu a väčšie oteplenie v zime, ako poskytujú výsledky 4 globálnych cirkulačných modelov pre náš región [7]. Napriek tomu môžeme dočasné prijatie scenárov zmien teploty vzduchu uvedené v tab. 4 a na obr. 8 považovať za opodstatnené najmä na základe týchto skutočností:

- ročné priemery scenárov podľa [21] sú v súlade so scenármi IPCC,
- zo spracovania mesačných priemerov teploty vzduchu vyplýva, že porovnateľne relatívne teplé mesiace majú v zime asi 2 - krát väčšiu odchýlku od dlhodobého priemeru ako v lete (podľa smerodajnej i kvartilovej odchýlky mesačných priemerov teploty vzduchu),
- relatívne teplé obdobia mali mesačné priemery teploty vzduchu v minulosti vždy výraznejšie nad dlhodobým priemerom v zimných mesiacoch ako v letných,
- predbežné spracovanie zmien atmosférickej cirkulácie naznačuje, že v relatívne teplých obdobiach rastie podiel západnej zonálnej zložky prúdenia v zime, pričom najmä juhozápadné až západné výškové prúdenie má na Slovensku za následok výrazné zvýšenie priemerov teploty vzduchu v zimných mesiacoch (čiastočne aj v dôsledku orografického vplyvu Álp).

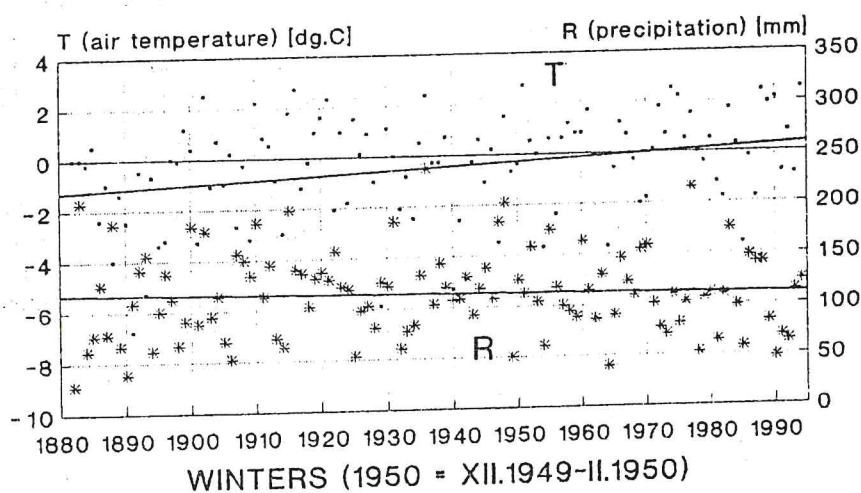
Schematizované teplotné scenáre podľa [21] bude potrebné upresniť v zmysle detailnejšej regionálnej interpretácie novej verzie IPCC scenárov, pričom je potrebné mať na zreteli možné dôsledky zmeny cirkulačných pomerov v Strednej Európe na modifikáciu ročného chodu scenárov. Pri regionálnej interpretácii globálnych scenárov zmien teploty vzduchu bude v rokoch 1995 a 1996 využitá pomoc expertov USA v rámci riešenia projektu Country Study [59]. Je zrejmé, že tieto scenáre je potrebné chápať ako priemerné zvýšenie mesačných priemerov teploty vzduchu. Predbežne sa nemôžeme vyjadrovať k možnej zmene premenlivosti mesačných priemerov T v nových podmienkach okolo roku 2025, no sú určité náznaky zväčšenia premenlivosti niektorých charakteristík teploty vzduchu.

Fig. 9a Trends of T means and R totals at Hurbanovo in April-September 1881-1994



— T (IV-IX) * R (IV-IX)
 Corr.coef. $r(T) = 0.490$, Slope $b = 0.011$, Alpha = 0.001
 Corr.coef. $r(R) = -0.196$, Slope $b = -0.482$, Alpha = 0.030

Fig. 9b Trends of T means and R totals at Hurbanovo in Winters 1881-1994



— T (in XII-II) * R (in XII-II)
 Corr.coef. $r(T) = 0.23$, Slope $b(T) = 0.014$, Alpha = 0.02
 Corr.coef. $r(R) = -0.04$, linear trend is not significant

Obr.9 Lineárne trendy priemernej teploty vzduchu T a úhrnov zrážok R v Hurbanove v období 1881 až 1994, a) vo vegetačnom období (apríl až september), b) v zime (december až február)

3.8. Zmeny úhrnov zrážok

Napriek určitej rozpornosti predpokladajú výsledky modelov GCM pre našu oblasť pokles zrážok v teplom polroku a rast zrážok v zime (IPCC [45,52]). Z obr. 5 a 9 ale vidíme, že trend úhrnov zrážok je v skutočnosti v Hurbanove klesajúci nielen pre teplý polrok (asi o 55 mm za 124 rokov), ale aj pre zimu (asi o 10 mm pri veľkom rozptyle hodnôt a malej významnosti trendu), čím pri zimných úhrnoch zrážok výsledky nepotvrdzujú predpoklady IPCC o raste úhrnov zrážok. Musíme však brať do úvahy, že obdobie 1871 - 1994 nie je dokonalým modelom pomerov, aké budú panovať počas prvej polovice budúceho storočia. Mierne odlišné výsledky s menej výrazným trendom sme získali pre severnejšie položené lokality Slovenska, na obr. 10 je však príklad z Liptovského Hrádku, kde je aj v teplom polroku aj v zime klesajúci trend R významnejší ako v Hurbanove. Výsledky, ktoré uvádzame na tomto mieste, je potrebné považovať iba za začiatok riešenia problematiky zmien zrážok súvisiacich s globálnym oteplením atmosféry.

Na obr. 11 a 12 uvádzame koreláciu úhrnov zrážok v teplom polroku a v zime s priemernou teplotou vzduchu T pre Hurbanovo a Liptovský Hrádok, z ktorej vyplýva takmer jednoznačný pokles úhrnov zrážok R s rastom T v teplom polroku (koeficient korelácie $r = -0.36$ a -0.31), pričom pokles R pri raste T o 1°C je $b = 38$, resp. 36 mm a malý rast R v zime s menej významným koeficientom korelácie v Hurbanove ako v Liptovskom Hrádku ($r = 0.13$, resp. 0.31 a $b = 2.7$, resp. 7.3 mm). Na horských stanicích Telgárt a Štrbské Pleso je v teplom polroku tiež pokles R s rastom T o 55 , resp. o 74 mm na 1°C rastu T , pri $r = -0.34$ a -0.52 (obr. 13), v zime je tam korelačný vzťah T a R nevýznamný. V našom regióne sú mimoriadne dôležité úhrny zrážok v júni, kedy sa navyše vyskytuje aj tzv. európsky monzún (má znaky vlhkého a relatívne chladnejšieho obdobia s prechodnou zmenou cirkulácie atmosféry, podobne ako v typicky monzúnových oblastiach sveta). Korelačné vzťahy priemernej mesačnej teploty vzduchu a úhrnov zrážok pre Hurbanovo a Liptovský Hrádok v období 1901-1994 ukázali, že napriek tomu, že analýza relatívne teplých období naznačila možný rast zrážkových úhrnov v júni, korelácia pre Hurbanovo je opačná (malý pokles o 4.9 mm pri raste T o 1°C , pre $r = 0.2$ je vzťah významný na hladine Alfa $= 0.02$) a pre Liptovský Hrádok nevýznamná ($r = 0.1$). Vzhľadom na to, že pre leto i pre celý teplý polrok sa zistil na Slovensku významnejší pokles zrážok s rastom teploty vzduchu, môžeme tento výsledok považovať aspoň za potvrdenie odlišných pomerov v júni oproti zvyšku teplého polroka. Výsledky môžeme zhrnúť tak, že časové trendy R sú prakticky vo všetkých obdobiach roka záporné (v zime a na jeseň menej významné) od začiatku storočia, no korelačné koeficienty T a R sú jednoznačne významné na celom Slovensku iba v teplom polroku (okrem júna).

Podrobnejšiu analýzu korelačných vzťahov úhrnov zrážok a teploty vzduchu, ako aj časových trendov zrážok, je možné využiť na verifikáciu, prípadne aj na návrh upresnených alternatívnych scenárov zmien zrážok pri predpokladanom oteplení do roku 2030 v zmysle scenárov zmien teploty vzduchu. Tento návrh je uvedený na obr. 8, kde je územie Slovenska rozdelené približne na severnú a južnú polovicu. Snažili sme sa pri tomto návrhu aspoň čiastočne akceptovať globálne scenáre zmien zrážok, hoci korelačné vzťahy dávajú pre celé Slovensko pokles zrážok s rastom teploty vzduchu prinajmenšom od apríla do septembra a nepotvrdzujú rast zrážkových úhrnov s rastúcou teplotou vzduchu v zime. Je zrejmé, že takýto postup regionálneho upresnenia globálnych scenárov zmien úhrnov zrážok nie je celkom postačujúci. V priebehu riešenia úloh NKP SR sa viackrát potvrdilo, že zrážkové pomery sú v našej oblasti dominantne ovplyvnené orografickou exponovanosťou danej lokality na existujúce (alebo prevládajúce) podmienky atmosférického prúdenia. Preto je v ďalšom postupe riešenia nevyhnutné analyzovať predovšetkým scenáre zmien prúdenia nad Európou. Aj pri návrhu regionálnej interpretácie scenárov zmien mesačných priemerov zrážkových úhrnov predpokladáme využitie pomoci expertov USA v rámci riešenia projektu Country Study [59], pričom sa budú podľa možnosti rešpektovať vhodné globálne scenáre zmien zrážok a historické regionálne zrážkové analógy.

Fig. 10a Trends of T means and R totals at Lipt. Hrádok in April-September 1901-1994

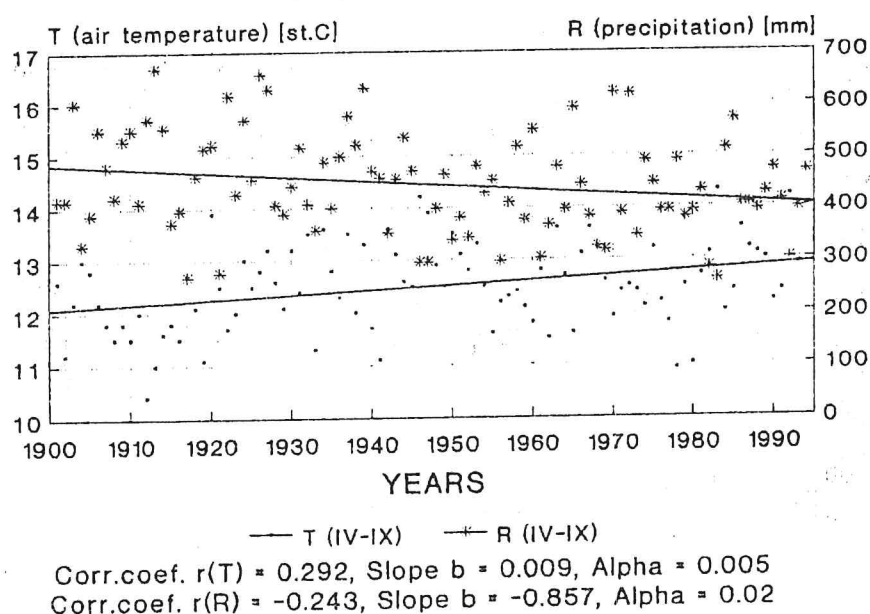
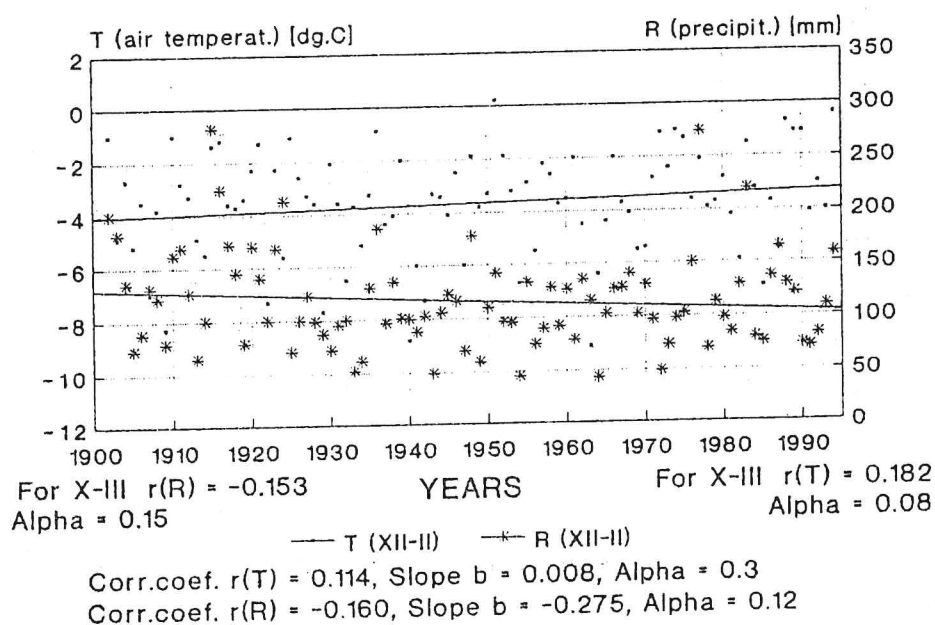


Fig. 10b Trends of T means and R totals at Lipt. Hrádok in December-February 1901-1994



Obr. 10 Lineárne trendy priemernej teploty vzduchu T a úhrnov zrážok R v Liptovskom Hrádku v období 1901 až 1994, a) vo vegetačnom období (apríl až september), b) v zime (december až február)

Fig. 11a Correlation of T means and R totals
at Hurbanovo in April-September 1881-94

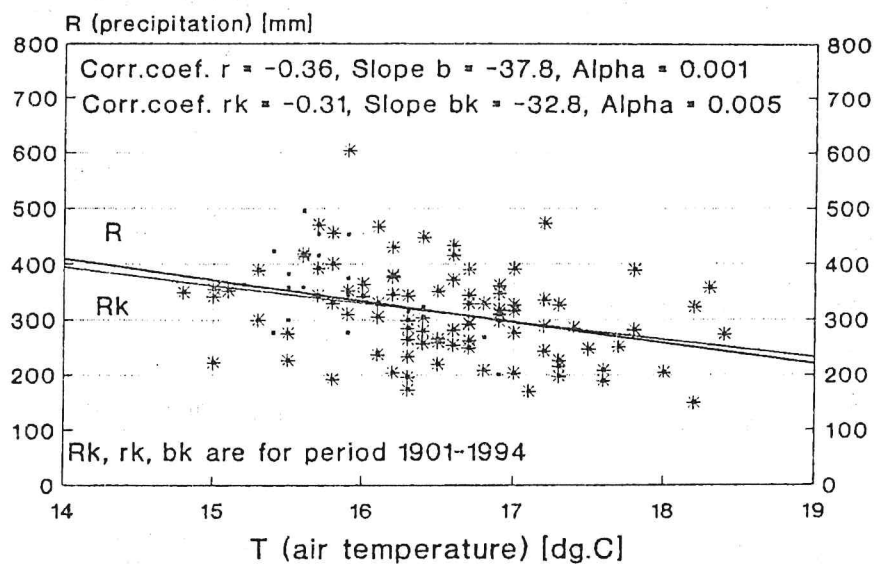


Fig. 11b Correlation of T means and R totals
at Hurbanovo in XII-II.1881-1994

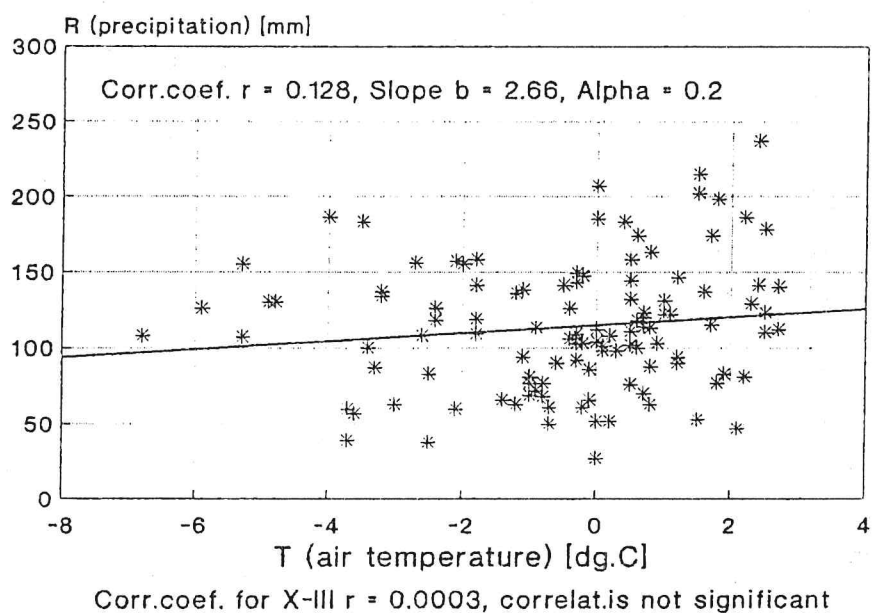


Fig. 11c Correlation of T means and R totals
at Hurbanovo in June-August 1881-1994

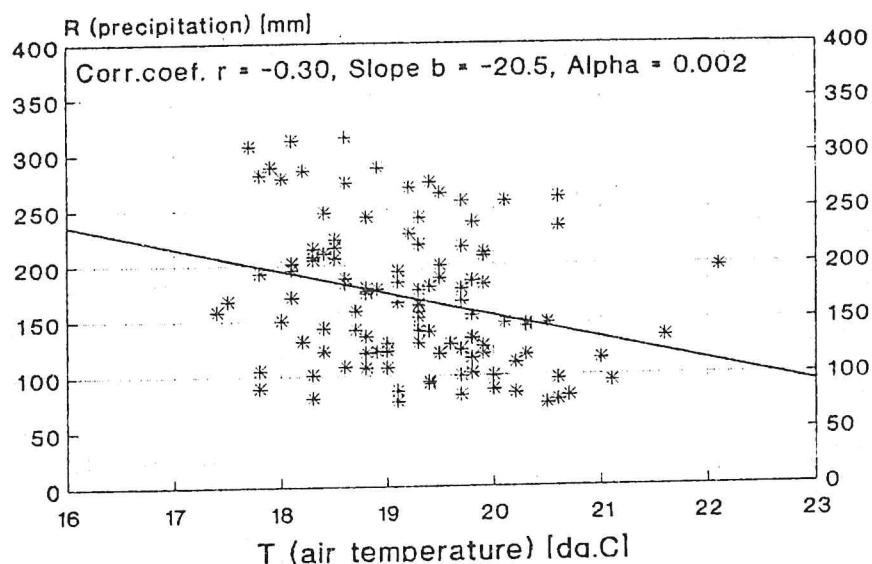
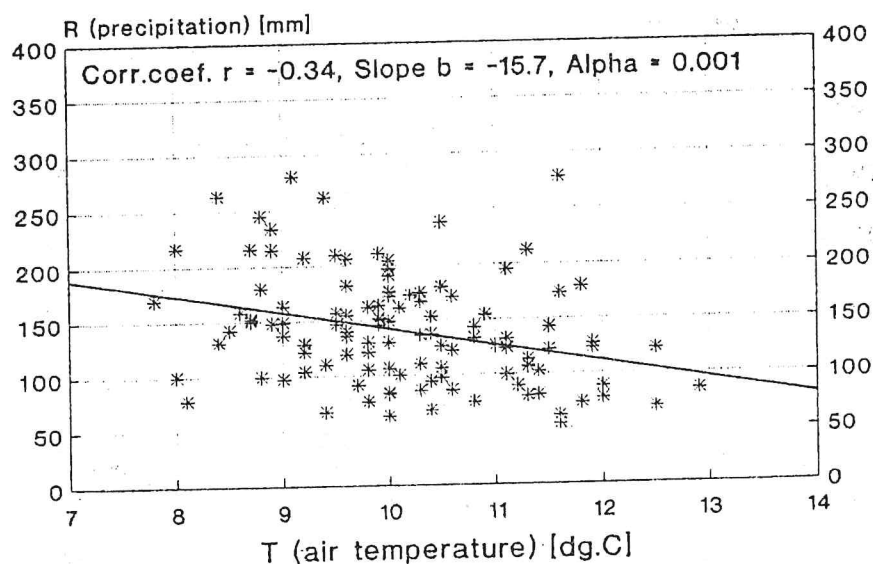


Fig. 11d Correlation of T means and R totals
at Hurbanovo in March-May 1881-1994



Obr.11 Korelácia priemernej teploty vzduchu T a úhrnov zrážok R v Hurbanove v období 1881 až 1994, a) vo vegetačnom období (apríl až september), b) v zime (december až február), c) v lete (jún až august), d) na jar (marec až máj)

Fig. 12a Correlation of T means and R totals
at L.Hrádok in April-September 1901-1994

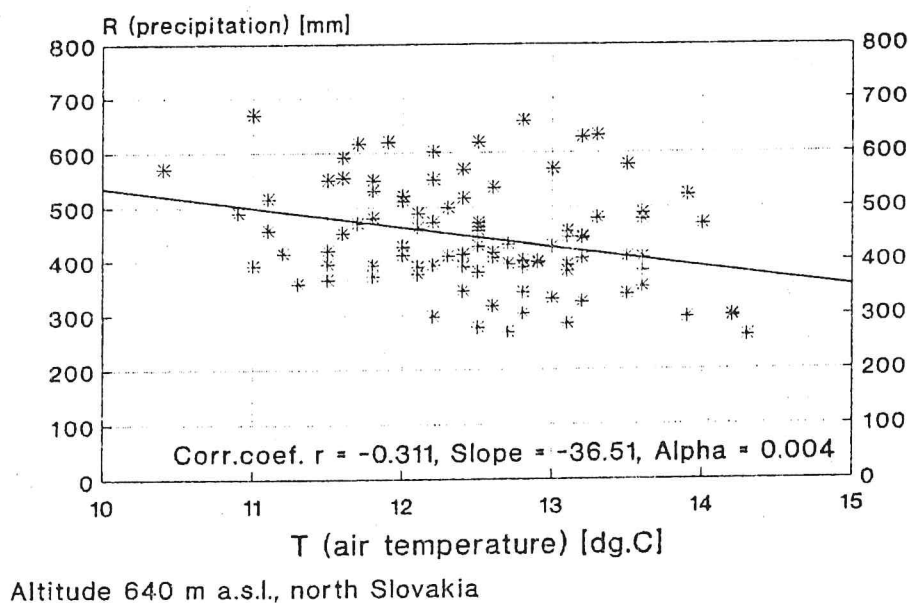
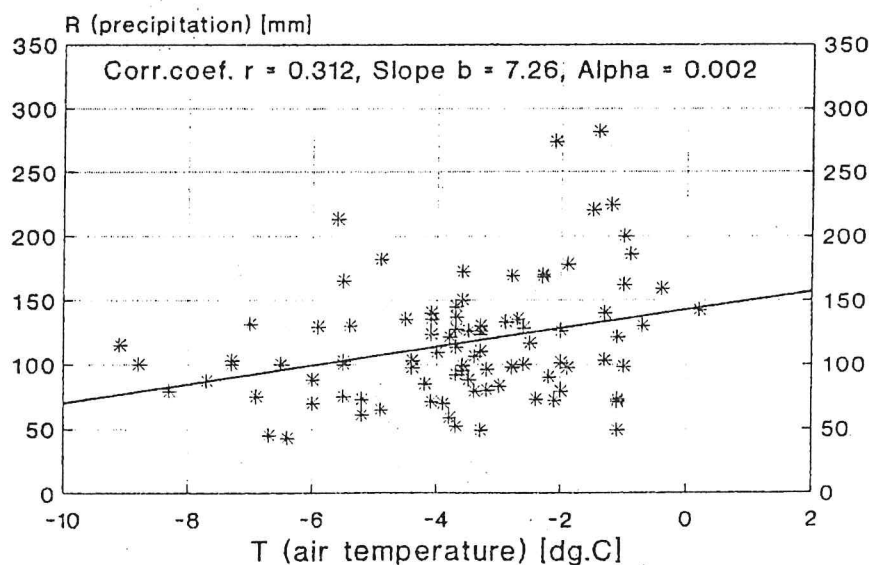


Fig. 12b Correlation of T means and R totals
at Lipt.Hrádok in XII-II.1901-1994



Obr.12 Korelácia priemernej teploty vzduchu T a úhrnov zrážok R v Liptovskom Hrádku v období 1901 až 1994, a) vo vegetačnom období (apríl až september), b) v zime (december až február)

Fig. 13a Correlation of T means and R totals
at Štrb.Pleso in April-September 1951-93

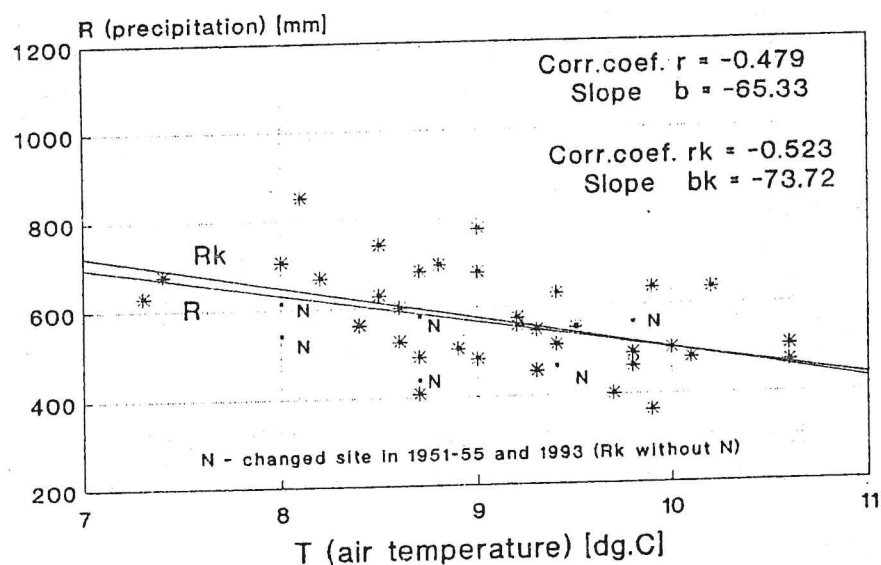
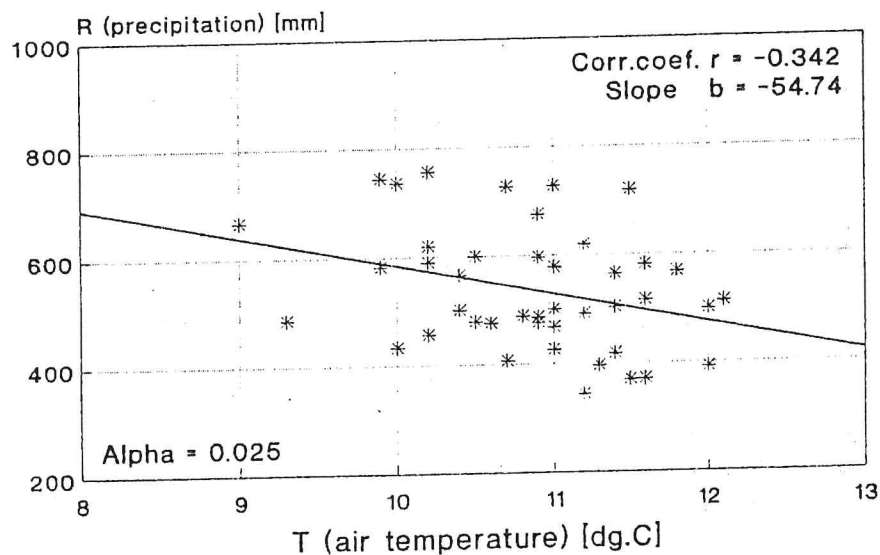


Fig. 13b Correlation of T means and R totals
at Telgárt in April-September 1951-93

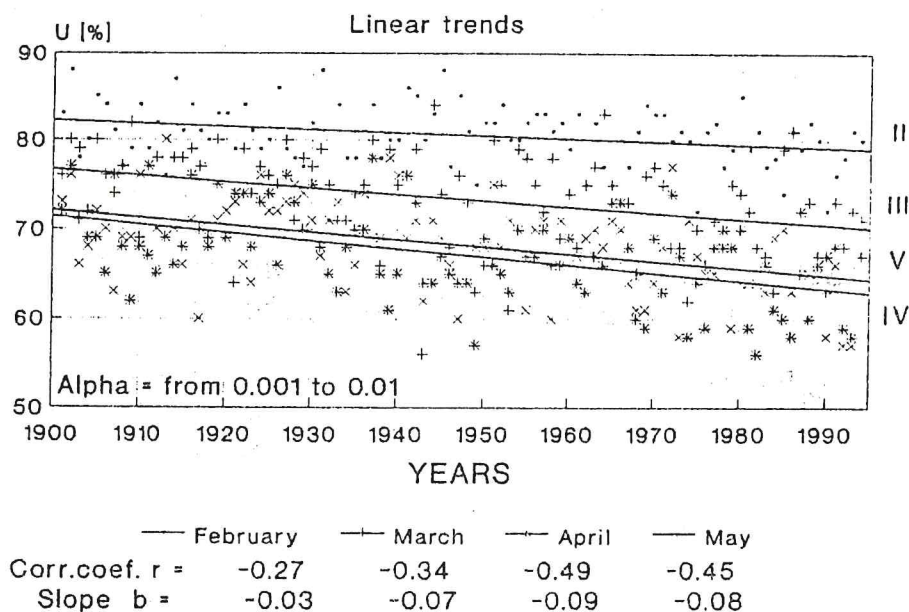


Obr.13 Korelácia priemernej teploty vzduchu T a úhrnov zrážok R vo vegetačnom období (apríl až september) 1951 až 1993 a) na Štrbskom Plese, b) v Telgárte

3.9. Zmeny relatívnej vlhkosti vzduchu

Ako sme už uviedli, je tento prvok jedným z kľúčových pre hodnotenie dôsledkov zmien klímy. Prvú analýzu sme urobili v roku 1992 [33], z ktorej vyplýva, že môžeme pri raste teploty vzduchu o 1°C očakávať pokles relatívnej vlhkosti vzduchu v teplom polroku na južnom Slovensku asi o 2 % a na severnom Slovensku asi o 1,5 %. Spracovanie tohoto problému je veľmi náročné na prípravu vstupných údajov, preto prinášame novšie výsledky spolu so zhodnotením štatistickej významnosti týchto trendov iba v obmedzenom rozsahu. Z tab. 3 je vidieť, že pri raste teploty vzduchu o $0,8^{\circ}\text{C}$ oproti priemeru z obdobia 1901 - 1980 poklesla v Hurbanove v období 1988 - 1993 relatívna vlhkosť vzduchu až o 4 % (v máji až o 9 %). Tento pokles bol zapríčinený predovšetkým nízkymi úhrnmi zrážok a vysokou teplotou vzduchu od januára po august, čo môžeme potvrdiť údajmi v tab. 3, ale aj časovými trendami U v mesiacoch február až máj na obr. 14. Kritický vývoj U na jar a vo vegetačných obdobiach dokumentuje aj obr. 15. Tesnú závislosť U od úhrnov zrážok, ale aj od teploty vzduchu, najlepšie potvrdíme ko-

Fig. 14 Monthly means of relative air humidity U at Hurbanovo, south Slovakia, in 1901-94



Obr.14 Lineárne trendy priemernej mesačnej relatívnej vlhkosti vzduchu U v Hurbanove v období 1901 až 1994 v mesiacoch február až máj

relačnými vzťahmi týchto prvkov za 94-ročné obdobie (obr. 16). Pri raste teploty vzduchu v teplom polroku o 1°C klesá relatívna vlhkosť vzduchu o 2.4 % v priemere a pri poklese úhrnov zrážok o 100 mm klesá U o 2.8 % v priemere. Koeficienty korelácie tohoto vzťahu sú $r = -0.55$ a 0.68 , čo je vysoká významnosť, Alfa = 0.001.

V iných ročných obdobiach (okrem zimy) a na iných nižšie položených staniciach sú výsledky korelačných vzťahov iba mierne odlišné. Preto uvádzame zhodnotenie zo stanice Štrbské Pleso v teplom polroku na obr. 17. Horské stanice sme podrobnejšie analyzovali hlavne z toho dôvodu, že bol tu určitý predpoklad odlišných vzťahov ako na nížinách reprezentovaných Hurbanovom. V teplom polroku je pokles U s rastúcou T, alebo s klesajúcimi R, aj v horských oblastiach podobný ako v Hurbanove (o 1.3 až 1.8 % na 1°C , resp. na 100 mm) pri vysokých koeficientoch korelácie (okolo 0.5 v absolútnej hodnote). V zime sú koeficienty korelácie všeobecne nižšie a pri rastúcej T pozorujeme slabý rast U (asi o 0.4 % na 1°C v Telgarte

Fig. 15a Comparison of U means and R totals at Hurbanovo in March-May 1901-1994

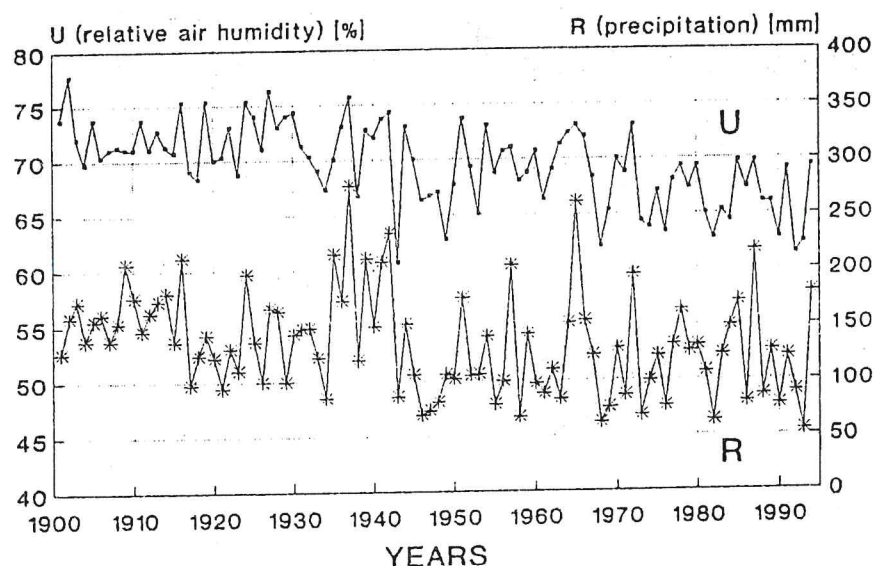
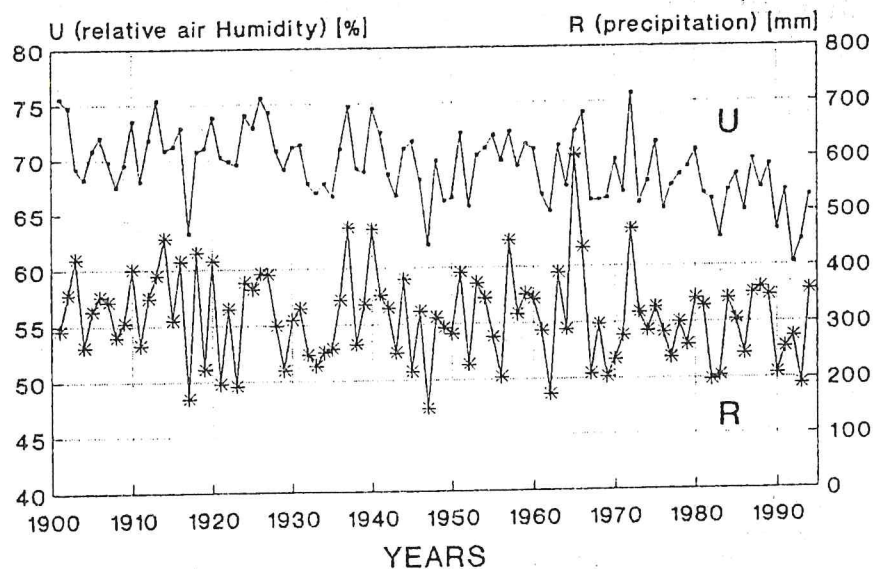


Fig. 15b Comparison of U means and R totals at Hurbanovo in April-September 1901-94



Obr.15 Porovnanie priemernej relatívnej vlhkosti vzduchu U a úhrnov zrážok R v Hurbanove v období 1901 až 1994 a) na jar (marec až máj), b) vo vegetačnom období (apríl až september)

Fig. 16a Correlation of R totals and U means
at Hurbanovo in April-September 1901-94

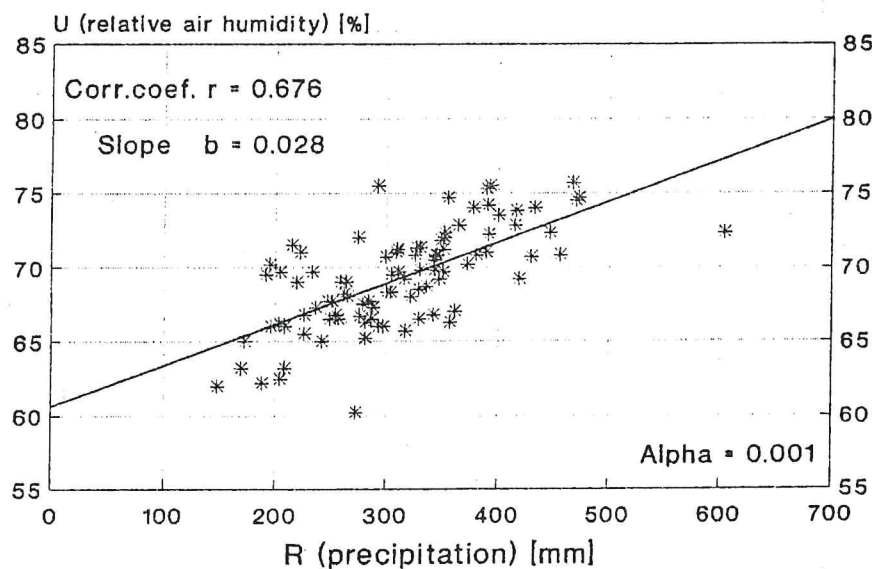
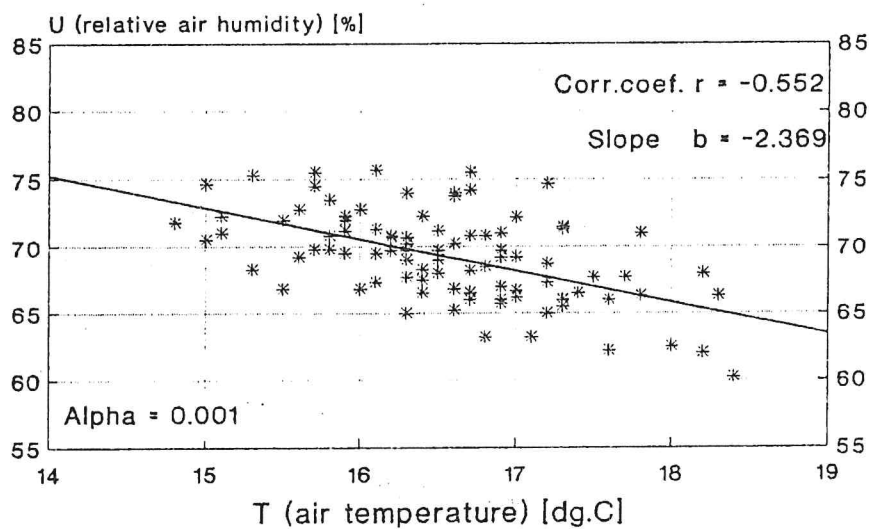
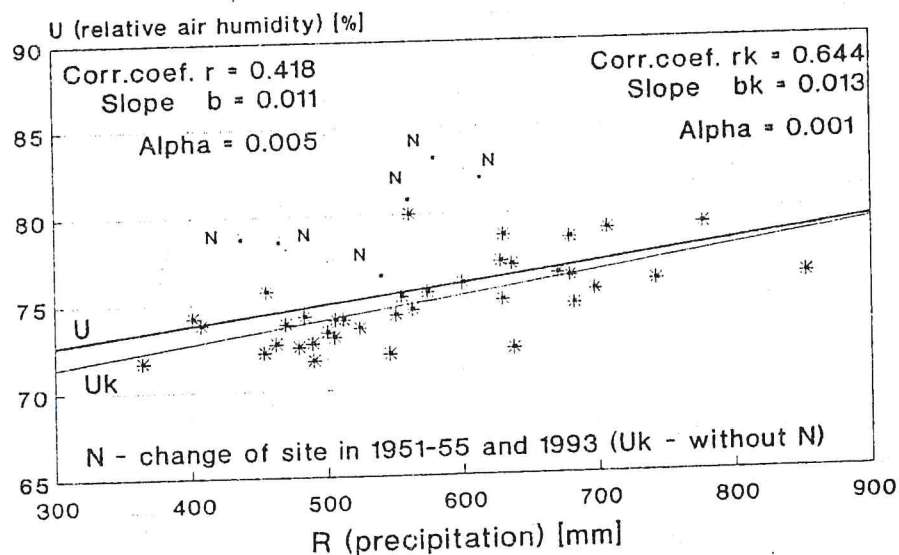


Fig. 16b Correlation of T and U means
at Hurbanovo in April-September 1901-94
Locality in south Slovakia, 115 m a.s.l.



