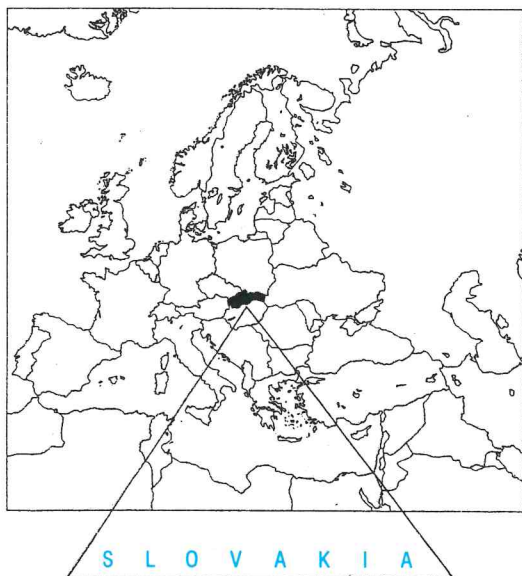


NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY

NATIONAL CLIMATE PROGRAMME OF THE SLOVAK REPUBLIC



NKP

6/97

KLIMATICKÉ ZMENY - HYDROLÓGIA A VODNÉ HOSPODÁRSTVO SLOVENSKEJ REPUBLIKY CLIMATE CHANGES - HYDROLOGY AND WATER MANAGEMENT OF THE SLOVAK REPUBLIC

- **NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY -
HYDROLÓGIA A VODNÉ HOSPODÁRSTVO**
(National Climate Programme of the Slovak Republic -
Hydrology and Water Management)
- **VPLYVY KLIMATICKEJ ZMENY NA ODTOKOVÝ REŽIM NA SLOVENSKU**
(Assessment of the Potential Impacts of Climate Change on River Runoff
in Slovakia)
- **SCENÁRE KLIMATICKEJ ZMENY V SLOVENSKEJ REPUBLIKE**
(Climate Change Scenarios for the Slovak Republic)
- **MONITOROVANIE ZMIEN KLÍMY NA VYBRANÝCH HYDROLOGICKÝCH STANICIACH
NA SLOVENSKU**
(Climate Change Monitoring in the Selected Hydrological Stations in Slovakia)
- **HYDROLOGICKÉ SCENÁRE MOŽNÝCH ZMIEN ODTOKOV
POČAS ROKA NA SLOVENSKÝCH TOKOCH**
(The Hydrological Scenarios of the Possible Runoff Change During the Year
on the Slovak Rivers)
- **REŽIMOVÉ HYDROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY PRIETOKOVÝCH RADOV
ZA OBDOBIE 1931 - 1995 A 1981 - 1995**
(The Regime Hydrological Characteristics of Discharge Series
of Two Time Periods: 1931 - 1995 and 1981 - 1995)
- **KOMPARÁCIA MOŽNÝCH ZMIEN ODTOKU V DÔSLEDKU
POTENCIÁLNYCH KLIMATICKÝCH ZMIEN S HISTORICKÝMI ZMENAMI ODTOKU**
(The Comparison Between the Possible Runoff Change
due to Potential Climate Changes and Historical Runoff Changes)

BRATISLAVA 1997

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

**NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC**

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

Zväzok 6

BRATISLAVA 1997

© MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SR
SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

SLOVAK MINISTRY OF THE ENVIRONMENT
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE

1997

O B S A H

MAJERČÁKOVÁ, O.

NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY -
HYDROLÓGIA A VODNÉ HOSPODÁRSTVO

5

SZOLGAY, J. - HLAVČOVÁ, K. - PARAJKA, J. - ČUNDERLÍK, J.

VPLYVY KLIMATICKEJ ZMENY NA ODTOKOVÝ REŽIM
NA SLOVENSKU

11

LAPIN, M.

SCENÁRE KLIMATICKEJ ZMENY V SLOVENSKEJ REPUBLIKE

111

ŠKODA, P. - KULLMAN, E.

MONITOROVANIE ZMIEN KLÍMY NA VYBRANÝCH
HYDROLOGICKÝCH STANICIACH NA SLOVENSKU

118

MAJERČÁKOVÁ, O. - ŠEDÍK, P.

HYDROLOGICKÉ SCENÁRE MOŽNÝCH ZMIEN ODTOKOV
POČAS ROKA NA SLOVENSKÝCH TOKOCH

125

POÓROVÁ, J. - PODOLINSKÁ, J.

REŽIMOVÉ HYDROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY
PRIETOKOVÝCH RADOV ZA OBDOBIE 1931 - 1995 A 1981 - 1995

141

ŠEDÍK, P.

KOMPARÁCIA MOŽNÝCH ZMIEN ODTOKU
V DÔSLEDKU POTENCIÁLNYCH KLIMATICKÝCH ZMIEN
S HISTORICKÝMI ZMENAMI ODTOKU

148

CONTENTS

MAJERČÁKOVÁ, O.

NATIONAL CLIMATE PROGRAMME OF THE SLOVAK REPUBLIC -
HYDROLOGY AND WATER MANAGEMENT 5

SZOLGAY, J. - HLAVČOVÁ, K. - PARAJKA, J. - ČUNDERLÍK, J.

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL IMPACTS OF CLIMATE CHANGE
ON RIVER RUNOFF IN SLOVAKIA 11

LAPIN, M.

CLIMATE CHANGE SCENARIOS
FOR THE SLOVAK REPUBLIC 111

ŠKODA, P. - KULLMAN, E.

CLIMATE CHANGE MONITORING IN THE SELECTED
HYDROLOGICAL STATIONS IN SLOVAKIA 118

MAJERČÁKOVÁ, O. - ŠEDÍK, P.

THE HYDROLOGICAL SCENARIOS OF THE POSSIBLE RUNOFF
CHANGE DURING THE YEAR ON THE SLOVAK RIVERS 125

POÓROVÁ, J. - PODOLINSKÁ, J.

THE REGIME HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS
OF DISCHARGE SERIES OF TWO TIME PERIODS:
1931-1995 AND 1981-1995 141

ŠEDÍK, P.

THE COMPARISON BETWEEN THE POSSIBLE RUNOFF CHANGE
DUE TO POTENTIAL CLIMATE CHANGES AND HISTORICAL
RUNOFF CHANGES 148

NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY HYDROLÓGIA A VODNÉ HOSPODÁRSTVO

*Oľga Majerčáková
Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava*

ABSTRACT

Majerčáková O., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia: National Climate Programme of the Slovak Republic - Hydrology and Water Management. The presented paper is dealing with the general account of possibilities and necessities of solution of the potential climate change influence on natural and socio-economical subsystems. It is also dealing with the short history of participation of hydrology in the National Climate Programme (NCP). NCP (connected with the World Climate Programme) has solved the climate change itself as well as the wide spectrum of its impacts. Moreover, the contact between NCP and the Slovak Republic's Country Study Program (C.S. SR), was expressed in the contribution. Project C.S. SR was the logical continuation of NCP; it was oriented on the possible impact assessment of the potential climate change, as well as on proposal of adaptation strategies, which can mitigate the possible negative impacts of this change.

ABSTRAKT

Predložený príspevok sa zaoberá všeobecnými úvahami o možnosti a nevyhnutnosti riešenia vplyvu potenciálnych klimatických zmien na prírodné a socio-ekonomické subsystémy, ako aj krátkou históriou zapojenia hydrológie do Národného klimatického programu SR (NKP). NKP v nadväznosti na Svetový klimatický program sa zaoberá ako samotnými klimatickými zmenami, tak aj širokým spektrom ich účinkov. V príspevku je tiež zdôraznené prepojenie NKP a projektu Slovak Republic's Country Study (C.S. SR). Projekt C.S. SR bol logickým rozvinutím výsledkov NKP, orientoval sa na odhad možných dôsledkov potenciálnych klimatických zmien, ako aj na návrh adaptačných opatrení zameraných najmä na zmiernenie možných negatívnych účinkov týchto zmien.

1. ÚVAHA O ÚLOHÁCH RIEŠIACICH MOŽNÉ ÚČINKY POTENCIÁLNYCH KLIMATICKÝCH ZMIEN

Laická, ale ani odborná verejnosť sa celkom nevyhla posudzovaniu potenciálnych klimatických zmien a ich dôsledkov na prírodné a socio-ekonomické subsystémy cez prizmu extrémnych meteorologických situácií a aktuálneho stavu klímy. Pod pojmom "klimatické zmeny" tu rozumieme spojenie prirodzených zmien klímy so "zmenou klímy" vyvolanou rastúcim skleníkovým efektom atmosféry.

U klimatológov sa na jednej strane stretáme s veľmi opatrnými stanoviskami, z ktorých niekoľko spomeniem:

- s neustálym upozorňovaním, že klimatické scenáre (hlavne ich signifikantnejšie hodnoty), vyjadrujúce konkrétne predstavy o možných klimatických zmenách sa viažu na vzdialenejšie časové horizonty 50 - 100 rokov, (dokonca tento časový horizont sa opäť posúva o ďalších 30 - 50 rokov), a to pre prípad, že sa radikálne nezmení správanie sa ľudstva
- s upozorňovaním na fakt, že nie je možné dostatočne, resp. vôbec odlíšiť v súčasnej klíme prirodzené fluktuácie klímy od možných zmien klímy v dôsledku antropogénnej činnosti
- s aktualizáciou klimatických scenárov, ktorá predstavuje znižovanie extrémnych odhadov nárastu priemernej teploty v dôsledku antropogénnej činnosti na prijateľnú mieru
- s upozorňovaním na veľký počet neistôt pri odhade globálnych potenciálnych zmien klímy a s geometrickým narastaním počtu neistôt pri „prenášaní“ globálnych prognóz do konkrétneho času a priestoru
- a v neposlednom rade s pochopiteľnou a logickou neochotou (vzhľadom na vyššie uvedené skutočnosti) aspoň kvalifikovane odhadnúť pravdepodobnosť zmien klímy v takej či onakej podobe.

Na druhej strane, vzhľadom na závažnosť tohto problému, práve odborníci z iných oblastí doslova „nútia“ klimatológov k tvorbe klimatických scenárov (resp. iným vyjadreniam), aby tak získali určitú platformu pre možnosť reagovať na tento fenomén vo svojich odboroch.

Reakcia odborníka neklimatológa na potenciálne klimatické zmeny spravidla spočíva v tejto postupnosti aktivít:

- odhad účinkov na prírodný subsystém, ktorým sa ten-ktorý odborník zaoberá (vodstvo, pôdny a rastlinný kryt, živočíšstvo ...)
- odhad dôsledkov na ekonomiku sektoru, pre ktorý je príslušný prírodný subsystém dominantný
- odhad účinkov na sociálnu sféru
- návrh adaptačných opatrení.

Pokiaľ sa úvahy o možných vplyvoch a dôsledkoch potenciálnych klimatických zmien dotýkajú prvých troch bodov, stále sa nachádzame viac-menej v rovine teoretickej a etické problémy spojené s týmito úvahami by nás v podstate nemuseli zaťažovať. Dokonca prognózy vplyvu a dôsledkov potenciálnych klimatických zmien na „zbytok“ prostredia tejto planéty majú vysoko pozitívny vplyv na ľudstvo v tom zmysle, že sa konečne zamýšľa nad racionálnou exploatáciou prírody – nad mierumilovnou koexistenciou s ňou – a obrazne povedané začína uvažovať ako prestať pod sebou píliť konár.

Posledným krokom, ktorým odborník – neklimatológ môže reagovať na potenciálne klimatické zmeny, je návrh adaptačných opatrení, ktoré spolu s popisom možných dôsledkov sú určené hlavne decíznej sfére. A práve tento krok prináša dilemu pred mnohých z nás; obsahuje v sebe totiž časovú dimenziu, t. j. návrh časového harmonogramu adaptačných opatrení. Začiatok časového harmonogramu adaptačných opatrení nie je totožný s očividným, resp. rozlíšiteľným nástupom potenciálnych klimatických zmien. Adaptačné opatrenia v mnohých sektoroch vyžadujú totiž oveľa skorší nástup ako k samotným zmenám vôbec môže dôjsť (napr. vo vodnom alebo lesnom hospodárstve, ale aj iných sektoroch), a tým sa stráca čas na možnú korekciu ako prognózy samotných zmien klímy, tak na korekciu odhadu možných dôsledkov a prehodnotenia navrhovaných adaptačných opatrení.

Podľa môjho názoru aj v čase neistoty, keď nevieme či vôbec a v akom rozsahu dôjde ku klimatickým zmenám je potrebné povedať, ako čeliť najmä negatívnym dôsledkom, aby sme predišli možným katastrofám. V tomto smere sa nieslo celé jedno zasadnutie Country Study projektu v Sankt Peterburgu v máji 1995.

Jeden z jeho účastníkov Ion Burton (z Univerzity v Toronte, Kanada) sa vyslovil, že je lepšie (t. j. lacnejšie, efektívnejšie, rozumnejšie) prijať a dokonca realizovať navrhované adaptačné opatrenia a v priebehu času nesprávne rozhodnutia korigovať, ako vyčkávať nepripravení. Svoje dôvody zhrnul do 6 bodov, je možné ich nájsť v Zborníku abstraktov z tohto podujatia. Pravdaže s týmto názorom možno polemizovať, avšak tento a ďalšie podobné názory sa opierali o dôkladné ekonomické analýzy a prognózy, ktoré žiaľ v európskom priestore a najmä u nás chýbajú a rozvíjajú sa väčšinou na severoamerickom kontinente.

Čo však je možné s úplne čistým svedomím urobiť zhrňam do nasledujúcich bodov:

- bez ohľadu na vnútorný postoj k potenciálnym klimatickým zmenám (zo svojej osobnej skúsenosti viem, že tento sa u odborníkov pohybuje v širokom spektre od mantinelu krajného odmietania až po mantinel nekritického prijímania – dokonca spojeného s katastrofickými víziami) zaoberať sa nimi bez zaujatosti ako v rovine odbornej, tak osvetovej
- nespúšťať zo zreteľa, že zatiaľ ide len o možnosť, ktorá je podporovaná viac nepriamymi ako priamymi dôkazmi
- uviesť si, že aj relatívne malá pravdepodobnosť uplatnenia prezentovaných klimatických scenárov nás zaväzuje aspoň na teoretickú prípravu na tento potenciálny budúci stav
- pri návrhu adaptačných opatrení sa zameriavať na robustné riešenia, ktoré eventuálne môžu preklenúť negatívne účinky v oboch smeroch.*

**Poznámka: tu mám na mysli protichodnosť prognóz v možnej zmene množstva zrážok, resp. v ich veľmi nerovnomernej distribúcii počas roka. Teplota vzduchu naproti tomu má vo všetkých prezentovaných scenároch jednoznačný rastúci trend; scenáre sa líšia len v hodnotách odhadového nárastu teploty vzduchu.*

Táto úvaha sa priamo či nepriamo dotýka aj zodpovednosti, ktorú mali, majú a musia vziať na seba aj v budúcnosti klimatológovia i neklimatológovia nielen u nás, ale na celom svete za odbornú činnosť aj všeobecnú propagáciu výsledkov prác, ktoré v sebe zahŕňajú značné percento neistoty.

Na jej záver by som rada zdôraznila, že vôbec prvá odborná diskusia na túto tému u nás doma nevznikla medzi klimatológmi (hoci boli nielen informovaní, ale aj zaangažovaní do týchto problémov cez Svetový klimatický program), ale paradoxne medzi hydroológmi. Tí začali prví vnímať určitý dlhodobý výkyv klímy v rokoch 80., a to v jeho vplyve na štruktúru hydrologických radov.

Voda v prírodnom obehú totiž odzrkadľuje výkyvy počasia a na zmeny či už krátkodobé, alebo dlhodobé reaguje pomerne rýchlo - a to od okamžitej reakcie až po (v našich prírodných podmienkach) odozvu s oneskorením niekoľkých rokov.

2. PREHĽAD VÝSKUMNÉHO PROGRAMU VODA V RÁMCI NÁRODNÉHO KLIMATICKÉHO PROGRAMU A COUNTRY STUDY PROGRAMU

Ako som už spomenula v úvodnej časti, jeden z hlavných impulzov riešenia klimatického programu na národnej úrovni vyšiel začiatkom 90. rokov práve od hydroológov, ktorí hľadali vysvetlenie pre vnútornú štruktúru hydrologických radov, s ktorou sa stretli v najdlhších hydrologických radoch.* V ďalšom kroku sa pokúsili o prognózu možného vývoja hydrologického režimu v prírodných podmienkach Slovenska; táto prognóza sa realizovala cez tvorbu tzv. hydrologických scenárov – akýchsi pendantov ku scenárom klimatickým.

**Poznámka: Začiatkom 90. rokov sme po prvýkrát v histórii našej hydrológie dosiahli aspoň 60-ročné nepretržité rady pozorovaní prietokov na slovenských tokoch, rozmiestnené temer po celom našom území. Z nich pomerne dostatočný počet (na Slovensku môžeme v tomto smere hovoriť o 20 až 50 hydrologických radoch – podľa toho, aké prísne kritériá výberu zvolíme) je minimálne ovplyvnených lokálnou antropogénnou činnosťou, odzrkadľujú teda reakciu povrchových tokov na vývoj klímy a predstavujú tak jedno z najcennejších bohatstiev slovenskej hydrológie. Žiaľ, v súčasnosti máme v rukách len málo legislatívnych nástrojov, aby sme toto bohatstvo dôsledne ochránili. Jedným z nich sú Hydrologické plány povodí, v ktorých štátnej správe dávame do pozornosti tieto zaujímavé miesta (vodomerne stanice a povodia nimi uzatvorené) s odporúčaním ich maximálnej ochrany pred ovplyvnením výraznými lokálnymi antropogénnymi zásahmi. V budúcnosti môže túto ochranársku snahu podporiť zaradenie Hydrologických plánov (ako jedného zo základných dokumentov) do pripravovaného Zákona o vodách.*

Aktivity v rámci podprogramu VODA sa realizovali v štyroch tematických skupinách:

1. ÚDAJE (výber a testovanie vhodných hydrologických radov, tvorba databáz)
2. ÚČINKY možných klimatických zmien na prvky hydrologického cyklu
3. MOŽNÉ DÔSLEDKY hydrologických zmien na niektoré zložky vodného hospodárstva, prípadne iné sektory
4. ODLÍŠENIE INÝCH VPLYVOV.

Kvôli predstave o šírke podprogramu VODA v rámci NKP, by som rada uviedla niekoľko štatistických čísiel:

Spolu sa v rokoch 1993 až 1997 pripravilo 34 štúdií, ktoré všetky boli ukončené záverečnou správou; na ich riešení sa zhodou okolností podieľalo taktiež 34 riešiteľov z ôsmich inštitúcií. V dvoch prehľadných tabuľkách uvádzam počet úloh riešených v jednotlivých tematických skupinách a v jednotlivých inštitúciách podľa rokov.

Tematická skupina / rok	1993 a 1994	1995	1996	1997
ÚDAJE	5	6	2	2
ÚČINKY	5	4	5	3
MOŽNÉ DÔSLEDKY	3	2	1	0
INÉ VPLYVY	1	0	0	0

Inštitúcia / rok	1993 a 1994	1995	1996	1997
SHMÚ	5	4	3	4
KVHK SvF STU	2	1	1	1
KG PRIF UK	1	1	1	0
TURČAN – Consulting	1	1	1	0
KPZV PRIF UK	1	1	0	0
ÚH SAV	1	0	1	0
VÚVH	1	0	1	0
HYDROENERGIA	0	1	0	0

Na prelome rokov 1994 a 1995 sa na NKP napojil Country Study Program, v rámci ktorého sa (Element 2iii) odhadovali dôsledky zmeny klímy na vodné zdroje a vodné hospodárstvo v nadväznosti na parciálne výsledky klimatického programu. Projekt sa ukončil v roku 1996 vypracovaním záverečných správ (v jazyku anglickom a slovenskom) pre 7 samostatných avšak tematicky a čiastočne aj obsahovo nadväzujúcich štúdií a vypracovaním súhrnu za túto časť.

Riešenia sa zúčastnili zástupcovia nasledovných inštitúcií: KVHK SvF STU (2 štúdie), SHMÚ (2 štúdie + súhrn), VÚVH, ÚH SAV a MPô (po 1 štúdiu).

Okrem štatistického výpočtu príspevkov do NKP a CS (mimochodom s pomerne vysokou úrovňou, kvalitným spracovaním a množstvom nových faktov a výsledkov) je potrebné spomenúť skutočne značné množstvo relevantných publikácií slovenských autorov, ktoré sú v prevažnej miere zahrnuté v Zozname vybraných publikácií, Lapin (1996).

3. ŠPECIFIKÁ PODPROGRAMU VODA

Dôležitým faktorom pri zaoberaní sa potenciálnymi klimatickými zmenami je uvedenie si ich možných účinkov na ďalšie prírodné subsystémy alebo ekonomické sektory. Účinky môžu byť ako kladné, tak aj záporné, avšak obidve kategórie si vyžadujú adaptačné opatrenia. Je pochopiteľné, že možné záporné účinky vyvolávajú už dnes oveľa viac pozornosti a záujmu. Účinky potenciálnych klimatických zmien môžu byť priame: cez zmenu priemerných a extrémnych hodnôt teploty vzduchu, zrážok a ďalších meteorologických prvkov a sprostredkované, hlavne cez možné zmeny v hydrologickej bilancii a hydrologickom cykle.

Problémy pri oteplení klímy nemožno redukovať len na to, či bude vody nadbytok, dostatok alebo nedostatok, alebo aké môžu byť škodlivé účinky zrážok extrémnych úhrnov a intenzít. Zmeny v množstvách vody (spolu so zmenou teploty vzduchu aj vody) môžu ovplyvňovať vegetáciu, pôdny kryt.

Pre viaceré sektory (napr. poľnohospodárstvo, lesníctvo, turistiku, ochranu životného prostredia) môžu mať sekundárne vplyvy spôsobené zmenami hydrologickými rovnaký prípadne aj väčší význam ako vplyvy primárne spôsobené klimatickými zmenami. Tieto skutočnosti viedli k tomu, že niekedy sa namiesto termínu klimatické zmeny používa termín hydroklimatické zmeny.

Sprostredkované – sekundárne účinky sa môžu realizovať „cez vodu“, a teda tvorba hydrologických scenárov je pre odhad dôsledkov klimatických zmien rovnako dôležitá ako tvorba klimatických scenárov.

Klimatické zmeny majú globálny charakter, a možnosť ich nástupu, veľkosti a prejavov sa rieši v makromierkach a až v následnej fáze sa tieto odhady transformujú do sietí hustejších a odvodzujú sa detailné národné či regionálne scenáre.

Realizácia hydrologického cyklu sa viaže na konkrétne fyzicko-geografické prostredie, čo znamená, že hydrologické riešenia sa opierajú o podmienky konkrétnych povodí alebo oblastí.

Pre sektor vodného hospodárstva sú zmeny v hydrologickom cykle prvoradé a ich poznanie má pre spoločnosť rovnaký strategický význam ako znalosti o možných zmenách klímy.

Jednou z hlavných úloh vodného hospodárstva je posúdiť pre určitú oblasť, aký je vzťah medzi požiadavkami na vodu a disponibilnými zdrojmi vody (pričom nesmieme zabudnúť, že disponibilita je funkciou dvoch parametrov: kvality aj kvantity). Ak tento vzťah riešime pre budúcnosť vzhľadom na možné zmeny klímy je potrebné si uvedomiť, že klimatické zmeny môžu ovplyvniť nielen budúce vodné zdroje, ale aj samotné požiadavky na vodu (napr. cez demografiu, cez nároky na závlahovú vodu alebo nároky na vodu ako chladiace médium a pod.).

V tejto časti som sa len veľmi stručne pokúsila opísať dôležitosť potenciálnych zmien hydrologických a určité špecifiká podprogramu VODA. Tieto špecifiká (najmä v nadväzujúcom programe na NKP v CS, ktorý sa zaoberal aj návrhom možných adaptačných opatrení na zmiernenie najmä negatívnych dôsledkov potenciálnych klimatických zmien) kladli vysoké nároky na riešiteľov a vyžiadali si odbornú zdatnosť aj vo viacerých ďalších disciplínach.

4. ZÁVER

Skončila sa prvá fáza NKP. V rámci podprogramu VODA sa podarilo vytvoriť interdisciplinárnu kooperáciu špičkových odborníkov, ktorí spoločne riešili nasledujúce tematické okruhy:

- výber kvalitných hydrologických údajov a informácií, analýzu ich spoľahlivosti a variability;
- tvorbu nových postupov, resp. verifikáciu a aplikáciu odporúčaných metód na predikciu možného vývoja vodných zdrojov a zmeny hydrologického režimu;
- odhad dôsledkov potenciálnych hydrologických zmien na vodné hospodárstvo, prípadne iné ekonomické sektory;
- rámcový návrh možných adaptačných opatrení na využitie pozitívnych a eliminovanie negatívnych účinkov so zreteľom na želateľnú robustnosť týchto opatrení.

To bolo zámerom NKP; čo však bolo nad rámec a má, podľa môjho názoru, rovnocenný význam, je upozornenie na nedoriešené teoretické a praktické hydrologické problémy: stacionarita hydrologických radov, stabilita dlhodobých hydrologických charakteristík, výber referenčných období, riešenie extrémnych fáz hydrologického procesu.

Končí prvá fáza NKP; NKP ako taký však skončiť nemôže, pokiaľ bude pretrvávajúť riziko ohrozenia spoločnosti potenciálnymi zmenami klímy.

LITERATÚRA

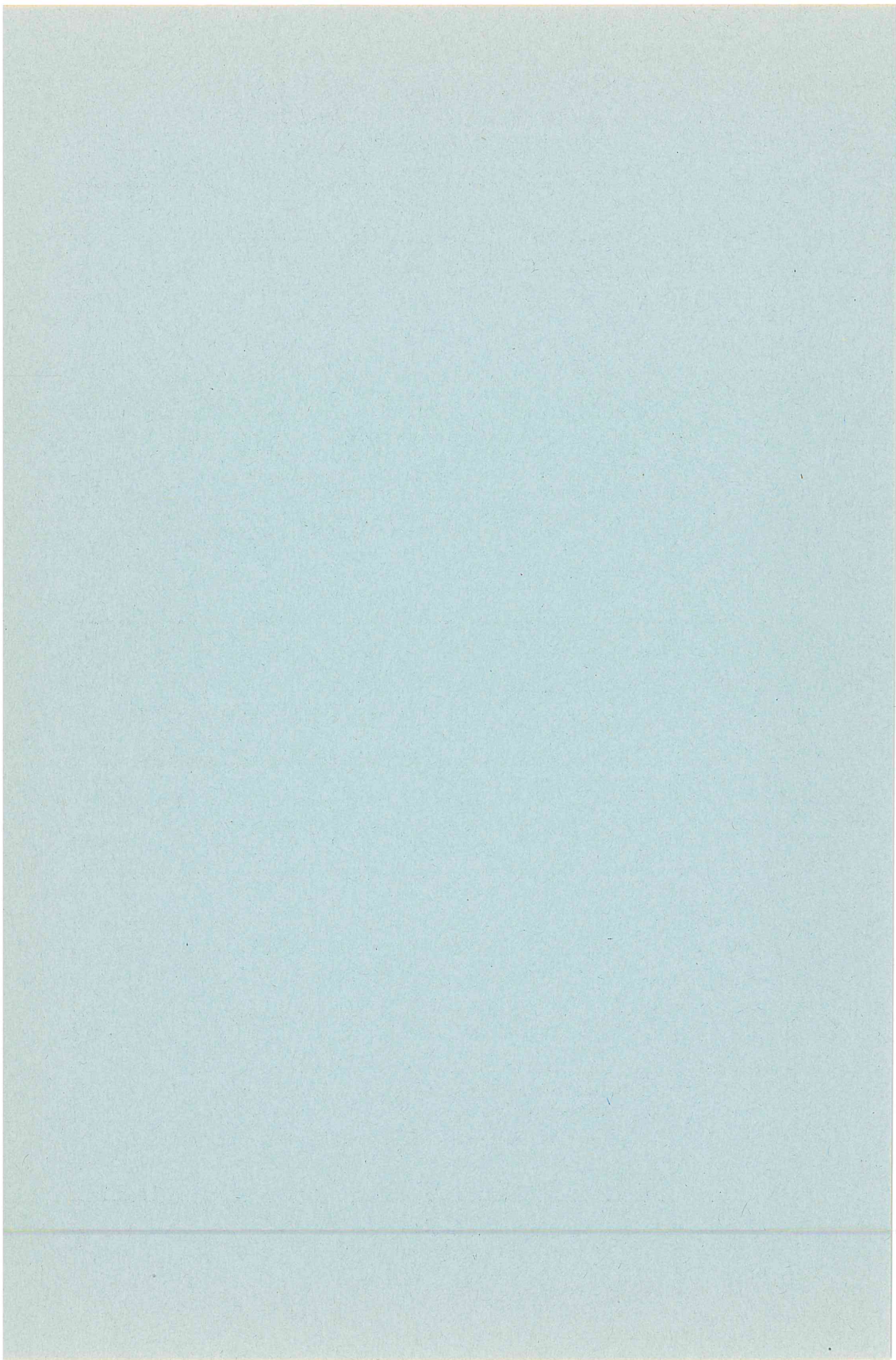
- Lapin, M.: List of selected Publications, Papers and Contributions of Slovak Authors related to Climate Change. (Issued from January 1994 to February 1996). Slovak Republic's Country Study, Element 2, SHMÚ, Bratislava 1996.
- Lapin, M., Závodský, D., Majerčáková, O., Mindřáš, J., Špánik, F.: Preliminary Results of Vulnerability and Adaptation Assessment for Slovakia. In.: Vulnerability and Adaptation to Climate Change. U.S. Country Studies Program, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London 1996, p. 295-312.
- Majerčáková, O.: Možné dôsledky zmien klímy na hydrologickú bilanciu a vodné hospodárstvo a opatrenia na ich zmiernenie [Súhrnná správa č.2 zo subprojektov Projektu NKP SR riešeného v rokoch 1993 a 1994]. NKP SR, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava 1995.
- Majerčáková, O.: Účinky potenciálnych klimatických zmien na režim PV a PZV Slovenska ako aj ich dôsledky na vybrané oblasti vodného hospodárstva a energetiky [Súhrnná správa na základe čiastkových správ Projektu NKP SR dotýkajúcich sa problému "VODA"]. NKP SR, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava 1996.
- Majerčáková, O.: Možné dôsledky klimatických zmien na hydrologický cyklus, vodné zdroje, vodné hospodárstvo, prírodné prostredie a hodnotenie adaptačných opatrení [Sumárna správa za element 2iii C.S. SR]. Country Study Program SR, SHMÚ, Bratislava 1996.
- Majerčáková, O.: Dôsledky potenciálnych klimatických zmien na hydrologický cyklus, hydrologickú bilanciu a vodné zdroje [Súhrnná správa na základe čiastkových správ NKP SR riešených v časti "VODA"]. NKP SR, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava 1997.
- Majerčáková, O., Fendeková, M., Lešková, D.: The variability of hydrological series due to extreme climate conditions and the possible change of the hydrological characteristics with respect to potential climate change. IAHS Publication no. 246, 1997.

**NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY**

**NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC**

**VPLYVY KLIMATICKEJ ZMENY
NA ODTOKOVÝ REŽIM
NA SLOVENSKU**

Riešitelia:	Doc. Ing. Ján Szolgay, CSc., Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU, Bratislava Doc. Ing. Kamila Hlavčová, CSc., Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU, Bratislava Mgr. Juraj Parajka, Ústav hydrológie SAV, experimentálne pracovisko Liptovský Mikuláš, Ondrašová Mgr. Juraj Čunderlík, Katedra vodného hospodárstva krajiny, SvF STU, Bratislava
Projekt:	MŽP SR Výskum zmien kvality ovzdušia, klimatické zmeny a narušovanie ochranných vlastností atmosféry - NKP SR
Zadávateľ:	Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava
Lektori:	Ing. Jozef Turčan, CSc., Turčan Consulting, autorizovaný inžinier, Bratislava RNDr. Pavol Miklánek, CSc., Ústav hydrológie SAV, Bratislava



ASSESSMENT OF THE POTENTIAL IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON RIVER RUNOFF IN SLOVAKIA

Szolgay J., Hlavčová K., Parajka J., Čunderlík J.

Dptm. KVHK, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Bratislava, Slovakia

SUMMARY

The report summarises the results of the investigations of the expected change of the annual and monthly flows due to climate change. Basic adaptation strategies for water resources management on a conceptual planning level have been formulated.

Baseline scenarios for the assessment of climate change impacts

The preparation of hydrological input data used for the design of water resources projects and for the management of water resources in Slovakia in the last decades was based on the concept of the 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 1931 to 1980 are in a good agreement with their long term values. Data and characteristics from these periods and their subset period 1951 - 80 have been considered as baseline scenarios for the assessment of the change of river runoff.

Water resources development and management in Slovakia has been centrally planned and co-ordinated after the Second World War and it has been based on detailed long term conceptual documents. These documents were periodically revised and updated by the responsible authorities and were supported by extensive research and surveying. According to the valid water legislation, the Water Resources Master Plan (Smerný vodohospodársky plán (1975)), together with its later issued supplements has to be considered as a concept for water resources development and management. These documents have not considered climate change impacts on water resources yet and they can be therefore understood as baseline scenarios for water resources development and management approximately till the mid of the next century.

Climate change scenarios used for the assessment of the impact of climate change

Following climate change scenarios have been selected for the study of the mean annual runoff change:

- downscaled results from the global circulation models GCM CCCM, GISS and GFD3 as published by Lapin et al. (1995),
- climate change scenarios WP A, WP B, SD A and SD B developed by Lapin et al. (1995) within the framework of the Slovak National Climate Program.

Two climate change scenarios have been chosen to estimate climate change impacts on the mean monthly runoff:

- CCCM GCM scenario
- WP B NKP scenario.

Different precipitation change scenarios have been considered for the northern and southern part of Slovakia as it was recommended in Lapin et al. (1995).

Determination of the impact of climate change on the long term mean annual flow

For the determination of the climate processes impact on the long term mean annual flow the Turc model has been selected. In contrary to the other models, which are based on regression relationships among long term mean annual runoff, mean annual temperature and precipitation, it is based on an index of the annual potential evapotranspiration L :

$$H_0 = H_Z \left[1 - \frac{L}{\sqrt{c \cdot L^2 + H_Z^2}} \right]$$

where H_0 (mm) is the mean annual runoff, H_z (mm) is the average annual precipitation, T ($^{\circ}\text{C}$) is the mean annual air temperature, and c is a coefficient, which can be calibrated when necessary. L (mm) is the index of the potential annual evapotranspiration given by the expression

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

This part of the Turc model has been calibrated against long term annual average potential evapotranspiration data computed by Tomlain (In.: Studies of the Slovak Hydrometeorological Institute No. 29 - Práce a štúdie SHMÚ č. 29 (1989)) by the Budyko - Tomlain model in 54 meteorological stations from the whole territory of Slovakia.

Gridded digitised maps, with a grid size 1 km x 1 km, of the long term mean annual precipitation and air temperature were derived from isoline maps for the representative period 1931 -1980 using interpolation methods described in Eastman (1992)).

Grid maps of the long term average runoff yields for the whole territory of Slovakia have been computed from the Turc model for all selected scenarios of climate change. Areal averages of runoff yields than have been 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 1931 - 1980.

An attempt has been made to generalise the tendencies in the runoff change scenarios. In order to better assess the vulnerability of surface water resources to climate change, map algebra methods in a GIS environment were employed to compute average scenarios and to derive regions with a different degrees of climate change hazard by the cross tabulation of several scenarios.

Assessment of the impact of climate change on the seasonal distribution of the mean monthly runoff

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. 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 has been calibrated with data from the period 1951 - 1980, which contained a wide variety of different hydrologic extreme situations in the catchments, which have been chosen as representative for the runoff regime of different regions.

The reaction to climate change was analysed with modified input time series. These were calculated from the baseline data from the period 1951 - 1980 using the monthly changes of air temperature and precipitation prescribed in the GCM and NKP scenarios. Predicted changes in temperature were added to the baseline values and the observed baseline precipitation was multiplied by the given precipitation change ratios. Other necessary inputs were taken from the database of the Slovak National Climate Programme. The model was then run holding the model parameter values from the calibration period constant. Runoff generated by the model was considered to represent the estimation of the climate change impact on runoff and has been compared with the baseline time series. Detailed results are published in Čunderlik et al. (1998). Further an analysis of the statistical characteristics change of the time series of the mean monthly flows has been done. Changes of the mean monthly values, their variability and skewness, month to month correlations and the autocorrelation functions have been analysed.

Evaluation of the runoff change scenarios and the vulnerability of the analysed areas to runoff changes

The qualitative description of the results for long term mean annual runoff is as follows: Results for the GCM scenarios show, that the northern parts of the territory of Slovakia will exhibit small changes in mean annual runoff allowing both a small increase and small decrease of runoff in the time horizons 2010 and 2030. Medium decrease of runoff can be expected in 2075. More vulnerable will be areas with relatively low altitudes.

The southern parts of the country will be, according to the GCM scenarios, in a zone of a decrease of runoff. Specially vulnerable are lowland areas near the southern border. The degree of decrease varies according to the employed scenarios, but all scenarios exhibit an acceleration of the decrease towards 2075. The decrease has a clear north south gradient, areas in the middle parts of Slovakia can be less affected.

According to the National Climate Program scenarios WP A, WP B, SD A and SD B, which are based on mean annual air temperature increase and the decrease of the mean annual precipitation, a decrease of the long term mean annual runoff has to be expected on the whole territory and for all three time horizons. Southern parts will be again more vulnerable than the northern territory. Runoff formation in lowland areas in the south of the country could cease. Changes seem to have the tendency to accelerate towards 2075.

For the vulnerability to drought one has to conclude, that all scenarios suggest, that a decrease of the long term mean annual runoff is far more probable for the time horizons 2010, 2030 and 2075, than the conservation of the runoff situation from the representative period 1951 - 1980, or an increase of runoff. The effects of air temperature increase will be decisive for the behaviour of the mean annual runoff even in cases when an increase of the mean annual precipitation is expected. Extremity of the runoff decrease will increase with the growth of the mean annual air temperature, thus with the widening of the time horizon. Changes will exhibit a north south gradient with the north being less affected. Aridity of the southern lowlands could reach a severe degree.

The seasonal distribution of mean monthly runoff in the model runs shows the following behaviour:

In the northern parts of Slovakia both scenarios exhibit the same character of changes in the seasonal distribution of mean monthly flows. In the winter low flow period the mean monthly discharges should increase, spring flows could (partly substantially) decrease. Flow regime in the summer and the autumn will show stationary behaviour with moderate decrease of runoff. The extremity of the decrease of mean monthly flows accelerates with the widening time horizon of the scenarios.

In the middle and southern parts of Slovakia the spring, midsummer and autumn discharges should decrease according to both scenarios. The month of September exhibits an increase of runoff in both scenarios. The employed scenarios differ in the prediction of the winter flow behaviour, both increase and decrease should be possible. The extremity of the decrease of runoff accelerates with the widening time horizon of the scenarios.

In the southern areas the typical historical low-flow period from the baseline time series is occurring in the late summer and in the autumn. Both scenarios show a tendency towards creation of a new stable period of low flows ranging from July to November. September remains to be the month with the lowest mean monthly discharges despite of the slight increase of flows in this month.

The whole territory of Slovakia becomes so vulnerable to drought in the summer and in the autumn. Increased flows in the winter months will only lower the extremity of the historical baseline scenario behaviour in this period of the year. In months with increased water demand for irrigation, domestic and industrial use and tourism monthly flows will exhibit a decrease, which will be growing with the widening time horizon of the scenarios. The possibility of a decrease of winter flows cannot be excluded.

The evaluation of the results was based on all combinations of climate change impact computations. None of these model runs was considered as a forecast, nor has received any preferences. These scenarios will serve as a quantitative basis for water resources impact assessment.

Basic adaptation strategies for water resources management

Basic adaptation strategies for the long term development plans of the water resources management of East Slovakia have been analysed in Szolgay et al. (1994), Dzubák, Hambek, Szolgay (1995), Dzubák and Szolgay (1995). These results and the methodology discussed above was applied in a case study. The aim of it was to evaluate if time space variability of drought could influence the concepts of the utilisation of surface water resources in the area. The time and space variability of dry and wet (or warm and cold) periods in the eastern part of Slovakia has been also evaluated.

As characteristics of drought the temperature, precipitation and discharges data have been analysed. Deviations of annual means from the long - term annual mean for each year and each season have been determined in a number stations according to the equation :

$$\Delta Z = \frac{Z1 - Z2}{Z2} \times 100 ,$$

where Z1 is the annual mean of temperature, discharge or precipitation; Z2 is the long - term annual mean of temperature, discharge or precipitation; and ΔZ is the deviation from the long - term mean [%].

The deviations were considered as Z-coordinates of the XYZ "space-time domain" coordinate system, where the gaging stations (selected to cover the whole area from the west to the east) represent X

"space" coordinates, and the years of observation represent Y "time" coordinates. The deviations interpolated to the form of isolines were analysed for the occurrence of dry and wet (warm and cold) periods in space and time and interpreted with respect to water supply.

Climate change impact on the yield from planned reservoirs for drinking water supply was evaluated using volume, yield and reliability curves under present and future climate conditions.

Basic strategies for the adaptation in water resources management in order to account for climate change impacts were suggested as:

- Transforming natural hydrologic resources into managed resources will have to be applied in an increased degree. Interannual and seasonal redistribution of water and territorial redistribution of runoff from the north to the south will have to be considered in order to compensate the expected water shortage in the south of Slovakia.
- Watersheds of the reservoir sites proposed in the existing long term conception documents and water resources development master plans will have to receive increased care and protection. Proposed reservoir volumes and management strategies will have to be reconsidered in these documents.
- New management policies and reconstruction plans for the existing large and especially for the several hundred small reservoirs will have to be constructed and implemented in order to account for the expected needs of irrigation in the southern parts of the country.
- Revitalisation programs of watersheds in order to slow down runoff from the upper parts of basins and restoration of existing river training schemes, which speed up runoff, will have to be implemented. Basin vegetation modification, forestation and forest protection in the northern parts of Slovakia will become increasingly important.
- Links with other long term conceptual documents concerning land care, environmental protection, urban development, urban planning, land use planning, forest development, industrial growth etc. will have to receive great importance. None of these conceptual documents is considering runoff change due to climate change as a scenario for the future etc. These documents will have to be updated in order to incorporate measures for the protection of water resources and rational use of water.
- Operative programs for the rational use of existing water resources will have to be formulated and managed on governmental and local levels. These programs will have to include legislative, economic and taxation measures to support water saving technologies, reconstruction of water supply systems, reuse of water and recycle water.

1. ÚVOD

Možná zmena globálnej klímy, spôsobená rastúcou antropogénnou emisiou skleníkových plynov, patrí medzi najdiskutovanejšie súčasné globálne environmentálne problémy. Scenáre možnej zmeny klímy na Slovensku, ktoré boli spracované v rámci Národného klimatického programu SR (NKP), prípadovej štúdie Národnej agentúry pre životné prostredie a MŽP SR (tzv. Country Study SR), viedli k vypracovaniu celého radu prác hodnotiacich možné dôsledky klimatickej zmeny na rozličné sféry prírody, hospodárskeho a spoločenského života. Pritom boli skúmané aj možné dôsledky zmeny klímy na hydrologický cyklus, vodné zdroje a vodné hospodárstvo.

V minulom období sme sa v rámci prác na NKP, Country Study SR, grante agentúry VEGA č. GP 2/4186/97 "Určenie plošnej evapotranspirácie ako prvku vodnej bilancie vybraných povodí Slovenska" a rade štúdií týkajúcich sa využívania povrchových vodných zdrojov východného Slovenska vypracovaných pre MŽP SR, zaoberali aj možnými dôsledkami zmeny klímy na režim odtoku. Postupne sme si overovali rôzne metodické postupy, dopĺňali a rozširovali sme našu údajovú základňu. Metodické postupy z týchto štúdií sme v predkladanej práci zhrnuli, upravili a doplnili. Použili sme ich s novou údajovou základňou z obdobia 1931 až 1980 a pokúsili sme sa ich prezentovať ako celok použiteľný pre impaktné štúdie v rámci jednotlivých povodí, regiónov a celého územia Slovenska. Zároveň sme v kapitole 2 zhrnuli výsledky z podobných štúdií najmä z oblasti strednej Európy a u nás s cieľom odhadnúť smery, ktorými by sa výskum impaktov mohol v blízkej budúcnosti uberať.

V súlade s našimi doterajšími prácami sme oddelene skúmali možné zmeny dlhodobého priemerného prietoku a vnútroročného rozdelenia odtoku. V kapitole 3 sa zaoberáme skúmaním možných zmien dlhodobého priemerného ročného špecifického odtoku ako indikátora zmien teoretického potenciálu povrchových vodných zdrojov územia Slovenska. Zamerali sme sa pritom na sledovanie zmien tohto potenciálu vo vybraných výškových pásmach, ktoré svojou geografickou lokalizáciou charakterizujú hydrologický režim povrchových vodných zdrojov. S ohľadom na pomerne značný rozptyl odvodených hydrologických scenárov sme sa v tejto kapitole tiež pokúsili o zovšeobecnenie scenárov ako ukazovateľa prírodnej hrozby. Použili sme pritom metodické postupy mapovej algebry a krížovej tabelácie v prostredí GIS. Táto zovšeobecnená hodnota hazardu iniciálneho procesu nám, popri variante scenárov možností budúcej kapacity povrchových vodných zdrojov v týchto oblastiach, charakterizuje zraniteľnosť územia voči zmeneným klimatickým podmienkam.

V kapitole 4, tak ako aj v predchádzajúcich štúdiách, sa zaoberáme posúdením možného vplyvu klimatickej zmeny na vnútroročné rozdelenie dlhodobých priemerných mesačných prietokov vo vybraných povodiach Slovenska s použitím matematického modelu odtoku WatBal. Doterajšie výsledky sme zhrnuli a nadväzujúc na ne sme skúmali aj možné zmeny štatistických parametrov priemerných mesačných prietokov v jednotlivých oblastiach Slovenska. Hlavným cieľom analýzy bolo získať predstavu o možných zmenách uvedených parametrov, ktoré nevyhnutne ovplyvnia parametre vodohospodárskych stavieb a využívanie povrchových vodných zdrojov.

V nasledujúcej kapitole 5 sa najprv zameriavame na demonštrovanie rôznych prístupov, ktoré boli navrhnuté na riešenie problémov v rámci komplexnej problematiky odhadu dôsledkov klimatickej zmeny na hospodárenie s vodou a návrhu adaptačných opatrení. Zhrnuli sme rôzne metodické postupy, ktoré boli použité v poslednom období v impaktných štúdiách v problematike hospodárenia s vodou, určovania koncepcií adaptácie na možnú zmenu klímy na úrovni plánovania a využívania vodných zdrojov a hospodárenia s vodou vo vodohospodárskych sústavách. Následne v časti 5.3 na príklade prípadovej štúdie pre oblasť východného Slovenska demonštrujeme využiteľnosť postupov popísaných v predošlých častiach na ohodnotenie zraniteľnosti povrchových vodných zdrojov. Doplnili sme ich o hodnotenie priestorového a časového kolísania prvkov hydrologickej bilancie. Prezentovanú metodiku je možné použiť ako alternatívu k možnosti podrobne simulovať rôzne scenáre vývoja klimatickej situácie a rozvoja vodárenskej sústavy, resp. ako východiskovú štúdiu pre podrobnejšie simulačné experimenty a adaptačné opatrenia. Popísané možné zmeny odtoku sme následne interpretovali vo vzťahu k zraniteľnosti povrchových vodných zdrojov. Navrhli sme rámcové adaptačné opatrenia na úrovni strategických koncepčných dokumentov pre rozvoj zásobovania obyvateľstva pitnou vodou v blízkej budúcnosti.

Radi by sme na tomto mieste poďakovali všetkým, ktorí nás v našej práci podporovali a usmerňovali. Zvlášť ďakujeme za podporu nášho snaženia Národnému klimatickému programu SR, MŽP SR, grantovej agentúre VEGA a Stavebnej fakulte STU. Menovite by sme so všetkých chceli vyzdvihnúť nášho učiteľa prof. Ing. Milana Dzubáka, CSc., ktorý stál na začiatku nášho snaženia a už žiaľ nestihol v ňom s nami pokračovať, Milanovi Lapinovi, ktorý nenápadne, ale húževnato koordinuje celý program, a Olinke Majerčákovej, Vilovi Novákovi, Paľovi Petrovičovi a Alešovi Svobodovi za podnetné a otvorené diskusie o problematike.

2. METODICKÉ POSTUPY PRE URČOVANIE VPLYVU KLIMATICKEJ ZMENY NA ODTOKOVÝ PROCES

Pre určovanie vplyvu klimatickej zmeny na hydrologický režim existujú dnes rozmanité metodické postupy. Kuhn et al. (1993) ich triedia do týchto troch základných skupín :

- analýza časových radov hydrologických veličín s cieľom identifikovať možné zmeny v ich štatistických vlastnostiach ako indikátor pre zmeny podmienok tvorby odtoku s prípadnou následnou extrapoláciou zmien,
- analýza hydrologického režimu minulých tzv. teplých období ako modelu pre hydrologický režim v podmienkach otepľovania,
- modelovanie očakávateľných zmien hydrologického režimu na základe vedomostí o vzťahoch medzi charakteristikami klímy a hydrologického režimu.

V prvom prípade ide najmä o pokusy identifikovať trendy, periodické a autoregresné zložky v časových radoch metódami analýzy časových radov a hľadanie fyzikálneho odôvodnenia pre zistené skutočnosti, resp. ich zmeny. V danej štúdii sa aplikovateľnými štatistickými metódami bližšie nezaobráame. Dostupné prehľady sú uvedené v mnohých prácach, pozri napr. Brázdil (1991), Benický (1992), Kitanides (1995), Szentimrei (1995) a mnohí iní. Takisto sa v danej štúdii bližšie nezaobráame aplikáciami v svetovej hydrologickej literatúre. K ich použitiu sa však treba vysloviť v regionálnom stredoeurópskom kontexte.

V druhom prípade ide o pokus využiť pozorovania (priame alebo paleoúdaje) prirodzenej zmeny klímy v minulosti a pomocou analógie z minulých teplých období odôvodňovať možné budúce správanie klimatického systému a hydrologického režimu. Tento prístup sa u nás v poslednom období v stredoeurópskom kontexte a v hydrológii zvlášť presadil menej. Preto mu tiež nebudeme venovať širší priestor. Prehľad uvádzajú napr. Gribbin (1977), Lough et al. (1983), Brázdil (1990), Oeschger (1991) a iní, tento prístup je tradične silne zastúpený v ruskej odbornej literatúre, napr. Budyko (1980, 1991).

Tretí spôsob vychádza zo závislostí medzi odtokom a jeho podmieňujúcimi činiteľmi, medzi nimi aj charakteristikami klímy. Často sa vychádza zo systémovej paradigmy, v rámci ktorej sa tieto charakteristiky považujú za vstupnú veličinu modelu hydrologického systému, čo umožňuje určovať zmeny odtoku v dôsledku zmien vstupov do modelu, resp. aj jeho parametrov podľa vzťahu :

$$Q = H(T, P, R), \quad (1.1)$$

kde :

Q - odtok, T - teplota vzduchu, P - zrážky, R - fyzicko - geografické parametre prostredia a H -systémový operátor. Ako systémový operátor sa najčastejšie používa hydrologický bilančný model, ale uplatnenie našli aj iné druhy hydrologických modelov.

2.1 ANALÝZA ČASOVÝCH RADOV HYDROLOGICKÝCH VELIČÍN PRE INDIKOVANIE ZMENY PODMIENOK TVORBY ODTOKU

V tejto časti sa zameriame na práce z posledného obdobia, ktoré sa dotýkajú nášho regiónu. Vychádzali sme pritom hlavne z niekoľkých regionálnych stretnutí odborníkov najmä z podunajských krajín a z prác riešených v rámci Národného klimatického programu SR. Nezaujímalí sme sa primárne o použité metodické postupy, ale o to, ktoré hydrologické veličiny boli analyzované. Na záver uvádzame niekoľko prác aj z iných regiónov, lebo prezentujú zaujímavé metodické postupy, ktoré by mohli nájsť uplatnenie aj v našich podmienkach.

Dobry prehľad o metódach a výsledkoch analýzy rôznych časových radov s aplikáciami aj zo strednej Európy uvádzajú napr. Brázdil (1990), Brázdil (1991), Sevruck a Lapin (1993).

Bonacci a Denič (1993) použili rôzne štatistické metódy na hľadanie zmien v dlhých časových radoch troch zrážkomerných staníc v Chorvátsku s dôrazom na analýzu sucha. Konštatovali, že došlo ku klesajúcemu trendu zrážok v najmä posledných štrnástich rokoch, k prerozdeleniu zrážok vnútri roka a k zmenám v cyklónálnej činnosti. Nepredpokladali priamu spojitost týchto zmien so zmenou klímy, keďže v radoch nenašli potvrdenie pre niektoré tézy, ako je napr. s nimi spájaný rast úhrnov zimných zrážok. Z porovnaní s výsledkami iných štúdií zistili, že fenomén sucha nie je v regióne neobvyklý. Volajú však po ďalších analýzach a používaní nových metód.

Brůžek (1993, 1995) analyzoval dlhodobé trendy v rôznych časových radoch a možné extraterestriálne vplyvy na klímu. Existenciu trendov považuje u nás za preukázanú a pripisuje ich kolísaniu klímy aj v spojitosti s cyklami slnečnej aktivity bez príspevku antropogénneho faktora.

Brázdil et al. (1994) analyzovali sezónne a ročné kolísania teplotných a zrážkových radov a hodnôt trvania slnečného svitu a oblačnosti v ôsmich poľnohospodársky významných regiónoch Poľska, Česka, Maďarska a Grécka. Skúmali priestorové korelácie, lineárne a kubické trendy a krátkodobé kolísania. Analyzovali regionálne odlišnosti. Štatisticky významné trendy zistili len pri jarnej teplote vzduchu v ČR (rast), letnej teplote vzduchu v Poľsku a Maďarsku (pokles). Len vo vzácnych prípadoch detekovali významný lineárny trend ostatných prvkov.

Přenosilová (1994) skúmala rady priemernej ročnej a mesačnej teploty vzduchu v štyroch meteorologických staniciach a rady priemerných ročných v ôsmich vodomerných staniciach. Cieľom bolo prípadne odhaliť významnejšie korelačné vzťahy medzi teplotou vzduchu a prietokmi, ktoré sú súhrnom filtrovaných informácií o klimatických podmienkach. 10-ročné kľzavé priemery ukázali ako kladné, tak záporné trendy pri priemernej ročnej teplote vzduchu, krížová korelačná analýza neodhalila významnejšie korelácie medzi teplotou vzduchu a prietokmi. Autorka uvádza možnosť využitia korelácie medzi teplotou vzduchu a prietokmi pre tvorbu scenárov prietokových zmien v zimnom období, ale nie vo vegetačnom období.

Koppány a Csikász (1994) skúmali tzv. Pálaiho index aridity na charakterizovanie sucha na rovinách v Maďarsku z obdobia 1901 až 1993. Od roku 1953 do 1992 považujú trend indexu za pozitívny (rast aridity). Trendová analýza poukázala aj na (slabú) možnosť predpovedania sucha. Skúmali preto aj väzbu indexu na globálne charakteristiky klímy.

Mika et al. (1994) skúmali časové a priestorové rozdelenie tzv. Palmerovho indexu aridity a tzv. Z indexu sucha na území Poľska, Česka, Maďarska a Grécka. Podľa nich Z index charakterizuje perzistenciu a Palmerov index extremitu sucha. Používali faktorovú analýzu a pokúšali sa aj analyzovať časové rady indexov v rámci Box - Jenkinsových modelov. Výsledky analýzy regionálne interpretovali.

Šanta (1994) upozornil na problematiku sucha v poľnohospodárskych oblastiach Slovenska, ktoré spôsobili zníženie úrod v rozsahu 20 až 30 %. Na základe analýzy dlhodobého priebehu zrážok uvádza existenciu vlhového deficitu na rozlohe asi 800 000 ha pôdy.

Nemes (1995) analyzoval údaje o suchu v tomto tisícročí na území Maďarska a tiež trendy rôznych veličín v tomto storočí. Pomer ročných úhrnov zrážok k potenciálnej evapotranspirácii považuje za klesajúci, rovnako aj rad zimných zrážkových úhrnov. Frekvencia sucha má podľa neho v regióne vzrastajúcu tendenciu.

Mika (1996) sa zamerail na rad Palmerovho indexu aridity z obdobia 1881 až 1990 v mesiacoch apríl, jún a august v troch staniciach v Maďarsku, ktoré vybral pomocou faktorovej analýzy z obdobia 1951 až 1990. Popri štatistických analýzach skúmal aj možnosť, či je možné spájať regionálne sucha s globálnymi teplotnými anomáliami. Predbežné výsledky ukazovali, že túto možnosť pre územie Maďarska nebolo možné vylúčiť.

Adler a Stanciale (1993) a Stanciale a Adler (1996) sa zaoberali tendenciou k aridite na území Rumunska. Upozorňujú na miešanie antropogénnych vplyvov spôsobených zmenou využívania územia s tendenciami zmeny k suchšej klíme.

Bodri (1997) popisuje klesajúci trend zrážok na maďarských rovinách (udáva hodnotu poklesu 2 až 2,5 mm za rok) a navrhuje hľadať vysvetlenie aj v procesoch interakcie a spätnej väzby medzi zemským povrchom a atmosférou skúmaním energetickej bilancie zavlažovanej a nezavlažovanej poľnohospodárskej krajiny.

Adler et al. (1997) v rámci regionálnej analýzy sucha skúmali priemerné hodnoty zimných zrážkových úhrnov a odtoku na území Rumunska. Od roku 1969 identifikujú ich pokles a zároveň uvádzajú aj zmeny v cirkulačných pomeroch.

Dragoni et al. (1997) skúmali dlhé časové rady v strednom Taliansku a identifikovali klesajúci trend zrážok okolo 3 mm za rok a vzrast teploty vzduchu asi o 0,5 °C za sto rokov.

Koleva a Kristev (1997) upozorňujú na dôležitosť skúmania tvorby snehovej pokrývky. Identifikovali zvýšenú potrebu základných údajov o nej. Aplikovali štatistickú a trendovú analýzu.

Koleva a Boroneant (1997) skúmali v súvislosti so zmenou klímy variabilitu a výskyt maximálnych denných úhrnov zrážok v 10 staniciach v Rumunsku a Bulharsku rokoch 1931 až 1995. Nedospeli ku kauzálnej závislosti.

Analýzu regionálnych zmien režimu povodní na východných a západných svahoch Karpát na Ukrajine spolu s analýzou zmien hydrologického režimu prezentujú Manukalo et al. (1997). Dospeli k záveru, že priemerný ročný prietok má stúpajúci trend a jeho koeficient variácie klesá. Letné zrážky rastú viac ako zimné. Vzrastá priemerná zimná teplota vzduchu, ale klesá letná. Početnosť a extremita povodní vzrastá v letnom období.

Pandžič a Trninič (1997) analyzovali variabilitu ročných zrážkových úhrnov v povodí rieky Sávy z obdobia 1891 až 1990 a skúmali jej spojitosť s variabilitou priemerných ročných prietokov. Zistili dobrú

koreláciu medzi anomáliami analyzovaných parametrov a anomáliami tlaku vzduchu nad severným Atlantikom. Výsledky budú využiteľné pre downscaling výstupov z GCM v povodí Sávy.

Sosedko (1997) prezentuje dekompozíciu prietokových radov Tisy a Dnestra na obdobia vysokých a nízkych prietokov a na cyklické komponenty. Uvádza existenciu 3 až 4-ročného a 7-ročného cyklu pre vodné obdobia.

Vishnevskij (1997) skúmal dlhé hydrometeorologické rady na území Ukrajiny a Bieloruska. Uvádza zvyšovanie priemernej ročnej teploty vzduchu a najmä priemernej teploty vzduchu zimnej sezóny od roku 1945. Teplota vzduchu v mesiaci júl klesá, v dôsledku nevýrazných zmien zrážok má však odtok rastúci trend. Jarné povodne majú nižšie kulminácie a nastávajú skôr.

Majerčáková, Šedík (1994) na základe štatistickej analýzy, posúdenia spoľahlivosti a variability prietokových radov odporučili pre program klimatických zmien NKP SR využívať 36 prietokových radov z územia Slovenska. Na základe štatistickej analýzy sa potvrdila nestacionarita prietokových radov a diferencovaný stupeň zmien. Najväčší pokles priemernej vodnosti sa prejavil v južných a juhovýchodných regiónoch Slovenska, počas roka sa najviac znižovala vodnosť v novembrových radoch. Výrazné zníženie vodnosti povrchových tokov sa viaže na obdobie posledných 10 až 15 rokov.

Škoda, Turbek (1994, 1995) spracovali návrh siete hydrologických staníc povrchových vôd na monitoring zmien klímy. Výber sa robil na základe komplexného rozboru vzniku, vývoja a súčasného stavu celej siete povrchových vôd na Slovensku. Autori odporučili 23 vodomerných staníc s dlhými prietokovými radmi vhodnými na monitorovanie klimatických zmien. Pri riešení NKP SR nevyklúčujú však ani využitie radov kratších.

Pórová, Demeterová, Podolinská, Škoda (1996) porovnali dlhodobé prietokové charakteristiky referenčného obdobia 1931 až 1980 s charakteristikami za obdobie pozorovania do roku 1995 a za následné pätnásťročné obdobie 1981 až 1995. Pre analýzu zvolili 25 vodomerných staníc s pozorovaním od roku 1931. Výsledky nedovoľujú jednoznačne konštatovať, či je v súčasnosti nevyhnutné meniť referenčné obdobia a základné hydrologické charakteristiky.

Mosný (1994) sa zaoberal trendovou analýzou časových radov zrážok a prietokov v povodí horného Hrona po Banskú Bystricu. Zmeny zrážok a prietokov v modelovom regióne považoval za preukázateľné.

Szolgay, Hlavčová, Mosný (1995) hodnotili vývoj prvkov vodnej bilancie na území východného Slovenska. Z výsledkov trendovej analýzy zrážok, teploty vzduchu a odtoku vyplýva, že najvýznamnejšie zmeny vykazujú prietoky, oveľa menšie (niekoľkonásobne) sú zmeny teploty vzduchu a zrážok. Z časovo-priestorovej synchrónnosti výskytu suchých a vodných rokov vyplynul predpoklad, že extrémne podmienky (napríklad hydrologické sucha) sa budú viazať na región celoplošne a v predĺžených trvaniach (v porovnaní s minulosťou).

Zat'ko, Trizna (1993, 1994), Zat'ko et al. (1996) použili na identifikáciu zmien vodnosti v povodí Turca trendovú analýzu. V tejto oblasti zaznamenali pokles priemerných ročných a mesačných prietokov a prevažne klesajúci trend minimálnych prietokov. Analýza priemerných ročných, mesačných a týždenných úrovní hladiny podzemnej vody v lokalitách so systematickým pozorovaním v rokoch 1961 až 1993 potvrdila znižovanie hladiny podzemnej vody v posledných 10 až 15 rokoch.

Fendeková (1994, 1995) analyzovala regionálne zmeny režimu podzemných vôd v prostredí flyša, v centrálno-karpatskom paleogéne a v oblastiach neovulkanických hornín na Slovensku. Posudzovala základné štatistické charakteristiky výdatností prameňov a ich zmeny, analyzovala vývojové trendy za celé obdobie pozorovania aj obdobie poslednej teplej periódy (1988 až 1993) a vytypovala pramene s najvýznamnejšími prejavmi trendových zmien. Ukazuje sa, že najvýznamnejšie poklesové trendy sa prejavujú na východnom, juhovýchodnom a južnom Slovensku.

Gavurník, Kullman, Sadloňová (1994), Kullman, Slamka, Gavurník (1995) posudzovali zmeny hydrologického režimu výdatností prameňov v jadrových pohoriach Slovenska. Vybrané pozorovacie rady prameňov boli štatisticky spracované a posudzované z hľadiska homogenity. Následne sa na vybraných radoch meraní prameňov analyzovali trendy a ich zmeny za celé pozorovacie obdobia a za obdobie 1988 až 1994. Poklesový trend sa za celé obdobie pozorovania do roku 1993 prejavil z 32 hodnotených prameňov pri 27 prameňoch.

Takáčová (1995, 1996) zhodnotila dlhodobý vývoj stavov hladín podzemných vôd a výdatností prameňov pre povodie Hrona. Výsledky štatistického zhodnotenia potvrdili klesajúcu tendenciu stavov hladín podzemných vôd a výdatností prameňov od 60. rokov. Najnižšie hodnoty stavov hladín a výdatností prameňov za celé pozorovacie obdobie boli dosiahnuté v roku 1993.

Šuba (1994) hodnotil pokles výdatností prameňov, resp. znižovanie hladín podzemných vôd v niektorých oblastiach Slovenska oproti hodnotám, s ktorými sa uvažovalo pri výpočte využiteľných zásob podzemných vôd. Zníženie schválených zásob odhadol v kategórii B asi o 8%, v kategórii C1 o 9 až 11 %.

Z metodického hľadiska navrhujú nové postupy Lobanova a Lobanov (1996), Lobanov (1997), ktorí vyvíjajú novú metodiku na dekompozíciu hydrologických časových radov na homogénne komponenty, tak aby vedeli zrušiť predpoklad stacionarity v doterajších prístupoch vo vodohospodárskom plánovaní.

Ďalším prvkom, ktorý sa objavuje vo viacerých kontextoch, je vytváranie časových radov priamo nameraných hydrologických veličín pomocou matematických modelov a ich analýza.

Dunkel (1994) pomocou jednoduchého matematického modelu vytvoril dlhé rady vlhkosti v metrovej hornej vrstve pôdy s uvažovaním pestovania kukurice z dlhých meteorologických radov. Túto hodnotu považoval za integrálnu charakteristiku sucha a podrobil ju štatistickej analýze. Nedospel k jednoznačným výsledkom. Opakovaný výskyt sucha v Maďarsku nepovažuje za abnormálny jav a nenašiel systematické zmeny v modelových radoch. Smernice lineárneho trendu vo väčšine staníc boli záporné, no upozornil na existenciu podobnej situácie v minulom storočí.

Bae a Georgakos (1994) a Georgakos a Bae (1994) považujú za potrebné študovať aj prirodzenú variabilitu hydrologických veličín v regionálnej mierke. Venovali sa modelovaniu hydrologickej bilancie v povodí rieky Upper Des Moines pomocou kombinovaného hydrologicko-hydraulického modelu s cieľom získať simulované rady vlhkosti vody v pôde na územiach o ploche asi 2 000 až 3 500 km². Tieto údaje potom podrobili priestorovo - časovej analýze. Z metodického hľadiska je zaujímavý podrobný popis použitých postupov. Uvádzajú, že kým vlhkosť v hornej vrstve pôdy je perzistentná počas sezóny, vlhkosť spodnej vrstvy až niekoľko sezón.

Wateren-deHoog (1995) zvolila za indikátor klimatickej zmeny čiaru prekročenia priemerných denných prietokov. Navrhla jej matematickú parametrizáciu pomocou jednoduchého vzťahu, ktorého chovanie študovala vo vlhkých a suchých obdobiach, teplých a studených obdobiach v povodí Loire. Dospela k názoru, že v daných podmienkach má na zmeny odtoku teplota vzduchu menší vplyv než zrážky.

McCabe a Hay (1995) skúmali citlivosť niektorých testov na detekciu trendov v povodí East River v štáte Colorado nasledovne. Za predpokladu lineárneho prírastku radu priemernej ročnej teploty vzduchu a ročných úhrnov zrážok podľa inkrementálneho scenára zmeny klímy, normálneho rozdelenia týchto veličín a nezávislosti ich hodnôt generovali 100 až 150 ročné rady zrážok a teploty vzduchu s uvážením trendov. Tieto rady transformovali na rady priemerných ročných prietokov pomocou regresných vzťahov získaných zo vzťahu medzi odtokom, zrážkami a teplotou vzduchu z impaktnej štúdie na tom istom povodí. Uvádzajú, že pri vzraste dlhodobej priemernej ročnej teploty vzduchu o 4 °C a poklesu dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok o 20 % za 100 rokov mali iba 50-percentnú šancu detekovať trend po 80 až 90 rokoch simulácie na hranici významnosti 95 %. Tým dokumentujú maskujúci vplyv prirodzenej variability na možnosť detekovať zmeny v časových radoch.

Z hľadiska analyzovaných časových radov sa zdá, že v okolitých krajinách sa v poslednom období veľa pozornosti venuje hydrologickému a meteorologickému suchu. Táto problematika v našej literatúre nie je často zastúpená, pričom sme sa nezúčastnili ani regionálnej analýzy, ktorá pokryla susedné krajiny. Väčšia pozornosť sa tiež venuje analýze snehovej pokrývky a možným zmenám cirkulačných pomerov a ich spojitosti s lokálnou, resp. regionálnou klímou. Slabo bola však v študovanej literatúre zastúpená problematika analýzy premenlivosti extrémnych javov. Z hľadiska výsledkov sú výpovede analýz často protirečivé.

Klemeš (1980, 1982, 1983) viackrát upozorňoval na teoretické a praktické zložitosti odhadu zmeny klímy na hydrologický režim a vodné hospodárstvo. Upozornil, že pre seriózny odhad impaktov potrebujeme nielen odhad zmien priemerných hodnôt vstupov do výpočtov, ale aj ich variability, resp. vlastností stochastických procesov, ktoré tieto veličiny tvoria. Naše vedomosti o stochastických vlastnostiach odtoku nepovažoval za dostatočné najmä pre relatívnu krátkosť časových radov, ktoré máme k dispozícii a absenciu matematických metód, ktoré by umožňovali robiť závery z krátkych radov pozorovaní. Podľa neho tým nemáme k dispozícii ani porovnávaci etalón pre analýzu zmeny stochastických vlastností hydrometeorologických časových radov.

Domnievame sa, že tento druh analýz je z hľadiska vodného hospodárstva veľmi cenný najmä pri odhaľovaní regionálnych zákonitostí v kolísaní klimatických a hydrologických prvkov, ich vzájomných súvislostí, spojitosti s cirkulačnými pomermi ako podklad pre vývoj modelov počasia a pod. Môžu tak slúžiť pre rôzne vodohospodárske a impaktové štúdie, pri odhaľovaní nehomogenity v časových radoch a pod. Ich užitočnosť pre identifikáciu a dokumentovanie možných zmien klímy je ale obmedzená a mali by mať skôr podpornú funkciu pri overovaní výsledkov modelových experimentov. Spolu s geoštatistickými metódami by však nemali absentovať v našej hydrologickej literatúre. Očakávame, že sa v tejto oblasti uplatnia aj nové metódy z matematickej štatistiky zamerané na analýzy časového a priestorového kolísania hydrometeorologických javov, ktoré budú potrebné pri vyvíjaní rozhraní medzi klimatickými a

hydrologickými modelmi. Takisto by bolo potrebné oživiť regionálne štúdie presahujúce hranice jednotlivých krajín a zameriavajúce sa na analýzu časovej a priestorovej variability hydrologického sucha, zmenu cirkulačných pomerov, vývoja snehovej pokrývky a extrémnych hydrometeorologických a hydrologických situácií. Ich úspešná aplikácia a interpretácia však súvisí aj s dostupnosťou kvalitných podkladových údajov. Vyžiada si aj dostupnosť meta údajov o údajoch, zvýšenú pozornosť venovanú metodologickej korektnosti pri aplikácii štatistických postupov a následnej interpretácii výsledkov.

2.2 VYUŽITIE POZNATKOV O ZMENE KLÍMY MINULÝCH OBDOBÍ PRE ODHAD BUDÚCEHO REŽIMU ODTOKU

Aplikácie tejto metodiky sú v našej hydrologickej literatúre vzácne.

Busarova a Gusev (1994) použili scenáre založené na klíme holocénu pre odhad možných zmien evapotranspirácie a dostupnej vlhky pre vegetáciu v európskej časti Ruska. Výsledky prezentujú vo forme izočiari, rátajú pritom so vzrastom evapotranspirácie o 20 až 30 % a poklesom dostupnosti pôdnej vody pre vegetáciu.

Bálint et al. (1996) pri downscalingu klimatických scenárov kombinovali generátor počasia s analógovým scenárom. Pri porovnávaní očakávaných zmien s existujúcim stavom predpokladali, že súčasná klíma v oblasti Segedína zodpovedá budúcej v oblasti Miškovca. Generátor počasia pre Miškovec vychádzal so štatistických charakteristík počasia v Segedíne.

Benický (1996) nastoľuje možnosť vzťahu medzi vulkanickou činnosťou a kolísaním charakteristík klímy.

V rámci regionálnej analýzy sucha identifikovali Gavrilitsa a Branza (1997) 137 such za posledných tisíc rokov. Od 19. storočia sa ich frekvencia zvyšuje, v posledných 90 rokoch popísali 47 dlhých a veľkých období sucha. Ako dôvody uvádzajú klimatické faktory a znižovanie plochy lesa, odvodnenie močiarov a zvyšovanie poľnohospodárskej pôdy.

I keď uvedená oblasť výskumu nie je nesporne potrebná pre štúdium dlhodobého kolísania odtoku a jeho spätosti s klimatickým systémom, našej súčasnej hydrológii chýbajú ako tradície, tak aj ľudské a finančné zdroje pre podobné štúdie, vyžadujúce dlhodobú systematickú prácu s archívnym materiálom a interdisciplinárnu spoluprácu. Preto nepredpokladáme v tejto oblasti zvýšenú aktivitu, prípadne prielom. Predpokladáme, že zdrojom informácií aj naďalej budú práce regionálneho charakteru v literatúre okolitých krajín.

2.3 VYUŽÍVANIE ZÁVISLOSTÍ MEDZI ODTOKOM A JEHO PODMIEŇUJÚCIMI ČINITELMI PRE URČENIE MOŽNEJ ZMENY ODTOKU V DÔSLEDKU ZMIEN KLÍMY

V tejto časti sa zameriavame na literatúru popisujúcu používanie rozmanitých druhov hydrologických modelov v impaktných štúdiách v rámci načrtnutej všeobecnej metodiky. Naša pozornosť je venovaná metodike (použitým scenárom, spôsobu ich zohľadnenia pri skúmaní impaktu, použitým modelom) a výsledkom z tých oblastí, ktoré môžu byť považované za smerodajné aj pre naše podmienky.

2.3.1 Scenáre používané v impaktných štúdiách zmien odtoku

Zmeny vstupov (najmä teploty vzduchu a zrážok, ale aj iné veličiny) sa do hydrologických modelov v načrtnutej všeobecnej metodike uvažujú najmä týmito spôsobmi :

- použitím scenárov zmeny klímy získaných analógiou z minulých teplých období,
- pomocou inkrementálnych zmien vstupných veličín (tento spôsob, na rozdiel od ostatných, nevedie ku vzájomne konzistentným zmenám vstupných veličín, ale k matici vzájomne nezávislých možností zmeny klímy umožňujúcich citlivosťnú analýzu zmien odtoku),
- použitím výstupov priamo z modelov globálnej cirkulácie atmosféry (GCM),
- použitím scenárov vychádzajúcich z modelov globálnej cirkulácie a upravených na základe regionálnych zákonitostí priestorového rozloženia klimatických charakteristík (tzv. regionálny downscaling),

- použitím scenárov odvodených z údajov GCM a závislostí medzi charakteristikami klímy a cirkulačných pomerov v atmosfére aj s použitím tzv. stochastických modelov počasia (tzv. meteorologický downscaling).

Teoretickú základňu downscalingu výstupov z globálnych cirkulačných modelov tvorí aj veľké množstvo prác, ktoré vznikli v poslednom desaťročí a ktoré sa zaoberajú analýzou a simuláciou procesov na rozhraní atmosféry a zemského povrchu s rozmanitými časovými a priestorovými mierkami. Úplný prehľad o tu nich nie je možné poskytnúť. Využívajú sa pritom aj údaje z diaľkového prieskumu Zeme. Mnohé práce vychádzajú z výsledkov veľkoplošných poľných experimentov. Táto oblasť priniesla aj početné aplikácie geoštatistických metód do hydrológie, resp. hydrometeorológie.

Prehľad o výsledkoch v oblasti veľkoplošných experimentov uvádza Kustas (1995), v oblasti diaľkového prieskumu Engman (1995), v oblasti interakcií atmosféry a zemského povrchu vrátane globálnych cirkulačných modelov Entakhabi (1995) a Avissar (1995). Aplikácie geoštatistických metód popisuje Kitanidis (1995) a modelovanie a predpovede zrážok Foufoula-Georgiu a Krajewski (1995). Stručný prehľad o stochastických modeloch (niekedy tiež nazývaných ako generátory počasia) počasia uvádza napr. Dubrovský (1995). Bárdossy a Duckstein (1996) zhŕňajú výsledky množstva prác (medzi nimi aj vlastných) v oblasti downscalingu. Shrestha (1996) uvádza celkový prehľad o rizikách spojených s používaním rôznych metód pre určovania vplyvu klimatickej zmeny, pričom stručne charakterizuje aj metódy downscalingu.

Ďalej všimneme niekoľko prác z posledného obdobia, ktoré by z metodického hľadiska mohli nájsť aplikáciu aj v našich podmienkach.

Wilby et al. (1994) overovali možnosť downscalingu pomocou spojeného atmosférického a hydrologického modelu. Analyzovali spojitosť denných zrážkových úhrnov z dvadsaťročného obdobia s Lambovou klasifikáciou typov počasia nad Britskými ostrovmi. Kvalitu odvodeného stochastického modelu počasia z tejto závislosti overili na zrážkovo - odtokovom modeli vyhodnotením simulovaného počasia a odtoku zároveň.

Widinger et al. (1993) skúmali možnosť typizovať denné cirkulačné HB situácie a pomocou klastrovej analýzy ich agregovať do mesačných tried cirkulačných typov. Na tieto viazali, na základe štatistickej analýzy, variabilitu prvkov hydrologickej bilancie v oblasti jazera Balaton. Predpokladaná zmena mesačných situácií, v dôsledku klimatickej zmeny vychádzajúca z modelov GCM, umožňuje potom vytvárať pomocou stochastického modelu počasia časové rady prvkov hydrologickej bilancie a následne modelovať zmeny vodnej bilancie jazera.

Dobi a Mika (1995) opisujú práce na zdokonalení stochastického modelu počasia pracujúceho s denným krokom pre výpočet priemernej dennej teploty vzduchu, denného úhrnu zrážok a trvania slnečného svitu pre potreby downscalingu globálnych scenárov na regionálne a lokálne zmeny počasia. Upozorňujú na možnosť a potrebu zahrnutia ďalších hydrometeorologických prvkov medzi výstupy stochastického modelu počasia.

Sept et al. (1995) uvádzajú metódu na modelovanie búrok pre určovanie vplyvu klimatickej zmeny na režim povodní. Dubrovský (1995) a Olecka (1995) uvádzajú stochastický generátor počasia vhodný pre simulovanie zmeny klímy na produkciu biomasy. Giesse a Bárdossy (1997) skúmali metódy priestorovej korelácie pre odhad a simuláciu priestorového úhrnu zrážok.

Zaujímavú aplikáciu downscalingu uvádzajú Corte-Real a Campos (1997), ktorí aplikovali pôvodnú Svanidzeho metódu fragmentov v Shrikanthanovej modifikácii na disagregáciu radu ročných zrážkových úhrnov na mesačné a denné hodnoty.

Bouraoui a Vachaud (1997) uvádzajú disagregáciu výstupov z GCM pomocou tzv. generátora počasia, ktorý je založený na štatistických závislostiach medzi počasím a globálnymi klimatickými charakteristikami. Klimatický baseline scenár pre zrážky a potenciálnu evapotranspiráciu získavajú z meraných pozemných údajov. Generované rady použili ako vstupy do hydrologického modelu s rozčlenenými parametrami pre rôzne klimatické scenáre.

Mierlo (1997) modeluje pomocou stochastického generátora počasia denné zrážkové úhrny ako proces spojený s atmosférickou cirkuláciou pomocou podmienených pravdepodobností. Teplotu vzduchu modeluje jednoduchým autoregresným modelom v závislosti od atmosférickej cirkulácie a lokálnych zrážok.

Mika a Bálint (1997) zdokonalili viacúrovňovú schému pre downscaling klimatických scenárov, ktorú predstavil Mika (1994). Štatistickou metódou spájajú globálne zmeny teploty vzduchu s regionálnymi zmenami klimatických prvkov. Regionálnym modelom vodnej a energetickej bilancie interpretujú a dopĺňajú výsledky štatistickej analýzy chodu počasia. Pomocou geografickej analógie disagregujú sezónne hodnoty v čase a pomocou stochastického modelu počasia vytvárajú potom časové rady denného počasia.

Bálint et al. (1996) pri downscalingu klimatických scenárov kombinovali generátor počasia s analógovým scenárom. Pri porovnávaní očakávaných zmien s existujúcim stavom predpokladali, že súčasná klíma v oblasti Segedína zodpovedá budúcej v oblasti Miškovca. Generátor počasia pre Miškovec vychádzal zo štatistických charakteristík počasia v Segedíne.

Serban a Corbus (1996) spracovali výstupy z rôznych GCM scenárov a po porovnaní s dlhými radmi pozorovaní si vytvorili vlastné scenáre zmien zrážok a teploty vzduchu s mesačným krokom. Mesačné scenáre disagregovali na denné rady, pričom ako vnútromesačné rozdelenie použili príslušný fragment procesu. Ku generovaniu počasia pomocou metódy fragmentov nepristúpili.

Z hľadiska aplikácií v našej hydrologickej literatúre treba konštatovať, že sa popri inkrementálnych scenároch, priamych používaní výstupov z GCM, analógových scenárov z teplých období a scenárov GCM upravených regionálnym downscalingom (Lapin et al., 1995) prakticky neuplatnili stochastické modely počasia. Súvisí to zrejme so slabou aktivitou vo výskume v oblasti interakcií atmosféry a hydrosféry a spájania modelov atmosféry a hydrosféry. Uplatnili sa tak teoreticky menej náročné jednoduchšie a rýchlo aplikovateľné postupy. Domnievame sa, že z hľadiska interpretácie výstupov GCM bude v budúcnosti nutné pristúpiť k aplikácii metód downscalingu scenárov GCM nielen preto, že sa uplatňujú už aj v okolitých krajinách, ale aj vzhľadom na možné zmeny v cirkulačných pomeroch nad naším územím, resp. v celej oblasti strednej južnej Európy, ktoré sa čoraz častejšie považujú za realitu.

2.3.2 Metodické postupy používajúce hydrologické modely v impaktných štúdiách

V impaktných štúdiách je možné uplatniť rozmanité druhy hydrologických modelov. Počet ich aplikácií je rozsiahly a je mimo cieľov tejto štúdie poskytnúť o nich podrobný a ucelený prehľad. Uvedené postupy sa často používajú v menších pilotných povodiach, ktoré sa považujú za charakteristické pre isté regióny. Zovšeobecnenie výsledkov pre región sa uvádza niekedy ako upscaling.

Prehľad aplikácií takéhoto postupu spolu so súhrnom použitých scenárov a dosiahnutých výsledkov uvádzajú Kuhn et al. (1993) pre práce do roku 1989, Přenosilová (1994) pre práce do roku 1991 a Kaczmarek et al. (1996) pre práce do roku 1993, ďalej tiež Gleick (1990), Leavesley (1994), Loigaicega et al. (1996). Da Cunha (1989) uvádza prehľad o výsledkoch dosiahnutých v krajinách EÚ, Dooge (1991) zhrňa výsledky Svetového klimatického programu WCIP. Rowentree a Lean (1994) upozorňujú na problematiku parametrizácie premenlivosti priestorových vlastností fyzicko - geografického prostredia v jednoduchých hydrologických modeloch pre vytváranie rozhrania medzi GCM a zemským povrchom. Grabs (1997) popisuje používanie takejto metodológie v celom povodí Rýna.

Mimikou a Kouvopoulos (1991) skúmali odtok z povodia v horskej oblasti Grécka s výskytom snehovej pokrývky. Používali inkrementálne scenáre, scenáre GCM odmietli vzhľadom na problematický downscaling vyplývajúci z veľkej prirodzenej priestorovej variability podmienok tvorby odtoku. Dospeli k záveru, že v povodiach s dobrou akumuláčnou schopnosťou budú zmeny väčšie než v povodiach bez nej. Očakávajú celkový pokles odtoku (a letného zvlášť), nárast zimného odtoku a nárast maximálneho odtoku. Snehovú pokrývku považujú za rozhodujúci faktor pri určovaní vplyvu klimatickej zmeny na odtok. V tejto súvislosti upozorňujú na vplyv orografie na celkový výsledok.

Panagoulia (1991) skúmala pomocou hydrologického modelu Národnej služby počasia USA vplyv inkrementálnych zmien teploty vzduchu (+1, +2 a +4 °C) a zrážok (± 20 , 10 a 0 %) na rozdelenie odtoku zo snehu a rozdelenie odtoku v roku. Model pracoval s denným časovým krokom, použila 15 rokov simulácie. Scenáre zaviedla do modelu proporcionálnou zmenou denných hodnôt vstupov podľa scenárov. Výsledky boli hodnotené ako mesačné priemery a úhrny. V diskusii upozorňuje na neistoty použitého metodického postupu. Pri uvedenom spôsobe zavádzania scenárov zmeny do výpočtu sa nezmenil koeficient variácie vstupných radov, ďalej sa v štúdiu parametre modelu nemenili vo funkcii klimatickej zmeny (hoci parametre submodelu pôdnej vlhkosti by sa mali meniť) a bolo zložité zohľadniť možné zmeny vo vegetačnej pokrývke. Výsledkom simulácií bol pokles akumulácie snehu v povodí, vzrast objemu jarného a pokles letného odtoku, vzrast vlhkosti pôdy v zime a jej pokles v lete.

McCabe a Hay (1995) použili odtokový model USGS v rámci uvedenej metodiky vplyvu klimatickej zmeny na odtok s denným časovým krokom v štáte Colorado na rieke East River. Použili denný časový krok výpočtu a inkrementálne scenáre s mesačným a ročným rozlíšením, pričom denné hodnoty zrážok a teploty vzduchu zmenili proporcionálne pomocou mesačného scenára pri zachovaní scenára na mesačnej úrovni. Uvádzajú, že citlivosť zmeny odtoku je vyššia na zmeny zrážok ako na zmeny teploty vzduchu, ktoré sú zase rozhodujúce pre zmenu vnútroročného rozdelenia odtoku.

Cooper et al. (1995) predstavili zjednodušený matematický model interakcie vodného toku a podzemných vôd. Metodika vychádza z jeho kalibrácie s denným časovým krokom na údajoch zrážok a potenciálnej evapotranspirácie z tridsaťročného obdobia. Prítok do podzemných vôd simulovali modelom

hydrologickej bilancie pôdneho profilu. Kalibrácia parametrov zohľadňovala aj prietoky v tokoch. Pri zmene vstupov do modelu v dôsledku očakávanej klimatickej zmeny vychádzali z britských GCM scenárov. Potenciálnu evapotranspiráciu odhadovali podľa Penmana a Montheita v dvoch alternatívach. Prvá zohľadňovala iba vzrast teploty vzduchu, druhá aj odhady nožnej zmeny vlhkosti vzduchu, rýchlosti vetra a radiácie v dôsledku klimatickej zmeny. Model odporúčajú do rôznych klimatických podmienok.

Bálint et al. (1996) použili downscaling scenárov GCM pomocou stochastického generátora počasia odvodeného v Mika (1994) a Mika et al. (1997) spolu s modelom GAPI pre simuláciu zmien odtoku s dôrazom na skúmanie možných zmien odtoku zo snehu v povodí rieky Slaná s dôrazom na odtok zo snehu. Očakávajú vzrast objemu jarného odtoku, zvýšenie kulminálnych prietokov jednovrcholovej jarnej povodne a zmiešaných povodní, v prípade viacnásobných jarných povodní vzrast kulminácie prvej vlny a pokles ostatných vrcholových prietokov. V sezónnom rozdelení odtoku sa podľa nich mierne zvýšia prietoky v zime a stratí sa októbrové zvýšenie prietokov. Celoročný objem odtoku sa zníži o 8 %.

Serban a Corbus (1996) použili model VIDRA s denným krokom v experimentálnom povodí Praha (204 km²), pričom scenáre určili downscalingom už vyššie popísaným spôsobom. Predpokladajú zvýšenie evapotranspirácie najmä v letnom období, redukciu výšky a trvania snehovej pokrývky, pokles dlhodobého priemerného odtoku o 10 až 20 %, skorší nástup jarných povodní a pokles počtu zmiešaných povodní, zníženie pôdnej vlhkosti a zníženie minimálnych prietokov.

Dvořák a Hladný (1995) uvádzajú prehľad o aplikáciách matematických modelov BILAN, CLIRUN a Sacramento v ČR použitím inkrementálnych a GCM scenárov. Celkovo sa výsledky jednotlivých modelov veľmi nelíšili. Predpokladajú tendenciu k poklesu odtoku, sezónny posun v rozdelení odtoku smerom k zimnej sezóne a rozdielnú citlivosť jednotlivých povodí na zmenu.

Blázková a Beven (1995) skúmali problematiku klimatickej variability a rozdelenia jednotlivých fáz odtoku v povodí pomocou frekvenčnej verzie TOPMODELU.

Buchtele et al. (1995) použili hydrologický model Sacramento so scenármi z rôznych GCM. Skúmali pritom aj citlivosť simulovaných radov v povodí Labe na zmeny vstupných hodnôt. Pozorovali posun jarného maxima vodnosti smerom k počiatku roka. Upozorňujú na možnú zmenu režimu povodní. Nevylučujú možnosť vzrastu kulminálnych prietokov v zime a ich výskyt mimo obvyklých období.

Buchtele et al. (1996) skúmali citlivosť modelovanej evapotranspirácie pomocou modelu BROOK 90 na zmeny teploty vzduchu na experimentálnom povodí UH AVČR na Šumave. Výsledky použili aj ako porovnávací etalón v ďalších experimentoch s modelom Sacramento. Tento tiež použili na štúdium impaktu podľa scenárov GCM UKHI a UKTR. Ako najmarkantnejšiu zmenu režimu odtoku uvádzajú posun v ročnom odtokovom cykle so znížením letných a jesenných minimálnych prietokov.

Kašpárek a Kněžek (1996) použili model BILAN s mesačným časovým krokom v 11 povodiach v oblasti horného Labe s plochou povodia od 50 do 300 km² a ročnými úhrnmi zrážok v intervale od 700 do 1300 mm s údajmi z obdobia 1961 až 1990. Metodika riešenia sledovala klasickú schému, pričom použili inkrementálne scenáre pre oteplenie o 2 °C a ± 10 , 5 a 0 percentnú zmenu zrážok so zohľadnením nerovnomerného rozdelenia týchto hodnôt vnútri roka. Okrem toho uvažovali aj rovnovážne GCM scenáre UKHI a XCCC a tranzientný scenár UKTR. Pri modeloch GCM sa neprejavil pokles priemerného ročného odtoku v dôsledku zvýšenia zrážok. Pri inkrementálnych scenároch sa pokles zrážok prejavil na poklese odtoku o 5 až 20 %. Uvádzajú tiež zásadnú zmenu rozdelenia odtoku v roku. Odtok sa zvýšil od novembra do marca podľa všetkých scenárov. Na jar a v lete sa odtok podľa modelov GCM nezmenil, podľa inkrementálnych scenárov poklesol. Významné zmeny nastali pri snehovej pokrývke, ktorá sa redukovala radikálne.

Dragoni et al. (1997) porovnali v uvedenom kontexte predikciu z hydrologického modelu pre rôzne scenáre a extrapoláciu trendov z dlhých časových radov, pričom klimatické scenáre poukazovali na možnosť extrémnejšieho poklesu prietokov.

V prácach týkajúcich sa nášho regiónu uvedené metodické postupy použili napr. Majerčáková, Šedík, Cagardová (1995), Majerčáková, Šedík (1996), Novák (1995), Pekárová, Halmová, Miklánek (1996), Petrovič (1996, 1997), Svoboda (1996), Szolgay et al. (1996), (1997), Halmová, Miklánek, Pekárová (1997). Dôsledkami zmien klímy na stokovanie miest a na odľahčenie dažďových vôd zo stokových sietí sa zaoberal Turčan (1996, 1997).

Majerčáková, Šedík, Cagardová (1995), Majerčáková, Šedík (1996) odvodili viacnásobný lineárny regresný model na základe závislosti odtoku z povodia od zrážok a teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu. Model bol aplikovaný na 12 povodí (od horného Váhu až po Ipeľ a povodia Slanej) a následne využitý na prognózu zmien priemerného mesačného odtoku. Použité klimatické GCM a NKP scenáre a časové horizonty 2010, 2030, 2075. Z výsledkov vyplývajú relatívne malé zmeny ročného odtoku, zmeny sezónneho odtoku sú významné. V zimnom období podľa všetkých scenárov (v severnej, strednej aj južnej

časti Slovenska) bude pravdepodobné výrazné zvýšenie odtoku. Na jar a v lete možno očakávať výrazný až veľmi výrazný pokles odtoku.

Novák (1995) modeloval zmenu prvkov hydrologickej bilancie s využitím empirických závislostí medzi ročnými hodnotami klimatických charakteristík a ročnými úhrnmi členov bilančnej rovnice. Použil scenáre GCM UKMO a OSU, výsledky prezentoval v mapovej forme.

Petrovič (1996) použil bilančný model MEHYBI s mesačným časovým krokom, odvodený z modelu DAIR (s využitím niektorých prvkov modelu WatBal) v povodí Nitry. Scenáre budúceho odtokového režimu boli odvodené na základe 5 klimatických scenárov k časovému horizontu 2030 $\pm$ 15 rokov. Z výsledkov vyplýva pokles priemerného ročného odtoku podľa všetkých scenárov zmeny klímy oproti priemeru z obdobia 1951 až 1980. Z posúdenia vnútroročného rozdelenia odtoku vyplýva nárast odtoku v zimných mesiacoch takmer podľa všetkých scenárov, zníženie odtoku od marca do septembra pre všetky scenáre a najmä výrazné zníženie vo vegetačnom období marec až júl.

Svoboda (1996) sa zaoberal posúdením očakávanej zmeny hydrologického režimu povrchových zdrojov vody v povodiach dvoch nádrží (Vihorlat a Liptovská Mara) a posúdením rozdielov týchto zmien pri použití štyroch rôznych klimatických scenárov, odvodených z GCM - GFDL, GISS, OSU, UKMO. Na riešenie zmien odtoku bol použitý zrážkovo - odtokový bilančný model s mesačným krokom vyvinutý na V.U.B. (Slobodná bruselská univerzita). Z výsledkov vyplýva pre povodie Laborca pokles priemerného ročného odtoku. Z posúdenia vnútroročného rozdelenia odtoku vyplývajú nižšie odtoky v chladnom období podľa všetkých scenárov, vyššie odtoky v letnom období podľa GISS, OSU a GFDL, nižšie odtoky po celý rok podľa UKMO. V povodí horného Váhu sa preukázal pokles priemerného ročného odtoku, nárast odtoku v chladnom období (december až marec) podľa všetkých scenárov a pokles odtoku v apríli až novembri podľa všetkých scenárov.

