UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE

Prírodovedecká fakulta

Miriam FENDEKOVÁ, Jana POÓROVÁ a Valéria SLIVOVÁ Eds.

HYDROLOGICKÉ SUCHO NA SLOVENSKU A PROGNÓZA JEHO VÝVOJA

2018

Univerzita Komenského Bratislava

Vychádza s podporou grantu APVV-0089-12 Prognóza vývoja hydrologického sucha na Slovensku

Autorský kolektív (v abecednom poradí):

RNDr. Oliver Bochníček, PhD. (SHMÚ Bratislava)
Ing. Lotta Blaškovičová, PhD. (SHMÚ Bratislava)
Ing. Zuzana Danáčová, PhD. (SHMÚ Bratislava)
doc. RNDr. Marián Fendek, CSc. (PriF UK Bratislava)
prof. RNDr. Miriam Fendeková, CSc. (PriF UK Bratislava)
RNDr. Ján Gavurník (SHMÚ Bratislava)
doc. RNDr. Martin Gera, PhD. (FMFI UK Bratislava)
Mgr. Oliver Horvát, PhD. (PriF UK Bratislava)
Ing. Eugen Kullman, PhD. (SHMÚ Bratislava)
Mgr. Lívia Labudová, PhD. (SHMÚ Bratislava)
prof. RNDr. Milan Lapin, PhD. (FMFI UK Bratislava)
RNDr. Marián Melo, PhD. (FMFI UK Bratislava)
Mgr. Katarína Mikulová, PhD. (SHMÚ Bratislava)
doc. RNDr. Ján Pekár, CSc. (FMFI UK Bratislava)
RNDr. Pavla Pekárová, DrSc. (ÚH SAV Bratislava)
Ing. Jana Poórová, PhD. (SHMÚ Bratislava)
RNDr. Valéria Slivová, PhD. (SHMÚ Bratislava)
Ing. Viliam Šimor, PhD. (SHMÚ Bratislava)
Mgr. Dana Vrablíková, PhD. (PriF UK Bratislava)

Recenzenti:

prof. Ing. Silvia Kohnová, PhD.
RNDr. Pavol Miklánek, PhD.

ISBN 978-80-223-4510-1

OBSAH

Predhovor 17

Úvod 19

1. Sucho ako extrémny jav (L. Labudová, Z. Danáčová, L. Blaškovičová, J. Poórová, V. Slivová, M. Fendeková) 21

1.1 Meteorologické sucho 22

1.2 Hydrologické sucho a jeho odraz v prietokoch povrchových tokov 27

1.3 Hydrologické sucho a jeho odraz vo výdatnostiach prameňov a hladinách podzemnej vody 30

1.3.1 Stav preskúmanosti fenoménu sucha v podzemnej vode 31

1.3.2 Faktory vzniku sucha v podzemnej vode 31

2. Stručná charakteristika hodnotených povodí (Z. Danáčová, L. Blaškovičová, V. Šimor, K. Mikulová, M. Fendek) 35

3. Vývoj a prognóza meteorologického sucha na Slovensku (O. Bochníček, K. Mikulová, M. Lapin, M. Gera, M. Melo) 51

3.1 Charakteristika meteorologickej situácie na Slovensku v rokoch 1981 – 2016 62

3.1.1 Definícia a pojmy 51

3.1.2 Atmosferické zrážky 58

3.2 Metodika prípravy scenárov klimatickej zmeny 62

3.2.1 Pojem „Klimatická zmena“ a stručný fyzikálny opis 62

3.2.2 Definícia scenárov klimatickej zmeny a metódy ich prípravy 65

3.2.3 Metodika prípravy scenárov klimatickej zmeny z výstupov GCMs a RCMs 67

3.2.4 Ďalšie možnosti prípravy scenárov (jednoduché modely, analógy, kombinované metódy) 70

3.3 Scenáre denných až sezónnych charakteristík klimatických prvkov do roku 2100 76

3.3.1 Stručný prehľad scenárov klimatickej zmeny doteraz pripravených na Slovensku a predbežné vyhodnotenie ich úspešnost 76

3.3.2 Časové rady denných, mesačných, sezónnych a ročných scenárov ako modifikované výstupy modelov GCMs a RCMs 83

3.3.3 Časové rady odvodených scenárov klimatickej zmeny (evapotranspirácia, nová snehová pokrývka, sucho) 89

3.3.4 Posun klimatických oblastí na Slovensku v dôsledku klimatickej zmeny 97

4. Vývoj a prognóza výskytu hydrologického sucha v prietokoch (Z. Danáčová, L. Blaškovičová, J. Poórová, V. Šimor, M. Fendek, O. Horvát, M. Fendeková, L. Labudová, P. Pekárová, J. Pekár) 101

4.1 Charakteristika hydrologickej situácie na Slovensku v rokoch 1981 – 2016 101

4.1.1 Priemerné ročné prietoky 103

4.1.2 Priemerné mesačné prietoky 105

4.1.3 Priemerné denné prietoky 120

4.2 Modelovanie zrážkovo-odtokových vzťahov 127
4.2.1 Model hydrologickej bilancie Bilan 127
4.2.2 Model Frier 129
4.3 Charakteristika zrážkovo-odtokových vzťahov v hodnotených povodiach .. 132
4.3.1 Výsledky modelovania pomocou modelu Bilan 132
4.3.1 Výsledky modelovania pomocou modelu Frier 139
4.4 Charakteristika vybraných periód hydrologického sucha v 21. storočí 145
4.4.1 Meteorologické sucho v rokoch 2003, 2011 – 2012 a 2015 na Slovensku 147
4.4.2 Hydrologické sucho v rokoch 2003, 2011 – 2012 a 2015 na Slovensku 152
4.5 Výskyt hydrologického sucha v období 1981 – 2012 162
4.5.1 Vyhodnotenie výskytu meteorologického a hydrologického sucha .. 162
4.5.2 Šírenie sa sucha v referenčnom období rokov 1981 – 2012 165
4.6 Analýza výskytu sucha podľa scenárov zmeny klímy v období rokov 1981 – 2100 166
4.6.1 Charakteristika parametrov sucha v období 1981 – 2100 167
4.6.2 Rozdiely v ročnom chode vybraných členov hydrologickej bilancie .. 174
4.7 Prognóza zmien v jednotlivých prvkoch hydrologickej bilancie 188
4.8 Prognóza výskytu hydrologického sucha pomocou indexu severoatlantickej oscilácie NAO 196