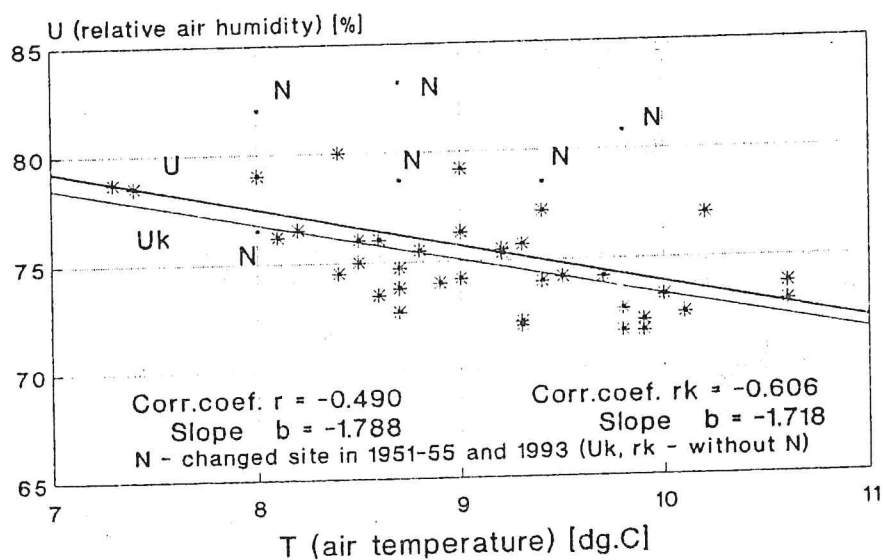
Obr.16 Korelácia úhrnov zrážok R a priemernej relatívnej vlhkosti vzduchu U (a) a priemernej teploty vzduchu T a U (b) v Hurbanove vo vegetačnom období (apríl až september) 1901 až 1994

Fig. 17a Correlation of R totals and U means
at Š. Pleso in April-September 1951-1993



Štrbské Pleso, the High Tatras, 1360 m

Fig. 17b Correlation of T and U means at Štrbské
Pleso in April-September 1951-1993



Štrbské Pleso, the High Tatras, 1360 m

Obr.17 Korelácia úhrnov zrážok R a priemernej relatívnej vlhkosti vzduchu U (a) a priemernej teploty vzduchu T a U (b) na Štrbskom Plese vo vegetačnom období (apríl až september) 1951 až 1993

Tab. 4 Odchýlky scenárov priemerov platných pre obdobie 2010-2040 od dlhodobých priemerov z obdobia 1951-1980 pre celé Slovensko

Table 4 Deviations of mean climate scenarios in the period 2010-2040 from normals in the period 1951-1980 in Slovakia

Priemerná mesačná teplota vzduchu v °C na celom Slovensku (podľa [21])

Mean monthly air temperature in °C in all Slovakia (according to [21])

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\Delta T1$	1,5	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
$\Delta T2$	3,0	2,9	2,5	2,0	1,5	1,1	1,0	1,1	1,5	2,0	2,5	2,9

Priemerná mesačná relatívna vlhkosť vzduchu v % v horských oblastiach na Slovensku

Mean monthly relative air humidity in % in mountainous areas of Slovakia

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\Delta U1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta U2$	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
$\Delta U3$	-2	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-2

Priemerná mesačná relatívna vlhkosť vzduchu v % v nižších polohách mimo juhozápadného Slovenska

Mean monthly relative air humidity in % in lower localities except southwest Slovakia

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\Delta U1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta U2$	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2
$\Delta U3$	-3	-3	-4	-4	-3	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-3

Priemerná mesačná relatívna vlhkosť vzduchu v % na nížinách juhozápadného Slovenska

Mean monthly relative air humidity in % in lowlands of southwest Slovakia

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$\Delta U1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta U2$	-2	-2	-3	-3	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2
$\Delta U3$	-3	-4	-5	-6	-5	-3	-2	-2	-3	-4	-3	-3

a o 0.2 %; v Hurbanove, pri $r = 0.21$, resp. 0.14, na Štrbskom Plese je r nevýznamný), s rastúcimi úhrnmi R však priemerná U v zime spoľahlivo rastie (v Hurbanove o 0.9 % pri raste R o 50 mm, na Štrbskom Plese o 2.2 % a v Telgarte o 1.6 % na 50 mm rastu R), pri $r = 0.32$, resp. 0.56 a 0.47, čo je možné považovať za tesný vzťah. Na obr. 17 vidíme, že na stanici Štrbské Pleso sa na výsledkoch analýzy U významne podpísala zmena polohy v rokoch 1951 - 1955, ale tiež aj v roku 1993. Tieto výsledky je možné konfrontovať aj so spracovaním za obdobie 1951 - 1991 [33], z ktorého je uvedený stručný výťah v tab. 1.

Zo spracovania korelačných vzťahov dotýkajúcich sa relatívnej vlhkosti vzduchu U môžeme urobiť nasledujúce závery:

- zmeny U sú predovšetkým určené zmenami úhrnov zrážok R , čo zrejme súvisí so skutočnosťou, že pri vyšších R je aj väčšia vlhkosť pôdy a väčší výpar v teplom polroku a celoročne všeobecne vlhkejšie a oblačnejšie počasie; na horách sa môže stanica dostať aj do oblačnosti s U blízkou 100 %,
- vyššia teplota vzduchu je v teplom polroku spravidla spojená s málooblačným počasím, kedy je aj U nižšia, najmä popoludní,
- v zime je situácia zložitejšia, pretože studené počasie v nižších polohách je spojené spravidla s anticyklónou, kedy môže byť buď hmla a nízka oblačnosť (vtedy je U vysoká), alebo s jasným a suchým počasím (vtedy je U nižšia); na horách je studené počasie v chladnom polroku takmer výlučne spojené s cyklonálnym charakterom cirkulácie a naopak teplé počasie je spravidla anticyklonálne a na nížinách cyklonálne; ako však je vidieť z koeficientov korelácie, vzťah T a U je v zime celkovo nevýznamný a bude tu pravdepodobne potrebné analyzovať zvlášť cyklonálne a anticyklonálne situácie.

Napriek týmto neistotám sme sa pokúsili navrhnuť detailnejšie predbežné scenáre zmien U s rastúcou T pre tri geografické typy na Slovensku (tab. 4). Počítame s menšími zmenami U v horských ako v nížinných oblastiach a s väčším poklesom U na Podunajskej nížine, hlavne na jar. Všetky scenáre sú alternatívne, pričom scenáre 3 a 4 majú vyššiu prioritu. Vzhľadom na vysokú koreláciu U a úhrnov zrážok R , je reálny predpoklad, že prípadné zmeny scenárov úhrnov zrážok sa bezprostredne musia prejavíť aj na zmene scenárov relatívnej vlhkosti vzduchu U .

3.10. Zmeny charakteristík snehovej pokrývky

Rovnako aj tento problém bol predmetom analýzy v roku 1992 [33] (stručný prehľad výsledkov je aj v tabuľke 1), z ktorej vyplýva, že rast teploty vzduchu o 1 °C v chladnom polroku prinesie pravdepodobne pokles charakteristík snehovej pokrývky o 37 až 53 % pre Hurbanovo, veľmi podobne, ale menej pre iné nížinné stanice, no iba o 10 až 20 % pre horské oblasti Slovenska. Pretože aj táto problematika je náročná na prípravu údajov, prinášame spolu s detailnejším zhodnotením významnosti uvedených trendov iba niektoré zaujímavejšie výsledky z Hurbanova za obdobie 1921 - 1994 a z horských staníc Telgárt a Štrbské Pleso za obdobie 1951 - 1994 (obr. 18 až 26).

Podľa očakávania má na vývoj snehových charakteristík na nížinách dominantný význam teplota vzduchu T a vcelku rovnocenne sú ovplyvnené sumy denných výšok snehovej pokrývky S ako aj počet dní so snehovou pokrývkou N . Koeficient korelácie $r(T,S)$ je tam okolo -0.6 a $r(T,N)$ dokonca okolo -0.7 tak pre chladný polrok, ako aj pre zimu. V nadmorskej výške okolo 900 m začínajú nadobúdať väčší význam na vývoj snehovej pokrývky úhrny zrážok R a na Štrbskom Plese sú už zrážky rozhodujúce. Koeficienty $r(T,N)$ a $r(T,S)$ dosahujú na Štrbskom Plese v zime iba -0.11 a -0.19, kým $r(R,N)$ a $r(R,S)$ až 0.22 a 0.61; v Telgarte je to pre $r(T,N) = -0.41$ a pre $r(T,S) = -0.48$, resp. pre $r(R,N) = 0.35$ a pre $r(R,S) = 0.35$. Pre celý chladný polrok (október až marec) sa na Štrbskom Plese pri T mierne zvýšia r na -0.14 a -0.32, no $r(R,N)$ vzrastie na 0.45 a $r(R,S)$ poklesne na 0.56. V Telgarte sa r pri T tiež zvýšia na -0.56 a -0.55 a pri $r(R,N)$ na 0.46, no $r(R,S)$ už klesne na 0.25. Ak však hodnotíme iba mesiace X, XI a III,

Fig. 18a Totals of daily depths of snow cover S and means of air temperature T at Hurbanovo in (XII-II) 1920/21 to 1993/94

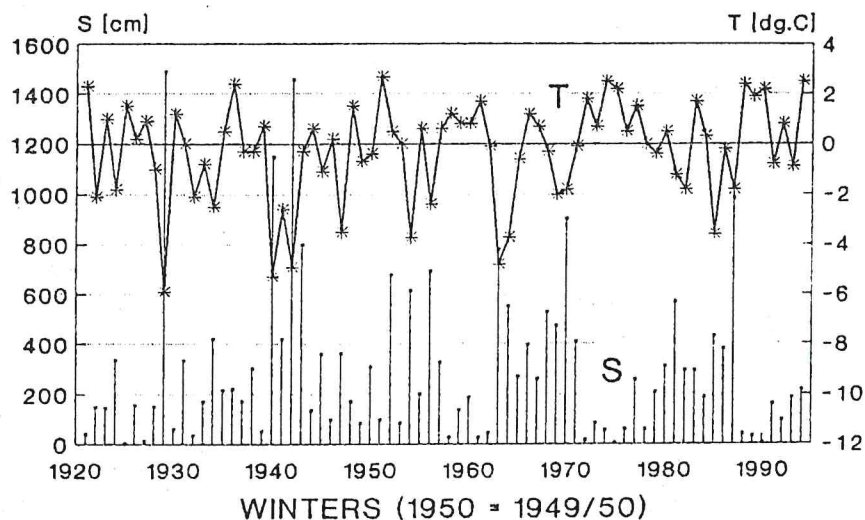
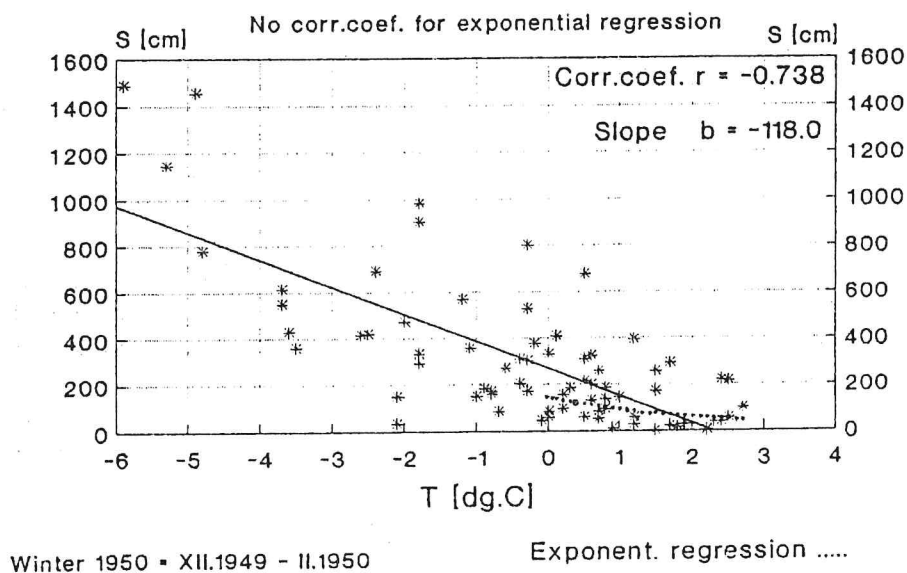
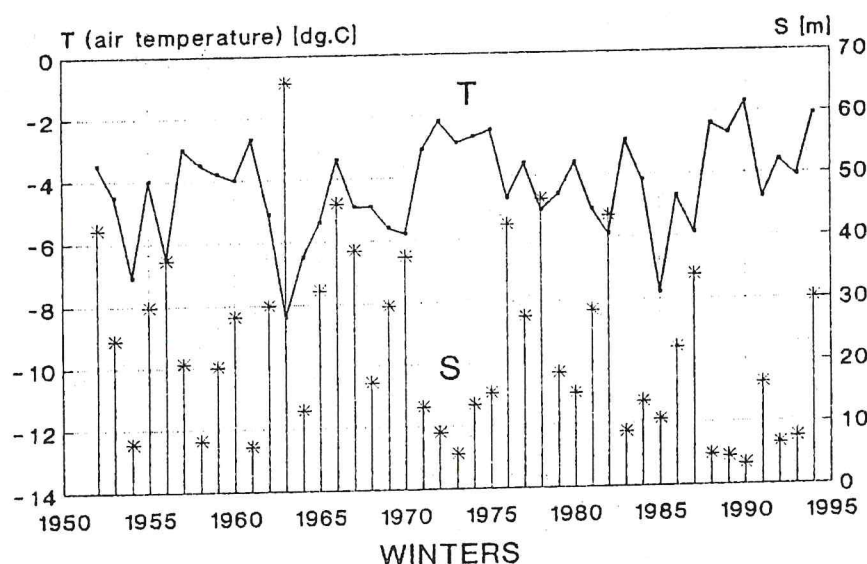


Fig. 18b Correlation of T means and totals of daily depths of snow cover S at Hurbanovo in XII-II.1920/21 - 1993/94



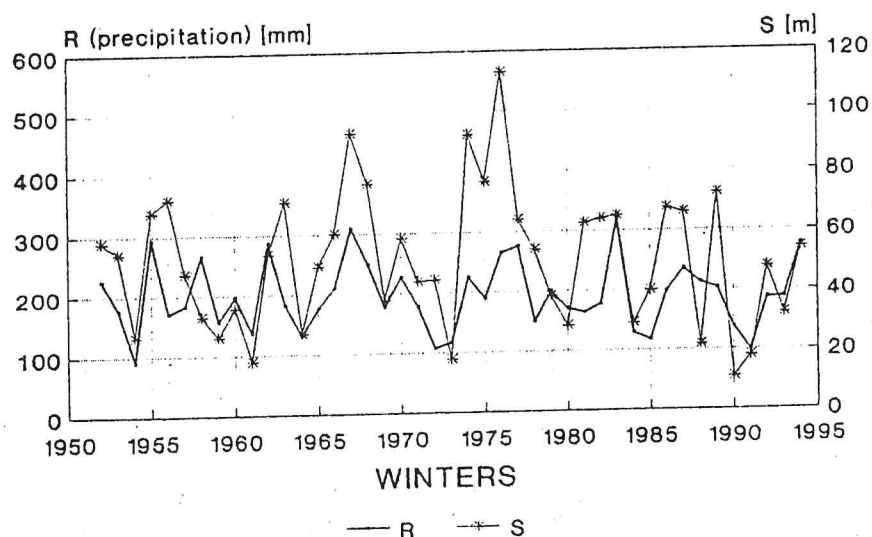
Obr.18 Priemerná teplota vzduchu T a úhrny denných výšok snehovej pokrývky S v Hurbanove za zimy (december až február) 1920/21 až 1993/94, a) časový priebeh, b) korelácia

Fig. 19 T means and S totals (S daily depths of snowcover) at Telgárt in Winters 1952-94



Winter 1952 is XII.1951-II.1952

Fig. 20 R and S totals at Štrb. Pleso in Winters 1952-1994 (S-daily depths of snowcover)



Winter 1952 is XII.1951 - II.1952

Obr.19 Priemerná teplota vzduchu T a úhrny denných výšok snehovej pokrývky S v Telgárte za zimy (december až február) 1951/52 až 1993/94

Obr.20 Úhrny zrážok R a úhrny denných výšok snehovej pokrývky S na Štrbskom Plese za zimy 1951/52 až 1993/94

Fig. 21 Correlation of T means and S totals at Telgárt in Winters 1952-1994

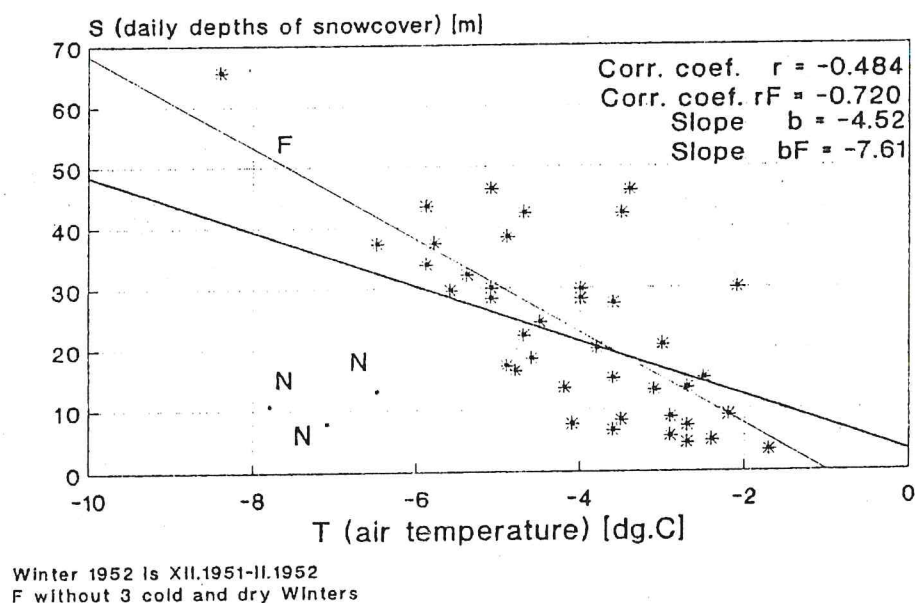
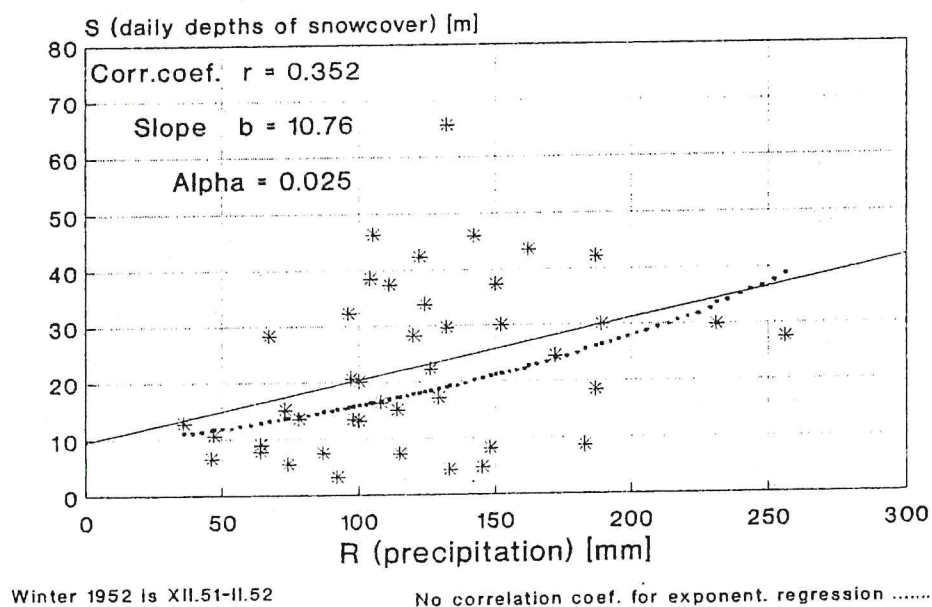


Fig. 22 Correlation of R and S totals at Telgárt in Winters 1952-1994



Obr.21 Korelácia priemernej teploty vzduchu T a úhrnov denných výšok snehovej pokrývky S v Telgárte za zimy (december až február) 1951/52 až 1993/94

Obr.22 Korelácia úhrnov zrážok R a úhrnov denných výšok snehovej pokrývky S v Telgárte za zimy (december až február) 1951/52 až 1993/94

Fig. 23 Correlation of T means and N sums
at Telgárt in October-March 1951-1994

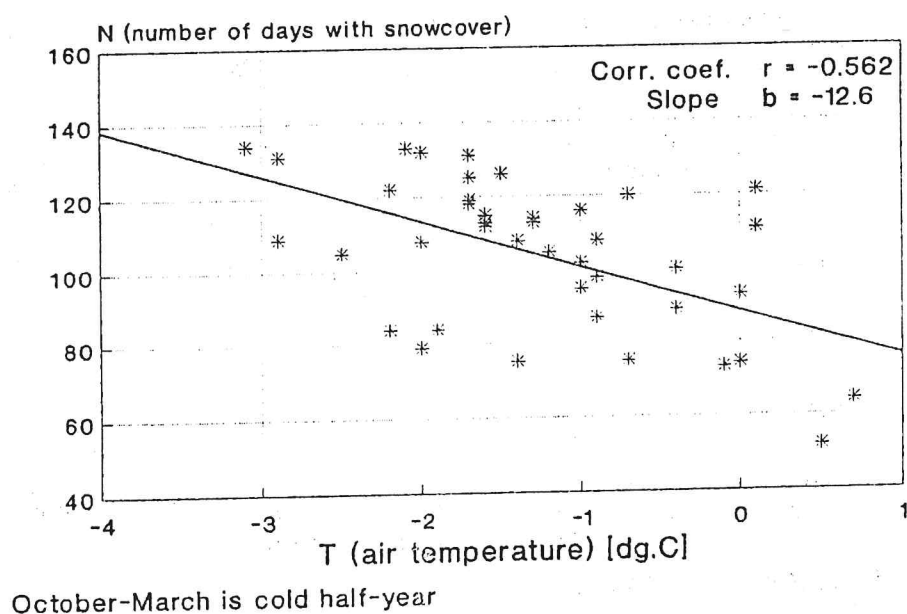
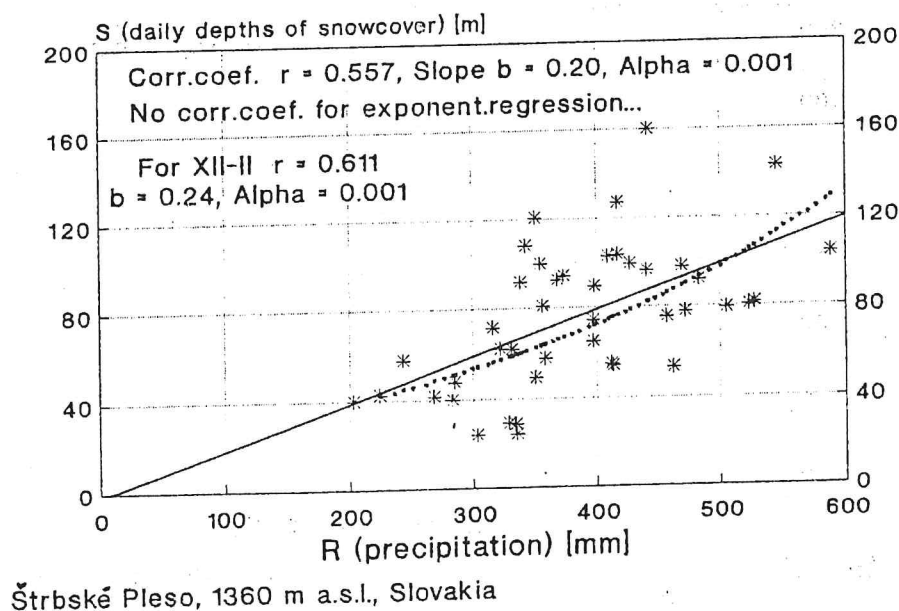


Fig. 24 Correlation of R and S totals
at Š.Pleso in October-March 1951-1994



Obr.23 Korelácia priemernej teploty vzduchu T a počtu dní so snehovou pokrývkou N v Telgárte za chladné polroky (október až marec) 1951/52 až 1993/94

Obr.24 Korelácia úhrnov zrážok R a úhrnov denných výšok snehovej pokrývky S na Štrbskom Plese za chladné polroky (október až marec) 1951/52 až 1993/94

Fig. 25 Correlation of R totals and N sums
at Š.Pleso in October-March 1951-1994

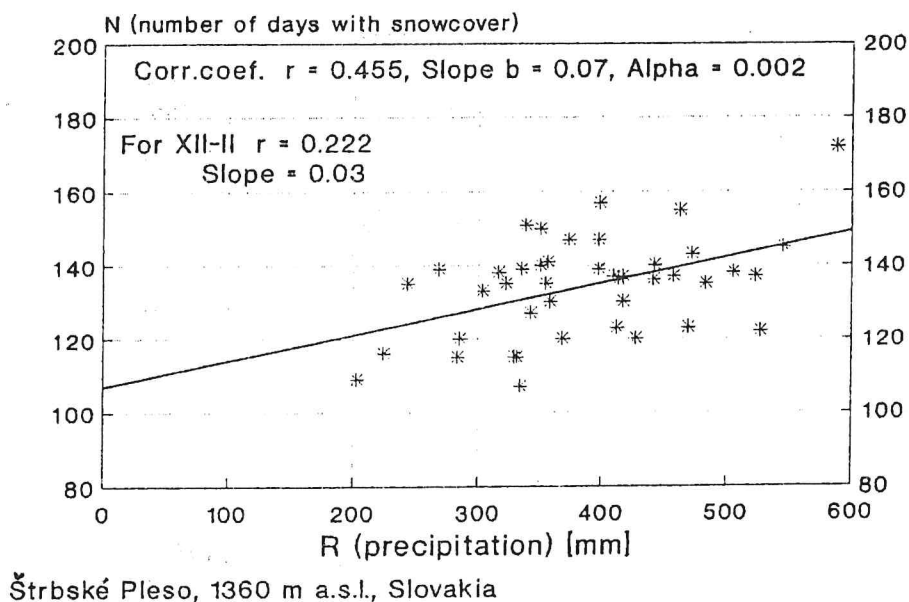
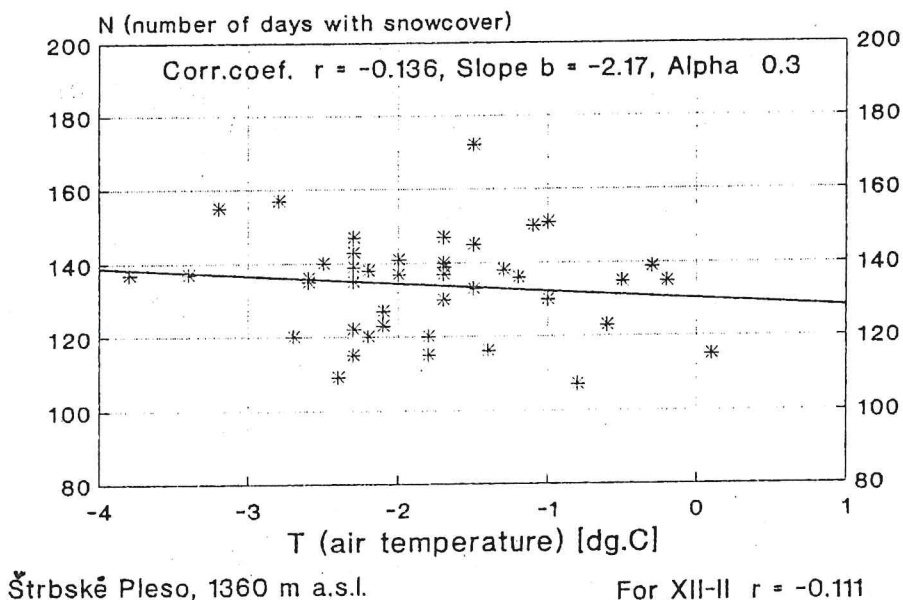


Fig. 26 Correlation of T means and N sums
at Š.Pleso in October-March 1951-1994



Obr.25 Korelácia úhrnov zrážok R a počtu dní so snehovou pokrývkou N na Štrbskom Plese za chladné polroky (október až marec) 1951/52 až 1993/94

Obr.26 Korelácia priemernej teploty vzduchu T a počtu dní so snehovou pokrývkou N na Štrbskom Plese za chladné polroky (október až marec) 1951/52 až 1993/94

teda chladný polrok mimo zimy, je na Štrbskom Plese $r(T,N) = -0.44$ a $r(T,S) = -0.28$, čo je v prvom prípade štvornásobné a v druhom dvojnásobné zvýšenie a pri $r(R,N) = 0.43$ ide tiež o výrazné zvýšenie, kým pri $r(R,S) = 0.17$ o výrazné zníženie r oproti zime; v Telgarte $r(T,N) = -0.56$ a $r(T,S) = -0.27$, resp. $r(R,N) = 0.11$ a $r(R,S) = 0.10$, čo je pri R nevýznamný vzťah. Môžeme teda tvrdiť, že v nadmorskej výške nad 900 m bola u nás snehová pokrývka ešte pravidelná a mierne oteplenie nemalo významný vzťah s počtom dní N , no pomerne významne vplývalo na pokles súm S . Je zrejmé, že ak dôjde k výraznejšiemu otepleniu v zime, tak sa dá očakávať zvýšenie nadmorskej výšky, pri ktorej už bude významný vzťah T a N .

Vzhľadom na vymedzený rozsah tohoto príspevku uvádzame len vybrané obrázky na ilustráciu výsledkov. Na obr. 18 je časový priebeh a vzťah T a S v Hurbanove za 73 zim. Je z neho vidieť, že pri priemernej T asi $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ tu prakticky prestane existovať snehová pokrývka a ani mierne zvýšenie úhrnov zrážok tomu nemôže zabrániť. Exponenciálna regresia je okolo $S = 0$ očividne vhodnejšia. Na ďalších obrázkoch sme sa snažili dokumentovať pomery na vybraných horských staniách. Na obr. 19 a 20 je časový priebeh tých prvkov na Štrbskom Plese a v Telgarte, ktoré najlepšie korelujú a na obr. 21 až 26 sú vybrané korelačné vzťahy. Všimnime si, že ak vylúčime v Telgarte 3 studené a málosnežné zimy, zlepši sa $r(T,S)$ až na -0.72 a ďalej to, že na Štrbskom Plese je vzťah T a N skutočne nevýznamný v porovnaní s Telgartom.

Zmeny snehových pomerov v závislosti od predpokladaného výrazného oteplenia v zime a od zmien režimu zrážok majú u nás mimoriadny význam, pretože sa územie Slovenska nachádza na okraji klimatickej oblasti s pravidelným výskytom snehovej pokrývky. Zdá sa, že po predpokladanom oteplení v zime o 1.5 až $3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ sa na Slovensku stane snehová pokrývka epizodickým javom až do nadmorskej výšky 800 m a až nad úrovňou Štrbského Plesa nebude významnejšie ovplyvnená, pravda, ak nedôjde k poklesu zimných zrážok. Túto problematiku budeme prioritne riešiť aj v budúcich rokoch a už v roku 1995 prinesieme novšie výsledky.

3.11. Zmeny dennej amplitúdy teploty vzduchu

Problematika možných dôsledkov globálneho oteplenia atmosféry na zmeny klimatických extrémov sa považuje za najzložitejšiu, ale súčasne aj za najdôležitejšiu pre detekciu dôsledkov zmien klímy na socio-ekonomickú sféru jednotlivých krajín sveta. V súlade s touto skutočnosťou sme začali v spolupráci s KG MU Brno riešiť otázky zmien dennej amplitúdy teploty vzduchu na Slovensku od roku 1901. Rok 1993 sme v SHMÚ venovali prevažne iba príprave údajovej základne z 15 staníc za obdobie 1951 - 1993 a z Hurbanova za obdobie 1901 - 1993 a výsledky boli v spolupráci s Katedrou geografie MU Brno spracované a publikované doma i v zahraničí hlavne v roku 1994 [10,11]. Na tomto mieste uvádzame na doplnenie dva grafy (obr. 27) korelačných vzťahov relatívnej vlhkosti U , úhrnov zrážok R , tlaku vzduchu P a priemerov dennej amplitúdy teploty vzduchu T_a pre Hurbanovo za letné štvrťroky 1903 - 1994. Z týchto výsledkov je zrejmé, že T_a je komplexný klimatický prvok, závisiaci značne od zrážkových a cirkulačných pomerov, ktoré sekundárne ovplyvňujú aj U . Celkove najvyšší koeficient korelácie má vzťah U a T_a , podľa čoho je asi U najlepším vyjadrením tých podmienok, ktoré ovplyvňujú režim T_a . Priemerná denná amplitúda teploty vzduchu a priemerná relatívna vlhkosť vzduchu v štvrťrokoch jednotlivých rokov obdobia 1901 - 93 majú koeficienty korelácie r okolo -0.7 (v lete $r = -0.758$), čo možno považovať za veľmi tesnú koreláciu (podľa očakávania je v zime r iba -0.36). Rast skleníkového efektu atmosféry by mal znamenať rýchlejšie zvyšovanie minimálnej ako maximálnej dennej teploty vzduchu [10], tieto výsledky však naznačujú, že súvisiace zmeny iných klimatických prvkov môžu tento efekt do určitej miery kompenzovať. Komplexne spracované výsledky tejto problematiky z viacerých staníc na Slovensku prinesieme v niektorom z ďalších príspevkov.

Fig. 27 Correlation of U and Ta means
at Hurbanovo in June-August 1903-1994

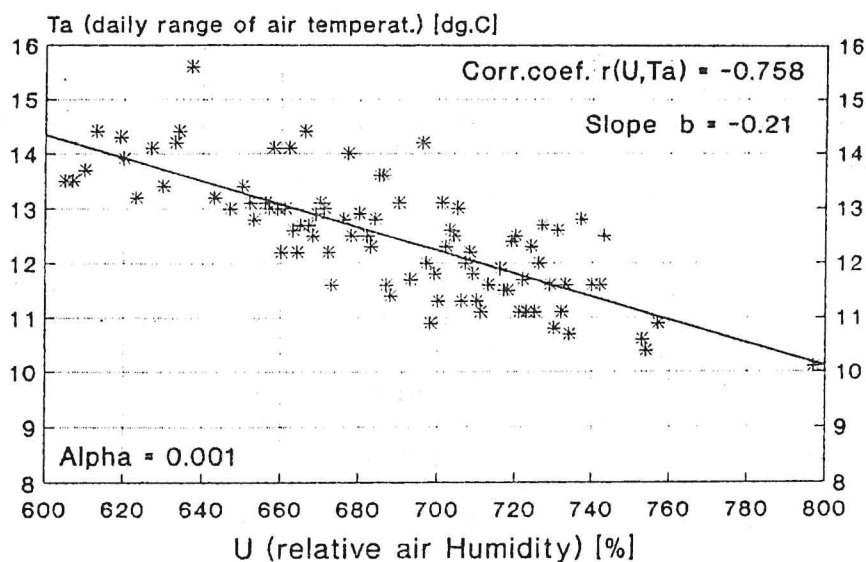
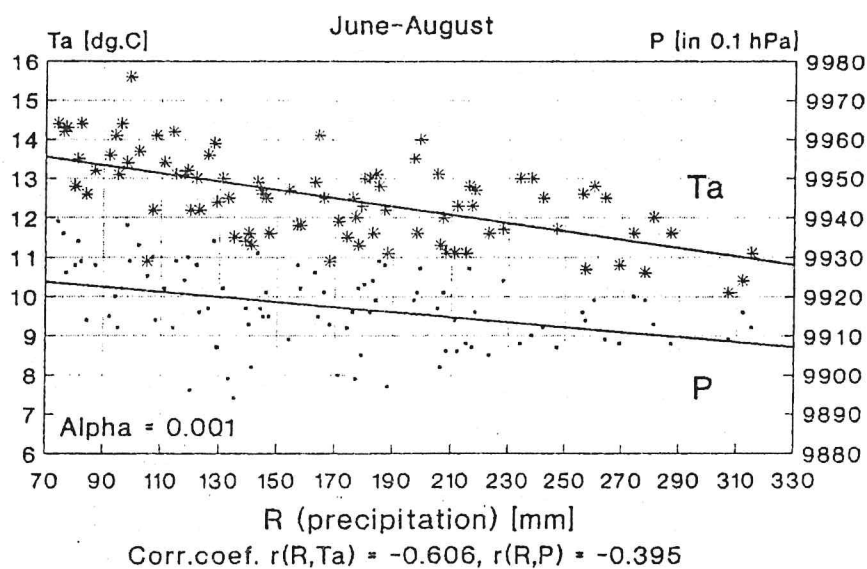


Fig. 28 Correlation of R totals with mean daily
range of air temper.Ta at Hurbanovo,resp
air pressure P at Vienna in 1903-1993



Obr.27 Korelácia priemernej relatívnej vlhkosti vzduchu U a priemernej dennej amplitúdy teploty vzduchu Ta v Hurbanove v lete (jún až august) 1903 až 1994

Obr.28 Korelácia úhrnov zrážok R a priemernej dennej amplitúdy teploty vzduchu Ta v Hurbanove, resp. priemerného tlaku vzduchu P vo Viedni lete (jún až august) 1903 až 1994

4. ZÁVER

V predložennom príspevku sme uviedli časť výsledkov dotýkajúcich sa možných zmien vybraných klimatických prvkov na Slovensku v súvislosti s predpokladaným globálnym oteplením podmieneným rastom koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére. Túto analýzu sme súčasne využili aj na verifikáciu navrhovaných predbežných scenárov zmien klímy. Výsledky naznačujú, že ide o veľmi zložitú problematiku, riešenie ktorej je determinované predovšetkým kvalitnou údajovou základňou. Preto je potrebné venovať sa v prvom kroku hlavne testom spoľahlivosti vstupných údajov.

Dosiahnuté výsledky tiež potvrdili, že na našom území sú v súvislosti so zmenami klímy (popri predpokladanom raste teploty vzduchu) rozhodujúce zmeny charakteristík zrážok, vlhkosti vzduchu a snehovej pokrývky. Tiež sa potvrdilo, že zmeny týchto prvkov môžu byť značne ovplyvnené zmenami atmosférickej cirkulácie. Od zmien cirkulácie tiež zrejme závisia aj zmeny oblačnosti a radiačnej bilancie. Vôbec neriešenou je zatiaľ problematika zmien premenlivosti jednotlivých klimatických prvkov a zmien výskytu meteorologických (hlavne škodlivých) javov, k čomu sú potrebné dlhé a veľmi kvalitné rady (aspoň 50-ročné) denných alebo hodinových údajov.

Ukazuje sa, že pri riešení všetkých otázok dotýkajúcich sa dôsledkov klimatických zmien je kľúčovým problémom použitie scenárov zmien mesačných priemerov teploty vzduchu a priemerných mesačných úhrnov zrážok. Doterajšie globálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok podľa GCM nie sú však celkom v súlade s existujúcimi teplotnými a zrážkovými trendami a ani s historickými analógmi. Preto je potrebné v roku 1995 sústrediť úsilie na prípravu regionálnej interpretácie novej verzie IPCC scenárov pre podmienky Slovenska. Pri návrhu alternatívnych regionálnych scenárov zmien mesačných priemerov teploty vzduchu a priemerných mesačných úhrnov zrážok do roku 2050 sa predpokladá využitie pomoci expertov USA v rámci riešenia projektu Country Study [59].

Výsledky prezentované v tomto príspevku je možné, napriek ich predbežnému charakteru, využiť pri riešení možných dôsledkov zmien klímy na rôzne socio-ekonomické sektory, najmä v poľnohospodárstve, v lesnom a vodnom hospodárstve a v životnom prostredí. Z týchto sektorov očakávame aj námety na ďalší postup riešenia. Záverom ďakujeme spoluriešiteľom z SHMÚ za spoluprácu pri príprave a spracovaní údajov a viacerým iným odborníkom za cenné pripomienky k interpretácii dosiahnutých výsledkov spracovania.