Szolgay et al. (1996, 1997) sa zaoberali tvorbou hydrologických scenárov zmien dlhodobého priemerného ročného špecifického odtoku pre vybrané oblasti Slovenska a scenármi rozdelenia odtoku vo vnútri roka v štyroch povodiach Slovenska. Pre odhad dlhodobého ročného špecifického odtoku sa aplikoval model Turca, ktorý vyjadruje závislosť medzi dlhodobými hodnotami odtoku a dlhodobými hodnotami teploty vzduchu a zrážok, pre odhad zmien rozdelenia odtoku vo vnútri roka použili matematický model WatBal. Boli použité klimatické scenáre CCCM, GFD3, GISS, WP A, WP B, SD A, SD B. Z výsledkov vyplýva pokles dlhodobého odtoku na celom území Slovenska, oblasti južného Slovenska budú pravdepodobne poznačené poklesom odtoku z územia viac ako severné oblasti.

V danej oblasti štúdia impaktov sa presadzujú aj matematické modely, ktoré využívajú prostredie GIS. Chen et al. (1997) skúmali vplyv klimatickej zmeny a využívania zeme (landuse) na vodné zdroje, pričom dospeli k záveru, že zvýšené nároky na závlahy v spojení so zmenou klímy môžu na juhu Francúzska negatívne ovplyvniť zásoby podzemnej vody.

Jaagus (1995) konštruoval priestorové modelu vzťahu medzi zimnou teplotou sa parametrami snehovej pokrývky v prostredí GIS.

Zaujímavé z hľadiska hydrologického režimu v lokálnej mierke sú spojené aplikácie hydrologických a fyziologických modelov. Falge et al. (1997) integrovali stanovištnú fyziológiu v lese s intercepciou, pôdnou vlhkosťou a infiltráciou. Očakávajú možnosť zvýšenej produkcie biomasy a zvýšenú infiltráciu na vlhkých miestach.

Kuhn et al. (1993) tvoria časť širšej štúdie z oblasti klimatických modelov, trendovej analýzy časových radov, modelovania odtoku, limnológie, vegetácie a skleníkového efektu pre Rakúsku akadémiu vied. V záveroch sa zameriavajú na otvorené otázky z hľadiska hydrológie snehu a vodného hospodárstva vo vysokohorských oblastiach. Navrhujú skúmať otázku, ako sa môže zmeniť početnosť snehových zrážok, a trvanie snehovej pokrývky regionálne a v roku nielen v dôsledku zmeny teploty vzduchu, ale aj v dôsledku zmeny typov počasia. Popri zmenách v ročnom chode odtoku zdôrazňujú potrebu skúmania možných zmien extrémnych hodnôt. Navrhujú aj základné metodické postupy pre riešenie.

Cohen et al. (1996) urobili prehľad o štúdiách zaoberajúcich sa vplyvom klimatickej zmeny na prvky kolobehu vody. Uvádzajú použité postupy, modely scenáre a hlavné výsledky radu štúdií o potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácii, vlhkosti pôdy, snehovej pokrývke a odtoku.

Zovšeobecnením výsledkov z rôznych klimatických zón dospeli k názoru, že potenciálna evapotranspirácia sa bude zvyšovať a za predpokladu neklesajúcich zrážok aj aktuálna. V prípade poklesu zrážok môže dôjsť aj k jej zníženiu. Vlhkosť pôdy sa bude podľa nich vo všeobecnosti znižovať aj pri raste zrážok, generalizácia však nie je celkom jednoznačne možná. V prípade odtoku sa situácia regionálne odlišuje. Záverom uvádzajú, že vplyv je potrebné študovať na lokálnej úrovni.

Klemeš a Nemec (1983) upozorňujú, že pre seriózný odhad impaktov potrebujeme nielen odhad zmien priemerných hodnôt vstupov do výpočtov, ale aj ich variability, resp. vlastností stochastických procesov, ktoré tieto veličiny tvoria. Používané hydrologické modely (tzv. fyzikálne, koncepčné a typu

black box) nepovažovali za vhodné pre simuláciu zmeny klímy najmä pre známe ťažkosti s parametrizáciou fyzicko-geografického prostredia pomocou merateľných parametrov.

Zvláštnu pozornosť je potrebné venovať mierke sledovaných procesov aj na makro, mezo a mikro úrovni. Nie je celkom doriešený problém prechodu medzi mierkou globálnych cirkulačných modelov a bežne používanými hydrologickými modelmi odtoku na úrovni povodí. Priestorová a časová agregácia odtoku je zaujímavá a dynamicky sa rozvíjajúca oblasť, ktorá má za cieľ vytvoriť aj rámec pre kalibráciu globálnych modelov, resp. umožniť downscaling ich výstupov na úroveň bežnej hydrologickej mierky. Teoretické základy z pohľadu metód gridového mapovania odtoku popisujú Gottschalk a Krasovskaja (1997), z hľadiska sledovania rôznych mierok odtokového procesu Bloeschl (1997). Douville et al. (1997) skúmali možnosť simulácie vlhkosti pôdy v rámci globálnej hydrologickej bilancie s rozlíšením jedného stupňa zemepisnej šírky a jej verifikáciu voči meraným hodnotám regionálneho odtoku.

3. PRIESTOROVÉ MODELOVANIE DÔSLEDKOV ZMENY KLÍMY NA DLHODOBÝ PRIEMERNÝ ROČNÝ ODTOK SLOVENSKA

V tejto časti štúdie sme sa zaoberali skúmaním možných zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku ako indikátora zmien teoretického potenciálu povrchových vodných zdrojov územia Slovenska. Zamerali sme sa pritom na sledovanie zmien tohto potenciálu vo vybraných výškových pásmach, ktoré svojou geografickou lokalizáciou výraznou mierou ovplyvňujú tvorbu povrchových vodných zdrojov.

Skúmali sme zmenu dlhodobého priemerného ročného odtoku v regiónoch nížin, nízkych vysočin, stredovysočin a vysokých vysočin. Pre tieto vybrané výškové pásma Slovenska sme počítali percentuálnu zmenu dlhodobého priemerného ročného odtoku pre klimatické podmienky udávané rôznymi scenármi zmeny klímy oproti reprezentatívne mu stavu charakterizovanému priestorovým rozložením hydrologických prvkov v období 1931 až 1980. Táto zmena nám potom poskytuje obraz o variete možností budúcej kapacity povrchových vodných zdrojov v týchto oblastiach a charakterizuje nám zraniteľnosť územia voči zmenám vyvolaným týmito zmenenými klimatickými podmienkami (Szolgay, et al. (1994), Szolgay et al. (1995), Szolgay, Hlavčová, Mosný (1995), Szolgay et al. (1996), Szolgay, Dzubák, Čunderlík, Parajka (1996), Szolgay, Parajka, Hlavčová (1996), Szolgay, Čunderlík, Parajka (1996), Szolgay, Hlavčová, Parajka, Čunderlík (1997), Szolgay, Hlavčová, Mosný, Parajka (1997)).

3.1 VÝBER KLIMATICKÝCH SCENÁROV

Pri zostavovaní konkrétnej množiny scenárov pre odhad dôsledkov klimatickej zmeny na odtok navrhujeme používať dva prístupy:

1. Prvý spôsob vychádza z nasledujúcich úvah. Všetky známe scenáre zmien teploty vzduchu predpokladajú oteplenie. Mieru oteplenia a jej časový priebeh udávajú rôzne. Rozhodli sme sa uvažovať alternatívy celkového oteplenia o 1, 2, a 3 °C. Považujeme ich za rovnomerne rozložené na celom území. Pri zrážkach je situácia zložitejšia. Údaje o možnom budúcom režime sú až protichodné, v rámci hydrologického riešenia nemôžeme dospieť ku konečnému rozhodnutiu. Uvažujeme preto alternatívne zmeny: -10, -5, 0, +5, +10 %. Priestorovú diferenciáciu pri zmenách zrážok neuvažujeme. Scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok nepovažujeme v tejto alternatíve v nijakej kombinácii za vnútorne konzistentné. V súlade s vyššie popísanými zásadami vznikla tak matica očakávaných zmien klimatických charakteristík, ktorá tvorí tzv. inkrementálne scenáre klimatickej zmeny. Tvorí ju 15 vybraných klimatických scenárov charakterizovaných kombináciou zmien zrážok a teploty vzduchu, ktoré sú sumarizované v tab. 3.1. Označenie scenárov v tabuľke používame na ich identifikáciu aj v ďalšom texte.
2. Druhý spôsob vychádza z rešpektovania jednotlivých scenárov vytvorených v rámci Národného klimatického programu SR. V súlade s prijatými metodickými zásadami je potom potrebné zvoliť takú množinu alternatívnych scenárov, ktoré pokrývajú rôzne možnosti budúceho vývoja. Je potrebné brať do úvahy aj možné územné rozdiely v budúcom vývoji zrážok. Pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075 uvádzajú Lapin, Nieplová a Faško (1995) dva základné druhy regionálnych scenárov zmien teploty vzduchu a zrážok pre SR. Jeden vychádza z výsledkov globálnych cirkulačných modelov CCCM, GISS a GFD3 (ďalej scenáre GCM). Scenáre zmien teploty vzduchu sú dané výstupom zo simulácie budúcej klímy príslušného modelu pre každý časový horizont a sú vnútorne konzistentné. Druhý typ scenárov tvoria scenáre, ktoré vychádzajú najmä z výsledkov NKP SR. Z nich je možné použiť rôzne scenáre, napr. scenáre WP a SD. Bližšia charakteristika týchto klimatických scenárov je v Lapin (1997). Základným predpokladom uvedených scenárov je odlišné správanie budúceho režimu zrážok na severe a juhu Slovenska. Hranicu medzi týmito oblasťami s rozdielnym režimom zrážok (Lapin et al., 1995) určili Lapin a Faško na základe citlivosti územia Slovenska na cyklónálne situácie. Južná oblasť je charakterizovaná prevládajúcim výškovým prúdením juhozápadného až juhovýchodného smeru, naopak v severnej oblasti je prevládajúce severozápadné až severné prúdenie. Hranica medzi týmito oblasťami je pre územie Slovenska znázornená na obr. 3.1.

Obidva spôsoby majú svoje výhody a nevýhody. Výsledky vypočítané prvým spôsobom nezvádzajú k tomu, aby boli považované za prognózu. Nepodliehajú pri širokej voľbe hraníc a dostatočne hustom kroku tým korekciám, ktoré sa v rámci pokroku pri práci na klimatických scenároch zákonite objavujú. Pri ich interpretácii je nutná dodatočná analýza, lebo nie sú viazané na časové horizonty a nie sú vnútorne konzistentné. Interpretácia výsledkov môže byť náročná, ak množina výsledkov pripúšťa príliš veľa smerov vývoja zmeny odtokovej situácie.

Tab. 3.1 Množina 15 vybraných klimatických scenárov charakterizovaných kombináciami vybraných scenárov zmien dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok a dlhodobej priemernej ročnej teploty vzduchu
Table 3.1 Incremental climate change scenarios set used in the study (15 combinations defining the change of the mean annual temperature in degrees °C and percentage of the change of the mean annual precipitation)

Zmeny prvkov	Zrážky -10 %	Zrážky -5 %	Zrážky +0 %	Zrážky +5 %	Zrážky -10 %
Teplota +1 °C	z -10 % t+1	z -5 % t+1	z 0 % t+1	z +5 % t+1	z +10 % t+1
Teplota +2 °C	z -10 % t+2	z -5 % t+2	z 0 % t+2	z +5 % t+2	z +10 % t+2
Teplota +3 °C	z -10 % t+3	z -5 % t+3	z 0 % t+3	z +5 % t+3	z +10 % t+3

Druhý spôsob zvädza k tomu, že každý jednotlivý scenár môže byť považovaný za prognózu k istému časovému horizontu. Scenáre podliehajú v dôsledku pokroku v klimatickom modelovaní zmenám. Zmena však prináša zväčša upresnenie scenárov. Vnútorne konzistentné scenáre sú výhodou pri interpretácii výsledkov.

3.2 VÝBER REFERENČNÝCH OBLASTÍ PRE HODNOTENIE SCENÁROV ZMIEN DLHODOBÉHO PRIEMERNÉHO ROČNÉHO ODTOKU A ZRANITELNOSTI ÚZEMIA

Pri hodnotení možných dôsledkov klimatickej zmeny na hydrologický a vodohospodársky potenciál územia Slovenska je potrebné sledovať scenáre zmien odtoku celého regiónu súčasne. Preto sme územie Slovenska rozdelili podľa delenia Lukniša (1972) na štyri výškové pásma - pásmo nížin (nadmorská výška územia do 300 m n.m.), nízkych vysočín (300 - 800 m n.m.), oblasť stredovysočín (800 - 1500 m n.m.) a oblasť vysokých vysočín (nad 1500 m n.m.). Na toto rozčlenenie sme v prostredí GIS využili digitálny model reliéfu (DEM) s rozlíšením 1x1 km. Rozloženie výškových stupňov, ich rozlohu a percentuálny pomer k celému územiu Slovenska znázorňuje obr. 3.2 a tab. 3.2

Tab. 3.2 Výškové stupne povrchu Slovenska a ich plocha (v km² a v % plochy územia SR)
Table 3.2 Elevation ranges of Slovakia's surface and their area (in km² and in percentage of total area of Slovak Republic)

Výškové pásmo	Výškový stupeň [m n.m.]	Rozloha [km ²]	Plocha kategórií [%]
Nížiny	do 300	20172	40,89 %
Nízke vysočiny	300 - 800	22652	45,92 %
Stredovysočiny	800 - 1500	6139	12,44 %
Vysoké vysočiny	1500 a viac	368	0,75 %

Nížina sa rozkladá bezmála na celom juhu Slovenska. Na západe má sklon k Dunaju, na východe k Tise. Pozdĺž riek zasahuje hlboko medzi výbežky karpatskej vysočiny. Pozdĺž Váhu ide až k Bytči, pozdĺž Nitry nad Prievidzou, pozdĺž Hrona až k Zvolenu a pozdĺž Krupinice nad Krupinu. Na východnom Slovensku vybieha pozdĺž Torysy takmer až po Sabinov. Najhlbšie záľivy nížiny vytvorila erózia veľkých zdrojnic Bodrogu. Pozdĺž Tople siaha po Bardejov, pozdĺž Ondavy až vyše Svidníka a pozdĺž Laborca takmer po Medzilaborce. Nížinu na juhu východného Slovenska spája s nížinou nad Dunajom významný nížinný koridor, ktorý sleduje Ipel', dolnú Rimavu, Slanú, dolný Hornád a Torysu (Lukniš, 1972). Všeobecne prevláda mienka, že Slovensko je hornatá krajina s veľkou prevahou vysočín. Tab. 3.2 však dokumentuje, že na území Slovenska sa nachádzajú aj rozsiahle plochy nížin (viac ako 40 %) veľmi významné najmä z poľnohospodárskeho hľadiska (Lukniš, 1972).

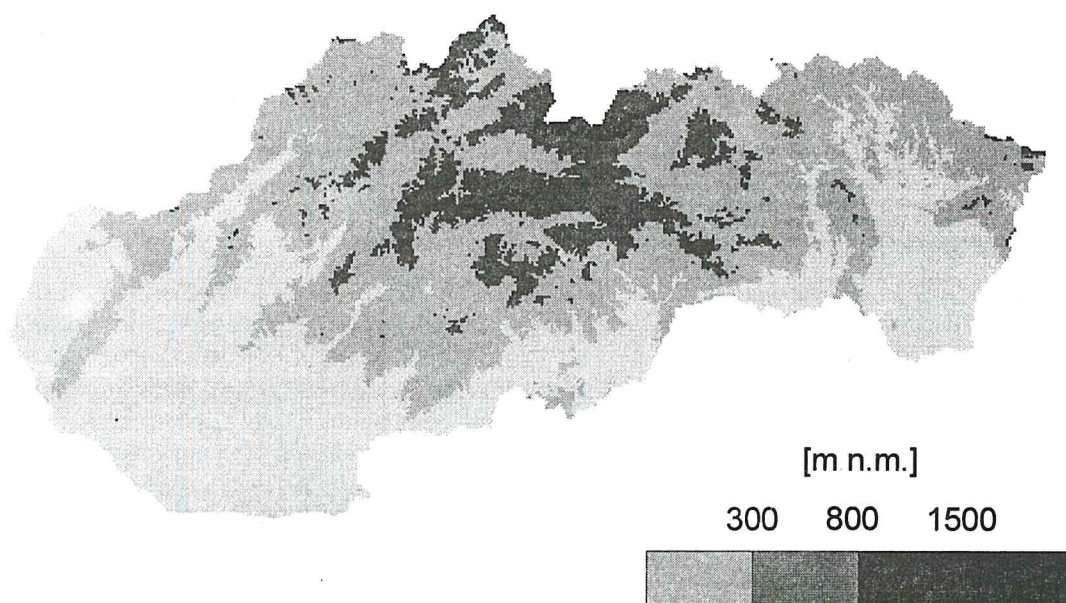
Vysočiny na území Slovenska zaberajú takmer 59 % plochy územia a sú charakteristické tým, že majú veľké výškové rozpätie. Preto ich Lukniš (1972) delí na tri kategórie (tab. 3.2 a obr. 3.2).

1. Nízke vysočiny (územia s nadmorskou výškou od 300 do 800 m n.m.) vytvárajú súvislú plochu na sever od nížin, hlavne na okrajoch vlastného horského masívu. Zaberajú asi 45 % územia Slovenska, čo je viac ako 22 000 km².
2. Stredovysočiny (800 - 1500 m n.m.) sa zoskupujú okolo jadra západokarpatskej klenby. Tu tvoria väčšiu súvislú plochu v pramennej oblasti Váhu, Hrona, Slanej, Hnilca, Hornádu a Popradu a mnoho izolovaných ostrovov, ktoré tvoria vrcholové partie našich stredohorí.



Obr. 3.1 Približná hranica medzi oblasťami s odlišným budúcim režimom zrážok na severe a juhu Slovenska podľa scenárov zmien klímy GCM a NKP (Lapin, 1995)

Fig. 3.1 Approximate boundary for different climate change impacts for the northern and southern parts of Slovakia according to GCM and NKP scenarios



Obr. 3.2 Referenčné územia (výškové pásma) pre skúmanie dôsledkov zmien klímy na území Slovenska

Fig. 3.2 Areal distribution of reference areas (elevation ranges) for climate change impact studies over the territory of Slovak Republic

3. Vysoké vysočiny (nad 1500 m n.m.) zaberajú len asi 1 % plochy Slovenska. Tvoria ich izolované ostrovy vo vrchole západokarpatskej klenby. Najväčší je ostrov Tatier, v Nízkych Tatrách a vo Veľkej Fatre sa nachádza viac malých ostrovčekov, ktoré sa zoskupujú okolo hlavných vrcholov (Kráľova hoľa, Ďumbier, Prašivá atď.). Charakteristickou vlastnosťou tohto výškového pásma je, že sa dvíha nad prirodzenú hornú hranicu lesa (Lukniš, 1972).

Poznanie výškových pomerov Slovenska má značný praktický význam. Nadmorská výška je diferenciačným faktorom polí klimatických veličín, a tým výrazne ovplyvňuje vlastnosti ostatných zložiek hydrologického cyklu. S nadmorskou výškou klesá teplota vzduchu, pribúdajú zrážky, zvyšuje sa relatívna vlhkosť vzduchu, znižuje výpar, vzrastá priemerný ročný špecifický odtok. Toto všetko rozhoduje o výškovej zónalnosti prvkov fyzicko-geografickej sféry a výrazne ovplyvňuje tvorbu odtoku a hospodárske využitie jednotlivých regiónov krajiny.

3.3 PRIESTOROVÉ MODELOVANIE PRVKOV HYDROLOGICKEJ BILANCIE

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

$$Z = O + V, \quad (3.1)$$

kde Z, O, V sú dlhodobé priemerné ročné hodnoty zrážok, odtoku a klimatického výparu.

Autorov, ktorí skúmali tento vzťah je mnoho, v súvislosti s cieľom riešenia sme v minulosti skúmali vhodnosť modelov Duba, Liebschera, Frigu, Kaczmarka, Szolgay-Parajku a Turca. Podrobnejší popis použiteľnosti jednotlivých modelov je v Parajka (1994) a Szolgay et al. (1997).

Ako vhodný model pre tvorbu hydrologických scenárov sme v týchto prácach vybrali model Turca (Turc, 1954), ktorý skúmal závislosti priemerných ročných hodnôt klimatického výparu, odtoku, zrážok a teploty vzduchu. Vychádzal zo závislosti, v ktorej priemerný ročný úhrn klimatického výparu (ET) určuje ako funkcia indexu potenciálneho výparu (EPI) a zrážok (Z) :

$$ET / EPI = f(Z / EPI). \quad (3.2)$$

Na základe tejto závislosti a údajov z 254 povodí viacerých klimatických pásiem určil klimatický výpar ako:

$$ET = \frac{Z}{\sqrt{c + \left(\frac{Z}{EPI}\right)^2}}, \quad (3.3)$$

kde ET je dlhodobá priemerná ročná hodnota klimatického výparu v [mm], Z je dlhodobý priemerný ročný úhrn zrážok v [mm]. EPI [mm] je indexom potenciálnej evapotranspirácie, ktorú Turc určuje empiricky v závislosti od dlhodobej priemernej ročnej teploty vzduchu T (°C) :

$$EPI_{TURC} = 300 + 25 T + 0,05 T^3. \quad (3.4)$$

Regionálny parameter c môže byť stanovovaný pre každé povodie na základe už poznaných hodnôt odtoku, výparu, zrážok a teploty vzduchu (Parajka, 1994). Ak nie je možnosť kalibrácie tohto parametra, Turc navrhuje použiť generalizovanú hodnotu c = 0,9.

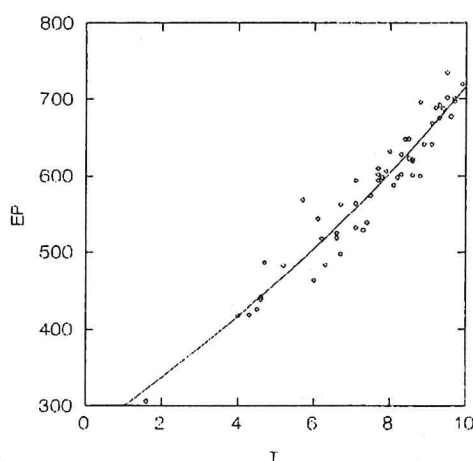
Tento model sme využili pri modelovaní priestorového rozloženia dlhodobých hodnôt priemernej ročnej evapotranspirácie. Z takto určeného priestorového modelu dlhodobého priemerného ročného výparu potom môžeme potom podľa vzťahu 3.5 vypočítať hodnoty dlhodobého priemerného ročného odtoku O v [mm] :

$$O = Z - \frac{Z}{\sqrt{c + \left(\frac{Z}{EPI}\right)^2}} \quad (3.5)$$

Pre zvýšenie priestorovej reprezentatívnosti Turcovho vzťahu pre územie Slovenska sme uvedený model viackrát v prácach Szolgay, et al. (1994), Szolgay et al. (1995), Szolgay, Hlavčová, Mosný (1995), Szolgay et al. (1996), Szolgay, Dzubák, Čunderlík, Parajka (1996), Szolgay, Parajka, Hlavčová (1996), Szolgay, Čunderlík, Parajka (1996), Szolgay, Hlavčová, Parajka, Čunderlík (1997), Szolgay, Hlavčová, Mosný, Parajka (1997) modifikovali.

Kalibráciu sme v tomto prípade uskutočnili v dvoch krokoch. V prvom sme odvodili vzťah pre určenie indexu potenciálnej evapotranspirácie (EPI_{SR}) na základe údajov o priemernej dlhodobej teplote vzduchu T a potenciálnej evapotranspirácii podľa Tomlaina (Zborník prác SHMÚ, zv. 33/I, 1991) z obdobia 1951 až 1980 v 54 staniciach Slovenska. Takto odvodená závislosť je na obr. 3.3 a má tvar :

$$EPI_{SR} = 260.822 + 37.920 T + 0.077 T^3 \quad (3.6)$$



Obr. 3.3 Odvodená závislosť indexu dlhodobých ročných hodnôt potenciálnej evapotranspirácie EPI_{SR} od dlhodobej priemernej ročnej teploty vzduchu v 54 staniciach Slovenska

Fig. 3.3 Index of longterm mean annual potential evapotranspiration (EP) derived as a function of long-term mean annual temperature (T) in 54 meteorological stations after Tomlain-Budyko method

Tab. 3.3 Porovnanie štatistických charakteristík EPI vypočítaného podľa Turca a Szolgay-Parajku s Tomlain-Budykovými hodnotami EP v 54 staniciach Slovenska

Table 3.3 Comparison of the long-term mean annual EPI from Turc and Parajka-Szolgay formula with Tomlain-Budyko EP in 54 stations

	EP Tomlain	EPI Turc	EPI SR
N OF CASES	54	54	54
MINIMUM	306,000	340,205	321,809
MAXIMUM	735,000	596,015	710,943
RANGE	429,000	255,810	389,134
MEAN	582,870	511,269	581,838
VARIANCE	8481,436	3402,228	7880,558
STANDARD DEV	92,095	58,329	88,773
STD. ERROR	12,533	7,938	12,080
CV	0,158	0,114	0,153
MEDIAN	599,000	520,440	595,746

Ako vidieť zo štatistického porovnania indexov potenciálnej evapotranspirácie (tab. 3.2) vypočítaných podľa vzťahu 3.4 (Turc) a 3.6 (nami odvodená závislosť) pre 54 meteorologických staníc s vypočítanou potenciálnou evapotranspiráciou podľa Tomlain-Budykovej metódy, nami modifikovaný vzťah lepšie vystihuje štatistické vlastnosti súboru Tomlainom určených 54 hodnôt dlhodobej priemernej ročnej potenciálnej evapotranspirácie, a teda lepšie vystihuje rozloženie a vzťah dlhodobej priemernej ročnej potenciálnej evapotranspirácie k priemernej ročnej teplote vzduchu pre územie Slovenska.

V druhom kroku kalibrácie sme na základe hodnôt dlhodobého priemerného ročného úhrnu ET (vypočítanej podľa Tomlaina), zrážok a indexu EPISR (vypočítaného podľa vzťahu 3.6) v 54 staniciach SR (Zborník prác SHMU, zv. 33/I, 1991) určili parameter c Turcovho vzťahu. Takto odvodený parameter c má hodnotu 0,809. Modifikovaný Turcov model pre výpočet dlhodobého priemerného ročného odtoku má potom tvar :

$$O = Z - \frac{Z}{\sqrt{0.809 + \left(\frac{Z}{EPI}\right)^2}} \quad (3.7)$$

kde EPI je určená na základe vzťahu 3.6.

3.4 VYTVORENIE RASTROVEJ INTERPRETÁCIE MODIFIKOVANÉHO MODELU TURCA

Na vytvorenie rastrových interpretácií vstupných prvkov, a teda i modifikovaného Turcovho modelu sme využili metódu zobrazenia priestorovej informácie s použitím rastrovej štruktúry mapy (tzv. grid maps). Takáto štruktúra sa stala základom pri modelovaní možných zmien odtokovej výšky pod vplyvom očakávanej klimatickej zmeny. Možnosti využitia priestorových interpretácií prvkov hydrologickej bilancie s takouto rastrovou štruktúrou zhodnotili vo svojich prácach Arnell, Gottschalk (1993), Church, Bishop (1992, 1995), Gottschalk, Krasovskaia (1994, 1997), Solomon et al. (1968). Tí popisujú nasledujúce vlastnosti a výhody rastrových máp:

- Izolíniové mapy sa ťažko interpretujú. Napr. odtokovú výšku považujú za plošnú charakteristiku a je nejasné, či izolínie znázorňujú bodový elementárny odtok alebo elementárny odtok priradený k čiastkovej ploche povodia.
- Rastrová mapa zdôrazňuje, že mapovaný prvok je priestorová charakteristika. Napr. v prípade odtoku každá bunka v rastrovej štruktúre môže byť interpretovaná aj ako samostatná bilančná jednotka.
- Rastrové mapy zobrazujú sledované prvky diskretnými triedami, ktoré nielen vyjadrujú premenlivosť veličiny, ale aj zvýrazňujú priestorové štruktúry.
- Rastrové mapy sú v prostredí GIS tvorené objektívnymi spôsobmi a ich konštrukcia je opakovateľná.

Spôsob tvorby rastrových máp závisí od hardwarových a softwarových možností, ako aj dostupnosti existujúcich zdrojov, ale v zásade sa môže použiť nasledujúcich 5 spôsobov (Zborník prednášok Rastrovanie a vektorizácia máp, 1994) :

- manuálna digitalizácia jestvujúcich máp pomocou digitizéru,
- scanovanie (rastrovanie) jestvujúcich máp,
- manuálne zadávanie vypočítaných a nameraných údajov (vo forme tabuliek a pod.),
- prenos z jestvujúcich digitálnych zdrojov priestorových údajov.

Na tvorbu vstupných digitálnych rastrových máp modifikovaného Turcovho modelu sme využili spôsob manuálnej digitalizácie existujúcich izolíniových máp pomocou digitizéru. Takto získané vektorové interpretácie sme v prostredí GIS transformovali do rastrovej štruktúry do vopred zvoleného gridového (štvorcového) rozlíšenia. Výsledné rastrové interpretácie sme získali následnou lineárnou interpoláciou zrastrovaných izočiari podľa modifikovaného CONSURF algoritmu vytvoreného D. Douglasom (Eastman, 1992). Pri digitalizácii bola zohľadnená mierka a kartografické zobrazenie hydrologických máp, ako aj ich polohová presnosť. Východiskom pre digitalizáciu boli hydrologické mapy uvedené v tab. 3.4. Podrobnejšie sme sa otázkou tvorby digitálnych rastrových máp prvkov hydrologickej bilancie Slovenska venovali v práci Parajka (1994).

Pre potreby analýzy časovej a priestorovej premenlivosti prvkov hydrologickej bilancie sme zvolili veľkosť rastra (štvorca) rastrových máp 1 km × 1 km. Kvôli získaniu predstavy o reprezentatívosti vytvorených máp sme konfrontovali rastrové mapy s dostupnými údajmi dlhodobej priemernej ročnej teploty

vzduchu, zrážok, odtokovej výšky vo viacerých povodiach a hydrologických a klimatických staniciach na území Slovenska s dobrými výsledkami (Szolgay et al., 1997, Šimiček, 1997).

Pri vytváraní rastrovej interpretácie dlhodobej priemernej ročnej teploty z obdobia 1931 až 1980 sme využili z dôvodu neexistujúcej analógovej mapy teploty tohto obdobia metódu mapovej algebry. Rastrovú mapu teploty vzduchu 1931 až 1980 sme vytvorili ako aritmetický priemer zo súčtu rastrovej mapy teploty vzduchu z obdobia 1901 až 1950 a rastrovej mapy teploty vzduchu 1951 až 1980. Takto vytvorenú mapu sme porovnávali s hodnotami dlhodobej priemernej ročnej teploty vzduchu v 36 meteorologických staniciach. Odchýlky rastrovej mapy teploty vzduchu 1931 až 1980 sa v týchto staniciach pohybovali od -0,4 do +0,8 °C.

Vzhľadom na to, že ide o údaje z rôznych zdrojov, ktoré prešli viacnásobným spracovaním ovplyvneným subjektívnym prístupom (hydrologické mapovanie), možno považovať, aj so zreteľom na priestorové rozlíšenie 1 km × 1 km rasterizácie, dosiahnutú zhodu za dobrú a vytvorené rastrové mapy prvkov hydrologickej bilancie za dostatočne presné priestorové interpretácie hydrologických prvkov z obdobia 1931 až 1980.

Tab. 3.4 Východiskové podklady pre tvorbu rastrových hydrologických máp

Table 3.4 Characteristics of digitised contour maps

Mapovaný prvok	Autor mapy	Zdroj mapy	Mierka mapy	Spracované obdobie
Zrážky	Faško	SHMÚ	1: 750 000	1931 - 1980
Teplota 1	Faško	Atlas podnebí ČSSR	1:1 000 000	1901 - 1950
Teplota 2	Faško	Modifikovaná mapa v Atlase podnebí ČSSR	1:1 000 000	1951 - 1980

3.5 METODIKA TVORBY SCENÁROV BUDÚCEHO SPRÁVANIA DLHODOBÉHO PRIEMERNÉHO ROČNÉHO ODTOKU NA ÚZEMÍ SLOVENSKA

Geografické informačné systémy ako metodický nástroj zobrazovania a analýzy priestorových informácií umožňujú použiť modifikovaný model Turca ako model priestorového rozloženia dlhodobého priemerného ročného odtoku a vytvoriť podľa vopred zvolených scenárov zmien vstupných klimatických prvkov (dlhodobých priemerných ročných zrážok a dlhodobej priemernej ročnej teploty vzduchu) priestorový obraz budúcich možných zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku vo vybraných územných celkoch. Takýto postup sme použili už v prácach Szolgay, et al. (1994), Szolgay et al. (1995), Szolgay, Hlavčová, Mosný (1995), Szolgay et al. (1996), Szolgay, Dzubák, Čunderlík, Parajka (1996), Szolgay, Parajka, Hlavčová (1996), Szolgay, Čunderlík, Parajka (1996), Szolgay, Hlavčová, Parajka, Čunderlík (1997), Szolgay, Hlavčová, Mosný, Parajka (1997), v tomto prípade sme však na rozdiel od predchádzajúcich využili spresnený Turcov model a priestorové interpretácie vstupných prvkov z obdobia 1931 až 1980.

Samotná tvorba scenárov zmien sa skladala z viacerých fáz :

1. vytvorenie referenčného modelu priestorového rozloženia dlhodobého priemerného ročného odtoku pomocou modelu Turca na základe rastrových priestorových máp dlhodobých priemerných ročných úhrnov zrážok a teploty z obdobia 1931 až 1980,
2. vytvorenie máp zmien dlhodobej priemernej ročnej teploty vzduchu a dlhodobých ročných úhrnov zrážok podľa jednotlivých klimatických scenárov,
3. vytvorenie modelov priestorového rozloženia odhadov dlhodobého priemerného ročného odtoku pre rôzne scenáre zmien prvkov hydrologickej bilancie voči referenčnému obdobiu 1931 až 1980,
4. výpočet dlhodobého priemerného ročného odtoku pre vybrané záujmové územia z referenčného modelu a z modelov prislúchajúcim k jednotlivým scenárom a vyhodnotenie ich rozdielov,
5. zhodnotenie jednotlivých hydrologických scenárov.

Pri tvorbe hydrologických scenárov sme vychádzali zo zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku vo vybraných výškových pásmach pre každý použitý model a scenár. Takýto územný priemer môže vyrovnať prípadné lokálne anomálie, ktoré by mohli napr. vzniknúť v rastrových modeloch vstupných veličín v územiach so silne premenlivým poľom izočiari. Obdobne musíme mať na pamäti, že môže dôjsť aj k prerozdeleniu odtoku počas roka. Podľa niektorých scenárov sa očakáva pritom zvýšenie odtoku v zimných mesiacoch. Napriek nárastu teploty vzduchu by mohol byť preto pokles odtoku v roku nižší ako podľa nami použitého Turcovho modelu, ktorý implicitne vychádza zo súčasného rozdelenia odtoku.

3.5.1 Výsledné scenáre zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku za predpokladu nezávislých scenárov

Výstupy z výpočtov možných zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku vybraných výškových pásiem podľa nezávislých scenárov sú prezentované tabelárne (tab. 3.5). Tabuľka obsahuje percentuálnu zmenu územného priemeru priestorovo interpretovaného empirického odhadu dlhodobého priemerného ročného odtoku vypočítaného podľa modifikovaného Turcovho modelu pre zvolené klimatické scenáre a vyčlenené výškové pásma oproti etalónovému stavu, ktorý bol vytvorený z rastrových priestorových interpretácií prvkov hydrologickej bilancie obdobia 1931 až 1980.

Pri hodnotení percentuálnych zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku sme zmeny v rozpätí $\pm 5\%$ nepovažovali za významné a hodnotili sme ich ako zachovanie odtokových pomerov reprezentatívneho obdobia 1931 až 1980. Pri hodnotení územných priemerov sme vychádzali zo zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku vo výškových pásmach do 300, 300 - 800, 800 až 1500 a 1500 a viac metrov nad morom (m n.m.) na celom území Slovenska pre zvolený priestorový model. 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. Hodnotenie zmien odtoku po výškových pásmach navyše umožňuje hodnotiť aj potenciálne ohrozenie rôznych druhov vodných zdrojov v rôznych výškových pásmach regiónu Slovenska.

Priestorové zmeny prognózované Turcovým vzťahom sú zhrnuté v tab. 3.5. Z analýzy zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku pre dané výškové pásma vyplýva, že väčšina klimatických scenárov vykazuje pre skúmané oblasti pokles odtoku. Pri rovnakej zmene zrážok rozdiely v hodnotách odtoku narastajú so zvyšovaním priemernej ročnej teploty. Na druhej strane pri rovnakej zmene teploty vzduchu sa s rastom zrážok znižuje pokles odtoku, resp. dochádza k jeho rastu (najmä pre výškové pásmo nad 1500 m n.m.).

Najväčší percentuálny pokles je možný v oblasti nížin (výškové pásmo do 300 m n.m.) - od -36% pre scenár $z-10\%t+1$ po viac ako -57% pre scenár $z-10\%t+3$. Naopak najväčší rast odtoku je očakávateľný pre vysoké vysočiny (oblasti s nadmorskou výškou nad 1500 m n.m.) od cca 2% pre scenár $z+10\%t+3$ do takmer 10% pre scenár $z+10\%t+1$.

Pri uvažovanom náraste priemernej teploty o 3 °C došlo v takmer všetkých vyšetrovaných prípadoch (okrem scenáru $z+10\%t+3$ pre územie nad 1500 m.n.m.) k poklesu odtoku. Tento bol prirodzený o to väčší, o čo viac poklesli zrážky. Pokles v oblasti nížin môžeme hodnotiť z hľadiska zraniteľnosti vodných zdrojov ako výrazný a mohol nadobudnúť aj dramatický rozmer (-50 % a viac).

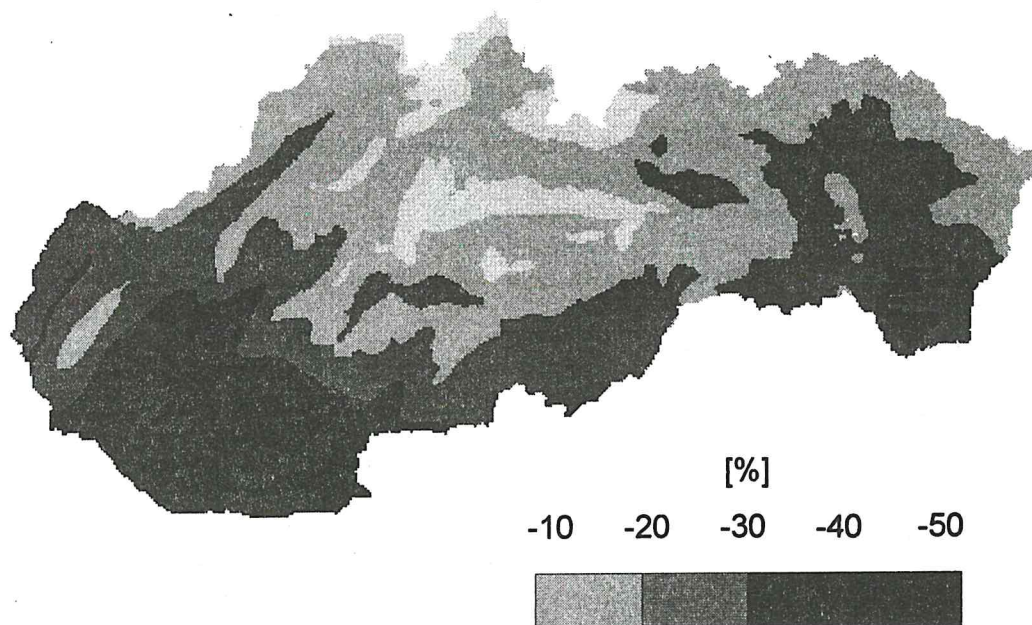
Pri prognózovanom náraste teploty o 2 °C došlo taktiež vo väčšine vyšetrovaných prípadov k poklesu vodnosti vo všetkých pásmach a pre všetky scenáre (okrem scenáru $z+10\%t+2$ pre oblasti vysočin - regióny s nadmorskou výškou nad 300 m n.m.). Pri náraste zrážok o 10 % bola zmena odtoku na hranici zanedbateľnosti od -3 % do +6 %.

Pri náraste teploty o 1 °C sa prakticky zachoval stav z reprezentatívneho obdobia 1931 až 1980 pri náraste zrážok o 5 %. Pri vyššom náraste zrážok (o 10 %) môžeme predpokladať zvýšenie vodnosti asi o 10 %. V ostatných prípadoch vodnosť územia klesla.

Väčšina výsledkov pre dané scenáre a oblasti teda predpokladá pokles dlhodobého priemerného ročného odtoku. Výnimku tvoria scenáre, charakterizované vzrastom priemernej ročnej teploty o +1 °C a priemerných ročných úhrnov zrážok o 5, resp. o 10 %.

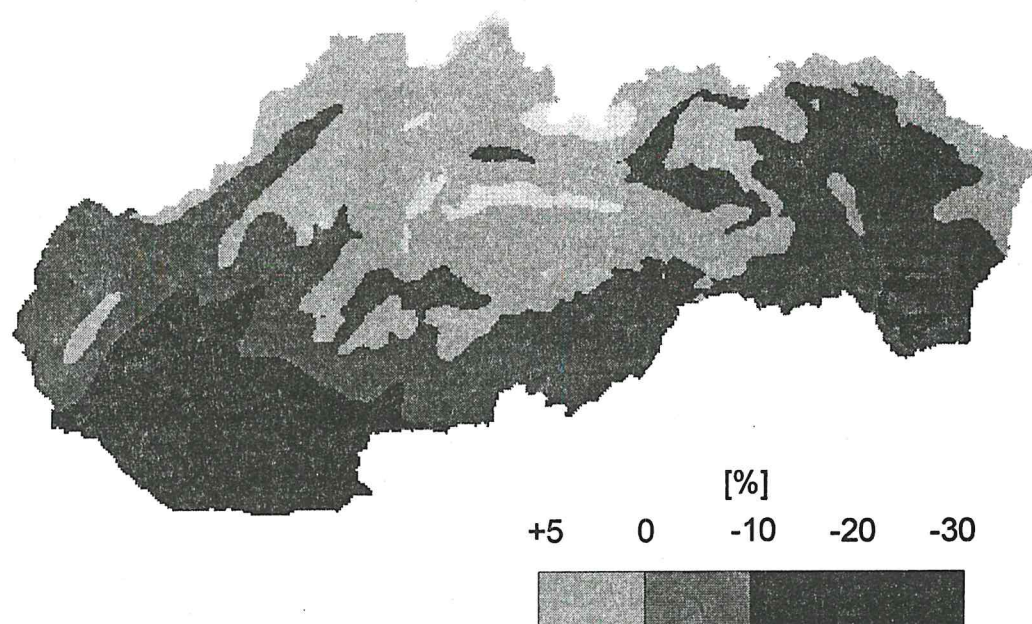
Jednotlivé scenáre zmien sa dajú nielen kvantifikovať pre ľubovoľný región, ale aj priestorovo znázorniť. Ako príklad uvádzame rastrové priestorové interpretácie výsledkov Turcovho modelu pre scenáre $z-5\%t+2$ (obr. 3.4), $z+10\%t+3$ (obr. 3.5). Tieto rastrové interpretácie dávajú lepší pohľad na priestorové rozloženie zmien priemerného ročného odtoku.

Naše scenáre považujeme za celok (varieta možností) a ako taký ho aj hodnotíme. Z hodnotenia vyplýva, že pokles vodnosti je pravdepodobnejší, než zachovanie dnešného stavu (a ešte viac ako nárast vodnosti). Ak totiž vychádzame z poklesu zrážok a mierneho nárastu teploty vzduchu (asi o 1°C), tak musíme pri očakávanom poklese zrážok o 5 % voči stavu 1931 až 1980 očakávať pokles vodnosti od asi -10 % do -25 %. Ak zrážky budeme považovať voči stavu 1931 až 1980 za nezmenené a teplotu vyššiu o 1 °C, tak musíme počítať s poklesom vodnosti o -3 % až -13 %. Ak uvažujeme nárast teploty vzduchu o 1°C a pripustíme nárast zrážok voči etalónu o 5 %, ostane prakticky zachovaný stav z tzv. reprezentatívneho hodnotiaceho obdobia 1931 až 1980. Zmeny vodnosti sa pohybujú od -1 % do +3 %. Každý vyšší nárast teploty vzduchu zvyšuje pokles vodnosti. Pritom podľa dnešných predstáv je nárast teploty vzduchu očakávanejší ako ďalší nárast zrážok. Preto sa treba pri tvorbe koncepcií zásobovania pitnou vodou vážne začať zaoberať s poklesom na strane vodných zdrojov, a to rádovo až do -25 %.



Obr. 3.4 Priestorové rozloženie percentuálnych zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa modifikovaného Turcovho modelu pre scenár z-5%t+2 na území Slovenska

Fig. 3.4 Raster map of long-term mean annual runoff yield change in percentage for incremental scenario z- 5%t+2 (precipitation -5% and temperature + 2 °C) in comparison with reference runoff values from the period 1931-80



Obr. 3.5 Priestorové rozloženie percentuálnych zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa modifikovaného Turcovho modelu pre scenár z+10%t+3 na území Slovenska

Fig. 3.5 Raster map of long-term mean annual runoff yield change in percentage for incremental scenario z+10 5%t+3 (precipitation +10% and temperature + 3 °C) in comparison with reference runoff values from the period 1931-80

Tab. 3.5 Percentuálna zmena odhadu dlhodobého priemerného ročného odtoku oproti etalónovému stavu vypočítaná pre množinu inkrementálnych klimatických scenárov podľa modifikovaného priestorového modelu Turca vo vybraných výškových pásmach Slovenska

Table 3.5 Scenarios of long term mean annual runoff yield change in percentage for the incremental climate change scenarios in comparison with the reference runoff values from the period 1931 - 1980 for the selected elevation ranges

Výškové pásmo [m n.m.]	t + 1 °C				
	z - 10 %	z - 5 %	z - 0 %	z + 5 %	z + 10 %
do 300	-36,51%	-25,35%	-13,57%	-1,22%	11,66%
300 - 800	-27,01%	-17,95%	-8,64%	0,90%	10,63%
800 - 1500	-21,12%	-13,48%	-5,74%	2,08%	9,96%
1500 a viac	-16,06%	-9,70%	-3,33%	3,06%	9,45%
Výškové pásmo [m n.m.]	t + 2 °C				
	z - 10 %	z - 5 %	z - 0 %	z + 5 %	z + 10 %
do 300	-47,38%	-37,24%	-26,46%	-15,10%	-3,17%
300 - 800	-34,66%	-26,05%	-17,17%	-8,03%	1,33%
800 - 1500	-26,56%	-19,10%	-11,52%	-3,86%	3,89%
1500 a viac	-19,37%	-13,05%	-6,71%	-0,35%	6,02%
Výškové pásmo [m n.m.]	t + 3 °C				
	z - 10 %	z - 5 %	z - 0 %	z + 5 %	z + 10 %
do 300	-57,50%	-48,37%	-38,61%	-28,25%	-17,32%
300 - 800	-42,09%	-33,97%	-25,55%	-16,85%	-7,91%
800 - 1500	-32,01%	-24,75%	-17,36%	-9,87%	-2,28%
1500 a viac	-22,74%	-16,46%	-10,16%	-3,84%	2,50%

3.5.2 Výsledné scenáre zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa scenárov GCM a NKP SR

Výstupy z výpočtov možných zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku daných území prezentujeme tabelárne. V tab. 3.6 a 3.7 udávame v percentách hodnoty rozdielov priestorovo spriemerovaných modelových odhadov dlhodobého priemerného ročného odtoku voči referenčnému stavu pre scenáre GCM a NKP SR a vyčlenené regióny.

Hodnotenie scenárov GCM

Scenáre GCM predpokladajú nárast dlhodobého priemerného ročného úhrnu zrážok, pričom najmiernejší nárast predpovedá model CCCM a najväčší model GISS. Rozdiely medzi severnou a južnou časťou územia sú pre modely GISS a GFD3 minimálne. Napriek tomu sme ich uvažovali. Z hľadiska časového vývoja všetky tri modely predpokladajú vzostupnú tendenciu nárastu zrážok. Scenár teplotných zmien má najmiernejší tiež model CCCM, potom nasleduje model GISS a model GFD3. Z hľadiska časového vývoja všetky tri modely predpokladajú vzostupnú tendenciu nárastu aj pri priemernej ročnej teplote vzduchu.

Z hľadiska scenárov vývoja odtoku sa uvažované zmeny vstupov do modelu prejavili takto (tab. 3.6):

Model CCCM má síce najmiernejšie klimatické scenáre, no predpokladá severo-južný gradient zmien a prakticky nulovú zmenu zrážok na juhu. Tým sa celá oblasť nížin (územie do 300 m n.m.) dostáva do

pásma poklesu odtoku už v horizonte 2010, a to až na hranicu -15 %. Oblasť stredovysočín (výškové pásmo od 800 - 1500 m n.m.) a vysokých vysočín (nad 1500 m n.m.) je na hranici mierneho poklesu odtoku, asi do -5 %. V horizonte 2030 je celé územie Slovenska v režime poklesu, ktorý je výrazný najmä v oblasti nížin (viac ako -23 %). Ešte výraznejšie to platí pre časový horizont 2075, pokles odtoku je asi od -7 % (oblasť vysokých vysočín) do viac ako 40% (oblasť nížin).

Model GFD3 udáva zo všetkých troch použitých GCM scenárov najvyšší nárast teploty vzduchu, ale predpokladá aj nárast zrážok (od +4 % pre horizont 2010 do +13 % pre horizont 2075). Zmeny odtoku sú preto menej výrazné ako pri scenári CCCM. Poklesom odtoku sú najviac postihnuté nížiny a nízke vysočiny (územia s nadmorskou výškou do 800 m n.m.), od -4 % pre časový horizont 2010 do -28 % pre horizont 2075. Naopak v oblastiach stredovysočín a vysokých vysočín predpokladá scenár GFD3 prakticky zachovanie súčasného stavu (stavu reprezentatívneho obdobia 1931 až 1980), zmeny odtoku sa pohybujú asi od -6 % do +2 %.

Model GISS spočiatku nepredpokladá výraznejšiu zmenu odtokovej situácie. V horizonte 2010 a 2030 sa nárast teploty a zrážok vzájomne kompenzujú, v horizonte 2075 je badať výraznejší pokles odtoku vo výškových pásmach do 300 a 300 - 800 m.n.m., -20 %, resp. -9 %. Z hľadiska zraniteľnosti sa dajú hodnotiť ako ohrozené územia oblasti nížin a nízkych vysočín v horizonte 2075.

Scenáre GCM prakticky nepripúšťajú možnosť výraznejšieho nárastu odtoku, a to napriek uvažovanému nárastu zrážok. Oblasť nížin a nižších vysočín budú veľmi pravdepodobne poznačené poklesom odtoku, ktorý bude výrazný najmä v nížinných oblastiach. Oblasť stredovysočín a vysokých vysočín budú v zóne mierneho vzrastu až nevýrazného poklesu.

Tab. 3.6 Percentuálna zmena dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa modifikovaného priestorového modelu Turca vypočítaná pre vybrané výškové pásma a časové horizonty podľa klimatických scenárov GCM (CCCM, GFD3 a GISS)

Table 3.6 Scenarios of long term mean annual runoff yield change in percentage for the GCM scenarios CCCM, GISS and GFD3 in comparison with the reference runoff values from the period 1931 - 1980 for selected elevation ranges

Výškové pásmo [m n.m.]	CCCM		
	2010	2030	2075
do 300	-14,51%	-23,39%	-42,43%
300 - 800	-8,00%	-13,28%	-25,43%
800 - 1500	-5,02%	-8,44%	-16,62%
1500 a viac	-1,79%	-3,22%	-6,92%
Výškové pásmo [m n.m.]	GFD3		
	2010	2030	2075
do 300	-9,29%	-14,54%	-28,51%
300 - 800	-4,58%	-7,02%	-14,60%
800 - 1500	-1,84%	-2,58%	-5,99%
1500 a viac	0,42%	1,16%	1,54%
Výškové pásmo [m n.m.]	GISS		
	2010	2030	2075
do 300	-5,46%	-7,22%	-19,82%
300 - 800	-1,79%	-2,22%	-8,88%
800 - 1500	0,31%	1,08%	-1,44%
1500 a viac	2,04%	3,46%	4,22%

Tab. 3.7 Percentuálna zmena dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa modifikovaného priestorového modelu Turca vypočítaná pre vybrané výškové pásma a časové horizonty podľa klimatických scenárov NKP SR (SD A, SD B, WP A a WP B)

Table 3.7 Scenarios of long term mean annual runoff yield change in percentage for the NKP scenarios SD A, SD B, WP A and WP B in comparison with the reference runoff values from the period 1931 - 1980 for selected elevation ranges

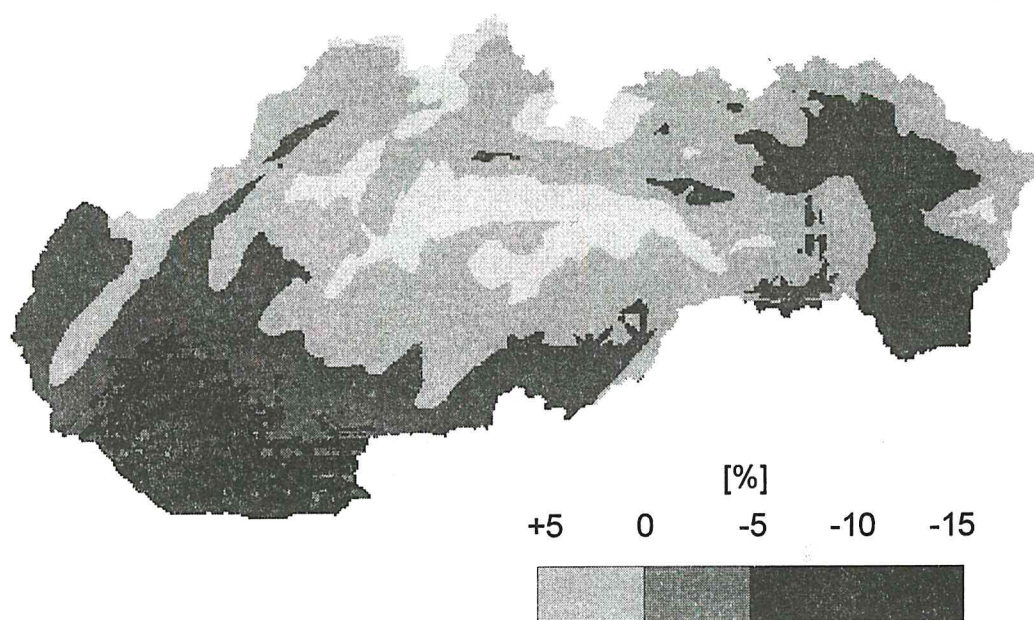
Výškové pásmo [m n.m.]	SD A		
	2010	2030	2075
do 300	-13,36%	-21,16%	-38,80%
300 - 800	-8,51%	-13,93%	-25,69%
800 - 1500	-6,09%	-10,03%	-18,72%
1500 a viac	-3,71%	-6,38%	-11,51%
Výškové pásmo [m n.m.]	SD B		
	2010	2030	2075
do 300	-19,89%	-31,98%	-53,30%
300 - 800	-13,10%	-21,24%	-36,23%
800 - 1500	-9,46%	-15,46%	-26,68%
1500 a viac	-6,05%	-9,76%	-16,52%
Výškové pásmo [m n.m.]	WP A		
	2010	2030	2075
do 300	-15,60%	-27,30%	-46,01%
300 - 800	-9,66%	-16,52%	-29,09%
800 - 1500	-6,99%	-12,08%	-21,56%
1500 a viac	-4,04%	-6,45%	-11,91%
Výškové pásmo [m n.m.]	WP B		
	2010	2030	2075
do 300	-23,98%	-39,60%	-62,63%
300 - 800	-14,59%	-24,75%	-41,18%
800 - 1500	-10,62%	-18,35%	-31,07%
1500 a viac	-5,78%	-10,16%	-17,56%

Hodnotenie scenárov NKP SR

Popri klimatických scenároch GCM vznikli v rámci NKP SR ďalšie dve skupiny scenárov - scenáre WP A a WP B, ktoré vychádzajú z analýzy teplých období v minulosti a scenáre SD A a SD B, ktoré extrapolujú korelačný vzťah teploty vzduchu a zrážok do budúcnosti. Tieto NKP scenáre predpokladajú pokles zrážok a rast priemernej ročnej teploty vzduchu, a tým prakticky nepripúšťajú rast dlhodobého priemerného ročného odtoku na celom území Slovenska.

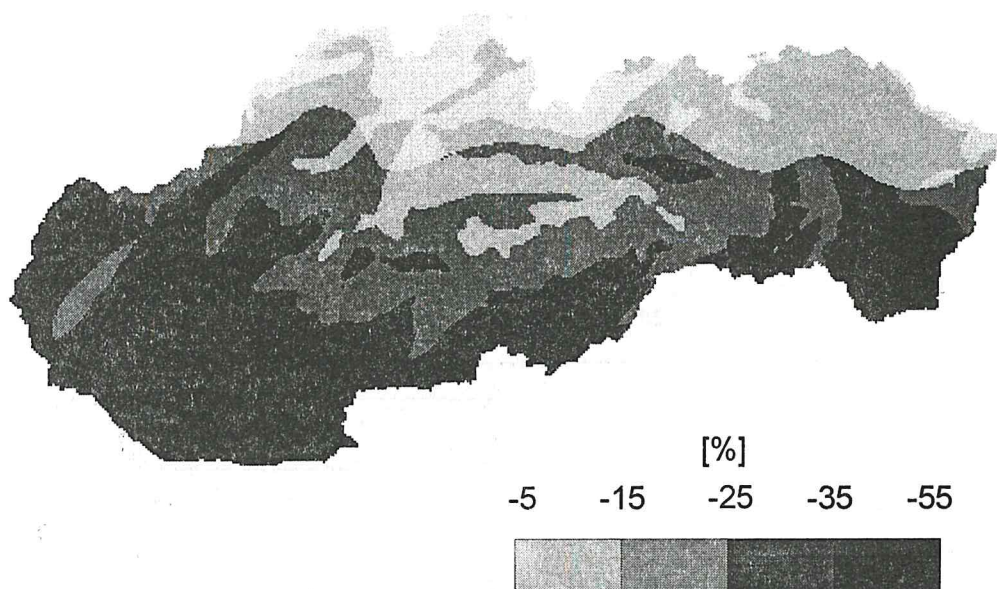
Z hľadiska vývoja odtoku sa uvažované klimatické scenáre prejavili takto (tab. 3.7):

V horizonte 2010 je pokles odtoku významný najmä pre oblasti nížin, kde extremita rastie s poklesom zrážok. Hranice poklesu odtoku tu môžeme očakávať v rozmedziach asi od -13 % (scenár SD A) do -24 % (scenár WP B). Zraniteľnými budú aj oblasti nízkych vysočín, v ktorých sa podľa týchto scenárov predpo-



Obr. 3.6 Priestorové rozloženie percentuálnych zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa modifikovaného Turcovho modelu pre klimatický scenár GISS a časový horizont 2030 na území Slovenska

Fig. 3.6 Raster map of long-term mean annual runoff yield change in percentage for GCM scenario GISS for the time horizon 2030 in comparison with reference runoff values from the period 1931-80.



Obr. 3.7 Priestorové rozloženie percentuálnych zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa modifikovaného Turcovho modelu pre klimatický scenár WP B a časový horizont 2030 na území Slovenska

Fig. 3.7 Raster map of long-term mean annual runoff yield change in percentage for NKP scenario WP B for the time horizon 2030 in comparison with reference runoff values from the period 1931-1980.

kladá pokles od -8 % (scenár SD A) asi do -15 % (WP B). Relatívne najmenej postihnutými budú málo rozsiahle oblasti vysokých vysočín, kde sa nepredpokladá výraznejší pokles odtoku (od -3 % do -6 %).

V horizonte 2030 je obraz rovnaký ako v predošlom, hranice poklesu odtoku sú extrémnejšie. Očakávame pokles v rozmedzí asi od -6 % (SD A pre výškové pásmo nad 1500 m n.m.) do -40 % (WP B) s extrémnymi hodnotami medzi -21 % až -40 % vo výškovom pásme do 300 m n.m..

V horizonte 2075 sa extrémita poklesu ďalej zvyšuje - scenáre zmeny odtoku ukazujú silný pokles asi od -11 % do viac ako -60 %. Na pokles sú opäť najcitlivejšie nížinné oblasti, kde môže odtok podľa jednotlivých scenárov poklesnúť asi od -40 % (SD A) po takmer -63 % (WPB). V oblastiach nízkych a stredných vysočín klesne dlhodobý priemerný ročný odtok v rozmedzí od -18 % asi do -40 %, v oblastiach s nadmorskou výškou nad 1500 m n.m. od -11 % do -18 %.

Pre lepšiu prehľad o priestorovom rozložení percentuálnych zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku uvádzame dve rastrové mapy - obr. 3.6 a 3.7. Na týchto mapách je znázornená percentuálna zmena odtoku podľa klimatických scenárov GISS, resp. WP B pre časový horizont 2030 oproti etalónovému stavu z obdobia 1931 až 1980.

Scenáre NKP nepripúšťajú možnosť rastu odtoku a prakticky ani možnosť zachovania súčasného stavu - malé zmeny sa dajú očakávať len pre oblasti vysokých vysočín aj to len pre časový horizont do 2010. Na pokles zrážok sú najcitlivejšie oblasti nížín a nízkych vysočín, v ktorých sa pre tieto klimatické scenáre predpokladá výrazný pokles odtoku (od -8 % pre scenár SDA 2010 do viac ako -60 % pre WPB 2075). Najmiernejší z týchto klimatických scenárov je scenár SD A, ktorý pre všetky sledované výškové pásma a časové horizonty predpokladá najmiernejší pokles odtoku (od -4 % pre oblasti vysokých vysočín asi do -39 % pre časový horizont 2075 a oblasť nížín), naopak najextrémnejší je scenár WP B, podľa ktorého môže dôjsť v nížinných oblastiach k poklesu odtoku viac ako o -60 %.

3.5.3 Zovšeobecnenie hydrologických scenárov pre potreby vodného hospodárstva a hodnotenia zraniteľnosti územia klimatickou zmenou

V tejto kapitole sme sa pokúsili o priestorové zovšeobecnenie hydrologických scenárov zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku vyvolaného zmenou klímy podľa scenárov GCM a NKP SR a o ohodnotenie miery zraniteľnosti územia na pokles dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa týchto klimatických scenárov. Pri hodnotení výsledkov zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku v dôsledku klimatickej zmeny musíme mať na pamäti, že klimatické scenáre GCM a NKP SR sa vzťahujú na prakticky neexistujúci budúci stacionárny stav. Všetky kombinácie zmien zrážok a teploty vzduchu z klimatických scenárov udávajú množinu možností, ktoré nechápeme pritom ako predpoveď budúceho správania klimatického systému, ale ako scenáre umožňujúce vyšetriť citlivosť zmien vodohospodárskej bilancie vyvolaných možnými zmenami klímy a priestorovo vyhodnotiť ich vplyv na zraniteľnosť územia Slovenska voči týmto zmenám. Mieru vplyvu týchto scenárov sme hodnotili dvoma spôsobmi:

Prvý spôsob hodnotenia metodicky nadväzuje na výsledky práce Szolgay, Hlavčová, Parajka, Čunderlík (1997). Pri tomto spôsobe hodnotenia sme pomocou metód mapovej algebry GIS priestorovo znázornili a vyhodnotili priemernú zmenu dlhodobého ročného odtoku podľa scenárov GCM (scenáre CCCM, GISS a GFD3) a NKP (SD A, SD B, WP A a WP B) pre zvolené časové horizonty (2010, 2030 a 2075). Žiaden zo scenárov zmien sme nepreferovali, všetky scenáre zmeny klímy mali pri výpočte aritmetického priemeru rovnakú váhu. Výslednú priestorovú interpretáciu aritmetického priemeru zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa scenárov GCM, resp. NKP pre každý časový horizont sme potom porovnali s priestorovou interpretáciou dlhodobého priemerného ročného odtoku východiskového (reprezentatívneho) obdobia 1931 až 1980 a vyhodnotili ich percentuálnu zmenu. Táto percentuálna zmena $\Delta\%$ bola pre scenáre GCM vyhodnotená podľa vzťahu 3.8, resp. pre scenáre NKP podľa vzťahu 3.9 :

$$\Delta\% = \frac{\frac{CCCM + GISS + GFD3}{3} - TURC3180}{TURC3180} * 100 \quad (3.8)$$

$$\Delta\% = \frac{\frac{SDA + SDB + WPA + WPB}{4} - TURC3180}{TURC3180} * 100 \quad (3.9)$$

kde jednotlivé scenáre CCCM, GISS, GFD3, SDA, SDB, WPA a WPB predstavujú priestorové interpretácie dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa Turcovho modelu pre jednotlivé klimatické scenáre a TURC3180 predstavuje interpretáciu dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa Turcovho modelu pre východiskové obdobie 1931 až 1980. Percentuálnu zmenu odtoku sme potom reklasifikovali do piatich tried (kategórie zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku -50 % až -70 %, -30% až -50 %, -10% až -30 %, 0 % až -10 % a 0 % až 3 %), ktoré sa stali základom hodnotenia zraniteľnosti územia klimatickou zmenou vyvolanou týmito scenármi.

V druhom spôsobe sme sa pokúsili o novú metódu vyhodnotenia citlivosti územia Slovenska na zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku vyvolaného zmenou klímy podľa hodnotených GCM a NKP scenárov. Priestorové interpretácie percentuálnej zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku jednotlivých GCM, resp. NKP scenárov od priestorovej interpretácie dlhodobého priemerného ročného odtoku východiskového obdobia 1931 až 1980 sme takisto ako pri prvom spôsobe reklasifikovali do piatich kategórií zmeny odtoku. Takéto priestorové znázornenia kategórií zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku sme potom s využitím metód mapovej algebry GIS vzájomne skombinovali - zvlášť scenáre GCM (CCCM, GISS, GFD3), zvlášť scenáre typu SD (SD A a SD B) a zvlášť scenáre WP (WP A a WP B). Takto vzniknuté kombinácie kategórií nám následne slúžili ako základ pri hodnotení diapazónu zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku na území Slovenska.

3.5.3.1 Hodnotenie zraniteľnosti územia Slovenska podľa spriemerovaných scenárov klimatickej zmeny

Z hľadiska charakterizovania zraniteľnosti územia Slovenska voči zmenám dlhodobého priemerného ročného odtoku vyvolaných klimatickou zmenou podľa jednotlivých scenárov GCM, resp. NKP sme za ukazovateľ indexu zraniteľnosti zvolili priestorové interpretácie spriemerovaných scenárov zmeny klímy. Výsledky priestorového znázornenia spriemerovaných GCM a NKP scenárov pre jednotlivé časové horizonty sú prezentované na obr. 3.8 - 3.13. Hodnotenie zraniteľnosti vybraných území - výškových pásiem je prezentované tabelárne (tab. 3.8) vo forme percentuálneho rozdielu spriemerovaných priestorových interpretácií dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa klimatických scenárov GCM, resp. NKP od priestorovej interpretácie dlhodobého priemerného ročného odtoku reprezentatívneho obdobia 1931 až 1980. Pri hodnotení zraniteľnosti sme percentuálne zmeny ± 5 % nepovažovali za významné - hodnotili sme ich ako zachovanie súčasného stavu.

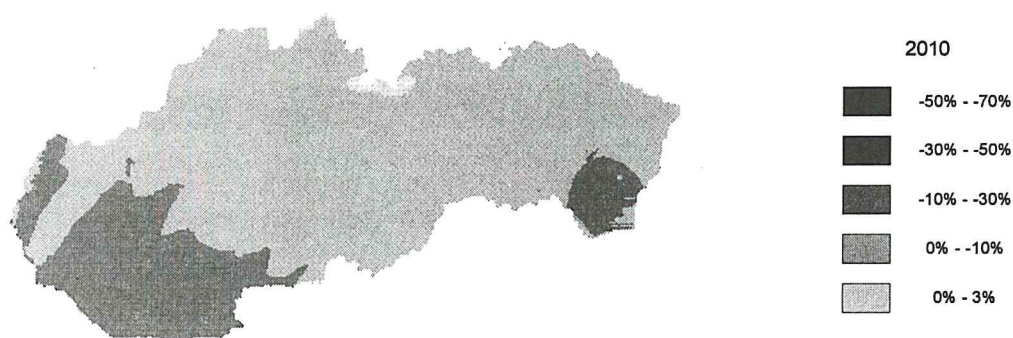
Tab. 3.8 Priemerná percentuálna zmena dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa scenárov GCM a NKP pre vybrané výškové pásma Slovenska

Table 3.8 Average percent change of long-term mean annual runoff according to GCM and NKP climate change scenarios for selected elevation ranges of Slovakia

Výškové pásmo [m n.m.]	Spriemerované scenáre GCM		
	2010	2030	2075
do 300	-10,29 %	-15,85 %	-31,67 %
300 - 800	-5,26 %	-8,23 %	-17,64 %
800 - 1500	-2,51 %	-3,84 %	-9,04 %
1500 a viac	0,14 %	0,33 %	-0,59 %
Výškové pásmo [m n.m.]	Spriemerované scenáre NKP		
	2010	2030	2075
do 300	-18,82 %	-30,97 %	-51,59 %
300 - 800	-12,06 %	-20,09 %	-34,61 %
800 - 1500	-8,61 %	-14,50 %	-25,39 %
1500 a viac	-4,77 %	-7,99 %	-14,03 %

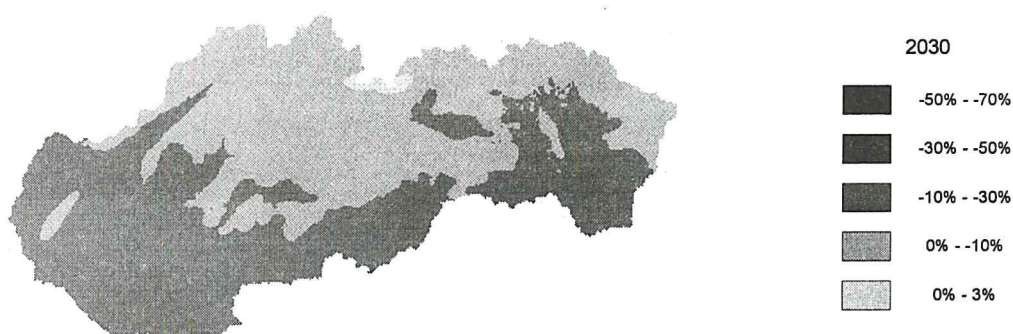
Spriemerované scenáre GCM a NKP sa pre zvolené výškové pásma prejavili takto :

Zo zhodnotenia zraniteľnosti scenárov vývoja dlhodobého priemerného ročného odtoku na území Slovenska vyplýva, že pokles vodnosti je oveľa pravdepodobnejší než zachovanie stavu spred niekoľkých desaťročí. Tento pokles by sa však mal z hľadiska vodohospodárskych bilancií podľa scenárov GCM vý-



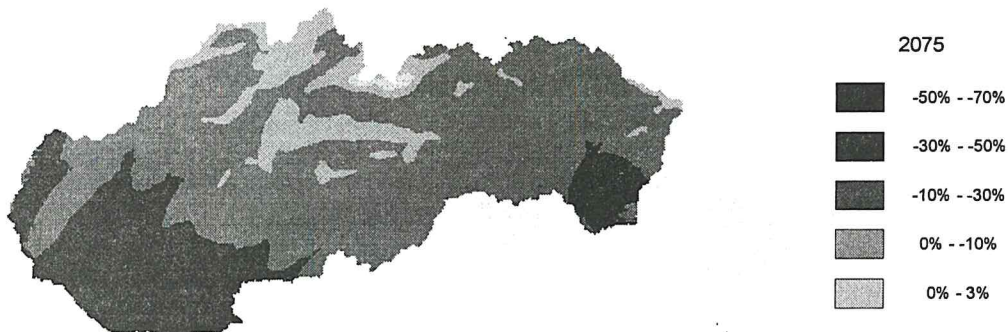
Obr. 3.8 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na priemerované zmeny odtoku podľa scenárov GCM pre časový horizont 2010

Fig. 3.8 Vulnerability map of Slovakia to runoff changes for averaged GCM scenarios (time horizon 2010)



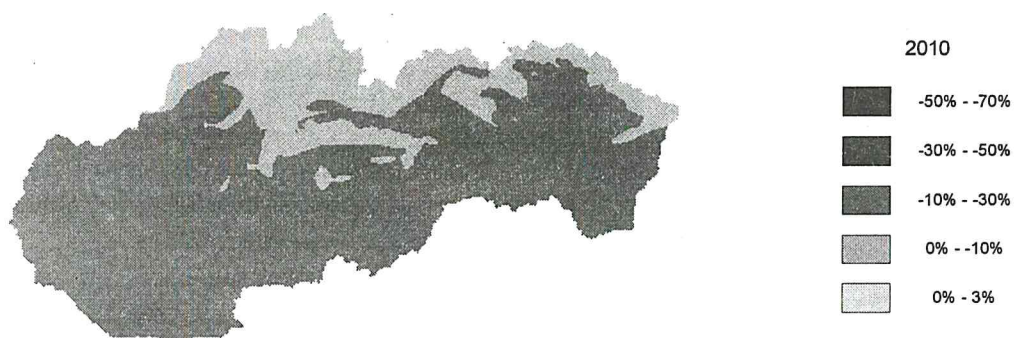
Obr. 3.9 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na priemerované zmeny odtoku podľa scenárov GCM pre časový horizont 2030

Fig. 3.9 Vulnerability map of Slovakia to runoff changes for averaged GCM scenarios (time horizon 2030)



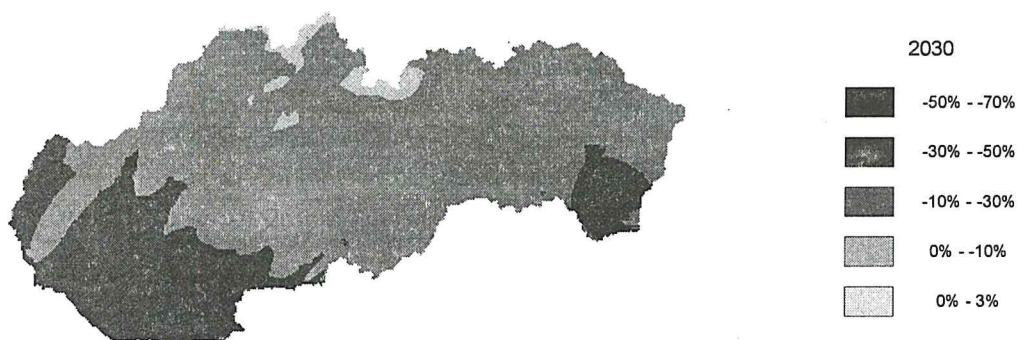
Obr. 3.10 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na priemerované zmeny odtoku podľa scenárov GCM pre časový horizont 2075

Fig. 3.10 Vulnerability map of Slovakia to runoff changes for averaged GCM scenarios (time horizon 2075)



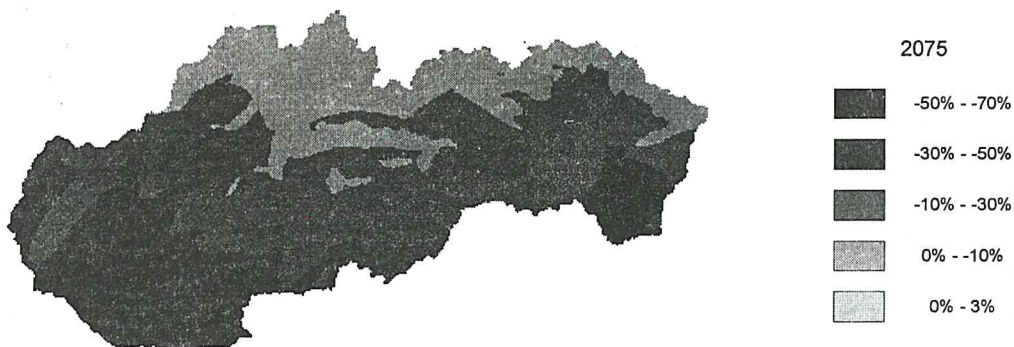
Obr. 3.11 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na spriemerované zmeny odtoku podľa scenárov NKP pre časový horizont 2010

Fig. 3.11 Vulnerability map of Slovakia to runoff changes for averaged NKP scenarios (time horizon 2010)



Obr. 3.12 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na spriemerované zmeny odtoku podľa scenárov NKP pre časový horizont 2030

Fig. 3.12 Vulnerability map of Slovakia to runoff changes for averaged NKP scenarios (time horizon 2030)



Obr. 3.13 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na spriemerované zmeny odtoku podľa scenárov NKP pre časový horizont 2075

Fig. 3.13 Vulnerability map of Slovakia to runoff changes for averaged NKP scenarios (time horizon 2075)

raznejšie prejavovať až v horizonte 2030, podľa scenárov NKP by sa s nimi mohlo začať uvažovať už v horizonte 2010. Rozhodujúcim faktorom pre pokles odtoku sa ukazuje očakávaný nárast teploty vzduchu v klimatických scenároch. Podľa spriemerovaných scenárov GCM a NKP budú poklesom odtoku najviac zasiahnuté južné oblasti Slovenska - najmä nížiny a nízke vysočiny. Pri hodnotení zraniteľnosti môžu byť podľa spriemerovaných scenárov GCM v horizonte 2010 výškové pásma nad 300 m n.m. oblasťou nevýrazných zmien odtoku s poklesom asi do -5 %, na nížine je možné očakávať pokles o asi -10 %. Pre časový horizont 2030 sa nevýrazné zmeny očakávajú len pre výškové pásma nad 800 m n.m. Pre nížiny a nízke vysočiny môže pokles odtoku dosahovať -8 % až viac ako -15 %. V časovom horizonte 2075 považujeme za najzraniteľnejšie oblasti nížin, kde môže pokles odtoku dosiahnuť viac ako -30 %.

Spriemerované scenáre NKP vykazujú diferencovanejšie rozloženie zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku. Výraznejšie sa prejavuje očakávaný rozdiel v zmenách klimatických prvkov medzi severnou a južnou oblasťou Slovenska. Spriemerované scenáre NKP nepredpokladajú ani pre časový horizont 2010 nárast odtoku, do pásma nevýrazných zmien môžeme zaradiť iba výškové pásmo nad 1500 m n.m.. Najzraniteľnejším bude výškové pásmo nížin, kde sa očakáva pokles od -19 % (pre časový horizont 2010) do viac ako -50 % (časový horizont 2075). Oblasť nízkych vysočín (výškové pásmo od 300 do 800 m n.m.) bude v časovom horizonte 2010 v pásme miernej zraniteľnosti, pokles asi -12 %, pre vzdialenejšie časové horizonty sa zraniteľnosť bude zvyšovať, pokles odtoku môže pre časový horizont 2075 dosiahnuť asi až -35 %. Oblasť stredovysočín bude pre časový horizont 2010 a 2030 v pásme miernej zraniteľnosti, pre časový horizont 2075 sa očakáva pokles odtoku o -25 %.

3.5.3.2 Hodnotenie zraniteľnosti územia Slovenska podľa kombinácií scenárov klimatickej zmeny

Pri tomto spôsobe hodnotenia rozsahu zraniteľnosti územia Slovenska sme vyhodnocovali jednak plošný rozsah a priemernú nadmorskú výšku jednotlivých kombinácií zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku podľa jednotlivých scenárov GCM a NKP, jednak percentuálne zastúpenie vybraných výškových pásiem v týchto kategóriách. Výsledky priestorového hodnotenia zraniteľnosti a ich plošné vyhodnotenie vo vybraných výškových pásmach je prezentované v tab. 3.9 - 3.11 a obr. 3.14 - 3.22. Mieru vplyvu dôsledkov zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku na zraniteľnosť vybraných území Slovenska sme vyhodnotili pre zvolené časové horizonty (2010, 2030 a 2075) zvlášť pre klimatické scenáre GCM (CCCM, GFD3 a GISS) a zvlášť pre dvojice scenárov NKP (scenáre SD a scenáre WP). Pri hodnotení zraniteľnosti sme posudzovali plošné zastúpenie jednotlivých kombinácií zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku pre územie Slovenska (v km² a % plochy územia Slovenska) a percentuálne zastúpenie vybraných výškových pásiem v týchto kategóriách.

Hodnotenie zraniteľnosti územia Slovenska pre kombinácie scenárov GCM

Pre časový horizont 2010 (tab.3.9) je charakteristický mierny pokles odtoku - viac ako 90% územia Slovenska je v pásme miernej zraniteľnosti (kombinácie zmeny odtoku sa pohybujú od -10 % až 0 % po -30% až -10 %). V tomto páse sa nachádza takmer celé výškové pásmo nížin, 95 % plochy nízkych vysočín a 50 % výškového pásma stredovysočín. Zvyšných asi 9 % územia SR je v pásme nevýraznej zmeny odtoku (kombinácie kategórií mierneho poklesu, resp. rastu odtoku). Toto pásmo tvorí zo 4% územie nízkych vysočín (výškové pásmo od 300 do 800 m n.m.), asi 50 % regiónu stredovysočín a celé výškové pásmo nad 1500 m n.m. (vysoké vysočiny). Priestorová lokalizácia jednotlivých kombinácií zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku je na obr. 3.14

Kombinácia jednotlivých kategórií zmien odtoku pre časový horizont 2030 je znázornená na obr. 3.15 a číselne vyhodnotená v tab. 3.9. Z tohto vyhodnotenia môžeme konštatovať zvýšenie plochy územia SR charakterizované výraznejším poklesom odtoku (kategórie poklesu od -30% až -10 % a viac). V tomto páse zraniteľnosti sa nachádza viac ako 10 % územia Slovenska. Naopak poklesol rozsah územia s nevýraznou zmenou odtokovej situácie, z 9 % na 6 % plochy SR. V pásme miernej zraniteľnosti sa nachádza väčšina územia SR - asi 77 %. Najzraniteľnejším výškovým pásmom je oblasť nížin (územie s nadmorskou výškou do 300 m n.m.), z ktorého sa 25 % nachádza v pásme poklesu odtoku -30 % až -10 %, resp. -50 % až -30 %. Takmer 74 % plochy nížin spolu s viac ako 90 % nízkych vysočín a 63 % plochy stredovysočín sa aj naďalej nachádza v pásme miernej zraniteľnosti. V zóne nevýrazných zmien je aj naďalej celá oblasť vysokých pohorí a asi 36 % plochy stredovysočín. Časový horizont 2075 je charakterizovaný najvyšším počtom kombinácií jednotlivých kategórií zmeny priemerného ročného odtoku (tab. 3.9 a obr. 3.16). Viac ako 11 % územia SR - čo tvorí približne 27 % plochy nížin - sa nachádza v zóne výrazného poklesu odtoku (kombinácie kategórií s prevládajúcou kategóriou -50 % až -30 %, resp. pokles odtoku väčší ako 50 %). Túto oblasť môžeme pre daný časový horizont hodnotiť ako veľmi zraniteľnú. Najväčšiu plochu územia Slovenska, asi 57 %, tvoria kombinácie s prevládajúcou zmenou odtoku od -30 % až -10 %. V tomto páse

sa nachádza asi 47 % výškového pásma do 300 m n.m., 78 % plochy výškového pásma od 300 - 800 m n.m. a približne 22 % výškového pásma 800 - 1500 m n.m. Výškové pásmo nad 1500 m n.m sa takmer celé nachádza v oblasti nevýrazných zmien odtoku. Treba si však uvedomiť, že uvedené výškové pásmo tvorí len necelé 1 % plochy územia SR.

Scenáre GCM nepripúšťajú na väčšine územia SR možnosť výraznejšieho nárastu odtoku, a to i napriek uvažovanému nárastu zrážok. Medzi najzraniteľnejšie územia budú patriť oblasti nížin a nižších vysočín, ktoré budú veľmi pravdepodobne poznačené poklesom odtoku, tento bude najvýraznejší v nižších oblastiach. Oblasti stredovysočín a vysokých vysočín budú v zóne miernej zraniteľnosti charakterizovanej miernym rastom, resp. nevýrazným poklesom priemerného ročného odtoku.

Hodnotenie zraniteľnosti územia Slovenska pre kombinácie scenárov NKP

Hodnotenie zraniteľnosti vzhľadom na zmeny dlhodobého priemerného ročného odtoku pre scenáre NKP sme hodnotili zvlášť pre dvojicu scenárov typu SD (tab. 3.10 a obr. 3.17 - 3.19) a zvlášť pre dvojicu scenárov WP (tab. 3.11, resp. obr. 3.20 - 3.22).

Scenáre typu SD sa prejavili takto:

Už pre časový horizont 2010 je badateľný pokles odtoku, viac ako 53 % územia Slovenska je v pásme miernej zraniteľnosti (kombinácia kategórií poklesu -30 % až -10 %). V tomto páse sa nachádza 94 % plochy nížin a asi 33 % plochy nízkych vysočín. V pásme nevýrazných zmien (kombinácie zmeny odtoku od -10 % až 0 %) sa nachádza len okolo 10 % územia SR. Túto zónu tvoria vysoké vysočiny a asi 50 % plochy stredovysočín. Časový horizont 2030 môžeme charakterizovať nárastom extremity poklesu odtoku, ktorý sa prejavuje najmä v oblastiach výškového pásma do 300 m n.m. (oblasť nížin). Až 73 % plochy nížin sa nachádza v pásme zvýšenej zraniteľnosti (kombinácie s výskytom kategórií poklesu, 50% až -30 %), čo tvorí asi 30 % plochy SR. Prakticky celá oblasť nízkych vysočín a stredovysočín je v pásme miernej zraniteľnosti, v zóne nevýrazného poklesu sa nachádza asi 60 % plochy vysokých vysočín.

V časovom horizonte 2075 pokles odtoku naďalej vzrastá a prejavuje sa najmä v oblastiach s nadmorskou výškou do 800 m n.m. Tieto pásma sa prakticky celé (celá oblasť nížin a asi 85 % plochy nízkych vysočín) nachádzajú v zóne zvýšenej až výraznej zraniteľnosti. Menej zraniteľná bude len asi 15 % plocha územia SR, ktorú tvorí oblasť vysokých pohorí a asi 60 % stredovysočín.

Kombinácie scenárov typu WP sa prejavujú podobne ako kombinácie scenárov SD, len sú ešte extrémnejšie. Pre časový horizont 2010 je v pásme miernej zraniteľnosti až 61 % územia Slovenska, 4 % územia (asi 10 % plochy nížin) sú v pásme zvýšenej zraniteľnosti. V zóne nevýrazných zmien sa nachádza 42 % územia stredovysočín a asi 88 % vysokých vysočín.

Časový horizont 2030 sa prejavuje ďalším nárastom poklesu odtoku, ktorý je najväčší v oblasti nížin. Takmer 45 % plochy nížin je charakterizované kombináciou kategórií poklesu odtoku -30 % až -50 %. V pásme miernej zraniteľnosti sa nachádza len približne 30 % územia Slovenska, toto územie tvoria najmä nízke vysočiny (asi 41 % plochy výškového pásma od 300 do 800 m n.m.) a stredovysočiny (61 % plochy výškového pásma od 800 do 1500 m n.m.). Najextrémnejšie sa prejavujú kombinácie scenárov WP pre časový horizont 2075. Tieto predpokladajú výrazný pokles odtoku najmä v najzraniteľnejších oblastiach - v nížinách a nízkych vysočinách. Až 46 % nížin leží v pásme, ktoré je charakterizované kombináciou kategórií poklesu viac ako -50 %, ďalších takmer 48 % nížin spolu so 60 % plochy nízkych vysočín leží v pásme kombinácií kategórií -50 % až -30 % a -50 % a viac. V pásme miernej zraniteľnosti sa bude nachádzať len 58% plochy vysokých vysočín.

Zo zhodnotenia zraniteľnosti územia SR vzhľadom na zmeny odtoku vyvolané klimatickými scenármi GCM a NKP vyplýva, že pokles vodnosti je oveľa pravdepodobnejší, než zachovanie stavu spred niekoľkých desaťročí. Tento pokles by sa však mal z hľadiska vodohospodárskych bilancií podľa scenárov GCM výraznejšie prejavovať až v horizonte 2030, podľa scenárov NKP by sa s nimi mohlo začať uvažovať už v horizonte 2010. Rozhodujúcim faktorom pre pokles odtoku sa ukazuje očakávaný nárast teploty v klimatických scenároch. Podľa odvodených máp zraniteľnosti budú poklesom odtoku najviac zasiahnuté južné oblasti Slovenska a v nich najmä výškové pásmo do 300 m n.m.. Najmenej zraniteľné budú oblasti vysokých pohorí, ktoré však tvoria len 0.75% plochy územia SR.