5. Výskyt hydrologického sucha v podzemnej vode (V. Slivová, E. Kullman, J. Gavurník, D. Vrablíková) 219
5.1 Metódy hodnotenia sucha vo výdatnostiach prameňov a v hladinovom režime podzemnej vody 219
5.2 Charakteristika hydrologickej situácie v podzemných vodách na Slovensku v rokoch 1981 – 2016 223
5.3 Sezónnosť minimálnych výdatností prameňov 230
5.3.1 Sezónnosť výdatnosti prameňov 231
5.3.2 Vstupné dáta a metódy hodnotenia 231
5.3.3 Výsledky hodnotenia sezónnosti minimálnych výdatností prameňov .. 241

6. Mapa zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na minimálne prietoky (L. Blaškovičová, Z. Danáčová,V. Šimor) 251
6.1 Metodika zostavenia mapy 251
6.2 Výsledky získané pre obdobie rokov 1981 – 2012 254

7. Zhrnutie získaných výsledkov a Záver 259

Zoznam použitej literatúry 265

Summary 281

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1.1.1 Priebeh indexu SPEI na staniciach Žihárec (hore) a Vysoká nad Uhom (dole) počas monitorovacej sezóny 2015, str. **25**

Obr. 1.1.2 Intenzita sucha v rôznych vrstvách pôdneho profilu dňa 25. júna 2017 na Slovensku, str. **26**

Obr. 1.1.3 Index SPEI na stanici Bratislava – letisko od 1. decembra 2017 do 24. septembra 2017, str. **26**

Obr. 1.2.1 Rozdelenie odtoku v roku na území Slovenska (referenčné obdobie 1961 – 2000), str. **28**

Obr. 1.2.2 Priebeh priemerných denných a mesačných prietokov v roku 1993 vo vodomernej stanici Štítnik - Štítnik), str. **29**

Obr. 1.3.2.1 Reakcia podzemnej vody na sucho (Slivová, 2007, upravené podľa Robinsa et al., 1997), str. **32**

Obr. 1.3.2.2 Schematický prehľad hydrologického cyklu. „Atmosféra" reprezentuje všetky zásoby vody v atmosfére. „Vegetácia" predstavuje zásobu vody v a na rastlinách. „Povrchové nerovnosti" reprezentujú vodu na povrchu územia, pred infiltráciou do pôdy. „Nenasýtená zóna" je zásobárňou vlhkosti v nenasýtenej zóne a „Nasýtená zóna" je všetka voda v nasýtenej zóne. „Povrchové toky" sú zásobárňou všetkej vody vyskytujúcej sa v povrchovom systéme vody, ako sú povrchové toky, rieky a jazerá (upravené podľa Wilhite, 1999), str. **33**

Obr. 2.1 Lokalizácia hodnotených povodí, str. **36**

Obr. 2.2 Priestorové znázornenie klimatickej klasifikácie územia Slovenska podľa Končeka (Konček a Petrovič, 1957), str. **37**

Obr. 2.3 Odtokové pomery územia Slovenska – priemerná výška ročného odtoku (mm), str. **50**

Obr. 3.2.1.1 Odchýlky ročných priemerov teploty vzduchu (dT_N) na Slovensku (priemer zo staníc Hurbanovo, Košice, letisko a Liptovský Hrádok) od dlhodobého priemeru obdobia 1951 – 1980 a odchýlky percenta územných ročných úhrnov zrážok vypočítaných dvojitým váženým priemerom z 203 staníc na Slovensku od dlhodobého priemeru z obdobia 1901 – 1990 (podľa údajov SHMÚ), str. **63**

Obr. 3.2.1.2 Odchýlky zonálnych priemerov teploty vzduchu (dT) v období 1880 – 2016 na severnej pologuli od priemerov z obdobia 1951 – 1980 v subtropickom pásme (24° až 44° na sever od rovníka, čierna čiara), v miernom pásme (44° až 64° na sever od rovníka, červená čiara) a v Arktíde (severne od 64° s.z.š., modrá čiara) podľa strediska GISS (NASA, 2017), str. **64**

Obr. 3.2.2.1 Emisné scenáre SRES IPCC (2007), vrátane predchádzajúceho stredného scenára IS92a pre hlavné skleníkové plyny (CO_2 v Gt fosílneho uhlíka), CH_4 (v Tg, Mt), N_2O (v Tg dusíka) a síry (v Tg). IPCC (2014) prezentuje aj novšie RCP scenáre, ktoré sú podobné, str. **66**

Obr. 3.2.4.1 Závislosť tlaku vodnej pary v atmosfére od teploty vzduchu (T) nad rovinnou vodnou plochou v stave nasýtenia ($e^\star$) a pri 50 % relatívnej vlhkosti vzduchu (RV = 50 %), plné šípky označujú veľkosť sýtostného doplnku (Δ), ktorý sa zvyšuje s rastúcou T, str. **71**

Obr. 3.2.4.2 Nomogram na výpočet mesačných súm potenciálnej evapotranspirácie (E_o) v závislosti od sýtostného doplnku (Δ) pre geobotanickú zónu lesostep (Zubenok, 1976), po-

dobné nomogramy boli odvodené aj pre iné geobotanické zóny, v mesiacoch júl až december sú podobné krivky s klesajúcimi sumami E_o), str. **72**

Obr. 3.2.4.3 Závislosť počtu dní so snehovou pokrývkou (***PD***) od priemerov teploty vzduchu (***T***) v sezóne XI – III na stanici Sliač, letisko, vrátane scenára pri oteplení o 2 °C, str. **73**

Obr. 3.2.4.4 Závislosť sumy novej snehovej pokrývky (***SNS***) od úhrnov zrážok (***R***) v sezóne XI – III na stanici Sliač, letisko, vrátane scenára pri zvýšení úhrnov zrážok za sezónu o 100 mm, str. **74**