LITERATÚRA

- [1] Atlas podnebí ČSFR. ÚSGK, Praha 1958.
- [2] Auer, I., Böhm, R., Möhl, H.: Klima von Wien. Wien, 1989
- [3] Benický, J.: Testovanie homogenity hydrologických údajov. Práce a štúdie 124. VÚVH, Bratislava 1992, 108 s.
- [4] Böhm, R.: Lufttemperaturschwankungen in Österreich seit 1775. Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik, Heft 5, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Publ. Nr. 333, 1992.
- [5] Brázdil, R., Dobrovolný, P., Faško, P., Košťálová, J., Šamaj, F., Valovič, Š.: Variabilita charakteristik sněhových poměrů v karpatské části ČSFR v období 1920/21-1984/85. In: Zborník prác SHMÚ, zv. 34, SHMÚ, Bratislava 1991, 176 s.
- [6] Brázdil, R.: Fluctuation on Atmospheric Precipitation in Europe. Geo Journal, Kluwer Academic Publishers - Dordrecht /Boston/ London, July 1992, p. 275 - 291.
- [7] Brázdil, R.: Klimatické scénáře pro oblast ČSFR pro model globálního oteplování. Meteorologické zprávy, 44, 1991, č. 6, s. 170 - 181.
- [8] Brázdil, R.: Kolísání vybraných meteorologických prvků ve Střední Evropě v období přístrojových pozorování. Národní klimatický program ČSFR č. 2, ČHMÚ Praha, 1991, 56 s.
- [9] Brázdil, R., Dobrovolný, P., Faško, P.: Ověření změn atmosférických srážek vyplývajících z globálních cirkulačních modelů při zdvojnásobení koncentrace atmosférického CO₂ pomocí analýzy časových řad měření srážek na území ČSFR. [Správa pro NKP ČSFR.] ČHMÚ, MŽP ČR, MŽP SR, SHMÚ, 1992, 55 s.

- [10] Brázdil, R., Budíková, M., Faško, P., Lapin, M.: Changes in maximum and minimum air temperature in Czech and Slovak Republics. Workshop on the Current Changes of Minimum and Maximum Daily Temperatures, Sept. 27-30, 1993, Washington, D.C.
- [11] Brázdil, R., Budíková, M., Faško, P., Lapin, M.: Kolísání vybraných charakteristik teploty vzduchu v České republice a ve Slovenské republice. Meteorologické zprávy, 47, 1994, č. 4, s. 113 - 119
- [12] Bultot, F. - Gellens, D.: Simulation of the impact of CO₂ atmospheric doubling on precipitation and evaporation - study of the sensitivity to various hypotheses. Conference on Climate and Water. Helsinki 1989, s. 73 - 92.
- [13] Climate Impacts Assessment. Edited by R. W. Kates, J. H. Ausubel and M. Berberian. Chichester, John Wiley and Sons, 1985, 599 s.
- [14] Craddock, J.M.: Methods for Comparing Annual Rainfall Records for Climatic Purposes. Weather 34, 1979, pp. 332- 346.
- [15] Faško, P., Košťálová, J., Valovič, Š.: Dlhodobé zmeny snehovej pokrývky vo vzťahu ku geomorfologickým jednotkám územia SR. Meteorologické zprávy, 41, č. 3, s. 84 - 86.
- [16] Faško, P., Košťálová, J., Lapin, M.: Time homogeneity testing of monthly and yearly precipitation totals by double mass analysis method in Slovakia in the period 1901-1990. SHMÚ, Bratislava 1992. Nepublikované (prednáška na Workshope v rámci CEI krajín v Bratislave).
- [17] Gajar, B., Lapin, M.: Projekt optimalizovanej siete meteorologických staníc SHMÚ. Meteorologické zprávy, 39, č. 3, s. 65-72.
- [18] Guide to Climatological Practices. WMO-No. 100, Geneva 1987.
- [19] Chrgjan, A. Ch.: Fizika atmosfery. Gidrometeoizdat, Leningrad 1978, 247 + 319 s.
- [20] Jones P., D.: Problems of Data Homogeneity and Representativeness of Historical Stations Records. In Report of the Experts Meeting on Reference Climatological Stations (RCS) and national Climate Data Catalogues (NCC), WMO-TD NO. 353, WCDMP-NO. 23, 1993.
- [21] Kalvová, J., Vaniček, K.: Současné prognózy změn klimatu ve vztahu k území ČSFR. Meteorologické zprávy, 44, 1991, č. 3, s. 68 - 72.
- [22] Kalvová, J.: Radiačně aktivní plyny v atmosféře a změny klimatu. Národní klimatický program ČSFR, č. 3, ČHMÚ, Praha 1991, 73 s.
- [23] Klimatické pomery Hurbanova. HMÚ, Praha 1960, 115 s.
- [24] Konček, M., Briedoň, V.: Sneh a snehová pokrývka na Slovensku. SAV, Bratislava 1964, 71 s.
- [25] Kurpelová, M., Coufal, L., Čulík, J.: Agroklimatické podmienky ČSFR. HMÚ, Priroda, Bratislava 1975, 268 s.
- [26] Kveták, Š.: Časový a priestorový priebeh vlhkosti vzduchu na Slovensku. In: Zborník prác SHMÚ, zv. 26, Alfa, Bratislava 1985, 351 s.
- [27] Landsberg, H., E., ed.: General Climatology 1 B. Elements of Statistical Analysis. Elsevier, Amsterdam - London - New York - Tokyo 1986, 424 s.
- [28] Lapin, M.: Možné dopady predpokladaných zmien klímy na vodnú bilanciu na Slovensku. Národný klimatický program ČSFR. ČHMÚ Praha, 1992, č. 7, s. 51 - 87.
- [29] Lapin, M., Faško, P., Košťálová, J.: Zhodnotenie zrážkových pomerov na Slovensku po oprave systematických chýb meraní zrážok. Meteorologické zprávy, 43, 1990, č. 4, s. 101 - 105.
- [30] Lapin, M.: Impacts of the climatic changes on human economic activity. In: Climatic change, Brno, Masaryk University, 1990, s. 115 - 119.
- [31] Lapin, M., Šipocz, M.: Možné dopady predpokladaných zmien klímy na vodnú bilanciu na nížinách Slovenska. Meteorologické zprávy, 44, 1991, č. 3, s. 79 - 83.
- [32] Lapin, M.: Možné zmeny zložiek vodnej bilancie na Slovensku v súvislosti s predpokladanými zmenami klímy. Práce a štúdie 44. SHMÚ, Bratislava 1992, s. 17 - 29.
- [33] Lapin, M.: Zmeny relatívnej vlhkosti vzduchu a snehovej pokrývky v súvislosti s predpokladanou klimatickou zmenou na Slovensku. [Správa pre NKP ČSFR.] ČHMÚ, MŽP ČR, MŽP SR, SHMÚ, 1992, 31 s.
- [34] Lapin, M.: Upresnenie alternatívnych scenárov zmien základných klimatických prvkov na Slovensku do roku 2035. [Priebežná správa z riešenia projektu NKP SR v roku 1993.] SHMÚ, Bratislava 1993, 12 s.
- [35] Lapin, M. a kol.: Priebežné správy z riešenia Projektu Národný klimatický program SR. Slovenský hydrometeorologický ústav, Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava 1993, (13 správ.)
- [36] Moldan, B., Lapin, M., Nemešová, I., Sobišek, B.: Národní klimatický program ČSFR - Problémy, záměry a cíle. Národní klimatický program ČSFR, č. 1, ČHMÚ, Praha 1991, 53 s.
- [37] 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.
- [38] 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.
- [39] Nosek, M.: Metody v klimatologii. Academia, Praha 1972, 434 s.
- [40] Petrovič, P., Koňakovská, M.: Adaptácia grafickej metódy "Double-mass analysis" pre výpočtovú techniku a jej použitie pre zrážkové rady v povodí Nitry. Meteorologické zprávy, 26, č. 6, s. 167-171.
- [41] Potential Impacts of Climate Change. Report prepared for IPCC. Geneva, WMO, 1990, 365 s.
- [42] Rak, J., Lapin, M., Tekušová, M.: Klimatologické zabezpečenie monitoringu územia dotknutého výstavbou vodných diel na Dunaji. I. časť. Meteorologické zprávy 45, 1992, č. 3, s. 85 - 90.

- [43] Šamaj, F., Brázdil, R., Dobrovolný, P., Faško, P., Košťálová, J., Valovič, Š.: Variabilita charakteristik sněhových poměrů v karpatské části ČSFR v období 1921 - 1985. Zborník prác SHMÚ, zv. 34, SHMÚ, Bratislava 1991, 176 s.
- [44] Šamaj, F., Valovič, Š.: Dlhodobé priemery úhrnu zrážok na Slovensku za obdobie 1901 - 1970. In: Zborník prác SHMÚ, zv. 14, Alfa, Bratislava 1978, 413 s.
- [45] Scientific Assessment of Climate Change. Report prepared for IPCC. Geneva, WMO, 1990, 365 s.
- [46] Second World Climate Conference. Conference Statment. Int. Geneva, Conference Center, 1990, 10 s.
- [47] Šimo, E.: The present state and research programme oh the snow hydrology in Czechoslovakia. Geografický časopis, 24, č. 2, s. 104 - 113.
- [48] Slabá, N.: Návod pre pozorovateľov meteorologických stanic. Hydrometeorologický ústav Bratislava, Príroda, Bratislava 1976, 273 s.
- [49] Smerný vodohospodársky plán SSR. Textová časť. Bratislava, MLVH SSR, 1975, 734 s.
- [50] Tekušová, M.: Vypracovanie odhadov zmien aktívnych teplôt vzduchu a výskytu dňa s charakteristickými teplotami pri zdvojnásobení koncentrácie atmosférického CO₂. [Správa pre NKP ČSFR.] ČHMÚ, MŽP ČR, MŽP SR, SHMÚ, 1992, 61 s.
- [51] The Greenhouse Effects, Climatic Change and Ecosystems. Edited by B. Bolin, B. B. Döös, J. Jäger and R.A. Warrick. Chichester, John Wiley and Sons, 1986, 523 s.
- [52] The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. J.T.Houghton, B.A.Callander and D.C. Griffiths (Eds.). Climate Change 1992, Cambridge University Press, 200 s.
- [53] Tomlain, J.: K charakteristike suchých a vlhkých oblastí ČSSR. Meteorologické zprávy, 31, 1978, č. 6 s. 185 - 189.
- [54] Tomlain, J.: Priestorové a časové rozloženie potenciálneho výparu na území ČSFR. Geografický časopis, 32, 1980, č. 1, s. 3 - 27.
- [55] Tomlain, J.: Waldevapotranspiration auf dem Gebiet der Slowakei. Acta Meteorologica Universitatis Comenianae. Meteorologia XX-1991, s. 3 - 20.
- [56] Váňa, M., Tekušová, M.: Vliv předpokládaných změn teploty vzduchu na osevni plochy a na topné období. Meteorologické zprávy, 44, 1991, č. 3, s. 73 - 78.
- [57] Zubenok, L. I.: Ob opredeleneji sumarnogo isparenija za otdeľnyje gody. Leningrad, Trudy GGO, vyp. 233, 1968.
- [58] 1992 IPCC Supplement. International Panel in Climate Change. Geneva, WMO, 1992, 71 s.
- [59] U.S. Country Studies Program. Guidance for Vulnerability and Adaptation Assessments. U.S. Country Studies Management Team (PO-63), Washington, D.C., Oct. 1994, 518 s.

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

**NAATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC**

**INVENTARIZÁCIA EMISIÍ
SKLENÍKOVÝCH PLYNOV
NA SLOVENSKU**

Riešiteľ:	RNDr. Katarína Marečková, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
Projekt:	MŽP SR Výskum zmien kvality ovzdušia, klimatické zmeny a narušovanie ochranných vlastností atmosféry - NKP SR
Zadávatel:	MŽP SR
Lektor:	Ing. Lubomír Žiak, Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava

Greenhouse Gases Emission Inventory in Slovakia

Katarína Marečková

Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia

ABSTRACT

The United Nations Framework Convention on Climate Change (UN FCCC) lays out a series of commitments to be fulfilled by all parties. Under the UN FCCC, Annex I parties are expected in 9 months after the ratification of the Convention to prepare the National Communication about implementation of FCCC, what means among others: to provide information about national emission/sinks of Greenhouse Gases (GHG), work out emission scenarios for year 2000 (2005) and return their emissions to 1990 levels by the end of the decade.

The atmosphere's carbon dioxide (CO_2) concentration has risen about 30 % since preindustrial times, enhancing the natural greenhouse effect. The prediction of future climate change requires quantitative understanding of the sources and sinks of CO_2 and other greenhouse gases and their contributing natural and human influences. There is a natural cycling of carbon in the environment, causing a large exchange of carbon among the atmosphere, the land vegetation and soils, and the oceans and marine biosphere. Evidence from ice core data suggests that this natural cycle has been roughly in balance, with only minor variation, since about 10 000 years ago.

Over the past two centuries, the CO_2 concentration has risen from preindustrial levels at an increasing rate. Although the anthropogenic emissions are only about 5 % as large as the natural fluxes, the rising concentration indicates that emissions from land use change (deforestation, biomass burning, agricultural expansion) and from fossil fuel combustion (use of coal, oil and natural gas) have become increasingly larger than can be accommodated by natural removal processes. Projection of these trends unabated suggest that the atmospheric CO_2 concentration may reach double its preindustrial value by the middle of the next century, leading ultimately to an average global temperature increase of 1,5 - 4,5 °C.

This paper presents first estimation of main GHG emissions in Slovakia in 1990, which is relative high industrialized country with intensive agriculture and app. 38 % of forests vegetation cover.

Total emission of CO_2 in Slovakia is app. 51 mil. tonnes/year, main source is combustion of fossil fuels (energy and heat generation, traffic). The uncertainty in emission estimates amounts to roughly 10 % and is related to uncertainty in activity data.

The anthropogenic methane emissions are estimated to be app. 367 thous. tonnes/year, main contributors are agriculture (livestock farming), waste treatment (landfilling), extraction and distribution of fossil fuels (pipeline, distribution network). Supposed uncertainty in emission estimation is 50 %.

Compared to other greenhouse gases sources and sinks of N_2O are not yet fully understood. The main sources are expected to be agriculture (fertilizer application, soils) and waste water treatment. The estimated value is 22 thous. tonnes/year, the overall uncertainty can range from 50-100 %.

List of Tables

- Table 1.1 Atmospheric concentrations and trends of major Greenhouse Gases
- Table 2.1 Mean CO₂ emission factors for fuels used in SR
- Table 2.2 CO₂ emissions - fuel consumption as in REZZO I-III, SR 1990
- Table 2.3 CO₂ emissions - combustion of fossil fuels, IPCC methodology, SR 1990
- Table 2.4 CO₂ emissions - greatest power plants, SR 1990
- Table 2.5 CO₂ emissions - traffic, SR 1990
- Table 2.6 CO₂ emissions - processing, SR 1990
- Table 2.7 Total CO₂ emissions, SR 1990
- Table 3.1 CH₄ emission factors (kg/hd/year)
- Table 3.2 CH₄ emissions - enteric fermentation, SR 1990
- Table 3.3 CH₄ emissions - excretions, SR 1990
- Table 3.4 CH₄ emissions - waste treatment, version I, SR 1990
- Table 3.5 CH₄ emissions - waste treatment, version II, SR 1990
- Table 3.6 CH₄ emissions - extraction and transport of brown coal and lignite, SR 1990
- Table 3.7 CH₄ emissions - natural gas distribution, version I, SR 1990
- Table 3.8 CH₄ emissions - natural gas distribution, version II, SR 1990
- Table 3.9 CH₄ emissions - stationary sources, SR 1990
- Table 3.10 CH₄ emissions - mobile sources, SR 1990
- Table 3.11 Total CH₄ emissions
- Table 4.1 N₂O emissions - fertilizer application, IPCC methodology, SR 1990
- Table 4.2 N₂O emissions - agricultural soils, CORINAIR methodology, SR 1990
- Table 4.3 N₂O emissions - energy production, SR 1990
- Table 4.4 Total N₂O emissions, SR 1990
- Table 5.1 Greenhouse gas emissions, CORINAIR estimation, SR 1990

List of Figures

- Figure 1.1 Contribution of different human activities and GHGs to the change in radiative forcing from 1980 to 1990 (source:IPCC)
- Figure 2.1 CO₂ emissions, SR 1990
- Figure 3.1 CH₄ emissions, SR 1990
- Figure 4.1 N₂O emissions, SR 1990
- Figure 5.1 GHG cumulative emissions - Large point sources, SR 1990
- Figure 5.2 GHG emissions - area distribution, SR 1990

INVENTARIZÁCIA EMISIÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNOV NA SLOVENSKU

Katarína Marečková

Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

1. ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE

1.1 Rámcový dohovor (Konvencia) OSN o klimatickej zmene

Na konferencii v Rio de Janeiro (1992) boli prijaté dva závažné dokumenty. Agenda 21 a Konvencia o klimatickej zmene (Framework Convention on Climate Change - FCCC). Emisiami skleníkových plynov (Greenhouse gases - GHGs) sa zaoberá Konvencia o klimatických zmenách. Podpisalo ju vyše 150 štátov vrátane Slovenska (máj 1993). Do decembra r.1993 bola ratifikovaná (boli uložené ratifikačné listiny u depozitára) v 50 krajinách sveta, čím vstúpila do platnosti 21. marca 1994. Slovenský parlament ratifikoval Konvenciu 18. augusta 1994.

Konvencia o klimatickej zmene (FCCC) zaväzuje všetky signatárske krajiny v rámci národných programov okrem iného monitorovať emisie a sinky (záchyty) skleníkových plynov a vyžaduje do roku 2000 znížiť množstvo antropogénnych emisií skleníkových plynov v priemyselných krajinách na úroveň roku 1990. Bývalá ČSFR je uvedená v Annexe I Konvencie, to znamená do mája 1995 by mala vypracovať Prvú národnú správu - "First National Communication" o implementácii Konvencie aj Slovenská republika, ak bude deklarovať, že je krajinou Annexu I. Z hľadiska GHGs to obnáša inventarizáciu emisií a sinkov pre rok 1990 (base year), návrhy opatrení na znižovanie emisií skleníkových plynov a vypracovanie emisných scenárov pre rok 2000.

Z poverenia IPCC - Intergovernmental Panel of Climate Changes medzinárodná skupina expertov pod záštitou OECD/IEA (Organization for Economic Cooperation and Development/ International Energy Agency) pripravila metodiku na inventarizáciu emisií hlavných skleníkových plynov (CO_2 , CH_4 a N_2O). Inventarizácia chlórovaných a fluórovaných uhlíkovodíkov (CFCs, HCFCs) by mala byť zabezpečovaná v rámci Montrealského protokolu.

1.2 Skleníkové plyny

Slnecná energia je vlastne jediná, ktorá "hýbe" našim klimatickým systémom. Plynné zložky atmosféry prepúšťajú krátkovlnné slnečné žiarenie, čiže toto žiarenie nespôsobuje priamo otepľovanie vzduchu - zohrieva zemský povrch. Ten potom re-emituje dlhovlnné (infračervené) žiarenie, ktoré čiastočne absorbované niektorými plynnými zložkami atmosféry zohrieva jej spodnú vrstvu. Tento jav je známy ako skleníkový efekt atmosféry. Takmer všetky zložky atmosféry čiastočne absorbujú infračervené žiarenie len niektoré viac. Urobiť deliacu čiaru medzi skleníkovými plynmi a tie ostatné nie je preto vždy jednoduché.

Koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére sú determinované rozdielom medzi ich emisiou a prepadom (sinkom). Z toho vyplýva, že zvyšovanie ich koncentrácie v ovzduší prebieha dvoma mechanizmami

- a) emisiami do atmosféry
- b) zoslabovaním záchytných mechanizmov (sinkov).

Najvýznamnejším skleníkovým plynom v atmosfére je vodná para, ktorá spôsobuje asi dve tretiny celkového skleníkového efektu. Jej obsah v atmosfére nie je priamo ovplyvňovaný ľudskou činnosťou. Je v zásade determinovaný prirodzeným kolobehom vody (vyparovanie - zrážky), no môže ho ovplyvniť očakávané oteplenie atmosféry.

Nasleduje oxid uhličitý (CO_2) s priemerným 30-% príspevkom k skleníkovému otepľovaniu atmosféry. Metán (CH_4), fluorochlórované uhlíkovodíky (CFC's), oxid dusný (N_2O) a ozón (O_3) spolu dnes prispievajú 3 % k celkovému efektu.

Globálna ročná emisia CO_2 sa pohybuje okolo 20 mld. ton. Najvýznamnejším zdrojom "nového" CO_2 je spaľovanie fosílnych palív. Lesné požiare budú asi tiež významné, ale je zložitejšie tento príspevok kvantifikovať. Oxid uhličitý v atmosfére je veľmi stabilný, má životnosť desiatky rokov. Z atmosféry je odstraňovaný komplexom prirodzených zachytých mechanizmov. Predpokladá sa, že 40 % dnes emitovaného CO_2 je absorbovaných oceánmi. Dalším dôležitým zachytným mechanizmom je fotosyntéza vegetáciou a morským planktónom, ovšem len prechodným, nakoľko po odumretí (zjedení) rastliny sa CO_2 opäť uvoľní.

Hladinu metánu v ovzduší ovplyvňuje ľudská činnosť viacerými spôsobmi. Transformácia pôdy na poľnohospodársku (hlavne ryžové polia), chov dobytka, deforestácia (odlesňovanie), ťažba uhlia a ťažba, transport a využívanie zemného plynu sú antropogénne činnosti. Ale napríklad aj arktické oblasti sú zdrojom tým, že uvoľňujú CH_4 vmrznutý v ľade. Prírodné zdroje metánu nie sú zatiaľ plne preskúmané, takže úloha CH_4 v mechanizme klimatickej zmeny nie je celkom jasná. Na rozdiel od CO_2 dochádza k jeho deštrukcii chemickými reakciami v atmosfére, doba života 10 - 12 rokov. Celková ročná antropogénna emisia sa dnes udáva niečo vyše 0,5 mld. ton CH_4 .

CFCs, HCFCs sa dostávajú do atmosféry len vplyvom ľudskej činnosti - nosné plyny v sprayoch, náplne chladiacich systémov, rozpúšťadlá. Okrem toho, že atakujú stratosférický ozón, sú to veľmi "silné", inertné skleníkové plyny s dobou života vyše 100 rokov.

Koncentrácie prízemného ozónu a oxidu dusného narastajú ako "nepriamy" dôsledok ľudskej aktivity. CO , NO_x a uhlíkovodíky (všetko zložky výfukových plynov) sú príčinou vzniku prízemného ozónu. Mechanizmus nárastu N_2O zatiaľ nie je celkom jasný. Významným zdrojom je emisia z pôdy.

V tab.1.1 sú uvedené súčasné koncentrácie skleníkových plynov a trend vývoja ich koncentrácií v atmosfére od doby ľadovej. Za posledných 200 rokov vzrástli koncentrácie skleníkových plynov v ovzduší na úroveň vyššiu ako kedykoľvek predtým, odkedy existuje človek na tejto planéte - a porastú ďalej. Bude to mať vplyv na klímu, aj keď sa ešte dnes nedá presne povedať aký. Klimatické modely indikujú, že hlavným dôsledkom stúpajúcich koncentrácií GHGs bude globálne otepľovanie. Za predpokladu, že nebudú prijaté žiadne redukčné opatrenia, očakáva sa v priebehu nasledujúcich 100 rokov nárast povrchovej teploty o 1,5 - 4,5 °C. Už existujú náznaky, že toto otepľovanie začalo; zdá sa, že priemerná teplota na zemskom povrchu vzrástla za posledných 100 rokov o 0,3 - 0,6 °C.

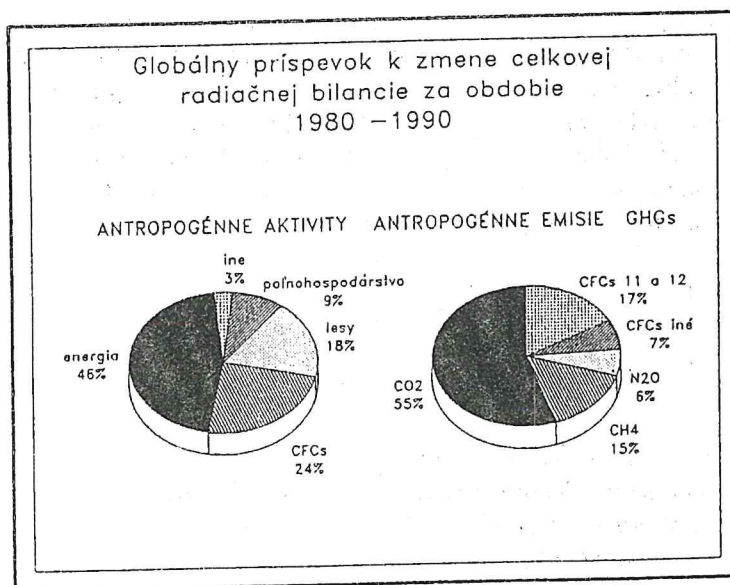
Napriek značnému stupňu neistoty klimatických modelov vieme dosť, aby bolo možné označiť problém emisií skleníkových plynov za veľmi závažný. Ak nedôjde k účinným globálnym opatreniam, môžu byť dôsledky pre mnohé komunity na svete veľmi dramatické (vzostup morskej hladiny, zvýšený výskyt cyklón, zmeny zrážkových režimov, povodne, desertifikácia, posun klimatických pásiem, ...)

Vzhľadom na zložitosť klimatického systému dnes ešte nie je možné jednoznačne dokázať, že súčasné otepľovanie atmosféry je dôsledkom antropogénnych emisií skleníkových plynov. Keď bude tento efekt taký výrazný, že závislosť bude preukázaná, s veľkou pravdepodobnosťou bude už neskoro na prijatie účinných opatrení na znižovanie emisií GHGs.

Tab. 1.1 Zmeny koncentrácie skleníkových plynov

	CO2	CH4	CFC-11	CFC-12	N2O
	ppmv	ppmv	pptv	pptv	ppbv
dobu ľadovú	195	0.35	0	0	190
pred r.1750	280	0.79	0	0	283
r.1900	296	0.97	0	0	292
r.1960	316	1.27	18	30	296
r.1970	325	1.42	70	121	299
r.1980	337	1.57	158	273	303
r.1990	354	1.72	280	484	310
súčasný ročný nárast	1.8 [0.5%]	0.01 [0.6%]	9.5 [3.4%]	17 [3.5%]	0.8 [0.25%]
ΔF (W/m ²) dekáda 1980-90	0.31 [55%]	0.07 [12%]	0.03 [5%]	0.06 [11%]	0.03 [5%]
dobu života v atmosfére	50-200 rokov	10r	65r	130r	150r
potrebná redukcia (%)	>60	10	70-75	75-85	70-80

ΔF merný radiačný výkon



Obr. 1.1

2. OXID UHLIČITÝ - CO₂

2.1 Úvod

Najväčším zdrojom antropogénnych emisií CO₂ je spaľovanie fosílnych palív

- a) pri výrobe elektrickej energie a tepla
- b) v priemysle
- c) v doprave
- d) v dôsledku ťažby zemného plynu a ropy (fakle).

Ďalšou významnou príčinou zvyšovania koncentrácie CO₂ v atmosfére sú "zmeny vo využívaní krajiny" (land use change). Z tejto činnosti sa odhaduje globálna emisia uhlíka na 1.1-3.6 Gt ročne (IPCC, 1992). Lesy a ostatná vegetácia absorbujú CO₂ fotosyntézou počas rastu. Zmenšovanie lesnej plochy vedie k redukcii záchytu CO₂ vegetáciou v nasledujúcich rokoch a súčasne sa uvoľňuje uhlík obsiahnutý v zlikvidovanej biomase. V dôsledku poľnohospodárskych aktivít dochádza k zmene prirodzeného záchytu a fixácie uhlíka v pôde (hnojenie, vypaľovanie biomasy, zavlažovanie ...).

Technologické procesy sú menej významným antropogénnym zdrojom oxidu uhličitého. K jeho vzniku dochádza hlavne pri výrobe vápna a cementu, pri výrobe koksu, pri elektrolytickej výrobe hliníka, pri fermentačných procesoch v potravinárskom priemysle, pri výrobe stavebného materiálu (tehly, dlaždice,...), v obal'ovačkách a pri výrobe magnezitu.

K emisii oxidu uhličitého dochádza aj pri manipulácii s odpadmi. CO₂ vzniká oxidáciou organického materiálu na skládkach. Podľa metodiky IPCC do tejto skupiny patria aj spaľovne odpadu.

2.2 Spaľovanie fosílnych palív

Stacionárne zdroje

Výroba elektrickej energie a tepla predstavuje najväčší zdroj kyslíčnika uhličitého na našom území. CO₂ vzniká pri spaľovaní fosílnych palív oxidáciou uhlíka a jeho množstvo je funkciou zloženia paliva. Nezávisí, na rozdiel od CO a NO_x od typu spaľovacieho zariadenia. Tvorba CO₂ pre veľké zdroje sa stanovuje na báze spotreby paliva a jeho výhrevnosti s použitím tabelovaných emisných faktorov [1]. Emisné faktory (E.F.) CO₂ sa líšia podľa obsahu C v palive, stanovujú sa stechiometrickým prepočtom. Predpokladáme 99-% konverziu C na CO₂, zvyšok ostáva vo forme popola a sadzí.

$$E.F_{CO_2} = C_q \times 44/12$$

$$E_{CO_2} = M_{pal} \times Q_i \times E.F_{CO_2}$$

C_q - merný obsah uhlíka v palive v kg/GJ

44/12 - pomer molárnych hmotností oxidu uhličitého a uhlíka

E.F._{CO2} - emisný faktor pre CO₂ v kg/GJ

Q_i - výhrevnosť paliva v GJ/kg

M_{pal} - množstvo spotrebovaného paliva v Gg

E_{CO2} - emisia CO₂ v Gg

Emisie oxidu uhličitého zo spaľovania fosílnych palív boli vypočítané dvomi metodikami CORINAIR90 [11] a metodikou IPCC [16a]. Diferencia v celkovej vypočítanej emisii je pod 20 %. Základný rozdiel spočíva v cieľoch, pre ktoré sa emisie stanovujú. CORINAIR vyžaduje informáciu o emisii na danom území, s detailnou klasifikáciou podľa typu zdroja a paliva. Metodika IPCC počíta emisie CO₂ z celkovej spotreby paliva v štáte s použitím priemerných emisných faktorov a so zohľadnením uhlíka fixovaného vo výrobkoch.

Tab. 2.1 Priemerné emisné faktory CO₂ pre palivá používané v SR [1]

Druh paliva	E.F. (kg CO ₂ /GJ)	spotreba palív* (TJ/rok)
CUhliePR	94,75	5 863
CUhlieTR	92,71	58 365
HUhliePR	100,67	85 715
HUhlieTR	98,95	67 682
Lignit	105,23	2 897
Koks	107,40	6 903
Drevo	101,17	2 463
TVolej	77,05	56 542
LVolej	76,71	8 029
Nafta	74,35	-
ZPlyn	53,73	246 330
Spolu		540 790

* podľa REZZO (Register emisií a zdrojov znečistenia ovzdušia)

Tab. 2.2 Emisia CO₂ podľa spotreby palív REZZO I-III (CORINAIR)

SR 1990

Palivo	emisnia (Gg)				
Druh	R I	R I techn	R II	R III	spolu
CUhliePR	552	-	4	-	556
CUhlieTR	5 130	-	71	210	5 411
HUhliePR	8 598	7	24	-	8 629
HUhlieTR	771	-	1 623	4 243	6 636
lignit	17	-	294	-	311
koks	2	24	294	445	764
drev.odpad	209	-	41	?	249
TVolej	3 516	786	55	-	4 357
LVolej	406	187	23	-	616
ZPlyn	5 175	6 040	97	1 922	13 234
nafta	-	-	18	-	18
Spolu	24 375	7 043	2 542	6 821	40 782

$$1\text{Mg} = 1\text{tona} = 10^6 \text{ g}$$

$$1\text{Gg} = \text{tis. ton} = 10^9 \text{ g}$$

$$1\text{Tg} = \text{mil. ton} = 10^{12} \text{ g}$$

$$\text{GJ} = 10^9 \text{ J}$$

$$\text{TJ} = 10^{12} \text{ J}$$

$$\text{PJ} = 10^{15} \text{ J}$$

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$$

$$1 \text{ J} = 0,24 \text{ cal}$$

Tab. 2.3 Emisie CO₂ - spaľovanie fosilných palív (IPCC)**SR 1990**

Kategória zdroja	emisie (Gg/rok)	spotreba paliva (%)
výroba el. a tepla	21 196	34
priemysel	14 942	34
vykurovanie	12 367	21
doprava	4 862	9
iné	1 162	2
Spolu	54 529	100

Použité sú priemerné emisné faktory IPCC

Emisie CO₂ boli spočítané pre veľké zdroje individuálne, pre ostatné zdroje plošne (metodika CORINAIR90), podľa energetickej spotreby palív v okresoch. Vychádzali sme z údajov o celkovej spotrebe paliva uvádzanej v REZZO I - III. Emisia oxidu uhličitého prepočítaná na spotrebu palív v stacionárnych zdrojoch za rok 1990 bola v CORINAIR90 asi 41 Tg (mil. ton) oproti 50 Tg vypočítaným podľa IPCC.

Tab. 2.4 Emisie CO₂ - najväčšie energetické zdroje (CORINAIR)**SR 1990**

Zdroj	emisie (Mg/rok)	zdroj	emisie (Mg/rok)
EVO I+II	3 910 000	TEKO	756 000
ENO A+B+C	3 209 000	SEP Žilina	562 000

Doprava

Pre výpočet emisií z automobilovej dopravy bola použitá metodika COPERT. Vozidlá boli rozdelené do kategórií podľa typu, výkonu a veku (ECE klasifikácia) a emisie boli spočítané na základe spotreby pohonných hmôt, kilometráže a dosahovanej rýchlosti [7], [25]. Pri homologizačných skúškach motorov sa merania emisií doteraz neuskutočnili. Emisie z vodnej a železničnej dopravy boli stanovené na základe spotreby paliva pomocou E.F. pre naftové motory [15].

Tab. 2.5 Emisie CO₂ - doprava (COPERT)**SR 1990**

Druh	emisie (Mg/rok)
automobilová osobné	1 138 443
nákladné + autobusy	3 049 390
motocykle	47 117
železničná	376 800
vodná	142 600
Spolu	5 020 247

2.3 Technológie v priemyselnej výrobe

V tejto kategórii sú uvedené výlučne emisie CO₂, vznikajúce v rámci technologického procesu, bez započítania spotrebovaného paliva. Sú vypočítané na základe množstva produktu, emisné faktory podľa literatúry [5], [8]. Merania emisií nie sú k dispozícii. Medzi najvýznamnejšie zdroje patrí výroba vápna, cementu, koksu, magnezitu a spracovanie ropy.

Tab. 2.6 Emisie CO₂ - priemyselné technológie (CORINAIR)

SR 1990

	produkcia (Gg)	EF (kg/Gg)	emisía (Mg)
pálenie vápna	1 076	789	849 000
výroba cementu	3 781	346	1 307 900
výroba magnezitu			471 600
obalovačky			85 000
výroba koksu	2 340	397.9	931 200
spracovanie ropy	6 503	57.5	373 900
výroba hliníka	30	1 800	54 000
Spolu			4 072 600

2.4 Odpady

Pri manipulácii s odpadmi vzniká CO₂ na skládkach tuhého komunálneho odpadu, na skládkach uhlia, pri spaľovaní odpadu v spaľovniach a vo fákliach na komínoch. Oxid uhličitý, unikajúci zo skládok, zatiaľ nebol kvantifikovaný. Emisie zo spaľovní sú skryté v spaľovaní fosílnych palív.

2.5 Požiare

Z globálneho hľadiska sú požiare významným prispievateľom CO₂ do ovzdušia. V našich zemepisných šírkach je to pomerne malý zdroj. Dostatočne presné podklady nie sú k dispozícii. Emisie z lesných požiarov (397 ha) boli v r.1990 okolo 4 000 Mg (ton).

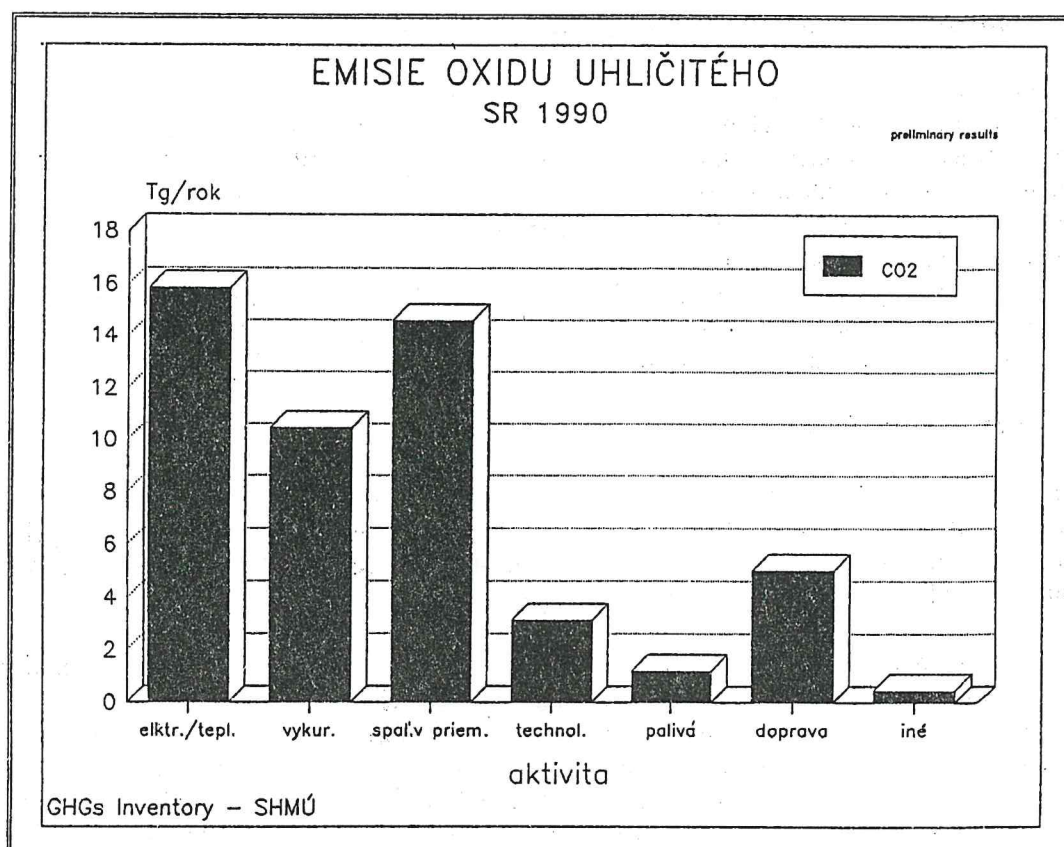
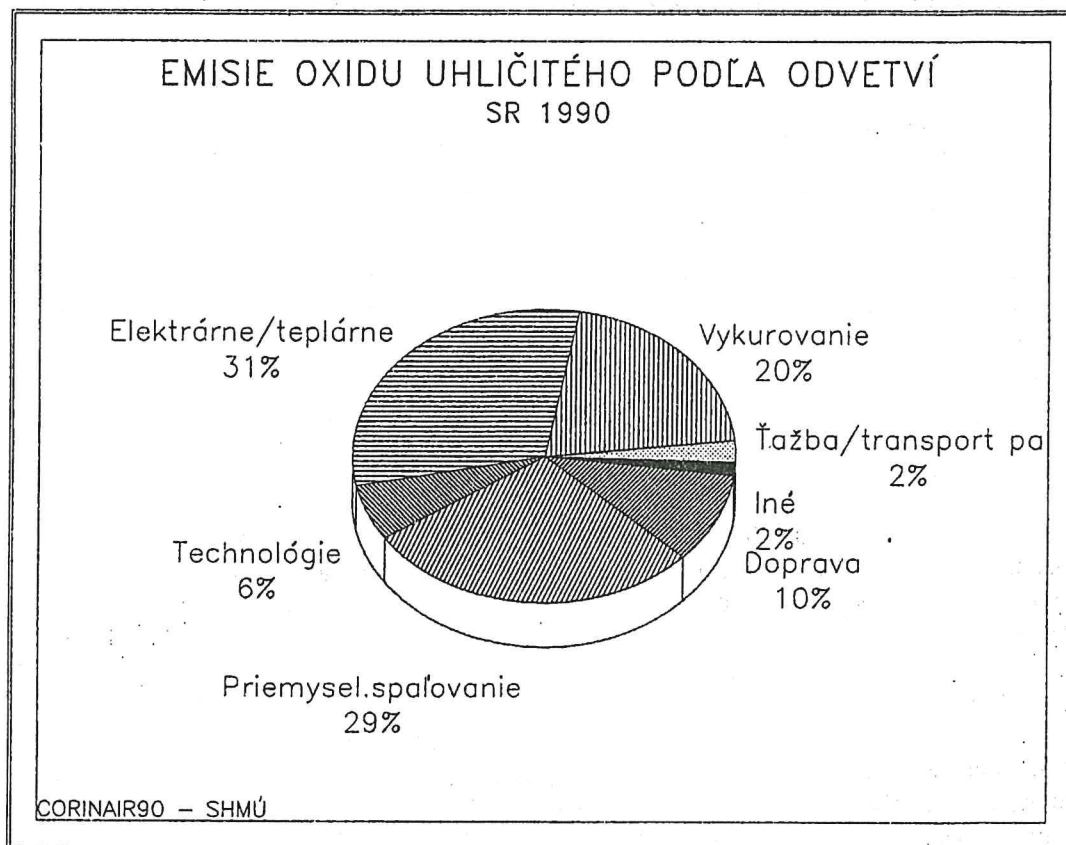
2.6 Zmeny vo využívaní krajiny (Land Use Change)

Predpokladá sa, že emisie CO₂, ako dôsledok deforestrácie a vypaľovania rastlinnej pokrývky, tvoria 30-60 % z globálnej emisie [16]. Na zhodnotenie tohto procesu na našom území bola spracovaná rámcová štúdia, v ktorej boli metodikou IPCC kvantifikované bilančné zmeny kolobehu uhlíka v lesných ekosystémoch na Slovensku (Mind'áš, Štrba 1994). Podľa tejto štúdie je v lesných ekosystémoch Slovenska fixovaných 487 Tg uhlíka $\pm$ 40 % (z toho korene + humus v pôde tvoria 330 Tg a nadzemná biomasa 157 Tg). Po zhodnotení antropogénnych (požiare, ťažba, zalesňovanie...) a prírodných vplyvov (prírodný prírastok, kalamity...) vplyvov dostávame fixáciu uhlíka asi 4 %, čo je asi 5,9 Tg C ročne, teda na Slovensku je táto kategória sinkom (prepadom) a nie zdrojom CO₂.