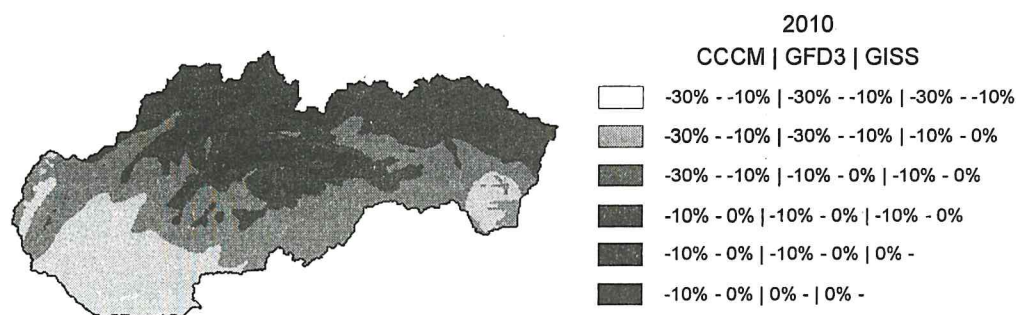
Tab. 3.9 Hodnotenie zraniteľnosti územia vybraných výškových pásiem Slovenska vzhľadom na kombinácie kategórií zmien odtoku vyvolané scenármi GCM

Table 3.9 Vulnerability assessment concerning with category combinations of GCM climate change scenarios for selected elevation ranges of Slovakia

Plocha územia [km ²]	Plocha územia [%]	Priemerná nadm. výška [m n.m.]	2010				Výškové pásmo [m n.m.]			
			CCCM	GFD3	GISS		do 300	300 - 800	800 - 1500	1500 a viac
8	0,02 %	110	-30% - -10%	-30% - -10%	-30% - -10%		0,04 %			
10019	20,41 %	145	-30% - -10%	-30% - -10%	-10% - 0%		50,07 %	0,20 %		
17590	35,83 %	331	-30% - -10%	-10% - 0%	-10% - 0%		43,62 %	39,01 %	0,89 %	
17098	34,83 %	598	-10% - 0%	-10% - 0%	-10% - 0%		6,26 %	56,78 %	49,70 %	
3861	7,86 %	943	-10% - 0%	-10% - 0%	0% -			4,01 %	45,95 %	22,64 %
518	1,06 %	1454	-10% - 0%	0% -	0% -		0,01 %	3,46 %		77,36 %
Plocha územia [km ²]	Plocha územia [%]	Priemerná nadm. výška [m n.m.]	2030				Výškové pásmo [m n.m.]			
			CCCM	GFD3	GISS		do 300	300 - 800	800 - 1500	1500 a viac
2309	4,70 %	118	-50% - -30%	-30% - -10%	-30% - -10%		11,62 %			
2751	5,60 %	137	-30% - -10%	-30% - -10%	-30% - -10%		13,83 %			
19384	39,48 %	247	-30% - -10%	-30% - -10%	-10% - 0%		71,53 %	22,59 %	0,05 %	
12857	26,19 %	530	-30% - -10%	-10% - 0%	-10% - 0%		2,96 %	51,08 %	12,28 %	
5705	11,62 %	669	-10% - 0%	-10% - 0%	-10% - 0%		0,06 %	19,00 %	22,19 %	
3035	6,18 %	849	-30% - -10%	-10% - 0%	0% -			5,64 %	29,14 %	
2404	4,90 %	973	-10% - 0%	-10% - 0%	0% -			1,68 %	31,28 %	15,19 %
649	1,32 %	1405	-10% - 0%	0% -	0% -		0,01 %	0,01 %	5,05 %	84,81 %

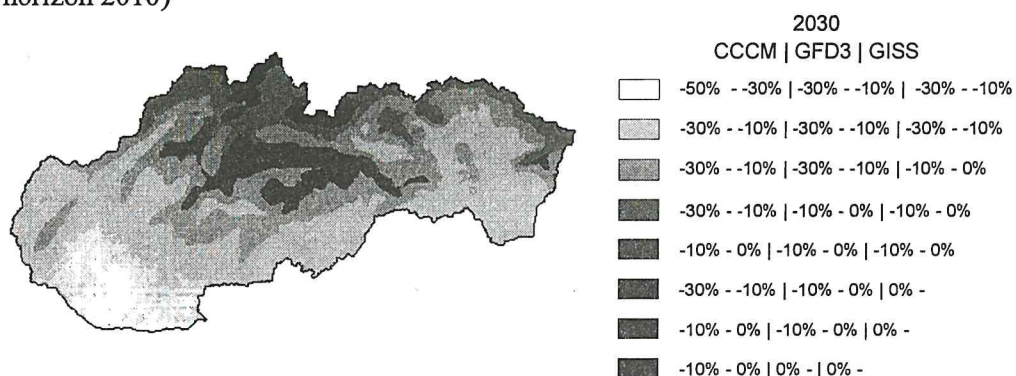
Tab. 3.9 - pokračovanie
Table 3.9 continued

Plocha územia [km ²]	Plocha územia [%]	Priemerná nadm. výška [m n.m.]	2075				Výškové pásmo [m n.m.]				
			CCCM	GFD3	GISS	do 300	300 - 800	800 - 1500	1500 a viac		
479	0,98 %	112	-50% - -30%	-50% - -30%	-50% - -30%	2,41 %					
5316	10,83 %	134	-50% - -30%	-50% - -30%	-30% - -10%	26,73 %					
4775	9,73 %	162	-50% - -30%	-50% - -30%	-30% - -10%	23,63 %	0,23 %				
15233	31,03 %	312	-50% - -30%	-30% - -10%	-30% - -10%	41,11 %	30,99 %	0,13 %			
5551	11,31 %	437	-30% - -10%	-30% - -10%	-30% - -10%	5,59 %	19,13 %	2,44 %			
2299	4,68 %	523	-50% - -30%	-30% - -10%	-10% - 0%	0,29 %	9,72 %	0,87 %			
7485	15,25 %	631	-30% - -10%	-30% - -10%	-10% - 0%	0,22 %	27,71 %	19,21 %			
5702	11,61 %	819	-30% - -10%	-10% - 0%	-10% - 0%	0,02 %	11,60 %	49,57 %	0,29 %		
215	0,44 %	901	-10% - 0%	-10% - 0%	-10% - 0%		0,08 %	2,82 %	0,86 %		
1216	2,48 %	1057	-30% - -10%	-10% - 0%	0% -		0,50 %	17,60 %	10,03 %		
313	0,64 %	1087	-10% - 0%	-10% - 0%	0% -	0,01 %	0,03 %	4,08 %	10,03 %		
171	0,35 %	1435	-30% - -10%	0% -	0% -			1,76 %	18,34 %		
339	0,69 %	1490	-10% - 0%	0% -	0% -			1,51 %	60,46 %		



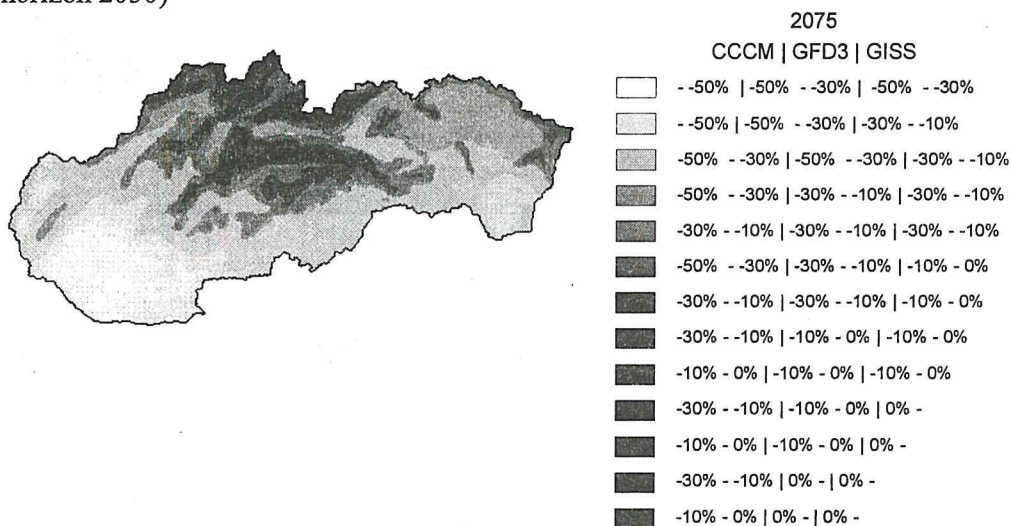
Obr. 3.14 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na kombinácie kategórií zmien odtoku podľa scenárov GCM pre časový horizont 2010

Fig. 3.14 Vulnerability map of Slovakia to runoff changes for combined GCM scenarios (time horizon 2010)



Obr. 3.15 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na kombinácie kategórií zmien odtoku podľa scenárov GCM pre časový horizont 2030

Fig. 3.15 Vulnerability map of Slovakia to runoff changes for combined GCM scenarios (time horizon 2030)



Obr. 3.16 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na kombinácie kategórií zmien odtoku podľa scenárov GCM pre časový horizont 2075

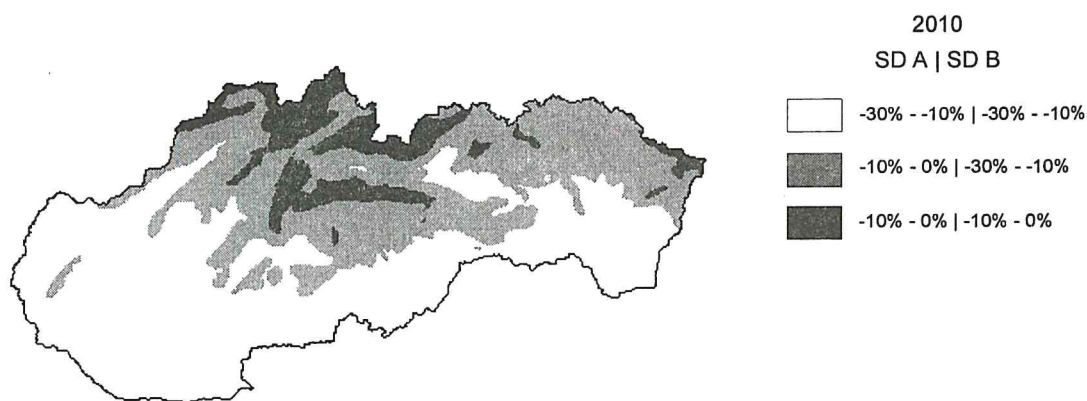
Fig. 3.16 Vulnerability map of Slovakia to runoff changes for combined GCM scenarios (time horizon 2075)

Tab. 3.10 Hodnotenie zraniteľnosti územia vybraných výškových pásiem Slovenska vzhľadom na zmeny odtoku vyvolané scenármi NKP - SD A a SD B
 Table 3.10 Vulnerability assessment concerning NKP (SD A and SD B) climate change scenarios for selected elevation ranges of Slovakia

Plocha územia [km ²]	Plocha územia [%]	Priemerná nadm. výška [m n.m.]	2010		Výškové pásmo [m n.m.]				
			SD A	SD B	do 300	300 - 800	800 - 1500	1500 a viac	
26330	53,63 %	248	-30% - -10%	-30% - -10%	94,12 %	33,35 %	0,12 %		
17403	35,45 %	594	-10% - 0%	-30% - -10%	5,86 %	58,95 %	48,53 %		
5361	10,92 %	937	-10% - 0%	-10% - 0%	0,03 %	7,71 %	51,35 %	100,00 %	
Plocha územia [km ²]	Plocha územia [%]	Priemerná nadm. výška [v m n.m.]	2030		Výškové pásmo [m n.m.]				
			SD A	SD B	do 300	300 - 800	800 - 1500	1500 a viac	
1	0,00 %	110	-50% - -30%	-50% - -30%	0,01 %				
15030	30,61 %	163	-30% - -10%	-50% - -30%	73,25 %	1,77 %			
30235	61,59 %	516	-30% - -10%	-30% - -10%	26,73 %	94,60 %	58,50 %		
3496	7,12 %	956	-10% - 0%	-30% - -10%	0,02 %	3,63 %	40,11 %	39,54 %	
332	0,68 %	1499	-10% - 0%	-10% - 0%			1,40 %	60,46 %	
Plocha územia [km ²]	Plocha územia [%]	Priemerná nadm. výška [m n.m.]	2075		Výškové pásmo [m.n.m.]				
			SD A	SD B	do 300	300 - 800	800 - 1500	1500 a viac	
212	0,43 %	112	- -50%	- -50%	1,07 %				
15205	30,97 %	166	-50% - -30%	- -50%	73,65 %	2,18 %			
10724	21,84 %	362	-50% - -30%	-50% - -30%	19,37 %	30,37 %	0,08 %		
15244	31,05 %	578	-30% - -10%	-50% - -30%	5,88 %	52,27 %	38,00 %		
7555	15,39 %	843	-30% - -10%	-30% - -10%	0,04 %	15,18 %	61,61 %	62,75 %	
154	0,31 %	1734	-10% - 0%	-30% - -10%			0,31 %	37,25 %	

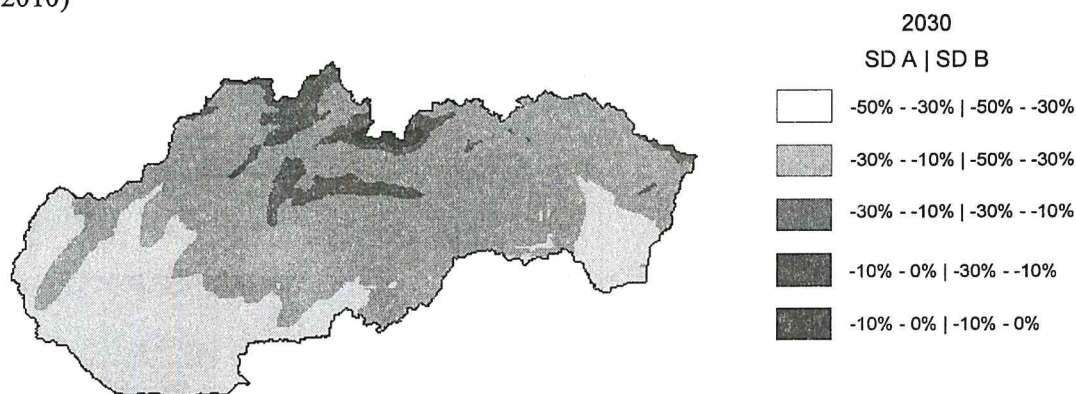
Tab. 3.11 Hodnotenie zraniteľnosti územia vybraných výškových pásiem Slovenska vzhľadom na zmeny odtoku vyvolané scenármi NKP - WP A a WP B
 Table 3.11 Vulnerability assessment concerning NKP (WP A and WP B) climate change scenarios for selected elevation ranges of Slovakia

Plocha územia [km ²]	Plocha územia [%]	Priemerná nadm. výška [m n.m.]	2010		Výškové pásmo [m.n.m.]			
			WPA	WPB	do 300	300 - 800	800 - 1500	1500 a viac
2073	4,22 %	117	-30% - -10%	-50% - -30%	10,44 %			
30155	61,42 %	325	-30% - -10%	-30% - -10%	84,04 %	56,70 %	9,35 %	
9400	19,15 %	650	-10% - 0%	-30% - -10%	5,46 %	23,56 %	49,18 %	11,75 %
7466	15,21 %	770	-10% - 0%	-10% - 0%	0,07 %	19,74 %	41,47 %	88,25 %
Plocha územia [km ²]	Plocha územia [%]	Priemerná nadm. výška [m n.m.]	2030		Výškové pásmo [m.n.m.]			
			WPA	WPB	do 300	300 - 800	800 - 1500	1500 a viac
783	1,59 %	112	-50% - -30%	- -50%	3,94 %			
8289	16,88 %	146	-50% - -30%	-50% - -30%	4,49 %	0,15 %		
19734	40,20 %	336	-30% - -10%	-50% - -30%	48,31 %	44,14 %	1,61 %	
14404	29,34 %	642	-30% - -10%	-30% - -10%	6,23 %	41,46 %	61,43 %	28,37 %
5316	10,83 %	738	-10% - 0%	-30% - -10%	0,03 %	14,22 %	32,58 %	1,43 %
568	1,16 %	1347	-10% - 0%	-10% - 0%	0,01 %	0,02 %	4,38 %	70,20 %
Plocha územia [km ²]	Plocha územia [%]	Priemerná nadm. výška [m n.m.]	2075		Výškové pásmo [m.n.m.]			
			WPA	WPB	do 300	300 - 800	800 - 1500	1500 a viac
9211	18,76 %	143	- -50%	- -50%	46,12 %	0,15 %		
18463	37,61 %	322	-50% - -30%	- -50%	47,61 %	39,39 %	0,58 %	
5492	11,19 %	640	-50% - -30%	-50% - -30%	0,18 %	20,31 %	14,36 %	
8655	17,63 %	626	-30% - -10%	-50% - -30%	6,02 %	21,37 %	43,30 %	10,03 %
6969	14,20 %	747	-30% - -10%	-30% - -10%	0,07 %	18,78 %	40,60 %	31,81 %
304	0,62 %	1533	-10% - 0%	-30% - -10%			1,17 %	58,17 %



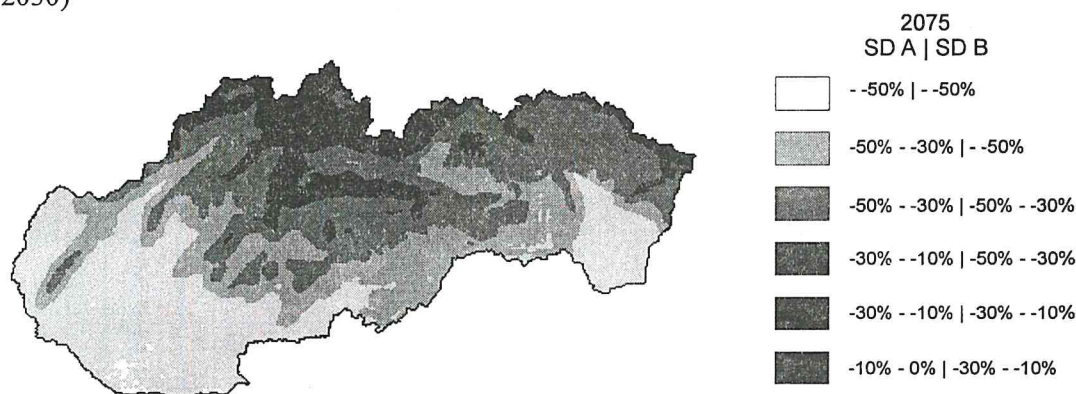
Obr. 3.17 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na zmeny odtoku podľa scenárov NKP - SD pre časový horizont 2010

Fig. 3.17 Vulnerability map of Slovakia to runoff changes for NKP - SD scenarios (time horizon 2010)



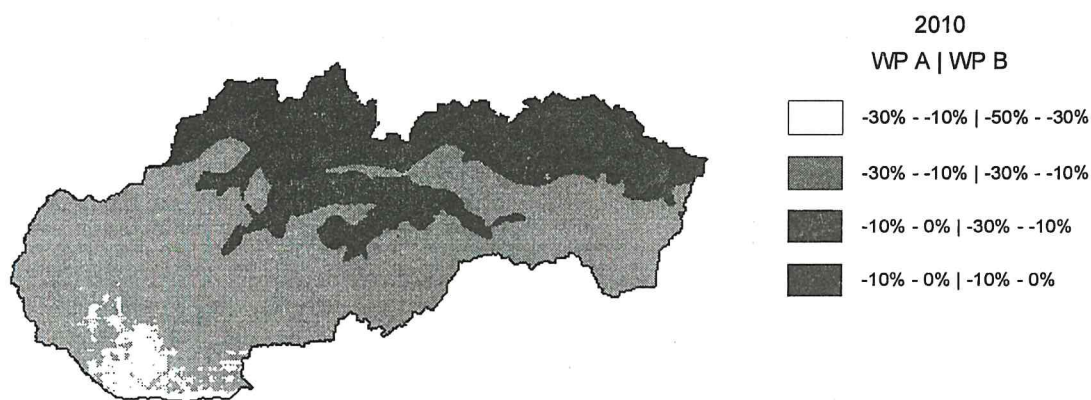
Obr. 3.18 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na zmeny odtoku podľa scenárov NKP - SD pre časový horizont 2030

Fig. 3.18 Vulnerability map of Slovakia to runoff changes for NKP - SD scenarios (time horizon 2030)



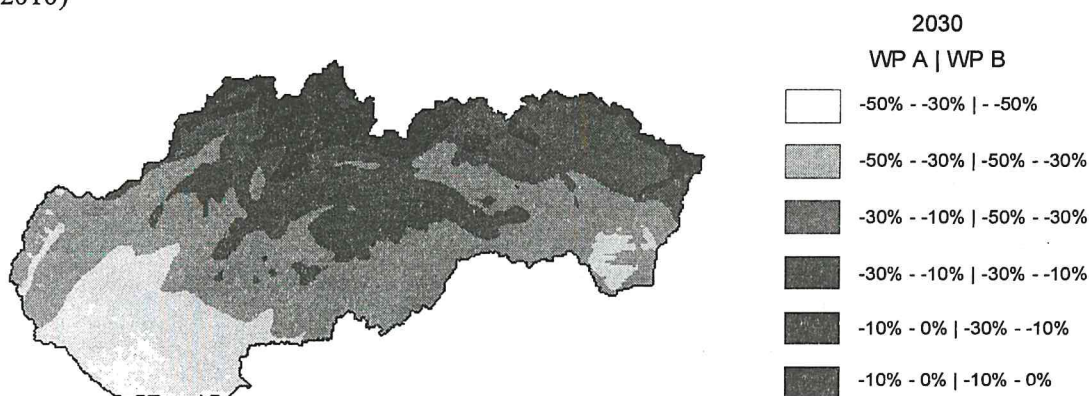
Obr. 3.19 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na zmeny odtoku podľa scenárov NKP - SD pre časový horizont 2075

Fig. 3.19 Vulnerability map of Slovakia to runoff changes for NKP - SD scenarios (time horizon 2075)



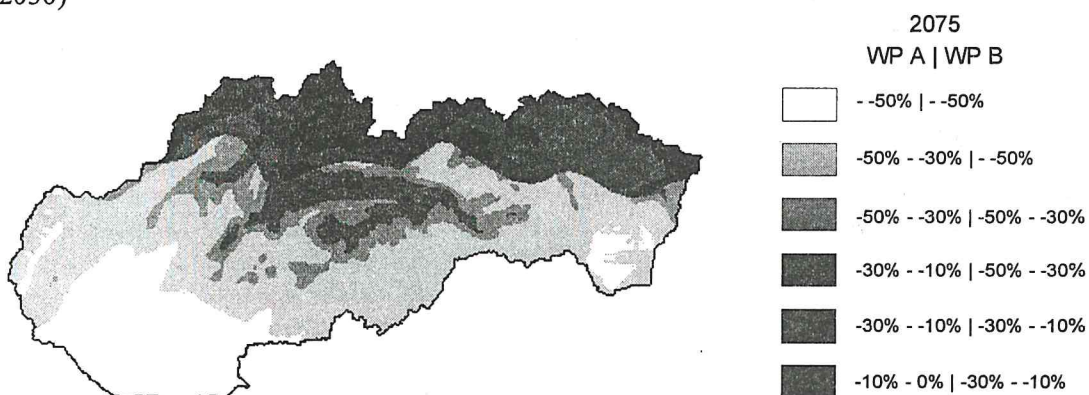
Obr. 3.20 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na zmeny odtoku podľa scenárov NKP - WP pre časový horizont 2010

Fig. 3.20 Vulnerability map of Slovakia to runoff changes for NKP - WP scenarios (time horizon 2010)



Obr. 3.21 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na zmeny odtoku podľa scenárov NKP - WP pre časový horizont 2030

Fig. 3.21 Vulnerability map of Slovakia to runoff changes for NKP - WP scenarios (time horizon 2030)



Obr. 3.22 Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na zmeny odtoku podľa scenárov NKP - WP pre časový horizont 2075

Fig. 3.22 Vulnerability map of Slovakia to runoff changes for NKP - WP scenarios (time horizon 2075)

4. MOŽNÉ ZMENY ŠTATISTICKÝCH VLASTNOSTÍ PRIEMERNÝCH MESAČNÝCH PRIETOKOV V DÔSLEDKU ZMENY KLÍMY

Tak ako v predchádzajúcich štúdiách, napr. Szolgay, Čunderlík, Parajka (1996), Szolgay, Dzubák, Čunderlík, Parajka (1996), Szolgay, Hlavčová, Parajka, Čunderlík (1997), Čunderlík et al. (1998), sa v tejto časti zaoberáme posúdením možného vplyvu klimatickej zmeny na vnútroročné rozdelenie dlhodobých priemerných mesačných prietokov vo vybraných povodiach Slovenska s použitím matematického modelu odtoku WatBal. Pokúsili sme sa doterajšie výsledky zhrnúť a nadväzujúc na ne sa zaoberáme aj možnými zmenami štatistických parametrov priemerných mesačných prietokov v jednotlivých oblastiach Slovenska. Skúmali sme možné zmeny aritmetického priemeru ako najčastejšie používanej charakteristiky polohy, koeficientu variácie CV charakterizujúceho mieru rozptylu a koeficientu asymetrie CS charakterizujúceho tvar funkcie rozdelenia priemerných mesačných prietokov. Ďalej sme sa venovali odhadom zmeny závislosti medzi priemernými mesačnými prietokmi v jednotlivých mesiacoch a autokorelačnej funkcie časového radu priemerných mesačných prietokov. Hlavným cieľom analýzy bolo získať predstavu o možných zmenách uvedených parametrov, ktoré nevyhnutne ovplyvnia parametre vodohospodárskych stavieb a využívanie povrchových vodných zdrojov. Vzhľadom na rozsiahlosť výsledkov, rôzne zdroje a mieru prejavu neistoty vypočítaných charakteristík (neistoty v zavádzaní klimatických scenárov do časových radov priemernej mesačnej teploty vzduchu a zrážkových úhrnov, neistoty v samotnej metodike hodnotenia impaktov pomocou bilančného hydrologického modelu, neistoty odhadu štatistických parametrov radov priemerných mesačných prietokov a pod.), prezentujeme len vzorové výsledky a pokúsime sa skôr popísať zistené tendencie, než kvantitatívne prezentovať a hodnotiť výsledky.

4.1 METODIKA

Pre odhad možnej zmeny priemerných mesačných prietokov v dôsledku klimatickej zmeny bol použitý nasledujúci bežný postup:

- výber scenárov zmien klímy a modelových území pre hodnotenie impaktu,
- kalibrácia hydrologického bilančného modelu odtoku v skúmaných povodiach,
- vytvorenie etalónových modelových časových radov priemerných mesačných prietokov na základe parametrov modelu z kalibrácie a vstupných údajov z referenčného obdobia 1951 až 1980 v každom povodí,
- zohľadnenie možnej zmeny klímy vo vstupných časových radoch mesačných zrážkových úhrnov a priemernej mesačnej teploty vzduchu použitím scenárov zmien klímy. Pri vytváraní takýchto modelových radov vstupných hodnôt boli pôvodné hodnoty opravené v každom mesiaci o zmenu udávanú príslušným scenárom pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075. Tým sa dosiahlo, že dlhodobý priemer príslušnej vstupnej veličiny sa zmenil tak, ako to predpisoval klimatický scenár,
- simulovanie odtoku z povodí pomocou matematického bilančného modelu odtoku so zmenenými vstupnými veličinami a parametrami modelu z kalibračného obdobia,
- odhad štatistických charakteristík etalónových a modelových časových radov v jednotlivých mesiacoch roka podľa vyššie uvedených vzťahov v každom povodí pre každý použitý scenár a sledovaný časový horizont,
- vyhodnotenie tendencií zmien v hodnotách štatistických charakteristík.

K vyššie uvedeným neistotám je potrebné uviesť ešte nasledujúce: Z údajov vstupujúcich do modelu sa podľa použitej metodiky hodnotenia impaktu podľa klimatických scenárov zmenili mesačné rady zrážok a teploty vzduchu. Mesačné hodnoty potenciálnej evapotranspirácie, relatívnej vlhkosti vzduchu a slnečného svitu v scenároch ostávali nezmenené.

Scenáre zmien zrážok sú všeobecne definované ako percentuálna zmena úhrnov zrážok v danom mesiaci. Touto transformáciou sa zmení v jednotlivých mesiacoch aritmetický priemer a smerodajná odchýlka, koeficient variácie a asymetrie distribučnej funkcie zrážkových úhrnov sa nezmení.

Scenáre zmien teploty vzduchu sa najčastejšie udávajú ako prírastok alebo pokles teploty. V dôsledku pripočítania alebo odčítania hodnoty zmeny scenárovej teploty sa zmení aritmetický priemer a koeficient variácie, smerodajná odchýlka a koeficient asymetrie zostanú nezmenené.

Matematický bilančný model odtoku ako nelineárny systém transformuje takto zmenené štatistické vlastnosti radov vstupných veličín na vlastnosti výstupných radov. Pri výslednom hodnotení zmien štatistických vlastností modelovaných radov priemerných mesačných prietokov treba preto prihliadať, popri vyššie uvedených neistotách, aj na uvedené zjednodušenia.

4.2 VÝBER POVODÍ A KLIMATICKÝCH SCENÁROV ZMIEN TEPLoty VZDUCHU A ZRÁŽOK

Pri výbere povodí bolo zohľadnených niekoľko požiadaviek. Hlavnou požiadavkou bolo, aby vybrané povodia reflektovali rôzne typy sezónneho rozdelenia odtoku v rôznych regiónoch Slovenska. Dôraz bol ďalej kladený na dostupnosť dostatočne dlhých radov vstupných údajov a dostatočný počet klimatických staníc v povodiach. Vzhľadom na niektoré rozdielne scenáre klimatickej zmeny pre severnú a južnú časť Slovenska boli zároveň povodia vyberané tak, aby zasahovali len do jednej z uvedených častí. Severnú oblasť Slovenska reprezentuje povodie horného Váhu po Liptovský Mikuláš. Pre strednú oblasť bolo ako modelové povodie vybrané povodie Nitry po Nitriansku Stredu. Južné Slovensko je v štúdií reprezentované povodím Ipl'a po Holišu. Východnú oblasť Slovenska prezentuje povodie Tople po Hanušovce. Základné charakteristiky povodí, použité klimatické stanice a kalibračné obdobia v kalendárnych rokoch pre jednotlivé povodia sú uvedené v tab. 4.1.

Pre tvorbu scenárov zmien vnútroročného rozdelenia odtoku boli použité dva scenáre zmien klímy. Prvým bol GCM scenár CCCM, ktorý sa často považuje za vhodný model pre naše územie a druhým bol scenár vytvorený v rámci Národného klimatického programu SR s označením WP B, ktorý zohľadňuje doterajšie skúsenosti so zmenami klimatických charakteristík u nás v teplých obdobiach. Podrobné informácie o použitých scenároch boli uvedené v Lapin (1995, 1997).

4.3 MODELOVANIE ODTOKU Z POVODIA S MESAČNÝM ČASOVÝM KROKOM

Pre modelovanie odtoku z povodia s mesačným časovým krokom bol použitý matematický model vodnej bilancie WatBal, ktorý je špeciálnou implementáciou koncepčného modelu odtoku so sústredenými parametrami CLIRUNS navrhnutého Kaczmarkom (1993). Model schematizuje povodie ako jednu nelineárnu nádrž. Simuluje akumuláciu a topenie snehu, evapotranspiráciu, odtok z nepriepustných plôch v povodí, povrchový, podpovrchový a základný odtok. Pre výpočet vodnej bilancie pomocou modelu v mesačnom kroku sú potrebné tieto základné vstupné údaje:

- priemerné mesačné úhrny zrážok na dané povodie,
- priemerné mesačné prietoky v záverečnom profile povodia,
- priemerné mesačné hodnoty potenciálnej evapotranspirácie v danom povodí (PET).

Model umožňuje používať rôzne prístupy pre výpočet potenciálnej evapotranspirácie, medzi nimi aj používanie hodnôt vypočítaných užívateľom. V prípade, že chýbajú užívateľom zadané údaje o PET, model umožňuje jej výpočet metódami Priestly-Taylor a Thornthwaite. K tomu sú potrebné tieto údaje :

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

K spresneniu výpočtu PET je možné navyše zadať aj dlhodobé priemerné mesačné hodnoty radiačnej bilancie, rýchlosti vetra a albeda. Podrobný popis matematického modelu sa nachádza napr. v Yates (1994) alebo v Čunderlík (1996). Základná diferenciálna rovnica vodnej bilancie použitá v modeli má nasledujúci tvar :

$$S_{\max} \frac{dz}{dt} = (P(t)(1-\beta)) - R_s(z,t) - R_{ss}(z,t) - Ev(PET, z, t) - R_b, \quad (4.1)$$

kde:

$S_{\max}$ - maximálna retenčná kapacita zásob vody v povodí [mm/mesiac], S - retenčná kapacita zásob vody v povodí v čase t [mm/mesiac], z - relatívna retenčná kapacita zásob vody v povodí ($0 \leq z \leq 1$), $z = S/S_{\max}$, t - čas [mesiac], P - zrážky [mm/mesiac], β - koeficient vyjadrujúci, aká časť zrážok dopadla na nepriepustné a vodné plochy v povodí ($0 \leq \beta \leq 1$), R_s - povrchový odtok [mm/mesiac], R_{ss} - podpovrchový odtok [mm/mesiac], Ev - evapotranspirácia [mm/mesiac], R_b - základný odtok [mm/mesiac].

V našom prípade bola potenciálna evapotranspirácia počítaná metódou Priestly-Taylor. Je to radiačne založená metóda, pri ktorej hodnoty radiačnej bilancie môžu byť zadané priamo alebo počítané analytickými postupmi. Albedo, ktoré je zahrnuté do výpočtu, môže byť podobne zadané priamo alebo vypočítané na základe danej pôdnej vlhkosti a dominantného pôdneho pokryvu (tráva, les, sneh alebo holá pôda). Metóda Priestly-Taylor vychádza zo zjednodušeného tvaru Penmanovej rovnice, ktorá má nasledujúci tvar:

$$E_{re} = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G), \quad (4.2)$$

kde:

E_{re} - odhad PET [mm/deň], α - je Priestly-Taylorova bezrozmerná konštanta, jej hodnota kolíše medzi 1,26 pri humídnom podnebí a 1,74 pri arídnom podnebí, γ - je psychrometrická konštanta rovná 66,8 [Pa°C⁻¹], Δ - je gradient krivky napätia nasýtenia pri danej teplote T [°C] a napätí nasýtenia e_s [Pa°C⁻¹], G - je pôdny tepelný tok [mm/deň], ktorý pri regionálnych odhadoch môže byť zanedbaný, R_n - je radiačná bilancia [mm/deň].

Model je kalibrovaný pomocou algoritmu, ktorý nachádza optimálnu kombináciu všetkých parametrov pri minimálnej hodnote strednej kvadratickej chyby medzi napozorovaným a namodelovaným odtokom.

4.4 ODHAD ŠTATISTICKÝCH CHARAKTERISTÍK PRIEMERNÝCH MESAČNÝCH PRIETOKOV

Za základné štatistické vlastnosti každej distribučnej funkcie sa považujú jej poloha, rozptyl a tvar. Poloha funkcie je v tejto štúdií charakterizovaná aritmetickým priemerom ($\bar{x}$), rozptyl koeficientom variácie (CV) a tvar koeficientom asymetrie (CS). Analýza sa zaoberá otázkou zmeny týchto vybraných štatistických charakteristík radov priemerných mesačných prietokov na modelovom výstupe v dôsledku klimateckej zmeny vyjadrenej príslušnými scenármi.

Aritmetický priemer radov mesačných prietokov bol počítaný podľa vzťahu:

$$\bar{x} = \left(\frac{1}{N} \right) \sum_{i=1}^N x_i, \quad (4.3)$$

kde x_i je i -tý prvok súboru s N členmi. Ďalšou sledovanou charakteristikou je smerodajná odchýlka s :

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}, \quad (4.4)$$

pomocou ktorej sa definuje koeficient variácie CV ako $CV = s/\bar{x}$. Parameter tvaru distribučnej funkcie, ktorý vyjadruje jej mieru šikmosti je koeficient asymetrie CS. Často je odhadovaný ako:

$$CS = \frac{N \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{(N-1)(N-2)s^3}. \quad (4.5)$$

Hodnoty uvedených štatistických charakteristík sú zaťažené neistotami odhadu, ktorých veľkosť rastie s rádom odhadovaného momentu a so znižujúcou sa dĺžkou pozorovaní. Dub a Němec (1969) ju udávajú ako percentuálnu hodnotu strednej kvadratickej chyby vypočítaných štatistických charakteristík podľa nasledujúcich vzťahov:

stredne kvadratická chyba aritmetického priemeru:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{100CV}{\sqrt{N}} \quad [\%], \quad (4.6)$$

chyba koeficientu variácie:

$$\sigma_{cv} = \frac{100\sqrt{1+3CV^2}}{\sqrt{2(N-1)}} \quad [\%], \quad (4.7)$$

chyba koeficientu asymetrie:

$$\sigma_{CS} = \frac{100 \sqrt{\frac{6}{N} \sqrt{1 + 6CV^2 + 5CV^4}}}{CS} [\%] . \quad (4.8)$$

Pri modelovaní priemerných mesačných prietokov sa vychádzalo z 30-ročného referenčného obdobia 1951 až 1980. Pri $N = 30$ sa uvedené chyby (neistoty odhadu) pri modelovaných radoch pohybujú v rozpätí σ_x od 2,7 do 23,7 %, σ_{CV} od 13,6 do 32,3 % a σ_{CS} až po 125 %.

To znamená, že vypočítané zmeny štatistických ukazovateľov môžu byť častokrát menšie ako miera neistoty ich určenia. Z tohoto dôvodu upúšťame v hodnotení výsledkov od ich číselného vyjadrenia a radšej sme dôraz kládli na vystihnutie všeobecných trendov zmien. Percentuálne zmeny aritmetického priemeru, CV a CS pre jednotlivé klimatické scenáre vo vybraných povodiach Slovenska sú uvedené v tab. 4.2, 4.3 a 4.4. Príklady percentuálnych zmien CV a CS sú na obr. 4.1 až 4.4. Príklady zmien aritmetického priemeru a na kalibráciu modelu sú uvedené v predchádzajúcich štúdiách (napríklad Szolgay et al., 1997).

4.5 VÝPOČET MIERY ZÁVISLOSTI MEDZI MESAČNÝMI MODELOVÝMI PRIETOKMI

V ďalšom sme sa venovali odhadom existujúcich korelačných väzieb v jednotlivých modelovaných mesačných časových radoch. Korelácie boli počítané v etalónových a vo všetkých modelovaných radoch mesačných prietokov počítaných podľa použitých scenárov a ich časových horizontov vo vybraných povodiach. Na odhad závislosti medzi priemernými mesačnými prietokmi jednotlivých mesiacov boli vypočítané párové koeficienty korelácie medzi nimi podľa vzťahu:

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{(n-1) \cdot s_x \cdot s_y} , \quad (4.9)$$

kde :

$r_{x,y}$ - je koeficient korelácie, $\bar{x}, \bar{y}$ - sú aritmetické priemery hodnôt x_i a y_i , s_x a s_y - sú smerodajné odchýlky hodnôt premenných x a y . Označenia x a y zodpovedajú prietokovým radom dvoch mesiacov. Korelované boli priemerné mesačné prietoky každého mesiaca so všetkými ostatnými mesiacmi v rámci roka. Vypočítané korelačné matice koeficientov párových korelácií pre jednotlivé povodia sú uvedené v tab. 4.5, 4.6, 4.7 a 4.8. Grafické znázornenia vybraných príkladov párovej korelácie sú na obr. 4.6 až 4.11.

V druhom kroku boli analyzované autokorelačné funkcie priemerných mesačných prietokov v jednotlivých mesiacoch. Pre tento účel boli všetky hodnoty prietokov štandardizované podľa vzťahu:

$$Q_{Sm,i} = \frac{Q_{m,i} - \bar{Q}_{m,i}}{s_i} , \quad (4.10)$$

kde:

$Q_{m,i}$ - štandardizovaná hodnota modelového mesačného prietoku v mesiaci i , $Q_{m,i}$ - modelový mesačný prietok v mesiaci i , $\bar{Q}_{m,i}$ - aritmetický priemer modelovaného radu mesačných prietokov mesiaca i , s_i - smerodajná odchýlka modelovaného radu mesačných prietokov v mesiaci i , i - mesiac v roku (január až december).

Touto transformáciou sa odstránila sezónna zložka v priemere a v rozptyle diskrétného časového radu. Transformovaný rad má aritmetický priemer rovný 0 a smerodajnú odchýlku 1. Takto upravené 30-ročné rady priemerných mesačných prietokov vstupovali do výpočtu autokorelačnej funkcie r_k , definovanej podľa vzťahu (Salas, 1992):

$$r_k = \frac{C_k}{C_0} \quad \text{kde} \quad C_k = \left(\frac{1}{N} \right) \sum_{i=1}^{N-k} (x_{i+k} - \bar{x})(x_i - \bar{x}) \quad k \geq 0. \quad (4.11)$$

Časový posun pri autokoreláciách bol volený od 1 do 12. Pre každý modelovaný rad sa tak získalo 12 hodnôt r_k . Korelogramy závislosti r_k versus k sú uvedené na obr. 4.12 až 4.15. Hodnoty autokorelačného koeficienta pre použité scenáre v jednotlivých povodiach Slovenska sú v tab. 4.9.

4.6 ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV

4.6.1 Zhodnotenie zmien parametrov distribučnej funkcie priemerných mesačných prietokov

4.6.1.1 Aritmetický priemer

Aritmetický priemer ako parameter polohy distribučnej funkcie je dôležitou charakteristikou, ktorá v hydrológii dáva informáciu o vodnosti tokov v jednotlivých mesiacoch roka. Preto v nasledujúcej časti sa upúšťa od termínu priemer a nahrádza sa na účely hodnotenia vhodnejším termínom "vodnosť". Vypočítané možné percentuálne zmeny mesačných vodností vo vybraných tokoch sú uvedené v tab. 4.2. Grafické prílohy sú uvedené v Čunderlík et al. (1998).

Na severe Slovenska na rieke Váh po Liptovský Mikuláš pri scenároch CCCM sa dá očakávať, že od októbra až po apríl môže dôjsť k zvyšovaniu prietokov, v mesiacoch máj až september je naproti tomu možné uvažovať s poklesom vodnosti. V porovnaní s referenčným obdobím etalónového radu sa výrazne môže zmeniť vodnosť v zime a začiatkom jari. So vzd'ľovaním časového horizontu trend zvyšovania prietokov v zimných mesiacoch výrazne narastá. Relatívne najvyšší pokles sa dá očakávať v máji. Nasledujúce letné mesiace majú veľmi vyrovnaný trend poklesu, ktorý sa so vzd'ľovaním horizontu zväčšuje. Pri scenároch WP B má rozdelenie zmien odtoku vo vnútri roka trocha iný charakter. Na Váhu je nárast vodnosti pravdepodobný od januára do apríla, pričom so vzd'ľujúcim sa časovým horizontom sa tento nárast mierne znižuje. Od mája až po december je možné uvažovať s poklesom vodnosti, pričom tento trend bude najvýraznejší na konci leta. Relatívne najvyšší nárast odtoku v porovnaní s referenčným obdobím pripadá na marec. Najvýraznejší pokles prietokov sa dá očakávať v mesiacoch august až október a v máji (tab. 4.2).

Smerom na juh sa postupne mení priebeh vnútroročných zmien odtoku vplyvom klimatickej zmeny. Ťažisko zvýšených prietokov sa presúva z jarných mesiacov do zimy. V povodí Nitry po Nitriansku Stredú podľa scenára CCCM možno od začiatku hydrologického roka v novembri až po február počítať so zvyšovaním prietokov. Najväčší nárast v porovnaní s referenčným obdobím sa dá predpokladať v januári. V mesiacoch marec až október sa ukazuje postupné znižovanie prietokov s pomerne vyrovnaným priebehom. Najväčšie zníženie sa ukazuje v letných mesiacoch jún a júl. Trochu odlišné výsledky dáva scenár WP B. V porovnaní s predchádzajúcim scenárom zachováva zvyšovanie odtoku v zimných mesiacoch december a január, no toto zvýšenie už nie je také vysoké. Najväčší nárast v porovnaní s referenčným obdobím sa ukazuje v časovo najbližšom horizonte 2010, pričom pre vzdialenejšie scenáre model ukazuje postupné znižovanie odtoku. Väčšiu časť roka od februára až po november sa dá očakávať výrazné zníženie odtoku oproti referenčným hodnotám. Najväčšie zníženie sa dá predpokladať na jar, v marci a apríli. Postupom do leta sa zníženie prietokov pravdepodobne zmierni, pričom na jeseň sa trend poklesu mierne zvýši.

Na južnom Slovensku v povodí Ipl'a po Holišu podľa scenára CCCM sa dá očakávať podobný priebeh zmien rozdelenia odtoku v roku ako v predchádzajúcom prípade, ich amplitúda však bude väčšia. Od novembra po február treba rátať so zvyšovaním prietokov. Mesiace marec až október predstavujú naproti tomu súvislé obdobie s poklesom vodnosti. V porovnaní s referenčným obdobím sa výrazne môže zmeniť vodnosť v zimných mesiacoch december a január. Mesiace teplého polroka vykazujú navzájom veľmi vyrovnaný, plynulý trend poklesu priemerných mesačných prietokov. Relatívne najvyšší pokles sa dá očakávať v júni a júli. Pri scenári WP B na rieke Ipeľ na prvý pohľad vidieť výrazný pokles odtoku v porovnaní s referenčným obdobím počas celého roka s výnimkou zimných mesiacov december a január. V týchto mesiacoch sa dá predpokladať len mierne zvýšenie prietokov. S najvýraznejším poklesom vodnosti je potrebné uvažovať na jar, v marci a apríli. Smerom k letným mesiacom sa veľkosť poklesu mierne znižuje. Na jeseň sa pokles vodnosti znovu zväčší, predovšetkým v mesiaci október.

Pri hodnotení zmien rozdelenia odtoku v roku vo východnej oblasti Slovenska v povodí Tople po profil Hanušovce podľa scenára CCCM vidieť, že od septembra po február vrátane možno počítať so zvyšovaním prietokov, v mesiacoch marec až august je naproti tomu potrebné uvažovať s poklesom vodnosti. V porovnaní s referenčným obdobím sa výrazne môže zmeniť vodnosť v zime. Relatívne najvyšší pokles sa dá očakávať v apríli. Nasledujúce letné mesiace majú viditeľne menší trend poklesu, ktorý sa so vzd'ľovaním časového horizontu zväčšuje. Pri scenári WP B sa dá nárast vodnosti predpokladať len v zimných mesiacoch január a február a v mesiacoch september a november v horizonte 2010. Od marca až po december je potrebné uvažovať s poklesom vodnosti, pričom tento trend bude najvýraznejší na jar, v apríli. Od tohto mesiaca až po jún sa trend poklesu zmiernuje, od júla po október znova narastá. Relatívne najvyšší nárast odtoku v porovnaní s referenčným obdobím pripadá na február. Najvýraznejší pokles prietokov sa dá očakávať v jarných mesiacoch marec a apríl.

Pri vzájomnom porovnávaní zmien vodnosti pre scenár CCCM v jednotlivých oblastiach Slovenska sa dá konštatovať, že dochádza ku skracovaniu zimného obdobia nárastu vodnosti v porovnaní s referenčným obdobím zo severných oblastí smerom na juh. Odtokové scenáre majú podobný priebeh vnútroročných zmien s maximom nárastu prietokov obyčajne vo februári alebo v januári. Najväčší pokles pripadá v severných povodiach na jar, v južnejších povodiach sa najväčší pokles presúva do letných mesiacov. Podobný priebeh vnútroročných zmien odtoku sa pozoruje aj pri scenári WP B. Aj tu dochádza k výraznému skracovaniu zimného obdobia nárastu vodnosti. Pre väčšiu časť roka sa dá predpokladať pokles vodnosti, pričom jej veľkosť sa smerom do nížinných oblastí na juhu Slovenska zväčšuje. Najväčší pokles pripadá na jarné mesiace, časté je opätovné mierne zvýšenie poklesu na jeseň. Celkovo scenár WP B ukazuje výrazne extrémnejšie znižovanie vodností tokov ako scenár CCCM. Priebeh zmien vnútroročného rozdelenia odtoku v západnej a východnej časti Slovenska sa ukazuje celkovo podobný, výraznejšie rozdiely sú medzi severnými a južnými oblasťami. Tieto rozdiely sú spôsobené odlišnými scenármi zmien klímy pre severné a južné Slovensko.

4.6.1.2 Koeficient variácie

Pri hodnotení zmien koeficientu variácie oproti referenčnému obdobiu na Váhu podľa scenárov CCCM vidieť, že od októbra po február môže nastať výrazné zvýšenie hodnôt CV. V mesiaci január sa môže hodnota CV v horizonte 2010 zdvojnásobiť oproti referenčnému obdobiu a v horizonte 2030 až strojnásobiť. Od marca až po september sú zmeny prakticky zanedbateľné. Pri scenári WP B takisto dochádza k postupnému zvyšovaniu CV od októbra po január, v tomto mesiaci však dosahuje menšie zvýšenie. Minimálne zmeny v hodnotách CV sú v mesiacoch apríl až júl. V auguste a v septembri sa CV môže mierne znížiť.

Smerom na juh v povodí Nitry sa postupne mení priebeh možných zmien parametra CV mesačných modelových radov vplyvom klimatickej zmeny. S nárastom CV sa dá počítať podobne od októbra po január a potom v marci. Najväčší nárast pripadá na december (obr. 4.1). Od apríla až po september nastáva obdobie znižovania CV s najväčším poklesom v júli. Toto obdobie je výraznejšie ako na severnom Slovensku. Zmeny pri scenári WP B majú podstatne odlišný chod. S rastom CV sa dá počítať len v zimných mesiacoch december a január, najväčší nárast aj tu pripadá na december. Okrem týchto dvoch mesiacov sa ukazuje znižovanie CV po celý rok s minimom vo februári a v apríli.

Na južnom Slovensku v povodí Iľavy sa dá očakávať nárast hodnôt CV od októbra po január a potom v marci. Maximálny nárast pripadá aj v tomto prípade na december. Aj tu sa prejavuje zníženie CV vo februári. Od apríla až po september bude pravdepodobne pokračovať obdobie znižovania CV s najväčším poklesom v júli. Zmeny pri scenári WP B majú aj na južnom Slovensku odlišný chod. S rastom CV sa dá počítať len počas prechodu jesene do zimy v mesiacoch november a december. Najväčší nárast opäť pripadá na december. Okrem týchto dvoch mesiacov sa ukazuje znižovanie CV po celý rok. (tab. 4.3).

Výsledky z povodia Topľa na východnom Slovensku majú svoje špecifiká. Pri scenári CCCM sa dá počítať s vyrovnaným rastom hodnôt CV od októbra po január. Od februára až po september sa dá predpokladať pomerne výrazné znižovanie CV s najväčším znižovaním v apríli. Pri scenári WP B vidieť netradične nárast len v máji a júni (obr. 4.2). V ostatných mesiacoch je pomerne výrazný pokles CV s minimom v apríli.

Pri celkovom porovnávaní zmien CV podľa scenára CCCM sa dá predpokladať najvýraznejšie zostrmenie čiar prekročenia mesačných prietokov vplyvom nárastu variability prietokov v decembri a v januári. Najväčší pokles variability mesačných prietokov sa bude pravdepodobne presúvať pri prechode zo severu na juh z letných mesiacov na koniec zimy a smerom na východ do jari. Smerom na juh a na východ dochádza k skracovaniu zimného obdobia nárastu variability a k prehlbovaniu jej jarného a letného poklesu. Celkovo sa dá vplyv možných zmien CV na odtok zovšeobecniť nasledovne: od októbra do januára (na severe až do februára) zvyšovanie variability a zostrmenie čiar prekročenia, na konci zimy a začiatku jari náhle zníženie nasledované opätovným zvýšením, od apríla/mája (na severe už od marca) obdobie znižovania variability, ktoré sa bude prehlbovať do leta (júl, august). Dá sa predpokladať, že rady priemerých mesačných prietokov budú v tomto období viac vyrovnané a ich čiary prekročenia budú mať plochý priebeh. Na severe bude letné znižovanie variability pravdepodobne nevýrazné.

Pri scenároch WP B maximálny nárast variability mesačných prietokov nie je jednoznačný. Najčastejšie môže pripadnúť na december a január, no môže sa vyskytnúť aj v lete. Znižovanie variability prietokov sa smerom na juh bude presúvať z leta na jar a na juhu už môže tvoriť súvislé obdobie poklesu. Na východe sa dajú pri tomto scenári podľa obr. 4.2 identifikovať dve samostatné obdobia výraznejšieho znižovania variability a splošťovania čiar prekročenia - jarné a jesenné. Scenáre WP B dávajú jednoznačne

extrémnejšie zmeny, hlavne poklesov variability, ich zovšeobecnenie je však podobné ako pri CCCM s tým rozdielom, že smerom na juh sa zvyšuje pokles variability a rastie obdobie poklesu.

4.6.1.3 Koeficient asymetrie

Na severe Slovenska v povodí Váhu pri scenároch CCCM sa dá priebeh zvyšovania hodnôt koeficientu asymetrie zovšeobecniť nasledovne: v zime nárast, pri prechode do jari pokles, na jar nárast, v lete a na jeseň minimálne zmeny. Najväčší nárast pripadá na apríl, najväčší pokles na február. V mesiacoch júl až november vidieť len nepatrnú zmenu CS. Na obr. 4.3 sú ako príklad uvedené percentuálne zmeny hodnôt CS na rieke Váh. Pri WP B scenári je hrubý chod zmien zachovaný, amplitúda je už ale iná. Nárast pripadá na október až január, apríl, máj a júl. V mesiacoch júl až november pozorujeme aj tomto prípade len nevýznamnú zmenu CS.

Na rieke Nitra na strednom Slovensku pri scenároch CCCM sú zmeny hodnôt CS mesačných radov prietokov podobné predchádzajúcemu povodiu. Zvyšovanie sa dá predpokladať striedavo v marci, apríli, júni, auguste, októbri a novembri. Najvyšší nárast pripadá aj v tomto prípade na apríl (tab. 4.4). Najväčší pokles sa dá opäť predpokladať vo februári. V mesiacoch máj až október vidieť len nepatrnú zmenu CS. Oproti severnej oblasti sa toto obdobie začína o dva mesiace skôr. Chod zmien pri WP B scenári je podobný. Zvyšovanie sa dá očakávať v apríli, júni a decembri. Maximálne zvyšovanie znova pripadá na apríl. Najväčšie zníženie pripadá na zimné mesiace január a február. Nepatrné zmeny CS pripadajú na mesiace august a október.

Na juhu Slovenska v povodí Ipl'a je chod vnútroročných zmien koeficienta asymetrie pri scenári CCCM značne komplikovaný (obr. 4.4). Zvyšovanie CS sa dá predpokladať vo všetkých mesiacoch okrem februára a mája. Maximálne zvyšovanie pripadá na december. Od júna po október dochádza len k nepatrným zmenám CS. Priebeh zmien pri scenári WP B je podobný, zvyšovanie vytvára súvislé obdobie od júna po december. Maximum pripadá na koniec roka, minimum je v máji. V mesiacoch január, marec, jún a október sú zmeny hodnôt CS zanedbateľné oproti novej chybe jeho odhadu.

V povodí Tople je chod zmien CS pri scenároch CCCM veľmi zložitý. Zvyšovanie vo všetkých časových horizontoch pripadá na mesiace jún až november. Maximálny nárast CS patrí do jesenných mesiacov. Najväčšie znížovanie sa koncentruje na začiatok roka január až apríl. Aj scenáre WP B majú v hrubých rysoch podobný chod. V júni až auguste a potom v októbri a novembri sú zmeny CS zanedbateľné.

Pri celkovom porovnávaní zmien hodnôt koeficienta asymetrie CS podľa scenára CCCM vidieť, že miera šikmosti čiar prekročenia mesačných prietokov bude rásť najčastejšie v apríli a v decembri. Znižovanie extremity mesačných radov patrí vo všetkých analyzovaných prípadoch do zimného obdobia. S veľmi malou zmenou šikmosti čiar a teda extremity sa dá počítať v teplom polroku najčastejšie od mája po október vrátane. V modelových povodiach sa dá vnútroročný chod zmien CS zovšeobecniť takto: na konci zimy a na začiatku jari pokles, na jar v apríli a máji zvýšenie CS, v nasledujúcich mesiacoch od júna po október nepatrné zmeny a na konci roka po január vrátane opätovný nárast. Smerom na juh jednotlivé obdobia nastupujú o mesiac skôr. V povodí Tople od decembra nastupuje obdobie súvislého výrazného poklesu a končí až v apríli, od tohto mesiaca nasleduje mierny, nevýrazný nárast CS až po november. Pri scenároch WP B výskyt maximálneho nárastu nie je až taký jednoznačný. Najčastejšie patrí do zimných mesiacov a potom na jar. Minimum sa vyskytuje obyčajne hneď po maxime. V prípade scenárov WP B sa dá na väčšine územia Slovenska zovšeobecniť chod zmien rovnako ako pri scenároch CCCM. Aj v tomto prípade sa z priemeru vymyká povodie Tople reprezentujúce východnú oblasť Slovenska. Vzhľadom na fakt, že je to jediné analyzované povodie v oblasti, nedajú sa tieto výsledky zovšeobecniť na celé východné Slovensko. Potrebná je podrobnejšia analýza.

4.6.2 Zhodnotenie miery závislosti medzi mesačnými modelovými prietokmi

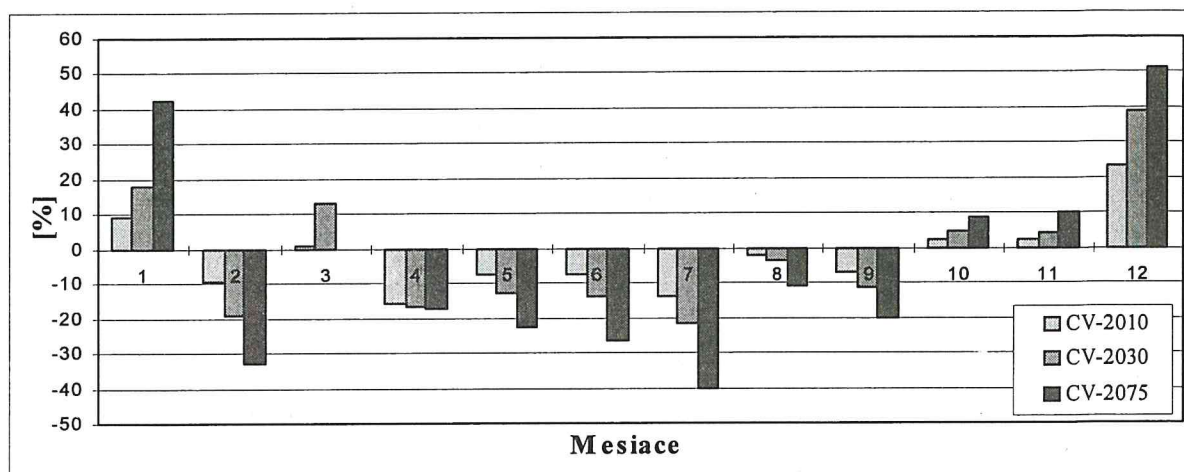
Zo všetkých analyzovaných profilov má v sumáre najnižšie hodnoty korelačných koeficientov medzi priemernými mesačnými modelovými prietokmi jednotlivých mesiacov Váh (okolo 0,2). Nie je to výsledok zlej kalibrácie modelu, nízke hodnoty r má aj pôvodný rad pozorovaných prietokov. Vyššie hodnoty majú toky Nitra a Topľ'a, okolo 0,4 - 0,6. Najvyššie hodnoty koeficientu korelácie vykazuje Ipeľ, a to tak pri CCCM scenároch (0,4-0,6), ako aj scenároch WP B (0,6-0,8). Pri scenároch WP B sú všeobecne vyššie koeficienty korelácie pri všetkých analyzovaných prípadoch. Na obr. 4.9 až 4.11 sú zobrazené príklady párových korelácií vybraných mesiacov pre obidva scenáre. Vysokú mieru korelácie majú letné mesiace medzi sebou (júl, august, $r > 0,8$). Najslabšie párové korelácie má mesiac október. Podľa nášho názoru je to spôsobené postavením októbra v hydrologickom roku. Je to mesiac s veľkou variabilitou, na jednej strane môže uzatvárať letno-jesenné obdobie malej vodnosti a na strane druhej môže mať vysoké vodnosti v dôsledku jesenných dažďov. Hodnoty CV má obyčajne najvyššie a práve táto rozkolísanosť môže byť príčinou

slabej korelácie s ostatnými mesiacmi. Podobný charakter, aj keď výrazne slabší má aj mesiac február, predovšetkým v južných oblastiach Slovenska. Na obr. 4.5 sú zobrazené párové korelácie mesačných etalónových prietokových radov rieky Ipel' po profil Holiša. Obrázok dobre vystihuje vyššie popísané skutočnosti, v mesiacoch február a október všetky krivky náhle klesajú ako dôsledok slabej alebo až nepriamej korelácie. Jedine v prípade povodia Váhu sú párové korelácie októbra a februára porovnateľné s ostatnými párovými koreláciami. Je to spôsobené odlišným sezónnym rozdelením odtoku v roku s pomerne vyrovnaným odtokom tak v októbri ako aj vo februári. Táto skutočnosť je dobre demonštrovaná na obr. 4.6. Na obr. 4.7 a 4.8 sú zobrazené párové korelácie etalónových modelových radov Nitry a Topli.

Miera tesnosti korelácie podľa jednotlivých scenárov stúpa so vzd'áľovaním časového horizontu. To je všeobecný trend, no existuje veľa viac či menej výrazných odchýlok (obr. 4.11). Rozdiely v koeficientoch medzi časovými horizontmi 2010-2075 sú minimálne. V tab. 4.5 až 4.8 sú uvedené korelačné koeficienty medzi modelovanými mesačnými prietokmi všetkých analyzovaných povodí.

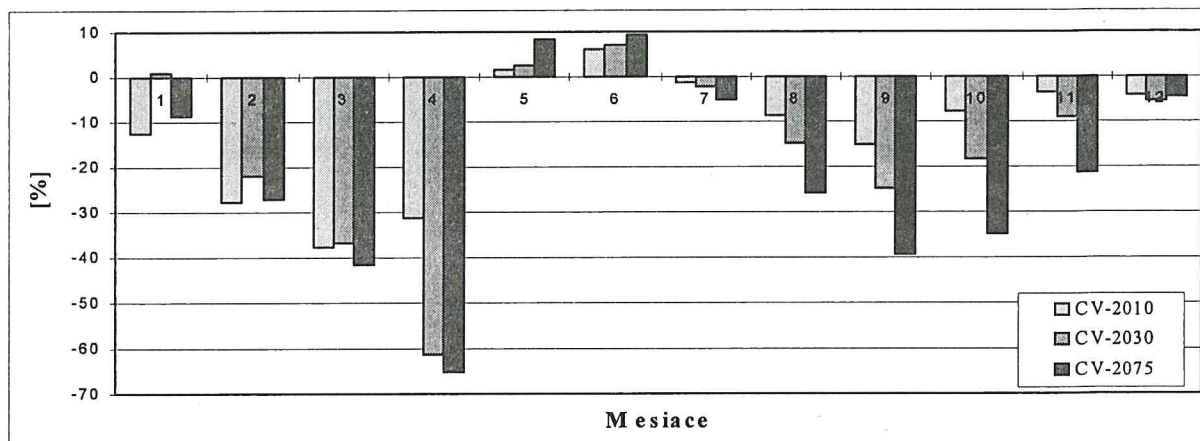
Pri hodnotení autokorelačných funkcií sme sa nezaoberali ich významnosťou. Dôležitým ukazovateľom pri hodnotení pamäte toku je posun, pri ktorom je autokorelačný koeficient nevýznamný. V danom prípade sme sa s touto otázkou bližšie nezaoberali pre vyššie uvedené neistoty. Hodnotili sme, či zavedením zmien do vstupných radov budú vo výstupoch z modelu pozorovateľné tendencie v zmenách priebehu autokorelačných funkcií.

Najvyššie autokorelačné koeficienty má podobne ako pri párových koreláciách Ipel', potom Nitra, Topľa a Váh. Ako povodie s relatívne dlhou pamäťou sa takto znova ukazuje Ipel', krátku pamäť má Váh. Čo sa týka rozdielov v jednotlivých scenároch v porovnaní s etalónovým radom, ich vplyv nie je jednoznačný. V povodí Váhu tak pri scenároch CCCM, ako aj WP B pozorujeme pokles autokorelačných koeficientov smerom k horizontu 2075 (obr. 4.12). Na Nitre pri scenári CCCM sa nedá identifikovať žiaden trend, krivky sú tesne pri sebe bez výraznejších zmien smerom k vzdialenejšiemu časovému horizontom. Pri scenári WP B sa už ukazuje zvýšenie (nevýznamných) koeficientov (obr. 4.13) smerom k 2075. Na rieke Ipel' je priebeh podobný s predchádzajúcim, pri CCCM scenároch je však už viditeľný nárast r_k . Pri scenári WP B koeficienty narastajú oproti etalónu (obr. 4.14). V prípade Topli za povšimnutie stojí, že k najväčšiemu zvýšeniu dochádza pri posune o 8 až 10 mesiacov. Krivky autokorelačných koeficientov majú komplikovaný priebeh, no všeobecný trend zlepšovania autokorelácie smerom k horizontu 2075 je badateľný (obr. 4.15). V tab. 4.9 sú uvedené hodnoty koeficientov autokorelácie vypočítané pre vyššie popísané povodia Slovenska.



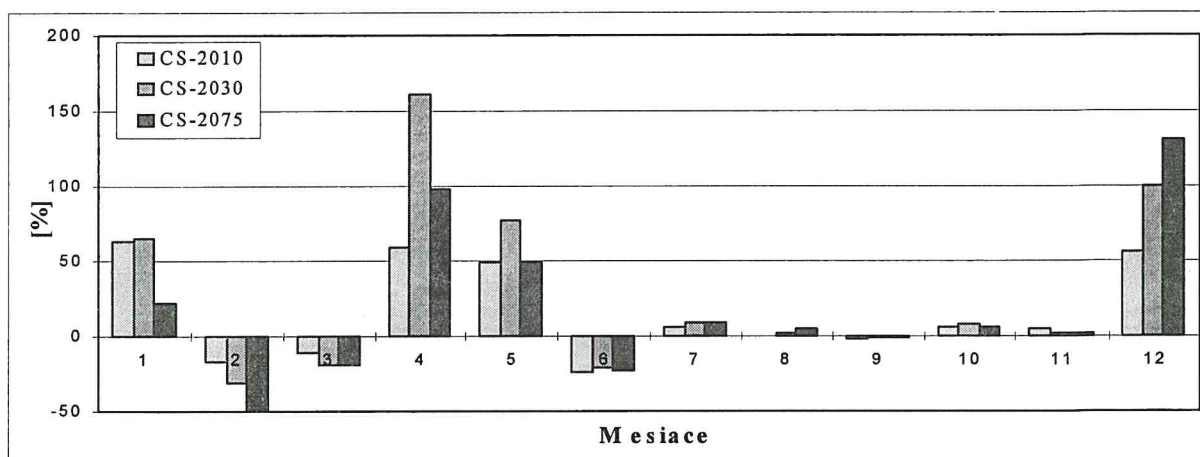
Obr. 4.1 Percentuálne zmeny hodnôt CV mesačných prietokov Nitry v Nitrianskej Stredě - scenáre CCCM

Fig. 4.1 Percentage changes of CV values of the monthly discharges of the river Nitra in Nitrianska Stredě - CCCM scenarios



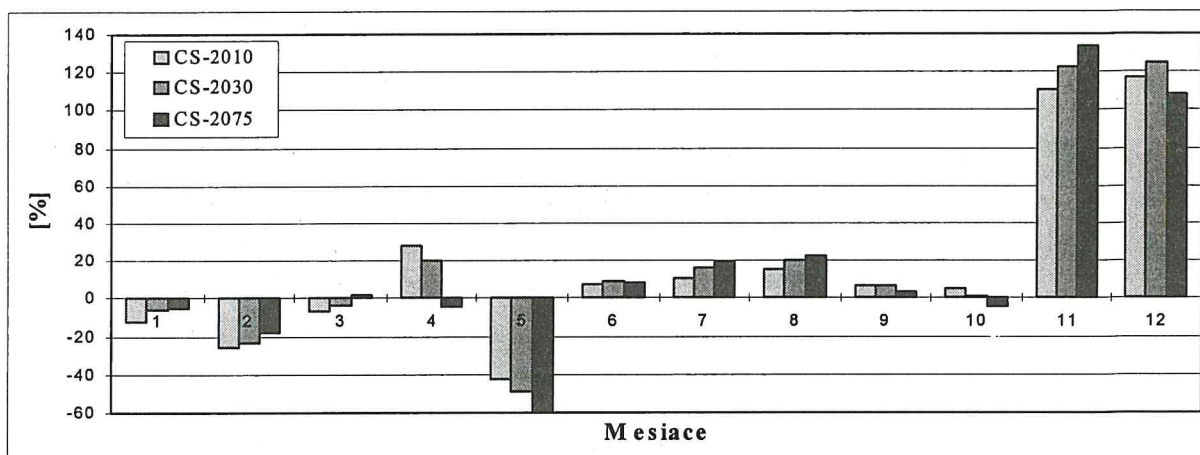
Obr. 4.2 Percentuálne zmeny hodnôt CV mesačných prietokov Topľe v Hanušovciach - scenáre WP B

Fig. 4.2 Percentage changes of CV values of the monthly discharges of the river Topľa in Hanušovce - WP B scenarios



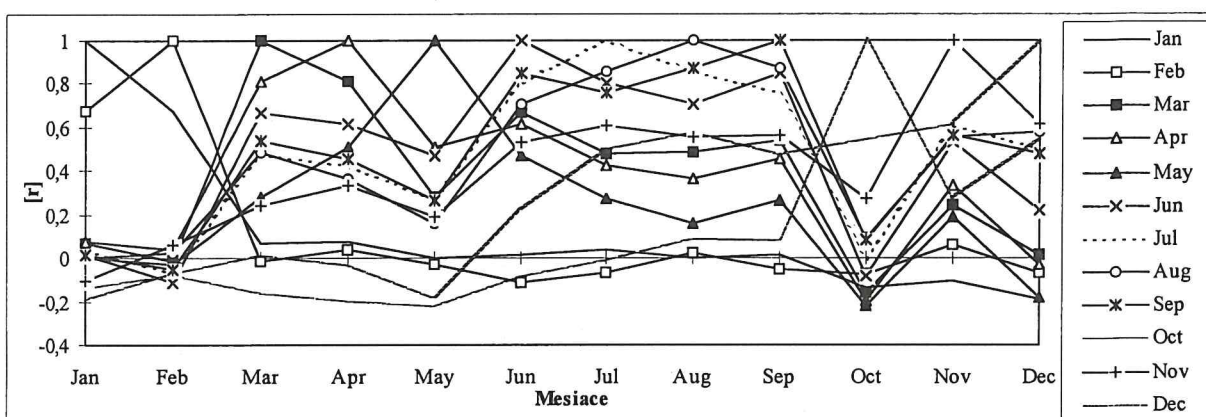
Obr. 4.3 Percentuálne zmeny hodnôt CS mesačných prietokov Váhu v Liptovskom Mikuláši - scenáre CCCM

Fig. 4.3 Percentage changes of CS values of the monthly discharges of the river Váh in Liptovský Mikuláš - CCCM scenarios



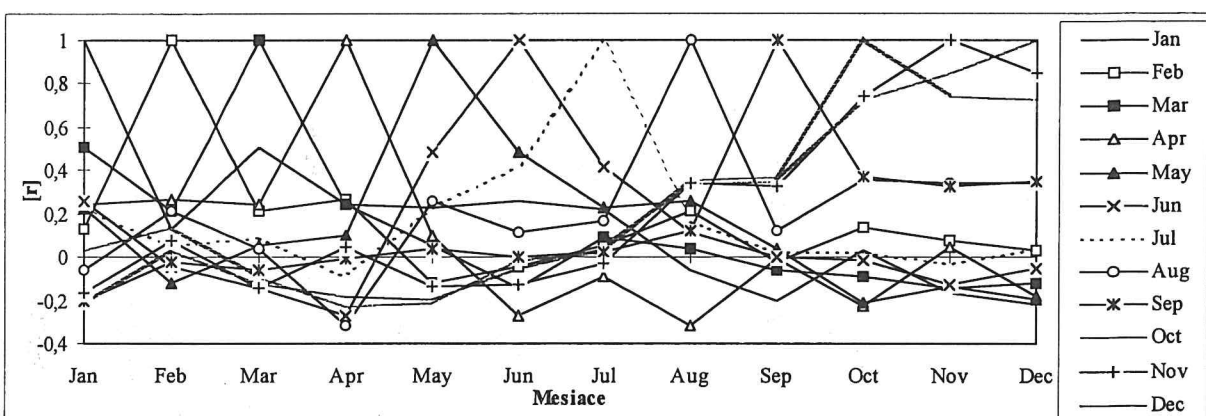
Obr. 4.4 Percentuálne zmeny hodnôt CS mesačných prietokov Ipľa v Holiši - scenáre WP B

Fig. 4.4 Percentage changes of CS values of the monthly discharges of the river Ipľ in Holiša - WP B scenarios



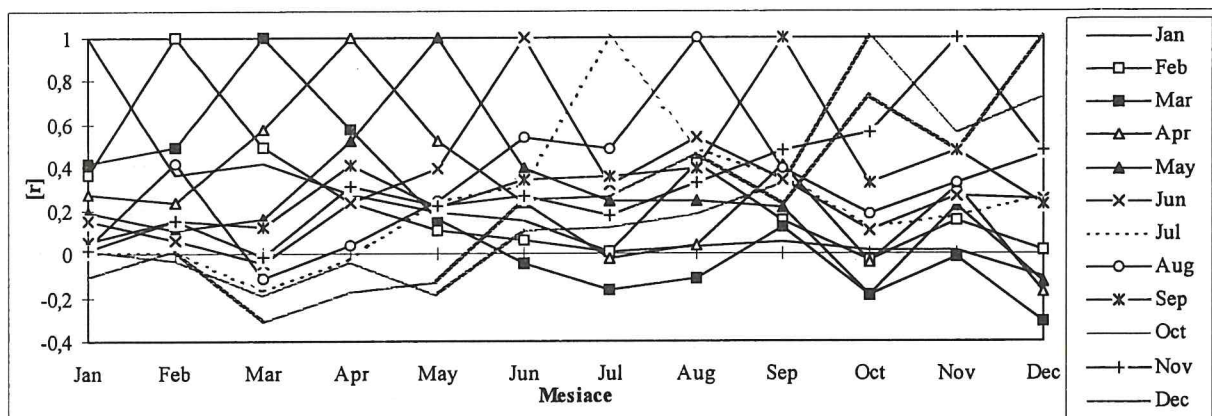
Obr. 4.5 Párové korelácie mesačných modelových prietokov etalónového radu na rieke Ipľ v Holiši.

Fig. 4.5 Cross correlation coefficients between modelled monthly discharges of the river Ipľ in Holiša.



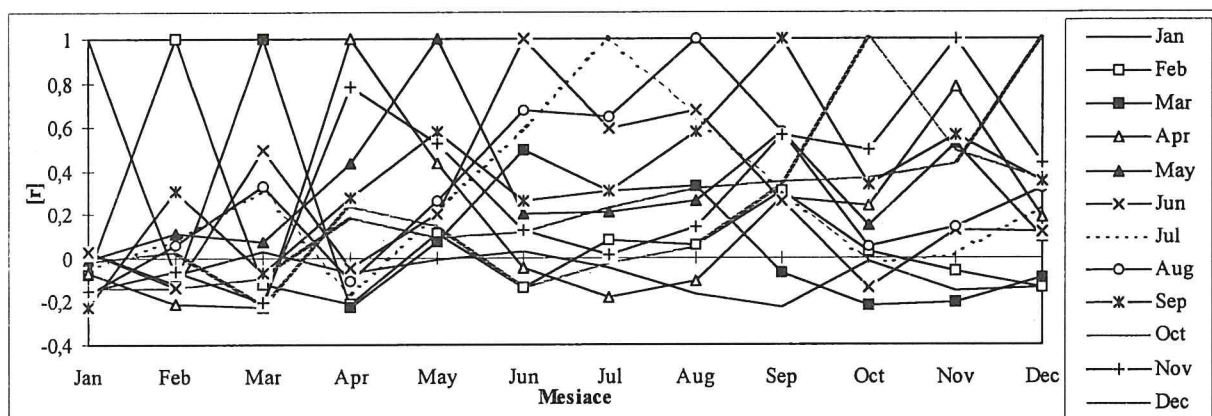
Obr. 4.6 Párové korelácie mesačných modelových prietokov etalónového radu na rieke Váh v Liptovskom Mikuláši.

Fig. 4.6 Cross correlation coefficients between modelled monthly discharges of the river Váh in Liptovský Mikuláš.



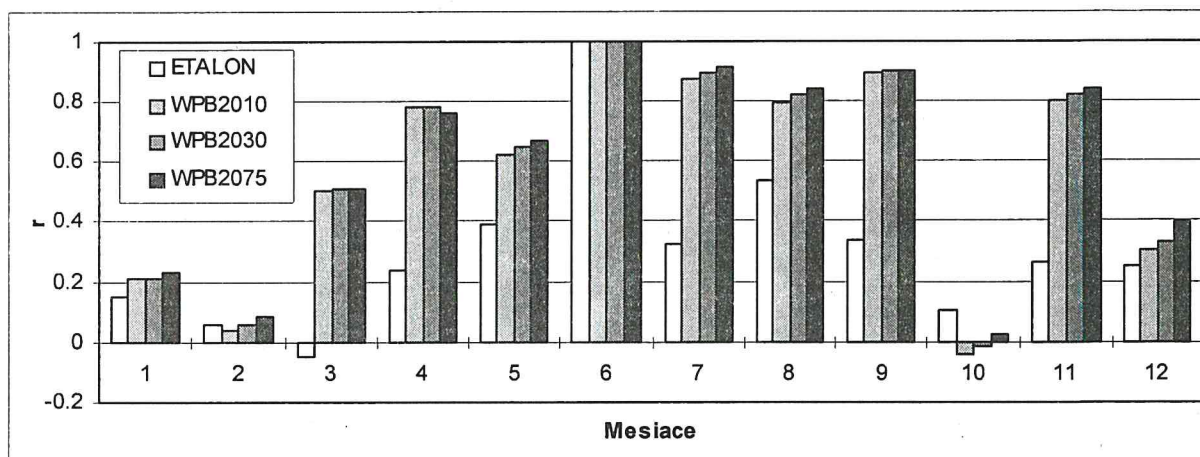
Obr. 4.7 Párové korelácie mesačných modelových prietokov etalónového radu na rieke Nitra v Nitrianskej Streda.

Fig. 4.7 Cross correlation coefficients between modelled monthly discharges of the river Nitra in Nitrianska Streda.



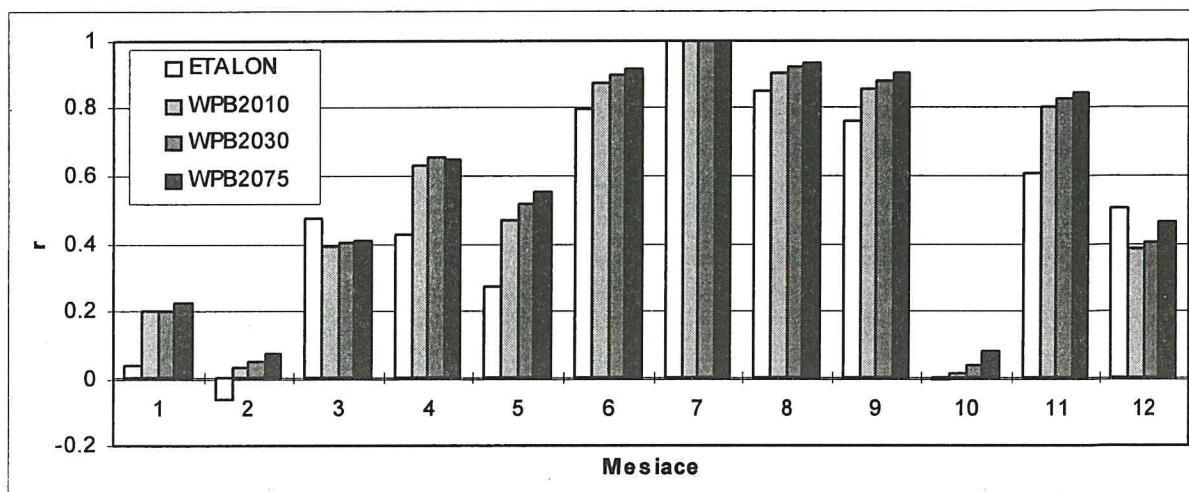
Obr. 4.8 Párové korelácie mesačných modelových prietokov etalónového radu na rieke Topľa v Hanušovciach.

Fig. 4.8 Cross correlation coefficients between modelled monthly discharges of the river Topľa in Hanušovce.



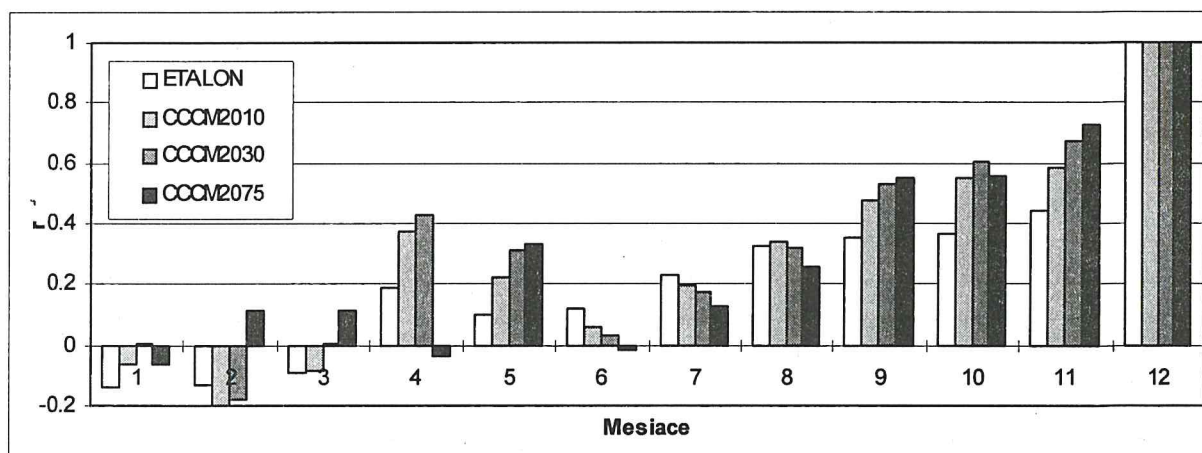
Obr. 4.9 Párové korelácie radov júnových modelových prietokov s ostatnými mesačnými prietokmi na rieke Nitra v Nitrianskej Streda - scenáre WP B.

Fig. 4.9 Cross correlations between modelled June discharges and remaining monthly discharges of the river Nitra in Nitrianska Streda - WP B scenarios



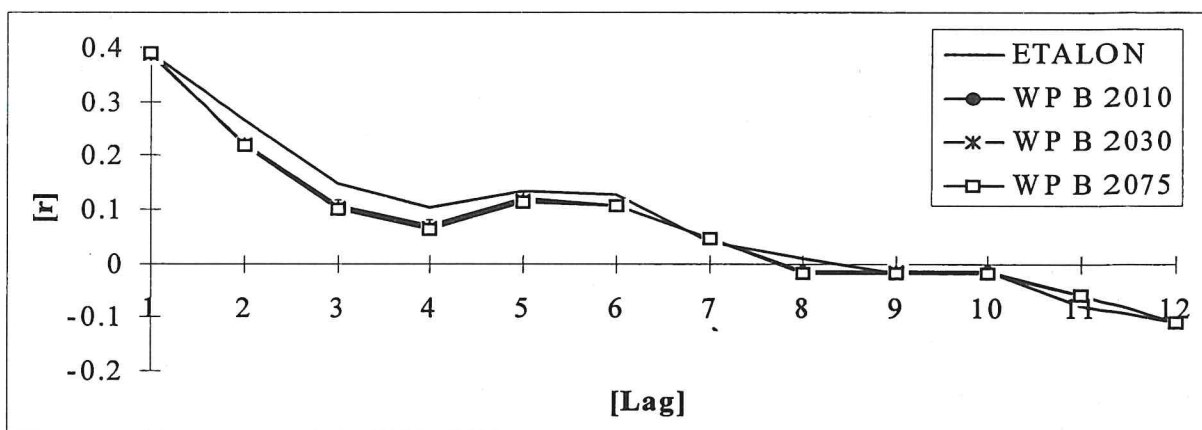
Obr. 4.10 Párové korelácie radov júlových modelových prietokov s ostatnými mesačnými prietokmi na rieke Ipeľ v Holiši - scenáre WP B.

Fig. 4.10 Cross correlations between modelled July discharges and remaining monthly discharges of the river Ipeľ in Holiša - WP B scenarios



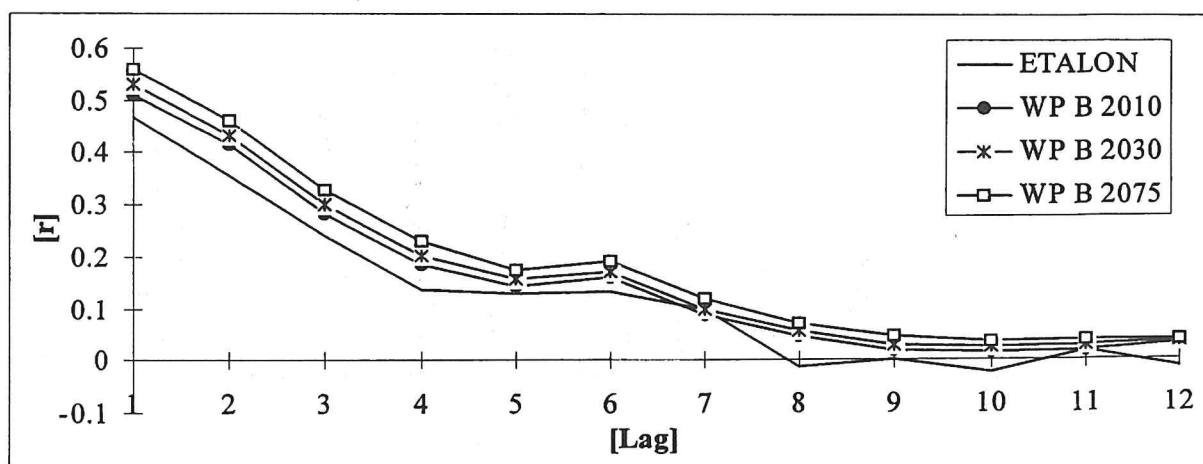
Obr. 4.11 Párové korelácie radov decembrových modelových prietokov s ostatnými mesačnými prietokmi na rieke Topľa v Hanušovciach - scenáre CCCM.

Fig. 4.11 Cross correlations between modelled December discharges and remaining monthly discharges of the river Topľa in Hanušovce - CCCM scenarios



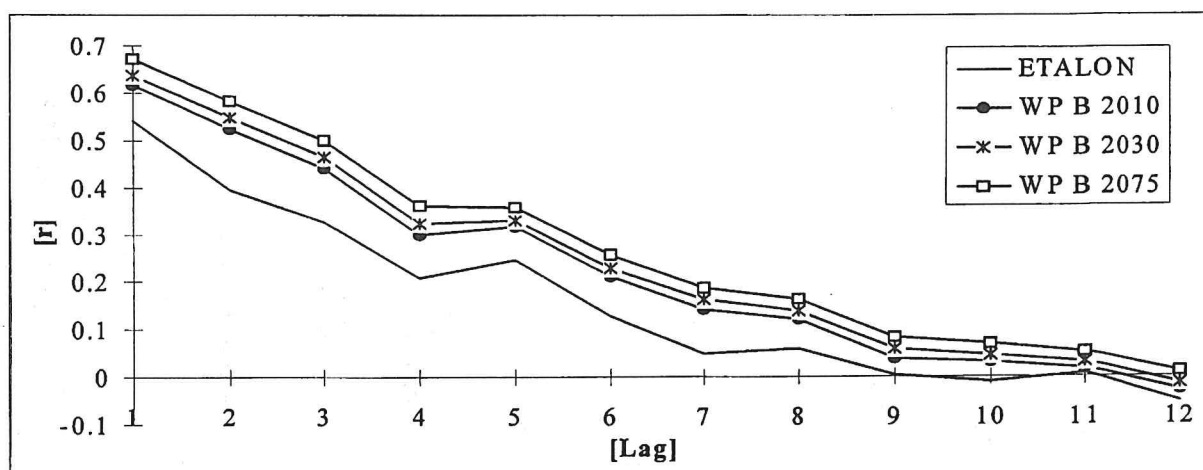
Obr. 4.12 Korelogram radu mesačných modelových prietokov Váhu po Liptovský Mikuláš - scenáre WP B.

Fig. 4.12 Korelogram of the modelled monthly discharges of the river Váh in Liptovský Mikuláš - WP B scenarios



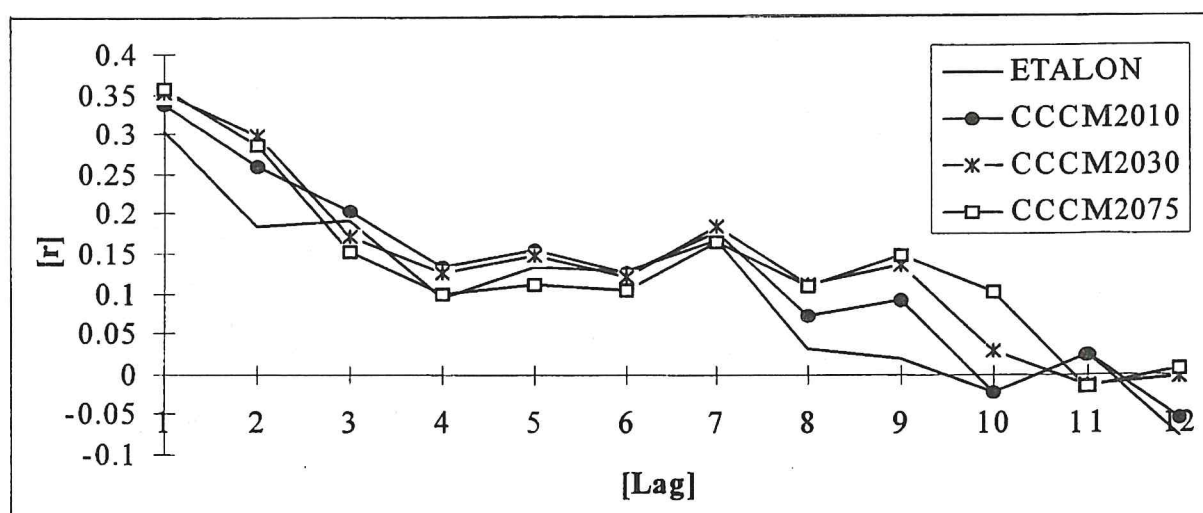
Obr. 4.13 Korelogram radu mesačných modelových prietokov Nitry po Nitriansku Stredu - scenáre WP B.

Fig. 4.13 Korelogram of the modelled monthly discharges of the river Nitra in Nitrianska Streda - WP B scenarios



Obr. 4.14 Korelogram radu mesačných modelových prietokov Ipľa po Holišu- scenáre WP B.

Fig. 4.14 Korelogram of the modelled monthly discharges of the river Ipeľ in Holiša - WP B scenarios



Obr. 4.15 Korelogram radu mesačných modelových prietokov Topľe po Hanušovce- scenáre CCCM.

Fig. 4.15 Korelogram of the modelled monthly discharges of the river Topľa in Hanušovce - CCCM scenarios

Tab. 4.1 Vybrané povodia a použité klimatické stanice

Table 4.1 Chosen river catchments and climate stations which have been used in this study

Povodie, profil	Plocha povodia [km ²]	$\bar{Q}_a$ [m ³ s ⁻¹]	$\bar{\varphi}_a$	Kalib.. obdobie [roky]	Klimatické stanice			
					Zrážky	Teplota vzduchu	Relat vlhkosť vzduchu	Slnečný svit
Váh Liptovský Mikuláš	1106,64	21	0,59	1951- 1980	Kráľ. Lehota Lipt. Hrádok Lipt. Teplička Podbanské Štrb. Pleso Východná	Lipt. Hrádok Podbanské Štrb. Pleso	Lipt. Hrádok Podbanské Štrb. Pleso	Lipt. Mikuláš Štrb. Pleso
Nitra Nitrianska Streda	2092,51	15,2	0,3	1951- 1980	Bánovce n/B Kšinná Prievidza Šipkov	Prievidza Trenčín	Prievidza Trenčín	Nitra Prievidza
Ipeľ Holiša	685,25	3,51	0,23	1951- 1980	Cinobaňa Detvian. Huta Krná Lom n/Rim Málinec Poltár	Bol'kovce Lom n/Rim	Bol'kovce Lom n/Rim	Bol'kovce
Topľa Hanušovce	1046,9	8,30	0,35	1951- 1980	Bardejov Kuková	Bardejov	Bardejov	Stropkov

Tab. 4.2 Percentuálne zmeny dlhodobých priemerných mesačných prietokov pre jednotlivé klimatické scenáre vo vybraných povodiach Slovenska.

Table 4.2 Percentage changes of the long term averages of the mean monthly discharges for given climate change scenarios in selected catchments in Slovakia.

