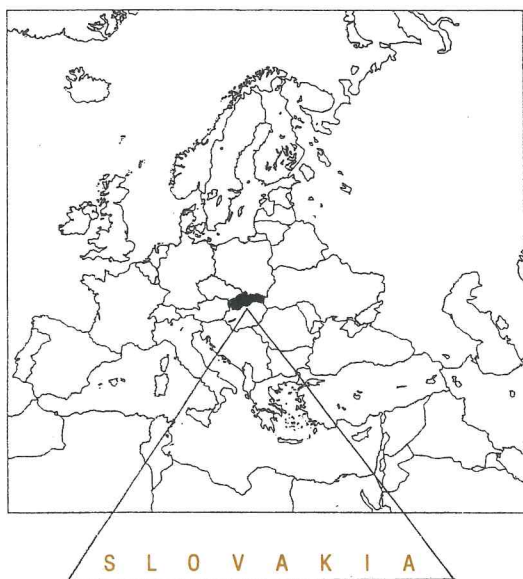




**NKP**  
**9/00**

## MOŽNÉ DÔSLEDKY KLIMATICKEJ ZMENY NA SLOVENSKU POSSIBLE CLIMATE CHANGE IMPACTS IN SLOVAKIA

- *Hydrologický monitoring a modelovanie možných zmien mesačných odtokov*  
(Hydrological Monitoring and Modelling of Possible Runoff Changes)
- *Modelovanie vplyvu zmeny klímy na režim odtoku v regióne stredného Slovenska*  
(Modelling of Climate Change Impact on Runoff Regime in Central Slovakia)
- *Zákonitosti kolísania priemerných ročných prietokov*  
(The Average Annual Discharge Oscillation Regularities)
- *Dôsledky klimatickej zmeny na vybrané sektory a adaptačné opatrenia*  
(Impacts of Climate Change on Selected Sectors and Adaptive Measures)
- *Maximálne denné úhrny zrážok na Slovensku v období 1951 - 2000*  
(Maximum Daily Precipitation Totals in Slovakia in 1951-2000)

***NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY***

---

***NATIONAL CLIMATE PROGRAM  
OF THE SLOVAK REPUBLIC***

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM  
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

**Zväzok 9**

**BRATISLAVA 2000**



© MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SR  
SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

---

SLOVAK MINISTRY OF THE ENVIRONMENT  
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE

**2000**

## OBSAH

---

|                                                                                                                                                                                       |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Majerčáková, O.: NKP: Hydrologický monitoring a modelovanie možných zmien mesačných odtokov (lektoroval: Svoboda, A., ÚH SAV) .....</i>                                            | <i>5</i>   |
| <i>Hlavčová, K., Szolgay, J., Parajka, J., Čunderlík, J.: Modelovanie vplyvu zmeny klímy na režim odtoku v regióne stredného Slovenska (lektorovala: Majerčáková, O., SHMÚ) .....</i> | <i>15</i>  |
| <i>Pekárová, P.: Zákonitosti kolísania priemerných ročných prietokov (lektoroval: Szolgay, J., KVHK, SvF STU) .....</i>                                                               | <i>39</i>  |
| <i>Petrovič, P.: Dôsledky klimatickej zmeny na hydrologický režim v povodí Nitry (lektorovala: Majerčáková, O., SHMÚ) .....</i>                                                       | <i>58</i>  |
| <i>Takáč, J., Zuzula, I.: Adaptácia poľnohospodárstva v Slovenskej republike na klimatickú zmenu (lektoroval: Tomlain, J., KMK, FMFI UK) .....</i>                                    | <i>74</i>  |
| <i>Škvarenina, J., Tomlain, J.: Posúdenie dôsledkov zmeny klímy na vodnú bilanciu lesných vegetačných stupňov (lektorovala: Šřelcová, K., LF TU Zvolen) .....</i>                     | <i>87</i>  |
| <i>Špánik, F., Šiška, B.: Energetická a vlhová zabezpečenosť vegetačného leta v podmienkach klimatickej zmeny (lektoroval: Tomlain, J., KMK, FMFI UK) .....</i>                       | <i>98</i>  |
| <i>Faško, P., Lapin, M., Šťastný, P.: Maximálne denné úhrny zrážok na Slovensku v období 1951-2000 (lektoroval: Bochníček, O., SHMÚ) .....</i>                                        | <i>107</i> |

## CONTENTS

**English Abstracts and Summaries are at the end of Papers**

---

|                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Majerčáková, O.: National Climate Program: Hydrological Monitoring and Modelling of Possible Monthly Runoff Change</i><br>(reviewed by: Svoboda, A., ÚH SAV) .....               | 5   |
| <i>Hlavčová, K., Szolgay, J., Parajka, J., Čunderlík, J.: Modelling of Climate Change Impact on Runoff Regime in Central Slovakia</i><br>(reviewed by: Majerčáková, O., SHMÚ) ..... | 15  |
| <i>Pekárová, P.: The Average Annual Discharge Oscillation Regularities</i><br>(reviewed by: Szolgay, J., KVHK, SvF STU) .....                                                       | 39  |
| <i>Petrovič, P.: Climate Change Impact on Hydrological Regime in the Nitra River Basin</i> (reviewed by: Majerčáková, O., SHMÚ) .....                                               | 58  |
| <i>Takáč, J., Zuzula, I.: Adaptation of Agriculture in Slovakia on Climate Change</i><br>(reviewed by: Tomlain, J., KMK, FMFI UK) .....                                             | 74  |
| <i>Škvarenina, J., Tomlain, J.: Evaluation of Climate Changes Impact on Water Balance of Forest Altitudinal Zones</i> (reviewed by: Šřelcová, K., LF TU Zvolen )                    | 87  |
| <i>Špánik, F., Šiška, B.: Energetic and Water Securing of Vegetative Summer in the Climate Change Conditions</i> (reviewed by: Tomlain, J., KMK, FMFI UK)                           | 98  |
| <i>Faško, P., Lapin, M., Šťastný, P.: Maximum Daily Precipitation Totals in Slovakia in 1951-2000 Period</i> (reviewed by: Bochníček, O., SHMÚ) .....                               | 107 |

## NKP: HYDROLOGICKÝ MONITORING A MODELOVANIE MOŽNÝCH ZMIEN MESAČNÝCH ODTOKOV

*Oľga Majerčáková, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava*

### ÚVOD

V roku 1997 sa ukončila prvá fáza Národného klimatického programu SR, ktorý zahŕňal okrem iných aj podprogram VODA. V prvej fáze riešenia NKP - VODA nosnými témami boli:

- ♦ Výber hydrologickej siete pre NKP, analýza radov z týchto staníc zameraná predovšetkým na verifikáciu ich spoľahlivosti, homogenity a variability
- ♦ Vytvorenie nového alebo aplikácia odporúčaného aparátu na predikciu možného vývoja hydrologických radov, hydrologického cyklu, hydrologickej bilancie a disponibilných vodných zdrojov
- ♦ Odhad možných dôsledkov klimatických zmien na vodné zdroje a na hydrologický režim
- ♦ Návrh rámcových adaptačných opatrení na zníženie negatívnych účinkov potenciálnych klimatických zmien na vodné zdroje

Základné odporúčania vyplývajúce z výsledkov prvej fázy NKP na ďalšie smerovanie výskumu boli (podľa Majerčáková(1997) a Szolgay et al. (1997)):

- ♦ Nadalej venovať pozornosť možnej zmene variability hydrologických radov
- ♦ Sústrediť sa na možný vývoj hydrologických extrémov
- ♦ Posúdiť tvorbu povrchových aj podzemných vodných zdrojov počas mesiacov zimného obdobia z aspektu možnej zmeny záporných teplôt na kladné
- ♦ Zamerať výskum na sledovanie snehovej pokrývky ako možného indikátora zmien odtoku vo vnútri roka
- ♦ Kontinuálne sledovať vývoj klímy a hydrologického cyklu, sledovať vývoj (zmenu) dlhodobých charakteristík
- ♦ V nadväznosti na nové informácie revidovať a aktualizovať výsledky NKP, podprogramu VODA
- ♦ Posudzovať budúcu disponibilitu vodných zdrojov nielen z aspektu kvantity ale aj kvality
- ♦ Zvýšenú pozornosť venovať návrhovým veličinám a limitným hodnotám, a to hlavne s ohľadom na neudržateľnosť axiómu stacionarity hydrologických radov
- ♦ Uplatňovať nové metódy matematickej štatistiky pri časových a priestorových analýzach hydrometeorologických javov

Naštartovať riešenie uvedeného súboru tém, prípadne ich doplniť ďalšími bude možné, ak sa ďalšia fáza riešenia opätovne skoncentruje približne do takej podoby, akú mala fáza prvá a ak sa riešenie rozvrhne minimálne na dva, lepšie na tri roky.

V prípade periodických návratov k úlohám NKP s dobou riešenia cca 1 rok (ako tomu bolo v roku 2000) alebo kontinuálneho sledovania programu v medziobdobiach jednotlivých fáz ako najviac efektívny postup možno prijať nasledovné aktivity:

- ♦ Pretože primárnym predpokladom pre všetky ďalšie riešenia (nielen vyššie uvedené) sú kvalitné, spoľahlivé a homogénne rady pozorovaní, je nevyhnutné venovať maximálnu pozornosť kontinuálnemu monitoringu hydrologických a klimatických prvkov, pravidelnému hodnoteniu napozorovaných údajov, ale tiež ochrane monitorovacích sietí, hlavne sietí vyčlenených pre NKP.
- ♦ Nadviazať na riešenia prvej fázy s tým, že výsledky z prvej fázy, najmä čo sa týka tvorby hydrologických scenárov, sa aktualizujú podľa novo pripravených klimatických scenárov.
- ♦ Podľa nových klimatických scenárov pripraviť (aktualizovať) odhad účinkov potenciálnych klimatických zmien na vybrané ekonomické sektory.
- ♦ Je možné aplikovať aj nové metodiky pre tvorbu hydrologických scenárov, zároveň je však dôležité ale aj nevyhnutné opierať sa o pôvodné postupy vytvorené v prvej fáze NKP, pretože tie nám zaručujú kontinuitu v prognózovaní zmien v hydrologickom cykle a zároveň poukazujú na vývoj v prognózovaní hydrologických zmien v dôsledku vývoja klimatických scenárov.



V tomto smere sme postupovali aj pri poslednom riešení NKP - podprogramu VODA. Zatiaľ čo prvé dva kroky sa realizovali prevažne na Slovenskom hydrometeorologickom ústave, riešenie účinkov potenciálnych klimatických zmien čiastočne na hydrologický cyklus (v definovaných povodiach) a na vybrané ekonomické sektory prebiehalo v iných ústavoch a organizáciách. (Petrovič (2000), Halmová, Svoboda (2000), Kostka, Holko (2000), Szolgay et al. (2000)). V úlohe (Szolgay et al. (2000)) sa autori venovali aj možným adaptačným opatreniam na zníženie negatívneho dôsledku potenciálnych zmien klímy, a to opatreniam vo viacerých oblastiach: priame opatrenia na riadenie spotreby vody, nepriame nástroje ovplyvňujúce správanie sa spotrebiteľov, inštitucionálne zmeny pre skvalitnenie hospodárenia s vodou a zlepšenie prevádzky existujúcich vodohospodárskych sústav.

V oblasti hydrologie sa na SHMÚ riešili témy:

- ♦ Výsledky monitoringu vo vodomerných staniciach povrchových tokov, zaradených do NKP
- ♦ Zmeny a vývoj dlhodobých hydrologických charakteristík vo vodomerných staniciach povrchových tokov, zaradených do NKP
- ♦ Zmeny a vývoj dlhodobých charakteristík podzemných vôd a prameňov
- ♦ Návrh na doplnenie monitorovacej siete podzemných vôd pre NKP
- ♦ Zmeny vnútroročného rozdelenia odtoku vzhľadom na nové klimatické scenáre

Z prehľadu riešených tém na SHMÚ je zrejmé, že obsahovo naplňajú dva vecné okruhy podprogramu VODA, a to:

**Údaje** (revíziu monitorovacích bodov NKP, doplnenie monitorovacej siete NKP, analýzu vývoja dlhodobých hydrologických charakteristík, dopĺňanie a homogenizáciu radov)

**Účinky možných klimatických zmien na prvky hydrologického cyklu** (pri uvažovaní novo pripravených klimatických scenárov)

To znamená, že sme zachovali štruktúru riešenia z prvej fázy. Ako bolo už vyššie naznačené, dôvody pre tento postup boli dva: aby bola zachovaná kontinuita aktivít v programe, a aby bolo možné porovnanie výsledkov jednotlivých fáz riešenia získaných na základe vyvíjajúcich sa klimatických scenárov.

## **VÝSLEDKY MONITORINGU VO VODOMERNÝCH STANICIACH POVRCHOVÝCH TOKOV**

### **A ANALÝZA DLHODOBÝCH HYDROLOGICKÝCH CHARAKTERISTÍK**

Zo všeobecných znalostí o vzťahu hydrologického cyklu ku klíme, ako aj z analýzy hydrologickej odozvy na potenciálne zmeny klímy je zrejmé, že najmarkantnejšie sa kolísanie klímy odráža na povrchových vodných zdrojoch, teda v našich podmienkach na prietokovom režime v povrchových tokoch. Preto sme v minulom riešení venovali špeciálnu pozornosť výberu vodomerných staníc na povrchových tokoch.

V prvom rade sme sa zamerali, pokiaľ to bolo možné, na pokrytie celého územia Slovenska a výber sme zamerali tak, aby bolo zastúpené každé hlavné povodie Slovenska. Týchto povodí máme 11: Morava, Dunaj, Váh, Nitra, Hron, Ipel', Slaná, Bodva, Hornád, Bodrog a Poprad. Vyberali sme stanice s pozorovaniami aspoň od roku 1931, z nich len jedna nespĺňa aj túto podmienku. Jednotlivé vybrané povodia majú rozličné veľkosti a zastupujú rozličné fyzicko-geografické podmienky. Obzvlášť sme sa pri výbere sústredili na pramenné oblasti, kde je minimalizovaný antropogénny vplyv na hydrologický režim tokov. Ako poslednú nevyhnutnú podmienku sme stanovili spoľahlivosť radov; pričom pod spoľahlivosťou chápeme, že rady sú kvalitné a reprezentatívne to znamená, že si zachovávajú kvalitatívne konštantnú informačnú hodnotu v čase. Do programu NKP sme podľa uvedených kritérií v roku 1994 zaradili 36 vodomerných staníc, z ktorých po analýzach k dnešnému dňu ponecháme 33, vedené sú v Tab. 1.

Z pôvodných 36 staníc sa vyradila stanica Strážky – Poprad, ktorá bola zrušená v roku 1992 z technických príčin (nahradila ju stanica Poprad - Kežmarok), Demeterová (2000). Ďalej z výberu vyradujeme stanicu Lučenec - Krivánsky potok, pretože údaje v nej sú ovplyvňované sústavou vodných diel Mýtna – Ružiná a tiež stanicu Staré Hory – Starohorský potok, pretože v povodí sú veľké odbery podzemných vôd (až do 200 l.s<sup>-1</sup>), Šipikalová (2000).

Stanicu Bratislava – Dunaj navrhujeme vo výbere pre NKP ponechať, a to aj napriek tomu, že sa nachádza vo vzdutí spôsobenom DV Gabčíkovo. Dôvody sú nasledovné: údaje o prietokoch sa pravidelne a spoľahlivo odvodzujú zo stanice Bratislava Devín - Dunaj, údaje sa pravidelne hodnotia, rad prietokov v Bratislave je najdlhším meraným radom u nás - pre slovenskú hydrologiu má vysokú historickú a kultúrnu hodnotu, rad meraných



denných prietokov bol predĺžený smerom do minulosti o 10 rokov. Bratislavský rad síce odzrkadľuje vývoj hydrologickej a klimatickej situácie mimo nášho územia, avšak vzhľadom na fakt, že vody Dunaja sú rozhodujúcim činiteľom nasycovania podzemných vôd Žitného ostrova, je nevyhnutné poznať vývoj jeho režimu.

**Tab. 1 Vodomerne stanice na povrchových tokoch vybrané do NKP**

| B. č. | Číslo stanice | Stanica           | Tok          | Pozoruje od roku: | Plocha povodia A [km <sup>2</sup> ] | Dĺžka údolia L [km] | Lesnatosť [%] | Tvar povodia A/L <sup>2</sup> | Priemerný prietok 1931-1980 |
|-------|---------------|-------------------|--------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------|-------------------------------|-----------------------------|
| 1.    | 5040          | Moravský sv. Ján  | Morava       | 1922              | 24 129,30                           | 260,4               | 30            | 0,36                          | 107,753                     |
| 2.    | 5140          | Bratislava        | Dunaj        | 1901              | 131331,10                           | -                   | -             | -                             | 2 043,270                   |
| 3.    | 5330          | Východná          | Biely Váh    | 1923              | 105,64                              | 18,8                | 30            | 0,28                          | 1,600                       |
| 4.    | 5340          | Kráľova Lehota    | Boca         | 1931              | 116,60                              | 18,3                | 80            | 0,35                          | 2,109                       |
| 5.    | 5400          | Podbanské         | Belá         | 1928              | 93,49                               | 16,0                | 30            | 0,36                          | 3,494                       |
| 6.    | 5550          | Liptov. Mikuláš   | Váh          | 1921              | 1 107,21                            | 58,8                | 60            | 0,32                          | 20,686                      |
| 7.    | 5740          | Podsúchá          | Revúca       | 1928              | 217,95                              | -                   | 60            | -                             | 4,794                       |
| 8.    | 5790          | Lubochňa          | Lubochňanka  | 1931              | 118,48                              | 24,0                | 90            | 0,21                          | 2,371                       |
| 9.    | 6130          | Martin            | Turiec       | 1931              | 827,00                              | 59,6                | 60            | 0,23                          | 10,363                      |
| 10.   | 6180          | Čadca             | Kysuca       | 1931              | 492,54                              | -                   | 50            | -                             | 8,415                       |
| 11.   | 6200          | Kysucké NM        | Kysuca       | 1931              | 955,09                              | 57,6                | 50            | 0,29                          | 16,377                      |
| 12.   | 6300          | Poluvsie          | Rajčianka    | 1931              | 243,60                              | 12,5                | 60            | 0,16                          | 3,693                       |
| 13.   | 6690          | Biskupice         | Bebrava      | 1931              | 312,60                              | 29,4                | 50            | 0,36                          | 2,165                       |
| 14.   | 6730          | Nitrianska Streda | Nitra        | 1931              | 2 093,71                            | 78,7                | 50            | 0,33                          | 14,949                      |
| 15.   | 6950          | Zlatno            | Hron         | 1931              | 79,28                               | 13,8                | 60            | 0,44                          | 1,471                       |
| 16.   | 7015          | Brezno            | Hron         | 1931              | 582,08                              | 51,7                | 60            | 0,22                          | 7,809                       |
| 17.   | 7045          | Hronec            | Čierny Hron  | 1931              | 239,41                              | 23,5                | 80            | 0,43                          | 3,019                       |
| 18.   | 7060          | Bystrá            | Bystrianska  | 1931              | 36,01                               | 12,0                | 80            | 0,25                          | 0,964                       |
| 19.   | 7065          | Mýto pod Ďumb.    | Štiavnička   | 1931              | 47,10                               | 10,9                | 80            | 0,40                          | 1,108                       |
| 20.   | 7070          | Dolná Lehota      | Vajskový p.  | 1931              | 53,02                               | 15,0                | 70            | 0,24                          | 1,413                       |
| 21.   | 7160          | Banská Bystrica   | Hron         | 1931              | 1 766,48                            | 100,5               | 60            | 0,18                          | 26,833                      |
| 22.   | 7290          | Brehy             | Hron         | 1931              | 3 821,38                            | 181,4               | 50            | 0,12                          | 48,138                      |
| 23.   | 7440          | Holiša            | Ipel'        | 1931              | 685,26                              | 56,1                | 30            | 0,22                          | 3,257                       |
| 24.   | 7580          | Plášťovce         | Krupinica    | 1931              | 302,79                              | 54,5                | 40            | 0,10                          | 1,910                       |
| 25.   | 7600          | Plášťovce         | Litava       | 1931              | 214,42                              | 43,9                | 30            | 0,11                          | 1,175                       |
| 26.   | 7660          | Dobšiná           | Dobšinský p. | 1931              | 31,97                               | 11,5                | 50            | 0,24                          | 0,579                       |
| 27.   | 7730          | Štítnik           | Štítnik      | 1931              | 129,63                              | 18,1                | 40            | 0,39                          | 1,485                       |
| 28.   | 7860          | Lehota nad Rim.   | Rimavica     | 1931              | 148,95                              | 29,6                | 30            | 0,17                          | 1,596                       |
| 29.   | 8080          | Matejovce         | Poprad       | 1931              | 311,10                              | 33,8                | 40            | 0,27                          | 4,276                       |
| 30.   | 8320          | Chmeľnica         | Poprad       | 1931              | 1 262,41                            | 85,2                | 40            | 0,17                          | 15,555                      |
| 31.   | 8870          | Košické Oľšany    | Torysa       | 1931              | 1 298,30                            | 116,4               | 30            | 0,09                          | 7,879                       |
| 32.   | 8970          | Nižný Medzev      | Bodva        | 1941              | 90,15                               | 13,5                | 80            | 0,49                          | 0,839                       |
| 33.   | 9500          | Hanušovce         | Topľa        | 1931              | 1 050,05                            | 84,6                | 50            | 0,15                          | 8,431                       |

Vodomerne stanice vo výbere pre Národný klimatický program sa postupne rekonštruujú tak, aby ich technický stav bol na požadovanej úrovni a aby kontinuálne splňali predpoklady pre kvalitný monitoring.

Analýza dlhodobých hydrologických charakteristík spočívala vo výpočte týchto charakteristík pre rôzne obdobia, v ich vzájomnom porovnaní v tabelárnej a grafickej forme a v komentovaní ich vývoja a signifikantnosti ich zmien. Obdobia spracovania boli nasledovné: základným – referenčným bolo obdobie 1931- 1980. Tento výber bol skrátený na obdobie 1951 – 1980, aby sa zjednotil východiskový stav z klimatickými charakteristikami a aby sa posúdila eventúálna rozdielnosť používaného hydrologického referenčného obdobia a referenčného obdobia odporúčaného klimatológmi. Ďalším výberom bolo celé obdobie, t.j. 1931 – 1999 a roky po referenčnom období, t.j. 1981- 1999. Posledným obdobím, pre ktoré sa určili dlhodobé charakteristiky, boli roky 1988 – 1999, ktoré klimatológovia označili ako najteplejšiu súvislú periódu počas inštrumentálnych pozorovaní u nás.

Ako dlhodobé charakteristiky sa hodnotili: priemerné ročné prietoky, priemerné mesačné prietoky a M-denné prietoky. Vo vybraných staniach sa posudzovalo tiež rozdelenie objemu odtoku v roku.

Vo všeobecnosti možno konštatovať, že vo všetkých autochtónnych riekach Slovenska po roku 1980 poklesli dlhodobé ročné prietoky, len alochtónny Dunaj má pomerne vyrovnaný dlhodobý ročný prietok pre všetky vy-

brané obdobia. Čo sa týka dlhodobých mesačných prietokov možno temer pre všetky hodnotené toky – obzvlášť v strednej a východnej časti Slovenska konštatovať, že po roku 1980 poklesli prietoky temer pre všetky mesiace roka s výnimkou mája a júna, kedy bol pokles miernejší, alebo došlo k narastaniu mesačných prietokov. Podobné trendy sú aj pri M-denných vodách, kde pokles možno hlavne sledovať v strednej a hornej časti empirickej krivky prekročenia M-denných vôd.

V niektorých povodiach je zrejmy zvýšený odtok už počas zimných mesiacov. Zatiaľ čo letné a jesenné mesiace sú oproti minulosti suchšie, zimné mesiace majú oproti normálu odtok zvýšený.

Podrobne je situácia vo vodomerných staniciach NKP zhodnotená v (Demeterová(2000), Ľupták, Varjúová, Blaškovičová, (2000), Šipikalová (2000)).

**Tab. 2** **Pramene vybrané do NKP**

| Orografický celok      | Evidenčné číslo prameňa | Názov prameňa                      | Pozorovanie od roku: | Typ prameňa         |
|------------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------|---------------------|
| Malé Karpaty           | 86                      | Plavecké Podhradie – Pod hradom    | 1972                 | puklinový           |
|                        | 113                     | Pernek – Štôla                     | 1971                 | puklinový           |
|                        | 241                     | Horné Orešany - Husí stok          | 1956                 | puklinový, vrstevný |
|                        | 243                     | Horné Orešany – Nové domy          | 1973                 | puklinový, vrstevný |
| Považský Inovec        | 983                     | Modrová – Studienky                | 1972                 | puklinový           |
|                        | 989                     | Modrová – Studienky                | 1972                 | puklinový           |
|                        | 1153                    | Stará Lehota – U Dominov           | 1976                 | puklinový           |
| Strážovské vrchy       | 811                     | Kostelec – Ostrenec 2              | 1972                 | puklinový           |
|                        | 832                     | Prečín – Puklinový                 | 1973                 | puklinový           |
|                        | 884                     | Pružina - Riečnica                 | 1965                 | bariérový           |
| Malá Fatra             | 555                     | Kraľovany – Bystrička č.1          | 1969                 | puklinový           |
|                        | 632                     | Kláštôr p.Znievom – Studenec       | 1969                 | vrstevný            |
|                        | 646                     | Valča – Valčanská dolina č.2       | 1969                 | vrstevný, bariérový |
| Veľká Fatra            | 664                     | Blatnica – Dedošová dolina 1       | 1969                 | vrstevný, bariérový |
|                        | 665                     | Blatnica – Dedošová dolina 2       | 1969                 | vrstevný            |
|                        | 673                     | Belá p.Martine – Havranovo         | 1971                 | puklinový           |
| Nízke Tatry            | 351                     | Liptovský Ján – Škopová dolina     | 1971                 | krasový             |
|                        | 352                     | Lipt. Ján – Pri Stanišovej jaskyni | 1971                 | krasový             |
|                        | 1252                    | Jarabá – Žliabok                   | 1978                 | druhotne suťový     |
|                        | 1305                    | Nemecká – Pod motorestom           | 1978                 | puklinovo-krasový   |
| Vysoké Tatry           | 320                     | Pribilina – Surový hrádok č.1      | 1972                 | suťový              |
|                        | 536                     | Zuberec – Teplica                  | 1974                 | suťový              |
| Chvojnická pahorkatina | 5                       | Skalica – Priepastný mlyn          | 1972                 | neurčený            |
| Biele Karpaty          | 52                      | Sobotište – Janíkov mlyn           | 1971                 | vrstevnatý          |
| Kysucké Beskydy        | 757                     | Čadca – Čadečka                    | 1973                 | suťový              |
| Javorníky              | 837                     | Ihřište – Káčerovská               | 1972                 | neurčený            |
| Laborecká vrchovina    | 1725                    | Vyšný Komárnik – Pod Dolhoncom     | 1972                 | neurčený            |
| Busov                  | 1754                    | Chmeľová – Podstavy 4              | 1971                 | vrstevnato-suťový   |
| Ľubovnianska vrchovina | 2417                    | Matysová – V obci                  | 1971                 | puklinový           |

## VÝSLEDKY MONITORINGU V PODZEMNÝCH VODÁCH

### A ANALÝZA DLHODOBÝCH HYDROLOGICKÝCH CHARAKTERISTÍK

Vplyv možných klimatických zmien na režim podzemných vôd sa spočiatku sledoval na výdatnostiach prameňov, ktorých výber sa viazal na pohoria a pahorkatiny mezozoika, kryštalinika a flyšu: (Fendeková et al. (1995), Kullman et al. (1995)): Malé Karpaty, Považský Inovec, Strážovské vrchy, Malá Fatra, Veľká Fatra, Nízke Tatry, Vysoké Tatry, Chvojnická pahorkatina, Biele Karpaty, Kysucké Beskydy, Javorníky, Laborecká vrchovina, Busov, Levočské vrchy a Ľubovniansku vrchovinu. Z pôvodných 45 vyšetřovaných a hodnotených prame-



ňov bolo vylúčených 16 objektov: 8, v ktorých boli zrušené pozorovania, 5, v ktorých boli neúplné rady pozorovaní a na troch došlo k zmene režimu, hlavne v dôsledku technických zásahov pri ich zachytení. To znamená, že vplyv potenciálnych zmien klímy odporúčame do budúcnosti hodnotiť na 29 prameňoch. Z pôvodných orografických celkov sú v zúženom súbore zastúpené všetky okrem Levočských vrchov.

Prehľad prameňov s pozorovaním až doposiaľ a s predpokladom ďalšieho kontinuálneho monitorovania je v Tab. 2.

Na sledovanie podzemných vôd v alúviách riek sa v ďalšom kroku (Takáčová (1995, 1996, 1997)) vybrali sondy z oblasti Žitného ostrova a Pohronia. Pri výbere týchto objektov sa uplatňovali tri kritériá: čo najdlhšie rady pozorovaní, bez antropogénneho ovplyvnenia a blízkosť zrážkomernej stanice. Na základe tesnosti korelačných vzťahov medzi hladinami podzemných vôd v sondách a zrážkami riešiteľka odporučila z 30 sond v Pohroní 4 sondy a z 10 sond na Žitnom ostrove 2 sondy:

**Tab. 3 Sondy podzemných vôd vybrané do NKP**

| oblasť               | č. objektu | názov      | obdobie pozorovania |
|----------------------|------------|------------|---------------------|
| dolný Hron           | 571        | Želiezovce | 1964 – 1997*        |
| stredný a horný Hron | 769        | Nová Baňa  | 1966 - doteraz      |
|                      | 776        | Žarnovica  | 1966 - doteraz      |
|                      | 896        | Brezno     | 1969 - doteraz      |
| povodie Dunaja       | 637        | Sokolce    | 1960 - doteraz      |
|                      | 640        | Pastuchy   | 1960 - doteraz      |

\* po rekonštrukcii vrtu (premiestnení) pozorovania pokračujú od 1998 doteraz pod číslom 2571 a údaje nadväzujú na predošlý rad

Dlhodobé charakteristiky výdatnosti prameňov (priemerné hodnoty, maximá a minimá) sa hodnotili za obdobie od začiatku pozorovania do roku 1993, za roky 1988 až 1993, resp. 1994 a za obdobie 1988 – 1999.

Najväčšie zmeny dlhodobých charakteristík výdatnosti sledovaných prameňov, hlavne priemerných hodnôt, sa prejavili v období 1988 – 1993 (1994), kedy relatívne suché obdobie po roku 1981 už začalo markantne ovplyvňovať aj podzemné vody. Priemerné dlhodobé ročné zmeny výdatností prameňov v hodnotených pohoriach sa pohybovali od –0,19% za rok po –1,60% za rok. Kladné hodnoty boli zaznamenané len v dvoch orografických celkoch: v Malých Karpatoch a Bielych Karpatoch o +0,07 resp. +0,91% za rok, Kullman et al. (1995).

V sondách podzemných vôd sa porovnávali charakteristiky za celé sledované obdobie s charakteristikami za obdobie 1988 až 1999. Vo všeobecnosti možno konštatovať, že maximálne a priemerné hodnoty v období po roku 1988 poklesli, avšak veľmi nevýrazne a zásadne tento pokles dlhodobé hodnoty neovplyvňuje. Tento efekt možno jednoznačne pripísať priemerne až nadpriemerne zrážkovým rokom (okrem roku 1997). Zrážky tohto obdobia čiastočne vyrovnali možný pokles hladín v sondách alúvií, ktorý by bol pravdepodobne vzhľadom na teplotné pomery po roku 1988 vyšší, Takáčová (2000).

V ďalšom kroku riešenia vplyvu potenciálnych zmien klímy na režim hladín podzemných vôd bude potrebné pristúpiť k výberu sond podzemných vôd aj v ďalších alúviách všetkých hlavných tokov Slovenska.

## MODELOVANIE VNÚTROROČNÝCH ZMIEN ODTOKU

### Výber lokalít

Pre modelovanie vnútroročných zmien odtoku sme zvolili 12 povodí v centrálnej časti Slovenska. Kvôli úplnosti sme zaradili aj Krivánsky potok, ktorý navrhujeme z ďalšieho hodnotenia vyradiť. V tejto oblasti je, vzhľadom na disponibilitu hydrologických údajov, najvýhodnejšie sledovať možné zmeny mesačného odtoku nielen v samotných povodiach, ale aj vzájomne porovnať tieto zmeny v poludníkovom smere. Z povodia horného Váhu boli vybrané: Biely Váh po Východnú, Belá po Podbanské, Váh po Liptovský Mikuláš. Z povodia Nitry boli vybrané: Bebrava po Biskupice a Nitra po Nitriansku Stredú. Z povodia Ipeľ to boli Ipeľ po Holišu, Krivánsky potok po Lučenec, Krupinica po Plášťovce a Litava po Plášťovce. Z povodia Slanej sme vybrali Štítnik po Štítnik, Rimavicu po Lehotu nad Rimavicou a Blh po Rimavskú Seč. Plochy povodí sa pohybujú od 98 do 2092 km<sup>2</sup>, t.j. povodia možno zaradiť do skupiny stredne veľkých povodí.

**Tab. 4** Uplatnený scenár GISSprep 2000 pre odvodenie možných zmien odtoku  
(prírastky teplôt sú v °C a zmeny zrážok sú v %)

|                | I.  | II. | III. | IV. | V.  | VI. | VII. | VIII. | IX. | X.  | XI. | XII. |
|----------------|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-------|-----|-----|-----|------|
| <b>Teplota</b> |     |     |      |     |     |     |      |       |     |     |     |      |
| T 2010         | 0,3 | 0,3 | 0,5  | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,6  | 0,4   | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,5  |
| T 2030         | 1,2 | 1   | 0,8  | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 0,8  | 0,7   | 0,7 | 0,9 | 1,2 | 1,2  |
| T 2075         | 2,7 | 2,4 | 2,3  | 2,2 | 1,9 | 1,8 | 2,1  | 2,4   | 2,3 | 2,3 | 2,6 | 2,8  |
| <b>Zrážky</b>  |     |     |      |     |     |     |      |       |     |     |     |      |
| Z 2010         | -2  | -3  | -2   | 1   | 2   | 0   | -2   | 2     | 6   | 0   | 0   | 0    |
| Z 2030         | -4  | -2  | 0    | 1   | 2   | 1   | -2   | 2     | 7   | 3   | -2  | -4   |
| Z 2075         | 18  | 16  | 10   | 7   | 5   | -1  | -3   | -2    | 2   | 5   | 5   | 10   |

**Tab. 5** Možné zmeny mesačných odtokov (v %) podľa scenára GISSprep 2000  
pre lineárny regresný model odvodený pre časový krok 1 mesiac

| Mesiac                                    | I. | II. | III. | IV. | V.  | VI. | VII. | VIII. | IX. | X.   | XI. | XII. |
|-------------------------------------------|----|-----|------|-----|-----|-----|------|-------|-----|------|-----|------|
| <b>5330 Východná-Biely Váh.</b>           |    |     |      |     |     |     |      |       |     |      |     |      |
| 2010                                      | 0  | 1   | 4    | 4   | 4   | -4  | 1    | -1    | 0   | -5   | 2   | 3    |
| 2030                                      | 3  | 7   | 8    | 4   | 5   | -4  | 2    | -4    | 0   | -5   | 1   | 5    |
| 2075                                      | 26 | 27  | 27   | 16  | 11  | -12 | 7    | -21   | -1  | -17  | 13  | 25   |
| <b>5400 Podbanské-Belá</b>                |    |     |      |     |     |     |      |       |     |      |     |      |
| 2010                                      | 0  | 0   | 2    | 19  | 0   | -5  | -7   | 0     | 1   | 0    | 0   | 2    |
| 2030                                      | 0  | -1  | 5    | 22  | -1  | -6  | -9   | -2    | 0   | 3    | 0   | 4    |
| 2075                                      | -2 | 0   | 19   | 62  | -1  | -17 | -21  | -21   | -4  | 4    | 2   | 12   |
| <b>5550 Liptovský Mikuláš-Váh</b>         |    |     |      |     |     |     |      |       |     |      |     |      |
| 2010                                      | 0  | 0   | 4    | 9   | -3  | -4  | -2   | -1    | 1   | -3   | 2   | 3    |
| 2030                                      | 0  | 5   | 8    | 10  | -4  | -4  | -2   | -3    | 1   | 0    | 1   | 6    |
| 2075                                      | 8  | 28  | 32   | 32  | -8  | -14 | -3   | -21   | -3  | -5   | 16  | 21   |
| <b>6690 Biskupice-Bebrava</b>             |    |     |      |     |     |     |      |       |     |      |     |      |
| 2010                                      | -2 | -4  | -2   | 0   | 4   | 5   | -3   | 1     | 3   | -10  | 2   | 5    |
| 2030                                      | -2 | 0   | 1    | 0   | 4   | 8   | -3   | -1    | 5   | -16  | 2   | 8    |
| 2075                                      | 25 | 38  | 14   | 2   | 9   | 12  | -5   | -17   | 8   | -43  | 13  | 37   |
| <b>6730 Nitrianska Streda-Nitra</b>       |    |     |      |     |     |     |      |       |     |      |     |      |
| 2010                                      | -2 | -3  | -1   | 0   | 1   | -1  | -3   | 1     | 7   | -12  | -1  | 4    |
| 2030                                      | -3 | 4   | 2    | 0   | 1   | 0   | -3   | -2    | 8   | -18  | -4  | 6    |
| 2075                                      | 24 | 50  | 15   | 2   | 3   | -5  | -7   | -24   | 7   | -49  | 5   | 28   |
| <b>7440 Holiša-Ipeľ</b>                   |    |     |      |     |     |     |      |       |     |      |     |      |
| 2010                                      | -4 | 0   | 0    | -3  | 1   | -4  | -6   | -6    | 8   | -20  | -7  | 4    |
| 2030                                      | -9 | 13  | 4    | -3  | 0   | -2  | -7   | -11   | 9   | -34  | -16 | 6    |
| 2075                                      | 15 | 65  | 24   | -4  | 1   | -14 | -15  | -46   | 1   | -90  | -21 | 29   |
| <b>7580 Plášťovce-Krupinica</b>           |    |     |      |     |     |     |      |       |     |      |     |      |
| 2010                                      | -3 | 0   | -1   | 2   | 3   | -6  | -3   | -8    | 25  | -18  | -6  | 7    |
| 2030                                      | -4 | 21  | 0    | 2   | 3   | -4  | -4   | -18   | 31  | -29  | -20 | 9    |
| 2075                                      | 28 | 105 | 8    | 10  | 8   | -24 | -8   | -90   | 21  | -78  | -3  | 52   |
| <b>7600 Plášťovce-Litava</b>              |    |     |      |     |     |     |      |       |     |      |     |      |
| 2010                                      | -3 | 1   | -1   | -7  | 7   | -2  | -2   | -6    | 28  | -21  | -8  | 7    |
| 2030                                      | -8 | 20  | 2    | -8  | 8   | 1   | -3   | -18   | 38  | -31  | -22 | 11   |
| 2075                                      | 18 | 97  | 17   | -16 | 18  | -10 | -5   | -99   | 44  | -85  | -16 | 57   |
| <b>7730 Štítnik-Štítnik</b>               |    |     |      |     |     |     |      |       |     |      |     |      |
| 2010                                      | -2 | 2   | 0    | 1   | 0   | -3  | 0    | 0     | 2   | -18  | 2   | 1    |
| 2030                                      | -4 | 15  | 2    | 1   | -1  | -2  | 0    | 0     | 4   | -30  | 0   | 0    |
| 2075                                      | 16 | 58  | 10   | 7   | -2  | -10 | 3    | 3     | 5   | -79  | 19  | 14   |
| <b>7860 Lehota nad Rimavicou-Rimavica</b> |    |     |      |     |     |     |      |       |     |      |     |      |
| 2010                                      | -2 | 3   | 1    | -5  | -2  | -1  | -1   | -1    | 3   | -23  | -4  | 5    |
| 2030                                      | -3 | 17  | 5    | -5  | -3  | 0   | 0    | -2    | 3   | -43  | -11 | 8    |
| 2075                                      | 21 | 59  | 22   | -11 | -5  | -6  | 4    | -16   | -4  | -108 | -12 | 37   |
| <b>7885 Rimavská Seč-Bíh</b>              |    |     |      |     |     |     |      |       |     |      |     |      |
| 2010                                      | -4 | 0   | -2   | 4   | -3  | -13 | -3   | -5    | 6   | -17  | -5  | 4    |
| 2030                                      | -8 | 18  | 2    | 4   | -5  | -15 | -3   | -10   | 8   | -25  | -14 | 5    |
| 2075                                      | 26 | 89  | 21   | 20  | -10 | -42 | -6   | -47   | 4   | -69  | -9  | 30   |



Tab. 6 Možné zmeny mesačných odtokov (v %) podľa scenára GISSprep 2000 pre lineárny regresný model odvodený pre časový krok 3 mesiace

| Mesiac                                    | I. | II. | III. | IV. | V.  | VI. | VII. | VIII. | IX. | X.  | XI. | XII. |
|-------------------------------------------|----|-----|------|-----|-----|-----|------|-------|-----|-----|-----|------|
| <b>5330 Východná-Biely Váh.</b>           |    |     |      |     |     |     |      |       |     |     |     |      |
| 2010                                      | 1  | 3   | 4    | 2   | -2  | -4  | -5   | 2     | 5   | -2  | 0   | 2    |
| 2030                                      | 6  | 13  | 9    | 2   | -3  | -5  | -6   | 3     | 4   | 2   | -4  | 0    |
| 2075                                      | 32 | 40  | 33   | 9   | -5  | -13 | -15  | 1     | -14 | 0   | 7   | 13   |
| <b>5400 Podbanské-Belá</b>                |    |     |      |     |     |     |      |       |     |     |     |      |
| 2010                                      | 0  | 0   | 6    | 9   | 4   | -8  | -7   | 1     | 4   | 1   | 2   | 1    |
| 2030                                      | 1  | 2   | 12   | 10  | 4   | -10 | -8   | 1     | 4   | 5   | 3   | 2    |
| 2075                                      | 1  | 8   | 42   | 30  | 10  | -24 | -20  | -4    | -3  | 9   | 14  | 2    |
| <b>5550 Liptovský Mikuláš-Váh</b>         |    |     |      |     |     |     |      |       |     |     |     |      |
| 2010                                      | 1  | 0   | 4    | 5   | -2  | -8  | -5   | 2     | 6   | -2  | 1   | 2    |
| 2030                                      | 4  | 9   | 9    | 5   | -3  | -10 | -6   | 2     | 5   | 3   | -2  | 1    |
| 2075                                      | 23 | 40  | 33   | 17  | -6  | -25 | -14  | 0     | -10 | 2   | 12  | 14   |
| <b>6690 Biskupice-Bebrava</b>             |    |     |      |     |     |     |      |       |     |     |     |      |
| 2010                                      | -1 | -2  | -1   | -3  | -4  | -4  | -5   | 3     | 7   | -2  | -2  | -2   |
| 2030                                      | 3  | 5   | 2    | -4  | -5  | -5  | -6   | 3     | 5   | 1   | -7  | -11  |
| 2075                                      | 52 | 40  | 19   | -6  | -10 | -14 | -13  | -4    | -14 | -2  | 0   | 4    |
| <b>6730 Nitrianska Streda-Nitra</b>       |    |     |      |     |     |     |      |       |     |     |     |      |
| 2010                                      | -1 | -1  | 1    | -3  | -5  | -5  | -7   | 3     | 9   | -3  | -2  | -2   |
| 2030                                      | 3  | 6   | 4    | -3  | -7  | -5  | -9   | 2     | 7   | 1   | -6  | -10  |
| 2075                                      | 54 | 40  | 21   | -7  | -14 | -14 | -19  | -8    | -18 | -3  | 2   | 5    |
| <b>7440 Holiša-Ipeľ</b>                   |    |     |      |     |     |     |      |       |     |     |     |      |
| 2010                                      | 0  | -1  | 0    | -4  | -6  | -9  | -15  | 1     | 14  | -4  | -2  | -3   |
| 2030                                      | 6  | 8   | 3    | -5  | -8  | -10 | -18  | -1    | 10  | 0   | -9  | -13  |
| 2075                                      | 49 | 48  | 21   | -9  | -17 | -29 | -42  | -19   | -32 | -5  | 0   | -2   |
| <b>7580 Plášťovce-Krupinica</b>           |    |     |      |     |     |     |      |       |     |     |     |      |
| 2010                                      | 2  | 0   | 2    | -5  | -7  | -14 | -18  | 2     | 12  | -6  | -3  | -3   |
| 2030                                      | 14 | 12  | 6    | -6  | -11 | -16 | -22  | -1    | 6   | -1  | -10 | -15  |
| 2075                                      | 89 | 63  | 29   | -12 | -21 | -44 | -52  | -27   | -46 | -12 | 0   | 7    |
| <b>7600 Plášťovce- Litava</b>             |    |     |      |     |     |     |      |       |     |     |     |      |
| 2010                                      | 2  | -1  | 0    | -6  | -9  | -12 | -14  | 2     | 16  | -7  | -3  | -4   |
| 2030                                      | 14 | 12  | 5    | -7  | -12 | -14 | -17  | -1    | 9   | -1  | -11 | -19  |
| 2075                                      | 86 | 68  | 29   | -14 | -25 | -39 | -40  | -27   | -54 | -12 | 0   | -3   |
| <b>7730 Štítnik-Štítnik</b>               |    |     |      |     |     |     |      |       |     |     |     |      |
| 2010                                      | 0  | 2   | 2    | -4  | -5  | -7  | -5   | 1     | 7   | -4  | -2  | -1   |
| 2030                                      | 6  | 11  | 5    | -5  | -8  | -7  | -6   | 0     | 3   | 0   | -8  | -9   |
| 2075                                      | 48 | 41  | 22   | -9  | -15 | -21 | -13  | -7    | -29 | -6  | -1  | 7    |
| <b>7860 Lehota nad Rimavicou-Rimavica</b> |    |     |      |     |     |     |      |       |     |     |     |      |
| 2010                                      | 1  | 1   | 1    | -4  | -8  | -8  | -7   | 2     | 8   | -3  | -1  | -1   |
| 2030                                      | 10 | 13  | 5    | -5  | -11 | -9  | -9   | 1     | 4   | 1   | -7  | -8   |
| 2075                                      | 62 | 54  | 24   | -9  | -22 | -24 | -20  | -6    | -30 | -3  | 5   | 12   |
| <b>7885 Rimavská Seč-Bíh</b>              |    |     |      |     |     |     |      |       |     |     |     |      |
| 2010                                      | 1  | -2  | -2   | -6  | -6  | -13 | -10  | 0     | 11  | -6  | -2  | 3    |
| 2030                                      | 9  | 8   | 2    | -7  | -9  | -15 | -12  | -1    | 5   | -2  | -8  | 1    |
| 2075                                      | 54 | 55  | 21   | -12 | -18 | -40 | -29  | -13   | -44 | -12 | 1   | 32   |

### Metóda riešenia

Na odhad možnej zmeny vnútroročného odtoku sme zvolili lineárno-regresný model, podrobne popísaný v (Majerčáková, Šedík, Cagardová(1995)):

$$R = f(P, T, r, R_i, P_i), \quad \text{pričom } i=1,2,3 \quad (1)$$

Symbody v rovnici (1) majú nasledovný význam:

R - mesačné odtoky [mm],

P - mesačné úhrny zrážok [mm] ( $P_i$  zrážky za  $i$ -ty mesiac pred vyšetrovaným mesiacom)

r - priemerná mesačná relatívna vlhkosť vzduchu [%]

T - priemerná mesačná teplota vzduchu [ $^{\circ}$ C]

Pre riešenie regresného vzťahu sme použili obdobie 1961-1990. Toto obdobie je oproti odporúčanému 1951-1980 posunuté o desať rokov. Dôvodom posunu bolo, že prístup k odvodeniu predikčného modelu bol matematicko-štatistický, a teda našou snahou bolo ako východiskový súbor použiť obdobie s čo najširšou informáciou. Vzhľadom na charakter deväťdesiatych rokov sa nám tento posun východiskového obdobia javil ako vhodný. Lineárne regresie sme odvodzovali pre časový interval 1 a 3 mesiace, pričom výsledok sa v oboch prípadoch prisudzoval jednému mesiacu. V prípade 3 mesačného intervalu, aplikovaného kľzavým spôsobom, sa výsledok prisúdil mesiacu prostrednému.

Pretože v čase riešenia tejto úlohy ešte neboli k dispozícii konkrétne klimatické scenáre, v prvom kroku sme výsledky usporiadali do matic pre zmeny teploty od 0 do 4 $^{\circ}$ C (po dvoch stupňoch) a pre zmeny zrážok od 0 do  $\pm$  20% (po 10 percentách). Keďže vyvinutý model je lineárny, aj interpolácia a extrapolácia zmien odtoku je lineárna, a teda pomerne jednoduchá. Neskôr, pri riešení projektu Country Study boli hydrológom odporúčané a poskytnuté viaceré scenáre zmien klímy, bolo teda možné v jednotlivých vybraných povodiach konkrétne stanoviť možné zmeny odtoku, či už v relatívnych alebo absolútnych hodnotách.

### Použité klimatické scenáre

V čase riešenia Country Study hydrológovia a vodohospodári používali 7 scenárov, známych pod skratkami: CCCM, GISS, GFD 3, WP A, WP B, SD A, SD B. Z týchto boli v súčasnosti prepracované dva: CCCM a GISS.

Z nich sa v ďalšom kroku použil scenár GISSprep 2000, pre ktorý boli vyjadrené možné zmeny zrážok a teplôt pre územie celého Slovenska, Tab. 4:

### Aplikácia lineárno-regresného modelu

V Tab. 5 a Tab. 6 sú uvedené možné percentuálne zmeny mesačných odtokov v jednotlivých staniaciach, a to pre lineárno-regresný model odvodený pre 1 mesiac a pre model odvodený pr. 3 mesiace.

Zostavenie lineárneho regresného modelu pre 1 a 3 mesiace súviselo s voľbou časového kroku, pre ktorý sme hľadali optimálne regresné vzťahy medzi odtokom na jednej strane a nezávisle premennými podľa rovnice (1) na strane druhej. Voľba sa zdala byť spočiatku jednoznačná, a to 1 mesiac. Závislosti, ktoré sme pre tento časový krok získali boli pomerne tesné, koeficienty viacnásobnej korelácie sa pohybovali od 0,6 do 0,95, väčšinou nad 0,8. Napriek tomu sme v niektorých prípadoch percentuálne možných zmien odtoku získali nelogické výsledky (napr. v januároch pri nezmenených zrážkach a nárastoch teploty sa vyskytovali záporné prírastky odtoku). Predpokladali sme, že táto nelogičnosť sa objavila ako dôsledok veľmi malého variačného rozpätia priemerných mesačných teplôt v jednotlivých mesiacoch a rokoch. Teda vplyv teplôt na výsledné regresné vzťahy bol nepreukazný. Preto sme pristúpili k voľbe rozšíreného časového intervalu na 3 mesiace a výsledky sme viazali na mesiac prostredný. Pre odvodenie závislostí pre 12 mesiacov sme postupovali kľzavým spôsobom. Týmto postupom sme síce čiastočne znížili tesnosť závislostí (približne o 0,1 až 0,15), avšak rozšírené variačné rozpätie teplôt vyvolalo logickú reakciu aj na túto nezávisle premennú.

Preto je opodstatnený záver, že vyššiu výpovednú hodnotu môžeme prikladať výsledkom pre model s časovým krokom 3 mesiace, Tab. 6.

### Analýza výsledkov

Pri uplatnení prepracovaného scenára GISS (GISSprep 2000) možno konštatovať nasledovné spoločné znaky pre hydrologické scenáre podľa modelu pre interval 1 mesiac:

- ☐ V zimnom polroku – od novembra do apríla – sa odtok zvyšuje
- ☐ Na severe sa k zvyšuje odtok až do apríla, smerom na juh sa zvýšený zimný odtok spája s menším počtom zimných mesiacov, pričom maximálne zvýšenie (na rozdiel od severných povodí) je v januári, prípadne februári
- ☐ Zvýšenie zimného odtoku je na severe prevažne od 10 do 40% (maximálne 60%), v strede približne od 20 do 50% a na juhu Slovenska až od 30 do 80% (maximálne 100%)



- ❑ Zmeny počas leta sú viac kompaktné na severe a majú hodnoty až do 20%, viac premenlivé sú na juhu – alebo sú nevýrazné (povodia Krivánsky potok a Štítnik), alebo majú stredné hodnoty (okolo 20-25%)- povodia Nitry, Rimavica, alebo výrazné poklesy – od 50 do 90% - Holiša, Krupinica, Litava, Blh. V letnom období majú mesačné odtoky tendenciu klesať – okrem mesiaca júla.
- ❑ Počas jesene (september – november) odtoky na severe mierne stúpajú, od stredných polôh smerom na juh mimoriadne intenzívne klesá odtok vo všetkých povodiach, avšak len v mesiaci október. Hodnoty poklesu odtoku dosahujú v tomto mesiaci 40 až 90%.
- ❑ Komentované výsledky sú pre horizont 2075. Pre bližšie časové horizonty – 2010 a 2030 sú tendencie možných zmien rovnaké, avšak hodnoty zmien nepresahujú 10%, okrem letných mesiacov v povodí Ipľa, kde dosahujú do 20%.

Pre hydrologické scenáre podľa modelu pre interval 3 mesiace sú výsledky podobné, avšak sú o niečo miernejšie a opísaný pokles v októbri, sa pre tento model presúva na september.

Na porovnanie s výsledkami z prvej fázy riešenia tejto témy uvádzam citát z (Majerčáková, Šedík (1997)):

**Klimatický scenár GISS:** Na severe zimné odtoky (od októbra do mája) narastajú viac v nižších nadmorských výškach, približne o 5 až 15%, v najvzdialenejšom časovom horizonte o 20 až 80%, pričom najväčšie zmeny sa viažu na január až marec, vo vysokohorských polohách na november, marec a apríl. Smerom na juh sa obdobie zimného zvýšeného odtoku skraca na január až marec, percentuálne zmeny sú približne rovnaké ako na severe krajiny. V letných mesiacoch (jún – september) v severných oblastiach Slovenska prietoky môžu poklesnúť o 5 až 30%, pričom v auguste zaznamenávame nezmenený stav, dokonca mierny vzostup. Smerom na juh je situácia podobná až na dva momenty: nezmenený stav, resp. vzostup môže byť podľa scenára GISS v dvoch letných mesiacoch – júli a auguste. Veľmi výrazný pokles mesačných odtokov vychádza na september, smerom južným a juhovýchodným a so vzrastajúcim časovým horizontom je tento jav intenzívnejší. V roku 2075 aj podľa scenára GISS môžu v septembri v južných oblastiach Slovenska prietoky poklesnúť o 70-100%. Ďalším zaujímavým faktom je, že aj keď podľa scenára možno očakávať ako na severe, tak aj na juhu krajiny, najvyššie zrážkové prírastky, mesačné modelované odtoky poklesli oproti východiskovému stavu v 37% prípadoch.

Z porovnania prepracovaných hydrologických scenárov (uvedených v pomerných hodnotách) možno konštatovať, že analýzy výsledných hodnotení z rokov 2000 a 1997 sú pomerne podobné, tendencie zmien sa odlišujú sa len v málo detailoch a odlišnosti samozrejme nájdeme v konkrétnych hodnotách možných zmien mesačných odtokov.

## Literatúra

- Demeterová, B.:** Výsledky monitoringu vo vodomerných staniách povrchových tokov a analýza dlhodobých hydrologických charakteristík (pre povodia Bodvy, Hornádu a Bodrogu a Popradu) [Správa pre NKP 2000] SHMÚ, Bratislava, 2000
- Fendeková, M., Kullman, E., Gavurník, J., Sadloňová, K.:** Vplyv globálnych klimatických zmien na výdatnosti prameňov na území Slovenska, SHMÚ, Bratislava, 1995.
- Halmová, D., Svoboda, A.:** Simulácia akumuláčnych objemov nádrží s uvažovaním nových scenárov klimatickej zmeny [Správa pre NKP 2000] ÚH SAV, Bratislava, 2000
- Kostka, Z., Holko, L.:** Vplyv klimatickej zmeny na priebeh odtoku v malom horskom povodí [Správa pre NKP 2000] ÚH SAV, Bratislava, 2000
- Kullman, E., Slamka, I., Gavurník, J.:** Zhodnotenie vplyvu klimatických zmien na režim výdatnosti prameňov a predpokladaný dopad týchto klimatických zmien na disponibilné množstvá podzemných vôd. [Správa pre NKP] SHMÚ, Bratislava, 1995
- Lapin, M., Melo, M.:** Stručný prehľad scenárov klimatickej zmeny pre Slovensko podľa GISSprep. [Rukopis] Katedra meteorológie a klimatológie MFF UK, Bratislava, október 2000
- Lupták, L., Varjúová, E., Blaškovičová, L.:** Výsledky monitoringu vo vodomerných staniách povrchových tokov a analýza dlhodobých hydrologických charakteristík (pre povodia Moravy, Dunaja, Váhu a Nitry) [Správa pre NKP 2000] SHMÚ, Bratislava, 2000
- Majerčáková, O., Šedík, P., Cagardová, Ž.:** Odhad možných zmien odtoku počas roka na základe štatistického modelu. [Správa pre NKP 1995], SHMÚ, Bratislava, 1995
- Majerčáková, O.:** Národný klimatický program Slovenskej republiky - hydrológia a vodné hospodárstvo. In: NKP 6/97, Bratislava 1977
- Majerčáková, O.:** Modelovanie možných zmien mesačných odtokov na vybraných povodiach centrálného Slovenska na základe nových klimatických scenárov. [Správa pre NKP 2000] SHMÚ, Bratislava, 2000
- Petrovič, P.:** Dôsledky premenlivosti klímy na hydrologický režim – Nitra po Nové Zámky. [Správa pre NKP 2000] VÚVH, Bratislava, 2000
- Szolgay, J., Hlavčová, K., Parajka, J., Čunderlík, J.:** Vplyv klimatickej zmeny na odtokový režim na Slovensku. In: NKP 6/97, Bratislava 1977



- Szolgay, J., Hlavčová, K., Parajka, J., Čunderlík, J.: Vplyv nožnej zmeny klímy na odtokový režim v regióne stredného Slovenska. [Správa pre NKP 2000] KVHK SvF STU, Bratislava, 2000
- Šipikalová, H.: Výsledky monitoringu vo vodomerných staniách povrchových tokov a analýza dlhodobých hydrologických charakteristík (pre povodia Hrona, Ipl'a a Slanej). [Správa pre NKP 2000] SHMÚ, Bratislava, 2000
- Takáčová, D.: Zhodnotenie výsledkov NKP v oblasti hydrologie podzemných vôd do roku 2000. [Správa pre NKP 2000] SHMÚ, Bratislava, 2000
- Takáčová, D.: Možné dôsledky klimatických zmien v režime podzemných vôd – časť dolný Hron. SHMÚ, Bratislava, 1995
- Takáčová, D.: Možné dôsledky klimatickej zmeny na hladiny podzemnej vody v povodí stredného a horného Hrona. SHMÚ, Bratislava, 1996
- Takáčová, D.: Možné dôsledky klimatickej zmeny na hladiny podzemnej vody v oblasti Žitného ostrova. SHMÚ, Bratislava, 1997

## NATIONAL CLIMATE PROGRAM: HYDROLOGICAL MONITORING AND MODELLING OF POSSIBLE MONTHLY RUNOFF CHANGE

*Oľga Majerčáková, Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava*

### Abstract

In the introduction of the presented paper there we put together the main themes of the 1. phase of the National Climate Program of the Slovak Republic (NCP SR) – from the part WATER, as well as the recommendations for the further orientation of research in this field.

The period of the NCP SR solution between the years 1998 and 2000 can be characterised as an intermediate time. In the Slovak Hydrometeorological Institute we focused this time on the following points:

- the monitoring in the selected hydrological stations
- the evaluation of the changes and development of the long term hydrological characteristics in the water gauging stations included in NCP
- the evaluation of the changes and development of the long term hydrological characteristics of ground water and springs in the measuring points included into NCP
- the supplementation (selection) of the ground water stations for NCP

The hydrological stations included in NCP SR are presented in Tables 1, 2 and 3. The selection of the stations for the ground water level monitoring has not been finished till now.

The separate part of the paper deals with possible runoff changes modelling during the year in 11 watersheds of the central part of the Slovak Republic. These possible changes are modelled with respect to the new climate scenario GISSprep 2000. Its values are valid for the whole territory of Slovakia, Table 4.

The multiple linear regression, developed during the 1. phase of NCP, was applied for the calculation of the possible runoff changes:

$$R = f(P, T, r, R_{-1}, P_{-1}), \quad \text{for } i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

where: R - monthly runoff (mm), P - monthly precipitation (mm), r - mean monthly relative air humidity (%), T - mean monthly air temperature (°C)

The parameters of model were derived in two alternatives: for the time-step 1 month and by "moving" way for the time-step 3 months. For the application we recommend the second "moving" type of the model; in this case some modelled extremes are partially eliminated. The results for both alternatives are presented in Tab. 5 and Tab. 6. The results (expressed in %) presented the possible changes of the runoff during the year.

In the summary of the paper, there are the results of possible runoff changes confronted with results, obtained by application of the first climate scenario GISS. In general can be said, that the results are very similar, the trends are different only in small details and, of course, the differences can be found in the concrete values of possible monthly runoffs changes.

## MODELOVANIE VPLYVU ZMENY KLÍMY NA REŽIM ODTOKU V REGIÓNE STREDNÉHO SLOVENSKA

<sup>1)</sup>Kamila Hlavčová, Ján Szolgay, <sup>2)</sup>Juraj Parajka, <sup>1)</sup>Juraj Čunderlík

<sup>1)</sup>Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU, Bratislava

<sup>2)</sup>EHZ ÚH SAV, Liptovský Mikuláš

### 1. ÚVOD

Z metodického hľadiska vychádzajú scenáre zmien odtoku a následne aj adaptačné opatrenia vo vodnom hospodárstve zväčša z klimatických scenárov a rôznych spôsobov ich regionalizácie. V tejto oblasti sa uplatňujú metódy, ktoré sme podrobnejšie opisali v publikácii NKP SR č. 6 (Szolgay, et al. (1997b)), t.j. metódy siahajúce od rôznych spôsobov interpolácie výstupov z globálnych cirkulačných modelov (GCM) cez empirické a štatistické závislosti medzi globálnou, regionálnou a lokálnou klímou až po matematické modely počasia a klímy interpolujúce výsledky GCM na regionálnu a lokálnu úroveň (pozri napr. Crane a Hewitson (1998), Wilby, et al. (1998, 1999), Christensen a Christensen (1998)). Vo všeobecnosti je potrebné naďalej považovať samotné scenáre zmeny klímy za hlavný zdroj neistoty pri určovaní vplyvu zmeny klímy na odtokový režim, i keď Boorman a Shefton (1997) poukázali na možnosť, že aj samotný hydrologický model môže viesť k zavádzajúcim výsledkom.

Podrobnejší prehľad o metódach modelovania vplyvu zmeny klímy na režim odtoku a prietokov a hodnotenia jej dôsledkov na vodné hospodárstvo u nás a vo svete sme uviedli v Szolgay, et al. (1997b) a čiastočne tiež v Hlavčová, et al. (1999). Stručný prehľad o prácach našich autorov je uvedený aj v prácach Majerčáková (1999) a Szolgay a Hlavčová (2000). Vzhľadom na rozsiahlosť problematiky a množstvo literárnych prameňov sme nemohli ani vo vyššie citovaných prácach a ani tu nemôžeme podrobne rozoberať medzinárodné a domáce práce publikované v danej oblasti. Poukážeme len na niektoré vývojové tendencie z posledného obdobia, ktoré považujeme za dôležité z hľadiska súčasnosti a budúcnosti riešenia problematiky u nás.

V oblasti hydrologických modelov sa v uvedenej problematike naďalej používali rozmanité modely, prehľad uvádzajú napr. Chalecki a Gleick (1999). Možnosti priamo porovnávať výsledky jednotlivých impaktných štúdií sú naďalej obmedzené v dôsledku rôznych východiskových predpokladov modelov odtoku a požívaných scenárov. Vo všeobecnosti môžeme povedať, že výsledky našich hydroológov sú konzistentné s výsledkami zahraničných štúdií o zmene režimu odtoku v Európe v našich zemepisných šírkach (pozri napr. Arnell a Reynard (1996), Grabbs (1997), Kaczmarek (1997), Sztarosolszky a Gauzer (1998), Bálint, Mika a Dobi (1996), Bálint a Gauzer (1994), Bálint a Varga (2000)).

Za nový prvok v literatúre možno považovať tendenciu modelovať odtok a vplyv klímy naň na regionálnej, resp. globálnej úrovni (pozri napr. Alcamo, et al. (1997), Arnell (1998, 1999a), Döll, et al. (1999)). Túto tendenciu treba vnímať aj v súvislosti so zavádzaním globalizujúceho pohľadu na vodné zdroje a hospodárenie s nimi, z čoho vyplýva aj potreba generálne hodnotiť vplyv klimatickej zmeny na odtok na globálnej úrovni (Arnell, 1999b, Shiklomanov a Georgievski (2001)). V tejto súvislosti je možné uviesť, že o regionálne riešenia sme sa metodicky snažili v minulosti aj u nás (Szolgay, et al. (1997a, 1997b), Hlavčová, et al. (1999)). Hulme, et al. (1999) simulovali prietoky v rôznych oblastiach Európy nielen pre scenáre GCM, ale aj pre výstupy z modelu HadCM2 získané pre klímu bez zvýšeného obsahu skleníkových plynov. Výsledky naznačujú možnosť, že v stredných zemepisných šírkach môže prirodzená variabilita odtoku prevýšiť úroveň signálu zo simulovanej klimatickej zmeny. Hydrologické baseline scenáre nemusia byť teda nutne stacionárne ani v období absencie zmeny klímy.

V blízkej budúcnosti môžeme očakávať, že sa postupne v hydrologickom modelovaní prejaví výsledky dosiahnuté v regionálnych experimentálnych výskumoch ako boli HAPEX, NOPEX, BALTEX a ďalšie, ktoré by mali predovšetkým prispieť k lepšiemu chápaniu interakcie hydrologických procesov na povrchu zeme s hydrologickými procesmi v prízemnej vrstve atmosféry. Výsledky sa zrejme najprv prejaví v lepšej parametrizácii časti klimatických modelov popisujúcich prízemnú vrstvu atmosféry a ich hydrologickej časti a prispieju aj k vývoju klimaticko-hydrologických modelov na regionálnej úrovni (toto smerovanie naznačujú napr. Miller a Kim (1996, 2000)).

V oblasti sledovania vzťahov dlhodobého kolísania odtoku a variability klímy boli zohľadnené aj vplyvy fenoménov El Nino a NOA v rôznych oblastiach sveta vrátane Európy (Shorthouse a Arnell (1997)).



V oblasti povodňového režimu sa všeobecne očakáva zvyšovanie jeho extrémnosti, i keď preukazných štúdií v danej oblasti stále nie je dostatok. Súvisí to najmä s nedostatočným priestorovým a časovým rozlíšením klimatických modelov a ich regionalizáciou. Scenáre zmeny režimu zrážok s mesačným časovým krokom nemusia byť reprezentatívne pre možné zmeny intenzít denných a krátkodobých dažďov. Štúdie, ktoré sa rôznym spôsobom pokúšajú odhadnúť zmeny týchto intenzít a následne zmenu povodňového režimu publikovali napr. Nash a Gleick (1993), Jeton, et al. (1996), Reynard, et al. (1998), Schreider (1996), Panagoulia a Dimiou (1997), Saethun, et al. (1998).

V problematike malých prietokov, resp. hydrologického sucha sa popri už citovaných globálnych štúdiách objavujú samozrejme aj štúdie zaoberajúce sa menšími oblastami a povodiami (napr. Mika (1994, 1996), Arnell a Reynard (1996), Gellens a Roulin (1998), Dvořák, et al. (1997)), ktoré popri potvrdení známych vplyvov zmeny klímy na suchu poukazujú aj na vplyv lokálnych hydrogeologických faktorov na regionálnu variabilitu sucha.

V našej hydrologickej literatúre sa na určovanie vplyvu klimatickej zmeny na odtokový režim používali rozmanité metodické postupy. Môžeme ich zaradiť napr. do týchto troch základných skupín:

- identifikácia trendov a periodických zložiek v hydrologických časových radoch a ich extrapolácia do budúcnosti,
- analýza variability klímy v minulosti a odhad možného budúceho správania hydrologického režimu pomocou analógie s relatívne teplými obdobiami v minulosti,
- matematické modelovanie možných zmien hydrologického režimu.

Do prvej skupiny spadajú najmä práce z počiatočného obdobia skúmania problematiky u nás. Vznikol rad štúdií skúmajúcich hydrologické a hydrometeorologické procesy v našom regióne, pozri napr. Mosný (1994), Šuba (1994), Fendeková (1995, 1999, 2000), Kullman, et al. (1995), Majerčáková a Minárik (1995), Majerčáková a Šedík (1995, 1997), Škoda a Turbek (1995), Poárová, et al. (1996), Zaťko, et al. (1996), Takáčová (1996), Szolgay, et al. (1997a), Pekárová (2000a,b), Šútor (2000). Aplikácie v druhej skupine metód sú v našej hydrologickej literatúre vzácne, väčšina impaktných štúdií patrí dnes do tretej skupiny metód. V nich sa v našej hydrologickej literatúre sa uplatnili inkrementálne scenáre, priame výstupy z GCMs, analógové scenáre z relatívne teplých období a regionalizované scenáre GCMs.

V impaktných štúdiách sa použili rozmanité druhy hydrologických modelov odtoku. Často sa vychádzalo zo systémovej paradigmy, v rámci ktorej sa klimatické charakteristiky (najčastejšie teplota vzduchu a atmosférické zrážky) považujú za vstupné veličiny do hydrologického systému; následne sa určovala zmena hydrologického režimu v dôsledku očakávaných zmien týchto vstupov podľa klimatických scenárov pomocou niektorého z hydrologických bilančných modelov. Počet ich aplikácií je rozsiahly a nie je v možnostiach tohoto príspevku poskytnúť o nich podrobný a ucelený prehľad. V prácach týkajúcich sa nášho regiónu uvedené metodické postupy použili napr. Majerčáková, Šedík (1995), Novák (1995), Svoboda (1996), Pekárová, et al. (1996), Petrovič (1997, 1998, 2000), Szolgay, et al. (1997, 1998), Halmová, et al. (1997), Halmová (2000), Čunderík, et al. (1998), Hlavčová a Čunderlík (1998, 1999), Hlavčová, et al. (1999), Kostka, Holko (2000) a iní.

Výsledky týchto štúdií, pokiaľ ide o veľkosť a sezónnosť zmien a ich nelinearitu vo vzťahu k zmenám zrážok a teploty vzduchu, sú v pomerne dobrej zhode. Vzhľadom na rôzne scenáre klimatickej zmeny (s odlišným "downscalingom" na územie Slovenska) použité v štúdiách však nie je možné tieto výsledky vždy priamo porovnávať. Ďalšie zdroje rozdielov môžu okrem toho vyplývať napríklad aj z rôznosti použitých zrážkovo-odtokových modelov, rozdielného referenčného obdobia použitého pre kalibráciu modelu a rôznosti použitých klimatických staníc.

Hodnotenie impaktu klimatickej zmeny na vodné hospodárstvo je potrebné vnímať aj v kontexte ostatných tlakov na vodné zdroje a zmien v sektore vodného hospodárstva, čo zvyšuje zložitosť problematiky a komplikuje aj úlohu návrhu konkrétnych adaptačných opatrení. V oblasti vodného hospodárstva sa postupne menia paradigmy hospodárenia s vodou. Kým mnohé vyspelé krajiny deklarujú prechod na princípy trvalo udržateľného hospodárenia s vodnými zdrojmi, zatiaľ menej vyspelé krajiny prechádzajú fázou zvyšovania požiadaviek na vodné zdroje pre hospodárske a spoločenské ciele (Kindler (2000)). Už Dublinská deklarácia z Konferencie Voda a environment v roku 1992 zdôraznila nutnosť trvalo udržateľného využívania vodných zdrojov, ktorý by mal zaručiť, že nedôjde k degradácii kvality ani kvantity existujúcich zdrojov. Širšie súvislosti trvalo udržateľného rozvoja a vodných zdrojov výrazne zdôraznila aj Agenda 21. I keď tlak na vodné zdroje je v rôznych častiach sveta rozdielny, najmä koncom 90tych rokov vznikol rad globálnych iniciatív a prác zameraných na hodnotenie vodných zdrojov v celosvetovom a regionálnom kontexte (pozri napr. Word Bank (1993), WMO (1997), Shiklomanov (1998), Gleick (1998), World Commission for Water (2000)).



V oblasti skúmania vplyvu klimatickej zmeny na hospodárenie s vodou sa v poslednom období voči minulosti zvyšuje počet prípadových štúdií ako na lokálnej, tak regionálnej a globálnej úrovni. Autori skúmali potenciálny vplyv zmeny klímy na hydroenergetiku, zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou, vodnú rekreáciu, ochranu proti povodňam, závlahy, navigáciu a minimálny potrebný prietok. Väčšina štúdií skúma možný vplyv na existujúcu vodohospodársku sústavu a zaoberá sa najmä spoločenskými a hospodárskymi aspektmi hospodárenia s vodou. Iba niekoľko málo z nich sa zameriava aj na akvatickú zložku životného prostredia.

Doposiaľ je málo výsledkov týkajúcich sa finančných nákladov potrebných na adaptačné opatrenia na znížovanie prípadných negatívnych dôsledkov zmeny klímy. Problematické sa v tejto súvislosti ukazuje vymedzenie porovnávacej základne pre určenie ekonomickej náročnosti adaptácie na klimatickú zmenu (dnešný stav alebo jeden z možných budúcich stavov bez zmeny klímy), zahrnutie nákladov možných stratégií adaptácie do výpočtov (neexistujú prefabrikované riešenia a rozsah možných postupov je pomerne široký). Značný je aj rozsah vývojových možností v dôsledku značného rozptylu v klimatických, hydrologických, hospodárskych a sociálnych scenároch. Preto sa často s konkrétnou adaptáciou v štúdiách ani neuvažuje, zisťuje sa zmena ukazovateľov a parametrov fungovania sústavy v nových podmienkach voči jej pôvodným hodnotám (pozri napr. Dvořák, et al. (1997), Grabbs, et al. (1997), Tung a Haith (1998), Saelthun, et al. (1998), Shiklomanov (1998), Eheart, et al. (1999), Lettenmaier, et al. (1999), Hatch, et al. (1999), Hurd, et al. (1999), Meyer, et al. (1999), Strzepek, et al. (1999), Blake, et al. (2000), Cohen, et al. (2000)). Prehľad o aplikáciách v Británii uvádza Arnell (1998), v USA USNCA (2000).

V oblasti adaptácie na pokles výdatnosti vodných zdrojov v dôsledku klimatickej zmeny sú vo vodnom hospodárstve v princípe možné dve cesty, resp. ich kombinácia. Prvá sa zameriava na zvyšovanie dodávok vody a jej akumuláciu technickými opatreniami, druhá na znížovanie potreby a spotreby vody a využívanie opatrení na zvyšovanie akumulačnej schopnosti krajiny. V každej skupine existuje rad možných a známych postupov. Preferencie voči ich používaniu sú v jednotlivých krajinách rôzne a v princípe závisia od lokálnej filozofie riadenia vodného hospodárstva, inštitucionálnej kapacity každej krajiny (legislatíva, spôsoby riadenia a organizácie vodného hospodárstva), stupňa rozvoja a bohatstva krajiny a zvoleného časového horizontu plánovania. O vhodnosti toho ktorého princípu sa diskutovalo aj nezávisle vzhľadom na hrozby zmeny klímy, pričom z hľadiska princípov integrovaného hospodárenia s vodou a trvalo udržateľného rozvoja dostáva často vyššiu preferenciu druhá cesta (World Bank (1993), Easter, et al. (1998), Anderson a Hill (1997), Kindler (2000)).