2.7 Celkové emisie CO₂

Celkové emisie oxidu uhličitého z antropogénnych zdrojov na území Slovenska obsahuje tab. 2.7. Rozdiely vo vypočítaných hodnotách vznikli použitím odlišných emisných faktorov a rozdielnou kategorizáciou zdrojov. Odstránenie týchto nezrovnalostí bude predmetom ďalšieho štúdia.

Emisie zo spaľovania fosílnych palív tvoria 92 % obr.2.1. Ich stanovenie v prípade dostupnosti údajov o spotrebe paliva a jeho zložení nie je problémom. Emisie z výroby vápna a cementu je možné stanoviť s uspokojivou presnosťou, rozhodujúca je kvalita informácie o množstve produkcie. V ostatných technológiách a tiež v doprave je možné považovať zistené hodnoty za rámcové, pre presnejšie stanovenie chýbajú vhodné overené E.F.. Bez meraní emisii sa k lepším výsledkom ťažko dopracujeme. Najväčšou neznámou sú emisie z odpadového hospodárstva. Hodnotu celkovej emisie CO₂ možno považovať za pomerne reálnu.



Obr. 2.1

Tab. 2.7 Celkové emisie CO₂

SR 1990

Kategória zdroja	emisie CO ₂ (Gg)	
	CORINAIR	IPCC
výroba elektriny a tepla	15 863	21 196
vykurovanie	10 469	12 367
spaľ.procesy v priemysle	14 619	14 942
technológie	3 147	
ťažba a transport palív	1 196	1 162
doprava	5 020	4 862
iné	468	
Spolu	50 809	54 529*

*emisie len zo spaľovania fosílnych palív

3. METÁN - CH₄

Zdroje metánu sú biologického aj nebiologického charakteru. Najvýznamnejší je bakteriálny rozklad organickej hmoty bez voľného prístupu kyslíka, napr. v mokradiach, ale aj umelých systémoch (skládky, kompost, čistiare odpadových vôd) a v žalúdkoch a exkrementoch hlavne bylinožravcov, ale aj hydiny a napríklad termitov. Zanedbateľné nie je ani nedokonalé spaľovanie biomasy. Veľa metánu vzniká na ryžových poliach.

Významným zdrojom metánu je ťažba a transport fosílnych palív. Ide hlavne o nekontrolované straty zo systému pri transporte (havárie, netesnosti). Vznik metánu v rámci spaľovacích procesov sa javí relatívne málo významný. Informácie o emisiách metánu z vodných plôch, oceánu a pôdy sú zatiaľ pomerne neurčité.

3.1 Emisie CH₄ v poľnohospodárstve

Fermentačné procesy v živočíšnej výrobe

Pri látkovej premene v tráviacom trakte prežúvavcov za prítomnosti baktérií vzniká CH₄, CO₂ a malé množstvo vodíka. Stupeň tvorby metánu je daný množstvom a kvalitou potravy. Straty energie (prijatej potravou) sa podľa rôznych autorov pohybujú od 3,5 % [18] do 12 % [21] - dobytok a od 0,6 % - 2,5 % [4] - ošípané.

Metodika IPCC odporúča pri stanovovaní emisií metánu:

- kvantifikovať podiel energie z potravy Y_m, ktorá prejde na metán,
- stanoviť príjem energie z potravy GE,

na ich základe vypočítať emisné faktory M (kg/rok) pre jednotlivé druhy zvierat [5,19]. Potrebne sú údaje o váhe a veku dobytka, produkcii mlieka, skladbe a množstve potravy. Emisie je potom možné vypočítať podľa vzťahu:

$$M = GE \times (Y_m/100) \times 365 \times 0.018$$

Do tejto správy nebolo možné spracovať emisie touto metodikou pre absenciu vstupných údajov. Malo by to byť predmetom "Country Study" v roku 1995. Na predbežné stanovenie emisií sme použili zjednodušenú metódu. Údaje o počte dobytka (materiály Slovenského štatistického úradu) sme dali do vzťahu k emisným faktorom z literatúry.

Tab. 3.1 Emisné faktory (kg/rok/kus)

	[18] Pretel	[21] Schön	[20] Ripdal	[4] Crutzen
dobytok	50	66.9	65	55
dojnice	-	99.8	111.3	-
ošípané	12	1.3	1.5	1.5
ovce	7	10.3	-	8
kozy	-	6.5	-	5
kone	18	18.0	18	-
hydina	-	0.09	0.005	-

Pri stanovení emisií z chovu dobytka na Slovensku sme použili emisné faktory (Schön a kol.1993) a (Crutzen a kol.1986).

Tab. 3.2 Emisie CH₄ - fermentačné procesy

SR 1990

	kusy (tis.)	EF (kg/rok/kus)	emisía (Mg)
dobytok	1 409,6	55	72 528
ošípané	1 701,9	1,3	2 213
ovce	600,4	8	4 803
kozy	13,6	6,5	67
kone	13,6	18	245
hydina	12 400	0,09	(11 160)
Spolu (bez hydiny)			84 855

Potenciálne emisie metánu - príspevok z chovu hydiny neboli zaradené do celkovej sumy, nakoľko ich väčšina autorov neuvádza.

Emisie metánu zo živočíšnych exkrementov

Vznikajú pri anaeróbnom rozklade organických látok v živočíšnych exkrementoch. Ich množstvo závisí od množstva faktorov; od druhu zvierat a ich ustajnenia, teploty okolia, podielu tekutej zložky v exkrementoch a dĺžky a spôsobu ich skladovania.

Pri stanovení emisií sa vychádza z potenciálnej tvorby CH₄, nakoľko nie sú k dispozícii takmer žiadne namerané údaje. Podobne ako pri stanovovaní emisií z fermentačných procesov, vychádza sa z bilančných rovníc [16]. Takto stanovené emisie sú len veľmi rámcové. Ukazuje sa, že sú asi 3-krát menšie ako emisie z fermentačných procesov.

Celková emisía metánu na Slovensku z chovu hospodárskych zvierat vychádza 118 060 Mg pre rok 1990. Sú to predbežné výsledky a sú pravdepodobne nadhodnotené. Jednak sa ukazuje, že metodika mierne nadhodnocuje, ďalej treba overiť vhodnosť emisných faktorov a v neposlednom rade vstupné údaje.

Tab. 3.3 Emisie CH₄ - Živočišne exkrementy

SR 1990

	kusy (tis.)	E.F. (kg/kus/rok)	CH ₄ (Mg)
dobytok	1 409,5	16,18	22 807
ošípané	1 701,8	3,20	5 446
ovce	600,4	2,36	1 417
kone	13,8	22,18	302
sliedky	8 133,7	0,24	1 952
kurence	4 828,3	0,24	1 171
ostatná h.	454,3	0,24	109
Spolu			35 500

Pri výpočte sme vychádzali zo štúdie Úradu pre životné prostredie SRN [21].

3.2 Emisie zo spaľovania biomasy

Z celosvetového hľadiska je spaľovanie biomasy významným zdrojom metánu. Množstvo emisií závisí od objemu hmoty, jej štruktúry, zloženia a od vlhkosti. Pri nedokonalom spaľovaní sa uvoľňuje 2 až 3-krát viac CH₄ ako pri horení plameňom. Ďalej sa metán uvoľňuje zo zuhoľnatených reziduí niekoľko rokov.

Na odhad emisií z tohto zdroja na Slovensku nám chýbajú podklady (spaľovanie biomasy v spaľovacích zariadeniach je hodnotené v inej kategórii). Nie sú k dispozícii vstupy o spaľovaní biomasy hlavne v poľnohospodárstve (vypaľovanie strnísk, pálenie odpadu).

Pomocou metodiky IPCC [6] boli stanovené emisie CH₄ z lesných požiarov na Slovensku (z lesov v správe Ministerstva pôdohospodárstva). Ide o plochy úplne zničené požiarom. Emisie 14,79 Mg boli stanovené na základe vypočítaného množstva zhorenej biomasy a obsahu organického uhlíka a dusíka [12]. Autori odhadujú presnosť stanovenia na 10 %.

3.3 Skládky

K tvorbe CH₄ a CO₂ dochádza pri biologickom rozklade organického materiálu. Transformácia prebieha v niekoľkých krokoch a môže trvať 50 - 100 rokov alebo aj viac. Vo všeobecnosti sa predpokladá maximálna emisia bioplynu v prvom roku po uložení materiálu na skládku, ďalších 20 - 30 rokov je emisia podstatne nižšia a takmer konštantná, v priemere po 40 rokoch končí [20]. Na voľných skládkach je teoretická maximálna možná produkcia bioplynu 400 Nm³/t odpadu. Realistickejší je odhad 100-300 Nm³/t odpadu. Zloženie bioplynu veľmi kolíše v závislosti od zloženia odpadu, typu skládky a vonkajších podmienok. Vo všeobecnosti sa uvažuje podiel 50 - 55 % metánu a 45 % CO₂.

Nakoľko dostatočné informácie o zložení odpadu a fyzikálnych parametroch na skládkach (vlhkosť, pH, vek skládky,...) v SR nebolo možné získať, emisia metánu bola stanovená porovnaním s ostatnými európskymi krajinami.

Produkcia 305 kg tuhého komunálneho odpadu (TKO) na obyvateľa, ako udáva SAŽP, je zrejme nadsadená.

Za predpokladu, že namerané údaje o produkcii bioplynu na skládkach v ČSFR (Pretel, 1992) zodpovedajú realite, bol by EF pre bioplyn asi 100 Nm³/t odpadu, z čoho potom vychádza celková emisia CH₄ 58 830 Mg.

Tab. 3.4 Emisie CH₄ zo skládok - verzia I

SR 1990

Počet obyvateľov	produkcia TKO	t odpadu	objem bioplynu
5.3 mil.	300 kg/ob/rok	1 590 000	318 mil. Nm ³
<i>Zvolili sme E.F. pre bioplyn 200Nm³ /t odpadu, hustota CH₄ = 0.72 kg/Nm³, uvažovaný podiel metánu je 50%.</i>			
Odhadovaná emisia v roku 1990			117 660 Mg CH ₄

Emisné faktory v kg/Mg TKO pre priamy výpočet emisií uvádzané v rôznych prameňoch sa pohybujú v širokom intervale od 23 do 155 kg CH₄/Mg vyprodukovaného TKO [5]. V európskych krajinách sa najčastejšie udáva emisný faktor 60 - 66 kg CH₄/Mg TKO.

Tab. 3.5 Emisie CH₄ zo skládok - verzia II

SR 1990

TKO (Gg/rok)	E.F. 60kg/Mg TKO emisia CH ₄ (Mg/rok)	E.F. 66kg/Mg TKO
1 590	95 400	96 960
1 616	104 940	106 656

Na základe uvedených údajov možno konštatovať, že emisie metánu zo skládok sa pohybujú zrejme medzi 59 000 t a 118 000 t ročne. Na jednej strane sa javí nadhodnotená produkcia TKO, nie je odpočítaný odpad, ktorý ide do spaľovni, na druhej strane nie sú zakalkulované emisie z odpadu uloženého na skládkach za predchádzajúce roky. Na spresnenie výsledkov je nevyhnutné monitorovať skládky na území Slovenska.

3.4 Ťažba a transport palív

Ťažba a transport uhlia

Pri ťažbe uhlia dochádza k uvoľňovaniu metánu z uhoľných slojov. Množstvo závisí hlavne od obsahu uhlíka vo vrstve. V zásade je emisia CH₄ väčšia pre čierne ako pre hnedé uhlie a rastie s hĺbkou (vekom) uhoľnej vrstvy. Pre presné stanovenie je potrebné poznať obsah CH₄ v uhoľnom sloji, teplotu a spôsob ventilácie v bani. Nakoľko sa vzhľadom na množstvo vytŕaženého uhlia nepôjde o zvlášť významný zdroj, spočítali sme emisie pomocou E.F. z literatúry. Pre hĺbkovú ťažbu lignitu a hnedého uhlia sa udáva emisný faktor 3,6 - 9,4 kg CH₄/t [6].

Tab. 3.6 Emisie CH₄ z ťažby hnedého uhlia a lignitu

SR 1990

Vytŕažené uhlie (Mg)	EF (kg/Mg)	emisia (Mg)
4 765 000	7 [5]	33 355

Ťažba a transport ropy

Pri transporte ropy sa predpokladá, že emisie do ovzdušia sa skladajú prakticky len z NMVOC. Pri ťažbe síce dochádza k únikom metánu z vrtov, ale pokiaľ sa dalo zistiť, nie sú kvantifikované. Na Slovensku ide o zdroje lokálneho charakteru.

Ťažba a transport plynu

Rozvodné siete plynu tvoria veľmi významný, ale v našich podmienkach momentálne ťažko kvantifikovateľný zdroj metánu. Cez Slovensko vedie tranzitný plynovod, cez ktorý v r.1990 prešlo 67 593 mil. m³ zemného plynu (Štatistická ročenka). Podľa informácií zo Slovenských plynárenských podnikov sa v r.1990 spotrebovalo 6 mld. m³ plynu (z toho 4 mld. sú privedené osobitným plynovodom). Presné merania množstva plynu na vstupoch a výstupoch do distribučnej siete nie sú k dispozícii. Na základe údajov REZZO spotreba zemného plynu v r.1990 bola asi 9 mld. m³.

K emisiám metánu dochádza pri haváriách, opravách a z netesností spojov a ventilov. Emisie CH₄ zo zemného plynu spotrebovaného na kompresorových staniciach sú započítané v energetike. Pri stanovovaní emisií v distribučnej sieti sa rozoznávajú podľa tlaku tri typy rozvodov plus úniky do ovzdušia na ventiloch a priamo u spotrebiteľa. Pre praktické stanovenie emisií v našich podmienkach sme pristúpili k rozdeleniu na:

- a) emisie z tranzitného plynovodu,
- b) emisie vo vnútroštátnej sieti.

Pre kategóriu a) udávajú rôzne štáty straty 0.01 - 2.0 % objemu zemného plynu pri transporte. Pre kategóriu b) 0.8 - 3.0 % objemu [9], [17]. Podľa Lomeckého (1992) straty v miestnych sieťach ČR za posledných 30 rokov kolíšu medzi 4 - 14 % (10 -13 000 m³ /km). Priemerná hodnota v r.1990 podľa [10] je 14 % t.j. 8 459 m³ zemného plynu na km miestnej siete.

Tab. 3.7 Emisia CH₄ - transport plynu - verzia I

SR 1990

Prepravený plyn	úniky (mil m ³)	(%)	emisia CH ₄ (Mg)
transit.plynovod	67 593	0.05	23 606
vnútroštátna sieť	8 000	0.1	44 697
ťažba	500		4 000
Spolu			72 303

- obsah metánu v distribuovanom zemnom plyne = 97 %
- hustota metánu 0,72kg/m³

Celkové množstvo emisií z ťažby a distribúcie zemného plynu na Slovensku sa podľa zvolenej metodiky a použitých vstupných údajov pohybuje v intervale 72 000 - 192 000 Mg CH₄/rok. (Např.[21] udáva pre Východné Nemecko pri spotrebe 9 mld. m³ plynu 68 000 Mg CH₄/rok). Kým nebudú k dispozícii presnejšie namerané údaje, bude veľmi obťažné získať lepšie výsledky. Realistickejší sa javí dolný odhad emisie metánu.

Tab. 3.8 Emisie CH₄ - transport plynu - verzia II

SR 1990

	EF pre vých. Európu [9] (Mg CH ₄ /PJ)	plyn (PJ)	emisia CH ₄ (Mg)
distribúcia	340-718	221	74 800 - 158 678
produkcia	218-567	18.4	4 011 - 10 433
emisia na tranzit. plynovode			23 606
Spolu			102 617 - 192 717

3.5 Spaľovanie fosilných palív

Stacionárne zdroje

Pri spaľovaní pevných palív v kotloch nad 50 MW vzniká nevýznamné množstvo CH₄. V našich podmienkach, keď väčšina kotlov patrí do kategórie pod 50 MW, je potrebné emisie metánu uvažovať. Najväčším zdrojom metánu je vykurovanie v domácnostiach, nemáme však informácie o množstve dreva spáleného v tomto type zdrojov. Emisie pre rok 1990 boli spočítané na základe spotreby paliva podľa REZZO a E.F. uvádzaných v [21].

Tab. 3.9 Emisie CH₄ - stacionárne zdroje

SR 1990

	spotreba palív (TJ)	emisia (Mg/rok)
malé zdroje <5 MW	109 319	13 846
zdroje >5 MW	429 257	761
Spolu	538 576	15 607

Mobilné zdroje

Pri spaľovaní benzínu a nafty v motoroch podstatné množstvo emisií CH₄ nevzniká. Emisie z automobilovej dopravy boli spočítané metodikou COPERT [25] a emisie zo železničnej a vodnej dopravy sme odhadli ako 0.1 CxHy udávaných v [15].

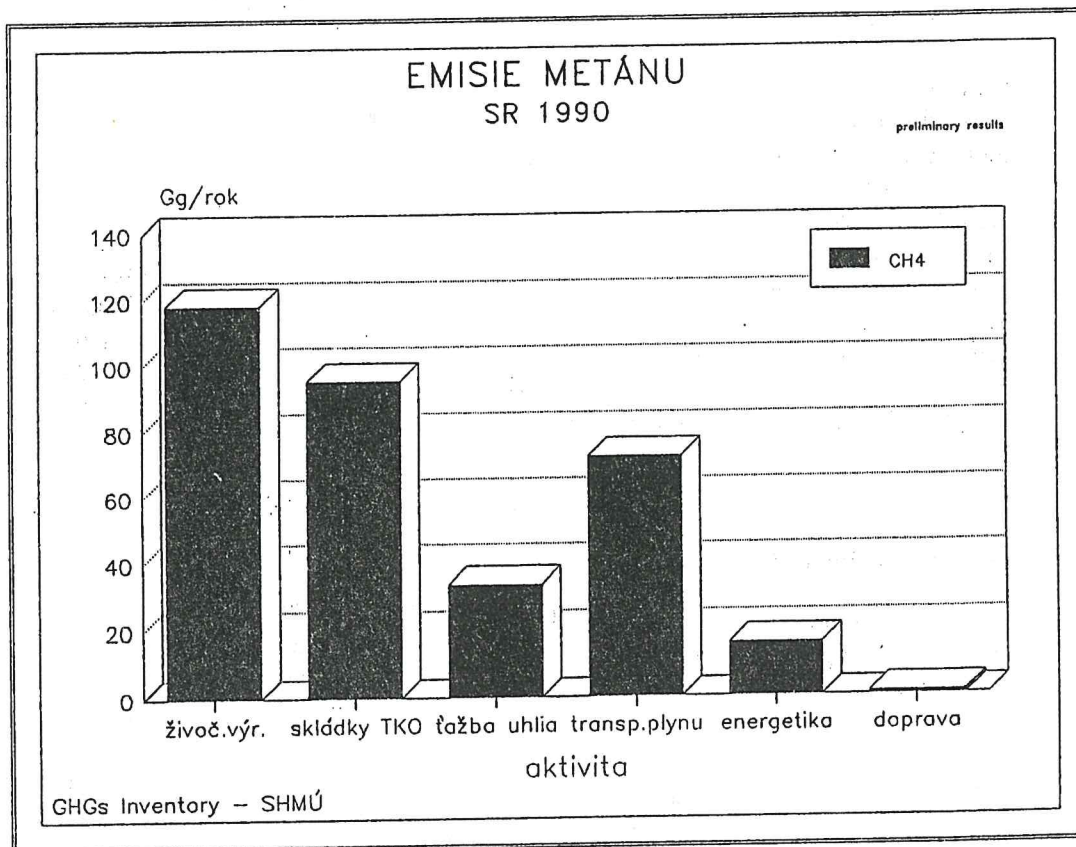
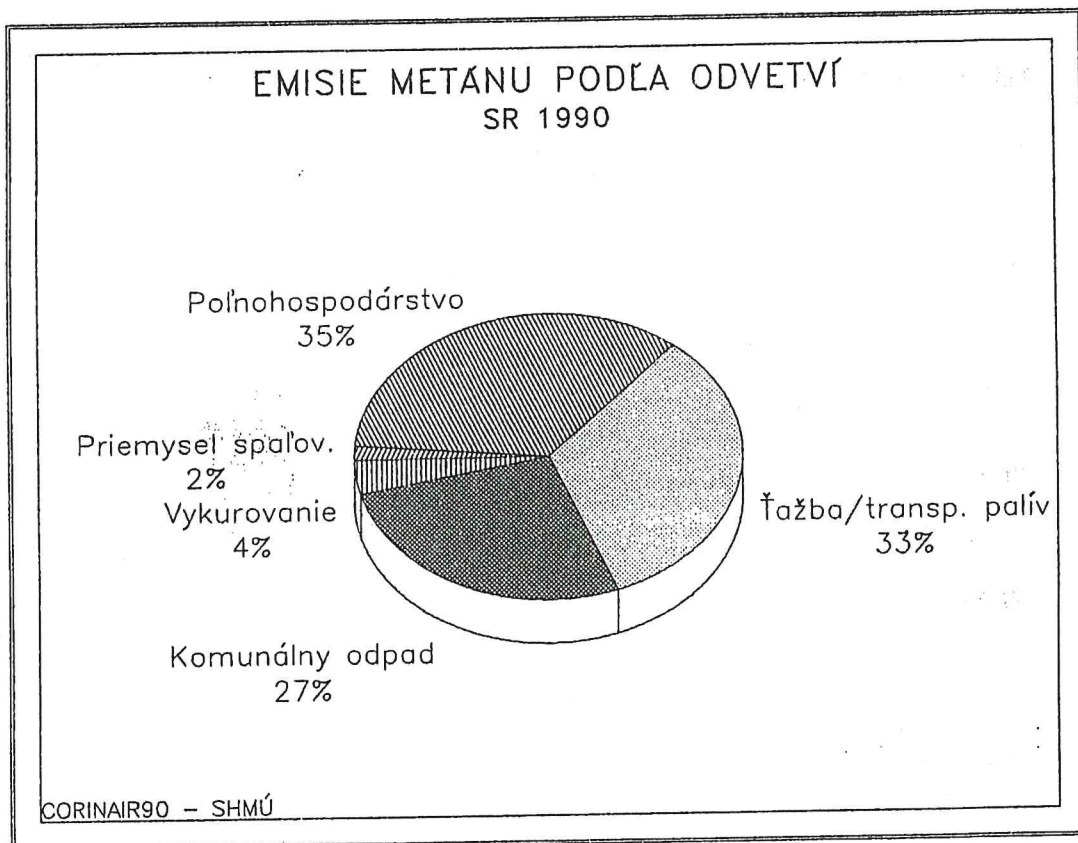
Tab. 3.10 Emisie CH₄ - mobilné zdroje

SR 1990

Emisie	(Mg/rok)
automobilová doprava	892
železničná + vodná doprava	130
Spolu	1 022

3.6 Celkové emisie metánu

Sumu jednotlivých položiek uvádza tab.3.11. Vo väčšine prípadov ide o rámcové odhady, ktoré bude nevyhnutné postupne spresňovať. Pri výpočtoch boli použité údaje Slovenského štatistického úradu, REZZO a MV SR. Ich rozsah však ani zďaleka neumožňuje spracovať vyčerpávajúcu inventarizáciu emisií CH₄. Emisné faktory boli čerpané zväčša zo zahraničnej literatúry.



Obr. 3.1

Tab. 3.11 Emisie CH₄ - prehľad

SR 1990

Aktivita	emisnia (Gg)	rozptyl
živočišna výroba	118.4	
lesné požiare	0.015	
spaľovanie biomasy	?	
skládky TKO (MSW)	95.4	(58.3 - 117.7)
čistiarene odpadových vôd	?	
ťažba hn.uhlia a lign.	33.5	
ťažba a transport plynu	72.3	(72.3 - 192.6)
stacionárne zdroje (energetika)	15.6	
doprava	1.0	
Spolu	336.2	
prírodné zdroje	? (144.1)	
Spolu	480.3 Gg CH₄	

Do prírodných zdrojov môžeme zahrnúť emisie metánu z vodných nádrží, mokradí, rybného hospodárstva, voľne žijúcej zveri a pod. Pri ich odhade sme vychádzali z pomeru 3:7, ako ho udáva Pretel [18].

4. OXID DUSNÝ- N₂O

Oxid dusný je skleníkový plyn s dobou života v atmosfére okolo 130 rokov. V troposfére je prakticky inertný. Navyše, N₂O je hlavným zdrojom stratosférického NO_x, ktorý hrá významnú úlohu pri katalytickej deštrukcii ozónu [2]. Vyše 20 % celkových emisií N₂O produkujú plošné prírodné zdroje. Oxid dusný vzniká denitrifikáciou a nitrifikáciou pôdy. Dusíkaté hnojivá spôsobujú zvyšovanie emisií N₂O zo zemského povrchu. Ďalším zdrojom sú spaľovacie procesy. Podľa najnovších výsledkov meraní sa ukazuje, že ich príspevok je menší, ako sa pôvodne odhadovalo. Rastie význam automobilovej dopravy ako zdroja. Používanie trojcestných katalyzátorov znižuje síce emisie NO_x, ale spôsobuje rast emisií N₂O. Výroba kyseliny adipovej prispieva k atmosférickému nárastu N₂O 10 % ročne. Pomerne významné, ale ťažko kvantifikovateľné sú emisie z odpadových vôd a pri erózii pôdy. Najdôležitejším procesom, pri ktorom dochádza k odbúraniu N₂O, je fotodisociácia a fotooxidácia v atmosfére.

4.1 Poľnohospodárstvo

Pri aplikácii hnojív v poľnohospodárstve dochádza k priamym emisiám N₂O v závislosti od kontaminácie pôdy a k dodatkovým emisiám zo znečistených povrchových a podzemných vôd. Aplikácia organických hnojív (viažúcich dusík) môže tiež podporovať rast emisií oxidu dusného.

Emisie sa v súčasnosti počítajú na základe spotreby dusíkatých hnojív prepočítanej na dusík (IPCC 1993). Podľa [17] bola spotreba dusíkatých hnojív v roku 1990 v SR 201 513 Mg čistých živín, čo zodpovedá spotrebe 83,1 kg/ha.

Tab. 4.1 Emisie N₂O - aplikácia hnojív (IPCC)
SR 1990

Spotreba hnojiva	E.F. (kg/Mg N)	emisía (Mg)
201 513 Mg	25.61	5 160.7
	0.47	94.7

Podľa [16] - použitý max. a min. uvedený E.F.

Nie je započítaný príspevok z aplikácie organických hnojív.

Nakoľko informácie o emisiách N₂O sú veľmi rôznorodé, boli použité emisné faktory, ktoré navrhuje CITEPA [5] 7 kg N₂O/ha. Vychádza sa z predpokladu, že je v ňom obsiahnutá celá emisía oxidu dusného, bez ohľadu na to, odkiaľ pôvodne dusík pochádza. Tento veľmi zjednodušujúci výpočet stanovuje emisie N₂O ako dôsledok denitrifikácie pôdy.

Tab. 4.2 Emisie N₂O - poľnohospodárska pôda (CORINAIR)
SR 1990

Druh pôdy	výmera (km ²)	emisía (Mg/rok)
poľnohospodárska	15 238	10 667
pasienky	5 640	3 546
Spolu		14 615

4.2 Spaľovanie fosílnych palív

Doprava

Uvádame emisie oxidu dusného z automobilovej dopravy, ako boli stanovené metodikou COPERT. Pre rok 1990 sa odhadujú na 187 Mg N₂O.

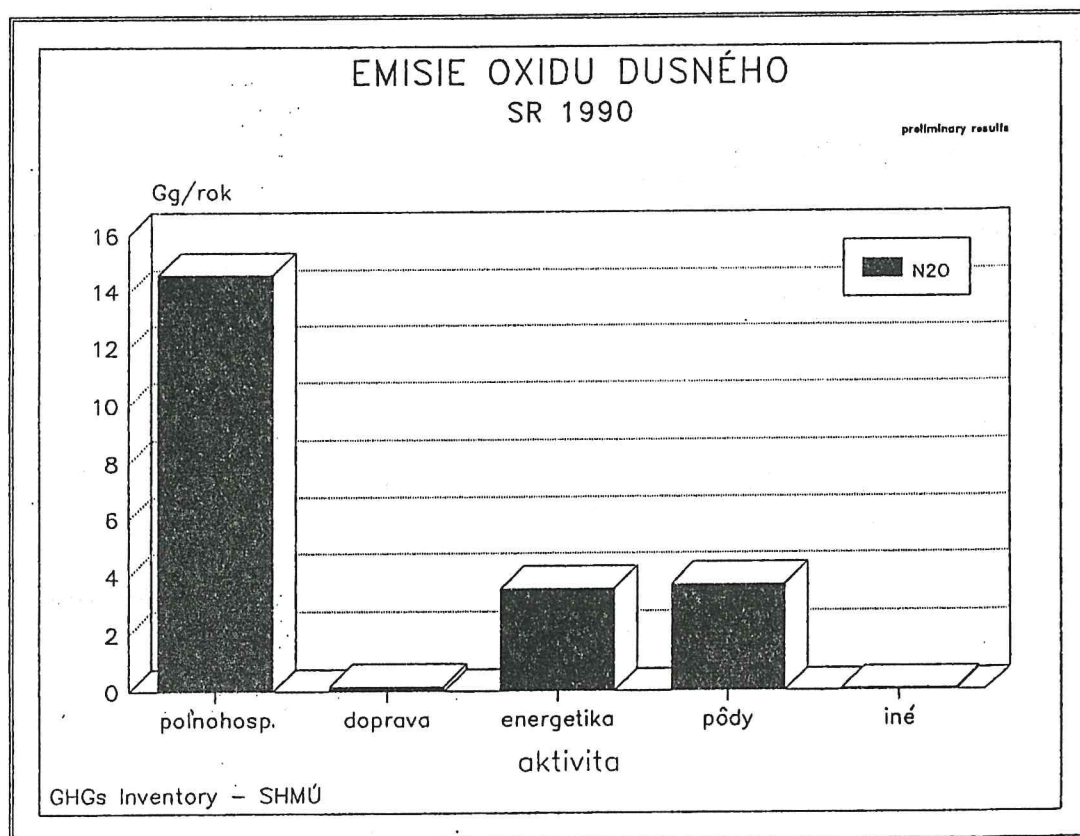
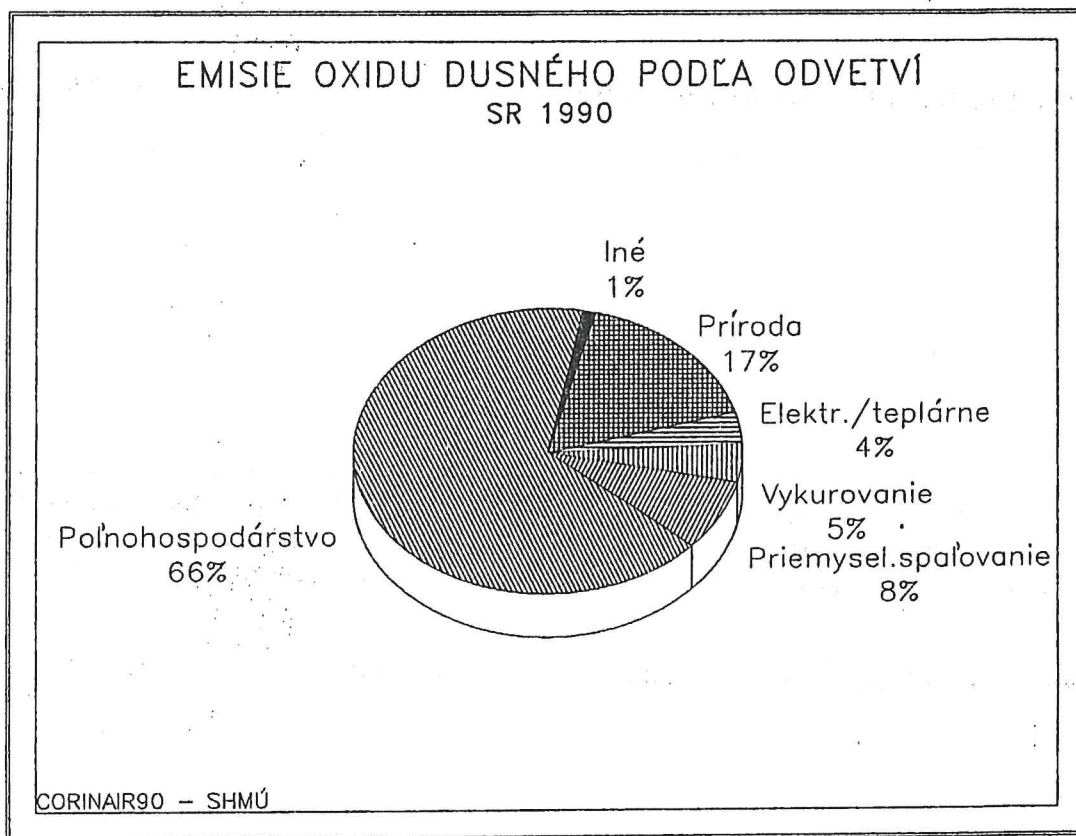
Energetika

Emisie boli spočítané bilančnou metódou na základe spotreby palív uvádzanej v REZZO a s použitím EF, ktoré navrhuje program CORINAIR [5].

Tab. 4.3 Emisie N₂O energetika
SR 1990

Kategória zdrojov	emisía N ₂ O (Mg)
REZZO III (≤ 0,2MWth)	662
REZZO II (≥ 0,2 a ≤ 5MWth)	341
REZZO I (≥ 5MWth) elektr.+ tepl.	795
spal. v priemysle	1 748
Spolu	3 546

Nakoľko nie sú k dispozícii žiadne merania emisií N₂O, nie je možné v súčasnosti verifikovať vypočítané hodnoty.



Obr. 4.1

4.4 Emisie z lesných a vodných plôch

CORINAIR [5] udáva emisný faktor pre výpočet emisií z otvorených vodných plôch (> 6 m) v intervale 9.4 - 18.9 kg N₂O ha/rok. Pre Slovensko sme odhadli emisiu z 91 5725 ha vodných plôch [22] na 1 281,35 Mg N₂O /rok. Z lesných pôd a lúk bola odhadnutá emisia 2 395 Mg N₂O /rok.

4.5 Celkové emisie

Na základe súčasných poznatkov nevieme presnejšie stanoviť emisie oxidu dusného na Slovensku. Je to málo preskúmaná problematika a vyžaduje si špecializované štúdie pre jednotlivé okruhy zdrojov. Zvláštnu pozornosť treba venovať emisiám vznikajúcim pri poľnohospodárskych aktivitách ako najvýznamnejšiemu antropogénemu zdroju N₂O.

Podľa vypočítaných hodnôt sa emisie N₂O na našom území pohybujú okolo 22 Gg/rok, čo sa pri porovnaní s ostatnými európskymi krajinami javí ako vcelku realistický odhad.

Tab. 4.4 Celkové emisie N₂O

SR 1990

Kategória zdroja	emisia (Mg/rok)
poľnohospodárstvo	14 615
doprava	187
energetika	3 546
nepoľnohosp. pôdy	3 676
iné	65
Spolu	22 089

5. ZÁVER

Vzhľadom na široký okruh problémov, ktoré bolo potrebné riešiť pri spracovávaní inventarizácie skleníkových plynov, nebolo možné pri súčasných obmedzených finančných a kapacitných možnostiach vyčerpávajúcim spôsobom stanoviť ich emisie. Túto inventarizáciu možno považovať za vstupnú štúdiu do problematiky. Správa podáva základné informácie o zdrojoch a emisiách skleníkových plynov v SR.

Boli stanovené celkové emisie CO₂, CH₄ a N₂O (tab.5.1) na Slovensku pre rok 1990 s odhadovanou presnosťou ± 20 % pre CO₂, pri CH₄ a N₂O je rozptyl ešte väčší. Pre jednotlivé plyny sme identifikovali najvýznamnejšie antropogénne zdroje v našich podmienkach. V budúcnosti bude nevyhnutné s aktívnou spoluprácou expertov z jednotlivých rezortov širšie rozpracovať jednotlivé okruhy problémov.

Emisie oxidu uhličitého pochádzajú hlavne z bodových zdrojov. 40 najväčších zdrojov produkuje 50 % emisií CO₂, z hľadiska metánu a N₂O sú veľké energetické komplexy menej významné (obr.5.1).

Na obr.5.2 je vidieť okresy s najvyššou emisiou skleníkových plynov. Pre CO₂ sú to Bratislava, Prievidza, Košice, Trebišov - regióny s vysokou koncentráciou priemyslu a s najväčšími elektrárnami. Emisie CH₄ a N₂O sú najvyššie v poľnohospodárskych okresoch, metán v oblastiach s veľkochovmi ošípanými a dobytkou. Vysoké emisie CH₄ v okrese Prievidza sú dôsledkom ťažby uhlia v tejto oblasti.

CO₂

Najvýznamnejším zdrojom CO₂ v našich podmienkach je energetika. V rámci tejto úlohy bola vypracovaná metodika výpočtu emisií, ktorá umožňuje s veľmi dobrou presnosťou stanoviť emisie CO₂ pri spaľovacích procesoch.

Nakoľko emisie CO₂ závisia v prvom rade od zloženia paliva, jediný spôsob ako dosiahnuť ich výrazný pokles je znížiť energetickú náročnosť hospodárstva. Určitým riešením môže byť zmena palivovej základne - prechod na plyn (nesie so sebou nárast emisií oxidov dusíka), jadrovú energetiku a zdroje obnoviteľnej energie.

CH₄

Pri bilanciách emisií metánu sú výsledky menej presné. Ukazujú sa tri významné okruhy zdrojov. Živočišna výroba, ťažba a transport plynu, skládky TKO. Všetky tri oblasti vyžadujú zapojenie odborných pracovníkov zo špecializovaných pracovísk (upresňovanie emisií, zabezpečenie kvalitných vstupných údajov).

Najefektívnejšie možno znižovať emisie metánu pri transporte a distribúcii plynu. Straty v našich rozvodných systémoch sú niekoľkonásobne vyššie, ako je štandard vo vyspelých krajinách. Emisie zo živočišnej výroby pri súčasnom znižovaní stavu dobytku už postupne klesajú, napriek tomu treba tejto oblasti venovať pozornosť.