Tok	Vodomerňá stanica	Scenár	Rok	Jan	Feb	Mar	Apr	Máj	Jún	Júl	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Váh	Liptovský Mikuláš	CCCM-N	2010	9	17	37	13	-18	-6	-6	-6	-5	7	9	8
			2030	18	40	65	17	-28	-9	-9	-9	-9	11	14	15
			2075	49	117	124	3	-46	-15	-17	-17	-16	19	32	37
		WP B-N	2010	5	11	26	4	-16	-3	-5	-8	-10	-2	1	3
			2030	3	10	24	5	-14	-1	-5	-12	-15	-8	-2	0
			2075	0	8	22	7	-10	-2	-7	-18	-23	-15	-7	-3
Nitra	Nitrianska Streda	CCCM-S	2010	16	17	-4	-12	-8	-9	-11	-6	-6	-4	1	15
			2030	28	24	-8	-16	-12	-15	-17	-9	-9	-5	1	28
			2075	61	28	-16	-19	-20	-24	-27	-17	-16	-10	2	52
		WP B-S	2010	18	-1	-38	-36	-26	-21	-18	-16	-15	-17	-12	13
			2030	12	-6	-42	-41	-31	-25	-21	-20	-19	-21	-17	6
			2075	5	-13	-48	-47	-38	-31	-27	-25	-24	-27	-23	-3
Ipeľ	Holiša	CCCM-S	2010	22	4	0	-11	-12	-13	-14	-9	-9	-6	2	16
			2030	39	5	-10	-13	-17	-20	-21	-14	-14	-9	1	30
			2075	69	0	-26	-17	-27	-32	-33	-24	-24	-16	-1	64
		WP B-S	2010	11	-25	-52	-41	-36	-30	-25	-24	-23	-30	-23	8
			2030	2	-31	-58	-48	-43	-36	-29	-29	-28	-38	-30	-3
			2075	-10	-39	-65	-56	-51	-44	-36	-36	-34	-47	-39	-17
Topľa	Hanušovce	CCCM-N	2010	-20	16	-8	-35	-25	-7	-7	-9	16	21	23	7
			2030	3	38	-13	-48	-28	-12	-13	-15	9	18	25	27
			2075	56	56	-30	-54	-34	-17	-25	-26	-4	16	32	73
		WP B-N	2010	-25	6	-21	-41	-21	-3	-4	-12	10	1	3	-13
			2030	-12	15	-32	-53	-23	-4	-7	-19	0	-12	-6	-12
			2075	5	-1	-49	-60	-26	-5	-15	-30	-12	-27	-18	-9
	= pokles dlhodobých priemerných mesačných prietokov														

Tab. 4.3 Percentuálne zmeny parametra CV modelovaných mesačných prietokov pre jednotlivé klimatické scenáre vo vybraných povodiach Slovenska

Table 4.3 Percentual changes of CV values of the mean monthly discharges for given climate change scenarios in selected catchments in Slovakia

Povodie	Scenár	Rok	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Váh Liptovský Mikuláš	CCCM	2010	99	74	12	0	4	-13	-1	-2	-3	21	21	40
		2030	155	118	5	11	5	-1	-2	-4	-6	32	31	71
		2075	219	149	-21	-9	-12	0	-5	-8	-11	53	57	127
	WP B	2010	76	55	7	-2	3	-1	-1	-5	-8	9	11	27
		2030	71	52	7	-2	4	0	-2	-9	-14	4	8	24
		2075	62	49	9	-1	4	0	-4	-15	-24	-4	4	19
Nitra Nitrianska Streda	CCCM	2010	9	-9	1	-16	-8	-7	-14	-2	-7	2	2	23
		2030	18	-19	13	-17	-13	-14	-22	-4	-12	5	4	39
		2075	43	-33	0	-17	-23	-27	-40	-11	-20	9	10	51
	WP B	2010	7	-36	-16	-30	-22	-12	-14	-13	-19	-15	-5	26
		2030	4	-36	-20	-35	-29	-17	-19	-21	-25	-22	-8	22
		2075	-1	-37	-26	-43	-42	-26	-28	-30	-34	-32	-12	18
Ipel' Holiša	CCCM	2010	13	-24	32	-3	-9	-8	-14	-5	-6	1	19	13
		2030	18	-36	30	-3	-14	-14	-23	-8	-11	3	23	26
		2075	-3	-43	-6	-4	-25	-27	-42	-18	-23	6	27	62
	WP B	2010	-16	-37	-16	-18	-27	-5	-16	-17	-18	-19	22	39
		2030	-16	-37	-20	-27	-33	-10	-20	-24	-26	-30	21	37
		2075	-21	-35	-27	-42	-43	-21	-30	-34	-38	-45	16	27
Topľa Hanušovce	CCCM	2010	-6	-26	-34	-22	-6	0	-4	-6	-9	6	5	6
		2030	11	-27	-32	-55	-9	-1	-7	-11	-16	8	6	10
		2075	21	-30	-17	-67	-15	-5	-16	-22	-29	13	16	13
	WP B	2010	-13	-28	-38	-31	2	6	-1	-9	-15	-8	-4	-4
		2030	1	-22	-37	-61	2	7	-2	-15	-25	-18	-9	-5
		2075	-9	-27	-42	-65	8	9	-5	-26	-39	-35	-21	-5

Tab. 4.4 Percentuálne zmeny parametra CS modelovaných mesačných prietokov pre jednotlivé klimatické scenáre vo vybraných povodiach Slovenska

Table 4.4 Percentual changes of CS values of the mean monthly discharges for given climate change scenarios in selected catchments in Slovakia

Povodie	Scenár	Rok	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Váh Liptovský Mikuláš	CCCM	2010	63	-17	-11	59	49	-24	6	0	-2	6	5	56
		2030	65	-31	-19	161	77	-21	9	2	-1	8	2	100
		2075	22	-49	-19	98	49	-23	9	5	-1	6	2	131
	WP B	2010	61	-15	-7	58	36	-25	7	-4	-4	4	7	56
		2030	62	-14	-5	59	36	-27	6	-2	-6	4	5	55
		2075	63	-12	-1	59	29	-30	4	-12	-9	5	3	56
Nitra Nitrianska Streda	CCCM	2010	-35	-20	-30	41	-5	10	-6	2	-2	5	-22	13
		2030	-32	-38	77	143	-8	13	-9	4	-5	8	-33	17
		2075	-19	-55	16	176	-12	10	-19	5	-6	15	-39	16
	WP B	2010	-38	-42	-10	166	-14	20	-5	0	-15	0	-31	18
		2030	-41	-40	-12	137	-18	19	-7	-3	-20	-2	-32	18
		2075	-45	-38	-16	76	-30	14	-8	-5	-27	-8	-37	20
Ipel' Holiša	CCCM	2010	6	-16	75	24	-14	0	2	3	2	3	57	11
		2030	12	-38	79	26	-24	-1	3	5	2	5	65	39
		2075	-23	-51	-5	26	-41	-1	3	10	2	9	61	146
	WP B	2010	-12	-26	-7	28	-43	8	11	15	6	5	110	117
		2030	-6	-23	-3	20	-49	9	16	20	6	1	122	125
		2075	-5	-18	2	-4	-60	8	19	23	3	-4	134	108
Topľa Hanušovce	CCCM	2010	-69	-53	-60	20	-4	1	3	4	1	7	1	-33
		2030	-74	-38	-43	-45	-3	4	3	7	14	9	0	-31
		2075	-69	-22	3	-94	12	3	3	9	9	14	9	-20
	WP B	2010	-67	-44	-59	8	7	5	4	5	14	7	3	-28
		2030	-68	-7	-44	-76	19	6	4	7	20	7	2	-28
		2075	-61	13	-54	-81	52	7	7	11	40	7	-7	-5

Tab. 4.5 Koefficienty párovej korelácie medzi modelovanými mesačnými prietokmi Váhu v Liptovskom Mikuláši

Table 4.5 Crosscorrelation coefficients between modelled monthly discharges of the river Váh in Liptovský Mikuláš

ETALON	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	0,13	0,51	0,24	0,23	0,26	0,22	-0,06	-0,20	0,03	-0,16	-0,22
Feb	0,13	1,00	0,21	0,27	-0,12	-0,05	0,06	0,21	-0,02	0,14	0,07	0,03
Mar	0,51	0,21	1,00	0,24	0,05	-0,15	0,09	0,04	-0,06	-0,09	-0,14	-0,12
Apr	0,24	0,27	0,24	1,00	0,10	-0,27	-0,09	-0,31	-0,01	-0,22	0,05	-0,18
May	0,23	-0,12	0,05	0,10	1,00	0,49	0,23	0,26	0,04	-0,21	-0,13	-0,20
Jun	0,26	-0,05	-0,15	-0,27	0,49	1,00	0,42	0,11	0,00	-0,01	-0,13	-0,05
Jul	0,22	0,06	0,09	-0,09	0,23	0,42	1,00	0,17	0,03	0,02	-0,03	0,04
Aug	-0,06	0,21	0,04	-0,31	0,26	0,11	0,17	1,00	0,12	0,36	0,34	0,34
Sep	-0,20	-0,02	-0,06	-0,01	0,04	0,00	0,03	0,12	1,00	0,38	0,33	0,35
Oct	0,03	0,14	-0,09	-0,22	-0,21	-0,01	0,02	0,36	0,38	1,00	0,74	0,73
Nov	-0,16	0,07	-0,14	0,05	-0,13	-0,13	-0,03	0,34	0,33	0,74	1,00	0,85
Dec	-0,22	0,03	-0,12	-0,18	-0,20	-0,05	0,04	0,34	0,35	0,73	0,85	1,00
CCCM2010	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	0,12	0,49	0,08	0,12	0,17	0,28	-0,07	-0,16	0,05	-0,13	-0,17
Feb	0,12	1,00	0,36	0,06	-0,19	-0,12	0,06	0,25	0,05	0,14	0,15	0,07
Mar	0,49	0,36	1,00	0,08	-0,08	-0,15	0,08	0,03	-0,04	-0,10	-0,14	-0,07
Apr	0,08	0,06	0,08	1,00	0,15	-0,26	-0,14	-0,34	0,02	-0,25	0,13	-0,23
May	0,12	-0,19	-0,08	0,15	1,00	0,46	0,20	0,29	0,07	-0,20	-0,13	-0,19
Jun	0,17	-0,12	-0,15	-0,26	0,46	1,00	0,40	0,10	-0,06	-0,05	-0,15	0,01
Jul	0,28	0,06	0,08	-0,14	0,20	0,40	1,00	0,17	0,02	0,01	-0,05	0,00
Aug	-0,07	0,25	0,03	-0,34	0,29	0,10	0,17	1,00	0,13	0,36	0,29	0,31
Sep	-0,16	0,05	-0,04	0,02	0,07	-0,06	0,02	0,13	1,00	0,35	0,29	0,29
Oct	0,05	0,14	-0,10	-0,25	-0,20	-0,05	0,01	0,36	0,35	1,00	0,71	0,64
Nov	-0,13	0,15	-0,14	0,13	-0,13	-0,15	-0,05	0,29	0,29	0,71	1,00	0,78
Dec	-0,17	0,07	-0,07	-0,23	-0,19	0,01	0,00	0,31	0,29	0,64	0,78	1,00
CCCM2030	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	0,16	0,46	0,00	0,06	0,12	0,27	-0,06	-0,12	0,05	-0,11	-0,13
Feb	0,16	1,00	0,41	-0,05	-0,21	-0,18	0,03	0,22	0,10	0,13	0,16	0,08
Mar	0,46	0,41	1,00	-0,02	-0,13	-0,16	0,05	0,01	-0,05	-0,12	-0,17	-0,06
Apr	0,00	-0,05	-0,02	1,00	0,31	-0,16	-0,13	-0,32	0,01	-0,24	0,22	-0,22
May	0,06	-0,21	-0,13	0,31	1,00	0,48	0,20	0,28	0,06	-0,21	-0,07	-0,15
Jun	0,12	-0,18	-0,16	-0,16	0,48	1,00	0,40	0,10	-0,06	-0,07	-0,13	0,05
Jul	0,27	0,03	0,05	-0,13	0,20	0,40	1,00	0,18	0,02	-0,01	-0,05	0,01
Aug	-0,06	0,22	0,01	-0,32	0,28	0,10	0,18	1,00	0,14	0,35	0,25	0,30
Sep	-0,12	0,10	-0,05	0,01	0,06	-0,06	0,02	0,14	1,00	0,34	0,27	0,26
Oct	0,05	0,13	-0,12	-0,24	-0,21	-0,07	-0,01	0,35	0,34	1,00	0,68	0,58
Nov	-0,11	0,16	-0,17	0,22	-0,07	-0,13	-0,05	0,25	0,27	0,68	1,00	0,73
Dec	-0,13	0,08	-0,06	-0,22	-0,15	0,05	0,01	0,30	0,26	0,58	0,73	1,00
CCCM2075	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	0,20	0,37	-0,01	0,07	0,07	0,21	-0,01	-0,02	0,04	-0,06	-0,07
Feb	0,20	1,00	0,38	-0,09	-0,20	-0,29	-0,06	0,13	0,15	0,09	0,12	0,03
Mar	0,37	0,38	1,00	0,11	-0,06	-0,16	0,00	-0,06	-0,06	-0,21	-0,16	-0,09
Apr	-0,01	-0,09	0,11	1,00	0,47	-0,09	-0,04	-0,23	0,00	-0,28	0,26	-0,27
May	0,07	-0,20	-0,06	0,47	1,00	0,45	0,19	0,31	0,08	-0,24	-0,05	-0,12
Jun	0,07	-0,29	-0,16	-0,09	0,45	1,00	0,42	0,12	-0,05	-0,05	-0,12	0,11
Jul	0,21	-0,06	0,00	-0,04	0,19	0,42	1,00	0,20	0,03	-0,01	-0,07	0,04
Aug	-0,01	0,13	-0,06	-0,23	0,31	0,12	0,20	1,00	0,15	0,34	0,17	0,30
Sep	-0,02	0,15	-0,06	0,00	0,08	-0,05	0,03	0,15	1,00	0,36	0,20	0,26
Oct	0,04	0,09	-0,21	-0,28	-0,24	-0,05	-0,01	0,34	0,36	1,00	0,61	0,57
Nov	-0,06	0,12	-0,16	0,26	-0,05	-0,12	-0,07	0,17	0,20	0,61	1,00	0,63
Dec	-0,07	0,03	-0,09	-0,27	-0,12	0,11	0,04	0,30	0,26	0,57	0,63	1,00
WPB2010	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	0,14	0,49	0,08	0,13	0,17	0,27	-0,07	-0,16	0,04	-0,14	-0,18
Feb	0,14	1,00	0,36	0,09	-0,18	-0,11	0,06	0,24	0,05	0,14	0,14	0,07
Mar	0,49	0,36	1,00	0,11	-0,07	-0,15	0,07	0,03	-0,04	-0,10	-0,15	-0,08
Apr	0,08	0,09	0,11	1,00	0,17	-0,26	-0,14	-0,34	0,00	-0,26	0,11	-0,23
May	0,13	-0,18	-0,07	0,17	1,00	0,46	0,19	0,29	0,07	-0,21	-0,13	-0,20
Jun	0,17	-0,11	-0,15	-0,26	0,46	1,00	0,40	0,10	-0,05	-0,05	-0,14	0,00
Jul	0,27	0,06	0,07	-0,14	0,19	0,40	1,00	0,19	0,03	0,01	-0,04	0,01
Aug	-0,07	0,24	0,03	-0,34	0,29	0,10	0,19	1,00	0,14	0,37	0,30	0,33
Sep	-0,16	0,05	-0,04	0,00	0,07	-0,05	0,03	0,14	1,00	0,37	0,31	0,31
Oct	0,04	0,14	-0,10	-0,26	-0,21	-0,05	0,31	0,37	0,37	1,00	0,72	0,67
Nov	-0,14	0,14	-0,15	0,11	-0,13	-0,14	-0,04	0,30	0,31	0,72	1,00	0,80
Dec	-0,18	0,07	-0,08	-0,23	-0,20	0,00	0,01	0,33	0,31	0,67	0,80	1,00
WPB2030	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	0,14	0,48	0,08	0,12	0,18	0,28	-0,07	-0,15	0,04	-0,14	-0,18
Feb	0,14	1,00	0,35	0,10	-0,17	-0,11	0,06	0,24	0,05	0,14	0,14	0,06
Mar	0,48	0,35	1,00	0,12	-0,07	-0,15	0,07	0,03	-0,04	-0,10	-0,15	-0,09
Apr	0,08	0,10	0,12	1,00	0,16	-0,26	-0,14	-0,34	-0,01	-0,26	0,11	-0,24
May	0,12	-0,17	-0,07	0,16	1,00	0,46	0,19	0,30	0,07	-0,22	-0,13	-0,19
Jun	0,18	-0,11	-0,15	-0,26	0,46	1,00	0,40	0,11	-0,05	-0,05	-0,14	0,01
Jul	0,28	0,06	0,07	-0,14	0,19	0,40	1,00	0,20	0,04	0,02	-0,04	0,01
Aug	-0,07	0,24	0,03	-0,34	0,30	0,11	0,20	1,00	0,16	0,37	0,30	0,32
Sep	-0,15	0,05	-0,04	-0,01	0,07	-0,05	0,04	0,16	1,00	0,37	0,31	0,31
Oct	0,04	0,14	-0,10	-0,26	-0,22	-0,05	0,02	0,37	0,37	1,00	0,72	0,66
Nov	-0,14	0,14	-0,15	0,11	-0,13	-0,14	-0,04	0,30	0,31	0,72	1,00	0,80
Dec	-0,18	0,06	-0,09	-0,24	-0,19	0,01	0,01	0,32	0,31	0,66	0,80	1,00
WPB2075	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	0,13	0,47	0,07	0,12	0,17	0,28	-0,06	-0,15	0,04	-0,14	-0,18
Feb	0,13	1,00	0,34	0,10	-0,17	-0,11	0,06	0,24	0,04	0,13	0,13	0,06
Mar	0,47	0,34	1,00	0,13	-0,07	-0,16	0,06	0,03	-0,04	-0,11	-0,15	-0,09
Apr	0,07	0,10	0,13	1,00	0,16	-0,26	-0,15	-0,34	-0,02	-0,27	0,12	-0,24
May	0,12	-0,17	-0,07	0,16	1,00	0,46	0,18	0,30	0,08	-0,22	-0,13	-0,20
Jun	0,17	-0,11	-0,16	-0,26	0,46	1,00	0,41	0,12	-0,04	-0,04	-0,14	0,02
Jul	0,28	0,06	0,06	-0,15	0,18	0,41	1,00	0,22	0,06	0,02	-0,04	0,01
Aug	-0,06	0,24	0,03	-0,34	0,30	0,12	0,22	1,00	0,18	0,37	0,29	0,32
Sep	-0,15	0,04	-0,04	-0,02	0,08	-0,04	0,06	0,18	1,00	0,37	0,28	0,29
Oct	0,04	0,13	-0,11	-0,27	-0,22	-0,04	0,02	0,37	0,37	1,00	0,70	0,65
Nov	-0,14	0,13	-0,15	0,12	-0,13	-0,14	-0,04	0,29	0,28	0,70	1,00	0,78
Dec	-0,18	0,06	-0,09	-0,24	-0,20	0,02	0,01	0,32	0,29	0,65	0,78	1,00

Tab. 4.6 Koefficienty párovej korelácie medzi modelovanými mesačnými prietokmi Nitry v Nitrianskej Stredci
Table 4.6 Crosscorrelation coefficients between modelled monthly discharges of the river Nitra in Nitrianska Stredca

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ETALON												
Jan	1,00	0,36	0,42	0,27	0,19	0,15	0,01	0,03	0,05	0,02	0,02	-0,10
Feb	0,36	1,00	0,49	0,24	0,11	0,06	0,01	0,42	0,15	-0,03	0,15	0,02
Mar	0,42	0,49	1,00	0,58	0,16	-0,05	-0,16	-0,11	0,12	-0,19	-0,02	-0,31
Apr	0,27	0,24	0,58	1,00	0,52	0,24	-0,02	0,04	0,41	-0,03	0,31	-0,17
May	0,19	0,11	0,16	0,52	1,00	0,39	0,24	0,25	0,21	-0,19	0,22	-0,13
Jun	0,15	0,06	-0,05	0,24	0,39	1,00	0,32	0,54	0,34	0,11	0,27	0,25
Jul	0,01	0,01	-0,16	-0,02	0,24	0,32	1,00	0,49	0,35	0,12	0,17	0,27
Aug	0,03	0,42	-0,11	0,04	0,25	0,54	0,49	1,00	0,40	0,18	0,33	0,46
Sep	0,05	0,15	0,12	0,41	0,21	0,34	0,35	0,40	1,00	0,33	0,48	0,23
Oct	0,02	-0,03	-0,19	-0,03	-0,19	0,11	0,12	0,18	0,33	1,00	0,56	0,73
Nov	0,02	0,15	-0,02	0,31	0,22	0,27	0,17	0,33	0,48	0,56	1,00	0,48
Dec	-0,10	0,02	-0,31	-0,17	-0,13	0,25	0,27	0,46	0,23	0,73	0,48	1,00
CCCM2010												
Jan	1,00	0,50	0,33	0,51	0,24	0,08	-0,04	-0,02	0,06	0,02	0,05	-0,09
Feb	0,50	1,00	0,26	0,43	0,10	0,02	-0,05	0,29	0,10	-0,07	0,10	-0,04
Mar	0,33	0,26	1,00	0,59	0,18	-0,04	-0,21	-0,07	0,35	-0,07	0,28	-0,29
Apr	0,51	0,43	0,59	1,00	0,57	0,34	0,15	0,13	0,42	-0,17	0,18	-0,21
May	0,24	0,10	0,18	0,57	1,00	0,44	0,29	0,27	0,24	-0,20	0,23	-0,11
Jun	0,08	0,02	-0,04	0,34	0,44	1,00	0,37	0,55	0,37	0,09	0,29	0,23
Jul	-0,04	-0,05	-0,21	0,15	0,29	0,37	1,00	0,50	0,38	0,11	0,18	0,22
Aug	-0,02	0,29	-0,07	0,13	0,27	0,55	0,50	1,00	0,43	0,17	0,32	0,46
Sep	0,06	0,10	0,35	0,42	0,24	0,37	0,38	0,43	1,00	0,32	0,49	0,23
Oct	0,02	-0,07	-0,07	-0,17	-0,20	0,09	0,11	0,17	0,32	1,00	0,55	0,72
Nov	0,05	0,10	0,28	0,18	0,23	0,29	0,18	0,32	0,49	0,55	1,00	0,45
Dec	-0,09	-0,04	-0,29	-0,21	-0,11	0,23	0,22	0,46	0,23	0,72	0,45	1,00
CCCM2030												
Jan	1,00	0,54	0,26	0,58	0,26	0,03	-0,07	-0,06	0,06	0,02	0,08	-0,07
Feb	0,54	1,00	0,23	0,47	0,11	0,03	-0,08	0,25	0,08	-0,09	0,08	-0,06
Mar	0,26	0,23	1,00	0,42	0,17	-0,03	-0,20	-0,04	0,46	-0,03	0,38	-0,28
Apr	0,58	0,47	0,42	1,00	0,55	0,36	0,21	0,15	0,35	-0,22	0,07	-0,22
May	0,26	0,11	0,17	0,55	1,00	0,47	0,32	0,28	0,25	-0,21	0,22	-0,11
Jun	0,03	0,03	-0,03	0,36	0,47	1,00	0,39	0,55	0,37	0,07	0,29	0,20
Jul	-0,07	-0,08	-0,20	0,21	0,32	0,39	1,00	0,49	0,39	0,10	0,18	0,20
Aug	-0,06	0,25	-0,04	0,15	0,28	0,55	0,49	1,00	0,45	0,16	0,32	0,47
Sep	0,06	0,08	0,46	0,35	0,25	0,37	0,39	0,45	1,00	0,31	0,49	0,23
Oct	0,02	-0,09	-0,03	-0,22	-0,21	0,07	0,10	0,16	0,31	1,00	0,54	0,69
Nov	0,08	0,08	0,38	0,07	0,22	0,29	0,18	0,32	0,49	0,54	1,00	0,43
Dec	-0,07	-0,06	-0,28	-0,22	-0,11	0,20	0,20	0,47	0,23	0,69	0,43	1,00
CCCM2075												
Jan	1,00	0,48	0,27	0,51	0,25	-0,03	-0,09	-0,09	0,04	-0,04	0,05	-0,02
Feb	0,48	1,00	0,49	0,46	0,13	0,02	-0,11	0,19	0,15	-0,05	0,17	-0,05
Mar	0,27	0,49	1,00	0,48	0,15	-0,01	-0,20	-0,03	0,42	-0,05	0,37	-0,29
Apr	0,51	0,46	0,48	1,00	0,58	0,37	0,24	0,15	0,33	-0,25	0,05	-0,19
May	0,25	0,13	0,15	0,58	1,00	0,51	0,36	0,28	0,26	-0,21	0,22	-0,04
Jun	-0,03	0,02	-0,01	0,37	0,51	1,00	0,44	0,53	0,39	0,05	0,28	0,23
Jul	-0,09	-0,11	-0,20	0,24	0,36	0,44	1,00	0,50	0,40	0,07	0,16	0,21
Aug	-0,09	0,19	-0,03	0,15	0,28	0,53	0,50	1,00	0,49	0,15	0,29	0,55
Sep	0,04	0,15	0,42	0,33	0,26	0,39	0,40	0,49	1,00	0,29	0,47	0,26
Oct	-0,04	-0,05	-0,05	-0,25	-0,21	0,05	0,07	0,15	0,29	1,00	0,52	0,65
Nov	0,05	0,17	0,37	0,05	0,22	0,28	0,16	0,29	0,47	0,52	1,00	0,44
Dec	-0,02	-0,05	-0,29	-0,19	-0,04	0,23	0,21	0,55	0,26	0,65	0,44	1,00
WPB2010												
Jan	1,00	0,58	0,41	0,62	0,30	0,02	-0,09	-0,05	0,04	-0,05	0,03	-0,03
Feb	0,58	1,00	0,60	0,64	0,20	0,04	-0,09	0,19	0,13	-0,03	0,17	-0,03
Mar	0,41	0,60	1,00	0,64	0,19	-0,01	-0,20	-0,01	0,34	-0,03	0,33	-0,24
Apr	0,62	0,64	0,64	1,00	0,53	0,29	0,13	0,17	0,33	-0,19	0,11	-0,16
May	0,30	0,20	0,19	0,53	1,00	0,48	0,30	0,31	0,27	-0,18	0,26	0,00
Jun	0,02	0,04	-0,01	0,29	0,48	1,00	0,38	0,57	0,40	0,10	0,33	0,29
Jul	-0,09	-0,09	-0,20	0,13	0,30	0,38	1,00	0,52	0,45	0,14	0,23	0,23
Aug	-0,05	0,19	-0,01	0,17	0,31	0,57	0,52	1,00	0,50	0,20	0,35	0,57
Sep	0,04	0,13	0,34	0,33	0,27	0,40	0,45	0,50	1,00	0,35	0,53	0,31
Oct	-0,05	-0,03	-0,03	-0,19	-0,18	0,10	0,14	0,20	0,35	1,00	0,57	0,68
Nov	0,03	0,17	0,33	0,11	0,26	0,33	0,23	0,35	0,53	0,57	1,00	0,52
Dec	-0,03	-0,03	-0,24	-0,16	0,00	0,29	0,23	0,57	0,31	0,68	0,52	1,00
WPB2030												
Jan	1,00	0,59	0,43	0,66	0,33	0,04	-0,08	-0,04	0,04	-0,05	0,03	-0,04
Feb	0,59	1,00	0,61	0,70	0,25	0,05	-0,08	0,19	0,13	-0,03	0,16	-0,02
Mar	0,43	0,61	1,00	0,70	0,23	0,01	-0,19	0,00	0,33	-0,02	0,33	-0,23
Apr	0,66	0,70	0,70	1,00	0,53	0,29	0,11	0,17	0,34	-0,16	0,13	-0,16
May	0,33	0,25	0,23	0,53	1,00	0,49	0,29	0,32	0,29	-0,17	0,27	0,01
Jun	0,04	0,05	0,01	0,29	0,49	1,00	0,39	0,58	0,43	0,11	0,35	0,30
Jul	-0,08	-0,08	-0,19	0,11	0,29	0,39	1,00	0,55	0,48	0,16	0,25	0,24
Aug	-0,04	0,19	0,00	0,17	0,32	0,58	0,55	1,00	0,54	0,22	0,36	0,57
Sep	0,04	0,13	0,33	0,34	0,29	0,43	0,48	0,54	1,00	0,37	0,53	0,33
Oct	-0,05	-0,03	-0,02	-0,16	-0,17	0,11	0,16	0,22	0,37	1,00	0,58	0,69
Nov	0,03	0,16	0,33	0,13	0,27	0,35	0,25	0,36	0,53	0,58	1,00	0,53
Dec	-0,04	-0,02	-0,23	-0,16	0,01	0,30	0,24	0,57	0,33	0,69	0,53	1,00
WPB2075												
Jan	1,00	0,62	0,47	0,70	0,40	0,06	-0,07	-0,03	0,04	-0,05	0,02	-0,04
Feb	0,62	1,00	0,64	0,77	0,33	0,08	-0,07	0,19	0,14	-0,03	0,16	-0,02
Mar	0,47	0,64	1,00	0,78	0,33	0,05	-0,17	0,02	0,32	-0,01	0,33	-0,21
Apr	0,70	0,77	0,78	1,00	0,57	0,28	0,07	0,18	0,33	-0,12	0,16	-0,15
May	0,40	0,33	0,33	0,57	1,00	0,49	0,27	0,34	0,31	-0,15	0,30	0,01
Jun	0,06	0,08	0,05	0,28	0,49	1,00	0,39	0,60	0,46	0,14	0,37	0,31
Jul	-0,07	-0,07	-0,17	0,07	0,27	0,39	1,00	0,57	0,53	0,19	0,26	0,25
Aug	-0,03	0,19	0,02	0,18	0,34	0,60	0,57	1,00	0,60	0,25	0,37	0,58
Sep	0,04	0,14	0,32	0,33	0,31	0,46	0,53	0,60	1,00	0,40	0,53	0,37
Oct	-0,05	-0,03	-0,01	-0,12	-0,15	0,14	0,19	0,25	0,40	1,00	0,59	0,69
Nov	0,02	0,16	0,33	0,16	0,30	0,37	0,26	0,37	0,53	0,59	1,00	0,54
Dec	-0,04	-0,02	-0,21	-0,15	0,01	0,31	0,25	0,58	0,37	0,69	0,54	1,00

Tab. 4.7 Koefficienty párovej korelácie medzi modelovanými mesačnými prietokmi Ipfa v Holiši

Table 4.7 Crosscorrelation coefficients between modelled monthly discharges of the river Ipfa in Holiša

ETALON	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	0,67	0,07	0,07	0,00	0,02	0,04	0,00	0,02	-0,14	-0,11	-0,19
Feb	0,67	1,00	-0,01	0,04	-0,03	-0,11	-0,06	0,02	-0,05	-0,07	0,06	-0,07
Mar	0,07	-0,01	1,00	0,81	0,28	0,67	0,48	0,48	0,54	-0,16	0,24	0,02
Apr	0,07	0,04	0,81	1,00	0,51	0,62	0,42	0,37	0,45	-0,20	0,33	-0,03
May	0,00	-0,03	0,28	0,51	1,00	0,47	0,27	0,16	0,27	-0,22	0,19	-0,18
Jun	0,02	-0,11	0,67	0,62	0,47	1,00	0,80	0,70	0,85	-0,08	0,53	0,22
Jul	0,04	-0,06	0,48	0,42	0,27	0,80	1,00	0,85	0,76	0,00	0,61	0,50
Aug	0,00	0,02	0,48	0,37	0,16	0,70	0,85	1,00	0,87	0,09	0,55	0,57
Sep	0,02	-0,05	0,54	0,45	0,27	0,85	0,76	0,87	1,00	0,09	0,56	0,48
Oct	-0,14	-0,07	-0,16	-0,20	-0,22	-0,08	0,00	0,09	0,09	1,00	0,28	0,55
Nov	-0,11	0,06	0,24	0,33	0,19	0,53	0,61	0,55	0,56	0,28	1,00	0,62
Dec	-0,19	-0,07	0,02	-0,03	-0,18	0,22	0,50	0,57	0,48	0,55	0,62	1,00
CCCM2010	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	0,67	0,05	0,17	0,05	0,06	0,08	0,05	0,07	-0,14	-0,03	-0,14
Feb	0,67	1,00	-0,04	0,15	0,01	-0,11	-0,08	0,03	-0,06	-0,10	0,05	-0,05
Mar	0,05	-0,04	1,00	0,53	0,31	0,48	0,34	0,38	0,46	-0,08	0,22	-0,06
Apr	0,17	0,15	0,53	1,00	0,53	0,74	0,56	0,47	0,55	-0,20	0,45	0,05
May	0,05	0,01	0,31	0,53	1,00	0,53	0,35	0,23	0,33	-0,23	0,26	-0,15
Jun	0,06	-0,11	0,48	0,74	0,53	1,00	0,83	0,72	0,86	-0,08	0,69	0,19
Jul	0,08	-0,08	0,34	0,56	0,35	0,83	1,00	0,86	0,79	-0,02	0,71	0,39
Aug	0,05	0,03	0,38	0,47	0,23	0,72	0,86	1,00	0,89	0,08	0,65	0,45
Sep	0,07	-0,06	0,46	0,55	0,33	0,86	0,79	0,89	1,00	0,08	0,71	0,43
Oct	-0,14	-0,10	-0,08	-0,20	-0,23	-0,08	-0,02	0,08	0,08	1,00	0,21	0,52
Nov	-0,03	0,05	0,22	0,45	0,26	0,69	0,71	0,65	0,71	0,21	1,00	0,58
Dec	-0,14	-0,05	-0,06	0,05	-0,15	0,19	0,39	0,45	0,43	0,52	0,58	1,00
CCCM2030	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	0,60	0,08	0,21	0,09	0,08	0,10	0,07	0,09	-0,15	-0,01	-0,10
Feb	0,60	1,00	0,00	0,24	0,07	-0,07	-0,06	0,05	-0,06	-0,12	0,08	-0,03
Mar	0,08	0,00	1,00	0,50	0,32	0,46	0,34	0,38	0,45	-0,08	0,22	-0,06
Apr	0,21	0,24	0,50	1,00	0,56	0,76	0,59	0,48	0,56	-0,19	0,46	0,07
May	0,09	0,07	0,32	0,56	1,00	0,56	0,39	0,25	0,35	-0,23	0,29	-0,13
Jun	0,08	-0,07	0,46	0,76	0,56	1,00	0,85	0,73	0,86	-0,08	0,70	0,17
Jul	0,10	-0,06	0,34	0,59	0,39	0,85	1,00	0,86	0,81	-0,03	0,72	0,32
Aug	0,07	0,05	0,38	0,48	0,25	0,73	0,86	1,00	0,90	0,08	0,66	0,37
Sep	0,09	-0,06	0,45	0,56	0,35	0,86	0,81	0,90	1,00	0,08	0,72	0,39
Oct	-0,15	-0,12	-0,08	-0,19	-0,23	-0,08	-0,03	0,08	0,08	1,00	0,20	0,46
Nov	-0,01	0,08	0,22	0,46	0,29	0,70	0,72	0,66	0,72	0,20	1,00	0,55
Dec	-0,10	-0,03	-0,06	0,07	-0,13	0,17	0,32	0,37	0,39	0,46	0,55	1,00
CCCM2075	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	0,52	0,21	0,34	0,21	0,20	0,22	0,18	0,20	-0,17	0,08	0,03
Feb	0,52	1,00	0,37	0,30	0,16	0,05	0,04	0,14	0,05	-0,13	0,09	-0,05
Mar	0,21	0,37	1,00	0,55	0,36	0,50	0,39	0,38	0,44	-0,15	0,28	-0,05
Apr	0,34	0,30	0,55	1,00	0,61	0,77	0,63	0,49	0,56	-0,20	0,48	0,10
May	0,21	0,16	0,36	0,61	1,00	0,60	0,47	0,28	0,37	-0,25	0,34	-0,05
Jun	0,20	0,05	0,50	0,77	0,60	1,00	0,88	0,74	0,85	-0,09	0,70	0,15
Jul	0,22	0,04	0,39	0,63	0,47	0,88	1,00	0,85	0,83	-0,06	0,70	0,23
Aug	0,18	0,14	0,38	0,49	0,28	0,74	0,85	1,00	0,92	0,06	0,64	0,27
Sep	0,20	0,05	0,44	0,56	0,37	0,85	0,83	0,92	1,00	0,07	0,70	0,35
Oct	-0,17	-0,13	-0,15	-0,20	-0,25	-0,09	-0,06	0,06	0,07	1,00	0,19	0,32
Nov	0,08	0,09	0,28	0,48	0,34	0,70	0,64	0,70	0,70	0,19	1,00	0,47
Dec	0,03	-0,05	-0,05	0,10	-0,05	0,15	0,23	0,27	0,35	0,32	0,47	1,00
WPB2010	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	0,69	0,33	0,41	0,29	0,21	0,20	0,18	0,20	-0,15	0,12	0,04
Feb	0,69	1,00	0,36	0,35	0,22	0,04	0,03	0,11	0,03	-0,10	0,07	-0,02
Mar	0,33	0,36	1,00	0,61	0,43	0,51	0,39	0,40	0,46	-0,12	0,31	0,01
Apr	0,41	0,35	0,61	1,00	0,68	0,78	0,63	0,56	0,62	-0,16	0,56	0,20
May	0,29	0,22	0,43	0,68	1,00	0,62	0,47	0,37	0,44	-0,21	0,41	0,04
Jun	0,21	0,04	0,51	0,78	0,62	1,00	0,87	0,79	0,89	-0,04	0,80	0,31
Jul	0,20	0,03	0,39	0,63	0,47	0,87	1,00	0,91	0,86	0,02	0,80	0,39
Aug	0,18	0,11	0,40	0,56	0,37	0,79	0,91	1,00	0,92	0,11	0,76	0,41
Sep	0,20	0,03	0,46	0,62	0,44	0,89	0,86	0,92	1,00	0,11	0,81	0,46
Oct	-0,15	-0,10	-0,12	-0,16	-0,21	-0,04	0,02	0,11	0,11	1,00	0,22	0,37
Nov	0,12	0,07	0,31	0,56	0,41	0,80	0,80	0,76	0,81	0,22	1,00	0,57
Dec	0,04	-0,02	0,01	0,20	0,04	0,31	0,39	0,41	0,46	0,37	0,57	1,00
WPB2030	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	0,72	0,36	0,44	0,35	0,21	0,20	0,18	0,19	-0,15	0,12	0,04
Feb	0,72	1,00	0,38	0,40	0,30	0,06	0,05	0,11	0,04	-0,09	0,07	-0,01
Mar	0,36	0,38	1,00	0,64	0,49	0,51	0,40	0,41	0,46	-0,11	0,32	0,02
Apr	0,44	0,40	0,64	1,00	0,74	0,78	0,65	0,59	0,63	-0,14	0,58	0,22
May	0,35	0,30	0,49	0,74	1,00	0,65	0,52	0,43	0,48	-0,19	0,46	0,08
Jun	0,21	0,06	0,51	0,78	0,65	1,00	0,90	0,82	0,90	-0,02	0,82	0,33
Jul	0,20	0,05	0,40	0,65	0,52	0,90	1,00	0,92	0,88	0,04	0,83	0,41
Aug	0,18	0,11	0,41	0,59	0,43	0,82	0,92	1,00	0,94	0,13	0,79	0,42
Sep	0,19	0,04	0,46	0,63	0,48	0,90	0,88	0,94	1,00	0,13	0,83	0,48
Oct	-0,15	-0,09	-0,11	-0,14	-0,19	-0,02	0,04	0,13	0,13	1,00	0,23	0,37
Nov	0,12	0,07	0,32	0,58	0,46	0,82	0,83	0,79	0,83	0,23	1,00	0,58
Dec	0,04	-0,01	0,02	0,22	0,08	0,33	0,41	0,42	0,48	0,37	0,58	1,00
WPB2075	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	0,76	0,41	0,52	0,45	0,23	0,22	0,19	0,19	-0,13	0,13	0,05
Feb	0,76	1,00	0,42	0,49	0,42	0,09	0,08	0,13	0,06	-0,07	0,08	0,01
Mar	0,41	0,42	1,00	0,68	0,58	0,51	0,41	0,42	0,46	-0,07	0,32	0,05
Apr	0,52	0,49	0,68	1,00	0,83	0,76	0,65	0,59	0,61	-0,11	0,57	0,25
May	0,45	0,42	0,58	0,83	1,00	0,67	0,55	0,47	0,50	-0,15	0,50	0,15
Jun	0,23	0,09	0,51	0,76	0,67	1,00	0,92	0,84	0,90	0,03	0,84	0,40
Jul	0,22	0,08	0,41	0,65	0,55	0,92	1,00	0,93	0,90	0,08	0,84	0,47
Aug	0,19	0,13	0,42	0,59	0,47	0,84	0,93	1,00	0,95	0,18	0,80	0,48
Sep	0,19	0,06	0,46	0,61	0,50	0,90	0,90	0,95	1,00	0,19	0,84	0,53
Oct	-0,13	-0,07	-0,07	-0,11	-0,15	0,03	0,08	0,18	0,19	1,00	0,26	0,39
Nov	0,13	0,08	0,32	0,57	0,50	0,84	0,84	0,80	0,84	0,26	1,00	0,63
Dec	0,05	0,01	0,05	0,25	0,15	0,40	0,47	0,48	0,53	0,39	0,63	1,00

Tab. 4.8 Koefficienty párovej korelácie medzi modelovanými mesačnými prietokmi Tople v Hanušovciach
Table 4.8 Crosscorrelation coefficients between modelled monthly discharges of the river Topľa in Hanušovce

ETALON	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	-0,07	0,03	-0,07	-0,01	0,03	-0,05	-0,17	-0,22	-0,01	-0,16	-0,14
Feb	-0,07	1,00	-0,12	-0,21	0,11	-0,14	0,08	0,06	0,30	0,03	-0,06	-0,13
Mar	0,03	-0,12	1,00	-0,23	0,07	0,50	0,31	0,33	-0,07	-0,22	-0,20	-0,09
Apr	-0,07	-0,21	-0,23	1,00	0,43	-0,04	-0,18	-0,10	0,28	0,24	0,78	0,19
May	-0,01	0,11	0,07	0,43	1,00	0,21	0,21	0,27	0,58	0,15	0,53	0,10
Jun	0,03	-0,14	0,50	-0,04	0,21	1,00	0,60	0,67	0,26	-0,14	0,13	0,12
Jul	-0,05	0,08	0,31	-0,18	0,21	0,60	1,00	0,64	0,31	-0,03	0,01	0,23
Aug	-0,17	0,06	0,33	-0,10	0,27	0,67	0,64	1,00	0,58	0,05	0,14	0,33
Sep	-0,22	0,30	-0,07	0,28	0,58	0,26	0,31	0,58	1,00	0,34	0,56	0,35
Oct	-0,01	0,03	-0,22	0,24	0,15	-0,14	-0,03	0,05	0,34	1,00	0,49	0,37
Nov	-0,16	-0,06	-0,20	0,78	0,53	0,13	0,01	0,14	0,56	0,49	1,00	0,44
Dec	-0,14	-0,13	-0,09	0,19	0,10	0,12	0,23	0,33	0,35	0,37	0,44	1,00
CCCM2010	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	-0,11	0,12	0,10	0,17	0,45	0,25	0,11	-0,04	0,02	0,03	-0,06
Feb	-0,11	1,00	-0,11	-0,17	0,08	-0,02	0,02	0,06	0,17	-0,05	-0,11	-0,20
Mar	0,12	-0,11	1,00	-0,03	0,17	0,31	0,35	0,33	-0,06	-0,31	-0,22	-0,08
Apr	0,10	-0,17	-0,03	1,00	0,32	-0,03	-0,14	-0,08	0,31	0,22	0,81	0,37
May	0,17	0,08	0,17	0,32	1,00	0,23	0,26	0,32	0,58	0,09	0,40	0,22
Jun	0,45	-0,02	0,31	-0,03	0,23	1,00	0,62	0,69	0,29	-0,14	0,11	0,06
Jul	0,25	0,02	0,35	-0,14	0,26	0,62	1,00	0,66	0,34	-0,03	0,04	0,19
Aug	0,11	0,06	0,33	-0,08	0,32	0,69	0,66	1,00	0,60	0,04	0,14	0,34
Sep	-0,04	0,17	-0,06	0,31	0,58	0,29	0,34	0,60	1,00	0,30	0,54	0,48
Oct	0,02	-0,05	-0,31	0,22	0,09	-0,14	-0,03	0,04	0,30	1,00	0,48	0,55
Nov	0,03	-0,11	-0,22	0,81	0,40	0,11	0,04	0,14	0,54	0,48	1,00	0,59
Dec	-0,06	-0,20	-0,08	0,37	0,22	0,06	0,19	0,34	0,48	0,55	0,59	1,00
CCCM2030	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	-0,13	0,04	0,13	0,20	0,62	0,39	0,25	0,10	0,03	0,14	0,00
Feb	-0,13	1,00	-0,22	0,05	0,16	0,05	0,00	0,04	0,03	-0,08	-0,05	-0,18
Mar	0,04	-0,22	1,00	0,25	0,16	0,01	0,12	0,14	0,03	-0,21	-0,03	0,00
Apr	0,13	0,05	0,25	1,00	0,25	0,03	0,00	0,05	0,35	0,12	0,66	0,42
May	0,20	0,16	0,16	0,25	1,00	0,21	0,29	0,36	0,60	0,08	0,35	0,31
Jun	0,62	0,05	0,01	0,03	0,21	1,00	0,62	0,70	0,30	-0,14	0,11	0,03
Jul	0,39	0,00	0,12	0,00	0,29	0,62	1,00	0,67	0,36	-0,03	0,05	0,17
Aug	0,25	0,04	0,14	0,05	0,36	0,70	0,67	1,00	0,61	0,04	0,14	0,32
Sep	0,10	0,03	0,03	0,35	0,60	0,30	0,36	0,61	1,00	0,28	0,52	0,53
Oct	0,03	-0,08	-0,21	0,12	0,08	-0,14	-0,03	0,04	0,28	1,00	0,47	0,60
Nov	0,14	-0,05	-0,03	0,66	0,35	0,11	0,05	0,14	0,52	0,47	1,00	0,67
Dec	0,00	-0,18	0,00	0,42	0,31	0,03	0,17	0,32	0,53	0,60	0,67	1,00
CCCM2075	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	-0,16	-0,16	-0,07	0,14	0,66	0,44	0,27	0,12	-0,10	0,14	-0,06
Feb	-0,16	1,00	-0,11	0,23	0,31	-0,06	-0,03	-0,03	0,03	0,00	0,21	0,11
Mar	-0,16	-0,11	1,00	0,25	0,00	-0,15	-0,09	-0,01	0,01	-0,09	0,08	0,11
Apr	-0,07	0,23	0,25	1,00	0,19	0,16	0,28	0,22	0,22	-0,21	-0,11	-0,03
May	0,14	0,31	0,00	0,19	1,00	0,20	0,32	0,40	0,58	0,05	0,22	0,33
Jun	0,66	-0,06	-0,15	0,16	0,20	1,00	0,63	0,71	0,31	-0,14	0,07	-0,02
Jul	0,44	-0,03	-0,09	0,28	0,32	0,63	1,00	0,68	0,38	-0,03	0,02	0,13
Aug	0,27	-0,03	-0,01	0,22	0,40	0,71	0,68	1,00	0,62	0,03	0,10	0,25
Sep	0,12	0,03	0,01	0,22	0,58	0,31	0,38	0,62	1,00	0,25	0,47	0,55
Oct	-0,10	0,00	-0,09	-0,21	0,05	-0,14	-0,03	0,03	0,25	1,00	0,44	0,55
Nov	0,14	0,21	0,08	-0,11	0,22	0,07	0,02	0,10	0,47	0,44	1,00	0,73
Dec	-0,06	0,11	0,11	-0,03	0,33	-0,02	0,13	0,25	0,55	0,55	0,73	1,00
WPB2010	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	-0,08	0,15	0,10	0,17	0,49	0,26	0,13	-0,03	0,02	0,02	-0,06
Feb	-0,08	1,00	0,02	-0,11	0,18	0,06	0,06	0,09	0,15	-0,05	-0,08	-0,19
Mar	0,15	0,02	1,00	0,02	0,21	0,28	0,34	0,32	-0,02	-0,30	-0,22	-0,08
Apr	0,10	-0,11	0,02	1,00	0,29	-0,02	-0,12	-0,06	0,30	0,20	0,79	0,35
May	0,17	0,18	0,21	0,29	1,00	0,23	0,29	0,35	0,58	0,09	0,39	0,21
Jun	0,49	0,06	0,28	-0,02	0,23	1,00	0,62	0,69	0,30	-0,13	0,12	0,08
Jul	0,26	0,06	0,34	-0,12	0,29	0,62	1,00	0,67	0,37	-0,02	0,03	0,23
Aug	0,13	0,09	0,32	-0,06	0,35	0,69	0,67	1,00	0,62	0,06	0,14	0,36
Sep	-0,03	0,15	-0,02	0,30	0,58	0,30	0,37	0,62	1,00	0,30	0,52	0,47
Oct	0,02	-0,05	-0,30	0,20	0,09	-0,13	-0,02	0,06	0,30	1,00	0,46	0,53
Nov	0,02	-0,08	-0,22	0,79	0,39	0,12	0,03	0,14	0,52	0,46	1,00	0,59
Dec	-0,06	-0,19	-0,08	0,35	0,21	0,08	0,23	0,36	0,47	0,53	0,59	1,00
WPB2030	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	-0,08	0,07	0,14	0,18	0,70	0,40	0,31	0,12	0,02	0,15	0,02
Feb	-0,08	1,00	-0,12	0,21	0,24	0,09	0,00	0,04	-0,01	-0,06	-0,03	-0,17
Mar	0,07	-0,12	1,00	0,33	0,18	0,00	0,11	0,14	0,07	-0,19	0,00	0,01
Apr	0,14	0,21	0,33	1,00	0,25	0,09	0,09	0,10	0,34	0,06	0,51	0,33
May	0,18	0,24	0,18	0,25	1,00	0,23	0,32	0,38	0,59	0,08	0,33	0,26
Jun	0,70	0,09	0,00	0,09	0,23	1,00	0,62	0,71	0,33	-0,12	0,12	0,07
Jul	0,40	0,00	0,11	0,09	0,32	0,62	1,00	0,68	0,40	0,00	0,06	0,22
Aug	0,31	0,04	0,14	0,10	0,38	0,71	0,68	1,00	0,63	0,06	0,15	0,35
Sep	0,12	-0,01	0,07	0,34	0,59	0,33	0,40	0,63	1,00	0,29	0,51	0,50
Oct	0,02	-0,06	-0,19	0,06	0,08	-0,12	0,00	0,06	0,29	1,00	0,45	0,59
Nov	0,15	-0,03	0,00	0,51	0,33	0,12	0,06	0,15	0,51	0,45	1,00	0,65
Dec	0,02	-0,17	0,01	0,33	0,26	0,07	0,22	0,35	0,50	0,59	0,65	1,00
WPB2075	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1,00	-0,14	-0,14	-0,07	0,15	0,76	0,49	0,38	0,18	-0,14	0,12	-0,02
Feb	-0,14	1,00	0,26	0,40	0,39	0,00	-0,01	0,00	0,02	0,02	0,16	0,09
Mar	-0,14	0,26	1,00	0,35	0,20	-0,09	-0,07	-0,02	0,06	-0,07	0,21	0,20
Apr	-0,07	0,40	0,35	1,00	0,25	0,19	0,29	0,22	0,22	-0,15	-0,11	-0,06
May	0,15	0,39	0,20	0,25	1,00	0,24	0,35	0,41	0,57	0,06	0,25	0,33
Jun	0,76	0,00	-0,09	0,19	0,24	1,00	0,64	0,72	0,36	-0,11	0,14	0,03
Jul	0,49	-0,01	-0,07	0,29	0,35	0,64	1,00	0,71	0,44	0,02	0,11	0,18
Aug	0,38	0,00	-0,02	0,22	0,41	0,72	0,71	1,00	0,65	0,07	0,18	0,28
Sep	0,18	0,02	0,06	0,22	0,57	0,36	0,44	0,65	1,00	0,28	0,50	0,54
Oct	-0,14	0,02	-0,07	-0,15	0,06	-0,11	0,02	0,07	0,28	1,00	0,42	0,58
Nov	0,12	0,16	0,21	-0,11	0,25	0,14	0,11	0,18	0,50	0,42	1,00	0,75
Dec	-0,02	0,09	0,20	-0,06	0,33	0,03	0,18	0,28	0,54	0,58	0,75	1,00

Tab. 4.9 Hodnoty koeficientov autokorelácie modelovaných mesačných prietokov pre jednotlivé klimatické scenáre vo vybraných povodiach Slovenska
Table 4.9 Autocorrelation coefficients of the modelled monthly discharges for given climate change scenarios in selected catchments in Slovakia

Región	Scenár	Rokiposun	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Váh Liptovský Mikuláš	Etalón	1951-80	0,389	0,266	0,148	0,103	0,135	0,126	0,040	0,008	-0,017	-0,016	-0,080	-0,109
		2010	0,374	0,208	0,096	0,061	0,119	0,107	0,047	-0,016	-0,008	-0,008	-0,054	-0,106
		2030	0,380	0,193	0,075	0,040	0,104	0,091	0,054	-0,030	-0,016	-0,016	-0,045	-0,109
	CCCM	2075	0,391	0,182	0,072	0,030	0,075	0,055	0,045	-0,049	-0,041	-0,038	-0,029	-0,093
		2010	0,387	0,221	0,106	0,068	0,119	0,107	0,045	-0,016	-0,013	-0,016	-0,060	-0,110
		2030	0,388	0,220	0,105	0,067	0,118	0,107	0,045	-0,017	-0,016	-0,017	-0,060	-0,110
	WP B	2075	0,389	0,217	0,100	0,064	0,115	0,108	0,046	-0,018	-0,017	-0,017	-0,060	-0,110
		1951-80	0,467	0,357	0,243	0,137	0,131	0,135	0,097	-0,012	0,001	-0,024	0,017	-0,012
		2010	0,463	0,380	0,250	0,139	0,121	0,132	0,065	0,003	-0,012	-0,003	0,004	0,023
Nitra Nitrianska Streda	Etalón	2030	0,439	0,373	0,240	0,141	0,107	0,136	0,047	0,016	-0,013	0,012	-0,006	0,035
		2075	0,464	0,365	0,236	0,141	0,101	0,128	0,048	0,021	-0,013	0,002	-0,008	0,028
		2010	0,511	0,415	0,283	0,186	0,143	0,161	0,088	0,047	0,017	0,015	0,020	0,032
	WP B	2030	0,530	0,432	0,300	0,203	0,156	0,172	0,100	0,056	0,028	0,024	0,028	0,035
		2075	0,558	0,459	0,327	0,231	0,176	0,192	0,118	0,071	0,045	0,037	0,038	0,039
		1951-80	0,542	0,394	0,325	0,208	0,245	0,129	0,049	0,060	0,004	-0,009	0,006	-0,050
	CCCM	2010	0,532	0,435	0,334	0,220	0,235	0,140	0,077	0,075	0,010	0,014	-0,003	-0,047
		2030	0,536	0,446	0,349	0,224	0,240	0,152	0,091	0,084	0,018	0,019	-0,003	-0,041
		2075	0,572	0,464	0,375	0,240	0,256	0,165	0,105	0,083	0,012	0,010	-0,009	-0,048
Ipel' Holiša	WP B	2010	0,616	0,523	0,440	0,300	0,314	0,211	0,143	0,121	0,040	0,032	0,017	-0,026
		2030	0,639	0,549	0,465	0,324	0,330	0,229	0,162	0,138	0,058	0,047	0,031	-0,012
		2075	0,671	0,582	0,499	0,361	0,356	0,256	0,186	0,164	0,083	0,068	0,054	0,011
	Etalón	1951-80	0,303	0,183	0,191	0,094	0,133	0,128	0,168	0,032	0,018	-0,022	0,025	-0,075
		2010	0,338	0,259	0,203	0,133	0,154	0,125	0,176	0,073	0,092	-0,023	0,024	-0,053
		2030	0,351	0,297	0,171	0,125	0,147	0,120	0,184	0,112	0,135	0,029	-0,012	-0,004
	CCCM	2075	0,356	0,287	0,153	0,099	0,111	0,105	0,164	0,109	0,147	0,102	-0,016	0,006
		2010	0,352	0,281	0,220	0,147	0,175	0,138	0,190	0,082	0,109	-0,012	0,026	-0,035
		2030	0,369	0,331	0,195	0,145	0,170	0,134	0,194	0,124	0,143	0,050	-0,007	0,013
Topľa Hanušovce	WP B	2075	0,414	0,350	0,200	0,136	0,155	0,161	0,198	0,147	0,173	0,133	0,023	0,017

5. ODHAD DÔSLEDKOV KLIMATICKEJ ZMENY NA VODNÉ HOSPODÁRSTVO A ADAPTAČNÉ OPATRENIA

V tejto časti sa najprv zameriame na demonštrovanie rôznych prístupov, ktoré boli navrhnuté na riešenie problémov v rámci komplexnej problematiky odhadu dôsledkov klimatickej zmeny na hospodárenie s vodou a návrhu adaptačných opatrení. Kaczmarek et al. (1996) v tejto súvislosti upozorňujú na to, že vzhľadom na komplexnosť problematiky prakticky nie je možné navrhovať všeobecne použiteľné metodiky, ale je potrebné mať k dispozícii množstvo metodík, ktorých kombinácia v každom konkrétnom prípade môže vystihnúť riešený problém. Preto sme zvolili spôsob demonštrovania rôznych metodických postupov, ktoré boli použité v poslednom období v impaktných štúdiách.

V ďalšom zhrnieme výstupy z niekoľkých štúdií, ktoré sa vyslovujú ku koncepciám adaptácie na možnú zmenu klímy na úrovni plánovania a využívania vodných zdrojov a hospodárenia s vodou vo vodohospodárskych sústavách.

Následne sa pokúsime na príklade prípadovej štúdie pre oblasť východného Slovenska demonštrovať využiteľnosť postupov popísaných v predošlých častiach na ohodnotenie zraniteľnosti povrchových vodných zdrojov. Budeme tiež formulovať všeobecné východiská pre hospodárenie s povrchovými vodnými zdrojmi na úrovni dlhodobého plánovania.

5.1 METODICKÉ POSTUPY HODNOTENIA IMPAKTU KLIMATICKEJ ZMENY NA HOSPODÁRENIE S VODOU

V oblasti hospodárenia s vodou v nádržiach a súvisiacich otázkach existuje rad prác študujúcich impakty zmeny klímy. Tieto väčšinou využívajú simulačné metódy na hodnotenie impaktu v konkrétnych sústavách.

Mimikou et al. (1991) využili výstupy zo štúdie Mimikou a Kouvopoulos (1991) na analýzu vplyvu klimatickej zmeny na výrobu elektrickej energie v hydroelektrárňach a veľkosť nadlepšenia v štyroch nádržiach v strednom Grécku. Upozornili na možný dramatický pokles zabezpečenia odberov a výroby energie pri klimatických scenároch s poklesom zrážok. Pre udržanie dnešnej úrovne zabezpečenia odberov by boli potrebné zvýšené akumulčné objemy.

Cole et al. (1991) využívajúc generátor počasia a jednoduchý zrážkovo - odtokový model, vytvorili 50-ročné rady priemerných pentádných prietokov a skúmali impakt zmeny klímy na regionálne závislosti medzi odbermi z nádrží, ich zabezpečenosťami a potrebnými objemami. Pokles súčiniteľa nadlepšenia v dôsledku klimatickej zmeny bol 8 až 15 % v juhovýchodnom Anglicku a 4 až 25 % v severozápadnom Anglicku.

Salewicz (1996) uvádza výsledky optimalizácie hydroelektrárne Kariba v Zambii. Metodicky vychádza zo scenárov GCM, GFDL a GISS, ktoré použil pre simuláciu odtoku v zmenených podmienkach pomocou modelu CLIRUN. Modelové rady použil ako podklad pre vytvorenie stochastického modelu Markovovho typu a vytvoril 300-ročný umelý prietokový rad pre každý scenár a tiež pre nezmenené podmienky. Tieto použil pre simuláciu prevádzky hydroelektrárne v podmienkach klimatickej zmeny a optimalizáciu jej činnosti.

Vogel et al. (1996) navrhujú študovať citlivosť systémov pre zásobovanie s vodou z nádrží na klimatickú zmenu regionálne. Z údajov zo 166 povodí odvodili vzťah medzi prvými dvomi momentmi radu priemerných ročných prietokov a zrážkami, teplotou vzduchu a plochou povodia. Kombináciou týchto vzťahov s režimovými závislosťami pre regulovanie odtoku nádržami umožňujú skúmať zabezpečenosť zásobovania s vodou a jej citlivosť na klimatickú zmenu. Metodika je prenosná, výsledky majú regionálnu platnosť.

Mimikou a Baltas (1997) skúmali zmenu zabezpečenia ročnej výroby elektrickej energie v hydroelektrárni v Grécku. Pre rôzne scenáre a za využitia matematického modelu odtoku pre simuláciu impaktu zmeny klímy dospeli k záveru, že v Grécku môže dôjsť k zníženiu zabezpečenia výroby elektrickej energie. Upozorňujú na potrebu zvyšovania akumulčných objemov nádrží v záujme udržania dnešných hodnôt zabezpečenia jej výroby.

Přenosilová (1994), Přenosilová, Nacházel a Patera (1994), Nacházel, Přenosilová a Toman (1995) popisujú komplexný prístup na odhad impaktu klimatickej zmeny na povrchové vodné zdroje a hospodárenie s vodou v nádržiach. Na základe radu analýz skúmajú najprv vlastnosti kolísania a vzájomnej väzby hydrometeorologických procesov a možnosti konštrukcie rôznych typov klimatických scenárov. Následne na simulovaných 900-ročných radoch umelých priemerných mesačných prietokov skúmali režimové závislosti vodných nádrží vo viacerých profiloch pre rôzne klimatické scenáre. Objemy potrebné pre zabezpečenie odberov za predpokladu klimatickej zmeny kolísali v pomerne veľkom rozsahu. Zmena objemov v niektorých prípadoch menila znamienko pri prechode z oblasti sezónneho regulovania odtoku k viacročnému vyrovnaniu.

Zovšeobecnené režimové krivky pre viaceré scenáre mali značný rozptyl, čo sťažovalo kvantifikáciu impaktov.

Nacházel (1997) vychádzajúc z relatívne vysokého rozptylu možných vplyvov klimatickej zmeny na vodné zdroje, navrhol hodnotenie neurčitosti scenárov klimatickej zmeny a ich dôsledkov na klimatické zdroje pomocou teórie fuzzy množín. Pomocou spolupráce skupiny expertov, ktorí subjektívne hodnotia pomocou hodnotiacich výrazov neurčitost' dôsledkov klimatickej zmeny, sa očakáva od metodiky, že umožní vytypovať také scenáre, ktoré budú môcť byť použité v impaktných štúdiách vo vodnom hospodárstve a pri príprave adaptačných opatrení. Hodnotili sa nasledujúce rovnovážne scenáre: UKHI z roku 1989, XCCC z roku 1991, GISS roku 1984 pre rôzne časové horizonty, transientný scenár UKTR z roku 1992 a inkrementálne scenáre s $dT + 2$ a $+4$ °C a $dP -5$, 0 , $+5$ a $+10$ %. Pre hodnotenie boli k dispozícii impakty scenárov v profile Soutice na Želivke na odtok a režimové krivky nádrže. Budúcnosť impaktných štúdií vidí autor v ďalších prácach na klimatických scenároch, možnosti ich premietnutia do hydrológie povodí a riadenia vodohospodárskych sústav považuje za odborne dobre zvládnuté.

Gellens (1996) študoval pomocou modelu IRMB, ktorý pracuje s denným časovým krokom, vplyv klimatickej zmeny na regulovanie povodňového odtoku a sezónne regulovanie odtoku malými nádržami s použitím scenárov GCM na území Belgicka. V dôsledku prerozdelenia odtoku v roku a zvyšovania zimných odtokov potreboval v zmenených podmienkach vyššie objemy ochrannej nádrže než za súčasného režimu odtoku. V prípade sezónneho regulovania odtoku dostal protichodné výsledky závislé od budúceho chodu relatívnej vlhkosti vzduchu.

V oblasti problematiky zásobovania s vodou existuje rad prác, ktoré naznačujú rôznorodosť problémov, ktoré môžu v tejto oblasti nastať.

Bonacci a Denič (1993) v súvislosti s analýzou sucha upozorňujú, že citlivosť hospodárenia s vodou na tento fenomén je v súčasnosti zosilnená nielen nedostatkom zrážok a zmenou ich vnútroročného rozdelenia, ale aj zvýšenými nárokmi na vodu v porovnaní s minulosťou. Zvláštnu pozornosť navrhujú venovať znižovaniu hladín podzemnej vody spôsobenej suchom a tzv. jej devastácnym využívaním. Na tento fenomén upozorňujú hydrogeológovia aj u nás.

Shnaydman a Niemann (1996) rozoberajú možnosti skúmania impaktov na hospodárenie s vodou vo vodohospodárskej sústave s dôrazom na uspokojovanie potrieb závlah. Úlohu riešia pomocou simulačného modelu sústavy. Metodiku aplikujú v povodí rieky Terek na severnom Kaukaze. Pri generovaní scenárov klimatickej zmeny využívajú expertný prístup a ich hodnotenie pomocou fuzzy množín. Rady prietokov a potrieb závlahovej vody simulovali pomocou Svanidzeho metódy fragmentov.

Priazhinskaja (1997) skúmala vplyv klimatickej zmeny na potrebu vody pre poľnohospodárstvo v semiaridných oblastiach Ruska. Od scenárov zmien klímy odvádzala socio-ekonomické scenáre a stratégie pre budúci vývoj.

Thomas a Bates (1996) uvádzajú model pre hospodárenie s vodou v nádržiach v oblastiach Austrálie so silne premenlivou a potenciálne meniacou sa klímou, ktorý môže slúžiť ako model pre zníženie konfliktov medzi užívateľmi v období nedostatku vody. Užívatelia sú vlastníkami častí nádržného priestoru (de facto rozdelenie nádrže na "podnádrže") a časti netto prítoku do nej. Obidva tieto pomery nemusia byť pritom pre jedného užívateľa rovnaké. Prijímajú sa manipulačné poriadky umožňujúce decentralizované rozhodovanie každého akcionára nádrže v rámci ohraničení danými variabilitou klímy. Tento prístup umožňuje explicitne zohľadniť ekonomické, sociálne a ekologické hodnoty ľudí rozhodujúcich o rizikách a zabezpečení a spájať užívanie vody s jej relatívnou a nie absolútnou dostupnosťou.

Gavrilita et al. (1997) poukazujú na nutnosť zahrnúť do plánovania zásobovania s vodou dlhodobé pozorované trendy poklesu vodnosti v Moldavsku.

Wolock et al. (1996) študovali citlivosť zásobovania mesta New York s vodou z nádrží v povodí rieky Delaware. Zároveň skúmali možné zmeny rozhrania slanej a sladkej vody v ústí rieky v závislosti od vypúšťania z týchto nádrží, ktoré ovplyvňuje kvalitu vody v odberných miestach pre Philadelphiu. Obidva ciele riadenia sú pritom vo vzájomnom konflikte. Použili nasledujúci metodický postup. Ako scenáre zmien klímy použili inkrementálne scenáre (± 20 , 10 a 0 % pre zrážky a 0 , 1 , 2 , 3 a 4 °C prírastku pre teplotu vzduchu), lebo regionalizáciu GCM scenárov považujú za problematickú. Markovovým modelom generovali v piatich staniciach 100-ročné rady mesačných hodnôt teplôt vzduchu a úhrnov zrážok. Oba rady považovali pritom za vzájomne nezávislé. Asymetriu rezíduí zrážkových radov odstránili odmocninovou transformáciou. Do generovaných radov vniesli trend zodpovedajúci scenárom. Tieto rady transformovali na odtok pomocou modifikovaného modelu Thorthwaita. Sústavu nádrží, odberov a manipulačných poriadkov zahrnuli do modelu vodohospodárskej sústavy spolu s modelom pre výpočet polohy rozhrania medzi slanou a sladkou vodou v závislosti od prietoku v toku. Pre každý simulovaný rad vyhodnocovali poruchy v zásobovaní New Yorku a približovanie sa rozhrania s morskou vodou k odberným miestam podzemných vôd pre zásobovanie Philadel-

pie. Upozorňujú na to, že neistoty v klimatických scenároch sa premietajú do vodohospodárskych scenárov, čo pri značnej prirodzenej variabilite klímy sťažuje vyhodnotenie impaktov a adaptáciu.

Zložitej oblasti štúdia impaktov zmeny klímy na kvalitu vody v tokoch, ekológii vodných tokov a telies sme sa systematicky nevenovali. Uvádzame iba dve súhrnné štúdie, ktoré môžu slúžiť ako úvod do problematiky.

Varis a Somlyódy (1996) študovali vplyv zmeny klímy na kvalitu vody v nádržiach a jazerách. Zhrnuli výsledky množstva štúdií na hydrológiu, teplotný režim, chémiu a biochémiu, ekológiu a biológiu. Vzhľadom na zložitosť problematiky používali kvalitatívne hodnotenie možných vplyvov cez tzv. checklisty. Upozorňujú na zložitosť problematiky a jej lokálnu špecifickosť.

Orlob et al. (1996) študovali otázky klimatickej zmeny, krajiny, kvality vody a vodných ekosystémov. Prezentujú teoretické základy modelovania teplotného režimu tokov a vodných telies. Očakávajú, že v dôsledku zmeny teplotnej rovnováhy medzi atmosférou a hydrosférou dôjde aj k zmene teplotného režimu tokov, jazier, nádrží a možno aj ústí tokov do mora. V miernych klimatických pásmach očakávajú vzrast teploty vody a s ňou súvisiaci vzrast biologickej aktivity vo vodných ekosystémoch, zvýšenú mieru rozkladu organickej hmoty, zníženú úroveň saturácie plynov rozpustných vo vode v rovnováhe s atmosférou, zvýšený potenciál uvoľňovania nutričov a toxických kovov z bentosu a zvýšený stres pre senzitívne druhy vodných živočíchov, obzvlášť pre tie, ktoré sú na pokraji prežitia. Očakávajú skrátenie doby zamrzania vodných útvarov s následným zvýšením biologickej aktivity v nich. Podľa ich názoru môže dôjsť k posunu v zložení akvatických ekosystémov. Vzhľadom na zložitosť problematiky budú, podľa autorov, štúdie vplyvu klimatickej zmeny musieť venovať zvláštnu pozornosť otázkam kvality vody a ekológie. Metodológii považujú ešte za málo rozvinutú, uvádzajú zoznam metodologických problémov, ktoré by bolo treba riešiť.

5.2 KONCEPCIE ADAPTÁCIE NA MOŽNÚ ZMENU KLÍMY NA ÚROVNI PLÁNOVANIA VYUŽÍVANIA VODNÝCH ZDROJOV A HOSPODÁRENIA S VODOU

Rad autorov sa zamýšľa na koncepcnej úrovni nad adaptačnými opatreniami, ktorých potrebu vo vodnom hospodárstve môže vyvolať klimatická zmena.

Loucks (1996) a Shamir (1996) upozorňujú na širšie aspekty problematiky hospodárenia s vodou v období s meniacimi sa spoločenskými prioritami smerom k udržateľnému rozvoju. Podrobne diskutujú existujúce spôsoby a otázky definovania rizika a zabezpečnosti v hospodárení s vodou.

Grabs (1997) popisuje výsledky spolupráce krajín v povodí Rýna pri odhade vplyvu klimatickej zmeny na hydrologický režim. Z hľadiska hospodárenia s vodou je zaujímavý záver, že očakávané zmeny môžu byť až tak veľké, že napriek všetkým neistotám je nutné sa s nimi zaoberať v dlhodobých plánoch hospodárenia s vodou.

Lobanov a Lobanova (1994), Lobanova a Lobanov (1994, 1996) a Lobanov (1997) upozorňujú, že metódy vodohospodárskeho plánovania a inžinierskeho návrhu sú založené na predpoklade stacionarity hydrologických procesov. Zdroje nestacionarity nemusia pritom prameniť primárne v zmene klímy. Vyvíjajú novú metodiku na dekompozíciu hydrologických časových radov na homogénne komponenty, ktorých spoločné pôsobenie spôsobuje nestacionaritu v skúmaných časových radoch. Metódou chcú umožniť zrušenie predpokladu stacionarity v doterajších prístupoch vo vodohospodárskom plánovaní.

Sircoulon (1991) nepovažuje súčasný stav vedomostí potrebných pre návrh a menežment vodohospodárskych sústav najmä pre veľké povodia alebo územné celky za dostatočný. Preto považuje za potrebné iniciovať medzinárodné programy s cieľom lepšie chápať fyzikálne a biologické procesy s rôznou mierkou. Za veľmi dôležité pre takéto projekty považuje hydrologické pozorovania (monitoring možných zmien), ktoré treba zdokonaľovať spolu s metódami spracovávania údajov.

Lins et al. (1991) upozornili na fakt, že ideálne podmienky pre regionálne hodnotenie využívania vodných zdrojov za predpokladu zmeny klímy by predpokladali, že budeme poznať odhady početnosti výskytu, intenzity a trvania hydrologických javov v budúcnosti. Keďže táto možnosť je (silne) obmedzená, odporúčajú skúmať citlivosť vodných zdrojov a zásobovacích systémov na zmeny, a to najmä v semiaridných a aridných oblastiach. Takisto požadujú podporu pre vývoj metód pre riadenie vodohospodárskych sústav v podmienkach neistoty vyplývajúcej z novej nestacionarity klímy. Cieľom tohto úsilia má byť zvýšenie robustnosti systémov vzhľadom na možné zmeny. Zvlášť zdôrazňujú potrebu vývoja návrhových metód pre vodohospodárske stavby v nestacionárnych podmienkach. Upozorňujú tiež na nedostatočné vedomosti v oblasti vplyvov zmeny klímy na kvalitu vody.

Sarma (1991) navrhuje katalóg opatrení na zníženie negatívneho vplyvu klimatickej zmeny na vodné zdroje. Ide o všeobecné opatrenia, ako je analýza flexibility a zraniteľnosti existujúcich sústav zásobovania s vodou, zlepšenie ich flexibility pomocou spolupráce sústav a ich optimalizáciu, zlepšenie monitoro-

vania a predpovedanie všetkých procesov súvisiacich s problematikou, príprava na menežment katastrof a krízových situácií a pod. Zároveň navrhuje aj konkrétne opatrenia, ako je napr. šetrenie s vodou pri závlahách pomocou optimalizácie, kvapkovej závlahy, tesnením závlahových kanálov, ďalej šetrenie s vodou pomocou efektívnejších spotrebičov a cenovou politikou, zlepšenie protipovodňovej ochrany.

Výsledky štúdií vplyvu klimatickej zmeny na vodné hospodárstvo v ČR sumarizovali Dvořák a Hladný (1995). Pri hodnotení vplyvu klimatickej zmeny na vodné zdroje a nádrže vychádzali z výsledkov štúdií Přenosilová et al. (1994) a Nacházal et al. (1995). Z hľadiska predpovede potrieb pitnej vody a vody na závlahy uvažovali v budúcnosti zhruba s hodnotami na úrovni v roku 1990. Upozornili na to, že aj malé zmeny v hydrologických procesoch môžu priniesť pri zachovaní existujúcich odberov požiadavky na zvýšenie úrovne akumulácie vody až o jeden rád. Navrhujú používať matematické modely pre adaptívne riadenie nádrží, novú cenovú politiku pre podporu šetrenia vodou, osvetové programy podporujúce šetrenie vodou, prevody vody, dispečerské riadenie odtoku kombináciou podzemných a povrchových zdrojov smerujúce k antidevastačnému využívaniu vodných zdrojov a zaviesť regulačné stupne pre krízový menežment zásobovania s vodou v obdobiach sucha podobne, ako to je v zásobovaní plynom a elektrickou energiou.

Přenosilová, Nacházal a Patera (1994) vidia dve hlavné možnosti adaptácie na klimatickú zmenu v podmienkach ČR, a to používanie ekonomických nástrojov na zníženie spotreby vody a vývoj moderných metód na riadenie vodohospodárskych sústav v reálnom čase. Do opatrení nezahŕňajú výstavbu nových vodných zdrojov.

Podobné závery pre SR formulovali Lapin (1995) a Majerčáková s Minárikom (1995). Navrhujú napr. prioritne zabezpečiť zásobovanie s pitnou vodou, akumuláciu vody pre poľnohospodárstvo, podporovať politické stratégie smerujúce k šetreniu v vodou a k zlepšovaniu jej kvality a technické opatrenia na znížovanie spotreby vody. Na úrovni dlhodobého plánovania sa s problematikou adaptácie zaoberali tiež Dzubák, Hambek a Szolgay (1996), Hambek (1996) a Szolgay et al. (1994, 1995, 1996, 1997). K ich záverom sa podrobnejšie vrátime v ďalšej časti.

Serban a Corbus (1996) navrhujú vyvíjať nové kritériá a metódy pre návrh a prevádzkovanie vodohospodárskych stavieb a sústav, aby sa hospodárenie s vodou pripravilo na možné zmeny hydrologického režimu. Upozorňujú na potrebu venovať sa otázkam vplyvu klimatickej zmeny na kvalitu vody.

Kaczmarek, Kundzewicz a Priazhinskaja (1996) sa podrobne zaoberajú otázkami vplyvu klimatickej zmeny na vodné hospodárstvo. Uvádzajú, že v plánovaní sa síce s neistotami bežne pracovalo, pridanie ďalšej (klimatickej) však značne komplikuje situáciu, pretože to (dnes ešte v neznámej miere) narušá axióm stacionarity hydrologických dejov. Zmena stochastických vlastností hydrologických procesov môže byť až taká, že existujúce údaje sa stanú atypické pre budúcnosť a ich pravdepodobnostný popis sa stane nepoužiteľný dokonca aj v priemernom zmysle. Ďalší faktor, ktorý sa viaže na klimatickú zmenu, je zmena potreby vody v sektoroch ovplyvnených klimatickou zmenou, ako je napr. poľnohospodárstvo. Pri štúdiu prameňov nenašli dostatočný počet štúdií z tejto oblasti.

Nové dimenzie plánovania vo vodnom hospodárstve podľa nich prinášajú dve otázky:

- aký bude rozmer (mierka) možných porúch v hospodárení s vodou,
- ako sú vodohospodárske sústavy adaptabilné na zmeny a aké náklady môže prípadný proces adaptácie vyvolať.

Prvá otázka si vyžiada zdokonalenie našich vedomostí v oblasti klimatických, hydrologických a nadväzujúcich socio-ekonomických procesov, druhá potrebuje aj určitú víziu o stratégii hospodárenia s vodou v budúcnosti. Priblížiť sa k nej podľa autorov dá aj analýzou správania existujúcich sústav v minulých extrémnych klimatických situáciách.

V otázke, aké metódy návrhu vodohospodárskych sústav by boli vhodné pre prípad zmeny klímy, navrhujú vychádzať z potenciálu systémových metód, ktoré majú vo vodnom hospodárstve tisíce aplikácií. Uvážujú s ich adaptáciou na zmenené podmienky. Za zložitejšiu úlohu považujú odhad zmeny štruktúry hydrologických a socio-ekonomických podkladov v zmenených podmienkach. Väčšina štúdií podľa nich vychádza doteraz zo zmeny priemerných hodnôt a nezaobera sa napr. zmenami variability, autokorelačnej štruktúry procesov a pod. Navyše sa málo štúdií zaoberá transientnými scenármi, pri tvorbe scenárov sa zväčša uplatnili rovnovážne klimatické modely.

Východisko vidia autori v adaptácii existujúcich systémových metód na nestacionárne podmienky cestou zahrnutia neistôt do analýzy vo viacerých rovinách, v scenárovom prístupe (napriek istej subjektivite v ich voľbe) a v používaní Bayesovských metód pre podporu rozhodovania. Uvádzajú, že bude potrebné adaptovať aj kritériá pre hodnotenie optimality sústav na podmienky nestacionarity. V rovnovážnych štúdiách klimatickej zmeny to nemusí pritom byť zložité, no ich výpovedná hodnota v transientných podmienkach bude otázna. Na rade príkladov demonštrujú rôzne možnosti. V súvislosti s podmienkami v meniacich sa ekonomikách upozorňujú na fakt, že vo vodnom hospodárstve sa menia aj iné faktory.

Kulshreshtha, Kos a Prizhinskaja (1996) sa na koncepcnej úrovni zaoberali relatívne málo preskúmanou oblasťou vplyvu klimatickej zmeny na potrebu vody. Problém vnímajú vo viacerých rovinách. Na prvej úrovni navrhujú integrovanie systému hospodárenia s vodou najprv v oblasti zásobovania, potreby vody, dostupnosti vody (hydrológie), ekonómie a pod., potom jeho integrovanie do iných systémov, ako je napr. využívanie krajiny a na najvyššej úrovni s inými sociálnymi, ekonomickými a politickými systémami. Zdôrazňujú potrebu systémového prístupu k predikcii budúcich potrieb vody. Vidia v ňom záruku, že sa budú explicitne uvažovať väzby medzi rôznymi užívateľmi vodných zdrojov. Rozoberajú priame a nepriame väzby medzi klimatickým systémom a potrebou vody. Rozlišujú a popisujú vplyvy prvého rádu, ktoré sa prejavajú cez priamych užívateľov vody, druhého rádu, ktoré sa sprostredkovane prejavujú cez sektory používajúce a poskytujúce vodu a vplyvy tretieho rádu, ktoré budú agregovať predošlé dva na úrovni regionálnej a národnej (štátnej).

Pri predikcii budúcich potrieb rozoberajú možnosti vychádzať z rôznych modelov potreby v závislosti od jej podmienujúcich činiteľov zvlášť pre domácu, priemyselnú, poľnohospodársku a tzv. in situ potrebu (napr. rekreácia). Uvádzajú návrh metodík pre štúdie vplyvu zmeny klímy na potrebu vody. Priznávajú, že ide o pomerne málo prebádanú a veľmi zložitú problematiku, preto zhrňajú aj výsledky iných štúdií. Na koncepcnej úrovni sa zaoberajú aj otázkami menežmentu potreby, resp. spotreby vody.

Kaczmarek, Strzepek a Somlyódy (1996) zhrňajú svoje skúsenosti z účasti na príprave materiálov pre IPPC, ako aj pre štúdie IIASA. Upozorňujú na to, že už prvé materiály IPCC prakticky vyčerpávajúco pojednávajú o filozofii možných adaptačných opatrení na klimatickú zmenu vo vodnom hospodárstve (tiež Lins et al. (1991), Sarma (1991), Sircoulon (1991)). Ďalšie priority, ktoré bude treba brať do úvahy, sú uvedené v AGENDA 21.

Dlhodobé plánovanie vo vodnom hospodárstve musí, podľa nich, mať tri stupne:

- formulovanie série rozvojových scenárov skladajúcich sa z množiny rôznych kombinácií predpokladov o raste obyvateľstva a ekonomických, sociálnych a environmentálnych cieľov spoločnosti,
- návrh množiny dlhodobých stratégií pre hospodárenie s vodou skladajúcich sa z opatrení pre menežment vodných zdrojov, nástrojov a inštitucionálnych zmien na ich dosiahnutie,
- vyhodnotenie spoľahlivosti a zabezpečenia stratégií menežmentu, ich nákladovosti, environmentálnych a socio-ekonomických impaktov.

Všetky inštitúcie zaoberajúce sa plánovaním a menežmentom (hospodárením s vodou) by mali svoju budúcu stratégiu vytvoriť kombináciou z týchto nástrojov:

- priame opatrenia na riadenie spotreby vody (ako regulatívy a technológie),
- nepriame nástroje ovplyvňujúce správanie spotrebiteľov (napr. dane, ceny),
- inštitucionálna zmena pre lepšie hospodárenie s vodou (ako zmeny v legislatíve, plánovaní),
- zlepšenie prevádzky existujúcich vodohospodárskych sústav (optimalizácia, riadenie v reálnom čase, adaptívne riadenie),
- priame opatrenia na zvýšenie dostupnosti zdrojov (krajinné úpravy, nádrže, diaľkovody).

Zaoberajú sa aj analýzou nedostatkov súčasnej úrovne vedomostí potrebných k uvedeným spôsobom plánovania a hospodárenia s vodou. Popri už načrtnutých nedostatkoch upozorňujú na potrebu výskumu v oblasti odhadu budúcej potreby vody (najmä závlahovej), vplyvu klimatickej zmeny na variabilitu hydrologických dejov (najmä povodní) a tiež na možné medzinárodné konflikty o prístup k vodným zdrojom.

Miller et al. (1997) upozorňujú na úlohy inštitútov, ako je vodné právo, systémy riadenia vodného hospodárstva a spoločenské normy v príprave na adaptáciu na zmenu klímy. Odporúčajú začať uvažovať s adaptáciou napriek neistotám v kvantifikácii impaktov. Upozorňujú na možnosť, že tento proces bude nákladný. Popisujú vývoj uvedených inštitútov v USA a do budúcich stratégií riadenia navrhujú zaradiť zlepšenie prediktability kritických situácií pre zavedenie obmedzení užívania vody, kvalitne monitorovať existujúce užívanie a spotrebu vody, lepšie integrovať právo na užívanie povrchovej a podzemnej vody, vytvoriť plán na adaptáciu na zmenu, vytvoriť priestor na prenos práva užívania vody na dôležitých odberateľov, zlepšiť možnosti podmieňovať právo na užívanie vody zaručením ochrany environmentálnych hodnôt a vytvoriť bezpečnostné pásmo pri povoľovaní odberov. Inštitúcie riadenia vodného hospodárstva by mali byť viac adaptívne poňaté.

V rámci riešenia Country Study Slovakia vzniklo niekoľko štúdií o hodnotení impaktov na vodné hospodárstvo (Dzubák, Hambek a Szolgay (1996) a Hambek (1996)). Tieto štúdie navrhujú adaptáciu v rámci systému existujúceho dlhodobého plánovania vo vodnom hospodárstve. Odhadujú aj náklady na navrhované opatrenia. Na úseku legislatívy navrhujú zabezpečiť ochranu všetkých vodných zdrojov s dôrazom na vodné zdroje v severnom pásme územia Slovenska a unikátne zdroje podzemných vôd Žitného ostrova. Navrhujú posilniť hydrologický výskum a jeho výsledky zaviesť do metodík vodohospodárskych bilancií, zostaviť výhľadové vodohospodárske bilancie pre časový horizont roku 2075 za účelom včasného stanovenia vodohos-

podársky pasívnych (deficitných) oblastí a návrhov následných strategických opatrení (určenie priorit odberateľov vody) pre využívanie vodných zdrojov v prípadoch hydrologického sucha. Účinne bude treba presadzovať racionálne prípustné zníženie špecifickej potreby vody pre obyvateľstvo, priemysel a poľnohospodárstvo a v závlahovom hospodárstve s predstihom pripravovať prechod na nové technológie, znižujúce nároky na vodu. Postupne podľa potreby navrhujú budovať najmä väčšie vodné nádrže a pre odhadnutú potrebu vytvorenia akumulácie vody 800 mil m³ v nádržných priestoroch zabezpečiť (do roku 2075) 116 miliard Sk, t. j. 1,9 mld. Sk ročne po roku 2015, pre prevod podzemnej vody zo Žitného ostrova do vzdialenosti asi 250 km zabezpečiť investičné prostriedky vo výške 27,5 mld. Sk, t. j. 0,46 mld. Sk ročne po roku 2015, pre údržbu a rekonštrukciu vodohospodárskych objektov a rozvodných sietí vo výške 0,6 mld. Sk ročne. V spolupráci s rezortom poľnohospodárstva a lesného hospodárstva odporúčajú systematicky realizovať v povodiach opatrenia s plošným účinkom, zamerané na všeobecné a trvalé zlepšenie podmienok odtoku (zalesňovanie, protierozné opatrenia, revitalizácia krajiny a pod.) a zintenzívniť aktivity zamerané na zachovanie, prípadne zlepšenie kvality vôd. V oblasti povrchových vôd pokračovať v likvidácii bodových zdrojov znečistenia (čistiarne odpadových vôd) a zvýšiť kontrolu plošného znečistenia (agrochemikálie, vodná erózia). Na ochranu kvality podzemných vôd spresniť čo najskôr účinné opatrenia v zdrojových oblastiach (vzhľadom na dlhšie reakčné doby, ale aj dlhé doby doznievania kontaminácie). Bude tiež treba posilniť informovanosť verejnosti o dôsledkoch klimatických zmien na kvalitu života všeobecne a na problematiku vodných zdrojov a následné opatrenia zvlášť.

Ako vidieť z predošlého, v mnohom sa opatrenia navrhované v rôznych štúdiách prekrývajú. Z hľadiska nášho vodného hospodárstva by bolo preto vhodné v rámci štúdie NKP porovnať všetky návrhy a doplniť naše doterajšie návrhy. 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 (EÚ pripravuje direktívu o integrovanom hospodárení s vodou) o nástroje, ktoré sme doteraz u nás 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.

5.3 PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA - HODNOTENIE ZRANITEĽNOSTI POVRCHOVÝCH VODNÝCH ZDROJOV A NÁVRH KONCEPČNÝCH ADAPTAČNÝCH OPATRENÍ NA HOSPODÁRENIE S POVRCHOVÝMI VODNÝMI ZDROJMI NA VÝCHODNOM SLOVENSKU

Prezentovaná prípadová štúdia predstavuje pokus použiť doteraz uvedené metodické postupy doplnené hodnotením priestorového a časového kolísania prvkov hydrologickej bilancie ako ucelenú metodiku na hodnotenie ohrozenosti povrchových zdrojov konkrétneho územia. Chápeme ju ako alternatívu k možnosti podrobne simulovať rôzne scenáre vývoja klimatickej situácie a rozvoja vodárenskej sústavy, resp. ako východiskovú štúdiu pre podrobnejšie simulačné experimenty a adaptačné opatrenia. Časť výsledkov prezentovaných v tejto časti vznikla v rámci štúdie pre MŽP SR, ktorej predmetom bolo zhodnotenie kapacít využívaných a nevyužívaných povrchových zdrojov vody (priame odbery z tokov a z vodárenských nádrží) vo východoslovenskom regióne pre Technicko - ekonomickú štúdiu zabezpečenia súčasných a výhľadových potrieb vody vo východoslovenskom regióne (Szolgay et al 1997b). Pri hodnotení boli zohľadnené možné dôsledky predpokladanej klimatickej zmeny s tromi časovými horizontmi 1996, 2005 a 2015.

Pri riešení sme sa sústredili na tieto samostatné dva okruhy problémov.

Prvý okruh sa zaoberal hodnotením kolísania teoretického potenciálu zdrojov vody na celom území východného Slovenska v tomto storočí a hodnotením vplyvu novej zmeny klímy na režim odtoku. Hodnotili sme časové a priestorové odchýlky zrážok (ako zdrojov odtoku), teploty vzduchu (ako faktora charakterizujúceho výpar) a prietoky tokov (ako veličinu popisujúcu teoretický potenciál povrchových zdrojov vody) od ich dlhodobého priemeru v roku a v letnej a zimnej sezóne s cieľom zhodnotiť zraniteľnosť povrchových vodných zdrojov z hľadiska časového a priestorového výskytu suchých období a vyjadriť sa k možnostiam spolupráce povrchových vodných zdrojov v týchto obdobiach pri kompenzácii regionálnych výpadkov v zásobovaní. Nasledovalo skúmanie zmien celkovej vodnosti územia v dôsledku možných zmien klímy ako ukazovateľ a budúceho teoretického potenciálu povrchových vodných zdrojov. Pomocou metodiky prezentovanej v kapitole 3 sme vypracovali hydrologické scenáre zmien dlhodobého priemerného ročného špecifickeho odtoku vo vybraných povodiach východného Slovenska, v ktorých sa využívajú a plánujú využívať povrchové vodné zdroje. Obsahom ďalšej časti bolo pomocou metodiky prezentovanej v kapitole 4 tejto štúdie detailnejšie skúmať možnosť zmeny rozdelenia odtoku vo vnútri roka v troch vybraných modelových povodiach, ktoré

boli zvolené tak, aby charakterizovali hydrologické pomery severnej časti a južnej časti územia východného Slovenska.

V druhom okruhu sme interpretovali kolísanie odtoku v čase a priestore na území východného Slovenska v tomto storočí a hydrologické scenáre možných zmien odtoku vo vzťahu k zraniteľnosti povrchových vodných zdrojov. Navrhli sme rámcové adaptačné opatrenia na úrovni strategických koncepčných dokumentov pre rozvoj zásobovania obyvateľstva pitnou vodou v blízkej budúcnosti.

Pre hodnotenie možných zmien teoretického potenciálu režimu a kapacít povrchových vodných zdrojov sme si vytvorili porovnávaciu základňu. Pre hodnotenie hydrologického režimu to boli údaje z reprezentatívneho obdobia 1931 až 1960, resp. 1931 až 1980, pre mapovanie prvkov hydrologickej bilancie sme používali aj obdobie 1951 až 1980 (ktoré bolo odporúčané pre štúdie NKP), pre hospodárenie s vodou to boli existujúce dokumenty dlhodobého plánovania vo vodnom hospodárstve (ktoré neuvažovali explicitne s možnými zmenami klímy a ich vplyvmi na vodné hospodárstvo).

Ďalej podrobnejšie popíšeme metodiku hodnotenia časového a priestorového kolísania prvkov hydrologickej bilancie, stručne zhrnieme východiská pre tvorbu hydrologických scenárov. Následne sa budeme podrobnejšie venovať interpretácii výsledkov vo vzťahu k povrchovým vodným zdrojom a návrhu adaptačných opatrení.

5.3.1 Kolísanie prvkov teoretického potenciálu povrchových vodných zdrojov na území východného Slovenska a hydrologické scenáre zmeny odtoku v dôsledku klimateckej zmeny

5.3.1.1 Kolísanie prvkov teoretického potenciálu povrchových vodných zdrojov na území východného Slovenska

Vzhľadom na očakávané možné zmeny klímy v budúcnosti vzniká potreba neustáleho bilancovania a prehodnocovania potenciálu vodných zdrojov a potreby vody v jednotlivých regiónoch Slovenska pre rôzne budúce časové horizonty. Pri takomto posudzovaní je zároveň nevyhnutná aj analýza predošlého vývoja vodných zdrojov a prvkov hydrologickej bilancie v minulosti. V uvedenej prípadovej štúdii, nadväzujúc na práce Szolgay et al. (1994), Szolgay, Szolgay et al. (1995), Szolgay, Hlavčová, Mosný (1995), Szolgay, Hlavčová, Mosný, Parajka (1997), Szolgay, Hlavčová, Parajka, Čunderlík (1997) prezentujeme netradičný spôsob posúdenia premenlivosti základných prvkov hydrologickej bilancie - odtoku, zrážok a výparu (reprezentovaného teplotou vzduchu) v tomto storočí, pričom sme sa zamerali na územie východoslovenského regiónu. Cieľom uvedenej analýzy bolo posúdiť, či na skúmanom území dochádzalo v minulosti ku kritickým (suchým) obdobiam trvajúcim viac rokov, v ktorých sa odtok alebo zrážky nachádzali pod svojím dlhodobým priemerom. Zároveň sme skúmali výskyt období so zvýšenou alebo zníženou teplotou vzduchu oproti dlhodobému normálu, takéto obdobia nazývame ďalej obdobiami oteplenia alebo ochladenia. Okrem časového výskytu uvedených období sme posudzovali ich plošné rozloženie na území východoslovenského regiónu, extrémnosť a riziká súčasného výskytu zníženia zrážok a zvýšenia teploty vzduchu oproti dlhodobému priemeru.

Metodika

Pri zisťovaní výskytu suchých a vodných období (resp. období oteplenia a ochladenia) v minulosti sme vychádzali z odchýlok priemerných hodnôt (priemerného prietoku, priemerného mesačného zrážkového úhrnu alebo priemernej teploty vzduchu) v danom roku od dlhodobého priemeru. Vzhľadom na variabilitu uvedených charakteristík vnútri roka sme analýzy spracovali zvlášť pre celý kalendárny rok, zvlášť pre zimný polrok reprezentovaný mesiacmi október až marec a zvlášť pre letný polrok reprezentovaný mesiacmi apríl až september. Odchýlky sme určili pre každú pozorovaciu stanicu a každý analyzovaný rok pozorovania. Sieť pozorovacích staníc sme zoradili postupne v smere ich plošného rozloženia od západu na východ. Takto zoradené stanice vynesene na os x reprezentovali priestor, jednotlivé roky pozorovania vynesene na os y reprezentovali čas vo fiktívnej časopriestorovej rovine xy. Odchýlky od dlhodobého priemeru v každom roku pozorovania a v každej stanici predstavovali z súradnic systému xyz. Priebeh odchýlok nad časopriestorovou rovinou xy sme vyjadrili izočiarami odchýlok. Plochy uzavreté izočiarami vyjadrujú rozloženie a extrémnosť suchých alebo vodných období a období oteplenia a ochladenia v čase a priestore.

Použité údaje

Pri analýzach sme vychádzali z priemerných mesačných prietokov, mesačných zrážkových úhrnov a priemernej mesačnej teploty vzduchu vo vybraných vodomerných, zrážkomerných a klimatických staniciach. Vodomerné, zrážkomerné a klimatické, a stanice sme vybrali tak, aby dostatočne reprezentovali územie východného Slovenska. Názvy pozorovacích staníc a analyzované roky pozorovania uvádzame v tab. 5.1 a 5.2. Pozorovacie stanice sú uvádzané v takom poradí, v akom boli použité v analýzach. Rozmiestnenie staníc a povodí k profilom existujúcich alebo uvažovaných vodohospodárskych nádrží na území východoslovenského regiónu je znázornené na obr. 5.1.

Tab. 5.1 Pozorovacie stanice teploty vzduchu a zrážok a analyzované roky pozorovania
Table 5.1 Gage stations of air temperature and precipitation and years of measurement

Por. Číslo	Stanica (teplota vzduchu)	Obdobie	Por. Číslo	Stanica (zrážky)	Obdobie
1.	Moldava	1932 - 1996	1.	Jasov	1902 - 1996
2.	Spišská Nová Ves	1932 - 1996	2.	Spišská Nová Ves	1902 - 1996
3.	Poprad	1932 - 1996	3.	Kežmarok	1902 - 1996
4.	Plaveč	1951 - 1996	4.	Torysky	1902 - 1996
5.	Sabinov	1932 - 1996	5.	Sabinov	1902 - 1996
6.	Prešov	1932 - 1996	6.	Prešov	1902 - 1996
7.	Bardejov	1932 - 1996	7.	Bardejov	1902 - 1996
8.	Medzilaborce	1932 - 1996	8.	Medzilaborce	1902 - 1996
9.	Čaklov	1952 - 1996	9.	Čaklov	1954 - 1996
10.	Kamenica nad Cirochou	1932 - 1996	10.	Kamenica nad Cirochou	1954 - 1996
11.	Michalovce	1952 - 1996	11.	Michalovce	1902 - 1996
12.	Somator	1952 - 1996	12.	Somator	1902 - 1996

Tab. 5.2 Vodomerne profily a analyzované roky pozorovania
Table 5.2 Gage stations of discharges and years of measurement

Por. Číslo	Profil	Tok	Obdobie
1.	Matejovce	Poprad	1932 - 1996
2.	Chmeľnica	Poprad	1932 - 1996
3.	Nižný Medzev	Bodva	1942 - 1996
4.	Obišovce	Svinka	1932 - 1996
5.	Košické Olšany	Torysa	1932 - 1996
6.	Hanušovce	Topľa	1932 - 1996
7.	Krásny Brod	Laborec	1954 - 1965, 1979 - 1996
8.	Snina	Cirocha	1958 - 1996
9.	Remetské Hámre	Okna	1956 - 1996
10.	Lekárovce	Uh	1932 - 40, 1952 - 1996

Premenlivosť teploty vzduchu

Pri analýze období oteplení a ochladení sme pozorovacie stanice zoradili podľa poradia v tab. 5.1 v oblúku od západu (Moldava, Spišská Nová Ves, Poprad, Plaveč) smerom na severovýchod (Bardejov, Medzilaborce) a odtiaľ na juhovýchod regiónu (Somator). Umiestnenie jednotlivých staníc je znázornené na obr. 5.1. Obdobiami oteplenia budeme v ďalej nazývať časové úseky s kladnými odchýlkami od dlhodobého priemeru a obdobiami ochladenia časové úseky so zápornými odchýlkami oproti dlhodobému priemeru.

Odchýlky priemernej teploty v jednotlivých polrokoch alebo v celom roku od dlhodobého priemeru boli pre uvedené pozorovacie stanice určené podľa vzťahu :

$$\Delta T = T_{pr} - T_{pd} \quad , \quad (5.1)$$

kde :

T_{pr} - priemerná teplota vzduchu za zimný alebo letný polrok alebo za celý rok [°C],

T_{pd} - dlhodobá priemerná teplota vzduchu za zimný alebo letný polrok alebo za celý rok [°C],

ΔT - odchýlka od dlhodobého priemeru [°C].

V letnom polroku hodnoty odchýlok od dlhodobého priemeru kolísali od -2,3 °C do +2,53 °C, v zimnom polroku od -3,36 °C do +3,3 °C. Výrazná regionalizácia období oteplenia a ochladenia sa prejavila najmä v zimnom polroku, v ktorom sa uvedené obdobia takmer pravidelne striedali v niekoľkoročných intervaloch (najčastejšie 4 až 5 rokov) a postihovali vo väčšine prípadov celé územie skúmaného regiónu. Extrémne oteplenia (do 2 až 3 °C) na celom území sa v zimnom polroku vyskytli v rokoch 1934 až 1937, 1950 až 1952, 1960 až 1962, 1976 až 1978, 1984 až 1984 1987 až 1992 a 1993 až 1995. Maximálne odchýlky v kladnom aj zápornom smere sa vyskytovali najmä v oblasti Popradu a Sabinova.

V letnom polroku bola tendencia striedania sa období podobná, aj keď rozloženie období v regióne malo lokálnejší charakter a odchýlky v kladnom aj zápornom smere boli miernejšie (od + 2,35 do -2,3 °C). Od roku 1932 približne do roku 1955 prevládali obdobia oteplenia oproti dlhodobému priemeru s najvýraznejšími extrémami v oblasti Prešova v rokoch 1945 až 1947 (nad +2 °C). Od roku 1955 do roku 1981 prevládali obdobia ochladenia, s výnimkou miernych lokálnych oteplení v rokoch 1963 až 1964 a v rokoch 1966 až 1968 (do +1 °C). Od roku 1982 prevláda nevýrazné oteplenie v celom regióne s výraznejším oteplením v rokoch 1993 až 1995, pričom najväčšie odchýlky sa v tomto období prejavili znova v oblasti stanice Sabinov (nad +2°C).