Pri voľbe samotných adaptačných metód sme postavení pred otázku, ako sa efektívne adaptovať na nové podmienky, keď veľkosť (a niekedy ani smer) zmeny nie je dostatočne spoľahlivo určený. Pri konvenčnom plánovaní vo vodnom hospodárstve sa v minulosti zaužíval a uplatňoval princíp stacionarity na strane zdrojov. Preto bolo možné pre plánovanie používať pozorované hodnoty hydrologických vstupov z minulosti. Platnosť tohto predpokladu je dnes otázna. V súčasnosti sa preto ponúka cesta hodnotenia rôznych alternatív nielen hospodárskeho a sociálneho rozvoja, ale aj neistoty vo vstupných údajoch o vodných zdrojoch. Následne bude potrebné hodnotiť riziká spojené s jednotlivými scenármi a vykonávať rozhodnutia na základe tejto analýzy (Stakhiv (1998), Lins a Stakhiv (1998), Major (1998). Preto sa obnovuje záujem aj o metódy rozhodovania za neurčitých podmienok, ktoré boli populárne v štúdiách v minulých desaťročiach (pozri napr. Hobbs, et al. (1997), Luo a Caselton (1997), Fisher a Rubio (1997) a iní.).

V predkladanej štúdii sme pokračovali v tradícii Národného klimatického programu, pričom pri hodnotení hydrologického dôsledku zmeny klímy sme vychádzali z nových klimatických scenárov a z nového spôsobu ich regionalizácie pre územie stredného Slovenska. Zaoberali sme sa skúmaním vplyvu novej zmeny klímy na možnú zmenu dlhodobého priemerného ročného odtoku a na zmenu vnútroročného rozdelenia odtoku vo vybraných oblastiach stredného Slovenska, pričom sme použili zaužívané a niektoré nové metodické postupy :

- voľba scenárov zmeny klímy a modelových území na hodnotenie dôsledkov klimatickej zmeny,
- určenie parametrov hydrologického modelu pomocou údajov z porovnávacieho obdobia,
- simulovanie etalónových časových radov zo vstupných údajov z porovnávacieho obdobia,
- zavedenie novej zmeny klímy do vstupných časových radov podľa scenárov zmeny klímy,
- simulovanie hydrologických procesov so zmenenými vstupnými veličinami,
- porovnanie štatistických charakteristík z modelových časových radov pre každý použitý scenár s ich hodnotami z etalónového radu,
- vyhodnotenie zmien hydrologického režimu.



Metodicky tu nadväzujeme na predchádzajúce práce kolektívu autorov, napr. Szolgay, et al. (1997a,b), Čunderlík, Hlavčová, Szolgay (1998), Hlavčová, et al. (1999), a najmä na Szolgay, et al. (1999) a Hlavčová, et al. (2000).

## 2. VÝBER REFERENČNÉHO OBDOBIA A REFERENČNÝCH OBLASTÍ

Metodiky mnohých vodohospodárskych koncepcií, metódy dlhodobého plánovania a výpočtov vychádzali u nás z hypotézy, že hydrologický cyklus je stacionárnym procesom. Predpokladalo sa, že jeho číselné charakteristiky získané z pozorovaní v minulosti dostatočne popisujú správanie kolobehu vody aj v budúcnosti a tak poskytujú spoľahlivé podklady pre projektovanie a plánovanie využívania vodných zdrojov. Podkladové a návrhové hydrologické údaje pre vodohospodárske projekty vychádzali preto často z charakteristík tzv. hydrologického reprezentatívneho obdobia 1931 až 1960, resp. 1931 - 80, pre ktoré sa na základe výsledkov rôznych analýz predpokladalo, že z nich odvodené charakteristiky hydrologického režimu dobre popisujú dlhodobé charakteristiky kolobehu vody v prírode. Charakteristiky spracované z údajov z reprezentatívnych období slúžili aj ako podklad pre hydrologické mapovanie a nepriame spôsoby odvodenia vstupných a návrhových veličín pre vodohospodárske plánovanie a projektovanie.

V rámci Národného klimatického programu SR sa v poslednom období pre riešiteľov odporúčalo vychádzať z jednotného reprezentatívneho obdobia 1951-80. Obdobie 1951-1980 odporúčal tiež Medzivládny panel pre klimatickú zmenu (IPCC) ako základ pre odvodzovanie scenárov teploty vzduchu. Na základe uvedeného sme v spracovanej štúdii ako referenčné obdobie použili obdobie 1951-1980. Okrem dôvodu porovnateľnosti výsledkov s prácami publikovanými v rámci NKP SR a našimi predchádzajúcimi štúdiami nás k tomuto výberu viedla získateľnosť hydrologických a klimatických údajov potrebných pre riešenie hydrologických scenárov v mesačnom časovom kroku (limitujúcim faktorom boli najmä prietokové údaje).

Pri skúmaní vplyvu zmeny klímy na odtokový režim sme ako referenčné územie vybrali región stredného Slovenska. Pri sledovaní zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku sme sa pritom zamerali najmä na vodohospodársky významné povodia a oblasti (s vybudovanými alebo plánovanými vodárenskými alebo malými vodnými nádržami): Čierny Váh – Ipolitica, Lubochňa – Lubochňanka, Liptovský Mikuláš – Váh, Čadca – Kysuca, Zborov – Bystrica, Nitrianska Streda – Nitra, Michalová – Rohožná, Hronec – Čierny Hron, Turček – Turiec, Hriňová – Slatina, Hrochoť – Hučava, Málinec – Ipel', Dobšiná – Dobšinský potok, Gemerská Poloma – Súľovský potok, Ráztočné – Klenovecká Rimava, Lehota n. Rimavou – Rimavica, Rimavská Sobota – Rimava, Krupinská planina a Juhoslovenská kotlina. Zároveň sme zmenu dlhodobého priemerného ročného odtoku sledovali v štyroch výškových pásmach – do 300 m n. m., od 300 do 800 m n. m., od 800 do 1200 m n. m. a nad 1200 m n. m.

Zmenu dlhodobých priemerných mesačných prietokov sme sledovali v povodiach Liptovský Mikuláš – Váh, Lokca – Biela Orava, Čadca – Kysuca, Nitrianska Streda – Nitra, Holiša – Ipel' a Lehota nad Rimavicou – Rimavica.

## 3. SCENÁRE ZMENY KLÍMY

Na modelovanie vplyvu zmeny klímy na odtokový režim sme použili najnovšie výstupy z globálneho cirkulačného modelu GCM – CCCM, vytvoreného v Kanadskom klimatickom centre. Klimatický scenár CCCM je založený na prepojení systéme oceán – atmosféra a na predpokladanom vývoji skleníkového efektu v budúcnosti. Predpokladá 1% nárast CO<sub>2</sub> ročne, nárast na 2×CO<sub>2</sub> okolo roku 2050 a zohľadňuje vplyv aerosolov. Výstupy z klimatického scenára CCCM boli pre riešenie štúdie pripravené a regionálne modifikované do vybraných klimatických staníc stredného Slovenska Katedrou meteorológie a klimatológie MFF UK v Bratislave (Lapin (1999a, 1999b, 2000), Szolgay, et al. (1999), Hlavčová, et al. (2000)).

Ako alternatívne scenáre boli pre riešenie štúdie použité modifikované analógové scenáre zmeny klímy WP B a SD, vytvorené na základe porovnávania teplých období v minulosti u nás. Tieto scenáre boli pôvodne spracované v rámci NKP SR a Country Study SR (Lapin, et al. (1995)) a modifikované Katedrou meteorológie a klimatológie MFF UK v Bratislave v rámci štúdií Szolgay, et al. (1999), Hlavčová, et al. (2000)). Výstupy klimatických prvkov podľa jednotlivých scenárov boli spracované pre tri časové horizonty – 2010, 2030 a 2075.



#### 4. MOŽNÝ VPLYV KLIMATICKEJ ZMENY NA ZMENU DLHODOBÉHO PRIEMERNÉHO ROČNÉHO ODTOKU

V tejto časti štúdie sme sa zaoberali skúmaním vplyvu nožnej klimatickej zmeny na zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku v už uvedených povodiach a oblastiach stredného Slovenska.

Geografické informačné systémy (GIS) umožňujú aplikáciu jednoduchých modelov hydrologickej bilancie pre výpočet priestorovej zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku. V tejto štúdií bol na modelovanie jeho zmeny použitý modifikovaný model Turca, ktorý umožňuje vytvoriť podľa vopred zvolených scenárov zmien vstupných klimatických prvkov (dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok a dlhodohej priemernej ročnej teploty vzduchu) priestorový obraz o budúcich možných zmenách dlhodobého priemerného ročného odtoku vo vybraných územných celkoch. Nadväzujeme tu bezprostredne na prácu Szolgay, et al. (1999), v ktorej bol využitý spresnený Turcov model a priestorové scenáre zmeny zrážok vytvorené s využitím geoštatistickej interpolačnej metódy - krigingu. Na vypracovanie priestorovo interpretovaných scenárov zmeny zrážok pre územie stredného Slovenska boli otestované viaceré interpolačné algoritmy. Na výber najvhodnejšej interpolačnej metódy pre ich priestorovú interpretáciu bola použitá porovnávacía metóda „jack-knife“ (Meijerink, et al. (1994)). Oproti predošlým prácam bola na vytvorenie rastrovej interpretácie dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok referenčného obdobia použitá interpolačná metóda 3-dimenzionálny regularizovaný splajn s tenziou. Táto metóda sa v práci (Hofierka et. al., v tlačí) ukázala ako presnejšia v porovnaní s doteraz využívanou rastrovou interpretáciou izočiariovej mapy zrážok.

##### 4.1 Metodika výpočtu zmien dlhodobého priemerného ročného špecifického odtoku

Výpočet možných zmien dlhodobého priemerného ročného špecifického odtoku sme urobili v týchto krokoch :

- vytvorenie referenčnej rastrovej mapy priestorového rozloženia dlhodobého priemerného ročného elementárneho odtoku pomocou modelu Turca z rastrových máp dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok a teploty vzduchu z obdobia 1951 - 1980,
- testovanie presnosti a výber interpolačnej metódy pre vytvorenie rastrových máp zmeny dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok podľa jednotlivých klimatických scenárov a ich konštrukcia,
- vytvorenie máp priestorového rozloženia odhadov zmien dlhodobého priemerného ročného elementárneho odtoku pre rôzne scenáre zmien prvkov hydrologickej bilancie voči referenčnému obdobiu 1951 - 1980,
- výpočet percentuálneho rozdielu dlhodobého priemerného odtoku pre vybrané záujmové územia z referenčného modelu a z modelov prislúchajúcim k jednotlivým scenárom,
- zhodnotenie vplyvu zmeny klímy podľa jednotlivých klimatických scenárov na zmeny dlhodobého priemerného ročného špecifického odtoku.

##### 4.2 Priestorový model Turca

Dlhodobý priemerný ročný prietok (niekedy vhodnejšie vyjadrený aj ako špecifický odtok) je významnou hydrologickou charakteristikou. Napriek pomerne hustej sieti pozorovacích staníc sme pre jeho zisťovanie často nútení využívať nepriame metódy. Často sa vychádza z hydrologickej bilancie za dlhé časové obdobie, ktorá umožňuje z dvoch známych členov vypočítať tretí:

$$Z=O+V, \quad (4.1)$$

kde O je dlhodobá priemerná ročná odtoková výška, Z je dlhodobý priemerný ročný úhrn zrážok a V je dlhodobý priemerný ročný klimatický výpar. Autorov, ktorí skúmali tento vzťah je mnoho, v súvislosti s cieľom riešenia sme v minulosti skúmali vhodnosť modelov Duba a Tresovej, Liebschera, Frigu, Kaczmarka a Turca. Podrobnejší popis použiteľnosti jednotlivých modelov je v napr. v Parajka (1994) a Szolgay, et al. (1997a). Ako vhodný model hydrologickej bilancie sme v týchto prácach vybrali model Turca, ktorý skúmal závislosti priemerných ročných hodnôt klimatického výparu, odtoku, zrážok a teploty vzduchu (T). Vychádzal pritom zo vzťahu :

$$V / EPI = f ( Z / EPI ), \quad (4.2)$$

ktorý charakterizuje pomer dlhodobého priemerného klimatického výparu V k tzv. indexu potenciálnej evapotranspirácie EPI ako funkciu pomeru dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok Z k EPI. Odtok Turc následne určuje z rovnice hydrologickej bilancie. Na základe údajov z 254 povodí viacerých klimatických pásiem odvodil pre odtokovú výšku O vzťah:



$$O = Z * \left[ 1 - \frac{EPI}{\left( c * EPI^n + Z^n \right)^{\frac{1}{n}}} \right] \quad (4.3)$$

EPI je index potenciálnej evapotranspirácie, ktorú Turc určuje empiricky v závislosti od dlhodobej priemernej ročnej teploty vzduchu:

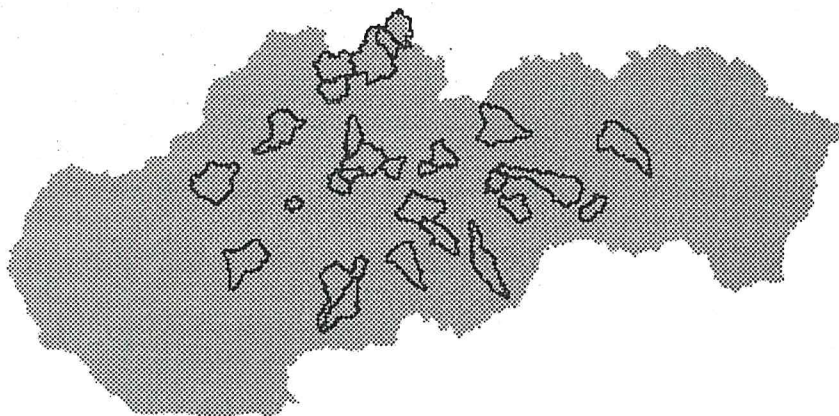
$$EPITURC = 300 + 25 T + 0,05 T^3, \quad (4.4)$$

kde T je dlhodobá priemerná ročná teplota v °C. Regionálne parametre c a n sú stanovované pre každé povodie na základe už poznaných hodnôt odtoku, zrážok a teploty vzduchu (Parajka (1994)). Ak nie je možnosť kalibrácie týchto parametrov, Turc navrhuje použiť generalizované hodnoty  $c = 0,9$  a  $n = 2$ .

Pre zvýšenie priestorovej reprezentatívnosti Turcovho vzťahu bol tento model v práci Hlavčová et al. (1999) nakalibrovaný pre celé územie Slovenska. Na základe údajov o dlhodobej priemernej ročnej teplote vzduchu a odvodených hydrologických údajov o potenciálnej evapotranspirácii vypočítanej podľa Tomlaina (1991) z obdobia 1951-1980 v 54 staniciach územia Slovenska bol odvodený vzťah určujúci index potenciálnej evapotranspirácie  $EPI_{SR}$  pre celé územie Slovenska:

$$EPISR = 260,822 + 37,920 T + 0,077 T^3 \quad (4.5)$$

Na kalibráciu regionálnych parametrov c a n boli použité územné priemery Z a  $EPI_{SR}$  z 28 vybraných povodií stredného Slovenska s plochou menšou ako 400 km<sup>2</sup>, pre ktoré boli k dispozícii merané údaje o odtoku. Mapa vybraných 28 povodií je na obr. 4.1.

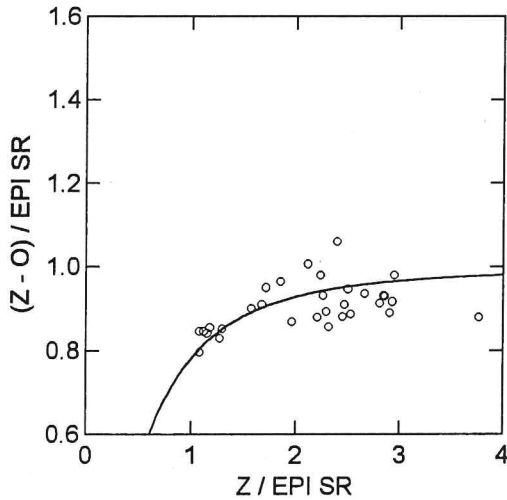


Obr. 4.1 Mapa 28 povodií vybraných pre kalibráciu Turcovho modelu

Fig. 4.1 Map of 28 catchments selected for the calibration of the Turc model

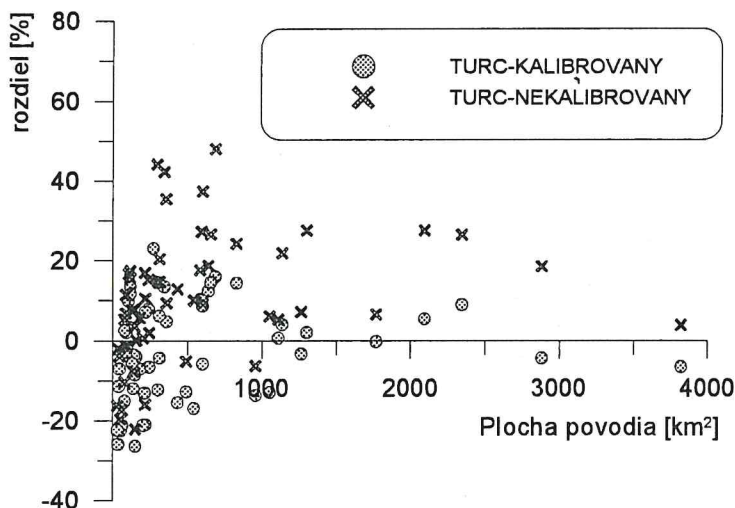
Na základe územných priemerov Z a  $EPI_{SR}$  a meraných hodnôt O boli metódou nelineárnej regresie vypočítané koeficienty c a n. Na rozdiel od pôvodných koeficientov modelu Turca boli pre územie Slovenska stanovené regionálne parametre  $c = 1,367$  a  $n = 4$ . Grafické znázornenie výsledku kalibrácie je na obr. 4.2.

Na vytvorenie mapy dlhodobého priemerného ročného elementárneho odtoku  $Q_a$  pomocou nakalibrovaného Turcovho modelu sú potrebné rastrové mapy dlhodobej priemernej ročnej teploty vzduchu a dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok. Na rastrovú interpretáciu teploty vzduchu bola využitá mapa vytvorená v rámci predchádzajúcich prác posudzujúcich možné dôsledky klimatickej zmeny na hydrologický cyklus (Hlavčová, et al. (1999)). Na rastrovú interpretáciu zrážok bola na rozdiel od predchádzajúcich prác využitá rastrová mapa vytvorená interpolačnou metódou 3-dimenzionálnym regularizovaným splajnom s tenziou (RST3D). Táto mapa bola vytvorená v práci (Hofierka et al., v tlači). Porovnanie s digitálnou interpretáciou izočiariovej mapy zrážok (používanej v predchádzajúcich prácach) a mapami zrážok vytvorených geoštatistickými interpolačnými metódami (Parajka (1999)) ukázalo, že interpolačná metóda RST3D je vhodnejšia pre priestorové znázornenie poľa dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok na území Slovenska.



Obr. 4.2 Kalibrácia Turcovho modelu pre 28 vybraných povodí územia Slovenska  
Fig. 4.2 Calibration of the Turc model in 28 selected catchments of Slovakia

Vhodnosť a priestorovú konzistenciu mapy vytvorenej nakalibrovaným Turcovým modelom sme porovnali s mapou vytvorenou nekalibrovaným Turcovým modelom vo vybraných povodiach Slovenska. Pomocou metód mapovej algebry v GIS-e sme vypočítali dlhodobý priemerný ročný odtok pre jednotlivé povodia podľa modelov Turca a tento sme porovnali s dlhodobým priemerným ročným odtokom, odvodeným z pozorovaní za obdobie 1951-80. Výsledné percentuálne rozdiely vo vzťahu k ploche povodia sú prezentované na obr. 4.3.



Obr. 4.3 Vzťah medzi percentuálnym rozdielom medzi pozorovaným a vypočítaným územným priemerom dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa modelov Turca pre 57 povodí Slovenska a ich plochou  
Fig. 4.3 Relationships between percentual differences of observed and calculated areal long-term mean annual runoff from the Turc model and catchment areas for 57 basins in Slovakia

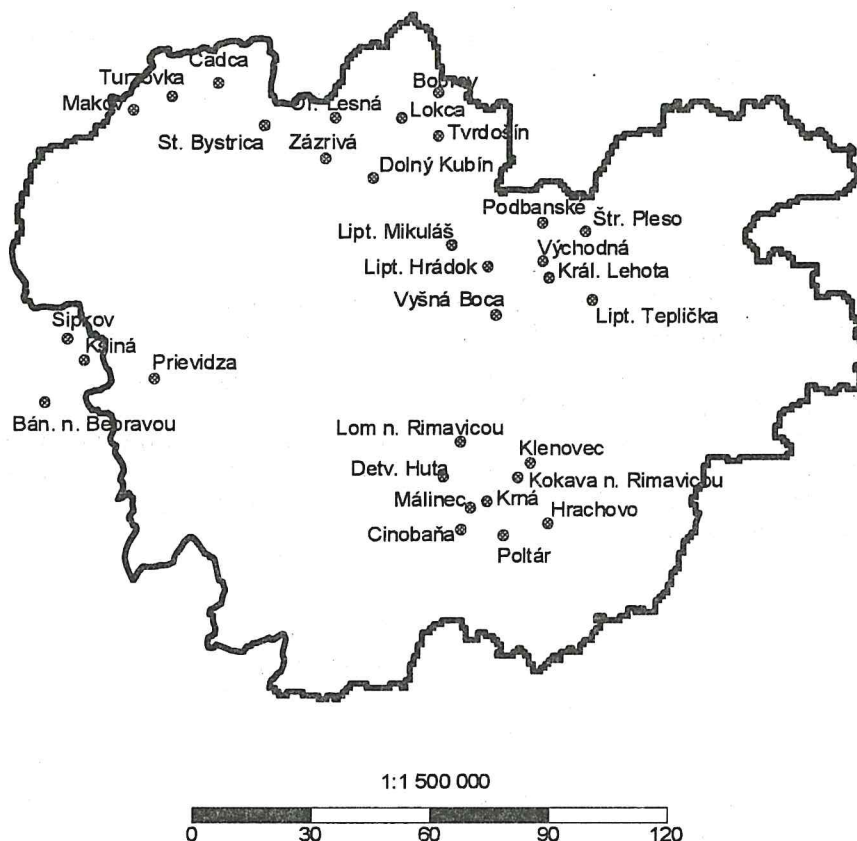
Na základe porovnania môžeme konštatovať, že odchýlky medzi územným priemerom dlhodobého priemerného ročného elementárneho odtoku odvodeného z pozorovaní a vypočítaného pre nakalibrovaný Turcov model sa pohybujú v rozmedzí  $\pm 20\%$ , kým pre nekalibrovaný model je rozptyl odchýlok vyšší. Nakalibrovaný model teda lepšie vystihuje priestorové rozloženie dlhodobého priemerného ročného odtoku na území Slovenska v reprezentatívnom období 1951-80 a môže byť použitý pri sledovaní a porovnávaní zmien odtoku v zvolených oblastiach Slovenska.

#### 4.3 Vytvorenie priestorových interpretácií zmeny zrážok podľa scenárov zmeny klímy

Pri výpočte zmien dlhodobého priemerného odtoku bolo základom vytvorenie priestorových scenárov zmeny zrážok. Výsledné mapy zmeny zrážok boli vytvorené v dvoch krokoch. V prvom sa vytvorila rastrová mapa tzv. baseline scenára, vyjadrujúca rozloženie dlhodobého priemerného ročného úhrnu



zrážok v referenčnom období 1951-80. Na vytvorenie tejto rastrovej mapy bola aplikovaná interpolačná metóda 3-dimenzionálneho regularizovaného splajnu s tenziou, ktorá pri interpolácii využíva informácie o reliéfe územia. V druhom kroku boli na základe bodových hodnôt downscalingu jednotlivých klimatických scenárov do klimatických staníc stredného Slovenska (pozri Lapin v Hlavčová et al. (2000)) vytvorené rastrové mapy percentuálnej zmeny zrážok pre každý klimatický scenár (CCCM, SD a WP) a časový horizont (2010, 2030 a 2075). Uvažované klimatické stanice sú zobrazené na obr. 4.4.



Obr. 4.4 Meteorologické stanice využité pri interpolácii zmeny dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok podľa klimatických scenárov pre územie stredného Slovenska

Fig. 4.4 Meteorological stations used in the interpolation of the changes in the long-term mean annual precipitation according to climate scenarios for Central Slovakia

Na konštrukciu rastrových máp percentuálnej zmeny zrážok boli testované tieto interpolačné metódy: Thiessenove polygóny, metóda inverzne váženej vzdialenosti, kriging a 2-dimenzionálny regularizovaný splajnu s tenziou. Vhodnosť jednotlivých interpolačných algoritmov bola zhodnotená porovnávacou metódou „jack-knife“. Pre každú interpolačnú metódu a klimatický scenár sa testovalo viacero kombinácií parametrov, najoptimálnejšie boli zvolené na základe štatistického spracovania výsledkov porovnávacej metódy. Následne sa na základe vzájomného porovnania výsledkov porovnávacej metódy pre jednotlivé interpolačné metódy vyhodnotila vhodná interpolačná metóda pre konštrukciu rastrových máp percentuálnej zmeny zrážok.

Zo štatistického porovnania presnosti jednotlivých interpolačných metód vyplýva, že najvhodnejšou metódou pre interpoláciu percentálnej zmeny dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok bola pre všetky klimatické scenáre a časové horizonty metóda 2-dimenzionálneho regularizovaného splajnu s tenziou (RST 2D). Iba pre klimatický scenár SD pre časové horizonty 2010 a 2075 boli hodnoty variácie rovnaké ako pre interpolačnú metódu kriging. Najmenej presná interpolačná metóda je podľa porovnávacej metódy pre klimatické scenáre SD a WP metóda Thiessenových polygónov, pre klimatický scenár CCCM metóda kriging.

Na základe štatistického zhodnotenia jednotlivých interpolačných metód porovnávacou metódou „jack-knife“ bola na konštrukciu rastrových máp percentuálnej zmeny dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok pre všetky klimatické scenáre a časové horizonty použitá interpolačná metóda 2-dimenzionálny

regularizovaný splajn s tenziou. Z výsledných rastrových máp percentuálnej zmeny dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok bolo následne vypočítané plošné zastúpenie jednotlivých kategórií zmeny na území stredného Slovenska a priemerná zmena dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok pre jednotlivé výškové pásma stredného Slovenska.

Zo zhodnotenia percentuálnej zmeny dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok pre región stredného Slovenska podľa klimatického scenára CCCM vyplýva, že bodové výstupy downscalingu klimatického scenára CCCM (pozri Lapin v Hlavčová, et al., 2000) sú pre všetky časové horizonty (2010, 2030, 2075) priestorovo najvariabilnejšie, predpokladajú pokles aj nárast priemerného ročného úhrnu zrážok. Najväčší pokles zrážok možno predpokladať pre stanicu Lom nad Rimavicou: -7% pre časový horizont 2010 a -4% pre časové horizonty 2030 a 2075. Najväčší vzrast priemerného ročného úhrnu zrážok sa podľa tohto scenára predpokladá pre stanicu Liptovský Hrádok: +6% pre časový horizont 2010, +8% pre časový horizont 2030 a +9% pre časový horizont 2075. Táto variabilita sa následne prejavuje aj v rastrových interpretáciách percentuálnej zmeny zrážok. Zo zhodnotenia plošného zastúpenia jednotlivých kategórií zmien zrážok (tab. 4.1) vyplýva, že pre všetky časové horizonty je najrozšírenejšia kategória mierného vzrastu zrážok (0 do 5%), ktorá má zastúpenie na 59 % regiónu stredného Slovenska pre časový horizont 2010, 92% plochy územia pre časový horizont 2030 a 73% plochy územia pre časový horizont 2075. Zo zhodnotenia priemernej percentuálnej zmeny priemerného ročného úhrnu zrážok pre jednotlivé výškové pásma regiónu stredného Slovenska (tab. 4.2) vyplýva, že od časového horizontu 2010 po horizont 2075 by malo dochádzať k postupnému zvyšovaniu dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok, pre časový horizont 2075 a výškové pásmo nízkych vysočín (od 300 do 800 m n. m.) sa predpokladá rast o takmer 4%. Z plošného zhodnotenia tohto klimatického scenára nevyplýva výrazný pokles zrážok, skôr sa dá očakávať zachovanie súčasného stavu, resp. mierny rast priemerného ročného úhrnu zrážok pre všetky výškové pásma.

**Klimatický scenár SD** na rozdiel od scenára CCCM predpokladá iba pokles priemerného ročného úhrnu zrážok na celom území stredného Slovenska pre všetky časové horizonty. Pokles zrážok je relatívne rovnomerný po celom území, amplitúda zmeny zrážok v rámci jedného časového horizontu dosahuje hodnoty 2% (časový horizont 2010), 4% (2030) a 6% (2075). Maximálny pokles je predpokladaný pre stanicu Klenovec: asi -4% pre časový horizont 2010, -6% pre 2030 a viac ako -9% pre časový horizont 2075. Naopak najmenší pokles má stanica Oravská Lesná od -1% (2010) do -4% (2075). Aj zo zhodnotenia plošného zastúpenia kategórií poklesu zrážok v tab. 4.1 vyplýva malá priestorová diferencovanosť zmeny priemerného ročného úhrnu zrážok v regióne stredného Slovenska pre všetky časové horizonty. Mierny pokles (do 5%) je podľa tohto scenára predpokladaný pre celé územie stredného Slovenska pre časový horizont 2010, pre viac ako 90 % plochy územia pre časový horizont 2030. V časovom horizonte 2075 sa takmer 80% plochy územia nachádza v pásme poklesu -5 až -10%. Priestorová rovnomernosť poklesu priemerného ročného úhrnu zrážok sa prejavila aj pri zhodnotení priemernej plošnej zmeny úhrnu zrážok pre zvolené výškové pásma (tab. 4.2). V rámci časového horizontu 2010 sa zmena pre všetky výškové pásma pohybuje okolo -2,5 %, pre časový horizont 2030 od -3,6% pre výškové pásmo nad 1500 m n. m. do -4,7% pre výškové pásmo do 300 m n. m. Malá priestorová diferencovanosť sa prejavila aj v časovom horizonte 2075, kde sa pokles priemerného ročného úhrnu zrážok pohybuje od asi -5,7% do -7,2%.

**Klimatický scenár WP B** podobne ako scenár SD predpokladá iba pokles priemerného ročného úhrnu zrážok. Pokles a priestorová diferenciácia zmeny zrážok je výraznejšia, najmä pre časový horizont 2075, pre ktorý amplitúda poklesu dosahuje viac ako 17%. Najväčší pokles je podľa bodových výstupov tohto klimatického scenára v stanici Málinec: -7% pre časový horizont 2010, -11% pre 2030 a -18% pre horizont 2075. Najmenší pokles, resp. prakticky zotrvanie súčasného stavu sa predpokladá pre stanicu Stará Bystrica s poklesom asi 1% pre časové horizonty 2010 a 2030 a 1,8% pre horizont 2075. Z plošného zhodnotenia kategórií poklesu zrážok vyplýva postupné zväčšovanie plochy územia v kategórií poklesu od -5 až 10% pre časový horizont 2010 - 32% plochy územia, pre časový horizont 2030 - 63% plochy územia až po časový horizont 2075 - takmer 83% plochy územia regiónu stredného Slovenska. Zo zhodnotenia priemernej percentuálnej zmeny zrážok pre jednotlivé výškové pásma a časové horizonty vyplýva pokles priemerného ročného úhrnu zrážok pre všetky výškové pásma a časové horizonty. Pre časový horizont 2010 sa nepredpokladá výraznejší pokles zrážok, hodnoty poklesu sa pohybujú od -2,2% (výškové pásmo nad 1500 m n. m.) po takmer -6% pre oblasť nížin. Pokles sa postupne zvyšuje v ďalších časových horizontoch, pre časový horizont 2075 dosahuje hodnoty od -5,8% pre výškové pásmo nad 1500 m n. m. do viac ako -14% pre výškové pásmo do 300 m n. m.



Tab. 4.1 Plošné zastúpenie [%] jednotlivých kategórií zmeny priemerného ročného úhrnu zrážok územia stredného Slovenska podľa klimatických scenárov CCCM, SD a WP B

Table 4.1 Percentage of area of Central Slovakia affected by various changes in the mean annual precipitation for the CCCM, SD and WP B climate scenarios

| <b>CCCM</b><br>Kategória zmeny dlhodobého<br>priemerného ročného úhrnu<br>zrážok | <b>2010</b> | <b>2030</b> | <b>2075</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| -10% až -5%                                                                      | 0,00 %      | 0,00 %      | 0,00 %      |
| -5% až 0%                                                                        | 41,21 %     | 5,38 %      | 0,00 %      |
| 0% až +5%                                                                        | 58,79 %     | 92,07 %     | 72,93 %     |
| 5% až +10%                                                                       | 0,00 %      | 2,55 %      | 27,07 %     |
| <b>SD</b><br>Kategória zmeny dlhodobého<br>priemerného ročného úhrnu<br>zrážok   | <b>2010</b> | <b>2030</b> | <b>2075</b> |
| -10% až -5%                                                                      | 0,00 %      | 9,88 %      | 79,73 %     |
| -5% až 0%                                                                        | 100,00 %    | 90,12 %     | 20,27 %     |
| 0% až +5%                                                                        | 0,00 %      | 0,00 %      | 0,00 %      |
| 5% až +10%                                                                       | 0,00 %      | 0,00 %      | 0,00 %      |
| <b>WP B</b><br>Kategória zmeny dlhodobého<br>priemerného ročného úhrnu<br>zrážok | <b>2010</b> | <b>2030</b> | <b>2075</b> |
| -10% až -5%                                                                      | 32,48 %     | 62,89 %     | 82,75 %     |
| -5% až 0%                                                                        | 67,52 %     | 37,11 %     | 17,25 %     |
| 0% až +5%                                                                        | 0,00 %      | 0,00 %      | 0,00 %      |
| 5% až +10%                                                                       | 0,00 %      | 0,00 %      | 0,00 %      |

Tab. 4.2 Priemerná percentuálna zmena dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok pre jednotlivé výškové pásma a časové horizonty podľa klimatických scenárov CCCM, SD a WP B

Table 4.2 Mean changes [%] in the long-term mean annual precipitation in different altitudinal zones and time horizons for the CCCM, SD and WP B climate scenarios

| <b>CCCM</b><br>VÝŠKOVÉ PÁSMO<br>[m n. m.] | <b>2010</b> | <b>2030</b> | <b>2075</b> |
|-------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| do 300                                    | -0,15 %     | 2,31 %      | 2,83 %      |
| 300 až 800                                | 0,37 %      | 2,62 %      | 3,74 %      |
| 800 až 1500                               | -0,08 %     | 2,07 %      | 3,24 %      |
| Nad 1500                                  | -0,34 %     | 1,72 %      | 2,94 %      |
| <b>SD</b><br>VÝŠKOVÉ PÁSMO<br>[m n. m.]   | <b>2010</b> | <b>2030</b> | <b>2075</b> |
| do 300                                    | -2,88 %     | -4,73 %     | -7,24 %     |
| 300 až 800                                | -2,42 %     | -3,87 %     | -6,02 %     |
| 800 až 1500                               | -2,40 %     | -3,81 %     | -6,00 %     |
| Nad 1500                                  | -2,20 %     | -3,57 %     | -5,70 %     |
| <b>WP B</b><br>VÝŠKOVÉ PÁSMO<br>[m n. m.] | <b>2010</b> | <b>2030</b> | <b>2075</b> |
| do 300                                    | -5,81 %     | -9,41 %     | -14,35 %    |
| 300 až 800                                | -3,83 %     | -6,24 %     | -9,72 %     |
| 800 až 1500                               | -3,19 %     | -5,20 %     | -8,15 %     |
| Nad 1500                                  | -2,20 %     | -3,69 %     | -5,78 %     |

#### 4.4 Zhodnotenie zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku

Základom výpočtu zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku bolo vytvorenie rastrových máp percentuálnej zmeny dlhodobého priemerného ročného elementárneho odtoku podľa jednotlivých klimatických scenárov voči rastrovej mape odtoku referenčného obdobia 1951-80. Pri hodnotení scenárov sme potom vychádzali zo zmien územných priemerov dlhodobého priemerného ročného odtoku vo vybraných záujmových oblastiach. Takýto územný priemer môže vyrovnať prípadné lokálne anomálie, ktoré by mohli vzniknúť v rastrovom modeli pri priestorovej interpolácii izočiari vstupných veličín do rastra v území so silne premenlivým poľom izočiari.

Percentuálne zmeny územného priemeru dlhodobého priemerného ročného elementárneho odtoku pre štyri výškové pásma a vybrané regióny stredného Slovenska sú prezentované v tab. 4.3 a 4.4. Tieto zmeny možno pre jednotlivé scenáre zmeny klímy zhrnúť nasledovne:

**Klimatický scenár CCCM** predpokladá rast zrážok na väčšine územia stredného Slovenska a rast priemernej ročnej teploty vzduchu pre celé územie pre všetky časové horizonty. Aj napriek uvažovanému nárastu zrážok budú sledované oblasti podľa neho pravdepodobne poznačené miernym poklesom odtoku, resp. zachovaním stavu reprezentačného obdobia. Zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku v rozpätí 5% sme pritom nepovažovali za významné a hodnotili sme ich ako zachovanie odtokových pomerov reprezentatívneho obdobia 1951-80. Pre scenár CCCM sa v časovom horizonte 2010 a 2030 môže dlhodobý priemerný ročný odtok znížiť v niektorých oblastiach do -10 %, v časovom horizonte 2075 od -9 % do -30 %.

**Klimatické scenáre WP B a SD** predpokladajú na celom území stredného Slovenska pokles priemerného ročného úhrnu zrážok a rast priemernej ročnej teploty vzduchu pre všetky uvažované časové horizonty. Podľa týchto scenárov budú pravdepodobne všetky uvažované oblasti poznačené znížením dlhodobého priemerného ročného odtoku, pričom najvýraznejší pokles sa môže prejaviť v oblasti nížin a kotlín. Dlhodobý priemerný ročný odtok sa môže podľa týchto scenárov znížiť od -9 do -27 % pre časový horizont 2010, od -15 do -40 % pre časový horizont 2030 a od -27 % do -60% pre časový horizont 2075. Zo vzájomného porovnania týchto dvoch scenárov vyplýva výraznejší pokles dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa scenára WP B.

Tab. 4.3 Percentuálna zmena dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa modifikovaného priestorového modelu Turca vypočítaná pre výškové pásma stredného Slovenska a časové horizonty podľa klimatických scenárov CCCM, SD a WP B

Table 4.3 Changes [%] in the long-term mean runoff according to the modified Turc model for different altitudinal zones and the CCCM, SD and WP B climate scenarios

|             | Výškové pásmo [m n. m.] |           |            |             |
|-------------|-------------------------|-----------|------------|-------------|
| <b>CCCM</b> | do 300                  | 300 – 800 | 800 – 1500 | 1500 a viac |
| 2010        | -11 %                   | -8 %      | -6 %       | -3 %        |
| 2030        | -10 %                   | -8 %      | -5 %       | -2 %        |
| 2075        | -28 %                   | -23 %     | -15 %      | -6 %        |
|             | Výškové pásmo [m n. m.] |           |            |             |
| <b>SD</b>   | do 300                  | 300 – 800 | 800 - 1500 | 1500 a viac |
| 2010        | -19 %                   | -16 %     | -11 %      | -6 %        |
| 2030        | -31 %                   | -26 %     | -19 %      | -10 %       |
| 2075        | -46 %                   | -42 %     | -32 %      | -18 %       |
|             | Výškové pásmo [m n. m.] |           |            |             |
| <b>WP B</b> | do 300                  | 300 – 800 | 800 - 1500 | 1500 a viac |
| 2010        | -27 %                   | -20 %     | -13 %      | -7 %        |
| 2030        | -39 %                   | -31 %     | -21 %      | -11 %       |
| 2075        | -54 %                   | -48 %     | -36 %      | -19 %       |



Tab. 4.4 Percentuálna zmena dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa modifikovaného priestorového modelu Turca vypočítaná pre významné vodohospodárske oblasti regiónu stredného Slovenska podľa klimatických scenárov CCCM, SD a WP B

Table 4.4 Changes [%] in the long-term mean runoff according to the modified Turc model for various regions of Central Slovakia and the CCCM, SD and WP B climate scenarios

|                               | CCCM |      |      | SD   |      |      | WP B |      |      |
|-------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                               | 2010 | 2010 | 2030 | 2010 | 2030 | 2075 | 2010 | 2030 | 2075 |
|                               | [%]  |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Čierny Váh – Ipoltica         | -6   | -5   | -15  | -10  | -17  | -30  | -12  | -20  | -34  |
| Lubochňa – Lubochňanka        | -3   | -2   | -10  | -9   | -15  | -27  | -10  | -16  | -29  |
| Lipt. Mikuláš – Váh           | -6   | -6   | -16  | -11  | -19  | -32  | -12  | -20  | -33  |
| Čadca – Kysuca                |      |      |      | -10  | -17  | -29  | -10  | -17  | -29  |
| Zborov – Bystrica             | -4   | -3   | -12  | -10  | -17  | -29  | -9   | -15  | -27  |
| Nitrianska Streda – Nitra     | -3   | -3   | -19  | -16  | -27  | -42  | -23  | -33  | -50  |
| Michalová – Rohožná           | -7   | -6   | -18  | -13  | -21  | -37  | -18  | -28  | -46  |
| Hronec – Čierny Hron          | -6   | -6   | -18  | -13  | -22  | -38  | -19  | -30  | -49  |
| Turček – Turiec               | -2   | -1   | -9   | -9   | -16  | -28  | -13  | -20  | -35  |
| Hriňová – Slatina             | -9   | -6   | -20  | -14  | -24  | -41  | -22  | -34  | -54  |
| Hrochoť – Hučava              | -5   | -4   | -15  | -12  | -20  | -35  | -18  | -29  | -48  |
| Málinec – Ipel'               | -8   | -8   | -23  | -16  | -27  | -44  | -25  | -38  | -58  |
| Dobšiná – Dobšinský p.        | -10  | -10  | -23  | -14  | -23  | -39  | -17  | -28  | -45  |
| Gemerská Poloma – Súľovský p. | -12  | -12  | -27  | -16  | -25  | -42  | -19  | -30  | -48  |
| Ráztočné – Klenovecká Rimava  | -8   | -7   | -21  | -15  | -24  | -41  | -21  | -33  | -53  |
| Lehota n. Rimavou – Rimavica  | -9   | -9   | -24  | -17  | -27  | -44  | -24  | -37  | -57  |
| Rimavská Sobota – Rimava      | -10  | -10  | -26  | -18  | -28  | -45  | -25  | -38  | -56  |
| Krupinská planina             | -6   | -6   | -22  | -16  | -27  | -41  | -24  | -35  | -50  |
| Juhoslovenská kotlina         | -12  | -11  | -28  | -20  | -31  | -46  | -27  | -40  | -55  |

## 5. MOŽNÝ VPLYV KLIMATICKEJ ZMENY NA ZMENU VNÚTROROČNÉHO ROZDELENIA ODTOKU VO VYBRANÝCH REGIÓNOCH SLOVENSKA

V ďalšej časti sme sa zaoberali posúdením novej zmeny rozdelenia odtoku vo vnútri roka vo vybraných povodiach Slovenska. Pre modelovanie odtoku z povodia v mesačnom časovom kroku bol použitý matematický model hydrologickej bilancie WatBal (Yates, 1994), ktorý je špeciálnou implementáciou koncepčného modelu odtoku so sústredenými parametrami CLIRUNS (Kaczmarek, 1993). V práci nadväzujeme na výsledky uvedené v napr. v Hlavčová, Szolgay, Čunderlík, Parajka (1999), Szolgay, et al. (1999) a Hlavčová, et al. (2000).

### 5.1 Metodika výpočtu zmien vnútroročného rozdelenia odtoku

Pre výpočet zmien vnútroročného rozdelenia odtoku boli použité tieto scenáre zmeny klímy :

- výstupy z GCM - CCCM (Lapin (1999a, 1999b, 2000), Hlavčová, et al. (2000)),
- analógové scenáre vytvorené v rámci Národného klimatického programu SR, modifikované v rámci Hlavčová, et al. (2000); s označením WP B a SD.

Hodnoty predpokladaných zmien zrážok a teploty vzduchu podľa uvedených klimatických scenárov sme uvažovali pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075, v ktorých sme následne zhodnotili zmeny vnútroročného rozdelenia odtoku.

Pre odhad zmien vnútroročného rozdelenia odtoku sme použili tento postup:

- Kalibrácia modelu WatBal pre jednotlivé povodia a pre referenčné obdobie 1951 - 1980.
- Vytvorenie referenčného modelovaného časového radu priemerných mesačných prietokov pre obdobie 1951 - 1980.
- Vytvorenie modelových časových radov vstupných hodnôt pre uvedené časové horizonty s použitím uvedených scenárov zmien klímy. Pri vytváraní modelových radov vstupných hodnôt sme hodnoty

meraného radu z príslušných období opravili v každom mesiaci o zmenu udávanú príslušným scenárom. Tým sme dosiahli, že dlhodobý priemer príslušnej vstupnej veličiny sa zmenil tak, ako to predpisoval klimatický scenár.

- Vytvorenie modelového časového radu priemerných mesačných prietokov pomocou modelu WatBal na základe modelových vstupných údajov a parametrov modelu z kalibračného obdobia pre všetky použité scenáre zmeny klímy.
- Porovnanie rozdielov vo vnútroročnom rozdelení odtoku podľa jednotlivých scenárov pre sledované časové horizonty.

## 5.2 Matematický model hydrologickej bilancie WatBal

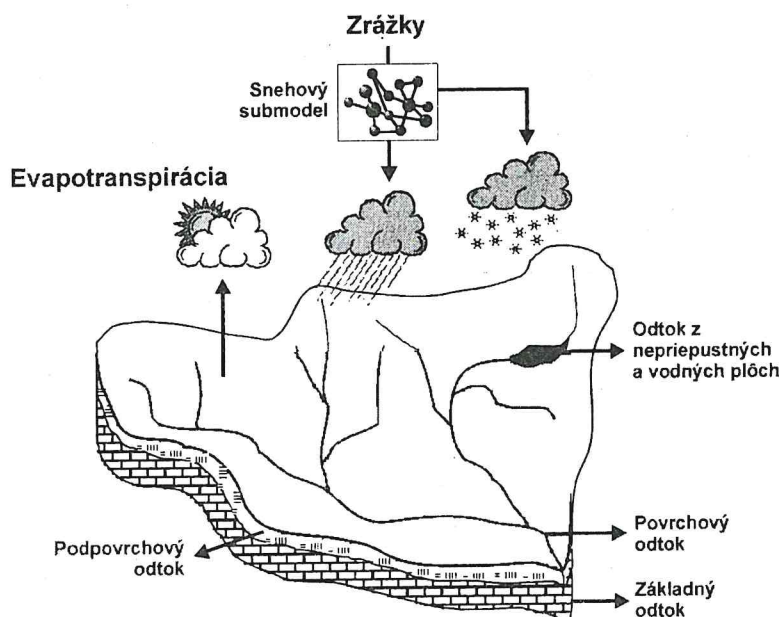
Matematický model hydrologickej bilancie WatBal schematizuje povodie ako jednu nelineárnu nádrž. Simuluje akumuláciu a topenie snehu, evapotranspiráciu, odtok z nepriepustných plôch v povodí, povrchový, podpovrchový a základný odtok. Podrobný opis matematického modelu sa nachádza napr. v práci Yates (1994) alebo Čunderlík (1996).

Základná diferenciálna rovnica hydrologickej bilancie použitá v modeli má tvar :

$$S_{\max} \frac{dz}{dt} = (P(t)(1-\beta)) - R_s(z,t) - R_{ss}(z,t) - Ev(EP, z, t) - R_b \quad (5.1)$$

kde:

- $S_{\max}$  - maximálna zásobná kapacita vody v povodí [mm],
- $S$  - zásobná kapacita vody v povodí v danom časovom kroku [mm],
- $z$  - relatívny objem vody v povodí ( $0 \leq z \leq 1$ ),  $z = S/S_{\max}$  [-],
- $t$  - čas [mesiac],
- $P$  - zrážky [mm],
- $\beta$  - koeficient vyjadrujúci, aká časť zrážok dopadla na plochy s priamym odtokom v povodí ( $0 \leq \beta \leq 1$ ) [-],
- $R_s$  - povrchový odtok [mm],
- $R_{ss}$  - podpovrchový odtok [mm],
- $Ev$  - evapotranspirácia [mm],
- $R_b$  - základný odtok [mm],
- $E_p$  - potenciálna evapotranspirácia.



Obr. 5.1 Schéma modelu WatBal

Fig. 5.1 Scheme of the WatBal model

Z rovnice 5.1 vyplýva, že základné vstupné údaje, potrebné na výpočet hydrologickej bilancie v mesačnom časovom kroku, sú:



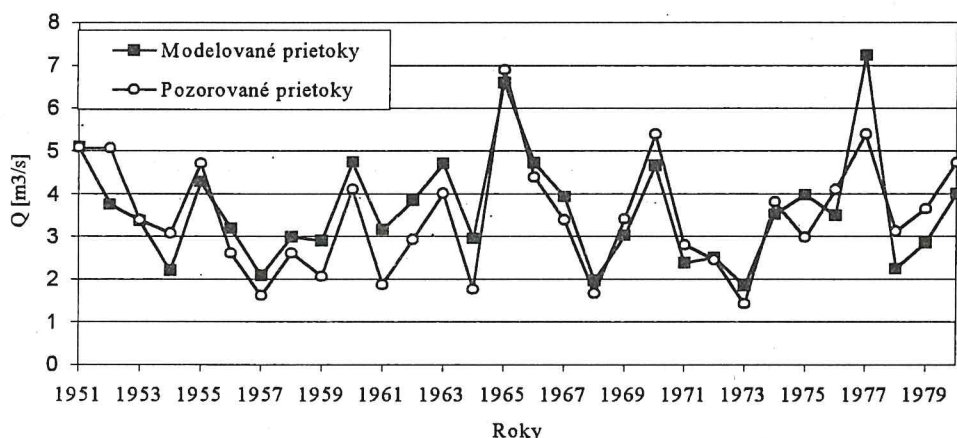
- ⇒ priemerné mesačné úhrny zrážok na povodí,
- ⇒ priemerné mesačné prietoky v záverečnom profile povodia,
- ⇒ priemerné mesačné hodnoty potenciálnej evapotranspirácie v povodí.

Model umožňuje používať rôzne prístupy k výpočtu potenciálnej evapotranspirácie, medzi nimi aj využívanie hodnôt z modelov dodaných užívateľom. V prípade, ak údaje o potenciálnej evapotranspirácii nie sú k dispozícii, umožňuje model jej výpočet metódami Priestly-Taylor a Thornthwaitea (pozri napr. v Novák (1995)). Pre takýto výpočet sú potrebné nasledujúce údaje:

- ⇒ dlhodobé priemerné mesačné hodnoty trvania slnečného svitu,
- ⇒ dlhodobé priemerné mesačné hodnoty relatívnej vlhkosti vzduchu,
- ⇒ priemerné mesačné hodnoty teploty vzduchu.

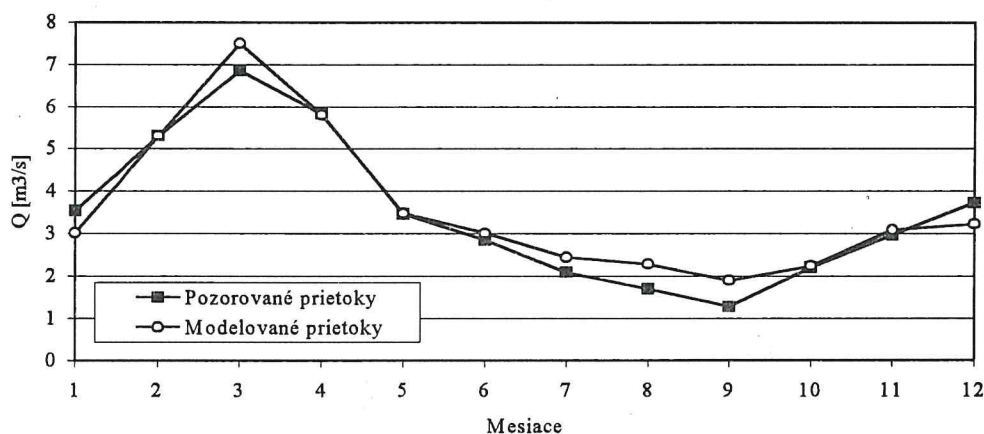
K spresneniu výpočtu potenciálnej evapotranspirácie sa môžu navyše zadať aj dlhodobé priemerné mesačné hodnoty radiačnej bilancie, rýchlosti vetra a albeda.

Pri kalibrácii modelu pre jednotlivé povodia sme sa snažili nájsť také parametre modelu, pri ktorých bola dosiahnutá čo najlepšia zhoda medzi meranými a modelovanými prietokmi. V modeli sa na posúdenie miery zhody používajú dve optimalizačné kritériá – dosiahnutie maximálnej hodnoty koeficienta korelácie a minimálnej odchýlky medzi pozorovanými a modelovanými priemernými mesačnými prietokmi. Príklad výsledkov kalibrácie modelu WatBal pre povodie Ipel' – Holiša je znázornený na obr. 5.2 a 5.3.



Obr. 5.2 Porovnanie vypočítaných a pozorovaných priemerných ročných prietokov z obdobia 1951-1980 na toku Ipel' v profile Holiša

Fig. 5.2 Comparison of modelled and observed mean annual discharges from the period 1951-1980 of the Ipel' River in Holiša



Obr. 5.3 Porovnanie vypočítaných a pozorovaných dlhodobých priemerných mesačných prietokov z obdobia 1951-1980 na toku Ipel' v profile Holiša

Fig. 5.3 Comparison of modelled and observed long-term averages of the mean monthly discharges from the period 1951-1980 of the Ipel' River in Holiša

## 5.2 Výber povodí

Pri výbere povodí boli zohľadnené rôzne fyzicko-geografické oblasti stredoslovenského regiónu. Výber bol zároveň determinovaný vstupnými hydrologickými a klimatickými údajmi, ktoré pre tieto povodia existujú v mesačnom časovom kroku pre zvolené referenčné obdobie 1951 - 1980. Na základe uvedeného sme pre skúmanie zmeny vnútroročného rozdelenia odtoku vybrali 6 povodí k týmto vodomerným profilom : Váh – Liptovský Mikuláš, Nitra – Nitrianska Streda, Ipel' - Holiša, Rimavica – Lehota nad Rimavicou, Biela Orava – Lokca a Kysuca – Čadca.

## 5.3 Vstupné údaje

Pre kalibráciu modelu WatBal pre jednotlivé povodia sme použili nasledovné údaje z referenčného obdobia 1951 - 1980:

- priemerné mesačné prietoky v záverečnom profile povodia [mm],
- priemerné mesačné zrážkové úhrny na povodí [mm],
  - priemerné mesačné hodnoty teploty vzduchu v povodí [°C],
  - dlhodobé priemerné mesačné hodnoty relatívnej vlhkosti vzduchu v povodí [% ],
  - dlhodobé priemerné hodnoty trvania slnečného svitu v povodí [hod].

Pri určovaní priemerných mesačných zrážkových úhrnov na povodí sme vychádzali z časových radov mesačných zrážkových úhrnov v zrážkomerných staniaciach jednotlivých povodí. Priemerné mesačné zrážkové úhrny na povodí boli určené váženým priemerom mesačných zrážkových úhrnov zo zrážkomerných staníc v povodí. Váhy boli jednotlivým staniaciam priradené podľa plôch výškových zón, priradených jednotlivým staniaciam. Výškové zóny a ich plochy sme určili z digitálneho modelu reliéfu v prostredí GIS. Touto istou metodikou sme vypočítali aj priemerné mesačné hodnoty teploty vzduchu v povodí.

Hodnoty relatívnej vlhkosti vzduchu a trvania slnečného svitu vstupovali do modelu ako dlhodobé mesačné priemery. Priemerné hodnoty v povodí boli určené ako aritmetický priemer hodnôt v jednotlivých klimatických staniaciach. V prípade, ak sa v povodí nenachádzala klimatická stanica s príslušnými údajmi, použili sme najbližšiu klimatickú stanicu z iného povodia.

## 5.4 Zhodnotenie scenárov zmien dlhodobých priemerných mesačných prietokov

Výsledky modelových výpočtov zmien dlhodobých priemerných mesačných prietokov v jednotlivých povodiach stredoslovenského regiónu podľa použitých scenárov zmeny klímy naznačujú zmeny vnútroročného rozdelenia odtoku. Podľa všetkých uvedených scenárov zmeny klímy nastane nárast dlhodobého mesačného prietoku v zimných a pokles v letných mesiacoch.

V severnejších povodiach Váh – Liptovský Mikuláš a Biela Orava – Lokca možno očakávať nárast dlhodobých priemerných mesačných prietokov od mesiacov november až december do apríla, od mája do septembra až októbra možno očakávať pokles priemerných mesačných prietokov. Maximálny nárast dlhodobých priemerných mesačných prietokov nastane vo februári až marci, do +25 % v časovom horizonte 2010, do +43% v časovom horizonte 2030 a do +80 % v horizonte 2075. Najvýraznejší pokles dlhodobých priemerných mesačných prietokov nastane v mesiacoch apríl až máj, do -22% v časovom horizonte 2010, do -33% v horizonte 2030 a do -48% v horizonte 2075.

Pri južnejších povodiach Ipel' – Holiša a Rimavica – Lom nad Rimavicou sa obdobie nárastu dlhodobých priemerných mesačných prietokov môže prejaviť v mesiacoch december až február (marec), v ostatných mesiacoch roka sa prejaví pokles dlhodobých priemerných mesačných prietokov, ktorý je výraznejší ako pri severnejších povodiach. Pri scenároch SD a WP B už badať v marci v nižších polohách pokles odtoku, pretože prevažná časť zimných zásob vody odtečie už v zimných mesiacoch a v marci sa pri teplom počasí a malých zrážkach môže výrazne zvýšiť výpar. Najvýraznejšie poklesy odtoku sa prejavajú v apríli a máji, do -40% v horizonte 2010, do -59% vo horizonte 2030 a do -75% v horizonte 2075.

Pri scenári CCCM sa v období máj-jún v niektorých južných povodiach objavuje rast odtoku. Táto anomália je spôsobená pravdepodobne tým, že v kontrolnom období 1951-1980 boli v máji na južnej časti územia podstatne nižšie úhrny zrážok a pomerne vysoké teploty vzduchu v porovnaní s dlhodobým priemerom 1901-1990 a tým aj pomerne nízky odtok v máji až v júni. Tak sa môže stať, že niektoré časti obdobia 2001-2100 budú mať v máji až júni relatívne vysoký odtok iba v porovnaní s obdobím 1951-1980, ale nie v porovnaní s dlhším obdobím 1901-1990.

Výsledky zmien dlhodobých priemerných mesačných prietokov pre jednotlivé povodia a klimatické scenáre sú uvedené v tab. 5.1. Mesiace a časové horizonty s poklesom dlhodobých priemerných mesačných prietokov sú označené šrafováním. Príklad porovnania zmien dlhodobých priemerných



mesačných prietokov pre povodie Ipeľ v profile Holiša pre scenár CCCM a WP B je znázornený na obr. 5.4 a 5.5.

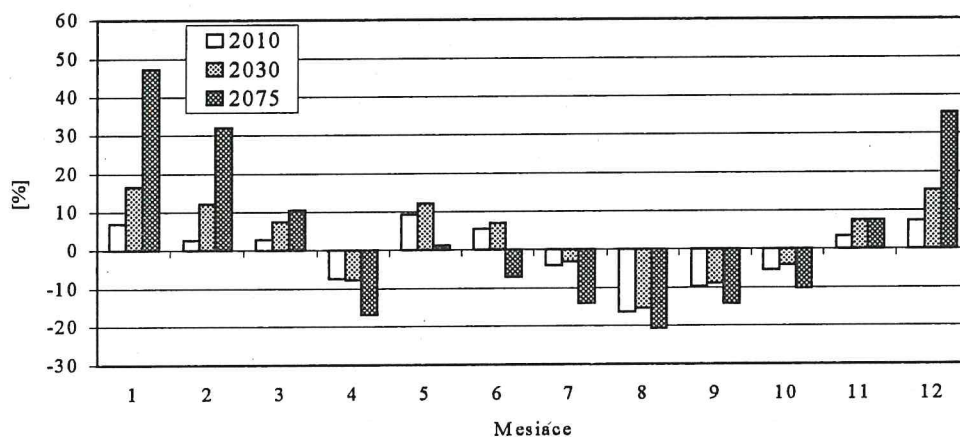
Tab. 5.1 Percentuálne zmeny dlhodobých priemerných mesačných prietokov vo vybraných povodiach stredného Slovenska

Table 5.1 Changes in mean monthly discharges in selected catchments of Central Slovakia in [%]

| Povodie, tok                | Scenar | Horizont | I   | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII |
|-----------------------------|--------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
|                             |        |          | [%] |     |     |     |     |     |     |      |     |     |     |     |
| Váh<br>Liptovský<br>Mikuláš | CCCM   | 2010     | 3   | 5   | 16  | 3   | -14 | -7  | -9  | -7   | -4  | 1   | 3   | 3   |
|                             |        | 2030     | 5   | 8   | 29  | 10  | -15 | -7  | -9  | -7   | -4  | 2   | 5   | 5   |
|                             |        | 2075     | 12  | 30  | 72  | 28  | -25 | -16 | -17 | -13  | -10 | -1  | 10  | 11  |
|                             | WP B   | 2010     | 0   | 7   | 25  | 8   | -21 | -7  | -6  | -7   | 4   | -6  | -4  | -2  |
|                             |        | 2030     | 1   | 16  | 43  | 5   | -29 | -10 | -10 | -11  | -2  | -11 | -7  | -3  |
|                             |        | 2075     | 11  | 56  | 75  | -14 | -40 | -17 | -16 | -19  | -11 | -18 | -10 | -4  |
|                             | SD     | 2010     | 4   | 9   | 24  | 8   | -17 | -8  | -10 | -9   | -8  | -4  | 2   | 3   |
|                             |        | 2030     | 9   | 20  | 42  | 10  | -25 | -14 | -16 | -15  | -14 | -7  | 2   | 6   |
|                             |        | 2075     | 30  | 62  | 80  | -3  | -40 | -24 | -27 | -24  | -23 | -14 | 4   | 17  |
| Biela Orava<br>Lokca        | CCCM   | 2010     | 9   | 16  | 18  | -11 | -7  | -6  | -12 | 0    | -6  | 4   | 11  | 8   |
|                             |        | 2030     | 16  | 30  | 27  | -15 | -5  | -6  | -13 | -2   | -7  | 5   | 15  | 13  |
|                             |        | 2075     | 47  | 81  | 42  | -30 | -12 | -16 | -22 | -9   | -15 | -1  | 25  | 35  |
|                             | WP B   | 2010     | 10  | 25  | 11  | -22 | -4  | 0   | -5  | -10  | -13 | -11 | -5  | 2   |
|                             |        | 2030     | 19  | 40  | 13  | -33 | -5  | 0   | -7  | -15  | -20 | -17 | -8  | 3   |
|                             |        | 2075     | 45  | 58  | 6   | -48 | -8  | 0   | -12 | -24  | -30 | -26 | -12 | 8   |
|                             | SD     | 2010     | 19  | 27  | 12  | -20 | -9  | -9  | -13 | -12  | -12 | -6  | 5   | 13  |
|                             |        | 2030     | 36  | 43  | 15  | -31 | -15 | -14 | -21 | -19  | -19 | -10 | 7   | 23  |
|                             |        | 2075     | 79  | 66  | 10  | -48 | -23 | -22 | -32 | -29  | -29 | -17 | 10  | 46  |
| Kysuca<br>Čadca             | CCCM   | 2010     | 5   | 7   | 1   | -14 | -8  | -8  | -15 | -9   | -5  | 1   | 2   | 3   |
|                             |        | 2030     | 12  | 20  | 5   | -16 | -6  | -7  | -15 | -9   | -5  | 2   | 5   | 9   |
|                             |        | 2075     | 44  | 64  | 7   | -28 | -11 | -16 | -23 | -15  | -12 | -4  | 7   | 35  |
|                             | WP B   | 2010     | 14  | 27  | -4  | -21 | -5  | -3  | -6  | -9   | -11 | -10 | -6  | 6   |
|                             |        | 2030     | 27  | 41  | -10 | -32 | -8  | -5  | -9  | -14  | -17 | -16 | -10 | 9   |
|                             |        | 2075     | 55  | 39  | -21 | -43 | -14 | -9  | -14 | -22  | -26 | -25 | -15 | 16  |
|                             | SD     | 2010     | 24  | 26  | 0   | -16 | -8  | -8  | -12 | -12  | -11 | -7  | 1   | 20  |
|                             |        | 2030     | 45  | 44  | -3  | -27 | -13 | -14 | -19 | -19  | -18 | -12 | 1   | 35  |
|                             |        | 2075     | 92  | 57  | -11 | -41 | -22 | -22 | -30 | -29  | -27 | -19 | -1  | 53  |
| Nitra<br>Nit. Streda        | CCCM   | 2010     | 13  | 12  | 8   | -7  | 13  | 3   | -5  | -6   | 2   | 8   | 12  | 12  |
|                             |        | 2030     | 19  | 15  | 6   | -9  | 14  | 2   | -7  | -7   | 1   | 7   | 13  | 17  |
|                             |        | 2075     | 53  | 37  | 6   | -15 | 6   | -9  | -14 | -11  | -3  | 1   | 14  | 42  |
|                             | WP B   | 2010     | 2   | -3  | -22 | -29 | -19 | -14 | -12 | -12  | -12 | -15 | -14 | -9  |
|                             |        | 2030     | 5   | -6  | -31 | -37 | -25 | -17 | -15 | -16  | -15 | -19 | -18 | -11 |
|                             |        | 2075     | 8   | -18 | -43 | -47 | -32 | -22 | -20 | -21  | -20 | -25 | -24 | -11 |
|                             | SD     | 2010     | 15  | 7   | -11 | -21 | -18 | -16 | -17 | -15  | -12 | -13 | -9  | 5   |
|                             |        | 2030     | 28  | 11  | -14 | -28 | -24 | -21 | -22 | -20  | -16 | -16 | -10 | 14  |
|                             |        | 2075     | 52  | 10  | -22 | -35 | -31 | -27 | -30 | -26  | -21 | -21 | -13 | 24  |
| Ipeľ<br>Holiša              | CCCM   | 2010     | 7   | 3   | 3   | -7  | 9   | 5   | -4  | -16  | -10 | -6  | 3   | 7   |
|                             |        | 2030     | 17  | 12  | 8   | -8  | 12  | 7   | -3  | -15  | -9  | -4  | 8   | 15  |
|                             |        | 2075     | 47  | 32  | 11  | -17 | 1   | -7  | -14 | -21  | -14 | -10 | 8   | 36  |
|                             | WP B   | 2010     | 6   | 2   | -24 | -38 | -26 | -17 | -11 | -10  | -11 | -10 | -7  | -1  |
|                             |        | 2030     | 14  | 0   | -32 | -50 | -35 | -23 | -17 | -15  | -16 | -16 | -13 | -4  |
|                             |        | 2075     | -2  | -8  | -40 | -58 | -43 | -29 | -22 | -20  | -21 | -22 | -18 | -15 |
|                             | SD     | 2010     | 24  | 16  | -1  | -18 | -16 | -12 | -14 | -14  | -13 | -10 | -4  | 10  |
|                             |        | 2030     | 41  | 22  | -2  | -28 | -24 | -18 | -21 | -21  | -20 | -15 | -7  | 17  |
|                             |        | 2075     | 73  | 28  | -14 | -39 | -35 | -27 | -31 | -31  | -29 | -22 | -12 | 30  |

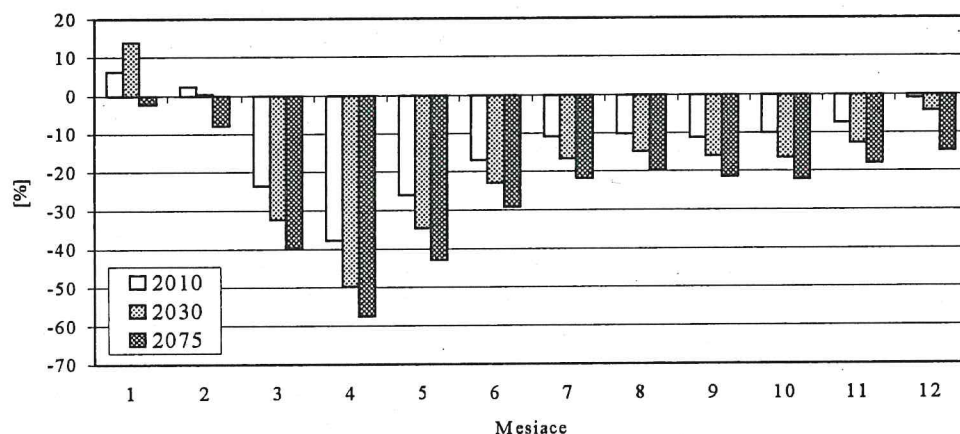


|                        |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |
|------------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| Rimavica<br>Lehota n/R | CCCM | 2010 | 11  | 20  | 11  | -11 | 10  | 7   | -7  | -23 | -14 | -3  | 10 | 14 |
|                        |      | 2030 | 21  | 40  | 18  | -17 | 11  | 8   | -6  | -22 | -13 | -1  | 15 | 22 |
|                        |      | 2075 | 78  | 99  | 21  | -39 | -7  | -10 | -20 | -27 | -17 | -5  | 22 | 60 |
|                        | WP B | 2010 | 22  | 48  | -3  | -40 | -28 | -15 | -9  | -9  | -10 | -10 | -3 | 10 |
|                        |      | 2030 | 49  | 69  | -13 | -59 | -43 | -24 | -15 | -14 | -17 | -16 | -5 | 16 |
|                        |      | 2075 | 110 | 76  | -39 | -75 | -60 | -37 | -24 | -23 | -26 | -24 | -8 | 30 |
|                        | SD   | 2010 | 38  | 53  | 10  | -24 | -21 | -14 | -16 | -17 | -14 | -8  | 4  | 27 |
|                        |      | 2030 | 83  | 85  | 9   | -40 | -33 | -23 | -26 | -26 | -23 | -12 | 5  | 48 |
|                        |      | 2075 | 178 | 108 | -7  | -59 | -49 | -35 | -38 | -39 | -34 | -20 | 6  | 92 |



Obr. 5.4 Percentuálne zmeny dlhodobých priemerných mesačných prietokov v povodí Ipeľa v profile Holiša pre scenár CCCMprep

Fig. 5.4 Percentage changes in the long-term averages of the monthly discharges of the Ipeľ River in Holiša for the CCCM scenario



Öbr. 5.5 Percentuálne zmeny dlhodobých priemerných mesačných prietokov v povodí Ipeľa v profile Holiša pre scenár WP B

Fig. 5.5 Percentage changes in the long-term averages of the monthly discharges of the Ipeľ River in Holiša for the WP B scenario

## 6. DISKUSIA K VÝSLEDKOM ODHADU ZMIEN ODTOKU A MOŽNÉ OPATRENIA NA ZNÍŽENIE NEGATÍVNEHO DÔSLEDKU ZMIEN

Uvedené výsledky je potrebné interpretovať s náležitou opatrnosťou a zohľadňovať neistoty metodického prístupu. Treba si najmä uvedomiť, že sa v štúdiu nepočítalo s možnosťou ani postupnej, ani náhlej zmeny klímy, porovnávali sa dva kvázistacionárne modelové stavy. Nebrali sme do úvahy ani prípadnú zmenu variability vstupných veličín, parametre použitých modelov sú určované kalibráciou z referenčného



obdobia a nezohľadňujú teda možnú zmenu odtokových pomerov v dôsledku zmenených zrážkových a teplotných pomerov a pod. Tiež podľa nás nie je možné priamo porovnávať veľkosť odhadu zmien odtoku podľa metodiky zvolenej pre skúmanie zmeny dlhodobého priemerného odtoku v ročnom a mesačnom časovom kroku. Za smerodajné navrhujeme skôr považovať porovnanie tendencií zmien. Tieto sú vcelku v dobrej zhode, čo nás oprávňuje k návrhu nasledovných adaptačných opatrení.

Smerovanie adaptačných opatrení na nepriaznivé dôsledky zmeny klímy vo vodnom hospodárstve na strednom Slovensku (rovnako ako na celom Slovensku) sa dnes dá formulovať len pomerne všeobecne. Popri neistotách hodnotenia impaktov je potrebné vnímať aj širšie politické, spoločenské, ekologické, ekonomické, technologické a iné súvislosti. Neistoty v odhade vzájomných väzieb týchto prepojených systémov a prípadnej projekcie ich budúceho rozvoja sú všade značné a u nás, s ohľadom na súčasný vývoj, ešte väčšie. V súčasnosti preto odporúčame ako vhodný postup, ktorý preferuje také rozhodnutia, ktoré vo svojom dôsledku znižujú hrozbu negatívnych dôsledkov klimatickej zmeny a zároveň zohľadňujú súčasné preferencie trvalo udržateľného rozvoja spoločnosti, tvorbu a ochranu životného prostredia a integrované hospodárenie s vodou. Pre tento spôsob adaptácie za zaužíval názov "no regret policy". Jeho aplikácia si vyžaduje, aby decízna sféra bola oboznámená aj s možnými dôsledkami klimatickej zmeny vo vodnom hospodárstve, neistotami v ich určovaní a koordinovala svoje postupy. Takýmto smerom boli v podstate formulované aj závery v našich a iných predošlých prácach (Szolgay, et al. 1997a, 1997b, Szolgay a Hlavčová, 2000).

Tu preto iba zhrnieme doteraz už navrhované opatrenia. Základné opatrenia na zmiernenie možných negatívnych dôsledkov na vodné hospodárstvo sa dotýkajú viacerých oblastí:

- priame opatrenia na riadenie spotreby vody,
- nepriame nástroje ovplyvňujúce správanie spotrebiteľov,
- inštitucionálna zmena pre lepšie hospodárenie s vodou,
- zlepšenie prevádzky existujúcich vodohospodárskych sústav.

V prvej oblasti by mohlo ísť napr. o redukciu špecifickej potreby pitnej vody na obyvateľa technickými prostriedkami, znižovanie strát vo výrobe a rozvoze pitnej vody, podporovanie zavádzania nových technológií v priemysle, využívanie zrážkovej a inej vody na úžitkové ciele, budovanie delených vodovodov v malých sídliskách, a pod.

Druhá oblasť by mala tieto opatrenia podporiť aj v oblasti subvencií, daní a poplatkov vo vodnom hospodárstve. Zároveň bude potrebné posilniť informovanosť verejnosti o dôsledkoch klimatických zmien na kvalitu života všeobecne a na problematiku vodných zdrojov a následné opatrenia zvlášť. Informačná politika by mala byť spojená s výchovou k zvýšenému ekologickému povedomiu spotrebiteľov voči vodným zdrojom.