N₂O

Stanovené emisie N₂O možno považovať naozaj len za rámcové. Najväčší antropogénny zdroj bude zrejme poľnohospodárstvo a manipulácia s odpadovými vodami.

Zníženie emisií je možné dosiahnuť obmedzovaním aplikácie hnojív na čo najnižšiu mieru a minimalizáciou devastácie pôdy. Ďalej tu platí to isté čo pre emisie CO₂ - znižovať spotrebu energie.

Ukazuje sa, čo sa týka emisií skleníkových plynov, že vystupujú tu do popredia významné "nové" zdroje znečisťovania ovzdušia.

*** Poľnohospodárstvo - živočišna výroba

- aplikácia hnojív

*** Manipulácia s odpadmi - TKO (tuhý komunálny odpad)

- odpadové vody

- priemyselné haldy

*** Ťažba a transport palív - rozvodné siete

- zásoby palív

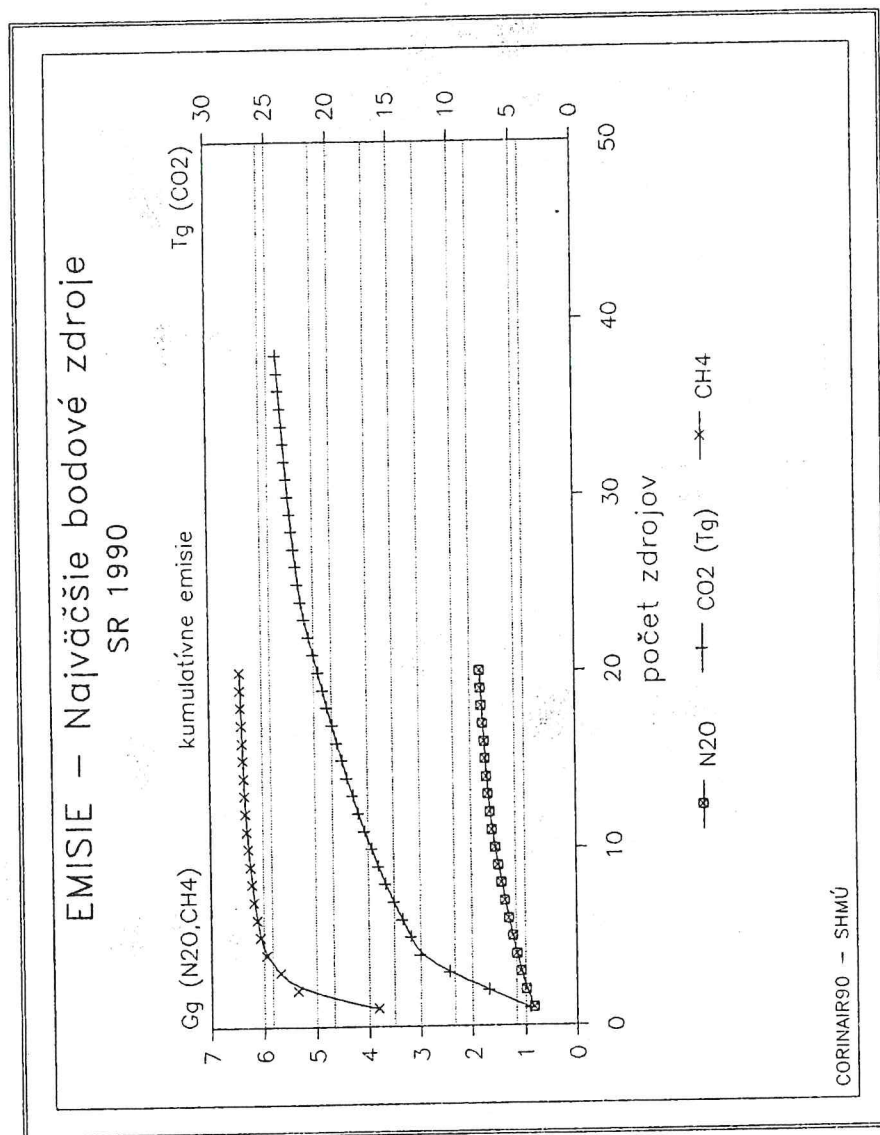
Bolo by veľmi žiadúce, aby boli vytvorené legislatívne nástroje, ktoré by ukladali týmto znečisťovateľom povinnosť monitorovať a hlásiť tieto zdroje úradom ŽP, prípadne iným k tomu určeným organizáciám.

Tab. 5.1. Celkové emisie skleníkových plynov (CORINAIR)

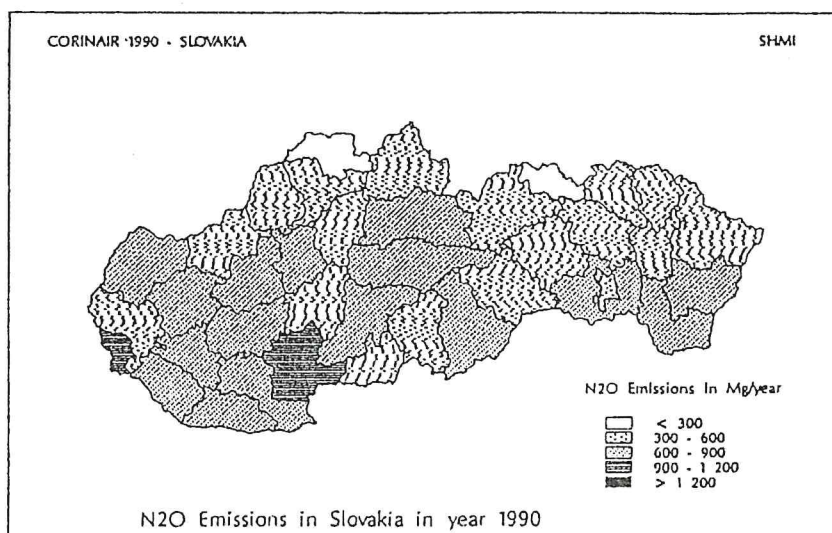
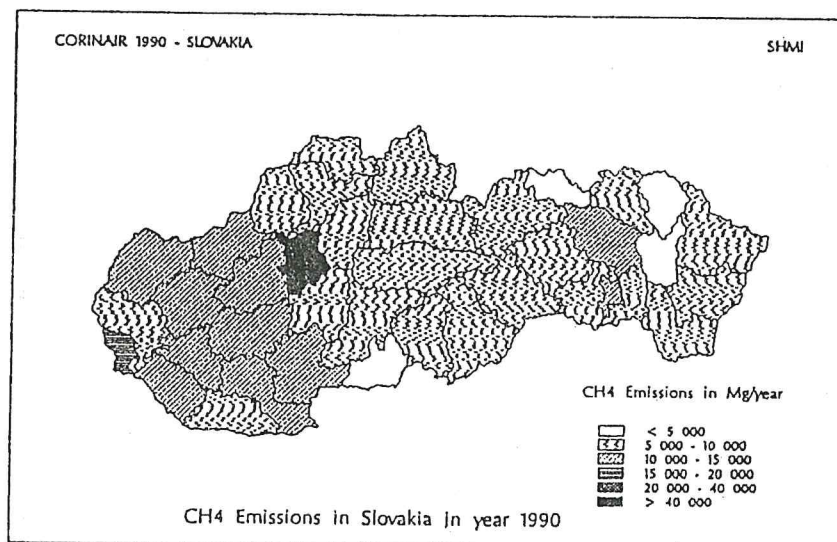
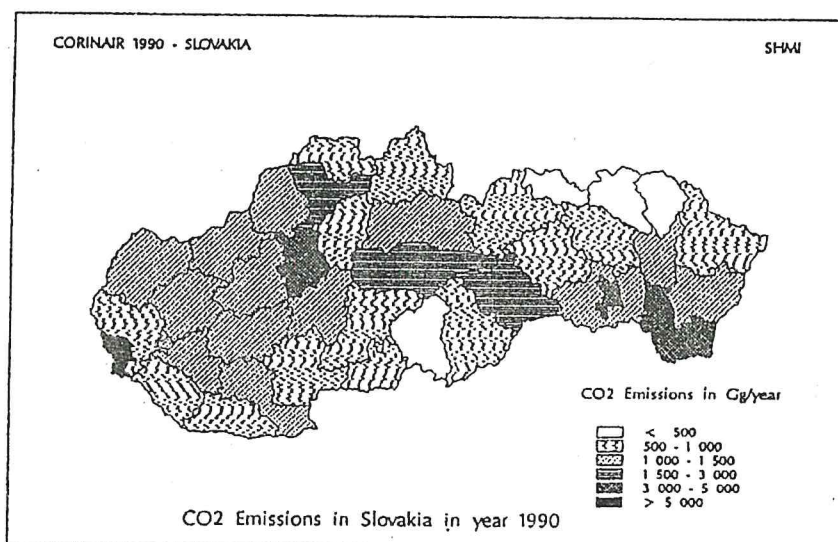
SR 1990

	celková emisia (Gg)	Mg/obyv.	Mg/km ²
oxid uhličitý	50 809,0	10,67	1 036,2
metán	366,416	0.073	7,47
oxid dusný	22,089	0.004	0,45

V súčasnosti pripadá na obyvateľa zemegule emisia asi 4 t CO₂ za rok. Slovensko patrí, približne s desiatimi (dvanástimi) tonami CO₂ na obyvateľa za rok, medzi krajiny s najvyššou produkciou skleníkových plynov na hlavu vo svete.



Obr. 5.1



Obr. 5.2

LITERATÚRA

- [1] Balajka, J. a kol. 1993. Emisné faktory v energetike. [Priebežná správa.] Profing.
- [2] Bouwman, A.F. 1993. The Global Source Distribution of Nitrous Oxide. in ako [3].
- [3] Craig, E. and all. 1993. Methan Emissions from Oil and Natural Gas Systems. IPCC Workshop, Amersfoort.
- [4] Crutzen, P.J. and all. 1986. Methan Production by Domestic Animals, Wild Ruminants, Other Herbivorous Fauna and Humans. Tellus 36B: 271-284.
- [5] Default Emission Factors Handbook. 1992. CITEPA under the contract of the CEC-DG XI.
- [6] Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks. 1991. Final Report from the OECD Experts Meeting.
- [7] Faith, P. a kol. 1992. Spracovanie podkladov pre výpočet emisií z cestnej premávky. [Priebežná správa pre MŽP SR.]
- [8] Jílek, P. 1992. Předběžná bilance emisi oxidu uhličitého a hlavní strategické směry jejich snižování v čs. podmínkách. [Správa pre FVŽP ČSFR.]
- [9] Lelieveld, J., Crutzen, P. 1993. Methan Emissions into the Atmosphere an Overview, p.17-25, Methan and Nitrous Oxide, IPCC Workshop, Amersfoort.
- [10] Lomecký, A. 1992. Ztráty plynu - bilanční rozdíly v ČPP, s.p., Praha, Plyn 72/5 s.139-141.
- [11] Marečková, K. 1994. CORINAIR 90 Emissions Inventory for Slovakia. Final Report. SHMI, Bratislava.
- [12] Mindáš, J., Štrba, S. 1993. Bilancia emisií vybraných plynov pri lesných požiaroch na Slovensku v rokoch 1990 a 1992.
- [13] Mindáš, J., Štrba, S. 1994. Fixácia a bilančné zmeny kolobehu uhlíka v lesných ekosystémoch Slovenska.
- [14] Nevolova H. 1991. Statistika čs. plynárenství za rok 1990. Plyn, 12/91. s.422-453.
- [15] Pintér, J. a kol. 1992. Emisie zo železničnej a vodnej dopravy. [Správa pre MŽP SR.] VÚDI Žilina.
- [16] Preliminary IPCC National GHG Inventories: In-Depth Review, Part I, II, III. IPCC/OECD Workshop on National GHG Inventories: Transparency in Estimating and Reporting, Bracknell, UK, october 1992.
- [16a] IPCC Draft Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume I, II, III. 1994.
- [17] Preliminary Assessment of Implementation of FCCC Comitments in the Slovak Republic. 1994 Správa MŽP SR.
- [18] Pretel, J. 1992. Strategie snižování emisi metanu a pokus o predbežnou bilanci. [Správa za projekt MŽP ČR B 2.10 01.]
- [19] Radwanski, E. a all. 1992. The GHG,s Inventory for 1988 Year in Poland. Final Report. Polish FEWE.
- [20] Ripdal, K. 1992. Emmissions of Greenhous Gases in Norway - 1989; National version versus IPCC estimation method. SFT Report No.92:29.
- [21] Schön, M. u.kol. 1993. Antropogene N₂O- und CH₄-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland, Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Forschungsbericht 93-10402682.
- [22] Štatistická ročenka SR 1990.
- [23] Životní prostředí. 1991. Statistické informace.
- [24] Bouscaren, R.M. a all. 1987. European Inventory of Emissions of Pollutants in to the Atmosphere. CITEPA-053-13/05/91.
- [25] Samaras, Z., Zierock, K.-H. et all. 1992. Computer Program to Calculate Emissions from Road Traffic. Publication of EC.
- [26] Veldt, C. 1991. Development of EMEP and CORINAIR emission factors and species profiles for emissions of organic compounds. TNO. Draft Report. The Netherland.

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

**NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC**

**ZMENY ODTOKOV
NA SLOVENSKÝCH TOKOCH**

Riešitelia:	RNDr. Oľga Majerčáková, CSc., Pavol Šedík, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
Projekt:	MŽP SR Výskum zmien kvality ovzdušia, klimatické zmeny a narušovanie ochranných vlastností atmosféry - NKP SR
Zadávatel:	MŽP SR
Lektor:	Ing. Viliam Novák, DrSc., Ústav hydrológie a hydrauliky SAV, Bratislava

The Runoff Change of the Slovak Rivers

Oľga Majerčáková & Pavol Šedík

Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia

ABSTRACT

In this article we present the evaluation of the runoff change of the Slovak rivers. For the solution the discharge series since 1931 were considered. The discharges were selected as the most suitable hydrological data for the programme of the potential climate change impacts on the hydrosphere.

The selection of water gauging stations (which have the discharge series with the required quality) is described in the first part. Then the reliability of series was checked by the application of statistical tests (hydrological data homogeneity testing).

The used tests are as follows: Student, Bartlett, Kruskal-Wallis, Abbe criterion and Spearman rank-correlation method.

The first three tests belong to the tests of good correspondence; the next two belong to the tests of systematic effects on hydrological data homogeneity.

Final selection of the discharge series was made according to:

- * Results of data sets homogeneity testing. The data sets tested there are: mean annual, monthly and seasonal flows.
- * "History" of the human activities in the corresponding basins. We have recommended 36 discharge stations for the climate change impacts analysis (Table 1).

The second part of the presented article is dealing with the evaluation of the runoff change. The analysis is based on the homogeneity testing, on the graphical interpretation of series (moving averages and linear trends) and on the comparison of long-term means of annual (monthly) flows from different periods (1931 - 1960, 1961 - 1990, 1981 - 1990, 1931 - 1990) with the means of annual (monthly) flows from the period 1931 - 1980. This period is used as the reference one in the Slovak hydrology.

Mean discharges have decreased in the last years (mainly after 1980). This decrease is different on the territory of Slovakia; the highest decrease has been observed in Southern and South-Eastern Slovakia (the basins: Ipeľ, Slaná and Bodva), rather lower decrease has been found in the central part of Slovakia (basins: Hron, Nitra, and upper Váh app. up to Liptovský Mikuláš), the smallest one has been found in North-Western Slovakia (Kysuca, Orava, middle Váh) and in North-Eastern Slovakia (basins Torysa and Topľa).

During the year the more significant decrease has been observed in November and next months of the autumn-winter season. The lowest decrease has been found in May and next months of the spring-summer season.

Interesting is the comparison of the long-term means of annual flows for two periods: 1931 - 1980 (the reference one) and 1931 - 1990. The decrease of the long-term means of annual flows for period 1931 - 1990 has exceeded the boundary of 5% in basins: Ipeľ, Slaná and Bodva.

List of Tables and Figures

Table 1. The basic physico-geographical and hydrological characteristics of the basins and water gauging stations included into NCP (No., Station, Stream, Data from, Area P [km²], Length of valley l [km], P/L², Forest cov. [%], Long-term mean discharge [m³.s⁻¹])

Tables 2., 3., 4. The basic statistical characteristics of discharge series (from basins according to the Table 1):

Table 2.: for the series of mean annual discharges

Table 3.: for the series of mean November discharges

Table 4.: for the series of mean May discharges

Tables 5., 6., 7. The results of the hydrological data homogeneity testing

Table 5.: the homogeneity testing of the mean annual discharges

Table 6.: the homogeneity testing of the mean November discharges

Table 7.: the homogeneity testing of the mean May discharges

(H0 sa prijíma = H0 is accepted)

(H0 sa zamietá = H0 is rejected)

Tables 8., 9., 10. The results of the linear trend application on discharge series

Table 8.: linear trends of mean annual discharges

Table 9.: linear trends of mean November discharges

Table 10.: linear trends of mean May discharges

Tables 11., 12., 13. The comparison of the long-term mean discharges of the period 1931 - 1980 and periods: 1931 - 1960, 1961 - 1990, 1981 - 1990, 1931 - 1990

Table 11.: long-term mean annual discharges

Table 12.: long-term mean November discharges

Table 13.: long-term mean May discharges

Table 14. The comparison of mean precipitation totals of the period 1931 - 1980 and periods 1931 - 1960, 1961 - 1990, 1981 - 1990 and 1931 - 1990

Figures 1., 2., 3. The course of moving averages (L = 11 years) of mean discharges in the basin Litava - Plášťovce

Figure 1.: mean annual discharges

Figure 2.: mean November discharges

Figure 3.: mean May discharges

Figures 4., 5., 6. The course of linear trends of the mean discharges in the basin Litava - Plášťovce

Figure 4.: mean annual discharges

Figure 5.: mean November discharges

Figure 6.: mean May discharges

ZMENY ODTOKOV NA SLOVENSKÝCH TOKOCH

Olga Majerčáková, Pavol Šedík
Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

1. ÚVOD

Na základe doterajších meraní a úvah v súvislosti s potenciálnymi klimatickými zmenami je veľmi pravdepodobné, že tieto zmeny svojimi účinkami zasiahnu ako jeden z prvých subsystémov hydrosféru a jej hydrologický cyklus.

Čo nás oprávňuje k takejto úvahe? Je známe, že na Slovensku nespádli od začiatku 80. rokov zrážky presahujúce ročnými úhrnmi dlhodobý priemer. Skôr platí opak, že veľká väčšina rokov bola zrážkovo pod normálom. V percentuálnom vyjadrení zrážkové deficity desaťročia 1981 - 1990 nepredstavujú v jednotlivých oblastiach Slovenska nejaké katastrofické čísla, avšak aj tieto relatívne menšie, ale temer celoplošné úbytky zrážok sa pomerne radikálne podpisujú na znížení odtoku z našich povodí. Pritom treba mať na zreteli, že zrážky (okrem alochtónneho Dunaja, ktorý len okrajovo zasahuje naše územie) sú jediný zdroj dopĺňania vodných zásob.

Hydrológia nemôže analyzovať, čo je príčinou viac ako desaťročného trvania zrážkového deficitu, ani prognózovať ďalší vývoj tejto situácie, avšak musí informovať, ako na tento fakt reaguje ďalšia zložka hydrologickej bilancie - odtok.

Na začiatku akýchkoľvek úvah, najmä však úvah o súčasných zmenách odtokov, resp. o zmenách v hydrologickom cykle v dôsledku možných klimatických zmien, stoja spoľahlivé údaje. Preto by sme sa najprv chceli zaoberať práve nimi.

Cieľom úvodných hydrologických projektov Národného klimatického programu SR bolo vybrať hydrologické rady, ktoré by slúžili hlavne pri sledovaní účinkov klimatických zmien na hydrologický režim a boli by východiskom pre prognózovanie možných hydrologických zmien. Súčasne cieľom týchto projektov bolo charakterizovať variabilitu vybraných radov počas sledovaného obdobia.

2. VÝBER HYDROLOGICKÝCH RADOV PRE KLIMATICKÝ PROGRAM

Slovenský hydrometeorologický ústav má v svojej správe hydrologický monitoring celého Slovenska. Je preto logickou požiadavka, aby aj Národný klimatický program (NKP) (pokým sa ním zaoberá ústav) pokrýval celé územie Slovenska a nesústredoval sa len na parciálne oblasti. Z tejto požiadavky, aj zo samotného projektu NKP, vyplynuli kritériá výberu monitorovacej siete povrchových vôd pre NKP*:

***Poznámka:** V tomto príspevku sa nezaobráme výberom monitorovacej siete podzemných vôd ani spracovaním a hodnotením údajov o podzemných vodách. To je predmetom ďalších úloh a projektov NKP.

1. Pre monitorovaciu sieť NKP sme vyberali vodomerné stanice tak, aby (ak je to možné) v nej boli zastúpené všetky hlavné povodia Slovenska: Morava, Dunaj, Váh, Nitra, Hron, Ipel', Slaná, Hornád, Bodva, Bodrog a Poprad.
2. Vyberali sa predovšetkým stanice s dlhými radmi pozorovaní (so začiatkom pozorovania aspoň od roku 1931, len výnimočne kratšie).
3. Stanice sa vyberali tak, aby uzatvárali povodia s plochami rozličných veľkostí, a aby povodia zastupovali rozličné fyzicko-geografické regióny.
4. Zvláštny dôraz sa kládol na pramenné oblasti, v ktorých je minimalizovaný vplyv ľudskej činnosti.
5. Pre projekt NKP sú dôležité tie vodomerné stanice, v ktorých doposiaľ nebolo ukončené pozorovanie, a kde je predpoklad, že budú monitorované aj v budúcnosti.
6. Rady pozorovaní z vybraných vodomerných staníc by okrem spomenutej dĺžky mali spĺňať aj ďalšie dve kvalitatívne požiadavky:
 - mali by byť dostatočne spoľahlivé
 - mali by mať vhodne volený časový krok.

V oblasti monitorovania povrchových vôd máme dva základné typy údajov: vodné stavy a prietoky.

Vodné stavy sú len relatívnymi hodnotami, treba ich uvažovať spolu s príslušnými mernými krivkami, a teda nie sú vhodným typom dát pre túto úlohu.

Pre NKP berieme do úvahy len prietoky, ktoré sú svojimi špeciálnymi vlastnosťami v hydrológii nezastupiteľné:

- * prietoky sú veličiny absolútne
- * integrujú hydrologickú odozvu príslušného povodia
- * vytvárajú sa zo zrážok, ktorých efektívna časť sa transformuje do troch zložiek odtoku: povrchového, podpovrchového a podzemného a ako ich súčet sa realizuje v záverečnom profile povodia
- * jednoduchým prepočtom (len so znalosťou veľkosti plochy príslušného povodia môžeme z nich stanoviť odtokové výšky, odtečené množstvá alebo špecifické odtoky)
- * odtoky sú jedným z troch hlavných komponentov rovnice hydrologickej bilancie a sú merané s najväčšou presnosťou
- * v hydrologickej praxi sa vyčísľujú s krokom jeden deň
- * prietoky reagujú na vstup do systému povodia bezprostredne alebo s oneskorením, ktoré je akceptovateľné.

V podstate temer žiadne iné merania prírodných prvkov nemajú súhrn týchto vlastností, hydrológia teda nemôže poskytnúť vhodnejší typ údajov na skúmanie klimatických zmien a ich účinkov, ako sú prietokové rady. V súvislosti s prietokmi je výhodná najmä ich "integrálna informačná hodnota".

Pod spoľahlivosťou radu rozumieme, že údaje, ktoré ich tvoria, sú kvalitné a reprezentatívne. V súvislosti s overovaním spoľahlivosti radov sa najčastejšie vyšetruje homogenita radov, ktorá najskôr môže byť ovplyvnená zmenou technológie merania alebo vyhodnocovania, ako aj výraznou zmenou technických alebo prírodných podmienok, za ktorých sa hydrologický proces realizuje. Homogenita sa teda vo všeobecnosti chápe ako zachovanie informačnej hodnoty v čase.

Pretože pojem homogenity sa často zamieňa s nestacionaritou radov, ďalej sme za východisko prijali posledné práce Benického [1, 2]. Hoci autor obidva pojmy diferencuje, vo svojich prácach tiež uvádza, že pri použití štatistickej analýzy sú nerozlišiteľné.

To znamená, že pri identifikácii nehomogenity nemôžeme priamo hodnotiť jej príčiny, teda či ide o dôsledok nepresnosti merania, náhodnej fluktuácie, zmenených podmienok pri realizácii náhodného procesu, alebo o nestacionaritu procesu. Systematický výskyt nehomogenity možno však, podľa autora, považovať za príznak nestacionarity.

Výsledky testovania homogenity môžu byť, hlavne z pohľadu klimatického programu, paradoxné. Veľmi zjednodušene povedané, na jednej strane máme snahu vylúčiť rady ovplyvnené nekvalitným meraním a spracovaním alebo lokálnou antropogénnou činnosťou (napríklad hydrotechnickými zásahmi v povodí), na strane druhej v centre pozornosti zvlášť klimatického programu sú rady (možno) ovplyvnené kolísaniami a zmenami klímy.

Využitie výsledkov testovania homogenity pri overovaní spoľahlivosti hydrologických radov je teda možné len spolu s ďalšími informáciami. Tie nám poskytol paralelne bežiaci projekt [11], v ktorom sa popisuje história povodí z hľadiska antropogénnej činnosti.

Pri výbere vhodných staníc pre NKP sme teda do úvahy vzali:

- výsledky testovania homogenity prietokových radov priemerných ročných, mesačných, sezónnych (dva polroky a štyri štvrtroky)
- výsledky projektu [11].

Po určitom kompromise, ktorý spočíval medzi požiadavkou na "čistú" históriu z hľadiska ľudského zásahu do povodia a požiadavkou na čo najväčší počet prietokových radov pre NKP, odporúčame pre klimatický program 36 prietokových radov z vodomerných staníc uvedených v tabuľke 1. (Pôvodne sme brali do úvahy 64 radov, neskôr bol počet redukovaný na 50 a konečné odporúčanie je 36 radov.)

V tabuľke 1 okrem základných informácií o vodomerných staniaciach (číslo, názov stanice, tok) uvádzame aj ďalšie charakteristiky, a to plochu povodia, súčiniteľ tvaru povodia, dĺžku údolia, lesnatosť a priemerný prietok za celé sledované obdobie.

2.1. Testovanie homogenity

Na testovanie homogenity sme použili 5 testov: Studentov (S), Bartlettov (B), Kruskal-Wallisov (K-W), Abbeho kritérium (A) a Spearmanovu korelačnú metódu (Sp).

Prvé tri (S, B a K-W) patria do skupiny testov dobrej zhody a testujú dva alebo viac výberov. Požadované delenie sme zabezpečili jednotné na dve rovnaké časti: 1931 - 1960 a 1961 - 1990.

Pre testovanie stredných hodnôt sa použil Studentov parametrický test, ktorého nulová hypotéza je: stredná hodnota prvého podsúboru sa rovná strednej hodnote druhého podsúboru.

Pre testovanie zhody rozptylov sa použil Bartlettov test s nulovou hypotézou: rozptyl prvého podsúboru sa rovná rozptylu druhého podsúboru.

Pre testovanie zhody distribučných funkcií sa použil Kruskal-Wallisov test s nulovou hypotézou: distribučná funkcia prvého podsúboru sa rovná distribučnej funkcii druhého podsúboru.

Hodnotenie nestacionarity, ktorá je definovaná podľa [1] ako systematický výskyt nehomogenity, sme robili pomocou ďalších dvoch testov (A a Sp). Tieto testy analyzujú rady ako celky a odhaľujú potenciálne trendy v časových radoch.

Abbeho kritérium je parametrický test a nulovú hypotézu možno vyjadriť: prvky časového radu sú navzájom nezávislé a stredné hodnoty všetkých realizácií a stredná hodnota radu sú zhodné, pričom každý prvok radu sa považuje za realizáciu samostatného výberu.

Spearmanova korelačná metóda je párový neparametrický test aplikovaný na vyšetrovaný rad a časový (indexový) rad a vyjadruje ich vzájomnú koreláciu. Nulovú hypotézu možno vyjadriť: neparametricky stanovený koeficient korelácie medzi indexovým a vyšetrovaným radom je nevýznamný.

Všetkých 5 testov sme robili pre dve hladiny významnosti: 1 a 5 %. Časť výsledkov testovania homogenity pre 36 odporučených radov uvádzame v tabuľkách 5, 6 a 7. Výsledky sú vyjadrené slovne: pri prijatí nulovej hypotézy - H_0 sa prijíma; pri jej zamietnutí - H_0 sa zamietá.

V tabuľke 5 sú výsledky testovania priemerných ročných prietokov, v tabuľke 6 priemerných novembrových prietokov a v tabuľke 7 priemerných májových prietokov. Informácie dopĺňame tabuľkami 2, 3 a 4, kde sú uvedené základné štatistické charakteristiky testovaných radov: minimálna a maximálna hodnota radu, priemer, rozptyl, koeficient variácie a asymetrie a autokorelačný koeficient prvého rádu.

3. ZMENY ODTOKOV VO VODOMERNÝCH STANICIACH NKP

Pri analýze variability prietokových radov v sieti vodomerných staníc NKP sme využili:

- opísané testy homogenity
- dve grafické interpretácie (vhodné pre posúdenie vnútornej štruktúry, resp. vývoja časových radov):
 - a) kľzavé priemery (ktoré sú najjednoduchším prípadom nízko-frekvenčných filtrov, to znamená, že potláčajú kratšie periód a zvyrazňujú dlhšie periód)
 - b) lineárne trendy, ktoré na vyšetrovanom rade umožňujú na rozdiel od cyklických a sezónnych zložiek vyznačiť trend
- porovnanie dlhodobých priemerných hodnôt za jednotlivé obdobia pre stanovenie ich vývoja v čase.

Výsledky grafického spracovania radov uvádzame na príklade vodomernej stanice Plášťovce na toku Litava (povodie Ipľa). Na obrázkoch 1, 2 a 3 sú kľzavé priemery priemerných ročných, novembrových a májových prietokov; na obrázkoch 4, 5 a 6 sú lineárne trendy priemerných ročných, novembrových a májových prietokov.

Matematické vyjadrenie lineárnych trendov pre všetkých 36 vodomerných staníc spolu so slovným hodnotením významnosti trendu pre priemerné ročné, novembrové a májové prietokové rady je v tabuľkách 8, 9 a 10.

Porovnanie priemerných prietokov za zvolené obdobia (1931 - 1960, 1961 - 1990, 1981 - 1990, 1931 - 1990) s prietokmi za referenčné obdobie, ktoré používa slovenská hydrológia, t.j. za obdobie 1931 - 1980 pre ročné, novembrové a májové prietoky, je v tabuľkách 11, 12 a 13. V tabuľke 14 je doplnková informácia o priemerných ročných zrážkových úhrnoch pre tie isté obdobia, ako sú vybrané pre prietoky. Údaje o zrážkach sú z 29 zrážkomerných staníc z celého územia Slovenska.

3.1. Hodnotenie výsledkov

Testy homogenity, kľúčové priemery a trendová analýza nás, ako prvé upozornili na výrazné znižovanie vodnosti na slovenských tokoch, a to v jesenno-zimnom období, pričom najvýraznejším mesiacom je november. Najmenej, resp. vôbec nebola znižovaná vodnosť v máji a len čiastočne v ďalších jarno-letných mesiacoch.

Na potvrdenie uvedených skutočností uvádzame v prehľade sumárny výsledok z testovania homogenity a aplikácie lineárnych trendov. V prehľadnej tabuľke je pre jednotlivé testy a lineárny trend (na hladine významnosti 5 %) uvádzaný počet prípadov (z 36 vodomerných staníc) v %, kedy nulové hypotézy boli zamietnuté - t.j. kedy rady neboli homogénne a lineárny trend bol významný.

Obdobie	Testy					Lineárny trend
	S	B	K-W	A	Sp	
Rok	17	8	28	36	28	11
November	44	83	39	44	78	33
December	19	14	25	14	33	7
Január	19	47	22	11	22	8
Február	8	39	25	3	22	3
Marec	3	44	8	3	14	5
Apríl	0	6	3	6	0	0
Máj	0	0	3	0	3	1
Jún	3	25	11	11	3	0
Júl	8	58	17	19	14	1
August	11	25	17	17	17	3
September	8	47	14	19	17	6
Október	0	86	19	0	22	0

Z prehľadu vyplýva, že na testovanie homogenity najcitlivejšie reagujú rozptyly mesačných radov (Bartlettov test), pričom však rady priemerných ročných prietokov sú z tohto pohľadu najstabilnejšie. Tento efekt zrejme môže spôsobovať fluktuácia klimatických prvkov počas roka; v rámci celého roka tento efekt je minimalizovaný.

Ostatné testy (S, K-W, A, Sp), ako aj lineárny trend, reagujú dost podobne aj keď s rozdielnou citlivosťou. Po určitom veľmi hrubom zjednodušení by sme mohli konštatovať, že počas roka sú najmenej homogénne mesiace jesenno-zimné, najmä november. Tieto mesiace majú tak výraznú nehomogenitu, že zrejme dokáže v niektorých prípadoch ovplyvniť nehomogenitu aj priemerných ročných prietokov. Predpokladáme, že táto skutočnosť súvisí so zmenou zrážkových pomerov (zníženie zrážok v letnom a jesennom období).

Temer nulová alebo minimálna nehomogenita v mesiacoch marec - jún nasvedčuje, že vplyv na nehomogenitu radov s veľkou pravdepodobnosťou nemá ľudská aktivita v povodí. Tieto rady sú z aspektu lokálnej antropogénnej činnosti spoľahlivé a pre ciele NKP vhodné.

Podobné závery možno robiť aj z tabuliek porovnania priemerných prietokov a zrážok za vybrané obdobia.

Určiť obdobie, kedy nastupuje znížená vodnosť na našich tokoch, by bolo možné napríklad aplikáciou testov homogenity "kľúčovým spôsobom", resp. aplikáciou kľúčových priemerov rôznych dĺžok. Pri hromadnej analýze 36 vybraných radov na Slovensku, by sme sa dostali k obrovskému počtu výsledkov, čo by enormne sťažilo analýzu. Preto sme vychádzali skôr

z logiky javu, že od roku 1980 pozorujeme zrážkovo podnormálne roky. Sústredili sme sa teda na desaťročie 1981 - 1990, kedy znižovanie prietokov je evidentné. Ani situácia po roku 1990 nie je priaznivejšia, skôr naopak; s mimoriadnym suchom sme sa napríklad stretli v roku 1993 v povodí Ipľa [10].

Znižovanie prietokov na našom území je diferencované. Najviac sú zasiahnuté povodia Ipľa, Slanej a Bodvy. Za nimi nasleduje povodie Hrona, potom Nitry, Popradu a horného Váhu zhruba po Liptovský Mikuláš. Najmenej zasiahnuté sú povodia severozápadného Slovenska (Orava, Kysuca a stredný Váh) a severovýchodného Slovenska (Torysa, Topľa).

Žiaľ, pre podrobnejšiu regionalizáciu tohto javu nám chýbajú údaje najmä z povodia Bodrogu a Hornádu.

Rôzne prejavy znižovania prietokov sú aj v priebehu roka. Najvýraznejšie sa prejavuje november, zatiaľ čo v máji výrazné zmeny nepozorujeme. Čo je však prekvapujúce, ani október (susediaci s novembrom) nevykazuje výraznejšie zmeny vodnosti. Výrazné sú len hodnoty Bartlettovho testu na testovanie zhody rozptylov, kedy až 86 % októbrových prietokových radov je nehomogénnych.

Z rozboru je však evidentné, že mnohé z radov sú výrazne nestacionárne (v sledovanom období 1931 - 1990), čo vyžaduje zmenu filozofie posudzovania týchto radov a odvodzovania dlhodobých charakteristík z nich.

Zmena jednej z najpoužívanějších a najstabilnejších hydrologických charakteristík, t.j. dlhodobých priemerných ročných prietokov za obdobie 1931 - 1990 oproti referenčnému obdobiu 1931 - 1980, presahuje 5 % hranicu v troch povodiach: Ipel', Slaná, Bodva.

4. ZÁVER

Pre Národný klimatický program SR do konečného výberu odporúčame 36 vodomerných staníc z celého územia Slovenska, ktoré majú pozorovania aspoň od roku 1931. Výnimkou je len Nižný Medzev - Bodva, ktorý má pozorovania od roku 1941. Aj keď odporúčané stanice majú niektoré rady ročných a mesačných prietokov podľa testov nehomogénne, zrejme ide o ich nestacionaritu (čomu by nasvedčovala minimálna nehomogenita radov ďalších, najmä jarných mesiacov). To znamená, že charakter radov neoplyvňuje antropogénna činnosť v povodí alebo technológia ich získavania, ale prírodné podmienky, za ktorých sa hydrologický proces realizuje. Rady sú teda, podľa nášho názoru, vhodné pre program sledovania možných účinkov klimatických zmien na hydrologický režim.

Hodnotenie zmien prietokov na našom území je robené od roku 1931 po súčasnosť. Prognózovanie ďalších možných zmien odtoku, ktorý predstavuje jednu z troch základných zložiek hydrologickej bilancie, z pohľadu potenciálnych klimatických zmien vyžaduje vytvorenie vhodného aparátu; ako najvhodnejší prostriedok riešenia sa dnes prijíma bilančný prognostický model so vstupmi zrážok a teplôt. Ich možné zmeny sú totiž riešené v klimatických scenároch. Tvorba takéhoto modelu pre naše podmienky je zrejme najbližšia úloha slovenských hydroológov zaoberajúcich sa účinkami klimatických zmien.