Obr. 3.3.1.1 Odchýlky mesačných, ročných a sezónnych priemerov teploty vzduchu (***dT***) na Slovensku od normálu 1951 – 1980 pre 6 scenárov klimatickej zmeny spracovaných v období 1995 – 2000 a časový horizont roku 2010, verifikácia scenárov podľa meraných priemerov teploty vzduchu v období 2000 – 2016 (CCCM a GISS sú scenáre podľa výstupov GCM z Kanady, resp. USA, WP je scenár na základe analýzy relatívne teplých období, IV – IX je teplý polrok), str. **77**

Obr. 3.3.1.2 Percentá mesačných, ročných a sezónnych priemerov úhrnov zrážok (***R***) na Slovensku v porovnaní s normálom 1951 – 1980 pre 9 scenárov klimatickej zmeny spracovaných v období 1995 – 2000 a časový horizont roku 2010, verifikácia scenárov podľa meraných priemerov úhrnov zrážok v období 2000 – 2016 (CCCM a GISS sú scenáre podľa výstupov GCMs z Kanady, resp. USA, WP je scenár na základe analýzy relatívne teplých období, S a N je scenár pre južnú a severnú polovicu Slovenska, IV – IX je teplý polrok), str. **78**

Obr. 3.3.2.1 Scenáre priemernej teploty vzduchu (***T***) podľa RCMs KNMI a MPI, emisný scenár A1B, pre teplý polrok (IV – IX) 1951 – 2100 v Hurbanove, merané údaje sú z obdobia 1951 – 2016, str. **84**

Obr. 3.3.2.2 Scenáre úhrnov zrážok (***R***) podľa RCMs KNMI a MPI, emisný scenár A1B, pre teplý polrok (IV – IX) 1951 – 2100 v Hurbanove, merané údaje sú z obdobia 1951 – 2016, str. **85**

Obr. 3.3.2.3 Scenáre priemerov relatívnej vlhkosti vzduchu (***RV***) podľa RCMs KNMI a MPI, emisný scenár A1B, pre teplý polrok (IV – IX) 1951 – 2100 v Hurbanove, merané údaje sú z obdobia 1951 – 2016, str. **86**

Obr. 3.3.2.4 Scenáre priemerov sýtostného doplnku (***Δ***) podľa RCMs KNMI a MPI, emisný scenár A1B, pre teplý polrok (IV – IX) 1951 – 2100 v Hurbanove, merané údaje sú z obdobia 1951 – 2016, str. **87**

Obr. 3.3.2.5 Scenáre počtu tropických dní (***N***, s denným maximom teploty vzduchu ≥30 °C) v Poprade podľa modifikovaných výstupov modelu ECHAM5, emisný scenár SRES A2, v období 1950 – 2100, merané údaje SHMÚ sú z obdobia 1951 – 2015 (modré), str. **88**

Obr. 3.3.2.6 Scenáre počtu tropických dní (***N***, s denným maximom teploty vzduchu ≥30 °C) v Hurbanove podľa modifikovaných výstupov modelu ECHAM5, emisný scenár SRES A2, v období 1950 – 2100, merané údaje SHMÚ sú z obdobia 1951 – 2016 (modré)., str. **88**

Obr. 3.3.3.1 Podiel tuhých zrážok (R_S) v % z celkového úhrnu zrážok v snehovej sezóne X – III v Poprade, v prípade meraných údajov ide o zjednodušený prepočet 1 cm nového snehu = 1 mm tuhých zrážok, vo výstupe modelu CGCM3.1 (SRES A2 a B1) sme predpokladali tuhé zrážky v prípade denného priemeru teploty vzduchu menej ako +2 °C, str. **89**

Obr. 3.3.3.2 Ročná suma denných výšok snehovej pokrývky (***Suma***) ≥1 cm v Oravskej Lesnej (780 m n. m.) podľa merania SHMÚ a podľa výstupu modelu RCM KNMI (SRES A1B), najbližší uzlový bod s výškou 810 m n. m., str. **90**

Obr. 3.3.3.3 Ročný počet dní (***No***) s výškou snehovej pokrývky ≥ 1 cm v Oravskej Lesnej (780 m n. m.) podľa merania SHMÚ a podľa výstupu modelu RCM KNMI (SRES A1B), najbližší uzlový bod s výškou 810 m n. m., str. **91**

Obr. 3.3.3.4 Priemerné ročné sumy potenciálnej evapotranspirácie (E_o) na Slovensku v období 1951 – 1990 a 1991 – 2016 vypočítané v OMK FMFI UK komplexnou Bydykovou metódou upravenou Tomlainom podľa mesačných údajov z klimatologických staníc SHMÚ, str. **94**

Obr. 3.3.3.5 Scenáre zmien priemerných súm potenciálnej evapotranspirácie (qE_o) na Slovensku v % v sezóne IV – IX v obdobiach 2001 – 2050, 2026 – 2075 a 2051 – 2100 v porovnaní s obdobím 1951 – 1990, vypočítané v OMK FMFI UK metódou Zubenok podľa mesačných údajov sýtostného doplnku pre vybrané klimatologické stanice SHMÚ, str. **95**

Obr. 3.3.3.6 Denné sumy potenciálnej evapotranspirácie (E_o) pre Košice, letisko v období 1.1.2002 až 31.12.2003, vypočítané z mesačných súm podľa komplexnej metódy Budyko-Tomlain a rozčlenené na denné sumy podľa veľkosti sýtostného doplnku (spracované v OMK FMFI UK s využitím údajov SHMÚ), str. **96**

Obr. 4.1.1 Vývoj ročného odtoku, ročného úhrnu zrážok a odtokového koeficienta pre územie Slovenska v jednotlivých rokoch za obdobie 1981 – 2015, str. **101**

Obr. 4.1.2 Vývoj ročného odtoku, ročného úhrnu zrážok a odtokového koeficienta pre územie Slovenska v jednotlivých rokoch za obdobie 1931 – 2016, str. **102**

Obr. 4.1.3 Koeficient odtoku z územia SR (%) v jednotlivých rokoch za obdobie 1931 – 2016, 10-ročný kĺzavý priemer a lineárny trend, str. **103**

Obr. 4.1.2.1 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Myjava - Šaštín-Stráže, str. **107**

Obr. 4.1.2.2 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Váh - Liptovský Mikuláš, str. **108**