V tretej oblasti by sa mal riešiť problém, že dosiaľ nedošlo k plnému priamemu premietnutiu nového zákonodarstva v oblasti životného prostredia do vodohospodárskej legislatívy. Tak isto sa s možnou potrebou adaptácie priamo nezaoberali doteraz vytvárané koncepčné dokumenty v oblasti vodného hospodárstva a podľa našich vedomostí ani v územno-plánovacom procese a pri tvorbe a ochrane krajiny. V týchto oblastiach by bolo vhodné zosilniť koordináciu. Viackrát sa už upozorňovalo na to, že v koncepcii rozvoja vodného hospodárstva by sa mala posilniť existujúca ochrana všetkých zdrojov vody (tak podzemných, ako aj povrchových). Pri vodných zdrojoch, ktoré sú už vybudované, bude navyše potrebné prehodnotiť ich udržateľné využívanie v nových klimatických podmienkach. Navrhujeme zväziť zosilnenú legislatívnu ochranu vodných zdrojov v oblastiach, o ktorých sa dá predpokladať, že ich vodné zdroje budú najmenej dotknuté klimatickými zmenami a explicitne chrániť všetky miesta doteraz plánovaných nádrží a stanoviť spôsoby dočasného využívania týchto území. Ďalej odporúčame zvlášť sa venovať ochrane unikátnych zdrojov podzemných vôd Žitného ostrova, ktorých potenciál zostane pravdepodobne aj v budúcnosti blízky dnešnej úrovni. V predstihu by bolo vhodné vstúpiť do kontaktu so susednými krajinami, ktoré budú dotknuté zmenou hydrologického cyklu a potrebou zvýšenej miery regulovania odtoku z nášho územia a vytvoriť organizačné opatrenia na spoločné riešenie problému možných dôsledkov klimatickej zmeny.

Štvrtú oblasť môžeme rozdeliť do niekoľkých častí.

- Prvá sa týka optimalizácie využívania a riadenia existujúcich vodohospodárskych a vodárenských sústav. Zabezpečenosť dodávky vody podľa dnešných predstáv sa málokedy určovala pre vodohospodárske sústavy ako celok. Preto by bolo potrebné preskúmať zraniteľnosť existujúcich vodohospodárskych sústav ako celku v kritických situáciách.
- Druhá skupina sa špeciálne týka diskusie okolo potreby výstavby vodných nádrží u nás. Doteraz odhadnuté tendencie zmien hydrologického režimu poukazujú na zvýšenú potrebu prerozdeľovať odtok v priestore medzi severom a juhom, prerozdeľovať odtok medzi jednotlivými rokmi a



prerozdeľovať odtok v priebehu roka. Musíme preto počítať aj s možnosťou potreby kompenzovať pokles výdatnosti zdrojov vody, najmä v nížinných častiach na strednom a východnom Slovensku. Odporúčame preto nevylučovať možnosť výstavby vodných nádrží z koncepcie rozvoja vodného hospodárstva. Potrebné môžu byť najmä nádrže s dlhodobým regulovaním odtoku a pri plánovaní ich umiestnenia treba vychádzať z priestorovo diferencovaných účinkov klimatickej zmeny. Bude potrebné tiež vykonať inventúru stavu tzv. malých vodných nádrží a prehodnotiť ich využívanie v nových podmienkach nie len ako krajinnotvorného prvku, ale aj ako zdrojov vody pre závlahy v južných častiach územia.

- Tretia skupina sa týka monitorovania prebiehajúcich procesov v hydrosfére. Je potrebné posilniť existujúce systematické sledovania vodohospodárskej bilancie kvantity a kvality vody aj v povodiach menších mierok, aby bola možnosť identifikovať tendencie v možnom úbytku vody v čase a aby bola možnosť formulovať strategické rozhodnutia nových priorít vodného hospodárstva, najmä počas sucha.
- Štvrtá skupina sa týka hospodárenia s vodou v krajine. V spolupráci s rezortov by bolo vhodné systematicky realizovať opatrenia v povodiach s plošným účinkom, zamerané na všeobecné a trvalé zlepšenie podmienok odtoku a na zadržanie vody v krajine, zníženie možných negatívnych prejavov extrémnych prietokov a na zlepšenie kvality vôd.

## 7. ZÁVER

V článku č. 2 Rámcovej konvencie OSN o zmene klímy signatári deklarovali vôľu zabrániť dosiahnutiu stupňa antropogénnej zmeny klímy, ktorý by ohrozil potravinovú bezpečnosť, ekosystémy a šancu na udržateľný rozvoj. Konkrétne opatrenia sčasti viaznu aj v dôsledku neistôt, ktoré sú spojené s odhadom stupňa a dôsledkov možnej zmeny klímy v budúcnosti. Tieto sú spôsobené komplexnosťou problematiky a tiež faktom, že súčasná úroveň poznania v oblasti odhadu dôsledkov klimatickej zmeny (impaktov) je nižšia, než je tomu pri jej modelovaní. Taktiež zohráva svoju úlohu skutočnosť, že v oboch sférach je regionálna a celosvetová koordinácia prác relatívne slabá. Výsledky často vychádzajú zo vzájomne neporovnateľných východiskových scenárov zmeny klímy, práce používajú rôzne metódy hodnotenia impaktu, čo zákonite vedie k tomu, že je zložené porovnávať impakty medzi jednotlivými sektormi (ako napr. poľnohospodárstvo, vodné hospodárstvo a pod.), resp. medzi regiónmi.

U nás sa v oblasti modelovania vplyvu klimatickej zmeny na hydrologický cyklus tieto problémy pomerne úspešne darilo prekonávať v rámci Národného klimatického programu SR (NKP) a programu Country Study (Marečková (1997)). Práve scenáre možnej zmeny klímy na Slovensku, ktoré boli spracované v rámci NKP SR (Lapin, et al. (1995)), otvorili možnosť vypracovania celého radu prác hodnotiacich možné dôsledky klimatickej zmeny aj na hydrologický cyklus, vodné zdroje a vodné hospodárstvo. Jedným z nedostatkov týchto štúdií sa postupom času stali samotné scenáre zmeny klímy, ktoré už nezodpovedali poslednej úrovni poznania. Naše výskumy neboli tiež previazané a konfrontované s výsledkami štúdií v susedných štátoch.

Vzhľadom na to boli spracované nové scenáre zmeny klímy (Lapin, 1999a, 1999b, 2000), ktoré boli využité v tejto štúdii a ďalších prácach, spracovaných v rámci NKP SR v roku 2000. Na odhad možnej zmeny režimu odtoku v dôsledku klimatickej zmeny s matematickými modelmi sme v štúdii použili zaužívaný postup:

- voľba scenárov zmeny klímy a modelových území na hodnotenie dôsledkov klimatickej zmeny,
- určenie parametrov hydrologického modelu pomocou údajov z porovnávacieho obdobia,
- simulovanie etalónových časových radov zo vstupných údajov z porovnávacieho obdobia,
- zavedenie možnej zmeny klímy do vstupných časových radov podľa scenárov zmeny klímy,
- simulovanie hydrologických procesov so zmenenými vstupnými veličinami,
- porovnanie štatistických charakteristík z modelových časových radov pre každý použitý scenár s ich hodnotami z etalónového radu,
- vyhodnotenie zmien hydrologického režimu.

Metodiku sme aplikovali zvlášť na odhad zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku a na zmenu rozdelenia odtoku v roku. V časti zaoberajúcej sa skúmaním vplyvu možnej klimatickej zmeny na zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku sme odvodili model dlhohodovej hydrologickej bilancie v prostredí GIS. Vychádzali sme zo štruktúry modelu Turca, ktorý sme kalibrovali pre územie Slovenska v rastrovej sieti s priestorovým rozlíšením 1 km<sup>2</sup>. Na vytvorenie rastrovej interpretácie kalibrovaného Turcovho modelu sú potrebné rastrové mapy dlhohodovej priemernej ročnej teploty vzduchu a dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok. Možná zmena dlhodobého priemerného ročného odtoku bola sledovaná v štyroch výškových pásmach stredného Slovenska a vo vybraných vodohospodársky



významných povodiach a oblastiach stredného Slovenska, ktoré svojou geografickou lokalizáciou výraznou mierou ovplyvňujú tvorbu povrchových vodných zdrojov. Pre tieto oblasti bola vypočítaná zmena dlhodobého priemerného ročného odtoku oproti referenčnému obdobiu pre klimatické podmienky udávané scenármi zmeny klímy pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075. Táto zmena poskytuje obraz o variete možností budúcej kapacity povrchových vodných zdrojov v regióne stredného Slovenska a charakterizuje zraniteľnosť územia voči zmenám vyvolaným zmenenými klimatickými podmienkami.

Pri tvorbe hydrologických scenárov rozdelenia odtoku v roku a posúdeniu zmeny vnútroročného rozdelenia odtoku oproti referenčnému obdobiu v regióne stredného Slovenska bol použitý matematický model hydrologickej bilancie WatBal. WatBal je koncepčný model so sústredenými parametrami, schematizujúci povodie ako jednu nelineárnu nádrž. Simuluje akumuláciu a topenie snehu, evapotranspiráciu, odtok z nepriepustných plôch v povodí, povrchový, podpovrchový a základný odtok. Pre kalibráciu modelu WatBal pre vybrané povodia sme použili údaje z referenčného obdobia 1951-1980, pričom sme sa pre jednotlivé povodia snažili nájsť také parametre modelu, pri ktorých bola dosiahnutá čo najlepšia zhoda medzi pozorovanými a modelovanými prietokmi. Pri zisťovaní novej zmeny vnútroročného rozdelenia odtoku boli použité scenáre zmeny klímy pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075.

Výsledky tejto, našich predošlých a inými autormi publikovaných štúdií sú, pokiaľ ide o veľkosť a sezónnosť zmien a ich nelinearitu vo vzťahu k zmenám zrážok a teploty vzduchu, v pomerne dobrej zhode. Vzhľadom na rôzne scenáre klimatickej zmeny (s odlišným "downscalingom" na územie Slovenska) použité v štúdiách, však nie je vždy možné priamo porovnávať tieto výsledky. Ďalšie zdroje rozdielov môžu okrem toho vyplývať napríklad aj z rôznosti použitých zrážkovo-odtokových modelov, rozdielného referenčného obdobia použitého pre kalibráciu modelu a rôznosti použitých klimatických staníc.

V oblasti adaptačných opatrení vo vodnom hospodárstve z rešerší a riešenia vyplynulo, že vzhľadom na komplexnosť problematiky prakticky nie je možné navrhovať všeobecne použiteľné postupy, ale je potrebné mať k dispozícii množstvo metodík, ktorých kombinácia v každom konkrétnom prípade môže vystihnúť riešený problém. Opatrenia navrhované v rôznych štúdiách sa často navzájom prekrývajú. Vzhľadom na pozornosť, ktorá sa vo svete začína venovať problematike v konkrétnych prípadoch (V UKWIR (1998) sa na riešenie problému neistoty navrhuje spôsob ako zahrnúť do plánovania bezpečnostné faktory, ktoré obsahujú už aj faktor zmeny klímy. Uvádza sa, že vo Veľkej Británii a v niektorých oblastiach USA sa pri plánovaní rozvoja zásobovania pitnou vodou vyžaduje zohľadnenie neistoty vyplývajúcej zo zmeny klímy), by bolo vhodné začať aj u nás v plánovaní vo vodnom hospodárstve uvažovať s potrebou adaptácie na klimatickú zmenu. Rovnako by bolo vhodné identifikovať oblasti, v ktorých bude potrebné doplniť metodický aparát dlhodobého plánovania vo vodnom hospodárstve v podmienkach trhovej ekonomiky a európskej integrácie (tejto súvislosti je potrebné mať na zreteli, že EÚ prijala Rámcovú direktívu o vode) o nástroje, ktoré sme doteraz u nás intenzívne nerozvíjali. Pôjde zrejme napr. o niektoré metódy systémového inžinierstva, optimalizačné metódy, metódy multikriteriálneho rozhodovania, o doplnenie simulačných metód o hydroekologické modely a pod. Tieto metódy by mali dostať následne prioritu v oblasti podpory rozvoja a výskumu.

## POĎAKOVANIE

Štúdia vznikla v rámci prác na grantových projektoch GP2/6008/99, GP1/6285/99 a projekte Ministerstva pôdohospodárstva SR „Vplyv očakávanej zmeny klímy na odtokové pomery a výdatnosť vodných zdrojov v SR“, a v rámci prác Národného klimatického programu SR. Autori touto cestou ďakujú VEGA, Ministerstvu pôdohospodárstva SR a Ministerstvu životného prostredia SR za podporu výskumu.

## LITERATÚRA

- Alcamo, J. - Döll, P. - Kaspar, F. - Siebert, S.: Global Change and Global Scenarios of Water Use and Availability: An Application of WaterGAP1.0, University of Kassel, Germany, 1997, 47 s.
- Anderson, T. L. - Hill, P. J.: Water Marketing: the Next Generation. Roman and Littlefield Publishers, Lanham MA 1997.
- Arnell, N.W. - Reynard, N. S.: The effects of climate change due to global warming on river flows in Great Britain. Journal of Hydrology 183, 1996, s. 397-424.
- Arnell, N.W.: Global Warming, River Flows and Water Resources. Wiley, Chichester 1998.
- Arnell, N.W.: Climate change and global water resources. Global Environmental Change, Vol 9, 1999b, s.31-49.
- Arnell, N.W.: The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective. Global Environmental Change, Vol 9, 1999a, s. 5-23.



- Bálint, G. - Dobi, I. - Mika, J.:** Runoff simulation assuming global warming scenarios. Proc. XVIIIth Conference on the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. TU Graz, Graz 1996.
- Bálint, G. - Gauzer, B.:** A rainfall-runoff model as a tool to investigate the impact of climate change. In: XVIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Bálint, G. - Varga, Gy.:** Árvizek és belvizek együttjárása a meteorológiai elemek szélső értékeivel - a hidrológiai folyamatok sajátosságai (Coincidence of floods and excess flow with meteorological extremes, some specifics of hydrological processes) In: 25. Meteorológiai Tudományos Napok előadásai (Proceedings of the 25<sup>th</sup> Meteorological Days), OMSZ-Hungarian Meteorological Service, Budapest 2000 (in press).
- Blake, R. - Khanbilvardi, R. - Rosenzweig, C.:** Climate change impacts on New York City's water supply system. Journal of the American Water Resources Association, 36, 2000, s.279-292.
- Boorman, D. B. - Sefton, C. E.:** Recognising the uncertainty in the quantification of the effects of climate change on hydrological response. Climate change, 35, 1997, s. 415-434.
- Carmichael, J. J. - Strzepek, K. M. - Minárik, B.:** Impacts of climate change and seasonal variability on economic treatment costs: a case study of the Nitra River basin, Slovakia. Int. J. Water Resources Development, 12, 1996, s. 209-227.
- Chalecki, E. L. - Gleick, P. H.:** A framework of ordered climate effects on water resources: a comprehensive bibliography. Journal of the American Water Resources Association, 35, 1999, s. 1657-1665.
- Christensen, O. - Christensen, J.:** Climate simulations with the HIRHAM limited area regional climate model over Scandinavia. Proc. Second International Conference on Climate and Water, Espoo Finland 1998, s. 10-19.
- Cohen, S. J. - Miller, K. H. - Hamlet, A. F. - Avis, V.:** Climate change and resource management in the Columbia River basin. Water International, 25, 2000, s. 253-272.
- Crane, R. G. - Hewitson, B. C.:** Doubled CO<sub>2</sub> precipitation changes for the Susquehanna River basin: downscaling from the GENESIS general circulation model. International Journal of Climatology, 18, 1998, s. 65-66.
- Čunderlík, J. - Hlavčová, K.:** The Seasonal Distribution of Runoff in Slovakia. In: Bonacci, O., ed.: Proceedings, XIX Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. CNC IHP UNESCO, Osiek 1998, s. 273-281.
- Čunderlík, J. - Hlavčová, K. - Szolgay, J.:** Vplyv klimatickej zmeny na vnútroročné rozdelenie odtoku vo vybraných povodiach Slovenska. Vodohospodársky časopis, 46, 1998, č. 2, s. 114 - 143.
- Döll, P. et al.:** Computation of global water availability and water use at the scale of large drainage basins. Mathematische Geologie, 4, 1999, s. 111-118.
- Dvořák V. - Hladný, J. - Kašpárek, L.:** Climate change hydrology and water resources impact and adaptation for selected river basins in the Czech Republic. Climatic Change, 36, 1997, s. 93-106.
- Easter, K. W. - Rosegrant M. - Dinar, A. eds.:** Markets for Water: Potential and Performance. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 1998.
- Eheart, J. W. - Wildermuth, A. J. - Herricks, E. E.:** The effects of climate change and irrigation on criterion low streamflows used for determining total maximum daily loads. Journal of the American Water Resources Association, 35, 1999, s. 1365-1372.
- Fendeková, M.:** Analýza zmien a variability režimu prameňov v oblastiach budovaných neovulkanickými horninami. Správa NKP SR. Katedra podzemných vôd PrF UK, Bratislava 1995.
- Fendeková, M.:** Quantitative aspects of groundwater regime. Acta Geologica Universitatis Comenianae, No 54, 27-52, 1999.
- Fendeková, M.:** Zmeny v režime výdatností prameňov vybraných hydrogeologických celkov Slovenska a prognóza ich ďalšieho vývoja. In: V Hydrologické dni - Nové podnety a vize pro příští století. ČHMÚ, Praha 2000, s. 219-226.
- Fisher, A. C. - Rubio, S. J.:** Adjusting to climate change : implication of increased variability and asymmetric adjustment costs for investment in water reserves. Journal of Environmental Economics and Management, 34, 1997, 207-227.
- Gellens, D. - Roulin, E.:** Streamflow response of Belgian catchments to IPCC climate change scenarios. Journal of Hydrology 210, 1998a, s. 242-258.
- Gellens, D. - Roulin E. - Gellens-Meulenberghs, F.:** Impact of climate change on the water balance in the river Meuse basin (Belgium). Proc. Second International Conference on Climate and Water, Espoo, Finland 1998b, s. 820-828.
- Gleick, P. H.:** The World's Water 1998/99. Island Press, Washington D.C. 1998.
- Grabbs, W. (ed.):** Impact of climate change on hydrological regimes and water resources management in the Rhine basin. International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin (CHR), 1997, Report I-16.
- Halmová, D. - Miklánek, P. - Pekárová, P.:** The simulation of climatic runoff regime change using HBV rainfall-runoff model. Proc. of the 22<sup>nd</sup> General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Halmová, D.:** Vplyv zmien klímy na zabezpečenosť odberu vody z vodného diela Orava. Acta Hydrologica 2, 2000, s. 3-12.
- Hatch, U. - Jagtap, S. - Jones J. - Lamb, M.:** Potential effects of climate change on agricultural water use in the Southeast U.S.. Journal of the Water Resources Association, 35, 1999, s. 1551-1561.
- Hlavčová, K. - Čunderlík, J.:** Impact of climate change on the seasonal distribution of runoff in mountainous basins in Slovakia. In: Hydrology, Water Resources and Ecology in Headwaters. IAHS Publ. No. 248, 1998, s. 39 - 46.
- Hlavčová, K. - Čunderlík, J.:** Impact of climate change on the seasonal distribution of runoff in Eastern Slovakia. In: Proceedings of the International Symposium on New Approaches in Irrigation, Drainage and Flood Control Management (ICID99), ICID, Bratislava, 1999, 12 s.



- Hlavčová, K. - Szolgay, J. - Čunderlík, J. - Parajka, J. - Lapin, M.:** Impact of climate change on the hydrological regime of rivers in Slovakia. Publication of the Slovak Committee for Hydrology No. 3. Vydavateľstvo STU a SVH MHP UNESCO, Bratislava 1999, 101 s.
- Hlavčová, K. - Szolgay, J. - Macura, V. - Lapin, M. - Kohnová, S. - Čunderlík, J. - Parajka, J. - Melo, M.:** Vplyv očakávanej zmeny klímy na odtokové pomery a výdatnosť vodných zdrojov v SR, II. etapa. Záverečná správa. SvF STU, Bratislava 2000.
- Hulme, M. - Barrow, E. - Arnell, N. W. - Harrison, P. A. Johns, T. C. - Downing, T. E.:** Relative impacts of human-induced climate change and natural climate variability. *Nature* 397, 1999, s. 688-691.
- Hurd, B. - Leary, N. - Jones, R. - Smith, J.:** Relative regional vulnerability of water resources to climate change. *Journal of the American Water Resources Association*, 35, 1999, s. 1399-1409.
- Jeton, A. E. - Dettinger, M. D. - LaRue Smith, J.:** Potential effects of climate change on streamflow, eastern and western slopes of the Sierra Nevada, California and Nevada. U.S. Geological Survey Water Resources Investigations Report 95-4260, 1996, 44s.
- Kaczmarek, Z. - Jurak, D. - Napiorkowski, J. J.:** Impact of climate change on water resources in Poland. *Publ. Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences, Warsaw*, 295, 1997, 51s.
- Kindler, J.:** Integrated water resources management: the meanders. *Water International*, Vol. 25, 2000, s. 312-319.
- Kostka, Z. - Holko, L.:** Vplyv klimatickej zmeny na priebeh odtoku v malom horskom povodí. In: *Scenáre klimatickej zmeny a impakty*. Zväzok č. 8 Národného klimatického programu SR. MŽP SR a SHMÚ, Bratislava 2000.
- Kullman, E. - Slamka I. - Gavurnik, J.:** Hodnotenie vplyvu klimatických zmien na režim výdatnosti prameňov a predpokladaný dopad týchto klimatických zmien na disponibilné množstvá podzemných vôd. Správa pre NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1995.
- Lapin, M. - Nieplová, E. - Faško, P.:** Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. In: *NKP 3/95. MŽP a SHMÚ*, Bratislava 1995.
- Lapin, M.:** Príprava nových scenárov klimatickej zmeny. *Buletin SMS pri SAV*, X, 1999, č. 2, 7-10.
- Lapin, M. - Melo, M.:** Impact of potential climate change on water resources, climate changes and climate change scenarios in Slovakia. In: *Proceedings of International Symposium New Approaches in Irrigation, Drainage and Flood Control Management*. ICID, CIID, Bratislava 1999, 12 p.
- Lapin M. - Damborská I. - Faško P. - Melo M. - Štastný P.:** New Scenarios of Climate Change for Hydrological Applications in Slovakia. *Proceedings of the XXth Conference of the Danubian Countries*, Bratislava, 4-8 September 2000, 8 s., CD, ISBN 80-85755-09-2.
- Lapin, M. - Melo, M. - Damborská, I. - Gera, M. - Faško, P.:** Nové scenáre klimatickej zmeny pre Slovensko na báze výstupov prepojených modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry. In: *Scenáre klimatickej zmeny a impakty*. Zväzok č. 8 Národného klimatického programu SR. MŽP SR a SHMÚ, Bratislava 2000, s. 5-34.
- Lettenmaier, D. P. - Wood, A. W. - Palmer, R. N. - Wood, E. F. - Stakhiv, E. Z.:** Water resources implications of global warming: a US-regional perspective. *Climatic Change*, 43, 1999, s. 537-579.
- Luo, W.B. - Caselton, B.:** Using Dempster-Shafer theory to represent climate change uncertainties. *Journal of Environmental Management*, 49, 1997, 73-93.
- Majerčáková, O. - Minárik, B.:** The possible change of Slovak water balance with respect to climate change. *Proc., Regional Workshop on Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation*. ČHMÚ, Praha 1995.
- Majerčáková, O. - Šedík, P.:** Odhad možných zmien odtoku počas roka na základe štatistického modelu. Správa NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1995.
- Majerčáková, O. - Šedík, P.:** Hydrologické scenáre možných zmien odtoku počas roka na slovenských tokoch. Zväzok č. 6 Národného klimatického programu SR. MŽP SR a SHMÚ, Bratislava 1997, s. 125-140.
- Majerčáková, O.:** The hydrologists' contribution to National Climate Programme of the Slovak Republic. *Meteorologický časopis*, 2, 1, 1999, s. 9-13.
- Marečková, K. ed.:** Územná štúdia Slovenska. US Country Studies Program. SHMÚ a MŽP SR. Bratislava 1997, 105 s.
- Meierink, A. M. J., et al.:** Introduction to the use of Geographic Information Systems for practical hydrology. Publication Number 23 of UNESCO, IHP and ITC. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, The Netherlands 1994.
- Mika, J., et al.:** On spatial and temporal variations of drought in selected regions of central and southeastern Europe. In: *Brázdil, R. - Kolář, M. ed.: Contemporary Climatology*. Universitas Masarykiana Brunensis. Brno 1994.
- Mika, J.:** Variations of the Palmer drought severity index in Hungary with respect to global climate changes. *Proc. XVIIIth Conference on the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. TU Graz, Graz 1996.
- Miller, N. L. - Kim, J.:** Climate change sensitivity analysis for two California watersheds. *Journal of the American Water Resources Association*, 36, 2000, s. 657-661.
- Miller, N. L. - Kim, J.:** Numerical prediction of precipitation and streamflow over the Russian River watershed during the January 1995 California storms. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77, 1996, s. 101-105.
- Mosný, V.:** Dôsledky zmien teploty vzduchu a zrážok na zmeny variability odtoku v modelovom povodí Hrona. Správa pre NKP SR. SvF STU, Bratislava 1994.
- Nash, L. L. - Gleick, P. H.:** The Colorado River basin and climatic change: the sensitivity of streamflow and water supply to variations in temperature and precipitation, US Environmental Protection Agency, EPA230-R-93-009, Washington D.C., 1993, 121s.
- Novák, V.:** Vplyv klimatických zmien na ročné bilancie vody na území Slovenska. *J. Hydrol. Hydromech.*: 43, 1-2, 1995.



- Novák, V.: Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania. Veda – vydavateľstvo SAV, Bratislava 1995.
- Panagoulia, D. - Dimiou, G.: Sensitivity of flood events to global climate change. *Journal of Hydrology*, 191, 1997, 208-222.
- Parajka, J.: Mapovanie prvkov hydrologickej bilancie. Diplomová práca. PF UK, Bratislava 1994.
- Parajka, J.: Mapping long-term mean annual precipitation in Slovakia using geostatistical procedures. In: Proceedings of the Int. Conf. "Problems in Fluid Mechanics and Hydrology", Institute of Hydrodynamics AS CR, 1999.
- Pekárová, P. - Halmová, D. - Miklánek, P.: Simulácia režimu odtoku za zmenených klimatických podmienok v povodí Ondavy. *J. Hydrol. Hydromech.*, 44, 1996, 5, s. 291-311.
- Pekárová, P.: Metódy dlhodobej predpovede priemerných ročných prietokov. *Acta Hydrologica Slovaca*, I., č.1, 2000a, 67-78.
- Pekárová, P.: Zákonitosti kolísania priemerných ročných prietokov. In: Možné dôsledky klimatickej zmeny na Slovensku. Zväzok č. 9 Národného klimatického programu SR. SHMÚ, MŽP SR, Bratislava 2000b.
- Petrovič, P.: Changes in hydrological balance in the Nitra river basin. Case study. In: Impact of climatic changes on the water management. VÚVH, Bratislava 1996.
- Petrovič, P.: Climate change impact on Hydrological Regime for two Profiles in the Nitra River Basin. In: Bonacci, O. ed.: Proceedings, XXth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological bases of Water Management. Osiek, 1998 s. 117 - 122.
- Petrovič, P.: Some Flood Risk Evaluation Problems in Slovakia. In: Source Control Measures for Stormwater Runoff. NATO Advanced Research Workshop. Germany, St. Marienthal, Ostritz, November 8-12, 2000. North Atlantic Treaty Organisation / Scientific and Environmental Affairs Division, 2000. s. 253-262.
- Pórová, J. - Demeterová, B. - Podolinská, J. - Škoda, P.: Porovnanie prietokových radov za obdobie 1931-1980 a 1931-1995. Správa pre NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1996.
- Reynard, N. S. - Prudhomme, C. - Crooks, S. M.: The potential impacts of climate change on the flood characteristics of a large catchment in the UK. In: Proceedings of the Second International Conference on Climate and Water, Espo, Finland 1998, s. 320-332.
- Saelthun, N. R. et al.: Climate change impacts on runoff and hydropower in the Nordic countries. *TemaNord* 1998, 552, 1998, 170 s.
- Schneider, S. Yu. - Jakeman, A. J. - Pittock, A. B. - Whetton, P. H.: Estimation of the possible climate change impacts on water availability, extreme flow events and soil moisture in the Goulburn and Ovens basins, Victoria. *Climatic Change*, 34, 1996, s. 513-546. Second National Communication on Climate. UN Framework Convention on Climate Change. Report, Ministry of the Environment, Bratislava 1997, 98 s.
- Shiklomanov, I. A. - Georgievsky, V. Yu.: Antropogenic Global Climate Change and Water Resources. In: World Water Resources at the beginning of the 21<sup>st</sup> Century. 2001, in press.
- Shiklomanov, I.A.: Assessment of water resources and water availability in the world. Stockholm Environment Institute, Stockholm 1998, 88s.
- Shorthouse, C. - Arnell, N.W.: Spatial and temporal variability in European river flows and the North Atlantic Oscillation. *FRIEND'97. IAHS. Publ.* 246, 1997, s. 77-85.
- Škoda, P. - Turbek, J.: Návrh siete hydrologických staníc na monitoring zmien klímy. Správa pre NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1995.
- Starosolszky, O. - Gauzer, B.: Effect of precipitation and temperature changes on the flow regime of the Danube river. *Proc. Second Int. Conf. On Climate and Water, Espoo, Finland* 1998, s. 839-848.
- Strzepek, K. M., et al.: New methods of modelling water availability for agriculture under climate change: the US Cornbelt. *Journal of the American Water Resources Association*, 35, 1999, s. 1639-1655.
- Šuba J.: Expertízne posúdenie vplyvu predpokladanej zmeny klímy na podzemné vody so zameraním na využiteľné zásoby schválené v KKZZ. Správa pre NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1994.
- Svoboda, A.: Odvodenie syntetických radov priemerných mesačných prietokov pre horný Váh a Laborec v podmienkach klimatických zmien. Správa pre NKP SR. ÚH SAV, Bratislava 1996.
- Szolgay, J. - Hlavčová, K. - Mosný, V. - Parajka, J.: Časové a priestorové zmeny hydrologickej bilancie na území východného Slovenska. Vydavateľstvo STU, Bratislava 1997a, 213 s.
- Szolgay, J. - Hlavčová, K. - Parajka, J. - Čunderlik, J.: Vplyv klimatickej zmeny na odtokový režim na Slovensku. In: Klimatické zmeny - hydrológia a vodné hospodárstvo SR. Zväzok č. 6 Národného klimatického programu. MŽP SR a SHMÚ. Bratislava 1997b, s. 11-110.
- Szolgay, J. - Hlavčová, K.: Modelové riešenie odhadov vplyvu zmeny klímy na hydrologický cyklus a vodné hospodárstvo. *Životné prostredie*, XXXIV, 2000, č.2, s. 75-80.
- Szolgay, J. - Hlavčová, K. - Parajka, J. - Čunderlik, J. - Lapin, M. - Damborská, I. - Melo, M. - Svoboda, A. - Halmová, D. - Mosný, V.: Vplyv očakávanej zmeny klímy na odtokové pomery a výdatnosť vodných zdrojov v SR, I. etapa. Záverečná správa. SvF STU, Bratislava 1999.
- Šutor, J.: Vývojové tendencie hydrológie pod povrchových vôd v SR. In: V Hydrologické dni – Nové podnety a vize pro příští století. ČHMÚ, Praha 2000, s. 57-64.
- Takáčová, D.: Možné dôsledky klimatickej zmeny v režime podzemných vôd - časť dolný Hron. Správa pre NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1996.
- Tung, C. P. - Haith, D. A.: Climate change, irrigation and crop response, *Journal of the American Water Resources Association*, 34, 1998, s. 1071-1085.
- UKWIR: A practical method for converting uncertainty into headroom. UK Water Industry Research Ltd. Report 98/WR/13/1, UK Water Industry Research Ltd., London 1998.
- US National Climate Assessment, 2000.



Wilby, et al.: A comparison of downscaled and raw GCM output: implications for climate change scenarios in the San Juan River basin, Colorado. *Journal of Hydrology* 225, 1999, s. 67-91.

Wilby et al.: Statistical downscaling of general circulation model output: a comparison of methods. *Water Resources Research*, 34, 1998, s. 2995-3008.

WMO: Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World. WMO, Geneva 1997, 34s.

World Bank: Water Resources Management. A World Bank Policy Paper. Washington D.C. 1993.

World Commission for Water2000: World Water Vision. World Water Council, 2000.

Zaťko, M. - Trizna, M. - Kočícký, D. - Pitoňáková, A.: Analýza časových a priestorových zmien vybraných prvkov režimu odtoku, kolísania hladiny podzemnej vody a výdatností prameňov v povodí Turca z hľadiska možných vplyvov globálnych zmien klímy (s využitím údajov od roku 1931, resp. 1961). Správa pre NKP SR. Katedra fyzickej geografie PríF UK, Bratislava 1996.

## MODELLING OF CLIMATE CHANGE IMPACT ON RUNOFF REGIME IN CENTRAL SLOVAKIA

<sup>1)</sup>Kamila Hlavčová, Ján Szolgay, <sup>2)</sup>Juraj Parajka, <sup>1)</sup>Juraj Čunderlík

<sup>1)</sup>Department of Land and Water Resources Management, SvF STU, Bratislava

<sup>2)</sup>EHZ ÚH SAV, Liptovský Mikuláš

In this paper the results of the investigations of the expected change in the annual and monthly flows due to climate change in selected regions of Slovakia are summarised. Basic adaptation strategies for water resources management on a conceptual planning level have been formulated.

The preparation of hydrological input data used for the design of water resources projects and for the management of water resources in Slovakia in recent decades has been based on the concept of so-called "representative periods". Extensive studies conducted by the former Czechoslovak Hydrometeorological Institute, and later by the Slovak Hydrometeorological Institute, have shown that statistical characteristics computed from hydrological time series for the period 1951 to 1980 are in accordance with their long-term values. Data and characteristics from this period were therefore considered as baseline scenarios for the assessment of the change in river runoff.

Downscaled results from the global circulation models GCM CCCMprep as published by Lapin, et al. (1999, 2000) and modified climate change scenarios WP B, SD B developed by Lapin, et al. (1999) were selected as climate change scenarios for the study.

For determining of the impact of climate processes on the long-term mean annual flow, the Turc model was selected. As opposed to other models, which are based on regression relationships between long-term mean annual runoff, mean annual temperature and precipitation, it is based on an index of the annual potential evapotranspiration  $L = f(Z, T, c)$ , where  $Z$  is the average annual precipitation,  $T$  is the mean annual air temperature, and  $c$  is the coefficient, which can be calibrated when necessary. This part of the Turc model was calibrated against long-term annual average potential evapotranspiration data computed by Tomlain. Gridded digitised maps, with a grid size of 1 km x 1 km, of the long-term mean annual precipitation and air temperature were derived from isoline maps for the representative period 1951 - 1980 using geostatistical interpolation methods. Grid maps of the long-term average runoff yields for selected regions of Slovakia were computed from the Turc model for all the selected scenarios of climate change. Then, areal averages of the runoff yields were extracted in selected elevation zones and catchments and compared with their corresponding values from the baseline long-term average runoff yield map. This was constructed using the Turc model with input data from the period 1951 - 1980.

A spatially-lumped, simple conceptual hydrological rainfall - runoff model WatBal, which is based on the work of Kaczmarek, was selected to model the impact of climate change on monthly runoff. A simple snowmelt model is incorporated into the model. Input is divided into direct surface runoff and infiltration. The soil moisture zone is simulated by one non-linear reservoir. Surface, subsurface and baseflow from the soil moisture reservoir are computed as separate runoff components. Evapotranspiration is computed on the basis of the simulated soil moisture and potential evapotranspiration. Potential evapotranspiration values are estimated by the Priestly Taylor method or can be supplied by the model users. The model was calibrated with data from the period 1951 - 1980, which contained a wide variety of different hydrological extreme situations in the catchments which have been chosen as representative of the runoff regime of different regions. The reaction to climate change was analysed with a modified input time series.

Basic strategies for adaptation in water resources management in order to account for climate change impacts have been suggested.



# ZÁKONITOSTI KOLÍSANIA PRIEMERNÝCH ROČNÝCH PRIETOKOV

*Pavla Pekárová, Ústav hydrológie SAV, Račianska 75, Bratislava*

## I. ÚVOD

Analýza dlhodobého vývoja prietokových radov je z hľadiska integrovaného hospodárenia s vodou v krajine nepostrádateľná. V období rokov 1980–1993 bol predovšetkým v nížinných povodiach SR zamerané klesajúce trendy. Jednou z otázok, na ktoré sa pokúšajú v súčasnosti hydrológovia nájsť odpoveď je, čo je príčinou tohto javu. Jedná sa o trvalý úbytok odtoku, ktorý je spôsobený klimatickou zmenou, alebo príčiny treba hľadať v prirodzenom kolísaní odtoku? Popri pokusoch dať odpoveď na túto otázku priamo nadväzuje snaha o dlhodobú prognózu ďalšieho vývoja zásob vody v povodiach SR.

Časovej analýze vývoja klimatických a hydrologických radov sa už v šesťdesiatych rokoch v bývalom Československu venoval celý rad vodohospodárov - napr. Kopecký (1956, 1957), Křivský (1957), Bratránek (1960, 1964a,b), Švec (1962), Balek (1968). Vo svojich prácach Bratránek už pred 40-timi rokmi vyslovil domnienku, že v hydrosfére dochádza k prirodzenému, cca 90 ročnému kolísaniu odtoku. Najpodrobnejšie sa kolísaním časových radov zrážok a prietokov venoval vo svojich prácach Brázdil (1986,1991). V práci z roku 1986 vzájomne porovnával kolísanie zrážkových a prietokových radov v súvislosti s kolísaním slnečnej aktivity.

V osemdesiatych rokoch sa problémy dlhodobého poklesu/rastu odtoku a extrémov odtoku dali do súvisu so zmenou klímy. V práci Szolgaya a kol. (1997) možno nájsť rozsiahlu literárnu rešerš prác venovaných téme klimatickej zmeny do roku 1997. Teórii globálneho otepľovania je venovaná práca j. Houghtona (1998). Za účelom posúdenia dôsledkov zmien klímy na vodné hospodárstvo na Slovensku bolo vybraných 23 vodomerných staníc (Škoda a Kulman, 1997). Pórová a Podolinská (1997) porovnali vybrané hydrologické režimové charakteristiky za obdobia 1931–1981 a 1931–1995 s referenčným obdobím 1931–1980. Z ich analýzy vyplynul nepriaznivý trend vývoja hydrologických charakteristík v období 1981–1995.

V rokoch 1999 a 2000 sa časovej a priestorovej analýze prietokov okrem iných venovali i na Katedre vodného hospodárstva krajiny STÚ a v Ústave hydrológie SAV v dvoch témach grantového projektu „Regionálne hydrologické scenáre vývoja režimu kvality a kvantity vôd v tokoch vo vybraných oblastiach SR pre integrované hospodárenie s povrchovými vodnými zdrojmi“ (Pekárová a kol., 2000). V prácach Čunderlíka (1999a,b, 2000a,b), Čunderlíka a Hlavčovej (1999, 2000), Deákovej (1997, 2000), Halmovej (1999a,b, 2000a-d), Hlavčovej a kol. (1999), Kohnovej a Szolgaya (1999a-c, 2000a-c), Kohnovej a kol. (2000a,b), Koníčka (1999), Mikláňka (1999), Parajku (1999a-d, 2000a,b), Pekárovej (1998, 1999, 2000a-c) a Szolgaya a Hlavčovej (2000) boli skúmané dlhodobé trendy a cyklickosť odtoku a boli objasnené regionálne zvláštnosti tvorby maximálnych prietokov na malých a stredných povodiach na celom území Slovenska. Z najnovších prác českých hydrológov spomeniem práce Hladného (2000), Kašpárka (2000), Soukalovej (2000).

Ciele predloženej práce sú nasledovné:

1. *analýzovať dlhodobé trendy a periodickosť zrážkových a teplotných radov;*
2. *analýzovať trendy a periodickosť vybraných prietokových radoch najvýznamnejších tokov SR;*
3. *pomocou stochastických modelov spracovať predpoveď vybraných prietokových radov pre budúce desaťročia.*

Táto práca si nekladie za cieľ zahrnúť do predpovede klimatickú zmenu podľa niektorého scenára zmeny klímy (Lapin a kol. 1995, Lapin 1997), ale predpoveď vychádza z pozorovaných časových radov prietokov. Ide o stochastickú prognózu aký by bol vývoj odtoku, keby nedochádzalo ku zmene klímy (aj keď samozrejme merané rady v posledných desaťročiach už môžu byť ovplyvnené klimatickou zmenou).

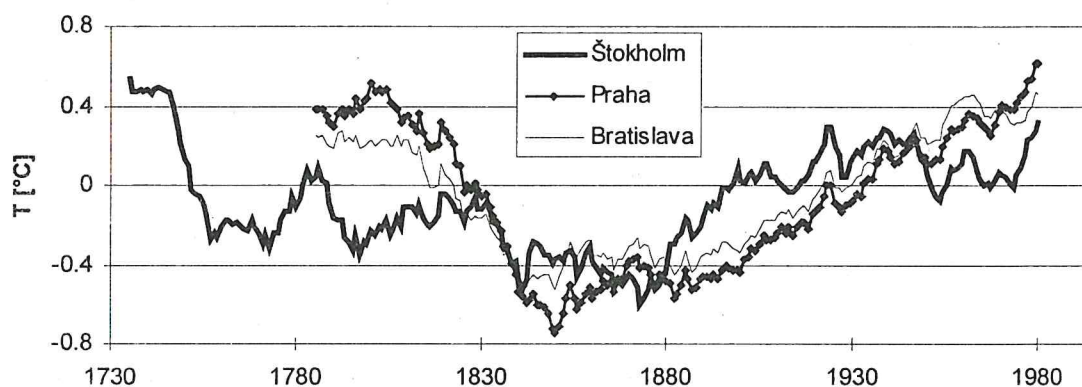
## II. ANALÝZA TEPLOTNÝCH A ZRÁŽKOVÝCH RADOV

V literatúre existuje celý rad prác, spojených s hľadaním vzťahov medzi znížením/zvýšením teploty vzduchu, zrážok alebo i prietokov s rôznymi podmieňujúcimi činiteľmi, napr.: Bratránek (1964a,b), Křivský (1957), Kopecký (1956, 1957), Frigancová a kol. (1997) a Benický (1996). Veľkým prínosom sú práce už spomínaného Brázdila (1986, 1991) a Brůžeka (1982, 1987). Brůžek sa zaoberal dlhodobými trendmi a kolísaním teploty a zrážok na údajoch ročných teplôt v stanici Praha - Klementinum (210 ročné obdobie rokov 1771–1981) a priemerných ročných zrážkových údajov v Českej republike (105 ročný rad z obdobia 1876 až 1981) a dlhodobou predpoveďou zrážok vo vzťahu k slnečnej aktivite. Obaja títo autori autokorelačnou a spektrálnou analýzou dokladali existenciu periód rôznej dĺžky suchých a vlhkých období v zrážkových, teplotných i prietokových radoch.



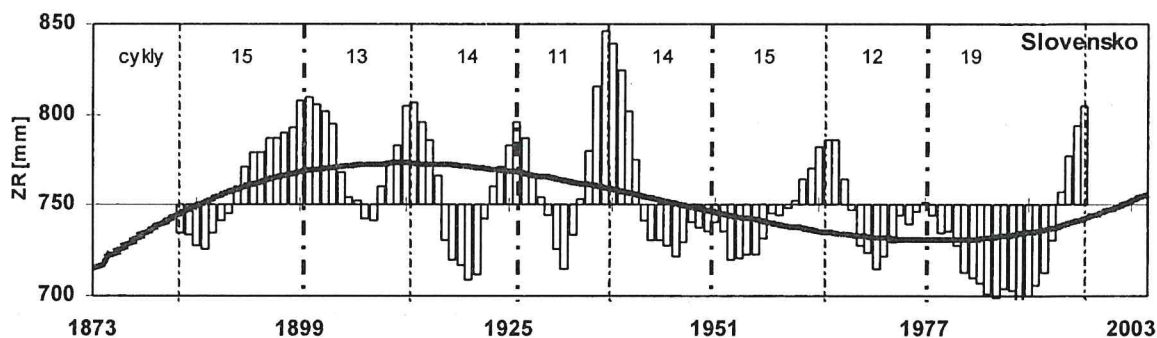
## II.1 Analýza dlhodobých trendov teplotných a zrážkových radov

Podľa celosvetového klimatického monitoringu sa za posledných 100 rokov oteplilo v celosvetovom globále asi o  $0,6^{\circ}\text{C}$  (Lapin, 2000). Viacerí odborníci upozorňujú, že pri dlhodobej trendovej analýze je nedostatočné uspokojiť sa s vývojom teploty vzduchu za posledných 100 rokov a z rastu tejto teploty usudzovať, že dochádza k prudkému otepľovaniu atmosféry spôsobenej výlučne klimatickou zmenou. Usudzujú, že vplyv ľudskej činnosti na klimatickú zmenu je nadhodnotený a že je potrebné venovať sa i teórii dlhodobého prirodzeného kolísania klímy. V prospech tejto hypotézy môžu snáď byť na obr. II.1 vykreslené 28-ročné klzavé priemery odchýlok teplôt od dlhodobého priemeru v staniciach Praha: Klementine a Bratislava od roku 1775 a Štokholm od roku 1722. Z obrázku II.1 vidieť, že časové rady teploty vzduchu v Prahe: Klementine i v Bratislave majú podobný dlhodobý vývoj a pred cca 200 rokmi bolo u nás takmer tak teplo, ako dnes. V stanici Štokholm pred 270-timi rokmi bolo pravdepodobne ešte teplejšie ako dnes. Priemerný výkyv 28-ročných priemerov teplôt za pozorované obdobie nepresiahol  $1,4^{\circ}\text{C}$ . Ak k otepľovaniu dochádza naozaj vplyvom klimatickej zmeny (spôsobenej antropogénnou činnosťou) nastoľuje sa otázka, čím bolo spôsobené prudké ochladenie v prvej polovici osemnásteho storočia.



Obr. II.1 *Priebeh 28-ročných klzavých priemerov odchýlok teplôt v staniciach Praha: Klementinum, Bratislava od roku 1775 a Štokholm od roku 1722*

Fig. II.1 *Course of 28-year moving averages of temperature deviations at Praha: Klementinum, Bratislava since 1775, and Stockholm since 1722*



Obr. II. 2 *Priebeh 2 x 5-ročných klzavých priemerov zrážkových úhrnov z územia SR (1881–1999)*

Fig. II. 2. *Double 5-year moving precipitation averages from Slovakia territory (1881–1999)*

Na obrázku II.2 je znázornený rad dvojnásobných 5-ročných klzavých priemerov zrážkových úhrnov na územie SR (1881–1999). Pri analýze tohoto radu sa dá identifikovať cyklickosť v poklese a náraste zrážok v celom pozorovanom období 1881–1999. Vykreslený časový rad vykazuje výrazné periodické, cca 12–15 ročné zmeny.

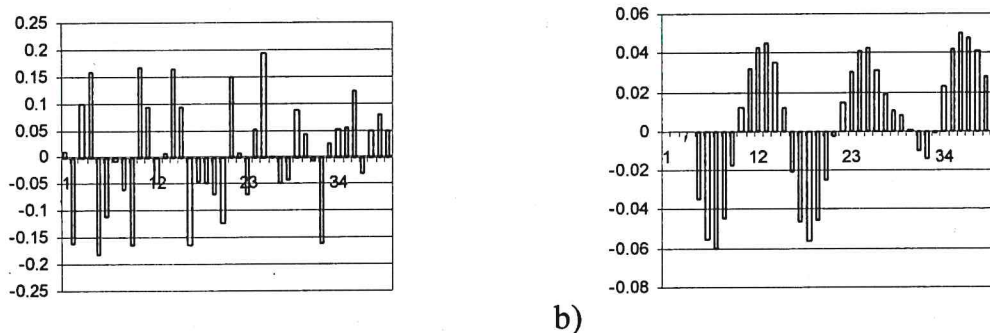
Cez celé obdobie možno hypoteticky preložiť cca 50-ročný cyklus. V osemdesiatych – deväťdesiatych rokoch bol zaznamenaný výrazný pokles zrážkových úhrnov na územie Slovenska (od roku 1970 do roku 1993). Je samozrejmé, že takýto pokles zrážok sa musel odraziť na poklese odtoku z povodia SR

Bohužiaľ, historické rady zrážkových úhrnov v SR z pred 200 rokov nie sú k dispozícii a nie je možné posúdiť ich priebeh pred 200 rokmi.

## II.2 Periodickosť teplotných a zrážkových radov

### II.2.1 Autokorelačná analýza

V zrážkovom rade ročných úhrnov na územie SR existuje záporná závislosť na zrážkach z pred dvoch (časový krok  $k = 2$  roky, koeficient korelácie  $r = -0.16$ ) a piatich rokov ( $r = -0.18$ ) a priama závislosť na zrážkach z pred štvrtého roka ( $r = 0,158$ ) (obr. II.3a). V grafe 3-násobných 3-ročných kľzavých priemerov autokorelácií zrážok na územie SR (obr. III. 3b) sa objavujú cca 11- až 15-ročné cykly.



Obr. II.3 Priebeh autokorelačnej funkcie)

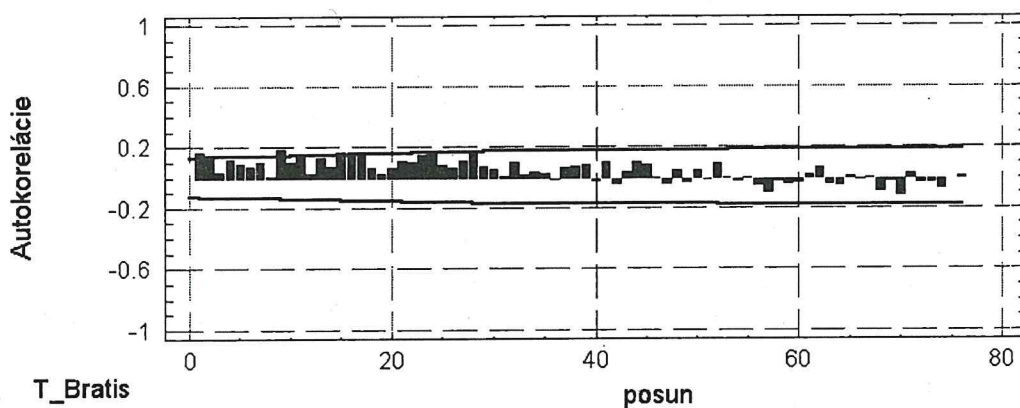
a) časového radu priemerných ročných úhrnov zrážok na územie SR (1881–1999)

b) 3-násobné 3-ročné kľzavé priemery tohoto radu

Fig. II.3 Autocorrelation function

a) average annual precipitation depth on SR territory (1881–1995)

b) 3-times 3-year moving average of this time series



Obr. II.3c Priebeh autokorelačnej funkcie (dolný a horný 95% konfidenčný int.) časového radu priemernej ročnej teploty vzduchu v stanici Bratislava (1771–1995).

Fig. II.3c Autocorrelation function (lower and upper 95% limit) average annual temperature at Bratislava station (1771–1995).

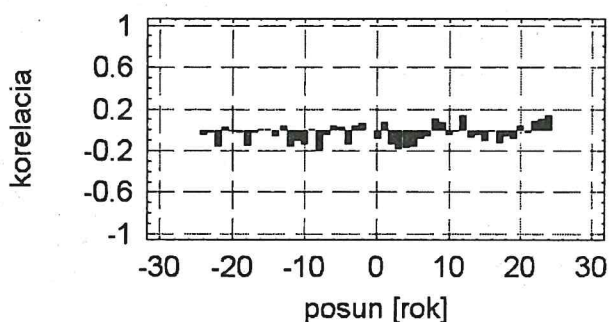
Významnú hodnotu nadobúdajú koeficienty korelácie i pre časové kroky  $k = 10, 14, 21, 25$  a 32 rokov. Brůžek (1987) v časovom rade ročných zrážkových úhrnov v Čechách za roky 1876–1985 našiel významné korelačné koeficienty pre tie isté časové kroky ( $k = 5 \leftrightarrow r = -0,221$ ;  $k = 7 \leftrightarrow r = 0,214$ ;  $k = 10 \leftrightarrow r = 0,154$ ). Brůžek ďalej konštatuje, že vplyv 11-ročnej periódy slnečnej aktivity na tento zrážkový rad nebol potvrdený ( $r = -0,132$ ).

V prípade teploty vzduchu v stanici Bratislava sa zdá, že v tomto rade existuje vyše cca 40-ročný cyklus teplých a studených období (obr. II.3c).

Daná analýza síce neposkytuje potvrdenie uvádzanej cykličnoti, bude však základom pri odhade parametrov autoregresívnych modelov.



Zaujímavá je vzájomná korelačná analýza medzi ročnými radmi teploty vzduchu v Bratislave a radmi zrážok v SR. Koeficient korelácie medzi radom teplôt a zrážok je  $-0,088$ , tj. slabá záporná závislosť (obr. II.4). Tiež rady zrážok posunuté o 2 až 7 rokov majú zápornú závislosť. Podľa väčšiny klimatických scenárov v strednej Európe so zvyšovaním teploty vzduchu vplyvom klimatickej zmeny sa očakáva i zvyšovanie ročných zrážkových úhrnov. Analýza existujúcich historických teplotných a zrážkových radov z niektorých staníc SR (Pekárová, 1998) však naznačuje opačnú tendenciu.



T\_BR – ZR\_SR

Obr. II.4 *Priebeh párovej korelačnej funkcie časového radu priemernej ročnej teploty vzduchu v stanici Bratislava s časovým radom priemerných ročných úhrnov zrážok na územie SR*

Fig. II.4 *Cross-correlation function of average annual temperature time series at Bratislava and mean annual precipitation depth on Slovakia territory*

## II.2.2 Spektrálna analýza

Jednotlivé periódy zrážkových i teplotných radov boli hľadané spektrálnou analýzou. Na obrázku II.5 sú vykreslené periodogramy pre rady teploty vzduchu v staniciach Bratislava a Košice a zrážok na územie SR a v stanici Košice. Na osi x sú vykreslené frekvencie (frekvencia ( $F$ ) 1 zodpovedá perióde ( $P$ ) 1 rok, frekvencia 0,2 zodpovedá perióde 5 rokov ( $F=1/P$ )).

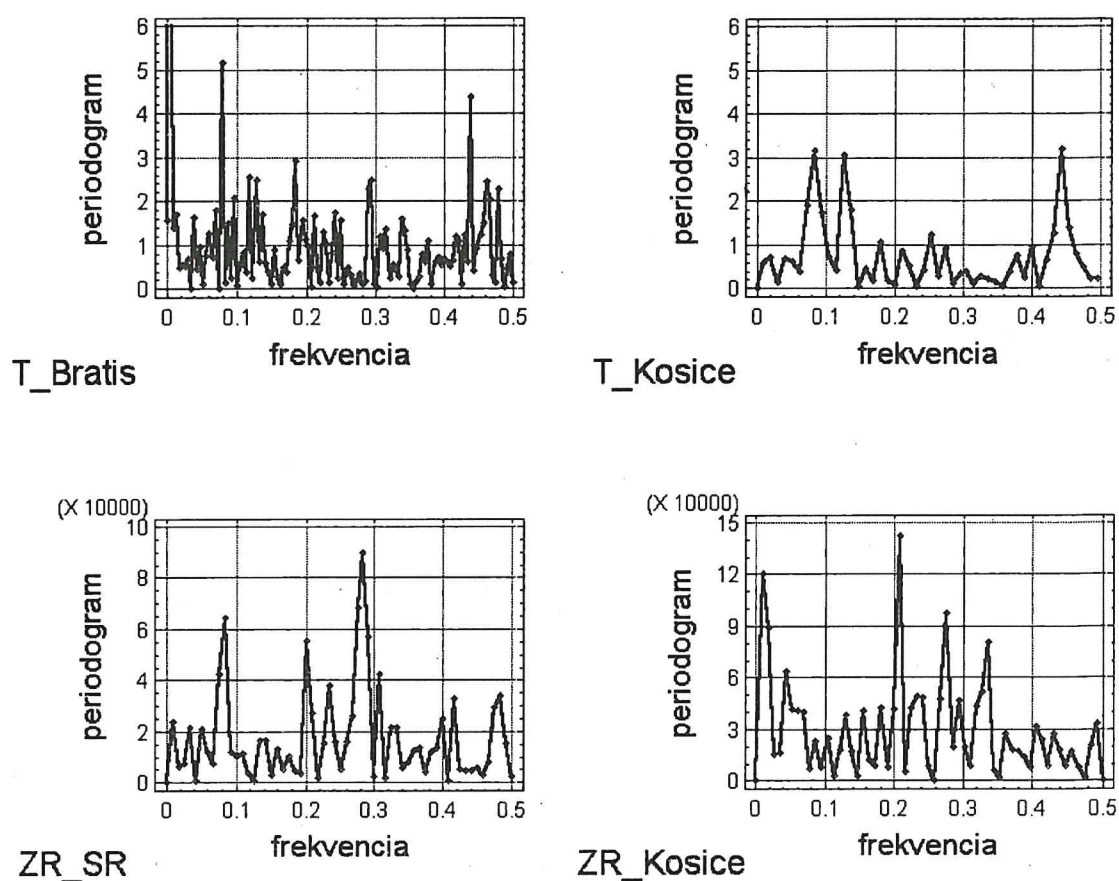
Výsledné periódy získané spektrálnou analýzou nemusia predstavovať úplné cykly, ale len ich časti. Tento výsledok ozrejmiame na rade mesačných prietokov Bieleho Váhu a nórskej rieky Krokadalen. Je zrejmé, že mesačné prietoky majú výrazný ročný chod i sezónny charakter. Periodogram (obr. II.6a,b) mesačných prietokov nadobúda maximá pri periódach 12, 6, 4 aj 3 mesiacov (t.j. pri frekvencii 0,08333; 0,16667; 0,25 a 0,3333). Je zrejmé, že základná perióda je 12 mesiacov, ostatné sú len subperiódy základnej periódy. Tak treba i pri dlhodobých radoch určiť základné periódy a ich subperiódy.

Spektrálnou analýzou viacerých teplotných a zrážkových radov meraných v SR sme získali nasledovné periódy<sup>1</sup>: 32; 28; 26; 25; 21; 14; 11,75; 7; a 3,6 roka a periódy okolo 4,2–4,6; a 2,1–2,35 roka. Brázdil (1986) našiel podobné periódy do dĺžky 13,3 roka pre zrážkový rad na územie Čiech a pre moravské rady do 18–21 roka.

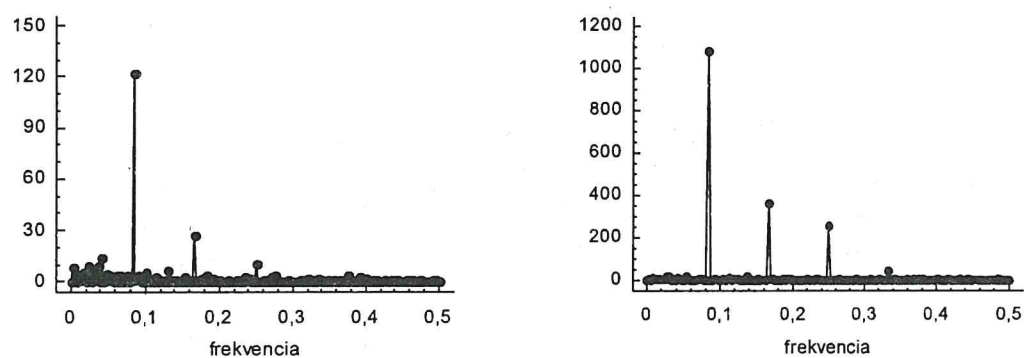
Určiť dĺžku základného cyklu je možné z priemernej vzdialenosti lokálnych maxim (miním) vykresleného meraného radu. Na určenie vonkajšieho cyklu sú vo všeobecnosti potrebné minimálne 3 extrém (obr. II.2) (dve maximá a jedno totálne minimum ležiace medzi nimi, alebo naopak). Priemerná dĺžka cyklu je okolo 13 rokov.

<sup>1</sup> Pri určovaní dĺžky periód metódou periodogramu určené periódy sú závislé od dĺžky skúmaného časového radu (predovšetkým v oblasti dlhých periód). Ak máme napríklad k dispozícii rad dĺžky 120, periódy budú  $120/2=60$ ;  $120/3=40$ ;  $120/4=30$ ;  $120/5=24$ ;  $120/6=20$  atď. Preto pri skúmaní toho istého radu s rôznou dĺžkou dostaneme rôzne periódy. (Treba si pamätať, že hodnoty periodogramu sa dajú považovať iba za odhad spektrálnej hustoty.)

Pri mesačných radoch by sme napr. nespracovávali rad dĺžky 128 mesiacov, ale automaticky by sme ho skrátili na 120 mesiacov. Tak isto by sme mali postupovať i v prípade ročných radov pri hľadaní dlhodobých periód. Analyzovať by sme mali rady dĺžky násobku základnej periódy.



Obr. II.5 Periodogramy z rôznych staníc pre rady ročných hodnôt teploty vzduchu a zrážok  
Fig. II.5 Periodograms of temperature and precipitation time series



a) b)  
Obr. II.6 Periodogram mesačných prietokov a) Biely Váh: Východná; 1921–1981;  
b) rieka Krokadalen Nórsko, 1965–1993  
Fig. II.6 Periodograms of monthly runoff time series a) Váh River: Vychodna; 1921–1981  
b) Krokadalen River (Norway), 1965–1993

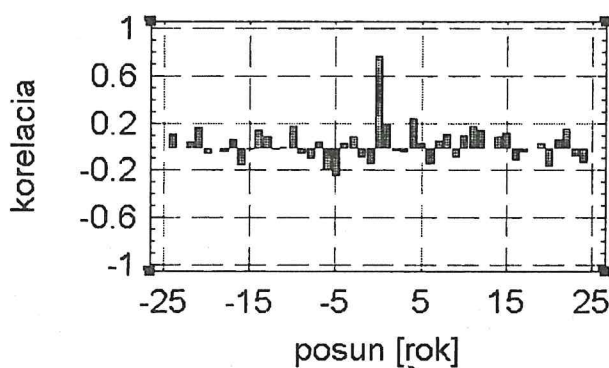


### II.3 Závislosť medzi ročnými zrážkovými a prietokovými radmi

Priamoúmerná závislosť medzi ročnými zrážkovými a prietokovými radmi je evidentná. Príklad tejto závislosti medzi ročnými prietokmi Váhu a ročnými úhrnmi zrážok (priemer SR) je jasne znázornený na obr. II.7.

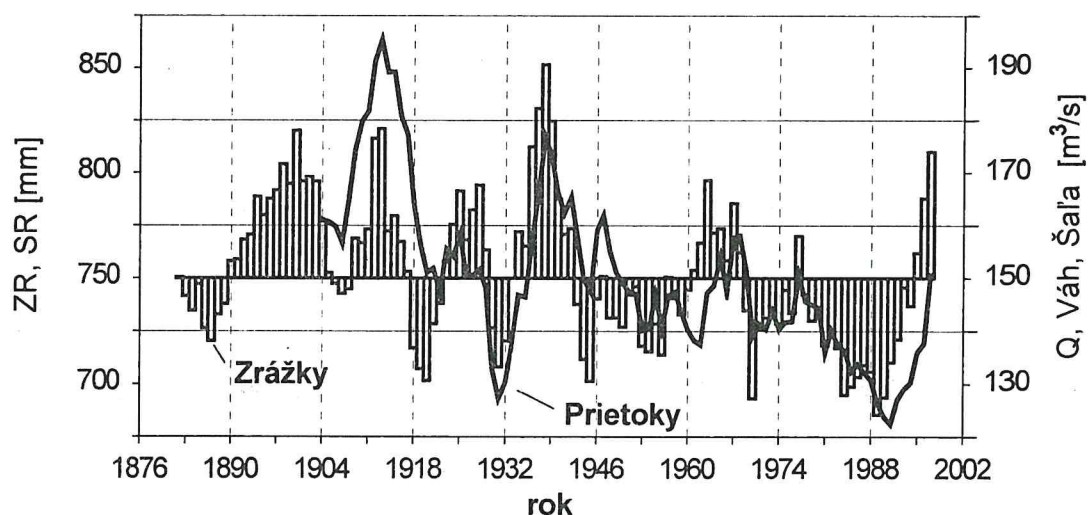
Obrázok znázorňuje párové korelácie medzi týmito dvoma radmi. Koeficient korelácie pri posune o 0 rokov (tj. bez posunu) je 0,76. Pre lepšiu názornosť sú na obrázku II.8 znázornené 7-ročné kĺzavé priemery ročných úhrnov zrážok (priemer na územie SR) a 7-ročné kĺzavé priemery prietokov Váhu v stanici Šaľa.

Z obrázku II.8 vyplýva, že pokles zrážkových úhrnov na územie SR v 70 – 80-tych rokoch mal priamy vplyv na pokles prietokov rieky Váh (koeficient korelácie 0,76). Pripisovať dlhodobý pokles odtoku z územia SR (nemyslíme teraz na režim odtoku v roku) antropogénnej činnosti človeka v povodí (nesprávne obhospodarovanie krajiny, výstavba nádrží a pod.) je slabo podložené vecnými argumentmi. Dá sa očakávať, že pri náraste zrážok dôjde i k opätovnému rastu odtoku z územia SR.



Obr. II.7 Párové korelácie medzi ročnými úhrnmi zrážok na územie SR a prietokmi v stanici Váh: Šaľa (1901-1995)

Fig. II.7 Cross-correlation between annual precipitation on Slovakia and runoff in Váh station at Šaľa (1901-1995)



Obr. II.8 Priebehy 7-ročných kĺzavých priemerov ročných úhrnov zrážok na územie SR (1885-1998) a prietokov v stanici Váh: Šaľa (1901-1998)

Fig. II.8 Course of 7-years moving averages of annual precipitation time series on SR (1885-1998) and runoff in Váh station at Šaľa (1901-1998)

Vzhľadom na významnú závislosť prietokových radov na zrážkach by sme pri dlhodobej predpovedi prietokov na niekoľko rokov dopredu v tokoch bez dlhoročných pozorovaní mohli vychádzať z predpovede ročných zrážkových úhrnov.

Analýzou možných dopadov predpokladaných zmien klímy na vodné hospodárstvo sa zaoberali napr. Lapin (1992), Lapin a Šipocz (1991), Majerčáková a Minárik (1994), Novák a Štekauerová (1994), Petrovič (1997), Gustard a kol. (1997), Miklánek (1997) a Mosný (1995) a s pokusmi o predpoveď vývoja teplôt a prietokov napr. Majerčáková a Šedík (1994, 1996, 1997) a Svoboda (1995).

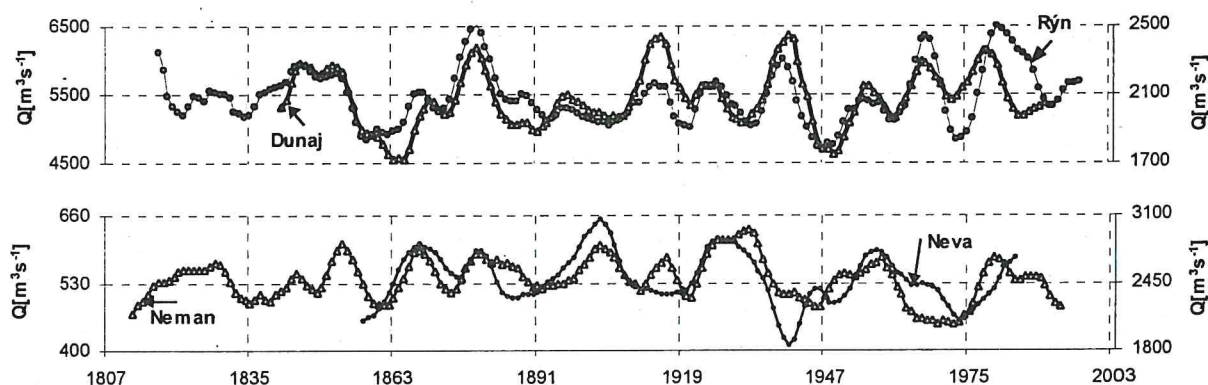
### III. KOLÍSANIE PRIETOKOVÝCH RADOV

Trendovou analýzou a periodickosťou ročných radov hydrologických údajov sa zaoberal u nás napr. Svoboda vo svojej KDP (1963). J. Anděl (1978) na prietokovom rade rieky Váh za obdobie 1921–1966 našiel spektrálnou analýzou štatisticky veľmi významnú 3,5-ročnú periódu. Túto periódu spomína i Walanus a Soja (1996) v poľských zrážkových i prietokových radoch. Významným prínosom boli práce Procházku (1984, 1989, 1990, 1991), ktorý sa zaoberal stochastickým modelovaním mesačných prietokov. V deväťdesiatych rokoch sa periodickosťou slovenských tokov zaoberal Takáč (1989). V prietokových radoch slovenských tokov našiel viaceré kratšie i dlhšie periód (2,35; 3,64; 4,4 a 13,3 roka).

V niektorých riekach rovníkovej Afriky existuje veľmi výrazný viacročný cyklus opakovania sa suchých a mokrých rokov. V práci Pekárovej (2000a) bol analyzovaný priebeh priemerných ročných prietokov v rieke Niger, v stanici Koulikoro (1907–1984) (MI). Ročné prietoky kolísali od 633 do 2400 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Obdobia 1925–1930 a 1952–1956 boli výrazne mokré, obdobia 1941–1945 a 1980–1990 naopak mimoriadne suché. Suchá v obdobiach okolo rokov 1913, 1941 a v osemdesiatych rokoch sa vyskytli aj v iných tokoch Afriky.

#### III.1 Identifikácia vývojových trendov a periodickosti riek Európy

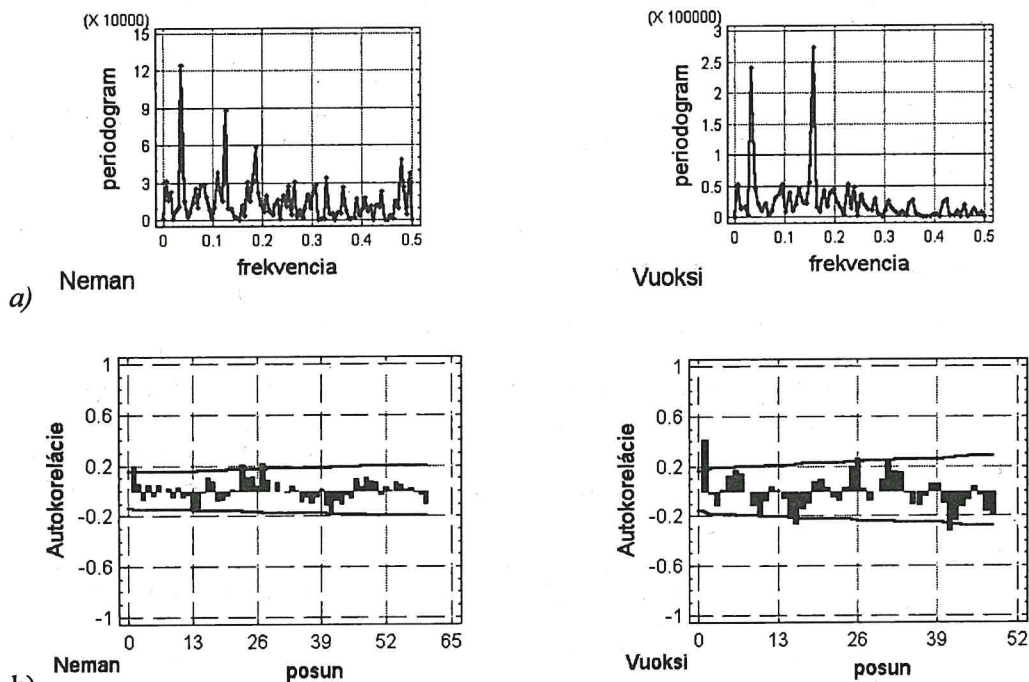
Striedanie sa suchých a vlhkých období bolo pozorované i v Európskych tokoch i keď na odhalenie suchých a vlhkých období je potrebné použiť kľzavé priemery. Na obr. III.1 sú vykreslené dvojnásobné 5-ročné kľzavé priemery ročných prietokov rieky Rýn v stanici Kolín (DL), Dunaj v stanici Turnu Severin (RO), Neman v stanici Smalinikai (LT) a rieky Neva v stanici Novosaratovka (RS). Suchá vo všetkých tokoch sa vyskytujú v priemere v 28-ročnom cykle. V 18. storočí bolo mimoriadne suché obdobie v rokoch 1857–1964, v 19. storočí v rokoch 1945–1947 a okolo roku 1975. Najbližšie suché obdobie by malo nastať okolo roku 2003.



Obr. III.1 Dvojnásobné 5-ročné kľzavé priemery priemerných ročných prietokov v riekach Dunaj, Rýn, Neman a Neva.

Fig. III.1 Double 5-years moving averages of mean annual runoff time series in Danube, Rhine, Neman and Neva.





Obr.III.2 a) Periodogram; b) Korelogram riek Neman a Vuoksi za obdobie 1812–1993  
Fig. III.2 a) Periodogram; b) Correlogram of Neman and Vuoksi Rivers

Najvýznamnejšie periódy ročných prietokov významných európskych riek boli identifikované metódou periodogramu a korelogramom. V radoch boli identifikované významné periódy dĺžky cca 29 rokov (Neman), 26 rokov (Vuoksi) (obr. III.2a). Na obr. III.2b sú vykreslené korelogramy časových radov ročných prietokov riek Neman a Vuoksi. Vyplýva z nich 26–28- ročný, 13–14- ročný a 6–7- ročný cyklus. Ak chceme určiť lineárny trend neovplyvnený periodickosťou radu, je potrebné určovať trend za obdobie rokov uzavretého cyklu, začínajúceho a končiacieho maximami (resp. minimami). Hydrologické charakteristiky tokov by sa mali určovať za obdobie uzavretého 28 ročného cyklu (napr. 1931–1958 resp. 1947–1975).