Výsledky analýzy v celom roku korešpondujú s výsledkami v jednotlivých polrokoch a predstavujú zhruba ich spriemerovanie.

Priebehy izočiari odchýlok priemernej teploty vzduchu od dlhodobého priemeru pre kalendárny rok a letný polrok sú znázornené na obr. 5.2 a 5.3.

Analýza premenlivosti zrážok

Zrážkomerné stanice boli zoradené podľa poradia uvedeného v tab. 5.1 v oblúku od západu (Jasov, Kežmarok, Torysky) smerom na severovýchod (Bardejov, Medzilaborce) a odtiaľ na juhovýchod regiónu (Somotor). Ich rozmiestnenie je znázornené na obr. 5.1. Pojmom málovodné (suché) obdobie budeme ďalej nazývať obdobie s nižšími priemernými mesačnými úhrnmi zrážok ako dlhodobý priemer v danom polroku alebo roku, pojmom vodné obdobie budeme nazývať obdobie s vyššími priemernými mesačnými úhrnmi zrážok, ako je dlhodobý priemer v danom polroku alebo roku.

Analýza bola urobená z priemerných mesačných zrážkových úhrnov v uvedených staniaciach samostatne pre zimný a letný polrok (definovaný rovnako ako pri analýze teplotných pomerov) a pre celý rok. Odchýlky priemerných mesačných zrážkových úhrnov od dlhodobého priemeru [%] za zimný a letný polrok a celý rok boli pre jednotlivé zrážkomerné stanice určené podľa vzťahu :

$$\Delta Z = \frac{Z_{pr} - Z_{pd}}{Z_{pd}} \times 100, \quad (5.2)$$

kde

Z_{pr} - priemerný mesačný úhrn zrážok za zimný alebo letný polrok v danom roku alebo za celý rok [mm],

Z_{pd} - dlhodobý priemerný mesačný úhrn zrážok za zimný alebo letný polrok alebo za celý rok [mm],

ΔZ - odchýlka od dlhodobého priemeru v [%] dlhodobého priemeru.

Zrážkové odchýlky v letnom a zimnom polroku od dlhodobého priemeru sa pohybovali v rozmedzí od -67 do +110 % pre letný a od -67 do +136 % pre zimný polrok. Izočiary odchýlok zrážok od dlhodobého priemeru pre kalendárny rok a letný polrok sú znázornené na obr. 2.4 a 2.5.

Z priebehu izočiari vidieť zoskupovanie suchých a vodných období v čase do viacerých za sebou idúcich rokov a plošne do viac alebo menej súvislých oblastí. Zároveň je zrejma rozdielnosť medzi správaním zrážkových zmien v letnom a zimnom polroku. V prípade letného polroka sa prejavilo prevládanie suchých období v rokoch 1902 až 1912 najmä v západnej časti regiónu (od Jasova po Prešov) s extrémnymi hodnotami -60 % a v rokoch 1915 až 1924 (s lokálnou výnimkou v rokoch 1919 až 1922 na východe regiónu oblasti Kamenica n. Cirochou, Michalovce, Somotor). V rokoch 1928 až 1965 prevládali suché obdobia najmä vo východnej časti (od Medzilaboriec po Somotor). Od roku 1970 do roku 1975 sa v letnom polroku prejavilo zvýšenie zrážkovej činnosti najmä na západe regiónu (Sabinov, Prešov). V rokoch 1990 - 1994 nastal pokles zrážok do -60 % súvisle na celom území východného Slovenska, v posledných rokoch sa v letnom období prejavilo mierne zvýšenie zrážok v celom regióne.

Z posúdenia zimného polroka vidieť v priebehu analyzovaných rokov výskyt niekoľkých dlhších suchých období. Prvé suché obdobie sa vyskytlo medzi rokmi 1902 až 1915 v západnej časti regiónu (stanice Jasov, Spišská Nová Ves, Kežmarok, Torysky, Sabinov) s extrémnymi hodnotami do -60 %. Ďalšie suché obdobie nastalo vo východnej časti medzi rokmi 1935 až 1944 (Bardejov, Medzilaborce, Čaklov, Kamenica, Michalovce, Somotor) s extrémnymi hodnotami -60 %, pričom v rokoch 1942 až 1944 bolo postihnuté celé územie východného Slovenska. Suché obdobie, ktoré sa vyskytlo približne medzi rokmi 1955 a 1974 postihlo takmer kontinuálne celý východoslovenský región (s výnimkou lokálnych zrážkovo výdatnejších období v rokoch 1962 až 1965), pričom v rokoch 1971 až 1974 bol na celom území kontinuálny pokles zrážok do -60 %. Od roku 1984 do roku 1996 sa s určitými výnimkami prejavilo sucho na celom regióne, s extrémnymi hodnotami v rokoch 1989 až 1991.

Posúdenie vodných a suchých období v celom kalendárnom roku je v súlade s obidvomi polrokmi a zhruba predstavuje ich spriemerovanie.

Analýza premenlivosti prietokov

Vodomerné stanice reprezentujúce východoslovenský región sme zoradili podľa tab. 5.2 postupne smerom zo západu na východ (povodie Popradu, Bodvy, Torysy, Tople, Laborca a Uhu). Rozmiestnenie staníc je znázornené na obr. 5.1. Podobne ako pri zrážkach považujeme v tejto analýze za suché alebo málovodné obdobie časový úsek s nižšími priemernými prietokmi v danom polroku, resp. roku ako dlhodobý priemer, za vodné obdobie časový úsek s vyššími priemernými prietokmi v danom polroku alebo roku ako dlhodobý priemer.

Odchýlky priemerných prietokov od dlhodobého priemeru [%] za letný a zimný polrok a rok sme v jednotlivých rokoch a uvedených profiloch vyjadrili podľa vzťahu :

$$\Delta Q = \frac{Q_{pr} - Q_{pd}}{Q_{pd}} \times 100 \quad , \quad (5.3)$$

kde

Q_{pr} - priemerný prietok za zimný alebo letný polrok v danom roku alebo za celý rok [$m^3 s^{-1}$],

Q_{pd} - priemerný dlhodobý prietok za zimný alebo letný polrok alebo za celý rok [$m^3 s^{-1}$],

ΔQ - odchýlka od dlhodobého priemeru v [%] dlhodobého priemeru.

Izočiary odchýlok priemerných prietokov od dlhodobého priemeru pre kalendárny rok a letný polrok 5.6 a 5.7.

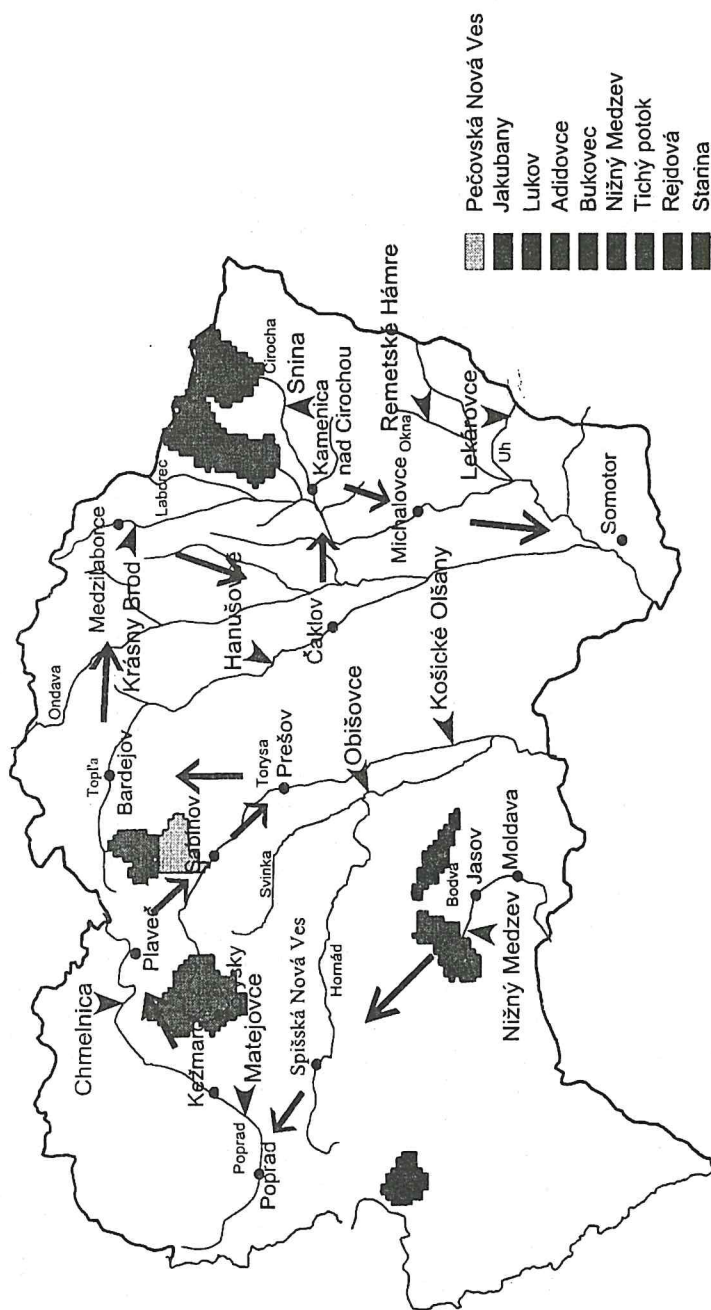
Z priebehu izočiary na uvedených obrázkoch je opäť vidieť zoskupovanie vodných aj málovodných období do rokov a zároveň súvislých oblastí, rozpätie odchýlok od dlhodobého priemeru kolísalo od +258 % do -82 % v zimnom a od +176 do -79 % v letnom polroku.

V zimnom polroku vidieť dve výrazné suché obdobia - približne od roku 1955 do roku 1965 a od roku 1986 doteraz, pričom rozloženie málovodných období bolo súvislé v celej analyzovanej oblasti (v prvom málovodnom období sa čiastočne odlišuje profil Bodva - Nižný Medzev a v druhom územie severovýchodnej a juhovýchodnej časti východoslovenskej vodárenskej sústavy po Uh - Lekárovce. Najvýraznejšie sucho (odchýlka pod -80 %) nastalo v oblasti Bodva - Nižný Medzev v rokoch 1988 až 1994. V letnom polroku bol výskyt suchých a vodných období zhruba v súlade so zimným polrokom, aj keď ich rozloženie v priestore malo lokálnejší charakter. Celoplošný pokles prietokov sa prejavil v rokoch 1933 až 1937 a veľmi výrazný celoplošný pokles v rokoch 1945 až 1947. V poslednom desaťročí (od roku 1987 doteraz) vidieť dlhotrvajúci pokles na celom území, s extrémnymi hodnotami do -80 % v stanici Bodva - Nižný Medzev. Rozloženie suchých a vodných období korešponduje pritom s výsledkami analýzy zrážok.

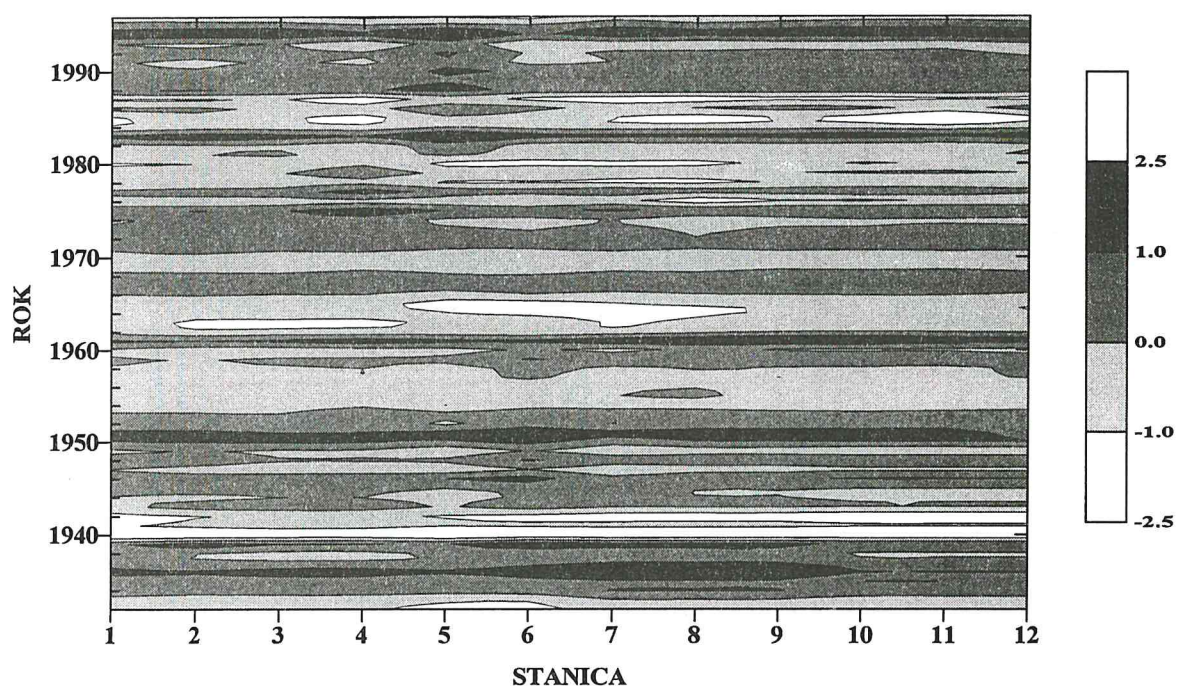
Z hľadiska hodnotenia teoretického potenciálu povrchových vodných zdrojov vo východoslovenskom regióne je dôležitá analýza roka ako celku. Z porovnania odchýlok priemerných ročných prietokov od dlhodobého priemeru (celý kalendárny rok) vidieť striedanie sa suchých a vodných období s priemerným trvaním 4 až 5 rokov, pričom za sledované roky sa vystriedalo 8 období znížených a 6 období zvýšených prietokov. Najdlhšie vodné obdobie trvalo asi 8 rokov od roku 1974 do roku 1982, najdlhšie suché obdobia (9 až 10-ročné) sa vyskytli v rokoch 1955 až 1965 a od roku 1986 doteraz. Z hľadiska plošného rozloženia uvedených období vidieť veľmi podobné správanie prietokov v 3 oblastiach - oblasť Spišsko - popradskej vodárenskej sústavy reprezentovanej stanicami 1, 2 (Poprad - Matejovce, Poprad - Chmeľnica), západná časť VVS reprezentovaná stanicami 4, 5, 6 (Svinka - Obišovce, Torysa - Košické Olšany, Topľa - Hanušovce a čiastočne stanicou 3 (Bodva - Nižný Medzev) a východná časť VVS reprezentovaná stanicami 7, 8, 9, 10 (Laborec - Krásny Brod, Cirocha - Snina, Okna - Remetské Hámre a Uh - Lekárovce.

Vzhľadom na to, že sa v budúcnosti neuvažuje s prepojením Spišsko-popradskej a východoslovenskej vodárenskej sústavy, pre posúdenie vzájomnej kompenzácie vodných zdrojov je zaujímavé porovnanie výskytu suchých a vodných období v západnej a vo východnej časti VVS. V priebehu jednotlivých období vidieť určitý, aj keď nie výrazný rozdiel medzi týmito oblasťami, napr. kým prvé suché obdobie (1955 - 1965) postihlo súvisle celú západnú časť východoslovenskej vodárenskej sústavy (VVS), vo východnej časti sa prejavilo až asi od roku 1960. Väčšina suchých a vodných období však pokrýva viac-menej kontinuálne celý región VVS, pričom druhé dlhé suché obdobie od roku 1986 sa prejavilo súvisle v celej oblasti VVS.

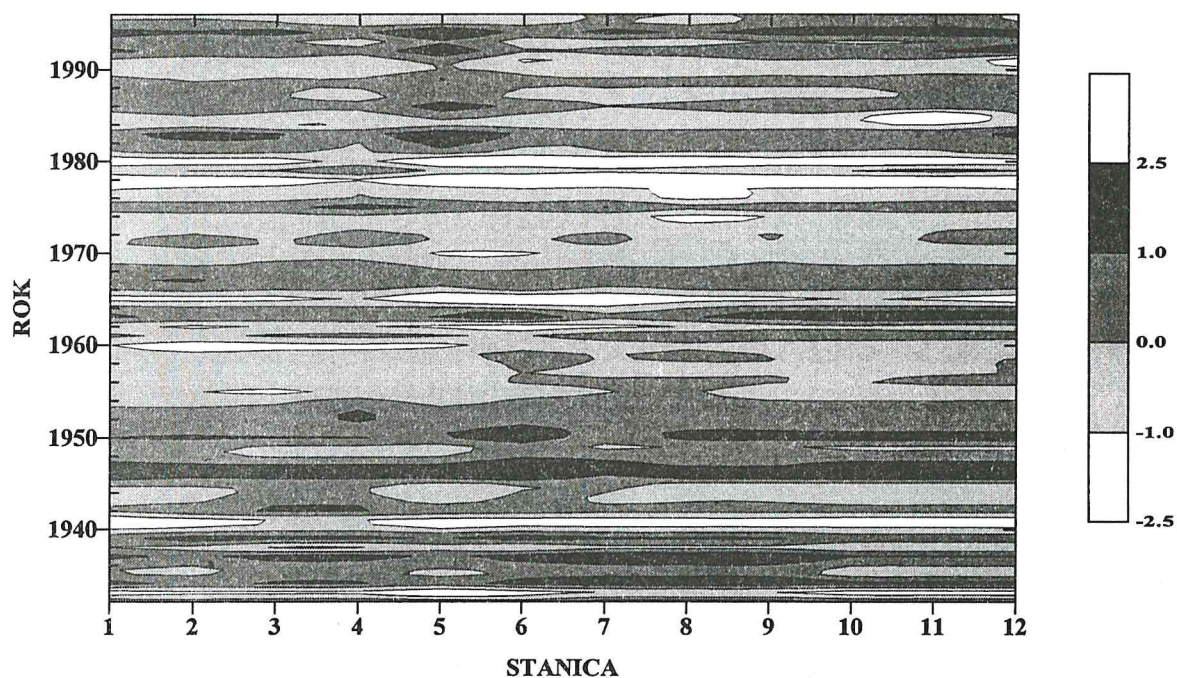
Všeobecne možno konštatovať, že podobne ako pri zrážkach striedanie vodných a málovodných období malo približne do roku 1965 lokálnejší charakter, od roku 1965 sa jednotlivé obdobia vyskytovali súvisle na celom alebo skoro na celom regióne a ich trvanie sa smerom k súčasnosti predlžovalo. Od roku 1987 do roku 1996 sa súvisle na celom regióne prejavovalo málovodné obdobie v zimnom aj letnom polroku.



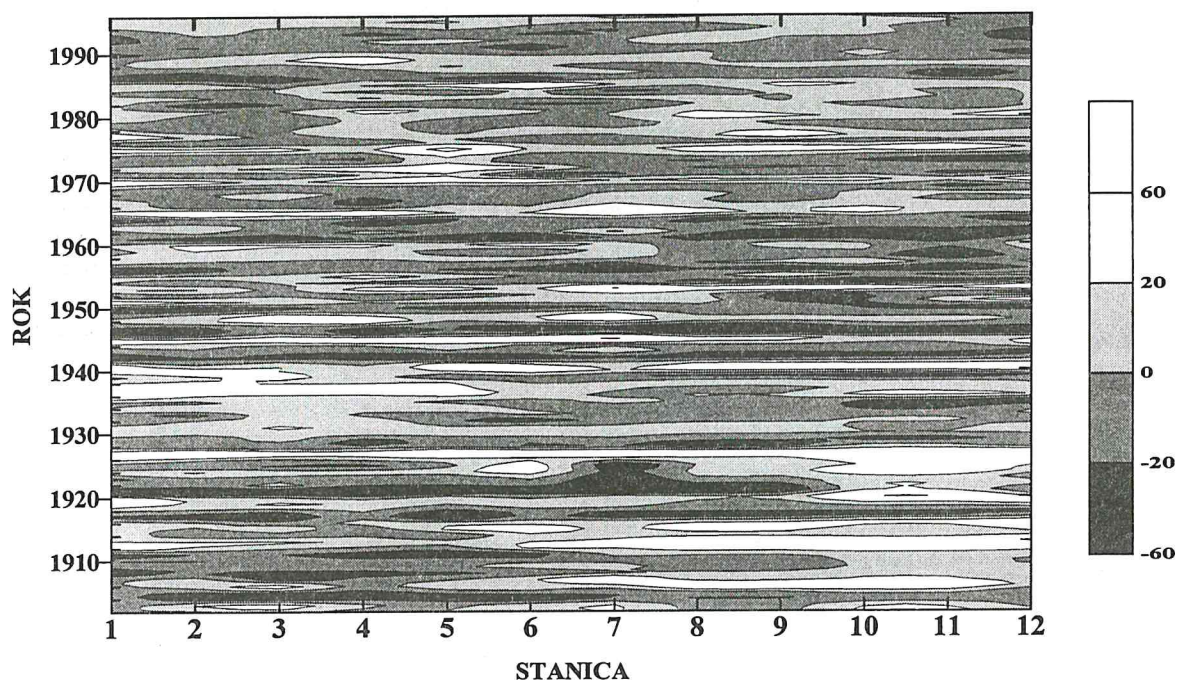
Obr. 5.1 Rozloženie klimatických a vodomerných staníc a plánovaných vodárenských nádrží na území východného Slovenska
 Fig. 5.1 Gage stations and water reservoirs in East Slovakia



Obr. 5.2 Odchýlky priemernej ročnej teploty vzduchu oproti dlhodobému priemeru [°C]
Fig. 5.2 Deviations of mean annual air temperature from the long-term mean [°C]

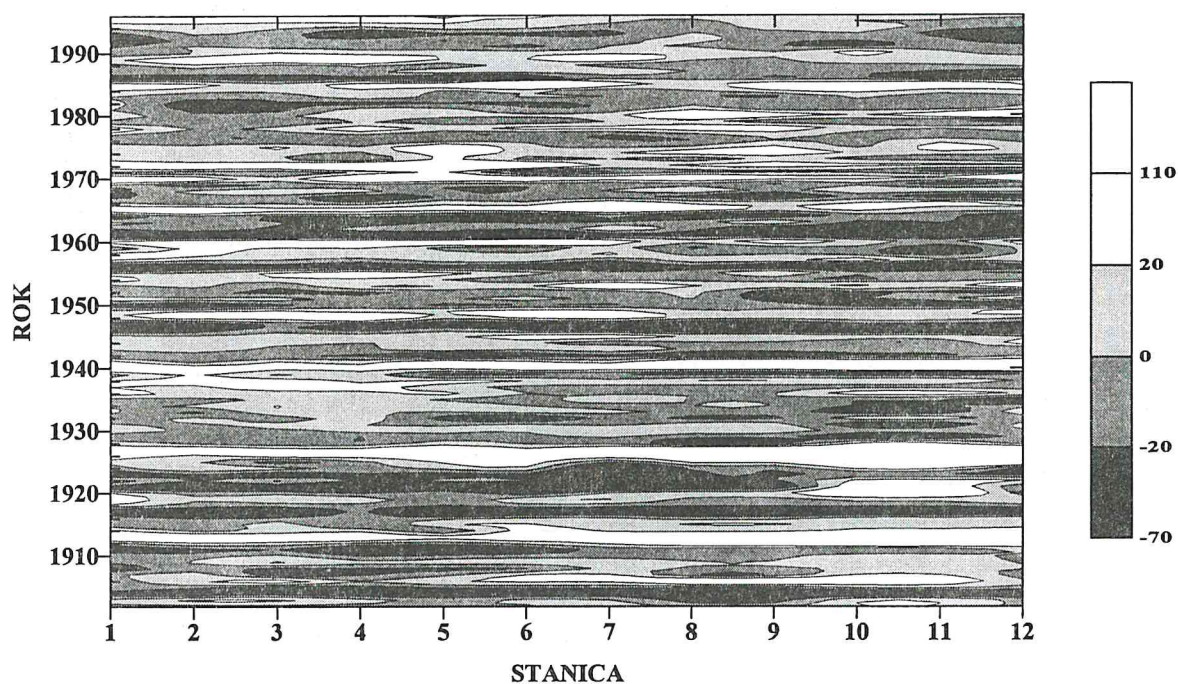


Obr. 5.3 Odchýlky priemernej teploty vzduchu v letnom polroku oproti dlhodobému priemeru [°C]
Fig. 5.3 Deviations of mean air temperature in the summer season from the long-term mean [°C]



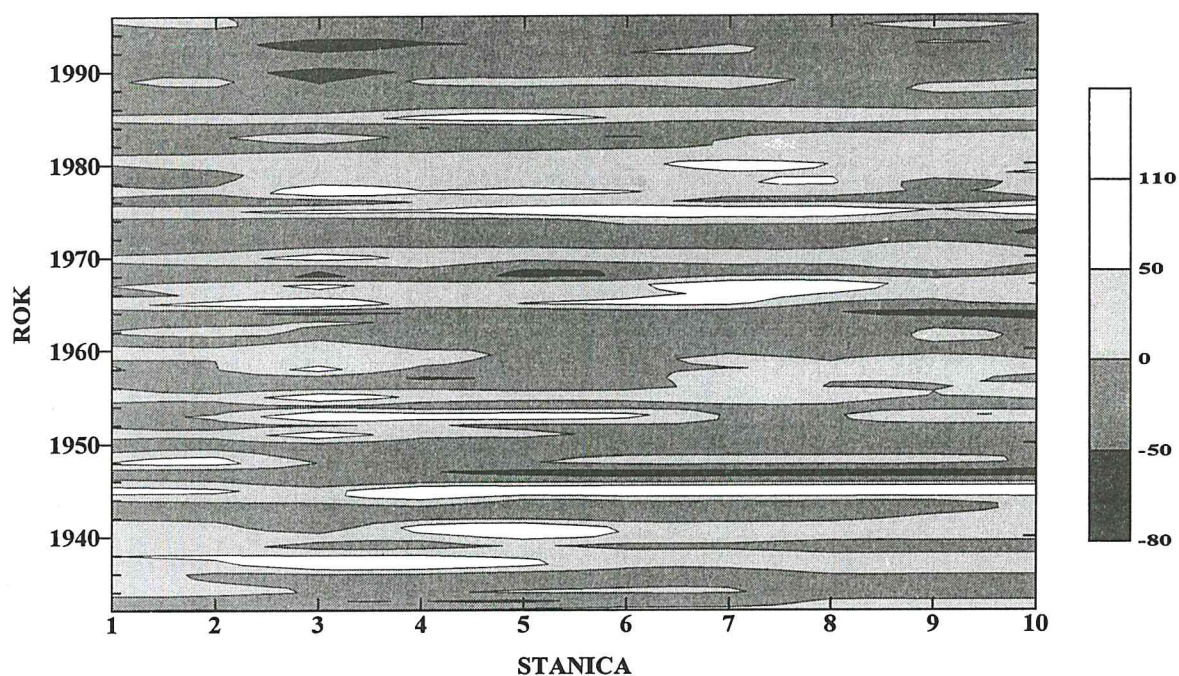
Obr. 5.4 Odchýlky priemerného mesačného zrážkového úhrnu v roku od dlhodobého priemeru [%]

Fig. 5.4 Deviations of mean monthly precipitation in the year from the long-term mean [%]



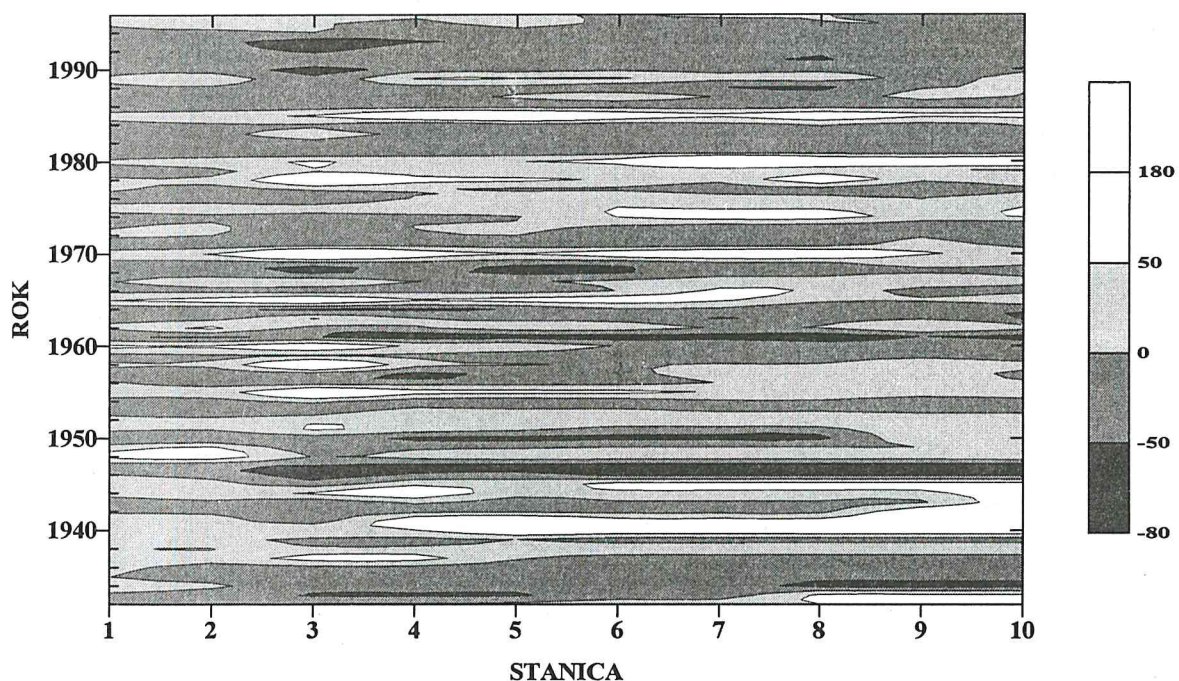
Obr. 5.5 Odchýlky priemerného mesačného zrážkového úhrnu v letnom polroku od dlhodobého priemeru [%]

Fig. 5.5 Deviations of mean monthly precipitation in the summer season from the long-term mean [%]



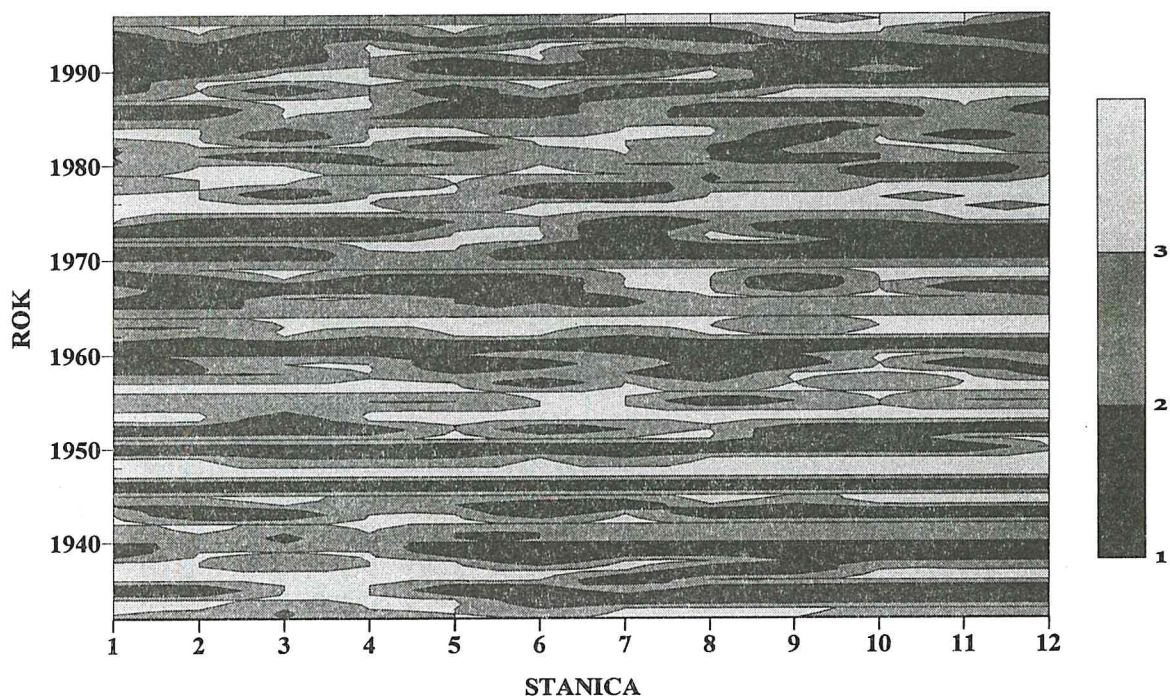
Obr. 5.6 Odchýlky priemerného ročného prietoku od dlhodobého priemeru [%]

Fig. 5.6 Deviations of mean annual discharge from the long-term mean [%]



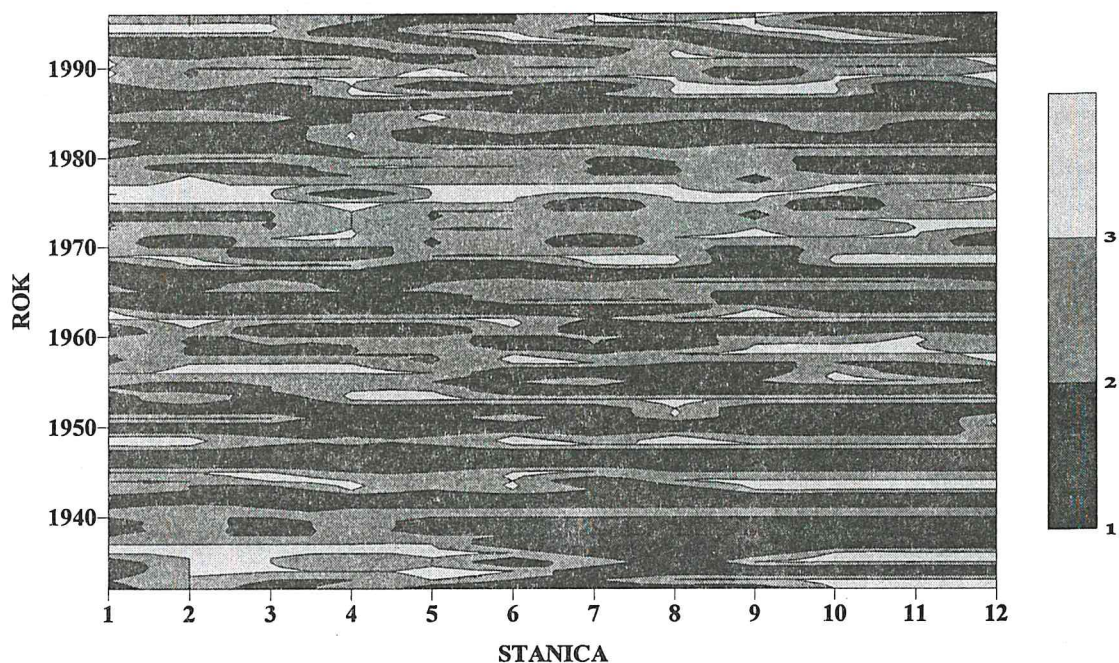
Obr. 5.7 Odchýlky priemerného prietoku v letnom polroku od dlhodobého priemeru [%]

Fig. 5.7 Deviations of mean discharge in the summer season from the long-term mean [%]



Obr. 5.8 Súčasný výskyt zvýšenia teploty vzduchu a zníženia zrážok pod dlhodobý priemer v roku , 1 - zvýšenie teploty vzduchu a zníženie zrážok, 2 - zníženie teploty vzduchu a zvýšenie zrážok, 3 - ostatné

Fig. 5.8 Increase of air temperature and decrease of precipitation in the year, 1 - air temperature increase and precipitation decrease, 2 - air temperature decrease and precipitation increase, 3 - others



Obr. 5.9 Súčasný výskyt zvýšenia teploty vzduchu a zníženia zrážok pod dlhodobý priemer v letnom polroku, 1 - zvýšenie teploty vzduchu a zníženie zrážok, 2 - zníženie teploty vzduchu a zvýšenie zrážok, 3 - ostatné

Fig. 5.9 Increase of air temperature and decrease of precipitation in the summer season, 1 - air temperature increase and precipitation decrease, 2 - air temperature decrease and precipitation increase, 3 - others

Posúdenie ohrozenosti územia vzhľadom na súčasný výskyt zníženia zrážok a zvýšenia teploty vzduchu

Časovo - priestorovou analýzou sme skúmali aj ohrozenosť územia vzhľadom na výskyt období oteplenia a súčasného zníženia zrážok. Klimatické stanice sme zoradili v súlade s predchádzajúcimi analýzami od západu na východ podľa tab. 5.1. Hodnoty odchýlok teploty vzduchu od dlhodobého priemeru pre letný, zimný polrok a rok sme preklasifikovali na 2 kategórie - odchýlkam väčším ako dlhodobý priemer sme prisúdili hodnotu 1, odchýlkam menším ako dlhodobý priemer hodnotu 0. Obdobný postup sme použili pri zrážkach - odchýlkam menším ako dlhodobý priemer sme prisúdili hodnotu 1, odchýlkam väčším ako dlhodobý priemer hodnotu 0. Logickým súčinom takto preklasifikovaných odchýlok teploty vzduchu a zrážok pre letný, zimný polrok a rok sme dostali výskyt tzv. kritických období, v ktorých nastalo súčasné zvýšenie teploty vzduchu a zníženie zrážok a období so súčasným znížením teploty a zvýšením zrážok oproti dlhodobému priemeru. Výsledky analýzy pre kalendárny rok a letný polrok sú znázornené na obr. 5.8 a 5.9. Z uvedených výsledkov taktiež vidieť zhľukovanie sa kritických období do navzájom za sebou idúcich rokov a regionálny výskyt období viac - menej na celom území východného Slovenska. Výrazná regionalizácia je zrejma v letnom polroku, v ktorom sa vystriedalo niekoľko dlhotrvajúcich kritických období, ktoré postihli súčasne celý región - roky 1958 až 1963, 1971 až 1974 a 1988 až 1994. V zimnom polroku bolo do roku 1968 vystriedaných približne 7 kritických období (trvania cca 3 roky), z ktorých 5 postihlo súvisle celý región. Približne od roku 1968 do roku 1980 prevládali obdobia zníženej teploty vzduchu a zvýšených zrážok, po roku 1980 sa prejavuje prevládanie kritických období.

5.3.1.2 Hydrologické scenáre zmien dlhodobého priemerného ročného špecifického odtoku

Skúmali sme nasledujúce povodia využívaných a plánovaných vodných nádrží k profilom: Ľutinka - Pečovská Nová Ves, Jakubianka - Jakubany, Topľa - Lukov, Udava - Adidovce, Torysa - Tichý Potok, Ida - Bukovec, Bodva - Medzev a Slaná - Rejdová. Ich priestorová lokalizácia je znázornená na obr. 5.1. Pre uvedené povodia sme podľa postupu, ktorý bol popísaný v kapitole 3 tejto správy pre jednotlivé výškové pásma Slovenska vypočítali percentuálnu zmenu dlhodobého priemerného ročného špecifického odtoku pre klimatické podmienky udávané scenármi zmeny klímy GCM (scenáre CCCM, GISS, GFD3) a NKP (scenáre WPA, WPB, SDA, SDB). Táto zmena nám potom poskytovala obraz o variete možností budúcej kapacity povrchových vodných zdrojov.

Použité scenáre udávajú očakávané zmeny klimatických prvkov k časovým horizontom 2010, 2030 a 2075. Pre potreby riešenia sme vzhľadom na prakticky lineárny priebeh zmien klimatických prvkov v uvedených scenároch odvodili pomocou lineárnej interpolácie vlastné scenáre k časovým horizontom 1996, 2005 a 2015. Pre zvýšenie priestorovej reprezentatívnosti Turcovho vzťahu sme uvedený model modifikovali pre územie Slovenska na základe údajov o priemernej dlhodobej teplote vzduchu a odvodených hydrologických údajov o potenciálnej evapotranspirácii podľa Tomlaina (1991) z obdobia 1951 až 1980 v 54 staniaciach.

5.3.1.3 Hydrologické scenáre zmien rozdelenia odtoku vnútri roka

Pre tvorbu scenárov zmien vnútroročného rozdelenia odtoku sme použili dva scenáre zmien klímy: výstupy z GCM CCCM a scenár NKP s označením WP B. Hodnoty predpokladaných zmien zrážok a teplôt v použitých scenároch pre časové horizonty 2005 a 2015 sme získali interpoláciou zo štandardne uvádzaných horizontov 2010, 2030 a 2075. Pre modelovanie zmien vnútroročného rozdelenia odtoku sme vybrali nasledovné povodia: Okna po Remetské Hámre, Topľa po Hanušovce a Laborec po Krásny Brod. Povodia Tople a Laborca sa nachádzajú vo flyšovej oblasti východných Karpát a zapadajú do severnej oblasti režimu zrážok. Plošne malé povodie Okny je lokalizované na južných svahoch vulkanického Vihorlatu a patrí do južnej oblasti zrážkového režimu. Takýmto výberom povodí sme pokryli jednak existujúce rozdiely v režime zrážok a jednak rozdiely v plochách povodí. Pre kalibráciu odtokového modelu a vytvorenie etalónového súboru údajov sme použili na toku Topľa hydrologické údaje z obdobia 1951 až 1980. Na toku Okna v profile Remetské Hámre boli k dispozícii údaje od roku 1955. Pri profile Laborec Krásny Brod vzhľadom na diskontinuitu v hydrologickom pozorovaní sme mohli použiť len dáta z obdobia 1953 až 1965.

5.3.2 Posúdenie zraniteľnosti a hodnotenie kapacity využívaných a nevyužívaných povrchových zdrojov vody a návrh adaptačných opatrení na zmiernenie nepriaznivých dôsledkov klimatickej zmeny

V tejto časti sme zovšeobecnilí výsledky štúdia impaktov a generalizovali sme ich na hodnotenie dôsledkov možných zmien hydrologického režimu na kapacitu vodných zdrojov vo vodohospodársky výz-

namných oblastiach pre zvolené časové horizonty a navrhli sme rámcový návrh adaptačných opatrení na zmiernenie negatívnych dôsledkov zmeny klímy v predmetnej oblasti.

Metodicky nadväzujeme na správy Szolgay et al. (1994, 1996, 1997a,b) a Dzubák, Hambek, Szolgay (1996) a využívali sme výsledky prác, riešiacich odhad zmien hydrologických pomerov na Slovensku, najmä prác Majerčáková, Minárik, Šedík (1996), Petrovič (1996), Kullman et al. (1996), Novák (1992), Fendeková (1996).

Pri odhade možných dôsledkov klimatickej zmeny na vodohospodársku situáciu sme v Dzubák, Hambek a Szolgay (1996) vychádzali z najvšeobecnejšej rovnice vodohospodárskej bilancie, ktorú možno napísať v tvare

$$Z > = < P,$$

kde P označuje súčet všetkých požiadaviek spoločnosti na vodu a Z je celkový potenciál prirodzených povrchových i podzemných zdrojov vody v uvažovanej oblasti. Tento vzťah treba pritom posudzovať v rovinách kvantitatívnej a kvalitatívnej. Tu sa orientujeme na kvantitatívnu stránku vzťahu potreba - vodný zdroj.

Hodnota člena P je funkciou počtu obyvateľov, ich životnej úrovne, ekonomických aktivít spoločnosti, ale aj stupňa environmentálneho povedomia, hodnotiaceho funkciu vody v krajine a určujúceho ekologicky prípustný stupeň využívania vôd a pod. Pre potreby zostavovania vodohospodárskych bilancií sa zvyknú požiadavky na vodu rozlišovať na požiadavky na pitnú vodu pre obyvateľstvo, vodu pre poľnohospodárstvo (najmä na závlahy), vodu pre priemysel (vrátane energetiky) a na ekologický limit zaručujúci zachovanie dohodnutých parametrov vodného zdroja (dnes označovaný ako minimálny bilančný prietok). Väčšina argumentov, ktoré takto vstupujú do vodohospodárskych bilancií, sa dá prognózovať k vzdialenejším časovým horizontom s istými neistotami, preto treba považovať nami uvažovaný vývoj vodného hospodárstva k časovým horizontom do roku 2015 ako kvalifikované odhady s patričnou mierou neistoty. Napriek tomu však predstavujú výsledky možné stavy, s ktorými treba počítať (s istými časovými korekciami) ako s varovnou prognózou, signalizujúcou potrebu včasnej prípravy adaptačných opatrení.

5.3.2.1 Hodnotenie vplyvu časovo-priestorových zmien prvkov hydrologickej bilancie na kapacitu povrchových vodných zdrojov a návrh adaptačných opatrení

Vodné aj suché sezóny a roky, t. j. obdobia s charakteristikami zdrojov vodnosti (zrážky a prietoky) výraznejšie vyššími alebo nižšími ako ich dlhodobý priemer, sa na území východného Slovenska zoskupovali v tomto storočí do časovo a priestorovo navzájom sa striedajúcich viac rokov trvajúcich období. Okrem toho, že vodné aj suché obdobia zasahovali súčasne celé oblasti, nepostihovali, s výnimkou posledného desaťročia, výrazne celé územie východného Slovenska.

Z rozdielov výsledkov analýz v zimnom a letnom polroku je zrejma variabilita rozloženia suchých a vodných období počas roka. Ukazuje sa pritom, že zmeny vodnosti v zimnom polroku mali celoplošnejší a zmeny v letnom polroku lokálnejší charakter. V zimnom polroku je vidieť približne od roku 1984 nástup obdobia zníženia zrážok (takmer v celej oblasti) a od roku 1987 výrazné zníženie prietokov v celom regióne. V prípade letného polroku sa v tomto časovom úseku prejavilo mierne zvýšenie zrážok (obr. 5.5), na druhej strane ale zníženie prietokov (obr. 5.7).

Vzhľadom na to, že sa v budúcnosti neuvažuje s prepojením Spišsko-popradskej a východoslovenskej vodárenskej sústavy, pre posúdenie vzájomnej kompenzácie vodných zdrojov je zaujímavé porovnanie výskytu suchých a vodných období v západnej a vo východnej časti východoslovenskej vodárenskej sústavy (VVS). V priebehu jednotlivých období vidieť určitý, aj keď nie výrazný rozdiel medzi týmito oblasťami, napr. kým prvé suché obdobie (1955 - 1965) postihlo súvislo celú západnú časť VVS, vo východnej časti sa prejavilo až asi od roku 1960. Väčšina suchých a vodných období však pokrýva viac-menej kontinuálne celý región VVS, pričom druhé dlhé suché obdobie od roku 1986 sa prejavilo súvislo v celej oblasti VVS.

Z posúdenia priebehu zrážok, teplôt aj prietokov vidieť, že trvanie jednotlivých období (či oteplení a ochladiení alebo vodných a málovodných období) sa postupne smerom k súčasnosti predlžovalo a nadobúdalo celoplošný charakter na celom posudzovanom území. Porovnanie a zhrnutie výsledkov analýz zrážok, odtoku a teploty vzduchu ukazuje, že na sledovanom území v prípade nástupu klimatického alebo hydrologického sucha je možné zabezpečiť kompenzáciu vodných zdrojov len viacročnou reguláciou odtoku s vysokou zabezpečenosťou.

V Szolgay et al. (1994 a 1997) Mosný zároveň hodnotil aj trendy vývoja prvkov hydrologickej bilancie v tomto storočí. Výsledky analýzy trendov priemerných ročných a mesačných prietokov sú uvedené v tab. 5.3.

Zrážky ako zdroj vody všeobecne vykazujú v ročných úhrnoch nevýrazné zmeny. Jednotlivé mesiace zvyčajne vykazujú disproporcie v nerovnomernosti vývoja zrážok v priebehu roka. Zrážky v zimnom polroku vyka-

zujú pokles, najvýraznejší v mesiacoch január až marec. Rast nastáva v posledných jarných mesiacoch a v lete, kedy najväčší rast vykazujú rady májových až júnových úhrnov v stanovenom období.

Prietoky vykazujú v ročných priemeroch všeobecný pokles. Jednotlivé mesiace vo väčšine prípadov tiež vykazujú pokles, najvýraznejší v období november až marec s dominantným postavením novembra a decembra. Nie menej výrazný pokles prietokov môžeme indikovať v septembri, teda v mesiacoch, ktoré tvoria z hľadiska odberov kritické obdobie malej vodnosti. Rast priemerných mesačných prietokov môžeme konštatovať v máji.

Za obdobie posledných tridsať rokov sa v tomto regióne zmiernili poklesy prietokov v prvých dvoch mesiacoch hydrologického roka, ale zároveň prehĺbili poklesy v ostatných mesiacoch. Zároveň sa zvýraznil ich rast v máji.

Pretože sme analýzu prvkov robili v normovaných hodnotách, môžeme konštatovať, že najvýraznejšie zmeny nastávajú pri prietokoch, potom pri teplotách vzduchu a kvantitatívne najmenšie zmeny sú pri zrážkach. Takže prietoky vykazujú najväčšie poklesy, ktoré oproti zrážkam sú násobne väčšie.

Zmeny vo vývoji prvkov hydrologickej bilancie jednoznačne ovplyvňujú zrážko-odtokové procesy, ktoré v extrémnych situáciách minimálnych prietokov ochudobňujú nielen povrchové vodné zdroje, ale aj zdroje podzemných vôd. Uvedené tendencie by sa mali zohľadňovať aj pri hodnotení stavu zdrojov vody a tendencie ich vývoja. Môžu mať širokú základňu vplyvov, ktoré ich spôsobujú, od prirodzených fluktuácií po možnú zmenu klímy (Mosný in: Szolgay et al. 1994, 1997).

Z hľadiska hodnotenia možností využívania povrchových vodných zdrojov v uvažovaných časových horizontoch preto môžeme vysloviť nasledujúce (kvalitatívne) úvahy.

Celoplošný a dlhšie trvajúci výskyt hydrologického sucha si vyžaduje vodné zdroje s možnosťou viacročnej akumulácie a spolupráce. Pritom je potrebné mať na zreteli nerovnomerné rozdelenie zdrojov a väčších spotrebísk na území východného Slovenska a historické súvislosti pri budovaní nadregionálneho zásobovania pitnou vodou.

Dosiaľ nedošlo k plnému priamemu premietnutiu nového zákonodarstva v oblasti životného prostredia do vodohospodárskej legislatívy a do riadenia využívania vodných zdrojov. Potrebu prehodnotenia metód určovania hydrolimitov, minimálnych potrebných prietokov, antidevastačného využívania zdrojov podzemných vôd a pod. citlivo vníma zatiaľ najmä odborná verejnosť. Predpokladáme, že po ich vypracovaní je možné taktiež očakávať, že sa zvýši tlak na zníženie využívania doterajších najmä povrchových zdrojov vody a najviac priamych odberov z tokov. Toto môže predstavovať nový faktor pri zvyšovaní napätosti vodohospodárskej bilancie.

Pri celoplošnom výskyte hydrologického sucha bude s väčšou pravdepodobnosťou dochádzať k zhoršovaniu kvality vody v tokoch (teplota a kvalita vody), a preto sa v tejto súvislosti budú musieť celoplošne prijímať regulačné opatrenia obmedzujúce využívanie priame odbery z tokov.

Z hľadiska koncepcie rozvoja navrhujeme preto v dlhodobom výhľade postupne vyradovať priame odbery z tokov zo zásobovania obyvateľstva nielen z hľadiska kvality vody (správu spracoval v rámci v úvode tejto kapitoly citovanej TEŠ Mudr. Michalus), ale aj z hľadiska kvantitatívneho a hydroekologického a paušálne ich začať nahradzovať inými zdrojmi. Navyše v bilančných úvahách bude potrebné opatrnejšie nakladať s ich doteraz uvažovanými kapacitami, pretože prebiehajúce výskumy v oblasti hydroekologických limitov na VÚVH a SHMÚ povedú k sprísneniu podmienok využívania povrchových vôd aj v obdobiach sucha. Dnes, keď sa vedú ešte diskusie o spôsobe definovania takéhoto limitu, (či už odvodeného z prietokov, alebo na základe iných princípov), nie je ešte dobre možné odhadnúť mieru zníženia bilančnej kapacity priamych odberov do výpočtov, no pre obdobie do roku 2005, resp. 2015 s ňou treba počítať.

5.3.2.2 Hodnotenie kapacity povrchových vodných zdrojov z hľadiska očakávateľných zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku v dôsledku klimatickej zmeny a návrh adaptačných opatrení

Pri hodnotení výsledkov zmien dlhodobého priemerného ročného odtoku z kap. 3 v dôsledku klimatickej zmeny musíme mať na pamäti, že odvodené hydrologické scenáre, podobne ako východiskové klimatické scenáre, sa vzťahujú na prakticky neexistujúci budúci stacionárny stav. V skutočnosti budú zmeny, ak nastanú, prebiehať priebežne a výsledné prírodné procesy budú nestacionárne. Všetky kombinácie zmien zrážok a teplôt vzduchu z klimatických scenárov udávajú množinu možností, ktoré nechápeme pritom ako predpoveď budúceho správania klimatického systému, ale ako scenáre umožňujúce vyšetrit' citlivosť zmien vodohospodárskej bilancie vyvolaných možnými zmenami klímy.

Pri tvorbe hydrologických scenárov sme vychádzali zo zmien dlhodobého priemerného špecifického odtoku vo vybraných územiach pre každý použitý model a scenár. Takýto územný priemer môže vyrovnať

pripadné lokálne anomálie, ktoré by mohli napr. vzniknúť v raštrových modeloch vstupných veličín v územiach so silne premenlivým poľom izočiari. Vyššiu váhu je preto potrebné prikladať výsledkom zo stredných a väčších povodí. Obdobne musíme mať na pamäti, že môže dôjsť aj k prerozdeleniu odtoku vo vnútri roka. Podľa niektorých scenárov sa očakáva pritom zvýšenie odtoku v zimných mesiacoch. Napriek nárastu teploty by mohol byť preto pokles odtoku v roku nižší ako podľa použitého Turcovho modelu, ktorý implicitne vychádza zo súčasného rozdelenia odtoku.

Z hľadiska hodnotenia výhľadovej kapacity vodných zdrojov sme vytvorili pre horizont 2015 ako index ich zraniteľnosti a ukazovateľ očakávateľného poklesu ich kapacity mapy priemerných zmien elementárneho odtoku pre dve skupiny scenárov - scenáre GCM a scenáre NKP. Z hodnotenia zraniteľnosti (kap. 3) podľa našich scenárov vývoja dlhodobého priemerného špecifického odtoku na východnom Slovensku už pre horizonty 1996, 2005, 2015 vyplýva, že pokles vodnosti je oveľa pravdepodobnejší, než zachovanie stavu pred niekoľkými desaťročiami (a ešte viac ako nárast vodnosti). Tento pokles by sa však mal z hľadiska vodohospodárskych bilancií podľa scenárov GCM mohol výraznejšie prejavovať až od horizontu 2015, podľa scenárov NKP by sa s nimi mohlo začať uvažovať už v horizonte 2005.

Rozhodujúcim faktorom pre pokles odtoku sa ukazuje očakávaný nárast teploty v klimatických scenároch. Podľa nami odvodených scenárov poklesom odtoku budú viac zasiahnuté južné oblasti Slovenska a v nich najmä nížiny.

Podľa nášho hodnotenia zraniteľnosti v horizonte 2015 severné a severovýchodné časti východného Slovenska môžu byť podľa scenárov GCM oblasťou nevýrazných zmien odtoku s poklesom do 5 %, väčšina územia by mala ležať v pásme poklesu odtoku medzi 5 až 10 % a na nížine je možné očakávať pokles o 10 až 15 %.

Scenáre NKP vykazujú diferencovanejšie rozloženie zmien odtoku. Výraznejšie sa prejavuje očakávaný rozdiel v zmenách klimatických prvkov na sever a na juh od myslenej čiary Prešov - Humenné. Severné a severovýchodné horské oblasti časti východného Slovenska môžu byť oblasťou zmien odtoku s poklesom medzi 5 až 10 %, väčšina územia na sever od deliacej čiary by mala ležať v pásme poklesu odtoku medzi 10 až 15 %, na juh od nej sa dá očakávať pásmo poklesu odtoku s hodnotami medzi 15 až 20 % s enklávou miernejšieho poklesu na západe územia. Na východoslovenskej nížine je možné očakávať pokles odtoku o 20 až 25 %.

Z hľadiska kapacity povrchových vodných zdrojov je z uvedeného možné vyvodiť nasledujúce závery:

Z hľadiska vodohospodárskeho využívania severných horských povodí v budúcnosti musíme počítať s možnosťou potreby kompenzovať pokles výdatnosti povrchových aj podzemných zdrojov vody najmä v nížinných častiach regiónu. Pokles povrchového odtoku v nížinných častiach môže mať za následok aj pokles výdatnosti tých podzemných zdrojov, ktoré sú dotované z tokov. Aj zdroje napájané inak napr. svahovými vodami môžu mať tendenciu k poklesu v dôsledku zvýšeného výparu a zníženia zrážok. Pre východoslovenskú vodárenskú sústavu to tiež znamená, že koncepcie jej rozvoja by mali obsahovať aj program ochrany všetkých existujúcich a potenciálnych zdrojov vody (tak podzemných, ako aj povrchových). (Pri vodných zdrojoch, ktoré sú už vybudované, bude navyše potrebné prehodnotiť ich udržateľné využívanie v nových podmienkach.)

Tento program by mal zahŕňať aj ochranu krajiny, kde sa tieto zdroje nachádzajú, resp. kde sa tvoria. Teda na severe územia aj ochranu všetkých potenciálnych oblastí výstavby vodárenských nádrží. V tejto súvislosti sme už viackrát upozornili, že doteraz ani Smerný vodohospodársky plán, Hydroekologické a Vodohospodárske plány povodí, ani ÚSESy nepočítajú s možnosťou zmien hydrologického režimu v dôsledku zmien klímy (a ani s následnými vyvolanými zmenami napr. vo vegetačnom kryte, erózných procesoch a pod.).

Z hľadiska diskusií, ktoré sa dnes vedú okolo otázok výstavby vodárenských nádrží, považujeme opäť za potrebné upozorniť na to, že doposiaľ odvodené scenáre možných zmien odtoku v regióne aj pre vzdialenejšie horizonty poukazujú na to, že z hľadiska hospodárenia s vodou nastane zvýšená potreba prerozdeľovať odtok v priestore medzi severom a juhom, prerozdeľovať odtok medzi jednotlivými rokmi a prerozdeľovať odtok počas roka. Zvýšené prietoky vo vodných rokoch, resp. vyrovnanejší odtok v zime nebudú z hľadiska zvýšených nárokov na vodu v lete inak využiteľné. Pri takomto spôsobe hospodárenia s vodou sa zrejme nezaobídeme bez vodárenských nádrží. Z tohto pohľadu musíme znovu zdôrazniť strategicky dôležité postavenie terajších a v dlhodobých plánoch uvažovaných zdrojových oblastí na severe regiónu, ktoré v rámci dnešných predstáv o očakávaných zmenách klímy budú v porovnaní s južnou časťou zasiahnuté miernejšie.

Z uvedeného vyplýva aj podpora pre udržanie možnosti výstavby vodného zdroja Tichý Potok. Využitie vodných zdrojov v hornom povodí Torysy (nad obcou Tichý Potok) nemožno totiž posudzovať ako individuálnu vodohospodársku a investičnú akciu, ale ako jeden z prvkov množiny potenciálnych vodných zdro-

jov celého východoslovenského regiónu. Vyplyva to jednak z našej prognózy budúceho vývoja vodných zdrojov v dôsledku zmien klímy a tiež zo súčasného podpriemerného potenciálu vodných zdrojov tohoto regiónu všeobecne a podzemných vôd zvlášť.

5.3.2.3 Hodnotenie kapacity povrchových vodných zdrojov z hľadiska očakávateľných zmien kolísania odtoku v roku v dôsledku klimatickej zmeny a návrh adaptačných opatrení

Na modelové hodnotenie možných zmien kolísania odtoku počas vnútri roka, ktoré je podrobne popísané v kap. 4, sme používali model WatBal. Výsledky testovania modelu v povodiach boli pre náš účel hodnotené ako dobré. Model vcelku vystihol ako rozdelenie odtoku v roku v celom sledovanom období, tak aj rozdelenie dlhodobých priemerných hodnôt priemerných mesačných prietokov. O niečo horšie výsledky poskytol v povodí Okny. Považovali sme ho za vhodný i pre odvodenie scenárov zmien rozdelenia odtoku vo vnútri roka.

Pri interpretácii výsledkov vzhľadom na kapacity povrchových vodných zdrojov treba mať na pamäti nasledujúce:

Zmenené zrážkové a teplotné podmienky sa uplatnia v tvorbe všetkých druhov odtoku (povrchový, hypodermický, podzemný) a výparu (z voľnej vodnej hladiny, z holej pôdy, z vegetácie), pričom sa mimoriadne silne uplatní zóna aerácie, ktorá ovplyvní infiltráciu prebytku zrážok na úrovni povrchu terénu, ich vertikálne prerozdelenie, prípadne filtráciu do prvého horizontu podzemných vôd, ich kapilárny prenos do koreňovej zóny plytko zakorenenej vegetácie, resp. ich odtok vo forme hypodermického (mierne oneskoreného) odtoku (Dzubák a Szolgay (1994)). Kvantitatívne výpovede o zmenených odtokových pomeroch sa dnes ešte len tvoria a uvedené výsledky patria medzi ne.

Model silne zjednodušuje hydrologický cyklus a v ňom prebiehajúce procesy. Vstupné hodnoty zrážok a potenciálnej evapotranspirácie môžeme považovať iba za indexy skutočných hodnôt týchto veličín. Preto aj absolútne hodnoty zmien vnútroročného rozdelenia odtoku je potrebné hodnotiť s rezervou. Podobne je to aj s hodnotením zmien územného výparu. Pri interpretácii výsledkov a následnom hodnotení zraniteľnosti územia je vhodnejšie vychádzať z údajov o prietokoch a to tiež iba z tendencií, ktoré model naznačuje.

Z hľadiska hodnotenia kapacít povrchových vodných zdrojov možno scenáre schematizovať takto:

Na severe územia bude potrebné pri hodnotách dlhodobých priemerných mesačných prietokov v bilančných úvahách počítať s prerozdelením odtoku v roku, pričom vodnosť decembra, januára a februára sa zvýši a apríla zníži. Marec nevykazoval výraznejšie zmeny. Od mája po september až október by sa mali prietoky znižovať.

Na severe územia je charakter zmeny rozdelenia odtoku v roku (mimo časového posunu jarného odtoku) v zásade podľa použitých scenárov rovnaký.

Na juhu územia sa výsledky scenárov rozchádzajú viac. CCCM pripúšťa mierne zvyšovanie dlhodobých priemerných mesačných prietokov od októbra po marec a pokles od apríla po september. Scenár WP B vzhľadom na pokles zrážok a nárast teploty ilustruje možnosť katastrofických dôsledkov zmien klímy na kapacitu povrchových vodných zdrojov a pripúšťa možnosť trvalého a značného poklesu prietokov prakticky po celý rok, a tak aj zmenu charakteru rozdelenia odtoku v roku.

Časť územia východného Slovenska ležiaca na sever od myslenej čiary Prešov - Humenné môže byť podľa dnešných predstáv menej postihnutá poklesom odtoku ako územia ležiace na juh od tejto čiary a zmeny jeho vnútroročného rozdelenia môžu byť menej výrazné, resp. menej kritické.

Záver pre hodnotenie kapacity povrchových vodných zdrojov do bilančných výpočtov môžeme zhrnúť takto:

Podľa výpočtov sa vplyv zmien zrážkového a teplotného režimu môže prejaviť na vnútroročnom rozdelení odtoku už v časových horizontoch uvažovaných v tejto štúdii a to s takými hodnotami, že v koncepciách, resp. bilanciách by bolo vhodné s nimi alternatívne uvažovať.

Toky môžu mať tendenciu vytvárať súvislé obdobie nízkej vodnosti od mája po september až október. Na juhu nie je možné vylúčiť súvislé obdobie vyrovnaných nízkych prietokov vnútri roka. Priame odbery z tokov budú mať zníženú bilančnú kapacitu, odhady zmien dlhodobých priemerných mesačných prietokov kolíšu medzi cca 3 až 20 % v období od mája po september na severe územia a medzi asi 15 až 55 % na juhu územia.

Aj toto hodnotenie ukazuje, že priame odbery z tokov bude vhodné postupne vyradovať zo zásobovania, pričom v koncepciách bude vhodné začať so zdrojmi na juhu od myslenej čiary Prešov - Humenné.

Ak bude potrebné využívať povrchové vodné zdroje, je potrebné počítať s nahrádzaním priamych odberov zdrojmi schopnými vyrovnávať odtok aspoň vnútri roka.

Je potrebné mať na zreteli, že nepriamym dôsledkom zmeny odtoku a jeho rozdelenia odtoku v roku môže byť aj zmena kapacít vodných zdrojov v alúviách, ktoré sú priamo v spojení v tokom.

5.3.2.4 Bilančné hodnotenie kapacít povrchových zdrojov vody z plánovaných vodárenských nádrží a otázky ich zabezpečenia

Plánovanie ďalšieho rozvoja vodného hospodárstva a aj východoslovenskej vodárenskej sústavy sa deje v období zvýšených neistôt v určovaní okrajových podmienok jej budúceho vývoja, ako by to bolo v stabilizovaných spoločenských a hospodárskych pomeroch. Za prioritu z hľadiska funkcie vodárenskej sústavy považujeme, aby dodávky množstva a kvality vody mali vysokú zabezpečenosť (samozrejme pri zachovaní deklarovaných priorít udržateľného rozvoja a ochrany a tvorby životného prostredia - vrátane ochrany vodných zdrojov).

Nakoľko považujeme viacročný vyrovnávací efekt zásobných nádrží v budúcich hydrologických podmienkach za kľúčový, pokúsili sme sa aspoň nepriamo odhadnúť mieru zmien v parametroch viacročného regulovania odtoku. Takýto odhad je pri súčasných vedomostiach o charaktere budúceho hydrologického režimu zatiaľčený mnohými neistotami, preto sme sa rozhodli aj v tomto prípade pre odvodenie niekoľkých scenárov možných zmien vo veľkosti nadlepšeného prietoku existujúcich a plánovaných vodárenských nádrží. Základným predpokladom je existencia akéhosi budúceho fiktívneho stacionárneho stavu, ktorého vodnosť bude charakterizovaná hodnotou dlhodobého priemerného odtoku v nových podmienkach podľa jednotlivých klimatických scenárov.

Variabilita tohoto prietoku je v súčasnosti neznáma veličina, pre potreby našich scenárov sme ju uvažovali v dvoch alternatívach. V prvej alternatíve uvažujeme s jej nezmenenou hodnotou voči reprezentatívnemu obdobiu 1931 až 1980. V druhej sa predpokladá, že smerodajná odchýlka radu priemerných ročných prietokov sa nezmení, a teda koeficient variácie vzrastie dôsledkom poklesu dlhodobého priemerného prietoku.

Prístup navrhnutý Dzúbákom (In: Dzubák, Hambek a Szolgay (1996)) sme ilustrovali v Dzubák, Hambek a Szolgay (1996) na príklade, pričom sme vychádzali z Nacházelových režimových grafov (Votruba, Broža (1980)), ilustrujúcich vzťah medzi variabilitou priemerných ročných prietokov C_V , zabezpečenosťou odberu podľa opakovania P a parametrami jeho viacročného regulovania α , β ($\alpha = Q_N/Q_a$ je súčiniteľ nadlepšenia, $\beta = V_A/O_a$ je súčiniteľ akumulácie, Q_N - požadovaný odber z nádrže, Q_a - dlhodobý priemerný ročný prietok, V_A - objem úžitkového priestoru nádrže potrebný na viacročné zaručenie odberu Q_N .)

Naše úvahy boli založené na týchto predpokladoch:

- priemerné prietoky Q_a sa znížia na $Q_a' = k \cdot Q_a$ ($k < 1$)
- 1. alternatíva: variabilita priemerných ročných prietokov sa nezmení, $C_V' = C_V$
- 2. alternatíva: smerodajná odchýlka radu priemerných ročných prietokov sa nezmení a variabilita priemerných ročných prietokov sa zmení $C_V' = C_V (1/k)$
- ich asymetria bude dvojnásobkom koeficientu variácie
- všeobecná stochastická štruktúra radov ročných prietokov v budúcnosti sa nezmení, to znamená, že môžeme vychádzať z Nacházelových režimových grafov.

Uvedené úvahy sme pre východné Slovensko v rámci uvedenej štúdie generalizovali pre použitie v prostredí GIS spolu s vyššie uvedenými metodikami hodnotenia dôsledkov klimatickej zmeny nasledovne:

- Pre viaceré plánované vodárenské nádrže sme zhromaždili ich základné parametre. Uvedené sú v tab. 5.4 podľa Matulík (1996).
- V prostredí GIS sme k projektovaným profilom nádrží odvodili z rastrových digitálnych máp priemerného dlhodobého elementárneho odtoku hodnoty Q_a pre nezmenené podmienky a Q_a pre uvažované scenáre zmeny klímy.
- Zo vzorcov pre nepriame určovanie koeficientu variácie priemerných ročných prietokov podľa Duba, Svobodu a Adámyovej sme pre viaceré profily na východnom Slovensku s dostupnými údajmi o koeficiente variácie odhadli jeho hodnoty a porovnali ich s hodnotami udávanými SHMÚ z obdobia 1931 až 1980. Pre ďalšie spracovanie sme vybrali Adámyovej vzťah, keďže bol vcelku vyhovujúci a odvodený z obdobia, ktoré sme vybrali ako referenčné pre hodnotenie zmien odtoku.
- Z viacerých režimových vzťahov (Lukáč, Nacházel) pre určenie zásobného objemu nádrží pre dlhodobé regulovanie odtoku sme určili s takto odvodeným koeficientom variácie a pre rôzne hodnoty autokorelačného súčiniteľa prvého rádu pre každú uvažovanú plánovanú nádrž nadlepšený prietok pre zabezpečenie 99 %. Tento sme porovnali s jeho projektovanou hodnotou. Ako vzťahy, ktoré dávali najbližšie hodnoty k projektovaným, sme pre ďalšie úvahy zvolili Nacházelove diagramy.

- Pre ďalšie úvahy sme každú nádrž nahradili modelovou nádržou s viacročným vyrovnaním odtoku s objemom V_A podľa štúdie Matulík (1996) a nadlepšeným prietokom Q_A vypočítaným podľa režimových kriviek Nacházela pre obidve vyššie uvedené alternatívy zmeny variability prietoku a všetky nami uvažované klimatické scenáre. Odvodili sme vzťahy pre vyjadrenie percentuálnej zmeny nadlepšeného prietoku Q_A každej nádrže a túto sme vypočítali. Výsledky porovnania sú uvedené v tab. 5.5.

Výsledky z uvedeného postupu je samozrejme potrebné interpretovať s náležitou opatrnosťou. Je zaťažný radom neistôt, napr. nerozlišuje vplyv sezónnej zložky odtoku na objem nádrže, uvažované zmeny variability sú volené subjektívne atď. Napriek tomu je možné, v porovnaní so simulačnými štúdiami, pomocou neho s vynaložením menších zdrojov a rýchlo orientačne hodnotiť tendencie zmien. Iste by bolo užitočné porovnať výsledky s výsledkami simulačných výpočtov, v rámci tejto štúdie sme na to nemali možnosť.

Podľa scenárov GCM je potrebné počítať so zmenou v nadlepšenom prietoku prakticky až po horizonte 2015. Dovtedy iba scenár CCCM indikuje možnosť poklesu projektovaného nadlepšenia už okolo roku 2005. Tento scenár upozorňuje aj na možnosť vyššej zraniteľnosti nižšie položených nádrží na juhu územia. Podľa očakávania vychádzajú možné zmeny v druhej alternatíve nepriaznivejšie.

Scenáre NKP sú z hľadiska dosahovaných parametrov nadlepšenia nepriaznivejšie, prakticky už súčasným obdobím pripúšťajú znižovanie zaručených odberov z nich. Pre ďalšie časové horizonty indikujú možnosť značného zníženia nadlepšenia. V horizonte 2005 je to cca 5 až 15 % a v horizonte 2015 to môže byť 8 až 20 %.

Uvedené úvahy naznačujú možnosť zvyšovania extremity hydrologického režimu a potrebu jeho vyrovňovania.

Na hodnotenie kapacít vodárenských nádrží v bilančných výpočtoch môžeme urobiť nasledujúce závery a odporúčania :

- Nádrže prevádzkované alebo plánované v južnom pásme možnej zmeny klímy budú viac zraniteľné, a preto sa rentabilita ich prevádzky bude môcť zhoršovať.
- Nádrže plánované, resp. prevádzkované v severnom pásme môžu byť ovplyvnené prakticky rovnakou mierou a z hľadiska možných zmien odtoku nie je potrebné medzi nimi robiť zvlášť selektívny výber. Je však prirodzené, že miera zníženia odtoku bude nižšia ako v južných nádržiach.
- Zabezpečenosť dodávky pitnej vody je číselným vyjadrením "spolahlivosti" prirodzeného režimu hydrologického cyklu, ktorá je transformovaná na spoľahlivosť požadovaného odberu pitnej vody. Táto zabezpečenosť ale nezohľadňuje pravdepodobnosť klimatických, technických, ekologických a rozvojových porúch a havárií v sústave. Pri rozvoji vodárenstva nebolo obvyklé vytvárať operatívne zásoby na strane vodných zdrojov, ako je to napr. v energetike. Konceptia rozvoja vodárenskej sústavy v období zvýšených neistôt v podmienkach jej rozvoja by mohla, podľa nás, s takýmito rezervami uvažovať. Umožnilo by sa tak reagovať na nepredvídateľné (ale nie nutne nereálne) okolnosti, ako sú dlhodobéjšie regionálne hydrologické sucha, ale aj náhla havária a dlhodobá porucha ktoréhokoľvek veľkozdroja (napr. kontaminácia zdroja), postupná kontaminácia zdrojov (napr. pri podzemných vodách a prameňoch), postupné zavádzanie legislatívnych opatrení smerujúcich k vyššej ochrane životného prostredia a prírodných zdrojov, náhle hospodárske rozvojové impulzy vo vybraných oblastiach a neistoty v okrajových podmienkach rozvoja (transformácia hospodárstva, transformácia systému zásobovania vodou a pod.).
- Zabezpečenosť dodávky vody sa, vzhľadom na značné teoretické zložitosti a neistoty, určuje pre každý vodný zdroj zvlášť, a nie pre sústavu ako celok. Vysokú zabezpečenosť množstva dodávky pitnej vody je pritom možné dosiahnuť návrhom sústavy na najmenšie doteraz pozorované výdatnosti zdrojov (stav extrémneho sucha) alebo pomocou časovo a finančne relatívne náročných simulačných experimentov na matematických modeloch. Obidva spôsoby neboli pri bilancovaní kapacít východoslovenskej vodárenskej sústavy používané. Aj vzhľadom na rozdielnosť v návrhových parametrov nádrží z rôznych zdrojov a období by bolo vhodné hydrologickým podkladom a vodohospodárskemu návrhu nádrží venovať už na úrovni štúdií podstatne viac úsilia, ľudských a finančných zdrojov. Inak sa neistoty v určení veľkosti a zabezpečenia nadlepšenia jednotlivých nádrží sa potom premietajú do celkového riešenia, ktoré nemusí zohľadňovať aspekty hydrologického sucha a možnosti spolupráce zdrojov na jej zmiernenie.

Tab. 5.4 Vodárenské nádrže a ich parametre podľa Matulíka (1996)

Table 5.4 Parameters of water reservoirs according to Matulík (1996)

Nádrž	Tok	Obdobie	Qa [m ³ .s ⁻¹]	qa [l.s ⁻¹ .km ⁻²]	F [km ²]	alfa	beta	V [mil.m ³]
Garajky	Ipolitica	21-94	1.50	18.28	82.03	0.667	0.507	24
Tichý potok	Torysa	31-80	1.00	8.94	112.00	0.733	0.687	21.7
Jakubany	Jakubianka	31-80	0.46	10.77	43.10	0.616	0.417	6.1
Rejdová	Slaná	31-80	0.67	24.19	27.70	0.581	0.263	5.55
Lukov	Topľa	31-80	0.51	11.15	45.72		0.735	21.9
Nižná Jablonka	Udava	31-80	1.20	12.52	95.85	0.6	0.54	20.5
Medzev	Bodva		0.51	9.29	55.00	0.781	0.992	16
Adidovce	Udava	31-80	1.96	11.21	174.80	0.852	0.736	45.5

Tab 5.5 Percentuálna zmena nadlepeného prietoku so zabezpečenosťou P=99% podľa scenárov klimatickej zmeny GCM a NKP pre časové horizonty 1996, 2005 a 2015

		variant1 Cv=konšt.			variant2 Cv'=k ⁻¹ .Cv	
CCCM	1996	2005	2015	1996	2005	2015
sever						
Jakubany	-2.62%	-4.79%	-4.53%	-2.62%	-6.28%	-7.47%
Lukov	-1.41%	-3.69%	-4.97%	-2.72%	-6.25%	-7.50%
Adidovce	-0.07%	-2.42%	-3.73%	-1.40%	-5.02%	-6.29%
Tichý potok	-1.60%	-4.03%	-2.80%	-1.60%	-5.38%	-8.13%
juh						
Medzev	-4.17%	-5.06%	-6.72%	-4.17%	-7.46%	-11.39%
Rejdová	-3.61%	-4.14%	-5.35%	-3.61%	-5.42%	-9.08%
		variant1 Cv=konšt.			variant2 Cv'=k ⁻¹ .Cv	
GISS	1996	2005	2015	1996	2005	2015
sever						
Jakubany	-1.63%	-1.15%	-2.40%	-1.63%	-1.15%	-3.92%
Lukov	-0.39%	0.09%	-1.24%	-1.71%	-1.24%	-2.56%
Adidovce	0.99%	1.51%	0.14%	-0.35%	0.16%	-1.20%
Tichý potok	-1.99%	-1.63%	-1.72%	-0.59%	-1.63%	-3.10%
juh						
Medzev	0.35%	-0.77%	-0.20%	1.64%	-0.77%	-0.20%
Rejdová	0.60%	-0.25%	0.46%	0.60%	-0.25%	0.46%
		variant1 Cv=konšt.			variant2 Cv'=k ⁻¹ .Cv	
GFD3	1996	2005	2015	1996	2005	2015
sever						
Jakubany	-1.63%	-2.85%	-3.14%	-0.10%	-2.85%	-3.14%
Lukov	-0.39%	-1.68%	-2.02%	-1.71%	-2.99%	-4.64%
Adidovce	0.99%	-0.32%	-0.67%	-0.35%	-1.65%	-3.31%
Tichý potok	-1.99%	-2.04%	-2.55%	-1.99%	-3.42%	-3.92%
juh						
Medzev	-1.39%	-2.50%	-2.65%	-1.39%	-2.50%	-2.65%
Rejdová	-1.00%	-1.85%	-1.76%	-1.00%	-1.85%	-1.76%

		variant1 Cv=konšt.			variant2 Cv'=k ⁻¹ .Cv	
SD A	1996	2005	2015	1996	2005	2015
sever						
Jakubany	-3.89%	-5.32%	-5.29%	-3.89%	-6.80%	-8.21%
Lukov	-2.71%	-4.21%	-4.46%	-4.01%	-5.49%	-8.23%
Adidovce	-1.45%	-2.99%	-3.25%	-2.76%	-4.28%	-7.07%
Tichý potok	-2.83%	-4.44%	-4.71%	-4.20%	-5.78%	-8.68%
juh						
Medzev	-3.83%	-5.75%	-5.96%	-5.06%	-9.33%	-10.67%
Rejdová	-3.41%	-4.94%	-4.90%	-3.41%	-6.21%	-8.65%
		variant1 Cv=konšt.			variant2 Cv'=k ⁻¹ .Cv	
SD B	1996	2005	2015	1996	2005	2015
sever						
Jakubany	-5.32%	-6.02%	-6.78%	-6.80%	-8.91%	-12.43%
Lukov	-4.21%	-5.22%	-6.27%	-6.77%	-8.96%	-12.36%
Adidovce	-2.99%	-4.03%	-5.14%	-5.57%	-7.82%	-11.30%
Tichý potok	-4.44%	-5.52%	-6.66%	-5.78%	-8.15%	-11.78%
juh						
Medzev	-3.99%	-6.67%	-8.29%	-6.42%	-11.34%	-16.12%
Rejdová	-3.32%	-5.51%	-8.98%	-4.61%	-9.24%	-13.77%
		variant1 Cv=konšt.			variant2 Cv'=k ⁻¹ .Cv	
WP A	1996	2005	2015	1996	2005	2015
sever						
Jakubany	-2.17%	-5.32%	-5.29%	-2.17%	-6.80%	-8.21%
Lukov	-0.92%	-4.21%	-4.46%	-2.24%	-5.49%	-8.23%
Adidovce	0.41%	-2.99%	-3.25%	-0.93%	-4.28%	-7.07%
Tichý potok	-1.00%	-4.44%	-4.71%	-2.40%	-5.78%	-8.68%
juh						
Medzev	-4.36%	-6.32%	-7.22%	-6.78%	-11.01%	-15.14%
Rejdová	-3.73%	-5.31%	-8.17%	-5.02%	-9.05%	-13.00%
		variant1 Cv=konšt.			variant2 Cv'=k ⁻¹ .Cv'	
WP B	1996	2005	2015	1996	2005	2015
sever						
Jakubany	-5.32%	-6.02%	-6.78%	-6.80%	-8.91%	-12.43%
Lukov	-4.21%	-5.22%	-6.27%	-6.77%	-8.96%	-12.36%
Adidovce	-2.99%	-4.03%	-5.14%	-5.57%	-7.82%	-11.30%
Tichý potok	-4.44%	-5.52%	-6.66%	-5.78%	-8.15%	-11.78%
juh						
Medzev	-5.75%	-9.05%	-11.85%	-8.13%	-14.67%	-18.30%
Rejdová	-4.94%	-8.77%	-12.21%	-8.74%	-14.77%	-19.14%

Tab. 5.3 Hodnoty smernice lineárneho trendu priemerných mesačných a ročných prietokov vo vybraných prietokomerných staniách na východnom Slovensku

Table 5.3 Linear trend of mean monthly and annual discharges in selected gage stations in East Slovakia

Stanica	nov.	dec.	jan.	feb.	mar.	apr.	máj	jún	júl	aug.	sep.	okt.	rok
Poprad	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Matejovce 1931-92	0,027	0,012	0,007	0,011	0,015	0,012	0,009	0,011	0,012	0,011	0,018	0,008	0,025
Poprad - Chmeľnica 1931-92	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-
	0,025	0,011	0,006	0,010	0,011	0,007	0,005	0,002	0,008	0,005	0,016	0,003	0,016
Svinka - Obišovce 1931-89	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	-
	0,017	0,006	0,000	0,008	0,007	0,005	0,006	0,002	0,002	0,002	0,005	0,001	0,004
Torysa K.Oľšany 1931-92	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-
	0,017	0,001	0,001	0,000	0,007	0,005	0,011	0,004	0,000	0,000	0,009	0,002	0,004
Bodva N. Medzev 1941-92	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-
	0,014	0,011	0,024	0,007	0,005	0,001	0,004	0,004	0,011	0,007	0,008	0,001	0,013
Okna R. Hámre 1955-93	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-
	0,015	0,018	0,003	0,006	0,009	0,023	0,020	0,005	0,001	0,011	0,004	0,004	0,013
Topľa Hanušovce 1931-92	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	+	-
	0,014	0,004	0,002	0,000	0,001	0,008	0,015	0,006	0,002	0,003	0,004	0,002	0,000

6. ZÁVER

V minulom období sme sa v rámci prác na Národnom klimatickom programe, prípadovej štúdie Národnej agentúry pre životné prostredie a MZP SR (tzv. Country Study SR), grante agentúry VEGA grante agentúry VEGA č. GP 2/4186/97 "Určenie plošnej evapotranspirácie ako prvku vodnej bilancie vybraných povodí Slovenska" a rade štúdií týkajúcich sa využívania povrchových vodných zdrojov východného Slovenska zaoberali aj možnými dôsledkami zmeny klímy na režim odtoku. Postupne sme si overovali rôzne metodické postupy, dopĺňali a rozširovali sme našu údajovú základňu. Metodické postupy z týchto štúdií (Szolgay, et al. (1994), Szolgay et al. (1995), Szolgay, Hlavčová, Mosný (1995), Szolgay et al. (1996), Szolgay, Dzubák, Čunderlík, Parajka (1996), Szolgay, Parajka, Hlavčová (1996), Szolgay, Čunderlík, Parajka (1996), Szolgay, Hlavčová, Parajka, Čunderlík (1997), Szolgay, Hlavčová, Mosný, Parajka (1997) a iné) sme v predkladanej práci zhrnuli, upravili a doplnili. Použili sme ich s novou údajovou základňou a pokúsili sme sa ich prezentovať ako celok použiteľný pre impaktné štúdie v rámci jednotlivých povodí, regiónov a celého územia Slovenska. Zároveň sme zhrnuli výsledky z podobných štúdií najmä z oblasti strednej Európy a u nás s cieľom odhadnúť smery, ktorými by sa výskum impaktov mohol v blízkej budúcnosti uberať.

V súlade s našimi doterajšími prácami sme oddelene skúmali možné zmeny dlhodobého priemerného prietoku a vnútroročného rozdelenia odtoku.

Najprv sme sa zaoberali skúmaním možných zmien dlhodobého priemerného ročného špecifického odtoku ako indikátora zmien teoretického potenciálu povrchových vodných zdrojov územia Slovenska. Zamerali sme sa pritom na sledovanie zmien tohto potenciálu vo vybraných výškových pásmach, ktoré svojou geografickou lokalizáciou charakterizujú hydrologický režim povrchových vodných zdrojov.

Zmenu dlhodobého priemerného ročného špecifického odtoku sme skúmali v regiónoch nížin, nízkych vysočin, stredovysočin a vysokých vysočin. Pre tieto vybrané výškové pásma Slovenska sme počítali percentuálnu zmenu dlhodobého priemerného ročného špecifického odtoku pre klimatické podmienky udávané rôznymi scenármi zmeny klímy oproti reprezentatívnemu stavu charakterizovanému priestorovým rozložením hydrologických prvkov v období 1931 až 1980. Vzhľadom na pomerne značný rozptyl odvodených hydrologických scenárov sme sa pokúsili o zovšeobecnenie scenárov ako ukazovateľa prírodnej hrozby. Použili sme pritom metodické postupy mapovej algebry a krížovej tabulácie v prostredí GIS. Táto zovšeobecnená hodnota hazardu iniciálneho procesu nám, popri variete scenárov možností budúcej kapacity povrchových vodných zdrojov v týchto oblastiach, charakterizuje zraniteľnosť územia voči zmeneným klimatickým podmienkam.

Tak ako v predchádzajúcich štúdiách, napr. Szolgay, Čunderlík, Parajka (1996), Szolgay, Dzubák, Čunderlík, Parajka (1996) a Szolgay, Hlavčová, Parajka, Čunderlík (1997), aj tu sme sa zaoberali posúdením možného vplyvu klimatickej zmeny na vnútroročné rozdelenie dlhodobých priemerných mesačných prietokov vo vybraných povodiach Slovenska s použitím matematického modelu odtoku WatBal. Tu sme doterajšie výsledky zhrnuli a nadväzujúc na ne sme sa zaoberali aj možnými zmenami štatistických parametrov priemerných mesačných prietokov v jednotlivých oblastiach Slovenska. Skúmali sme možné zmeny aritmetického priemeru ako najčastejšie používanej charakteristiky polohy, koeficientu variácie C_v charakterizujúceho mieru rozptylu a koeficientu asymetrie C_s charakterizujúceho tvar funkcie rozdelenia priemerných mesačných prietokov. Ďalej sme sa venovali odhadom zmeny závislosti medzi priemernými mesačnými prietokmi v jednotlivých mesiacoch a autokorelačnej funkcie časového radu priemerných mesačných prietokov. Hlavným cieľom analýzy bolo získať predstavu o možných zmenách uvedených parametrov, ktoré nevyhnutne ovplyvnia parametre vodohospodárskych stavieb a využívanie povrchových vodných zdrojov.

V nasledujúcej časti sme sa najprv zamerali na demonštrovanie rôznych prístupov, ktoré boli navrhnuté na riešenie problémov v rámci komplexnej problematiky odhadu dôsledkov klimatickej zmeny na hospodárenie s vodou a návrhu adaptačných opatrení. Zhrnuli sme rôzne metodické postupy, ktoré boli použité v poslednom období v impaktných štúdiách v problematike hospodárenia s vodou, určovania koncepcii adaptácie na možnú zmenu klímy na úrovni plánovania a využívania vodných zdrojov a hospodárenia s vodou vo vodohospodárskych sústavách.

Následne sme na príklade prípadovej štúdie pre oblasť východného Slovenska demonštrovali využiteľnosť postupov popísaných v predošlých častiach na ohodnotenie zraniteľnosti povrchových vodných zdrojov. Doplnili sme ich o hodnotenie priestorového a časového kolísania prvkov hydrologickej bilancie. Prezentovanú metodiku je možné použiť ako alternatívu k možnosti podrobne simulovať rôzne scenáre vývoja klimatickej situácie a rozvoja vodárenskej sústavy, resp. ako východiskovú štúdiu pre podrobnejšie simulačné experimenty a adaptačné opatrenia.

Popísané kolísanie odtoku v čase a priestore na území východného Slovenska v tomto storočí a hydrologické scenáre možných zmien odtoku sme následne interpretovali vo vzťahu k zraniteľnosti povrchových vodných zdrojov. Navrhli sme rámcové adaptačné opatrenia na úrovni strategických koncepcných dokumentov pre rozvoj zásobovania obyvateľstva pitnou vodou v blízkej budúcnosti.

Navrhnuté metodické postupy sa môžu vysloviť s rôznou detailnosťou k viacerým aspektom impaktov klimatickej zmeny na povrchové vodné zdroje. Napriek tomu sa domnievame, že aj u nás bude naďalej potrebné súhrnne spracovávať ohrozenosť povrchových vodných zdrojov v dôsledku možných zmien iniciálneho prírodného procesu (prírodná hrozba). Výsledky rešerši naznačujú, že doterajšie metodické postupy aplikované v prácach našich autorov nemôžeme považovať za konečné. V niektorých oblastiach zaostávame u nás nielen za novými výsledkami vo svete, ale aj v regióne.

V prvom rade značný rozptyl možností budúceho vývoja klímy a neistoty zmien jej regionálnych prejavov sťažujú návrh adaptačných opatrení vo vodnom hospodárstve. Bolo by preto vhodné sledovať a regionalizovať nové výstupy z GCM. Vhodné by bolo zaviesť aj používanie transienntých scenárov zmeny klímy. V oblasti styku atmosféry s hydrosférou bude potrebné vypracovať stochastické modely počasia, ktoré by umožnili, na vyššej úrovni než to bolo doteraz, lokalizovať scenáre zmeny klímy.

Veľký rozptyl scenárov komplikuje analýzu impaktov a návrh adaptačných opatrení. Preto by bolo vhodné ďalej skúmať možnosti hodnotenia klimatickej a hydrologickej hrozby v území pomocou metód používaných v GIS a dospieť k priestorovo diferencovanému klasifikovaniu prírodnej hrozby.

Medzičlánky prepojujúce klimatické scenáre cez hydrologický cyklus s vodným hospodárstvom tiež nie sú síce bez otvorených otázok, no zatiaľ by, podľa nás, súčasné metodiky vedeli spracovať novú vstupnú informáciu o zmene klímy. V modelovaní v oblasti interakcií atmosféry s hydrosférou však absentujú v našej hydrológii hydrologické modely v tzv. makro a mezo úrovni. Táto oblasť sa vo svete dynamicky rozvíja a sú na ňu venované značné prostriedky.

V regionálnej hydrológii nemôžeme nechať bez povšimnutia množstvo štúdií venovaných suchu, zmene cirkulačných pomerov a kolísaniu prvkov hydrologickej bilancie. Regionálne medzinárodná spolupráca bude potrebovať obnoviť podporu, vedomosti z týchto oblastí môžu byť kľúčové pre formulovanie adaptačných opatrení najmä v nadregionálnych vodohospodárskych sústavách.

Takisto nie je rozbehnutý výskum v oblasti tvorby snehovej pokrývky. Táto by možno mohla aj slúžiť ako indikátor zmien vnútroročného rozdelenia odtoku.

Relatívne malá pozornosť sa zatiaľ venuje návrhovým veličinám a limitným hodnotám. Tu sa môžu dôsledky zmeny klímy prejavovať neočakávane. Vzhľadom na to, že ide o extrémne prejavy klimatického systému, ťažko sa pre ne tvoria scenáre. Preto by bolo vhodnejšie vychádzať z regionálnych a lokálnych pozorovaní o procesoch, ktoré však treba pre potreby analýzy komplexne spracovať a dať k dispozícii odbornej verejnosti.

V oblasti maximálnych prietokov, v prípade neudržateľnosti axiómu stacionarity, by bolo potrebné radikálne zmeniť filozofiu určovania návrhových veličín. Náznaky v tomto smere u nás už existujú, výskum však nie je spájaný s klimatickým programom a prioritne sa nezaobera možnou nestacionaritou. V rámci klimatického programu by bolo preto v prvom rade potrebné venovať sa hodnoteniu extrémnych zrážok u nás a v širšom regióne. Spracovanie privalových dažďov za toto storočie ako podkladu pre mestskú hydrológiu a určovanie návrhových prietokov na malých povodiach by tiež malo dostať prioritu.

V oblasti štúdia klímy, resp. hydrologického režimu predinštrumentálneho obdobia, i keď uvedená oblasť výskumu je nesporne potrebná pre rozšírenie vedomostí o dlhodobom kolísaní odtoku a jeho spätosti s klimatickým systémom, našej súčasnej hydrológii chýbajú ako tradície, tak aj ľudské a finančné zdroje. Takéto štúdie si vyžadujú dlhodobú systematickú prácu s archívnym materiálom, interdisciplinárnu spoluprácu a pod. Preto nepredpokladáme v tejto oblasti zvýšenú aktivitu prípadne prielom, zdrojom informácií zrejme aj naďalej budú práce regionálneho charakteru v literatúre okolitých krajín.

Štúdium kolísania odtoku v inštrumentálnom období je z hľadiska vodného hospodárstva veľmi cenné najmä pri odhaľovaní regionálnych zákonitostí v kolísaní klimatických a hydrologických prvkov, ich vzájomných súvislostí, spojitosti s cirkulačnými pomermi, ako podklad pre vývoj modelov počasia a pod., a môže tak slúžiť pre rôzne vodohospodárske a impaktné štúdie, pri odhaľovaní nehomogenity v časových radoch a pod. Jeho užitočnosť pre identifikáciu a dokumentovanie možných zmien klímy je však obmedzená a mali by mať skôr podpornú funkciu pri overovaní výsledkov modelových experimentov. Spolu s geoštatistickými metódami by však nemalo absentovať v našej hydrologickej literatúre.