Obr. 4.1.2.3 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Kysuca - Kysucké Nové Mesto, str. **108**

Obr. 4.1.2.4 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Nitra - Nitrianska Streda, str. **109**

Obr. 4.1.2.5 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Hron - Brehy, str. **109**

Obr. 4.1.2.6 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Ipeľ - Holiša, str. **110**

Obr. 4.1.2.7 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Rimava - Vlkyňa, str. **110**

Obr. 4.1.2.8 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Torysa - Košické Olšany, str. **111**

Obr. 4.1.2.9 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Topľa - Hanušovce nad Topľou, str. **111**

Obr. 4.1.2.10 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, profil Poprad - Chmeľnica, str. **112**

Obr. 4.1.3.1 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Myjava - Šaštín-Stráže, str. **120**

Obr. 4.1.3.2 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Váh - Liptovský Mikuláš, str. **121**

Obr. 4.1.3.3 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Kysuca - Kysucké Nové Mesto, str. **122**

Obr. 4.1.3.4 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Nitra - Nitrianska Streda, str. **122**

Obr. 4.1.3.5 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Hron - Breh, str. **123**

Obr. 4.1.3.6 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Ipeľ - Holiša, str. **124**

Obr. 4.1.3.7 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Rimava - Vlkyňa, str. **124**

Obr. 4.1.3.8 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Torysa - Košické Olšany, str. **125**

Obr. 4.1.3.9 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Topľa - Hanušovce, str. **125**

Obr. 4.1.3.10 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Poprad - Chmeľnica, str. **126**

Obr. 4.3.1.1 Porovnanie odtokových zložiek pre povodie Myjavy, str. **136**

Obr. 4.3.1.2 Porovnanie odtokových zložiek pre povodie Hrona, str. **136**

Obr. 4.3.1.3 Porovnanie odtokových zložiek pre povodie Ipľa, str. **137**

Obr. 4.3.1.4 Porovnanie odtokových zložiek pre povodie Popradu, str. **137**

Obr. 4.3.2.2.1 Úhrny zrážok v stredo- a východoslovenských povodiach v období 1981 – 2012, str. **142**

Obr. 4.4.1.1 Vývoj hodnoty indexu SPI12 v povodí Váhu po profil Liptovský Mikuláš, str. **149**

Obr. 4.4.1.2 Vývoj hodnoty indexu SPI12 v povodí Kysuce po profil Kysucké Nové Mesto, str. **149**

Obr. 4.4.1.3 Vývoj hodnoty indexu SPI12 v povodí Nitry po profil Nitrianska Streda, str. **150**

Obr. 4.4.1.4 Vývoj hodnoty indexu SPI12 v povodí Tople po profil Hanušovce nad Topľou (hore) a indexu SPEI pre stanicu Čaklov (dolu), str. **150-151**

Obr. 4.4.1.5 Vývoj hodnoty indexu SPI12 v povodí Myjavy po profil Šaštín-Stráže (hore) a indexu SPEI pre stanicu Senica (dolu), str. **151-152**

Obr. 4.4.2.1 Vyhodnotenie sucha v prietokových radoch pre Myjavu v Šaštíne-Strážach pomocou SPA metódy s fixnou hraničnou hodnotou a vývoj sucha v rokoch 2015, 2012 a 20035, str. **154**

Obr. 4.4.2.2 Vyhodnotenie sucha v prietokových radoch pre Váh v Liptovskom Mikuláši pomocou SPA metódy s fixnou hraničnou hodnotou a vývoj sucha v rokoch 2015, 2012 a 2003, str. **155**

Obr. 4.4.2.3 Vyhodnotenie sucha v prietokových radoch pre Kysucu v Kysuckom Novom Meste pomocou SPA metódy s fixnou hraničnou hodnotou a vývoj sucha v rokoch 2015, 2012 a 2003, str. **156**

Obr. 4.4.2.4 Vyhodnotenie sucha v prietokových radoch pre Nitru v Nitrianskej Strede pomocou SPA metódy s fixnou hraničnou hodnotou a vývoj sucha v rokoch 2015, 2012 a 2003, str. **157**

Obr. 4.4.2.5 Stanovenie doby opakovania parametrov sucha pre Váh, str. **159**

Obr. 4.4.2.6 Stanovenie doby opakovania parametrov sucha pre Nitru, str. **159**

Obr. 4.4.2.7 Stanovenie doby opakovania parametrov sucha pre Myjavu, str. **160**

Obr. 4.4.2.8 Stanovenie doby opakovania parametrov sucha pre Kysucu, str. **161**

Obr. 4.5.2.1 Sucho v povodí Kysuce v rokoch 1983 – 1984 a 2005 – 2006. Sucho je reprezentované červenou plochou. Horný panel: meteorologické sucho; 2. panel zhora: hydrologické sucho v riečnej sieti; 3. panel zhora: hydrologické sucho v nenasýtenej zóne; dolný panel: hydrologické sucho v nasýtenej zóne, str. **166**

Obr. 4.6.1.1 Porovnanie súčasných a budúcich najdlhších období hydrologického sucha v nasýtenej zóne v jednotlivých povodiach: zľava: referenčné obdobie 1981 – 2012; scenár zmeny klímy KNMI2; scenár zmeny klímy MPI1. Sucho je reprezentované červenou plochou., str. **171-174**

Obr. 4.6.2.1 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Myjavy, str. **175**

Obr. 4.6.2.2 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Kysuce, str. **176**

Obr. 4.6.2.3 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí horného Váhu, str. **177**

Obr. 4.6.2.4 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Nitry, str. **178**

Obr. 4.6.2.5 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Hrona, str. **179**

Obr. 4.6.2.6 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Ipľa, str. **180**

Obr. 4.6.2.7 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Popradu, str. **181**

Obr. 4.6.2.8 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokla

daných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Hornádu, str. **182**

Obr. 4.6.2.9 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Slanej, str. **183**

Obr. 4.6.2.10 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Rimavy, str. **184**

Obr. 4.6.2.11 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Bodvy, str. **185**

Obr. 4.6.2.12 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Ondavy, str. **186**

Obr. 4.6.2.13 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Laborca po Humenné, str. **187**