### III.2 Identifikácia vývojových trendov a periodickosti slovenských tokov

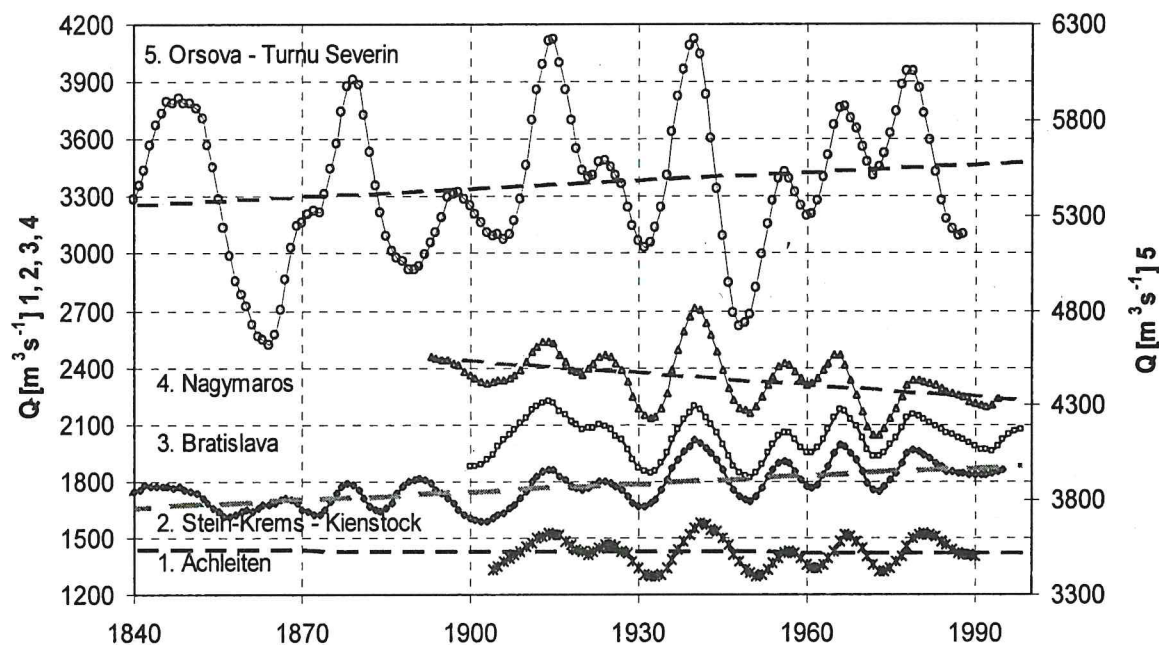
Pravidelné meranie a vyhodnocovanie prietokov v SR sa začalo v roku 1901 v staniciach Dunaj: Bratislava, Váh: Trnovec (Šaľa), Morava: Moravský Ján a Bodrog: Streda n. Bodrogom (Hydrologická ročenka SHMÚ, Povrchové vody, 1999). Z týchto staníc máme dnes k dispozícii 99-ročné rady priemerných ročných prietokov. Do začiatku I. svetovej vojny sa vodomerná sieť rozširovala len pomaly. S pravidelným vyčíšľovaním prietokov vo vodomerných staniciach sa začalo až v dvadsiatych rokoch, najväčší rozvoj nastal po roku 1961, kedy sa ich počet zvýšil z cca 100 na 490 v r. 1996. Dnes sa prietoky v SR vyčíšľujú v 392 prietokových staniciach. I neodborníkovi musí byť jasné, že pri tomto napozorovanom materiáli (rady pozorovaní od 40 rokov do 70 rokov, výnimočne i viac) je stanovovanie dlhodobých cyklov (20 – 30 ročné cykly) a dlhodobých trendov rastu a poklesu odtoku možné len hypoteticky.

Ako už bolo spomenuté, zákonitostami kolísania priemerných ročných prietokových radov na Slovensku sa zaoberal Takáč, (1989) v Čechách Brázdil (1986). Periodicitu skúmal v 52 vodomerných profiloch s najdlhšími radmi pozorovaní. Z jeho výsledkov vyplýva, že z krátkodobých cyklov v prietokových radoch má najvýznamnejšie postavenie 2,35; 3,64 a 4,4 -ročný cyklus. Z dlhodobých cyklov má dominantné postavenie 13,3-ročný cyklus, vyskytujúci sa vo väčšine staníc.

#### III.2.1 Analýza trendov a periodickosti Dunaja v úseku Achleiten – Turnu-Severin

Pri trendovej analýze dlhodobého vývoja ročných prietokov Dunaja boli použité prietokové rady z piatich staníc: Achleiten (1901–1998), Stein-Krems (1829–1970), Bratislava (1901–1998), Nagymaros (1893–1994) a Dunaj: Turnu-Severin (1829–1980). Časový rad v stanici Dunaj: Bratislava bol predĺžený na základe prietokov v stanici Stein-Krems regresnou analýzou až do roku 1830 (Svoboda a kol. 2000).

Na obr. III.3 je znázornený priebeh 2-násobných 5-ročných kľzavých priemerov prietokov Dunaja v piatich staniaciach. Suché a vlhké obdobia sú na tomto obrázku jasne identifikovateľné. Podobne ako u riek Labe, Rýn a Neman, i v prípade Dunaja z obrázka jasne vyplýva cca 28-ročný cyklus striedania sa vodných a suchých období. Zatiaľ čo v profile Dunaj: Bratislava nemôžeme hovoriť o dlhodobom úbytku alebo náraste vodnosti, v prípade stanice Nagymaros možno uvažovať o poklese vodnosti Dunaja v rokoch 1972–1992 o cca  $100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  oproti obdobiu 1902–1922. Tento pokles môžeme snád' pripísať na vrub poklesu odtoku zo Slovenska (a Maďarska) v úseku Bratislava - Nagymaros. V stanici Stein-Krems dochádza k nárastu odtoku.



Obr. III. 3 Priebeh dvojnásobných 5-ročných kľzavých priemerov prietokov Dunaja v Achleite, Stein-Kremse, v Bratislave, v Nagymarosi a v Turnu-Severine

Fig. III. 3 Double 5-year moving averages of the Danube discharge in Achleiten, Stein-Krems, in Bratislava, in Nagymaros and in Turnu-Severin

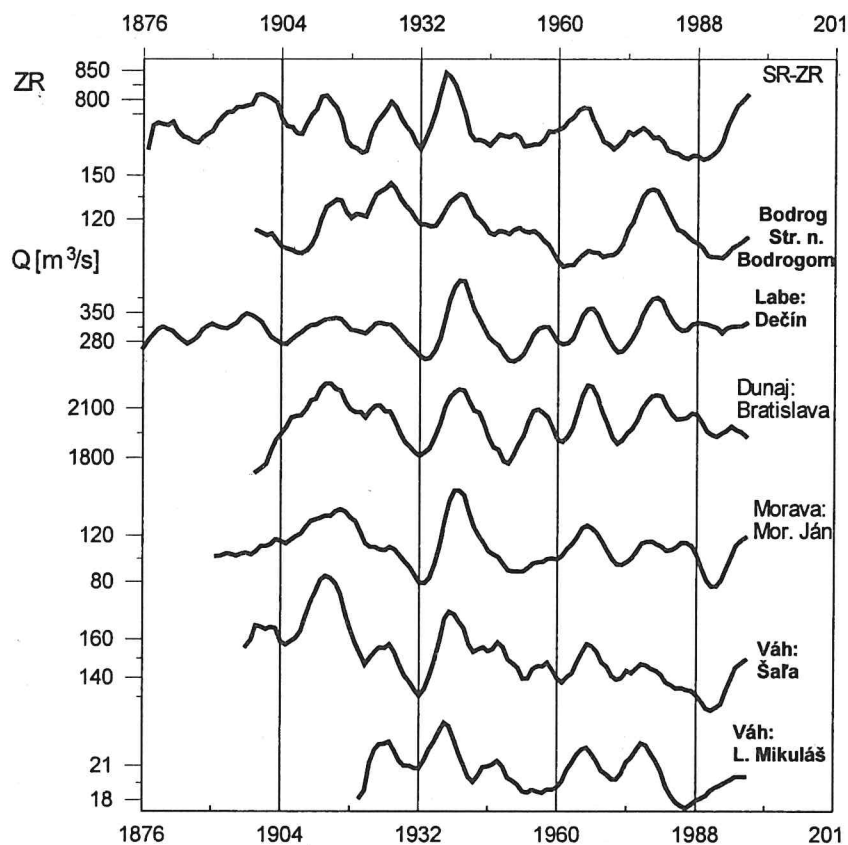
### III.2.2 Analýza trendov a periodickosti Bodrogu, Moravy a Váhu za obdobie 1901–1998

Aby sme potvrdili existenciu cca 28-ročných cyklov i v iných slovenských tokoch, spracovali sme čo najdlhšie existujúce prietokové rady slovenských riek podobným spôsobom ako v prípade Dunaja. Použili sme 99-ročné rady prietokov Moravy v Moravskom Jáne, Váhu v Šali a Bodrogu v Strede nad Bodrogom (obdobie 1901–1999). Ročné prietoky Bodrogu za obdobie 1901–1940 sú prevzaté z Duba (1954), roky 1941–1950 boli doplnené Pekárovou (1999). Na obrázku III.4 sú vykreslené dvojnásobné kľzavé priemery ročných prietokov viacerých tokov. Je zrejme, že aj v suchom období sa môže vyskytnúť extrémne mokré roky. Analýzou viacerých prietokových radov slovenských riek sa zdá byť hypotéza pravidelného 13-14-ročného opakovania sa suchých a vlhkých rokov v slovenských tokoch opodstatnená. Tento 13-14-ročný cyklus sa zdá byť navyše zvýraznený cca 28-ročným cyklom (čiže maximá sa opakujú cca po 28 rokoch). Je evidentné, že striedanie sa nízkych a vysokých priemerných ročných prietokov má svoju hlavnú príčinu v striedaní sa nízkych a vysokých ročných zrážkach.

Na obr. III.5 sú vykreslené periodogramy štyroch riek s vyznačením významných periód.

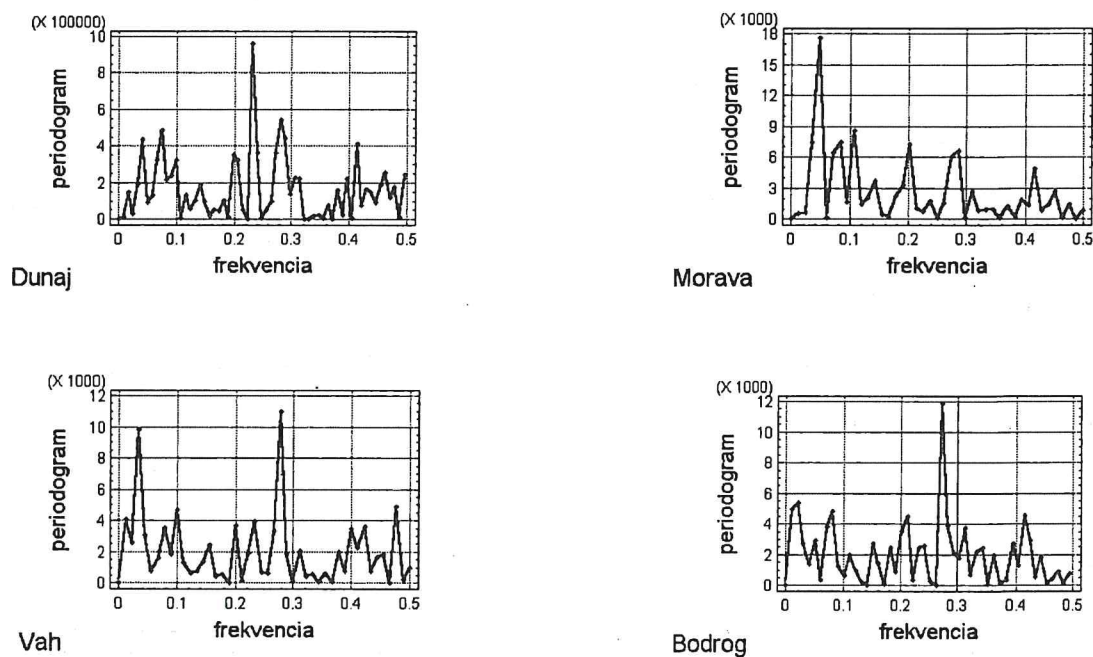
Podobne, ako to bolo konštatované pri riekach Labe a Váh, i v slovenských tokoch platí, že ak chceme určiť lineárny trend neovplyvnený 28-ročnou periodickosťou prietokového radu, je potrebné určovať trend za obdobie rokov uzavretého cyklu, začínajúceho a končiacieho minimami (resp. maximami). Hydrologické charakteristiky slovenských tokov by sa mali určovať za obdobia napr. 1932–1959 alebo 1932–1987.





Obr. III.4 *Priebehy dvojnásobných 5-ročných klzavých priemerov ročných úhrnov zrážok v mm na územie SR (1885-1998) a prietokov vo vybraných prietokových staniách*

Fig. III.4 *Double 5-year moving average of annual precipitation depth in mm on SR territory (1885-1998) and discharge series in selected stations*



Obr. III. 5 *Periodogramy ročných prietokov Dunaja, Moravy, Bodrogu a Váhu (1901-1999)*

Fig. III. 5 *Periodograms of annual discharge of Danube, Morava, Bodrog and Váh Rivers (1901-1999)*

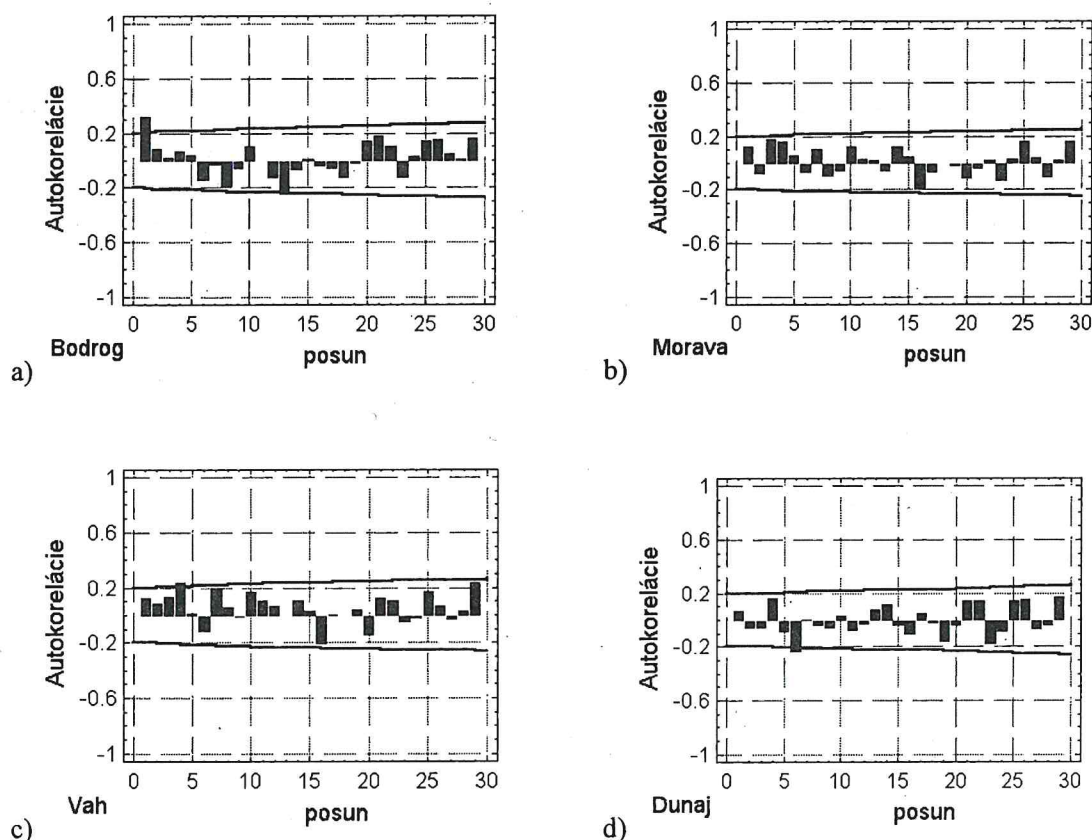
Z dlhodobého hľadiska, Dunaj a Morava majú vyrovnaný trend vodnosti, v Bodrogu a vo Váhu došlo k poklesu odtoku. Na tomto poklese majú najväčší podiel nižšie ročné zrážkové úhrny na územie SR.

Okrem 99-ročných radov ročných prietokov boli analyzované i 60-ročné rady mesačných prietokov viacerých riek SR (1931–1990). Aj keď dané prietokové rady majú relatívne krátku dobu pozorovania, pokúsili sme sa nájsť výraznejší dlhodobý cyklický (periodický) charakter, podobný napr. cyklu Dunaja.

Vo všetkých profiloch Slovenska bola spektrálnou analýzou nájdená významná  $3,62 \pm 0,1$ -ročná perióda. Nájdené boli i cca 29; 26; 23; 14-12; 7; 5; 4,4 a 2,4-ročné periód. Periodogramy riek v stredoeurópskej zemepisnej šírke nie sú také jednoznačné, ako periodogramy severských riek. No i v nich sa potvrdzujú periód opakovania sa vodných a suchých cca 26-29 ročných období. Vhodné by bolo spracovať periodogramy rôznych riek pozdĺž poludníka – s rôznou zemepisnou šírkou. Smerom k pólom budú výsledky analýz pravdepodobne jednoznačnejšie. Zaujímavá by bola tiež analýza posunu cyklov po rovnobežke.

### III.3 Autokorelačná analýza

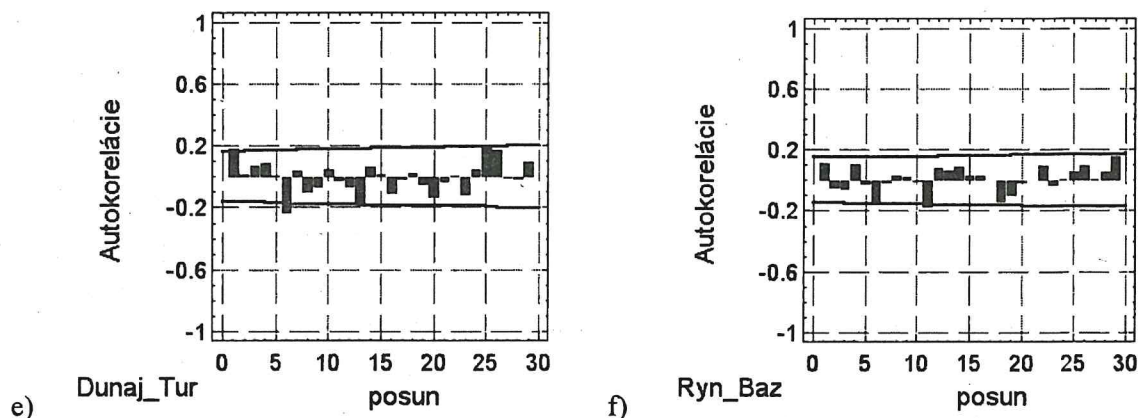
Táto analýza stanovuje závislosť veľkosti prietokov na vodnosti predchádzajúcich rokov. Vo všetkých analyzovaných riekach existuje priama závislosť prietokov na predchádzajúcom roku (obr. III.6). V prípade Váhu, Dunaja, Moravy a Rýnu existuje i závislosť na hranici 95% významnosti na prietoku z pred štyroch rokov. Vo všetkých tokoch sa vyskytuje i nepriama závislosť na prietoku z pred šiestich rokov. Z dlhých períód dominuje priama závislosť pre  $k = 25, 26$ , a 29 rokov.



Obr. III.6 *Priebeh autokorelačnej funkcie (dolný a horný 95% pravepod. limit) časových radov ročných prietokov: a) Bodrog; b) Morava; c) Váh; d) Dunaj; Bratislava;*

Figs. III.6 *Auto-correlation functions (lower and upper 95% limit) of discharge time series: a) Bodrog; b) Morava; c) Váh; d) Dunube: Bratislava;*





Obr. III.6 *Priebeh autokorelačnej funkcie (dolný a horný 95% pravepod. limit) časových radov ročných prietokov: e) Dunaj: Turnu Severin; f) Rýn: Bazilej*

Figs. III.6 *Auto-correlation functions (lower and upper 95% limit) of discharge time series: e) Danube: Turnu Severin; f). Rhein: Basel*

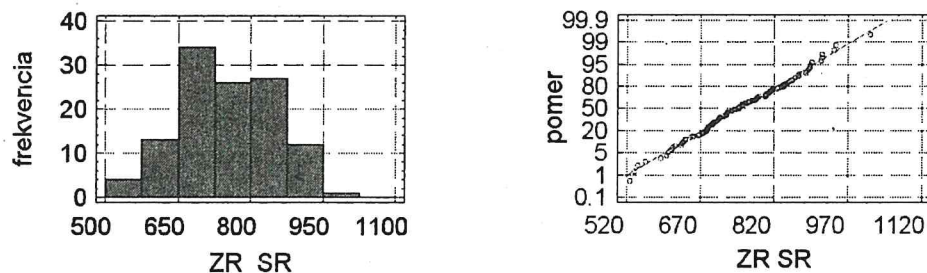
Pri dlhodobej predpovedi prietokov stochastickým modelom SARIMA (Pekárová a Pekár (2000)) budeme brať do úvahy obdobie z pred 28 rokov.

#### IV. VÝSLEDKY DLHODOBEJ PREDPOVEDE

Predmetom tejto časti je dlhodobá predpoveď hodnôt priemerných ročných prietokov (teploty vzduchu, zrážkových úhrnov). Pri predpovedi boli použité dva modely: 1. jednoduché exponenciálne vyrovnanie a 2. model SARIMA (Pekárová, 2000c, Pekárová a Pekár 2000). Na dlhodobú predpoveď boli použité nasledujúce rady:

- 84-ročný prietokový rad Dunaja v Bratislave (1916–1999);
- 84-ročný prietokový rad Váhu v Šali (1916–1999);
- 84-ročný prietokový rad Moravy v Moravskom Jáne (1916–1999);
- 84-ročný prietokový rad Bodrogu v Strede nad Bodrogom (1916–1999);
- 112-ročný zrážkový rad – priemer na územie SR (1888–1999).

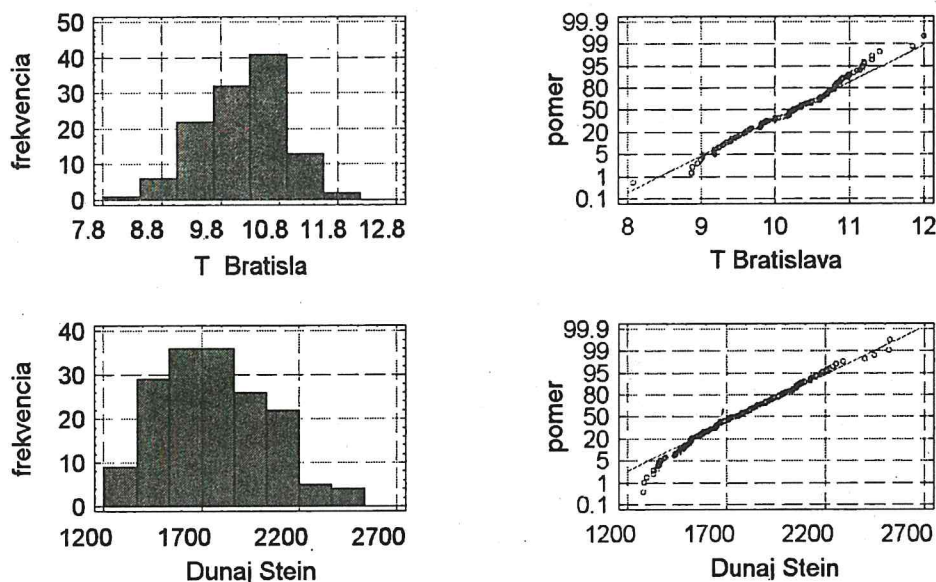
Pri použití modelov ARIMA musia vstupné časové rady mať normálne (Gaussovo) rozdelenie. Túto podmienku spĺňajú iba zrážkové rady (obr. IV.1). Preto pred použitím modelu ARIMA prietokové rady transformujeme logaritmickou funkciou. Dĺžka cyklu v modeloch bola nastavená na 28 rokov.



Obr. IV.1 *Histogramy rozdelenia zrážkových, teplotných a prietokových radov (vľavo), odchýlky od normality (vpravo)*

Figs. IV.1 *Histograms of precipitation, temperature and discharge time series (links), normal probability plots (right)*

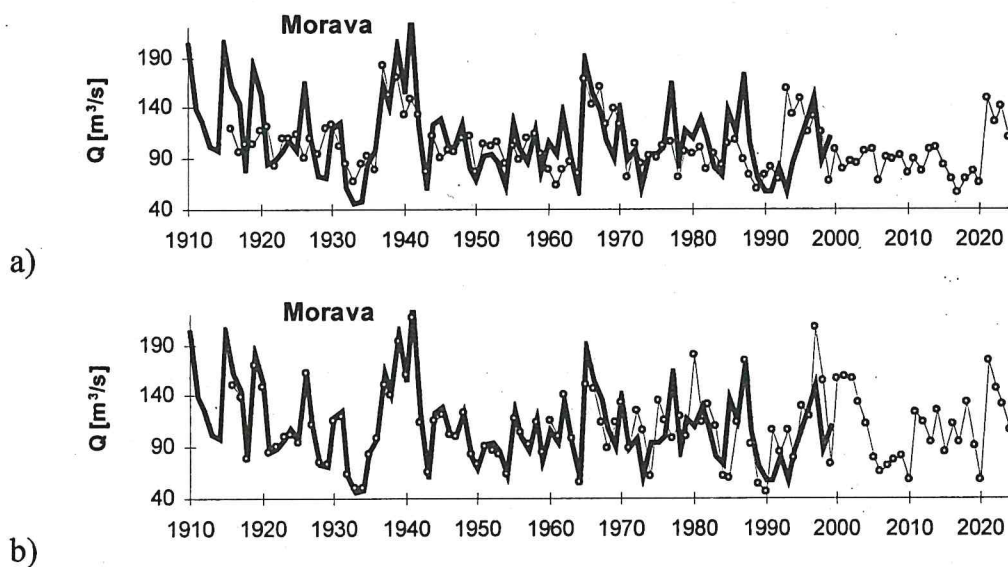
Pokračovanie Obr. IV.1 (Continuation of Figs. IV.1)



Obr. IV.1 Histogramy rozdelenia zrážkových, teplotných a prietokových radov (vľavo), odchýlky od normality (vpravo)

Figs. IV.1 Histograms of precipitation, temperature and discharge time series (links), normal probability plots (right)

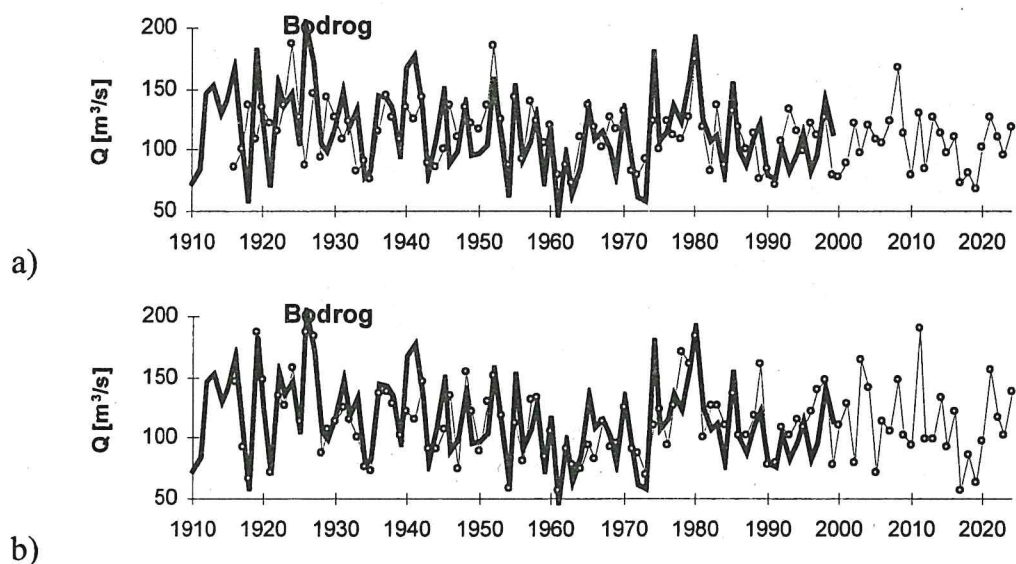
Priebehy simulovaných ročných prietokov riek Morava a Bodrog podľa oboch modelov sú znázornené na obrázkoch IV.2. a IV.3.



Obr. IV.2 Priebeh meraných prietokov (hrubá čiara) a hodnoty prietokov predpovedané (čiara s bodmi) a) jednoduchým exponenciálnym vyhladením ; b) modelom SARIMA

Figs. IV.2 Course of average discharge - observed (bold line) and predicted values (line with points) with a) simple exponential smoothing; b) model SARIMA





Obr. IV.3 Priebiež meraných prietokov (hrubá čiara) a hodnoty prietokov predpovedané (čiara s bodmi) a) jednoduchým exponenciálnym vyhladením ; b) modelom SARIMA

Figs. IV.3 Course of average discharge - observed (bold line) and predicted values (line with points) with a) simple exponential smoothing; b) model SARIMA

V tabuľke IV.1 sú uvedené priemerné 5-ročné prietoky uvedených štyroch riek a úhrnov zrážok na územie SR na 24 rokov dopredu modelom 1.

Tab. IV.1 Dlhodobá predpoveď priemerných hodnôt prietokov a zrážok pre budúce obdobie jednoduchým exponenciálnym vyhladením

Table IV.2 Long-time prediction of mean discharge (precipitation) for next periods according to simple exponential smoothing

| Obdobie   | Dunaj Q<br>[m³.s⁻¹] | Morava Q<br>[m³.s⁻¹] | Bodrog Q<br>[m³.s⁻¹] | Váh Q<br>[m³.s⁻¹] | SR-ZR<br>[mm] |
|-----------|---------------------|----------------------|----------------------|-------------------|---------------|
| 2000-2004 | 1936                | 88                   | 101                  | 140               | 734           |
| 2005-2009 | 1948                | 88                   | 124                  | 143               | 745           |
| 2010-2014 | 2055                | 88                   | 107                  | 136               | 756           |
| 2015-2019 | 1836                | 71                   | 86                   | 120               | 727           |
| 2020-2024 | 2255                | 118                  | 111                  | 156               | 803           |

Tab. IV.2 Dlhodobá predpoveď priemerných hodnôt prietokov a zrážok pre budúce obdobie podľa Boxových-Jenkinsových SARIMA modelov

Table IV.2 Long-time prediction of mean discharge (precipitation) for next periods according to Box-Jenkins SARIMA models

| Obdobie   | Dunaj Q<br>[m³.s⁻¹] | Morava Q<br>[m³.s⁻¹] | Bodrog Q<br>[m³.s⁻¹] | Váh Q<br>[m³.s⁻¹] | SR-ZR<br>[mm] |
|-----------|---------------------|----------------------|----------------------|-------------------|---------------|
| 2000-2004 | 1990                | 143                  | 125                  | 163               | 750           |
| 2005-2009 | 1767                | 74                   | 108                  | 147               | 778           |
| 2010-2014 | 2129                | 103                  | 123                  | 149               | 848           |
| 2015-2019 | 1842                | 103                  | 84                   | 132               | 767           |
| 2020-2024 | 2291                | 123                  | 122                  | 157               | 809           |

## V. ZÁVERY

Pojem zmeny klímy sa v súčasnosti vo verejnosti stáva všeobecne známym a dôsledky klimatických zmien na režim odtoku sú rozpracovávané v mnohých prácach. Dostávame sa do štádia, že každý výkyv v meteorologických, či hydrologických údajoch je okamžite pripisovaný tomuto fenoménu. Cieľom tejto práce bolo dať priestor čitateľovi k zamysleniu sa nad otázkami prírodných zákonitostí kolísania zrážkových a prietokových radov.

Z analýzy cyklickosti a z trendovej analýzy prietokových radov vyplývajú nasledujúce závery:

- Z výsledkov vyše 150-ročnej časovej analýzy riek s dlhými radmi pozorovaní prietokov (Rýn, Dunaj, Ne-man, Neva) vyplýva, že v dlhodobom meradle v týchto riekach nedochádza k poklesu resp. nárastu prietokov.
- Na Slovensku existujúce štyri 99-ročné prietokové rady sú príliš krátke na odhalenie dlhodobých – viac ako 100 ročných – trendov. Ukazuje sa možnosť existencie cca 28-ročných cyklov vlhkých a suchých období.
- Pri prietokových radoch slovenských tokov zaznamenávame v období rokov 1981–1993 v takmer všetkých povodiach klesajúci trend prietokov. Tento pokles (spôsobený predovšetkým poklesom ročných zrážkových úhrnov na územie SR) by bolo možné pripísať na rub prirodzeného 26- až 29-ročného cyklu kolísania zrážok a teda aj prietokov.
- Z analýzy teplotných a zrážkových ročných radov z viacerých staníc SR vyplýva, so stúpajúcimi teplotami zrážkové úhrny klesajú.
- Metódou periodogramu boli identifikované najvýznamnejšie periódym meraných teplotných, zrážkových a prietokových radov. Vo všetkých radoch boli identifikované periódym dĺžky cca 26–28 rokov, 22 rokov, 13–14 rokov, 7 rokov, 5 rokov, 4,3 roka 3,6 roka a 2,3 roka.
- Ak chceme určiť lineárny trend neovplyvnený 13- a 28-ročnou periodickosťou prietokového radu, navrhujeme určovať trend za obdobie rokov uzavretého cyklu, začínajúceho a končiaceho maximami (resp. minimami). Hydrologické charakteristiky tokov by sa mali určovať za obdobie uzavretého cyklu (napr. 1931–1958 alebo 1931–1985). Trendy vypočítané z 15–20 ročných radov pozorovaní prietokov môžu byť ovplyvnené pravidelným prietokovým cca 26–29-ročným cyklom.
- Pri porovnávaní charakteristík kratších období (napr. 15-ročných období) musíme suché obdobie porovnávať s predchádzajúcimi suchými obdobiami a naopak (s posunom cca 28 rokov). Hydrologické režimové charakteristiky obdobia 1981–1995 by sa mali porovnať s režimovými charakteristikami obdobia 1953–1967 resp. 1925–1939. Ak analýzou týchto radov bude dokázaná výrazná zmena v režimových hydrologických charakteristikách, môžeme ich snád pripísať na vrub klimatickej zmeny.

V predloženej práci sú použité staršie i moderné metódy analýzy časových radov. Vyplývajú z nej nasledujúce námety pre budúce analýzy:

- Nevyhnutná je podrobná časová analýza predovšetkým zrážkových radov (nakolko tieto rady majú dlhšie pozorovania, Szolgay a kol., 1997). Do analýzy je potrebné zahrnúť čo najdlhšie historické rady merané v SR doplnené o najnovšie pozorovania. Vhodné by bolo spracovať periodogramy a skúmať cyklickosť rôznych riek pozdĺž poludníka – s rôznou zemepisnou šírkou. Smerom k pólom budú výsledky analýz cyklickosti pravdepodobne jednoznačnejšie a smerodatnejšie. Zaujímavá by bola tiež analýza posunu cyklov po rovnobežke. Predpokladáme, že na protihľadje pologuli budú cykly rastu a poklesu prietokov opačné.
- Nakolko medzi prietokmi v povrchových tokoch a zrážkami (resp. teplotami) existuje úzka súvislosť, bolo by vhodné pokúsiť sa predĺžiť ročné (poprípade i mesačné) prietokové rady do minulosti na základe meraných ročných úhrnov zrážok a priemerných ročných teplôt. (Možné je pri tom použiť viacnásobnú lineárnu regresiu (napr. Majerčáková a Šedík, 1997), alebo nakalibrovaný zrážko-odtokový model pre dané povodie (Kostka a Holko, 2000). Takto predĺžené rady by bolo možné podrobiť ďalšej analýze za účelom potvrdenia dĺžky cyklov poklesu a rastu prietokov.
- V súvislosti s výskytom a opakovaním sa katastrofálnych povodní by bolo potrebné študovať cyklickosť ich výskytu na radoch extrémnych prietokov (Pekárová, 2000c) a extrémnych denných zrážkových úhrnov. Treba overiť, či aj v prípade týchto veličín existuje nejaká pravidelnosť hustejšieho výskytu extrémnych udalostí vo vlhkých/suchých/prechodných obdobiach.

Z analýzy výsledkov modelov vyplýva, že po zrážkovo bohatších rokoch 1994–1999 možno v rokoch 2000–2004 očakávať opäť suché obdobie. Nemožno sa spoliehať na fakt, že po prechodnom poklese spotreby vody v dôsledku zložitej ekonomickej situácie u nás je pitnej a úžitkovej vody dostatok a nie je potrebné hľadať a budovať nové zdroje vody. Ak by sa v najbližších desaťročiach malo zopakovať sucho z období 1944–1960 alebo 1982–1993, je potrebné už dnes počítať u nás s nedostatkom pitnej a úžitkovej vody u značnej časti obyvateľstva.



**Pod'akovanie:**

*Tento príspevok bol riešený v rámci spoločného grantového projektu VEGA 2/6008 ÚH SAV a STU „Regionálne hydrologické scenáre vývoja režimu kvality a kvantity vôd v tokoch vo vybraných oblastiach SR pre integrované hospodárenie s povrchovými vodnými zdrojmi“.*

*Prietokové rady zo slovenských staníc boli poskytnuté Slovenským hydrometeorologickým ústavom v Bratislave, ostatné boli získané z medzinárodnej databázy prietokov GRDC (Global Runoff Data Centre).*

## LITERATÚRA

- ANDĚL, J., 1978: Matematická statistika. SNTL/ALFA, Bratislava.
- BALEK, J., 1968: Lineární extrapolace průměrných ročních průtoků vybraných řek čtyř kontinentů. J. Hydrol. Hydromech., 16, 3, 402-428.
- BENICKÝ, J., 1996: Klimatische Änderungen oder nur eine Langfristige schwankung. In: XVIII. Conference of Danube Countries. Vol. 19/1, p. A199-A204.
- BRŮŽEK, V., 1982: Dlouhodobé kolísání teploty, srážek a cirkulace ve střední Evropě. Meteorologické zprávy, 35, 136-140.
- BRŮŽEK, V., 1987: Dlouhodobá předpověď srážek ve vztahu ke sluneční a geomagnetické aktivitě. Meteorologické zprávy, 40, 173-175.
- BRADLEY, R., S., 1994: Reconstruction of Climate from A.D. 1000 to the Present. In: Proc. Contemporary climatology. Ed. by Brázdil and Kolář. Brno, 12-21.
- BRATRÁNEK, A., 1960: Výskyt období extrémních vodností ve střední Evropě a jejich význam z vodohospodářského hlediska. J. Hydrol. Hydromech., 8, 1, 3 - 14.
- BRATRÁNEK, A., 1964a: Proměnlivost srážek v dlouhodobých řadách a její vztah ke kolísání slunečné aktivity. Meteorologické zprávy, 17, č.4, 97-104.
- BRATRÁNEK, A., 1964b: Stoleté řady průtokové v povodí Labe. Ověření spolehlivosti a jejich použití k extrapolaci dalších řad. J. Hydrol. Hydromech., 12, 4, 361 - 387.
- BRÁZDIL, R., 1986: Kolísání řad srážek a průtoků na území ČSSR ve vztahu ke kolísání sluneční aktivity. In: Práce a štúdie SHMÚ 1986, 36,7-27.
- BRÁZDIL, R., 1991: Kolísání vybraných meteorologických prvků ve střední Evropě v období přístrojových pozorování. Národní klimatický program. 2. Praha.
- ČUNDERLÍK, J., 1999a: Flood flow regionalization based on distribution parameters and its use for quantile estimation at ungauged sites. In: Vlasák, P. et al., eds.: Problems in Fluid Mechanics and Hydrology. IAH AS CR, Prague 372-379.
- ČUNDERLÍK, J., 1999b: Regionalisierung von Abflüssen, basierend auf vor Ort gemessenen Daten - eine alternative Vorgehensweise. In: Berichte 9, ed. Koehler, G.: Bemessungsabflüsse fuer kleine Einzugsgebiete. Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft TU Kaiserslautern, 125-138.
- ČUNDERLÍK, J., 2000a: Flood flow regionalization based on L-moments and its use with the index flood procedure. In: Flood Issues in Contemporary Water Management eds. Maršalek, J., Watt, E., Zeman, E., Sieker, F. Kluwer Academic Publishers, Vol.71, 49-59.
- ČUNDERLÍK, J., 2000b: Iterative regionalization search based on L-moments and its application to indirect flood estimation. In: XX. Konferenz der Donauländer, Bratislava, 8 s., CD.
- ČUNDERLÍK, J., HLAVČOVÁ, K. 2000: Nové hydrologické scenáre zmeny odtoku pre vybrané povodia stredného Slovenska. In: Hydrologické dny - nové podnety a vize pro příští století, ČVH, SVH, ČHMÚ, Plzeň, 273-289.
- ČUNDERLÍK, J., HLAVČOVÁ, K., 1999: Vplyv klimatickej zmeny na mesačnú vodnosť tokov vo vybraných povodiach východného Slovenska. In: Vplyv vodohospodárskych stavieb na tvorbu a ochranu životného prostredia. 3. Konferencia s medzinárodnou účasťou, KHT SvF STU, Krpáčovo, 193-200.
- DEÁKOVÁ, K., 1997: Trendová analýza minimálnych mesačných prietokov. Práce a štúdie 56. SVH - SHMÚ, Bratislava, 99-108.
- DEÁKOVÁ, K., 2000: Analýza hydrologického sucha, Dizertačná práca, KVHK STU, Bratislava.
- DUB, O., 1954: Všeobecná hydrologia Slovenska, Vydav. SAV, Bratislava, 151 str.
- FRIGANCOVÁ, A., HVOŽDARA, M., BIELEKOVÁ, M., NIEPLOVÁ, E., LAPIN, M., 1997: Plausible solar activity impact on climate evolution in Central Europe. In: Annales Geophysicae, Part II, Supplement II to Vol. 15, p. C 509.
- GUSTARD, A., NOVICKY, O., DEMUTH, S., TALLAKSEN, L., VAN LANEN, H., CLAUSEN, B., KASPAREK, L., MIKLÁNEK, P., MAJERČÁKOVÁ, O., FENDEKOVÁ, M., KUPCZYK, E., RADCZUK, L., CZAMARA, W. 1997: Low Flows and Droughts in Northern Europe. FRIEND Third report 1994-1997 (ISBN 2-85362-475-3). CEMAGREF, Lyon, 132-149.
- HALMOVÁ, D., 1999a: Klimatická zmena a viacúčelová nádrž Vihorlat. XI.Konf. mladých hydrologov a mladých meteorol. a klimatol. Práce a štúdie 62, SHMÚ Bratislava, 45-55.
- HALMOVÁ, D., 1999b: Očakávané dôsledky klimatických zmien v oblasti vodného diela Domaša. Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia, ÚH SAV, Odd.hydrologie nížin Michalovce, 78-83.
- HALMOVÁ, D., 2000a: Comparison of the Effect of the Expected Climate Change upon Water Reservoirs in Eastern Slovakia. XXth Conference of the Danubian Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, SHMÚ Bratislava, 8s.



- HALMOVÁ, D., 2000b: Klimatická zmena v povodí nad vicúčlovou nádržou Vihorlat (Zemplínska Šírava). Vodohosp. Spr. XLIII, 2, 11-13.
- HALMOVÁ, D., 2000c: Klimatické zmeny a premenlivosť klímy na Slovensku. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, 1, 79-87.
- HALMOVÁ, D., 2000d: Očakávané dôsledky klimatických zmien v oblasti vodného diela Orava. Hydrologické dny. Nové podnety a vize pro příští století., ČVH, SVH, ČHMÚ a ČVTVHS, 419-426.
- HLADNÝ, J., 2000: Hrozba vodní krize ve světě a strategické úkoly hydrologie. Hydrologické dny 2000. ČVH a SVH, Praha, 1-12.
- HLAVČOVÁ, K., SZOLGAY, J., ČUNDERLÍK, J., PARAJKA, J., LAPIN, M., 1999: Impact of Climate Change on the Hydrological Regime of Rivers in Slovakia. Publikácia SVH č. 3 (ISBN 80-227-1296-5), STU a SVH, 101.
- HOUGHTON, J., 1998: Globální oteplování. ACADEMIA Praha, AVČR, 228 str.
- KASPÁREK, L., 2000: Vliv kolísání klimatu na postup výpočtu návrhových hydrologických dat. Hydrologické dny 2000. ČVH a SVH, Praha, 257-263.
- KLIGE, R., K, SELIVANOV, A., O., VORONOV, A., M., 1989: Izmenenia vodnogo režima territorii SSSR za poslednye tysjačiletie. Vodnye resursy, č. 5, 28-40.
- KOHNŮVÁ, S., DUDLEY, W., SZOLGAY, J., 2000: Analyse der raumlichen Variabilität von Starkniederschlägen in der Slowakei fuer die regionale Hochwasseranalyse. In: XX. Konferenz der Donauländer, Bratislava, 8 s., CD.
- KOHNŮVÁ, S., SCHNEIDER, K., SZOLGAY, J., 2000: Untersuchungen zur Anwendbarkeit des Konzeptes der regionalen Homogenität fuer die Bestimmung von Bemessungshochwassern in der Slowakei. Berichte 11, TU Kaiserslautern, BRD. ISSN 1433-4860, 67-83.
- KOHNŮVÁ, S., SZOLGAY, J., 1999a: Comparison of regional flood frequency analysis methods in a homogenous mountain region of Slovakia. European Geophysical Society XXIV General Assembly, Den Haag, Netherland, Geophysical Research Abstracts, Volume 1, Number 4, 867.
- KOHNŮVÁ, S., SZOLGAY, J., 1999b: Regional estimation of design summer flood discharge in small catchments of northern Slovakia. In: Gottschalk, L. – Olivry, C. – Reed, D. – Rosbjerg, D. eds.: Hydrological extremes: Understanding, Predicting, Mitigating. IAHS publ. No. 255, IAHS Press Wallingford, 265-268.
- KOHNŮVÁ, S., SZOLGAY, J., 2000a: Identifikácia homogénnych regionálnych typov pre regionálne určovanie návrhových prietokov. In: Hydrologické dny – nové podnety a vize pro příští století, ČVH, SVH, ČHMÚ, Plzeň, 291-298.
- KOHNŮVÁ, S., SZOLGAY, J., 2000b: Regional estimation of design flood discharges for river restoration in mountainous basins of northern Slovakia. In: Flood Issues in Contemporary Water Management eds. Maršalek, J., Watt, E., Zeman, E., Sieker, F., Kluwer Academic Publishers, Vol.71, 41-49.
- KOHNŮVÁ, S., SZOLGAY, J., 2000c: Pooling catchments according to physiographic properties for regional estimation of design floods. European Geophysical Society XXV General Assembly, Nice, France, Geophysical Research Abstracts, Volume 2, ISSN: 1029-7006, CD.
- KOHNŮVÁ, S., SZOLGAY, J., 1999c: Regionálny odhad štatistických charakteristík návrhových maximálnych letných prietokov v oblasti Slovenského Rudohoria. In: Vplyv vodohospodárskych stavieb na tvorbu a ochranu životného prostredia. 3. Konf.s medzinárodnou účasťou, Krpáčovo, 201-206.
- KONČEK, M., 1972: Priebeh teploty vzduchu v Bratislave za 195 rokov 1976-1970. Meteorologické zprávy, 26, č.6, 145-152.
- KONÍČEK, A., 1999.: Extrémne odtoky v povodiach. Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia, ÚH SAV, Odd.hydrol.nízin, Michalovce, 61-65.
- KOPECKÝ, M., 1956: Periodicita a předpovědi výskytu slunečních skvm. Meteorl. zprávy, 9, č.4, 108-112.
- KOPECKÝ, M., 1957: Emise sluneční aktivity. Meteorologické zprávy, 10, č.4, 132-133.
- KOSTKA, Z., HOLKO, L., 2000: Sparava NKP
- KŘIVSKÝ, L., 1957: Kolísání podnebí u nás a klimatologická prognosa pro nejbližších několik desetiletí. Meteorologické zprávy, 10, č.3, 71-72.
- LAPIN, M., 1992: Možné dopady predpokladaných zmien klímy na vodnú bilanciu na Slovensku. NKP ČSFR. ČHMÚ Praha, č.7, 51-87.
- LAPIN, M., 1994: Očakávané globálne oteplenie atmosféry a jeho možné dopady na našom území. Zborník príspevkov z odbornej konferencie: Prognózované zmeny klímy a zmiernenie ich negatívneho vplyvu na krajinné prostredie, Bratislava, 10-30.
- LAPIN, M., 1997: Scenáre klimatickej zmeny v SR. NKP 6/1997 - Klimatické zmeny - hydrológia a vodné hospodárstvo SR. MŽP SR a SHMÚ, Bratislava, 111-117.
- LAPIN, M., NIEPLOVÁ, E., FAŠKO, P., 1995: Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. NKP SR, II, zv. 3., MŽP SR a SHMÚ, 19-57.
- LAPIN, M., ŠIPÓCZ, M., 1991: Možné dopady predpokladaných zmien klímy na vodnú bilanciu na nížinách Slovenska. Meteorologické zprávy, 44, č. 3, 79-83.
- LAPIN, M., MELO, M., DAMBORSKÁ, I., GERA, M., FAŠKO, P., 2000: Nové scenáre klimatickej zmeny pre Slovensko na báze výstupov prepojených modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry. In.: Scenáre klimatickej zmeny a impakty, Národný klimatický program SR, V, zv. 8, MŽP SR a SHMÚ, 5 – 34.
- LUKJANETZ, O., SOSSEDKO, M., 1998: Runoff estimate for the next years in the Carpathians with regard to multi-annual fluctuations. In. Proc.: XIX conference of the Danube countries, Osijek, Croatia, 393-401.
- MAJERČÁKOVÁ, O., MINÁRIK, B., 1994: The possible change of Slovak water balance with respect to climate change. In: Zborník z medzin. konf.: Klimatická zmena a земедělství, VŠZ Brno.



- MAJERČÁKOVÁ, O., ŠEDÍK, P., 1994: Zmeny odtokov na slovenských tokoch. NKP SR, I, zv. 2. 111-137.
- MAJERČÁKOVÁ, O., ŠEDÍK, P., 1996: Možné ovplyvnenie odtoku počas roka v dôsledku potenciálnych klimatických zmien. Zborník Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia. (Ed: Ivančo, Gomboš, Paveleková). ÚH SAV, Michalovce, 55-60.
- MAJERČÁKOVÁ, O., ŠEDÍK, P., 1997: Hydrologické scenáre možných zmien odtokov počas roka na slovenských tokoch. NKP 6/1997 - Klimatické zmeny - hydrológia a vodné hospodárstvo SR. MŽP SR a SHMÚ, Bratislava, 125-140.
- MIKLÁNEK, P., 1997: Study of water balance elements in Slovak experimental basins. In: Proc. Experimental hydrology with reference to hydrological processes in small research basins. St. Petersburg.
- MIKLÁNEK, P., 1999: Trends of water balance elements in Slovak experimental basins. Int. Workshop "Experimental Hydrology with Reference to Hydrological Processes in Small Research Basins". St. Petersburg-Valdai. IHP/OHP Germany, 75-80.
- MOSNÝ, V., 1995: Dôsledky zmien teploty vzduchu a zrážok na zmeny variability odtoku v modelovanom povodí Hrona. NKP SR. Zv. 3. 79-96.
- NOVÁK, V., ŠTEKAUEROVÁ, V., 1994: Zmeny vodnej bilancie nížin na Slovensku spôsobené očakávanými globálnymi zmenami. Zbor. Klimatická zmena a земедельství, VŠZ, Brno, 27-31.
- PARAJKA, J., 1999a: Testing the Snowmelt Runoff Model SRM for the Upper Hron Basin. XI. Konf. mladých hydroológov a mladých meteorol. a klimatol. Práce a štúdie 62., SHMÚ Bratislava, 105-116.
- PARAJKA, J., 1999b: Grid-based mapping of the long-term mean annual precipitation in Slovakia. Geophysical Research Abstracts, Vol.1, 2, 353.
- PARAJKA, J., 1999c: Mapovanie zrážok regiónu Východného Slovenska. Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia, ÚH SAV, Odd. hydrológie nížin Michalovce, 193-197.
- PARAJKA, J., 1999d: Mapping long-term mean annual precipitation in Slovakia using geostatistical procedures. Int. Conf. "Problems in Fluid Mechanics and Hydrology", Institute of Hydrodynamics AS CR, 424-430.
- PARAJKA, J., 2000a: Mapovanie dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok Slovenska s využitím geoštatistických metód. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, 1, 59-66.
- PARAJKA, J., 2000b: Mapping Long-Term Regional Runoff/Precipitation Ratio in Slovakia. XXth Conference of the Danubian Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management., SHMÚ Bratislava, CD, 8.
- PEKÁROVÁ, P., 1998: Kolísanie zrážkových, teplotných a prietokových radov v povodí horného Váhu, II. časť: prietoky. Acta hydrologica Slovaca, 1/1998, 84-91.
- PEKÁROVÁ, P., 1999: Hydrologické scenáre vývoja odtokového režimu Bodrogu. Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia, ÚH SAV, Odd. hydrológie nížin Michalovce, 90-95.
- PEKÁROVÁ, P., 2000a: Kolísanie odtoku v povrchových tokoch. Vodohospod. spr. XLIII- 9, 18-19.
- PEKÁROVÁ, P., 2000b: Metódy dlhodobej predpovede priemerných ročných prietokov. Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, 1, 67-78.
- PEKÁROVÁ, P., 2000c: Generovanie prietokových radov Dunaja stochastickými modelmi ARIMA, Acta Hydrologica Slovaca, ÚH SAV, 2, v tlači.
- PEKÁROVÁ, P., PEKÁR, J., 2000: Long-Term Runoff Analysis of Slovakia Rivers. XXth Conference of the Danubian Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, SHMÚ Bratislava, CD, 8 s.
- PEKÁROVÁ, P., SZOLGAY, J., MIKLÁNEK, P., 2000: Regionálne hydrologické scenáre vývoja režimu vôd, VIII. Posterový deň, CD.
- PETROVIČ, P., 1997: Climate change impact on water management in the Nitra basin (Slovakia). In: Annales Geophysicae, Part II, Supplement II to Vol. 15, p. C 308.
- POČUROVÁ, J., PODOLINSKÁ, J., 1997: Režimové hydrologické charakteristiky prietokových radov za obdobie 1931-1995 a 1981-1995. NKP 6/1997 - Klimatické zmeny - hydrológia a vodné hospodárstvo SR. MŽP SR a SHMÚ, Bratislava, 141-147.
- PROCHÁZKA, M., 1984: Srovnání různých metod určení řádu autoregresního modelu při modelování průměrných měsíčních průtoků. J. Hydrol. Hydromech., 32, 2, 139-147.
- PROCHÁZKA, M., 1989: Statistická analýza vybraných řad průměrných měsíčních průtoků v ČSR J. Hydrol. Hydromech., 37, 6, 578-611.
- PROCHÁZKA, M., 1990: Možnosti posuzování kvality umělých řad. Sborník přednášek. III. československé hydrologické dny, České Budějovice.
- PROCHÁZKA, M., 1991: A quality checking of different models for monthly streamflow generation. Part 1: Used methods and experimental design. J. Hydrol. Hydromech., 39, 1991, 5-6, 345-353.
- SMITH, K., FOSTER, M., WERRITTY, A., 1997: Long-term and short-term hydroclimatic variability in Scotland and Northern Ireland. In: Annales Geophysicae, Part II, Supplement II to Vol. 15, p. C 309.
- SOUKAOVÁ, E., 2000: Statistická analýza dat podzemních vod. Hydrologické dny 2000. ČVH a SVH, Praha, 559-572.
- SVOBODA, A., 1963: Klasifikácia československých riek podľa variability priemerných ročných prietokov a prietokov vegetačného obdobia. KDP, Bratislava, 125 str.
- SVOBODA, A., 1994: Dopady klimatických zmien na vodné zdroje - aké máme podklady? J. Hydrol. Hydromech., 42, 1, 14-24.
- SVOBODA, A., 1995: Bilančný model odtoku z povodia - nástroj na riešenie dopadov zmien klímy na vodné zdroje. Prednáška na seminári ÚH SAV, Bratislava.

- SVOBODA, A., PEKÁROVÁ, P., MIKLÁNEK, P., 2000: Flood hydrology of Danube between Devín and Nagymaros. SVH – ÚH SAV, 96 s.
- SZOLGAY, J., HLAVČOVÁ, K., PARAJKA, J., ČUNDERLÍK, J., 1997: Vplyv klimatickej zmeny na odtokový režim na Slovensku. NKP 6/1997 - Klimatické zmeny - hydrológia a vodné hospodárstvo SR. NKP SR, VI, MŽP SR a SHMÚ, Bratislava, 11–110.
- SZOLGAY, J., HLAVČOVÁ, K., 2000: Modelové riešenie odhadov vplyvu zmeny klímy na hydrologický cyklus a vodné hospodárstvo. Životné prostredie, XXXIV, č. 2, 75–80.
- ŠAMAJ, F., VALOVIČ, Š., 1982: Priestorové úhrny zrážok na Slovensku (1881–1980). Meteorologické zprávy, 35, 108–112.
- ŠKODA, P., KULLMAN, E., 1997: Monitorovanie zmien klímy na vybraných hydrologických staniciach na Slovensku. NKP 6/1997 - Klimatické zmeny - hydrológia a vodné hospodárstvo SR. MŽP SR a SHMÚ, Bratislava, 118–124.
- ŠVEC, G.I., (1962): Pokus o rekonštrukciu hydrologických údajov o Dnepri. J. Hydrol. Hydromech., 10, 1, 3–10.
- TAKÁČ, I., 1989: Zákonitosti kolísania priemerných ročných prietokov vo vybraných staniciach SSR. Zborník CPZV 04. Procesy vzniku, ochrana a využiteľnosť zdrojov pitnej vody. (Ed. Balco, M.). Stará Lesná, 36–41.
- WALANUS, A., SOJA, R., 1995: The 3.5yr period in river runoff – is it random fluctuation? In: Procced. Hydrological Processes in the Catchment (Ed. by B. Wiczik), Cracow, Poland, 141–148.

## THE AVERAGE ANNUAL DISCHARGE OSCILATION REGULARITIES

*Pavla Pekárová, Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Račianska 75, Bratislava*

### SUMMARY

This paper deals with a statistical analysis of cyclicity and trends in discharge time series of some selected rivers and with a stochastic forecast of their flows for the next years. The study consists of four chapters.

In the first chapter, a short review of literature is given.

In the second chapter, the periodicity of annual temperature and precipitation series was studied. Using the spectral analysis the following cycles were identified in the temperature and precipitation time series: 28; 26; 25; 21; 14–13; 11.7; and 7–6, and short cycles of about 4.2–4.6; 3.6 years, and 2.1–2.35 years. The basic cycle in the precipitation data on the Slovak territory is ca 13–14 years (Fig. II.5). Brázdil (1986) found the some periods in precipitation time series of the territory of the Czech Republic – 13.3 year, as well as 18–21 years in the Bohemia territory precipitation. The relationship between precipitation and discharge series was analyzed, too. On Fig. II.8, the relationship between seven years moving averages of annual discharge time series and precipitation time series is presented. A significant runoff decrease, recorded in Slovak rivers during 1980–1995, was caused by the precipitation decrease.

In the third chapter, the European long time discharge series are analysed (Rhine, Neman, Neva (Fig. III.1), as well as Danube (Fig. III.3)). All, the stationarity, homogeneity, trend, and periodicity of annual discharge series were studied. In both, the Vuoksi and the Neman Rivers, significant 6–7-, 13–14- and 26–28- years cycles were identified (Fig. III.2). Especially in the Nordic river Vuoksi, the results of the spectral analysis are evident.

In the Slovak rivers - the Váh at Trnovec, the Morava at Moravský Ján, and the Bodrog at Streda n. Bodrogom - the significant 3.6-years period was found. This period is manifested by substantial changes in runoff regime on a seven-year basis (seven dry years followed by seven wet ones). The wet periods were: 1912–1916; 1926–1927; 1939–1943; 1966–1970; 1978–1982, as well as the years 1996–1999 (Fig. III.4). Using spectral analysis, periods of 2.4-; 4.2-; 5-; 6–7-; 14-; 21- and 26–28- years were identified (Fig. III.5).

From the analysis of the cyclicity and trend of the discharge time series the following conclusions can be drawn: At almost all Slovak stations, the discharge time series recorded during the years 1960–1995 show a decreasing trend. A significant decrease of the runoff occurred in the period 1978–1993. It was mainly caused by a natural 26–28 years discharge oscillation cycle. The seasonal integrated mixed model ARIMA (P,D,Q) x(p,d,q)<sub>L</sub> predicts a moderate decrease of annual discharge for the period 2000–2006.



## DÔSLEDKY KLIMATICKEJ ZMENY NA HYDROLOGICKÝ REŽIM V POVODÍ NITRY

*Pavel Petrovič, Výskumný ústav vodného hospodárstva, Nám. arm. gen. Svobodu 5, 812 49 Bratislava  
pavelp@vuvh.sk*

### 1. ÚVOD

Príspevok VÚVH do zborníkov NKP SR je prvou prezentáciou našich prác na tejto pôde, neznamená to však, že sa ako v rámci VÚVH, tak aj v rámci vodného hospodárstva v oblasti štúdia možných dôsledkov klimatickej zmeny, predmetné problémy neriešili. V súvislosti s vytvorením programu NKP na Slovensku sa na Ministerstve pôdohospodárstva SR v období 1995 – 1998 pod číslom VTP 514-54 riešil vedecko-technický projekt „DÔSLEDKY PREMENLIVOSTI KLÍMY NA HYDROLOGICKÝ REŽIM A VODNÉ HOSPODÁRSTVO“ [1]. Tento projekt pozostával zo štyroch čiastkových úloh, pričom dve čiastkové úlohy boli zamerané na dôsledky pre kvantitatívnu a kvalitatívnu vodohospodársku bilanciu, jedna čiastková úloha bola zameraná na odhad možných zmien procesov pôsobiacich v povrchových vodách pri samočistiacich procesoch. Jedna čiastková úloha [2] sa explicitne zaoberala dôsledkami na hydrologický režim v povodí Nitry, a to pre tri (kumulatívne narastajúce) čiastkové povodia – Nitra po Chalmovú, Nitra po Nitriansku Stredú a napokon Nitra po Nové Zámky. Projekt bol prijatý oponentúrou v októbri 1998 a dosiahnuté výsledky boli prezentované na rôznych domácich i zahraničných konferenciách, vo Vodohospodárskom spravodajcovi [3-7] a taktiež na WEB stránke VÚVH.

V zmienenom projekte sme použili scenáre vydané v tom období gestorujúcim SHMÚ Lapin et al. [8]. Počas riešenia projektu sme síce sledovali ďalšie publikácie NKP [9 – 14], ale s ohľadom na postup prác na projekte podľa schválenej metodiky sme vychádzali iba z pôvodných siedmich scenárov, ktoré boli k dispozícii na začiatku roka 1996.

Koncom roka 2000 sme sa po výzve SHMÚ zapojili do aktuálnych prác so zámerom opäť použiť model pôvodne upravovaný pre zmienený VTP pre profil Nové Zámky so vstupnými dátami podľa novo vydaných scenárov a nové výsledky porovnať s predtým vypočítavanými odhadmi možných dôsledkov na hydrologický režim.

Nakoľko nové scenáre [15] sú formálne definované odlišne, než pôvodné, bolo treba upraviť program pre výpočty novej bilancie podľa štruktúry terajších scenárov.

Pre dostatočnú zrozumiteľnosť výkladu o použitej metodike a úpravách pri spracovaní nových scenárov vychádzame z podrobného popisu v zmienenom vedecko-technickom projekte [2]. Tento príspevok prináša nové výsledky pre povodie Nitry po profil Nové Zámky podľa nových scenárov a porovnáva nové výsledky s výsledkami získanými pri riešení vedecko-technického projektu, ukončeného v r. 1998.

### 2. SÚČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

Ak sumarizujeme súčasný stav riešenia problematiky z hľadiska vodného hospodárstva, treba začať od Rámcového dohovoru OSN o klimatických zmenách, ktorý NR SR ratifikovala 18. augusta 1994. Administratívnych krokov a následných opatrení bolo viac a sú zhrnuté v základnom príspevku koordinujúceho pracoviska Národného klimatického programu v Zborníku NKP zv. 8. Vrcholové predpisy a opatrenia ukladajú rezortom, že sa majú na vlastné náklady a vo vlastnej kompetencii zaoberať otázkou očakávateľných zmien v oblasti ich pôsobnosti a problematikou ich možného zmiernenia.

Za dôležitú z nášho hľadiska považujeme skutočnosť, že v zmysle Národného klimatického programu (ďalej len NKP) sa rezort poľnohospodárstva v oblasti vody zapojil do prešetrovania očakávateľných rizík a dal si vypracovať návrh zmierňovacích opatrení. V rokoch 1995 až 1998 sa teda vo VÚVH v spolupráci s viacerými organizáciami (vrátane SHMÚ) riešil už v úvode zmienený vedecko-technický projekt (ďalej len VTP) 514-54.

Podrobný popis získaných výsledkov a návrh zmierňovacích i organizačných opatrení pre vodné hospodárstvo je v záverečnej správe za celý projekt [1]. Konkrétny rozbor hydrologickej situácie pre tri profily v povodí (Nové Zámky, Nitrianska Streda a Chalmová) je v záverečnej správe čiastkovej úlohy č. 1 [2].

V našom prístupe v oblasti vodného hospodárstva sa vychádzalo z toho, že MŽP SR ako gestor celého NKP poveril svoju organizáciu - SHMÚ základnými koncepčnými prácami súvisiacimi s prípravou



scenárov možných zmien základných hydrometeorologických prvkov. Preto pre zmienený VTP sme použili scenáre spracované SHMÚ (ide o aplikáciu svetových scenárov na naše pomery, tzv. downloading), v ich „prvej“ verzii podľa práce Lapina [8] a ďalších [9 - 14].

SHMÚ priebežne scenáre aj naďalej upresňuje, avšak v riešení VTP sme použili iba scenáre vydané v čase prípravy metodiky projektu. Pre jeden profil (Nové Zámky) sme spracovali ako ôsmy scenár najmiernejší scenár zo scenárov získaných od SHMÚ na jar 1998, pričom ním odvodené výsledky nevybočovali z hraníc výsledkov získaných podľa pôvodných siedmich scenárov. Pre toto súčasné vyhodnotenie sú k dispozícii dva nové scenáre, distribuované v novembri 2000.

Nebudeme tu, v rámci tejto práce, opakovat' konštatácie z rešerše zameranej na vodné hospodárstvo a spracovanej pred tromi rokmi v rámci metodiky VTP, kde je aj úplný zoznam literatúry, ktorú sme v rámci doterajších prác na problematike projektu použili, alebo získali.

Vážnosť a naliehavosť potreby riešenia situácie potvrdzujú i vlastné výsledky [15] z výskumných staníc VÚVH, spracované v rámci účelových činností (hradených do roku 1998 MP SR, neskôr, žiaľ, iba z réžie ústavu) naznačujú, že určité anomálie posledného obdobia podporujú tvrdenia o zmenách klimatických charakteristík v súlade s poznatkami z ostatných klimatologických staníc. Ak teda sumarizujeme súčasný stav problematiky vidno, že rizikové trendy sa nielenže citujú vo svetovej literatúre, ale možno ich vidieť už aj pri "krátkych" 30 až 40 ročných radoch na našich výskumných staniciach. Zdôrazňujeme, hoci z hľadiska hydrológie sa to považuje za zdanlivo okrajovú skutočnosť, aj fakt, že sa čoraz častejšie vyskytujú v lete na poludnie "púštne" relatívne vlhkosti vzduchu pod 25%. Túto skutočnosť je potrebné ešte z hľadiska dôsledkov na rastlinnú výrobu, resp. na vegetačnú pokrývku vôbec, podrobnejšie analyzovať, pretože sa tým vytvárajú pre u nás bežné plodiny priamo stresové evapotranspiračné podmienky.

Pre úplnosť je na tomto mieste potrebné zmieniť sa ešte o práci, koordinovanej MŽP SR pre potreby vrcholového riadenia a vykonávanej pod metodickým dohľadom U.S. EPA - o Country Study [17]. Ide o prácu, ktorá z existujúcich poznatkov (desk top study) sumarizuje rámcový odhad ekonomických nárokov na zmiernenie očakávateľných dôsledkov v oblasti pôsobnosti jednotlivých rezortov. Podľa osobnej informácie jedného z členov riešiteľského tímu sa odhaduje, že na Slovensku len vodné hospodárstvo na realizáciu zmiernovacích opatrení po roku 2005 bude potrebovať viac ako 2 miliardy korún. Takáto suma je sumou navyiac, ktorá sa objaví ako doplnková požiadavka v národnom hospodárstve, ak sa má zachovať súčasná úroveň uspokojovania potreby vody v nových klimatických podmienkach.

Pre súčasné obdobie na konci roku 2000 je vhodné zmieniť sa aj o spôsobe riešenia niektorých aktualizovaných problémov, súvisiacich s dôsledkami klimatických zmien. Sem patria predovšetkým:

- záмеры riešiť dôsledky klimatickej zmeny na návrhové veličiny povodní, kde sa ako testovacie územie volí povodie Kysuce, čo sa rieši ako etapa v rámci VTP 27-34 v spolupráci s KMK MFF a SHMÚ;
- otázky možných zmiernovacích opatrení na rizikový výskyt sucha, ktoré sa nedávno analyzovali; je spracovaný a v porade ministra pôdohospodárstva odobrený materiál "Návrh adaptačných opatrení rezortu pôdohospodárstva na klimatickú zmenu", ktorý sa má predložiť na rokovanie vlády.

### 3. METODIKA A PRÍPRAVA VSTUPNÝCH DÁT

Pôvodne sa vo VTP predpokladalo použitie modelu WatBal [17, 18] a modifikácie nášho modelu DAIR. [19 - 21] s použitím územných priemerov mesačných hodnôt teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, územných mesačných úhrnov zrážok a priemerných mesačných odtokových výšok vo zvolenom referenčnom bilančnom profile. V stručnosti uvádzame hlavný princíp prístupu k povodiu, ktoré nahrádzame akoby virtuálnym bodom, umiestneným vo výškovom ťažisku povodia (vážený priemer výšok podľa rozdelenia plochy s výškou). Ako teplota a vlhkosť vzduchu sa berú príslušné hodnoty odvodené z existujúcich vstupných meteorologických staníc v danom povodí (a jeho najbližšom okolí) prepočítané do nadmorskej výšky výškového ťažiska bilancovaného povodia. Pre teploty vzduchu sme uvažovali lineárnu závislosť od výšky, pre vlhkosti vzduchu (prepočítané na tlak pár) sme uvažovali lineárnu závislosť logaritmu tlaku pár od výšky (exponenciálnu závislosť pre vlastný tlak pár). Ako zrážky sa berie územný priemer zrážok v príslušnom časovom kroku (v našom prípade sa ako časový krok použil 1 mesiac). Spôsob prípravy dát je podrobne špecifikovaný v [2], využili sme program, ktorý sme spracovali pôvodne ešte pre Thiessenovu metódu určovania územných zrážok [22] s tým, že sme ako váhu príslušnej stanice brali relatívnu plochu príslušnej výškovej zóny a ako hodnotu prvku na stanici sme brali zrážky prepočítané z (lineárnej) výškovej závislosti do výšky stredu výškovej zóny.

Celkové rozloženie plôch s výškou v jednotlivých čiastkových povodiach rieky Nitry ukazuje tabuľka č. 1.



Tab. 1. Prehľad rozdelenia plôch s výškou v povodí Nitry pre jednotlivé profile

| Vrstva    | 1               | 2               | 3               | 4               | 5               | 6               | 7               | Plocha          | Stred   |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|
| od - do   | do 200          | 200 - 400       | 400 - 600       | 600 - 800       | 800 - 1000      | 1000 - 1200     | 1200 a viac     |                 | h       |
| k profilu | km <sup>2</sup> | km <sup>2</sup> | km <sup>2</sup> | km <sup>2</sup> | km <sup>2</sup> | km <sup>2</sup> | km <sup>2</sup> | km <sup>2</sup> | m n. m. |
| N. Zámky  | 767,9           | 1438,2          | 565,7           | 292,2           | 179,4           | 11,4            | 1,3             | 3256,1          | 371,5   |
| N. Streda | 159,6           | 1041,6          | 508,3           | 191,2           | 179,4           | 11,4            | 1,3             | 2092,8          | 430,1   |
| Chalmová  | 0,0             | 230,3           | 175,5           | 132,3           | 46,9            | 11,9            | 1,9             | 598,8           | 513,0   |

Ako vstupné dáta sme použili údaje zrážok z desiatich staníc z povodia (Bánovce, Kšinná, H. Motešice, Prievidza, Šipkov, Uhrovec, Valaská Belá, Veľké Uherce, Zliechov a Žihárec) v rozpätí nadmorských výšok od 111 až po 603 m n. m. Plocha nad výškou Zliechova predstavuje pre profil Nové Zámky necelých 15 % celkovej plochy, takže prípadná chyba určenia počítaných zrážok v týchto výškach sa na celkovej chybe v podpovodí po Nové Zámky prejaví približne šestinou svojej hodnoty (napr. chyba 60 % v určení zrážok vo výške nad 600 m sa v celom povodí prejaví ako chyba určenia zrážok v hodnote cca 10 %).

Prietoky v profile ústia rieky Nitry (celé povodie Nitry má približne 5040 km<sup>2</sup>) nie sú merané. Najbližší profil v Nových Zámkoch je v poslednej tretine spracovávaného obdobia ovplyvnený preloškou Žitavy. Najbližší „dobrý“ profil je v Nitrianskej Strede. Plocha povodia k tomuto profilu je však menšia, než polovina celkovej plochy povodia. Preto sme sa rozhodli predsa len za bilančný profil zvoliť profil Nové Zámky (bez Žitavy). Ako vstupné dáta odtoku sme použili priame merania v Nových Zámkoch z obdobia 1951 - 1970. Pre obdobie 1971 - 1980 sa prietoky v profile Nové Zámky odvodili z prietokov v Nitrianskej Strede kvocientovou metódou založenou na dátach za spoločne pozorované obdobie v oboch profiloch z obdobia 1951 - 70.

Metodika je založená na vypracovaní, resp. modifikácii použiteľného bilančného hydrologického modelu povodia, ktorý sa pre dané povodie „naladí“ pomocou k tomu zvolených parametrov. Ďalej sa predpokladá, že naladený model je predovšetkým ovplyvňovaný konfiguráciou terénu a vegetácie, a že pre odhad dôsledkov klimatickej zmeny možno predpokladať, že sa „optimalizované“ parametre nezmenia pod účinkom zmenených vstupných meteorologických hodnôt. Na dáta za „normálové“ obdobie použité v ladiacom procese sa aplikuje posun podľa zvoleného scenára a nový výpočet sa uskutoční presne podľa naladeného modelu pre daný územný celok. Nové vypočítané hodnoty evapotranspirácie, odtoku a vlhkosti pôdy sa považujú za zložky ovplyvnenej vodnej bilancie daného sledovaného (pod) povodia.

#### 4. BILANČNÝ MODEL POVODIA

Zamerali sme sa na dva modely. Model **WatBal** podľa [17] sme získali od SHMÚ ako model distribuovaný v rámci Národného klimatického programu. Model **VÚVH** sme získali úpravou modelu **DAIR** a pracuje s mesačným krokom, nazvali sme ho „**MEHYBI**“ - **ME**sačná **HY**drologická **Bil**ancia.

##### 4.1 MODEL WatBal

Model **WatBal** má byť viac-menej univerzálny model, ktorý môže pracovať ako s denným, tak aj s mesačným krokom výpočtu. Model sme dostali od SHMÚ ako model odporúčaný U.S. EPA a IASA na riešenie problematiky hydrologickej bilancie v povodí s cieľom modelovať aj prejavy klimatických zmien. Model je napísaný pre EXCEL ale nedostali sme k dispozícii zdrojový kód.

Pri testovaní modelu sme zistili určité problémy s jeho ladením. Tieto problémy vznikli pravdepodobne „našou filozofiou“ o používaní rozpätia teplôt, kedy sa v povodí môžu vyskytovať zmiešané zrážky. Toto rozpätie teplôt je do značnej miery závislé od predpokladov, ktoré sa dajú stanoviť na základe pozorovania v prízemnej vrstve atmosféry. V istých situáciách model hlásil neidentifikovaný typ chyby a zoznam chýb EXCELU naznačoval delenie nulou. Po podrobnom preštudovaní literatúry k tomuto modelu aj s prihliadnutím na iné materiály IASA a s využitím skúseností riešiteľa z predchádzajúceho modelovania zrážkovo - odtokových vzťahov sme sa napokon rozhodli upraviť vlastný model **DAIR** a obohatiť ho o niektoré prvky modelu **WatBal**.