Zoznam vodomerých staníc so základnými charakteristikami

P.č.	Číslo stanice	Stanica	Tok	Pozoruje Q od roku	Plocha povodia	Dĺžka údolia	p/L ²	Lesnatosť	Q _a
1.	5040	Moravský Ján	Morava	1922	24 129.30	260.4	0.36	30	107.753
2.	5140	Bratislava	Dunaj	1901	131 331.10	-	-	-	2 043.270
3.	5330	Východná	Biely Váh	1923	105.64	18.8	0.28	30	1.600
4.	5340	Kráľova Lehota	Boca	1931	116.60	18.3	0.35	80	2.109
5.	5400	Podbanské	Belá	1928	93.49	16.0	0.36	30	3.494
6.	5550	Liptovský Mikuláš	Váh	1921	1 107.21	58.8	0.32	60	20.586
7.	5740	Podsuchá	Revúca	1928	217.95	-	-	60	4.794
8.	5790	Ľubochňa	Ľubochňanka	1931	118.48	24.0	0.21	90	2.371
9.	6130	Martin	Turiec	1931	827.00	59.6	0.23	60	10.363
10.	6180	Čadca	Kysuca	1931	492.54	-	-	50	8.415
11.	6200	Kysucké Nové Mesto	Kysuca	1931	955.09	57.6	0.29	50	16.377
12.	6300	Poluvsie	Rajčianka	1931	243.60	12.5	0.16	60	3.693
13.	6690	Biskupice	Bebrava	1931	312.60	29.4	0.36	50	2.165
14.	6730	Nitrianska Streda	Nitra	1931	2 093.71	78.7	0.33	50	14.949
15.	6950	Zlatno	Hron	1931	79.28	13.8	0.44	60	1.471
16.	7015	Brezno	Hron	1931	582.08	51.7	0.22	60	7.809
17.	7045	Hronec	Čierny Hron	1931	239.41	23.5	0.43	80	3.019
18.	7060	Bystrá	Bystrianka	1931	36.01	12.0	0.25	80	0.964
19.	7065	Myto pod Ďumbierom	Štiavnička	1931	47.10	10.9	0.40	80	1.108
20.	7070	Dolná Lehota	Vajskový potok	1931	53.02	15.0	0.24	70	1.413
21.	7145	Staré Hory	Starohorský p.	1931	62.61	12.1	0.39	70	1.443
22.	7160	Banská Bystrica	Hron	1931	1 766.48	100.5	0.18	60	26.883
23.	7290	Brehy	Hron	1931	3 821.38	181.4	0.12	50	48.137
24.	7440	Holiša	Ipeľ	1931	685.26	56.1	0.22	30	3.257
25.	7480	Lucenec	Krivánsky p.	1931	204.50	35.0	0.17	40	1.395
26.	7580	Plášťovce	Krupinica	1931	302.79	54.5	0.10	40	1.910
27.	7600	Plášťovce	Litava	1931	214.42	43.9	0.11	30	1.175
28.	7660	Dobšiná	Dobšinský p.	1931	31.97	11.5	0.24	50	0.579
29.	7730	Štítnik	Štítnik	1931	129.63	18.1	0.39	40	1.485
30.	7860	Lehota nad Rimavicou	Rimavica	1931	148.95	29.6	0.17	30	1.596
31.	8080	Poprad-Matejovce	Poprad	1931	311.10	33.8	0.27	40	4.276
32.	8180	Spíšská Beľá-Strážky	Poprad	1931	670.11	48.9	0.28	40	8.388
33.	8320	Chmeľnica	Poprad	1931	1 262.41	85.2	0.17	40	15.555
34.	8870	Košické Oľšany	Torysa	1931	1 298.30	116.4	0.09	30	7.879
35.	8970	Nížny Medzev	Bodva	1941	90.15	13.5	0.49	80	0.839
36.	9500	Hanušovce	Topľa	1931	1 050.05	84.6	0.15	50	8.431

SEZONNE OBDOBIE: 11. 10. OBDOBIE: 1931 1990

RAD	STANICA:	TOK:	EXTREMNE HODNOTY		CHARAKTERISTIKY		S:	CV:	CS:	AUTOKORELACIA R 1:
			X MIN:	X MAX:	X PRIEH:	X PRIEH:				
5040	moravsky jan	morava	44.797	259.118	110.824	2047.510	41.562	.375	.960	.396433
5140	bratislava	dunaj	1434.457	2982.460	2047.510		350.360	.171	.370	.156476
5330	vychodna	biely vah	.970	2.526	1.593		.372	.233	.307	-.034149
5340	kratova lehota	boca	1.081	3.839	2.124		.617	.290	.847	.034078
5400	podbanske	bela	1.859	5.154	3.490		.718	.206	.415	-.117662
5550	liptovsky mik	vah	12.988	30.691	20.688		4.495	.217	.423	-.026329
5740	podsucha	revuca	2.110	7.874	4.831		1.164	.241	.430	.250317
5790	lubochna	lubochnianka	1.335	3.298	2.385		.438	.183	-.229	.090999
6130	martin	turiec	5.635	16.481	10.460		2.394	.229	.255	.170189
6180	cadca	kysuca	4.397	11.707	8.468		1.634	.193	-.407	-.077481
6200	kysucke nove	kysuca	8.558	23.868	16.467		3.312	.201	-.155	-.026869
6300	poluvsie	rajcianka	1.582	5.711	3.721		.938	.252	-.040	.133134
6690	biskupice	bebrava	.607	4.066	2.202		.760	.345	.177	.330054
6730	nitrianska st	nitra	5.233	25.721	15.083		4.791	.318	.217	.288855
6950	zlatno	hron	.720	3.273	1.485		.493	.332	1.059	-.235944
7015	brezno	hron	3.487	15.473	7.855		2.405	.306	.673	.027745
7045	hronec	cierny hron	1.091	5.514	3.032		.999	.329	.237	.171831
7060	bystra	bystrianka	.579	1.721	.971		.283	.291	.597	.348085
7065	myto pod dumb	stlavnicka	.429	1.779	1.115		.272	.244	.133	.081299
7070	dolna lehota	vajskovsky potok	.748	2.657	1.418		.366	.258	.816	-.003125
7145	stare hory	starohorsky potok	.772	2.247	1.460		.402	.276	.211	.382255
7160	banska bystri	hron	12.929	46.222	27.010		7.306	.271	.357	.084760
7290	brehy	hron	20.268	83.897	48.434		14.155	.292	.299	.119974
7440	holisa	ipel	.629	7.068	3.280		1.667	.508	.712	.379347
7480	lucenec	krivansky potok	.249	4.019	1.400		.808	.577	1.095	.258685
7580	plastovce	krupinica	.440	4.531	1.937		1.015	.524	.824	.366408
7600	plastovce	litava	.222	2.682	1.193		.645	.540	.773	.391170
7660	dobsina	dobsinsky potok	.242	1.222	.586		.226	.387	.665	.558514
7730	stitnik	stitnik	.589	3.352	1.500		.711	.474	1.187	.430325
7860	lehota nad ri	rimavica	.622	3.085	1.604		.627	.391	.521	.153421
8080	poprad-matejo	poprad	2.753	6.972	4.296		.967	.225	.735	.096872
8180	spisska bela-	poprad	5.427	13.300	8.417		1.899	.226	.528	-.072266
8320	chmetnica	poprad	9.468	25.806	15.622		4.015	.257	.585	-.111659
8870	kosicke olsan	torysa	3.191	15.120	7.918		2.857	.361	.620	.089733
8970	medzev-nizny	bodva	.214	1.577	.850		.365	.430	.393	-.001921
9500	hanusovce nad	topla	3.403	16.579	8.473		2.813	.332	.593	.058412

SEZONNE OBDOBIE: 11. 11. OBDOBIE: 1931 1990

RAD		EXTREMNE HODNOTY		CHARAKTERISTIKY		AUTOKORELACIA	
STANICA:	TOK:	X MIN:	X MAX:	X PRIEM:	S:	CV:	R 1:
5040 moravsky jan	morava	26.307	555.567	88.327	78.925	.894	.200077
5140 bratislava	dunaj	814.333	2958.967	1482.332	515.664	.348	-.152214
5330 vychodna	biely vah	.524	3.257	1.278	.585	.458	.252368
5340 kralova lehot	boca	.426	6.527	2.075	1.491	.718	.154678
5400 podbanske	bela	.774	6.807	2.321	1.207	.520	.340932
5550 liptovsky mik	vah	6.295	52.467	16.943	9.841	.581	.254300
5740 podsucha	revuca	.929	16.687	4.822	3.062	.635	.262044
5790 lubochna	lubochnianka	.897	6.927	2.177	1.038	.477	-.000135
6130 martin	turie	3.862	30.637	9.602	5.136	.535	.166217
6180 cadca	kysuca	.761	23.763	6.845	4.696	.686	.081490
6200 kysucke nove	kysuca	1.608	42.670	13.272	8.940	.674	-.002857
6300 poluvsie	rajcianka	.743	12.018	3.387	2.280	.673	.156174
6690 biskupice	bebrava	.476	6.400	1.813	1.344	.742	.345786
6730 nitrianska st	nitra	3.947	48.597	12.786	9.316	.729	.294318
6950 zlatno	hron	.317	5.271	1.414	1.109	.784	.110330
7015 brezno	hron	1.788	22.247	7.030	5.259	.748	.055817
7045 hronec	cierny hron	.588	8.230	2.559	1.873	.732	.124016
7060 bystra	bystrianka	.190	1.860	.811	.430	.531	.125027
7065 myto pod dumb	stiavnicka	.253	2.967	.954	.558	.585	.368979
7070 dolna lehota	vajskovsky potok	.401	5.283	1.290	.937	.726	.317175
7145 stare hory	starohorsky potok	.246	3.564	1.338	.750	.561	.320161
7160 banska bystri	hron	7.291	68.020	24.669	16.072	.652	.208891
7290 brehy	hron	11.542	125.370	44.808	31.631	.706	.209594
7440 holisa	ipel	.349	15.027	3.265	3.606	1.105	.097277
7480 lucenec	krivansky potok	.139	5.423	1.440	1.552	1.078	.055932
7580 plastovce	krupinica	.069	9.587	1.939	2.312	1.192	.151115
7600 plastovce	litava	.069	7.795	1.225	1.584	1.293	.208639
7660 dobsina	dobsinsky potok	.114	1.941	.588	.440	.749	.245194
7730 stitnik	stitnik	.237	11.380	1.601	1.847	1.154	.010513
7860 lehota nad ri	rimavica	.257	7.037	1.559	1.441	.925	-.017098
8080 poprad-matejo	poprad	1.412	10.123	3.309	1.815	.548	.276862
8180 spisska bela-	poprad	2.265	15.047	6.102	3.105	.509	.135019
8320 chmelnica	poprad	3.843	30.983	11.479	7.034	.613	.143708
8870 kosicke olsan	torysa	1.488	26.920	6.148	5.867	.954	.021022
8970 medzev-nizny	bodva	.104	6.611	.803	1.059	1.318	-.101544
9500 hanusovce nad	topla	1.697	26.750	8.549	5.858	.895	-.038243

Tab. 4

SEZONNE OBDOBIE:		5.	5.	OBDOBIE:	1931	1990	CHARAKTERISTIKY			AUTOKORELACIA		
RAD	STANICA:	TOX:	EXTREMNÉ HODNOTY	X MIN:	X MAX:		X PRIEN:	S:	CV:	CS:	R	1:
5040	moravský jan	morava	35.539	1400.129	342.129		124.409	71.152	.572	1.474		.131799
5140	bratislava	dunaj			5283.323		2640.079	640.038	.242	1.172		-.065655
5330	vychodna	biely vah	.719		5.268		2.370	.982	.414	.615		-.005697
5340	kratova lehot	boca	.918		8.655		3.907		.436	.580		-.180741
5400	podbanske	bela	2.880		16.445		8.610	2.916	.339	.286		.004789
5550	liptovsky mik	vah	14.855		74.787		42.023	14.608	.348	.138		-.020678
5740	podsucha	revuca	2.372		14.278		7.630	2.988	.392	.049		.020795
5790	lubochna	lubochnianka	1.470		5.691		3.316	1.080	.326	.327		-.187244
6130	martin	turiec	5.077		24.655		12.414	4.533	.365	.879		-.193013
6180	cadca	kysuca	1.080		21.281		7.630	4.612	.604	.946		.051892
6200	kysucke nove	kysuca	2.128		40.048		14.824	8.764	.591	1.033		.000756
6300	poluvsie	rajcianka	.685		10.296		4.339	2.067	.476	1.210		.018603
6690	biskupice	bebrava	.554		7.765		2.199	1.330	.605	2.154		.069991
6730	nitranska st	nitra	4.313		41.048		16.119	8.162	.506	1.460		-.012435
6950	zlatno	hron	.648		5.929		2.428	1.230	.507	.900		.031821
7015	brezno	hron	3.067		27.183		12.292	6.072	.494	.656		-.014116
7045	hronec	cierny hron	.963		13.229		4.277	2.588	.605	1.424		-.013378
7060	bystra	bystrianka	.715		5.081		2.116	.964	.455	.834		.141914
7065	myto pod dumb	striavnica	.491		4.828		2.158	.906	.420	.552		-.098046
7070	dolna lehota	vajskovsky potok	1.046		6.567		2.954	1.229	.416	.641		-.141555
7145	stare hory	starohorsky potok	.829		3.902		2.038	.723	.355	.710		-.062084
7160	banska bystri	hron	13.406		81.106		42.643	17.766	.417	.366		-.096606
7290	brehy	hron	21.719		146.505		67.703	32.582	.481	.739		-.036046
7440	holisa	ipel	.361		17.161		3.705	3.239	.874	2.136		.152864
7480	lucenec	krivansky potok	.166		7.257		1.559	1.552	.995	2.047		.124140
7580	plastovce	krupinica	.246		8.502		1.955	1.922	.983	1.705		.191470
7600	plastovce	litava	.096		6.437		1.189	1.287	1.083	2.042		.076948
7660	dobsina	dobsinsky potok	.251		1.933		.803	.437	.544	1.086		.115908
7730	stitnik	stitnik	.354		7.990		2.022	1.498	.741	1.962		.147505
7860	lehota nad ri	rimavica	.227		7.765		1.997	1.478	.740	2.126		.029039
8080	poprad-matejo	poprad	2.922		16.455		7.085	2.311	.326	.943		.119487
8180	spisska bela-	poprad	5.152		30.168		13.721	4.727	.345	.608		.120009
8320	chmelnica	poprad	8.719		53.348		23.849	10.105	.424	.905		.111899
8870	kosicke olsan	torysa	2.315		36.939		9.600	6.615	.689	2.107		.197588
8970	medzev-nizny	bodva	.330		4.788		1.148	.811	.707	2.391		.030044
9500	hanusovce nad	topla	1.844		39.220		9.389	6.292	.670	2.181		-.100759

SEZONNE OBDOBIE:		11.	10.	OBDOBIE 1. VYBERU:		1931	1960	OBDOBIE 2. VYBERU:		1961	1990	KRUSKAL-WALL. TEST		TEST ALFA .05	
RAD		STANICA:		TOK:		STUDENTOV TEST		BARTLETTOV TEST		TEST ALFA .05		TEST ALFA .01		TEST ALFA .05	
						TEST ALFA .01		TEST ALFA .01							
						VYSLEDOK TESTU:		VYSLEDOK TESTU:				VYSLEDOK TESTU:			
5040	moravský jan	morava				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5140	bratislava	dunaj				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5330	vychodna	biely vah				HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA
5340	kratova lehot	boca				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5400	podbanske	bela				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5550	liptovský mik	vah				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5740	podsucha	revuca				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5790	lubochna	lubochnianka				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6130	martin	turiec				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6180	cadca	kysuca				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6200	kysucke nove	rajcianka				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6300	poluvsie	bebrava				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6690	biskupice	nitra				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6730	nitrianska st	hron				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6950	zlatno	hron				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7015	brezno	hron				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7045	hronec	cierny hron				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7060	bystra	bystrianska				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7065	myto pod dumb	stiavnicka				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7070	dolna lehota	vajskovsky potok				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7145	stare hory	starohorsky potok				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7160	banska bystri	hron				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7290	brehy	hron				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7440	holisa	ipel				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7480	lucenec	krivansky potok				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7580	plastovce	krupinica				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7600	plastovce	litava				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7660	dobsina	dobsinsky potok				HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA
7730	stitnik	stitnik				HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA
7860	lehota nad ri	rinavica				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
8080	poprad-matejo	poprad				HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
8180	spisska bela-	poprad				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
8320	chmelnica	poprad				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
8870	kostice olsan	torysa				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
8970	medzev-nizny	bodva				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
9500	hanusovce nad	topla				HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA

SEZONNE OBDOBIE:	11.	10.	OBDOBIE:	1931	1990
ABBEHO KRITERIUM					
RAD	TEST ALFA .01	TEST ALFA .05	SPEARMANOV TEST	TEST ALFA .05	TEST ALFA .05
STANICA:	VYSLEDOK TESTU:	VYSLEDOK TESTU:	VYSLEDOK TESTU:	VYSLEDOK TESTU:	VYSLEDOK TESTU:
TOK:	HO SA ZAMIETA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
5040 moravsky jan	morava	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
5140 bratislava	dunaj	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
5330 vychodna	biely vah	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
5340 kralova lehot	boca	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
5400 podbanske	bela	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
5550 liptovsky mik	vah	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
5740 podsucha	revuca	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
5790 lubochna	lubochnianska	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
6130 martin	turiec	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
6180 cadca	kysuca	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
6200 kysucke nove	kysuca	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
6300 poluvsie	rajcianka	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
6690 biskupice	bebrava	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
6730 nitrianska st	nitra	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
6950 zlatno	hron	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
7015 brezno	hron	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
7045 hronec	cierny hron	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
7060 bystra	bystrianska	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
7065 myto pod dumb	stiavnicka	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
7070 dolna lehota	vajskovsky potok	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
7145 stare hory	starohorsky potok	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
7160 banska bystri	hron	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
7290 brehy	hron	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
7440 holisa	ipel	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
7480 lucenec	krivansky potok	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
7580 plastovce	krupinica	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
7600 plastovce	litava	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
7660 dobsina	dobsinsky potok	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
7730 stitnik	stitnik	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
7860 lehota nad ri	rimavica	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
8080 poprad-matejo	poprad	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
8180 spisska bela-	poprad	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
8320 chmelnica	poprad	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
8870 kosicke olsan	torysa	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
8970 medzev-nizny	bodva	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA
9500 hanusovce nad	topla	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIETA	HO SA PRIJIMA

SEZONNE OBDOBIE:		11.	11.	OBDOBIE 1. VYBERU:	1931	1960	OBDOBIE 2. VYBERU:	1961	1990
RAD		TOK:		STUDENTOV TEST	TEST ALFA .05		BARTLETTOV TEST	TEST ALFA .05	
STANICA:		VYSLEDOK TESTU:		TEST ALFA .01	VYSLEDOK TESTU:		TEST ALFA .01	VYSLEDOK TESTU:	
5040 moravsky jan	morava	5040 moravsky jan	morava	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5140 bratislava	dunaj	5140 bratislava	dunaj	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
5330 vychodna	biely vah	5330 vychodna	biely vah	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
5340 kralova lehot	boca	5340 kralova lehot	boca	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA
5400 podbanske	bela	5400 podbanske	bela	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5550 lipovsky mik	vah	5550 lipovsky mik	vah	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5740 podsucha	revuca	5740 podsucha	revuca	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
5790 lubochna	tubochnianka	5790 lubochna	tubochnianka	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
6130 martin	turiec	6130 martin	turiec	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6180 cadca	kysuca	6180 cadca	kysuca	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6200 kysucke nove	kysuca	6200 kysucke nove	kysuca	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6300 poluvsie	rajcianka	6300 poluvsie	rajcianka	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
6690 biskupice	bebrava	6690 biskupice	bebrava	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6730 nitrianska st	nitra	6730 nitrianska st	nitra	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
6950 zlatno	hron	6950 zlatno	hron	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7015 brezno	hron	7015 brezno	hron	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7045 hronec	cierny hron	7045 hronec	cierny hron	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7060 bystra	bystrianka	7060 bystra	bystrianka	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
7065 myto pod dub	staviacka	7065 myto pod dub	staviacka	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
7070 dolna lehota	vajskovsky potok	7070 dolna lehota	vajskovsky potok	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
7145 stare hory	starohorsky potok	7145 stare hory	starohorsky potok	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
7160 banska bystri	hron	7160 banska bystri	hron	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7290 brehy	hron	7290 brehy	hron	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7440 holisa	ipel	7440 holisa	ipel	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7480 lucenec	krivansky potok	7480 lucenec	krivansky potok	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7580 plastovce	krupinica	7580 plastovce	krupinica	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7600 plastovce	litava	7600 plastovce	litava	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
7660 dobsina	dobsinsky potok	7660 dobsina	dobsinsky potok	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
7730 stitnik	stitnik	7730 stitnik	stitnik	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7860 lehota nad ri	rimavica	7860 lehota nad ri	rimavica	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
8080 popradske matejo	poprad	8080 popradske matejo	poprad	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
8180 spisska bela	poprad	8180 spisska bela	poprad	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
8320 chmelnica	poprad	8320 chmelnica	poprad	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA
8870 kosicke olsan	torysa	8870 kosicke olsan	torysa	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
8970 medzev-nizny	bodva	8970 medzev-nizny	bodva	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
9500 hanusovce nad	topia	9500 hanusovce nad	topia	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA ZAMIEA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA

SEZONNE OBDOBIE:		11.	11.	1931	1990
RAD		ABBEHO KRITERIUM			
STANICA:		TEST ALFA .01	TEST ALFA .05	TEST ALFA .01	TEST ALFA .05
TOK:		VYSLEDOK TESTU:	VYSLEDOK TESTU:	VYSLEDOK TESTU:	VYSLEDOK TESTU:
5040 moravsky jan	morava	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5140 bratislava	dunaj	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5330 vychodna	biely vah	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
5340 kralova lehot	boca	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
5400 podbanske	bela	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
5550 liptovsky mik	vah	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
5740 podsucha	revuca	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
5790 tubochna	tubochnianka	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA
6130 martin	turiec	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
6180 cadca	kysuca	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA
6200 kysucke nove	kysuca	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA
6300 potuvsie	rajcianka	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
6690 biskupice	bebrava	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA
6730 nitrianska st	nitra	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6950 zlatno	hron	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
7015 brezno	hron	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA
7045 hronec	cierny hron	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7060 bystra	bystrianka	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
7065 myto pod dumb	stlavinicka	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
7070 dolna lehot	vajskovsky potok	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
7145 stare hory	starohorsky potok	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
7160 banska bystri	hron	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
7290 brehy	hron	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
7440 holisa	ipet	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7480 lucenec	krivansky potok	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7580 plastovce	krupinica	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA
7600 plastovce	litava	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
7660 dobsina	dobsinsky potok	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
7730 stitnik	stitnik	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
7860 lehot nad ri	rimavica	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
8080 poprad-matejo	poprad	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
8180 spisska bela-	poprad	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
8320 chmetnica	poprad	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA	HO SA ZAMIELA
8870 kosicke olsan	torysa	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
8970 medzev-nizny	bodva	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAMIELA
9500 hanusovce nad	tupla	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA

[illegible]

SEZONNE OBDOBIE:		5.	5.	OBDOBIE:	1931	1990
RAD		ABBEHO KRITERIUM				
STANICA:		TEST ALFA .01		TEST ALFA .05		SPEARMANOV TEST
TOK:		VYSLEDOK TESTU:		VYSLEDOK TESTU:		TEST ALFA .01
5040 moravsky jan		morava	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	VYSLEDOK TESTU:
5140 bratislava		dunaj	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5330 vychodna		biely vah	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5340 kralova lehot		boca	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5400 podbanske		bela	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5550 tiptovsky mik		vah	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5740 podsucha		revuca	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
5790 lubochna		lubochnianska	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6130 martin		turiec	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6180 cada		kysuca	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6200 kysucke nove		kysuca	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6300 poluvsie		rajcianka	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6690 biskupice		bebrava	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6730 nitrianska st		nitra	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
6950 zlatno		hron	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7015 brezno		hron	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7045 hronec		cierny hron	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7060 bystra		bystrianska	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7065 myto pod dumb		stiavnicka	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA ZAHLETA
7070 dolna lehot		vajskovsky potok	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7145 stare hory		starohorsky potok	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7160 banska bystri		hron	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7290 brehy		hron	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7440 holisa		ipel	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7480 lucenec		krivansky potok	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7580 plastovce		krupinica	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7600 plastovce		litava	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7660 dobsina		dobsinsky potok	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7730 stitnik		stitnik	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
7860 lehot nad ri		rimavica	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
8080 poprad-matejo		poprad	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
8180 spisska bela-		poprad	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
8320 chmelnica		poprad	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
8870 kosicke olsan		torysa	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
8970 medzev-nizny		bodva	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA
9500 hanusovce nad		topla	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA	HO SA PRIJIMA

SEZONNE OBDOBIE:	11.	10.	OBDOBIE:	1931	1990	KOEFIČIENTY TRENDU	
RAD	STANICA:	TOK:	LINEARNY TREND KOEf. KORELACIE	TEST ALFA .05	VYSLEDOK TESTU:	A:	B:
			R:				
5040	moravsky jan	morava	-.120658	H0 SA PRIJIMA	119.582		-.287
5140	bratislava	dunaj	.034516	H0 SA PRIJIMA	2026.390		.692
5330	vychodna	biely vah	-.338414	H0 SA ZAMIETA	1.812		-.007
5340	kralova lehot	boca	-.351227	H0 SA ZAMIETA	2.503		-.012
5400	podbanske	bela	-.056520	H0 SA PRIJIMA	3.561		-.002
5550	liptovsky mik	vah	-.220720	H0 SA PRIJIMA	22.420		-.057
5740	podsucha	revuca	-.268759	H0 SA PRIJIMA	5.378		-.018
5790	lubochna	tubochnianka	-.071510	H0 SA PRIJIMA	2.439		-.002
6130	martin	turiec	-.293423	H0 SA ZAMIETA	11.687		-.040
6180	cadca	kysuca	.083780	H0 SA PRIJIMA	8.229		.008
6200	kysucke nove	kysuca	.100408	H0 SA PRIJIMA	15.886		.019
6300	poluvsie	rajcianka	-.184026	H0 SA PRIJIMA	4.022		-.010
6690	biskupice	bebrava	-.225647	H0 SA PRIJIMA	2.501		-.010
6730	nitrianska st	nitra	-.105668	H0 SA PRIJIMA	15.967		-.029
6950	zlatno	hron	-.299695	H0 SA ZAMIETA	1.743		-.008
7015	brezno	hron	-.130183	H0 SA PRIJIMA	8.402		-.018
7045	hronec	cierny hron	-.097510	H0 SA PRIJIMA	3.203		-.006
7060	bystra	bystrianka	-.002644	H0 SA PRIJIMA	.973		.000
7065	myto pod dumb	stianicka	-.319157	H0 SA ZAMIETA	1.267		-.005
7070	dolna lehota	vajskovsky potok	-.184085	H0 SA PRIJIMA	1.535		-.004
7145	stare hory	starohorsky potok	-.145956	H0 SA PRIJIMA	1.563		-.003
7160	banksa bystri	hron	-.229091	H0 SA PRIJIMA	29.933		-.096
7290	brehy	hron	-.163504	H0 SA PRIJIMA	52.476		-.133
7440	holisa	ipel	-.257352	H0 SA PRIJIMA	4.029		-.025
7480	lucenec	krivansky potok	-.097513	H0 SA PRIJIMA	1.537		-.005
7580	plastovce	krupinica	-.395727	H0 SA ZAMIETA	2.639		-.023
7600	plastovce	litava	-.422793	H0 SA ZAMIETA	1.669		-.016
7660	dobsina	dobsinsky potok	-.620793	H0 SA ZAMIETA	.831		-.008
7730	stitnik	stitnik	-.498780	H0 SA ZAMIETA	2.119		-.020
7860	lehota nad ri	rimavica	-.217547	H0 SA ZAMIETA	1.842		-.008
8080	poprad-matejo	poprad	-.445340	H0 SA ZAMIETA	5.048		-.025
8180	spisska bela-	poprad	-.324992	H0 SA ZAMIETA	9.491		-.035
8320	chmelnica	poprad	-.266959	H0 SA PRIJIMA	17.493		-.061
8870	kosicke olsan	torysa	-.041891	H0 SA PRIJIMA	8.127		-.007
8970	medzev-nizny	bodva	-.160566	H0 SA PRIJIMA	.953		-.004
9500	hanusovce nad	topla	.021780	H0 SA PRIJIMA	8.366		.004

SEZONNE OBDOBIE:	11.	11.	OBDOBIE:	1931	1990
RAD	STANICA:	TOK:	LINEARNY TREND KOEf. KORELACIE R:	TEST ALFA .05 VYSLEDOK TESTU:	KOEFICIENTY TRENDU A: B:
5040	moravský jan	morava	-.315224	H0 SA ZAMIETA	131.777 -1.425
5140	bratislava	duna]	-.217545	H0 SA PRIJIMA	1678.247 -6.423
5330	vyhodna	biely vah	-.599644	H0 SA ZAMIETA	1.891 -.020
5340	kratova lehot	boca	-.486139	H0 SA ZAMIETA	3.340 -.041
5400	podbanske	bela	-.542316	H0 SA ZAMIETA	3.464 -.037
5550	liptovský mik	vah	-.512155	H0 SA ZAMIETA	25.744 -.289
5740	podsucha	revuca	-.432498	H0 SA ZAMIETA	7.135 -.076
5790	lubochna	lubochnianka	-.360481	H0 SA ZAMIETA	2.831 -.021
6130	martin	turie	-.503365	H0 SA ZAMIETA	14.118 -.148
6180	cadca	kysuca	-.339586	H0 SA ZAMIETA	9.630 -.091
6200	kysucke nove	kysuca	-.323242	H0 SA ZAMIETA	18.318 -.165
6300	poluvsie	rajcianka	-.441019	H0 SA ZAMIETA	5.143 -.058
6690	biskupice	bebrava	-.410627	H0 SA ZAMIETA	2.777 -.032
6730	nitrianska st	nitra	-.379521	H0 SA ZAMIETA	18.961 -.202
6950	zlatno	hron	-.438391	H0 SA ZAMIETA	2.263 -.028
7015	brezno	hron	-.384857	H0 SA ZAMIETA	10.564 -.116
7045	hronec	cierny hron	-.310055	H0 SA ZAMIETA	3.573 -.033
7060	bystra	bystrianska	-.388328	H0 SA ZAMIETA	1.103 -.010
7065	myto pod dumb	stiavnicka	-.553313	H0 SA ZAMIETA	1.494 -.018
7070	dolna lehota	vajskovsky potok	-.446177	H0 SA ZAMIETA	2.020 -.024
7145	stare hory	starohorsky potok	-.402146	H0 SA ZAMIETA	1.864 -.017
7160	banska bystri	hron	-.470464	H0 SA ZAMIETA	37.874 -.433
7290	brehy	hron	-.434567	H0 SA ZAMIETA	68.814 -.787
7440	holisa	ipel	-.328422	H0 SA ZAMIETA	5.333 -.068
7480	lucenec	krivansky potok	-.303471	H0 SA ZAMIETA	2.262 -.027
7580	plastovce	krupinica	-.389006	H0 SA ZAMIETA	3.510 -.051
7600	plastovce	litava	-.427082	H0 SA ZAMIETA	2.406 -.039
7660	dobsina	dobsinsky potok	-.582494	H0 SA ZAMIETA	1.036 -.015
7730	stitnik	stitnik	-.370030	H0 SA ZAMIETA	2.794 -.039
7860	lehota nad ri	rimavica	-.317119	H0 SA ZAMIETA	2.357 -.026
8080	poprad-matejo	poprad	-.538321	H0 SA ZAMIETA	5.015 -.056
8180	spisska bela	poprad	-.489277	H0 SA ZAMIETA	8.756 -.087
8320	chmelnica	poprad	-.497191	H0 SA ZAMIETA	17.587 -.200
8870	kosicke olsan	torysa	-.310767	H0 SA ZAMIETA	9.332 -.104
8970	medzev-nizny	bodva	-.232085	H0 SA PRIJIMA	1.233 -.017
9500	hanusovce nad	topla	-.249356	H0 SA PRIJIMA	9.100 -.084

SEZONNE OBDOBIE: 5. 5. OBDOBIE: 1931 1990

LINEARNY TREND
KOE. KORELACIE

STANICA:	TOK:	R:	TEST ALFA .05	KOEFICIENTY TRENDU	B:
RAO			VYSLEDOK TESTU:	A:	
5040 moravsky jan	morava	-.014709	H0 SA PRIJIMA	126.237	-.060
5140 bratislava	dunaj	.073856	H0 SA PRIJIMA	2557.524	2.707
5330 vychodna	biely vah	.044855	H0 SA PRIJIMA	2.294	.003
5340 kratova lehot	boca	.017100	H0 SA PRIJIMA	3.856	.002
5400 podbanske	bela	.229012	H0 SA PRIJIMA	7.444	.038
5550 liptovsky mik	vah	.040925	H0 SA PRIJIMA	40.979	.034
5740 podsucha	revuca	.020003	H0 SA PRIJIMA	7.526	.003
5790 lubochna	lubochnianska	.044956	H0 SA PRIJIMA	3.231	.003
6130 martin	turiec	-.048167	H0 SA PRIJIMA	12.795	-.013
6180 cadca	kysuca	.201316	H0 SA PRIJIMA	6.008	.053
6200 kysucke nove	kysuca	.224749	H0 SA PRIJIMA	11.384	.113
6300 poluvsie	rajcianka	.115863	H0 SA PRIJIMA	3.921	.014
6690 biskupice	bebrava	.042707	H0 SA PRIJIMA	2.100	.003
6730 nitrianska st	nitra	.089601	H0 SA PRIJIMA	14.842	.042
6950 zlatno	hron	.085572	H0 SA PRIJIMA	2.244	.006
7015 brezno	hron	.060566	H0 SA PRIJIMA	11.650	.021
7045 hronec	cierny hron	.126633	H0 SA PRIJIMA	3.705	.019
7060 bystra	bystrianka	.305661	H0 SA ZAMIETA	1.602	.017
7065 myto pod dumb	stiavnicka	.109028	H0 SA PRIJIMA	1.985	.006
7070 dolna lehota	vajskovsky potok	.120692	H0 SA PRIJIMA	2.695	.008
7145 stare hory	starohorsky potok	.133342	H0 SA PRIJIMA	1.869	.006
7160 banska bystri	hron	.010832	H0 SA PRIJIMA	42.307	.011
7290 brehy	hron	.012443	H0 SA PRIJIMA	66.995	.023
7440 holisa	ipel	-.007955	H0 SA PRIJIMA	3.750	-.001
7480 lucenec	krivansky potok	.147294	H0 SA PRIJIMA	1.160	.013
7580 plastovce	krupinica	-.109658	H0 SA PRIJIMA	2.323	-.012
7600 plastovce	litava	-.100593	H0 SA PRIJIMA	1.415	-.007
7660 dobsina	dobsinsky potok	-.213607	H0 SA PRIJIMA	.966	-.005
7730 stitnik	stitnik	-.180754	H0 SA PRIJIMA	2.495	-.016
7860 lehota nad ri	rimavica	.062544	H0 SA PRIJIMA	1.835	.005
8080 poprad-matejo	poprad	-.128996	H0 SA PRIJIMA	7.606	-.017
8180 spisska bela-	poprad	.032653	H0 SA PRIJIMA	13.451	.009
8320 chmelnica	poprad	.109413	H0 SA PRIJIMA	21.918	.063
8870 kosicke olsan	torysa	.198701	H0 SA PRIJIMA	7.305	.075
8970 medzev-nizny	bodva	.071075	H0 SA PRIJIMA	1.047	.004
9500 hanusovce nad	topl'a	.270739	H0 SA PRIJIMA	6.414	.098

Rozdiely priemerných ročných prietokov rôznych období (1931 - 1960, 1961 - 1990, 1981 - 1990 a 1931 - 1990) oproti referenčnému obdobiu 1931 - 1980 v percentách a priemerné ročné prietoky referenčného obdobia v $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

Tab. 11

P.č.	Stanica	Tok	1931 - 1980				100 %
			1931 - 1960	1961 - 1990	1981 - 1990	1931 - 1990	
1.	Moravský Ján	Morava	+0.4	-2.2	-5.4	-0.9	111.840
2.	Bratislava	Dunaj	-0.6	+0.8	+0.7	+0.1	2244.980
3.	Východná	Biely Váh	+5.1	-11.0	-17.6	-2.9	1.641
4.	Kráľova Lehota	Boca	+2.9	-11.0	-24.4	-4.1	2.214
5.	Podbanské	Belá	-0.5	-2.1	-7.9	-0.8	3.536
6.	Liptovský Mikuláš	Váh	-0.7	-4.1	-14.6	-2.6	21.244
7.	Podsúchá	Revúca	+2.7	-5.3	-7.8	-1.3	4.895
8.	Ľubochňa	Ľubochňanka	+2.3	-2.5	-0.6	-0.1	2.387
9.	Martin	Turiec	+1.9	-7.7	-17.5	-2.9	10.774
10.	Čadca	Kysuca	-2.0	+1.2	-2.3	-0.4	8.501
11.	Kysucké N.Mesto	Kysuca	+2.2	+1.2	-3.0	-0.5	16.549
12.	Poluvsie	Rajčianka	+4.2	-8.1	-11.4	-1.9	3.794
13.	Biskupice	Bebrava	+2.7	-8.6	-17.6	-3.0	2.269
14.	Nitrianska Streda	Nitra	0.0	-3.3	-9.8	-1.6	15.334
15.	Zlatno	Hron	+2.8	-11.3	-25.5	-4.2	1.551
16.	Brezno	Hron	-1.6	-6.5	-20.1	-4.1	8.118
17.	Hronec	Čierny Hron	-3.7	-5.1	-26.2	-4.4	3.172
18.	Bystrá	Bystrianka	-3.0	-4.9	-23.6	-4.0	1.011
19.	Mýto p.Ďumbierom	Štiavnička	+2.3	-8.0	-17.3	-2.9	1.148
20.	Dolná Lehota	Vajskový potok	+0.8	-7.7	-20.5	-3.4	1.468
21.	Staré Hory	Starohorský p.	-3.6	-3.8	-22.5	-3.8	1.517
22.	Banská Bystrica	Hron	-0.4	-6.6	-21.1	-3.5	27.994
23.	Brehy	Hron	-1.0	-5.1	-18.5	-3.1	49.970
24.	Holiša	Ipeľ	-0.1	-12.1	-36.7	-6.1	3.493
25.	Lučenec	Krivánsky p.	-9.9	-3.3	-39.7	-6.6	1.499
26.	Plášťovce	Krupinica	+7.6	-19.5	-35.4	-6.0	2.060
27.	Plášťovce	Litava	+8.0	-23.3	-46.1	-7.7	1.292
28.	Dobšiná	Dobšinský p.	+13.2	-29.7	-44.6	-7.4	0.633
29.	Štítnik	Štítnik	+12.8	-26.3	-40.7	-6.8	1.609
30.	Lehota nad Rim.	Rimavica	-0.3	-11.6	-35.8	-5.9	1.705
31.	Poprad-Matejovce	Poprad	+6.2	-11.9	-17.0	-2.8	4.421
32.	Spiš.Belá-Strážky	Poprad	+4.8	-9.8	-15.1	-2.5	8.634
33.	Chmelnica	Poprad	+2.9	-7.9	-15.0	-2.5	16.022
34.	Košické Olšany	Torysa	-0.2	-2.2	-7.2	-1.2	8.015
35.	Nížny Medzev	Bodva	+3.1	-14.0	-33.0	-9.6	0.940
36.	Hanušovce	Topľa	-3.4	+0.7	-8.1	-1.3	8.588

Rozdiely priemerných novembrových prietokov rôznych období (1931 - 1960, 1961 - 1990, 1981 - 1990 a 1931 - 1990) oproti referenčnému obdobiu 1931 - 1980 v 3^{e} percentách a priemerné novembrové prietoky referenčného obdobia v $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

Tab. 12

P.č.	Stanica	Tok	1931 - 1980				100 %
			1931 - 1960	1961 - 1990	1981 - 1990	1931 - 1990	
1.	Moravský Ján	Morava	+12.3	-21.9	-28.6	-4.8	92.754
2.	Bratislava	Dunaj	+3.7	-7.1	-10.2	-1.7	1507.95
3.	Východná	Biely Váh	+12.9	-25.3	-37.2	-6.2	1.363
4.	Kráľova Lehota	Boca	+13.4	-30.3	-50.7	-8.5	2.266
5.	Podbanské	Belá	+13.5	-25.4	-35.5	-5.9	2.466
6.	Liptovský Mikuláš	Váh	+10.4	-24.4	-41.9	-7.0	18.215
7.	Podsucká	Revúca	+6.4	-20.6	-42.7	-7.1	5.192
8.	Ľubochňa	Ľubochňanka	+6.2	-15.0	-26.5	-4.4	2.277
9.	Martin	Turieč	+9.4	-24.4	-45.1	-7.5	10.383
10.	Čadca	Kysuca	+6.9	-20.0	-39.2	-6.5	7.324
11.	Kysucké N.Mesto	Kysuca	+6.9	-19.3	-39.7	-6.6	14.211
12.	Poluvsie	Rajčianka	+11.8	-28.0	-48.6	-8.1	3.685
13.	Biskupice	Bebrava	+15.0	-29.9	-44.7	-7.4	1.959
14.	Nitrianska Streda	Nitra	+11.9	-24.5	-37.8	-6.3	13.645
15.	Zlatno	Hron	+12.8	-29.5	-50.3	-8.4	1.543
16.	Brezno	Hron	+8.3	-22.6	-42.9	-7.1	7.570
17.	Hronec	Čierny Hron	+2.4	-17.2	-44.4	-7.4	2.764
18.	Bystrá	Bystrianka	+3.6	-20.8	-51.5	-8.6	0.887
19.	Mýto p.Ďumbierom	Štiavnička	+11.2	-25.7	-43.4	-7.2	1.029
20.	Dolná Lehota	Vajskový potok	+13.4	-27.2	-41.6	-6.9	1.386
21.	Staré Hory	Starohorský p.	+0.9	-18.0	-51.4	-8.6	1.463
22.	Banská Bystrica	Hron	+8.5	-23.6	-45.4	-7.6	26.688
23.	Brehy	Hron	+9.6	-24.8	-45.6	-7.6	48.494
24.	Holiša	Ipeľ	+14.6	-30.4	-47.5	-7.9	3.546
25.	Lučenec	Krivánsky p.	+4.1	-21.4	-52.1	-8.7	1.577
26.	Plášťovce	Krupinica	+18.4	-39.7	-63.9	-10.6	2.171
27.	Plášťovce	Litava	+25.0	-48.3	-69.8	-11.6	1.386
28.	Dobšiná	Dobšinský p.	+22.5	-42.3	-59.3	-9.9	0.652
29.	Štítnik	Štítnik	+23.0	-41.8	-56.5	-9.4	1.767
30.	Lehota nad Rim.	Rimavica	+11.2	-27.9	-50.1	-8.3	1.701
31.	Poprad-Matejovce	Poprad	+16.5	-25.8	-28.1	-4.7	3.471
32.	Spiš.Belá-Strážky	Poprad	+14.9	-23.3	-25.1	-4.2	6.369
33.	Chmelnica	Poprad	+15.5	-27.1	-34.8	-5.8	12.185
34.	Košické Olšany	Torysa	+15.8	-25.9	-30.2	-5.0	6.474
35.	Nížný Medzev	Bodva	+19.7	-26.5	-39.9	-8.0	0.873
36.	Hanušovce	Topľa	+9.0	-17.6	-25.9	-4.3	6.844