Očakávame, že sa v tejto oblasti uplatnia aj nové metódy z matematickej štatistiky zamerané na analýzy časového a priestorového kolísania hydrometeorologických javov, ktoré budú potrebné pri vývoji rozhraní medzi klimatickými a hydrologickými modelmi. Takisto by bolo potrebné oživiť regionálne štúdie presahujúce hranice jednotlivých krajín a zameriavajúce sa na analýzu časovej a priestorovej variability hydrologického sucha, zmenu cirkulačných pomerov, vývoja snehovej pokrývky a extrémnych hydrometeo-

rologických a hydrologických situácií. Ich úspešná aplikácia a interpretácia však súvisí aj s dostupnosťou kvalitných podkladových údajov. Vyžiada si aj dostupnosť meta údajov o údajoch, zvýšenú pozornosť venovanú metodologickej korektnosti pri aplikácii štatistických postupov a následnej interpretácii výsledkov.

V oblasti adaptačných opatrení vo vodnom hospodárstve z rešerší 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. Z hľadiska nášho vodného hospodárstva by bolo preto vhodné v rámci štúdie NKP porovnať všetky návrhy adaptácie a doplniť naše doterajšie úvahy. 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 pripravuje direktívu o integrovanom hospodárení s vodou) 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.

LITERATÚRA

- Adler, M. J. et al.:** The tendency of decreasing of the winter water resources in the Balkan region. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Arnell, N.W. - Gottschalk, L.:** Mapping average annual runoff. Proceedings of the FRIEND Conference. Koblenz 1993.
- Avissar, R.:** Recent advances in the representation in land-atmosphere interactions in general circulation models. US National Report for the 21st General Assembly of the IUGG. Colorado 1995.
- 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: XVIIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Bartholy, J. - Palvolgyi, T. - Matyasovszky, I. - Weidinger, T.:** Towards narrowing uncertainties of regional climate change predictions by general circulation models and empirical methods. In: XVIIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Benický, J.:** Testovanie homogenity hydrologických údajov. Práce a štúdie VÚVH. VÚVH, Bratislava 1992.
- Benický, J.:** Klimatische Änderung oder nur eine langfristige Schwankung. Proc. XVIIIth Conference on the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. TU Graz. Graz 1996.
- Bishop, G.D. - Church, M.R.:** Automated approaches for regional runoff mapping in the northeastern United States. Journal of Hydrology, 138, 1992.
- Blážková, Š. - Beven, J. K.:** Frequency version of topmodel as a tool for assessing the impact of climate variability on flow sources and flood peaks. J. Hydrol. Hydromech., 43, 1995, 6, 392-411.
- Bloeshl, G.:** Scale and Scaling in Hydrology. Wiener Mitteilungen, Band 132, TU Wien 1996.
- Bonacci, O. - Denič, V.:** Climate changes and precipitation: Example from three long monthly precipitation series measured in Croatia. In: Sevruck, B. - Lapin, M. ed.: Precipitation Variability and Climate Change. SHMU a ETHZ, Bratislava 1993.
- Bonacci, O. - Denic, V.:** Hydrological changes of the Drava river at the Donji Miholjac station (Croatia). In: XVIIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Bouraoui, F. - Vachaud, G.:** Disaggregation of GCMs output to predict the effect of doubling of CO₂ on ground water recharge. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Brázdil, R. ed.:** Climatic change in the historical and instrumental periods. Masaryk University, Brno 1990.
- Brázdil, R. et al.:** Contemporary climate tendencies in selected regions of central and south-eastern Europe. In: Brázdil, R. - Kolář, M. ed.: Contemporary Climatology. Universitas Masarykiana Brunensis. Brno 1994.
- Brázdil, R.:** Climatic change in the Historical and the Instrumental Periods - Introduction. In: Climatic change in the Historical and Instrumental Periods. Masaryk University, Brno 1950.
- Brázdil, R.:** Kolísání vybraných meteorologických prvků ve střední Evropě v období přístrojových pozorování. NKP ČSFR. Praha 1991.
- Brezník, M.:** Anthropogenic impact on the flood discharge increase - Cases and required measures. In: XVIIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Brůžek, V.:** Meteorological time series variability. In: Proc. of the Regional Workshop on Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation. ČHMÚ, Praha 1995.
- Brůžek, V.:** Time series changes and extraterrestrial influences. In: Sevruck, B. - Lapin, M. ed.: Precipitation Variability and Climate Change. SHMU a ETHZ, Bratislava 1993.
- Budyko, M.I.:** Climate prediction based on past and current analogues. In: Jäger, J. - Ferguson, H.L. eds.: Climate change: Science, impacts and policy. Cambridge University Press. Cambridge 1991.
- Budyko, M.I. et al.:** Antropogennye izmeneniya klimata. Gidrometeoizdat, Leningrad 1980.
- Buchtele, J. et al.:** Possible changes of flood flows due to climate warming (as simulated by the rainfall-runoff model). In: Proc. of the Regional Workshop on Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation. ČHMÚ, Praha 1995.
- Buchtele, J. et al.:** Simulace změn vodního režimu českých povodí podle klimatických scénářů aplikovaných v rámci EÚ. In: Zborník abstraktov, IV. Hydrologické dni Stará Lesná, SVH a SHMÚ 1996.
- Busarova, O. - Gusev, Y.:** Prediction of changes in the evapotranspiration and available water supply of vegetation for different climate scenarios over the territory of the FSU European part. In: Brázdil, R. - Kolář, M. ed.: Contemporary Climatology. Universitas Masarykiana Brunensis, Brno 1994.
- Cohen, S. - Strzepek, K. M. - Yates, L.:** Climate change and water balance components. In: Kaczmarek, Z. et al.: Water resources management in the face of climatic/hydrologic uncertainties. Kluwer, Dordrecht 1996.
- Corte-Real, J. - Campos, J.:** Disaggregation of precipitation time series for impact assessment of climate change. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- da Cunha, L.:** Water resources situation and management in the EEC. Hydrogeology, 2, 1989, s. 57-69.

- Čunderlík, J.: WatBal. Príručka užívateľa. Rukopis. SvF STU, Bratislava 1996.
- Čunderlík, J. - Hlavčová, K. - Szolgay, J.: Vplyv klimatickej zmeny na vnútroročné rozdelenie odtoku vo vybraných povodiach Slovenska. J. Hydrol. Hydromech., 1998 (v tlači).
- Dobi, I. - Mika, J.: On improvement of weather generators: non idealistic features of the annual cycles. In: Proc. of the Regional Workshop on Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation. ČHMÚ, Praha 1995.
- Dobrovolný, P.: Variation of the snow cover characteristics on the Czech - Moravian Highlands. In: Climatic change in the Historical and Instrumental Periods. Masaryk University, Brno 1950
- Dooge, J. C. I.: World climate impact studies programme. In: Jäger, J. - Ferguson, H. L. ed.: Climate Change: Science, Impacts and Policy. Cambridge University Press, Cambridge 1991.
- Douville, H. et al.: Simulation of the global water balance using the ISBA land-surface scheme in stand-alone and assimilation modes. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Dragoni, W. - Valigi, D. - Mastorillo, L.: Climatic variations and water resources: the case of the river Nestore (Central Italy). Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Dub, O. - Nemec, J.: Hydrologie. Technický průvodce 34. SNTL, Praha 1969.
- Dubrovský, M.: Met&Roll - The weather generator for the crop model. In: Proc. of the Regional Workshop on Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation. ČHMÚ, Praha 1995.
- Duckstein, L. - Bárdossy, A.: Hydrological risk under non-stationary conditions changing hydroclimatological input: part 2 - consequences and management. In: Proc. of the Gyorgy Kovacs symposium on water resources management. UNESCO, Paříž 1996.
- Dunkel, Z.: Examination of long-term changes of soil moisture content in Hungary. In: Brázdil, R. - Kolář, M. ed.: Contemporary Climatology. Universitas Masarykiana Brunensis, Brno 1994.
- Dunkel, Z.: Investigation of climatic variability influence on soil moisture in Hungary. In: XVIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Dvořák, V. - Hladný, J.: Impact of climate change on hydrology and water resources and adaptation for selected river basins in the Czech Republic. In: Proc. of the Regional Workshop on Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation. ČHMÚ, Praha 1995.
- Dzubák, M. - Szolgay, J.: Význam povrchových vodných zdrojov v koncepciách zásobovania východoslovenského regiónu pitnou vodou. In: AQUA 95, Trenčín 1995.
- Dzubák, M. - Hambek, B. - Szolgay, J.: Odhad dôsledkov klimatických zmien na vodné hospodárstvo a rámcový návrh adaptačných opatrení na ich zmiernenie. (Záverečná správa pre projekt Country Study Slovakia, Element iii.) SHMÚ, KVHK SvF STU a PD, Bratislava 1996.
- Eastman, J. R.: Idrisi user's guide. Clark University, Worcester 1992.
- Engman, E. T.: Recent advances in remote sensing in hydrology. US National Report for the 21st General Assembly of the IUGG. Colorado 1995.
- Entekhabi, D.: Recent advances in land - atmosphere interaction research. US National Report for the 21st General Assembly of the IUGG. Colorado 1995.
- Faško, P. - Nieplová, E. - Lapin, M.: Upravené GCM scenáre klimatickej zmeny pre Slovensko. Slovak Republic Country Study. SHMÚ, Bratislava 1995.
- Falge, E. M. et al.: Integration of forest stand physiology with interception, soil water storage, and percolation: evaluating potential climate change effects. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Fendeková, M.: Analýza zmien a variability režimu podzemných vôd územia SR. Správa NKP SR. Katedra podzemných vôd, PrF UK, Bratislava 1994.
- Fendeková, M.: Analýza zmien a variability režimu prameňov v oblastiach budovaných neovulkanickými horninami. Správa NKP SR. Katedra podzemných vôd, PrF UK, Bratislava 1995.
- Fogel, G. A. - Chernavskaya, M. M.: Information derived from indirect climatic indicators and methods of quantitative reconstruction. In: Climatic change in the Historical and Instrumental Periods. Masaryk University, Brno 1950
- Foufoula-Georgiou, E. - Krajewski, W.: Recent advances in rainfall modelling, estimation, and forecasting. US National Report for the 21st General Assembly of the IUGG. Colorado 1995.
- Gavrilița, A. - Vasiliev A. - Gribacinschi I.: Strategies of water resources management in the Republic of Moldova. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Gavrilița, A. - Branza, I.: Climate change in Moldova during the last 90 years. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Gavurnik, J. - Kullman, E. - Sadloňová, K.: Analýza zmien a variability hydrologických prvkov (analýza zmien a variability režimu prameňov územia SR). Správa NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1994.
- Gellens, D.: Climate change and streamflow and the sizing of flow control reservoirs: two catchments in Belgium. In: Kaczmarek, Z. et al.: Water resources management in the face of climatic/hydrologic uncertainties. Kluwer, Dordrecht 1996.
- Georgiadi, A. G.: Reconstruction of river runoff based on neutral proxy data. In: Climatic change in the Historical and Instrumental Periods. Masaryk University, Brno 1950
- Grabs, W. E.: Impacts of climate change on the hydrological regime of the Rhine river. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.

- Gribbin, J. ed.: Climatic change. Cambridge University Press. Cambridge 1977.
- Gottschalk, L. - Krasovskaia, I.: Interpolation of runoff to a regular grid net: theoretical aspects. In: Friend: Flow regimes from international experimental and network data. IAHS publ. no. 221, 1994.
- Gottschalk, L. - Krasowskaia, I.: Grid estimation of runoff data. Manuscript prepared for the WMO. Oslo 1997.
- Guttenberger, J.: Langjährihe Trends im Niederschlagsgeschehen und ihre Abhängigkeit von Orographie und Wetterlage. In: XVIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Halmová, D. - Miklánek, P. - Pekárová, P.: The simulation of climatic runoff regime change using HBV rainfall-runoff model. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Hartmut, G. - Bárdossy, A.: Optimisation of spatial correlation in precipitation data analysis. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Chen, T. - Bouraoui, F. - Vachaud, G.: Prediction of the effects of climatic changes and land use management on water resources by coupling of an hydrological with a GIS. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Church, M. R. - Bishop, G. D. - Cassell, D. L.: Maps of regional evapotranspiration and runoff/precipitation ratios in the north-eastern United States. Journal of Hydrology, 168, 1995.
- Chernavskaya, M. M.: Moistening changes on the Russian Plain during the historical period. In: Climatic change in the Historical and Instrumental Periods. Masaryk University, Brno 1950.
- Jaagus, J.: The impact of climate change on the snow cover pattern in Estonia. In: Proc. of the Regional Workshop on Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation. ČHMÚ, Praha 1995.
- Jäger, J. - Ferguson, H. L. eds.: Climate change: Science, impacts and policy. Cambridge University Press. Cambridge 1991.
- Kaczmarek, Z.: Water balance model for climate impact analysis. ACTA Geophysicaolonica, 41 (4), 1993.
- Kaczmarek, Z. - Kundzewicz, Z. - Priazhinskaya, V.: Climate change and water resources planning. In: Kaczmarek, Z. et al.: Water resources management in the face of climatic/hydrologic uncertainties. Kluwer, Dodrecht 1996.
- Kaczmarek, Z. - Strzepek, K. M. - Somlyódy, L.: Water resources under climatic variability. In: Kaczmarek, Z. et al.: Water resources management in the face of climatic/hydrologic uncertainties. Kluwer, Dodrecht 1996.
- Kakos, V.: Fluctuations in the frequency of floods on the Vltava river in Prague in relation to meteorological observations at Prague-Klementinum. In: Climatic change in the Historical and Instrumental Periods. Masaryk University, Brno 1950.
- Kitanidis, P. K.: Recent advances in geostatistical inference on hydrogeological variables. In: US National Report for the 21st General Assembly of the IUGG. Colorado 1995.
- Klemeš, V. - Nemec, J.: Assessing the impact of climate change on the development of surface water resources. 2nd Int. Meet. Stat. Climatol., Inst. Nac. Meteorol. Geofis., Lisbon, pp. 8.2.1-8.2.8.
- Klemeš, V.: Climate change and its impact on the planning and design of water resource projects. Aspiration and realities. Proc. of Canadian Climate Program Water Workshop 1980.
- Klemeš, V.: Climate change and the planning of water resource systems. Proc. of 6th Canadian Hydrotechnical Conference. CSCE 1983.
- Klemeš, V.: Effect of hypothetical climate change on reliability of water supply from reservoirs. Report of National Hydrol. Res. Inst. to WMO 1982.
- Koleva, E. - Boroneant, C.: Temporal variation of the daily extreme high precipitation in the lower Danube basin. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Koleva, E. - Kristev, L.: Variation of the snow cover characteristics in mountain region of Bulgaria. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Koppány, G. - Csikász, L.: An attempt to prediction of drought in Hungary. In: Brázdil, R.- Kolář, M. ed.: Contemporary Climatology. Universitas Masarykiana Brunensis. Brno 1994.
- Kos, Z.: Soil - water balance under climate change. In: XVIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Kulshreshtha, S. N. - Kos, Z. - Priazhinskaya, V.: Implications of climate change for future water demand. In: Kaczmarek, Z. et al.: Water resources management in the face of climatic/hydrologic uncertainties. Kluwer, Dodrecht 1996.
- Kullman, E. - Slamka I. - Gavurník, 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.
- Kusendová, D.: Skúsenosti z výberovej digitalizácie máp. In: Rastovanie a vektorizácia máp. Kartografická spoločnosť SR, Bratislava 1994.
- Kutas, W. P.: Recent advances associated with large scale field experiments in hydrology. US National Report for the 21st General Assembly of the IUGG. Colorado 1995.
- Kutiél, H. - Kay, P. A.: Some remarks in climatic maps of precipitation. In: Brázdil, R.- Kolář, M. ed.: Contemporary Climatology. Universitas Masarykiana Brunensis. Brno 1994.
- Kyncl, J. - Dobrý, J. - Munzar, J. - Sarajishvili, K. G.: Three - ring response of conifers in Europe to weather conditions in 1912 (with regard to the volcano Katmai eruption). In: Climatic change in the Historical and Instrumental Periods. Masaryk University, Brno 1950.

- Lanza, L. - Barbera, P. - Siccardi, F.:** Rainfall field analysis and assessment of flood hazard at the regional scale. In: Sevruck, B. - Lapin, M. ed.: *Precipitation Variability and Climate Change*. SHMU a ETHZ, Bratislava 1993.
- Lapin, M.:** Assessment of the Slovak Republic's vulnerability to climate change and adaptive strategies design. *J. Hydrol. Hydromech.*, 43, 1995, 4 -5, 354-370.
- Lapin, M. - Nieplová, E. - Faško, P.:** Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. In: NKP 3/95. MŽP SR a SHMÚ, Bratislava 1995.
- Lapin, M.:** Scenáre klimatickej zmeny. In: NKP 6/97. MŽP SR a SHMÚ, Bratislava 1997.
- Lins, H. F. - Shiklomanov, I. A. - Stakhiv, E. Z.:** Impact on hydrology and water resources. In: Jäger, J. - Ferguson, H. L. ed.: *Climate Change: Science, Impacts and Policy*. Cambridge University Press. Cambridge 1991.
- Lobanov, V. A. - Lobanova, H. V.:** Methodology and methods of super-long-term forecasting of Danube discharges. Proc. XVIIIth Conference on the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. TU Graz. Graz 1996.
- Lobanov, V. A. - Lobanova, E. V.:** Methodology of hydrological computations and super long forecasts in conditions of climate changes and man's impacts. In: XVIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Lobanov, V. A.:** Approach of water resources management under climate change. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. *Annales Geophysicae* 1997.
- Lobanova, E. V. - Lobanov, V. A.:** Application of equations of water balance structure for assessment of climatic changes and man's impacts. In: XVIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Loucks, D. P.:** Quantifying system sustainability using multiple risk criteria. In: Proc. of the Gyorgy Kovacs symposium on water resources management. UNESCO, Paríž 1996.
- Lukniš, M.:** Reliéf. In: *Slovensko 2 - Príroda*. Obzor, Bratislava 1972.
- Mageanu, C.:** Trends and cyclicities of the river runoff on Romania's territory. In: XVIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Majerčáková, O. - Šedík, P.:** Výber mesačných radov hydrologických prvkov a analýza ich spoľahlivosti. Analýza zmien variability hydrologických prvkov. Správa pre NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1994.
- Majerčáková, O. - Minárik, B.:** The possible change of Slovak water balance with respect to climate change. In: Proc. of the Regional Workshop on Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation. ČHMÚ. Praha 1995.
- Majerčáková, O. - Šedík, P. - Cagardová, Ž.:** Odhad možných zmien odtoku počas roka na základe štatistického modelu. Správa pre NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1995.
- Majerčáková, O. - Šedík, P.:** Analýzy účinkov potenciálnych klimatických zmien podľa konkrétnych klimatických scenárov na priemerné mesačné odtoky na tokoch Slovenska. Komparácia možných zmien odtoku v dôsledku potenciálnych klimatických zmien s historickými zmenami odtoku. Správa pre NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1996.
- Manukalo, V. - Kosovets, O. - Boiko, V.:** Estimation of the regional climate change influence on flood runoff in the rivers of the Ukrainian Carpathians. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. *Annales Geophysicae* 1997.
- Matulík, J.:** Prehodnotenie profilov vodárenských nádrží. 2. etapa. VÚVH, Bratislava 1996.
- Mika, J. - Dobi, I. - Bálint, G.:** Changes in means and variability of river flow in the Tisza basin: scenarios and implications. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. *Annales Geophysicae* 1997.
- 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.:** On the problem of downscaling climate changes projected by general circulation models. In: Brázdil, R. - Kolář, M. ed.: *Contemporary Climatology*. Universitas Masarykiana Brunensis. Brno 1994.
- Mika, J.:** Regional climate scenarios by energy and water balance modelling. In: XVIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 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, K. A. - Rhodes, S. L. - MacDonell, L. J.:** Water allocation in a changing climate: institutions and adaptation. *Climate change*, Vol 35., No. 2, 1997.
- Mimikou, M. A. - Baltas, E. A.:** Climate change impacts on reservoir operation. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. *Annales Geophysicae* 1997.
- Mlostek, E.:** Temperature conditions of Wroclaw and its surroundings (SW Poland) in the 18th century. In: *Climatic change in the Historical and Instrumental Periods*. Masaryk University, Brno 1950.
- Mosný, V.:** Dôsledky zmien teploty vzduchu a zrážok na zmeny variability odtoku v modelovom povodí Hrona. Správa pre NKP SR. SvF STU, Bratislava 1994.
- Mukhin, V. M.:** Modelling of floods at mountain rivers under different scenarios of climate changes. In: XVIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Munzar, J.:** The analysis of the input data for a study of climatic fluctuations. In: *Climatic change in the Historical and Instrumental Periods*. Masaryk University, Brno 1950.

- Munzar, J.:** The beginnings of regular meteorological observations in the Czech lands from the 16th to the 18th centuries. In: Climatic change in the Historical and Instrumental Periods. Masaryk University, Brno 1950.
- Nacházel, K.:** Nepublikovaný rukopis. Osobná komunikácia. 1997.
- Nemes, C.:** Drought tendencies in Hungary. In: Proc. of the Regional Workshop on Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation. ČHMÚ, Praha 1995.
- Niekamp, O. - Hugel, T.:** Der Einfluss von Klimaänderungen auf Schneedeckenentwicklung und Schneeschmelze in den bayerischen Mittelbirgen. In: XVIIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Novák, V.:** Vplyv klimatických zmien na ročné bilancie vody na území Slovenska. J. Hydrol. Hydromech.: 43, 1-2, 1995.
- Oeschger, H.:** Paleoclimates and the greenhouse effect. In: Jäger, J. - Ferguson, H.L. eds.: Climate change: Science, impacts and policy. Cambridge University Press. Cambridge, 1991.
- Olecka, A.:** Construction of the climate change scenarios using weather generator. In: Proc. of the Regional Workshop on Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation. ČHMÚ, Praha 1995.
- Orlob, G. T. et al:** Impact of climate change on water quality. In: Kaczmarek, Z. et al.: Water resources management in the face of climatic/hydrologic uncertainties. Kluwer, Dordrecht 1996.
- Pálfai, I. - Moga, T. L. - Lábdy, J.:** Die durch die Durre gefährdeten Regionen des Donaueinzugsgebietes. In: XVIIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Pandžič, K. - Trninič, D.:** Comparison of long-term annual precipitation and discharge in the Sava river basin with global atmospheric circulation. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Parajka, J.:** Mapovanie prvkov hydrologickej bilancie. [Diplomová práca.] Bratislava 1994.
- Petrovič, P.:** Budúci odtokový režim povodia Nitry. Správa pre NKP SR. ÚVÚH, Bratislava 1996.
- Pekárová, P. - Halmová, D. - Miklánek, P.:** Simulácia režimu odtoku za zmenených klimatických podmienok v povodí Ondavy. J. Hydrol. Hydromech., 44, 1996, 5, 291-311.
- Petrovič, P.:** Climate change impact on the water management in the Nitra basin (Slovakia). Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Pfister, Ch.:** Reconstructing weather and climate in Central Europe over the last centuries. In: Climatic change in the Historical and Instrumental Periods. Masaryk University, Brno 1950.
- Poárová, J. - Demeterová, B. - Podolinská, J. - Škoda, P.:** Porovnanie prietokových radov za obdobie 1931-1980 a 1931-1995. Správa pre NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1996.
- Priazhinskaya, V. G.:** Climate change effect on agricultural water demand in Russia. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Přenosilová, E. - Nacházel, K. - Patera, A.:** Estimating the impact of climate change on utilisation of surface water resources. In: XVIIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Rowntree, P. R - Lean, J.:** Validation of hydrological schemes for climate models against catchment data. Journal of Hydrology, 155, 1994.
- Salas, J. D.:** Analysis and Modelling of Hydrologic Time Series. Chapter 19, Handbook of Hydrology. New York 1992.
- Salewicz, K. A.:** Impact of climate change on the lake Kariba hydropower scheme. In: Kaczmarek, Z. et al.: Water resources management in the face of climatic/hydrologic uncertainties. Kluwer, Dordrecht 1996.
- Sarma, K. M.:** Adaptation measures. In: Jäger, J.- Ferguson, H. L. ed.: Climate Change: Science, Impacts and Policy. Cambridge University Press. Cambridge 1991.
- Semyonov, V. A. - Alexeyeva, A. K. - Dektyarenko, T. I.:** Variations of the river runoff in the Danube River Basin as a result of climate changes. In: XVIIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. HNC IHP, Budapest 1994.
- Sept, V. et al.:** Estimating the thunderstorm frequency north of the Alps by means of statistical-dynamical downscaling. In: Proc. of the Regional Workshop on Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation. ČHMÚ, Praha 1995.
- Serban P. - Corbus, C.:** Impact of the climatic changes on the water resources. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Serban, P. - Corbus, C.:** Impact of the climatic changes on the water balance of a basin. Proc. XVIIIth Conference on the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management. TU Graz. Graz 1996.
- Sevruk, B. - Lapin, M. eds.:** Precipitation variability and climate change. SHMI, ETHZ, Bratislava 1993.
- Shamir, U.:** Risk and reliability in water resources management: theory and practice. In: Proc. of the Gyorgy Kovacs symposium on water resources management. UNESCO, Paríž 1996.
- Shnaydman, V. M., Niemann, J. D.:** Climate change and water resources management strategy: the Terek river basin. In: Kaczmarek, Z. et al.: Water resources management in the face of climatic/hydrologic uncertainties. Kluwer, Dordrecht 1996.
- Sircoulon, J.:** Climate, water and development. In: Jäger, J.- Ferguson, H. L. ed.: Climate Change: Science, Impacts and Policy. Cambridge University Press. Cambridge 1991.

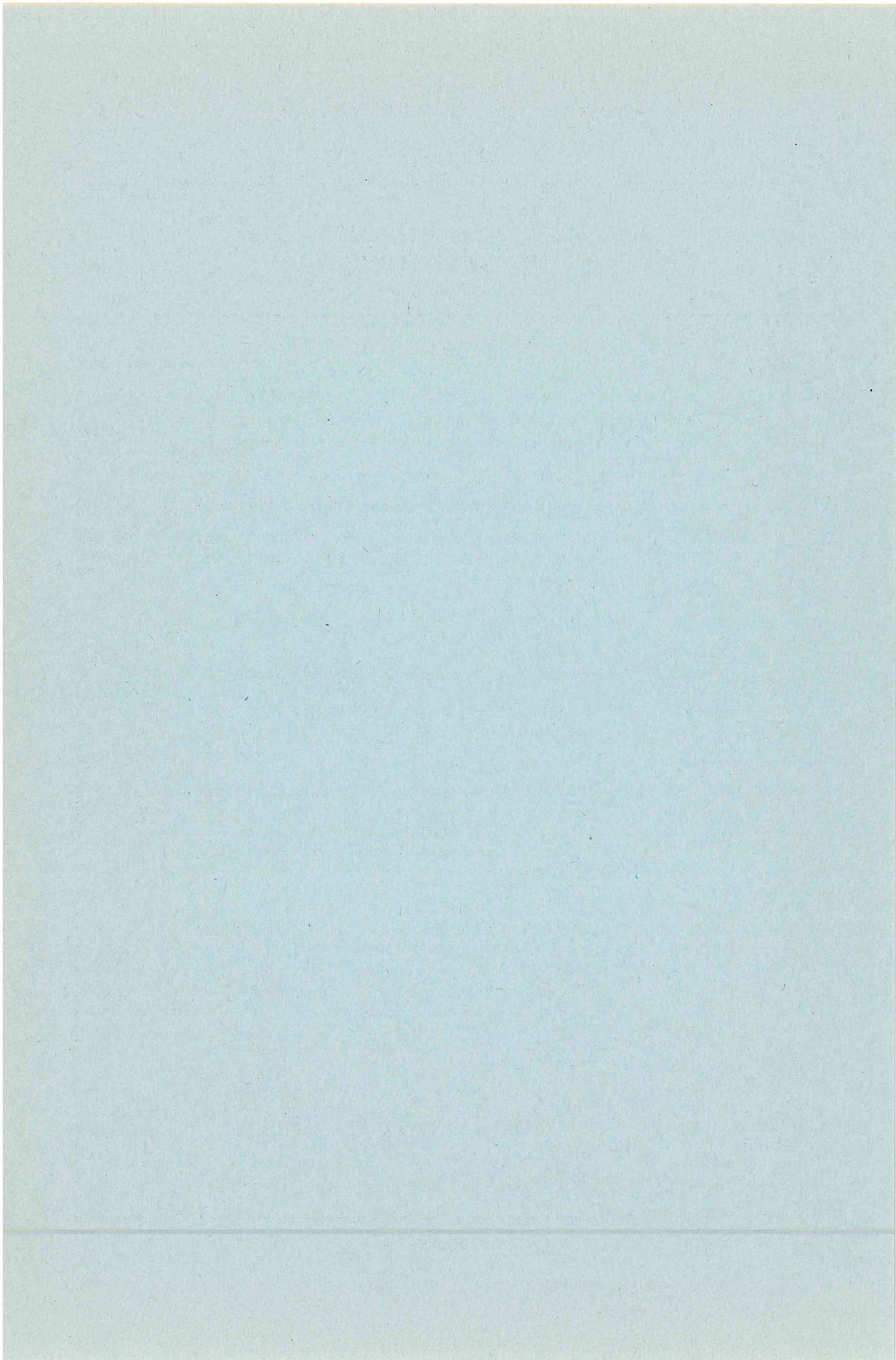
- Solomon, S.I. et al.:** Square grid system for computer estimation of precipitation, temperature and runoff. *Water Resources Research*, no. 5, 1968.
- Sosedko, M.:** Regular alternation of high and low streamflow periods in the river basins of the Carpathians. *Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae* 1997.
- Stancalie, G. - Adler, M. J.:** Natural and anthropogenic factors contributing at the aridisation tendency in Romania, case study in the coal basin Montru. In: *Proc. of the Regional Workshop on Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation*. ČHMÚ, Praha 1995.
- Stancalie, G. - Adler, M. J.:** The climatic and anthropogenic impacts on the Motru Basin of Romania. *Proc. XVIIIth Conference on the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. TU Graz. Graz 1996.
- Stanescu, V. A., Bonacci, O.:** Man's and climate change influence on the water resources. In: *XVIIIth Conference of the Danube Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. HNC IHP, Budapest 1994.
- Stanescu, V. Al. - Simota, M. - Corbus, C.:** Upscaling procedure for the assessment of the potential impact of climate change upon water resources. *Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae* 1997.
- 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.
- Szentimrey, T.:** Statistical methods for detection of inhomogeneities. In: *Proc. of the Regional Workshop on Climate Variability and Climate Change Vulnerability and Adaptation*. ČHMÚ, Praha 1995.
- Szolgay, J. et al.:** Návrh na vypracovanie alternatívnych riešení využitia zdrojov pitnej vody v oblasti vodárenskej nádrže Tichý Potok na základe posúdenia vplyvov na životné prostredie. Záverečná správa. KVHK SvF STU, Bratislava 1994.
- Szolgay, J. - Dzubák, M. - Hlavčová, K. - Mosný, V. - Demeterová, B.:** Analýza hydrologických pomerov hornej Torysy. Záverečná správa. KVHK SvF STU, Bratislava 1995.
- Szolgay, J. - Hlavčová, K. - Mosný, V.:** Časové a priestorové hodnotenie charakteru kolísania prvkov hydrologickej bilancie na území východného Slovenska. Záverečná správa pre NKP SR. KVHK SvF, Bratislava 1995.
- Szolgay, J. - Čunderlik, J. - Parajka, J.:** Scenáre zmien odtokového režimu vo vybraných kotlinách a pahorkatinách Slovenska. Národný klimatický program. SHMU, Bratislava 1996.
- Szolgay, J. - Dzubák, M. - Čunderlik, J. - Parajka, J.:** Odhad potenciálnych dôsledkov klimatickej zmeny na hydrologický cyklus na Slovensku. Záverečná správa pre Country study SR. Bratislava 1996.
- Szolgay, J. - Parajka, J. - Hlavčová, K.:** Scenáre zmien odtoku pre južné oblasti východného Slovenska v dôsledku očakávaných zmien klímy. In: *Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia*. ÚH SAV, Michalovce 1996.
- Szolgay, J. - Čunderlik, J. - Parajka, J.:** Scenáre zmien odtokového režimu vo vybraných kotlinách a pahorkatinách Slovenska. Správa pre NKP SR. Katedra vodného hospodárstva krajiny SvF STU, Bratislava 1996.
- Szolgay, J. - Hlavčová, K. - Parajka, J. - Čunderlik, J.:** Zhodnotenie kapacít povrchových zdrojov vody vo východoslovenskom regióne. Záverečná správa. SvF STU, Bratislava, 1997.
- Szolgay, J. - Hlavčová, K. - Mosný, V. - Parajka, J.:** Časové a priestorové zmeny hydrologickej bilancie na území východného Slovenska. STU, Bratislava 1997.
- Šanta, M.:** Vplyv klimatických zmien na poľnohospodársku výrobu a opatrenia na ich zmiernenie. In: *Prognózované zmeny klímy a zmiernenie ich negatívneho vplyvu na krajinné a životné prostredie*. SPPK, ÚKIS, VÚZH, Bratislava 1994.
- Šimiček, B.:** Scenáre zmien dlhodobého priemerného ročného prietoku na východnom Slovensku. Diplomová práca. Bratislava 1997.
- Škoda, P. - Turbek, J.:** Návrh siete hydrologických staníc na monitoring zmien klímy. Správa pre NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1994.
- Škoda, P. - Turbek, J.:** Návrh siete hydrologických staníc na monitoring zmien klímy. Správa pre NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1995.
- 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.
- Takáčová, D.:** Možné dôsledky klimatických zmien v režime podzemných vôd - časť dolný Hron. Správa pre NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1995.
- Takáčová, D.:** Možné dôsledky klimatickej zmeny v režime podzemných vôd - časť dolný Hron. Správa pre NKP SR. SHMÚ, Bratislava 1996.
- Thomas, J. F. - Bates, B. C.:** Response to the variability and increasing uncertainty of climate in Austria. In: *Proc. of the Gyorgy Kovacs symposium on water resources management*. UNESCO, Paríž 1996.
- Tomlain, J.:** Distribution of potential evapotranspiration on the territory of Slovakia for 1951-80. *Meteorological Bulletin*, 43(6), 1990.
- Tveito, O. E. - Forland, E. J.:** Mapping climatological elements using Geographical Information Systems (GIS). *Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae* 1997.
- Turc, L.:** Le bilan d'eau des sols: Relations entre les précipitations l'évaporation et l'écoulement. *Annales Agronomiques*, no. 4, 1954.
- Turčan, J.:** Dôsledky zmien klímy na stokovanie miest. Správa pre NKP SR. Bratislava 1995.

- Turčan, J.:** Vplyv klimatických zmien na odľahčenie dažďových vôd zo stokových sietí. Správa pre NKP SR. Bratislava 1996.
- Van Mierlo, J. C. M.:** Simulation of regional precipitation and temperature using atmospheric circulation patterns out of GCM's with a stochastic weather generator model. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Varis, O. - Somlyódy, L.:** Potential impact of climate change on lake and reservoir water quality. In: Kaczmarek, Z. et al.: Water resources management in the face of climatic/hydrologic uncertainties. Kluwer, Dordrecht 1996.
- Vishnevskii, V.:** Climate change on the territory of Ukraine and Byelarus and its influence on river runoff. Proc. of the 22nd General EGS Assembly. Part II. Supplement II. Vol. 15. Annales Geophysicae 1997.
- Vogel, R. M. et al:** Regional assessment of the impact of climate change on the reliability, resilience and vulnerability of water supply systems. In.: Proc. of the Gyorgy Kovacs symposium on water resources management. UNESCO, Paríž 1996.
- Votruba, L. - Broža, V.:** Hospodaření s vodou v nádržích. SNTL, Praha 1980.
- Zaťko, M. - Trizna, M.:** Analýzy časových a priestorových zmien vybraných prvkov režimu odtoku, kolísanie hladiny PZV 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 PrF UK, Bratislava 1994.
- Zaťko, M. - Trizna, M.:** 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 PrF UK, Bratislava 1995.
- 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 PrF UK, Bratislava 1996.
- Zborník prác SHMÚ, zv. 33/I.** Klimatické pomery na Slovensku. Vybrané charakteristiky. Alfa, Bratislava 1991.
- Wateren-de Hoog, B.:** The effects of climate variability on discharge as dependent on catchment characteristics in the Upper Loire basin, France. Hydrological Sciences Journal, 40, 5, October 1995.
- Weidinger, T. - Matyasovszky, I.:** Estimation of local hydrological parameters reflecting climate change for lake Balaton. In: Sevruc, B. - Lapin, M. ed.: Precipitation Variability and Climate Change. SHMU a ETHZ. Bratislava 1993.
- Wolock, D. M. et al:** Effect of climate change on water resources in Delaware river basin. In: Kaczmarek, Z. et al.: Water resources management in the face of climatic/hydrologic uncertainties. Kluwer, Dordrecht 1996.
- Yates, D.:** WatBal - An integrated water balance model for climate impact assessment of river basin runoff. Laxenburg, IASA 1994.
- Yoshino, M.:** Reconstruction of rainy season in early summer over East Asia during the historical period. In: Climatic change in the Historical and Instrumental Periods. Masaryk University, Brno 1950.

NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM
SLOVENSKEJ REPUBLIKY

NATIONAL CLIMATE PROGRAMME
OF THE SLOVAK REPUBLIC

Riešiteľ:	RNDr. Oľga Majerčáková, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
Lektor:	RNDr. Milan Lapin, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
Riešiteľ:	RNDr. Milan Lapin, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
Lektor:	RNDr. Oľga Majerčáková, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
Riešitelia:	Ing. Eugen Kullman - RNDr. Peter Škoda, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
Lektor:	RNDr. Milan Lapin, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
Riešitelia:	RNDr. Oľga Majerčáková, CSc. - Pavol Šedík, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
Lektor:	RNDr. Milan Lapin, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
Riešitelia:	Ing. Jana Poórová - Ing. Jana Podolinská, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, Banská Bystrica
Lektor:	RNDr. Milan Lapin, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
Riešiteľ:	Pavol Šedík, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
Lektor:	RNDr. Oľga Majerčáková, CSc., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava
Projekt:	MŽP SR Výskum zmien kvality ovzdušia, klimatické zmeny a narušovanie ochranných vlastností atmosféry - NKP SR
Zadávatel:	Ministerstvo životného prostredia SR, Bratislava



SCENÁRE KLIMATICKEJ ZMENY V SLOVENSKEJ REPUBLIKE

Milan Lapin

Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

ABSTRACT

Lapin M., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia: Climate Change Scenarios for the Slovak Republic. Long-term air temperature (T) changes and variability in Slovakia is possible to describe according to the observations at the Hurbanovo (Figure 1 and 2). Areal precipitation totals (R) for Slovakia were calculated by the double weighted averages method from monthly totals of 203 stations in the 1881-1995 period (Figure 1, 3 and 4). Changes of annual T means in Slovakia are in accordance with the Global T changes, Figure 5. Increase of mean annual air temperature (T) by about 1 °C and decrease of annual precipitation totals (R) by about 15 % in the south, and by about 5 % in the north of Slovakia as well as significant relative air humidity (U) decrease in the south-western Slovakia and snow cover decrease nearly in all Slovakia were found. Preliminary air temperature change scenarios were prepared for the CSFR (Czecho-Slovakia) in 1991 and preliminary analogues climate change scenarios were issued in December 1993 with respect of 1 - 2 °C mean annual warming about the year 2025 compared to 1951 - 1980 means. Regional modification of the General Circulation Models (GCMs) outputs (GISS, CCCM and GFD3) was completed in 1995. All regional climate scenarios - GCMs based, updated analogues and incremental scenarios for Slovakia were issued in 1996. The Slovak Republic's Country Study and the National Climate Programme experts could use these regional scenarios gradually since January 1995. The selected results are presented in Tables 1 - 4 (more information can be found in Lapin, Nieplová and Faško, 1995, 1996).

ÚVOD

Klíma na Slovensku je charakteristická tým, že je tu prirodzene veľká časová aj územná premenlivosť počasia. Pritom pod pojmom počasie rozumieme okamžitý stav meteorologických prvkov (napríklad teplota vzduchu) alebo meteorologických javov (napríklad hmľa). Okamžité hodnoty teploty vzduchu kolíšu napríklad v Hurbanove v zime v intervale od -35 °C do +19 °C. Aj keď spriemerujeme okamžité hodnoty za jeden mesiac alebo aj za celý rok, sú medzi jednotlivými rokmi dosť veľké rozdiely, ktoré sa dajú vyjadriť napríklad smerodajnou alebo kvartilovou odchýlkou. Kvartilová odchýlka (interval normálu) je veľmi zrozumiteľnou charakteristikou klímy, lebo zahŕňa polovicu všetkých prípadov výskytu, a to takých, ktoré sú najbližšie k dlhodobému priemeru (presne k prostrednej hodnote výskytu - k mediánu, ak si zoradíme všetky údaje do radu podľa veľkosti). V klimatológii (ale aj v iných aplikáciách) sa často používajú dlhodobé priemery (alebo normály) teploty vzduchu a úhrnov zrážok, ktoré sú spracované spravidla za 30-ročné obdobia (1931-1960, 1951-1980, 1961-1990). Aj medzi takýmito dlhodobými charakteristikami existujú určité rozdiely, ktoré môžeme výstižne vyjadriť hodnotami odchýlok kľzavých 30-ročných priemerov, kľzavej 30-ročnej smerodajnej odchýlky alebo kľzavého 30-ročného variačného koeficientu (úhrny zrážok).

Na obr. 1 uvádzame časový priebeh priemerov teploty vzduchu (T) v Hurbanove a územných úhrnov zrážok (R) na Slovensku za hydrologické roky 1900/1901 až 1996/1997. Všeobecný rast T a pokles R je tu zreteľne dokumentovaný. Vzhľadom na tesnú koreláciu ročných priemerov T na všetkých staniaciach v SR až do nadmorskej výšky 1000 m nie je potrebné dokumentovať rastúci trend T na územných priemeroch T.

Na obr. 2 uvádzame absolútne odchýlky priemerov, maxim a minim 30-ročných kľzavých charakteristík priemerov T v Hurbanove od obdobia 1951-1980 (považovaného za základný scenár podľa IPCC - medzivládny panel pre klimatické zmeny). Vidíme, že toto obdobie bolo všeobecne teplejšie ako celkové obdobie 1871-1995 (najviac v zime), no vyskytli sa aj oveľa teplejšie 30-ročné obdobia (najviac na jar) a oveľa chladnejšie obdobia (najviac v zime - až o -1,4 °C). Smerodajná odchýlka za celkové obdobie 1871-1995 bola všeobecne vyššia ako za obdobie 1951-1980 (najviac v lete), no tiež sa vyskytli oveľa vyššie a nižšie 30-ročné smerodajné odchýlky (najmä na jeseň, v zime a na jar). V lete sa smerodajná odchýlka v období 1951-1980 blížila k minimu zo všetkých 30-ročných kľzavých charakteristík (obdobie 1871-1995).

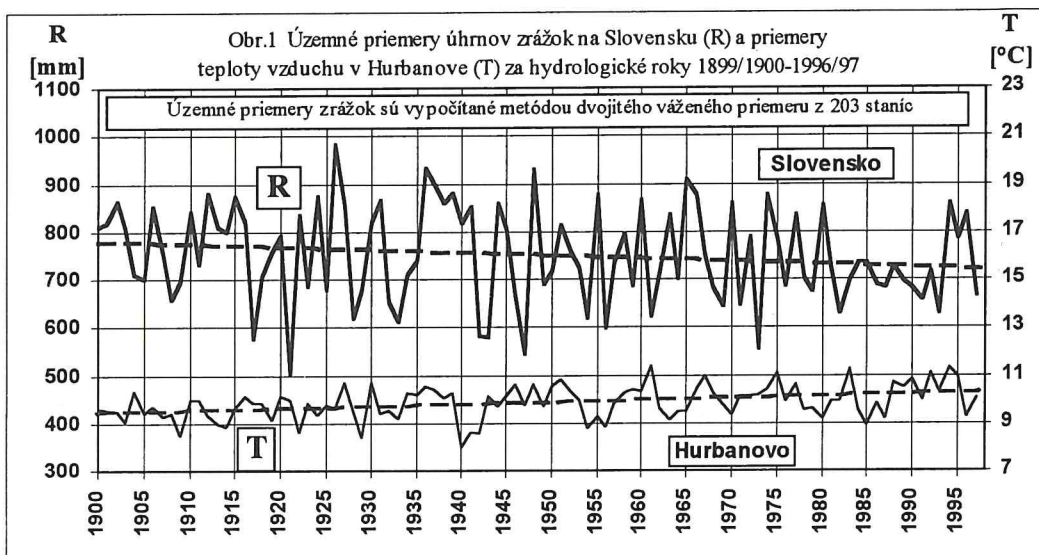


Figure 1 Areal precipitation totals in Slovakia (R) and air temperature means (T) at Hurbanovo in hydrological years (Nov.-Oct.) 1899/1900-1996/1997

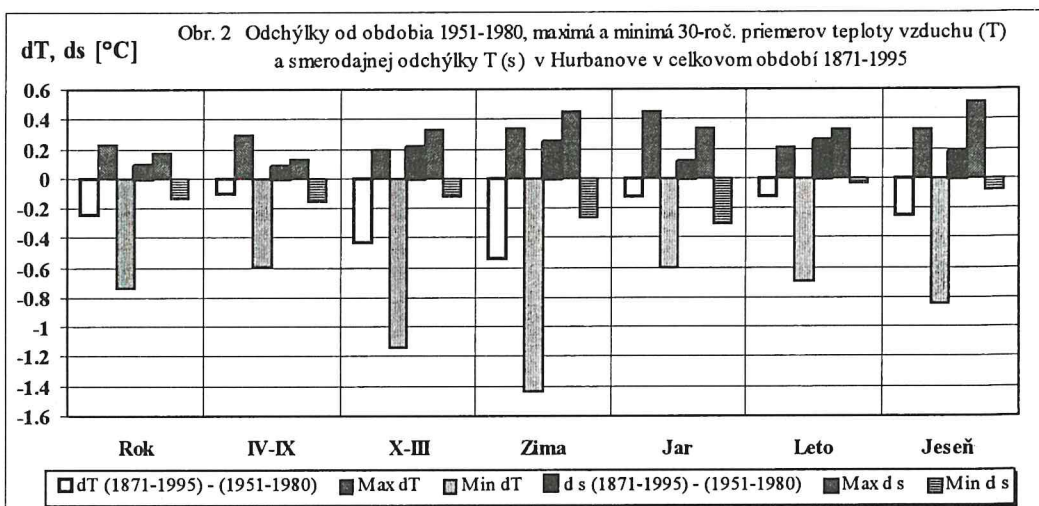


Figure 2 Deviation of 1871-1995 means and moving 30-year's maxima and minima (T means and T standard deviations) from the 1951-1980 values

Na obr. 3 uvádzame priemery, maximá a minimá 30-ročných kľzavých hodnôt variačného koeficientu územných úhrnov R na Slovensku v období 1881-1996. Zreteľne je vidieť, že relatívna premenlivosť R je najmenšia pri ročných hodnotách (13 % dlhodobého priemeru) a najväčšia na jeseň (31 % dlhodobého priemeru). Celoslovenské R majú pochopiteľne menšiu premenlivosť ako na jednotlivých staniciach (pri porovnaní s Hurbanovom je to pre rok 13 % a 18 %, pre jeseň 31 % a 37 %, pre jar a leto 24 % a 35 %, pre október 59 % a 73 % a pre jún 30 % a 50 %). Ak by sme vyhodnotili variačný koeficient pre sezónne, mesačné, dekádne (10-denné) a pentádne (5-denné) úhrny na jednotlivých staniciach, tak by sme zistili, že C_v rastie so zmenšovaním obdobia a pri pentádnych dosahuje na jeseň v Hurbanove až 174 % dlhodobého priemeru. Tiež vidíme, že sa vyskytujú pomerne veľké rozdiely aj medzi jednotlivými 30-ročnými kľzavými obdobiami (v SR na jar najviac 27 % a najmenej 16 %).

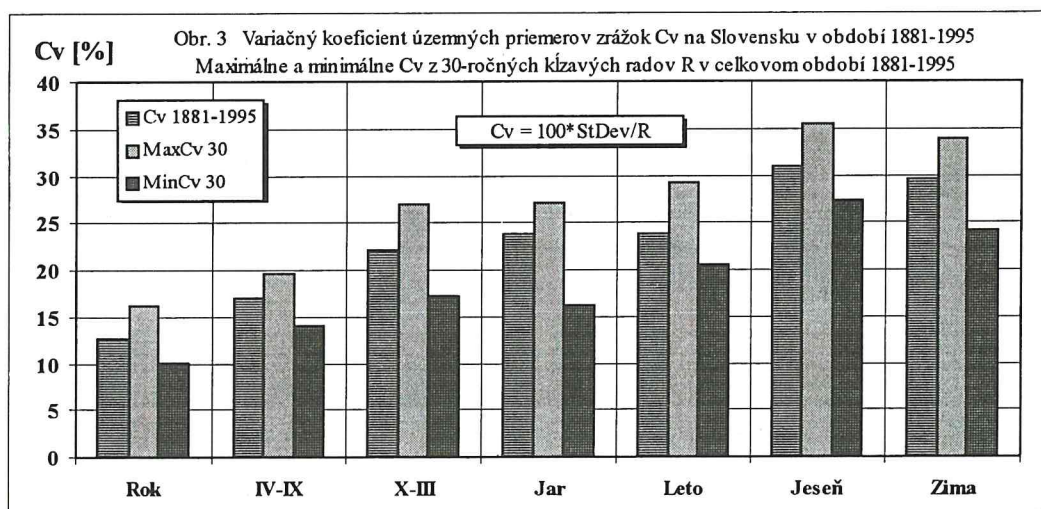


Figure 3 Variance coefficient of areal precipitation totals in Slovakia in the 1881-1995 period, maxima and minima of 30-year's moving variance coefficients

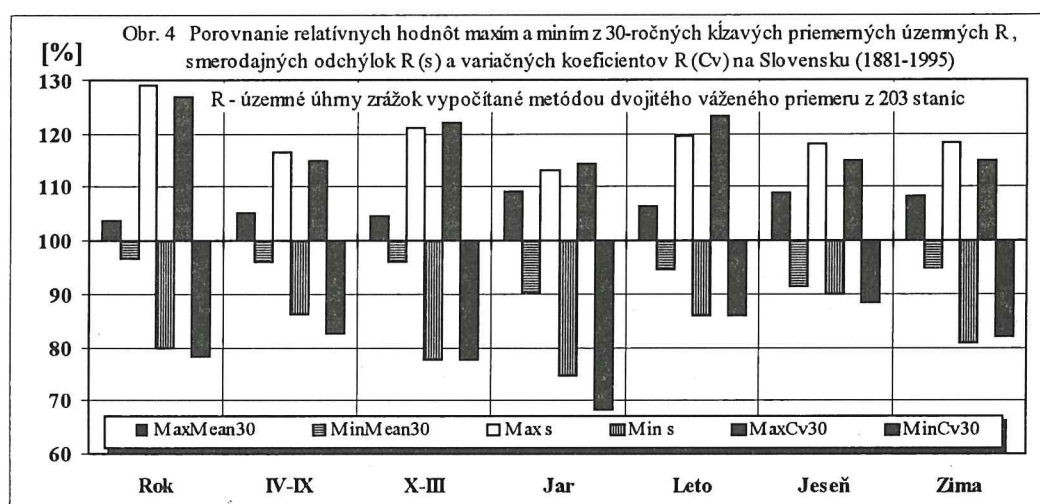


Figure 4 Comparison of relative moving 30-year's values of maxima and minima of means, standard deviations and variance coefficients for areal precipitation totals in Slovakia in 1881-1995

Na obr. 4 vidíme relatívne porovnanie základných zrážkových charakteristík pre územné R v jednotlivých obdobiach roka. Je vidieť, že 30-ročné priemery R sa relatívne ďaleko menej menili v celkovom období 1881-1995 ako smerodajná odchýlka a variačný koeficient. Platí to najmä pri ročných R. Na druhej strane, na jar a na jeseň je porovnateľný rozptyl priemerov, smerodajnej odchýlky a variačného koeficientu R.

V 20. storočí sa celosvetová priemerná teplota vzduchu pomaly zvyšuje a v roku 1995 bola vôbec najvyššia od roku 1865 (odvtedy je možné vyhodnotiť ju na základe priamych meraní). Ako vidíme na obr. 5 je aj rast T v Hurbanove v súlade s týmto celosvetovým trendom, iba premenlivosť je podstatne väčšia. Je to dané tým, že odchýlky nie sú rovnaké na celom svete (na niektorých miestach je v jednotlivých rokoch teplejšie, inde zas chladnejšie, ako je dlhodobý priemer) a ak urobíme priemer z vyše 200 reprezentatívnych pozorovacích staníc na svete, dostaneme pomerne málo premenlivé hodnoty. Pozoruhodné na obidvoch krivkách je to, že v posledných rokoch sa dosahovali aj v Hurbanove aj na celom svete neobvyčajne vysoké hodnoty. Zníženie v relatívne chladnom roku 1996 je menšie ako v minulosti, rok 1997 bude predbežne teplejší ako 1996 tak v Hurbanove, ako aj na celom svete.

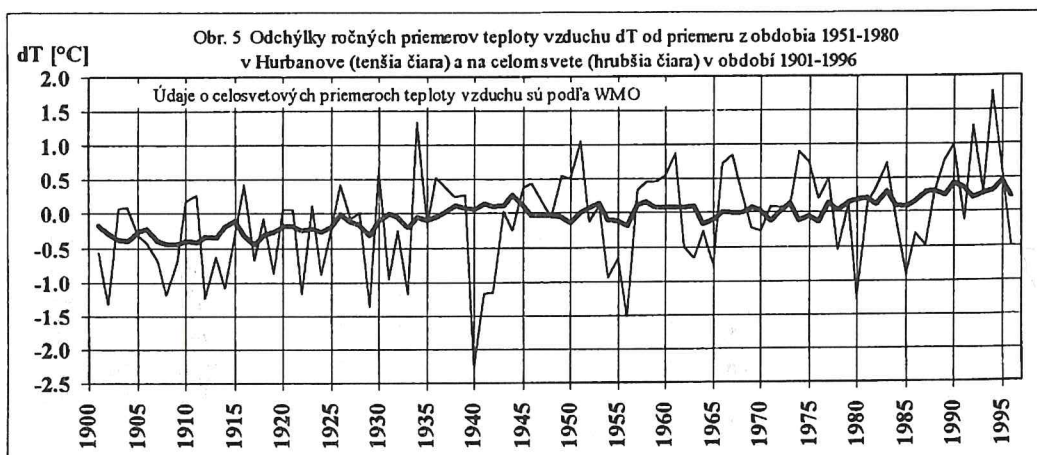


Figure 5 Deviation of annual air temperature means (T) from the 1951-1980 average for Global T (bold line) and Hurbanovo T (thin line)

METÓDY PRÍPRAVY SCENÁROV KLIMATICKEJ ZMENY

Cieľom tohoto príspevku je stručne naznačiť problematiku scenárov možného vývoja klímy v prípade, ak ľudstvo nebude venovať pozornosť rastu skleníkového efektu atmosféry, čiže sa bude správať tak ako doteraz alebo si to uvedomí a prijme určité opatrenia na redukcii emisie skleníkových plynov do atmosféry. Scenáre zmeny klímy (možného vývoja klímy) sa netýkajú prirodzených zmien klímy, ktoré budú zrejme existovať tak ako doteraz, iba premenlivosť sa možno trochu zmení. Scenáre zmeny klímy hovoria iba o možnej modifikácii dlhodobého vývoja klímy vplyvom antropogénne podmieneného rastu skleníkového efektu atmosféry. Vzhľadom na to, že ide o modelové výpočty založené na určitých vstupoch a na určitej teórii možného ovplyvnenia celosvetového klimatického systému, sú aj výsledky rozdielne, no nie zásadne rozporné. Ani najzarytejší odporcovia globálneho oteplenia dnes už nenamietajú proti teórii rastu celosvetovej teploty atmosféry, ak predpokladáme, že bude rásť koncentrácia skleníkových plynov v atmosfére [7].

Je niekoľko možností, ako sa vysporiadať s návrhom scenárov klimatickej zmeny zapríčinennej antropogénne podmieneným rastom skleníkového efektu atmosféry. Môžeme siahnúť do dávnej minulosti Zeme, keď bol skleníkový efekt atmosféry podstatne silnejší a aj klimatické podmienky boli podstatne odlišné ako dnes. Tento postup však naráža na rad ťažkostí. V tých časoch bolo odlišné usporiadanie kontinentov a oceánov a máme iba málo nepriamych dôkazov o skutočných klimatických pomeroch. Inou možnosťou je výber z teplých období za posledných 230 rokov, keď máme k dispozícii prístrojové meteorologické merania z niekoľkých staníc na svete. Ukázalo sa však, že veľmi teplé obdobia nemali spravidla celosvetovú platnosť a išlo skôr iba o prirodzené fluktuácie klímy s podstatne odlišným vývojom, ako sa predpokladá pri globálnom oteplení vplyvom rastu skleníkového efektu atmosféry. Takýto postup však pomáha odhaľovať vzťahy medzi jednotlivými klimatickými prvkami v prípade celkového rastu teploty vzduchu [2, 4, 5, 6, 7].

Rozvoj výkonných počítačov priniesol po roku 1980 možnosť modelových výpočtov globálnych (celosvetových) zmien klimatických podmienok. Koncom 80. a začiatkom 90. rokov už boli možné aj výpočty regionálnych zmien klímy (zmien na úrovni takých krajín, ako je aj Slovensko). Spoľahlivosť takýchto výpočtov je ešte stále nedostatočná, čo súvisí s tým, že do modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs) nie je možné zahrnúť všetky potrebné parametre. Čím je v modeloch viac parametrov, tým je výpočet zložitejší a ani najvýkonnejšie svetové výpočtové centrá nie sú schopné takéto výpočty zatiaľ zvládnuť. Je tiež pravda, že ani modely nie sú celkom dokonalé, doteraz chýbala v nich detailnejšia orografia (vplyv pohorí), ako aj detailnejšie zabudovaný vplyv výmeny energie medzi oceánmi (najmä jeho hlbšími vrstvami) a atmosférou [7].

Napriek týmto problémom sa najnovšie modelové výpočty zhodujú v tom, že ak dôjde k zdvojnásobeniu koncentrácie CO_2 v atmosfére celej Zeme (čo sa stane asi okolo roku 2075), vzrastie ročný priemer T oproti stavu pred 50 až 100 rokmi asi o 2,5 °C. Tento rast nebude na celom svete rovnaký, určite bude najmenší v strede tropickej časti oceánov a najväčší v strede veľkých kontinentov v zemepisnej šírke okolo 60°, sú však možné aj značné odchýlky, pretože sa pravdepodobne značne zmení aj atmosférická cirkulácia. So zmenou at-

mosférickej cirkulácie dôjde pravdepodobne k významným zmenám atmosférických zrážok, a to aj čo sa týka úhrnov aj intenzity. Keďže iné klimatické prvky významne závisia od teploty vzduchu a režimu zrážok, je možné očakávať na viacerých miestach zemegule veľmi negatívny vývoj klímy s nedeziernymi sociálnymi a ekonomickými dôsledkami [3, 6, 7].

V minulosti ľudstvo riešilo problém zhoršenia klimatických podmienok tak, že sa celé národy sťahovali do iných oblastí sveta s priaznivejšou klímou. Dnes to už nie je možné bez veľmi vážnych vojenských konfliktov, pretože sú pomerne husto obývané všetky vhodné oblasti sveta. Jedinou možnosťou je dôkladne sa v predstihu pripraviť na možné alternatívy predpokladanej klimatickej zmeny tak, aby sa minimalizovali možné negatívne dôsledky. Je zrejmé, že ekonomicky silnejšie krajiny sa s touto problematikou vysporiadajú ľahšie ako rozvojové.

REGIONÁLNE SCENÁRE KLIMATICKEJ ZMENY PRE ÚZEMIE SLOVENSKA

Na SWCC (Druhá svetová klimatická konferencia v Ženeve, 1990) bolo prezentovaných niekoľko scenárov globálneho rastu teploty vzduchu. Za najpravdepodobnejší sa považoval rast o 1 až 2 °C okolo roku 2025 oproti priemerom z obdobia 1951 - 1980 [2, 4]. Tento "Business as-Usual" scenár sa neskôr prijímal skôr za horný a dolný odhad. V prvých štúdiách prezentovaných v rámci NKP ČSFR bol použitý tento scenár teploty vzduchu aj pre naše územie [2, 3]. Rast ročnej teploty vzduchu o 1 až 2 °C sa prijal za možnú alternatívu zmeny klímy aj z toho dôvodu, že sa ČSFR nachádzala v stredných zemepisných šírkach so skoro rovnocenným vplyvom oceánu a kontinentov. Ročný chod tohoto oteplenia bol schematicky modifikovaný podľa smerodajnej odchýlky mesačných priemerov teploty vzduchu, ktorá dosahuje u nás v zime takmer 3 °C a v lete málo nad 1 °C - scenáre T1 a T2 [4, 6].

Scenáre zmien zrážkových úhrnov boli v tom čase (v roku 1990) ešte veľmi neurčité, iba v severnejších oblastiach Európy sa predpokladal s väčšou istotou rast úhrnov zrážok [1]. Pre územie Slovenska sme preto pripravili dočasné scenáre zmien zrážkových úhrnov tak, aby boli rámcovo v súlade s predpokladom rastu úhrnov zrážok v zime a s miernym poklesom vo vegetačnom období na juhu Slovenska. Tento predpoklad bol vcelku v dobrom súlade aj s analýzou relatívne teplých období a doterajších trendov - scenáre R2 a R3 [2, 4]. Analýzou vzťahu úhrnov zrážok, teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu na obmedzenom počte staníc boli pripravené aj scenáre relatívnej vlhkosti vzduchu [2, 4, 5]. Všetky tieto scenáre sme považovali za predbežné a mali slúžiť hlavne na zhodnotenie citlivosti územia Slovenska na možné zmeny klímy. Na základe týchto scenárov bolo spracovaných niekoľko štúdií v rámci NKP SR a urobili sa aj prvé odhady možných dôsledkov zmeny klímy v socio-ekonomických sektoroch Slovenska [3].

V roku 1992 uviedol IPCC nové GCMs scenáre zmien ročných i mesačných priemerov teploty vzduchu so zahrnutým vplyvom oceánov, rastu aerosólov v atmosfére aj detailnejšej orografie. Podobné GCMs scenáre boli pripravené aj pre zmeny mesačných a ročných úhrnov zrážok [2, 4]. V roku 1994 a 1995 boli tieto výsledky spresnené detailnejšími časovými scenármi rastu koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére [1, 6]. V roku 1994 podpísala SR kontrakt s US EPA o riešení projektu Country Study s podporou USA, v rámci čoho sme získali výstupy piatich GCMs pre teplotu vzduchu, úhrny zrážok a globálnu slnečnú radiáciu v sieti uzlových bodov. Okrem toho sme získali metodiku na prípravu analógových a inkrementálnych scenárov zmeny klímy [5, 6].

V tab. 1 až 4 uvádzame stručné výsledky regionálnej modifikácie GCMs výstupov a časť výsledkov "kombinovaných" (GCMs-analogových) a inkrementálnych scenárov pre teplotu vzduchu (T), úhrny zrážok (R), relatívnu vlhkosť vzduchu (U) a snehovú pokrývku (S). Scenáre označené ako CCCM, GISS a GFD3 sú pripravené na báze GCMs, scenáre WP na základe analýzy teplých období v minulosti, SD na základe korelačnej analýzy vzťahu R a T, prípadne U a T alebo S a T. Scenáre označené ako N platia pre sever Slovenska a S pre stred a juh Slovenska. Scenáre A a B sú modifikované pre rast ročného priemeru T v časovom horizonte 2075 o 2, resp. 3 °C. Analýza korelačných vzťahov medzi jednotlivými klimatickými prvkami ukázala, že scenáre teploty vzduchu a zrážok hrajú kľúčovú úlohu pri návrhu scenárov iných klimatických prvkov. V súlade s požiadavkou riadiaceho centra Country Study sme sa snažili pripraviť alternatívne scenáre charakterizujúce horný a dolný odhad. Detailné informácie o regionálnych scenároch klimatickej zmeny pre Slovensko sú uvedené v [4, 5, 6].

Tab. 1 Scenáre zmien priemerov teploty vzduchu v °C na Slovensku v horizontoch rokov 2010 a 2075 (odchýlky od dlhodobých priemerov vypočítaných z obdobia 1951 - 1980, podrobnosti sú v texte)

Table. 1 Mean air temperature change scenarios for Slovakia in time frames 2010 and 2075 (GCMs climate change scenarios regional modification, and different "combined" GCMs - analogues scenarios)

Scenár	Horizont	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ROK/YEAR
2010														
CCCM		1.2	1.4	1.4	1.0	0.9	0.9	1.1	1.0	1.1	1.1	0.9	0.9	1.1
GISS		1.8	1.7	1.6	1.2	1.0	0.8	0.8	0.8	1.2	1.4	1.5	1.6	1.3
GFD3		0.8	1.3	1.6	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.5	1.5	1.3	1.2	1.4
dT 1		1.0	0.9	0.8	0.7	0.5	0.4	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	0.9	0.7
dT 2		2.0	1.9	1.6	1.3	1.1	0.8	0.7	0.8	1.1	1.3	1.6	1.9	1.3
WP A		0.9	1.1	1.0	0.8	0.6	0.4	0.6	0.7	0.5	0.3	0.2	0.4	0.6
WP B		1.3	1.7	1.5	1.3	0.9	0.6	0.9	1.1	0.8	0.4	0.3	0.7	0.9
SD A		1.0	0.9	0.8	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.8	0.6
SD B		1.5	1.4	1.2	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.8	0.9	0.9	1.1	0.9
2075														
CCCM		3.7	4.5	4.3	3.2	2.9	3.0	3.3	3.2	3.6	3.4	2.7	2.8	3.4
GISS		5.7	5.4	5.0	3.9	3.2	2.6	2.4	2.4	3.6	4.5	4.7	5.1	4.1
GFD3		2.6	4.1	5.1	4.9	4.8	4.5	4.3	4.0	4.6	4.7	4.1	3.8	4.3
dT 1		3.2	3.0	2.5	2.1	1.7	1.3	1.1	1.3	1.7	2.1	2.5	3.0	2.1
dT 2		6.3	5.9	5.1	4.2	3.4	2.5	2.1	2.5	3.4	4.2	5.1	5.9	4.2
WP A		2.8	3.5	3.2	2.7	1.9	1.3	1.9	2.3	1.6	0.9	0.6	1.4	2.0
WP B		4.3	5.3	4.7	4.0	2.8	1.9	2.8	3.4	2.4	1.3	1.0	2.1	3.0
SD A		3.2	3.0	2.5	1.8	1.7	1.4	1.3	1.3	1.8	1.8	1.8	2.4	2.0
SD B		4.7	4.4	3.8	2.7	2.6	2.1	2.0	2.0	2.6	2.7	2.7	3.6	3.0

Tab. 2 Modifikácia scenárov zmien úhrnov zrážok pre rôzne časové horizonty rokov 2010 a 2075

Table. 2 Mean precipitation change (in %) scenarios for Slovakia in time frames 2010 and 2075

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok/Year
Scenáre zmien R v % pre rok 2010 v porovnaní s obdobím 1951-1980 na Slovensku													
CCCM-N	10	5	0	3	-2	0	-4	-4	-4	6	8	11	2
CCCM-S	9	1	5	1	-5	-5	-7	1	-3	3	5	7	0
GISS-N	5	10	9	11	6	2	3	2	-5	8	10	1	5
GISS-S	5	8	8	9	6	2	6	6	-6	9	9	2	5
GFD3-N	-2	14	3	4	2	0	-5	6	11	14	14	0	4
GFD3-S	-3	16	2	3	1	0	-6	12	9	10	14	-1	4
dR N SD A	6	4	1	-1	-2	-3	-6	-5	-5	-1	4	4	-1
dR S SD A	7	5	0	-4	-6	-4	-7	-6	-5	0	3	4	-2
dR N SD B	9	6	1	-2	-3	-5	-9	-8	-8	-1	6	7	-2
dR S SD B	11	7	0	-7	-10	-5	-10	-9	-8	0	4	7	-3
dR WP N A	-1	1	3	4	4	2	-2	-5	-7	-5	-1	-1	-1
dR WP S A	-2	-1	-7	-10	-5	-2	-2	-3	-5	-3	0	-2	-3
dR WP N B	-2	2	4	5	6	3	-3	-8	-10	-7	-2	-1	-1
dR WP S B	-3	-2	-11	-16	-8	-3	-4	-5	-8	-5	0	-3	-5
Scenáre zmien R v % pre rok 2075 v porovnaní s obdobím 1951-1980 na Slovensku													
CCCM-N	32	17	1	10	-6	-1	-12	-13	-13	18	27	35	5
CCCM-S	29	2	15	4	-15	-17	-21	3	-9	11	16	22	0
GISS-N	16	31	27	34	18	7	8	6	-16	25	31	4	14
GISS-S	16	24	26	28	18	7	20	19	-20	28	29	6	16
GFD3-N	-5	44	8	13	7	-1	-16	19	36	45	44	1	13
GFD3-S	-10	50	6	8	3	-1	-19	39	28	33	43	-4	13
dR N SD A	18	11	2	-3	-6	-9	-17	-15	-15	-2	12	13	-3
dR S SD A	21	14	0	-13	-19	-10	-20	-17	-15	0	8	13	-6
dR N SD B	24	15	3	-5	-9	-12	-23	-20	-20	-3	16	18	-4
dR S SD B	28	19	0	-18	-26	-14	-27	-23	-20	0	11	18	-8
dR WP N A	-4	4	9	11	11	6	-5	-15	-20	-14	-3	-2	-2
dR WP S A	-6	-4	-22	-30	-15	-6	-7	-10	-15	-9	-1	-5	-10
dR WP N B	-5	5	12	14	15	8	-7	-21	-27	-20	-4	-3	-3
dR WP S B	-8	-6	-29	-41	-20	-8	-10	-14	-20	-13	-1	-7	-14

Tab. 3 Priemerné scenáre zmien relatívnej vlhkosti vzduchu (U) v rôznych oblastiach Slovenska (v %) za predpokladu rastu priemerov teploty vzduchu o 1 °C (A) a rastu úhrnov zrážok o 10 % (B)

Table 3 Mean scenarios of relative air humidity (U) change (in %) in Slovak regions (Nížiny na SW SR - south-western Slovakian lowlands, Iné nížiny - other lowlands in Slovakia, Kotliny, doliny - central and northern Slovakian hollows and valleys, Hory - mountains above 900 m a.s.l., change of U long term means (in %)) due to mean air temperature increase by 1 °C (A) and precipitation increase by 10 % (B), TP - IV-IX, CHP - X-III

A	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	TP	CHP
Nížiny na SW SR	0.1	0.1	-1.3	-0.6	-1.6	-1.0	-2.4	-3.0	-1.0	0.0	0.0	0.1	-2.6	-0.6
Iné nížiny	0.1	0.1	-0.8	-0.4	-0.7	-0.6	-2.4	-2.7	-0.8	0.2	0.2	0.2	-2.0	-0.4
Kotliny, doliny	0.1	0.1	-0.4	-0.6	-0.6	-0.4	-1.6	-1.7	-0.6	0.2	0.4	0.2	-1.6	-0.2
Hory	0.1	0.1	-0.4	-0.8	-0.6	-0.7	-1.6	-1.7	-1.2	-1.0	-0.4	0.0	-1.6	-0.3
B														
Nížiny na SW SR	0.1	0.2	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6	0.3	0.3	0.2	0.3	1.0	0.3
Iné nížiny	0.1	0.3	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.8	0.3
Kotliny, doliny	0.2	0.3	0.4	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.7	0.2
Hory	0.4	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.3

Tab. 4 Priemerné scenáre zmien počtu dní so snehovou pokrývkou (N) v rôznych oblastiach Slovenska (v %) za predpokladu rastu priemerov teploty vzduchu o 1 °C (A) a rastu úhrnov zrážok o 10 % (B)

Table 4 Mean scenarios of snow cover days (N) change (in %) in Slovak regions (Nížiny na SW SR - south-western Slovakian lowlands, Iné nížiny - other lowlands in Slovakia, Kotliny, doliny - central and northern Slovakian hollows and valleys, Hory - mountains above 900 m a.s.l., change of N long term means (in %)) due to mean air temperature increase by 1 °C (A) and precipitation increase by 10 % (B), CHP - X-III, ZI - XII-II

A	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ZI	CHP
Nížiny na SW SR	-20	-22	-44								-44	-28	-22	-32
Iné nížiny	-12	-18	-36								-36	-22	-17	-26
Kotliny, doliny	-8	-10	-26	-26							-32	-14	-12	-16
Hory	-1	-1	-2	-14							-20	-6	-2	-4
B														
Nížiny na SW SR	6	5	7								5	3	3	7
Iné nížiny	3	3	5								5	3	3	5
Kotliny, doliny	2	1	5	0							5	2	2	3
Hory	1	1	1	0							5	1	1	2

LITERATÚRA

- [1] Bultot, F. - Gellens, D.: Simulation of the impact of CO₂ atmospheric doubling on precipitation and evaporation - study of the sensitivity to various hypotheses. Conference on Climate and Water. Helsinki 1989, s. 73 - 92.
- [2] Lapin, M., Faško, P., Zeman, V.: Príspevok k analýze možných dôsledkov globálneho oteplenia atmosféry o 1 - 2 °C na zmeny klimatických pomerov na Slovensku. Národný klimatický program SR, zv. 2, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava 1994, s. 35-77.
- [3] Lapin, M.: Assessment of the Slovak Republic's Vulnerability to Climate Change and Adaptive Strategies Design. In: Journal of Hydrology and Hydromechanics, Vol. 43, No. 4-5, Bratislava 1995, p. 354 - 370.
- [4] Lapin M., Nieplová E., Faško P.: Regionálne scenáre zmien teploty vzduchu a zrážok na Slovensku. Národný klimatický program SR, zv. 3. MŽP SR a SHMÚ, Bratislava 1995, s. 17-57.
- [5] Lapin M., Faško P., Nieplová E.: Regionálne inkrementálne scenáre zmien klimatických charakteristík v SR. Vybrané výsledky zmien relatívnej vlhkosti vzduchu a snehovej pokrývky. SR Country Study, No 8, SHMÚ, Bratislava 1996, 21 s.
- [6] Lapin M., Závodský D., Majerčáková O., Mindáš J., Špánik F., et al.: Vulnerability and Adaptation Assessment for Slovakia. Final Report of Slovak Republics' Country Study, Element 2. U.S. Country Studies Program, Slovak Ministry of Environment, Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava 1997, 219 p.
- [7] U.S. Country Studies Program. Guidance for Vulnerability and Adaptation Assessments. U.S. Country Studies Management Team (PO-63), Washington, D.C., Oct. 1994, 518 s.

MONITOROVANIE ZMIEN KLÍMY NA VYBRANÝCH HYDROLOGICKÝCH STANICIACH NA SLOVENSKU

Peter Škoda, Eugen Kullman
Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

ABSTRACT

Škoda P., Kullman E., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia: **Climate Change Monitoring in the Selected Hydrological Stations in Slovakia.** In the framework of the Project "Design of hydrological station network for Climate change monitoring" a selection of 23 gaging stations was made. These stations are considered as main source for climate change impacts evaluation in Slovakia. Data measured at these stations should be the most reliable and representative for projects dealing with climate changes not only in Hydrology, but also in close branches. In the sphere of hydrological monitoring of groundwater has been made the selection of representative monitoring network points as the collection of results and evaluations of the SHMI groundwater monitoring network in framework of the national and international projects : NCP , Country Study and PHARE EU/95/WAT/31. The orientation of the experts in the projects NCP and Country Study was on the Slovak core mountains and resulted in the selection of 30 representative monitoring points. The establishment and realisation of the international project PHARE modified and completed the selection into the whole Slovak territory and the results is 82 representative monitoring objects of groundwater. We can think about than as the representatives of uninfluenced regime of groundwater for the next evaluation of the climatic changes impacts on the regime of groundwater in Slovakia.

ÚVOD

Nevyhnutnou požiadavkou riešenia projektov Národného klimatického programu SR (NKP) sú dostupné reprezentatívne hydrologické údaje. Tieto údaje sa tvoria výberom vhodných dátových súborov z disponibilnej siete hydrologických staníc povrchových a podzemných vôd. Súčasťou výberu sú aj odporúčania ochrany týchto radov, ako aj zabezpečenie homogenity a kontinuity meraní v budúcnosti. V prípade vodomerných staníc povrchových vôd a do určitej miery aj pozorovacích objektov podzemných vôd údaje z nich nereprezentujú hydrologický režim danej lokality, ale odrážajú procesy v celom povodí. Zabezpečiť preto spoľahlivosť, dostatočnú dĺžku a úplnosť hydrologických radov je jedna z prvoradých a opodstatnených úloh v rámci NKP.

MONITOROVANIE POVRCHOVÝCH VÔD

V roku 1993 bol spracovaný projekt „Návrh siete hydrologických staníc na monitoring zmien klímy“. Výsledkom projektu bol výber 23 vodomerných staníc, ktorých rady sú dominantné pri posudzovaní zmien klímy a s tým súvisiacich dôsledkov na vodné hospodárstvo (tab. 1). Tomuto výberu, v rámci spracovania projektu, predchádzalo posúdenie „technickej homogenity“ hydrologických radov vodomerných staníc na území Slovenska s najdlhšou neprerušenou dobou monitorovania prietokov. Podľa záznamov v hydrologickom archíve Slovenského hydrometeorologického ústavu, údajov v katalógu vodomerných staníc povrchových vôd, podkladov zo Štátnej vodohospodárskej bilancie, Smerného vodohospodárskeho plánu Slovenskej republiky a na základe pomerne rozsiahlej rešerše bola spracovaná analýza zmien plôch povodí, staničenia, núl vodočtov, technických a vodohospodárskych zásahov v povodiach 68 vodomerných staníc.

Vybraných 23 vodomerných staníc s dlhými a málo narušenými radmi, nie je príliš vysoký počet ani pre takmer 50 000 km² územia Slovenska. Hydrologická služba nemá prakticky žiadne možnosti eliminovať aktivity, evidentne vedúce k narušeniu homogenity hydrologických radov. Úpravy tokov, výstavba nádrží, aktivovanie významných odberov a vypúšťaní a v súčasnosti hlavne budovanie malých vodných elektrární takými zásahmi rozhodne sú. Pokusy dosiahnuť nedotknuteľnosť hydrologického režimu, napríklad prostredníctvom osvetly v Hydroekologických plánoch povodí sú sympatické, no viac-menej platónické. Hydrologická služba povrchových vôd si je plne vedomá zmien vodných zdrojov, ktoré sa hlavne v poslednom období prejavujú. Na jednej strane predstavujú významný argumentačný prvok na opodstatnenosť monitorovacej siete povrchových vôd a vyvracajú názor, že jej vypovedacia schopnosť je už malá. Na druhej strane vytvárajú pomerne vážny odborný problém, aké je vlastne objektívne správne referenčné alebo

reprezentatívne obdobie na stanovenie dlhodobých hydrologických charakteristík, predovšetkým dlhodobého ročného prietoku, M - denných prietokov a dlhodobých mesačných prietokov.

Cieľom uvedeného projektu nebol len samotný výber staníc a posudzovanie miery ovplyvnenia hydrologického režimu v ich povodiach, ale aj možnosť využívania údajov z týchto staníc pre NKP SR. V roku 1995 obnovila hydrologická služba Slovenského hydrometeorologického ústavu vydávanie ročeniek. Popri prehľade všetkých vodomerných staníc, priemerných mesačných a extrémnych prietokov obsahuje aj ročkové výstupy práve z tých vodomerných staníc, ktoré tvoria účelovú sieť na monitoring zmien klímy (tab. 1). Rovnako aj v Hydrologickom bulletinu za obdobie 1991 - 1995, vydanom v roku 1996 sú prezentované charakteristiky z týchto staníc (tab. 2).

Hydrologické údaje zo staníc NKP SR tvoria, resp. mali by tvoriť najdôležitejšie a najhodnovernejšie podklady pre projekty zaoberajúce sa klimatickými zmenami, či už priamo v oblasti hydrológie a vodného hospodárstva, alebo v príbuzných odboroch. Mali by byť rozhodujúce pre rozhodnutie, aké obdobie prijať za referenčné. Bud' ponechať doteraz používané obdobie 1931 - 1980, alebo pristúpiť k spracovaniu dlhodobých charakteristík za iné obdobie.

Tab. 1 Vodomerné stanice povrchových vôd, určené na monitorovanie zmien klímy

Tok	Stanica	Plocha povodia [km ²]
1. Dunaj	Bratislava	131329.10
2. Boca	Kráľova Lehota	116.60
3. Belá	Podbanské	93.49
4. Váh	Liptovský Mikuláš	1107.21
5. Kysuca	Čadca	492.54
6. Nitrica	Liešťany	136.08
7. Nitra	Nitrianska Streda	2093.71
8. Žitava	Vieska nad Žitavou	295.46
9. Hron	Zlatno	79.28
10. Hron	Brezno	582.08
11. Čierny Hron	Hronec	239.41
12. Štiavnička	Mýto pod Ďumbierom	47.10
13. Hron	Banská Bystrica	1766.48
14. Hron	Brehy	3821.38
15. Ipeľ	Holiša	685.26
16. Litava	Plášťovce	214.42
17. Krupinica	Plášťovce	302.79
18. Dobšinský potok	Dobšina	31.97
19. Štítnik	Štítnik	129.63
20. Rimavica	Lehota nad Rimavicou	148.95
21. Poprad	Matejovce	311.10
22. Poprad	Chmeľnica	1262.41
23. Topľa	Hanušovce	1050.05

Pre vybrané vodomerné stanice boli porovnané dlhodobé ročné prietoky, dlhodobé mesačné prietoky a M - denné prietoky za reálne obdobia 1931 - 1980 a 1931 - 1995. V prípade dlhodobých ročných prietokov sú najväčšie zmeny (nad 7 %) v povodiach Ipeľa a Slanej. Dlhodobé mesačné prietoky za obdobie 1931 - 1995 sú vo väčšine vodomerných profilov menšie o 0.1 % až 10 %, v povodiach Ipeľa a Slanej až o 2 % až 16 % vo všetkých mesiacoch. Nárast dlhodobých mesačných prietokov za obdobie 1931 - 1995 bol iba na Dunaji v decembri a januári o 4 %, resp. o 5 % a na Revúcej, Toryse a Topli v máji a júni o 1 % až 7 %. M - denné prietoky za obdobie 1931 - 1995 na väčšine vybraných vodomerných staníc boli menšie ako za obdobie 1931 - 1980. Najväčšie odchýlky boli zaznamenané práve pri malých vodnostiach ($Q_{330} - Q_{364}$).

Hoci sa potvrdil nepriaznivý trend vývoja vodnosti za obdobie 1981 - 1995 predovšetkým v povodiach južného Slovenska, zásadné prerozdelenie odtoku v roku a výrazné zmeny relatívnych hodnôt M - denných prietokov v hodnotených profiloch nenastali. Preto ani hydrologická služba Slovenského hydrometeorologického ústavu nepristúpila zatiaľ k prepracovaniu existujúcich dlhodobých hydrologických charakteristík.

Tab. 2 Ročné spracovanie prietokov [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

STANICA: 7015 BREZNO
TOK : HRON

ROK : 1995
PLOCHA POVODIA : 582.08 km^2

MESIAC DEŇ	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.
1.	4.451	3.605	6.282	7.549	22.030	13.490	6.837	4.517	4.771	5.141	3.091	2.755
2.	3.397	3.862	8.246	7.713	19.500	24.770	8.257	5.509	5.035	4.816	3.058	2.664
3.	3.015	3.072	15.890	8.234	16.910	27.360	15.550	6.015	5.225	4.672	3.054	2.780
4.	3.058	3.256	27.020	9.825	15.840	24.510	21.480	4.376	10.060	4.521	3.266	2.716
5.	3.046	3.202	33.310	11.100	14.830	21.050	12.430	3.786	11.250	4.292	2.951	2.596
6.	3.672	2.937	28.670	10.620	13.780	19.190	10.040	3.655	7.835	4.168	2.843	2.667
7.	3.613	3.160	24.990	10.960	13.230	19.100	8.928	3.433	6.842	4.062	2.979	2.513
8.	3.584	3.677	20.090	12.340	11.880	17.490	7.962	3.551	6.899	4.003	2.764	2.596
9.	3.511	5.461	16.990	11.780	11.310	18.100	7.403	3.532	7.793	3.920	2.495	2.631
10.	3.468	4.913	14.800	10.970	10.740	24.070	7.005	3.318	7.060	3.843	2.591	2.637
11.	3.419	3.822	13.280	9.722	10.110	23.150	6.693	3.256	6.144	3.679	2.819	2.642
12.	3.323	3.593	11.940	9.063	10.140	44.280	7.194	3.096	5.675	3.585	2.807	2.637
13.	3.049	3.525	10.950	8.557	21.550	49.340	7.610	3.028	5.325	3.503	2.839	2.542
14.	2.729	4.003	10.350	8.144	20.410	39.590	7.215	2.803	5.252	3.521	2.758	2.649
15.	2.610	5.575	9.616	7.951	16.200	33.270	9.259	2.651	5.228	3.449	2.737	2.644
16.	2.730	13.590	8.973	7.614	14.410	30.750	7.927	3.361	5.145	3.407	2.745	2.421
17.	2.608	13.180	8.500	7.437	13.870	25.480	6.966	2.773	4.943	3.396	3.425	2.440
18.	2.496	11.330	8.684	7.474	13.700	21.530	6.519	2.590	4.734	3.355	3.755	2.535
19.	2.838	9.059	10.940	7.589	16.150	18.710	6.201	2.504	4.563	3.278	2.984	2.493
20.	3.036	7.531	11.380	7.725	27.620	16.150	5.765	2.555	5.898	3.227	2.706	2.431
21.	3.050	6.987	9.453	8.514	27.800	14.520	5.619	4.263	11.210	3.178	2.522	1.964
22.	3.050	6.829	8.460	9.604	24.610	13.780	5.454	4.958	8.117	3.022	2.130	1.813
23.	3.053	6.362	7.866	11.450	22.940	12.390	5.202	3.274	6.509	2.948	2.306	2.847
24.	3.066	8.085	7.680	13.140	20.920	11.400	5.054	3.006	5.920	2.920	2.404	4.515
25.	3.079	7.674	7.705	15.240	18.910	10.490	4.842	3.176	5.678	2.934	2.480	5.277
26.	3.253	7.987	8.415	21.420	16.750	10.440	4.665	2.967	5.431	2.910	2.986	4.575
27.	8.829	8.293	10.060	41.330	14.920	9.752	4.554	2.898	5.299	2.864	3.924	3.887
28.	5.219	6.731	10.670	35.820	14.900	8.666	4.444	5.181	5.768	2.860	3.353	2.516
29.	3.824	9.250	29.340	13.840	8.121	4.336	16.410	5.320	3.004	3.126	1.900	2.121
30.	3.861	8.871	25.100	12.770	7.604	4.082	6.647	5.039	3.500	2.930	2.121	2.290
31.	3.686	8.073	12.260			3.995	5.336		3.174			
SÚČ.	107.623	171.301	397.404	393.365	514.830	618.543	229.488	128.425	189.968	111.152	86.828	85.694
PRM.	3.472	6.118	12.819	13.112	16.607	20.618	7.403	4.143	6.332	3.586	2.894	2.764
Š.O.	5.964	10.510	22.024	22.526	28.531	35.421	12.718	7.117	10.879	6.160	4.972	4.749
ODT.	9.299	14.800	34.336	33.987	44.481	53.442	19.828	11.096	16.413	9.604	7.502	7.404

ROČNÝ SÚČET : 3034.621 ROČNÉ MAXIMUM: 58.060 DEŇ/MES/HOD: 12/06/23
ROČNÝ PRIEMER: 8.314 ROČNÉ MINIMUM: 1.813 DEŇ/MESIAC : 22/12

ROČNÝ ŠP. ODTOK: 14.283 $\text{l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$
ROČNÝ ODTOK : 262.191 $\text{mil} \cdot \text{m}^3$

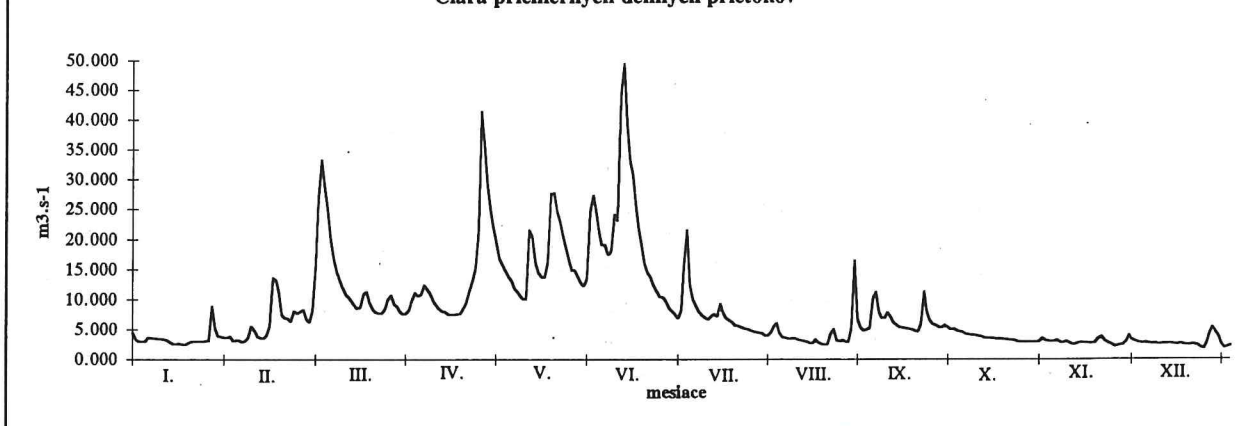
M - denné prietoky (Qmd)

DNI	30	90	180	270	330	355	364
Qmd 1995	20.920	10.620	5.454	3.253	2.664	2.440	1.900
% Qmda	109.6	109.0	103.3	97.7	117.2	143.1	156.0

Mesačné prietoky

Qma	5.100	5.880	10.630	16.180	12.280	9.370	7.530	5.620	4.540	5.720	7.570	6.970
% Qma	68.1	104.0	120.6	81.0	135.2	220.0	98.3	73.7	139.5	62.7	38.2	39.7

Čiara priemerných denných prietokov



MONITOROVANIE PODZEMNÝCH VÔD

Využitie režimového monitoringu podzemných vôd na hodnotenie ich zmien vplyvom klímy výrazne zaostávalo v minulosti vo vzťahu k už rozpracovaným klimatickým a hydrologickým hodnoteniam povrchových vôd, ktorým primárne predchádzal najmä detailný výber reprezentatívnych vodomerných staníc povrchových vôd. Napriek skutočnosti, že rozsah pozorovacej siete podzemných vôd a počet monitorovacích objektov presahujúci 1 800 objektov dával predpoklady širokého výberu objektov s plošným záberom na celé územie Slovenska, rozsiahlejšie aktivity v tejto oblasti sú datované až rokmi 1995 - 1996. Riešiteľov v minulosti pravdepodobne hneď na začiatku odrádzala najmä krátkosť pozorovacích radov (neúmerná k rozsiahlym historickým radom z oblasti povrchových vôd, nehovoriac už o databáze klimatických parametrov), ale najmä reprezentatívnosť údajov podzemných vôd a ich antropogénna ovplyvnenosť. Správne a presné hodnotenie zmien režimu podzemných vôd a následné hľadanie príčin, ktoré ho spôsobujú vo väzbe na klimatické zmeny totiž vyžaduje splnenie dvoch primárnych atribútov, t. j. zodpovedajúca dĺžka pozorovacích radov pre kritérium, ktoré chceme hodnotiť a už spomínaná reprezentatívnosť radov meraní.

Štruktúra pozorovacej siete podzemných vôd s dominantným zastúpením sledovania hladinového režimu podzemných vôd vo vrtoch v kvartérnych sedimentoch a orientácia na hodnotenie práve týchto objektov sa nám nezdala ako najvhodnejší krok posudzovania dôsledkov možných zmien klímy na hydrologický režim podzemných vôd. Hydraulický súvis povrchových vôd a podzemných vôd v týchto plytkých kvartérnych horizontoch predurčuje skôr orientáciu na priame hodnotenie prietokov na vybraných vodomerných profiloch ako hodnotiť sekundárny vplyv týchto zmien na hladinový režim podzemných vôd. Z toho dôvodu bolo a zostáva snahou skôr zamerať pozornosť na prirodzene vystupujúce podzemné vody vo forme prameňov a hlavne na týchto objektoch hodnotiť vzniknuté zmeny ich režimov a anomálie. Odhliadnuc od skutočnosti, že dĺžka pozorovacích radov na týchto objektoch iba výnimočne presahuje 30 úplných rokov bez prerušenia pozorovania, základným problémom bol výber takých reprezentatívnych pozorovacích objektov výdatností prameňov na ktorých je možné s vysokou mierou pravdepodobnosti vylúčiť možný antropogénny zásah. S obdobným problémom sa pri historických radoch stretávajú všetci riešitelia, výhodou napr. pri povrchových tokoch je však skutočnosť, že vo väčšine prípadov je tento zásah voľným okom viditeľný a kvantifikovateľný.

V oblasti podzemných vôd, ak odhliadneme od štandardných technických problémov pri dodržaní reprezentatívneho monitoringu (zanášanie merného objektu, porušenie konštrukcie objektu následná rekonštrukcia a prerušenie pozorovania, záchyt podzemných vôd - ich vodohospodárske využitie a s tým súvisiace pozitívne i negatívne zmeny v porovnaní s prirodzene vystupujúcim množstvom pred zachytením) vystupuje problém oveľa význačnejší, ktorým je antropogénny zásah a exploatacia podzemných vôd súhlasnej hydrogeologickej štruktúry, ktorú daný prameň odvodňuje. Dosahy vodohospodárskych zásahov a ich odozva môže predstavovať až niekoľko desiatok kilometrové vzdialenosti, ich identifikácia, resp. kvantifikácia ich možných dôsledkov je zložitá. To, čo sa pri prvom pohľade môže zdať ako pokles výdatnosti prameňa v dôsledku napríklad zmien klímy, môže byť len priamy dôsledok čerpania podzemných vôd totožnej hydrogeologickej štruktúry a pozvoľný pokles zásob podzemných vôd exploataciou. Opačná situácia môže nastať pri vyradení odčerpávaného vrtu z exploatacie. Pri prvých hodnoteniach možných klimatických zmien na režim podzemných vôd spracovávaných na SHMÚ bola orientácia riešiteľov na vybrané jadrové pohoria Slovenska, v ktorých sa zvolilo 28 prameňov, kde sa testovala homogenita ich radov a následne sa podrobili štatistickému hodnoteniu kvantifikácie zmien výdatností vo vzťahu k referenčnému obdobiu. Následnou snahou však bolo získanie detailnejšieho plošného obrazu pre celé územie Slovenska, čomu však samozrejme musel predchádzať kvalifikovaný výber hodnotiacich objektov podzemných vôd. Zámerom bolo vytýpanie rozsiahlejšej siete antropogénne neovplyvnených objektov - prameňov vo všetkých geomorfologických celkoch Slovenska. Etablovanie zahraničného projektu PHARE so zámerom prehodnotenia využiteľných množstiev podzemných vôd na SHMÚ podmienilo rozpracovanie výberu reprezentatívnych objektov pre hodnotenie zmien hydrologického režimu. Spolupráca riešiteľov projektu s poznatkami pracovníkov zabezpečujúcich monitoring podzemných vôd na SHMÚ a riešiteľov predchádzajúcich hodnotení dôsledkov zmien klímy na podzemné vody (ktoré boli spracované v rámci NKP SR v rokoch 1995 a 1996) vyústila do výberu reprezentatívnych objektov podzemných vôd (tab. 3). Možno ich považovať za reprezentantov neovplyvneného režimu podzemných vôd pri ďalších hodnoteniach dôsledkov zmien klímy na režim podzemných vôd Slovenska.