Obr. 4.7.1 Porovnanie rozdielu priemerných zmien zásob vody v povodí podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012, str. **188-189**

Obr. 4.7.2 Porovnanie rozdielu v priemerných ročných úhrnoch zrážok podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012, str. **189-190**

Obr. 4.7.3 Porovnanie rozdielu v priemerných ročných úhrnoch aktuálnej evapotranspirácie podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012, str. **190-191**

Obr. 4.7.4 Porovnanie rozdielu v priemerných ročných hodnotách celkového odtoku podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012, str. **192**

Obr. 4.7.5 Porovnanie rozdielu v priemerných ročných hodnotách povrchového odtoku podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012, str. **193**

Obr. 4.7.6 Porovnanie rozdielu v priemerných ročných hodnotách podpovrchového odtoku podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012, str. **194**

Obr. 4.7.7 Porovnanie rozdielu v priemerných ročných hodnotách podzemného odtoku podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012, str. **195**

Obr. 4.7.8 Porovnanie rozdielu v priemerných ročných hodnotách pôdnej vlhkosti podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012, str. **196**

Obr. 4.8.1 Index zimného (december až marec) NAO na základe rozdielu normalizovaného tlaku na hladinu mora (SLP) medzi Lisabonom, Portugalskom a Stykkisholmurom / Reykjavikom na Islande od roku 1864. Hodnoty SLP na každej stanici sa normalizovali odstránením dlhodobého priemeru a vydelením dlhodobou štandardnou odchýlkou. Dlhodobé priemery aj štandardné odchýlky sú počítané z obdobia 1864–1983, (podľa Hurrel et al., 2017)., str. **197**

Obr. 4.8.2 a) Ročné hodnoty zimného indexu severoatlantickej oscilácie NAOIw podľa Jonesa (modré body) a filtrované (5-ročné kĺzavé priemery, červená čiara); b) Desaťročné priemery; c) 30-ročné kĺzavé priemery (čiara)., str. **198**

Obr. 4.8.3 Zimné NAO indexy za obdobie 1871–2017 a obdobie 1950–2017, str. **199**

Obr. 4.8.4 30-ročné mesačné priebehy NAO indexu podľa Jonesa, teploty vzduchu a zrážkových úhrnov v stanici Praha: Klementinum, dve obdobia (vľavo). Priebeh 30-ročných kĺzavých priemerov za zimno-jarnú a letno jesennú sezónu (vpravo), str. **200**

Obr. 4.8.5a Panel základného štatistického a grafického vyhodnotenia prietokov v stanici Váh - Liptovský Mikuláš, str. **202**

Obr. 4.8.5b Panel základného štatistického a grafického vyhodnotenia prietokov v stanici Kysuca-Kysucké Nové Mesto, str. **203**

Obr. 4.8.5c Panel základného štatistického a grafického vyhodnotenia prietokov v stanici Hron - Brehy, str. **204**

Obr. 4.8.5d Panel základného štatistického a grafického vyhodnotenia prietokov v stanici Topľa - Hanušovce nad Topľou, str. **205**

Obr. 4.8.5e Panel základného štatistického a grafického vyhodnotenia prietokov v stanici Nitra - Nitrianska Streda, str. **206**

Obr. 4.8.5f Panel základného štatistického a grafického vyhodnotenia prietokov v stanici Ipeľ - Holiša, str. **207**

Obr. 4.8.6 Kombinovaný periodogram radu zimných indexov NAO, radu ročných úhrnov zrážok na územie SR, radu teploty vzduchu v Prahe - Klementíne, radu ročných prietokov Hronu v stanici Brehy. Na x-ovej osi sú dĺžky periód., str. **208**

Obr. 4.8.7 Autokorelogramy priemerných ročných prietokov Hronu a Kysuce., str. **209**

Obr. 4.8.8a Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi priemerných ročných prietokov Váhu pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015, str. **210**

Obr. 4.8.8b Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi priemerných ročných prietokov Kysuce pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015, str. **210**

Obr. 4.8.8c Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi priemerných ročných prietokov Hronu pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015, str. **211**

Obr. 4.8.8d Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi priemerných ročných prietokov Tople pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015, str. **211**

Obr. 4.8.8e Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi priemerných ročných prietokov Nitry pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015, str. **212**

Obr. 4.8.8f Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi priemerných ročných prietokov Ipľa pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015, str. **212**

Obr. 4.8.9a Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi 300-denných prietokov Váhu pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015, str. **213**

Obr. 4.8.9b Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi 300 denných prietokov Kysuce pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015, str. **214**

Obr. 4.8.9c Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi 300 denných prietokov Hronu pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015, str. **214**

Obr. 4.8.9d Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi 300 denných prietokov Tople pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015, str. **215**

Obr.4.8.9e Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi 300 denných prietokov Nitry pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015, str. **215**

Obr.4.8.9f Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi 300 denných prietokov Ipľa pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015, str. **216**

Obr. 5.1.1 Príklad dvoch rôznych spôsobov definovania sucha, str. **220**

Obr. 5.2.1 Zhodnotenie hydrologického roka 1984 v podzemnej vode, str. **225**

Obr. 5.2.2 Zhodnotenie hydrologického roka 1989 v podzemnej vode, str. **225**

Obr. 5.2.3 Zhodnotenie hydrologického roka 1990 v podzemnej vode, str. **226**

Obr. 5.2.4 Zhodnotenie hydrologického roka 1991 v podzemnej vode, str. **226**

Obr. 5.2.5 Zhodnotenie hydrologického roka 1992 v podzemnej vode, str. **227**

Obr. 5.2.6 Zhodnotenie hydrologického roka 1993 v podzemnej vode, str. **227**

Obr. 5.2.7 Zhodnotenie hydrologického roka 2003 v podzemnej vode, str. **228**

Obr. 5.2.8 Zhodnotenie hydrologického roka 2004 v podzemnej vode, str. **229**

Obr. 5.2.9 Zhodnotenie hydrologického roka 2007 v podzemnej vode, str. **229**

Obr. 5.2.10 Zhodnotenie hydrologického roka 2012 v podzemnej vode, str. **23**

Obr. 5.3.2.1 Lokalizácia hodnotených prameňov, str. **231**

Obr. 5.3.2.2 Hodnotené parametre minimálnej výdatnosti vyobrazené na grafe priebehu týždenných výdatností na príklade prameňa č. 52 v Sobotišti, str. **239**