Rozdiely priemerných májových prietokov rôznych období (1931 - 1960, 1961 - 1990, 1981 - 1990 a 1931 - 1990) oproti referenčnému obdobiu 1931 - 1980 v percentách a priemerné májové prietoky referenčného obdobia v m³s⁻¹

Tab. 13

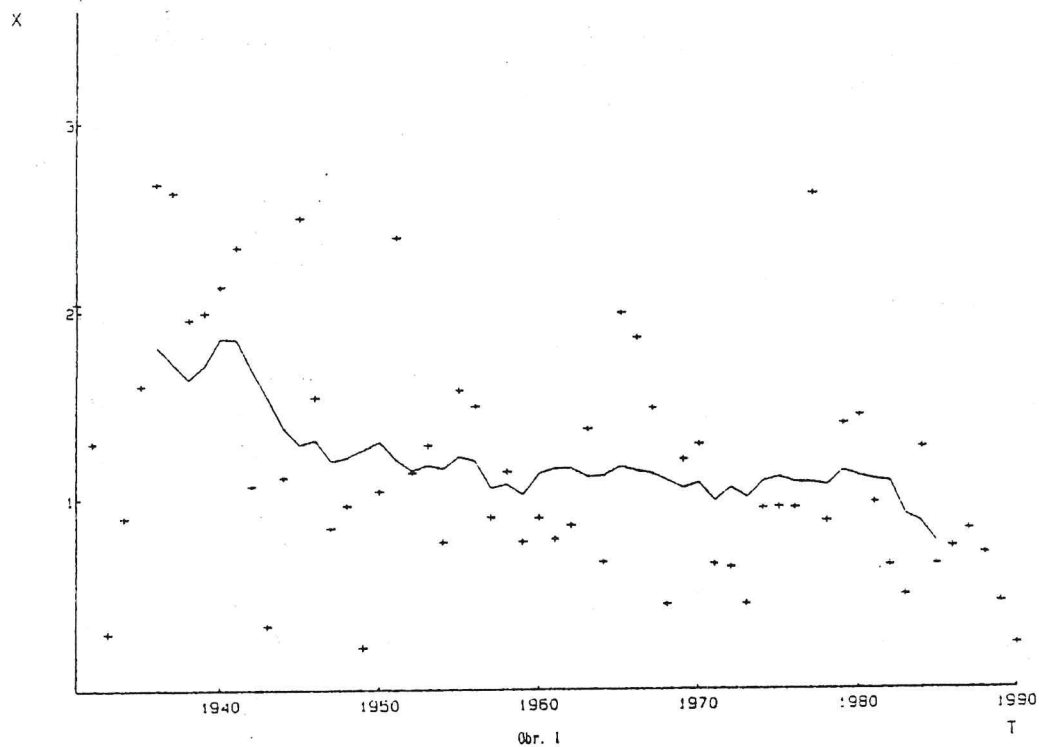
P.č.	Stanica	Tok	1931 - 1980				100 %
			1931 - 1960	1961 - 1990	1981 - 1990	1931 - 1990	
1.	Moravský Ján	Morava	-4.3	+2.7	-4.7	-0.8	125.39
2.	Bratislava	Dunaj	-5.0	+4.0	-3.0	-0.5	2653.54
3.	Východná	Biely Váh	+3.3	+1.6	+14.6	+2.4	2.314
4.	Kráľova Lehota	Boca	-3.8	-0.8	-13.6	-2.3	3.997
5.	Podbanské	Belá	-2.8	+8.0	+15.6	+2.6	8.392
6.	Liptovský Mikuláš	Váh	-2.4	+2.7	+0.7	+0.1	41.977
7.	Podsucká	Revúca	+2.2	+2.3	+13.3	+2.2	7.464
8.	Ľubochňa	Ľubochňanka	+3.3	+0.7	+11.9	+2.0	3.251
9.	Martin	Turiec	+1.6	-1.8	-0.8	-0.1	12.429
10.	Čadca	Kysuca	-5.2	+17.2	+35.9	+6.0	7.199
11.	Kysucké N.Mesto	Kysuca	-4.5	+18.0	+40.4	+6.7	13.889
12.	Poluvsie	Rajčianka	+0.7	+4.9	+16.7	+2.8	4.221
13.	Biskupice	Bebrava	-0.6	+5.4	+14.5	+2.4	2.148
14.	Nitrianska Streda	Nitra	-1.4	+6.8	+16.4	+2.7	15.690
15.	Zlatno	Hron	-3.8	+3.7	-0.3	0.0	2.429
16.	Brezno	Hron	-2.5	+2.8	+0.7	+0.1	12.278
17.	Hronec	Čierny Hron	-5.7	+6.5	+2.3	+0.4	4.261
18.	Bystrá	Bystrianka	-9.9	+9.7	-0.5	-0.1	2.118
19.	Mýto p.Ďumbierom	Štiavnička	-4.5	+4.7	+0.3	+0.1	2.156
20.	Dolná Lehota	Vajskový potok	-2.1	+1.2	-2.7	-0.4	2.967
21.	Staré Hory	Starohorský p.	-5.2	+5.2	+0.1	0.0	2.037
22.	Banská Bystrica	Hron	-0.9	0.0	-2.9	-0.5	42.848
23.	Brehy	Hron	+2.0	+0.5	+7.5	+1.3	66.866
24.	Holiša	Ipeľ	+2.1	+0.2	+7.1	+1.2	3.662
25.	Lučenec	Krivánsky p.	-12.1	+21.6	+28.6	+4.8	1.488
26.	Plášťovce	Krupinica	+21.2	-8.6	+37.8	+6.3	1.839
27.	Plášťovce	Litava	+15.6	-9.0	+19.8	+3.3	1.151
28.	Dobšiná	Dobšinský p.	+9.2	-17.0	-23.3	-3.9	0.836
29.	Štítnik	Štítnik	+6.2	-13.6	-22.2	-3.7	2.100
30.	Lehota nad Rim.	Rimavica	-3.7	+2.7	-3.1	-0.5	2.007
31.	Poprad-Matejovce	Poprad	+5.2	-3.9	+4.1	+0.7	7.037
32.	Spiš.Belá-Strážky	Poprad	+2.7	+1.2	+11.6	+1.9	13.461
33.	Chmelnica	Poprad	+1.8	+5.2	+21.1	+3.5	23.040
34.	Košické Olšany	Torysa	-1.0	+14.5	+40.3	+6.7	8.995
35.	Nížny Medzev	Bodva	-1.5	+0.7	-0.9	-0.2	1.150
36.	Hanušovce	Topľa	-3.6	+21.3	+53.0	+8.8	8.627

Rozdiely priemerných ročných zrážkových úhrnov rôznych období (1931 - 1960, 1961 - 1990, 1981 - 1990 a 1931 - 1990) oproti referenčnému obdobiu 1931 - 1980 v percentách a priemerné ročné zrážky referenčného obdobia v mm

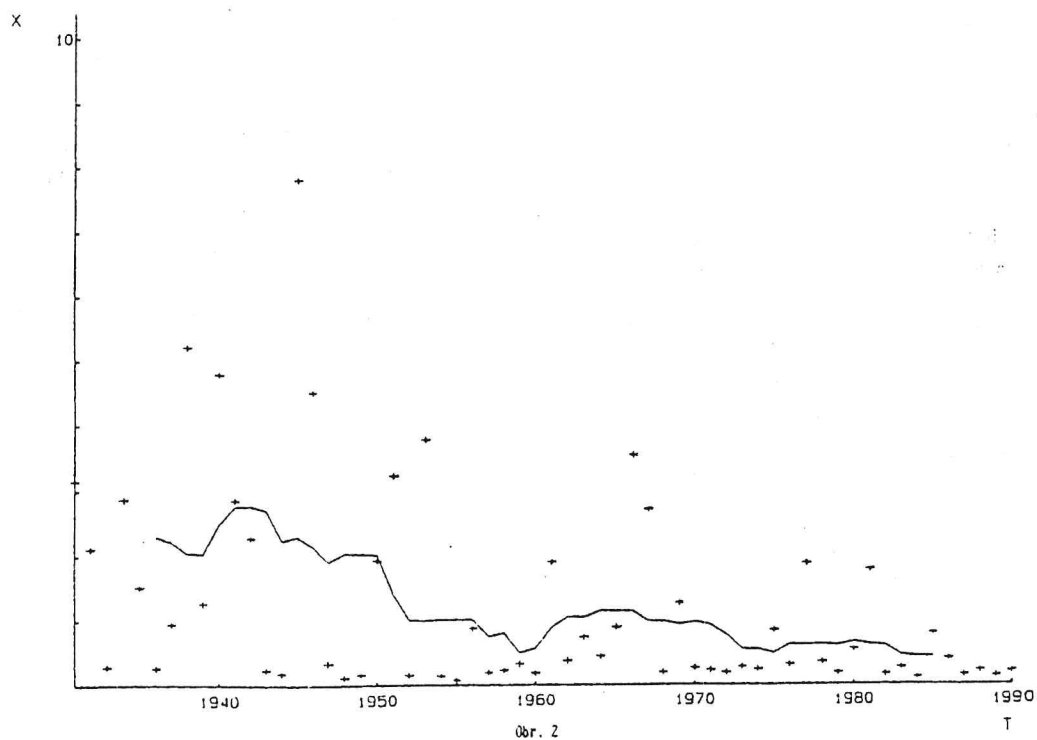
Tab. 14

P.č	Stanica	1931 - 1960	1961 - 1990	1981 - 1990	1931 - 1990	1931 - 1980 (100%)
1.	Kežmarok	+ 3.6	- 7.8	-12.9	- 2.1	618
2.	Nížné Ružbachy	+ 1.1	- 1.4	- 0.4	- 0.1	700
3.	Myjava	+ 0.6	- 1.0	- 1.3	- 0.3	678
4.	Žihárec	- 0.9	- 0.4	- 3.6	- 0.5	557
5.	Hurbanovo	+ 2.3	- 6.1	-11.3	- 2.0	560
6.	Štrbské Pleso	- 0.7	- 1.3	- 6.5	- 1.0	973
7.	Liptovský Hrádok	- 0.1	- 1.0	- 3.3	- 0.6	686
8.	Oravská Lesná	- 0.3	- 0.8	- 3.0	- 0.5	1104
9.	Oravský Podzámok	+ 0.7	- 1.5	- 2.1	- 0.4	816
10.	Kláštôr pod Znievom	+ 1.5	- 4.2	- 8.5	- 1.4	811
11.	Turzovka	- 1.3	+ 1.5	+ 0.5	+ 0.1	880
12.	Bytča	- 1.7	+ 1.9	+ 0.4	0	756
13.	Nitrianske Pravno	- 0.5	- 1.4	- 5.6	- 0.9	765
14.	Veľké Uherce	- 0.3	0	- 1.1	- 0.2	634
15.	Horné Motešice	+ 0.8	- 1.5	- 2.2	- 0.4	735
16.	Bojná	+ 4.2	- 6.2	- 5.9	- 1.0	613
17.	Tesárske Mlyňany	- 0.5	- 2.6	- 9.7	- 1.5	609
18.	Švermovo (Telgárt)	+ 2.1	- 5.3	- 9.7	- 1.6	875
19.	Brezno	- 1.6	+ 0.4	- 3.6	- 0.7	753
20.	Banská Bystrica	+ 2.9	- 5.7	- 8.3	- 1.3	828
21.	Plavé Vozokany	- 1.2	- 0.7	- 6.1	- 1.0	578
22.	Málinec	+ 0.5	- 5.8	-15.6	- 2.6	744
23.	Poltár	- 0.5	- 2.2	- 7.6	- 1.2	648
24.	Krupina	+ 4.2	- 7.5	- 9.6	- 1.6	623
25.	Kuková	- 0.8	+ 1.6	+ 2.6	+ 0.5	614
26.	Štítnik	- 2.2	- 0.1	- 6.7	- 1.2	690
27.	Kokava nad Rimavicou	- 0.3	- 3.4	-11.0	- 1.8	772
28.	Jasov	- 0.4	- 1.7	- 6.7	- 1.0	691
29.	Prešov	+ 1.6	- 2.1	- 1.8	- 0.3	611

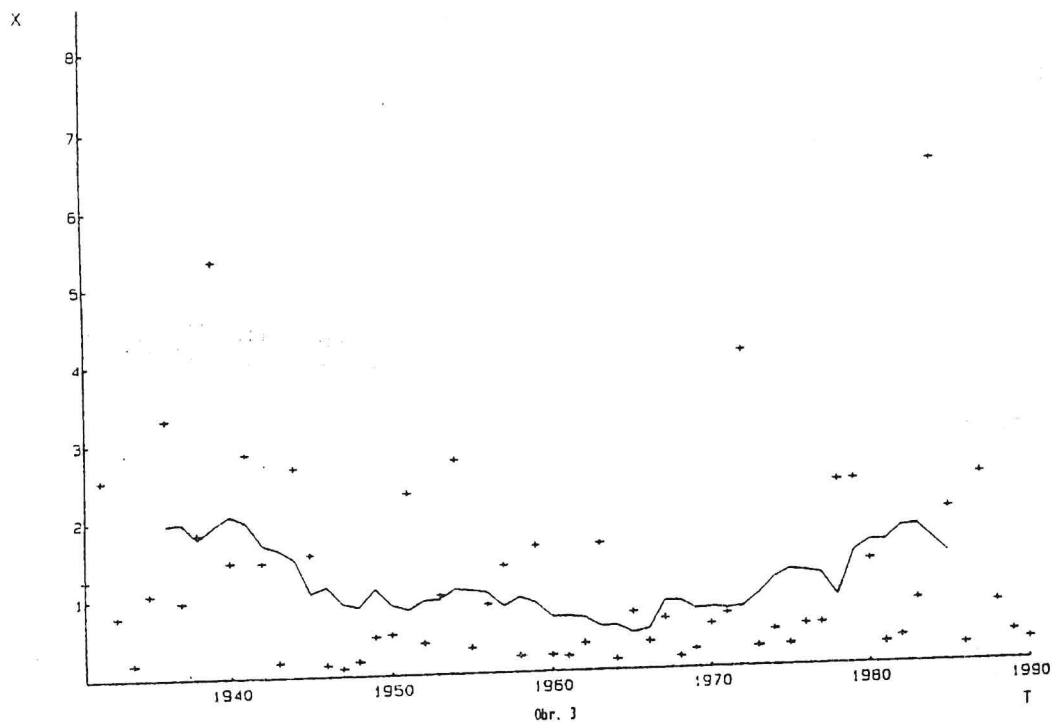
SEZONNE PRIEMERNE PRIETOKY 7600 plastovce/litava 1931 1990 11. 10.
KLZAVE PRIEMERY L: 11



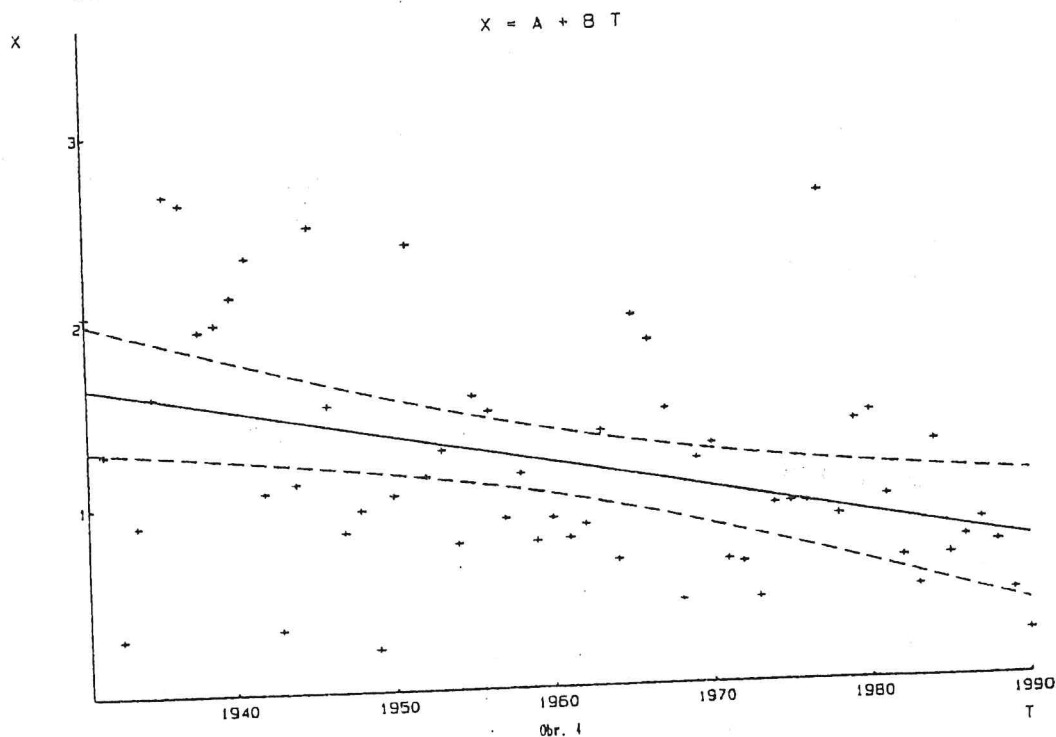
SEZONNE PRIEMERNE PRIETOKY 7600 plastovce/litava 1931 1990 11. 11.
KLZAVE PRIEMERY L: 11



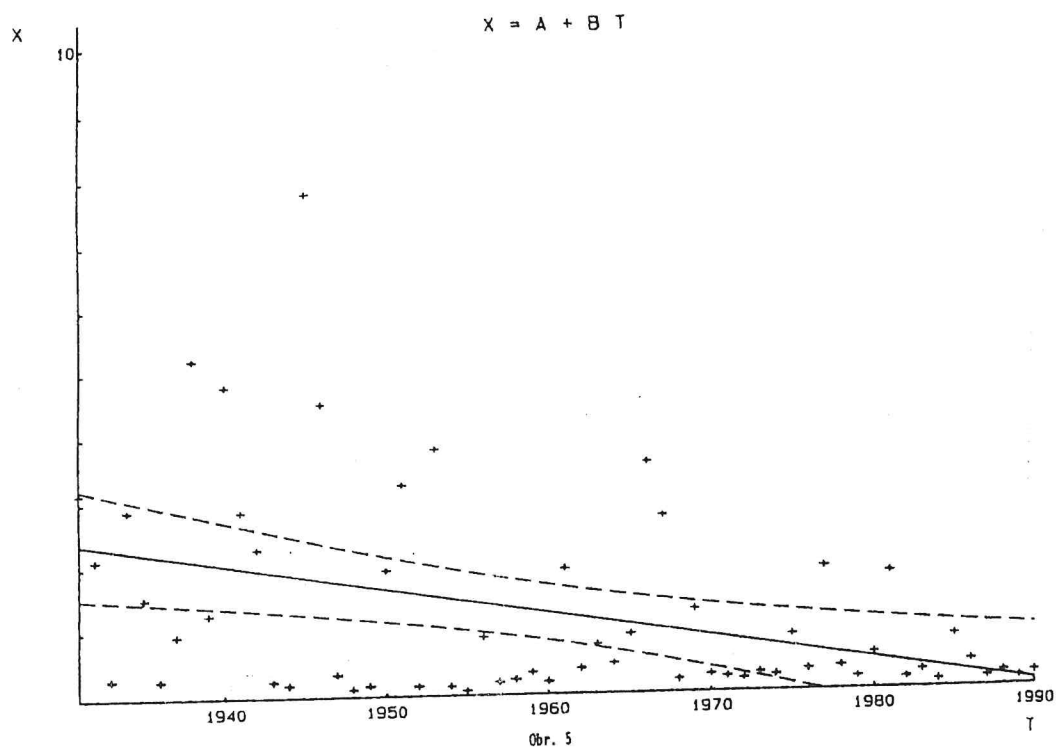
SEZONNE PRIEMERNE PRIETOKY 7600 plastovce/litava 1931 1990 5. 5.
KLZAVE PRIEMERY L: 11



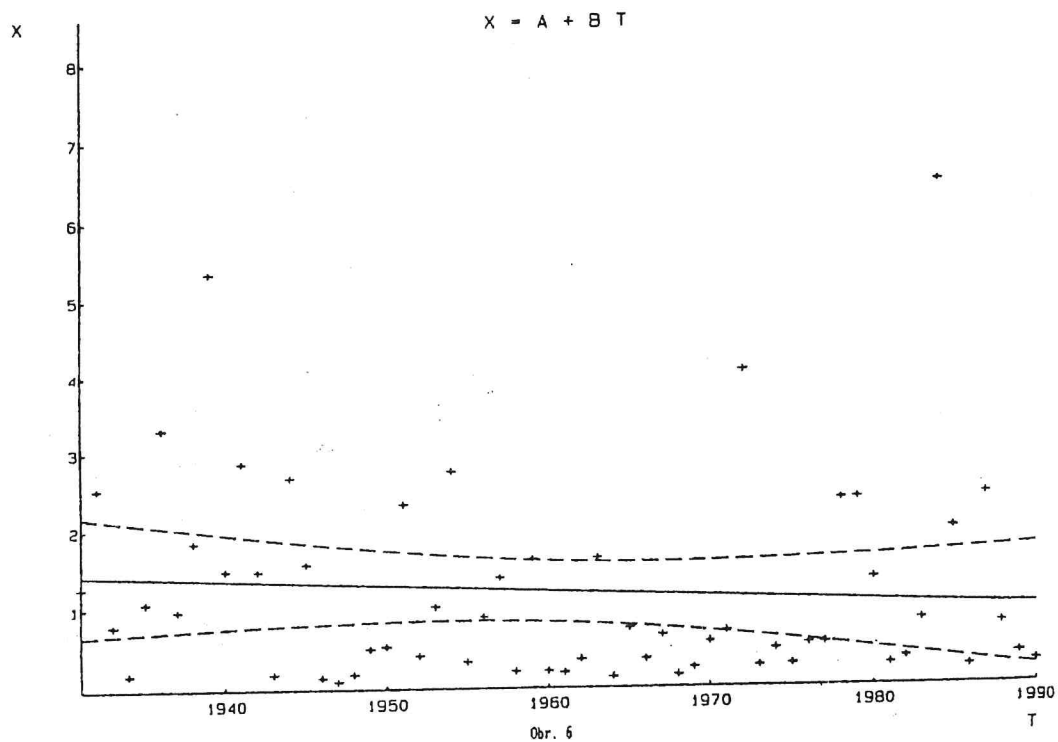
SEZONNE PRIEMERNE PRIETOKY 7600 plastovce/litava 1931 1990 11. 10.
LINEARNY TREND INTERVAL SPOLAHLIVOSTI .05



SEZONNE PRIEMERNE PRIETOKY 7600 plastovce/litava 1931 1990 11. 11.
LINEARNY TREND INTERVAL SPOLAHLIVOSTI .05



SEZONNE PRIEMERNE PRIETOKY 7600 plastovce/litava 1931 1990 5. 5.
LINEARNY TREND INTERVAL SPOLAHLIVOSTI .05



LITERATÚRA:

- [1] BENICKÝ, J.: Testovanie homogenity hydrologických údajov. Práce a štúdie 124, VÚVH, Bratislava 1992.
- [2] BENICKÝ, J.: Uplatnenie AISDR v prevádzke vodohospodárskych zariadení počas extrémnych hydrologických a ekologických situácií. I. štúdia odtokových pomerov v povodí Váhu. [Čiastková správa.] VT projekt vodohospodárske aspekty ekologizácie krajiny. VÚVH, Bratislava 1993.
- [3] BRÁZDIL, R.: Kolísání vybraných meteorologických prvků ve střední Evropě v období přístrojových pozorování. NKP ČSFR 2. Praha 1991.
- [4] DRAKO, J. - TAKÁČ, I. - ŠEDÍK, P.: Stanovenie vplyvu antropogénnej činnosti na reprezentatívnosť hydrologických radov - súbor programov. KE 05 HÚ ŠPZV II-5-1. SHMÚ, Bratislava 1988.
- [5] KATALÓG POVRCHOVÝCH VÓD. SHMÚ, Bratislava 1993.
- [6] MAJERČÁKOVÁ, O. - ŠKODA, P.: Vývoj zrážok a odtokov na území Slovenska a jeho možné ovplyvnenie klimatickými zmenami. Meteorologické zprávy 1993, 46, č. 6, s.164 -168.
- [7] MAJERČÁKOVÁ, O. - ŠEDÍK, P. - KULLMAN, E. - CAGARDOVÁ, Ž.: Výber mesačných radov hydrologických prvkov a analýza ich spoľahlivosti. Analýza zmien variability hydrologických prvkov. (Popis metód a prvé výsledky) [Priebežná správa pre NKP SR.] SHMÚ, december 1993.
- [8] MAJERČÁKOVÁ, O. - ŠEDÍK, P.: Výber mesačných radov hydrologických prvkov a analýza ich spoľahlivosti. Analýza zmien variability hydrologických prvkov. [Správa pre NKP SR.] SHMÚ, november 1994.
- [9] OLEHLA, M. - VĚCHET, V. - OLEHLA, J.: Řešení úloh matematické statistiky ve FORTRANU. NADAS, Praha 1982.
- [10] ŠIPIKALOVÁ, H.: Mimoriadne sucho v auguste 1993 v povodí Ipľa. Vodohospodársky spravodajca, 1994, 37, č. 10, s. 18.
- [11] ŠKODA, P. - TURBEK, J.: Návrh siete na monitoring zmien klímy. [Priebežná správa pre NKP SR za rok 1993.] SHMÚ, november 1993.

*NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY*

*NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC*

**MOŽNÉ DÔSLEDKY ZMIEN KLÍMY
NA EVAPOTRANSPIRÁCIU
OZIMNEJ PŠENICE A CUKROVEJ REPY
NA PODUNAJSKEJ NÍŽINE**

Riešitelia:	RNDr. Jozef Huzulák, Výskumný ústav rastlinnej výroby, Piešťany, pracovisko Bratislava, RNDr. František Matejka, Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava
Projekt:	MŽP SR Výskum zmien kvality ovzdušia, klimatické zmeny a narušovanie ochranných vlastností atmosféry - NKP SR
Zadávatel:	MŽP SR
Lektor:	prof. Ing. František Špánik, CSc., Katedra záhradníctva a agrometeorológie VŠP, Nitra

Possible Impacts of the Climatic Change on the Evapotranspiration of Winter Wheat and Sugar Beet in Danube Lowland

Jozef Huzulák & František Matejka

Research Institute of Plant Production, Piešťany - working place Bratislava, Slovakia
Geophysical Institute of the Slovak Academy of Sciences, Bratislava, Slovakia

ABSTRACT

The objective of this paper was to carry out the realistic estimation of the evapotranspiration sensitivity on expected air temperature, air humidity and precipitation changes.

An original, experimentally tested mathematical model of the canopy water regime was used for determination of plant canopy response to changing climatic conditions.

Two climatic scenarios were considered for the calculation of monthly totals of evapotranspiration (Lapin 1993).

Results of simulation have shown that evapotranspiration responses more sensitively to changes of the vapour pressure deficit than to changes of air temperature. The irrigated and nonirrigated canopy reacts in a different way. The nonirrigated canopy has lower transpiration, lower leaf water potential and higher resistance in comparison with irrigated one.

Transpiration changes are also influenced by the root system development, characterised by β parameter (equation 7 a). Transpiration from the canopy with poor developed root system is two times lower than the canopy with well developed root system.

Increasing of the stomatal resistance by 40 % decreases the monthly totals of evapotranspiration by 6 - 8 mm for the winter wheat canopy with well developed root system, and by 4 - 7 mm for the canopy with poor developed root system. However, in the relative expression it means decrease of evapotranspiration monthly totals by 17 (climatic scenario A) up to 24 per cent (scenario B) for well developed root system and from 31 to 42 % for the canopy with poor developed root system.

The evapotranspiration of the sugar beet, according to expected climatic scenarios, will gently increase in comparison with the present evapotranspiration (by 4 mm for the growing period) for unchanged stomatal resistance. When stomatal resistance increase by 40 %, total evapotranspiration during growing period will decrease by 18 - 23 mm.

From analysis of our results it follows that air temperature changes have small influence on changes of evapotranspiration in comparison with air humidity. The vapour pressure deficit is the second most important factor in climatic scenarios, immediately following precipitation.

For increasing prediction's accuracy of the climatic change influences on the evapotranspiration, more attention should be paid to the influence of increased CO₂ concentration on stomatal resistances, to the prediction of soil moisture changes and to the distribution of precipitation during growing period.

One of the effects of the global warming could be increasing irrigation demands. Increasing CO₂ concentration, however, acts as an antitranspirant. Increasing stomatal resistance neutralizes the influence of increasing temperature and decreasing precipitation on irrigation demands.

MOŽNÉ DÔSLEDKY ZMIEN KLÍMY NA EVAPOTRANSPIRÁCIU OZIMNEJ PŠENICE A CUKROVEJ REPY NA PODUNAJSKEJ NÍŽINE

Jozef Huzulák, František Matejka

Výskumný ústav rastlinnej výroby v Piešťanoch, pracovisko Bratislava

Geofyzikálny ústav SAV, Bratislava

ÚVOD

V ostatnom desaťročí je predpoveď očakávaných globálnych zmien klímy a ich dôsledkov predmetom výskumu a vedeckých diskusií. Zvýšenie koncentrácie CO_2 v atmosfére a s tým súvisiace zvýšenie teploty, väčší vodný deficit a svetelný stres - môže zmeniť štruktúru rastlinných spoločenstiev a ovplyvniť fyziologické funkcie rastlín. Zmena lokalizácie produkcie potravín a surovín rastlinného pôvodu môže mať vážne ekonomické dôsledky.

V klimatických podmienkach strednej Európy sa slnečné žiarenie nepovažuje za limitujúci faktor pri tvorbe úrody. Rast a vývin plodín je však vo veľkej miere determinovaný ich vodným režimom, ktorý ovplyvňuje pôdna vlhkosť a klimatické faktory. Preto je predmetom nášho záujmu predpoveď vplyvu možných klimatických zmien na vodný režim poľných plodín. Ako modelové plodiny sme vybrali ozimnú pšenicu a cukrovú repu nielen pre ich ekonomický význam, ale aj pre rozdielnu štruktúru a organizáciu porastu.

Oteplenie na planéte povedie k rastu rýchlosti výparu a prvým vplyvom na rastliny by mohlo byť zvýšenie transpirácie. Určenie evapotranspirácie má význam nielen z hľadiska hydrológie poľnohospodárskej krajiny, ale aj pre posúdenie vodnej bilancie pôdy pre potreby zavlažovania. Viacerí autori sa v ostatnom čase zaoberali predpoveďou aktuálnej evapotranspirácie, príjmu vody rastlinami a potrebami závlah v súvislosti s hypotetickými zmenami klimatických podmienok v budúcnosti (Aoki et al. 1993, McCabe a Wollock 1992, Cure a Acock 1986, Lapin a Šipöcz 1993). Je však málo informácií o režime ďalších charakteristík vodného režimu porastov v meniacich sa klimatických podmienkach.

Cieľom príspevku je urobiť kvalifikovaný odhad citlivosti evapotranspirácie a významných charakteristík vodného režimu rastlín (vodný potenciál listov a rezistencia porastu na transport vodnej pary do atmosféry) na predpokladané zmeny teploty a vlhkosti vzduchu pri zavlažovaných a stresovaných porastoch modelových plodín. Pozornosť budeme venovať hlavne zapojeným porastom, pri ktorých transpirácia tvorí podstatnú časť evapotranspirácie a proces fyziologickej kontroly transportu vodnej pary je veľmi významný. Na základe rozboru literatúry sa pokúsime zodpovedať otázku o možnej kompenzácii klesajúceho zisku uhlíka pri rastlinách nachádzajúcich sa vo vodnom strese zvýšenou koncentráciou CO_2 v atmosfére a o predpokladaných dôsledkoch pre rastlinnú produkciu.

MATEMATICKÝ MODEL VODNÉHO REŽIMU PORASTU

Na určenie odpovede porastu na meniace sa klimatické podmienky sa použil matematický model vodného režimu porastu. Model sa skladá z troch rovníc, pričom výstupy tvoria vodný potenciál listov, rezistencia porastu a transpirácia. Vstupnými dátami do modelu sú vodný potenciál pôdy, radiačná bilancia, rýchlosť vetra, teplota vzduchu a sýtosťný doplnok v referenčnej úrovni nad porastom.

Popis modelu

Analýza daného problému vychádza z koncepcie teoretického modelu transpirácie pre hypotetickú rastlinu (Bichele et al. 1980). Tento prístup sme modifikovali a skonkretizovali do formy plodinového modelu pre ozimnú pšenicu a cukrovú repu (Huzulák, Matejka 1989). Neskôr sme model spresnili prechodom z úrovne listu na úroveň porastu a zohľadnením závislosti medzi transpiráciou a vnútorným odporom rastliny (Huzulák, Matejka 1994).

Konštrukcia modelu vychádza z predstavy, že množstvo vody, ktoré za jednotku času rastlina prijme z pôdy a stratí transpiráciou je rovnaké. Vyjadríme, podľa Darcyho zákona, množstvo vody v $\text{g cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ prechádzajúce za jednotku času cez jednotkový objem pôdy

$$q = - \frac{k_s}{g} \text{grad } \psi_s \quad (1)$$

Veličiny k_s a ψ_s súvisia navzájom podľa vzťahu (Wind, 1972)

$$k_s = a (-\psi_s)^{-b} \quad (2)$$

Hodnoty koeficienta "a" sa pre rôzne pôdne typy líšia. Naproti tomu koeficient "b" sa mení málo a pohybuje sa najčastejšie v intervale 1,7 - 2,2. Položme v ďalších úvahách $b = 2$.

Označme hodnotu vodného potenciálu pôdy vo vzdialenosti x od osi koreňa symbolom $\psi(x)$.

Potom množstvo vody,

ktoré za jednotku času prijme časť koreňa s jednotkovou dĺžkou sa rovná

$$q' = -k_s \frac{2\pi x}{g} \frac{d\psi_s(x)}{dx} \quad (3)$$

Označme vodný potenciál pôdy pre $x = r$ ako ψ_R a pre $x = d$ ako ψ_s . Integráciou (3) s uvažovaním (2) dostávame

$$q' \int_r^d \frac{dx}{x} = \frac{2\pi a}{g} \frac{\psi_s}{\psi_R} \int_{\psi_s}^{\psi_R} [-\psi_s(x)^2] d\psi_s(x) \quad (4)$$

Hodnota q' vynásobená celkovou dĺžkou koreňov jednej rastliny, l_r , dáva celkové množstvo vody Q_R , ktoré rastlina prijme za jednotku času. Koreňový systém sa častejšie charakterizuje celkovou plochou koreňov, S_R . Preto využitím vzťahu $S_R = 2\pi r l_r$, môžeme pre transpiráciu N rastlín, rastúcich na m^2 písať

$$E = N Q_R = \frac{a N S_R}{g r \ln d/r} \left(\frac{1}{-\psi_s} - \frac{1}{-\psi_R} \right) \quad (5)$$

Hodnota ψ_R sa ťažko meria, preto je ako vstup do modelu nevhodná. Možno ju však eliminovať pomocou van den Honertovho vzťahu (1948)

$$E = \frac{1}{g} \frac{\psi_R - \psi_L}{r_p} \quad (6)$$

Po vyjadrení ψ_R z rovnice (6) a dosadení do (5) dostaneme

$$\frac{1}{-\psi_s} = \frac{1}{-gr_p E - \psi_L} + \frac{gr \ln d/r}{a N S_R} E \quad (7)$$

V tomto vzťahu zavedme označenie

$$gr \ln(d/r)/a N S_R = \beta \quad (7 a)$$

Takto definovaný parameter β závisí od geometrických charakteristík koreňového systému, a preto sa môže použiť ako kvantitatívna charakteristika jeho rozvoja.

Transpirácia E závisí od priechodovej rezistencie porastu a od vonkajších faktorov podľa Penman - Monteithovho vzťahu

$$L E = \frac{\delta r_a (R - P) + \rho c_p D}{\delta r_a + \sigma (r_a + r_c)} \quad (8)$$

Priechodová rezistencia závisí od slnečného žiarenia a od vodného potenciálu listov. Keď sa vzala do úvahy táto skutočnosť a súvislosť celkovej vodivosti porastu s vodivosťou v jednotlivých vrstvách, dospeli sme k vzťahu

$$r_c = r_o e^{-m} \psi_L \left(F + \frac{1}{\tau} \ln \left(\frac{1 + \frac{n}{Q\tau}}{1 + \frac{n}{Q\tau} e^{-\tau F}} \right) \right)^{-1} \quad (9)$$

Vzťahy (7), (8) a (9) predstavujú systém rovníc s neznámymi ψ_L , E , r_c , ktorý možno súčasne chápať ako matematický model, popisujúci vzťah vodného režimu porastu k parametrom pôdy, rastliny a atmosféry.

Verifikácia modelu

Pre overenie platnosti popísaného matematického modelu boli využité experimentálne údaje získané v rokoch 1986 - 1990 na experimentálnej ploche v Moste pri Bratislave (Matejka a Huzulák, v tlači). Meral sa vodný potenciál a priechodová rezistencia. V tom istom čase sa merali aj vertikálne profily teploty a vlhkosti vzduchu a rýchlosti vetra v štyroch hladinách nad porastom. Pomocou automatizovanej meteorologickej stanice boli merané denné chody globálneho žiarenia a radiačnej bilancie. Pôdna vlhkosť sa merala gravimetricky vo vrstvách s hrúbkou 10 cm do hĺbky 80 cm raz týždenne.

Konkretizácia popísaného modelu pre porast predpokladá určiť hodnoty jednotlivých konštánt v modelových rovniciach tak, aby zodpovedali danej situácii. Verifikácia modelu ukázala, že platí počas celého päťročného obdobia.

VÝSLEDKY

Model umožnil vypočítať, ako budú reagovať reakcie jednotlivé charakteristiky vodného režimu na možné zmeny teploty a vlhkosti vzduchu. Porast dobre zásobený vodou a stresovaný porast boli charakterizované hodnotami vodného potenciálu pôdy $-0,02$ MPa a $-0,35$ MPa. Parciálne vplyvy uvažovaných klimatických faktorov na charakteristiky vodného režimu ozimnej pšenice sú graficky znázornené na obr. 1 a 2. Výsledky simulácie ukazujú, že všetky charakteristiky citlivejšie reagujú na zmeny sýstostného doplnku ako na zmeny teploty vzduchu. Zavlažovaný a nezavlažovaný porast reagujú rozdielne. Nezavlažovaný porast má v porovnaní so zavlažovaným nižšiu transpiráciu, nižší vodný potenciál listov a vyššiu rezistenciu. Vodný režim stresovaných rastlín je významne ovplyvňovaný zmenami obsahu vody v koreňovej zóne pôdy.

Z obr. 1 a 2 vyplýva, že rast teploty vzduchu o 1°C má za následok zmenu rýchlosti transpirácie o $0,002\text{ mm h}^{-1}$ pri pšenici dobre zásobenej vodou. Korešpondujúce zmeny vodného potenciálu listov a rezistencie porastu sú 3 kPa , resp. $0,002\text{ s cm}^{-1}$. Parciálna zmena sýstostného doplnku o 100 Pa spôsobuje vzostup rýchlosti transpirácie rovnajúci sa $0,011\text{ mm h}^{-1}$ a spôsobuje zmenu vodného potenciálu listov o 17 kPa a rezistencie porastu o $0,012\text{ s cm}^{-1}$. Simulovali sme aj vplyv zmien pôdnej vlhkosti na transpiráciu nezavlažovanej ozimnej pšenice (obr. 3). Pri simulácii sme uvažovali s konštantnou teplotou vzduchu 20°C a s konštantným sýstostným doplnkom 1000 Pa . Z obr. 3 vyplýva, že pri predpovedi vplyvu klimatických zmien na vodný režim ozimnej pšenice musíme vziať do úvahy aj zmeny pôdnej vlhkosti.