##### 4.2 MODEL VÚVH - ADAPTÁCIA MODELU DAIR - MODEL „MEHYBI“

Postup odvodenia modelu vychádzal z našich prác [20] a opieral sa o pôvodnú literatúru GGI Leningrad (S. Petersburg) [23]. V skutočnosti ide o sériu programov (časť z nich je v jazyku FORTRAN

77, časť je písaná pre EXCEL na úrovni programovania jednotlivých buniek). Jednotlivé programové bloky sú v istom zmysle autorským polotovarom, pričom sa postupne doladujú parametre od modelovania pôvodného režimu po hodnotenie budúceho režimu pod vplyvom príslušného scenára klimatickej zmeny. Základnú funkciu modelu naznačuje schéma č. 1.

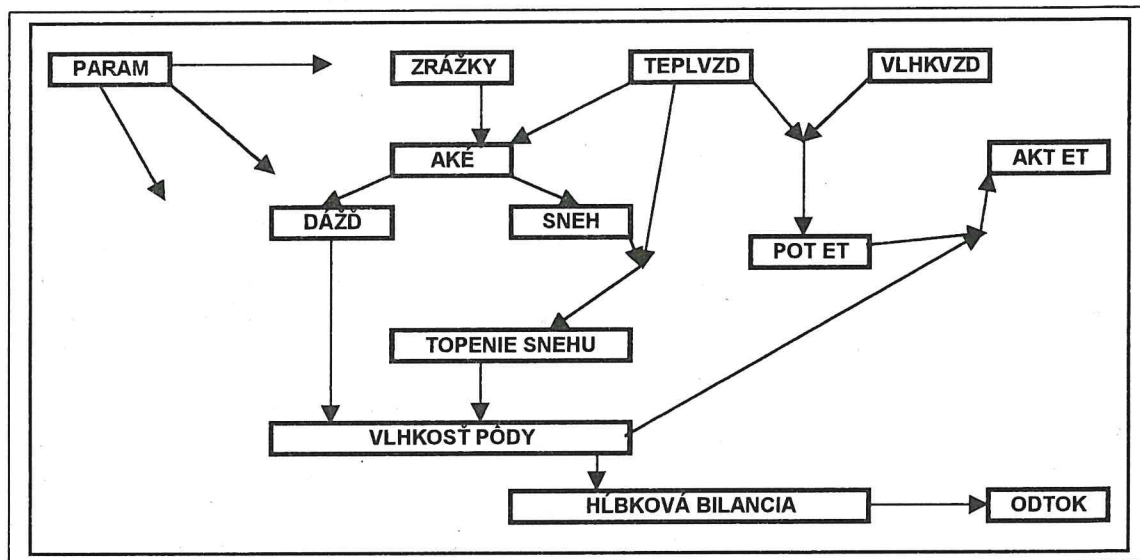


Schéma č. 1. Rámcová schéma modelu DAIR

Nie je cieľom tejto štúdie podrobne popisovať štruktúru modelu a uvádzať použité rovnice. Považujeme schému za dostatočne názornú.

Pri výpočte sa uvažujú niektoré **parametre** ako ATSNOW (teplota, pod ktorou v povodí už len sneží), ATRAIN (teplota, nad ktorou v povodí už len prší), ďalej je potrebné zadať štartovacie hodnoty vlhkosti bilancovaného pôdneho profilu (WSTART), počiatočnej zásoby vody v snehovej pokrývke na povrchu pôdy (SNOW) a faktor intenzity topenia sa snehu (DAYDGF) vzťahovaný na 1° C kladnej teploty vzduchu. Ako parametre modelu sme použili hodnotu plnej poľnej kapacity (WSFFC), ktorá reprezentuje množstvo vody v bilancovanom pôdnom profile, ktoré sa môže v pôde na konci bilančného kroku udržať bez toho, aby nastal priesak, kritickú vlhkosť pôdy (WCRIT), ktorá je dolnou hranicou ľahko dostupnej pôdnej vody, čiže pri vlhkosti pôdy  $W$  pod touto hranicou predpokladáme lineárnu redukciu potenciálnej evapotranspirácie na aktuálnu evapotranspiráciu. Ďalej k parametrom možno zaradiť hodnoty:

- **PRIESKO**, ktorá určuje, koľko z mesačného úhrnu zrážok sa má považovať už za zrážky na začiatku časového kroku (ak  $PRIESKO=1$ , všetky zrážky vstupujú do bilancie hneď prvý deň spracovávaného obdobia, parameter nadobúda hodnoty z intervalu  $<0; 1>$ ),
- **FMIRAT**, kvocient, vyjadruje, na aký diel z odtoku v jednom mesiaci môže klesnúť odtok v nasledujúcom mesiaci (v podstate sa táto hodnota stanoví z testovaného porovnávacieho normálneho obdobia).

Do výpočtu vstupujú **mesačné dáta** (360 hodnôt za celé obdobie 30 rokov 1951 - 80) teploty vzduchu TEMP, relatívnej vlhkosti vzduchu RMO, zrážok PRE a odtoku FLOW. V modeli sa počítajú hodnoty potenciálnej evapotranspirácie PET, vlhkosti pôdy  $W$  (v časti práce označované tiež MSM) a hodnoty skutočnej územnej (aktuálnej) evapotranspirácie AET.

Na konci časového kroku (mesiaca) necháme pochopiteľne všetku ešte nadbytočnú vodu presiaknuť do hĺbkového "zásobníka" WDEEP pod bilančným profilom, ktorý reprezentuje čosi ako dynamickú zásobu podzemnej vody a súčasne naznačuje mieru obohacovania využiteľných zásob podzemných vôd. Táto hodnota je veľmi dôležitá z hľadiska ladenia modelu a ukazuje vlastne bilančnú stabilitu modelu v dlhšom časovom horizonte. Pri vyváženom režime časový priebeh hodnôt WDEEP by nemal vykazovať dlhodobý lineárny trend (čo je samozrejme diskutovateľný predpoklad). Preto ale pri ladení nastavujeme priemer hodnôt WDEEP na hodnotu rovnú nule zmenou parametra PRIESKO. Vypočítané hodnoty odtoku sa formálne odpočítavajú od tejto hĺbkovej retencie.



Meraná odtoková výška FLOW sa v prípade ladenia a hľadania optimálnych hodnôt parametrov považuje za porovnávaciu hodnotu pre počítanú (modelovanú) odtokovú výšku, optimalizácia parametrov sa uskutočňuje v EXCELI s použitím jeho procedúry SOLVER. Optimalizácia sa uskutočňuje v dvoch krokoch - iba na priemeroch pre prvý odhad jednotlivých parametrov, potom za celé obdobie s použitím všetkých 360-tich hodnôt za jednotlivé mesiace 30-ročného obdobia. Optimalizujú sa parametre ATRAIN, ATSNOW a intenzita topenia sa snehu pri kladnej teplote vzduchu; parameter PRIESKO sa nakoniec nastaví na takú hodnotu, aby sa dosiahla dlhodobovo vyvážená bilancia „hlbkovej dynamickej zásoby vody“.

Výsledky kalibrácie (meranú FM a simulovanú F0 odtokovú výšku) a súčasne priemerné hodnoty jednotlivých vstupných zložiek hydrologickej bilancie za porovnávacie „normálové“ obdobie 1951 až 1980 ukazuje tab. 2.

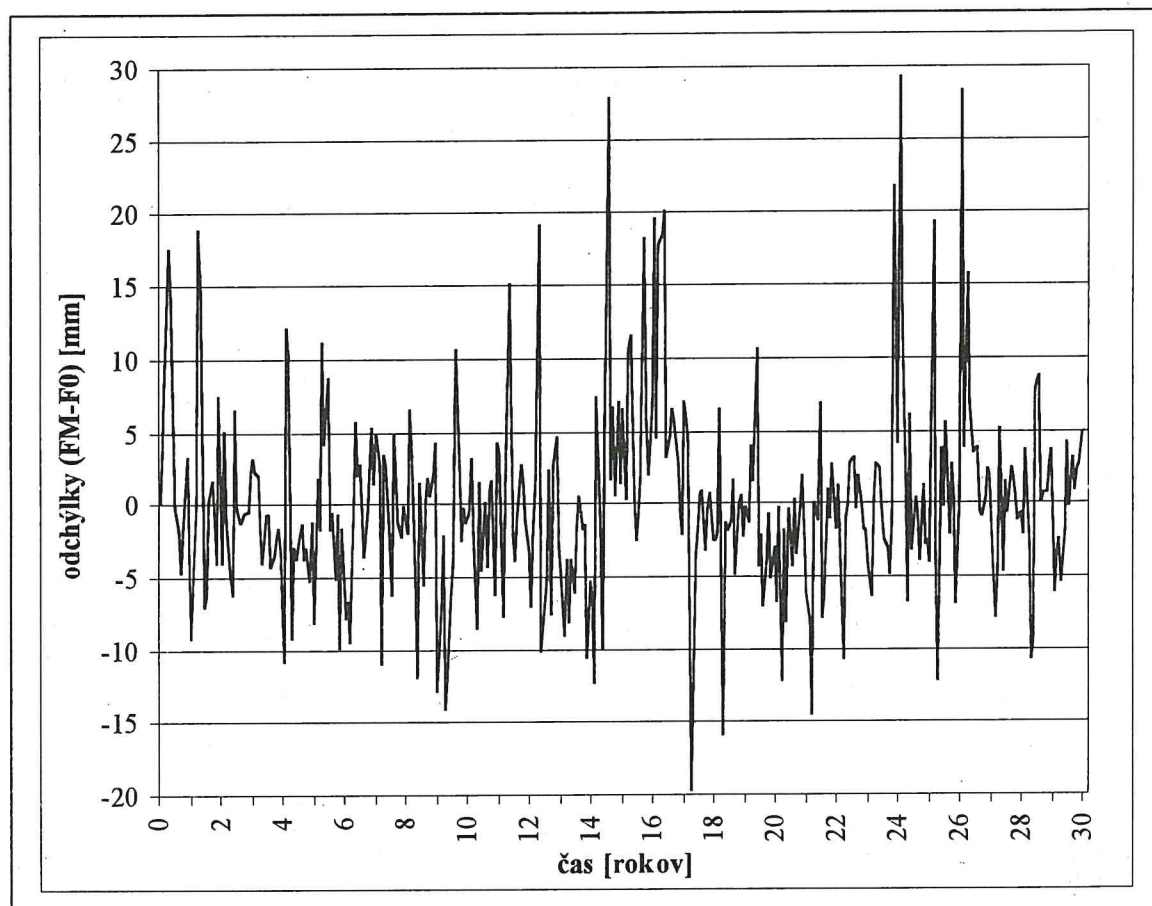
Tab. 2. Hlavné prvky hydrologickej bilancie [mm] pre profil Nové Zámky v povodí Nitry. (Mesačné priemerné hodnoty za „normálové“ obdobie 1951 – 80: teplota vzduchu °C - TEMP, potenciálna evapotranspirácia - PET, zrážky - PRE, meraná odtoková výška FM, aktuálna evapotranspirácia - AET, priemerná mesačná vlhkosť pôdy MSM v % nasýtenia WSFFC, hlbková "skrytá" zásoba vody WDEEP, modelom simulovaná odtoková výška F0, a kalibráciou minimalizovaný súčet štvorcov odchýlok meranej a simulovanej odtokovej výšky  $(F0-FM)^2$ ; hodnoty bilančných prvkov sú v mm)

| Mesiac      | 1                                                              | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9    | 10   | 11   | 12    | Rok   |
|-------------|----------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|
| Profil      | Nové Zámky priemerná výška podpovia 372 m n. m. WSFFC 150,0 mm |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |       |       |
| TEMP        | -2,4                                                           | -0,5  | 3,3   | 8,6   | 13,4  | 17,0  | 18,2  | 17,6  | 13,8 | 8,8  | 3,9  | -0,3  | 8,4   |
| PET         | 11,3                                                           | 17,5  | 40,2  | 74,1  | 102,1 | 122,0 | 120,2 | 102,6 | 70,9 | 43,7 | 22,1 | 12,0  | 738,7 |
| PRE         | 46,6                                                           | 48,1  | 45,7  | 55,4  | 68,6  | 92,0  | 90,7  | 71,5  | 53,9 | 55,4 | 66,2 | 67,2  | 761,3 |
| FM          | 16,2                                                           | 20,0  | 28,6  | 26,5  | 16,5  | 12,3  | 11,2  | 9,2   | 6,4  | 8,8  | 10,3 | 16,8  | 182,8 |
| AET         | 10,3                                                           | 16,9  | 39,6  | 71,3  | 86,1  | 96,0  | 85,4  | 67,4  | 45,4 | 30,5 | 19,6 | 11,0  | 579,4 |
| MSM %       | 94,3                                                           | 104,9 | 113,5 | 104,1 | 87,5  | 79,6  | 73,6  | 67,6  | 65,2 | 73,1 | 92,0 | 96,5  | 87,6  |
| WDEEP       | -11,7                                                          | -0,2  | 12,5  | 9,8   | 7,7   | 7,7   | 5,5   | 0,0   | -5,3 | -7,6 | -9,7 | -8,9  | 0,0   |
| F0          | 16,2                                                           | 20,0  | 28,6  | 26,5  | 16,5  | 12,6  | 11,4  | 9,5   | 6,4  | 8,8  | 10,3 | 16,9  | 183,8 |
| $(F0-FM)^2$ | 49,9                                                           | 59,4  | 107,0 | 71,0  | 22,0  | 39,5  | 12,6  | 22,9  | 3,0  | 33,9 | 10,8 | 101,2 | 44,4  |

Postup výpočtu metódou najmenších štvorcov zaručuje zhodu meraných a modelovaných dlhodobých priemerov, čo je dostatočne zrozumiteľné z pohľadu na hodnoty FM a F0 v tab. 2.

Zhoda extrémnych hodnôt je však už podmienená tým, že metóda najmenších štvorcov "zhladzuje" priebeh študovaných závislostí. Vizualna kontrola výsledkov ladenia pre profily Nové Zámky a všetky mesiace porovnávacieho obdobia je v obr. 1 a 2.

Časový priebeh v obr. 1 naznačuje, že 5 hodnôt odchýlok prekročilo hranicu 20 mm. Ide vždy o situácie, keď mesačný priemer odtokovej výšky prekročil 44 mm, čo zodpovedá približne hornému kvartilu pozorovaných hodnôt odtokovej výšky. Dá sa to čiastočne vysvetliť tak, že pri extrémnych hodnotách môže mať významnú úlohu koeficient PRIESKO, ktorý hovorí o miere rovnomernosti rozloženia zrážok počas mesiaca, ktorá nemôže byť dostatočne reálna pri extrémnych zrážkach kumulovaných do krátkeho časového obdobia.



Obr. 1. Odchýlky pozorovanej a simulovanej odtokovej výšky v mesačnom kroku (1951 – 1980)

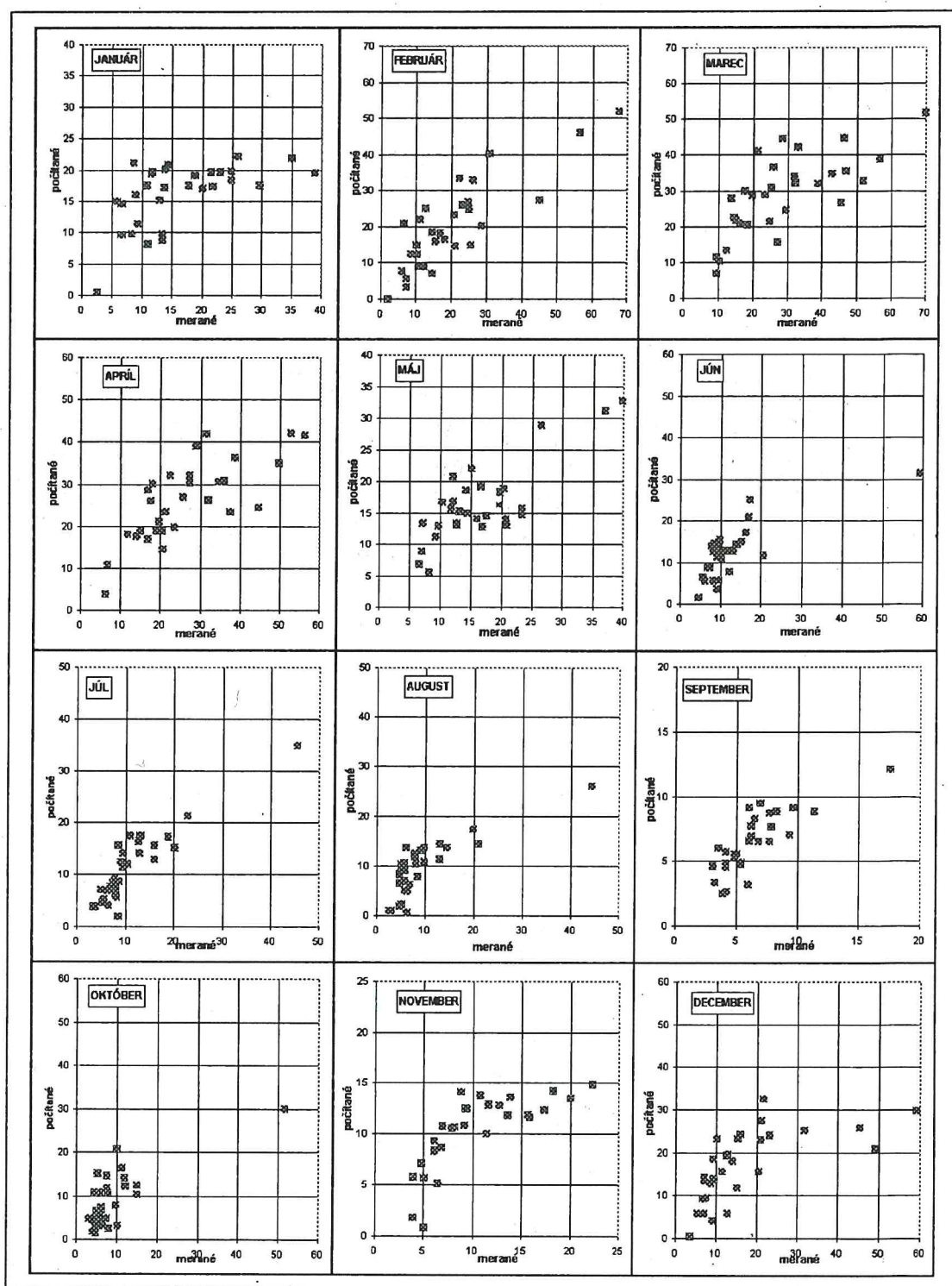
V obr. 2 sú uvedené grafy meraných a počítaných veličín pre profil Nové Zámky podľa jednotlivých mesiacov. Tu vidíme, že počítané maximá sú všade podhodnotené a miera chyby je čiastočne závislá od charakteru mesiaca. Azda najmarkantnejšie to je v júni a všeobecne v mesiacoch mimo vegetačného obdobia (od októbra do januára), kde pre vyššie hodnoty meranej odtokovej výšky počítané hodnoty značne „zaostávajú“ (ich zobrazenie ostáva výrazne pod ideálnym priebehom po uhlopriečke príslušného grafu).

Najlepšiu zhodu pre všetky profily vidíme v máji a júli, keď vplyv rôznej nasýtenej vlhkosti pôdy je ešte po zimnom období malý a keď zrážky majú častejší výskyt s menšími úhrnmi po jednotlivých dňoch bez výraznej vysoko vyvinutej konvektívnej oblačnosti.

Z metodologického hľadiska pre prípadných ďalších výskumníkov, ktorí sa budú snažiť pokračovať v riešení nadväzne na našu metodiku, je hodno dodať, že sme preverovali možnosť výpočtu novej odtokovej výšky v závislosti od tekutej zložky zrážok a miery nasýtenia vlhkosti pôdy aj nelineárnym priblížením. Dosiahli sme lepšiu zhodu v extrémnych hodnotách, ale priemerné hodnoty zostali posunuté (napr. miesto aritmetického priemeru sme mali geometrický priemer a pod.). Okrem toho pri aplikácii scenárov môže dôjsť k výraznejšiemu systematickému posunu priemerov, takže sme pre náš prípad použili iba tu podrobnejšie uvádzanú lineárnu regresiu. To potom reprezentuje kvázideterministický model.

Všetky použité parametre majú fyzikálne vysvetliteľný základ a súvisia s fyzicko-geografickými charakteristikami sledovaného územia. Domnievame sa preto, že ich možno považovať za dostatočne konzervatívne, a že ich možno použiť aj v zmenených makroklimatických podmienkach pri výpočte očakávateľného odtoku podľa navrhovaných scenárov zmien.





Obr. 2. Porovnanie meraných a simulovaných hodnôt odtokovej výšky [mm] podľa mesiacov

## 5. POUŽITÉ SCENÁRE KLIMATICKEJ ZMENY

Obdobne, ako vo VTP robíme odhad situácie na úroveň roku 2030 a pri spracovávaní niektorých štatistických charakteristík hovoríme o období 2030  $\pm$  15 rokov. Ide teda o odhad vývoja hydrologickej situácie na obdobie posunuté voči stredu porovnávacieho obdobia 1951 - 80 o 65 rokov. Scenáre zmien situácie vo VTP boli dodané SHMÚ. Pôvodne sa použilo 7 oficiálnych scenárov SHMÚ z celej plejády existujúcich možností. Vzhľadom k orientácii povodia Nitry sme pre každý teplotný scenár vo VTP zvolili zmenu zrážok v "južnom" variante. Zmena relatívnej vlhkosti vzduchu sa uvažovala podľa [8] ako pokles o 2 % na vzostup teploty vzduchu na každý °C. Nové scenáre, distribuované v novembri 2000 sú odvodené novou analýzou z modelov GISS (scenár označený v poradí ako „G“) a CCCM („C“). U zrážok kvocient zmeny bol prevedený na % rozdielom kvocientu a hodnoty „1“. Obidva nové použité scenáre teploty vzduchu a zrážok sú zaradené do tab. 3. Za nové zrážkové scenáre sme brali scenáre pre stanicu Hurbanovo, ktoré, s ohľadom na orientáciu povodia Nitry, považujeme sa reprezentatívne pre celé spracovávané územie.

Tab. 3. Scenáre SHMÚ pre výpočet dôsledkov klimatických zmien vzťahnuté k roku 2030 (2030  $\pm$  15)

| P. č. | Mesiac      |        | 1             | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | Rok   |
|-------|-------------|--------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|       | Prvok       |        | Scenár k 2030 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| 1     | (T) + dt °C | CCCM   | 2             | 2,4  | 2,3  | 1,7  | 1,5  | 1,6  | 1,8  | 1,7  | 1,9  | 1,8  | 1,4  | 1,5  | 1,80  |
| 1     | (P) + %P    | CCCM   | 15            | 1    | 8    | 2    | -8   | -9   | -11  | 2    | -5   | 6    | 8    | 12   | 0,00  |
| 2     | (T) + dt °C | GISS   | 3             | 2,9  | 2,7  | 2,1  | 1,7  | 1,4  | 1,3  | 1,3  | 1,9  | 2,4  | 2,5  | 2,7  | 2,16  |
| 2     | (P) + %P    | GISS   | 8             | 13   | 14   | 15   | 9    | 4    | 11   | 10   | -11  | 15   | 15   | 3    | 9,00  |
| 3     | (T) + dt °C | GFD3   | 1,4           | 2,2  | 2,7  | 2,6  | 2,5  | 2,4  | 2,3  | 2,1  | 2,4  | 2,5  | 2,2  | 2    | 2,28  |
| 3     | (P) + %P    | GFD3   | -5            | 26   | 3    | 4    | 2    | -1   | -10  | 20   | 15   | 17   | 23   | -2   | 7,00  |
| 4     | (T) + dt °C | WP A   | 1,5           | 1,8  | 1,7  | 1,4  | 1    | 0,7  | 1    | 1,2  | 0,9  | 0,4  | 0,3  | 0,7  | 1,05  |
| 4     | (P) + %P    | WP A   | -3            | -2   | -12  | -17  | -8   | -3   | -4   | -6   | -9   | -5   | 0    | -3   | -6,00 |
| 5     | (T) + dt °C | WP B   | 2,2           | 2,8  | 2,5  | 2,1  | 1,5  | 1    | 1,5  | 1,8  | 1,3  | 0,7  | 0,5  | 1,1  | 1,58  |
| 5     | (P) + %P    | WP B   | -5            | -4   | -18  | -26  | -12  | -5   | -6   | -9   | -13  | -8   | -1   | -5   | -9,00 |
| 6     | (T) + dt °C | SD A   | 1,7           | 1,6  | 1,3  | 0,9  | 0,9  | 0,7  | 0,7  | 0,7  | 0,9  | 1    | 0,9  | 1,3  | 1,05  |
| 6     | (P) + %P    | SD A   | 12            | 8    | 0    | -7   | -11  | -6   | -11  | -10  | -8   | 0    | 5    | 7    | -3,00 |
| 7     | (T) + dt °C | SD B   | 2,5           | 2,3  | 2    | 1,4  | 1,4  | 1,1  | 1,1  | 1    | 1,4  | 1,4  | 1,4  | 1,9  | 1,58  |
| 7     | (P) + %P    | SD B   | 18            | 12   | 0    | -11  | -16  | -9   | -17  | -15  | -13  | 0    | 7    | 11   | -5,00 |
| G     | (T) + dt °C | G nový | 3,0           | 2,9  | 2,7  | 2,1  | 1,7  | 1,4  | 1,3  | 1,3  | 1,9  | 2,4  | 2,5  | 2,7  | 0,78  |
| G     | (P) + %P    | G nový | -4,4          | -0,8 | 1,3  | 1,2  | 1,9  | 1,2  | -1,2 | 2,7  | 8,2  | 5,0  | -1,2 | -4,5 | 0,4   |
| G     | (e) * q     | G nový | 1,07          | 1,06 | 1,05 | 1,07 | 1,07 | 1,06 | 1,06 | 1,05 | 1,05 | 1,07 | 1,08 | 1,08 | 1,06  |
| C     | (T) + dt °C | C nový | 2,0           | 2,4  | 2,3  | 1,7  | 1,5  | 1,6  | 1,8  | 1,7  | 1,9  | 1,8  | 1,4  | 1,5  | 1,8   |
| C     | (P) + %P    | C nový | 8,9           | 2,8  | 25,4 | 7,5  | 16,7 | -8,4 | -7,9 | -6,4 | -1,6 | 17,3 | 5,8  | 17,2 | 4,6   |
| C     | (e) * q     | C nový | 1,07          | 1,08 | 1,10 | 1,08 | 1,06 | 1,09 | 1,11 | 1,10 | 1,10 | 1,11 | 1,11 | 1,10 | 1,09  |

Napokon sú v tabuľke 3 uvedené aj scenáre zmeny absolútnej vlhkosti vzduchu (e), ktoré sa dajú aplikovať podľa informácie autora scenárov i na tlak pár. V súvislosti s tým sme museli vypracovať k nášmu programu MEHYBI ešte jeden podprogram, riešiaci výpočet zmeny relatívnej vlhkosti vzduchu (interne používanej v našom modeli) zo zmeny absolútnej vlhkosti vzduchu.

Výpočet nových radov vstupných údajov pre povodie Nitry podľa "očakávaných" zmien sa uskutočnil podľa všetkých scenárov pre všetky podpovodia, t.j. vytvorili sme spolu 9 fiktívnych radov hodnôt teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu (modifikovanej pre povrch zeme v nadmorskej výške okolo 500m - verzia "b") a zrážok pre obdobie vzťahnuté k roku 2030 (čo vlastne reprezentuje tridsaťročný rad mesačných hodnôt za obdobie 2030  $\pm$  15 rokov). Jednotlivé nové rady dát pre jednoduchosť ďalej označujeme len poradovým číslom 1 až 7 a písmenami G a C. Poradové číslo "0" zodpovedá pôvodnému radu pozorovaní za normálne obdobie 1951 - 80, s ktorým výsledky porovnávame.

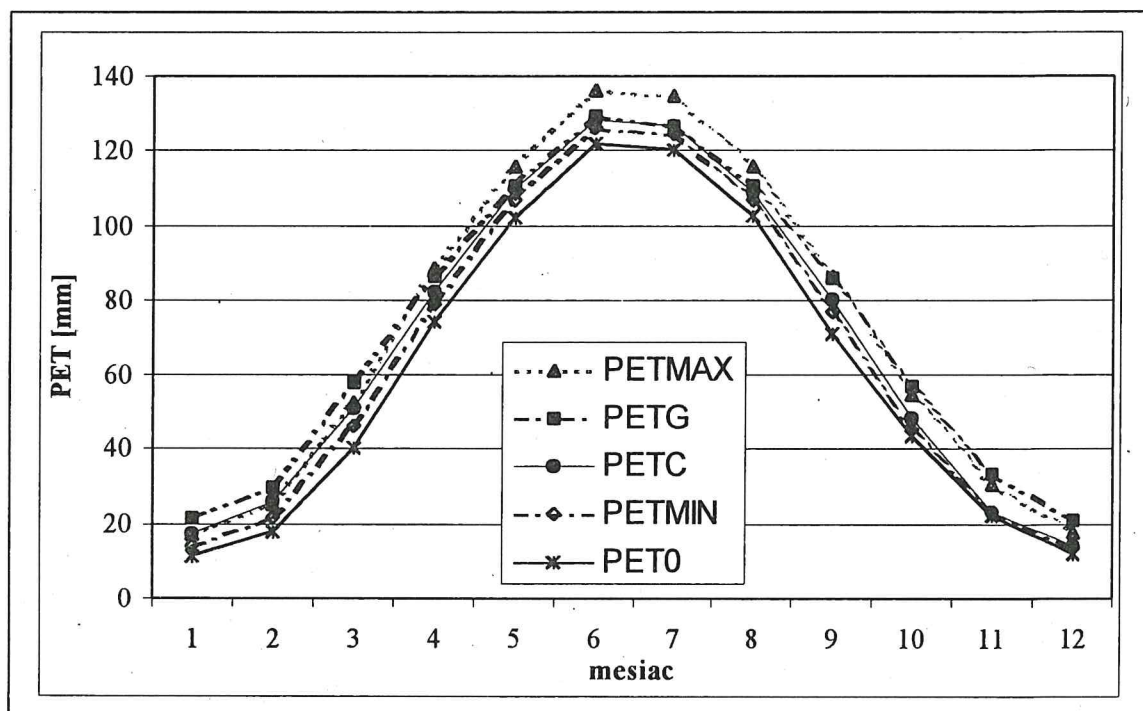
Kumulatívne sa vplyv zmeny teploty a vlhkosti vzduchu prejavuje v potenciálnej evapotranspirácii, ktorú sme vyhodnocovali osobitne, nakoľko sa tento prvok v priebehu výpočtu už vývojom ďalších bilančných prvkov nemení. Vypočítané hodnoty potenciálnej evapotranspirácie (v mm za mesiac a ročný úhrn v mm za rok) pre ovplyvnené obdobie (2030  $\pm$  15) sú v tabuľke 4.



Tab. 4. Výsledná potenciálna evapotranspirácia pre povodie Nitry podľa rôznych scenárov klimatických zmien [mm]

| Mesiac     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6     | 7     | 8     | 9    | 10   | 11   | 12   | Rok   |     |
|------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-----|
| Nové Zámky |      |      |      |      |       |       |       |       |      |      |      |      | mm    | %   |
| 0=NORMÁL   | 11,3 | 17,5 | 40,2 | 74,1 | 102,1 | 122,0 | 120,2 | 102,6 | 70,9 | 43,7 | 22,1 | 12,0 | 738,7 | 100 |
| 1=CCCM     | 15,1 | 23,6 | 50,9 | 83,3 | 110,2 | 131,3 | 131,5 | 113,3 | 83,2 | 51,2 | 26,6 | 15,1 | 835,4 | 113 |
| 2=GISS     | 17,2 | 25,0 | 52,8 | 85,5 | 111,3 | 130,1 | 128,3 | 110,7 | 83,2 | 54,1 | 30,5 | 17,8 | 846,8 | 115 |
| 3=GFD3     | 13,8 | 23,1 | 52,8 | 88,3 | 115,8 | 136,2 | 134,6 | 115,9 | 86,5 | 54,6 | 29,4 | 16,2 | 867,3 | 117 |
| 4=WP A     | 14,0 | 22,0 | 48,1 | 81,7 | 107,5 | 126,0 | 126,5 | 110,1 | 76,7 | 45,2 | 23,1 | 13,4 | 794,2 | 108 |
| 5=WP B     | 15,5 | 24,8 | 51,9 | 85,5 | 110,2 | 127,8 | 129,6 | 113,9 | 79,3 | 46,5 | 23,7 | 14,2 | 822,7 | 111 |
| 6=SD A     | 14,4 | 21,5 | 46,2 | 79,0 | 106,9 | 126,0 | 124,6 | 107,0 | 76,7 | 47,7 | 25,0 | 14,6 | 789,6 | 107 |
| 7=SD B     | 16,1 | 23,3 | 49,5 | 81,7 | 109,7 | 128,3 | 127,1 | 108,9 | 79,9 | 49,4 | 26,6 | 16,0 | 816,5 | 111 |
| G=GISS95   | 21,3 | 29,3 | 57,7 | 86,4 | 110,6 | 129,1 | 126,8 | 110,3 | 85,9 | 56,7 | 33,0 | 20,8 | 867,9 | 117 |
| C=CCM95    | 16,9 | 25,8 | 51,1 | 82,2 | 109,7 | 128,0 | 126,6 | 109,0 | 80,1 | 48,4 | 23,3 | 14,1 | 815,2 | 110 |

Pre prehľadnosť grafického znázornenia priebehu zmien potenciálnej evapotranspirácie uvádzame v obr. 3 jednak pôvodné „normálové“ hodnoty potenciálnej evapotranspirácie (PET0), potom maximum (PETMAX) a minimum (PETMIN) hodnôt podľa „starých scenárov“ a napokon priebeh potenciálnej evapotranspirácie pre oba nové scenáre „C“ (PETC) a „G“ (PETG) pre obdobie 2030 ± 15.



Obr. 3 Zmeny potenciálnej evapotranspirácie v porovnaní s normálom 1951 – 1980

Pri hodnotení výsledkov zmien potenciálnej evapotranspirácie vidíme, že rovnaké zvýšenie v ročnom úhrne majú scenáre GFD3 a G, ale v ročnom chode sa prejavuje dôsledok vyšších teplôt, resp. nižších relatívnych vlhkostí podľa scenára G, takže porovnanie s GFD3 ukazuje, že v letnom období je potenciálna evapotranspirácia podľa scenára „G“ nižšia, a v zimnom období vyššia. Na druhej strane dôležitý poznatok je, že vo všetkých prípadoch ako v ročnom úhrne, tak aj v ročnom chode, sú nové hodnoty potenciálnej evapotranspirácie vyššie, než normálové hodnoty 1951 – 1980.

Treba si pri tom uvedomiť, že potenciálna evapotranspirácia sa pri riešení hydrologickej bilancie „uspokojuje“ prednostne pred odtokom, nakoľko sa realizuje z dostupnej povrchovej a pôdnej vlhkosti na rozdiel od odtoku, ktorý formálne uvažujeme až z hĺbkovej zásoby vody v príslušnom podpovodí. Tento postup potom ale spôsobí, že scenár s najvyšším vzrastom potenciálnej evapotranspirácie pri

súčasnom vzraste úhrnov zrážok môže mať menší vplyv na odtok než scenár s menším vzrastom potenciálnej evapotranspirácie, ale s drastickým poklesom zrážkových úhrnov, čo sa prejavuje i v povodí Nitry.

## 6. HYDROLOGICKÁ BILANCIA K OBDOBIU 2030 ± 15 ROKOV

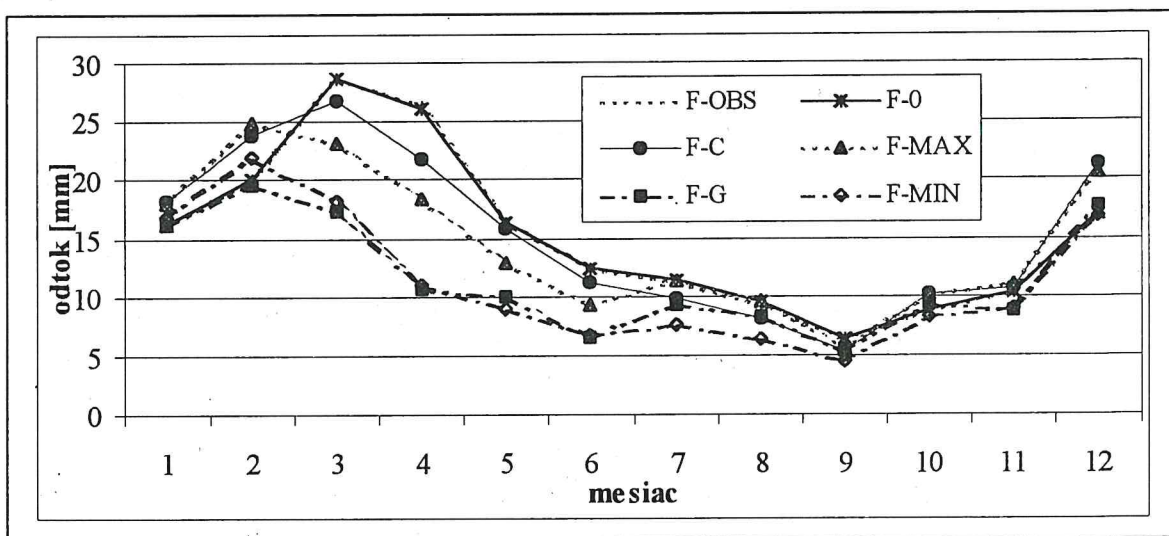
Výpočet podľa jednotlivých scenárov sa uskutočnil našim upraveným programom MEHYBI. Podrobné výsledky výpočtov pre jednotlivé podpovodia a jednotlivé scenáre sú uložené vo VÚVH. Hodnotenie zmien uvádzame podľa jednotlivých bilancovaných prvkov.

### 6.1 Odtok

Pre odtok vyjadrený odtokovou výškou v mm/mesiace sme výsledky spracovali jednak tabelárne (tab. 5) a jednak graficky (obr. 4), odtok vyjadrený v % súčasného mesačného odtoku znázorňuje obr. 5.

Tab. 5. Výsledky výpočtu „novej“ odtokovej výšky F [mm] pre povodie Nitry v mm pre obdobie 2030 ± 15. (v poslednom stĺpci sú uvedené percentá nového ročného odtoku v percentách pôvodného ročného odtoku)

| Mesiac   | 1                                                | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8    | 9    | 10    | 11    | 12    | Rok   |     |
|----------|--------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-----|
|          | Nové Zámky Priemerná výška podpovodia 372 m n.m. |       |       |       |       |       |       |      |      |       |       |       | mm    | %   |
| 0=NORMÁL | 16,10                                            | 20,03 | 28,73 | 25,98 | 16,31 | 12,32 | 11,28 | 9,42 | 6,37 | 8,83  | 10,28 | 16,86 | 182,5 | 100 |
| 1=CCCM   | 17,56                                            | 23,61 | 22,85 | 16,75 | 11,48 | 7,31  | 8,01  | 7,73 | 4,89 | 9,30  | 9,78  | 19,39 | 158,7 | 87  |
| 2=GISS   | 18,03                                            | 22,16 | 22,61 | 17,35 | 12,90 | 9,16  | 11,35 | 9,60 | 5,51 | 10,05 | 10,26 | 20,62 | 169,6 | 93  |
| 3=GFD3   | 16,97                                            | 24,82 | 23,13 | 15,53 | 11,13 | 6,92  | 7,92  | 9,04 | 5,49 | 10,21 | 10,86 | 19,81 | 161,8 | 89  |
| 4=WP A   | 16,79                                            | 22,75 | 20,57 | 14,86 | 11,18 | 8,27  | 9,58  | 7,82 | 5,15 | 8,41  | 9,46  | 16,90 | 151,7 | 83  |
| 5=WP B   | 16,84                                            | 21,99 | 18,09 | 10,96 | 8,96  | 6,67  | 8,82  | 7,04 | 4,57 | 8,16  | 9,00  | 16,80 | 137,9 | 76  |
| 6=SD A   | 17,33                                            | 23,57 | 22,93 | 18,37 | 12,28 | 8,60  | 8,85  | 7,41 | 5,13 | 8,82  | 9,79  | 18,86 | 161,9 | 89  |
| 7=SD B   | 17,86                                            | 23,26 | 21,84 | 15,78 | 10,58 | 7,05  | 7,57  | 6,34 | 4,46 | 8,81  | 9,49  | 19,75 | 152,8 | 84  |
| G=GISS95 | 16,1                                             | 19,6  | 17,4  | 10,7  | 9,9   | 6,5   | 9,2   | 8,3  | 5,3  | 9,2   | 8,8   | 17,6  | 138,6 | 76  |
| C=CCM95  | 18,2                                             | 23,8  | 26,7  | 21,7  | 15,7  | 11,1  | 9,7   | 8,0  | 5,3  | 10,2  | 10,7  | 21,3  | 182,4 | 100 |

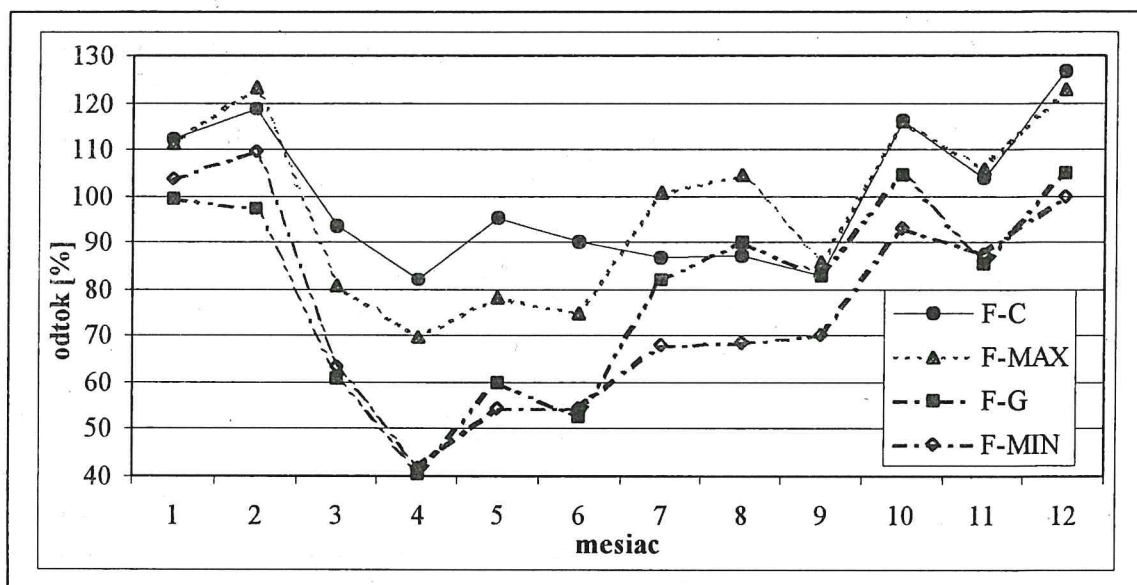


Obr. 4. Ročný chod nového odtoku v povodí Nitry po Nové Zámky (2030 ± 15) porovnaný na normál (1951 – 1980)

Z tabuľky vidíme, že scenár C nevedie k zníženiu ročného úhrnu odtokovej výšky, avšak graf v obr. 4 jednoznačne ukazuje prerozdelenie ročného chodu odtoku v neprospech letných odtokov



v porovnaní s pôvodným odtokom. Porovnanie nových scenárov s pôvodnými siedmimi ukazuje, že scenár G vedie k podobnému zníženiu odtoku, ako dával najhorší scenár z predchádzajúceho hodnotenia.



Obr. 5. Ročný chod relatívneho odtoku v % príslušného mesačného normálového odtoku

Z obrázku 4 i 5 názorne vidíme, že nový scenár G v jarnom období vedie ešte k nižším odtokovým výškam, ako sme dostali pri analýze predchádzajúcich scenárov (WP B), ročný úhrn odtokovej výšky však zostáva rovnaký (76 % pôvodnej ročnej odtokovej výšky).

Pri porovnávaní zmien v jednotlivých čiastkových podpovodiach povodia Nitry sa ukázalo, že vo vyšších častiach povodia sa tu diskutované zmeny prejavujú menej výrazne, z čoho vyplýva, že ide predovšetkým o dôsledky prejavujúce sa v nižších nadmorských výškach. Pritom treba uvážiť, že minimum odtoku podľa predchádzajúcej analýzy i odtok podľa scenára G vedie na prietoky v marci až júni na úrovni pod 60 % súčasného odtoku, čo sa nutne musí považovať za vážne a treba sa zmierňovaniu možných dôsledkov intenzívne venovať.

Z tabuľky 5 ešte vidno, že žiadny zo scenárov nevedie k zvýšeniu odtokovej výšky. Vo všeobecnosti teda dochádza k urýchlenému odtoku v zime bez významnej tvorby snehovej pokrývky a vo vegetačnom období je potrebné považovať vypočítané nové odtokové výšky za varujúce.

Pri hodnotení významu zmien odtokového režimu je potrebné uvážiť kritériá hodnotenia. Z hľadiska bilancovania a zásobovania vodou sa spravidla berú minimálne prietoky. Tie sú v našom prípade najnižšie v septembri. Odtoková výška k profilu N. Zámky klesne v budúcnosti v priemere pod 5,5 mm/mesiac podľa všetkých scenárov. To už sú skutočne hodnoty na vážne zamyslenie z hľadiska disponibilít vody vôbec. Z ekologického hľadiska však môže byť zaujímavý najväčší relatívny pokles v priebehu roka, ktorý, ako sme už ukázali, má extrém v apríli, keď podľa najrizikovejšieho starého scenára a podľa scenára G klesne odtok na 40 % súčasného odtoku v Nových Zámkoch.

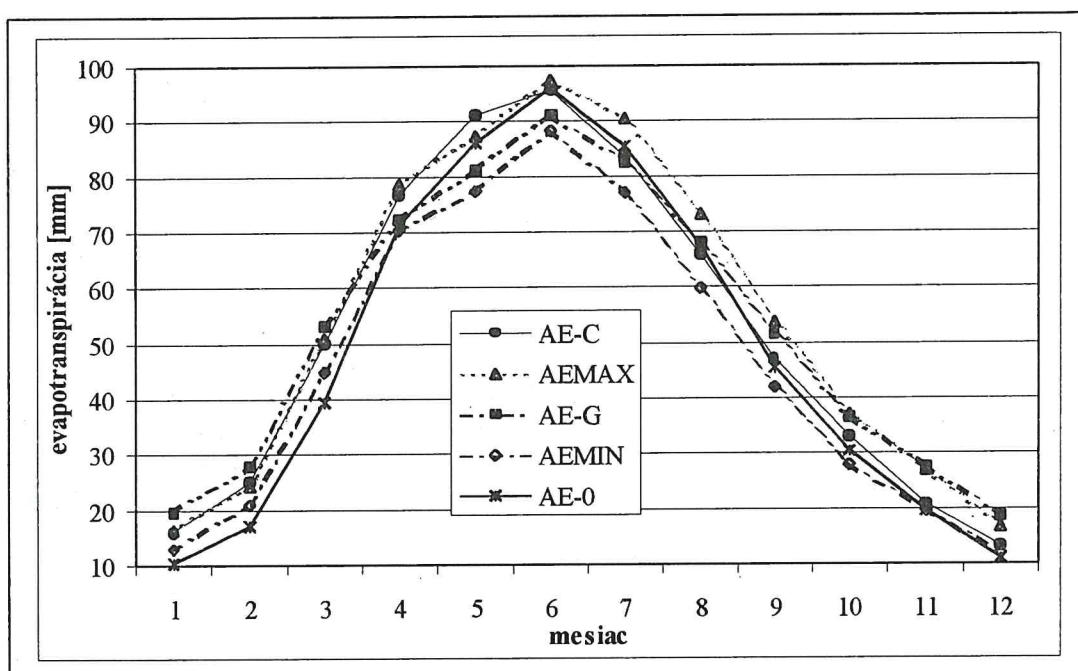
## 6.2 Aktuálna evapotranspirácia.

Aktuálna evapotranspirácia závisí od potenciálnej evapotranspirácie a vlhkosti pôdy. Zmenu potenciálnej evapotranspirácie sme diskutovali v bode 5. Pôvodné i nové hodnoty priemernej aktuálnej evapotranspirácie podľa všetkých použitých 9 scenárov prináša pre profil Nové Zámky tabuľka 6.

Z tabuľky 6 aj obr. 6 vidno, že nové scenáre už nevedú k priamemu zvýšeniu ročných súm aktuálnej evapotranspirácie v porovnaní so scenármi z minulého obdobia, avšak v ročnom chode vidíme ešte pre scenár C, že aktuálna evapotranspirácia na jar môže nadobúdať ešte vyššie hodnoty, než sa vypočítalo podľa pôvodných 7-mich scenárov.

Tab. 6. Súčasná a očakávaná aktuálna evapotranspirácia pre profil Nové Zámky v povodí Nitry v mm pre časový horizont 2030 ± 15 určená podľa zvolených scenárov

| Mesiac     | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | Rok   |       |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Nové Zámky |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | mm    | %     |
| 0=NORMÁL   | 10,3 | 16,9 | 39,5 | 71,2 | 85,8 | 95,7 | 85,2 | 67,3 | 45,3 | 30,4 | 19,6 | 11,0 | 578,1 | 100,0 |
| 1=CCCM     | 14,2 | 23,0 | 49,1 | 75,2 | 82,6 | 91,1 | 80,8 | 67,1 | 46,4 | 32,7 | 23,2 | 13,9 | 599,3 | 103,7 |
| 2=GISS     | 16,5 | 24,4 | 50,8 | 77,8 | 87,1 | 97,3 | 90,4 | 72,7 | 48,3 | 35,8 | 27,0 | 16,7 | 644,7 | 111,5 |
| 3=GFD3     | 13,0 | 22,4 | 50,9 | 78,6 | 86,6 | 95,7 | 82,2 | 73,2 | 53,7 | 37,0 | 26,5 | 15,2 | 635,1 | 109,9 |
| 4=WP A     | 13,0 | 21,3 | 46,1 | 71,5 | 80,1 | 91,0 | 83,4 | 66,0 | 43,3 | 28,7 | 19,7 | 12,0 | 576,2 | 99,7  |
| 5=WP B     | 14,3 | 24,0 | 48,8 | 70,3 | 77,3 | 88,3 | 82,5 | 65,2 | 42,0 | 28,0 | 19,8 | 12,7 | 573,3 | 99,2  |
| 6=SD A     | 13,5 | 20,8 | 44,8 | 72,3 | 81,6 | 90,8 | 79,9 | 62,8 | 43,3 | 30,7 | 21,7 | 13,4 | 575,7 | 99,6  |
| 7=SD B     | 15,3 | 22,7 | 47,7 | 72,7 | 80,0 | 88,5 | 76,9 | 59,8 | 41,9 | 30,3 | 22,9 | 14,7 | 573,3 | 99,2  |
| G=GISS95   | 19,6 | 27,9 | 53,1 | 72,2 | 81,1 | 91,2 | 82,6 | 68,0 | 51,6 | 36,4 | 27,6 | 18,7 | 630,0 | 109,0 |
| C=CCM95    | 16,1 | 25,1 | 49,8 | 76,7 | 91,1 | 95,6 | 83,5 | 65,7 | 46,9 | 33,0 | 20,7 | 13,2 | 617,4 | 106,8 |



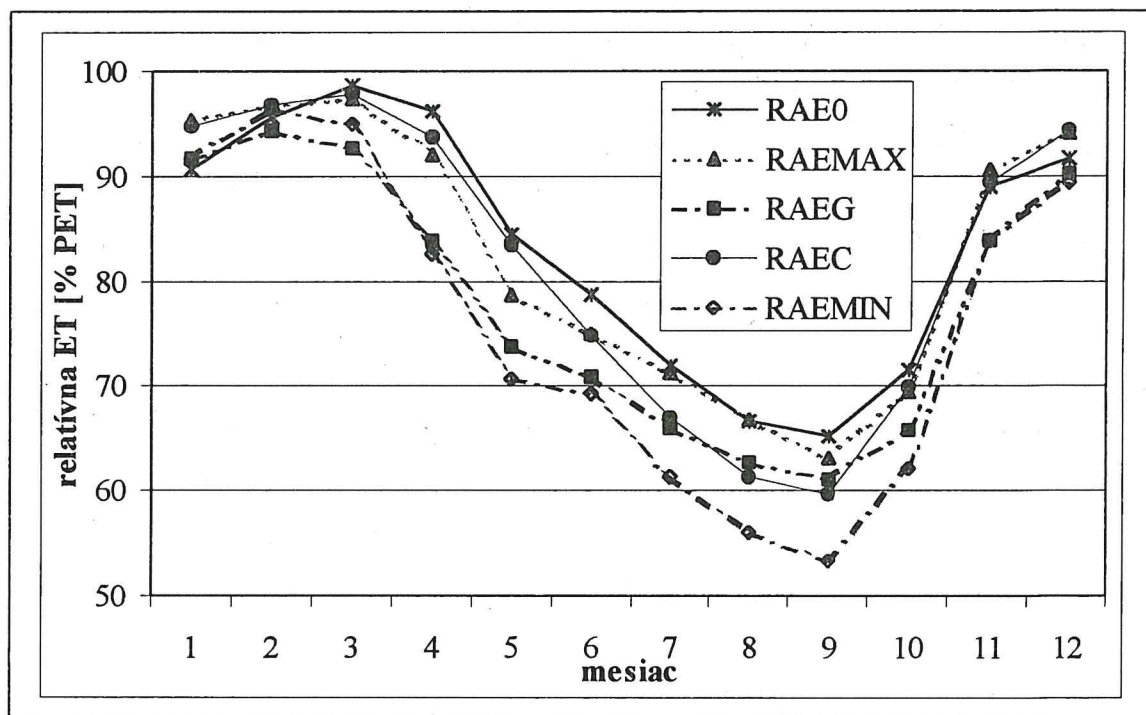
Obr. 6. Ročný chod normálovej (1951-80) a očakávanej (2030 ± 15) aktuálnej evapotranspirácie v povodí Nitry k profilu po Nové Zámky [mm]

Názorne z toho vyplýva, že v podpovodí Nitry sa aj naďalej zvyšuje napätosť medzi disponibilnými zrážkami a prirodzeným pokrytím ekologických nárokov povodia na vodu. V ročných úhrnoch zostáva aktuálna evapotranspirácia v rozpätí 99 až 112 % pôvodných hodnôt.

Hodnota zvýšenej evapotranspirácie súčasne naznačuje zvýšené nároky na určenie množstiev a zvýšenie počtu dávok doplnkovej závlahy. Riešenie tejto problematiky je výrazne limitované budúcimi možnými odbermi vody z hľadiska udržateľného rozvoja v povodiach slovenských riek.

Ku komplexnému hodnoteniu možných dôsledkov klimatických zmien na vodnú bilanciáciu patrí i vyhodnotenie zmien vlhkosti pôdy. Táto otázka je pomerne náročná, nakoľko sa v modeli používa vlastne fiktívna stanica s kvázideterministickými parametrami. Z tohoto pohľadu podávame nepriame hodnotenie vlhkosti pôdy pomocou pomeru aktuálnej a potenciálnej evapotranspirácie. Tento pomer je vlastne mierou relatívnej vlhkosti pôdy v percentách disponibilnej vody pre pokrytie evapotranspiračných nárokov v povodí. Výsledky vidno v obr. 7.





Obr. 7. Ročný chod relatívnej normálvej a očakávanej aktuálnej evapotranspirácie v % potenciálnej ako miera vlhkosti pôdy pre povodie Nitry po profil Nové Zámky

Z obrázku vidno, že v letnom období klesá relatívna vlhkosť pôdy na dobu 3 až 6 mesiacov pod hranicu 70 % nasýtenia, resp. využiteľnej vodnej kapacity (VVK), pričom minimálne priemery podľa pôvodných scenárov (kombinácia scenárov WP B a SD B) klesajú prakticky pod 60 % na 3 – 4 mesiace od júla počínajúc. To môže mať vážne následky na možnosť pestovať plodiny, ktoré býva zvykom zbierať až na jeseň a tieto plodiny práve v lete potrebujú dostatok vody pre tvorbu biomasy a plodov.

Jednotlivé dôsledky zvýšených nárokov na pokrytie evapotranspirácie boli podrobne diskutované vo VTP a čitateľa odkazujeme na uvedený zdroj. Už v roku 1998 sme uviedli, že výrazné disproporcie medzi vzostupom potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie predovšetkým v profile Nové Zámky potvrdzujú vzrast vlhkového deficitu v povodí s tým, že bilančne vo vlastnom povodí Nitry je už asi potrebné uvažovať o opatreniach zásadnejšieho charakteru (výstavba ďalšej vyrovnávacej nádrže, prípadne až zmena osevného postupu s ohľadom na disponibilnú vodu v pôde po zimnom období a disponibilnú povrchovú vodu na závlahy). S poľutovaním musíme konštatovať, že súčasná ekonomická situácia zatiaľ neumožnila aktívne pristúpiť k serióznym úvahám o stavbe zásobnej nádrže v povodí hornej Nitry a závery navrhované vo VTP [1] zatiaľ ostali nerealizované.

I naďalej tvrdíme, že rastúce používanie podzemnej vody na závlahy v období postupného "vysychania" povodia nie je rozumné, lebo vedie k zníženiu hladín podzemnej vody, následne k zníženiu kapilárneho dopĺňovania do pôdneho profilu a tým ešte k ďalšiemu zvyšovaniu nárokov na doplnkovú závlahu. I toto by si vyžadovalo organizačné a legislatívne opatrenia.

Z vodohospodárskeho hľadiska pri vlhkosti pôdy ide o prvok, ktorý jednoznačne ovplyvňuje odtokové pomery, nie je však priamo príčinný pri riešení dôsledkov klimatických zmien, ale jeho vývoj je potrebné sledovať i z hľadiska určovaných množstiev priesaku pri riešení problematiky dopĺňovania hlbkových zásob vody i z hľadiska dopĺňovania zásob vody v pramenných oblastiach študovaného povodia.

Ovplyvnené vypočítané hodnoty jednotlivých zložiek hydrologickej bilancie naznačujú, že vypočítané možné dôsledky prekračujú doterajšie odhady. Treba sa veľmi skoro a veľmi intenzívne zaoberať aj otázkou vodohospodárskych dôsledkov klimatickej zmeny na zásobovanie vodou a špecificky vo vzťahu k disponibilnej vode v nových podmienkach treba posúdiť realnosť uvádzaných zvýšených nárokov na závlahy a otázku uspokojovania poľnohospodárstva pri rastúcich nárokoch na vodu, pretože pri všeobecne klesajúcich prietokoch bude skutočným problémom čo i len zabezpečenie súčasnej úrovne zásobovania vodou.

## 7. ZÁVERY

Tento príspevok súvisí s riešením úlohy Národného klimatického programu pod gesciou SHMÚ s názvom "Dôsledky premenlivosti klímy na hydrologický režim – Nitra po Nové Zámky" v roku 2000, nadväzuje na metodiku vedecko-technického projektu MPSR 514-54 „Dôsledky premenlivosti klímy na hydrologický režim a vodné hospodárstvo“ [1] a využíva i pôvodne nazhromaždené dáta v spolupráci s SHMÚ.

Na základe nových scenárov podľa modelov CCCM a GISS sme upravili potrebné postupy v použitom súbore programov VÚVH. Vypočítali sme nové mesačné hodnoty priebehov hydrologických bilančných prvkov pre 30-ročné obdobie vzťahované k roku 2030 (k rokom  $2030 \pm 15$ ). Optimalizácia parametra PRIESKO, určujúceho skrytú „dynamickú“ zásobu vody v hlbších horizontoch povodia, sa riadila kritériom dosiahnutia nulovej dlhodobej zmeny, aby nenastávala teoretická devastácia zásob podzemnej vody v povodí.

Pri preverovaní teoretického prístupu k riešeniu problematiky klimatických zmien sa nám zdá, že by ešte bolo účelné pri scenároch zmien vlhkosti vzduchu sa zamerať na adresnejšie použitie konkrétnej teploty vzduchu v danom mesiaci. Súčasná zmena sa viac menej viaže iba kalendárne a tak sa odvádza vlastne od dlhodobých priemerných hodnôt teploty vzduchu

Získané výsledky sú odvodené za predpokladu, že súčasné parametre hydrologického modelu sú dostatočne konzervatívne, aby dostatočne dobre charakterizovali odozvu povodia i pri zmenených vstupných hodnotách podľa scenárov zmien. Získané výsledky budúcich odtokových pomerov podľa všetkých pôvodných i nových scenárov zmien jednoznačne ukazujú, že musíme očakávať výrazný pokles odtoku v lete a to až o 30 % súčasného odtoku, a to po dobu niekoľkých mesiacov.

Taktiež sa potvrdilo výpočtom aj podľa nových scenárov, že dôjde k vzostupu potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie a tým aj nárokov vegetačnej pokrývky na vodu, čo pri poklese vlhkosti pôdy bude znamenať výrazné ovplyvnenie rastlinnej výroby až potrebu zmeny štruktúry osevného postupu.

Na základe spracovanej úlohy treba konštatovať, že by v najbližšom období bolo vhodné:

- V teoretickej polohe sa zamerať na upresnenie scenárov klimatickej zmeny vôbec a osobitne pre vlhkosť vzduchu.
- V celkovej snahe poznať odhad dôsledkov klimatickej zmeny i v iných podmienkach spočítať možné dôsledky podľa nových scenárov i pre ďalšie dva profily v povodí Nitry, pre ktoré sa výpočet podľa pôvodných scenárov uskutočnil (Nitrianska Streda a Chalmová).
- Z hľadiska navrhovania hydroekologických a vodohospodárskych plánov povodí SR postupovať obdobne aj v iných povodiach Slovenska.
- V praktickej polohe vrátiť sa k dosiahnutým výsledkom a vážne riešiť problematiku zmiernovacích opatrení v duchu očakávaných nepriaznivých dôsledkov klimatickej zmeny.

Predkladané spracovanie podľa nových scenárov pre profil Nové Zámky sa mohlo uskutočniť v danom časovom a vecnom rozsahu iba vďaka tomu, že SHMÚ zadal prácu v rámci úloh NKP v roku 2000, a že vstupné dáta boli už predtým pripravené v rámci štvorročného vedecko-technického projektu riešeného v rokoch 1995 – 1998 z prostriedkov MP SR.

Výpočet pre každé ďalšie povodie znamená aj prípravu všetkých potrebných vstupných dát a optimalizáciu všetkých laditeľných parametrov od samotného počiatku, čo potom treba aj zväžiť pri odhade trvania prác a potrebných neinvestičných nákladov na ďalšie riešenie tejto dôležitej problematiky.



## LITERATÚRA

- [ 1 ] Petrovič P.: "Dôsledky premenlivosti klímy na hydrologický režim a vodné hospodárstvo." Záverečná správa VTP MPSR 514-54. VÚVH Bratislava, september 1998.
- [ 2 ] Petrovič P.: Dôsledky klimatických zmien na hydrologickú bilanciu - Aplikácia pre povodie Nitry. Záverečná správa za čiastkovú úlohu č. 1 pre VTP MPSR 514-54 "Dôsledky premenlivosti klímy na hydrologický režim a vodné hospodárstvo." VÚVH Bratislava, september 1998.
- [ 3 ] Petrovič P.: Dôsledky klimatických zmien a možná prevencia v oblasti vodného hospodárstva. In: Zborník príspevkov z odbornej konferencie "Prognózované zmeny klímy a zmiernenie ich negatívneho vplyvu na krajinné prostredie". SPPK, UKIS a VÚZH Bratislava, 1994, 44 - 62.
- [ 4 ] Petrovič P.: Climate change impact on hydrological regime for two profiles in the Nitra river basin. In: Proc. of the XIX Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, 15-19 June 1998, Osijek, Croatia, pp 117 - 123.
- [ 5 ] Petrovič P.: Possible climate impacts on the water resources of the Danube river basin, case study: Subbasin of the Nitra river. In: Proc. of "The 2nd Internat. Conf. on Climate and Water", Espoo, Finland, 17 - 20 August 1998, Edita Ltd, Helsinki, 1998, Vol. 2, pp. 981 - 990.
- [ 6 ] Petrovič P.: Climate change impact and water management in Slovakia. In: NATO ARW "Stochastic Models of Hydrological Processes and their Application to Problems of Environmental Preservation", Water Problems Institute, Moscow, Russia, November 23 - 27, 1998, s. 348 - 353.
- [ 7 ] Petrovič P.: Dôsledky premenlivosti klímy na hydrologický režim a vodné hospodárstvo. In: Vodohospodársky spravodajca XLII (1999), 2, 12 - 14.
- [ 8 ] Lapin M., Faško P., Zeman V.: Príspevok k analýze možných dôsledkov globálneho oteplenia atmosféry o 1 - 2 °C na zmeny klimatických pomerov na Slovensku. In: Bulletin NKP SR 2/94. MŽP SR a SHMÚ Bratislava 1994, 39 - 77 (scenár pre relatívnu vlhkosť vzduchu je na str. 62)
- [ 9 ] Bulletin NKP 1/94. MŽP SR a SHMÚ Bratislava 1994
- [10] Bulletin NKP 3/95. MŽP SR a SHMÚ Bratislava 1995
- [11] Bulletin NKP 4/96. MŽP SR a SHMÚ Bratislava 1996
- [12] Bulletin NKP 5/96. MŽP SR a SHMÚ Bratislava 1996
- [13] Bulletin NKP 6/97. MŽP SR a SHMÚ Bratislava 1997
- [14] Bulletin NKP 7/97. MŽP SR a SHMÚ Bratislava 1997
- [15] Lapin, M., Melo, M., Damborská, I., Gera, M., Faško, P.: Nové scenáre klimatickej zmeny pre Slovensko na báze výstupov prepojených modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry. In.: Národný klimatický program SR, V, zv. 8, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava 2000, 5-34.
- [16] Petrovič P., Džupová D.: Hodnotenie evapotranspirácie podľa výskumnej stanice VÚVH v Michalovciach. Prednesené na vedeckom seminári "Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia", Z. Širava 24. až 26. mája 1994. In: Zborník vybraných prác VÚVH I., 1994, 184 - 197.
- [17] SHMÚ: Country Study Slovakia, Bratislava, September, 1997
- [18] Yates D.: *WatBal* - An Integrated Water Balance Model of River Basin Runoff. IIASA WP-94-64, July 1994.
- [19] Yates D., Strzepek K.: Comparison of Models for Climate Change Assessment of River Basin Runoff. IIASA WP-94-45, July 1994.
- [20] Petrovič P.: Model vertikálnej bilancie DAIR a jeho aplikácia pre Hurbanovo a Znojmo. Posudok pre HDP Brno č. N 62/85. VÚVH Bratislava, sept. 1985, 11 str. a tabuľky výpočtu pre 3 verzie modelu. (Použitie ako podklad pre spracovanie typizačnej štúdie Hejtman J.: Vodohospodárské řešení závlahových nádrží. HDP Brno, november 1985.)
- [21] Petrovič, P., 1989: A mathematical model of evapotranspiration and irrigation requirement with respect to profile water balance. In: Estimation of Areal Evapotranspiration (Proc. of a workshop held at Vancouver, B.C., Canada, Aug. 1987). IAHS Publ. No. 177, 237 - 244.
- [22] Petrovič P.: Vertical Hydrological Balance in Žihárec for the period of 1961 - 1990. In: Evaporation, Water Balance & Deposition - Proc. of Symp. on Precipitation and Evaporation, Vol. 3, Bratislava, Slovakia, 20 - 24 Sept., 1993, 211 - 218.
- [23] Petrovič P., Venetianerová M.: Odtokové pomery v povodí rieky Nitry. Záverečná správa VÚVH Bratislava, 1973.
- [24] GGI Leningrad: Ukazaniya po rasčetu isparenija s poverchnosti suši - projekt. GUGMS, 1970.

## CLIMATE CHANGE IMPACT ON HYDROLOGICAL REGIME IN THE NITRA RIVER BASIN

*Pavel Petrovič, Water Research Institute, Nám. arm. gen. Svobodu 5, 812 49 Bratislava*

### Summary

Our contribution in this Slovak National Climate Change Program (NKP) publication series is the first presentation of work done in the Water Research Institute, but it is summarising results of work done since 1994. At that time we initiated four year complex study (scientific – technical project) dealing with possible consequences of climate change impact in the Nitra river basin for 3 different reference profiles (Table 1). Current analysis is based on this initial methodology.

Methodology is based on the assumption, that for the selected area (river basin) it is possible:

- to tune rainfall – runoff (preferably full water balance) model on chosen “normal” period (1951 – 1980);
- to use such a model with the same values of parameters also in a “future” – none significant change influencing “the hydrological behaviour” is expected in the river basin and
- to use in the model the “future” meteorological input data as the “normal period data” shifted in consonance with the climate change scenario (in our case to the time horizon  $2030 \pm 15$ ) for the expected new hydrological regime evaluation.

In the study a possibility to use WatBal model, recommended by U.S. EPA was verified, but we finally decided to compose a new mathematical model (MEHYBI) which was based on the mixture of WatBal and our model DAIR for vertical hydrological balance assessment (Scheme 1). Obtained “precision” in runoff depth modelling can be seen in Table 2 and monthly deviations are shown in Figure 1 and Figure 2.

In the above mentioned complex study we used 7 scenarios, which were available already in 1995, now the evaluation is based on two newly corrected scenarios “C” – CCCM95 and “G” GISS95 - Tab. 3. Results obtained for new scenarios are compared with the “normal” hydrological regime and with the results obtained in the complex study. Potential evapotranspiration (PET) is in Table 4 and Figure 3, runoff depth (F) in Table 5, Figure 4 and Figure 5, actual evapotranspiration (AE) in Table 6 and Figure 6. “Relative” (RAE) actual evapotranspiration (“actual evapotranspiration”/“potential evapotranspiration”) – Figure 7 is also showing a degree of the soil moisture saturation.

Symbols - values drawn in figures - ending with

- “0” - represents the modelled initial situation,
- “OBS” or “M” (only for runoff depth) – represents the observed initial situation,
- “MAX” and “MIN” - represent the extend of changes according to the first 7 chosen scenarios,
- “C” and “G” – represent the situation according to the latest 2 presently applied scenarios.

Results of the study are showing that such an approach to water balance modelling and climate change impact is a first step for a more precise study. Although the linear dependency of runoff on liquid portion of precipitation and on soil moisture is giving good consonance in monthly means, the extreme values are smoothed down. It seems to be difficult to get more exact approach in the monthly time step in input data. Impact on the hydrological regime according to the used scenarios is significant. For the conditions of the Nitra River basin (to the reference profile in Nové Zámky) new potential evapotranspiration for the scenario “G” will be higher by 17% and in mean will reach the value of 868 mm a year. This is a consequence of increase of air temperature and decrease of air humidity. This will be followed by decrease of runoff depth in September on the value of 5 mm a month only or drop in April to 40% of present values. For 4 summer months the relative runoff will be below present 60%, as can be seen in Figure 5. Simultaneously soil moisture will be practically for 5 summer months below 70% of “optimal” full available soil moisture. This could significantly increase demand of supplementary irrigation, for which the present water management does not have enough sources.

Situation seems to be so serious, that the remediation measures for the Nitra river basin are urgently needed.

Similar studies should be performed also for further river basins in Slovakia.



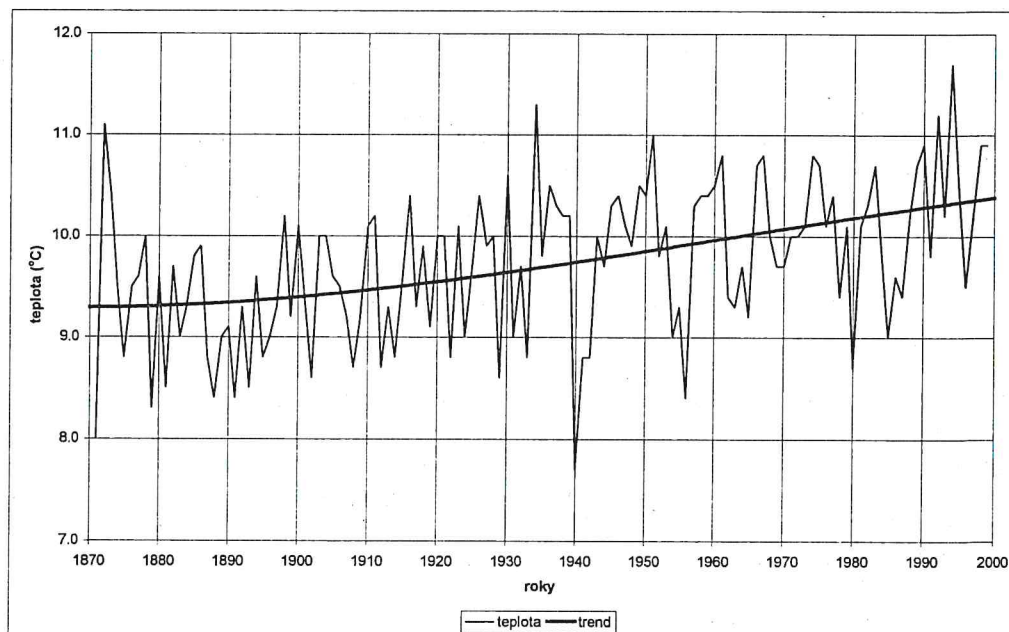
## ADAPTÁCIA POĽNOHOSPODÁRSTVA V SLOVENSKEJ REPUBLIKE NA KLIMATICKÚ ZMENU

Jozef TAKÁČ a Ivan ZUZULA, Výskumný ústav meliorácií a krajinného inžinierstva, Bratislava

### ÚVOD

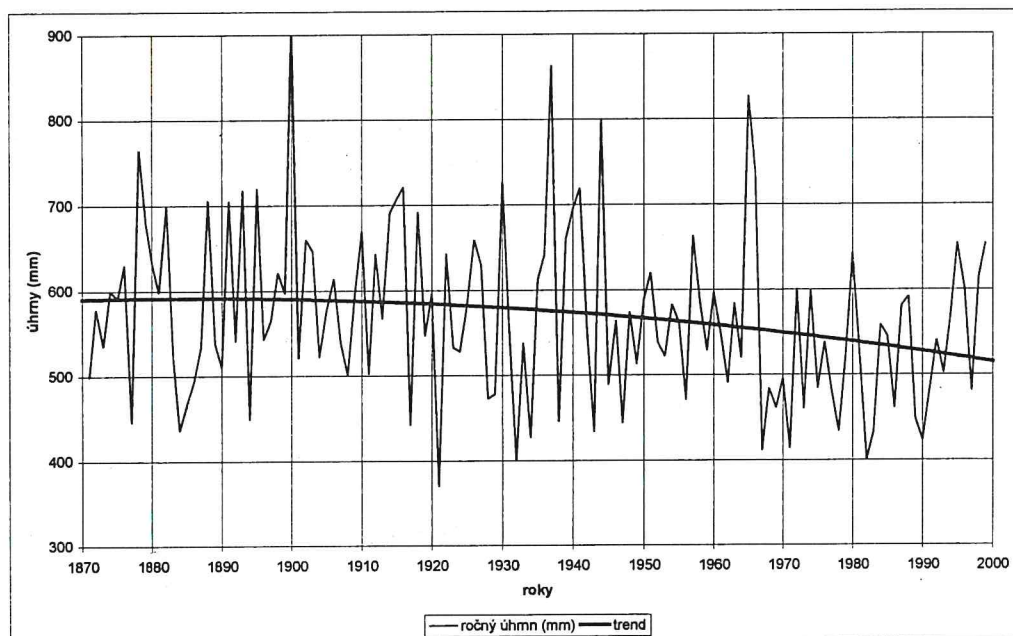
Ako je všeobecne známe, klimatická zmena spôsobí náhle zmeny podmienok pre prírodné ekosystémy a pre sociálne a ekonomické sektory spoločnosti. Prejaví sa to na jednej strane zvýšeným výskytom suchých období, na druhej strane častejším výskytom intenzívnych búrok a lejakov. V oblastiach s doteraz občasným výskytom suchých období bude ich častejší výskyt limitujúcim faktorom poľnohospodárstva, lesníctva a vodného hospodárstva. So zmenou klimatických podmienok budú súvisieť aj zmeny v štruktúre výskytu rastlín, živočíchov, mikroorganizmov, chorôb, škodcov, burín, atď. Dôjde k závažnému narušeniu stability prírodných ekosystémov. Ak by takýto proces trval tisíce rokov, bol by dostatok času na to, aby sa v nich prirodzeným spôsobom obnovovala rovnováha. K uvažovanej závažnej zmene však dochádza v priebehu jedného storočia. To je veľmi krátka doba na to, aby sa mohla vytvoriť prirodzená rovnováha v štruktúre ekosystémov a nepochybne dôjde k závažným konfliktným situáciám. Dôsledkom môže byť katastrofálne premnoženie určitých biologických druhov, ktoré nebudú mať prírodných nepriateľov, a z toho vyplynie častý výskyt epidémií alebo iných pohrôm. S dôsledkami očakávaných zmien sa bude potrebné vyrovnávať aj u nás v zásobovaní vodou, hydroenergetike, pri zavlažovaní v poľnohospodárstve a pod. Aj na Slovensku vzrastie pravdepodobnosť výskytu intenzívnych búrkových lejakov. Platí totiž, že čím je vyššia priemerná teplota vzduchu v lete, tým je vo vzduchu obvykle viac vlhkosti a sú väčšie predpoklady na výskyt katastrofálnych lejakov a prívalových povodní.