Tab. 3 Vodomerné stanice prameňov, určené na monitorovanie zmien klímy

Id. číslo prameňa	Lokalita	Názov prameňa	Pozorovanie od	Pozorovanie do
Biele Karpaty				
52	Sobotište	Janíkov mlyn	1971	P
Javorníky				
837	Ihrište	Káčerovská	1972	P
Stredné Beskydy				
757	Čadca	U Šimčiska	1973	P
Vysoké a Belanské Tatry				
2402	Tatranská kotlina	Malý Šumivý	1974	P
536	Zuberec	Teplica	1974	P
537	Zuberec	Teplý žľab	1974	P
Spišská Magura				
2353	Jezersko	Pod svahom	1972	P
Ľubovnianska vrchovina				
2417	Matysová	V obci	1971	P
2419	Mníšek nad Popradom	Na svahu	1971	P
Busov				
1753	Chmeľová	Podstavy č.3	1971	P
1754	Chmeľová	Podstavy č.4	1971	P
Laborecká vrchovina				
1725	Vyšný Komárnik	Pod Dolhoncom	1972	P
Borská nížina				
119	Plavecký Štvrtok	Bezdné	1971	P
Chvojnická pahorkatina				
5	Skalica	Priepastný mlyn	1972	P
1	Vieska	Pavlová	1965	P
Malé Karpaty				
241	Horné Orešany	Husí stok	1972	P
243	Horné Orešany	Nové domy	1973	P
113	Pernek	Štola	1971	P
86	Plavecké Podhradie	Pod hradom	1972	P
Považský Inovec				
989	Banka	Vápnište	1972	P
1108	Dubodiel	Salaš	1967	P
978	Krivosúd	Rybník	1972	P
983	Modrová	Studienky	1973	P
Strážovské vrchy				
903	Kolačín	Ľahké zeme	1966	P
881	Pružina	Býky	1968	P
884	Pružina	Riečnica č.1	1965	P
876	Pružina	Bobot	1965	P
Súľovské vrchy				
833	Bodina	Biela voda	1973	P
811	Kostolec	Ostrenec č.2	1972	P
832	Prečín	Puklinový	1973	P
Malá Fatra				
777	Rajecká Lesná	Brčné	1973	P
778	Rajecká Lesná	Súcie	1973	P

Veľká Fatra

673	Belá	Havranovo-Lučecné	1971	P
664	Blatnica	Dedošova dolina č. 1	1969	P
665	Blatnica	Dedošova dolina č. 2	1969	P
613	Čremošné	Výver z tunela	1968	P
394	Lubochňa	Salatín č. 3	1969	P

Nízke Tatry

352	Liptovský Ján	Pri Stanišovej jaskyni č. 1	1971	P
351	Liptovský Ján	Vyvieračka v Škopovej dol.	1971	P
315	Malužiná	Škarkétka - dolný	1971	P
2171	Telgárt	V Zadnej doline č. 1	1975	P
2172	Telgárt	V Zadnej doline č. 2	1975	P

Podtatranská Kotlina

320	Pribilina	Surový hrádok č. 1	1972	P
322	Pribilina	Pleso	1973	P

Horehronské Podolie

1201	Telgárt	Hron	1972	P
------	---------	------	------	---

Slovenský raj

2155	Dobšinská ľadová jask.	Pri sosničkách	1974	P
2154	Dobšinská ľadová jask.	Sedem prameňov	1972	P
2156	Dedinky	Zejmarská studňa	1974	P
2115	Vernár	Za potokmi	1975	P

Volovské vrchy

2158	Mlynky	Na Bielowodskom pasienku	1974	P
2230	Opátka	Vo Viničk. potoku - dolný	1975	P
2207	Veľký Folkmár	V Ondrášovom potoku	1975	P

Čierna hora

2222	Družstevná pri Hornáde	Irenka	1974	P
------	------------------------	--------	------	---

Slánske vrchy

1821	Slánska Huta	Dolinky	1956	P
------	--------------	---------	------	---

Vihorlatské vrchy

1606	Kamenica n/ Cirochou	Pod Drieňovou	1973	P
------	----------------------	---------------	------	---

Podunajská Pahorkatina

1467	Kamenín	Studená studňa	1972	P
281	Mužľa	Višňová studňa	1978	P
1465	Nýrovce	Pri JRD	1972	P
1464	Veľký dvor	Bažantnica	1972	P

Tribeč

1164	Dražovce	Šindolka	1973	P
1071	Kolačno	Valachov	1973	P

Vtáčnik

1411	Horné Hámre	Kajlovka	1972	P
------	-------------	----------	------	---

Kremnické vrchy

1836	Horná Ves	U Grantu	1972	P
------	-----------	----------	------	---

Štiavnické vrchy

1423	Brehy	Liešna dolina	1972	P
1394	Podhorie	Handrlová	1972	P
1458	Pukanec	Ergi štôlna	1966	P
1454	Pukanec	Teplá voda	1971	P

Muránska planina

1908	Muráň	Biela voda	1966	P
------	-------	------------	------	---

Revúcka vrchovina

1966	Kyjatice	Prďľavka	1959	P
------	----------	----------	------	---

Košická kotlina

2282	Boliarov	Rybníček	1969	P
------	----------	----------	------	---

Slovenský kras

2019	Drieňovec	Jaskyňa	1968	P
1901	Gemerská Hôrka	Malá studnička	1957	P
1920	Gemerská Teplica	Hlavište č. 1 a 2	1968	P
2032	Jabloňov n/ Turňou	Koszoru	1964	P
2008	Jasov	Teplica	1964	P
1859	Kováčová	Pri kríži	1967	P
1862	Krásnohorská Dlhá Lúka	Buzgó	1958	P
1884	Kunova Teplica	Zugó jaskyňa	1970	P
1872	Plešivec	Pod vápenkou	1968	P
2023	Silická Jablonica	Sokolova dolina	1974	P
2024	Silická Jablonica	Mlynský	1967	P
1869	Slavec	Čierna vyvieračka	1968	P

Legenda :

P - prameň je pozorovaný do súčasnosti

LITERATÚRA

- [1] KULLMAN, E., 1996 : Pozorovanie kvantity podzemných vôd na Slovensku. Bulletin SMS pri SAV č.1
- [2] KULLMAN, e. et al., 1994 : Analýza zmien a variability režimu podzemných vôd v jadrových pohoriach Slovenska. NKP SR, SHMÚ, Bratislava.
- [3] KULLMAN, E., SLAMKA, I., GAVURNIK, J., 1995 : Zhodnotenie vplyvu klimatických zmien na režim výdatnosti prameňov a predpokladaný dopad týchto klimatických zmien na disponibilné množstvá podzemných vôd. [Správa projektu NKP SR.] SHMÚ, Bratislava.
- [4] ŠKODA, P., TURBEK, J., 1993 : Návrh siete hydrologických staníc na monitoring zmien klímy. [Správa projektu NKP SR.], SHMÚ. Bratislava.
- [5] ŠKODA, P., TURBEK, J., 1994 : Sledovanie a kvantifikovanie zdrojov povrchových vôd na Slovensku. Vodohospodársky spravodajca č.10.
- [6] ŠKODA, P., 1996 : Monitorovanie režimu povrchových vôd na Slovensku. Bulletin SMS pri SAV, č. 1.
- [7] POÓROVÁ, J., DEMETEROVÁ, B., PODOLINSKÁ, J., ŠKODA, P., 1996 : Porovnanie prietokových radov za obdobie 1931 - 1980 a 1931 - 1993. [Správa projektu NKP SR.] SHMÚ, Bratislava.

HYDROLOGICKÉ SCENÁRE MOŽNÝCH ZMIEN ODTOKOV POČAS ROKA NA SLOVENSKÝCH TOKOCH

*Oľga Majerčáková, Pavol Šedík
Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava*

ABSTRACT

Majerčáková, O., Šedík, P., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia: The Hydrological Scenarios of the Possible Runoff Change During the Year on the Slovak Rivers. The presented contribution is dealing with two topics. The first one is the description of the statistical model, which was applied to estimate the possible runoff change during the year due to potential climate change. The second topic, which is solved in the presented study, is the analysis of results, i.e. of concrete hydrological scenarios in concrete watersheds, which are relevant to concrete applied climatic scenarios.

1. ÚVOD

Štúdia HYDROLOGICKÉ SCENÁRE MOŽNÝCH ZMIEN ODTOKOV POČAS ROKA NA SLOVENSKÝCH TOKOCH bola príspevkom do Národného klimatického programu SR (NKP) v rámci subprojektu VODA. Je poslednou časťou, ktorá sa v rámci NKP riešila vo Výskume hydrologie SHMÚ; začiatkom riešenia bol rok 1993.

Výsledky úlohy logicky dopĺňajú riešenie predošlých troch etáp; obsahové zameranie celej úlohy možno zhrnúť takto:

1. etapa: Výber mesačných radov hydrologických prvkov a analýza ich spoľahlivosti. Výsledkom riešenia bola analýza prietokových radov z hydrologickej siete SHMÚ na slovenských tokoch. Do spracovania boli zahrnuté vodomerné stanice s dlhými radmi pozorovaní zo všetkých 11 hlavných povodí, slabšia situácia s dlhodobými prietokovými radmi je na východnom Slovensku. Súčasťou riešenia bolo vytvorenie software - súboru programov pre štatistické hodnotenie radov a pre testovanie homogenity.

2. etapa: Analýza zmien a variability hydrologických prvkov. Pri analýze zmien a variability hydrologických radov sa skúma ich vnútorná štruktúra a stacionarita. Ako pracovný nástroj sa použil už spomínaný software, ktorý bol doplnený nízkofrekvenčnými filtrami, trendovou analýzou a testami systematických vplyvov.

3. etapa: Zmeny odtokov na slovenských tokoch. Na základe výsledkov prvých dvoch etáp sme odporučili pre NKP 36 prietokových radov. Ich výber bol určitým kompromisom medzi požiadavkou na „čistú“ históriu z hľadiska ľudskej aktivity v povodí a požiadavkou na čo najväčší počet tých radov, ktoré prešli testami spoľahlivosti. Rady boli odporúčané nielen pre konkrétny projekt NKP SR, ale ako rady NKP by mali byť v budúcnosti predlžované na základe priamych meraní a mala by im byť venovaná primeraná pozornosť z hľadiska ich ochrany, údržby, kontroly a možného ovplyvnenia lokálnou antropogénnou činnosťou. Hodnotenie zmien prietokov na vybraných 36 staniaciach sa robilo od roku 1931 po súčasnosť (do roku 1990). Priemerná vodnosť tokov za obdobie 1931-1990 sa oproti obdobiu 1931-1980 znížila na 35 staniaciach (okrem Dunaja v Bratislave). Znižovanie prietokov na území Slovenska je diferencované; najviac boli zasiahnuté povodia Ipľa, Slanej a Bodvy. Rôzne poklesy prietokov boli zaznamenané aj počas roka. Najvýraznejšie zníženie je v novembri, zatiaľ čo v máji výrazné zmeny neboli pozorované.

4. etapa: Odhad možných zmien odtoku počas roka na základe štatistického modelu. Prognózovanie ďalších možných zmien odtoku v dôsledku potenciálnych klimatických zmien si vyžadovalo vytvorenie vhodného aparátu. Pre prognózu vývoja, resp. zmeny hydrologických prvkov v dôsledku možných klimatických zmien je možné napr. využiť trendovú analýzu alebo inú matematicko štatistickú metódu, ktorá dovoľuje prognózu radov na základe analýzy ich vnútornej štruktúry alebo aplikáciu vhodných modelov.

Využitie trendovej analýzy je diskutabilné najmä z časového aspektu. Čiastočne je možné postup použiť pre blízku budúcnosť, napr. 5 - 10 rokov, avšak pri systematickom aktualizovaní prognózy. Limitované možnosti pri aplikácii trendovej analýzy viedli k odporúčeniu konštruovať alebo aplikovať vyvinuté modely ako nástroj na odhad možných zmien hydrologického režimu.

Na odhad možných zmien odtoku počas roka pri modelovom riešení je možné vychádzať z bilančných modelov alebo zo štatistických odhadov. V našej úlohe sme volili štatistické postupy. Štatistické metódy umožňujú na základe známych vstupov a výstupov určiť najpravdepodobnejšie správanie sa systému. Za predpokladu konštantného správania sa systému aj v budúcnosti je možné na základe zmenených vstupov určiť zmenený výstup.

5. etapa: Analýza účinkov potenciálnych klimatických zmien podľa konkrétnych klimatických scenárov na priemerné mesačné odtoky na tokoch Slovenska. V záverečnej fáze riešenia sme pomocou vyššie spomenutého prístupu modelovali možné zmeny odtoku pre konkrétne klimatické scenáre; tri z nich boli odvodené v rámci konštrukcie GCMs modelov (modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry) ďalšie štyri boli vypracované klimatologickou službou Slovenského hydrometeorologického ústavu. Analýze výsledkov záverečnej fázy riešenia venujeme predkladanú správu.

2. ODHAD MOŽNÝCH ZMIEN ODTOKU POČAS ROKA NA ZÁKLADE ŠTATISTICKÉHO MODELU

V súvislosti s možnými klimatickými zmenami a ich účinkami na hydrologický cyklus a vodnú bilanciu, jednou z najdôležitejších, ale aj najkomplikovanejších úloh je určiť zmenu odtoku počas roka. Najčastejšie používané riešenia tohto problému sú založené na dvoch postupoch:

- na bilančných modeloch
- na štatistických odhadoch.

V našej práci sme pre odhad možných zmien priemerných mesačných prietokov využili štatistické postupy. Štatistické metódy umožňujú na základe známych vstupov a výstupov odhadnúť najpravdepodobnejšiu odozvu systému na určitý vstup. Zmenou vstupných hodnôt do systému (ktoré dosiahneme napríklad aplikáciou klimatických scenárov) môžeme získať nové výstupy (napríklad zmeny odtoku v povodí). Budúce zmeny výstupov zo systému teda neurčujeme priamo pre určitý čas, ale cez možné zmeny vstupov, ktoré sú odhadované k určitým časovým horizontom.

Samozrejme, ako väčšina prognostických postupov, aj tento má nedostatok v tom, že sa predpokladá konštantná odozva systému aj v budúcnosti (t. j. nepredpokladajú sa zlomy alebo skoky v správaní sa systému). Domnievame sa však, že predpoklad konštantnosti je len jedna z mnohých ďalších neistôt, s ktorými sa stretávame v súvislosti s odhadom dôsledkov potenciálnych klimatických zmien.

2.1 Voľba regresného modelu

Ako základ pre postihnutie odozvy povodia ako systému sme volili viacnásobný lineárny regresný model.

2.1.1 Výber nezávisle premenných

Hodnota, pre ktorú bolo cieľom na základe regresných vzťahov vytvoriť scenáre zmien bola priemerný mesačný odtok, t. j. v regresných rovniciach vystupoval ako závisle premenná.

Výber nezávisle premenných spĺňal dve hľadiská:

1. Hydrologické, to znamená, že sme volili také vstupy, ktoré logicky najväčšou mierou ovplyvňujú tvorbu odtoku v povodí: zrážky, výpar a ukazovatele predošlého nasýtenia povodia.
2. Druhým faktorom, ktorý podmienil výber nezávisle premenných do regresného modelu bolo, aby pre všetky zvolené premenné už dnes boli k dispozícii klimatické scenáre ich zmien, t. j. uvažovali sme so scenármi pre teploty, pre zrážky a čiastočne pre relatívne vlhkosti vzduchu.

Spojením obidvoch vyššie uvedených kritérií výberu nezávisle premenných sme v prvej fáze riešenia uvažovali lineárny vzťah:

$$R = f(P, T, r), \quad (1)$$

kde R sú mesačné odtoky v [mm], P sú mesačné zrážkové úhrny v [mm], T je priemerná mesačná teplota v [$^{\circ}\text{C}$], r je priemerná relatívna vlhkosť vzduchu v [%]

Rovnicu (1) sme doplnili ukazovateľmi predošlého nasýtenia. Ako základný ukazovateľ predošlého nasýtenia sme volili odtok v predchádzajúcom mesiaci, t. j. R_{-1} . Tento sme doplnili o zrážky za predošlé tri mesiace (P_{-1} , P_{-2} , P_{-3}), nakoľko R_{-1} vyjadruje len bezprostredný stav pred vyšetrovaným mesiacom a nasýtenie povodia sa vytvára hlavne na základe podmienok, ktoré boli účinné oveľa skôr. Lineárny regresný model mal teda tvar:

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

Ďalšie doplnenie sa vzťahuje na rozšírenie variačného rozpätia nezávisle premenných, ktoré sa docielilo rozšírením časového intervalu, čo má za následok vznik filtračného efektu. Odstránila sa tým nežiaduca rozkolísanosť časového priebehu regresnej funkcie. Optimálna veľkosť intervalu bola stanovená na 3 mesiace. Výsledný lineárny regresný model má teda tvar:

$$(R_j) = f((P_j)_{-i}, (P_j), (T_j), (r_j), (R_j)_{-1}) \quad i = 1, 2, 3; j = -1, 0, 1 \quad (3)$$

Bližšie vysvetlenie problému je v kapitole 2.1.2, časť 2.

2.1.2 Časové parametre

S časovým faktorom sme sa pri riešení úlohy zaoberali v dvoch súvislostiach.

1. Voľba východiskového obdobia.

2. Voľba časového kroku, pre ktorý sme hľadali optimálne regresné vzťahy.

1. Zo strany klimatológov sme mali odporúčanie vychádzať z tridsaťročia 1951 - 1980, ktoré by malo reprezentovať nultý stav. Podľa ich názorov a predbežných výsledkov roky osemdesiate ako aj prvé roky ďalšieho desaťročia sa svojím charakterom ukazovali ako obdobie, v ktorom sa do určitej miery mohlo prejaviť globálne ovplyvnenie klímy. Napriek tomu, že tento fakt nie je dokázaný úplne a zostáva v rovine hypotézy a aj napriek tomu, že klimatológovia prijali ako ďalšie štandardné normálové obdobie 1961 - 90 (prvým bolo 1931 - 60), pre návrh klimatických scenárov sa rozhodli odporúčať ako východiskové obdobie 1951 - 80.

Predkladané riešenie možnej zmeny odtoku v rámci roka sa však v súčasnej fáze viaže na obdobie 1961 - 90. K tomuto rozhodnutiu nás viedol fakt, že základom riešenia je štatistický prístup. Naším cieľom teda nebolo hľadať riešenie z "čistého" nultého stavu, ale nájsť súbor takých lineárnych regresných vzťahov, ktoré by implicitne zahŕňali čo najširšiu informáciu (čo predpokladáme, že viac spĺňalo obdobie 1961 - 90).

2. Voľba časového kroku, pre ktorý sme hľadali optimálne regresné vzťahy medzi odtokom na jednej strane a nezávislými premennými podľa rovnice (2) na strane druhej sa zdala byť spočiatku jednoznačná, a to jeden mesiac. Závislosti, ktoré sme v tomto časovom kroku získali boli veľmi tesné (koeficienty viacnásobnej korelácie sa pohybovali od 0,6 do 0,95, väčšinou okolo 0,8 a viac). Napriek tomu výsledky (t. j. možné zmeny odtokov) boli v niektorých prípadoch nelogické (napr. v januároch pri nezmenených zrážkach a zvýšenej teplote vzduchu sa vyskytli záporné prírastky, t. j. odtoky by sa zmenšovali). Predpokladáme, že táto nelogičnosť sa vyskytovala v dôsledku toho, že variačné rozpätie priemerných mesačných teplôt v jednotlivých mesiacoch a rokoch bolo (napr. na rozdiel od zrážok) veľmi nízke, a teda vplyv teploty vzduchu na výsledné regresné vzťahy bol nepreukazný.

Preto sme pristúpili k voľbe rozšíreného časového intervalu (3 mesiace), pričom výsledky sa viažali na prostredný mesiac. Pri hľadaní závislostí pre 12 mesiacov sa postupovalo "kízavým spôsobom". Takýmto spôsobom sme síce čiastočne znížili tesnosť vzťahu (v priemere o 0,1 až 0,15) avšak širšie variačné rozpätie teploty vzduchu vyvolalo logickú reakciu vzťahov aj na túto nezávisle premennú.

2.2 Výber klimatických údajov

Po zvolení tvaru lineárno-regresnej rovnice sme potrebovali pripraviť vstupné údaje, a to mesačné zrážky, teplotu vzduchu a relatívnu vlhkosť vzduchu. K jednému vodomernému profilu bolo nutné vybrať minimálne jednu klimatickú stanicu (počet klimatických staníc sa posudzoval v závislosti od plochy povodia) a primeraný počet vhodne rozmiestnených zrážkomerných staníc. Plošné hodnoty teploty, relatívnej vlhkosti vzduchu a zrážok sa počítali ako jednoduché priemery zo staníc vybraných k príslušnému povodiu. K jednému radu mesačných odtokov bolo tak potrebné pripraviť približne 7-násobný počet údajov klimatických, a to od výberu staníc cez výpis z databanky a klimatického archívu až po ich kontrolu a uloženie do účelovej databanky NKP, časť VODA. Vstupné klimatické údaje sa brali z nasledujúcich 14 klimatických staníc a 37 zrážkomerných staníc:

Na hornom Váhu: Liptovský Hrádok, Podbanské, Štrbské Pleso a Kanská, Kráľová Lehota - Čierny Váh, Liptovská Teplička, Liptovský Mikuláš, Malužiná, Važec, Východná.

Na Nitre: Prievidza, Trenčín a Bánovce nad Bebravou, Dubodiel, Kšíná, Motešice, Šipkov, Uhrovec.

Na Ipľi: Boľkovce, Bzovík, Dudince, Pstruša a Budiná, Cerovo, Cínobaňa (Katarínska Huta), Detviarska Huta, Kalinovo, Kokava, Krná, Krupinica, Lovinobaňa, Málinec, Medovarce, Poltár, Sása, Senohrad, Sucháň.

Na Slanej: Lom nad Rimavicou, Ratková, Rimavská Sobota, Rožňava, Telgárt (Švermovo) a Číž, Hnúšťa, Hrachovo, Klenovec, Kokava nad Rimavicou, Nižná Slaná, Slavošovce, Štítnik, Veľký Blh.

2.3 Výber povodí

Pre Národný klimatický program SR sme odporučili 36 povodí z rôznych regiónov Slovenska, a to hlavne na základe dĺžky prietokových radov, prijateľnej miery ovplyvnenia hydrologického režimu v týchto povodiach aktivitami človeka, na základe výsledkov testovania homogenity disponibilných radov a na základe ich rozloženia po území Slovenska. Pre odhad scenárov zmien odtoku v jednotlivých mesiacoch roka na základe štatistického modelu sme vybrali 12 povodí: 11 je zo skupiny 36 povodí a jedno povodie sme doplnili, aby sme rozšírili informáciu z povodia Slanej. Pretože do regresného modelu vstupujú okrem

prietokov aj zrážky, teplota vzduchu a relatívna vlhkosť vzduchu a príprava, ako aj kontrola týchto klimatických údajov je časovo pomerne náročná, mohli sme sa zaoberať len vybranými povodiami. Pri tomto výbere sme brali do úvahy:

- povodia reprezentujúce rôzne fyzicko-geografické podmienky
- disponibilnosť klimatických údajov
- možnosť využitia tých istých klimatických údajov pre viacero povodí
- orientáciu najmä na oblasti južného Slovenska, ktoré podľa doterajších výsledkov môžu najcitlivejšie reagovať na potenciálne klimatické zmeny.

2.3.1 Prehľad spracovaných povodí

Povodie VÁHU

1. 5330 Východná - Biely Váh
2. 5400 Podbanské - Belá
3. 5550 Liptovský Mikuláš - Váh

Povodie IPEĽA

6. 7440 Holiša - Ipeľ
7. 7480 Lučenec - Krivánsky potok
8. 7580 Plášťovce - Krupinica
9. 7600 Plášťovce - Litava

Povodie NITRY

4. 6690 Biskupice - Bebrava
5. 6730 Nitrianska Streda - Nitra

Povodie SLANEJ

10. 7730 Štútnik - Štútnik
11. 7860 Lehota n. Rimavicou - Rimavica
12. 7885 Rimavská Seč - Blh

2.4. Popis výsledkov

Výsledky uvádzame v dvoch vyjadreniach (formách):

- ako percentuálne možné zmeny dlhodobého priemerného mesačného odtoku (tab.1). Tieto nepripočítavame priamo k dlhodobým priemerným mesačným odtokom základného obdobia 1961 - 1990, ale k tzv. baseline hodnotám, ktoré predstavujú „nulový stav“. Nulový stav sú vlastne hodnoty mesačných odtokov odvodené z mesačných priemerných odtokov nameňovaných, a to zhladením a spríemerovaním cez model.
- Druhým vyjadrením, v ktorom výsledky uvádzame, sú absolútne hodnoty, t. j. zmenené odtoky v mm (tab. 2). Tieto už ponúkajú konkrétnu predstavu o zmenených prietokoch v konkrétnych vodomerných staniách.

Poznámka: V tab. 1 a tab. 2 sú uvedené výsledky v zostručenej forme pre zmenu teploty 4 °C a zmenu zrážok 20 % a -20 %. Kompletne výsledky obsahuje správa Majerčáková, Šedík, Čagardová (1995).

Každé z obidvoch vyjadrení má svoj praktický význam. Percentuálne zmeny poskytujú názornú predstavu o veľkosti nožnej zmeny mesačných odtokov. Pri určítom generalizovaní a regionalizácii povodí (vzhľadom na podobnosť fyzicko-geografickú, priestorovú, výškovú a pod. s 12 vybranými povodiami, na ktoré bol model aplikovaný) je možné percentuálne zmeny odtoku opatrne využiť v tých oblastiach, ktoré by sme prípadnou regionalizáciou vyčlenili. Tento postup nám umožní v prvých odhadoch možných zmien rozdelenia ročného odtoku na Slovensku pracovať bez zdlhovej a náročnej prípravy klimatických podkladov (ktoré mnohokrát ani v požadovanom fyzicko-geografickom priestore nie sú).

Výsledky vyjadrené v absolútnych jednotkách (mm odtoku) umožňujú grafické vyjadrenie vývoja zmien odtoku v porovnaní so základným odtokovým scenárom. Okrem toho v prípade aplikácie klimatických scenárov hydrologické scenáre rozdelenia mesačných odtokov v absolútnych hodnotách možno využiť ako vstupy do ďalších hydrologických a vodohospodárskych úloh, príklad využitia uvedieme v ďalšom texte.

2.5 Hodnotenie výsledkov

Z analýzy výsledkov možno odvodiť nasledujúce konštatovania:

- Koeficienty viacnásobnej lineárnej regresie sa pohybujú vo všetkých staniách a mesiacoch v rozpätí od 0.55 do 0.89. Nižšie hodnoty koeficientov sa vyskytujú sporadicky, hlavne v mesiacoch marec, prípadne apríl. Vo väčšine prípadov sú však hodnoty koeficientov nad 0.70.
- Pri nezmenených zrážkach s nárastom teploty do 4 °C v povodiach stredných a nižších plôch (Nitra, Ipeľ, Slaná) pribúda odtok počas zimy (január až marec). V povodí Váhu pribúdanie odtoku s narastajúcim teploty možno očakávať od novembra do apríla. V najvyššie položenom povodí (Belá po Podbanské) dokonca od októbra do mája. Maximálne prírastky odtoku sa pohybujú medzi 30 a 50 %. Takéto zvýšenie odtoku v zimných mesiacoch by mohlo nastať v dôsledku zníženia podielu tuhých zrážok, ako aj zníženia akumulovanej vody v snehovej pokrývke. Zníženie odtoku pri nezmenených zrážkach a zvy-

šovaní teploty až o 4 °C by sa v stredných a nižších polohách mohlo prejavíť od apríla až do decembra, vo vysokohorských polohách od mája do októbra, prípadne len od júna do septembra. Maximálne zníženie odtoku v stredných a nižších polohách by bolo hlavne v mesiaci september (v povodí Nitry do 40 % v povodí Ipl'a a Slanej od 60 do 85 %; na dvoch povodiach (Litava a Krupinica) by dokonca v tomto čase mohlo dôjsť k vysychaniu tokov.

- V najnepriaznivejšom prípade, t. j. zvýšení teploty o 4 °C a znížení zrážok o 20 % by odtok z povodia narastal len v niektorých zimných mesiacoch. Na hornom Váhu od januára do marca, prípadne do apríla, v povodí Nitry by sa odtok zvýšil len nepatrne v januári a februári. V povodí Ipl'a a Slanej by sa odtok zvýšil výraznejšie v januári a vo februári, v niektorých povodiach aj v marci. V ostatných mesiacoch by za takejto situácie mohlo dôjsť k veľmi výraznému poklesu odtokov. V povodí horného Váhu najkritickejším by bol mesiac jún (zníženie odtokov od 50 do 65 %), v povodí Nitry by boli kritické všetky mesiace od apríla do konca roka, vodnosť tokov by sa mohla znížiť na polovinu až tretinu v porovnaní so súčasným stavom. Pomerne ťažko je zaujať stanovisko k výsledkom v povodiach Ipl'a a Slanej. Tu by pokles vodnosti, najmä v septembri a októbri, mohol byť tak výrazný, že by dochádzalo k vysychaniu tokov (hodnoty úbytkov odtoku okolo 100 a viac percent). V ostatných mesiacoch by sa vodnosť mohla znížiť na polovinu až tretinu.
- V prípade nárastu teploty o 4 °C a zvýšení zrážok o 20 % by vo všetkých povodiach došlo k oveľa vyrovnannejšiemu odtoku v rámci roka, ako to poznáme v súčasnosti. Výrazne by sa zvýšili objemy odtoku neskorej jesene a zimy. Odtoky v jarných mesiacoch (do júna), ako aj septembrové by poklesli výraznejšie ako v ostatných letných a jesenných mesiacoch.

Poznámka: Hodnoty záporných zmien odtoku menšie ako -100 % sú čisto matematickým vyjadrením. V skutočnosti treba tieto hodnoty uvažovať ako rovné -100 %, t. j. uvažovať s poklesom priemerného mesačného odtoku na nulu.

Je zrejme, že výsledky treba prijímať s určitou opatrnosťou. Pri riešení tejto úlohy sme totiž vychádzali z premisy, že súčasnú odozvu povodia (vyjadrenú viacnásobným lineárnym regresným modelom) možno aplikovať na budúcnosť so zmenenými klimatickými podmienkami.

Na prvý pohľad sa môžu niektoré čísla zdať príliš extrémne (hlavne tie, ktoré vyjadrujú možné zníženie priemerných odtokov v septembri). Tu by sme radi pripomenuli hydrologickú situáciu v roku 1993 v povodiach južného Slovenska. Zníženie odtokov počas letných mesiacov v povodiach Slanej a Ipl'a dosiahlo hodnotu až 80 - 90 % z dlhodobých priemerov a ročné odtoky sa pohybovali medzi 20 až 35 % dlhodobých priemerných ročných odtokov.

Vzhľadom na túto síce extrémnu, ale reálnu situáciu predložené výsledky sú akceptovateľné ako jedna z možností budúceho vývoja odtokových pomerov na tokoch Slovenska.

3. ANALÝZA ÚČINKOV POTENCIÁLNYCH KLIMATICKÝCH ZMIEN PODĽA KONKRÉTNÝCH SCENÁROV NA PRIEMERNÉ MESAČNÉ ODTOKY NA TOKOCH SLOVENSKA

3.1. Aplikácia klimatických scenárov na štatistický model

Zo známych vstupov a výstupov sa štatisticky určili parametre modelu a vypočítal sa tzv. baseline scenár pre všetky premenné uvažované v modeli.

Na baseline scenár zrážok a teplôt sa aplikovali možné zmeny zrážok a teplôt podľa 7 konkrétnych scenárov, a to pre tri časové horizonty: 2010, 2030 a 2075. Posledný časový horizont predstavuje situáciu, pri ktorej dôjde v atmosfére k dvojnásobnému zvýšeniu CO₂.

Scenáre klimatických zmien, ktoré sa použili v tejto štúdii možno rozdeliť do dvoch skupín:

- výsledky GCMs modelov premietnuté do konkrétnych scenárov CCCM, GISS a GFD3;
- scenáre zmien klímy vypracované v rámci Národného klimatického programu, konkrétne scenáre WP A, WP B, SD A a SD B.

3.2 Popis výsledkov

Opísaný štatistický lineárno-regresný model sa aplikoval na 12 povodiach s cieľom získať možné zmeny rozdelenia odtoku počas roka. Tieto zmeny sme označili ako scenáre hydrologické a zodpovedajú konkrétnym klimatickým scenárom.

Výsledky uvádzame v dvoch vyjadreniach:

- ako percentuálne možné zmeny dlhodobého priemerného mesačného odtoku (tab. 3). Tieto nepripočítavame priamo k dlhodobým priemerným mesačným odtokom základného obdobia 1961 - 1990 ale k tzv. baseline hodnotám.
- ako absolútne hodnoty, t. j. zmenené odtoky v mm (tab. 4).

Poznámka: V tab. 3, tab. 4 sú uvedené výsledky v zoskrušenej forme pre časový horizont 2075. Kompletne výsledky obsahuje správa Majerčáková, Šedík (1996).

3.3 Podrobná analýza hydrologických scenárov

Klimatický scenár CCCM:

V **chladnom polroku** (november - apríl) na severe krajiny odtok pravdepodobne stúpne. V okrajových mesiacoch zimy (november, december, apríl) zhruba o +5 až +30 % (percento narastá so vzdáľujúcim sa časovým horizontom), uprostred zimy o +15 až +70 %, opäť väčší vzostup prietokov sa viaže na najvzdialenejší časový horizont. S rastúcou nadmorskou výškou je zvýšenie odtokov spojené so širšou časťou roka, a to od októbra až do mája, avšak v mesiacoch uprostred zimy - december, január a február - sa odtok prakticky nezmení. V **teplom polroku**, prakticky od mája (vo vyšších polohách od júna) až do októbra (resp. septembra) sa môžeme podľa tohto klimatického scenára stretnúť s poklesom mesačných odtokov, o -5 až -40 %. Pokles sa opäť zväčšuje k vzdialeným časovým horizontom. K mesiacom s najväčším poklesom odtokov na severnom Slovensku patria: jún, júl a september. V **strednej prechodnej oblasti** taktiež počas zimných mesiacov (december - marec) sa odtoky zvýšia o +5 až +65 %. December je spojený s minimálnym vzostupom, pre horizont 2075 neprekračuje +12 %. Maximálne zvýšenie je v januári a februári, od +20 do +65 %. V marci sa zvýšenie odtoku pohybuje okolo polovice (+10 až +30 %). V **teplom polroku** od apríla do októbra zaznamenávame možný pokles odtoku od -5 do -50 %. Menší pokles je v apríli, auguste a októbri, v najvzdialenejšom časovom horizonte neprekračuje hodnotu -15 %. V ostatných mesiacoch (máj, jún, júl a september) sa pokles odtoku pohybuje od -10 do -50 %. Maximálne hodnoty poklesu sa viažu na najvzdialenejšie časové horizonty. V **južných povodiach Slovenska** sa počas zimy zvýšia odtoky taktiež od novembra do marca, avšak v novembri a decembri sú zmeny nevýrazné. Maximálny vzostup zimných odtokov sa viaže na január a február (od +20 do viac ako +100 %), v marci je toto zvýšenie zhruba polovičné. Od **apríla do októbra** zaznamenávame na juhu výrazný pokles prietokov: v apríli a októbri od -5 do -30 až -40 % v závislosti od odľahlosti časových horizontov; v máji až septembri sa zníženie podľa scenára CCCM pohybuje od -15 do -70 % pre časové horizonty 2010 až 2030; pre najvzdialenejší časový horizont môže podľa scenára CCCM dôjsť k vysychaniu povrchových tokov južného Slovenska, a to hlavne v júni, júli a septembri. Ak zhrnieme výsledky odvodené z CCCM modelu môžeme konštatovať: **pre chladný polrok** sa odtoky zvyšujú, v južnom smere sa skracuje obdobie zvýšených zimných odtokov a zároveň rastie ich percentuálna zmena. V **teplom polroku** sa stretávame so všeobecným poklesom vodnosti slovenských tokov, pokles narastá v južnom smere. V najvzdialenejšom časovom horizonte môže počas júna až septembra dochádzať až k vysychaniu tokov.

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 skracuje 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 zaznamenáme 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 až 100 %. Ďalším zaujímavým faktom je, že aj keď podľa scenára GISS možno očakávať ako na severe, tak aj na juhu krajiny najvyššie zrážkové prírastky, mesačné modelované odtoky poklesli oproti východiskovému stavu v 37 % prípadoch.

Klimatický scenár GFD 3:

Na **severe Slovenska** sú pre tento scenár po celý rok zvýšené mesačné odtoky s výnimkou júna a júla, v nižších polohách severného Slovenska aj mája. Maximálne zvýšenie odtoku pripadá na október - november a február - marec (prípadne marec - apríl vo vyšších nadmorských výškach), a to o +10 až +25 % okolo roku 2010, +25 až +40 % okolo horizontu 2030 a +45 až +70 % v horizonte 2075. V letných mesiacoch

máj až júl (resp. jún, júl) možno podľa GFD 3 očakávať na severe zníženie mesačných prietokov o -10 až -60 %. V strednej oblasti je situácia obdobná, zníženie mesačných odtokov možno očakávať od apríla do júla prípadne aj v septembri; maximálne zníženie mesačného odtoku pre rok 2075 nepresahuje -35 %. Zvýšenie mesačných odtokov v ostatných mesiacoch roka sa pohybuje medzi +5 a +45%, najväčšie je počas novembra a februára pre najvzdialenejší časový horizont. Na juhu Slovenska môžeme podľa GFD 3 očakávať zníženie vodnosti na tokoch od apríla do septembra o -30 až -50 % (v časovom horizonte 2075 v niektorých prípadoch hlavne v povodí Ipľa môže dôjsť k vysychaniu tokov). Možné prírastky mesačných odtokov od októbra do marca sa juhu pohybujú od +10 do +20 % okolo roku 2010, od +25 do +45 % okolo roku 2030 a od +35 až do +90 % okolo roku 2075. Mesiac december pre všetky tri časové horizonty zostáva temer bez zmeny. Z rozboru výsledkov podľa scenára GFD 3 vyplýva, že extrémnosť zmien prietokov narastá k horizontu 2075 (v zimnom polroku ide o zmeny kladné a v letnom o zmeny záporné). Relatívne najväčšie zmeny mesačných odtokov pripadajú na jún a júl ako aj november a február.

Klimatické scenáre WP:

Na severe územia prírastky mesačných odtokov sa pravdepodobne vyskytnú od januára do apríla (vo vyšších nadmorských výškach prípadne až do mája). Maximálny vzostup mesačných prietokov počas zimy v prvých dvoch časových horizontoch nepresiahne +20 až +30 % (alternatíva A), resp. +30 až +40 % (alternatíva B). So vzdalujúcim sa časovým horizontom môžu maximálne prírastky odtokov v zimných mesiacoch dosiahnuť hodnoty +45 až +55 % (podľa A), resp. +50 až +70 % (podľa B). Maximálne prírastky prietokov možno očakávať hlavne vo februári a marci. Znižovanie odtokov počas leta je pravdepodobné od júna do novembra. Maximálne zníženie odtoku počas leta na severe pre najvzdialenejší rok 2075 by nemalo prekročiť -40 až -45 % (podľa alternatívy B) a viaže sa na mesiace júl, september a október. Smerom na juh sa zvyšuje počet mesiacov so zápornými prírastkami mesačných odtokov, taktiež narastá percentuálne zníženie odtokov; k časovému horizontu 2030 v 10 z 12 mesiacov sa znižuje odtok (počas 6 mesiacov dokonca o 1/3 až 1/2). V časovom horizonte 2075 možno očakávať až vysychanie tokov, hlavne v septembri. K zvýšeniu odtokov podľa scenárov WP môže v južnej oblasti dôjsť prakticky len v januári a februári, výnimočne v marci (v marci možno skôr predpokladať nulové alebo len mierne zvýšenie odtokov). K vzdialenejším časovým horizontom sa možné zimné prírastky mesačného odtoku zdvojnásobujú až stonásobujú oproti hodnotám vypočítaným pre horizont 2010.

Klimatické scenáre SD:

Výsledky podľa scenárov SD sú veľmi podobné výsledkom, ktoré boli odvodené zo scenárov WP, preto sa zmienime len o niektorých rozdieloch:

- Možné zmeny (percentuálne zníženie odtokov) počas leta sú v južnej oblasti oveľa extrémnejšie (hlavne v dôsledku najväčšieho scenárom prognózovaného poklesu zrážok počas leta na juhu). Vo viacerých prípadoch (až 21% mesiacov letného polroka) môže na tokoch južného Slovenska dôjsť k úplnému zastaveniu povrchového odtoku.
- Zimné zvýšenie odtokov na juhu Slovenska je takisto v porovnaní so scenármi WP vyššie, a to v dôsledku ako vyšších prírastkov teploty tak zrážok počas zimných mesiacov.

Podrobnú analýzu hodnotenia hydrologických scenárov pre povodia v centrálnej časti Slovenska možno na základe spoločných znakov zhrnúť do nasledujúcich bodov:

- V zimnom období podľa všetkých scenárov vo všetkých troch oblastiach bude pravdepodobné významné zvýšenie odtoku. V severných oblastiach Slovenska možno očakávať mierne až stredne zvýšené odtoky počas viacerých mesiacov od novembra (prípadne už od októbra) do apríla. V južných oblastiach bude obdobie zvýšených zimných odtokov kratšie a intenzívnejšie.
- Na jar a v lete možno očakávať výrazný až veľmi výrazný pokles odtoku (s výnimkou scenára GFD 3). Podľa scenára GFD 3 môžeme očakávať zvýšenie odtokov - na severe územia od augusta, smerom na juh sa zvýšené odtoky posúvajú na jesenné mesiace.
- Pre jesenné mesiace sme dostali veľmi diferencované výsledky, ktoré nemožno jednoznačne kategorizovať. Podľa scenárov CCCM a GISS možno až do konca hydrologického roka očakávať zvyšovanie priemerných mesačných odtokov. Naopak, pri aplikácii scenárov WP a SD dochádza až do konca hydrologického roka k zníženiu priemerných mesačných odtokov.
- Z analýzy výsledkov nemožno jednoznačne konštatovať, ktoré klimatické scenáre dávajú najextrémnejšie scenáre hydrologické. V zimnej sezóne maximálne zvýšenie odtokov je podľa scenára GISS; v letnom období maximálne zníženie odtokov je pri aplikácii scenárov SD B a WP B.
- Intenzita zmeny odtoku ako v zimnej, tak v letnej sezóne sa zvyšuje od severu smerom na juh a so vzdalujúcim sa časovým horizontom.

Tak, ako klimatické scenáre nie sú prognózou budúceho vývoja klímy v pravom slova zmysle, ale sú len opisom možností budúceho vývoja klímy, ani hydrologické scenáre nedávajú konkrétnu odpoveď na vývoj budúcej hydrologickej situácie. Hydrologické scenáre sú vyjadrením hydrologickej situácie, aká by mohla eventuálne nastať, ak by došlo ku klimatickým zmenám v niektorej z podôb, ako ich prezentujú zvolené klimatické scenáre. Pretože sa nehodnotí pravdepodobnosť klimatických scenárov, nie je možné hodnotiť ani pravdepodobnosť scenárov hydrologických. Avšak možnosť klimatických, a teda aj následných hydrologických zmien je prítomná. To znamená, že riziko signifikantného ovplyvnenia povrchových zdrojov vody tu je. Zvlášť významné je toto riziko v južných a juhovýchodných povodiach Slovenska.

4. ZÁVER

V závere riešenia NKP by sme chceli vyjadriť náš názor a pohľad na to, aký je, resp. môže byť praktický prínos získaných výsledkov.

Prakticky možno predložené hydrologické scenáre využiť hlavne vo sfére vodného hospodárstva a následne v sektoroch, ktoré sú na vodné hospodárstvo napojené, napr.: poľnohospodárska rastlinná produkcia, časť energetiky, turistika. Využitie je možné najmä v koncepčných a výhľadových dokumentoch a plánoch rozvoja uvedených sektorov.

Na základe prezentovaných úvah o možnom vývoji hydrologickej situácie a hydrologických scenárov (nielen v našom súbore prác, ale aj v ďalších prácach subprojektu VODA riešených v rámci Národného klimatického programu SR a programu Country Study SR) je možné postupnými krokmi sprísňovať legislatívu ako využívania, tak aj ochrany vodných zdrojov a zdrojových oblastí vody.

Úvahy o možných zmenách a eventualitách vývoja klímy a hydrologickej situácie a postupné prijímanie aspoň rámcových opatrení, ktorými sa môžeme v budúcej situácii ľahšie prispôsobiť (za takéto rámcové opatrenie považujeme aj podporu MŽP SR pri riešení Národného klimatického programu SR a projektov Country Study SR) do značnej miery eliminujú riziká, ktorým môžu byť nasledujúce generácie vystavené.

LITERATÚRA

Majerčáková, O., Šedík, P., Cagardová, Ž.: Odhad možných zmien odtoku počas roka na základe štatistického modelu. Správa NKP SR. SHMÚ Bratislava 1995.

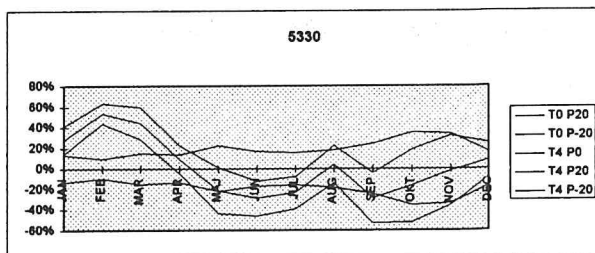
Majerčáková, O., Minárik, B., Šedík, P., Cagardová, Ž.: Možné zmeny odtoku počas roka na tokoch Slovenska v dôsledku potenciálnych klimatických zmien. Správa pre Country Study Program SR (vypracovaná v slovenskej a anglickej verzii), SHMÚ Bratislava 1996.

Majerčáková, O., Šedík, P.: Analýza účinkov potenciálnych klimatických zmien podľa konkrétnych klimatických scenárov na priemerné mesačné odtoky na tokoch Slovenska. Komparácia možných zmien odtoku v dôsledku potenciálnych klimatických zmien s historickými zmenami odtoku. Záverečná správa pre NKP SR. SHMÚ Bratislava 1996.

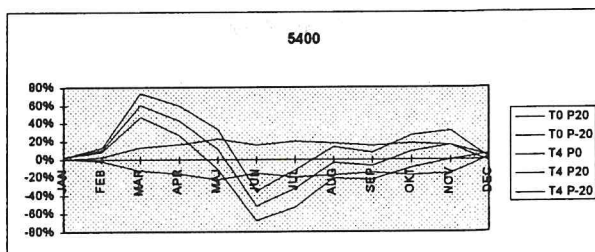
tab. 1 Zmeny priemerného mesačného odtoku v % podľa zmien teploty a zrážok
tab. 1 Mean monthly runoff change in % due to temperature and precipitation change

3

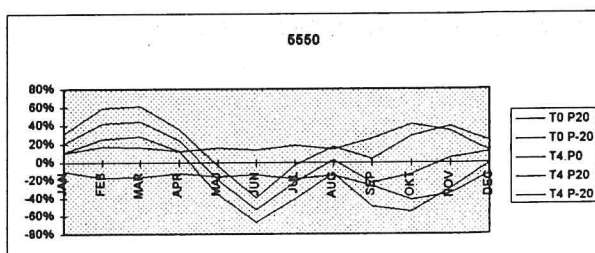
5330	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	14%	-14%	28%	42%	14%
FEB	10%	-10%	54%	64%	44%
MAR	15%	-15%	44%	60%	29%
APR	14%	-14%	9%	23%	-5%
MAJ	22%	-22%	-21%	1%	-44%
JUN	17%	-17%	-29%	-12%	-46%
JUL	16%	-16%	-24%	-8%	-39%
AUG	18%	-18%	4%	22%	-14%
SEP	24%	-24%	-29%	-4%	-53%
OKT	36%	-36%	-17%	19%	-52%
NOV	34%	-34%	-2%	32%	-36%
DEC	17%	-17%	8%	25%	-8%



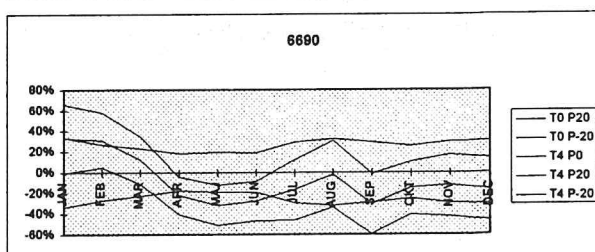
5400	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	0%	0%	2%	2%	2%
FEB	2%	-2%	10%	13%	8%
MAR	13%	-13%	60%	73%	47%
APR	17%	-17%	43%	60%	27%
MAJ	22%	-22%	11%	33%	-11%
JUN	16%	-16%	-51%	-35%	-67%
JUL	20%	-20%	-33%	-12%	-53%
AUG	17%	-17%	-4%	13%	-22%
SEP	15%	-15%	-8%	8%	-23%
OKT	18%	-18%	9%	27%	-9%
NOV	16%	-16%	16%	32%	0%
DEC	-2%	2%	4%	1%	6%



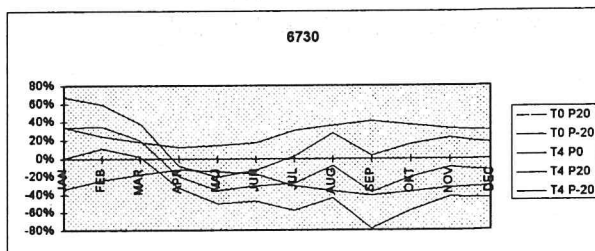
5550	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	10%	-10%	21%	31%	11%
FEB	17%	-17%	42%	59%	25%
MAR	16%	-16%	45%	61%	28%
APR	12%	-12%	24%	36%	12%
MAJ	16%	-16%	-20%	-4%	-35%
JUN	14%	-14%	-53%	-39%	-67%
JUL	19%	-19%	-22%	-3%	-41%
AUG	15%	-15%	3%	17%	-12%
SEP	26%	-26%	-23%	4%	-49%
OKT	42%	-42%	-13%	29%	-55%
NOV	34%	-34%	5%	40%	-29%
DEC	12%	-12%	11%	24%	-1%



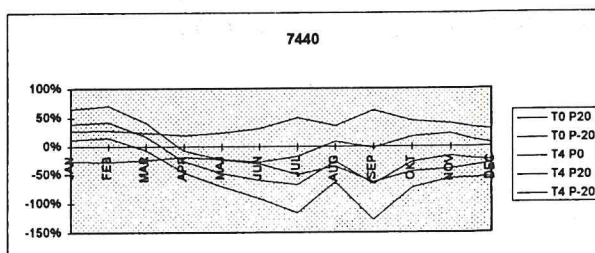
6690	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	34%	-34%	33%	66%	-1%
FEB	27%	-27%	31%	58%	5%
MAR	23%	-23%	12%	35%	-11%
APR	18%	-18%	-22%	-4%	-40%
MAJ	19%	-19%	-32%	-13%	-51%
JUN	19%	-19%	-28%	-9%	-46%
JUL	29%	-29%	-17%	12%	-46%
AUG	32%	-32%	-2%	30%	-34%
SEP	29%	-29%	-30%	-1%	-60%
OKT	25%	-25%	-15%	10%	-40%
NOV	30%	-30%	-12%	17%	-42%
DEC	30%	-30%	-16%	14%	-46%



6730	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	34%	-34%	34%	67%	0%
FEB	24%	-24%	35%	59%	11%
MAR	18%	-18%	20%	38%	2%
APR	12%	-12%	-20%	-8%	-32%
MAJ	15%	-15%	-35%	-21%	-50%
JUN	17%	-17%	-30%	-13%	-48%
JUL	30%	-30%	-28%	3%	-58%
AUG	36%	-36%	-8%	28%	-44%
SEP	41%	-41%	-37%	3%	-78%
OKT	37%	-37%	-21%	16%	-58%
NOV	33%	-33%	-10%	23%	-42%
DEC	30%	-30%	-13%	17%	-44%



7440	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	26%	-26%	38%	65%	12%
FEB	28%	-28%	42%	70%	14%
MAR	24%	-24%	17%	41%	-7%
APR	19%	-19%	-27%	-8%	-46%
MAJ	23%	-23%	-47%	-24%	-70%
JUN	31%	-31%	-60%	-28%	-91%
JUL	49%	-49%	-67%	-17%	-116%
AUG	35%	-35%	-27%	9%	-62%
SEP	63%	-63%	-66%	-3%	-129%
OKT	45%	-45%	-28%	17%	-72%
NOV	40%	-40%	-17%	23%	-56%
DEC	30%	-30%	-24%	5%	-54%



tab. 1 pokračovanie
tab. 1 continued

3

7480	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	39%	-39%	52%	90%	13%
FEB	34%	-34%	48%	82%	14%
MAR	28%	-28%	13%	41%	-15%
APR	15%	-15%	-30%	-15%	-45%
MAJ	24%	-24%	-41%	-18%	-65%
JUN	37%	-37%	-50%	-12%	-87%
JUL	45%	-45%	-36%	8%	-81%
AUG	24%	-24%	-9%	14%	-33%
SEP	75%	-75%	-83%	-7%	-158%
OKT	59%	-59%	-40%	19%	-99%
NOV	55%	-55%	-25%	30%	-80%
DEC	41%	-41%	-22%	19%	-63%

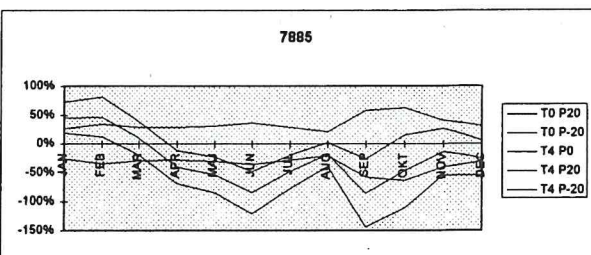
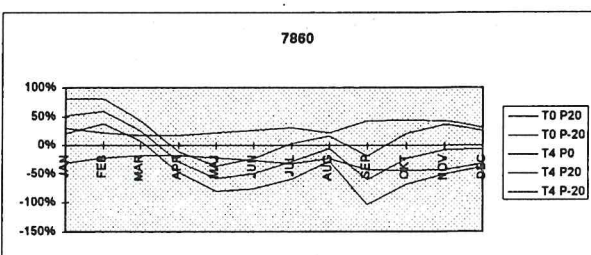
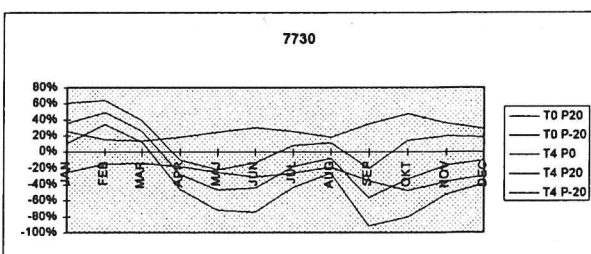
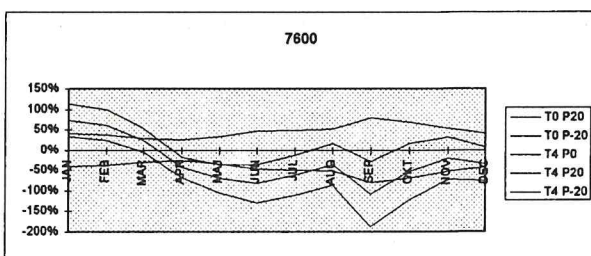
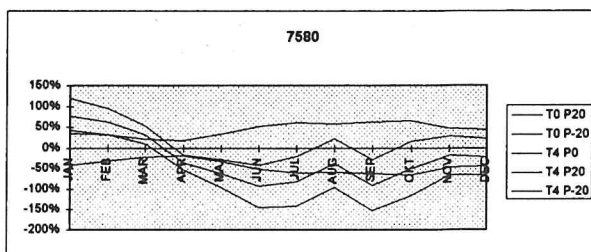
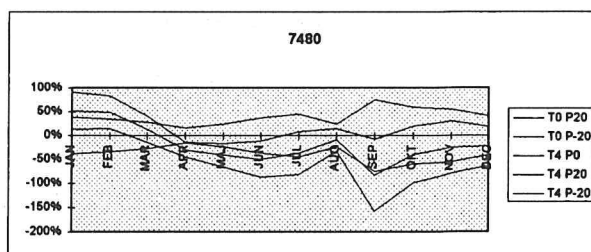
7580	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	42%	-42%	77%	119%	35%
FEB	31%	-31%	63%	94%	31%
MAR	21%	-21%	32%	53%	10%
APR	18%	-18%	-35%	-17%	-53%
MAJ	33%	-33%	-62%	-29%	-95%
JUN	52%	-52%	-93%	-41%	-144%
JUL	60%	-60%	-81%	-21%	-141%
AUG	59%	-59%	-37%	22%	-95%
SEP	62%	-62%	-91%	-29%	-153%
OKT	66%	-66%	-50%	16%	-115%
NOV	47%	-47%	-18%	29%	-65%
DEC	44%	-44%	-21%	23%	-65%

7600	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	40%	-40%	73%	114%	33%
FEB	38%	-38%	61%	99%	23%
MAR	29%	-29%	24%	53%	-5%
APR	25%	-25%	-42%	-17%	-67%
MAJ	34%	-34%	-70%	-36%	-104%
JUN	47%	-47%	-82%	-35%	-129%
JUL	49%	-49%	-62%	-13%	-112%
AUG	52%	-52%	-35%	16%	-87%
SEP	80%	-80%	-108%	-28%	-188%
OKT	69%	-69%	-52%	17%	-121%
NOV	53%	-53%	-20%	32%	-73%
DEC	41%	-41%	-34%	7%	-75%

7730	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	25%	-25%	36%	61%	11%
FEB	15%	-15%	49%	64%	34%
MAR	14%	-14%	25%	39%	12%
APR	18%	-18%	-28%	-10%	-46%
MAJ	25%	-25%	-47%	-22%	-72%
JUN	30%	-30%	-44%	-13%	-74%
JUL	26%	-26%	-18%	8%	-43%
AUG	19%	-19%	-7%	11%	-26%
SEP	35%	-35%	-56%	-20%	-91%
OKT	47%	-47%	-33%	15%	-80%
NOV	36%	-36%	-16%	20%	-52%
DEC	29%	-29%	-10%	19%	-39%

7860	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	30%	-30%	52%	82%	22%
FEB	22%	-22%	59%	81%	37%
MAR	17%	-17%	26%	43%	8%
APR	18%	-18%	-29%	-11%	-47%
MAJ	22%	-22%	-58%	-36%	-80%
JUN	26%	-26%	-49%	-23%	-76%
JUL	31%	-31%	-28%	3%	-59%
AUG	22%	-22%	-5%	17%	-28%
SEP	42%	-42%	-60%	-18%	-103%
OKT	44%	-44%	-23%	21%	-67%
NOV	43%	-43%	-7%	36%	-50%
DEC	31%	-31%	-6%	25%	-37%

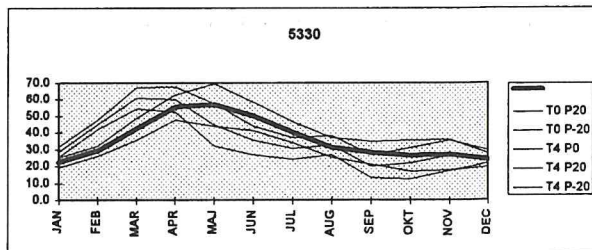
7885	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	27%	-27%	46%	72%	19%
FEB	35%	-35%	47%	81%	12%
MAR	29%	-29%	10%	39%	-19%
APR	28%	-28%	-40%	-12%	-69%
MAJ	30%	-30%	-54%	-23%	-84%
JUN	36%	-36%	-84%	-48%	-120%
JUL	29%	-29%	-48%	-20%	-77%
AUG	21%	-21%	-19%	3%	-40%
SEP	58%	-58%	-85%	-27%	-144%
OKT	63%	-63%	-47%	16%	-110%
NOV	41%	-41%	-14%	27%	-55%
DEC	30%	-30%	-25%	6%	-55%



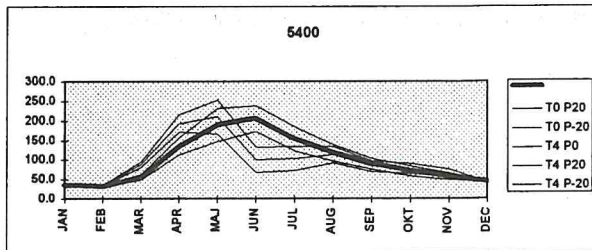
tab. 2 Priemerný mesačný odtok v mm podľa zmien teploty a zrážok
tab. 2 Mean monthly runoff in mm due to temperature and precipitation change

3

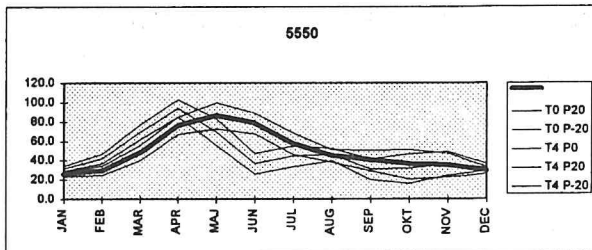
5330	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	22.4	25.4	19.4	28.7	31.7
FEB	29.2	32.1	26.3	44.9	47.8
MAR	42.2	48.8	35.7	60.9	67.5
APR	55.2	62.8	47.5	60.1	67.7
MAJ	56.7	69.4	44.0	44.7	57.4
JUN	49.8	58.3	41.4	35.4	43.8
JUL	40.2	46.6	33.9	30.7	37.1
AUG	31.2	36.9	25.5	32.4	38.2
SEP	28.1	34.9	21.2	20.1	26.9
OKT	26.2	35.5	16.8	21.8	31.1
NOV	26.8	35.9	17.7	26.3	35.4
DEC	23.8	27.7	19.8	25.8	29.7



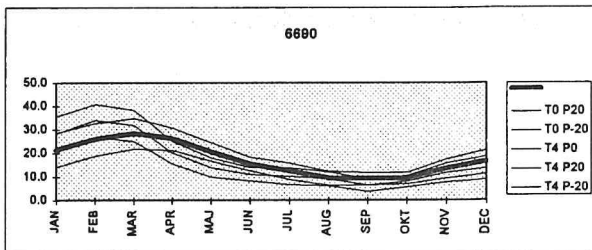
5400	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	35.3	35.2	35.4	36.0	35.8
FEB	31.0	31.7	30.3	34.3	35.0
MAR	55.5	62.7	48.2	88.9	96.2
APR	135.2	157.6	112.9	193.5	215.9
MAJ	189.3	231.8	146.9	210.1	252.5
JUN	206.3	239.1	173.4	100.5	133.4
JUL	154.1	185.0	123.2	104.0	134.9
AUG	118.1	138.8	97.5	113.2	133.8
SEP	90.4	104.1	75.8	83.6	97.2
OKT	71.3	84.2	58.5	77.5	90.4
NOV	57.5	66.6	48.3	66.4	75.6
DEC	43.8	42.8	44.9	45.4	44.3



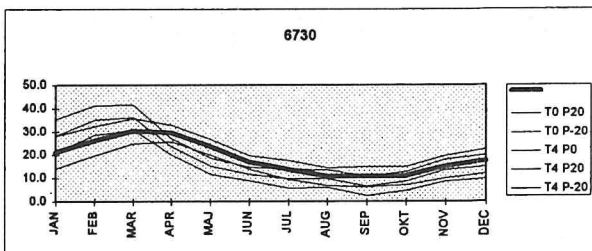
5550	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	26.2	29.0	23.5	31.7	34.4
FEB	29.5	34.5	24.5	41.9	47.0
MAR	47.8	55.6	40.0	69.1	76.9
APR	75.8	84.9	66.7	94.1	103.1
MAJ	86.3	99.9	72.6	69.4	83.0
JUN	78.2	88.8	67.6	36.7	47.3
JUL	57.1	67.8	46.3	44.6	55.3
AUG	44.6	51.1	38.0	45.8	52.3
SEP	39.9	50.5	29.4	30.8	41.4
OKT	36.3	51.5	21.1	31.5	46.7
NOV	35.1	47.2	23.0	36.9	49.0
DEC	29.4	33.1	25.7	32.7	36.4



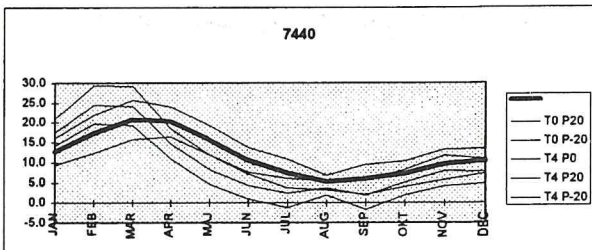
6890	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	21.5	28.7	14.3	28.5	35.7
FEB	25.9	32.8	18.9	34.0	40.9
MAR	28.4	35.0	21.9	31.8	38.3
APR	26.2	30.9	21.5	20.4	25.1
MAJ	20.7	24.6	16.7	14.1	18.1
JUN	15.5	18.4	12.6	11.2	14.1
JUL	12.4	16.0	8.8	10.3	13.9
AUG	9.4	12.4	6.4	9.3	12.3
SEP	9.2	11.9	6.5	6.4	9.1
OKT	9.5	11.9	7.1	8.1	10.5
NOV	13.6	17.6	9.6	11.9	15.9
DEC	16.4	21.4	11.4	13.8	18.7



6730	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	21.1	28.2	14.0	28.3	35.4
FEB	26.0	32.3	19.7	35.1	41.4
MAR	30.3	35.8	24.8	36.3	41.7
APR	29.3	32.9	25.7	23.5	27.0
MAJ	23.4	26.8	20.0	15.2	18.6
JUN	16.8	19.7	13.9	11.7	14.6
JUL	13.4	17.5	9.4	9.7	13.8
AUG	10.5	14.3	6.7	9.7	13.4
SEP	10.5	14.8	6.2	6.6	10.8
OKT	10.9	14.9	6.9	8.6	12.7
NOV	14.8	19.7	10.0	13.4	18.2
DEC	17.2	22.4	12.0	14.9	20.1



7440	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	12.7	16.1	9.4	17.6	21.0
FEB	17.2	22.0	12.4	24.5	29.3
MAR	20.7	25.7	15.7	24.2	29.2
APR	20.3	24.0	16.5	14.8	18.5
MAJ	15.6	19.2	11.9	8.3	11.9
JUN	10.5	13.8	7.2	4.2	7.5
JUL	7.3	10.8	3.7	2.4	6.0
AUG	5.0	6.8	3.2	3.7	5.4
SEP	5.8	9.5	2.2	2.0	5.7
OKT	7.1	10.3	4.0	5.1	8.3
NOV	9.6	13.3	5.8	8.0	11.7
DEC	10.3	13.4	7.3	7.8	10.9



tab. 2 pokračovanie
tab. 2 continued

3

7480	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	20.1	27.8	12.3	30.4	38.2
FEB	27.0	36.2	17.7	39.9	49.1
MAR	33.3	42.6	24.0	37.8	47.1
APR	32.1	37.0	27.2	22.5	27.4
MAJ	25.1	31.1	19.1	14.7	20.7
JUN	17.2	23.6	10.8	8.7	15.1
JUL	11.7	16.9	6.5	7.4	12.6
AUG	8.0	9.9	6.1	7.3	9.2
SEP	9.5	16.7	2.4	1.7	8.8
OKT	11.7	18.7	4.8	7.0	14.0
NOV	15.5	24.1	7.0	11.7	20.2
DEC	15.5	21.8	9.1	12.0	18.4

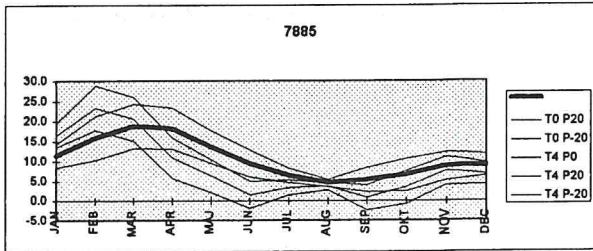
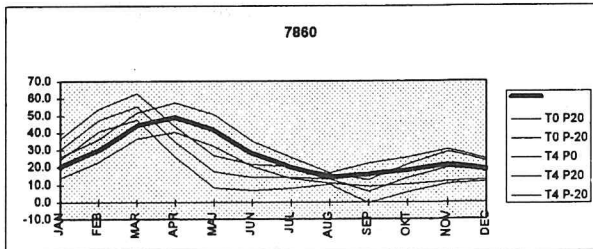
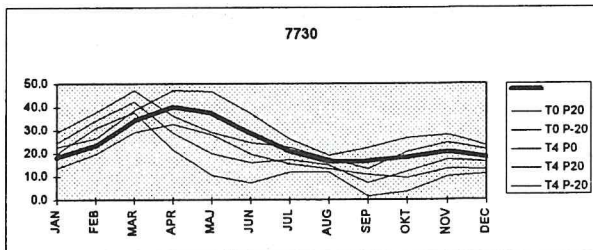
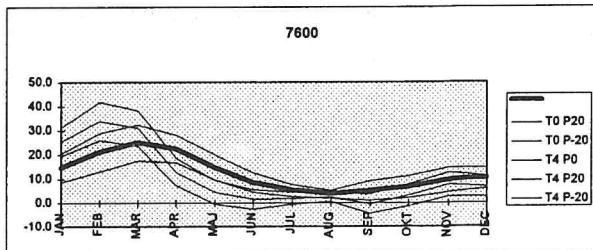
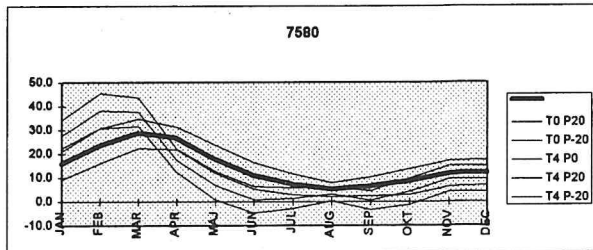
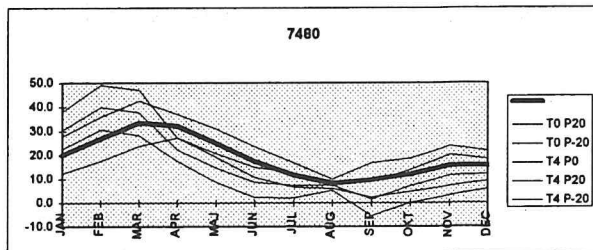
7580	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	15.7	22.3	9.1	27.7	34.3
FEB	23.5	30.8	16.1	38.2	45.5
MAR	28.6	34.7	22.5	37.6	43.7
APR	26.6	31.4	21.7	17.3	22.1
MAJ	17.8	23.7	11.8	6.8	12.7
JUN	10.8	16.3	5.2	0.8	6.3
JUL	7.2	11.5	2.9	1.4	5.7
AUG	4.9	7.8	2.0	3.1	6.0
SEP	6.3	10.3	2.4	0.6	4.5
OKT	8.3	13.8	2.9	4.2	9.6
NOV	11.7	17.1	6.2	9.6	15.0
DEC	12.1	17.5	6.8	9.5	14.9

7600	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	14.7	20.7	8.8	25.5	31.4
FEB	21.0	29.0	13.1	33.9	41.9
MAR	25.0	32.2	17.7	31.0	38.3
APR	22.5	28.1	16.8	13.0	18.6
MAJ	14.9	19.9	9.8	4.4	9.5
JUN	8.5	12.5	4.5	1.5	5.5
JUL	5.1	7.7	2.6	1.9	4.5
AUG	3.6	5.4	1.7	2.3	4.1
SEP	5.1	9.1	1.0	-0.4	3.6
OKT	6.7	11.3	2.1	3.2	7.8
NOV	9.6	14.7	4.5	7.6	12.7
DEC	10.5	14.8	6.2	6.9	11.2

7730	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	18.1	22.7	13.6	24.7	29.2
FEB	23.1	26.6	19.6	34.5	37.9
MAR	33.9	38.6	29.3	42.6	47.2
APR	40.0	47.2	32.8	28.9	36.2
MAJ	37.3	46.6	28.0	19.9	29.2
JUN	28.5	37.2	19.8	16.0	24.7
JUL	20.9	26.3	15.5	17.2	22.6
AUG	16.1	19.1	13.1	15.0	18.0
SEP	16.6	22.5	10.7	7.4	13.2
OKT	18.1	26.7	9.5	12.2	20.8
NOV	20.6	28.0	13.2	17.3	24.7
DEC	18.1	23.3	12.9	16.3	21.5

7860	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	20.1	26.1	14.0	30.4	36.5
FEB	29.7	36.3	23.1	47.3	53.8
MAR	44.1	51.8	36.4	55.4	63.1
APR	48.8	57.5	40.1	34.8	43.4
MAJ	41.5	50.7	32.3	17.5	26.7
JUN	27.9	35.3	20.5	14.2	21.5
JUL	19.6	25.8	13.5	14.1	20.3
AUG	13.9	17.0	10.8	13.1	16.2
SEP	15.6	22.2	9.0	6.2	12.8
OKT	17.9	25.8	10.0	13.7	21.6
NOV	21.3	30.4	12.1	19.8	28.9
DEC	18.8	24.7	12.9	17.6	23.5

7885	T0 P20	T0 P-20	T4 P0	T4 P20	T4 P-20
JAN	11.4	14.4	8.4	16.6	19.7
FEB	15.9	21.4	10.4	23.3	28.8
MAR	18.8	24.3	13.4	20.7	26.1
APR	18.2	23.4	13.1	10.9	16.0
MAJ	13.6	17.7	9.4	6.3	10.4
JUN	9.4	12.8	6.0	1.5	4.9
JUL	6.4	8.3	4.6	3.3	5.2
AUG	4.4	5.4	3.5	3.6	4.5
SEP	5.3	8.4	2.2	0.8	3.9
OKT	6.5	10.7	2.4	3.4	7.6
NOV	8.8	12.3	5.2	7.5	11.1
DEC	9.1	11.8	6.3	6.8	9.6

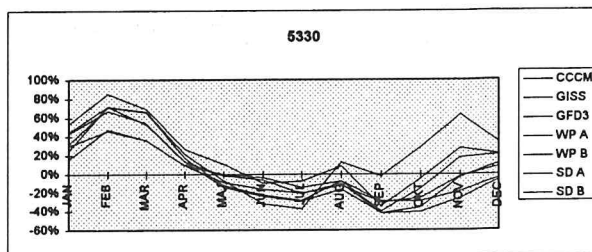


tab. 3 Hydrologické scenáre zmien priemerného mesačného odtoku v % pre časový horizont 2075
tab. 3 Hydrologic scenario of the mean monthly runoff in % for time horizon 2075

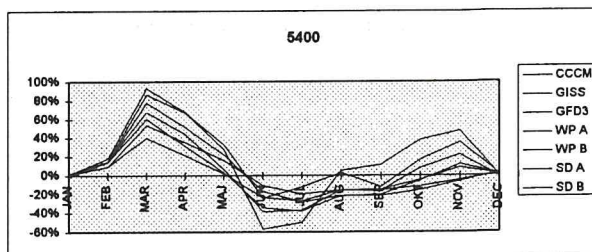
2076

3

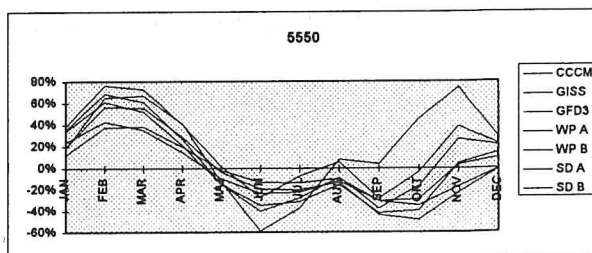
5330	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	45%	54%	32%	16%	25%	30%	43%
FEB	72%	85%	71%	47%	72%	46%	67%
MAR	66%	69%	66%	36%	53%	36%	54%
APR	18%	27%	21%	9%	13%	9%	13%
MAJ	-12%	11%	-7%	0%	-2%	-9%	-14%
JUN	-22%	-10%	-32%	-4%	-6%	-16%	-24%
JUL	-28%	-8%	-37%	-15%	-21%	-21%	-29%
AUG	-8%	9%	13%	-8%	-10%	-12%	-16%
SEP	-40%	-34%	-2%	-29%	-42%	-30%	-42%
OKT	-16%	-5%	29%	-29%	-40%	-26%	-36%
NOV	18%	28%	64%	-18%	-25%	-2%	-3%
DEC	21%	21%	34%	-5%	-6%	8%	11%



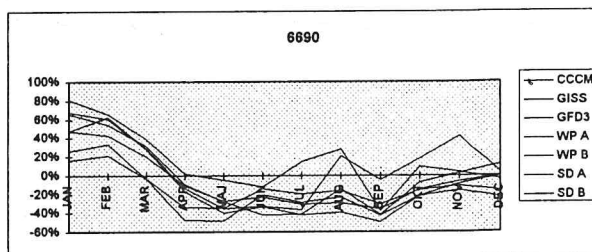
5400	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	2%	1%	-2%	1%	2%	1%	2%
FEB	14%	18%	14%	9%	14%	9%	14%
MAR	68%	93%	87%	54%	78%	40%	61%
APR	44%	68%	67%	36%	52%	21%	31%
MAJ	7%	33%	28%	16%	22%	2%	3%
JUN	-39%	-25%	-57%	-11%	-17%	-24%	-35%
JUL	-37%	-12%	-50%	-19%	-28%	-27%	-38%
AUG	-16%	3%	5%	-16%	-22%	-16%	-21%
SEP	-16%	-12%	11%	-16%	-22%	-15%	-20%
OKT	8%	16%	38%	-11%	-16%	-5%	-6%
NOV	22%	35%	48%	-5%	-6%	8%	12%
DEC	-2%	1%	0%	2%	3%	1%	2%



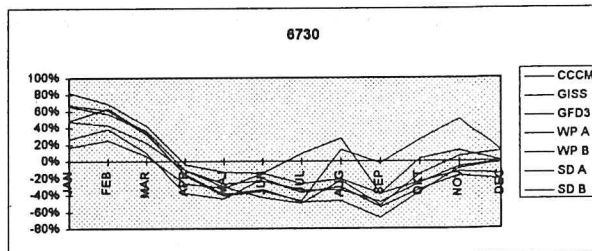
5550	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	35%	39%	19%	12%	19%	24%	34%
FEB	69%	77%	65%	37%	56%	43%	61%
MAR	61%	73%	67%	38%	56%	35%	52%
APR	27%	40%	41%	20%	29%	15%	21%
MAJ	-15%	2%	-13%	-2%	-4%	-10%	-15%
JUN	-40%	-27%	-59%	-13%	-19%	-24%	-35%
JUL	-28%	-7%	-37%	-14%	-20%	-22%	-31%
AUG	-8%	6%	8%	-9%	-13%	-12%	-15%
SEP	-38%	-28%	4%	-31%	-43%	-31%	-42%
OKT	-17%	-4%	46%	-35%	-48%	-29%	-40%
NOV	27%	39%	75%	-17%	-23%	3%	5%
DEC	21%	23%	29%	-1%	0%	10%	15%



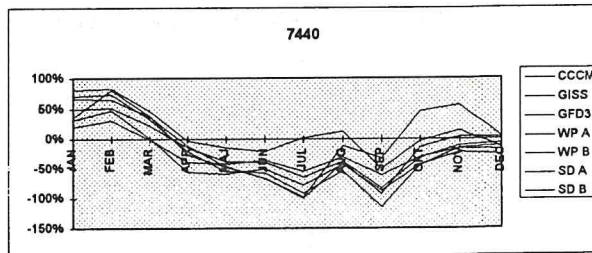
6890	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	66%	81%	47%	16%	26%	48%	68%
FEB	54%	66%	63%	22%	33%	43%	60%
MAR	31%	39%	29%	-3%	-3%	20%	28%
APR	-10%	2%	-14%	-34%	-48%	-11%	-17%
MAJ	-28%	-5%	-35%	-34%	-48%	-27%	-40%
JUN	-42%	-12%	-32%	-14%	-20%	-23%	-33%
JUL	-41%	15%	-36%	-20%	-28%	-30%	-42%
AUG	-15%	28%	20%	-16%	-23%	-29%	-39%
SEP	-42%	-38%	-5%	-30%	-43%	-36%	-50%
OKT	-8%	9%	18%	-15%	-22%	-15%	-22%
NOV	2%	4%	42%	-11%	-15%	-6%	-9%
DEC	12%	-4%	4%	-16%	-23%	0%	-1%



6730	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	66%	83%	49%	16%	27%	48%	68%
FEB	57%	69%	63%	25%	39%	43%	61%
MAR	36%	42%	34%	6%	10%	22%	32%
APR	-11%	-4%	-16%	-27%	-38%	-10%	-15%
MAJ	-30%	-13%	-41%	-32%	-45%	-27%	-39%
JUN	-43%	-14%	-35%	-14%	-20%	-23%	-33%
JUL	-50%	9%	-47%	-26%	-37%	-34%	-48%
AUG	-22%	28%	14%	-21%	-30%	-34%	-47%
SEP	-52%	-39%	-2%	-39%	-55%	-49%	-67%
OKT	-15%	3%	26%	-24%	-33%	-26%	-36%
NOV	6%	13%	51%	-12%	-17%	-6%	-8%
DEC	12%	0%	12%	-15%	-21%	0%	-1%



7440	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	66%	81%	36%	20%	32%	50%	71%
FEB	65%	84%	81%	31%	48%	52%	74%
MAR	37%	46%	38%	0%	1%	23%	32%
APR	-11%	-3%	-26%	-39%	-55%	-14%	-21%
MAJ	-46%	-14%	-47%	-42%	-59%	-37%	-54%
JUN	-66%	-21%	-66%	-36%	-50%	-39%	-57%
JUL	-100%	2%	-97%	-54%	-78%	-64%	-91%
AUG	-40%	13%	-11%	-30%	-43%	-38%	-53%
SEP	-93%	-51%	-32%	-61%	-87%	-83%	-115%
OKT	-14%	-3%	47%	-31%	-43%	-32%	-44%
NOV	5%	14%	57%	-15%	-22%	-10%	-15%
DEC	4%	-14%	3%	-18%	-26%	-7%	-11%

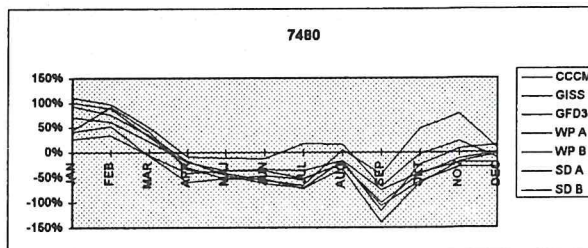


tab. 3 pokračovanie
tab. 3 continued

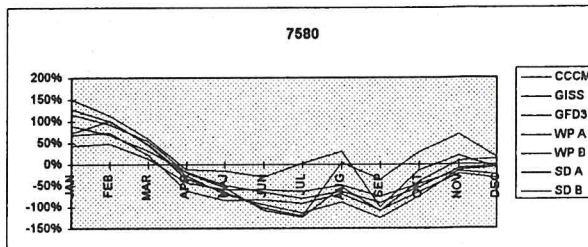
2076

3

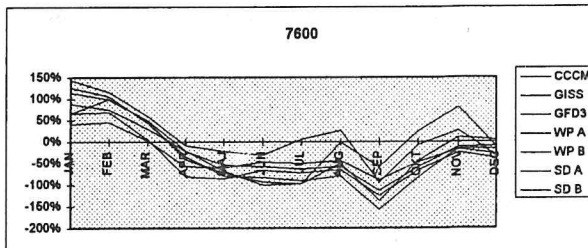
7480	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	94%	111%	46%	26%	42%	71%	101%
FEB	76%	97%	92%	34%	53%	62%	88%
MAR	34%	50%	41%	-7%	-8%	22%	31%
APR	-17%	-9%	-35%	-42%	-59%	-21%	-30%
MAJ	-46%	-11%	-42%	-37%	-52%	-37%	-53%
JUN	-62%	-13%	-55%	-34%	-47%	-36%	-52%
JUL	-71%	18%	-66%	-37%	-53%	-51%	-72%
AUG	-17%	16%	5%	-16%	-23%	-24%	-33%
SEP	-116%	-68%	-44%	-74%	-106%	-100%	-138%
OKT	-24%	-3%	49%	-41%	-57%	-43%	-60%
NOV	8%	22%	78%	-21%	-29%	-13%	-19%
DEC	15%	-11%	7%	-21%	-29%	-1%	-2%



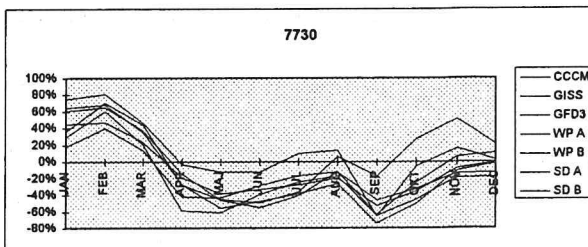
7580	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	117%	150%	74%	43%	69%	89%	128%
FEB	93%	114%	101%	48%	74%	70%	100%
MAR	55%	60%	45%	13%	21%	32%	47%
APR	-19%	-11%	-34%	-43%	-61%	-17%	-26%
MAJ	-54%	-14%	-64%	-59%	-83%	-48%	-70%
JUN	-107%	-30%	-102%	-58%	-82%	-65%	-93%
JUL	-124%	3%	-121%	-64%	-92%	-79%	-113%
AUG	-53%	31%	4%	-49%	-69%	-63%	-88%
SEP	-109%	-100%	-35%	-75%	-107%	-90%	-125%
OKT	-40%	-13%	29%	-46%	-64%	-53%	-75%
NOV	8%	20%	71%	-16%	-23%	-9%	-14%
DEC	14%	-8%	16%	-23%	-32%	-3%	-6%



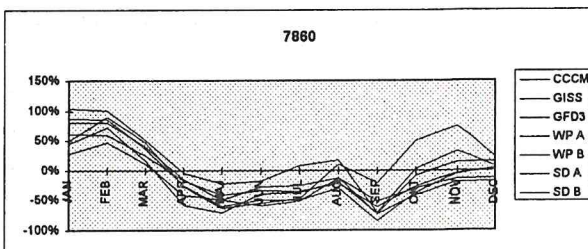
7600	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	114%	144%	66%	41%	66%	88%	126%
FEB	99%	116%	100%	45%	69%	74%	106%
MAR	50%	61%	48%	3%	7%	31%	44%
APR	-21%	-9%	-42%	-57%	-80%	-22%	-33%
MAJ	-68%	-22%	-72%	-60%	-85%	-55%	-80%
JUN	-100%	-31%	-92%	-47%	-67%	-57%	-83%
JUL	-97%	5%	-97%	-50%	-72%	-63%	-90%
AUG	-50%	26%	-2%	-45%	-64%	-57%	-80%
SEP	-137%	-95%	-59%	-88%	-126%	-114%	-158%
OKT	-45%	-8%	25%	-47%	-66%	-59%	-82%
NOV	10%	26%	82%	-18%	-25%	-12%	-17%
DEC	4%	-34%	-12%	-27%	-39%	-10%	-16%



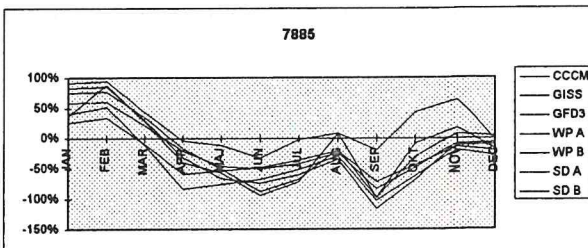
7730	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	61%	75%	36%	18%	29%	45%	64%
FEB	65%	81%	71%	40%	61%	47%	68%
MAR	37%	46%	44%	14%	21%	24%	35%
APR	-14%	-3%	-28%	-42%	-59%	-18%	-27%
MAJ	-46%	-12%	-45%	-43%	-61%	-38%	-56%
JUN	-55%	-12%	-49%	-28%	-39%	-33%	-48%
JUL	-40%	10%	-36%	-17%	-24%	-28%	-39%
AUG	-12%	14%	7%	-12%	-17%	-19%	-26%
SEP	-63%	-66%	-17%	-46%	-65%	-53%	-74%
OKT	-24%	-5%	28%	-32%	-45%	-36%	-50%
NOV	6%	16%	51%	-13%	-19%	-7%	-11%
DEC	11%	2%	21%	-13%	-18%	0%	-1%



7860	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	81%	104%	51%	28%	45%	61%	87%
FEB	81%	101%	90%	47%	72%	60%	86%
MAR	40%	51%	47%	11%	17%	25%	36%
APR	-15%	-5%	-27%	-41%	-58%	-17%	-25%
MAJ	-49%	-22%	-63%	-49%	-70%	-41%	-60%
JUN	-59%	-18%	-55%	-28%	-39%	-34%	-49%
JUL	-52%	8%	-48%	-26%	-37%	-35%	-49%
AUG	-13%	18%	10%	-13%	-19%	-22%	-30%
SEP	-73%	-70%	-21%	-51%	-73%	-61%	-84%
OKT	-9%	3%	51%	-29%	-41%	-27%	-37%
NOV	15%	33%	74%	-14%	-20%	-4%	-5%
DEC	16%	7%	23%	-13%	-18%	3%	4%



7885	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	75%	91%	37%	25%	40%	58%	83%
FEB	77%	95%	89%	33%	51%	60%	85%
MAR	35%	43%	27%	-10%	-12%	21%	29%
APR	-17%	-4%	-39%	-59%	-83%	-21%	-32%
MAJ	-50%	-11%	-57%	-54%	-75%	-46%	-66%
JUN	-87%	-33%	-93%	-48%	-67%	-51%	-74%
JUL	-67%	-2%	-72%	-35%	-51%	-42%	-60%
AUG	-18%	9%	9%	-21%	-30%	-24%	-34%
SEP	-97%	-98%	-19%	-72%	-102%	-83%	-115%
OKT	-31%	-8%	43%	-44%	-62%	-48%	-68%
NOV	7%	17%	63%	-14%	-20%	-8%	-12%
DEC	4%	-18%	-2%	-19%	-28%	-7%	-11%

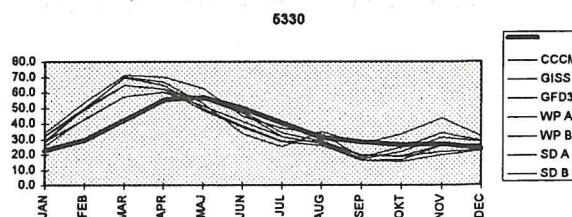


tab. 4 Hydrologické scenáre zmien priemerného mesačného odtoku v mm pre časový horizont 2075
 tab. 4 Hydrologic scenario of the mean monthly runoff in mm for time horizon 2075

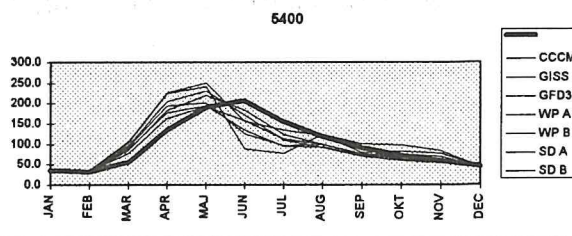
2076

3

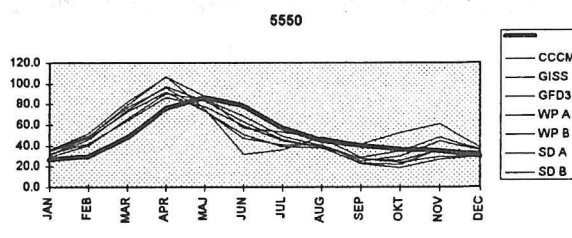
5330	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	22.4	32.5	34.4	29.5	26.0	28.0	29.2
FEB	29.2	50.2	54.0	49.9	43.1	50.1	42.8
MAR	42.2	70.0	71.4	70.1	57.6	64.7	57.6
APR	55.2	64.9	70.0	66.8	60.3	62.4	60.3
MAJ	56.7	49.7	62.8	52.9	56.7	55.9	51.6
JUN	49.8	38.7	45.0	34.0	48.0	46.8	41.6
JUL	40.2	28.9	37.1	25.3	34.3	31.6	31.9
AUG	31.2	28.8	33.9	35.2	28.8	28.0	27.4
SEP	28.1	17.0	18.4	27.4	19.8	16.4	19.6
OKT	26.2	22.1	24.9	33.6	18.6	15.6	19.4
NOV	26.8	31.6	34.2	43.9	21.9	20.0	26.3
DEC	23.8	28.7	28.8	32.0	22.7	22.4	25.6



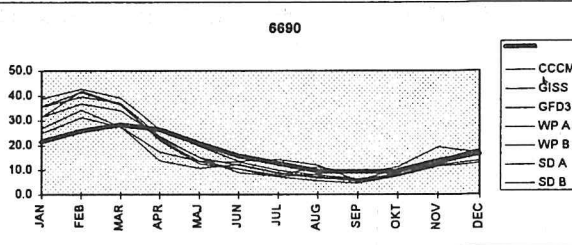
5400	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	35.3	35.9	35.7	34.7	35.8	36.0	35.8
FEB	31.0	35.5	36.5	35.5	33.8	35.3	34.0
MAR	55.5	93.0	107.0	103.5	85.1	98.6	77.7
APR	135.2	195.0	226.5	225.6	183.6	205.1	164.0
MAJ	189.3	202.2	251.7	242.3	219.7	231.5	193.3
JUN	206.3	126.2	155.7	89.0	183.1	170.9	157.2
JUL	154.1	97.1	135.3	77.7	124.2	110.4	112.9
AUG	118.1	99.7	121.2	124.1	99.8	92.3	99.4
SEP	90.4	75.6	79.4	100.8	76.1	70.6	77.1
OKT	71.3	77.2	83.0	98.7	63.2	60.1	68.0
NOV	57.5	70.3	77.8	84.8	54.6	53.8	62.3
DEC	43.8	43.1	44.3	43.7	44.7	45.1	44.2



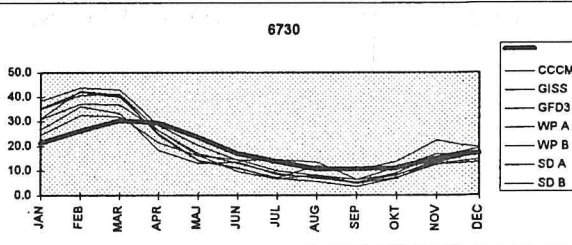
5550	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	26.2	35.4	36.3	31.1	29.4	31.3	32.5
FEB	29.5	49.7	52.0	48.7	40.5	46.1	42.1
MAR	47.8	77.2	82.8	79.8	66.2	74.6	64.6
APR	75.8	96.2	106.4	107.1	90.8	97.5	86.9
MAJ	86.3	73.6	87.7	75.4	84.7	83.1	78.0
JUN	78.2	47.0	57.0	32.1	68.3	63.2	59.6
JUL	57.1	41.3	53.2	36.0	49.2	45.6	44.4
AUG	44.6	41.0	47.0	48.1	40.4	38.8	39.4
SEP	39.9	24.9	28.8	41.6	27.6	22.6	27.7
OKT	36.3	30.2	34.9	52.9	23.7	18.7	25.8
NOV	35.1	44.5	48.6	61.4	29.2	26.9	36.3
DEC	29.4	35.6	36.1	37.8	29.2	29.3	32.4



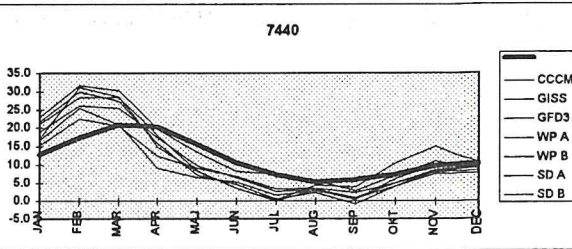
6690	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	21.5	35.6	38.9	31.7	24.9	27.1	31.7
FEB	25.9	39.9	42.9	42.1	31.5	34.5	36.9
MAR	28.4	37.4	39.4	36.6	27.5	27.5	34.1
APR	26.2	23.6	26.6	22.6	17.4	13.8	23.3
MAJ	20.7	14.9	19.7	13.5	13.6	10.8	15.0
JUN	15.5	9.0	13.6	10.5	13.3	12.3	11.9
JUL	12.4	7.3	14.2	7.9	10.0	8.9	8.7
AUG	9.4	8.1	12.1	11.3	7.9	7.3	6.7
SEP	9.2	5.4	5.7	8.8	6.4	5.3	5.9
OKT	9.5	8.7	10.4	11.1	8.0	7.4	8.0
NOV	13.6	13.9	14.2	19.4	12.1	11.5	12.7
DEC	16.4	18.4	15.7	17.0	13.8	12.6	16.4



6730	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	21.1	35.1	38.6	31.5	24.6	26.8	31.2
FEB	26.0	40.8	44.0	42.5	32.6	36.1	37.2
MAR	30.3	41.3	43.1	40.7	32.1	33.3	37.0
APR	29.3	26.2	28.2	24.6	21.6	18.3	26.4
MAJ	23.4	16.4	20.5	13.9	16.0	13.0	17.2
JUN	16.8	9.6	14.4	10.9	14.4	13.4	12.9
JUL	13.4	6.7	14.6	7.1	9.9	8.4	8.8
AUG	10.5	8.2	13.4	11.9	8.3	7.4	6.9
SEP	10.5	5.0	6.4	10.3	6.4	4.8	5.4
OKT	10.9	9.3	11.2	13.8	8.3	7.3	8.1
NOV	14.8	15.8	16.8	22.4	13.1	12.4	14.0
DEC	17.2	19.2	17.2	19.3	14.6	13.5	17.1



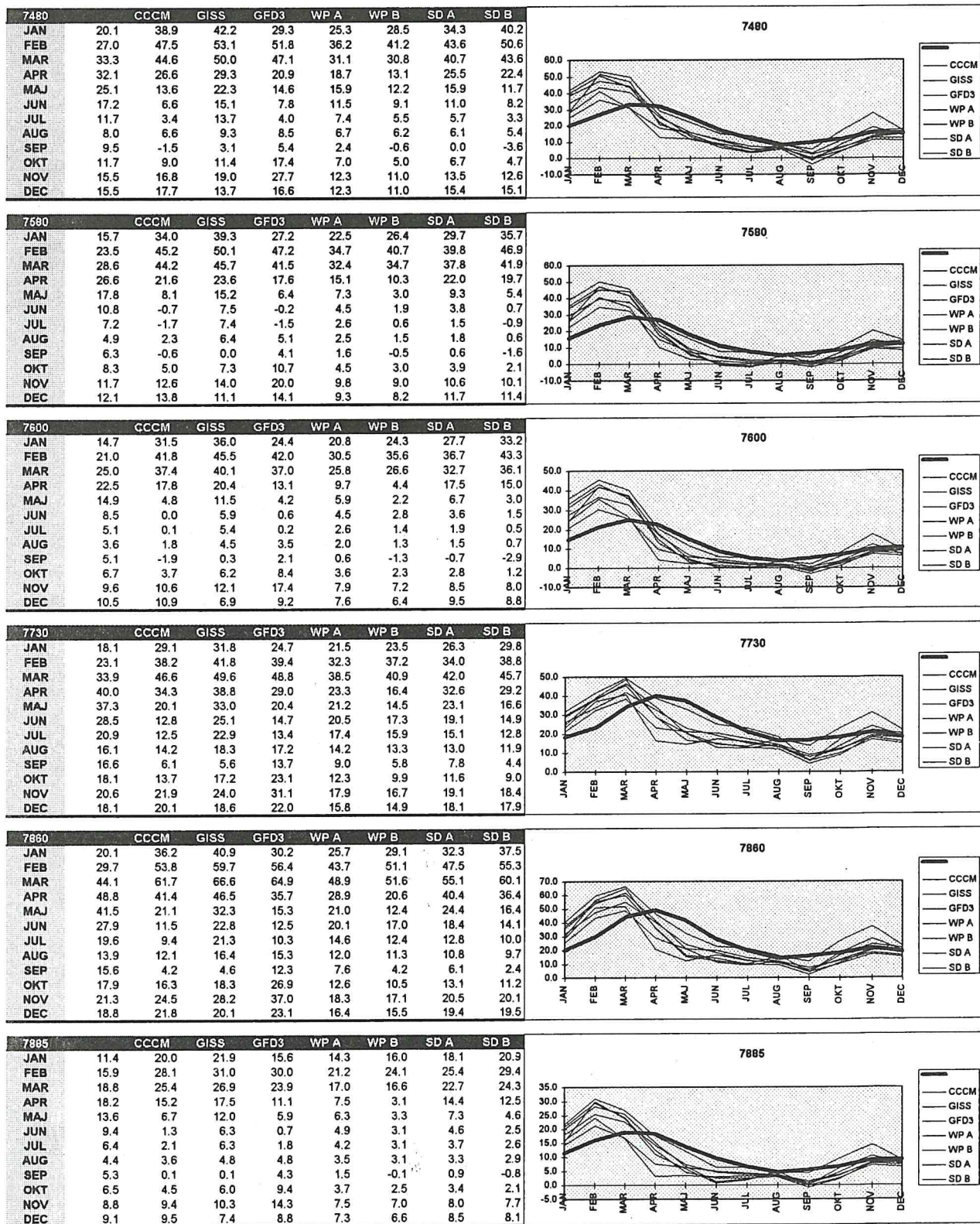
7440	CCCM	GISS	GFD3	WP A	WP B	SD A	SD B
JAN	12.7	21.1	23.0	17.3	15.3	16.8	19.1
FEB	17.2	28.4	31.6	31.2	22.6	25.4	26.1
MAR	20.7	28.3	30.3	28.5	20.6	20.9	25.4
APR	20.3	17.9	19.7	14.9	12.3	9.1	17.4
MAJ	15.6	8.5	13.4	8.2	9.1	6.4	9.8
JUN	10.5	3.5	8.3	3.6	6.8	5.3	6.4
JUL	7.3	0.0	7.4	0.2	3.3	1.6	2.6
AUG	5.0	3.0	5.7	4.4	3.5	2.9	3.1
SEP	5.8	0.4	2.9	3.9	2.3	0.8	1.0
OKT	7.1	6.1	6.9	10.4	4.9	4.1	4.9
NOV	9.6	10.0	10.9	15.0	8.1	7.5	8.6
DEC	10.3	10.7	8.8	10.6	8.5	7.6	9.6



tab. 4 pokračovanie
tab. 4 continued

2075

3



REŽIMOVÉ HYDROLOGICKÉ CHARAKTERISTIKY PRIETOKOVÝCH RADOV ZA OBDOBIE 1931 - 1995 A 1981 - 1995

Jana Poárová, Jana Podolinská

Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, Banská Bystrica

ABSTRACT

Poárová J., Podolinská, J., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Banská Bystrica: The Regime Hydrological Characteristics of Discharge Series of Two Time Periods: 1931-1995 and 1981-1995. The hydrology processes are very various in the time, but from the practical point of view we accepted them as a stationary. The design hydrology characteristics used in water resource management of Slovakia - regime characteristics (long term average discharges, long term average monthly discharges, long term M-day discharges) - were evaluated from the hydrological observations of last years and represent uninfluenced period 1931-1980. The object of our study is comparing of the now using hydrological characteristics (1931 - 1980) with the hydrological characteristics of real time periods 1931 - 1995 and 1981 - 1995. The analysis of selected discharge series has confirmed the unfavourable trend in the evolution of hydrological characteristics in the period 1981 - 1995. In the selected hydrological stations the radical redistribution of runoff during the year in general, and significant changes of the relative values of M-day discharges in the period 1931 - 1995 has not been registered.