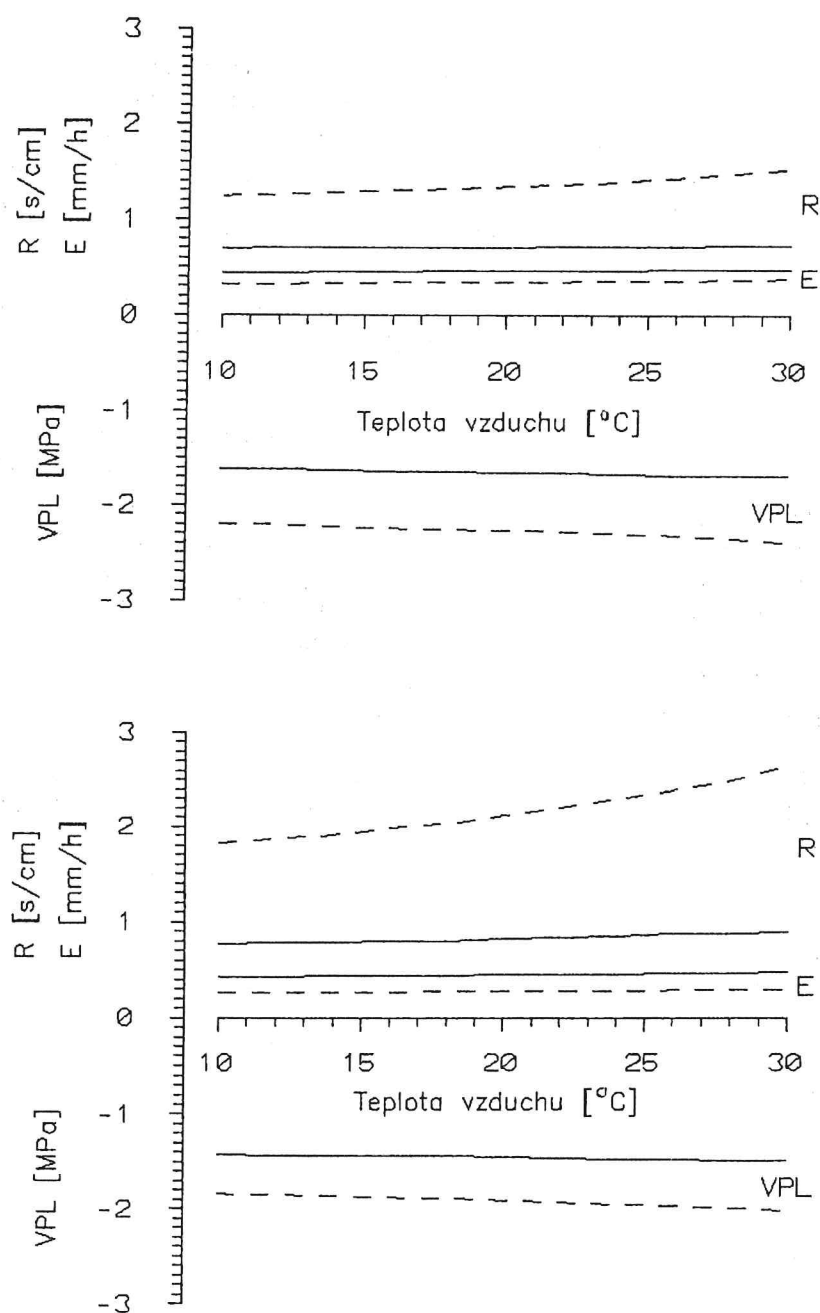
Pre výpočet mesačných súm transpirácie porastu sme použili dva klimatické scenáre, ktoré vyplynuli z analýzy predchádzajúcich dát a z klimatických modelov (Lapin, Šipöcz 1991, Lapin 1993). Odchýlky od dlhodobých priemerov pri teplote vzduchu, sýstostnom doplnku a zrážkach sú v tabuľke 1.

Z viacerých prác je známe, že transpirácia je značne ovplyvnená koreňovým systémom. Kvantifikovať stupeň rozvoja koreňového systému je komplikované. Použitý model umožňuje vyjadriť sa aj k tomuto fenoménu. Zo vzťahu (7 a) vyplýva, že hodnota parametra β je tým menšia, čím je koreňový systém rozvinutejší. To umožnilo vypočítať, aká bude mesačná transpirácia pre porast ozimnej pšenice s dobre rozvinutým ($\beta = 13$) a slabo rozvinutým koreňovým systémom ($\beta = 75$). Výsledky simulácie sú uvedené v tabuľke 2. Vzhľadom na to, že v mesiacoch máj a jún bol porast zapojený, možno výpar z pôdy zanedbať a uvedené hodnoty považovať za zmeny evapotranspirácie.

Tab. 1. Očakávané zmeny teploty vzduchu, δT , sýstostného doplnku, δD , a mesačnej sumy zrážok, δZ (scenáre podľa Lapina a Šipöcza, 1991).

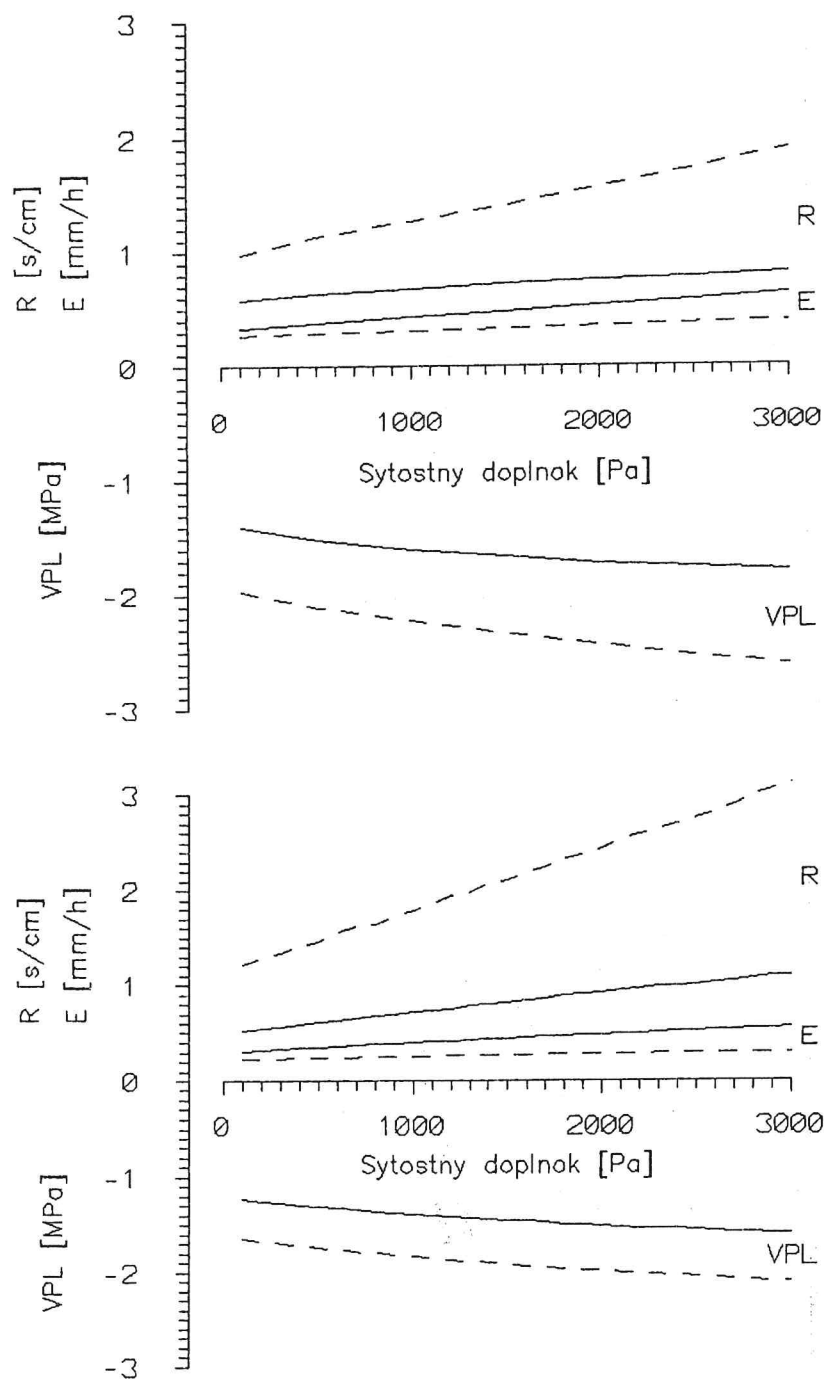
Expected changes of air temperature, δT , vapour pressure deficit, δD , and monthly totals of precipitation, δZ (scenarios according to Lapin and Šipöcz 1991).

Klimatický scenár	A			B		
	$\delta T (^{\circ}\text{C})$	$\delta D (\text{Pa})$	$\delta Z (\text{mm})$	$\delta T (^{\circ}\text{C})$	$\delta D (\text{Pa})$	$\delta Z (\text{mm})$
Apríl	1,0	0	- 9	2,0	65	- 9
Máj	0,8	0	- 5	1,5	55	- 5
Jún	0,6	0	5	1,1	45	5
Júl	0,5	0	2	1,0	45	2
August	0,6	0	0	1,1	45	0
Sept.	0,8	0	- 5	1,5	50	- 5
Okt.	1,0	0	- 5	2,0	55	- 5



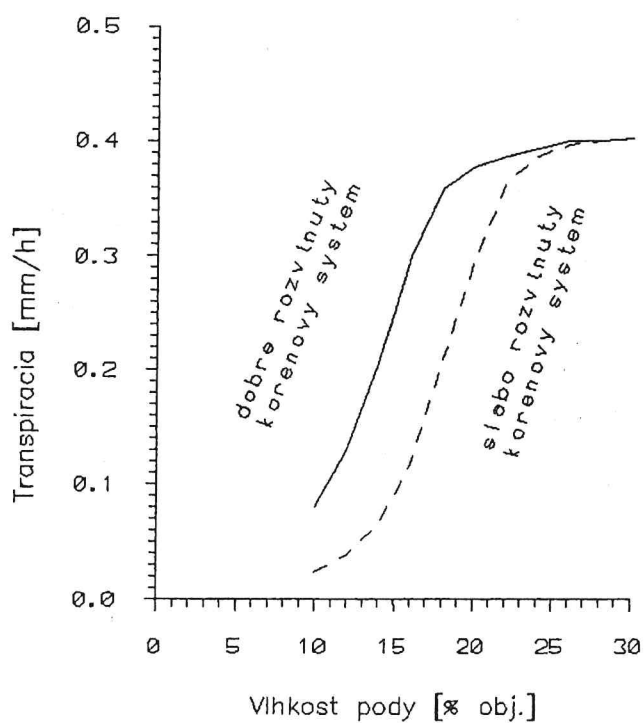
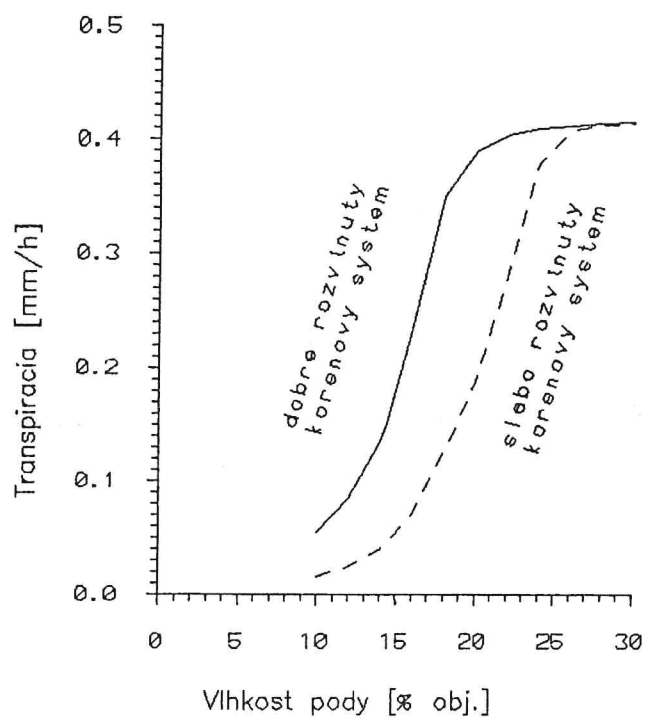
Obr. 1 Zavislost vodneho potencialu listov VPL, rezistencie porastu R a transpiracie E od teploty vzduchu pre vodou dobre zasobenu (plna ciara) a stresovanu (prerusovana ciara) ozimnu pšenicu (hore) a cukrovu repu (dolu)

Fig. 1 The dependence of the leaf water potential VPL, canopy resistance R and transpiration rate E on the air temperature for the well watered (full line) and stressed (dashed line) winter wheat (above) and sugar beet (below)



Obr. 2 Zavislost vodneho potenciálu listov VPL, rezistencie porastu R a transpirácie E od sytostneho doplnku pre vodu dobre zasobenu (plna ciara) a stresovanu (pre-rusovana ciara) ozimnu pšenicu (hore) a cukrovú repu (dolu)

Fig. 2 The dependence of the leaf water potential VPL, canopy resistance R and transpiration rate E on the saturation deficit for the well watered (full line) and stressed (dashed line) winter wheat (above) and sugar beet (below)



Obr.3 Závislosť transpirácie od vlhkosti pôdy (hore) a cukrovej repy (dolu) od podnej vlhkosti

Fig.3 The dependence of transpiration rate on the soil moisture for winter wheat (above) and sugar beet (below)

Napriek vzostupu teploty vzduchu v obidvoch klimatických scenároch dochádza k redukcii mesačnej sumy evapotranspirácie, ktorá je zapríčinená očakávaným poklesom zrážok v mesiacoch apríl a máj, ktoré sú pre danú plodinu veľmi významné. Situáciu ovplyvnia nielen jarné, ale aj zimné zrážky, ktoré určujú pôdnu vlhkosť na začiatku apríla, považovanú v našom modeli za východiskovú.

Je zrejmé, že zmeny transpirácie v budúcnosti budú ovplyvnené tiež stupňom rozvoja koreňového systému rastlín. Výsledky prezentované v tabuľke 2 pre nezavlažovaný porast ukazujú, že porast so slabým rozvinutým koreňovým systémom má dvojnásobne nižšiu mesačnú sumu evapotranspirácie v porovnaní s porastom s dobre rozvinutým koreňovým systémom. Predpovedané mesačné sumy evapotranspirácie pre zavlažovanú ozimnú pšenicu sú vyššie a dosahujú hodnoty blízke potenciálnej transpirácii.

Štúdie o vplyve CO₂ na rastliny v kontrolovaných podmienkach naznačili, že prieduchová rezistencia rastie s rastom koncentrácie oxidu uhličitého. Pri simulácii sme uvažovali s rastom rezistencie o 20 a 40 %. V tabuľkách 3 a 4 uvádzame zmeny mesačných súm evapotranspirácie ozimnej pšenice (v mm a v %) pre obidva uvažované scenáre, pričom sme zohľadnili aj vplyv rôzneho stupňa rozvoja koreňového systému na evapotranspiráciu.

Tab. 2. Predpovedané zmeny mesačnej sumy evapotranspirácie ozimnej pšenice [mm] pre rôzne klimatické scenáre.

Predicted changes of monthly totals of evapotranspiration [mm] for winter wheat and different climatic scenarios.

Koreňový systém	dobre rozvinutý		slabo rozvinutý	
Klimatický scenár	A	B	A	B
Apríl	0	- 2	- 1	- 4
Máj	- 4	- 7	- 9	- 13
Jún	- 4	- 8	- 11	- 16

Zvýšenie prieduchovej rezistencie o 40 % zníži mesačnú sumu evapotranspirácie o 6 - 8 mm pri poraste ozimnej pšenice s dobre rozvinutým koreňovým systémom a 4 - 7 mm pri poraste so slabým rozvinutým koreňovým systémom. Pri relatívnom vyjadrení to však znamená pokles mesačnej sumy evapotranspirácie v porovnaní so súčasnými priemernými hodnotami evapotran-

Tab. 3. Vplyv rastúcej prieduchovej rezistencie na zmeny mesačných súm evapotranspirácie [mm, %] ozimnej pšenice pre rôzne klimatické scenáre a dobre rozvinutý koreňový systém ($\beta = 13$).

Influence of increasing winter wheat stomatal resistance on monthly totals of evapotranspiration changes [mm, %] in different climatic scenarios for well developed root system ($\beta = 13$).

Klimatický scenár		A			B		
Rast rezistencií (%)		0	+	20 + 40	0	+	20 + 40
April	mm	0	- 4	- 8	- 2	- 5	- 8
	%	0	- 9	- 17	- 4	- 11	- 17
Máj	mm	- 4	- 6	- 10	- 7	- 11	- 15
	%	- 5	- 9	- 14	- 9	- 15	- 21
Jún	mm	- 4	- 6	- 10	- 8	- 11	- 15
	%	- 6	- 10	- 16	- 12	- 17	- 24

spirácie ozimnej pšenice o 17 (klimatický scenár A) až 24 % (scenár B) pri dobre rozvinutom koreňovom systéme a 31 až 42 % pri poraste so slabo rozvinutým koreňovým systémom.

Pri cukrovej repe klimatický scenár prepokladá v júni a v júli nárast zrážok, teda lepšie podmienky pre rozvoj porastu ako v súčasnosti, čo sa prejavilo vo zvýšených hodnotách evapotranspirácie pri nezmenenej prieduchovej rezistencii (tabuľky 5 a 6). Tento fakt je dôležitý aj pre posúdenie vplyvu stupňa rozvoja koreňového systému na mesačné sumy evapotranspirácie, ktorý sa javí ako nevýrazný. Pri podrobnejšom rozbere však treba vziať do úvahy, že počiatočná vlhkosť pôdy, pri ktorej sme začínali simulačné výpočty, na začiatku júna bola len 23,4 objemových %. Pri tejto pôdnej vlhkosti už slabo rozvitý koreňový systém nie je schopný efektívne využívať zásoby vody v pôde, transpiruje menej ako porast s dobre rozvinutým koreňovým systémom a preto aj pôdna vlhkosť v tomto prípade klesá pomalšie. Dochádza k situácii, kedy porast s dobre rozvinutým koreňovým systémom transpiruje na suchšej pôde takmer rovnako ako porast so slabšie rozvinutým koreňovým systémom na vlhšej pôde.

Evapotranspirácia cukrovej repe, podľa predpokladaných klimatických scenárov, v porovnaní s evapotranspiráciou v súčasných priemerných podmienkach, pri nezmenenej prieduchovej rezistencii mierne stúpne (o 4 mm za vegetačné obdobie). Pri zväčšení prieduchovej rezistencie o 40 %, pri všetkých uvažovaných kombináciach, celková suma evapotranspirácie počas vegetačného obdobia klesne o 18 - 23 mm, čo jasne vyjadruje význam tejto charakteristiky vodného režimu na evapotranspiráciu.

Podľa klimatického scenára pre cukrovú repu v mesiacoch s vysokými evaporačnými požiadavkami ovzdušia a vysokým indexom listovej pokrývnosti sa očakáva mierny nárast zrážok, čo má za následok zvýšenie mesačných úhmov transpirácie. Toto zvýšenie sa len čiastočne kompenzuje poklesom transpirácie v septembri, kedy sú menšie evaporačné požiadavky ovzdušia, aj menší index listovej pokrývnosti.

Tab. 4. Vplyv rastúcej prieduchovej rezistencie na zmeny mesačných súm evapotranspirácie [mm, %] ozimnej pšenice pre rôzne klimatické scenáre a slabo rozvinutý koreňový systém ($\beta = 75$).

Influence of increasing winter wheat stomatal resistance on monthly totals of evapotranspiration changes [mm, %] in different climatic scenarios for poor developed root system ($\beta = 75$).

Klimatický scenár		A				B							
Rast rezistencií (%)		0	+	20	+	40	0	+	20	+	40		
April	mm	-1	-	4	-	7	-	4	-	6	-	9	
	%	-1	-	9	-	15	-	9	-	14	-	19	
Máj	mm	-	9	-	11	-	14	-	13	-	17	-	20
	%	-17	-	22	-	28	-	27	-	33	-	39	
Jún	mm	-11	-	14	-	15	-	16	-	18	-	20	
	%	-22	-	29	-	31	-	34	-	39	-	42	

Tab. 5. Vplyv rastúcej prieduchovej rezistencie na zmeny mesačných súm evapotranspirácie [mm, %] cukrovej repy pre rôzne klimatické scenáre a dobre rozvinutý koreňový systém ($\beta = 6$).

Influence of increasing sugar beet stomatal resistance on monthly totals of evapotranspiration changes [mm, %] in different climatic scenarios for well developed root system ($\beta = 6$).

Klimatický scenár		A			B		
Rast rezistencií (%)		0 + 20 + 40			0 + 20 + 40		
Jún	mm	-1	- 4	- 9	2	- 3	- 8
	‰	-1	- 6	-13	4	- 4	-12
Júl	mm	3	0	- 5	2	- 1	- 5
	‰	4	0	- 8	4	- 2	- 7
August	mm	1	- 2	- 5	1	- 3	- 5
	‰	2	- 3	-10	2	- 5	- 9
September	mm	-1	- 2	- 4	- 1	- 1	- 3
	‰	-1	- 6	-12	- 1	- 3	- 7

Tab. 6. Vplyv rastúcej prieduchovej rezistencie na zmeny mesačných súm evapotranspirácie [mm, %] cukrovej repy pre rôzne klimatické scenáre a slabo rozvinutý koreňový systém ($\beta = 27$).

Influence of increasing sugar beet stomatal resistance on monthly totals of evapotranspiration changes [mm, %] in different climatic scenarios for poor developed root system ($\beta = 27$).

Klimatický scenár		A			B		
Rast rezistencií (%)		0 + 20 + 40			0 + 20 + 40		
Jún	mm	1	- 2	- 6	2	- 2	- 5
	%	2	- 4	-10	3	- 4	- 9
Júl	mm	3	- 2	- 5	2	- 3	- 7
	%	5	- 3	-10	5	- 6	-13
August	mm	1	- 1	- 5	0	- 1	- 5
	%	2	- 1	-10	0	- 2	-10
September	mm	-1	- 1	- 3	- 1	- 1	- 1
	%	-4	- 4	- 9	- 4	- 3	- 2

DISKUSIA

Potenciálne klimatické zmeny môžu mať významný vplyv na vodné zdroje. Najdôležitejšou zložkou hydrologického cyklu je evapotranspirácia, preto sa veľa úsilia venuje metódam jej merania a výpočtu. Snáď najväčšie skúsenosti sú u nás s použitím metódy Alpatjeva alebo Budyka a Zubenokovej. Tieto metódy, vyvinuté pred desaťročiami, stanovujú výpar, akoby rastlinný porast nebol nič viac ako čiastočne vlhká plocha na spodnej hranici atmosféry. V súčasnosti je aktívna úloha rastlín v procese evapotranspirácie dobre rozpracovaná experimen-

tálne aj teoreticky (Raupach a Finnigan 1988), preto sme postupovali touto cestou. Získali sme tak jemnejší nástroj na hodnotenie evapotranspirácie.

Pravdepodobne nikto nepochybuje o vplyve mechanizmu otvárania a zatvárania prieduchov na rýchlosť transpirácie, ktorá úzko súvisí so vznikom vodného deficitu. Primárnou funkciou otvárania prieduchov je však získavanie CO_2 z atmosféry pre fotosyntézu. Čiastočné zatvorenie prieduchov, aby sa uchránila voda, je prekážkou príjmu CO_2 . Potreba minimalizovať túto prekážku viedla k rôznym spôsobom reagovania prieduchov, ktoré často fungujú paralelne. Ekofyziológia prieduchov je teda rozhodujúca aj pre produkčný proces.

Rastúca prieduchová rezistencia spôsobuje pokles mesačných súm transpirácie, čím sa do určitej miery redukuje vplyv rastúcej teploty a poklesu zrážok (tab. 3 - 6). Zvýšenie rezistencie pri simuláciách o 20 a 40 % je v súlade s literárnymi údajmi. Cure a Acock (1986) uvádzajú priemerný pokles vodivosti prieduchov pri zdvojnásobení koncentrácie CO_2 34 %, Rosenberg et al. (1989) uvažujú o zvýšení rezistencie o 20 - 60 %. Pri päťročnom súvislom experimente sme z priamych meraní získali veľké množstvo údajov o rezistencii prieduchov za rôznych meteorologických situácií a môžeme konštatovať, že údaje v tabuľkách 3 - 6 sú reálne.

Z analýzy výsledkov vyplýva, že samotné zmeny teploty vzduchu majú malý vplyv na zmeny evapotranspirácie v porovnaní s vplyvom vlhkosti vzduchu. Dá sa povedať, že z hľadiska významnosti je sýtosťný doplnok druhý najdôležitejší faktor klimatických scenárov, nasledujúci hneď po zrážkach.

Pri porovnaní dvoch skúmaných porastov sú na prvý pohľad viditeľné veľké rozdiely. Mesačné sumy evapotranspirácie klesajú pri ozimnej pšenici oveľa výraznejšie ako pri cukrovej repe vo všetkých sledovaných variantoch. Treba si však uvedomiť, že sa porovnávajú dve rôzne časové obdobia. Zatiaľ čo klimatický scenár pri ozimnej pšenici počítá s poklesom zrážok (9 mm v apríli a 5 mm v máji), pri cukrovej repe sa predpokladá mierny nárast zrážok v júni a v júli a pokles zrážok až ku koncu vegetačného obdobia. Okrem toho východisková pôdna vlhkosť pre simulačné výpočty bola na začiatku apríla pre ozimnú pšenicu 29 objemových % (priemer za roky 1986 - 1991), pre cukrovú repu na začiatku júna 24,3 objemových %. Priemerná suma zrážok za apríl v stanici Bratislava - letisko predstavuje 39 mm, teda pokles o 9 mm znamená 23 % z mesačného úhrnu, čo sa výrazne prejavuje na redukcii transpirácie.

Okrem vodivosti prieduchov vplývajú na transpiráciu aj ďalšie charakteristiky - hydraulická rezistencia, zásoba vody v rastline a koreňový systém. Podľa Hectorsa et al. (1993) je koreňový systém jadrom ekonomiky vodného režimu plodín. V modeli, ktorý uvádzame, je koreňový systém charakterizovaný koeficientom β (rovnica 7 a). Hodnoty koeficienta β , používané pri simulačných výpočtoch, predstavujú priemerné hodnoty získané v päťročnom experimente (Huzulák a Matejka 1994). Vzhľadom na metodickú náročnosť pri skúmaní koreňového systému sú simulačné modely takmer jediným dostupným prostriedkom pre predikciu vplyvu klimatických zmien na vodný režim porastov.

Keďže koreňový systém zavlažovaných plodín je podľa literárnych údajov (Klepper 1991) aj našich výsledkov slabšie rozvinutý ako pri nezavlažovaných plodinách (Matejka a Huzulák, v tlači), hodnoty koeficientu β pre slabo rozvinutý koreňový sú blízke hodnotám pre zavlažované porasty uvedených plodín.

Pre výsledky simulačných výpočtov je významná počiatočná pôdna vlhkosť, ktorá sa v jednotlivých rokoch mení v širokom intervale. Okrem toho veľký význam pre priebeh transpirácie počas vegetačného obdobia má aj časové rozdelenie zrážok. Získané výsledky ukázali, že pokles mesačných zrážkových úhrnov v apríli a v máji môže spôsobovať podstatné zníženie evapotranspirácie pšenice, čo sa prejaví aj na hodnotách ostatných charakteristík vodného režimu, najmä na prieduchovej rezistencii porastu.

Z uvedeného vyplýva, že pre spresnenie prognóz vplyvu klimatických zmien na evapotranspiráciu bude dôležité venovať väčšiu pozornosť analýze vplyvu rastu koncentrácie CO_2 na prieduchové rezistencie, predikcii zmien pôdnej vlhkosti a časového rozdelenia zrážok počas vegetačného obdobia.

Makroklimatické scenáre umožňujú výpočet priemerných hodnôt evapotranspirácie z priemerných klimatických údajov z meteorologickej búdky, ktoré sa však nevzťahujú k žiadnemu konkrétnemu porastu. Pre spresnenie vstupných údajov do simulačných výpočtov by bolo potrebné vypracovať scenáre klimatických zmien v menšom priestorovom meradle, aby charakterizovali stav prízemnej vrstvy atmosféry nad rastlinnými porastami, ktoré sa vyznačujú významným klimatickým pôsobením v mikromeradle a v mezomeradle (metódy označované ako downscaling). To by umožnilo náš pôvodný model širšie využiť aj pre predikciu potreby závlah.

PREDPOKLADANÝ VPLYV VODNÉHO STRESU, CO_2 A KLIMATICKÝCH ZMIEN NA RASTLINNÚ PRODUKCIU

Vodný deficit ovplyvňuje rastlinnú produkciu prostredníctvom účinku na otvorenosť prieduchov, na fotosyntézu a na rast (turgor pôsobí na prieduchy, vodný potenciál ovplyvňuje transport elektrónov a rýchlosť fotofosforylácie). Aké budú kombinované účinky vodného deficitu a rastúcej koncentrácie CO_2 ?

Rastúca koncentrácia CO_2 v atmosfére povedie k rastu parciálneho tlaku CO_2 v medzibunkových priestoroch navzdory poklesu vodivosti prieduchov, ktorá nastáva vo väčšine druhov pri vysokej koncentrácii CO_2 . Preto nastane pokles fotorespirácie (dýchania v svetlej časti dňa) a rast čistej rýchlosti fotosyntézy.

Významné je zníženie transpiračného koeficienta (množstvo vody potrebné na vytvorenie jednotkového množstva sušiny) o 40 až 100 %, vyvolané rastúcou koncentráciou CO_2 (Morison 1987).

Okrem stimulačného účinku rastúcej koncentrácie CO_2 na rýchlosť asimilácie uhlíka existujú aj nepriame vplyvy na biochemickej úrovni, osobitne na niektoré enzýmy uhlíkového metabolizmu. Konkrétnym prejavom toho môže byť väčšia inhibícia syntézy škrobu ako cukru, čo umožňuje, aby rozpustné cukry zvyšovali osmoreguláciu rastlín (Chaves a Pereira 1992).

Účinok zvýšenej koncentrácie CO_2 a klimatických zmien na primárnu produkciu, dynamiku vegetácie a úrodu plodín si vyžaduje dlhodobé štúdie na úrovni porastu. V týchto štúdiách procesy aklimatizácie a interakcie s ostatnými faktormi prostredia môžu podstatne modifikovať predpokladané reakcie založené na krátkodobých štúdiách.

Zvýšený rast v atmosfére obohatenej CO_2 sa zistil pri mnohých druhoch a využíva sa v záhradníctve. Nie je to však univerzálna odpoveď. Existuje aj negatívny vplyv dlhotrvajúceho vystavenia rastlín vysokému obsahu CO_2 . Tento vplyv sa pripisoval spätnej väzbe - inhibícii fotosyntézy už vytvoreným škrobom a cukrom (Cave et al. 1981), lebo fotosyntáty vytvorené v chloroplastoch sa musia uložiť na iných miestach v rastline (sink). Obmedzená kapacita sinku môže významne ovplyvniť akumuláciu uhlíohydrátov. Iným vysvetlením pre redukovanú rýchlosť asimilácie v prostredí vysokého obsahu CO_2 bol pokles aktivity enzýmu Rubisco.

Vodný deficit môže redukovať produkciu, lebo zatvorenie prieduchov, redukuje asimiláciu uhlíka. Ukazuje sa, že niektoré z vyššie uvedených účinkov rastúcej koncentrácie CO_2 vo vzduchu môžu kompenzovať negatívne vplyvy vodného deficitu na rast. Práca Sionita et al. (1980) o kombinovanom účinku zvýšeného obsahu CO_2 a vodného deficitu na pšenicu ukázala, že rastliny rastúce pri koncentrácii CO_2 1000 ppm a vodnom deficite mali rovnakú úrodu zrna ako rastliny rastúce pri 350 ppm CO_2 , nevystavené vodnému stresu.

Vyšší úrodový potenciál rastlín rastúcich v podmienkach limitovanej zásoby vody, ale vyššej koncentrácie CO_2 , sa môže vysvetliť na jednej strane lepším vodným režimom (osmotický potenciál a vodivosť prieduchov sú nižšie, pomer koreň/nadzemná časť je vyšší), na druhej strane menším transpiračným koeficientom. Preferenčné rozdelenie asimilátov do koreňov, charakteristické pri vodnom deficite, sa môže ešte zvýšiť pri rastúcej koncentrácii CO_2 vo vzduchu a prispieva k zvýšeniu príjmu vody.

Na predpoveď interakcie medzi rastúcou koncentraciou CO_2 a vodným deficitom potrebujeme simulačné modely. Pomocou nich sa zistilo (pri nelimitujúcej pôdnej vode), že zdvojnásobenie koncentrácie CO_2 spôsobí pokles maximálnej prieduchovej vodivosti na 70 % a transpiračného koeficienta na polovicu (Morison 1987). Zatiaľ nie sú dostatočne otestované ďalšie interakcie, súvisiace s klimatickými zmenami, napr. vplyv vyššej teploty vzduchu na straty sušiny predýchaním pri vyššej koncentrácii CO_2 .

Idso (1991) uvádza, že zvýšenie koncentrácie CO_2 o 300 ppm zvyšuje pri troch uvádzaných druhoch čistú fotosyntézu až pokiaľ vodivosť prieduchov neklesne na 40 % pôvodnej hodnoty. Ak by nenastala redukcia vodivosti prieduchov, rýchlosť čistej fotosyntézy stúpne 2,5 -krát.

Pri modelovaní vplyvu koncentrácie CO_2 na fotosyntézu treba skombinovať dva submodely: na biochémii založený submodel fixácie CO_2 v listových chloroplastoch a fyzikálne založený submodel difúzie CO_2 a H_2O medzi povrchom listu a hraničnou vrstvou atmosféry. Vplyv vodného deficitu sa môže prejaviť v oboch modeloch. Teoretický základ pre vplyv CO_2 na fotosyntézu v súčasnosti umožňuje jeho dobrú reprodukovateľnosť pri absencii vodného deficitu. Teoretický základ pre vplyv vodného deficitu na fotosyntézu je však neúplný (Grant 1992).

Jedným z potenciálnych účinkov globálneho oteplenia môžu byť rastúce požiadavky na zavlažovanie. Keď stúpa teplota, rastie aj evapotranspirácia, a tak môže klesať množstvo vody dostupnej pre zavlažovanie. Rastúca koncentrácia oxidu uhličitého má antitranspiračný účinok na rastliny (Idso a Brazel 1984), prieduchy sú otvorené kratší čas, čím klesá transpirácia. Rastúca prieduchová rezistencia bude znižovať požiadavky na zavlažovanie.

McCabe a Wolock (1992) použili model zavlažovania na simulovanie účinku rôznych hypotetických klimatických zmien na ročné závlahové požiadavky v miernom pásme. Scenáre klimatických zmien sa skladali z kombinácie zmien teploty, zrážok a prieduchovej rezistencie rastlín. Výsledky ukázali, že požiadavky na závlahu boli citlivejšie na zmeny teploty ako na zmeny zrážok. Je pozoruhodné, že rastúca rezistencia prieduchov neutralizuje vplyv rastúcej teploty a klesajúcich zrážok na závlahové požiadavky. Požiadavky na zavlažovanie boli dokonca citlivejšie na zmeny prieduchovej rezistencie ako na zmeny teploty.

Zvýšenie požiadaviek na zavlažovanie v oblastiach ohrozených nedostatkom vody vo vegetačnom období je problematické z hľadiska vodohospodárskeho aj ekonomického. Tam, kde sú vybudované závlahy, treba použiť efektívnejšie metódy riadenia závlahového režimu pomocou počítačových programov usporiadaných pre danú lokalitu (Huzulák 1994). Veľkú úlohu môže zohrať genetika a šľachtenie zakomponovaním do dedičnej výbavy organizmov odolnosť proti suchu, ale aj odolnosť proti chladu, ktorá by umožnila posunúť pri niektorých druhoch vegetačné obdobie na skorší termín. Reštruktúracia rastlinnej produkcie a určité agrotechnické opatrenia však môžu priniesť úžitok už v krátkom čase.

ZOZNAM SYMBOLOV

- a,b - parametre vzťahu medzi hydraulickou vodivosťou pôdy
a vodným potenciálom pôdy ($\text{m s}^{-1}\text{K}^{-1}$, (-)
- c_p - merné teplo vzduchu ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)
- d - polovičná vzdialenosť medzi susednými koreňmi (m)
- D - sýtosťný doplnok (Pa)
- E - tok vodnej pary ($\text{kg m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
- F - index listovej pokrývnosti (m^2m^{-2})
- g - gravitačné zrýchlenie
- H - turbulentný tok tepla (W m^2)
- k_s - hydraulická vodivosť pôdy (m s^{-1})
- L - skupenské teplo vyparovania
- l_r - celková dĺžka koreňov jednej rastliny
- m,n - parametre vo vzťahu medzi prieduchovou rezistenciou
a vodným potenciálom listov (-), (W m^{-2})
- P - tok tepla do pôdy (W m^{-2})
- Q_R - celkové množstvo vody prijaté rastlinou ($\text{kg s}^{-1}\text{rastl.}^{-1}$)
- r - polomer koreňa
- r_a - aerodynamická rezistencia (s m^{-1})
- r_c, r_p - rezistencia porastu, resp. rastliny (s m^{-1})
- R - radiačná bilancia (W m^{-2})
- δ - zmena tlaku nasýtenej pary s teplotou (Pa K^{-1})
- σ - psychrometrická konštanta (Pa K^{-1})
- ψ_L - vodný potenciál lista (Pa)
- ψ_R - vodný potenciál koreňa (Pa)
- ψ_s - vodný potenciál pôdy (Pa)
- ρ - hustota vzduchu (kg m^{-3})
- τ - koeficient zoslabenia pre slnečné žiarenie (-)

LITERATÚRA

- [1] Aoki, M., Machimura, T., Hideshima, Y., Obase, N.: Evaluation of changes in Bowen ratio and evapotranspiration with climatic change. *J. Agric. Forest Meteorol.* 48, 1993, 823 - 826.
- [2] Bichele, Z. N., Moldanu C. A., Ross, J. K.: *Matematicke modelovanie transpiracie i fotosinteza rastenij pri nedostatke pocennej vlazi.* Gidrometeoizdat, Leningrad, 1980.
- [3] Cave, G., Tolley, L. C., Strain, B. R.: Effect of carbon dioxide enrichment on chlorophyll content, starch content and starch grain structure in leaves. *Biol. Plant.* 51, 1981, 171 - 174.
- [4] Cure, J. D., Acock, B.: Crop responses to carbon dioxide doubling. *Agric. Forest Meteorol.* 38, 1986, 127 - 145.
- [5] Hector, D. J., Gregson, K., McGowan, M.: A computer simulation describing water extraction by crop root systems. *Field Crops Res.* 32, 1993, 287 - 304.
- [6] Huzulák, J.: Modelovanie vodného režimu porastu. [Záverečná správa.] VÚRV Piešťany, 1994, 65 s.
- [7] Huzulák, J., Matejka, F.: Matematický model vodného režimu porastu a možnosti jeho aplikácie. *Meliorace*, 25, 1989, 123 - 130.
- [8] Huzulák, J., Matejka, F.: Dependence of total plant resistance on evapotranspiration for field grown winter wheat and sugar beet. *Biologia* 49, 1994, 87 - 90.
- [9] Chaves, M. M., Pereira, J. S.: Water stress, CO₂ and climate change. *J. Exp. Bot.* 43, 1992, 1131 - 1139.
- [10] Idso, S. B., Brazel, A. J.: Rising atmospheric carbon dioxide concentration may increase streamflow. *Nature* 312, 1984, 51 - 53.
- [11] Klepper, B.: Crop root system response to irrigation. *Irrig. Sci.* 12, 1991, 105 - 108.
- [12] Lapin, M., Šipöcz, M.: Možné dopady očakávaných klimatických zmien na vodnú bilanciu na nížinách Slovenska. *Meteorol. zprávy*, 44, 1991, 79 - 83.
- [13] Lapin, M.: Possible impacts of climate change upon water balance in Slovakia. In: *Proc. Int. Symp. on Precipitation and Evaporation*, vol. 3, Bratislava 1993, 195 - 200.
- [14] Matejka, F., Huzulák, J.: Analysis of relationships between winter wheat leaf water potential and atmospheric factors. *Biologia* (v tlači).
- [15] McCabe, G. J., Wolock, D. M.: Sensitivity of irrigation demand in a humid-temperate region to hypothetical climatic change. *Water Resour. Bull.* 28, 1992, 535 - 543.
- [16] Morison, J. I. L.: Intercellular CO₂ concentration and stomatal response to CO₂. *Stomatal Functions*. Stanford University Press, 1987.
- [17] Raupach, M. R., Finnigan, J. J.: Single layer models of evaporation from plant canopies are incorrect but useful, whereas multilayer models are correct but useless. *Aust. J. Plant Physiol.*, 1988, 705 - 716.
- [18] Rosenberg, N. J., McKenney, M. S., Martin, P.: Evapotranspiration in a greenhouse-warmed world: a review and a simulation. *Agric. Forest Meteorol.* 47, 1989, 303 - 320.
- [19] Sionit, N., Hellmers, H., Strain, B. R.: Growth and yield of wheat under CO₂ enrichment and water stress. *Crop Sci.* 20, 1980, 687 - 90.

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 2

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: Reprografické pracovisko SHMÚ v roku 1994

Účelová publikácia, 158 s., 54 tab., 81 obr., náklad 400 výtlačkov

Annual means of air temperature T and precipitation totals in April-September R at Hurbanovo, Slovakia, in 1871-1994