Sledovania potenciálnej a skutočnej evapotranspirácie potvrdzujú aridifikačný trend, čo sa negatívne prejavuje najmä v oblasti poľnohospodárskych pôd južného Slovenska. Pokračujú tiež trendy poklesu výdatnosti prameňov, prietokov riek a hladín podzemných vôd. Prognózy hovoria o výraznom urýchlení týchto trendov v blízkej budúcnosti. Navyše pozorujeme synergiu antropických a prírodných činiteľov, pretože na pomalú postupnú aridizáciu poukazujú naše pôdy už najmenej od neolitu.



Obr. 1 Priemerné ročné teploty v Hurbanove v období rokov 1871 – 1999

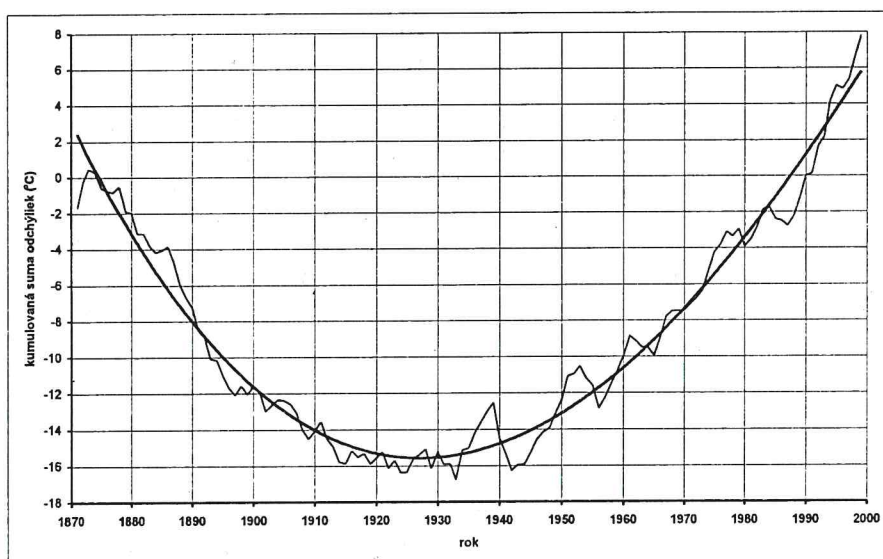
Vývoj teplotných a vlhkostných pomerov na Slovensku od druhej tretiny 19. storočia dodnes je možné veľmi dobre dokumentovať na pozorovaniach meteorologickej stanice Hurbanovo, z ktorej sú k dispozícii údaje od r. 1871. Priemerné mesačné teploty v Hurbanove sú znázornené na obr. 1, mesačné zrážkové úhrny na obr. 2. Údaje na oboch obrázkoch sú doplnené aj trendovými krivkami. Z trendových kriviek vidieť postupný vzostup teplôt a pokles zrážkových úhrnov na Slovensku. Tieto krivky nasvedčujú tiež tomu, že v prípade vzostupu teplôt a poklesu zrážkových úhrnov ide na Slovensku o dlhodobý proces.



Obr. 2 Ročné zrážkové úhrny v Hurbanove v období rokov 1871 - 1999

Trendové krivky na obr. 1 a 2 nevystihujú celkom dynamiku zmien teplotných a vlhkostných pomerov v našej oblasti. Pri pohľade na trendovú krivku na obr. 1 možno usudzovať, že vzrast teploty pozorujeme v Hurbanove od začiatku meteorologických pozorovaní. Podľa trendovej krivky na obr. 2 pokles zrážkových úhrnov v našej oblasti sa urýchlil v dvadsiatych rokoch 20. storočia.

Presnejší obraz o dynamike sledovaných javov – raste teplotných priemerov a poklese zrážkových úhrnov - nám poskytnú kumulované sumy odchýlok od dlhodobého priemeru. V našom prípade sme brali do úvahy priemer za obdobie rokov 1871 až 1990. Ide o charakteristiky značne robustné, krátkodobá odchýlka nespôsobí vychýlenie celého radu. V prípade, že hodnoty sledovanej charakteristiky sa pohybujú okolo dlhodobého priemeru, aj výsledná krivka kolíše okolo tejto priemernej hodnoty. Významnejšie dlhodobejšie odchýlenia od priemernej hodnoty signalizujú významnú zmenu v charaktere sledovaného parametra.



Obr. 3 Hurbanovo, 1871 – 1999, priemerné ročné teploty – kumulovaná suma odchýlok od dlhodobého priemeru (priemer za obdobie 1871 – 1990)

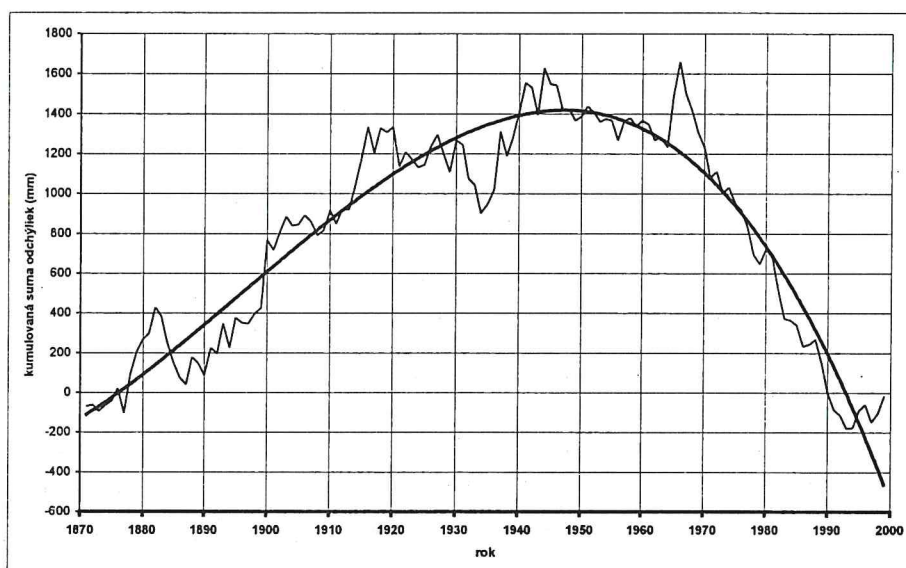
Kumulovaná suma odchýlok od dlhodobého priemeru priemerných mesačných teplôt v Hurbanove v období rokov 1871 – 1999 je znázornená na obr. 3, pre mesačné zrážkové úhrny je podobná charakteristika znázornená na obr. 4. Na oboch obrázkoch je znázornená aj trendová krivka sledovanej charakteristiky. Záporné (menšie



ako nula) odchýlky na obr. 3 a 4 znamenajú podnormálnosť sledovaných charakteristík, kladné odchýlky (väčšie od nuly) znamenajú zasa nadnormálnosť sledovaných charakteristík.

Z obrázku 3 vyplýva, od začiatku pozorovaní v Hurbanove do konca dvadsiatych rokov 20. storočia prevládala trend, smerujúci k poklesu teplôt, ku zlomu dochádza začiatkom tridsiatych rokov, odvtedy vzostupný trend pokračuje. Podobne na obr. 4 pozorujeme vzostup zrážkových úhrnov v Hurbanove do štyridsiatych rokov 20. storočia, od začiatku päťdesiatych rokov pozorujeme ich pokles.

V rezorte pôdohospodárstva sa v 90-tych rokoch viac-menej systematicky venovali problematike klimatickej zmeny a príprave adaptačných opatrení viacerí vedeckí pracovníci z rezortných inštitúcií. Zúčastňovali sa riešenia Národného klimatického programu SR a participovali na vypracovaní územnej štúdie Slovenska. Autorský kolektív zložený zo zástupcov rezortných výskumných ústavov a ďalších prizvaných odborníkov spracoval v roku 2000 „Návrh adaptačných opatrení v pôdohospodárstve SR na klimatickú zmenu“.



Obr. 4 Hurbanovo 1871 – 1999, ročné úhrny zrážok - kumulovaná suma odchýlok od dlhodobého priemeru (priemer za obdobie 1871 – 1990)

## KLIMATICKÁ ZMENA A POĽNOHOSPODÁRSTVO V SR

Poľnohospodárstvo Slovenska v období ekonomickej transformácie prešlo rozsiahlou privatizáciou. V poľnohospodárstve sa v prevažnej miere zachovala kooperatívna forma hospodárenia, nakoľko väčšina nových vlastníkov pôdy ju prenajala družstvám. Dotácie do poľnohospodárstva poklesli od roku 1989 o viac ako 50 % a v roku 1994 činili 7,1 mld. Sk, t.j. 1,8 % HDP a sú podstatne nižšie ako v štátoch Európskej únie. V období 1986 až 1992 pokleslo PSE (Producer Subsidy Equivalents) o 40 % a do roku 1994 ešte pokračoval mierny pokles. V prvých 5 rokoch ekonomickej transformácie sa zachovala produkcia obilnín. Stavov hovädzieho dobytku sa znížili o 41 % a ošípaných o 19 %. Aplikácia priemyselných hnojív sa znížila na pätinu.

Scenáre potenciálnych zmien teplotných a zrážkových charakteristík, podmienených klimatickou zmenou vychádzajú z regionálnych scenárov teploty a zrážok na Slovensku. Podľa väčšiny scenárov bude v časovom horizonte v r. 2030 pre nížiny a pahorkatiny západného Slovenska suma záporných teplôt v priemere nulová. Predpokladá sa zväčšenie variability klimatických charakteristík.

Predpokladá sa, že zmeny klímy budú mať pozitívne i negatívne dôsledky na tvorbu úrody a produkciu rastlinnej výroby v podmienkach Slovenska. Za pozitívne dôsledky možno považovať možnosť rozšírenia výmery plôch na teplo náročnejších a suchovzdornejších plodín s výkonnejším typom fotosyntézy (typ C4 – kukurica, ciroky a pod.). Ďalším pozitívom je zvýšenie príjmu niektorých živín a zlepšenie mikrobiálneho života v pôde, za predpokladu priaznivých vlhkostných podmienok.

Predpokladaná vyššia koncentrácia CO<sub>2</sub> v ovzduší pri celkovej zvýšenej teplote bude mať za následok zvýšené hromadenie pôdnej organickej hmoty. Očakávaná aridizácia, zvýšené prevzdušnenie a oxidácia pôdneho materiálu spôsobia rýchlejší rozklad pôdnej organickej hmoty – mineralizáciu. Očakáva sa mierny až stredný vzrast salinizácie, ako aj alkalizácie pôd. Vyšší výskyt prívalových dažďov zvýši nebezpečie erózie pôdy.

Sú rozpracované, a v niektorých prípadoch aj schválené, koncepcie rozvoja agrárnej politiky do r. 2005, resp. 2010, s nižším rastom hektárových úrod v dôsledku vplyvu klimatickej zmeny. Koncepcie uvažujú s tým, že zmena klímy v niektorých prípadoch ovplyvní štruktúru rastlinnej výroby. Tá je však ovplyvňovaná predovšetkým možnosťami uplatnenia produkcie na trhu. Je preto možné sa domnievať, že budú v podstate nezmenenom rozsahu pestované aj tie plodiny, pri ktorých prípadná klimatická zmena ovplyvní negatívne hektárové úrody. Pri prognózovaní hektárových úrod sa vychádzalo aj z toho, že v súčasnej dobe ekonomické dôvody nedovoľujú plne využívať produkčný potenciál prostredia a preto ich nárast je možné chápať ako funkciu postupne zvyšujúcej sa intenzity rastlinnej výroby a prípadného negatívneho pôsobenia klimatickej zmeny.

Z hľadiska štruktúry rastlinnej výroby budú obilniny predstavovať približne 55 % z ornej pôdy, z toho husto siate 45 %, olejiny 12 – 13 %, okopaniny 4,6 % a krmoviny na ornej pôde 16,5 %. Ak nedôjde do r. 2030 k negatívnemu ovplyvneniu hektárových úrod v dôsledku klimatickej zmeny, resp. sa realizuje úrodový zisk z pozitívneho technologického a šľachtiteľského trendu, budú plochy jednotlivých plodín veľmi mierne klesať. V prípade negatívneho prejavu klimatickej zmeny by nižšie hektárové úrody museli byť kompenzované väčšími pestovateľskými plochami.

Okruh problémov, ktoré bude potrebné v oblasti rastlinnej výroby riešiť z hľadiska predpokladanej zmeny klímy:

1. vplyv klimatickej zmeny na štruktúru rastlinnej výroby, jej produktivnosť a ekonomickú efektívnosť,
2. možnosti eliminácie negatívneho vplyvu klimatickej zmeny prostredníctvom zmeny zastúpenia plodín a ich striedania,
3. systém obrábania pôdy dočasne vyradenej z obrábania a pestovateľské systémy alternatívnych plodín.

V súčasnosti sa plne nevyužívajú prednosti a možnosti pôdoochranných technológií. Potreba ich rozšírenia vzrastie v súvislosti s klimatickou zmenou, nakoľko na jednej strane ochraňujú pôdu pred neproduktívnym výparom, na druhej strane umožňujú rýchlejšie a väčšie vsakovanie vody.

Doteraz sa naše poľné plodiny nešľachtili na toleranciu voči suchu. Napriek tomu v dôsledku nepriamej prírodnej selekcie sú moderné odrody tolerantnejšie voči suchu v porovnaní so staršími odrodami. Podobne pre závlahové podmienky sa cieľavedome nešľachtilo. Do roku 2010 sa nepredpokladajú zmeny v genofonde obilnín a ďalších samoopelivých rastlín, k prípadným zmenám môže dôjsť pri cudzoopelivých krmovinách, najmä trávach. Do roku 2010 sa nepredpokladá vyšľachtenie, introdukovanie a používanie odrôd, ktoré by boli výrazným spôsobom suchovzdorné.

Problematika klimatickej zmeny a otázky vyrovnávania sa s jej dôsledkami je jedným z najvážnejších globálnych problémov v súčasnosti. Ide o problematiku, ktorej riešenie nie je krátkodobé a ani jednoduché. Vyžaduje spoluprácu odborníkov z mnohých vedných disciplín a, samozrejme, dostatok finančných prostriedkov. Z vecného hľadiska pôjde vo všeobecnosti predovšetkým o riešenie a realizáciu projektov v *poľnohospodárstve* zameraných na:

1. uplatňovanie ochranných a šetriacich technológií obrábania pôdy,
2. zmeny v technológii pestovania plodín,
3. zmeny v agroklimatickej rajonizácii a štruktúre pestovaných plodín a odrôd,
4. zmeny v šľachtiteľských programoch,
5. zmeny v integrovanej ochrane plodín,
6. zmeny v regulácii vodného režimu pôdy,
7. zmeny vo výžive rastlín,
8. znižovanie emisií skleníkových plynov, spracovanie exkrementov a odpadov v živočíšnej výrobe,
9. zmeny v riadení poľnohospodárskej výroby,
10. revitalizáciu jestvujúcich a budovanie nových závlahovacích zariadení.

V súvislosti s klimatickou zmenou bude potrebná nová formulácia regionálnej a štátnej ekonomickej, organizačnej a technickej politiky v poľnohospodárstve a vo vodnom hospodárstve (so zameraním na najviac ohrozené oblasti), ako aj aktualizácia programu výstavby nových vodných nádrží. Dôležité tiež bude skvalitnenie legislatívnych a ekonomických opatrení na lepšie využívanie závlah z dôvodov stabilizovania úrod.

## VODNÉ HOSPODÁRSTVO A ZÁVLAHY

Slovenská republika je typickou vnútrozemskou krajinou, nachádzajúcou sa na Európskej rozvodnici dvoch morí – Baltického a Čierneho mora. Prírodné vodné zdroje sú preto značne odkázané na dotáciu najmä zo zrážkových vôd. Celková dĺžka vodných tokov na území Slovenska predstavuje 49 775 km. Priemerný dlhodo-



bý odtok z územia Slovenska je  $388 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , pričom s tokmi pritekajúcimi na územie Slovenska zo susedných štátov je to spolu  $3\,328 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Z celkovo využiteľných množstiev podzemných vôd v hodnote  $74,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  sa v roku 1999 využívalo  $16,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , z toho pre verejné vodovody  $12,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Rozhodujúce zdroje podzemných vôd sú sústredené najmä na území juhozápadného Slovenska, kde v oblasti Žitného ostrova a pravobrežnej nivy Dunaja kapacita zdrojov pitnej vody predstavuje  $23,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Z povrchových vodných zdrojov bolo v roku 1999 odoberaných  $22,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Celkový objem vodných nádrží narastal z 300 mil.  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v roku 1975 na 2 004 mil.  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v roku 1999. Na území SR vyše 800 tis. ha poľnohospodárskej pôdy si vyžaduje závlahy. V súčasnosti jestvujúce veľkozdroje pre závlahy umožňujú zavlažovať poľnohospodársku pôdu o ploche v rozsahu cca 310 tis. ha.

V rámci rezortu Ministerstva pôdohospodárstva SR sa v období 1995 – 1998 vo Výskumnom ústave vodného hospodárstva riešil vedecko-technický projekt „Dôsledky premenlivosti klímy na hydrologický režim a vodné hospodárstvo“ zameraný na možné dôsledky klimatickej zmeny. Projekt sa zaoberal málovodným povodím Nitry, pričom výsledky výskumu naznačujú výrazný pokles letných prietokov do takej miery, že sa touto problematikou treba v najbližšej budúcnosti veľmi intenzívne zaoberať a pre zmiernenie predpokladaných rizík sa zdá nevyhnutné prikrčiť u nás k stavbám ďalších údolných nádrží s aspoň ročným cyklom vyrovnávania prietokového režimu vodných tokov využívaných na zásobovanie vodou a závlahy. Z výsledkov projektu vyplýva, že podľa všetkých scenárov klimatickej zmeny nastane výrazný pokles odtoku v lete a to až o 30% po dobu niekoľkých mesiacov a to predovšetkým pre povodie Nitry po profil Nové Zámky. Z riešenia tiež vyplynul predpoklad, že dôjde k vzostupu potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie a tým aj nárokov vegetačnej pokrývky na vodu, čo pri poklese vlhkosti pôdy bude znamenať výrazné ovplyvnenie rastlinnej výroby.

Z riešenia v súvislosti s klimatickou zmenou okrem iného vyplynulo:

1. Na základe dosiahnutých výsledkov možno všeobecne očakávať skorší výskyt deficitov vlhky oproti doterajším hodnoteniam, s posunom potrebných opatrení do skorších časových horizontov.
2. Bude potrebné prehodnotiť používané referenčné obdobie na hodnotenie kvantitatívnej vodohospodárskej bilancie.
3. Vzhľadom na poľnohospodárske závlahy bude potrebné venovať pozornosť metodike bilančných hodnotení, primeranému schématickemu postupov a používaných hodnôt, ako aj prehodnotiť otázky zabezpečenia zdrojov vody.

Bude potrebné preveriť rozsah existujúceho monitoringu dôsledkov sucha na porasty, na rastúce potreby doplnkovej závlahy a zabezpečiť pokračovanie existujúcich pozorovaní a prieskumov s cieľom získania operatívnejšej informácie o vývoji aktuálnych rizikových faktorov vo vybraných (predovšetkým) nížinných oblastiach Slovenska. V rámci riešenia interakcie hladinového režimu povrchových a podzemných vôd s cieľom zmierniť účinky sucha sú potrebné:

1. analýza súčasného stavu a trendov,
2. zvýšenie akumulčných zásob podzemných vôd,
3. prehodnotenie a sprísnenie podmienok pre odbery podzemných vôd z hľadiska trvalo udržateľného vývoja príslušnej lokality,
4. zvýšenie a usmerňovanie hladiny podzemných vôd prostredníctvom siete kanálov,
5. obnova interakcie medzi povrchovými a podzemnými vodami – odstránenie vplyvov zakolmatovania,
6. opatrenia na zadržanie zrážkových vôd v urbanizovaných územiach a v otvorenom teréne (poľnohospodárska pôda, pasienky a lesná pôda).

Dôležitou podmienkou stabilizácie rastlinnej produkcie je zabezpečenie optimálneho vodného režimu pôd. Hlavnými technickými a technologickými opatreniami na reguláciu vodného režimu pôd v našich podmienkach sú závlahy a odvodnenie. V SR bolo doteraz vybudovaných cca 360 000 ha závlah, z ktorých je v súčasnosti evidovaných cca 310 000 ha, čo predstavuje 21 % ornej pôdy, resp. 13 % poľnohospodárskej pôdy. Tieto závlahy boli v prevažnej miere budované ako veľkoplošné sústavy. Závlahová voda sa aplikuje hlavne postrekom (97 %). Územia s vybudovanými závlahami sú významným potenciálom, schopným vytvoriť takú poľnohospodársku produkciu, ktorá by v značnej miere zaisťovala potravinovú bezpečnosť štátu.

V dôsledku klimatickej zmeny dochádza k zreteľnému poklesu obsahu vody v koreňovej zóne, čiže k poklesu obsahu vody, priamo zapojenej do produkčného cyklu. Ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie sa budú na celom území Slovenska naďalej zvyšovať. Postupne budú narastať aj ročné úhrny skutočnej evapotranspirácie, pričom sa bude na celom území zväčšovať deficit evapotranspirácie vo vegetačnom období, najviac na južnom Slovensku. Minimálne hodnoty relatívnej evapotranspirácie sa posunú z letných mesiacov do jarných mesiacov. Na základe výsledkov simulácií pre oblasť Podunajskej nížiny a Východoslovenskej nížiny sa očakáva zvýšenie celkovej závlahovej potreby. Možno očakávať skorší začiatok závlahovej sezóny, nárast závlahovej potreby v



máji a zvýšenie závlahovej potreby v letných mesiacoch.

Vzhľadom na zvýšenú závlahovú potrebu bude nevyhnutné rekonštruovať a dobudovať závlahové systémy a bude nevyhnutné preveriť možnosť zabezpečenia primeraných zdrojov vody, resp. navrhnuť vhodnú zmenu spôsobu hospodárenia na pôde za predpokladu nedostatočných zdrojov na závlahu. Navrhované riešenie bude potrebné jednak v krátkom časovom horizonte, ale tiež aj ako riešenie dlhodobé s príslušným podrobnejším spracovaním podľa (podnikov) povodí Slovenska.

V súvislosti so zvyšovaním periodicity a intenzity prívalových dažďov dochádza k zvýšenému eróznemu splachu pôdy, k zanášaniam tokov a kanálov, ktoré sú recipientami odvodňovacích zariadení, a tým k znižovaniu ich pôvodnej funkčnosti. Veľmi dôležitým technologickým aspektom sa javí postupná modernizácia existujúcich odvodňovacích systémov a ich prebudovanie na retardačné, resp. regulačné systémy, ktoré by zabezpečovali optimalizáciu vodného režimu pôd a obojstrannú reguláciu vody v pôde (zavlažovanie a odvodňovanie). Ako uvádzame inde, potrebná bude aj zmena štruktúry rastlinnej výroby v závlahových podmienkach a nárast podielu produkcie na zavlažovaných plochách a potrebné bude tiež prehodnotiť otázky používaných zabezpečení zdrojov vody a zaistiť opravy a údržbu primárnej a sekundárnej kanálovej siete. Taktiež bude potrebné preveriť stav a vypracovať návrh opatrení pre trvalú funkčnú pohotovosť závlahových sústav, vrátane čerpacích staníc a rozvodných systémov.

V nových výšných podmienkach prízemnej vrstvy atmosféry (s relatívnou vlhkosťou vzduchu niekedy aj pod 25 %) považujeme za potrebné preveriť existujúce matematické modely a výpočtové vzťahy pre vertikálnu hydrologickú bilanciu aj so zohľadnením určovania množstiev a termínovania doplnkovej závlahy (biologická krivka potreby vody, porastové koeficienty FAO, rozsah kapilárneho dopĺňovania vlhky do koreňovej zóny pri sústavne pokračujúcom poklese úrovne hladín podzemnej vody). Bude nevyhnutné sledovať interakciu povrchových, pôdných a podzemných vôd, vrátane hydraulického prepojenia zóny aerácie s drenážnym systémom a následne s celou vodohospodárskou sústavou (odvodňovacie kanály, čerpacie stanice, riečna sieť) pred povodňami a po nich.

Výskumný ústav meliorácií a krajinného inžinierstva Bratislava – VÚMKI (predtým Výskumný ústav závlahového hospodárstva) sa zúčastňuje na riešení Národného klimatického programu SR od roku 1993. Riešenie bolo zamerané hlavne na hodnotenie vodného režimu pôdy a závlahových režimov.

V rámci riešenia NKP SR a územnej štúdie bola pre vyhodnotenie dôsledkov klimatickej zmeny na bilanciu vody v pôde a závlahové režimy vykonaná analýza pre oblasti Podunajskej a Východoslovenskej nížiny. Klimatické rady pre jednotlivé alternatívne scenáre klimatickej zmeny boli odvodené z klimatických údajov pre rok 1981. Do simulácií boli zahrnuté regionálne modifikované GCMs scenáre (CCCM, GISS a GFD3) a kombinácie inkrementálnych scenárov NKP SR (dT1, dT2, dR1, dR2 a dR3).

Podľa prijatých scenárov sa očakával nárast priemernej ročnej teploty vzduchu pre časový horizont roku 2075 pri stave  $2\times\text{CO}_2$  o 2,1 – 4,3 °C. Všetky prijaté scenáre predpokladali zmeny v ročnom chode zrážok, pričom podľa GCMs scenárov GISS a GFD3 sa očakávalo zvýšenie ročných úhrnov atmosférických zrážok do roku 2075 o 16, resp. 13 %. Naopak, scenáre dR2 a dR3 počítali s poklesom ročných zrážkových úhrnov. Scenáre CCCM a dR1 nepredpokladali zmenu v ročných úhrnoch zrážok, pričom podľa scenára dR1 ostal zachovaný aj ich ročný chod.

Vyhodnotenie bolo založené na simuláciách modelom systému pôda-rastlina-atmosféra DAISY (Hansen, S. et al., 1990) pre charakteristické pôdne profily regiónov reprezentovaných meteorologickými stanicami Hurbanovo, Nitra a Trebišov. Simulácie sa vykonali pre 5 poľných plodín (jarný jačmeň, ozimná pšenica, kukurica, cukrová repa a lucerna). Závlahové dávky boli aplikované v automatickom režime pri poklese zásoby pôdnej vody v koreňovej zóne pod 50 % VVK.

Z výsledkov simulácií boli pre vybrané scenáre a jednotlivé časové horizonty (2010, 2030 a 2075) vyhodnotené údaje o potenciálnej ( $ET_0$ ), aktuálnej ( $ET$ ) a relatívnej evapotranspirácii ( $ET/ET_0$ ), hodnoty evapotranspiračného deficitu ( $ET_0 - ET$ ), zmeny zásoby pôdnej vody a ročného chodu vlhkosti pôdy vo vybraných horizontoch pôdneho profilu na nezavlažovanej pôde. Ďalej boli z výsledkov simulácií pre jednotlivé scenáre a časové horizonty vyhodnotené závlahové množstvá, termíny závlahových dávok a rozloženie závlahovej potreby v priebehu vegetačného obdobia. Získané hodnoty boli porovnané s údajmi vypočítanými pre referenčný rok 1981. Na základe vypočítanej závlahovej potreby pre vybrané regióny bola pre jednotlivé scenáre a časové horizonty kvantifikovaná potreba závlahovej vody pre územie SR a potreba budovania závlahových systémov. Výsledky vyhodnotenia dôsledkov potenciálnej klimatickej zmeny na evapotranspiráciu na nezavlažovanej pôde v oblasti Hurbanova pre vybrané časové horizonty podľa jednotlivých scenárov klimatickej zmeny sú zhrnuté v tab. 1. Pre všetky vybrané scenáre bolo simulované zvýšenie ročných úhrnov potenciálnej evapotranspirácie ( $ET_0$ ). Podľa jednotlivých scenárov sa toto zvýšenie pohybovalo od 1,5 % pre scenár dT1 pre časový horizont roku 2010 po 10,6 % pre scenár GFD3 pre časový horizont roku 2075. Naopak, okrem scenárov GISS a GFD3,



možno vo všetkých časových horizontoch očakávať pokles ročných úhrnov aktuálnej evapotranspirácie (ET). Podľa scenárov GISS a GFD3, predpokladajúcich zvýšenie zrážkových úhrnov, bol vypočítaný nárast ročných úhrnov ET pre všetky časové horizonty. V dôsledku nárastu  $ET_0$  a poklesu ET sa znížila aj relatívna evapotranspirácia (s výnimkou scenára GISS). U scenárov s najvýznamnejším poklesom zrážkových úhrnov, dT1R3 a dT2R3, by sa priemerná ročná hodnota  $ET/ET_0$  v horizonte roku 2075 mala pohybovať na úrovni 0,52, resp. 0,51, pričom v jarných a letných mesiacoch klesne pod hodnotu 0,5.

Tab. 1: Zmena priemerného ročného úhrnu potenciálnej evapotranspirácie  $ET_0$  [%], priemerného ročného úhrnu aktuálnej evapotranspirácie ET [%] a priemernej ročnej relatívnej evapotranspirácie  $ET/ET_0$  [%] na nezavlažovanej pôde pre oblasť Hurbanova podľa jednotlivých scenárov klimatickej zmeny pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 v porovnaní s rokom 1981. ET a  $ET/ET_0$  boli vypočítané ako vážené priemery podľa výmery plodín.

| Scenár | $ET_0$ |      |      | ET   |      |       | $ET/ET_0$ |       |       |
|--------|--------|------|------|------|------|-------|-----------|-------|-------|
|        | 2010   | 2030 | 2075 | 2010 | 2030 | 2075  | 2010      | 2030  | 2075  |
| CCCM   | 2,7    | 4,4  | 7,9  | -2,3 | -2,3 | -2,7  | -4,5      | -6,4  | -9,8  |
| GISS   | 2,8    | 4,2  | 8,6  | 1,7  | 4,4  | 9,6   | -1,1      | 0,2   | 0,9   |
| GFD3   | 3,6    | 5,8  | 10,6 | 1,3  | 3,3  | 8,0   | -2,2      | -2,4  | -2,3  |
| dT1R1  | 1,5    | 2,5  | 4,4  | -2,1 | -1,5 | -1,1  | -3,5      | -3,9  | -5,4  |
| dT1R2  | 1,5    | 2,5  | 4,4  | -2,7 | -2,7 | -2,7  | -4,1      | -5,0  | -6,8  |
| dT1R3  | 1,5    | 2,5  | 4,4  | -6,7 | -9,6 | -15,1 | -8,1      | -11,7 | -18,7 |
| dT2R1  | 2,8    | 4,6  | 8,5  | -1,7 | -1,1 | -1,0  | -4,4      | -5,5  | -8,7  |
| dT2R2  | 2,8    | 4,6  | 8,5  | -2,5 | -2,1 | -2,1  | -5,2      | -6,4  | -9,8  |
| dT2R3  | 2,8    | 4,6  | 8,5  | -6,5 | -9,0 | -14,7 | -9,1      | -13,0 | -21,4 |

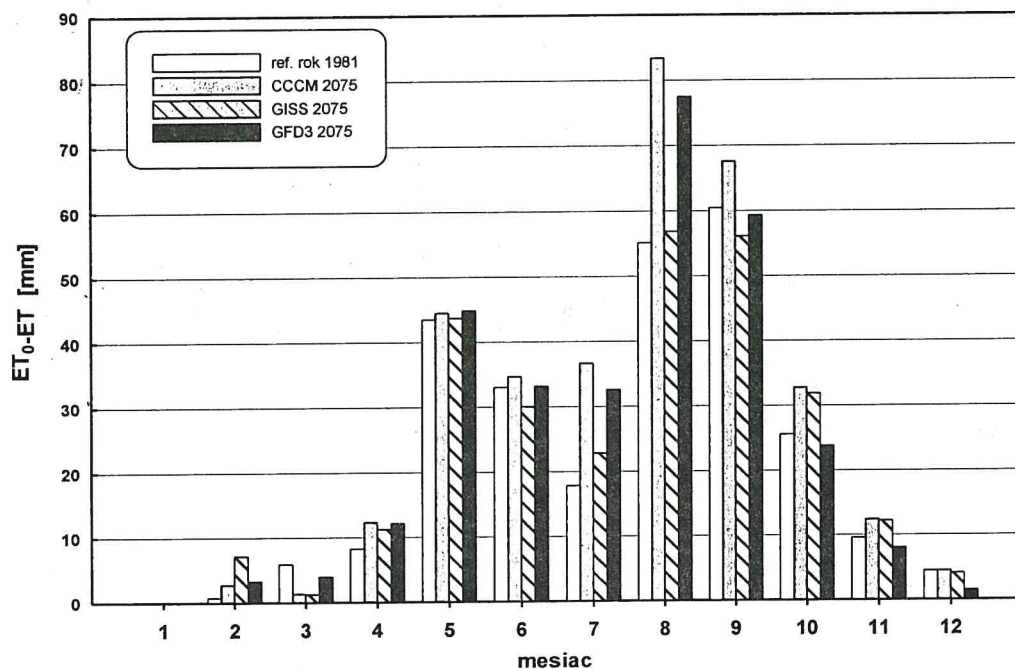
Tab. 2 Rozdiely v priemernej závlhovej potrebe [mm] v oblastiach Hurbanova, Nitry a Trebišova pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 v porovnaní s rokom 1981 vypočítané ako vážené priemery podľa výmery plodín.

| scenár | Hurbanovo |      |      | Nitra |      |      | Trebišov |      |      |
|--------|-----------|------|------|-------|------|------|----------|------|------|
|        | 2010      | 2030 | 2075 | 2010  | 2030 | 2075 | 2010     | 2030 | 2075 |
| CCCM   | 12        | 18   | 26   | 9     | 18   | 21   | 16       | 24   | 33   |
| GISS   | 3         | 1    | -3   | 0     | 0    | -5   | 6        | 6    | 5    |
| GFD3   | 3         | 7    | 12   | 0     | 3    | 10   | 6        | 12   | 16   |
| dT1R1  | 10        | 15   | 21   | 6     | 12   | 21   | 12       | 21   | 27   |
| dT1R2  | 15        | 21   | 36   | 13    | 18   | 36   | 21       | 27   | 45   |
| dT1R3  | 33        | 42   | 69   | 33    | 39   | 60   | 36       | 49   | 78   |
| dT2R1  | 18        | 24   | 33   | 15    | 21   | 33   | 21       | 31   | 42   |
| dT2R2  | 30        | 40   | 57   | 28    | 36   | 52   | 39       | 49   | 66   |
| dT2R3  | 39        | 54   | 83   | 39    | 49   | 78   | 51       | 67   | 93   |

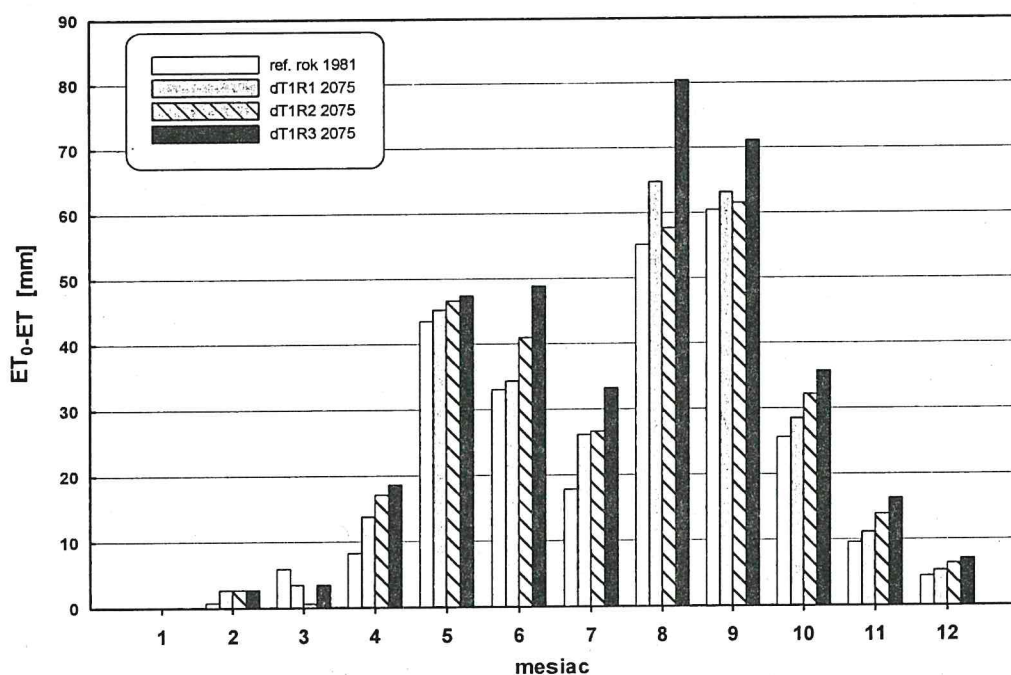
Z hľadiska hodnotenia dostupnosti vody pre optimálny vývoj poľnohospodárskych plodín je vhodným ukazovateľom deficit evapotranspirácie ( $ET_0$ -ET). Podľa našich simulácií dosahoval ročný úhrn  $ET_0$  - ET v referenčnom roku 1981 v oblasti Hurbanova 264 mm, čo je hodnota blízka dlhodobému priemeru (266 mm) za obdobie 1951 - 1980 (Tomlain, 1996). Pre GCMs scenáre bolo simulované zvýšenie ročných úhrnov  $ET_0$ -ET na 277 mm (scenár GISS) až 332 mm (scenár CCCM) a pre inkrementálne scenáre na 298 mm (scenár dT1R1) až 394 mm (scenár dT2R3). Ročný chod  $ET_0$  - ET pre oblasť Hurbanova podľa vybraných scenárov pre časový horizont roku 2075 je graficky znázornený na obr. 5 – 7.

Ako vidieť, pre všetky uvažované scenáre bolo simulované významné zvýšenie  $ET_0$  - ET v letných mesiacoch v porovnaní s referenčným rokom 1981, najvýraznejšie pre scenáre CCCM, GFD3 a dR3. Zmeny zrážkových úhrnov, ako aj ET a  $ET_0$ , sa odrazili na ročnom chode pôdnej vlhkosti.

Priemerná závlahová potreba v referenčnom roku 1981, ktorá bola vypočítaná ako vážený priemer piatich simulovaných plodín podľa ich výmery, dosahovala v oblasti Hurbanova 86 mm, v Nitre 83 mm a v Trebišove 62 mm. Rozdiely v priemernej závlahovej potrebe v porovnaní s referenčným rokom pre oblasti vybraných meteorologických staníc pre jednotlivé časové horizonty sú uvedené v tab. 2. Pre všetky scenáre okrem scenára GISS bola vo všetkých časových horizontoch v oblastiach vybraných meteorologických staníc simulovaná vyššia závlahová potreba ako v referenčnom roku, pričom závlahová potreba narastala so zväčšujúcim sa časovým horizontom. Najvyššia závlahová potreba bola v oblastiach vybraných meteorologických staníc vo všetkých časových horizontoch vypočítaná pre scenár dT2R3.

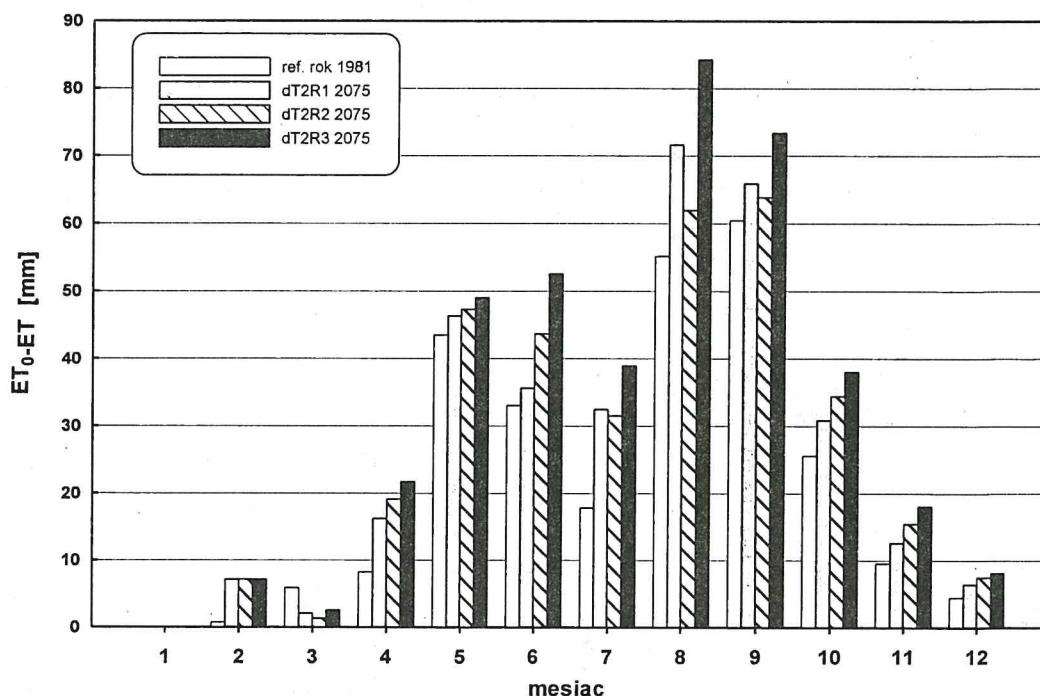


Obr. 5 Mesačné hodnoty deficitu evapotranspirácie  $ET_0 - ET$  [mm] v Hurbanove v referenčnom roku 1981 a podľa scenárov GCMs pre časový horizont roku 2075



Obr. 6 Mesačné hodnoty deficitu evapotranspirácie  $ET_0 - ET$  [mm] v Hurbanove v referenčnom roku 1981 a podľa scenárov dT1R1, dT1R2 a dT1R3 pre časový horizont roku 2075.





Obr. 7 Mesačné hodnoty deficitu evapotranspirácie  $ET_0 - ET$  [mm] v Hurbanove v referenčnom roku 1981 a podľa scenárov dT2R1, dT2R2 a dT2R3 pre časový horizont roku 2075.

Tab. 3 Kvantifikácia priemernej ročnej potreby závlahovej vody v SR podľa základného scenára (BLS) a podľa scenárov klimatickej zmeny pre časové obdobie rokov 2010, 2030 a 2075.

| Scenár<br>klimatickej<br>zmeny | Potreba závlahovej vody        |                                     |                                |                                     |                                |                                     |
|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
|                                | 2010                           |                                     | 2030                           |                                     | 2075                           |                                     |
|                                | spolu<br>[mil m <sup>3</sup> ] | [m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> ] | spolu<br>[mil m <sup>3</sup> ] | [m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> ] | spolu<br>[mil m <sup>3</sup> ] | [m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> ] |
| BLS                            | 271                            | 874                                 | 307                            | 878                                 | 358                            | 894                                 |
| CCCM                           | 302                            | 974                                 | 414                            | 1035                                | 540                            | 1080                                |
| GISS                           | 261                            | 841                                 | 283                            | 807                                 | 317                            | 791                                 |
| GFD3                           | 271                            | 874                                 | 352                            | 926                                 | 446                            | 992                                 |
| dT1R1                          | 291                            | 939                                 | 373                            | 982                                 | 464                            | 1031                                |
| dT1R2                          | 316                            | 1019                                | 434                            | 1085                                | 565                            | 1130                                |
| dT1R3                          | 362                            | 1168                                | 730                            | 1327                                | 1122                           | 1603                                |
| dT2R1                          | 313                            | 1009                                | 421                            | 1053                                | 542                            | 1083                                |
| dT2R2                          | 335                            | 1081                                | 595                            | 1189                                | 810                            | 1351                                |
| dT2R3                          | 368                            | 1188                                | 748                            | 1360                                | 1171                           | 1673                                |

Podľa získaných výsledkov možno očakávať posun aplikácie prvej závlahovej dávky na skorší termín. Tento posun je výraznejší u hustosiatych obilnín ako u ostatných plodín. Kým napríklad u ozimnej pšenice pre oblasť Hurbanova v časovom horizonte roku 2075 predstavoval posun aplikácie prvej závlahovej dávky viac ako 3 týždne, u lucerny ostal tento termín pomerne ustálený. Všeobecne možno konštatovať, že posun aplikácie prvej závlahovej dávky narastal so zväčšujúcim sa časovým horizontom.

V závislosti od chodu atmosférických zrážok sa kumulovali termíny aplikácie závlahových dávok jednotlivých plodín do krátkeho časového obdobia. Výrazný nárast závlahovej potreby, predovšetkým u inkrementálnych scenárov dR2 a dR3, bol simulovaný na konci mája, keď vrcholí a končí závlahová sezóna hustosiatych obilnín a začína sa so závlahou ďalších plodín. V časovom horizonte roku 2075 v oblasti Hurbanova u scenára T1R3

predstavuje závlahová potreba v máji takmer dvojnásobok a u scenára T2R3 dokonca približne trojnásobok pôvodnej potreby v porovnaní s rokom 1981. Obdobie najvyššej závlahovej potreby pripadlo najčastejšie na júl. Je potrebné však poznamenať, že podobne, ako u ďalších hodnotených charakteristík, je aj rozloženie závlahovej potreby v priebehu vegetačného obdobia závislé od priebehu počasia počas roka a preto uvedené výsledky treba chápať ako orientačné a podmienené priebehom meteorologických charakteristík v referenčnom roku 1981, od ktorého boli vstupné údaje pre jednotlivé scenáre odvodené.

Zo získaných výsledkov vyplynulo, že vzhľadom na zvýšenú závlahovú potrebu v dôsledku klimatickej zmeny bude nevyhnutné dobudovanie závlahových systémov a zabezpečenie primeraných zdrojov vody. Na základe výsledkov riešenia projektu Country Study SR sa podľa scenárov dR3 predpokladá vybudovať závlahy v SR na celkovej výmere 700 000 ha, t. j. dobudovanie 390 000 ha. Podľa scenára GISS sa predpokladá dobudovanie iba 90 000 ha závlah, čo zodpovedá základnému scenáru bez klimatickej zmeny.

Kvantifikácia priemernej ročnej potreby závlahovej vody v SR podľa základného scenára (bez klimatickej zmeny) a podľa jednotlivých scenárov klimatickej zmeny pre vybrané časové horizonty je uvedená v tab. 3. Pri tejto kvantifikácii bola zohľadnená aj zmena štruktúry rastlinnej výroby v závlahových podmienkach a nárast podielu produkcie na zavlažovaných plochách. Ako vidieť, zvýšenie potreby závlahovej vody podľa jednotlivých scenárov k časovému horizontu roku 2075 v porovnaní so súčasným stavom (271 mil. m<sup>3</sup>) sa pohybuje medzi 46 mil. m<sup>3</sup> (scenár GISS) až 900 mil. m<sup>3</sup> (scenár dT2R3).

V súčasnej dobe prebiehajú výpočty a simulácie s novými scenármi klimatickej zmeny CCCM<sub>prep</sub> a GISS<sub>prep</sub> pre rovnaké časové horizonty (Lapin a Melo, 2000). Pre simulácie boli využité 20-ročné rady denných hodnôt globálneho žiarenia, teploty vzduchu a atmosférických zrážok. V prvej fáze bolo riešenie zamerané na hodnotenie charakteristík evapotranspirácie predovšetkým v nížinných oblastiach a kotlinových oblastiach. Hodnotenie sa vykonáva pre oblasti nasledujúcich meteorologických staníc: Hurbanovo, Jaslovské Bohunice, Malacky, Michalovce, Košice, Boľkovce, Beluša a Liptovský Hrádok. Ako referenčné obdobie (t. j. bez klimatickej zmeny) je použité obdobie 1966-1985, pre Michalovce skrátené obdobie 1974-1985. Potenciálna evapotranspirácia bola počítaná podľa Makkinka, aktuálna evapotranspirácia bola simulovaná modelom DAISY.

Tab. 4 Priemerné ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie  $ET_0$  [mm] v referenčnom období 1966 - 1985 a podľa scenárov klimatickej zmeny pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075

| Meteorologická stanica | 1966-1985 | CCCM <sub>prep</sub> |      |      | GISS <sub>prep</sub> |      |      |
|------------------------|-----------|----------------------|------|------|----------------------|------|------|
|                        |           | 2010                 | 2030 | 2075 | 2010                 | 2030 | 2075 |
| Beluša                 | 660       | 684                  | 689  | 720  | 686                  | 689  | 704  |
| Hurbanovo              | 762       | 833                  | 839  | 871  | 809                  | 812  | 828  |
| Jasl. Bohunice         | 730       | 773                  | 778  | 811  | 756                  | 755  | 770  |
| Malacky                | 696       | 739                  | 744  | 774  | 697                  | 698  | 713  |
| Michalovce             | 707       | 736                  | 740  | 771  | 715                  | 717  | 732  |
| Košice                 | 715       | 738                  | 742  | 773  | 716                  | 719  | 735  |
| Boľkovce               | 712       | 734                  | 738  | 770  | 713                  | 716  | 731  |
| Lipt. Hrádok           | 580       | 612                  | 616  | 646  | 593                  | 596  | 612  |

Priemerné ročné úhrny potenciálnej ( $ET_0$ ) a aktuálnej ( $ET$ ) evapotranspirácie v referenčnom období a v jednotlivých časových horizontoch podľa scenárov CCCM<sub>prep</sub> a GISS<sub>prep</sub> pre oblasti vybraných meteorologických staníc sú uvedené v tab. 4, resp. v tab. 5. Priemerné ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie v referenčnom období 1966-1985 dosahovali na jednotlivých meteorologických staniach 580 mm (Lipt. Hrádok) až 762 mm (Hurbanovo). Na základe výsledkov výpočtov pre scenáre klimatickej zmeny možno konštatovať, že podľa oboch scenárov príde v jednotlivých časových horizontoch k zvýšeniu priemerných ročných úhrnov potenciálnej evapotranspirácie vo všetkých uvažovaných oblastiach, pričom ich zvýšenie je podstatne výraznejšie podľa scenára CCCM<sub>prep</sub>. V horizonte roku 2075 sa toto zvýšenie pre jednotlivé stanice podľa scenára CCCM<sub>prep</sub> pohybuje medzi 8 až 13 %, kým podľa scenára GISS<sub>prep</sub> len do 7 %. Najvýraznejší nárast ročných úhrnov potenciálnej evapotranspirácie bol vypočítaný medzi horizontmi rokov 2030 a 2075. Čo sa týka priemerných ročných úhrnov aktuálnej evapotranspirácie, rozdiely medzi použitými scenármi nie sú také výrazné ako v prípade potenciálnej evapotranspirácie.

Priemerné ročné úhrny deficitu evapotranspirácie ( $ET_0 - ET$ ) vypočítané podľa scenárov CCCM<sub>prep</sub> a GISS<sub>prep</sub> sa navzájom líšia. Podľa scenára CCCM<sub>prep</sub> sa priemerné ročné úhrny deficitu evapotranspirácie zvýšia, najviac v horizonte roku 2075, v oblasti Podunajskej nížiny až na viac ako 300 mm. Podľa scenára GISS<sub>prep</sub> sa pohybujú na rovnakej úrovni ako v referenčnom období 1966-1985, prípadne naznačujú len mierny nárast.

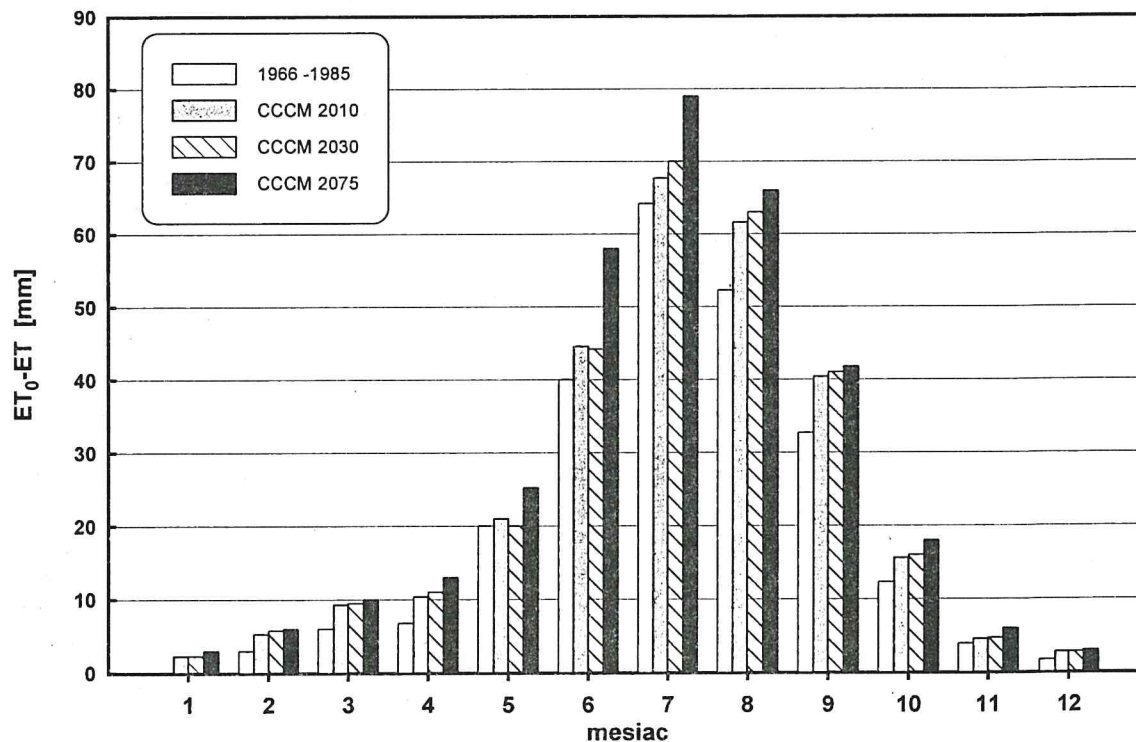


Tab.5 Priemerné ročné úhrny aktuálnej evapotranspirácie ET [mm] v referenčnom období 1966 - 1985 a podľa scenárov klimatickej zmeny pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075

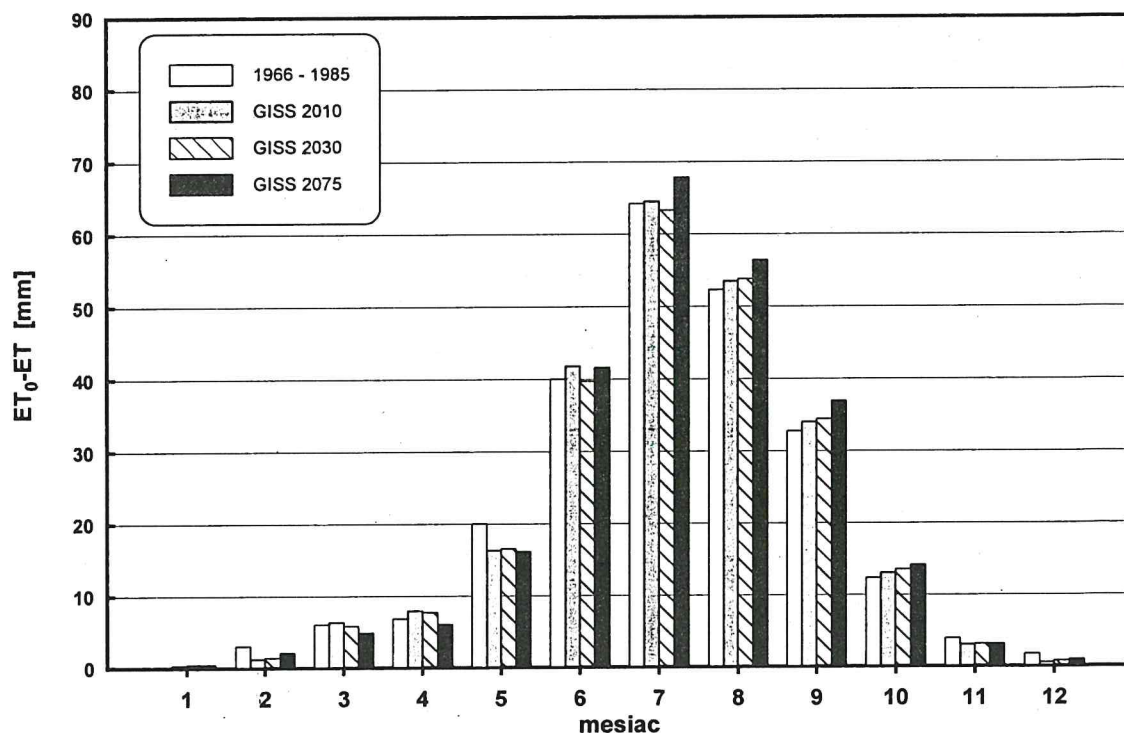
| Meteorologická Stanica | 1966-1985 | CCCM <sub>prep</sub> |      |      | GISS <sub>prep</sub> |      |      |
|------------------------|-----------|----------------------|------|------|----------------------|------|------|
|                        |           | 2010                 | 2030 | 2075 | 2010                 | 2030 | 2075 |
| Beluša                 | 580       | 596                  | 600  | 605  | 600                  | 601  | 611  |
| Hurbanovo              | 511       | 548                  | 557  | 559  | 566                  | 572  | 578  |
| Jasl. Bohunice         | 490       | 509                  | 516  | 509  | 509                  | 515  | 518  |
| Malacky                | 523       | 569                  | 570  | 568  | 556                  | 561  | 558  |
| Michalovce             | 562       | 573                  | 580  | 585  | 582                  | 584  | 591  |
| Košice                 | 606       | 610                  | 598  | 612  | 597                  | 611  | 616  |
| Boľkovce               | 530       | 551                  | 558  | 552  | 541                  | 546  | 547  |
| Lipt. Hrádok           | 501       | 522                  | 530  | 546  | 527                  | 528  | 537  |

Porovnanie priemerných mesačných hodnôt deficitu evapotranspirácie pre oblasť Hurbanovo za referenčné obdobie 1966-1985 a pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 podľa scenárov CCCM<sub>prep</sub> a GISS<sub>prep</sub> je znázornené na obr. 8 a 9. Ako vidieť, podľa scenára CCCM<sub>prep</sub> je evidentný nárast priemerných mesačných úhrnov deficitu evapotranspirácie v porovnaní s referenčným obdobím v mesiacoch máj až júl v horizonte roku 2075, v mesiacoch august a september vo všetkých časových horizontoch. V prípade scenára GISS<sub>prep</sub> je nárast mesačných hodnôt nepatrný.

Uvedené výsledky naznačujú, že klimatická zmena ovplyvní aj ďalšie charakteristiky vodného režimu pôdy a transportné a transformačné procesy v pôde. V nasledujúcich etapách bude riešenie zamerané na hodnotenie charakteristík vodného režimu pôdy, teplotný režim pôdy, procesy transformácie a transportu dusíka v pôde, závlahové režimy a produkčný potenciál.



Obr. 8 Mesačné hodnoty deficitu evapotranspirácie  $ET_0 - ET$  [mm] v Hurbanove v referenčnom období 1966 - 1985 a podľa scenárov CCCM<sub>prep</sub> pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075



Obr.9 Mesačné hodnoty deficitu evapotranspirácie  $ET_0 - ET$  [mm] v Hurbanove v referenčnom období 1966 - 1985 a podľa scenárov GISS<sub>prep</sub> pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075

## ZÁVER

Na základe získaných výsledkov pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 podľa scenárov CCCM<sub>prep</sub> a GISS<sub>prep</sub> možno konštatovať, že ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie sa budú na celom území Slovenska naďalej zvyšovať, postupne budú narastať aj ročné úhrny aktuálnej evapotranspirácie, pričom sa bude na celom území zväčšovať aj deficit evapotranspirácie vo vegetačnom období, najviac na južnom Slovensku. Na Podunajskej nížine prekročí priemerný ročný úhrn deficitu evapotranspirácie v horizonte roku 2075 podľa scenára CCCM<sub>prep</sub> 300 mm. Zníži sa zásoba pôdnej vody, následkom čoho sa zvýši závlahová potreba. Najvyšší pokles pôdnej vlhkosti možno očakávať v južných oblastiach Slovenska, predovšetkým v oblasti Podunajskej nížiny.

Z uvedeného je zrejmé, že problematike klimatickej zmeny, ako aj príprave a realizácii adaptačných opatrení je potrebné venovať zvýšenú pozornosť. V ďalšom riešení sa zameriame na hodnotenie charakteristík vodného režimu pôdy, teplotný režim pôdy, závlahové režimy, procesy transformácie a transportu dusíka v pôde a produkčný potenciál.

## LITERATÚRA

- [ 1] Hansen, S., Jensen, H. E., Nielsen, N. E. & Svendsen, H.: DAISY: A Soil Plant System Model. Danish simulation model for transformation and transport of energy and matter in the soil-plant-atmosphere system. The National Agency for Environmental Protection, Copenhagen, 1990.
- [ 2] Lapin, M., Melo, M.: Climatic Changes and Climate Change Scenarios in Slovakia. Meteorol. časopis, 2, No. 4, 1999, 5 - 15.
- [ 3] Lapin, M., Melo, M., Damborská, I., Gera, M., Faško, P.: Nové scenáre klimatickej zmeny pre Slovensko na báze výstupov prepojených modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry. NKP SR, V, 2000, zv. 8, 5 - 34.
- [ 4] Lapin, M., Nieplová, E., Faško, P.: Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. NKP SR 3/95, SHMÚ, Bratislava, 1995, 19 - 60.
- [ 5] Marečková, K., Lapin, M., Minárik, B., Mojik, I., Závadský, I., Závadský, D., Zuzula, I.: Územná štúdia Slovenska, Záverečná správa, U.S. Country Studies Program, Ministerstvo životného prostredia SR, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava 1997, 108 s.



- [ 6 ] Petrovič, P.: Possible climate change impacts on the water resources of the Danube river basin, case study: Subbasin of the Nitra river. In: Proc. of "The 2nd Internat. Conf. On Climate and Water", Espoo, Finland, 17 - 20 August 1998, Edita Ltd, Helsinki, Vol. 2, 1998, pp. 981 - 990.
- [ 7 ] Petrovič, P.: Dôsledky premenlivosti klímy na hydrologický režim a vodné hospodárstvo. Aplikácia pre povodie Nitry. Záverečná správa vedecko-technického projektu MP SR VTP 514 - 54. VÚVH Bratislava, 1998.
- [ 8 ] Takáč, J.: Možné dôsledky klimatickej zmeny na bilanciu pôdnej vody a závlahové režimy. NKP SR. MŽP SR, SHMÚ, VÚZH, Bratislava, 1996.
- [ 9 ] Takáč, J., Heldi, A.: Možné dôsledky klimatickej zmeny na závlahové hospodárstvo. Projekt Country Study SR. MŽP SR, SHMÚ, VÚZH, Bratislava, 1996.
- [10] Tomlain, J.: Modelové výpočty dôsledkov zmeny klímy na zmeny potenciálnej a skutočnej evapotranspirácie na Slovensku. NKP 4/96. SHMÚ, Bratislava, 1996, 47 - 74.
- [11] Prvá národná správa o zmene klímy. Rámcový dohovor OSN o zmene klímy. Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava 1995, 68 s.
- [12] Druhá národná správa o zmene klímy. Rámcový dohovor OSN o zmene klímy. Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava 1997, 74 s.
- [13] National Environmental Programme. Ministry of the Environment of the Slovak Republic, Bratislava 1996.
- [14] Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge 1995, 339 pp.
- [15] U.S. Country Studies Program. Guidance for Vulnerability and Adaptation Assessment, Version 1.0. Washington D.C., U.S.A, 1994.
- [16] Návrh adaptačných opatrení v pôdohospodárstve SR na klimatickú zmenu, VÚMKI/ MP SR, Bratislava 2000.

## ADAPTATION OF AGRICULTURE IN SLOVAKIA ON CLIMATE CHANGE

*Jozef TAKÁČ and Ivan ZUZULA, Institute of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering, Bratislava*

### SUMMARY

The climate change will cause sudden change of conditions for both natural ecosystems and economic sectors of society. Its impact on Slovak agriculture is also very significant. It will be shown by the increased appearance of dry periods on one side, and the increased number of intensive storms and heavy rains on the other.

It is expected, that climate change will have positive and negative consequences on the yield and crop production in the Slovak conditions. The possibility of growing area enlargement at the crops with higher demand for warm and drought resistance with more effective type of photosynthesis could be considered as a positive consequence.

Due to climate change there appears a significant decrease of the water content in the root zone, it means the water directly included into the production cycle. The annual potential evapotranspiration totals would increase all over the Slovak territory. The annual actual evapotranspiration totals will also gradually increase, while the evapotranspiration deficit will probably increase on the whole Slovak territory, especially in southern Slovakia. The annual total evapotranspiration deficit in the Danubian Lowland can be more than 300 mm around the year 2075. The supply of the soil water will decrease, this will cause the increase of irrigation need. The greatest decrease of the soil moisture could be expected in the southern regions of Slovakia, especially in the Danubian Lowland.

With respect to the increased irrigation need, it will be necessary to complete the irrigation systems and secure the adequate water resources. One can expect the earlier start of irrigation period and the cumulating of irrigation needs. In case of insufficient supplies of irrigation water it will be necessary to change the way of land management. The adaptation measures will require re-evaluation and establishment of more strict conditions for ground water abstraction, increase of the ground water table with the help of canal network, and the measures for precipitation water storage.

## POSÚDENIE DÔSLEDKOV ZMENY KLÍMY NA VODNÚ BILANCIU LESNÝCH VEGETAČNÝCH STUPŇOV

Jaroslav ŠKVARENINA<sup>(1)</sup>, Ján TOMLAIN<sup>(2)</sup>,

<sup>(1)</sup> Katedra prírodného prostredia, LF TU, Zvolen, <sup>(2)</sup> Katedra meteorológie a klimatológie MFF UK, Bratislava

### 1. Úvod a problematika

Rozšírením rastlinných spoločenstiev na Zemi sa zaoberá viacero vedných disciplín napr.: synchorológia, fyto-geografia a fitocenológia. Rozdelenie vegetácie na zemskom povrchu nie je náhodné. Je podmienené viacerými faktormi napr.: geologickými, geomorfologickými a edafickými vlastnosťami podložia, ale aj vplyvom klimatických činiteľov a tiež činnosťou človeka. Klíma sa najvýraznejšie uplatňuje ako synchorologický činiteľ najmä pri vytváraní *bioklimatických zón a stupňov*.

Vegetačná *zonalita* (pásmovitosť) je podmienená hlavne makroklimatickými podmienkami, ktoré vytvárajú na Zemi bioklimatické zóny a pásy, ktoré majú prevažne paralelný priebeh s rovnobežkami, v zákonitom slede od rovníka k pólom (napr. rovníkové - dažďové tropické lesy, temperátne opadavé listnaté lesy, boreálne spoločenstvá a i.).

V územiach, ktorých povrch je výškovo rozčlenený, je zonálnosť vegetácie kombinovaná vertikálnou vegetačnou *stupňovitosťou*. Vegetačná stupňovitosť v danom území je podmienená zmenou makroklimy, najmä teploty a zrážok s meniacou sa nadmorskou výškou terénu. So zvyšujúcou sa nadmorskou výškou v princípe stúpa intenzita priameho slnečného žiarenia, teplota však klesá a množstvo zrážok sa spravidla zväčšuje. Tieto zmeny priamo pôsobiacich ekologických faktorov na vegetáciu spôsobujú, že od nížin do hôr v tom istom území sa menia životné podmienky pre vegetáciu, čo sa odráža v jej skladbe, prípadne aj v zmenách vegetačných formácií, alebo edifikátorov (edifikátor = dominantný druh rastliny v spoločenstve, ktorý má rozhodujúci vplyv na vývoj ostatných zložiek spoločenstva). Jav, že vegetačné formácie sa menia so zvyšujúcou sa nadmorskou výškou v súvislosti so zmenou klímy, sa nazýva vegetačná stupňovitosť a vegetácia vytvára tzv. vegetačné stupne. Vegetačné stupne do určitej miery analogicky opakujú vegetačnú zonálnosť podľa zemepisnej šírky, musíme si však uvedomiť, že vertikálna vegetačná stupňovitosť a horizontálna zonálnosť vegetácie sú dva úplne odlišné javy, ktoré nemôžu byť navzájom stotožňované (RANDUŠKA *et al.* 1986). Vegetačná stupňovitosť je jav založený na výškovom gradiente klímy a geomorfológii terénu a rozvíja sa na báze vegetačnej zonality, ktorá je na Zemi javom primárnym.

*Vegetačný stupeň* je plošne prevažujúca klimaxová geobiocenóza determinovaná vegetáciou vrátane náhradných geobiocenóz v určitom území, podmienená makroklimou a mezoklimou v podmienkach meniacej sa nadmorskej výšky (ZLATNÍK 1976).

Na území Slovenska sa vyskytujú podľa ZLATNÍKA (1959) vegetačné stupne nazvané podľa zastúpenia, čiže dominancie významných stromových alebo krovitých edifikátorov, nie teda podľa ich optima výskytu vo vegetačných stupňoch. Sú to vegetačné stupne (vs.): 1. dubový (db), 2. bukovo-dubový (bk-db), 3. dubovo-bukový (db-bk), 4. bukový (bk), 5. jedľovo-bukový (jd-bk), 6. smrekovo-bukovo-jedľový (sm-bk-jd), 7. smrekový (sm), 8. kosodrevinový, 9. alpský (nelesný vs).

Často sa výšková stupňovitosť vyjadruje podľa orografických podmienok terénu v tzv. geografických výškových stupňoch (napr. planárny, submontánny, subalpínsky). Tieto stupne však nie sú vegetačnými stupňami a preto nie je vhodné ich zamieňať.

Globálne otepľovanie zeme zapríčinené nekontrolovanými emisiami skleníkových plynov bude mať v nastávajúcom storočí aj vplyv na prirodzené ekosystémy strednej Európy. Lesníci a bioklimatológovia počítajú s ďalekosiahlymi ekologickými dôsledkami (FANTA 1992, MINĐÁŠ - ŠKVARENINA 1994, MINĐÁŠ *et al.* 1996 a i.) Komplikované klimatické podmienky na Európskom kontinente umožňujú predpokladať meniace sa klimatické pomery len v pomerne hrubých rysoch. Určitým prijateľným východiskom je využitie výsledkov modelov - GCM (LAPIN 1997). Zatiaľ čo u poľnohospodárskych rastlín môžeme v dôsledku pomerne silnej intervencie poľnohospodárov do agrárnych ekosystémov očakávať určitý pozitívny účinok klimatickej zmeny na produkciu (ŠPÁNIK *et al.* 1996), budú rýchlo sa meniace klimatické podmienky pre dlhodobu vyvíjajúcu sa lesnú a prírodnú ekosystémy viac negatívne. Vedci odhadujú, že spoločenstvá jednotlivých vegetačných stupňov nie sú adaptované na dlhodobé odchýlky priemerných teplôt presahujúce 1°C (MÍCHAL 1992, SCHNEIDER 1997, MINĐÁŠ *et al.* 1996). Cieľom tejto publikácie je preto podať empirickú analýzu základnej klimatickej charakteristiky hlavných vegetačných stupňov Západných Karpát, predovšetkým z hľadiska vodnej bilancie vs a ich zmeny v podmienkach pôsobenia klimatických zmien do roku 2075.



## 2. Základná charakteristika vegetačných stupňov

1. *vs dubový*: zaberá lokality v najjužnejších oblastiach Slovenska, ale aj na južných svahoch karpatských predhorí (Vtáčnik, Slovenské Rudohorie, Štiavnické vrchy, Krupinská vrchovina, Juhoslovenský kras). Tento vs je charakteristický výskytom mnohých rastlinných druhov, ktoré sa v iných vs nenachádzajú a nedostatkom ináč veľmi rozšírených často už v susednom bukovo – dubovom vs dominantných druhov (HANČINSKÝ 1977, KRIŽOVÁ 1998). V pôvodných porastoch chýbal buk, smrek a jedľa. Najdôležitejšími drevinami sú duby – zimný, letný, plstnatý cer, doplnok tvorí hrab, jaseň mannový (najmä v Kováčovských kopcoch) a javor poľný, v spodnej vrstve predovšetkým javor tatársky a mahalebka.

2. *vs bukovo-dubový*: v pôvodnom zložení prevládal dub zimný, primiešaný bol buk a hrab. V dnešných človekom ovplyvnených výmladkových porastoch buk chýba a vyššie zastúpenie získal hrab. 2. vs je rozšírený v pahorkatinách a južných svahoch predhorí tej časti Slovenska, ktorá je ovplyvňovaná podnebí Panónskych nížin a veľkých úvalov vybiehajúcich z nížin do hôr – od Malých Karpát až po bázy svahov východoslovenských vyvrelín. Na extrémnych lokalitách kde porasty boli prirodzene medzernaté, sa vyskytovala borovica sosna, v teplejších častiach územia dub plstnatý a cer. V nižších a suchších polohách sa často a vo väčšej miere podieľal na drevinovom zložení brest poľný, javor mliečny a brekyňa, z drevín nižšieho vzrastu hrab, prípadne aj javor poľný.

3. *vs dubovo – bukový*: tento vegetačný lesný stupeň je rozšírený v predhoriach Karpát južne od hlavnej klimatickej čiary a na svahoch pahorkatín. Na západnom Slovensku sa vyskytuje už v Malých Karpatoch a prerušovane postupne po oboch stranách Váhu až k Žiline. V menšej miere sa vyskytuje v Trábečskom pohorí a v oblasti Vtáčnika. Výrazné rozšírenie dosahuje v Štiavnickom pohorí, Krupinskej vrchovine a v Slovenskom Rudohorí. Na východnom Slovensku sa vyskytuje najmä v Ondavskej vrchovine a v pohorí Vihorlat. V lesných porastoch má prevahu buk nad dubom zimným. Jedľa sa v pôvodných lesných spoločenstvách vyskytovala len ojedinele.