Obr. 5.3.3.1 Priemerný uhol dátumu výskytu minimálnych výdatnosti (θ) a index sezónnej koncentrácie (r) vypočítaný pre výdatnosti menšie ako Q_{90}, str. **245**

Obr. 5.3.3.2 Burnov vektor vypočítaný pre výdatnosti menšie ako Q_{90}, str. **245**

Obr. 5.3.3.3 Grafy závislosti medzi zmenou hodnoty výdatnosti $Q_{90(1,2,3,4)}$ voči Q_{90} a rozdielom v priemernom dátume výskytu minimálnych výdatností Q_{90} a $Q_{90(1,2,3,4)}$, str. **246-247**

Obr. 5.3.3.4 Zmena minimálnej výdatnosti a priemerného dátumu výskytu medzi desaťročiami 1990 – 1999 a 1980 – 1989 (hore) a 2000 – 2009 a 2000 – 2012 (dole), str. **247**

Obr. 5.3.3.5 Histogram relatívnej početnosti dátumov výskytu minimálnych výdatností menších ako Q_{90} počas hydrologického roka pre všetky hodnotené pramene, str. **248**

Obr. 5.3.3.6 Histogram relatívnej početnosti dátumov výskytu absolútnych minimálnych ročných výdatností Q_{Amin} počas hydrologického roka pre všetky hodnotené pramene, str. **248**

Obr. 5.3.3.7 Porovnanie vytvorených regiónov na základe Burnovho vektora a relatívnej početnosti absolútnych ročných minimálnych výdatnosti, str. **249**

Obr. 5.3.3.8 Priestorové zobrazenie prameňov v jednotlivých regionálnych typoch na základe fyzicko-geografických parametrov a Burnovho vektora stanoveného pre výdatnosti menšie ako Q_{90}, str. **250**

Obr. 6.1.1 Zraniteľnosť územia Slovenska vzhľadom na vývoj vodnosti, str. **251**

Obr. 6.1.2 Vodnosť roka 2012 (relatívne hodnoty $Q_{r2012}/Q_{a1961-2000}$) v hodnotených vodomerných staniciach (SHMÚ, 2013), str. **252**

Obr. 6.1.3 Zraniteľnosť územia Slovenska vzhľadom na vývoj minimálnych prietokov, str. **252**

Obr. 6.2.1 Priestorové hodnotenie trendov ročných minimálnych prietokov za obdobie 1981 – 2015 vo vybraných vodomerných staniciach, str. **254**

Obr. 6.2.2 Priestorové hodnotenie trendov ročných minimálnych prietokov za obdobie 1981 – 2015 vo vybraných vodomerných staniciach, str. **255**

Obr. 6.2.3 Vývoj relatívnej vodnosti vo vybraných vodomerných staniciach v období 1981 – 2012, str. **255**

Obr. 6.2.4 Priestorové hodnotenie trendov priemerných ročných prietokov za obdobie 1961 – 2015 vo vybraných vodomerných staniciach, str. **256**

Obr. 6.2.5 Priestorové hodnotenie trendov ročných minimálnych prietokov za obdobie 1961-2015 vo vybraných vodomerných staniciach, str. **257**

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1.1.1 Limitné hodnoty štandardizovaného zrážkového indexu SPI (podľa McKee et al., 1993), str. **24**

Tab. 2.1 Základná charakteristika vybraných povodí, str. **35**

Tab. 3.1.1.1 Kvalitatívne hodnotenie výskytu meteorologického prvku alebo jeho charakteristiky, str. **52**

Tab. 3.1.1.2 Kvalitatívne hodnotenie atmosférických zrážok podľa Duba (1957), str. **52**

Tab. 3.3.1.1 Scenáre klimatickej zmeny pre teplotu vzduchu ***T*** v Hurbanove pre 50-ročný časový horizont so stredom v roku 2075 podľa 4 modelov a 3 emisných scenárov v porovnaní s dlhodobým priemerom 1961 – 1990, str. **79**

Tab. 3.3.1.2 Scenáre klimatickej zmeny pre mesačné a ročný priemer úhrnov zrážok ***R*** v Hurbanove pre 50-ročný časový horizont so stredom v roku 2075 podľa 4 modelov a 3 emisných scenárov v porovnaní s dlhodobým priemerom 1961 – 1990, str. **79**

Tab. 3.3.1.3 Scenáre klimatickej zmeny pre mesačné a sezónne maximá denných úhrnov zrážok R_M v Hurbanove pre 50-ročný časový horizont so stredom v roku 2075 podľa 4 modelov a 3 emisných scenárov v porovnaní s dlhodobým priemerom 1961 – 1990, str. **80**

Tab. 3.3.1.4 Scenáre klimatickej zmeny pre mesačné a ročný priemer sýtostného doplnku ***Δ*** v Hurbanove pre 50-ročný časový horizont so stredom v roku 2075 podľa 4 modelov a 3 emisných scenárov v porovnaní s dlhodobým priemerom 1961 – 1990, str. **80**

Tab. 3.3.1.5 Scenáre klimatickej zmeny pre mesačné a ročné priemery potenciálnej evapotranspirácie E_o v Hurbanove pre 50-ročný časový horizont so stredom v roku 2075 podľa 4 modelov a 3 emisných scenárov v porovnaní s dlhodobým priemerom 1961 – 1990, str. **81**

Tab. 3.3.1.6 Odchýlky priemernej mesačnej teploty vzduchu (***dT***), kvocienty priemerného mesačného tlaku vodnej pary vo vzduchu (***qe***) a priemerných mesačných úhrnov zrážok (***qR***) podľa scenárov na báze výstupov modelov CGCM3.1-B1, CGCM3.1-A2, KNMI -A1B a MPI-A1B pre stred Slovenska a časový horizont so stredom v roku 2075 v porovnaní s dlhodobým priemerom z obdobia 1951 – 1980, str. **82**

Tab. 3.3.1.7 Kvocienty extrémnych 5-denných úhrnov zrážok počas cyklonálnych situácií s mimoriadne vysokými úhrnmi zrážok v 50-ročných časových horizontoch so stredom v rokoch 2025 a 2075, str. **83**