ÚVOD

Hydrologické procesy považujú odborníci v hydrológii a vo vodnom hospodárstve za nestacionárne. Z praktického hľadiska sa však k týmto procesom pristupuje ako k stacionárnym, t. j. takým, pri ktorých sa prejavuje invariantnosť štatistických charakteristík v čase. Návrhové hodnoty pre vodné hospodárstvo - hydrologické režimové charakteristiky (dlhodobý priemerný prietok, dlhodobé priemerné mesačné prietoky, M-denné prietoky, N-ročné prietoky) - sú odvodené z hydrologických pozorovaní uplynulých desaťročí, no aj tie najdôležitejšie a najzložitejšie vodohospodárske diela a sústavy budú vystavané a potom aj užívané podľa týchto hodnôt v desaťročiach budúcich.

Ak neberieme do úvahy spracovanie obdobia 1931 - 1940, ktoré akademik Dub využil pri zostavovaní Hydrológie Slovenska, tak prvé kompletne a rozsiahle spracovanie hydrologických charakteristík na území Slovenska bolo realizované v Hydrologických pomeroch Československa, kde boli rozpracované za referenčné obdobie 1931-1960. V 80. rokoch spracovala hydrologická služba SHMÚ hydrologické charakteristiky už za referenčné obdobie 1931 - 1980, ktoré používa dodnes.

V súčasnej dobe zaznamenaný zvýšený vplyv antropogénnej činnosti, tak na klímu, ako aj na samotný odtokový proces v povodí, zväčšuje prirodzenú nestacionaritu hydrologických časových radov. Prakticky až na prelome 80. a 90. rokov sa začalo vážnejšie pristupovať k zmenám v hydrologických procesoch. Z iniciatívy WMO, UNESCO a ďalších organizácií OSN vznikol Svetový klimatický program, z ktorého sa konštituovali jednotlivé národné klimatické programy. Vo viacerých medzinárodných aj národných výskumno-aplikačných projektoch sa nestratili ani hydrologické práce. V rámci NKP ČSFR a neskôr NKP SR boli spracované štúdie, hodnotiace vývoj zmien hydrologických charakteristík. Keďže však ani jedna z týchto prác nevychádzala z podrobného a detailnejšieho porovnania hydrologických charakteristík, hydrologická služba povrchových vôd sa rozhodla štúdiu takéhoto charakteru vypracovať.

Cieľom štúdie je porovnať súčasné platné dlhodobé hydrologické režimové charakteristiky s charakteristikami za reálne obdobie 1931 - 1995 a zároveň posúdiť aj obdobie 1981 - 1995.

Na analýzu bolo vybraných 25 vodomerných staníc (tab.1). (Poznámka: V ďalších tabuľkách je uvedený iba indikatív stanice, 4-miestne číslo, pod ktorým sú hydrologické údaje uložené v databánke SHMÚ.) Tie boli vybrané tak, aby v nich bolo pozorovanie od roku 1931 a zároveň reprezentovali prirodzený (neovplyvnený) odtokový režim. V týchto profiloch sa porovnávali vybrané hydrologické režimové charakteristiky za reálne obdobie 1931 - 1981 a 1931 - 1995 s referenčným obdobím 1931 - 1980:

- dlhodobý ročný prietok,
- dlhodobé mesačné prietoky,
- M-denné prietoky.

DLHODOBÉ ROČNÉ PRIETOKY

Priemerný ročný prietok za obdobie 1931 - 1995 bol vo všetkých vybraných profiloch menší ako za obdobie 1931 - 1980, a to o 0,2 % až 10,2 %. Za obdobie 1981 - 1995 bol priemerný ročný prietok menší o 0,9 % až 45,0 %. Odchýlky priemerných ročných prietokov v % v jednotlivých staniciach (D1, D2) a povodiach za obdobie 1931 - 1995 a 1981 - 1995 sú uvedené v tab. 1. Najvýraznejšie zmeny hodnôt D1, nad 7 %, sú v povodí Ipeľ a Slanej.

Tab. 1 Priemerné ročné prietoky za obdobie 1931-1995 a 1981 - 1995 a ich porovnanie s referenčným obdobím (D1, D2) 1931 - 1980

Table 1 Mean annual discharges for the 1931 - 1995 and 1981 - 1995 periods compared with the 1931 - 1980 reference period (D1,D2)

P.č.	Povodie	Indik.	Tok	Stanica	Plocha povodia [km ²]	1931 - 80 [m ³ .s ⁻¹]	1931 - 95 [m ³ .s ⁻¹]	D1 %	1981 - 95 [m ³ .s ⁻¹]	D2 %
1	Dunaj	5140	Dunaj	Bratislava	131329,1	2044	2040,677	0	2026,398	-1
2	Váh	5330	Biely Váh	Východná	105,64	1,64	1,579	-4	1,374	-16
3	Váh	5340	Boca	Kráľ. Lehota	116,6	2,21	2,091	-5	1,68	-24
4	Váh	5400	Belá	Podbanské	93,49	3,54	3,497	-1	3,365	-5
5	Váh	5550	Váh	Lipt. Mikuláš	1107,21	21,24	20,599	-3	18,452	-13
6	Váh	5740	Revúca	Podsúchá	217,95	4,9	4,851	-1	4,704	-4
7	Váh	5790	Lubochňa	Lubochňa	118,48	2,39	2,37	-1	2,314	-3
8	Váh	6180	Kysuca	Čadca	492,54	8,49	8,388	-1	8,009	-6
	Váh							-1 až -5		-3 až -24
9	Nitra	6730	Nitra	Nitr. Streda	2093,71	15,33	14,97	-2	13,76	-10
10	Hron	6950	Hron	Zlatno	79,28	1,55	1,462	-6	1,165	-25
11	Hron	7015	Hron	Brezno	582,08	8,12	7,781	-4	6,656	-18
12	Hron	7045	Č. Hron	Hronec	239,41	3,17	3,008	-5	2,462	-22
13	Hron	7060	Bystrianka	Bystrá	36,01	1,01	0,959	-5	0,784	-22
14	Hron	7065	Štiavnička	Mýto p. Ďumb.	47,1	1,15	1,1	-4	0,941	-18
15	Hron	7070	Vajsk. p.	Dolná Lehota	53,02	1,47	1,412	-4	1,225	-17
	Hron							-2 až -6		-10 až -25
16	Ipeľ	7440	Ipeľ	Holiša	685,67	3,49	3,202	-8	2,232	-36
17	Ipeľ	7580	Krupinica	Plášťovce	302,79	2,06	1,885	-8	1,302	-37
18	Ipeľ	7600	Litava	Plášťovce	214,27	1,29	1,158	-10	0,709	-45
	Ipeľ							-8 až -10		-36 až -45
19	Slaná	7660	Dobšinský p.	Dobšiná	31,97	0,633	0,57	-10	0,359	-43
20	Slaná	7730	Štítnik	Štítnik	129,63	1,61	1,461	-9	0,968	-40
21	Slaná	7860	Rimavica	Lehota n. Rim.	148,95	1,71	1,58	-8	1,162	-32
	Slaná							-8 až -10		-32 až -43
22	Poprad	8080	Poprad	Poprad-Mat.	311,1	4,42	4,243	-4	3,65	-17
23	Poprad	8320	Poprad	Chmeľnica	1262,41	16,02	15,45	-4	13,53	-16
	Poprad							-4		-16 až -17
24	Bodrog	8870	Torysa	Koš. Olšany	1298,3	8,01	7,772	-3	6,965	-13
25	Bodrog	9500	Topľa	Hanuš. nad T.	1050,3	8,59	8,315	-3	7,404	-14

Štatistické zhodnotenie radov priemerných ročných prietokov a čiar prekročenia ročných prietokov, s použitím teoretického rozdelenia log. Pearson III. typu, za obdobie 1931 - 1995 (tab. 2) poukazuje na zmeny ich štatistických charakteristík. Koeficienty variácie sa výrazne zvýšili v povodiach Ipeľ a Slanej. Pokles koeficientu variácie bol zaznamenaný v povodí Váhu (Belá, Revúca, Kysuca). Koeficienty asymetrie sa vo všetkých staniciach zvýšili o 0,024 až 0,337. Hodnoty prietokov sú v celej škále pravdepodobnostného poľa prevažne menšie ako v referenčnom období. Odchýlky (D1) sa pohybujú od -23,1 % do 11,5 %, pričom najvyššie hodnoty odchýlok sú opäť v povodí Ipeľ a Slanej.

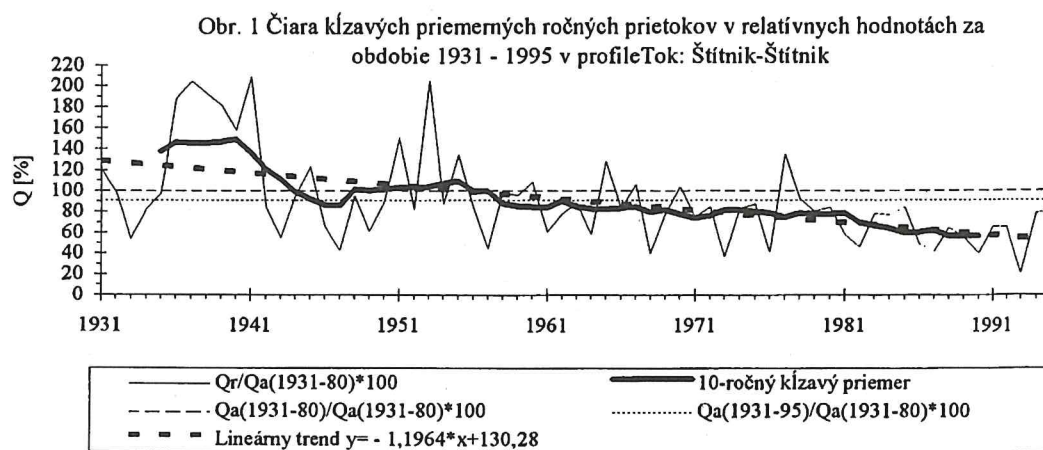


Figure 1 Moving mean annual discharges in relative values at the Štítnik profile in 1931-1995

Tab. 2 Hodnoty odchýlok [%] prekročení priemerných ročných prietokov za obdobie 1931 - 1995
 Table 2 Deviation [%] of mean annual discharge exceeds in 1931-1995

P.č.	Povodie	Indik.	0,01	0,05	0,10	0,20	0,50	0,80	0,90	0,95	0,97	0,99
1	Dunaj	5140	-3	-2	-2	-1	0	1	2	2	3	3
2	Váh	5330	-1	-3	-4	-4	-4	-3	-3	-2	2	1
3	Váh	5340	-2	-6	-5	-8	-6	-5	-5	-2	-1	1
4	Váh	5400	-3	-3	-3	-1	-3	0	0	1	5	5
5	Váh	5550	-2	-2	-4	-4	-4	-2	-1	1	4	4
6	Váh	5740	-5	-4	-4	-3	-1	3	3	6	11	10
7	Váh	5790	-3	-2	-3	-4	0	1	2	1	4	9
8	Váh	6180	-2	-2	-2	-2	-1	0	1	3	7	3
9	Váh	6730	-2	-4	-3	-3	-3	-1	0	3	9	6
10	Hron	6950	-2	-4	-5	-7	-7	-7	-4	-3	-3	0
11	Hron	7015	-2	-4	-4	-5	-5	-2	-2	0	2	6
12	Hron	7045	0	-2	-4	-5	-6	-9	0	0	0	10
13	Hron	7060	-1	-4	-6	-6	-7	-5	-2	0	2	4
14	Hron	7065	2	-1	-3	-4	-6	-4	-4	-1	0	2
15	Hron	7070	-1	-3	-5	-5	-5	-3	-1	0	1	4
16	Ipeľ	7440	-2	-6	-8	-9	-10	-8	-6	-4	-1	3
17	Ipeľ	7580	-2	-7	-8	-9	-11	-9	-6	-3	-2	2
18	Ipeľ	7600	1	-5	-8	-10	-13	-14	-13	-15	-12	-9
19	Slaná	7660	2	-4	-5	-9	-13	-16	-18	-21	-20	-24
20	Slaná	7730	-8	-7	-8	-8	-10	-12	-14	-17	-17	-19
21	Slaná	7860	-2	-4	-5	-7	-9	-10	-11	-10	-10	-11
22	Poprad	8080	-3	-5	-4	-4	-4	-5	-2	-1	-2	-2
23	Poprad	8320	-1	-5	-5	-6	-7	-5	-2	-1	4	5
24	Bodrog	8870	-1	-4	-4	-4	-4	-1	1	3	7	6
25	Bodrog	9500	-3	-5	-5	-4	-3	-1	0	1	7	6

Trendová analýza radov ročných prietokov za obdobie 1931 - 1995 poukázala na skutočnosť, že vo všetkých vybraných profiloch sa od roku 1981 vyskytlo len málo rokov s priemerným ročným prietokom nad dlhodobým priemerom.

V povodí Ipeľa a Slanej (okrem profilu Rimavica-Lehota nad Rimavicou) sa nevyskytol ani jeden takýto rok. Na čiarach klzavých priemerov je výrazná depresia v období 1981 - 1995 vo všetkých staniaciach. Ukážky grafického hodnotenia dlhodobých ročných prietokov sú uvedené na obr.1 a 2.

Z analýzy priemerných ročných prietokov vyplýva, že najvýraznejšie zmeny tejto hydrologickej režimovej charakteristiky sú v povodiach Ipeľa a Slanej. Z toho dôvodu hlavne v týchto povodiach je nutné urobiť hlbšiu a podrobnejšiu analýzu údajov, hodnotiť trendy poklesu prietokov spolu so zrážkami a zaoberať sa hydrologickou bilanciou.

Obr. 2 Čiara klzavých priemerných ročných prietokov v relatívnych hodnotách za obdobie 1931 - 1995 v profile Košické Olšany- Torysa

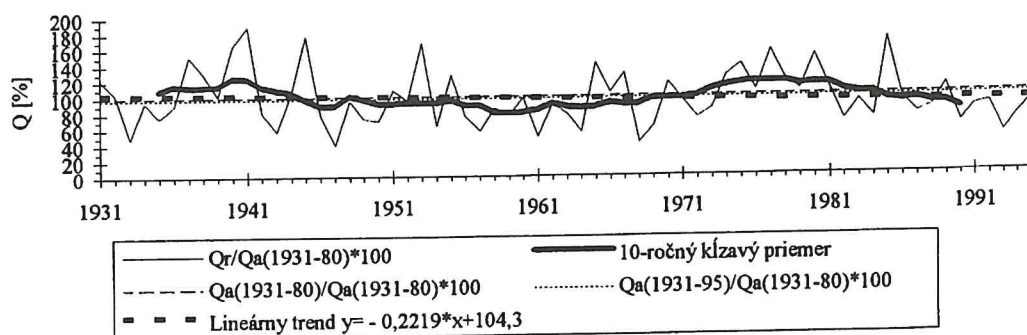


Figure 2 Moving mean annual discharges in relative values at the Košické Olšany profile in 1931-1995

DLHODOBÉ MESAČNÉ PRIETOKY

Dlhodobé mesačné prietoky za obdobie 1931 - 1995 boli vo väčšine vybraných profilov menšie, o 0,1 % až 10 %, v povodiach Ipl'a a Slanej až o 2 % až 16 %, a to takmer v celej škále dlhodobých mesačných prietokov. Nárast dlhodobých mesačných prietokov za obdobie 1931 - 1995 bol zaznamenaný veľmi ojedinele. Na Dunaji bol zaznamenaný nárast v mesiacoch december a január, o 4 %, resp. 5 %, na Revúcej, Ľubochňianke, Toryse a Topli v mesiacoch máj a jún, o 1 % až 7 %.

Obr. 3 Odtečené množstvo v jednotlivých mesiacoch v rôznych obdobiach v profile Dunaj - Bratislava

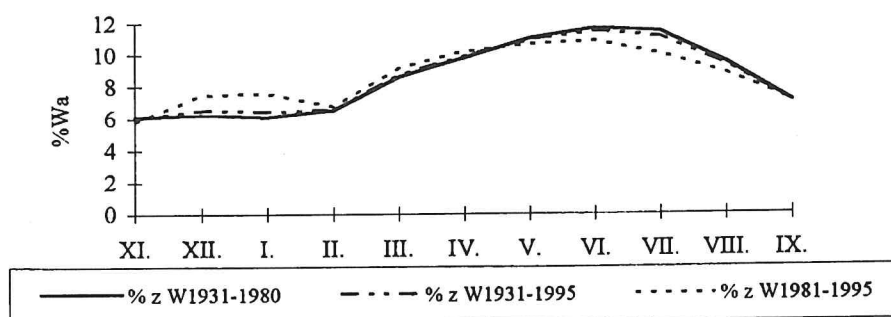


Figure 3 Runoff in the Bratislava Danube profile for different periods

Hodnoty dlhodobých mesačných prietokov za obdobie 1981 - 1995 sú výrazne nižšie, a to v celej škále dlhodobých mesačných prietokov, v povodí Hrona, Ipl'a a Slanej sú niektoré dlhodobé mesačné prietoky menšie až o 60 %. Najvýraznejší pokles zaznamenávame v mesiacoch január až apríl a jún až október. Nárast dlhodobých mesačných prietokov za obdobie 1981 - 1995 bol zaznamenaný iba v mesiacoch máj, jún (Hornád, Topľ'a) a v mesiacoch marec až jún (Revúca, Ľubochňianka, Kysuca). Osobitné postavenie v hodnotení má Dunaj, kde bol zaznamenaný pomerne výrazný nárast v mesiacoch október a január až o 24 %.

Napriek pomerne výraznému poklesu absolútnych hodnôt dlhodobých mesačných prietokov za obdobie 1981 - 1995 sa relatívne hodnoty odtečeného množstva v jednotlivých mesiacoch za obdobie 1931 - 1995 výraznejšie nezmenili. To znamená, že napriek nižším hodnotám priemerných prietokov sa rozdelenie odtoku v roku výraznejšie nezmenilo.

Výsledky analýzy dlhodobých mesačných prietokov sú prehľadne uvedené v tab. 3 a 4, kde sú uvedené sú hodnoty odchýlok príslušných dlhodobých mesačných prietokov za obdobie 1931 - 1995 (D1) a 1981 - 1995 (D2) k referenčnému obdobiu 1931 - 1980. Ukážky grafického hodnotenia dlhodobých mesačných prietokov sú uvedené na obr. 3 a 4.

Obr. 4 Odtečené množstvo v jednotlivých mesiacoch v rôznych obdobiach
v profile Štítnik-Štítnik

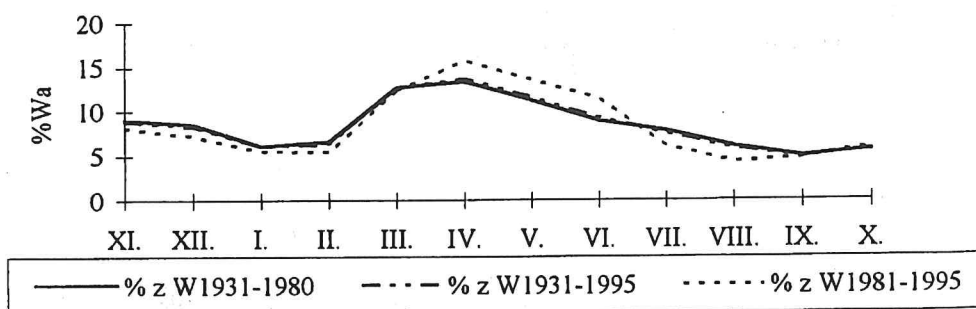


Figure 4 Runoff in the Štítnik-Štítnik profile for different periods

M-DENNÉ PRIETOKY

M-denné prietoky za obdobie 1931 - 1995 vo väčšine vybraných profiloch boli menšie ako za obdobie 1931 - 1980, a to o 0,5 % až 35 %. Najväčšie odchýlky boli zaznamenané práve počas malých vodností ($Q_{330} - Q_{364}$) na niektorých prítokoch Váhu (Revúca), Hrona (Bystrá) a v povodí Ipľa a Slanej. Ojedinele bol zaznamenaný aj nárast niektorých M-denných prietokov za obdobie 1931 - 1995, až o 8 % (Ľubochňanka).

Hodnoty M-denných prietokov za obdobie 1981 - 1995 sú výrazne nižšie, a to v celej škále, v povodí Ipľa a Slanej o 10 % až 50 %.

Napriek výraznému zníženiu hodnôt M-denných prietokov za obdobie 1981 - 1995, sa ich relatívne hodnoty za obdobie 1931 - 1995 výrazne nezmenili.

Tab. 5 Odchýlky [%] M-denných prietokov za obdobie 1981 - 1995

Table 5 Deviations [%] of M-days runoff in 1981-1995

P.č.	Povodie	Indik.	30	90	180	270	330	355	364
1	Dunaj	5140	-2	2	-1	0	1	4	1
2	Váh	5330	-3	-6	-6	-6	-4	-5	-5
3	Váh	5340	-6	-3	-7	-5	-5	-6	-10
4	Váh	5400	1	-2	-2	-4	-2	-2	0
5	Váh	5550	-3	-3	-3	-2	0	-3	0
6	Váh	5740	0	0	0	-3	-5	-16	6
7	Váh	5790	-2	0	-1	0	3	6	8
8	Váh	6180	-3	0	-1	-1	3	4	-6
9	Nitra	6730	-3	-3	-1	1	4	5	5
	Váh		-6 až 1	-6 až 0	-7 až 0	-6 až 0	-5 až -3	-16 až 6	-10 až 8
10	Hron	6950	-6	-6	-6	-7	-6	-6	-4
11	Hron	7015	-5	-4	-2	-3	-4	-1	2
12	Hron	7045	-4	-4	-5	-5	-7	-5	-2
13	Hron	7060	-2	-4	-7	-12	-18	-21	-1
14	Hron	7065	-1	-3	-6	-11	-11	-9	3
15	Hron	7070	-2	-4	-5	-7	-8	-5	-4
	Hron		-1 až -6	-3 až -6	-2 až -7	-3 až -12	-4 až -18	-1 až -21	-4 až 3
16	Ipeľ	7440	-10	-9	-7	-8	-2	5	0
17	Ipeľ	7580	-9	-11	-5	0	-6	-6	-5
18	Ipeľ	7600	-12	-12	-9	-4	-11	-10	-30
	Ipeľ		-9 až -12	-9 až -12	-5 až -9	-8 až 0	-2 až -11	-10 až 5	-30 až 0
19	Slaná	7660	-8	-8	-13	-10	-18	-35	-24
20	Slaná	7730	-8	-9	-12	-10	-8	-4	0
21	Slaná	7860	-8	-6	-7	-9	-15	-12	0
	Slaná		-8	-6 až -9	-7 až -13	-9 až -10	-8 až -18	-4 až -34	-24 až 0
22	Poprad	8080	-3	-4	-3	-1	-1	-3	-2
23	Poprad	8320	-4	-4	-4	-3	-2	-5	-10
	Poprad		-3 až -4	-4	-3 až -4	-1 až -3	-1 až -2	-3 až -5	-2 až -10
24	Bodrog	8870	-3	-2	-2	-1	-1	4	0
25	Bodrog	9500	-3	-3	-2	0	0	3	4

Výsledky analýzy M-denných prietokov sú prehľadne uvedené v tab. 5 a 6, kde sú uvedené v % hodnoty odchýlok M-denných prietokov za obdobie 1931 - 1995 (D1) a 1981 - 1995 (D2) k referenčnému obdobiu 1931 - 1980. Ukážky grafického hodnotenia M-denných prietokov je uvedené na obr. 5. Zaujímavý je fakt, že hoci sa v období 1981 - 1995 potvrdil nepriaznivý trend vývoja malej vodnosti, výrazné zmeny relatívnych hodnôt M-denných prietokov za obdobie 1931 - 1995 v hodnotených profiloch nenastali.

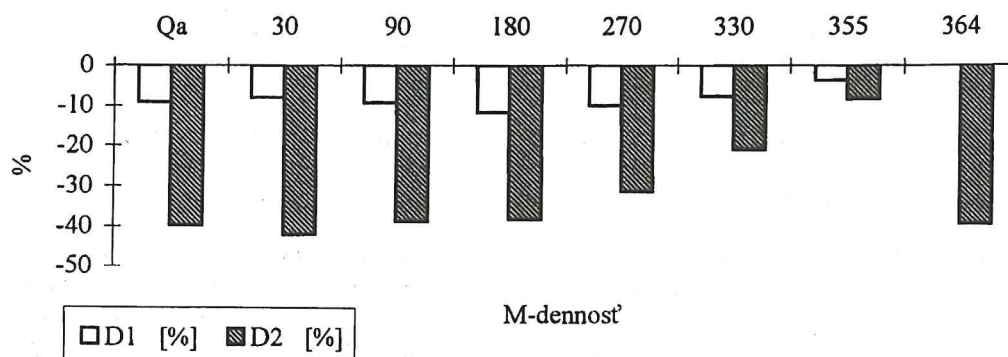


Figure 5 Deviation of M-days runoff in the Štítnik-Štítnik profile

Tab 6 Odchýlky [%] M-denných prietokov za obdobie 1981 - 1995

Table 6 Deviations [%] of M-days runoff in 1981-1995

P.č.	Povodie	Indik.	30	90	180	270	330	355	364
1	Dunaj	5140	-6	-1	0	2	7	14	26
2	Váh	5330	-16	-18	-21	-21	-13	-12	-7
3	Váh	5340	-27	-23	-24	-17	-16	-22	-19
4	Váh	5400	5	-6	-14	-13	-7	-3	7
5	Váh	5550	-14	-14	-12	-8	-1	-10	2
6	Váh	5740	0	3	0	-10	-23	-29	18
7	Váh	5790	-4	-2	-2	0	8	21	61
8	Váh	6180	-11	-3	-1	-3	9	20	-14
9	Nitra	6730	-15	-11	-4	2	14	18	29
	Váh		-27až5	-25až3	-24až0	-21až0	-23až9	-29až21	-19až61
10	Hron	6950	-26	-24	-22	-25	-21	-17	-13
11	Hron	7015	-20	-17	-14	-12	-14	-1	4
12	Hron	7045	-22	-22	-22	-22	-23	-12	-14
13	Hron	7060	-6	-22	-35	-41	-45	-43	-8
14	Hron	7065	-3	-19	-31	-33	-25	-12	6
15	Hron	7070	-10	-17	-20	-23	-22	-17	-8
	Hron		-3až-26	-17až-24	-14až-35	-12až-41	-14až-45	-1až-43	-14až6
16	Ipeľ	7440	-38	-30	-26	-25	-4	23	-23
17	Ipeľ	7580	-36	-39	-18	-4	-10	-12	-13
18	Ipeľ	7600	-44	-50	-25	-19	-30	-46	-50
	Ipeľ		-36až-44	-30až-50	-18až-26	-4až-25	-4až-30	-46až23	-13až-50
19	Slaná	7660	-41	-41	-47	-45	-48	-47	-36
20	Slaná	7730	-42	-39	-38	-31	-21	-8	-39
21	Slaná	7860	-30	-27	-31	-36	-36	-22	-5
	Slaná		-30až-42	-27až-47	-31až-45	-31až-45	-21až-48	-8až-47	-5až-39
22	Poprad	8080	-20	-16	-17	-11	-10	-8	-7
23	Poprad	8320	-19	-15	-14	-11	-11	-16	-22
	Poprad		-19až-20	-15až-16	-14až-17	-11	-10až-11	-8až-16	-7až-22
24	Bodrog	8870	-9	-7	-11	-5	-1	13	37
25	Bodrog	9500	-17	-13	-7	-5	0	11	21

Obr. 6 M-denné prietoky v profile Štítnik - Štítnik

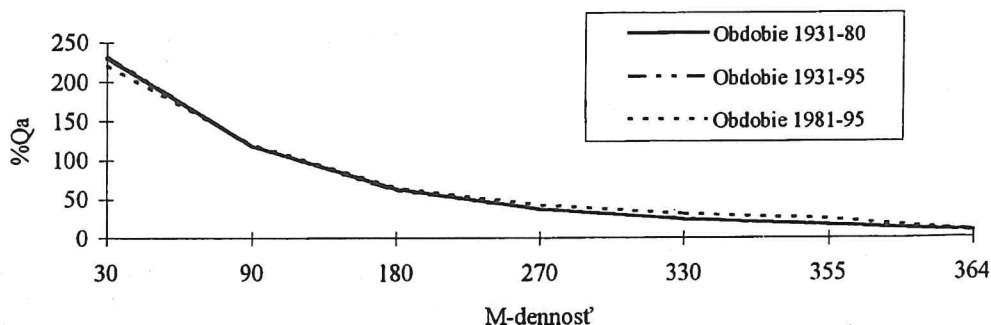


Figure 6 M-days runoff in the Štítnik-Štítnik profile

Hodnotenie M-denných prietokov je veľmi citlivé práve v oblasti malých prietokov, ktoré ako hydrologické charakteristiky sú z nich najdôležitejšie. Napriek tomu, že výberom profilov sme sa snažili dodržať homogenitu radov z hľadiska známeho ovplyvnenia, musíme k ich hodnoteniu pristupovať opatrne. Pri hydrologických charakteristikách (dlhodobý ročný, dlhodobý mesačný prietok, M-denné prietoky) sa vychádza z priemerných denných prietokov, ale iba pri spracovaní M-denných prietokov vystupujú do popredia ich jednotlivé hodnoty, z ktorých najmenšie sú najdôležitejšie, ale aj najviac môžu byť zaťažené chybami.

ZÁVER

Analýza vybraných prietokových radov potvrdila nepriaznivý trend vo vývoji hydrologických charakteristík v období 1981 - 1995. Vo vybraných vodomerných staniciach v období 1931 - 1995 nedošlo však k zásadnému celoplošnému prerozdeleniu odtoku v roku a nenastali výrazné zmeny relatívnych hodnôt M-denných prietokov. Aby sme mohli konštatovať, či meniť, alebo nemeniť v súčasnosti používané reprezentatívne obdobie 1931 - 1980, a následne, či meniť, alebo nemeniť základné hydrologické charakteristiky, musíme ďalej pokračovať v monitorovaní a predlžovaní hydrologických radov. Výrazný pokles vodnosti v období 1981 - 1995 mohol byť zapríčinený antropogénnymi zásahmi v povodí (užívanie vody, umelé zásahy v povodí...), prognózovanými klimatickými zmenami, ale môže reprezentovať aj prirodzené kolísanie hydrologického režimu.

Určitý podiel vplyvu antropogénnej činnosti v povodí na celkových zmenách odtokového režimu máme možnosť kvantifikovať v ďalších profiloch na základe údajov o využívaní vody z dokumentov Štátnej vodohospodárskej bilancie.

Hydrologická služba SHMÚ podrobne sleduje vývoj odtokového procesu na Slovensku pri hodnotení priemerných mesačných a ročných prietokov. Rozsiahle databázové súbory prietokov, ako aj údaje o využívaní vody, ktoré má k dispozícii umožňujú expertíznu činnosť v oblasti poskytovania hydrologických posudkov udržať na požadovanej úrovni a zároveň aj pružne reagovať na prípadné zmeny.

LITERATÚRA

- [1] Adámyová, S.: Dlhodobé ročné prietoky, ich územná a časová premenlivosť. Zborník prác SHMÚ, zv. 29/II, Alfa, Bratislava 1989.
- [2] Hlubocký, B.: Homogenita hydrologických radov obdobia 1931 - 1980. Zborník prác SHMÚ, zv. 29/I, Alfa, Bratislava 1989.
- [3] Kupčo, M.: Dlhodobé M-denné prietoky vo vodomerných staniciach a ich územná premenlivosť. Zborník prác SHMÚ, zv. 29/I, Alfa, Bratislava 1989.
- [4] Liščinský, J.: Hydrologická reprezentatívnosť obdobia 1931 - 1980. Zborník prác SHMÚ, zv. 29/I, Alfa, Bratislava 1989.
- [5] Majerčáková, O.: Prvé výsledky národného klimatického programu v oblasti hydrológie a ich možné využitie vo vodnom hospodárstve. Vodohospodársky spravodajca 3/96, Bratislava 1996.
- [6] Poórová, J.: Vodohospodárska bilancia uplynulého roka. Vývoj užívania povrchových tokov v rokoch 1981 - 1994. Zborník referátov z II. vedeckého seminára. Zemplínska Širava, 1996, Bratislava 1996.
- [7] Poórová, J.: Správa ŠVHB SR za rok 1996. SHMÚ, Bratislava 1997.
- [8] Turbek, J., Škoda, P.: Priemerné mesačné prietoky, ich časová a priestorová premenlivosť. Zborník prác SHMÚ, zv. 29/II, Alfa, Bratislava 1989.

KOMPARÁCIA MOŽNÝCH ZMIEN ODTOKU V DÔSLEDKU POTENCIÁLNYCH KLIMATICKÝCH ZMIEN S HISTORICKÝMI ZMENAMI ODTOKU

Pavol Šedík

Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava

ABSTRACT

Šedík P., Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, Slovakia: The Comparison Between the Possible Runoff Change due to Potential Climate Change and Historical Runoff Changes. This paper is closely connected to the contributions The runoff change of the Slovak rivers, NKP 2/94, and The hydrological scenarios of the possible runoff change during the year on the Slovak rivers, NKP 6/97, and confronts their results.

ZDÔVODNENIE

Koncepcia riešenia Národného klimatického programu SR (NKP) pre hydrológiu a klimatológiu predstavuje systém čiastkových úloh sledujúci istý myšlienkový vývoj smerujúci od analýzy zmien historických radov k modelovaniu zmien na základe prijatých klimatických scenárov. Táto postupnosť riešenia prebiehala paralelne pre hydrológiu aj klimatológiu a zavŕšila sa ich prepojením prostredníctvom modelu. Z takto postavenej koncepcie však vyplýva aj možnosť istého konfliktu výsledkov týchto čiastkových úloh, pretože rozličnými postupmi smerujú k tomu istému výsledku, t. j. modelové určenie hydrologických zmien na základe klimatických zmien, resp. prijatých klimatických scenárov môže byť v rozpore so zistenými hydrologickými zmenami na základe historických pozorovaní. Uvedenie si tejto skutočnosti viedlo k myšlienke komparácie týchto dvoch postupov.

Hydrológovia dávnejšie zaregistrovali prítomnosť zmien, ktoré si vynucovali pozornosť pre ich neobvyklú intenzitu. Poklesy odtokov v posledných desaťročiach vykazovali v niektorých prípadoch až desiatky percent pod obvyklý normál, Majerčáková, Škoda (1992, 1993). Úsilie bližšie skúmať tento jav pri vedomí vážnosti dôsledkov viedlo hydrológov do tábora ľudí skúmajúcich klimatické zmeny a vyústilo do účasti na riešení NKP. Očakávalo sa, že štúdium klimatických zmien povedie k vysvetleniu podstaty pozorovaných javov. Už letný pohľad na intenzitu časových zmien odtokov, ako aj iných hydrologických prvkov, napr. zásob podzemnej vody a výdatnosti prameňov analyzovaných v rámci programu NKP pri porovnaní s trendmi klimatických zmien na základe prijatých klimatických scenárov napovedá istú disproporciu. Klimatické scenáre sa javia ako nedostatočne intenzívne a zdá sa, že nie je možné pomocou nich vysvetliť nápadný pokles vodnosti.

Uvedené dva dôvody vyúsťujú k vzniku tejto štúdie. Chápeme ju ako nový pohľad na problematiku klimatických zmien, a to z hľadiska hydrológie, ako istú verifikáciu klimatických scenárov zo spätného pohľadu dôsledkov na hydrologické procesy.

CIELE

Štúdia si stanovila ako ciele nasledujúce kroky:

- 1) verifikácia vhodnosti ponúkaných klimatických scenárov pre predikciu vývoja hydrologickej situácie na území Slovenska
- 2) v prípade markantných rozdielov konštatácia nedostatočnosti vysvetlenia zmeny odtokov len v dôsledku predpokladaných klimatických zmien a potreby identifikácie ďalších možných vplyvov na túto zmenu

Na základe negatívnych výsledkov dosiahnutých v tejto štúdii sme pristúpili k stanoveniu ďalšieho kroku:

- 3) úvaha o použiteľnosti samotných klimatických scenárov či už ako takých, alebo z dôvodu problematickej uskutočniteľnosti ich diferenciácie na lokality zaujímavé z hľadiska praktickej aplikácie scenárov

METÓDA

Základom komparácie je porovnanie intenzity zmien v čase, t. j. trendu. Pre ilustratívnosť bol zvolený časový interval 30 rokov, ktorý zodpovedá obdobiu historického hydrologického radu použitého pri tvorbe štatistického modelu, t. j. 1961 - 1990, ako aj 1. časovému horizontu klimatických scenárov v roku 2010 vo vzťahu k základnému scenáru v roku 1980. Skutočnosť, že uvedené obdobia sa nezhodujú nepovažujeme za prekážku komparácie.

VÝSLEDKY

Komparácia bola aplikovaná na:

- 1) zmeny odtokov podľa jednotlivých scenárov určené pomocou štatistického modelu versus zmeny historických odtokov (tab. 1)
- 2) zmeny odtokov podľa jednotlivých scenárov určené pomocou štatistického modelu versus zmeny odtokov podľa zmien historických klimatických veličín určené pomocou toho istého štatistického modelu (tab. 2)
- 3) zmeny odtokov podľa zmien historických klimatických veličín určené pomocou štatistického modelu versus zmeny historických odtokov (tab. 3)

Na základe výsledkov uvedených komparácií, ktoré poukazovali na veľmi zlú zhodu, sme pristúpili ku komparácii:

- 4) jednotlivé scenáre versus zmeny historických klimatických veličín (tab. 4, 5)

Urobili sme to napriek tomu, že náplňou našej úlohy je len hydrologické posúdenie klimatických zmien.

INTERPRETÁCIA VÝSLEDKOV

Komparácia 1) hodnotí scenáre z hľadiska zmien reálnych odtokov ako nositeľa informácie o reálnych klimatických zmenách. Zhoda verifikuje vhodnosť scenára. Nezhoda umožňuje konštatáciu nedostatočnosti vysvetlenia zmeny odtokov v dôsledku predpokladaných klimatických zmien. Je potrebná identifikácia nevysvetlenej zložky predpokladaných klimatických zmien, ktorá nie je popísaná scenárom a/alebo zmeny (t. j. trendu) nevysvetlenej zložky modelu, ktorá predstavuje vplyv iných veličín na odtok, ako sú klimatické, resp. transformovaných klimatických veličín pôsobiacich nepriamo.

Komparácia 2) hodnotí scenáre z hľadiska reálnych klimatických zmien. Zhoda verifikuje vhodnosť scenára. Nezhoda umožňuje konštatáciu nedostatočnosti vysvetlenia reálnych zmien klímy v dôsledku predpokladaných klimatických zmien. Je potrebná identifikácia nevysvetlenej zložky predpokladaných klimatických zmien, ktorá nie je popísaná scenárom.

Komparácia 3) hodnotí vzájomný vzťah reálnych klimatických zmien a reálnych zmien odtokov. Nezhoda umožňuje konštatáciu nedostatočnosti vysvetlenia zmeny odtokov ako dôsledku reálnych zmien klímy. Je potrebná identifikácia zmeny (t. j. trendu) nevysvetlenej zložky modelu, ktorá predstavuje vplyv iných veličín na odtok, ako sú klimatické, resp. transformovaných klimatických veličín pôsobiacich nepriamo.

Poznámka: Táto nezhoda nepoukazuje na nedostatočnosť odvodu modelu, pretože tvorba modelu vychádzala z predpokladu stacionarity funkčného vzťahu.

Komparácia 4) podobne ako komparácia 2) hodnotí scenáre z pohľadu reálnych klimatických zmien. Stráca sa ale výhoda integrujúceho faktoru modelu, ktorý z viacerých klimatických veličín vytvára jedinou hydrologickú veličinu.

HODNOTENIE VÝSLEDKOV

Z hľadiska stanovených cieľov možno konštatovať:

- 1) Preukázala sa najlepšia zhoda zmien odtokov so scenármi WP B, WP A, resp. SD B, SD A.
- 2) Preukázali sa markantné rozdiely a je možné konštatovať nedostatočnosť vysvetlenia zmeny odtokov len v dôsledku predpokladaných klimatických zmien. Je potrebná identifikácia ďalších možných vplyvov.

- 3) Vzhľadom na to, že sa preukázali podstatné rozdiely aj medzi zmenami historických klimatických veličín a samotnými scenármi, považujeme použiteľnosť scenárov za problematickú z pohľadu nami použitej metódy.

Dosiahnuté výsledky poskytujú podklady na rozsiahlu podrobnejšiu analýzu. Na tomto mieste treba povedať, že nebolo cieľom štúdie sa touto analýzou zaoberať. Jej cieľom je poukázať na samotnú existenciu uvedených rozporov. Tým štúdia splnila svoje poslanie.

LITERATÚRA

Majerčáková, O., Škoda, P.: Možné dopady predpokladaných klimatických zmien na hydrologický režim povrchových vôd. Správa pre FV ŽP, Bratislava 1992.

Majerčáková, O., Škoda, P.: Vývoj zrážok a odtokov na území Slovenska a jeho možné ovplyvnenie klimatickými zmenami. Met. zprávy, 46, č. 6, s. 164 - 168, 1993.

Majerčáková, O., Šedík, P.: Výber mesačných radov hydrologických prvkov a analýza ich spoľahlivosti. Analýza zmien variability hydrologických prvkov. Záverečná správa pre NKP SR. SHMÚ Bratislava, 1994, s. 18.

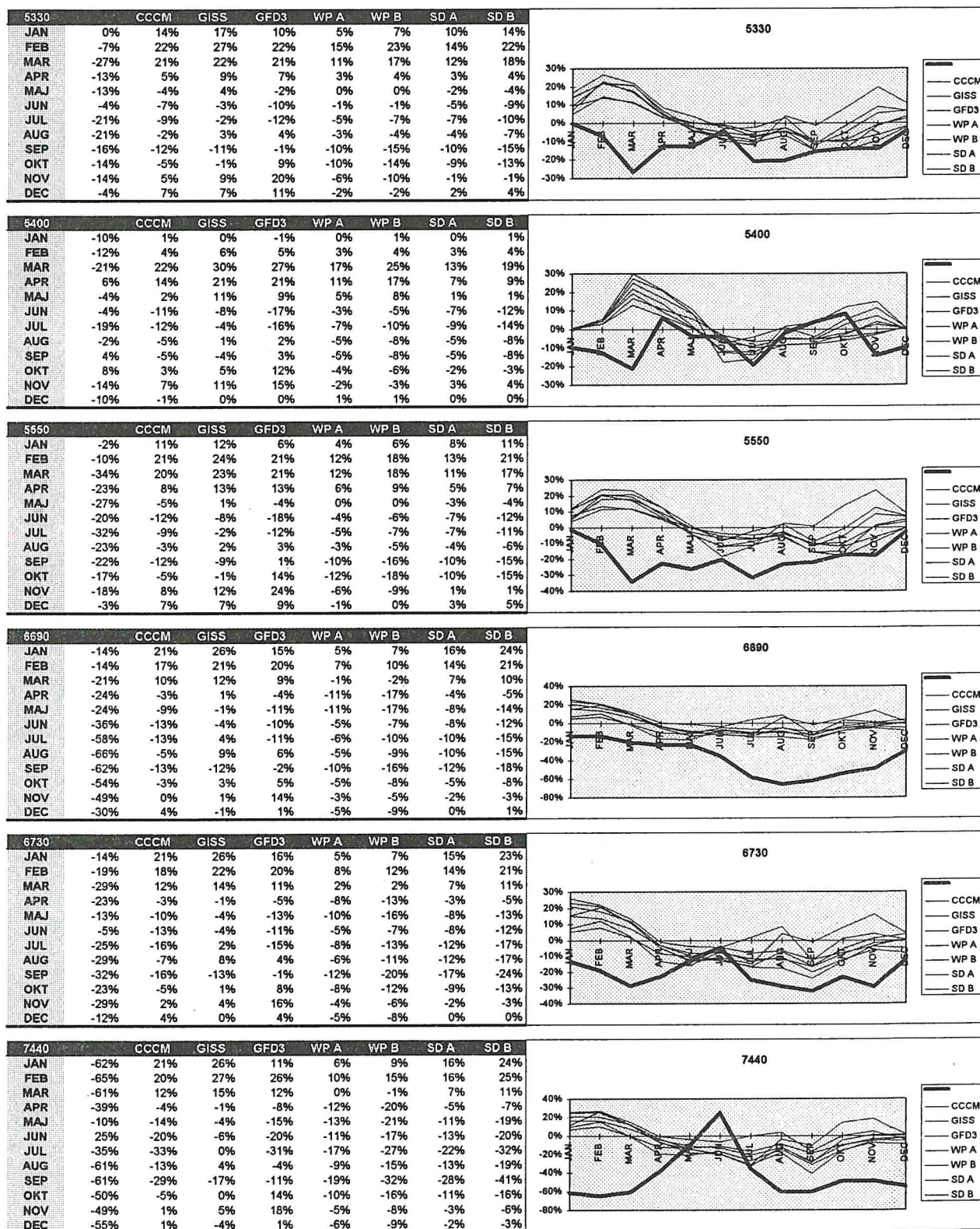
Majerčáková, O., Šedík, P.: Zmeny odtokov na slovenských tokoch. NKP SR, zv. 2, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava 1994, s. 107 - 137.

Majerčáková, O., Šedík, P.: Analýza účinkov potenciálnych klimatických zmien podľa konkrétnych klimatických scenárov na priemerné mesačné odtoky na tokoch Slovenska. Komparácia možných zmien odtoku v dôsledku potenciálnych klimatických zmien s historickými zmenami odtoku. Záverečná správa pre NKP SR. SHMÚ Bratislava 1996.

Majerčáková, O., Šedík, P.: Hydrologické scenáre možných zmien odtokov počas roka na slovenských tokoch. NKP SR, zv. 6, MŽP SR, SHMÚ, Bratislava 1997.

tab. 1 Zmeny odtokov podľa jednotlivých scenárov určené pomocou štatistického modelu versus zmeny historických odtokov
 tab. 1 Runoff change due to individual scenarios determined by statistical model versus historical runoff change

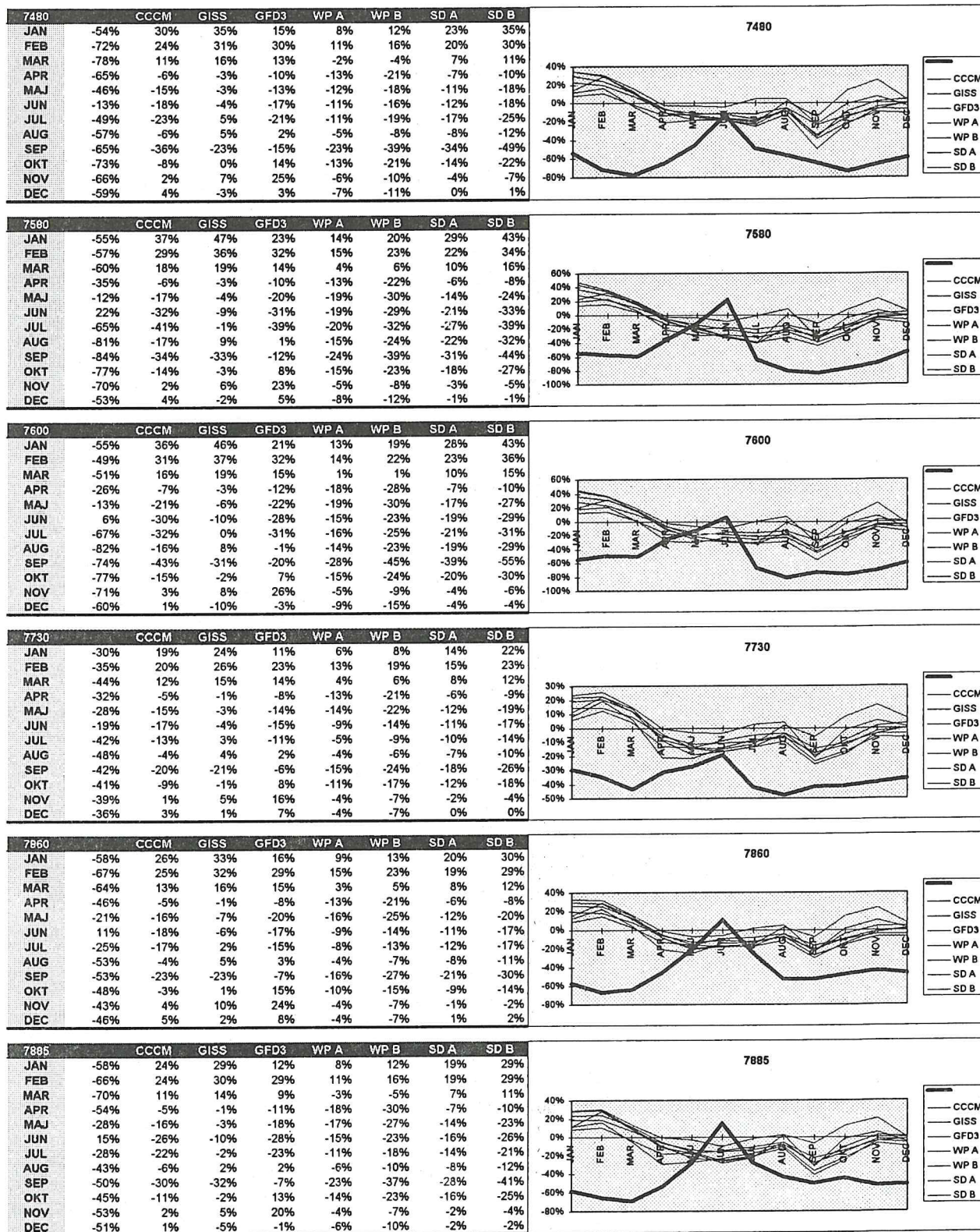
2010 3



tab. 1 pokračovanie
tab. 1 continued

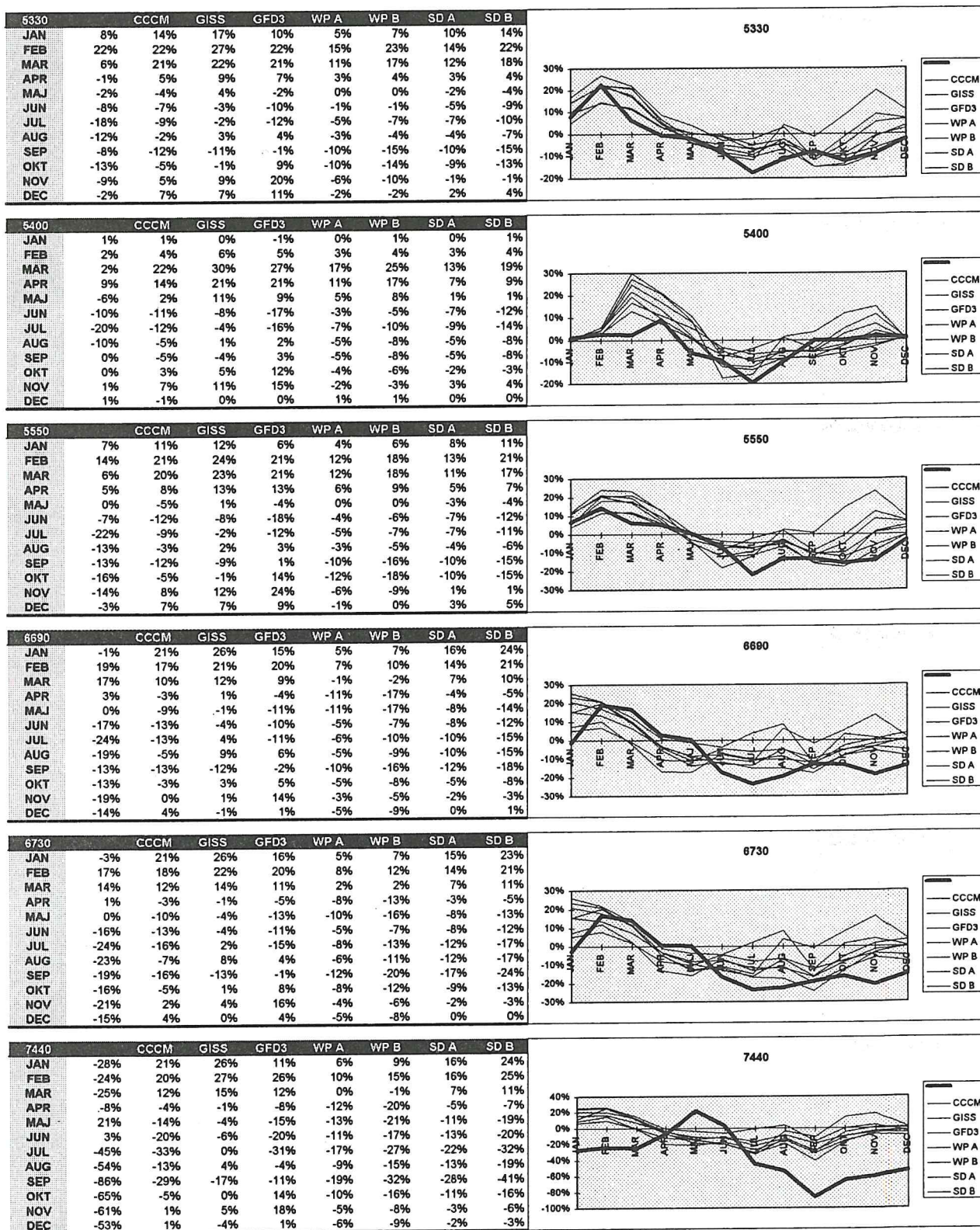
2010

3



tab. 2 Zmeny odtokov podľa jednotlivých scenárov určené pomocou štatistického modelu versus zmeny odtokov podľa zmien historických klimatických veličín určené pomocou toho istého štatistického modelu
 tab. 2 Runoff change due to individual scenarios determined by statistical model versus runoff change due to historical climatic quantities change determined by the same statistical model

2010 3

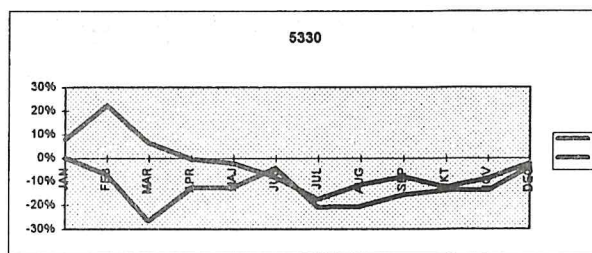


tab. 3 Zmeny odtokov podľa zmien historických klimatických veličín určené pomocou štatistického modelu versus zmeny historických odtokov

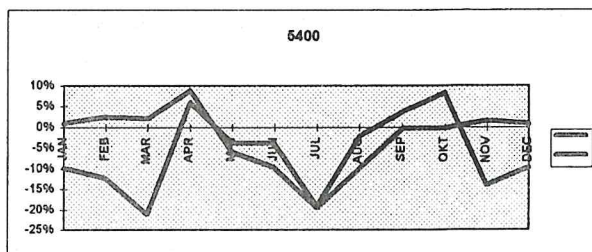
tab. 3 Runoff change due to historical climatic quantities change determined by statistical model versus historical runoff change

3

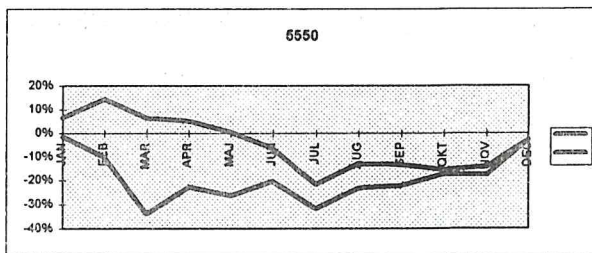
5330		
JAN	0%	8%
FEB	-7%	22%
MAR	-27%	6%
APR	-13%	-1%
MAJ	-13%	-2%
JUN	-4%	-8%
JUL	-21%	-18%
AUG	-21%	-12%
SEP	-16%	-8%
OKT	-14%	-13%
NOV	-14%	-9%
DEC	-4%	-2%



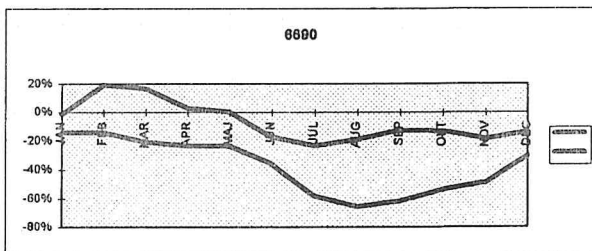
5400		
JAN	-10%	1%
FEB	-12%	2%
MAR	-21%	2%
APR	6%	9%
MAJ	-4%	-6%
JUN	-4%	-10%
JUL	-19%	-20%
AUG	-2%	-10%
SEP	4%	0%
OKT	8%	0%
NOV	-14%	1%
DEC	-10%	1%



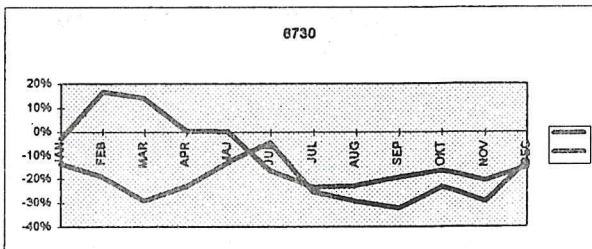
5550		
JAN	-2%	7%
FEB	-10%	14%
MAR	-34%	6%
APR	-23%	5%
MAJ	-27%	0%
JUN	-20%	-7%
JUL	-32%	-22%
AUG	-23%	-13%
SEP	-22%	-13%
OKT	-17%	-16%
NOV	-18%	-14%
DEC	-3%	-3%



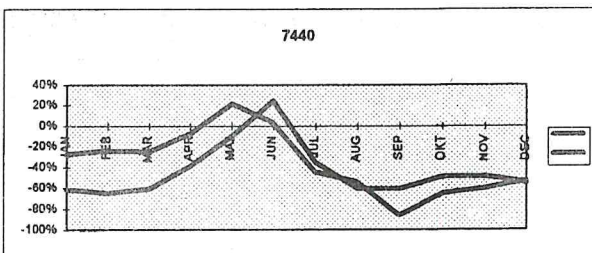
6690		
JAN	-14%	-1%
FEB	-14%	19%
MAR	-21%	17%
APR	-24%	3%
MAJ	-24%	0%
JUN	-36%	-17%
JUL	-58%	-24%
AUG	-66%	-19%
SEP	-62%	-13%
OKT	-54%	-13%
NOV	-49%	-19%
DEC	-30%	-14%



6730		
JAN	-14%	-3%
FEB	-19%	17%
MAR	-29%	14%
APR	-23%	1%
MAJ	-13%	0%
JUN	-5%	-16%
JUL	-25%	-24%
AUG	-29%	-23%
SEP	-32%	-19%
OKT	-23%	-16%
NOV	-29%	-21%
DEC	-12%	-15%

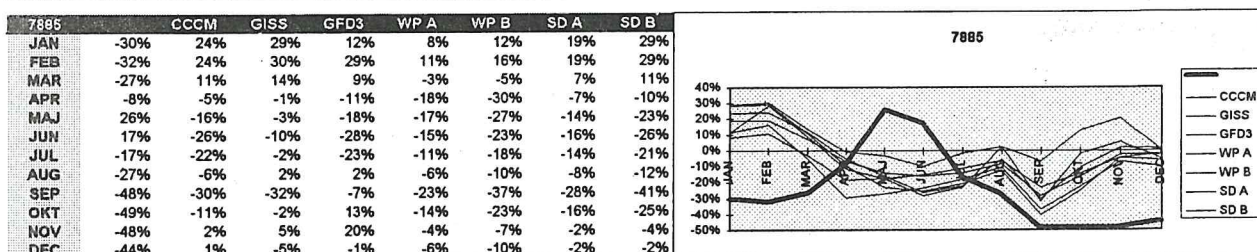
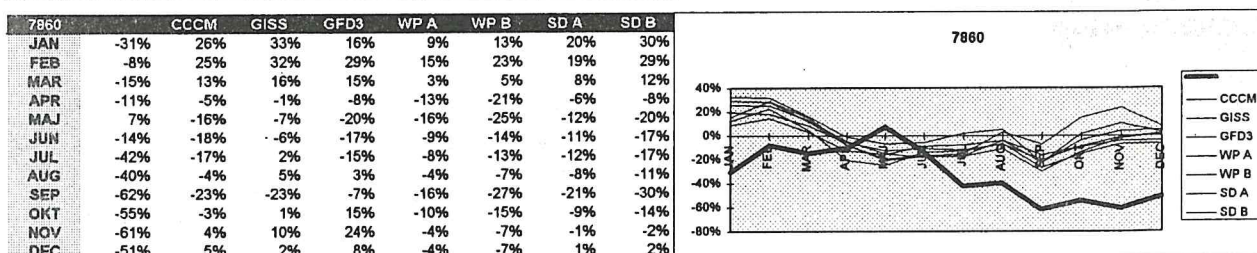
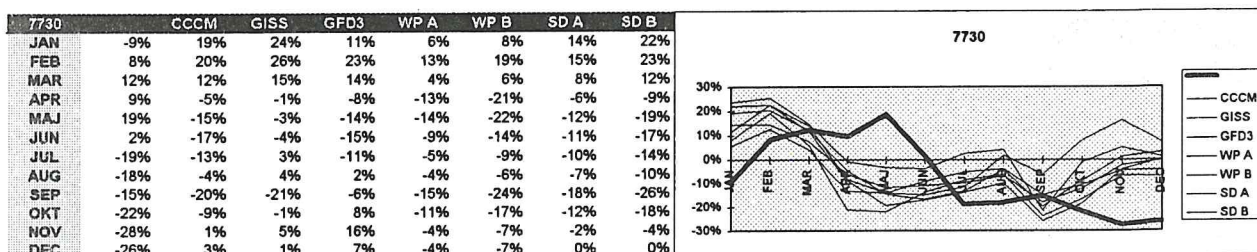
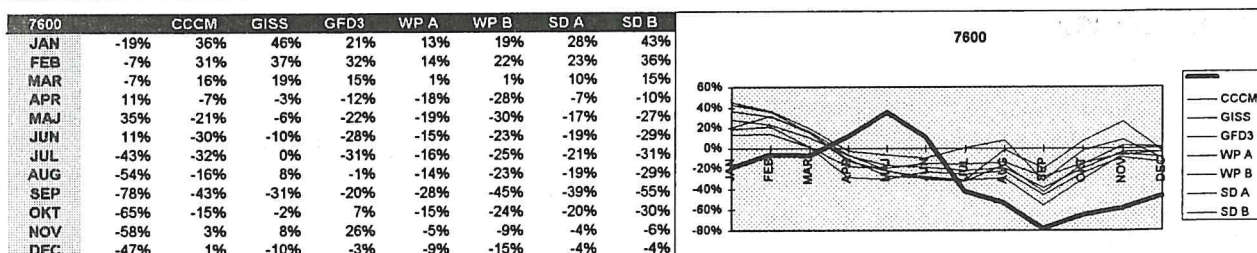
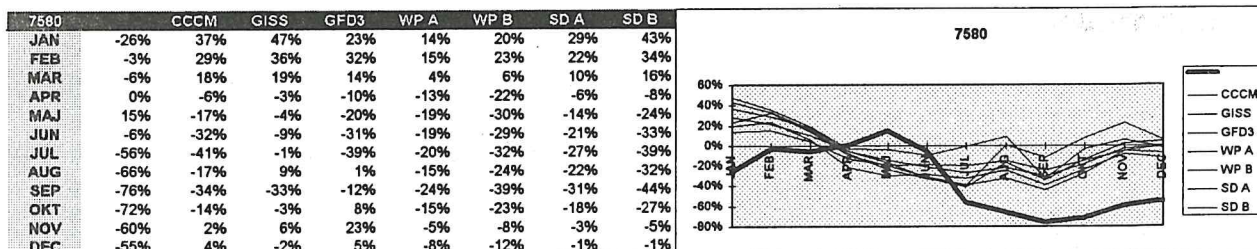
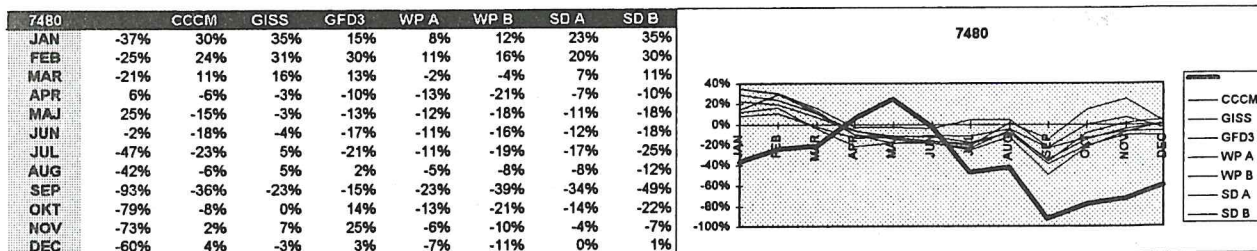


7440		
JAN	-62%	-28%
FEB	-65%	-24%
MAR	-61%	-25%
APR	-39%	-8%
MAJ	-10%	21%
JUN	25%	3%
JUL	-35%	-45%
AUG	-61%	-54%
SEP	-61%	-86%
OKT	-50%	-65%
NOV	-49%	-61%
DEC	-55%	-53%



tab. 2 pokračovanie
tab. 2 continued

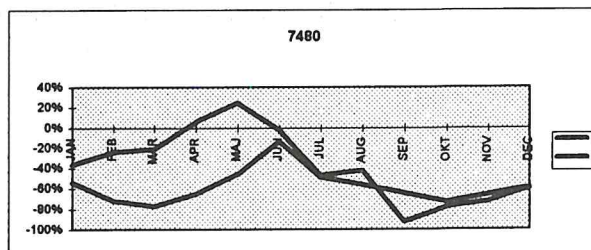
2010 3



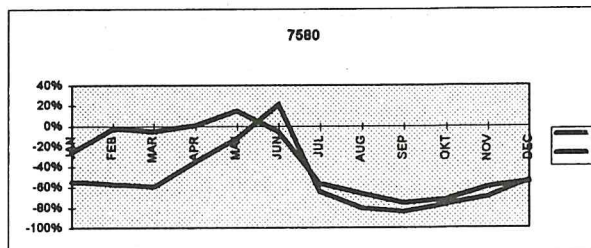
tab. 3 pokračovanie
tab. 3 continued

3

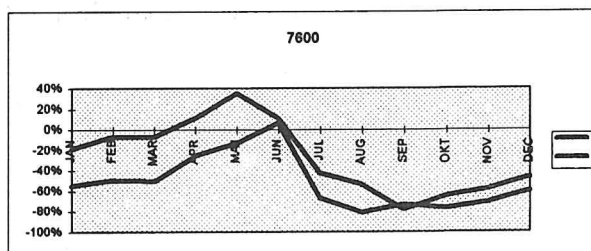
7480		
JAN	-54%	-37%
FEB	-72%	-25%
MAR	-78%	-21%
APR	-65%	6%
MAJ	-46%	25%
JUN	-13%	-2%
JUL	-49%	-47%
AUG	-57%	-42%
SEP	-65%	-93%
OKT	-73%	-79%
NOV	-66%	-73%
DEC	-59%	-60%



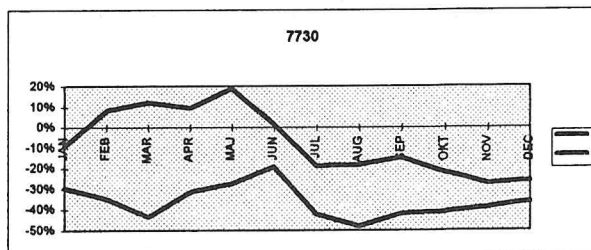
7580		
JAN	-55%	-26%
FEB	-57%	-3%
MAR	-60%	-6%
APR	-35%	0%
MAJ	-12%	15%
JUN	22%	-6%
JUL	-65%	-56%
AUG	-81%	-66%
SEP	-84%	-76%
OKT	-77%	-72%
NOV	-70%	-60%
DEC	-53%	-55%



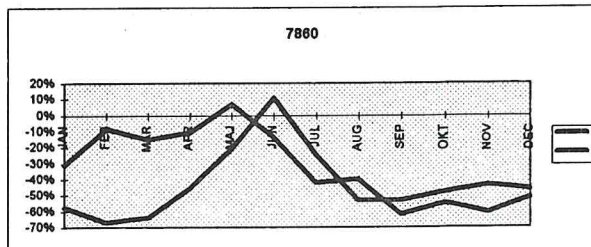
7600		
JAN	-55%	-19%
FEB	-49%	-7%
MAR	-51%	-7%
APR	-26%	11%
MAJ	-13%	35%
JUN	6%	11%
JUL	-67%	-43%
AUG	-82%	-54%
SEP	-74%	-78%
OKT	-77%	-65%
NOV	-71%	-58%
DEC	-60%	-47%



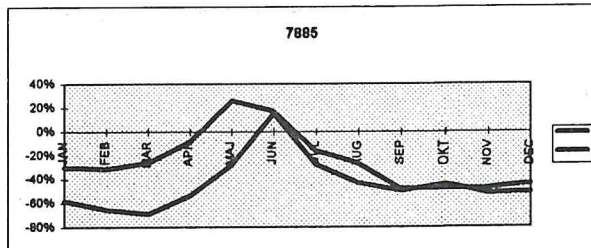
7730		
JAN	-30%	-9%
FEB	-35%	8%
MAR	-44%	12%
APR	-32%	9%
MAJ	-28%	19%
JUN	-19%	2%
JUL	-42%	-19%
AUG	-48%	-18%
SEP	-42%	-15%
OKT	-41%	-22%
NOV	-39%	-28%
DEC	-36%	-26%



7860		
JAN	-58%	-31%
FEB	-67%	-8%
MAR	-64%	-15%
APR	-46%	-11%
MAJ	-21%	7%
JUN	11%	-14%
JUL	-25%	-42%
AUG	-53%	-40%
SEP	-53%	-62%
OKT	-48%	-55%
NOV	-43%	-61%
DEC	-46%	-51%

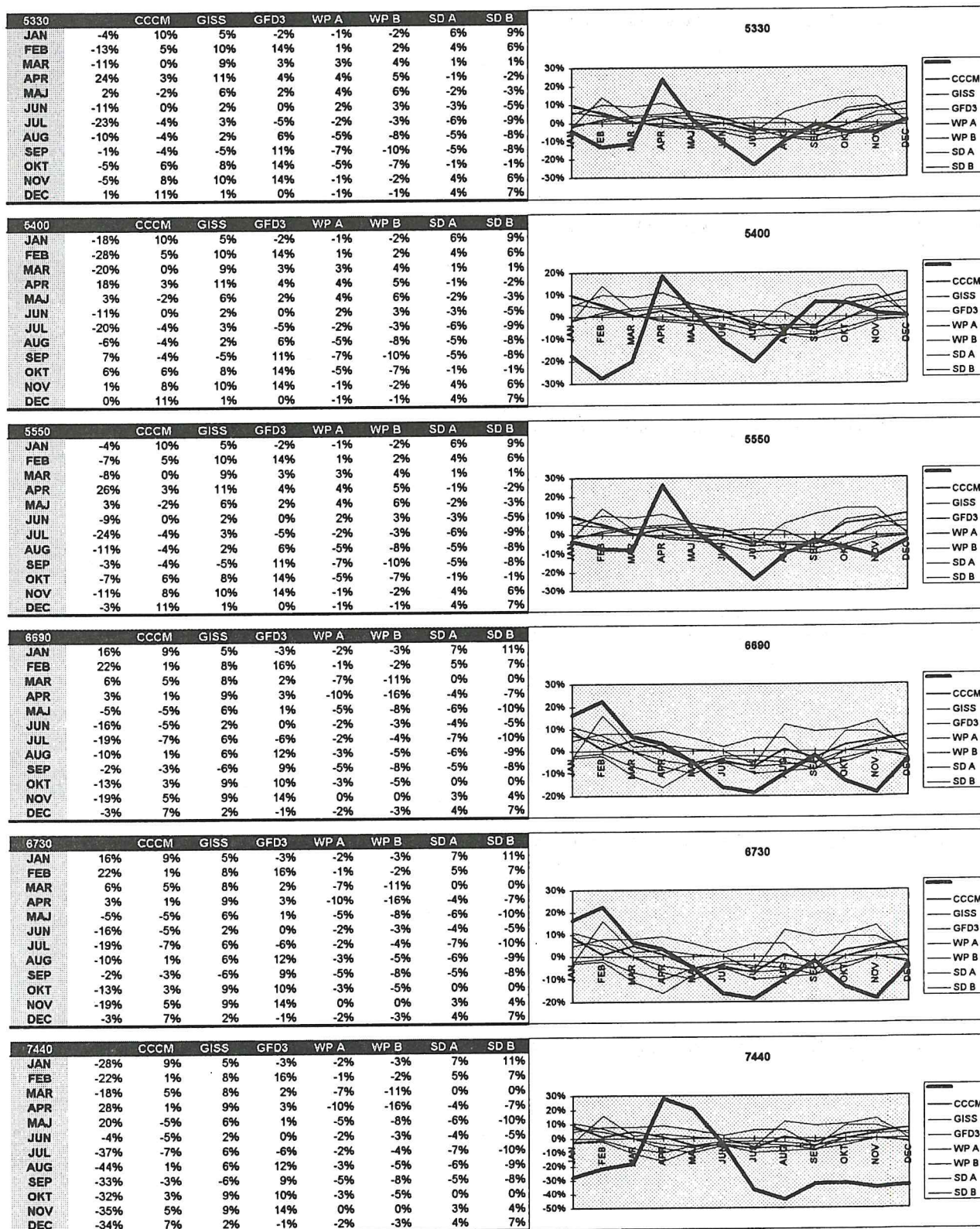


7885		
JAN	-58%	-30%
FEB	-66%	-32%
MAR	-70%	-27%
APR	-54%	-8%
MAJ	-28%	26%
JUN	15%	17%
JUL	-28%	-17%
AUG	-43%	-27%
SEP	-50%	-48%
OKT	-45%	-49%
NOV	-53%	-48%
DEC	-51%	-44%



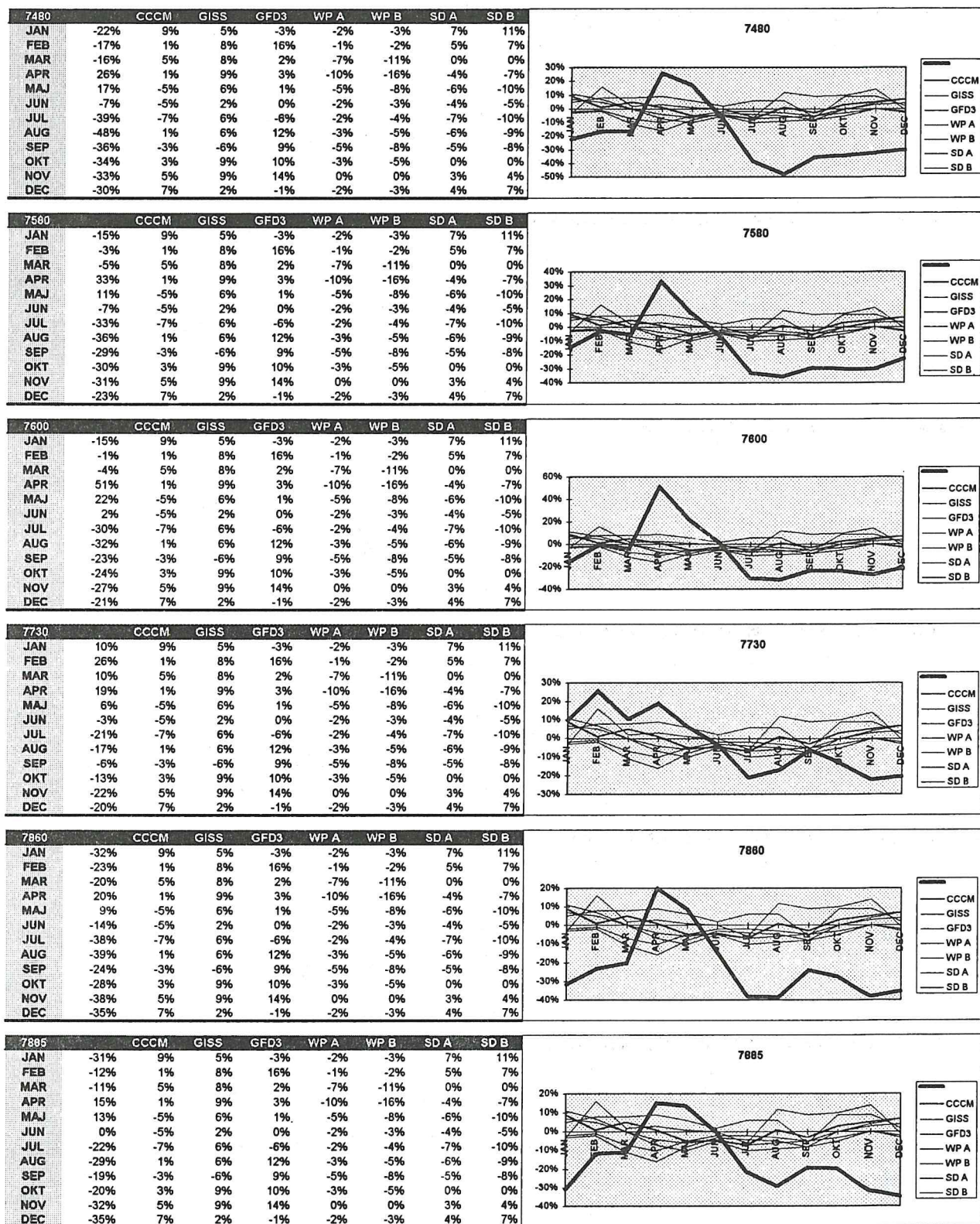
tab. 4 Jednotlivé scenáre versus zmeny historických klimatických veličín - zrážky
tab. 4 Individual scenarios versus historical climatic quantities change - precipitation

2010 3



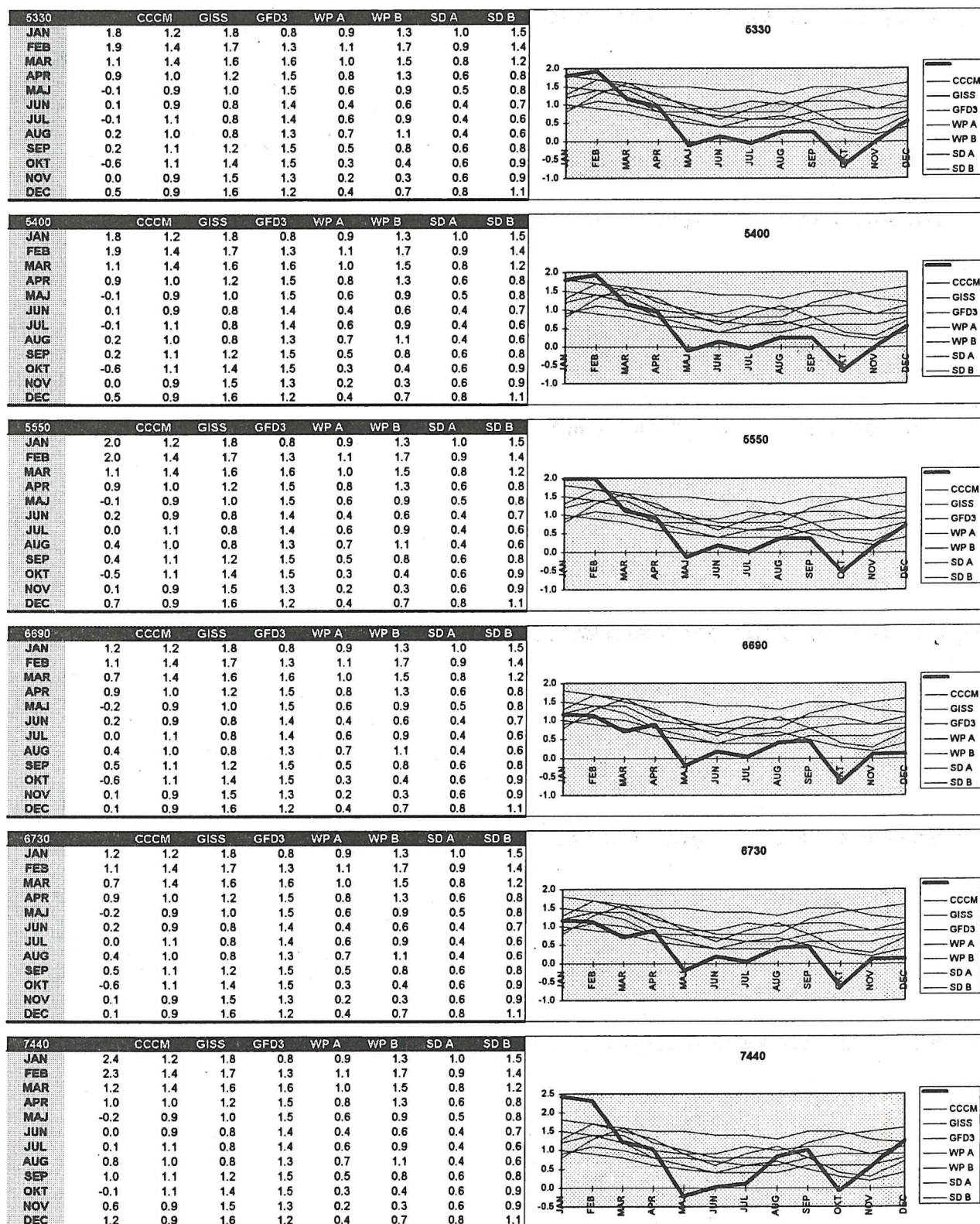
tab. 4 pokračovanie
tab. 4 continued

2010 3



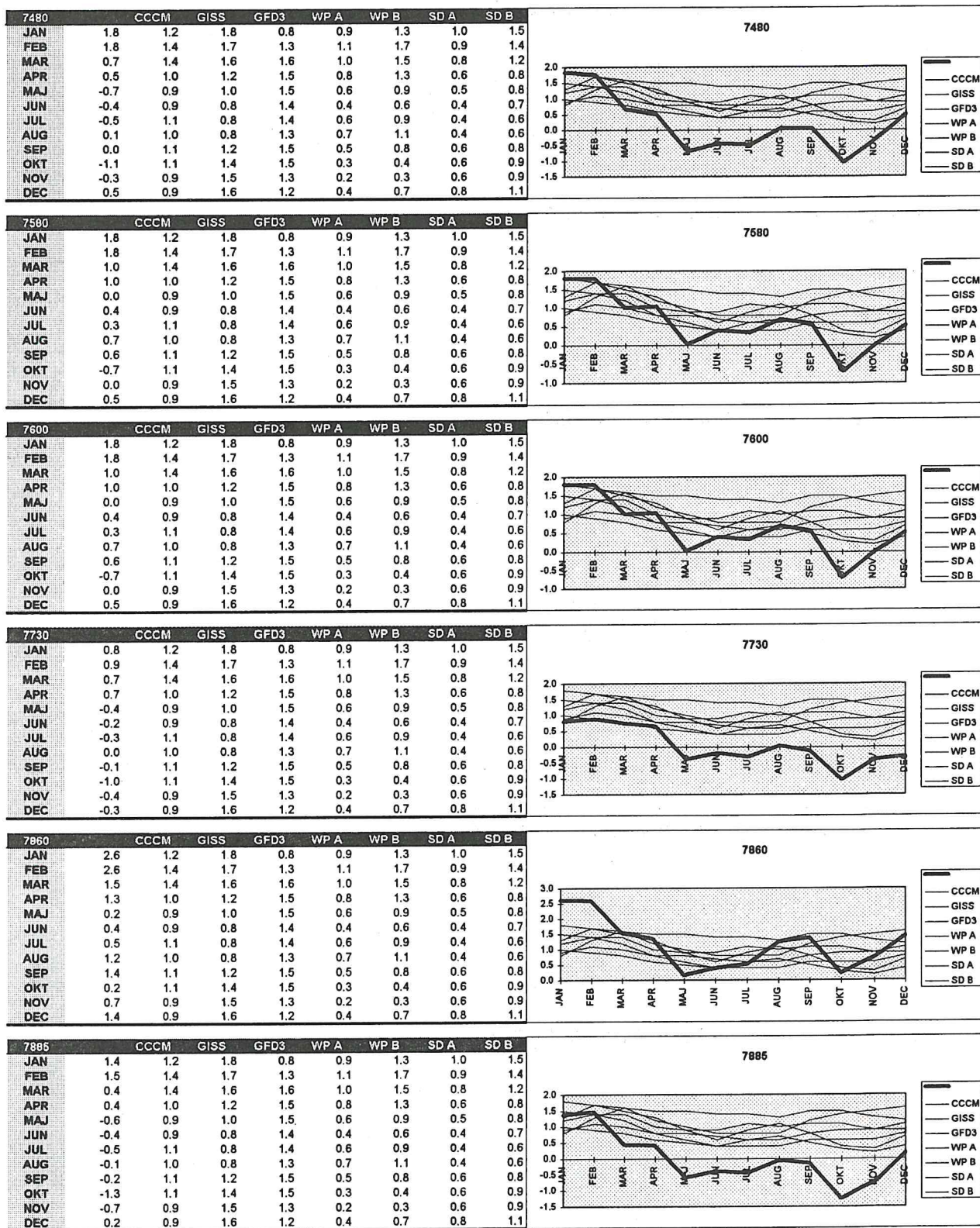
tab. 5 Jednotlivé scenáre versus zmeny historických klimatických veličín - teploty
tab. 5 Individual scenarios versus historical climatic quantities change - temperature

2010 3



tab. 5 pokračovanie
tab. 5 continued

2010 3



Redakčná rada

Predseda:

Ing. Ľubomír Žiak, MŽP SR

Členovia:

RNDr. Milan Lapin, CSc., SHMÚ

RNDr. Oľga Majerčáková, CSc., SHMÚ

Mgr. Ľubica Prokopová, SHMÚ

Doc. RNDr. Dušan Závodský, CSc., SHMÚ

NÁRODNÝ KLIMATICKÝ PROGRAM SLOVENSKEJ REPUBLIKY
Zväzok 6

Vydáva:

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

Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

Odborný redaktor: RNDr. M. Lapin, CSc.

Rediguje: Mgr. L. Prokopová

Tlač: GRAPHIC, tel. 07/ 377 337 v roku 1997

Účelová publikácia, 160 s., náklad 400 výtlačkov

ISBN 80 - 88907- 01 - 2