4. *vs bukový*: buk sa tu nachádza vo svojom optime a má v tomto vegetačnom lesnom stupni absolútnu prevahu. Vyskytoval sa na rozsiahlych plochách, kde tvoril často nezmiešané bučiny s ojedinelou prímiesou duba, javorov a líp, najmä na plytkejších a skeletnatejších pôdach. Vo vyšších vlhkejších polohách bola k buku primiešaná jedľa. Smrek sa v pôvodných porastoch nevyskytoval. 4. vs. je jedným z najrozšírenejších vs karpatskej oblasti, a to na území južne i severne od klimatickej čiary. Vyskytuje sa na rozsiahlych plochách i menších lokalitách na celom území Slovenska.

5. *vs jedľovo-bukový*: v tomto vs už dub chýbal. Hlavnými drevinami boli buk a jedľa. Na kyslých pôdach oligotrofného trofického radu geobiocénov a v kontinentálnych tatranských polohách sa ako prirodzená drevina vyskytoval aj smrek. Jedľa má ťažisko na pôdach ťažších, alebo na lokalitách, kde nedochádza k hromadeniu bukového opadu. Značnú biologickú aktivitu mal javor horský. Z ostatných drevín bol primiešaný jaseň štíhly a brest horský. Hranica medzi 4. a 5. vs nie je taká nápadná ako medzi 3. a 4. vs, najmä z dôvodu podobnej porastovej mikroklimy. Horizontálne a vertikálne rozšírenie 5. vs sa sústreďuje v stredných a vyšších polohách hlavných karpatských horstiev, zvyčajne na sever od klimatickej čiary. Južne od nej sa vyskytuje len miestami. Výškové rozpätie výskytu vs je približne od 600 do 1000 m n. m.

6. *vs smrekovo-bukovo-jedľový*: hlavné dreviny pôvodných lesov sú buk, jedľa, smrek (karpatská zmes), aj keď buk už trochu ustupuje najmä na sever od hlavnej klimatickej čiary Slovenska (ZLATNÍK, 1976). Pri hornej hranici stupňa začína ochabovať rast drevín v dôsledku drsnejšej horskej klímy. Okrem zmiešaných porastov buka, jedle a smreka, ktoré sa vytvorili v blízkosti 7. vs a na kyslých pôdach, sa v tomto vs vyskytovali a často ešte i vyskytujú aj čisté, nevzrastavé bučiny rastúce na expozíciách pod hrebeňmi a na hrebeňoch asi do nadmorskej výšky 1330 m, ako dôsledok vrcholového fenoménu (južne od klimatickej čiary). V 6. Vs sa v bylinnej synúzii vyskytujú hojne až dominantne mnohé subalpínske druhy. Zaberá horské polohy na sever i na juh od klimatickej čiary s nadmorskou výškou 1000 – 1300 m. Je rozšírený najmä v Nízkych a Vysokých Tatrách, Západných Beskydách (Oravská časť), Slovenskom Rudohorí, v Malej a Veľkej Fatre, v Kremnických vrchoch a na Poľane.

7. *vs smrekový*: územné rozšírenie vs sa viaže, okrem oblastí centrálnych Karpát, na svahy a hrebene v nadmorských výškach v priemere 1300 m a vyššie. Za jeho najjužnejší výskyt možno považovať vrcholovú oblasť Poľany. Smrek je dominujúcou drevinou v porastoch 7. vs. V oblasti centrálnych Karpát je k nemu primiešaný smrekovec, vyššie aj limba. Z listnáčov sa uplatňuje v menšej miere jarabina vtáčia a javor horský, na vápencových horninách borovica lesná, čiastočne aj buk v krovitej forme. Smrekový vs často vytvára hornú hranicu stromového lesa, nad súvislými smrekovými porastami sa nachádza pás rozostupujúcich sa porastov, stromov a stromových skupín, často premiešaných kosodrevinou.

8. *vs kosodrevinový*: tento vegetačný lesný stupeň je spravidla rozšírený nad lesnou hranicou najvyšších karpatských horstiev (od Západných Beskyd, Krivánsku Malú Fatru, Veľkú Fatru, Slovenské Rudohorie a Spišskú Maguru s centrom výskytu vo Vysokých a Nízkych Tatrách), v nadmorských výškach cca od 1400 m vyššie,



teda v subalpínskom pásme. Hlavnou drevinou vs je kosodrevina. Na území, ktorá tvorí spodný okraj rozšírenia vs sa ojedinele vyskytuje ešte smrek a jarabina, v centrálnych Karpatoch limba.

9. vs *alpínsky*: leží nad stupňom kosodrevinovým. Tvorí ho nelesné hôľne vegetačné spoločenstvá krátkosteblových tráv, alpínskych plazivých vrb, a na miestach kamenitejších porasty machorastov a lišajníkov a spoločenstva s *Juncus trifidus* a iné. (RANDUŠKA a kol. 1986, HANČINSKÝ 1977, KRIŽOVÁ 1998).

Posledne menovaný 9. vs nepatrí k tzv. "lesným vegetačným stupňom", avšak potenciálne klimatické zmeny v budúcom miléniu môžu aj v týchto polohách vytvoriť bioklimatické podmienky pre existenciu lesných geobiocenóz, čo súvisí aj s otázkou možného posunu hornej hranice lesa, tak ako to uvádzajú iné práce (MÍCHAL 1992, SCHNEIDER 1997, MINDAŠ *et al.* 1996)

### 3. Metodika

Charakter klímy sa vo vzťahu k vegetácii často krát vyjadruje za pomoci tzv. *klimadiagramov* podľa WALTERA a LIETHA (1960). Klimadiagramy sú konštruované podľa návrhu GAUSSENA ex ZLATNÍK (1976) a to tak, že mesačný priemer teploty a zrážok je v pomere 1:2 t.j.  $10^{\circ}\text{C} = 20 \text{ mm}$  zrážok. Týmto pomerom sa autori pokúšali nahradiť nemeranú potenciálnu evapotranspiráciu (WALTER a LIETH 1960) teplotnou krivkou vo vhodnom zobrazení, a tak vystihnúť prípadnú ariditu resp. humiditu danej lokality. Pre slovenské a české pomery AMBROS (1973) použil pomer 1:4, ktorý sa podľa autorovej mienky lepšie hodí na vyjadrenie suchej a vlhkej klímy. Sme toho názoru, že takéto pomerné vyjadrenie je len priblížením sa skutočnej vodnej bilancii, a nie je úplne fyzikálne zdôvodniteľné. Preto sme pri charakteristike vs pristúpili k zásadnej inovácii konštrukcie klimadiagramu. Namiesto teploty vzduchu sme na druhú Y-ovú os vyniesli priemerné úhrny potenciálnej evapotranspirácie. Touto úpravou je možné pomerne rýchlo porovnať množstvo vody potenciálne vyparenej z biocenózy s vodou do nej vstupujúcou prostredníctvom zrážok priamo v hydrických jednotkách - mm. Pôvodný klimadiagram podáva obr. 1., nový - modifikovaný klimadiagram prezentuje obr. 2.

Kľúčovým parametrom umožňujúcim takýto bilančný prístup je stanovenie potenciálnej evapotranspirácie. Pre jej výpočet sme aplikovali matematický model rozpracovaný Katedrou meteorológie a klimatológie Matematicko-fyzikálnej fakulty UK v Bratislave, ktorý je odvodený z metódy navrhutej M. I. BUDYKOM a L. I. ZUBENOKOVOU. Model vychádza zo spoločného riešenia rovníc energetickej a vodnej bilancie povrchu, ako aj experimentálne zistenej závislosti intenzity evapotranspirácie od vlhkosti pôdy. Ak pôda je dostatočne vlhká a v zime pri snehovej pokrývke evapotranspirácia závisí len od vonkajších meteorologických činiteľov a rovná sa potenciálnej evapotranspirácii (maximálne možnej evapotranspirácii pri daných meteorologických podmienkach z dostatočne vlhkej povrchovej vrstvy pôdy -  $E_0$ ). Pri vlhkosti menšej, ako je jej kritická hodnota ( $W_0$ ), evapotranspirácia sa znižuje úmerne s poklesom vlhkosti pôdy ( $W$ ). Podrobnosti udáva práca TOMLAINA (1996). Popísaný model je veľmi dobre fyzikálne zdôvodnený. Vstupnými údajmi sú teplota a vlhkosť vzduchu, oblačnosť, počet dní so snehovou pokrývkou a atmosférické zrážky, čo sú meteorologické prvky pravidelne merané v sieti meteorologických staníc.

Predkladaná štúdia uvádza výsledky modelového výpočtu mesačných a ročných úhrnov potenciálnej ( $E_0$ ), a klimatického ukazovateľa zavlaženia ( $E_0 - \text{zrážok } P$ ) podľa TOMLAINA (1991), tak za referenčné obdobie 1951-1980, resp. 1951-1990, ako aj v časových horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075 na vybraných staniciach Slovenska, ktoré majú homogenizovaný pozorovací meteorologický materiál. Scenáre klimatickej zmeny boli spracované podľa modelu CCCM (Canadian Climate Centre) (LAPIN - MELO 2000).

Vzhľadom na skutočnosť, že v súčasnosti disponujeme len obmedzeným počtom klimatických staníc pre ktoré je vykalkulovaná potenciálna evapotranspirácia, pristúpili sme k zobrazeniu klimaticko - hydrických pomerov príslušného vs metódou reprezentatívnej klimatickej stanice pre daný vegetačný stupeň. Tiež sme sa obmedzili len na hodnotenie lesných vs (1.-7.) Za pomoci mapy vegetačných stupňov (RAUŠER - ZLATNÍK 1966) a typologických máp skupín lesných typov (mierka 1:200 000) sme klimatické stanice zaradili do príslušných vegetačných stupňov: 1. - 7. vs (pre 8. vs neboli získané podklady).

### 4. Výsledky

Modifikované bilančné klimadiagramy, na ktorých sa hodnotí chod priemernej mesačnej potenciálnej evapotranspirácie a zrážok pre jednotlivé vs podávajú obrázky (obr. 3 - 6) vo forme reprezentatívnych klimatických staníc pre daný vegetačný stupeň. Hodnoty klimatického ukazovateľa zavlaženia ( $E_0 - P$ ) pre uvedené klimatické stanice 1. až 7. vs podáva tabuľka 1.

Z obrázkov vidíme, že v podmienkach súčasnej klímy je vegetačné obdobie v 1. vs až 4 vs vystavené vyššej potenciálnej evapotranspirácii v porovnaní so spadnutými zrážkami. Keďže evaporačné nároky atmosféry sú



vyššie ako spadnuté zrážky, lesné spoločenstvá 1. dubového, 2. bukovo-dubového, 3. dubovo - bukového a sčasti aj 4. bukového vs sú nútené v teplej časti roka existovať zo zásob zimnej vody v pôdnom profile. Modelované podmienky klimatickej zmeny, napriek predpokladanému nárastu ročného úhrnu zrážok, uvedený deficit vody v biocenózach 1 - 3 vs vo vegetačnom období výrazne prehĺbia. Zvyšovanie teploty vzduchu a znižovanie úhrnov zrážok v teplom polroku (južné Slovensko) vedie k znižovaniu relatívnej vlhkosti vzduchu, čo sa odrazí v rastúcim trende sytostného doplnku a úhrnov potenciálnej evapotranspirácie. Týmto sa pravdepodobne v dnešných dubových vs (1.-3.) vytvoria v budúcnosti menej priaznivé podmienky pre vysoký les, čo zrejme povedie k expanzii xerotermnej krovinej vegetácie a k vzniku stepných až lesostepných vegetačných formácií. Nemeckí autori predpokladajú v polohách totožných s 2 -3. vs pomerne priaznivé budúce podmienky pre hrab, lipu, ale aj agát (HEINING 1996, THOMASUS 1991).

Bukový - 4. vs má v podmienkach súčasnej klímy vodnú bilanciu pomerne vyrovnanú. Predpokladané zmeny v horizonte 2075 však túto pozitívnu skutočnosť zvrátia (temer analogicky ako v 3 vs.), čo zrejme povedie k vytvoreniu bioklimatických podmienok pre dubové spoločenstvá už aj v dnešnom 4. vs. Buk, ako dominantná drevina tohto vs bude trpieť prísuchkami, hlavne na minerálne chudobných a plytkých pôdach. Budúce klimatické pomery pravdepodobne obmedzia uplatňovanie smreka v hospodárskych porastoch 4. vs.

Jedľobukový 5 vs. sa v súčasnosti vyznačuje zväčša kladnou vodnou bilanciou, hlavne v severných oblastiach Slovenska a na náveterných svahoch. Scenár CCCM pre podmienky roku 2075 naznačuje, že aj v týchto polohách dnešných montánných lesných spoločenstiev môžeme očakávať jarne a jesenné suchšie periódy. THOMASUS (1991) upozorňuje na skutočnosť, že v budúcnosti treba počítať s problematickým pestovaním smreka, ak sú súčasné zrážky nižšie ako 800 mm a teplota v priemere nad 7°C. 6. vs. (smrekovo-bukovo-jedľový) má v ponímaní dnešných klimatických podmienok dostatočnú vodnú bilanciu. Ako ukazuje obr. 5, klimatické zmeny môžu znížiť nadbytok vlahy v letných a jesenných mesiacoch. Môžeme očakávať, že naznačené zmeny povedú k redukcii zastúpenia smreka hlavne v 6. vs.

Smrekový - 7. vs je v predloženej štúdii prezentovaný dvoma stanicami. Kontinentálny variant predstavuje stanica Štrbské Pleso a hydrický variant klimatická stanica v Javorine. Predpokladané otepľovanie atmosféry aj v týchto vyšších polohách podmieni rast potenciálnej evapotranspirácie. Pokles zrážok v kontinentálnejších oblastiach vs sa prejaví hlavne v skorých jesenných mesiacoch, avšak priemerné očakávané zrážky budú pravdepodobne postačujúce. Tieto klimatické podmienky by teoreticky mohli vyhovovať smrekovcu opadavému, ako aj boroviciam. Vyššie uvedené hodnotenie relatívne dostačujúcej vodnej bilancie, spolu s prognózovaným rastom teplôt môžu podnietiť lesné dreviny 7. vs k vyššej produkcii biomasy (pri absencii iných škodlivých činiteľov napr. kyslé polutanty, nadlimitné koncentrácie troposférických koncentrácií ozónu, pandémie podkôrneho hmyzu a iných patogénov).

## 5. Závery

Predložená práca podáva empirickú analýzu základnej klimatickej charakteristiky hlavných vegetačných stupňov (vs) Západných Karpát, predovšetkým z hľadiska vodnej bilancie vs a ich zmeny v podmienkach pôsobenia klimatických zmien do roku 2075. Pre modelovanie budúcich klimatických pomerov očakávaných klimatických zmien sme vychádzali zo scenárov spracovaných modelom CCCM pre roky 2010, 2030 a 2075 podľa (LAPINA a MELA 2000). V práci sme zhodnotili ročné chody zrážok (P) a potenciálnej evapotranspirácie (Eo) pre referenčné obdobie rokov 1951 - 80 a pre modelované obdobie roku 2075. Toto hodnotenie vodnej bilancie sme podali formou modifikovaných klimadiagramov (pomer zrážok a potenciálnej evapotranspirácie) pre nasledovné lesné vegetačné stupne: 1. dubový, 2. bukovo-dubový, 3. dubovo-bukový, 4. bukový, 5. jedľovo-bukový, 6. smrekovo-bukovo-jedľový, 7. smrekový. Charakteristika vodnej bilancie vs sa doplnila aj výpočtom klimatického ukazovateľa zavlaženia (Eo - P) podľa TOMLAJNA (1991).

Analýza ukázala, že v podmienkach budúcej zmeny klímy budú pre existenciu dnešných bioklimatických podmienok lesných drevín v nižších vs (1. -3. a sčasti aj 4. vs) limitujúce hlavne zrážky a vysoká evapotranspirácia vo vegetačnom období. Tieto zmenené bioklimatické podmienky ohrozia zloženie súčasných spoločenstiev a zastúpenie drevín (hlavne buka). V nižších vs pravdepodobne úplne zaniknú bioklimatické podmienky pre umelé pestovanie smreka v lesných porastoch. Vo vyšších vs (5. ale hlavne 6. a 7. vs) môžu lepšie teplotné pomery budúcej klímy, a pomerne dostačujúca vodná bilancia prispieť k vzniku bioklimatických podmienok vhodných pre vyššie zastúpenie listnatých drevín (buk, javor, jaseň) a pre vyššiu potenciálnu produkciu lesných drevín. Limitujúcimi faktormi takéhoto odhadu budúceho vývoja lesných vegetačných stupňov je vývoj abiotických (vietor, námraza, meteorologické extrémny), biotických (hmyz, patogény) a antropogénnych (polutanty) škodlivých činiteľov.



## Podakovanie:

Autori aj touto cestou ďakujú: Národnému klimatickému programu SR, MŽ SR a SHMÚ, ako aj projektu VEGA MŠ SR: 1/6060/99 za podporu pri vzniku tejto publikácie.

## Literatúra

- AMBROS, Z. 1973: Pluviotermická charakteristika vegetačných stupňov na Slovensku. In: *Problémy modernej bioklimatológie*, Vydavateľstvo SAV Bratislava, 347-355.
- FANTA, J. 1992: Possible impact of change on forested landscapes in Central Europe: a review. *Catena Supplement*, 22, 133-151.
- HANČINSKÝ, L. 1977: *Lesnícka typológia v prevádzkovej praxi*. Príroda Bratislava, 223 s.
- HEINING, B. 1996: Klimaänderung und Standortseignung der Fichte in Ostbayern. *AFZ/DerWald*, 18/1996, 1012-1014.
- KRIŽOVÁ, E. 1998: *Fytocenológia a lesnícka typológia*. Vydavateľstvo Technickej univerzity Zvolen, 202 s.
- LAPIN, M. 1997: Scenáre klimatickej zmeny v Slovenskej republike. In: *Národný klimatický program SR*, Bratislava: MŽP SR, Zväzok 6, 111-117.
- LAPIN, M. - MELO, M. 2000: *CCCM scenáre klimatickej zmeny*. KMK MFF UK, konečná verzia zo 17. XI. 2000 (rukopis - nepublikovaný materiál) 4 s.
- MÍCHAL, I. 1992: *Ekologická stabilita*. Veronica Brno, 244 s.
- MINDÁŠ, J. - ŠKVARENINA, J. 1994: *Predpokladané dôsledky klimatických zmien na lesné ekosystémy*. In: *Národný klimatický program SR*, Bratislava: MŽP SR, Zväzok 1, 57-82.
- MINDÁŠ, J. - LAPIN, M. - ŠKVARENINA, J. 1996: *Klimatické zmeny a lesy Slovenska*. In: *Národný klimatický program SR*, Bratislava: MŽP SR, Zväzok 5, 96 s.
- RANUŠKA, D. - VOREL, J. - PLIVA, K. 1986: *Fytocenológia a lesnícka typológia*. Príroda Bratislava, 344 s.
- RAUŠER, J. - ZLATNÍK, A. 1966: Biogeografie (mapa č. 21). In: *Atlas ČSSR*, Praha Kartogr. a reprodukt. ústav s. 21.
- SCHNEIDER, S. H. 1997: *Laboratory Earth*. The Orion Publishing Group, London, p. 166.
- ŠPÁNIK, F. - ŠÍŠKA B. - REPA, Š. 1996: Dôsledky klimatických zmien na poľnohospodárstvo a adaptačné opatrenia. In: *Národný klimatický program SR*, Bratislava: MŽP SR, Zväzok 4, 91-109.
- THOMASUS, H. 1991: Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Wälder in Mitteleuropa. *Forstw. Cbl.*, 110, 305-330.
- TOMLAIN, J. 1991: Charakteristika suchých a vlhkých oblastí Slovenska. *Zborník prác SHMÚ Bratislava*, zväzok 33/I, 173-183.
- TOMLAIN, J. 1996: Modelové výpočty dôsledkov zmeny klímy na zmeny potenciálnej a skutočnej evapotranspirácie na Slovensku. In: *Národný klimatický program SR*, Bratislava: MŽP SR, Zväzok 4, 45-74.
- WALTER, H. - LIETH, H. 1960: *Klimadiagramm-Weltatlas*, Fischer Verlag Jena.
- ZLATNÍK, A. 1976: *Lesnícka fytocenologie*. SZN Praha, 495 s.

## Evaluation of Climate Changes Impact on Water Balance of Forest Altitudinal Zones

Jaroslav ŠKVARENINA<sup>(1)</sup>, Ján TOMLAIN<sup>(2)</sup>,

<sup>(1)</sup>Department of Natural Environment LF TU, Zvolen, <sup>(2)</sup>Dept. of Meteorology and Climatology MFF UK, Bratislava

## SUMMARY

This paper presents empirical analysis of the basic climate characteristics of main altitudinal vegetation zones in the West Carpathians from the point of view of the water balance and its change till 2075. For prediction of future climate conditions for years 2010, 2030 and 2075 that are caused by climate changes, the CCCM model was used (LAPIN and MELO 2000). Yearly courses of precipitation (P) and potential evapotranspiration (E<sub>o</sub>) for period from 1951 to 1980 and for modeled year 2075 were evaluated. This valuation is given using modified climadiagrams (relation precipitation and potential evapotranspiration) for following forest altitudinal zones: 1. oak tier, 2. beech-oak tier, 3. oak-beech tier, 4. beech tier, 5. fir-beech tier, 6. spruce-beech-fir tier, 7. spruce tier, 8. dwarf mountainous pine tier, 9. alpine tier). Characteristics of the water balance were supplemented with calculation of climatic index of wetting (E<sub>o</sub>-P) according to TOMLAIN (1991).

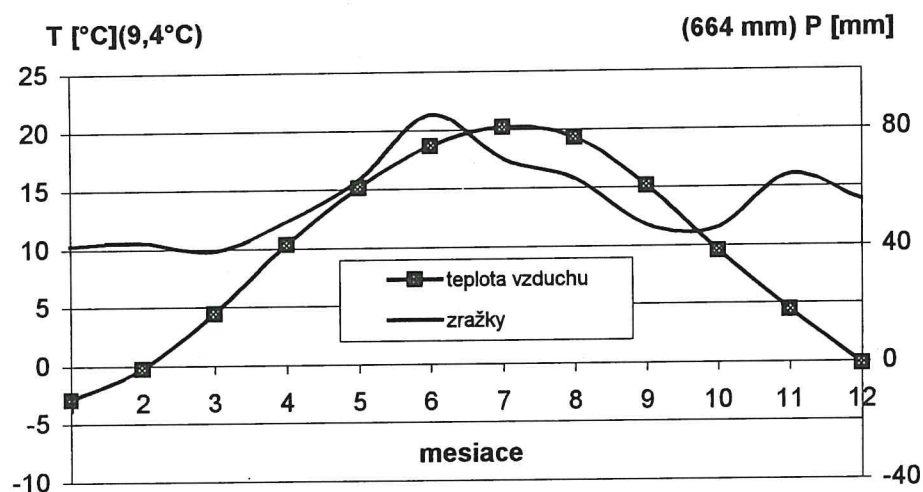
Analysis showed that in conditions of future climate changes within lower forest altitudinal zones (1-st, 2-nd and 3-rd partially 4-th), precipitation and high potential evapotranspiration will be limiting factors for growing of forest tree species. These changed bioclimate conditions will change the tree species composition, mainly the portion of beech in forest associations. In higher forest altitudinal zones (5-th, but mainly 6-th and 7-th) better predicted temperature conditions and precipitation sufficiency can lead towards bioclimatic conditions that are convenient for a higher portion of broadleaf tree species (beech, maple and ash) and for a higher potential production of forest trees. Limiting factor for the future evolution of higher forest altitudinal zones will be development of abiotic (wind, hard frost and extremes of meteorological factors), biotic (insects and pathogens) and anthropogenic (air pollution) harmful agencies.



Tab.1: Hodnoty klimatického ukazovateľa zavláženia (Eo - P) pre jednotlivé klimatické stanice reprezentujúce vegetačné stupne za obdobie 1951-80 a v časových horizontoch rokov 2010, 2030, 2075 podľa scenára CCCM

|                            | I.                           | II. | III. | IV. | V.  | VI.  | VII. | VIII. | IX. | X.  | XI. | XII. | rok  |
|----------------------------|------------------------------|-----|------|-----|-----|------|------|-------|-----|-----|-----|------|------|
| <b>Hurbanovo</b>           | <b>(1. vegetačný stupeň)</b> |     |      |     |     |      |      |       |     |     |     |      |      |
| 1951-1980                  | -31                          | -16 | 14   | 32  | 53  | 46   | 67   | 58    | 29  | -3  | -39 | -37  | 173  |
| 2010                       | -32                          | -16 | 16   | 33  | 60  | 55   | 78   | 64    | 34  | 1   | -42 | -37  | 214  |
| 2030                       | -29                          | -16 | 16   | 35  | 66  | 61   | 86   | 67    | 40  | 0   | -43 | -39  | 244  |
| 2075                       | -33                          | -12 | 21   | 37  | 74  | 71   | 103  | 76    | 48  | -2  | -48 | -44  | 291  |
| <b>Myjava</b>              | <b>(2. vegetačný stupeň)</b> |     |      |     |     |      |      |       |     |     |     |      |      |
| 1951-1980                  | -40                          | -39 | -11  | 12  | 32  | 22   | 34   | 31    | 20  | -19 | -51 | -56  | -65  |
| 2010                       | -43                          | -34 | -3   | 13  | 38  | 23   | 43   | 38    | 25  | -21 | -56 | -59  | -36  |
| 2030                       | -46                          | -36 | -2   | 14  | 42  | 28   | 50   | 42    | 27  | -23 | -57 | -63  | -24  |
| 2075                       | -48                          | -38 | 3    | 15  | 51  | 33   | 63   | 55    | 35  | -25 | -65 | -73  | 6    |
| <b>Kamenica n Cirochou</b> | <b>(3. vegetačný stupeň)</b> |     |      |     |     |      |      |       |     |     |     |      |      |
| 1951-1980                  | -35                          | -30 | -7   | 20  | 22  | 8    | 17   | 10    | 6   | -19 | -42 | -50  | -100 |
| 2010                       | -39                          | -26 | 2    | 22  | 26  | 13   | 27   | 16    | 11  | -21 | -44 | -53  | -66  |
| 2030                       | -40                          | -26 | 5    | 22  | 32  | 17   | 33   | 22    | 16  | -23 | -48 | -56  | -46  |
| 2075                       | -39                          | -27 | 8    | 22  | 40  | 21   | 48   | 34    | 23  | -26 | -55 | -63  | -14  |
| <b>Plaveč</b>              | <b>(4. vegetačný stupeň)</b> |     |      |     |     |      |      |       |     |     |     |      |      |
| 1951-1980                  | -31                          | -26 | -7   | 7   | 13  | -8   | -1   | 0     | 3   | -15 | -34 | -34  | -133 |
| 2010                       | -34                          | -26 | -1   | 8   | 17  | -5   | 12   | 7     | 6   | -16 | -36 | -38  | -106 |
| 2030                       | -36                          | -24 | 0    | 10  | 21  | 0    | 15   | 13    | 11  | -17 | -35 | -40  | -86  |
| 2075                       | -41                          | -21 | 10   | 10  | 29  | 5    | 30   | 26    | 19  | -20 | -40 | -43  | -36  |
| <b>Červený Kláštor</b>     | <b>(5. vegetačný stupeň)</b> |     |      |     |     |      |      |       |     |     |     |      |      |
| 1951-1980                  | -37                          | -32 | -11  | 5   | 2   | -25  | -10  | -22   | -4  | -18 | -33 | -39  | -224 |
| 2010                       | -41                          | -32 | -5   | 6   | 7   | -22  | 2    | -12   | 0   | -22 | -36 | -43  | -198 |
| 2030                       | -43                          | -32 | -4   | 8   | 10  | -18  | 8    | -6    | 3   | -21 | -41 | -45  | -181 |
| 2075                       | -48                          | -29 | 4    | 9   | 17  | -15  | 20   | 3     | 10  | -25 | -43 | -51  | -148 |
| <b>Telgárt</b>             | <b>(6. vegetačný stupeň)</b> |     |      |     |     |      |      |       |     |     |     |      |      |
| 1951-1980                  | -36                          | -37 | -31  | -13 | -29 | -49  | -18  | -15   | -5  | -33 | -59 | -45  | -370 |
| 2010                       | -39                          | -39 | -14  | -13 | -23 | -46  | -8   | -6    | 0   | -37 | -64 | -50  | -339 |
| 2030                       | -40                          | -41 | -14  | -13 | -17 | -42  | -1   | 0     | 4   | -39 | -68 | -53  | -324 |
| 2075                       | -47                          | -34 | -11  | -13 | -8  | -36  | 13   | 12    | 14  | -42 | -75 | -61  | -288 |
| <b>Štrbské Pleso</b>       | <b>(7. vegetačný stupeň)</b> |     |      |     |     |      |      |       |     |     |     |      |      |
| 1951-1980                  | -63                          | -58 | -54  | -30 | -22 | -41  | -44  | -17   | -21 | -33 | -67 | -72  | -522 |
| 2010                       | -68                          | -59 | -51  | -31 | -17 | -38  | -33  | -10   | -15 | -34 | -70 | -80  | -506 |
| 2030                       | -73                          | -61 | -34  | -26 | -13 | -37  | -27  | -4    | -8  | -35 | -71 | -86  | -475 |
| 2075                       | -82                          | -65 | -33  | -25 | -4  | -31  | -12  | 9     | 0   | -38 | -82 | -98  | -461 |
| <b>Ždiar-Javorina</b>      | <b>(7. vegetačný stupeň)</b> |     |      |     |     |      |      |       |     |     |     |      |      |
| 1951-1980                  | -52                          | -50 | -53  | -49 | -57 | -107 | -104 | -81   | -47 | -48 | -59 | -61  | -768 |
| 2010                       | -57                          | -54 | -50  | -46 | -50 | -103 | -91  | -71   | -40 | -48 | -65 | -68  | -743 |
| 2030                       | -61                          | -56 | -35  | -46 | -47 | -101 | -82  | -63   | -35 | -49 | -68 | -72  | -715 |
| 2075                       | -69                          | -48 | -32  | -44 | -37 | -95  | -65  | -45   | -24 | -55 | -75 | -81  | -670 |

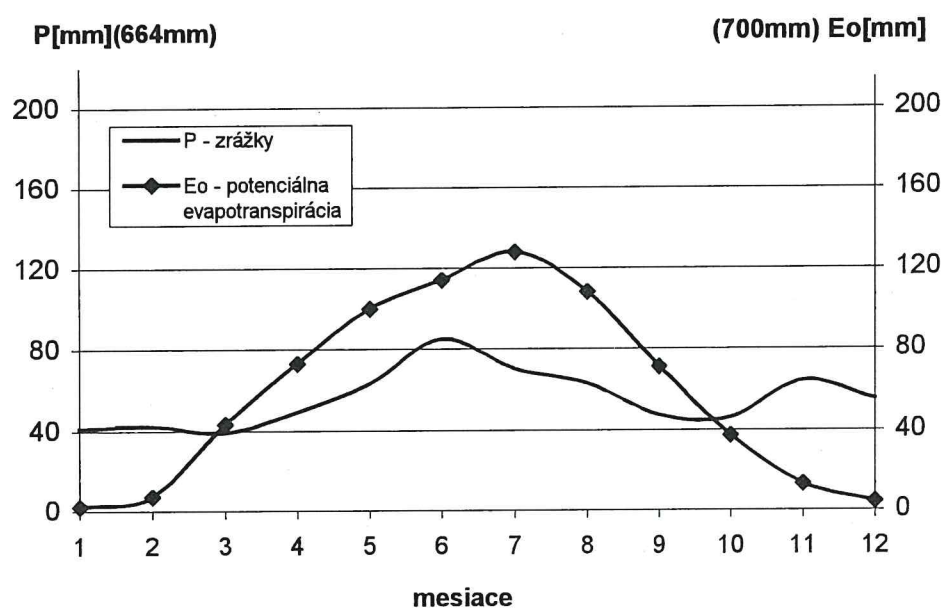
Lučenec-Bol'kovce (1951-80) 214 m n. m.



Obr. 1: Tradičný klimadiagram (Walter a Lieth 1960) - ročný chod teploty ( $T^{\circ}\text{C}$ ) a zrážok ( $P\text{ mm}$ )

Fig. 1: Traditional climatic graph (Walter-Lieth 1960)-annual course of air temperature( $T^{\circ}\text{C}$ ) and precipitation( $P\text{mm}$ )

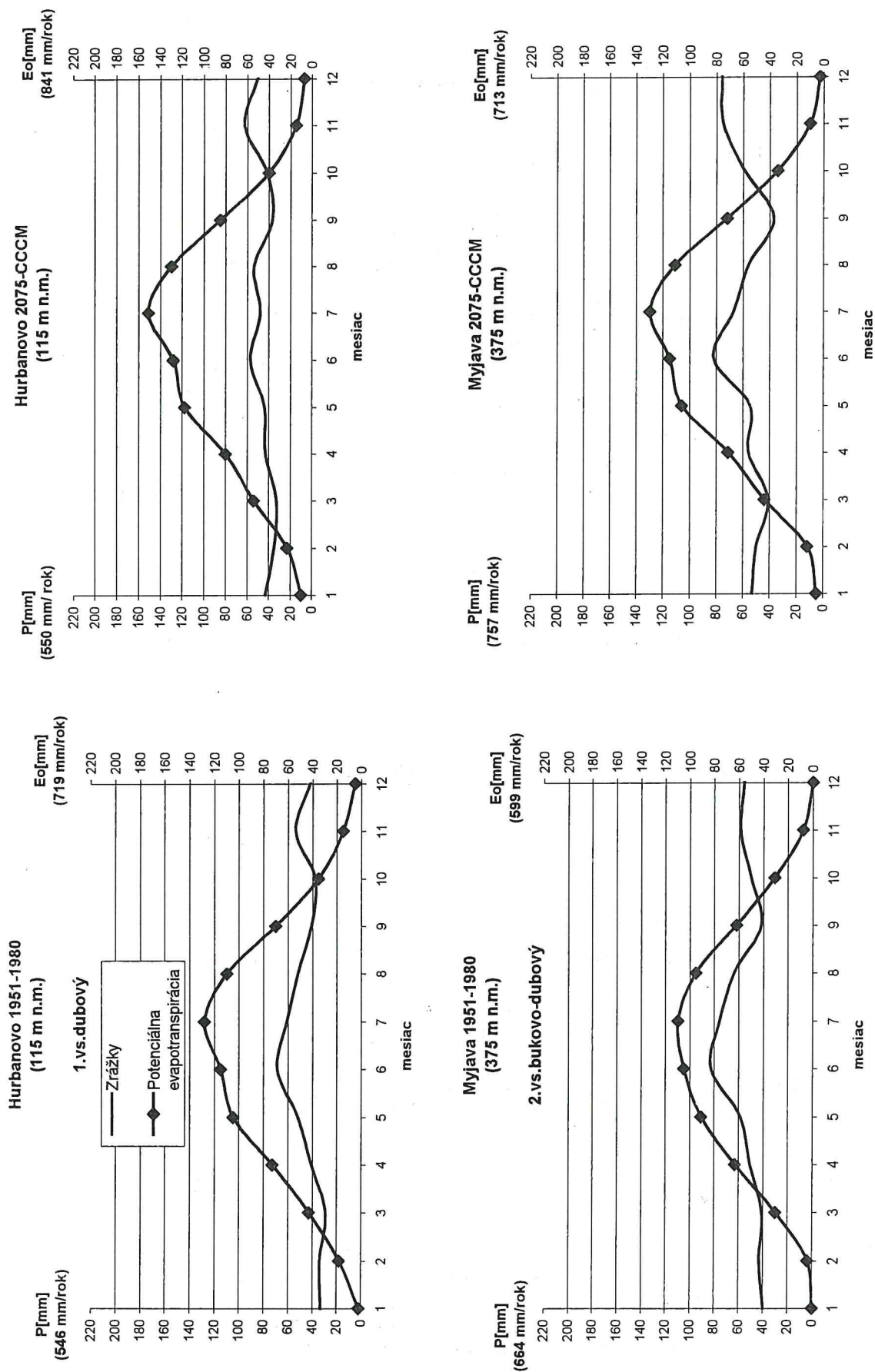
Lučenec Bol'kovce (1951-1980) 214 m n.m.



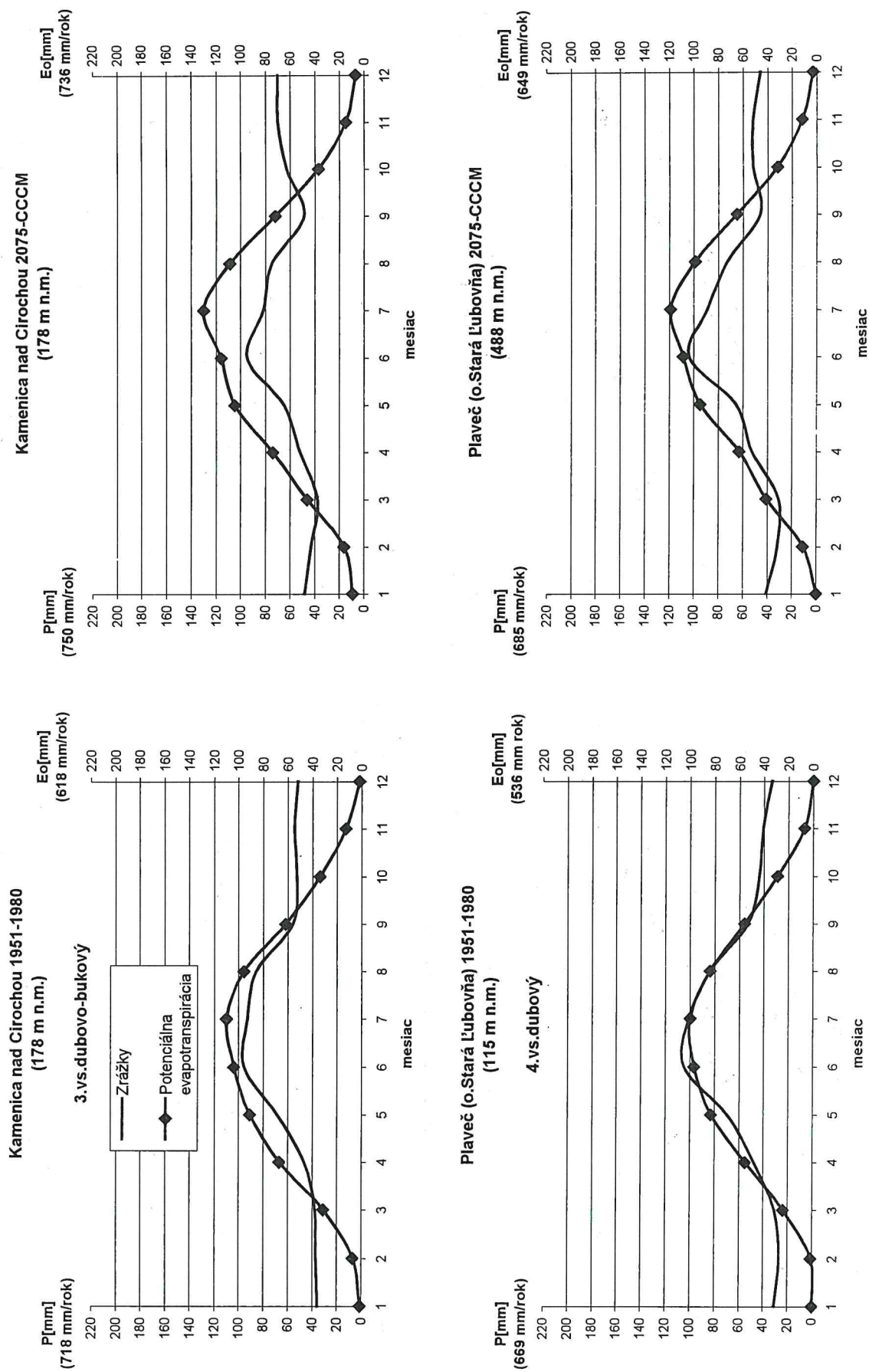
Obr. 2: Modifikovaný klimadiagram - ročný chod zrážok ( $P\text{ mm}$ ) a potenciálnej evapotranspirácie ( $E_o\text{ mm}$ )

Fig.2: Modified climatic graph-annual course of precipitation( $P\text{mm}$ ) and potential evapotranspiration ( $E_o$ )



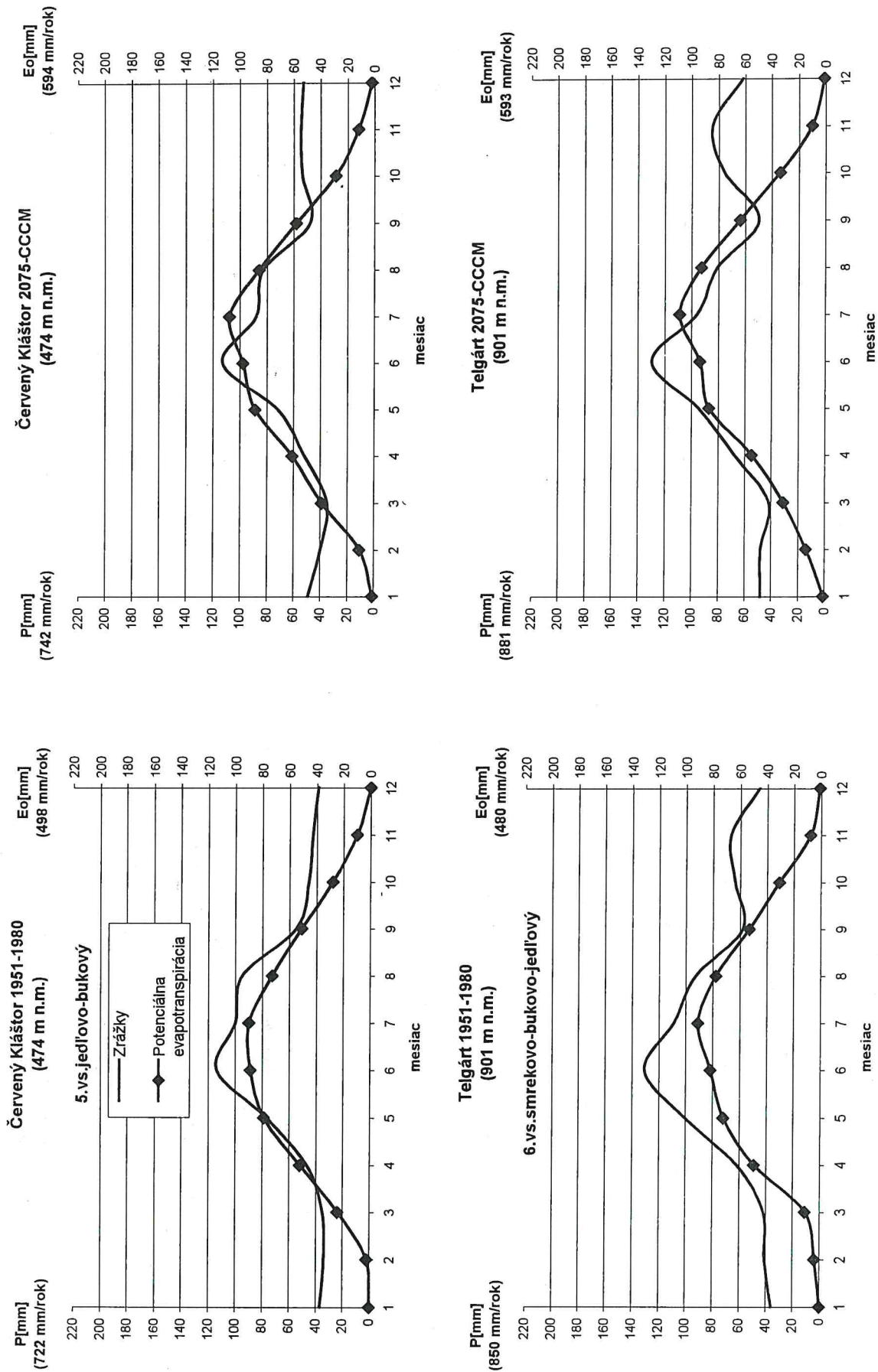


Obr. 3: Mesečné a ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie (Eo) a atmosférických zrážok (P) v mm, priemer za obdobie 1951-80 a pre r. 2075 scenár model-CCCM pre 1. a 2. vegetačný stupeň  
 Fig. 3: Monthly and annual totals of potential evapotranspiration (Eo), precipitation (P) in mm, average for period 1951-80 and year 2075 - model CCCM at 1. and 2. tier of vegetation

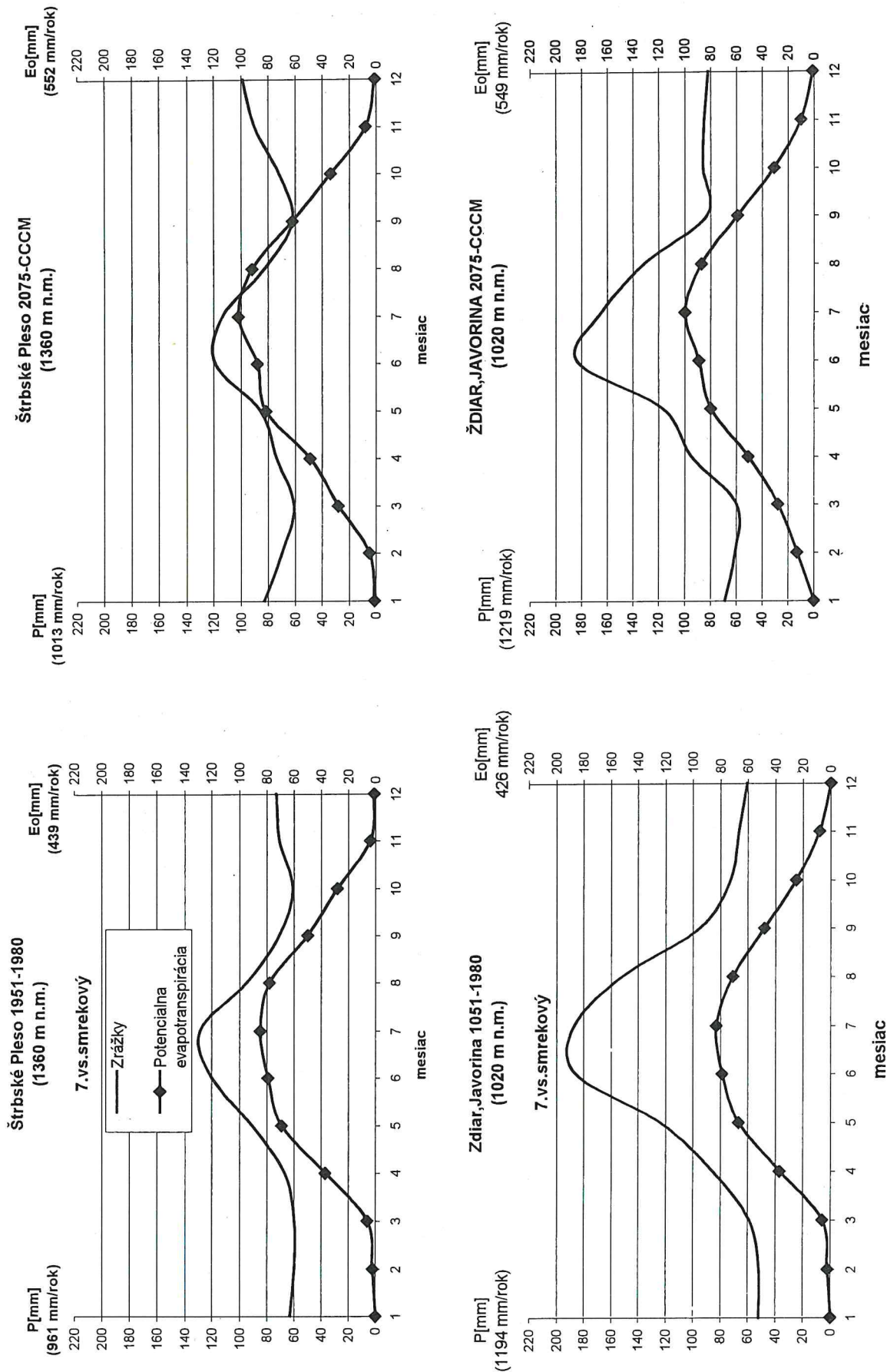


Obr. 4: Mesačné a ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie (Eo) a atmosférických zrážok (P) v mm, priemer za obdobie 1951-80 a pre r. 2075 scenár model-CCC pre 3. a 4. vegetačný stupeň  
 Fig. 4: Monthly and annual totals of potential evapotranspiration (Eo), precipitation (P) in mm, average for period 1951-80 and year 2075 - model CCC at 3. and 4. tier of vegetation





Obr. 5. Mesačné a ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie (Eo) a atmosférických zrážok (P) v mm, priemer za obdobie 1951-80 a pre r. 2075 scenár model-CCCM pre 5. a 6. vegetačný stupeň  
Fig 5: Monthly and annual totals of potential evapotranspiration (Eo), precipitation (P) in mm, average for period 1951-80 and year 2075 - model CCCM at 5. and 6. tier of vegetation



Obr. 6: Mesačné a ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie (Eo) a atmosférických zrážok (P) v mm, priemer za obdobie 1951-80 a pre r. 2075 scenár model-CCC at 7. vegetačný stupeň  
 Fig.6: Monthly and annual totals of potential evapotranspiration (Eo), precipitation (P) in mm, average for period 1951-80 and year 2075 - model CCC at 7. tier of vegetation



# ENERGETICKÁ A VLAHOVÁ ZABEZPEČENOSŤ VEGETAČNÉHO LETA V PODMIENKACH KLIMATICKEJ ZMENY

František Špánik, Bernard Šiška, Katedra biometeorológie a hydrológie FZKI SPU v Nitre

## 1. Úvod

Vegetačné leto (VL) je obdobím intenzívneho rastu a vývinu vegetácie. Vymedzené je nástupom a ukončením dní s priemernou dennou teplotou  $t \geq 15,0$  °C. Teplotný rozsah, pri ktorom sa môžu rastliny dobre vyvíjať a rásť je rôzny. Závisí od rastlinného druhu a miesta pôvodu tej - ktorej rastliny. V miernych zemepisných šírkach majú rastliny teplotný rozsah pomerne široký a pre väčšinu kultúrnych rastlín pásmo optimálnych teplôt sa pohybuje v rozsahu 15,0 – 30,0 °C. Je to práve vegetačné leto, ktoré pri väčšine rastlín v našich agroklimatických podmienkach spĺňa úplne alebo sčasti požiadavky na energiu pre optimálny vývoj a reprodukčné procesy rozhodujúce o úrodách. Obdobne majú rastliny v tomto období najvyššie požiadavky aj na ďalší faktor „života“ – na vodný režim. Zapríčinené je to hlavne intenzívnou evapotranspiráciou pri vysokých teplotách v tejto časti vegetačného obdobia.

Predpokladaná klimatická zmena, premietnutá predovšetkým do zmien energetického a vodného režimu prostredia, bude práve počas vegetačného leta meniť podmienky, ktoré môžu byť rozhodujúcimi pre agroklimatickú rajonizáciu poľnohospodárskej výroby na Slovensku.

Cieľom predloženej práce je stanovenie zmien energetickej a vlhovej zabezpečivosti rastlinnej výroby počas vegetačného leta na území Slovenska za referenčné obdobie 1951 – 1980 a k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075. Práca je súčasťou GP č. 1/4415/97.

## 2. Metodika a materiál

Meteorologické a fenologické podklady k riešeniu projektu za referenčný časový rad rokov 1951-1980 boli získané na Slovenskom hydrometeorologickom ústave v Bratislave a na Slovenskej poľnohospodárskej univerzite v Nitre, údaje o úrodách a iné biologické charakteristiky vytypovaných plodín boli získané na pracoviskách Agronomickej fakulty Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre, hlavne na Katedre rastlinnej výroby.

K analýzam dôsledkov klimatickej zmeny na poľnohospodárstvo bolo vytypovaných 27 klimatických staníc tak, aby plošne rovnomerne pokrývali územie Slovenska do nadmorskej výšky ohraničujúcej možnú poľnohospodársku výrobu.

Zmeny agroklimatických charakteristík a ukazovateľov boli simulované k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075 podľa scenára globálneho modelu všeobecnej cirkulácie atmosféry CCCM (Canadian Climate Centre Model). Časové horizonty sú odvodené podľa predpokladaných zmien koncentrácie CO<sub>2</sub> uvedených v tab. 1:

Tab. 1 Predpokladané zmeny koncentrácie CO<sub>2</sub> do roku 2075

| Koncentrácia CO <sub>2</sub> | Časový horizont |
|------------------------------|-----------------|
| 300 ppm                      | 1951-80         |
| 340 ppm                      | 2010            |
| 450 ppm                      | 2030            |
| 600 ppm                      | 2075            |

Scenáre zmien priemernej mesačnej teploty vzduchu podľa modelu CCCM podáva tabuľka 2 a scenáre zmien mesačných úhrnov zrážok v % prináša tabuľka 3.

Tab. 2 Scenáre zmeny priemernej mesačnej teploty vzduchu pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 podľa CCCM (Canadian Climate Centre Model), (Lapin et al., 1995)

| Časový horizont | I   | II  | III | IV  | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X   | XI  | XII | Rok |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 2010            | 1,2 | 1,4 | 1,4 | 1,0 | 0,9 | 0,9 | 1,1 | 1,0  | 1,1 | 1,1 | 0,9 | 0,9 | 1,1 |
| 2030            | 2,0 | 2,4 | 2,3 | 1,7 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 1,7  | 1,9 | 1,8 | 1,4 | 1,5 | 1,8 |
| 2075            | 3,7 | 4,5 | 4,3 | 3,2 | 2,9 | 3,0 | 3,3 | 3,2  | 3,6 | 3,4 | 2,7 | 2,8 | 3,4 |

Tab. 3 Scenáre zmien mesačných úhrnov zrážok pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 podľa CCCM (Canadian Climate Centre Model, N-sever, S-juh), (Lapin et al., 1995)

| Časový horizont | I  | II | III | IV | V   | VI  | VII | VIII | IX  | X  | XI | XII | Rok |
|-----------------|----|----|-----|----|-----|-----|-----|------|-----|----|----|-----|-----|
| 2010 N          | 10 | 5  | 0   | 3  | -2  | 0   | -4  | -4   | -4  | 6  | 8  | 11  | 2   |
| S               | 1  | 1  | 5   | 1  | -5  | -5  | -7  | 1    | -3  | 3  | 5  | 7   | 0   |
| 2030 N          | 17 | 9  | 1   | 5  | -3  | -1  | -6  | -7   | -7  | 9  | 14 | 18  | 3   |
| S               | 15 | 1  | 8   | 2  | -8  | -9  | -11 | 2    | -5  | 6  | 8  | 12  | 0   |
| 2075 N          | 32 | 17 | 1   | 10 | -6  | -1  | -12 | -13  | -13 | 18 | 27 | 35  | 5   |
| S               | 29 | 2  | 15  | 4  | -15 | -17 | -21 | 3    | -9  | 11 | 16 | 22  | 0   |

Analýzy boli zamerané na:

- časové a priestorové rozloženie vytypovaných agroklimatických a fenologických charakteristík (tabelárne a graficky) na území Slovenska.
- matematicko-štatistické stanovenie zmien nástupu, ukončenia a trvania fenologických charakteristík.
- matematicko-štatistické analýzy zmien agroklimatických charakteristík v závislosti od nadmorskej výšky.

### 3. Výsledky a hodnotenie

#### 3.1. Zmena fenologických pomerov

Časový priebeh životných prejavov rastlín – fenofáz ovplyvňujú hlavne teplota a voda. Zmeny teploty, úhrnov zrážok, ale aj iných faktorov prostredia menia nástupy fenofáz a tým aj dĺžky fenofázových intervalov a celých vegetačných období plodín.

Pre vegetačné obdobia ohraničené fyziologicky významnými teplotami pri raste teploty vzduchu platí urýchlenie nástupu a oneskorenie ukončenia a tým aj predĺženie doby ich trvania.

Priestorové rozloženie nástupu, ukončenia a trvania VL na Slovensku a jeho zmeny prináša tab. 4. VL (ako obdobie s najintenzívnejším rozvojom vegetácie s priemernou dennou  $t \geq 15,0^\circ\text{C}$ ) v súčasnosti v južných častiach Slovenska (podľa klimatickej stanice Hurbanovo) trvá 128 dní. Smerom na sever sa s poklesom priemerných denných teplôt postupne skraca a v nadmorskej výške cca 700 m zaniká úplne. K časovému horizontu roka 2075 sa na južnom Slovensku VL predĺži o 38 dní, t.j. o 30 %. Vplyvom očakávanej klimatickej zmeny sa však bude aj táto, z fyziologického hľadiska významná časť vegetačného obdobia, postupne vytvárať aj vo vyšších nadmorských polohách a k roku 2075 sa v najvyšších poľnohospodársky využívaných polohách Slovenska predpokladá jej trvanie 48 dní.

Tab. 4 Nástup (n), ukončenie (u) a trvanie (d) vegetačného leta (VL,  $t \geq 15^\circ\text{C}$ ) za roky 1951-80 a k rokom 2010, 2030 a 2075

| Klimatická stanica  | 1951-1980 |       |     | 2010  |       |     | 2030  |       |     | 2075  |       |     |
|---------------------|-----------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-------|-------|-----|
|                     | n         | u     | d   | n     | u     | d   | n     | u     | d   | n     | u     | d   |
| Bardejov            | 4.6.      | 1.9.  | 90  | 28.5. | 9.9.  | 105 | 23.5. | 15.9. | 116 | 12.5. | 25.9. | 137 |
| Bratislava, letisko | 21.5.     | 16.9. | 119 | 11.5. | 22.9. | 135 | 7.5.  | 26.9. | 143 | 27.4. | 5.10. | 162 |
| Čadca               | 15.6.     | 20.8. | 67  | 7.6.  | 29.8. | 84  | 2.6.  | 4.9.  | 95  | 21.5. | 18.9. | 121 |
| Červený Kláštor     | 20.6.     | 20.8. | 62  | 9.6.  | 29.8. | 82  | 3.6.  | 4.9.  | 94  | 22.5. | 18.9. | 120 |
| Hurbanovo           | 13.5.     | 17.9. | 128 | 7.5.  | 23.9. | 140 | 3.5.  | 28.9. | 149 | 24.4. | 6.10. | 166 |
| Kamenica n./C.      | 27.5.     | 5.9.  | 102 | 18.5. | 13.9. | 119 | 14.5. | 18.9. | 128 | 5.5.  | 1.10. | 151 |
| Košice, letisko     | 25.5.     | 9.9.  | 108 | 20.5. | 17.9. | 121 | 12.5. | 21.9. | 133 | 3.5.  | 30.9. | 152 |
| Kuchyňa – Nový Dvor | 24.5.     | 13.9. | 113 | 16.5. | 20.9. | 128 | 12.5. | 24.9. | 136 | 3.5.  | 3.10. | 155 |
| Liptovský Hrádok    | 20.6.     | 16.8. | 52  | 9.6.  | 26.8. | 79  | 3.6.  | 30.8. | 89  | 23.5. | 14.9. | 115 |
| Moldava n./B.       | 16.5.     | 9.9.  | 117 | 14.5. | 16.9. | 126 | 10.5. | 20.9. | 134 | 1.5.  | 30.9. | 153 |
| Myjava              | 2.6.      | 4.9.  | 95  | 25.5. | 13.9. | 112 | 20.5. | 18.9. | 122 | 9.5.  | 28.9. | 143 |



|                            |       |       |      |       |       |      |       |       |     |       |       |     |
|----------------------------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-----|-------|-------|-----|
| Nitra                      | 17.5. | 17.9. | 124  | 10.5. | 24.9. | 138  | 6.5.  | 28.9. | 146 | 27.4. | 7.10. | 164 |
| Oravská Lesná              |       |       |      | 9.7.  | 27.7. | 19   | 25.6. | 17.8. | 54  | 9.6.  | 31.8. | 84  |
| Piešťany                   | 22.5. | 12.9. | 111  | 14.5. | 19.9. | 129  | 10.5. | 24.9. | 138 | 1.5.  | 4.10. | 157 |
| Plaveč o. Stará<br>Lubovňa | 12.6. | 23.8. | 73   | 4.6.  | 1.9.  | 90   | 30.5. | 7.9.  | 101 | 18.5. | 19.9. | 125 |
| Poprad                     | 4.7.  | 6.8.  | 34   | 14.6. | 22.8. | 63,8 | 8.6.  | 24.8. | 78  | 28.5. | 13.9. | 109 |
| Prievidza                  | 28.5. | 6.9.  | 102  | 21.5. | 15.9. | 118  | 15.5. | 20.9. | 129 | 5.5.  | 30.9. | 149 |
| Rimavská Sobota            | 22.5. | 9.9.  | 111  | 14.5. | 17.9. | 127  | 10.5. | 21.9. | 135 | 30.4. | 30.9. | 154 |
| Rožnava                    | 26.5. | 6.9.  | 104  | 18.5. | 15.9. | 121  | 13.5. | 19.9. | 130 | 4.5.  | 28.9. | 148 |
| Sliac                      | 31.5. | 1.9.  | 94   | 23.5. | 9.9.  | 110  | 18.5. | 16.9. | 122 | 8.5.  | 25.9. | 141 |
| Somotor                    | 14.5. | 17.9. | 127  | 9.5.  | 22.9. | 137  | 5.5.  | 26.9. | 145 | 25.4. | 4.10. | 163 |
| Štrbské Pleso              |       |       |      |       |       |      |       |       |     | 3.7.  | 19.8. | 48  |
| Švermovo                   |       |       |      | 5.7.  | 6.7.  | 2    | 24.6. | 6.8.  | 44  | 8.6.  | 16.8. | 70  |
| Trenč. Biskupice           | 26.5. | 7.9.  | 105  | 18.5. | 16.9. | 122  | 14.5. | 20.9. | 130 | 4.5.  | 29.9. | 149 |
| Trstená – Ústie n./P.      | 4.7.  | 10.8. | 43,5 | 15.6. | 24.8. | 71   | 9.6.  | 31.8. | 84  | 29.5. | 16.9. | 111 |
| Víglaš – Pstruša           | 4.6.  | 31.8. | 89   | 27.5. | 9.9.  | 106  | 21.5. | 15.9. | 118 | 10.5. | 25.9. | 139 |
| Žiharec                    | 16.5. | 15.9. | 123  | 10.5. | 22.9. | 136  | 6.5.  | 26.9. | 144 | 27.4. | 5.10. | 162 |

### 3.2. Zmena teplotných pomerov

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

Predpokladané otepľovanie výrazne ovplyvní aj súčasnú regionalizáciu poľnohospodárskej výroby a pásmovitost' rozmiestnenia poľných i záhradníckych plodín.

Najvhodnejšou z teplotných charakteristík je suma priemerných denných teplôt vzduchu ( $\Sigma t$ ) za agroklimaticky definované časové obdobie.

Priestorové rozloženie  $\Sigma t$  za VL na Slovensku a jeho zmeny vyplývajú z tab. 5 a obr. 1. V južných častiach Slovenska (klimatická stanica Hurbanovo) sa  $\Sigma t$  za VL do roka 2075 zvýši o 1173,0 °C, t.j. o 36 %.

V najvyššie hodnotených častiach územia sa priemerné denné teploty zvýšia tak, aby spĺňali kritéria nástupu a ukončenia VL až v blízkosti časového horizontu roka 2075. V tomto období sa nahromadí  $\Sigma t$  cca 746,0 °C.

Tab. 5 Sumy priemerných denných teplôt vzduchu VL ( $t \geq 15$  °C) za obdobie 1951-80 a k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075.

| Klimatická stanica  | 1951-1980 | 2010   | 2030   | 2075   |
|---------------------|-----------|--------|--------|--------|
| Bardejov            | 1421,0    | 1853,5 | 2087,5 | 2597,0 |
| Bratislava, letisko | 2030,1    | 2539,3 | 2767,1 | 3280,4 |
| Čadca               | 971,4     | 1396,4 | 1627,8 | 2289,2 |
| Červený Kláštor     | 905,1     | 1388,5 | 1602,5 | 2278,1 |
| Hurbanovo           | 2217,4    | 2665,1 | 2916,6 | 3390,5 |
| Kamenica n./C.      | 1651,2    | 2125,7 | 2347,3 | 2790,7 |
| Košice, letisko     | 1773,6    | 2211,0 | 2483,8 | 2842,7 |
| Kuchyňa - Nový Dvor | 1857,7    | 2333,9 | 2552,3 | 2904,6 |
| Liptovský Hrádok    | 836,4     | 1322,4 | 1603,9 | 2187,1 |
| Moldava n./B.       | 1924,0    | 2300,5 | 2515,3 | 2857,9 |
| Myjava              | 1494,7    | 1966,7 | 2195,7 | 2677,3 |
| Nitra               | 2105,8    | 2591,5 | 2822,7 | 3315,9 |
| Oravská Lesná       |           | 290,7  | 780,2  | 1310,0 |
| Piešťany            | 1880,9    | 2352,6 | 2588,3 | 2921,9 |

|                         |        |        |        |        |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Plaveč o. Stará Ľubovňa | 960,0  | 1477,1 | 1751,3 | 2355,2 |
| Poprad                  | 772,2  | 1224,6 | 1414,6 | 2119,2 |
| Prievidza               | 1639,8 | 2104,5 | 2356,5 | 2773,5 |
| Rimavská Sobota         | 1846,8 | 2325,4 | 2541,8 | 3071,0 |
| Rožnava                 | 1698,7 | 2174,9 | 2369,0 | 2766,2 |
| Sliač                   | 1504,3 | 1946,0 | 2202,2 | 2631,8 |
| Somotor                 | 2190,8 | 2615,7 | 2846,7 | 3337,7 |
| Štrbské Pleso           |        |        |        | 746,0  |
| Švermovo                |        | 31,0   | 675,7  | 1183,2 |
| Trenč. Biskupice        | 1697,9 | 2179,3 | 2389,3 | 2775,1 |
| Trstená – Ústie n./P.   | 740,0  | 1256,2 | 1486,7 | 2168,1 |
| Víglaš – Pstruša        | 1399,6 | 1853,1 | 2103,5 | 2587,7 |
| Žiharec                 | 2082,7 | 2556,1 | 2754,3 | 3283,9 |

### 3.3. Zmena radiačných pomerov

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

Z fyziologického hľadiska k najúčinnnejším charakteristikám sa radí fotosynteticky aktívne žiarenie ( $Q_{\text{FAR}}$ ), ktoré sa v podstate zhoduje s viditeľným žiarením – svetlom.

Priestorové rozloženie  $Q_{\text{FAR}}$  za VL na Slovensku a jeho zmeny prinášajú tab. 6 a obr. 2.

V južných – najnižších polohách Slovenska (klimatická stanica Hurbanovo) sa predpokladá k časovému horizontu roka 2075 zvýšenie  $Q_{\text{FAR}}$  za VL o 89 kWh.m<sup>-2</sup>, t.j. o 28 %. V najvyšších polohách Slovenska sa predpokladá splnenie kritérií ohraničujúcich vegetačné leto až okolo roku 2075, kedy suma  $Q_{\text{FAR}}$  vzrastie asi na hodnotu 107 kWh.m<sup>-2</sup>.

Tab. 6 Suma fotosynteticky aktívneho žiarenia ( $Q_{\text{FAR}}$ ) v kWh.m<sup>-2</sup> za VL rokov 1951-80 a k rokom 2010, 2030 a 2075

| Klimatická stanica      | 1951-1980 | 2010   | 2030   | 2075   |
|-------------------------|-----------|--------|--------|--------|
| Bardejov                | 211,87    | 246,75 | 272,30 | 321,78 |
| Bratislava, letisko     | 290,61    | 331,12 | 351,32 | 392,97 |
| Čadca                   | 141,41    | 179,88 | 204,59 | 281,45 |
| Červený Kláštor         | 124,07    | 169,44 | 196,40 | 274,47 |
| Hurbanovo               | 318,44    | 349,04 | 371,64 | 406,97 |
| Kamenica n./C.          | 242,23    | 281,92 | 303,09 | 337,79 |
| Košice, letisko         | 262,72    | 292,67 | 323,25 | 342,80 |
| Kuchyňa - Nový Dvor     | 271,14    | 307,62 | 327,64 | 344,80 |
| Liptovský Hrádok        | 129,56    | 179,97 | 205,76 | 289,79 |
| Moldava n./B.           | 278,62    | 299,37 | 319,44 | 336,05 |
| Myjava                  | 232,60    | 273,20 | 298,05 | 341,69 |
| Nitra                   | 296,25    | 330,39 | 350,52 | 387,40 |
| Oravská Lesná           |           | 44,57  | 123,95 | 224,00 |
| Piešťany                | 277,70    | 314,48 | 336,45 | 349,32 |
| Plaveč o. Stará Ľubovňa | 164,08    | 204,76 | 230,03 | 297,91 |
| Poprad                  | 74,10     | 171,59 | 194,51 | 283,00 |
| Prievidza               | 240,65    | 277,94 | 305,02 | 334,87 |
| Rimavská Sobota         | 263,03    | 300,48 | 320,05 | 365,35 |
| Rožnava                 | 242,90    | 281,48 | 303,28 | 325,20 |
| Sliač                   | 222,28    | 258,68 | 285,54 | 319,60 |
| Somotor                 | 304,01    | 329,47 | 349,84 | 390,04 |
| Štrbské Pleso           |           |        |        | 107,23 |
| Švermovo                |           | 4,76   | 105,83 | 210,08 |



|                              |        |        |        |        |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Trenč. Biskupice</b>      | 246,58 | 285,08 | 304,37 | 328,16 |
| <b>Trstená - Ústie n./P.</b> | 83,84  | 149,81 | 179,30 | 275,41 |
| <b>Víglaš – Pstruša</b>      | 213,30 | 252,30 | 280,10 | 323,72 |
| <b>Žiharec</b>               | 301,87 | 333,79 | 354,23 | 393,74 |

### 3.5. Zmena zrážkových pomerov

Voda je základnou stavebnou zložkou rastlinných orgánov v ktorých plní významné životné funkcie. V bunkách rastlín vytvára disperzné prostredie pre koloidné plazmy, v ktorých prebiehajú všetky biochemické procesy látkovej výmeny, rastu a ďalšie procesy ich životnej činnosti. Voda sprostredkováva transport živín i vznikajúcich zlúčenín. Významnou je tiež jej termoregulačná funkcia. Voda má preto v agroklimatickej rajonizácii nezastupiteľnú funkciu.

Priestorové rozloženie zrážok za VL na Slovensku a jeho zmeny vyplýva z tab. 7 a obr. 3.

Pre južné Slovensko (klimatická stanica Hurbanovo) sa predpokladá rast zrážok za VL k časovému horizontu roku 2075 o 41 mm, t.j. o 18 %. V najvyšších polohách Slovenska (klimatická stanica Štrbské Pleso) sa predpokladá splnenie podmienok vzniku VL až k časovému horizontu roku 2075 so zrážkovým úhrnom 157 mm.

Tab. 7 Úhrn zrážok v mm za VL za obdobie 1951-80 a k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075.

| Klimatická stanica      | 1951-1980 | 2010 | 2030 | 2075 |
|-------------------------|-----------|------|------|------|
| Bardejov                | 247       | 310  | 327  | 357  |
| Bratislava, letisko     | 213       | 255  | 259  | 269  |
| Čadca                   | 261       | 308  | 336  | 385  |
| Červený Kláštor         | 230       | 274  | 304  | 344  |
| Hurbanovo               | 218       | 245  | 251  | 259  |
| Kamenica n./C.          | 259       | 318  | 327  | 346  |
| Košice, letisko         | 250       | 296  | 311  | 321  |
| Kuchyňa – Nový Dvor     | 252       | 309  | 313  | 321  |
| Liptovský Hrádok        | 187       | 216  | 239  | 279  |
| Moldava n./B.           | 273       | 311  | 317  | 330  |
| Myjava                  | 184       | 244  | 253  | 268  |
| Nitra                   | 216       | 250  | 255  | 265  |
| Oravská Lesná           |           | 165  | 214  | 310  |
| Piešťany                | 225       | 268  | 274  | 283  |
| Plaveč o. Stará Ľubovňa | 218       | 267  | 293  | 325  |
| Poprad                  | 74        | 181  | 200  | 252  |
| Prievidza               | 233       | 284  | 295  | 307  |
| Rimavská Sobota         | 227       | 276  | 282  | 294  |
| Rožnava                 | 246       | 319  | 329  | 342  |
| Sliač                   | 211       | 269  | 282  | 294  |
| Somotor                 | 248       | 279  | 283  | 290  |
| Štrbské Pleso           |           |      |      | 157  |
| Švermovo                |           | 112  | 149  | 241  |
| Trenč. Biskupice        | 206       | 260  | 282  | 275  |
| Trstená – Ústie n./P.   | 210       | 242  | 277  | 331  |
| Víglaš – Pstruša        | 160       | 228  | 240  | 256  |
| Žiharec                 | 216       | 246  | 250  | 259  |

### 3.6. Zmena potenciálnej evapotranspirácie.

Evapotranspirácia z hľadiska fyziologického má základný význam v tom, že priamo ovplyvňuje produkčný proces rastlín, predovšetkým prenos vody a živín z pôdy cez cievné systémy do zásobných orgánov. Evapotranspirácia spolu so zrážkami a odtokom sa podieľa na vodnej bilancií krajiny a tým sa radí k základným charakteristikám a podkladom agroklimatickej rajonizácie.

Priestorové rozloženie úhrnu potenciálnej evapotranspirácie ( $E_0$ ) v mm za VL na Slovensku a jeho zmeny vyplývajú z tab. 8 a obr. 4.

Predpokladané zvyšovanie teploty vzduchu, ale aj predlžovanie VL spôsobujú jednoznačne rast  $E_0$  k časovému horizontu roku 2075 na celom území Slovenska.

Na juhu Slovenska (klimatická stanica Hurbanovo) vzrastie  $E_0$  za VL o 184 mm, t.j. o 39 %, na severe Slovenska (klimatická stanica Štrbské Pleso) sa VL začne vytvárať až po roku 2030 a  $E_0$  vzrastie k roku 2075 do hodnoty asi na hodnotu 140 mm.