Tab. 3.3.3.1 Scenáre zmeny sezónnych priemerov počtu dní so snehovou pokrývkou (***PD***) v percentách vo vybraných horských polohách na Slovensku v porovnaní s priemermi obdobia 1981 – 2010 pri raste priemerov teploty vzduchu o 1 °C (dobrá významnosť vzťahu), str. **92**

Tab. 3.3.3.2 Scenáre zmeny sezónnych priemerov počtu dní so snehovou pokrývkou (***PD***) v percentách vo vybraných horských polohách na Slovensku v porovnaní s priemermi obdobia 1981 – 2010 pri raste úhrnov zrážok o 10 % (malá významnosť vzťahu), str. **92**

Tab. 3.3.3.3 Scenáre zmeny sezónnych priemerov sumy denných výšok snehovej pokrývky (***SDV***) v percentách vo vybraných horských polohách na Slovensku v porovnaní s priemermi v období 1981 – 2010 pri raste priemerov teploty vzduchu o 1 °C (vysoká významnosť vzťahu), str. **92**

Tab. 3.3.3.4 Scenáre zmeny sezónnych priemerov sumy denných výšok snehovej pokrývky (***SDV***) v percentách vo vybraných horských polohách na Slovensku v porovnaní s priemermi v období 1981 – 2010 pri raste úhrnov zrážok o 10 % (malá významnosť vzťahu), str. **93**

Tab. 3.3.3.5 Scenáre zmeny sezónnych priemerov sumy novej snehovej pokrývky (***SNS***) v percentách vo vybraných horských polohách na Slovensku v porovnaní s priemermi v období 1981 – 2010 pri raste priemerov teploty vzduchu o 1 °C (malá významnosť vzťahu), str. **93**

Tab. 3.3.3.6 Scenáre zmeny sezónnych priemerov sumy novej snehovej pokrývky (***SNS***) v percentách vo vybraných horských polohách na Slovensku v porovnaní s priemermi v období 1981 – 2010 pri raste úhrnov zrážok o 10 % (dobrá významnosť vzťahu), str. **93**

Tab. 4.1.1.1 Výskyt suchých období v hodnotených profiloch – priemerné ročné prietoky (relatívne hodnoty $\boldsymbol{Q_i/Q_a}$ (%)), str. **104**

Tab. 4.1.2.1 Výskyt absolútneho minima priemerného mesačného prietoku v hodnotených profiloch za obdobie 1981 – 2012, str. **106**

Tab. 4.1.2.2 Priemerné mesačné prietoky vo vybraných profiloch – relatívne hodnoty $\boldsymbol{Q_{mi}/Q_{ma}}$ (%), str. **113-118**

Tab. 4.1.2.3 Výskyt málo vodných období v hodnotených prietokových profiloch, str. **127**

Tab. 4.3.1.1 Hodnoty podzemného odtoku vypočítané metódami Killeho a BFI, str. **134**

Tab. 4.3.1.2 Hydrologická bilancia hodnotených povodí za obdobie 1981 – 2012, vstupy a výstupy z modelu Bilan, str. **135**

Tab. 4.3.1.3 Vyhodnotenie odtokových zložiek v modelovaných povodiach, str. **138**

Tab. 4.3.2.2.1 Hydrologická bilancia hodnotených povodí za obdobie 1981 – 2012, výstup z modelu Frier, str. **143**

Tab. 4.3.2.2.2 Vyhodnotenie odtokových zložiek v modelovaných povodiach, str. **144**

Tab. 4.4.1 Poradie 12 najteplejších rokov na Zemi v období pozorovania 1880 – 2016 (upravené podľa NOAA, 2017), str. **146**

Tab. 4.4.2 Hodnoty odchýlok indexu ***ONI*** v rokoch 2014 – 2016 od dlhodobého priemeru (http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml), str. **147**

Tab. 4.4.2.1 Výsledky faktorovej analýzy parametrov sucha, str. **161**

Tab. 4.5.1.1 Vybrané charakteristiky meteorologického sucha v období rokov 1981 – 2012, str. **163**

Tab. 4.5.1.2 Vybrané charakteristiky hydrologického sucha v povrchovom toku v období rokov 1981 – 2012 , str. **163**

Tab. 4.5.1.3 Vybrané charakteristiky hydrologického sucha v nenasýtenej zóne v období rokov 1981 – 2012, str. **164**

Tab. 4.5.1.4 Vybrané charakteristiky hydrologického sucha v nasýtenej zóne v období rokov 1981 – 2012, str. **164**

Tab. 4.6.1.1 Vybrané charakteristiky meteorologického sucha pre roky 1981 – 2100 zo scenárov KNMI 2 a MPI 1, str. **167**

Tab. 4.6.1.2 Vybrané charakteristiky hydrologického sucha v povrchovom toku pre roky 1981 – 2100 zo scenárov KNMI 2 a MPI 1, str. **168**

Tab. 4.6.1.3 Vybrané charakteristiky hydrologického sucha v nenasýtenej zóne pre roky 1981 – 2100 zo scenárov KNMI 2 a MPI 1, str. **169**

Tab. 4.6.1.4 Vybrané charakteristiky hydrologického sucha v nasýtenej zóne pre roky 1981 – 2100 zo scenárov KNMI 2 a MPI 1, str. **170**

Tab. 4.8.1 Základné údaje o vodomerných staniciach ($\boldsymbol{Q_a}$ - priemerný ročný prietok, $\boldsymbol{R}$ – odtoková výška), str. **201**

Tab. 4.8.2 Kroskorelačné koeficienty medzi NAOIw,cpc vs $\boldsymbol{Q_a}$ a NAQIw,cpc vs $\boldsymbol{Q_{330}}$ s posunom 0 – 5 rokov, str. **213**

Tab. 5.1.1 Stupnica pre klasifikáciu rokov podľa priemerných ročných stavov hladín podzemných vôd alebo výdatnosti prameňov (podľa Kříža, 1983), str. **221**

Tab.5.1.2 Kategórie hodnotenia sucha v podzemnej vode metódou SANDRE (http://www.sandre.eaufrance.fr/), str. **222**