Tab. 8 Úhrn potenciálnej evapotranspirácie ( $E_0$ ) v mm za VL rokov 1951-80 a k rokom 2010, 2030 a 2075

| Klimatická stanica      | 1951-1980 | 2010 | 2030 | 2075 |
|-------------------------|-----------|------|------|------|
| Bardejov                | 299       | 353  | 393  | 451  |
| Bratislava, letisko     | 425       | 500  | 539  | 625  |
| Čadca                   | 226       | 253  | 291  | 390  |
| Červený Kláštor         | 218       | 242  | 276  | 381  |
| Hurbanovo               | 468       | 532  | 575  | 652  |
| Kamenica n./C.          | 347       | 413  | 448  | 515  |
| Košice, letisko         | 381       | 439  | 488  | 544  |
| Kuchyňa - Nový Dvor     | 393       | 461  | 498  | 551  |
| Liptovský Hrádok        | 234       | 264  | 314  | 416  |
| Moldava n./B.           | 385       | 431  | 466  | 516  |
| Myjava                  | 313       | 380  | 418  | 498  |
| Nitra                   | 438       | 506  | 546  | 626  |
| Oravská Lesná           |           | 59   | 146  | 264  |
| Piešťany                | 404       | 473  | 513  | 560  |
| Plaveč o. Stará Ľubovňa | 250       | 278  | 326  | 419  |
| Poprad                  | 209       | 238  | 275  | 400  |
| Prievidza               | 342       | 406  | 449  | 517  |
| Rimavská Sobota         | 364       | 428  | 462  | 547  |
| Rožnava                 | 339       | 405  | 442  | 497  |
| Sliač                   | 321       | 382  | 424  | 494  |
| Somotor                 | 442       | 498  | 538  | 620  |
| Štrbské Pleso           |           |      |      | 141  |
| Švermovo                |           | 7    | 139  | 277  |
| Trenč. Biskupice        | 343       | 406  | 438  | 471  |
| Trstená - Ústie n./P.   | 158       | 204  | 261  | 350  |
| Víglaš - Pstruša        | 276       | 370  | 411  | 478  |
| Žiharec                 | 433       | 496  | 535  | 596  |

#### 4. Závery

Vegetačné leto (VL) ohraničené nástupom a ukončením priemernej dennej teploty vzduchu  $t \geq 15,0$  °C je obdobím najintenzívnejšieho rastu a vývinu vegetácie poľných i záhradníckych plodín. Vzhľadom na extrémny teplotný, charakteristík radiačnej bilancie, ale tiež charakteristík bilancie vody, je práve vegetačné leto považované za najrizikovejšiu časť vegetačnej periódy väčšiny plodín v našich agroklimatických podmienkach. Hodnotenie zložiek energetickej a vodnej bilancie v podmienkach klimatickej zmeny, možno preto považovať za vhodný podklad agroklimatickej rajonizácie poľnohospodárskej výroby na Slovensku. Z analýz energetickej a vodnej bilancie za vegetačné leto na vegetačné leto na Slovensku za obdobie 1951-1980 a k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075 možno uviesť nasledovné:

K časovému horizontu roka 2075 sa predpokladá na južnom Slovensku (klimatická stanica Hurbanovo) predĺženie VL o 38 dní, t.j. o 30 %. Vplyvom klimatickej zmeny sa vytvoria podmienky pre vznik VL

- v nadmorských výškach nad 800 m cca po roku 2005
- v nadmorských výškach nad 900 m cca po roku 2010
- v nadmorských výškach nad 1300 m cca po roku 2040



K časovému horizontu roka 2075 sa predpokladá na južnom Slovensku za VL:

- rast súm priemerných denných teplôt ( $\Sigma t$ ) o 1173 °C, t.j. o 36 %,
- rast súm fotosynteticky aktívnej radiácie ( $Q_{FAR}$ ) 89 kWh.m<sup>-2</sup>, t.j. o 28 %
- rast úhrnov zrážok (Z) o 41 mm, t.j. o 18 %
- rast úhrnov potenciálnej evapotranspirácie ( $E_o$ ) o 184 mm, t.j. o 39 %.

Uvedené charakteristiky sa budú meniť celoplošne na území Slovenska, úmerne s rastom nadmorskej výšky.

## Literatúra

Budyko, M.I. (1971): *Klimat i žizň*. Gidrometeoizdat. Leningrad.

Lapin, M., Nieplová, E., Faško, P. (1995): Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. NKP SR 3, MŽP SR, SHMÚ Bratislava, 17-57.

Špánik, F., Šiška, B., Tomlain, J., Repa, Š., Antal, J., Igaz, D. (1999): Dopady klimatických zmien na poľnohospodárstvo Slovenska. Súhrnná správa výsledkov grantovej úlohy 1/4415/97, SPÚ Nitra, 1-42.

Tomlain, J. (1999): Dôsledky očakávanej klimatickej zmeny na oscilácie zásob vody v pôde. In: Voda v bioklimatických systémoch, Acta horticulturae et regio tecturae (Zborník z BPD 98, Račková dolina) Nitra, 2, 223 – 225.

## ENERGETIC AND WATER SECURING OF VEGETATIVE SUMMER IN THE CLIMATE CHANGE CONDITIONS

*F. Špánik, B. Šiška, Dept. of Biometeorology and Hydrology, FZKI SPU in Nitra*

### Summary

Vegetative summer (VL) is limited by mean air temperatures  $t \geq 15,0$  °C. There is the highest rate of growth and development of field and horticultural crops observed in this period. From the point of view of extreme temperatures, radiation as well as water balances, vegetative summer is considered as the most risky period in life cycles of field crops in agroclimatological conditions of Slovakia. Therefore the evaluation of radiation and water balances can be used as a base for evaluation of climate change impacts on agroclimatological regionalisation of crop production in Slovak Republic. Analyses of energy and water balances during vegetative summer for period 1951-1980 and in time frames 2010, 2030 and 2075 in Slovakia resulted in:

There is supposed up to year 2075, in southern part of Slovakia (climatological station Hurbanovo), prolongation of vegetative summer by 38 days, what is by 30 %. Due to climate change the creation of vegetative summer can be observed:

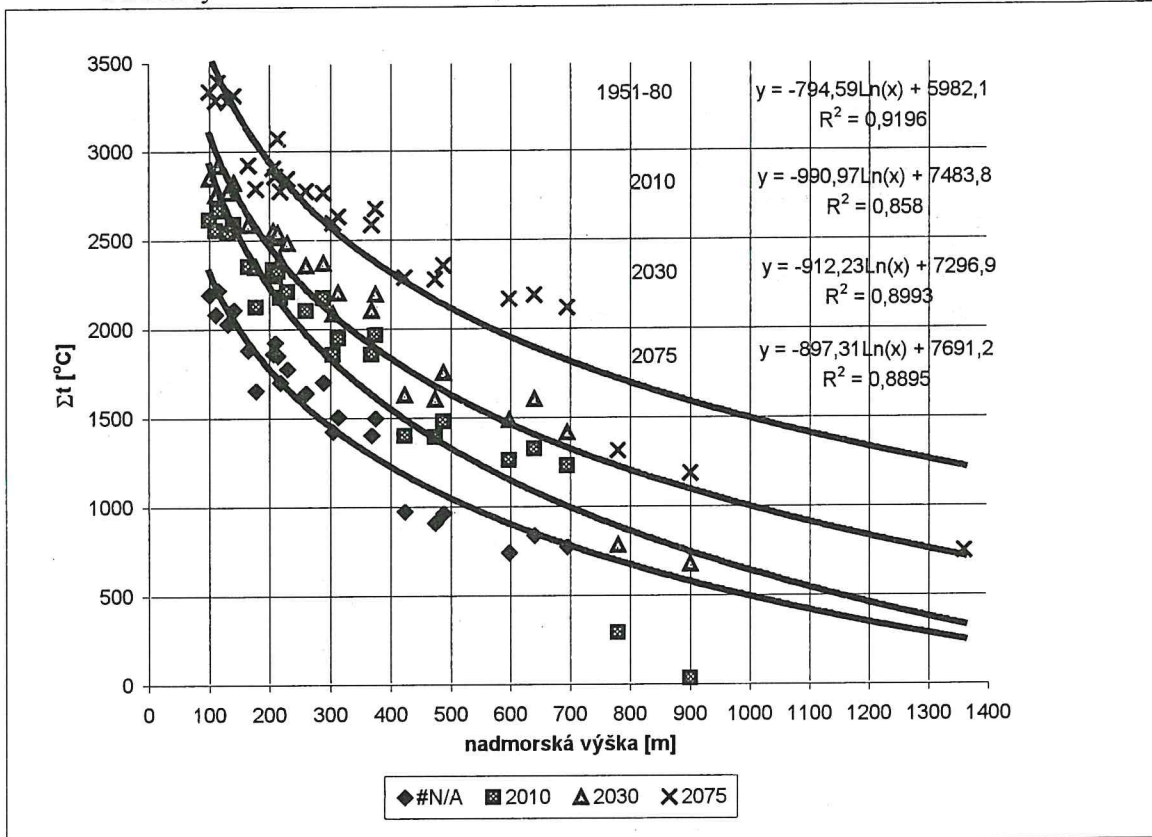
- in altitude 800 m after year 2005
- in altitude 900 m after year 2010
- in altitude 1300 m after year 2040

There is also supposed up to year 2075 in southern part of Slovakia

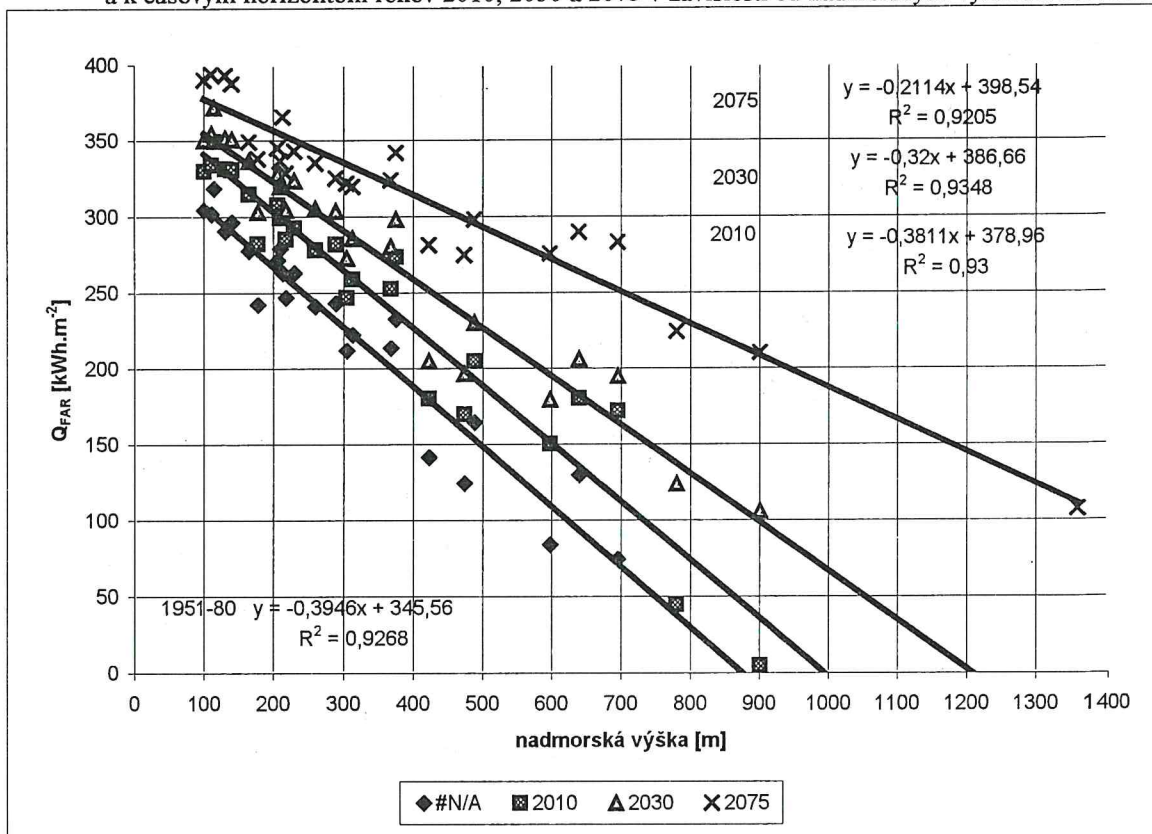
- increase of daily air temperature sums ( $\Sigma t$ ) by 1173 °C, what is by 36 %,
- increase of photosynthetically active radiation sum ( $Q_{FAR}$ ) by 89 kWh.m<sup>-2</sup>, what is by 28 %
- increase of rainfall totals (Z) by 41 mm, what is by 18 %
- increase of potential evapotranspiration totals ( $E_o$ ) by 184 mm, what is by 39 %.

Presented parameters of atmospheric environment will be changed spatially on the territory of Slovak Republic in dependence on altitude.

Obr. 1 Zmeny súm priemerných denných teplôt vzduchu ( $\geq 15^{\circ}\text{C}$ ) za VL za obdobie rokov 1951-1980 a k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075 v závislosti od nadmorských výšok na Slovensku

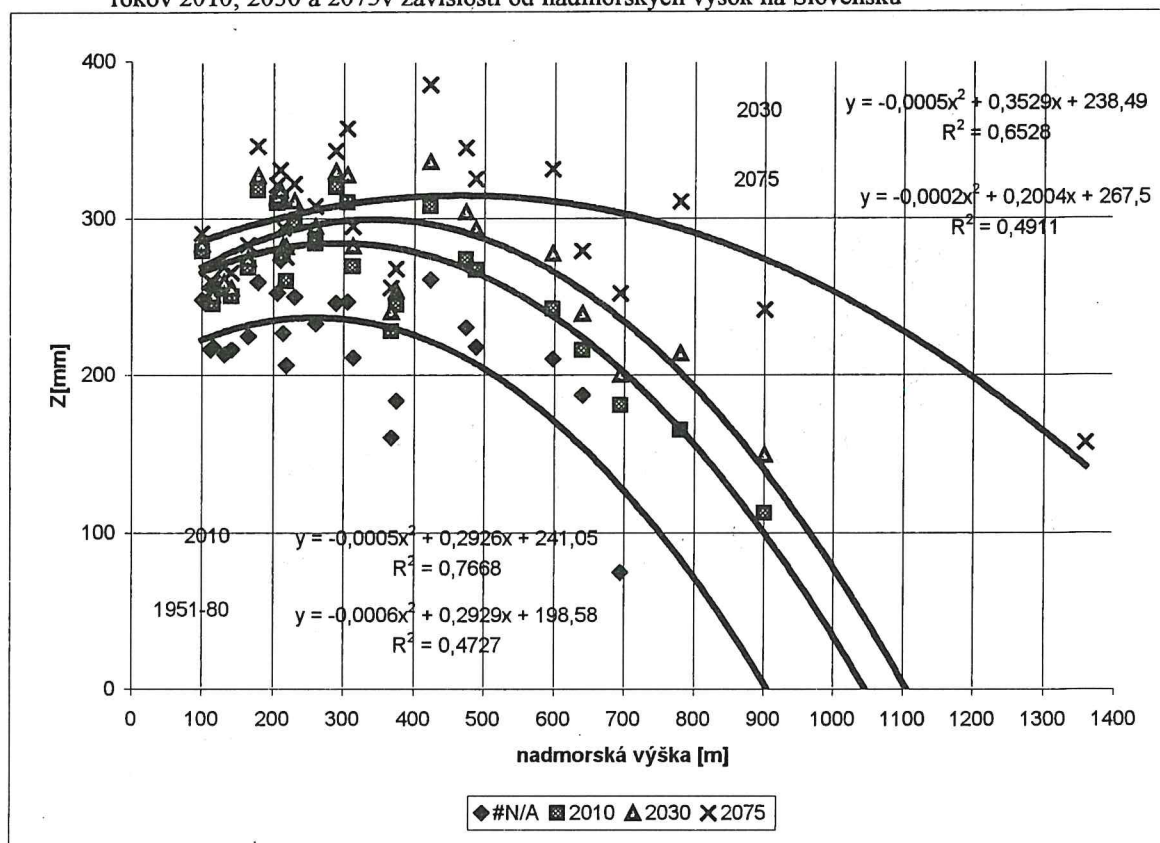


Obr. 2 Zmeny súm fotosynteticky aktívneho žiarenia v  $\text{kWh.m}^{-2}$  za VL za obdobie rokov 1951-1980 a k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075 v závislosti od nadmorských výšok na Slovensku

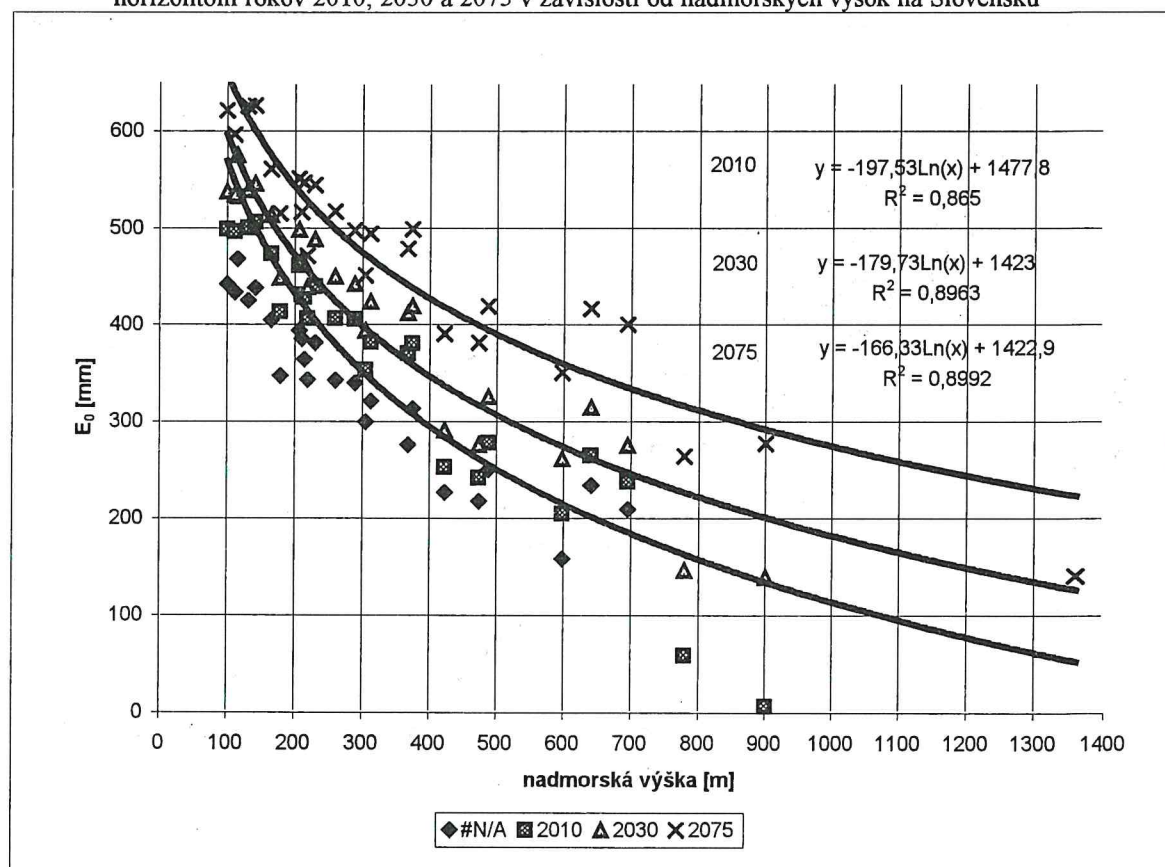




Obr. 3 Zmeny úhrnov zrážok v mm za VL za obdobie rokov 1951-1980 a k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075 v závislosti od nadmorských výšok na Slovensku



Obr. 4 Zmeny úhrnov potenciálnej evapotranspirácie v mm za VL za obdobie rokov 1951-1980 a k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075 v závislosti od nadmorských výšok na Slovensku



## MAXIMÁLNE DENNÉ ÚHRNY ZRÁŽOK NA SLOVENSKU V OBDOBÍ 1951 - 2000

*Pavel Faško, Milan Lapin, Pavel Šťastný, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava*

### Úvod

Vzrastajúci počet prírodných katastrof podmienených silnými lejakmi motivuje klimatológov i hydrológov k analýze maximálnych denných úhrnov atmosférických zrážok. Vysoké denné úhrny zrážok môžu byť zaznamenané počas krátkych, ale veľmi intenzívnych konvektívnych privalových dažďov, ako aj pri trvalých (dlhodobých) zrážkach s menšou intenzitou. Skúsenosti z druhej polovice 90. rokov, kedy takéto zrážky zapríčinili nielen na Slovensku, ale aj inde v Európe mimoriadne problémy, spôsobili rastúci záujem o zhodnotenie denných úhrnov zrážok. Detailná analýza maximálnych denných úhrnov zrážok na Slovensku bola urobená pomerne vyčerpávajúco autormi Šamaj, Valovič a Brázdil už na začiatku 80. rokov (Šamaj, et al, 1985). Spracovali údaje o maximálnych denných úhrnoch zrážok pre 334 zrážkomerných staníc na území Slovenska. Vo svojich záveroch zdôraznili nevyhnutnosť spracovať túto charakteristiku zrážok aspoň za 50-ročné obdobie. Na konci 20. storočia sa vytvorili predpoklady splniť túto podmienku zásluhou stabilnejších pomerov v sieti všetkých meteorologických staníc.

V prezentovanej práci boli spracované najvyššie denné úhrny zrážok zaznamenané na jednotlivých staniciach v každom roku za obdobie 1951-2000. Časť staníc mala v priebehu uvedeného obdobia prerušené pozorovanie, preto bolo potrebné chýbajúce údaje doplniť na základe priestorovej analýzy údajov najbližších staníc. Takto boli získané časové rady maximálnych denných úhrnov zrážok pre 607 staníc na Slovensku. Údajová základňa, z ktorej sme čerpali, bola zaťažená veľkou mierou neurčitosti vo výskyte tých denných maximálnych úhrnov zrážok, ktoré súvisia s búrkami, čím sú silne lokálne obmedzené. Aj v prípade trvalých zrážok môže byť príčinou rozdielov medzi dennými maximami zrážok rôzny dosah a intenzita zrážkovo významných typov poveternostných situácií na území Slovenska, najmä vplyvom orografie. Je známe, že jednotlivé regióny Slovenska sú rôzne zaťažené silnými lejakmi. Vyskytujú sa aj v oblastiach, ktoré sú všeobecne suchšie, alebo majú relatívne nízke normály mesačných úhrnov zrážok. Zákonitosti výskytu extrémov denných úhrnov sú odlišné ako v prípade mesačných úhrnov zrážok. Rozloženie maximálnych denných úhrnov zrážok na Slovensku za uvedené 50-ročné obdobie je časťou doteraz najkomplexnejšej analýzy tejto zrážkovej charakteristiky na Slovensku.

### Ročný režim maximálnych denných úhrnov zrážok

Ročný režim maximálnych denných úhrnov zrážok je zaujímavý predovšetkým preto, že silné búrkové lejaky sa prevažne viažu k obdobiam s nadnormálnou teplotou vzduchu a vysokým obsahom vodnej pary v ovzduší. Podobne, aj výdatné trvalé zrážky, ktoré väčšinou nepadajú dlhšie ako 1 až 2 dni, sú spojené s výskytom určitých typov poveternostných situácií. Ak sa tieto typy poveternostných situácií častejšie opakujú, môžu spôsobiť rozvodnenie riek.

Zo súboru ročných maximálnych denných úhrnov zrážok boli pre každú stanicu vybraté najvyššie denné úhrny za celé obdobie 1951-2000. Každý z uvedených úhrnov bol zatriedený do skupín podľa mesiaca výskytu. V študovanom súbore 607 maximálnych denných úhrnov zrážok za rok, ktoré sa na Slovensku zaznamenali v druhej polovici 20. storočia, bol ich výskyt v 10 mesiacoch roka (obr. 1). Výnimku predstavovali iba mesiace január a február, počas ktorých ani na jednej zo 607 staníc nebol zaznamenaný maximálny denný úhrn zrážok za obdobie rokov 1951-2000. Počnúc marcom rástlo zastúpenie maximálnych denných úhrnov zrážok až do júla a potom podobne klesalo až do novembra a decembra. Najpozoruhodnejšie sú letné mesiace (jún, júl a august) a tiež október. V každom z týchto mesiacov boli určité regionálne zvláštnosti v priestorovom rozložení maximálnych denných úhrnov zrážok. V júni bol ich výskyt typický najmä na strednom Považí a severnom Spiši. V júli, počas ktorého bolo zaznamenaných najviac maximálnych denných úhrnov zrážok, sa sústreďovali hlavne do nížin. V júli vrcholí obdobie búrok, pri ktorých sú silné lejaky na nížinách neprekonateľnou konkurenciou trvalým zrážkam aj keď padajú celý deň. Nie je to však už také jednoznačné v horských oblastiach, kde sú úhrny zrážok z búrkových lejakov a z trvalých zrážok porovnateľnejšie ako na nížinách. V auguste boli maximálne denné úhrny zrážok sústredené viac do južnej polovice Slovenska a pravdepodobne to bolo zapríčinené častejšou aktivizáciou mediteránnych cyklón, typických na konci leta pre okolie severného Talianska. Zreteľne sa to potom prejavilo na strednom Pohroní, na Gemeri a na dolnom Spiši, ale aj v oblasti Bratislavy, juhovýchodne od Malých Karpát. Dôsledkom vplyvu stredomorských cyklón bolo aj zvýšené zastúpenie maximálnych denných úhrnov zrážok v októbri. Dominantným regiónom v tomto prípade boli Nízke Tatry. Z obr. 2 vyplýva, že absolútne najvyššie hodnoty maximálnych denných úhrnov zrážok sú na Slovensku prevažne v lete. V prechodných ročných obdobiach je to neporovnateľne menej prípadov, pričom na jeseň majú súvis väčšinou so spomínanými stredomorskými cyklónami. Padanie zrážok je sprevádzané na jeseň južným výškovým prúde-



ním vzduchu, najčastejšie počas južných cyklonálnych situácií a tlakovej brázdy. Dôsledkom sú potom výrazné náveterné a záveterné efekty na západo-východne orientovaných pohoriach Západných Karpát, ktoré podporujú výskyt mimoriadnych denných úhrnov zrážok v južnej polovici Slovenska.

### Časový priebeh počtu maximálnych denných úhrnov zrážok v období 1951-2000

V každom roku počas sledovaného 50-ročného obdobia bola aspoň na jednej zo 607 staníc zaznamenaná absolútne najvyššia hodnota denného úhrnu zrážok (obr. 6). Najnižšie zastúpenie mali roky 1978 (1 prípad), 1985 a 1989 (2), 1962, 1983 a 1986 (3), 1952, 1967, 1988, 1991 a 1993 (4), 1977, 1980 a 2000 (5). Naopak najvyššie zastúpenie bolo v rokoch 1958 (40), 1960 (38), 1955 (37), 1999 (29), 1954 (28), 1970 (26) a 1994 (23 prípadov). To znamená, že viac ako tretina maximálnych denných úhrnov zrážok v druhej polovici 20. storočia (na 607 analyzovaných staniciach na Slovensku) bola sústredená do uvádzaných 7 rokov. Všimnúť si treba tiež málo zastúpené obdobie druhej polovice 70. rokov a celé 80. roky 20. storočia. Malou výnimkou boli snád' iba vlhšie roky 1979 a 1984. Roky 1951-1960 boli z pohľadu našich nedávnych negatívnych skúseností s hojnosťou zrážok na tom oveľa horšie ako nasledujúcich 40 rokov. Veľa maximálnych denných úhrnov zrážok zaznamenaných v 50. rokoch nebolo v nasledujúcich 40 rokoch prekonaných. Do určitej miery to platí aj o prvej polovici 20. storočia, keď aj v skupine 334 staníc so 100-ročnými radmi maximálnych úhrnov zrážok, neboli prekonané niektoré rekordy v priebehu nasledujúcich 50 rokov (obr. 3 a 4).

**Tab. 1** Základné štatistické hodnoty maximálnych denných úhrnov zrážok, vyskytujúcich sa v jednotlivých mesiacoch roka za obdobie 1951 - 2000; (Basic statistics of absolute maxima in annual maxima of daily precipitation totals observed at 607 stations in the 1951-2000 period)

| Charakteristiky/Mesiace   | III         | IV          | V     | VI    | VII   | VIII  | IX    | X     | XI          | XII         |
|---------------------------|-------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------------|
| Priemer [mm]              | <b>60,6</b> | <b>70,0</b> | 79,0  | 86,9  | 87,3  | 82,6  | 78,4  | 85,4  | <b>71,1</b> | <b>85,3</b> |
| Smerodajná odchýlka [mm]  |             |             | 15,5  | 22,3  | 25,4  | 18,3  | 13,8  | 24,9  |             |             |
| Variačný koeficient $C_v$ |             |             | 0,196 | 0,256 | 0,291 | 0,222 | 0,176 | 0,291 |             |             |
| Maximum [mm]              |             | <b>95,9</b> | 114,7 | 170   | 187,6 | 161,5 | 106,3 | 154,0 | <b>89,5</b> | <b>98,5</b> |
| Minimum [mm]              |             | <b>52,0</b> | 56,3  | 53,5  | 50,0  | 49,5  | 58,1  | 56,2  | <b>55,5</b> | <b>71,6</b> |
| Počet staníc              | <b>1</b>    | <b>7</b>    | 33    | 142   | 204   | 155   | 34    | 28    | <b>5</b>    | <b>4</b>    |
| Počet dní                 | <b>1</b>    | <b>7</b>    | 23    | 52    | 37    | 64    | 22    | 11    | <b>3</b>    | <b>2</b>    |
| Šikmost'                  |             |             | 0,5   | 1,4   | 1,4   | 1,3   | 0,5   | 1,6   |             |             |
| Špicatost'                |             |             | -0,5  | 2,1   | 2,2   | 2,9   | -0,7  | 2,5   |             |             |

*Pozn.: V mesiacoch III, IV, XI a XII sú pre nízky počet prípadov charakteristiky nereprezentatívne*

### Výsledky štatistickej analýzy

Súbory najvyšších denných úhrnov jednotlivých staníc za zhodnotené obdobie, pripadajúce na jednotlivé mesiace roka majú rôzne štatistické vlastnosti (Tab. 1). Maximá z najvyšších úhrnov v letných mesiacoch a v októbri prevyšujú 150 mm, v ostatných mesiacoch sú zhruba od 90 do 115 mm. Minimá z najvyšších úhrnov, s výnimkou decembra (72 mm), sú v úzkom intervale 49 - 58 mm. Priemerné hodnoty v mesiacoch jún až august, ako aj v októbri a decembri sú v rozpätí 82 až 87 mm, v marci iba 61 mm a v ostatných mesiacoch 70 až 80 mm. Rozptyl hodnôt je pri vyjadrení smerodajnou odchýlkou v júni až auguste a v októbri 18 až 25 mm, v ostatných mesiacoch 13 až 15 mm. Spektrálne rozloženie údajov podľa parametrov šikmosti a špicatosti je veľmi podobné v letných mesiacoch (VI až VII) a v októbri, pričom sa odlišuje od ostatných mesiacov, ktoré majú distribučné krivky menej špicaté a menej asymetrické (IV, V a XI). Spoločnou vlastnosťou všetkých mesiacov je ľavá asymetria distribučných kriviek, ktorá vytvára v ročnom súbore také rozloženie, že temer 2/3 údajov patrí do intervalu 60 až 90 mm. Pod hodnotou 60 mm a nad 120 mm je len po 6% údajov. Ročné rozloženie počtu staníc s maximálnymi dennými úhrnmi za obdobie 1951- 2000 je symetrické okolo júla (204 staníc). Túto symetriu trochu narušuje iba október, kedy je počet staníc porovnateľný so septembrom a májom (okolo 30 staníc). Maximá sa vyskytli na viacerých staniciach naraz. V letných mesiacoch a v októbri pripadalo asi 2,5 staníc na jeden zrážkový deň, v ostatných mesiacoch 1,0 až 1,5 staníc. Význačné dni, kedy sa na viacerých staniciach vyskytli naraz ich absolútne denné maximálne úhrny za hodnotené obdobie sú v nasledujúcom prehľade:

| Dátum         | Počet staníc | Interval maximálnych úhrnov |
|---------------|--------------|-----------------------------|
| 29. VI. 1958  | 38           | 70 - 170 mm                 |
| 18. VII. 1970 | 19           | 50 - 187 mm                 |
| 1. VII. 1954  | 23           | 60 - 150 mm                 |
| 5. VIII. 1955 | 27           | 60 - 120 mm                 |

**Tab. 2** Päť najvyšších denných úhrnov zrážok v jednotlivých mesiacoch roka za obdobie 1951 - 2000 (v marci bol iba jeden a v decembri iba 4 prípady spolu; H je nadmorská výška); Five highest daily precipitation totals (Úhrn) measured in Slovakia in 1951-2000 in individual months at 607 stations (latitude, longitude and altitude (H) of the stations are included; in March only one and in December only 4 events occurred)

| Mesiac    | Indik. | Stanica                 | Zem. šírka |     |     | Zem. dĺžka |     |     | H    | Úhrn  | Rok  | Deň |
|-----------|--------|-------------------------|------------|-----|-----|------------|-----|-----|------|-------|------|-----|
| Month     | Indic. | Station                 | [°]        | ['] | ["] | [°]        | ['] | ["] | [m]  | [mm]  | Year | Day |
| marec     | 17640  | Pataš                   | 47         | 52  | 45  | 17         | 39  | 26  | 112  | 60.6  | 1958 | 30  |
| apríl     | 44020  | Humenné                 | 48         | 55  | 35  | 21         | 55  | 30  | 163  | 95.9  | 1964 | 24  |
|           | 58160  | Kysak                   | 48         | 50  | 18  | 21         | 13  | 25  | 265  | 76.5  | 1983 | 29  |
|           | 15140  | Senica                  | 48         | 40  | 15  | 17         | 22  | 28  | 218  | 69.2  | 1953 | 29  |
|           | 59280  | Zlatá Baňa              | 48         | 57  | 7   | 21         | 25  | 1   | 585  | 67.2  | 1998 | 20  |
|           | 38180  | Filakovo                | 48         | 16  | 32  | 18         | 50  | 26  | 230  | 66.0  | 1975 | 10  |
| máj       | 49080  | Cígellka                | 49         | 24  | 26  | 21         | 8   | 55  | 510  | 114.7 | 1985 | 17  |
|           | 59260  | Prešov - Šarišské Lúky  | 49         | 1   | 0   | 21         | 16  | 0   | 250  | 109.0 | 1988 | 18  |
|           | 53220  | Ratková                 | 48         | 35  | 32  | 20         | 6   | 0   | 287  | 101.6 | 1958 | 22  |
|           | 25080  | Korňa                   | 49         | 24  | 31  | 18         | 31  | 47  | 570  | 100.2 | 1968 | 29  |
|           | 58200  | Košice-Bankov           | 48         | 45  | 44  | 21         | 12  | 40  | 392  | 98.1  | 1974 | 14  |
| jún       | 12120  | Skalná Pleso            | 49         | 11  | 22  | 20         | 14  | 4   | 1783 | 170.0 | 1958 | 29  |
|           | 12080  | Hrebienok               | 49         | 9   | 0   | 20         | 13  | 0   | 1285 | 165.0 | 1958 | 29  |
|           | 11040  | Podspády                | 49         | 15  | 55  | 20         | 10  | 37  | 910  | 152.3 | 1973 | 30  |
|           | 34220  | Staré Hory              | 48         | 50  | 34  | 19         | 7   | 0   | 483  | 146.8 | 1951 | 25  |
|           | 12100  | Lomnický štít           | 49         | 11  | 43  | 20         | 12  | 54  | 2635 | 141.2 | 1958 | 29  |
| júl       | 22040  | Novot'                  | 49         | 23  | 0   | 19         | 17  | 0   | 770  | 187.6 | 1970 | 18  |
|           | 48100  | Dlhoňa                  | 49         | 24  | 0   | 21         | 34  | 25  | 350  | 184.2 | 1953 | 20  |
|           | 22020  | Oravská Lesná           | 49         | 22  | 6   | 19         | 10  | 59  | 780  | 163.2 | 1970 | 18  |
|           | 29020  | Sokolovce               | 48         | 31  | 52  | 17         | 50  | 42  | 165  | 156.4 | 1956 | 19  |
|           | 17360  | Limbach                 | 48         | 17  | 17  | 17         | 13  | 46  | 181  | 155.0 | 1999 | 10  |
| august    | 18460  | Cífer                   | 48         | 19  | 4   | 17         | 29  | 10  | 147  | 161.5 | 1996 | 12  |
|           | 36320  | Horné Hámre             | 48         | 29  | 46  | 18         | 40  | 31  | 270  | 147.7 | 1994 | 25  |
|           | 36360  | Nová Baňa - Brehy       | 48         | 24  | 26  | 18         | 38  | 55  | 198  | 145.4 | 1994 | 25  |
|           | 36340  | Žarnovica               | 48         | 28  | 20  | 18         | 43  | 35  | 218  | 123.6 | 1994 | 25  |
|           | 32040  | Veľká Lehota            | 48         | 27  | 55  | 18         | 33  | 55  | 589  | 123.2 | 1966 | 19  |
| september | 52040  | Dobšiná                 | 48         | 49  | 24  | 20         | 22  | 17  | 474  | 106.3 | 1997 | 4   |
|           | 35240  | Dobrá Niva              | 48         | 28  | 31  | 19         | 6   | 31  | 362  | 104.6 | 1984 | 21  |
|           | 34360  | Zvolen                  | 48         | 34  | 49  | 19         | 7   | 34  | 293  | 102.3 | 1984 | 21  |
|           | 34020  | Jarabá                  | 48         | 53  | 43  | 19         | 42  | 9   | 892  | 98.8  | 1955 | 14  |
|           | 36020  | Banský Studenec         | 48         | 26  | 45  | 18         | 58  | 34  | 576  | 98.1  | 1984 | 21  |
| október   | 21120  | Demänovská Dol.-Jasná   | 48         | 58  | 0   | 19         | 35  | 0   | 1196 | 154.0 | 1990 | 29  |
|           | 21100  | Luková pod Chopkom      | 48         | 57  | 0   | 19         | 35  | 0   | 1661 | 153.0 | 1990 | 29  |
|           | 21240  | Partiz. Ľupča - Magurka | 48         | 56  | 35  | 19         | 26  | 4   | 1045 | 124.0 | 1961 | 18  |
|           | 34060  | Jasenie, Na Kyslej      | 48         | 53  | 31  | 19         | 26  | 2   | 705  | 111.6 | 1992 | 17  |
|           | 54080  | Hnúšťa                  | 48         | 34  | 50  | 19         | 57  | 16  | 294  | 103.3 | 1974 | 20  |
| november  | 30100  | Ráztočno                | 48         | 46  | 8   | 18         | 45  | 56  | 380  | 89.5  | 1961 | 4   |
|           | 40080  | Čelovce                 | 48         | 11  | 6   | 19         | 8   | 46  | 346  | 75.4  | 1964 | 12  |
|           | 31300  | Nitra                   | 48         | 19  | 10  | 18         | 7   | 10  | 173  | 75.0  | 1961 | 4   |
|           | 16020  | Plavecký Peter          | 48         | 31  | 23  | 17         | 19  | 40  | 225  | 60.1  | 1984 | 17  |
|           | 32220  | Čífare                  | 48         | 14  | 0   | 18         | 23  | 0   | 162  | 55.5  | 1961 | 4   |
| december  | 43180  | Vyšná Jablonka          | 49         | 10  | 21  | 22         | 6   | 6   | 385  | 98.5  | 1958 | 11  |
|           | 34180  | Motyčky                 | 48         | 51  | 43  | 19         | 10  | 43  | 688  | 87.2  | 1976 | 1   |
|           | 34070  | Jasenie                 | 48         | 50  | 1   | 19         | 27  | 45  | 492  | 83.8  | 1976 | 1   |
|           | 24160  | Vricko                  | 48         | 58  | 8   | 18         | 43  | 1   | 576  | 71.6  | 1976 | 1   |



V tab. 2 je pre každý mesiac uvedených 5 najvyšších maximálnych úhrnov na jednotlivých staniciach (v mesiacoch marec a december je ich menej, pretože sa ich viac nevyskytlo). Aj podľa týchto výsledkov je v júli najvyšší potenciál výskytu vysokých denných úhrnov zrážok.

## Záver

Hodnoty maximálnych denných úhrnov zrážok často vytvárajú pole so zložitou štruktúrou, čo je dôsledkom veľkej premenlivosti príslušných veličín, zložitá a nesystémová je aj závislosť týchto hodnôt od nadmorskej výšky. Takmer dvojnásobný počet staníc spracovaný v tejto práci, v porovnaní s poslednou analýzou tohto druhu, vytvoril dobré predpoklady na potvrdenie niektorých empirických skúseností. Na Slovensku existujú regióny so sklonom k výskytu mimoriadne vysokých denných úhrnov zrážok (obr. 5). Treba upozorniť predovšetkým na pás od Malých Karpát po Považský Inovec, ďalej na juhovýchod Podunajskej nížiny, na stredné Pohronie a širší pás od Hnúšte po Vernár. Ostatné viac zaťažené oblasti (vo Vysokých Tatrách, na hornom Spiši, severozápadnej Orave a v Nízkych Tatrách) boli dosť známe už z minulosti. Východné Slovensko je z tohto pohľadu dosť neprehľadnou oblasťou, kde nie sú veľmi vysoké denné úhrny zrážok vylúčené, ale miera neurčitosti ich intenzity a výskytu je väčšia ako na ostatnom Slovensku. Prezentovaná analýza poskytuje čiastočne aj informácie o časových zmenách charakteristík extrémnych zrážok dôležitých pri analýze zmeny klímy. Touto problematikou sa budeme zaoberať podrobnejšie v iných príspevkoch.

## Literatúra

- Cebulak, E., Faško, P., Lapin, M., Šťastný, P. (2000): Extreme precipitation events in the Western Carpathians. In.: Proceedings of the International Conference "Millennium...", Images of Weather and Climate, Cracow, September 20-22, 2000, 117-124.
- Faško, P. (1992): Analýza štruktúry zrážkového poľa na Slovensku. [Kandidátska dizertačná práca.], Prír. F MU, Bratislava, 1992, 126 s. + prílohy.
- Faško, P., Lapin, M., Šťastný, P., Vivoda, J. (2000): Maximum daily sums of precipitation in Slovakia in the second half of 20<sup>th</sup> century. In.: Proceedings of the International Conference "Millennium...", Images of Weather and Climate, Cracow, September 20-22, 2000, 131-138.
- Faško, P., Lapin, M., Šťastný, P. (1999): Statistics of Heavy Precipitation Totals in Slovakia. In.: Proceedings of the Swiss-Slovak Workshop on Meteorology and Climatology. Bratislava, Zurich (v tlači).
- Faško, P., Lapin, M., Šťastný, P., Vivoda, J. 2000: Daily Precipitation Extremes in Slovakia Based on Data from 607 Stations and 50-year Period. In: Zborník z VIII. Posterového dňa s medzinárodnou účasťou "Transport vody, chemikálií a energie v systéme Pôda-Rastlina-Atmosféra". ÚH SAV a GFÚ SAV, Bratislava XI. 2000, 7 s. na CD, ISBN 80-968480-0-3.
- Lapin M., Damborská I., Faško P., Melo M., Šťastný P. (2000): Scenarios of Climatic Extremes for Slovakia. In.: Proceedings of the International Conference "Millennium...", Images of Weather and Climate, Cracow, September 20-22, 2000, 159-170.
- Lapin M., Faško P., Šťastný P. (2000): Extreme Daily Precipitation Totals in Slovakia since 1950 and Possible Development in the 21<sup>st</sup> Century. In.: Proceedings of the 26<sup>th</sup> International Conference on Alpine Meteorology, Innsbruck, September 11-15, 2000, 17 pp. on CD, ISSN 1016-6254.
- Šamaj, F., Valovič, Š., Brázdil, R. (1985): Denné úhrny zrážok s mimoriadnou výdatnosťou v CSSR v období 1901-1980. Zb. prác SHMÚ, zv. 24, ALFA, Bratislava, 9-112.
- Šamaj, F., Valovič, Š. (1973): Intenzity krátkodobých dažďov na Slovensku. Zb. prác HMÚ, zv. 5, HMÚ, Bratislava, 75 s.

## MAXIMUM DAILY PRECIPITATION TOTALS IN SLOVAKIA IN 1951 - 2000 PERIOD

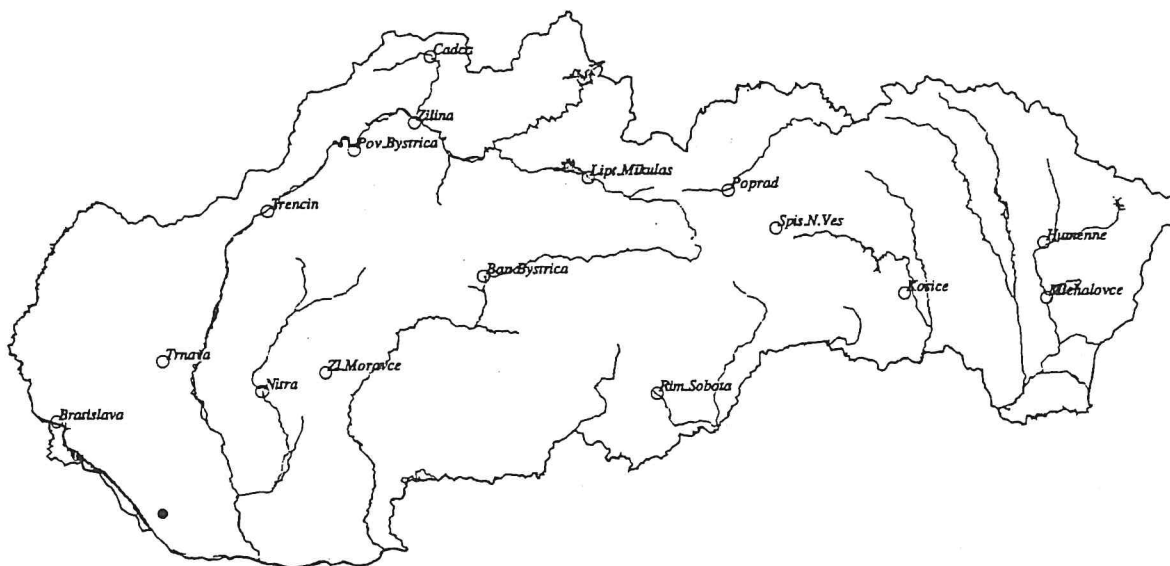
*Pavel Faško, Milan Lapin, Pavel Šťastný, Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava*

### Abstract

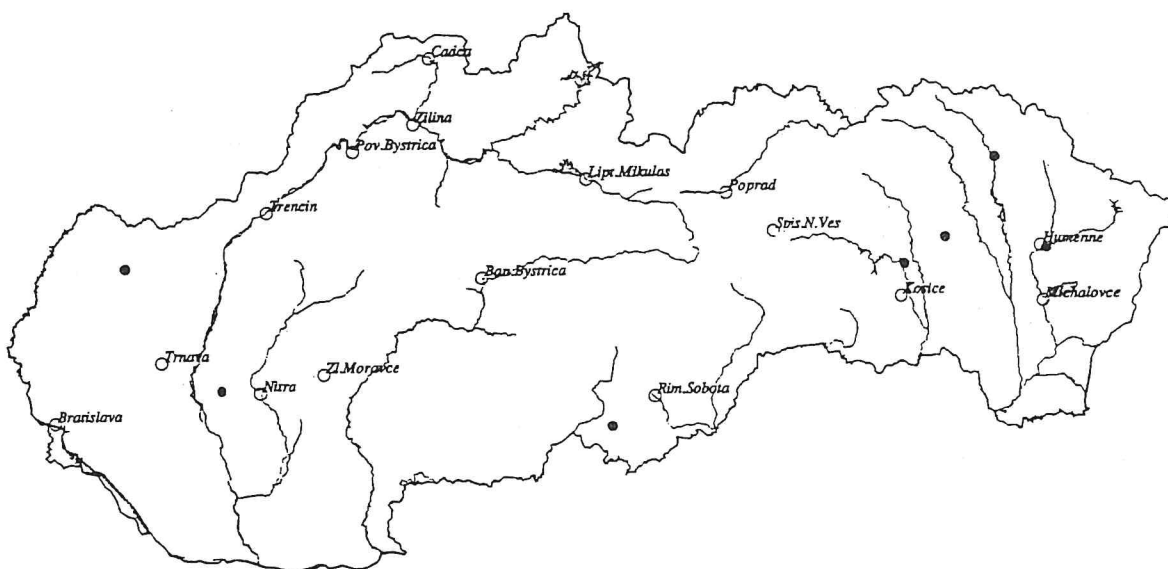
Very intense precipitation in the different part of World stressed an importance of maximum daily precipitation totals analysis. This issue was more detail studied 20 years ago by Šamaj et al. For the presented paper the daily totals from 607 stations in Slovakia during the recent 50-year period have been elaborated. Due to limited space only the results of annual maxima in the daily totals analysis are included into the paper. The temporal analysis showed more extreme precipitation totals in 50ies and late 90ies and low number in the late 70ies and 80ies. Areal analysis confirmed higher probability of extreme precipitation occurrence not only in the mountains in the northern and north-western part of Slovakia but also in the lower localities in the western part of Slovakia. The east Slovakia regions have relatively lower occurrence of very high daily precipitation totals.

Obr. 1 Plošné rozloženie maximálnych denných úhrnov zrážok na Slovensku za obdobie rokov 1951-2000 a ich príslušnosť k jednotlivým mesiacom roka

MAREC



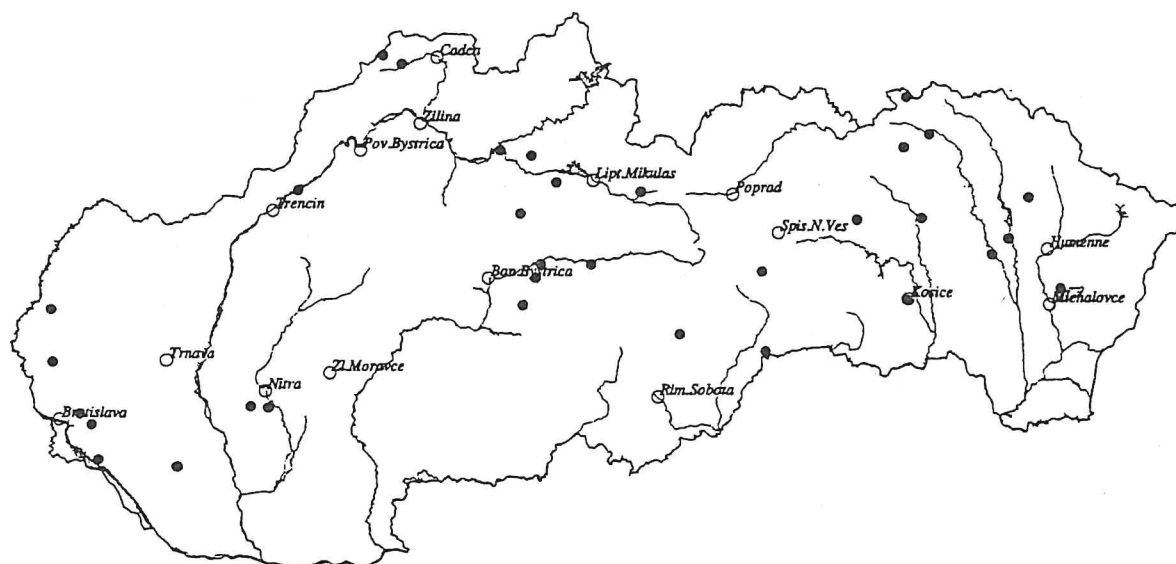
APRÍL



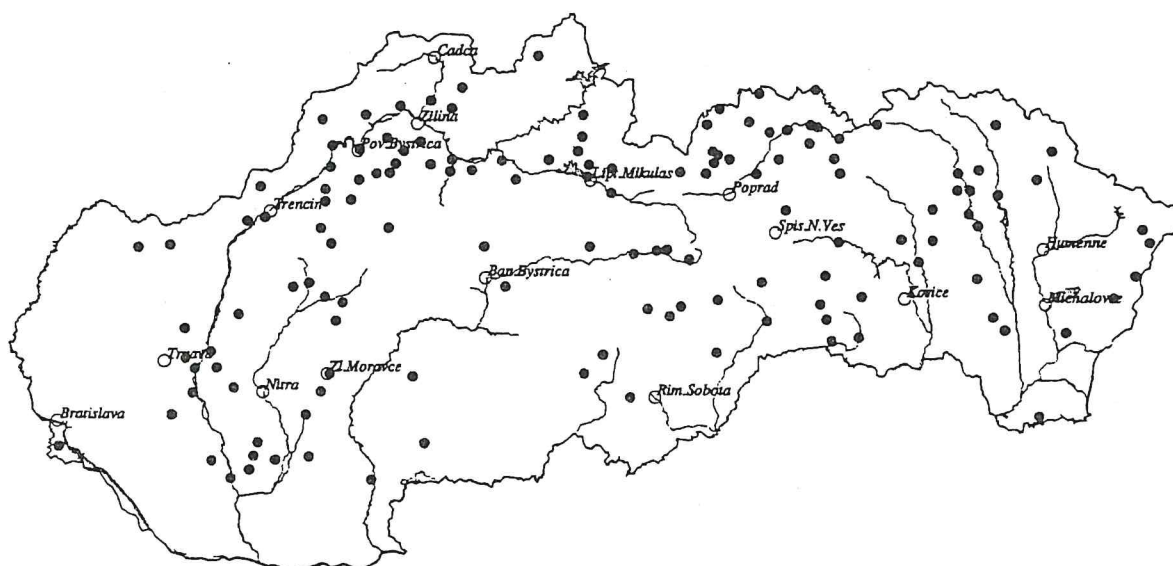


Obr. 1 - pokračovanie

MÁJ

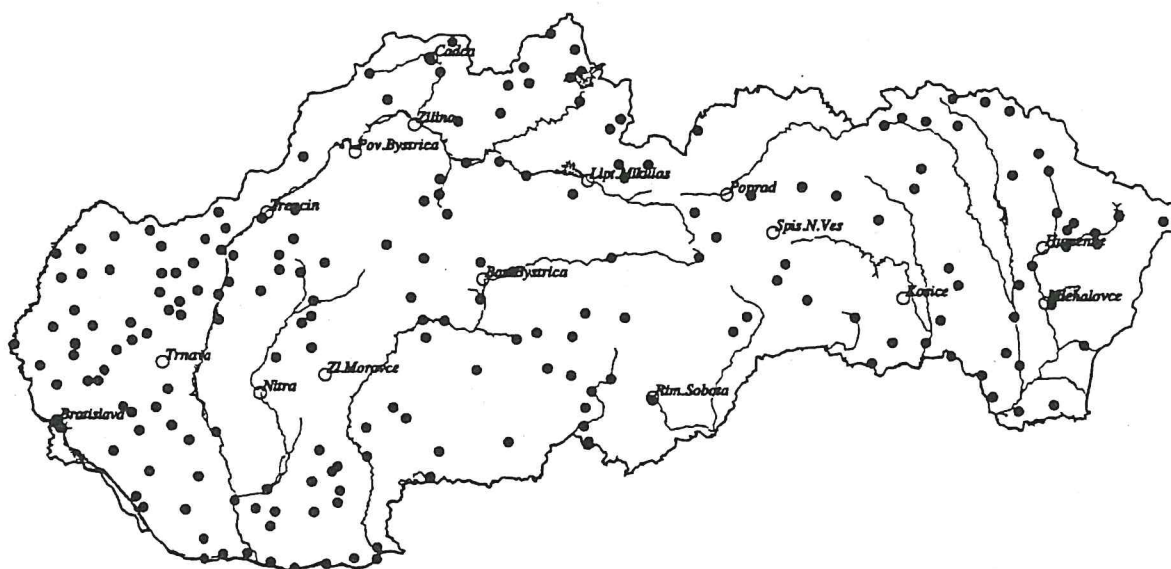


JÚN

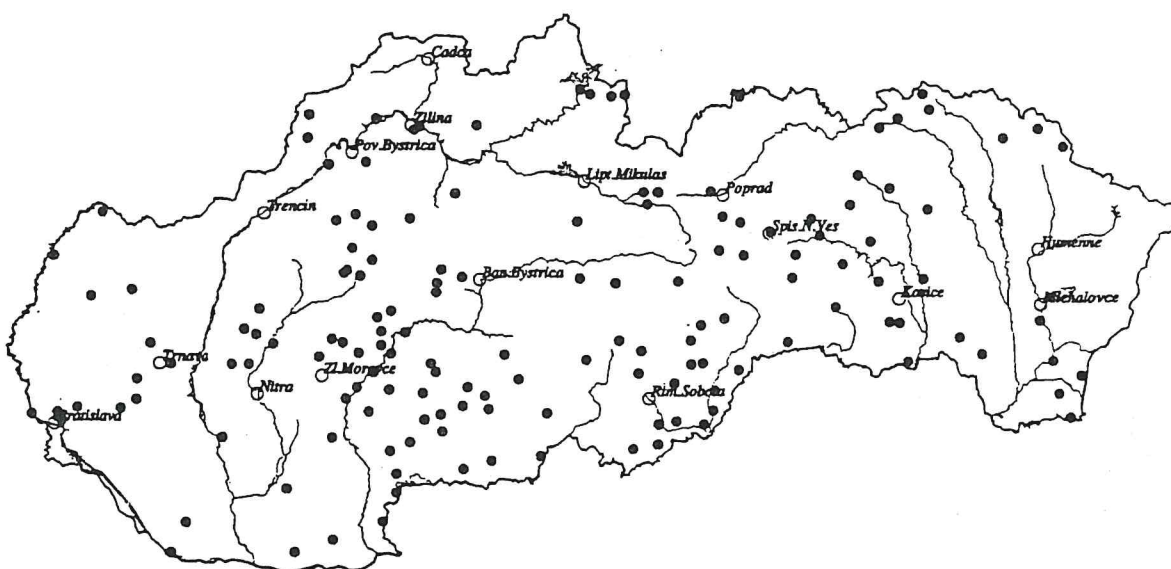


Obr. 1 - pokračovanie

JÚL



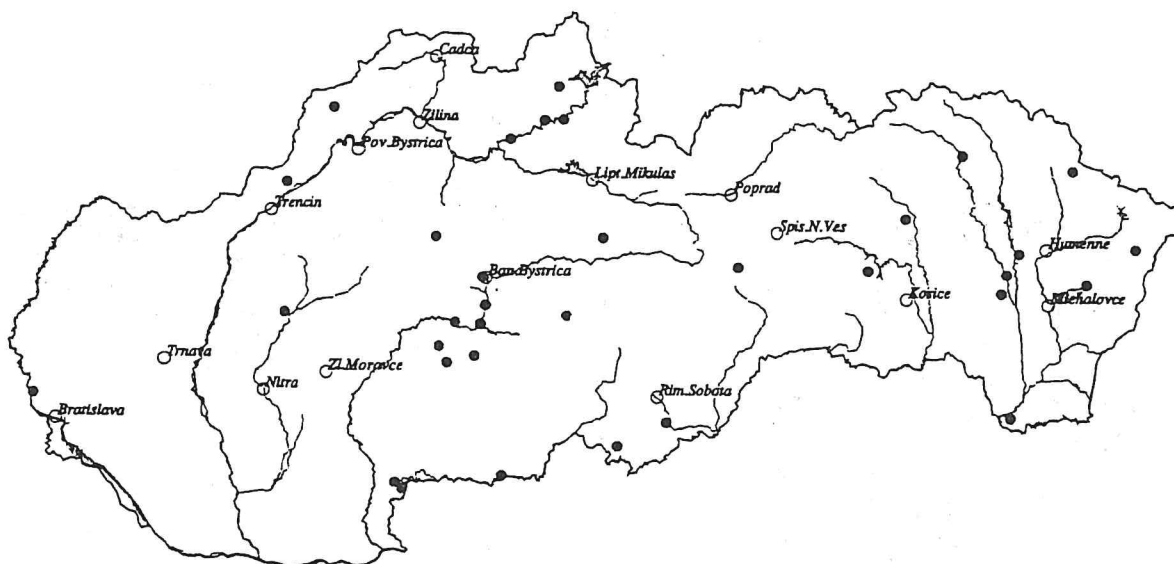
AUGUST



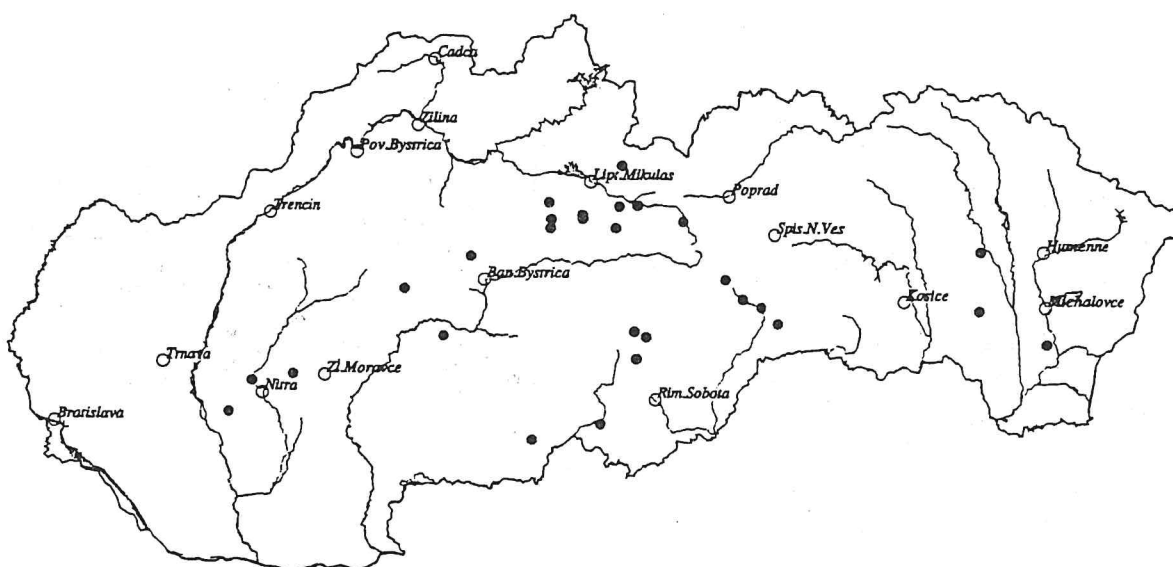


Obr. 1 - pokračovanie

SEPTEMBER



OKTÓBER



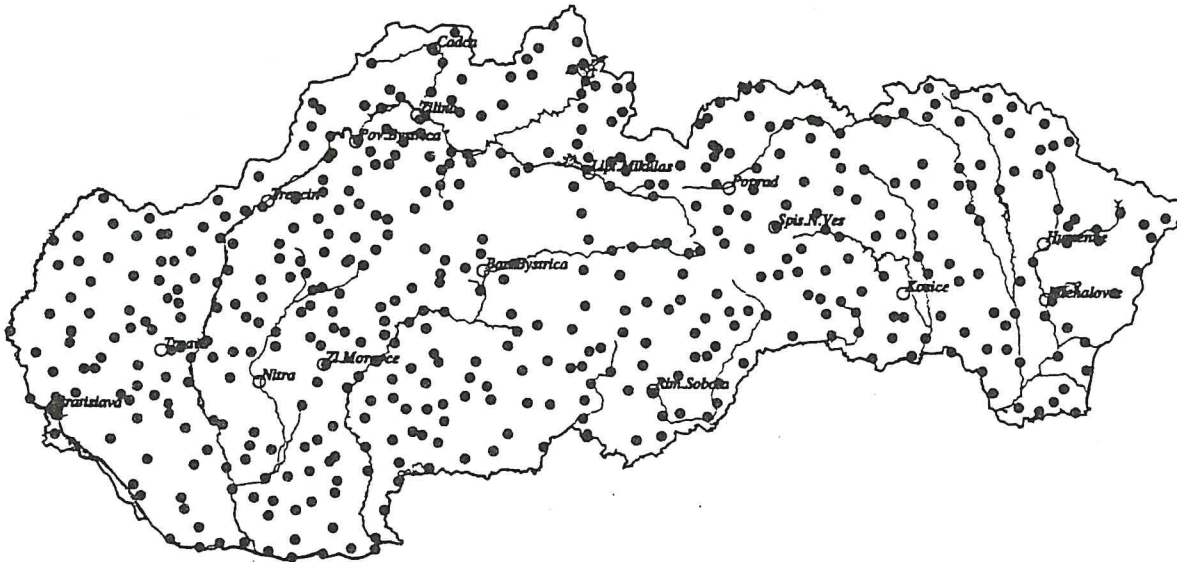
A map of Slovakia with its administrative regions outlined. Major cities are marked with dots and labeled: Bratislava, Trnava, Zilina, Banská Bystrica, Košice, Prešov, and Poprad. The map also shows the borders with Poland to the north, Hungary to the south, and the Czech Republic to the west.

A black and white map of Slovakia, showing its geographical features, major cities, and administrative regions. The map includes labels for cities like Bratislava, Trnava, Zilina, and Košice, as well as regions like Zl. Moravce and Spis.N. Ves. It also shows the Danube River and the Carpathian Mountains.

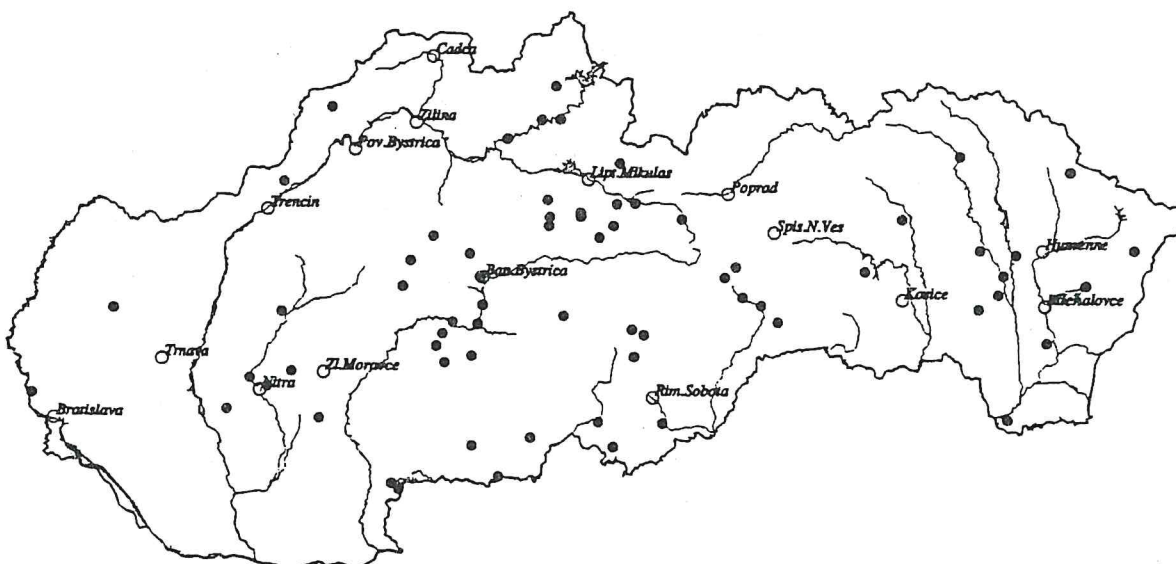


Obr. 2 Plošné rozloženie maximálnych denných úhrnov zrážok na Slovensku za obdobie rokov 1951-2000 a ich príslušnosť k vybraným ročným obdobiam

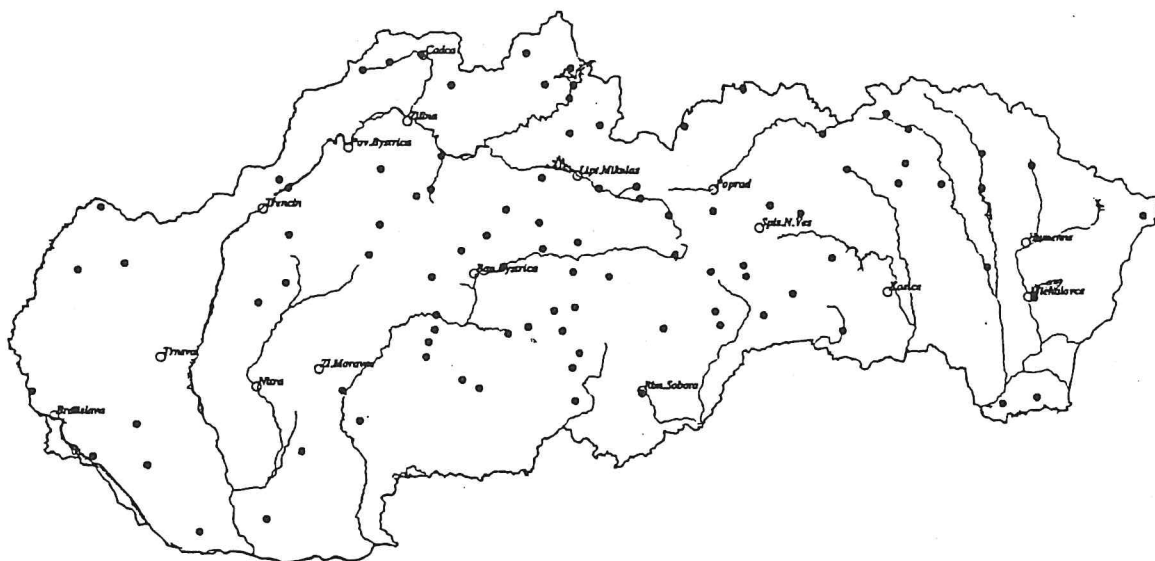
LETO



JESEN



Obr. 3 Meteorologické stanice, na ktorých bol zaznamenaný maximálny denný úhrn zrážok počas 20. storočia v jeho prvej polovici

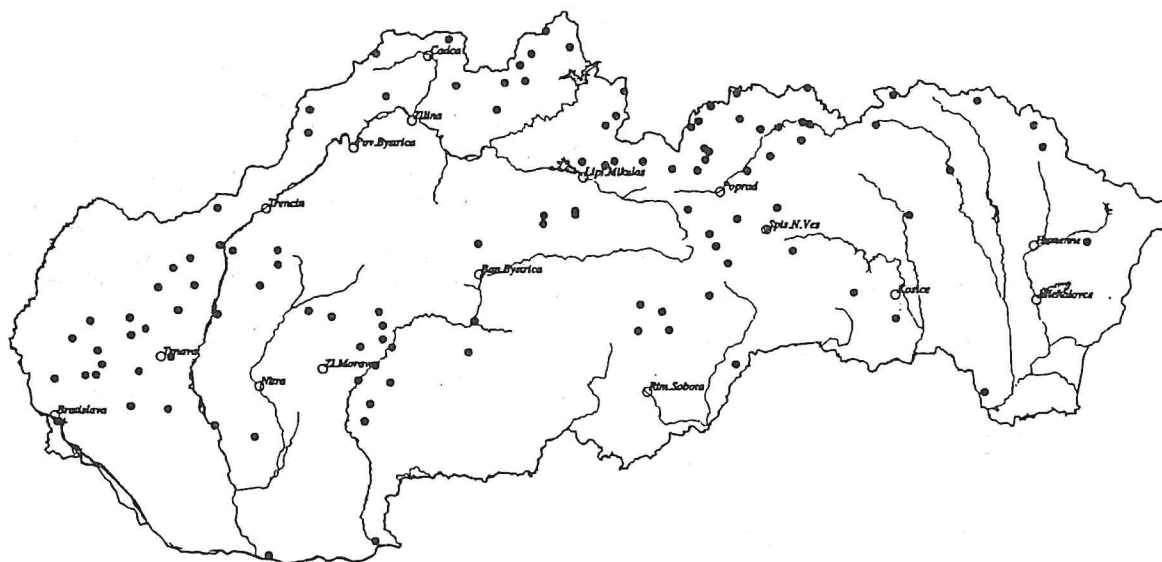


Obr. 4 Meteorologické stanice, na ktorých bol zaznamenaný maximálny denný úhrn zrážok počas 20. storočia v jeho druhej polovici

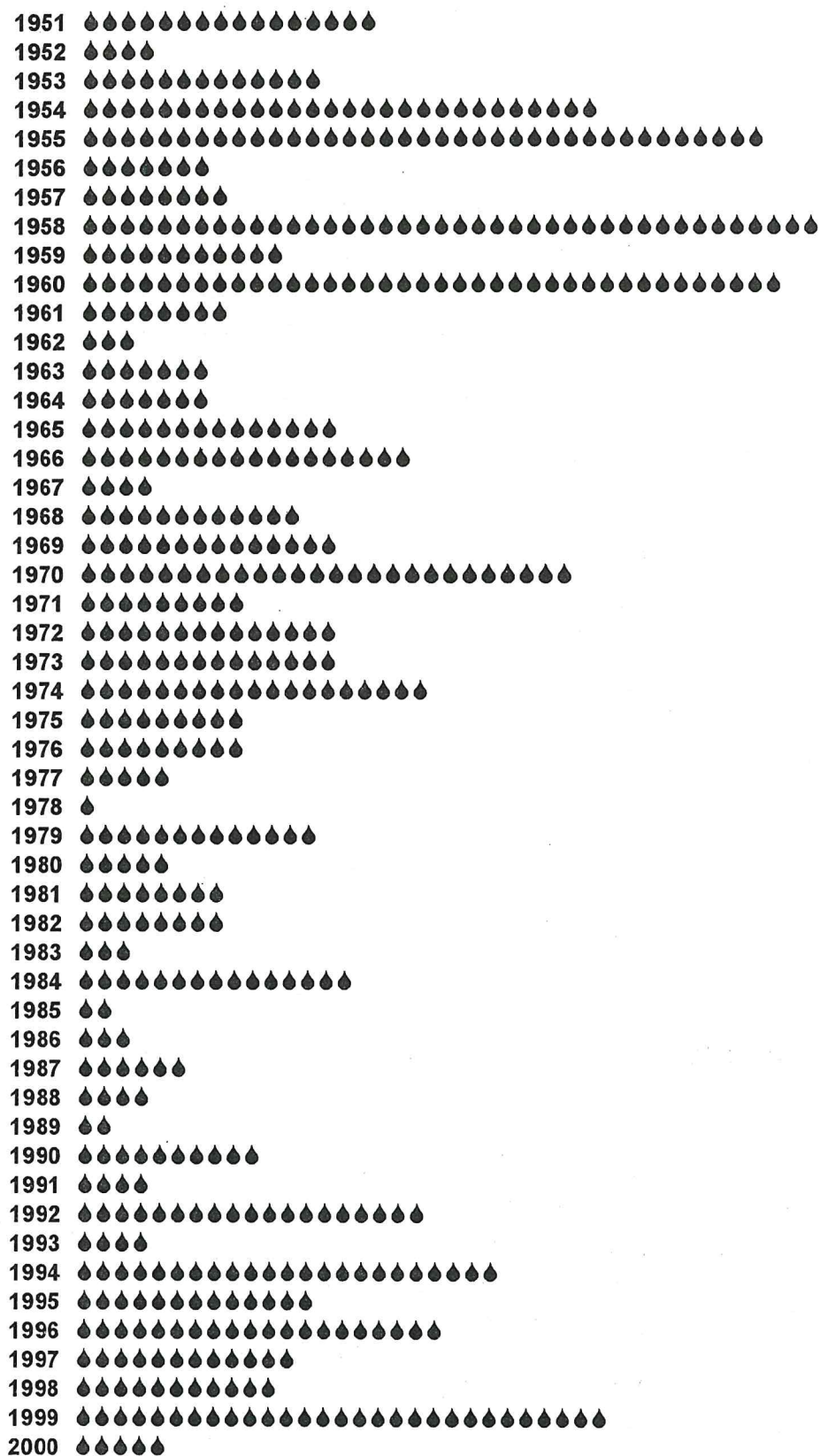




Obr. 5 Meteorologické stanice, na ktorých bol zaznamenaný v období 1951-2000 maximálny denný úhrn zrážok s hodnotou 100 mm a viac



**Obr. 6 Maximálne denné úhrny zrážok zo 607 meteorologických staníc na Slovensku v období 1951-2000 a ich príslušnosť k jednotlivým rokom tohto obdobia**





## REDAKČNÁ RADA

---

### **Predseda:**

*Ing. Ľubomír Žiak, MŽP SR*

### **Členovia:**

*Doc. RNDr. Milan Lapin, CSc., KMK FMFI UK a SHMÚ*

*RNDr. Oľga Majerčáková, CSc., SHMÚ*

*Mgr. Irena Michlíková, SHMÚ*

*RNDr. Miroslav Ondráš, CSc., SHMÚ*

*RNDr. Pavel Šťastný, CSc., SHMÚ*

*Doc. RNDr. Dušan Závodský, CSc., SHMÚ a KMK FMFI UK*

## NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY

### **Zväzok 9**

### **Vydáva:**

Ministerstvo životného prostredia SR, Nám. Ľ. Štúra 1, 812 35 Bratislava

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

Odborný redaktor: Doc. RNDr. Milan Lapin, CSc.

Tlač: GRAPHIC, tel.: 07 547 77 337, v roku 2000

Účelová publikácia, 120 s., náklad 400 výtlačkov

Všetky príspevky prešli odborným lektorovaním  
Za jazykovú úroveň príspevkov zodpovedajú autori

**ISBN 80 - 88907 - 08 - X**