Tab. 5.2.1 Vyhodnotenie vlhkosti hydrologických rokov z pohľadu podzemných vôd, str. **223-224**

Tab. 5.3.2.1 Charakteristika hodnotených prameňov, str. **233-237**

Tab. 5.3.2.2 Meteorologické a fyzicko-geografické charakteristiky výverovej oblasti hodnotených prameňov, str. **238-239**

Tab. 5.3.3.1 Základné štatistické parametre výdatnosti prameňov za obdobie hydrologických rokov 1980 – 2012 a hodnoty minimálnej výdatnosti Q_{90} v jednotlivých čiastkových periódach, str. **242-244**

PREDHOVOR

Monografia ***Hydrologické sucho na Slovensku a prognóza jeho vývoja*** je výsledkom riešenia projektu APVV-0089-12 Prognóza výskytu hydrologického sucha na Slovensku. Tento projekt, na ktorom sa podieľali pracoviská Prírodovedeckej fakulty Univerzity Komenského v Bratislave, Fakulty matematiky, fyziky a informatiky Univerzity Komenského v Bratislave a Slovenského hydrometeorologického ústavu, bol riešený od 1. októbra 2013 do 30.9.2017. Na výskume sa ako partneri podieľali aj vedeckí pracovníci univerzity BOKU Viedeň a Ústavu hydrológie Slovenskej akadémie vied v Bratislave.

Výsledkom spolupráce kolektívov riešiteľov z uvedených pracovísk je predkladaná monografia. Jej cieľom bolo na základe detailného poznania klimatických a hydrologických pomerov Slovenska s použitím nástrojov modelovania vytvoriť scenáre prognózovaného vývoja prvkov hydrologickej bilancie do roku 2100.

Pevne veríme, že nami získané výsledky zaujmú odbornú i laickú verejnosť a stanú sa podkladom ďalších riešení pri výskume fenoménu sucha. Autori monografie ďakujú recenzentom za podnetné posudky a budú povďační jej čitateľom za konštruktívne pripomienky a námety na ďalšie smerovanie výskumu, hodnotenia a prognózovania výskytu hydrologického sucha na Slovensku.

ÚVOD

Hydrologické sucho v povrchových a podzemných vodách sa ako dôsledok meteorologického sucha vyskytuje čoraz častejšie aj v miernom klimatickom pásme. Vnímanie hydrologického sucha vo vedeckej komunite je zamerané na rôzne aspekty jeho výskumu, predovšetkým na faktory ktoré ho spôsobujú, spôsob jeho kvantifikácie, časové a priestorové zákonitosti jeho šírenia.

Pozornosť, ktorá sa venuje výskumu sucha, sa odráža aj v počte publikácií venovaných tejto problematike. Po zadaní kľúčového slova „sucho" do vyhľadávača vedeckej databázy Scopus (https://www.scopus.com/results) hľadaním v názvoch publikácií, kľúčových slovách a abstraktoch registrovaných publikácií, bolo nájdených vyše 80 000 titulov, z čoho len z obdobia rokov 2000 – 2016 ich bolo takmer 60 000 v rôznych vedných oblastiach. Prvé práce s tématikou sucha sa objavili už v roku 1866 a do konca 19. storočia ich počet dosiahol 69. K vedným oblastiam s najvyššími počtami publikácií patrili predovšetkým hydrológia, vodné hospodárstvo a vodné zdroje, krajinná ekológia, vedy o atmosfére, pôde, poľnohospodárske a lesnícke vedy a geochémia. Našli sa však aj publikácie v oblasti ekotoxikológie, rastlinnej a živočíšnej fyziológie, molekulárnej genetiky či antropológie. Menej pozornosti sa do súčasnosti venovalo ekonomickým následkom sucha a potrebe zapojenia sa vedeckej komunity do aktívnej prípravy opatrení na zmiernenie, resp. zamedzenie nepriaznivých následkov sucha v rôznych oblastiach života spoločnosti. Aj táto oblasť sa postupne dostáva do popredia záujmu, dôkazom čoho boli v ostatnom období početné projekty a podujatia vyvolané potrebou prípravy stratégií zmiernenia, resp. zamedzenia následkov sucha na regionálnej aj európskej úrovni, ale aj príspevky vo vedeckých časopisoch, napr. práce autorov van Lanen et al. (2016), Blauhut et al. (2016), Schmitt et al. (2016), či Freire-González et al. (2017, on-line first).

Početnosť príspevkov na tému sucha narastá po výskyte extrémnych udalostí, ktoré zasiahnu priestorovo rozsiahle územia, často celé kontinenty. Najdlhšie periódy sucha sa viažu na aridné a semiaridné oblasti, kde však predstavujú trvalý – permanentný stav klímy. V tejto publikácii sa budeme zaoberať suchom ako extrémnym hydrologickým javom, viažucim sa predovšetkým na oblasti mierneho pásma. K najdlhšie trvajúcim výskytom sucha v minulom storočí patrilo sucho, ktoré zasiahlo vyše 70 % územia USA v rokoch 1933 – 1940, známe pod názvom Dust Bowl (Andreadis et al., 2005; Ganguli a Ganguly, 2016). Ďalším dlhotrvajúcim suchom bolo sucho v štáte Texas, ktoré začalo v roku 1950 a trvalo do roku 1956. Aj v období rokov 2012 – 2015 sužovalo štáty na západnom pobreží USA nepretržite trvajúce sucho, ktoré postihlo najmä štát Kalifornia. Miléniovým suchom bolo nazvané sucho, ktoré v Austrálii trvalo od roku 2001 do roku 2009 (van Dijk et al., 2013).

Aj Európu postihli významné a dlhotrvajúce suchá. Výskyt sucha je častejší najmä v mediteránnej oblasti, suchom často trpí Španielsko, Taliansko či Grécko. Stále častejšie sa však vyskytujú suchá s pan-európskym charakterom, ku ktorým patrilo najmä sucho v roku 2003, ale aj v roku 2015. Na Slovensku bolo zaznamenaných niekoľko významných období sucha, v minulom storočí k nim patrili predovšetkým výskyty sucha v rokoch 1947, 1982 – 1983, 1992 – 1994. Aj

v 21. storočí už postihlo Slovensko niekoľko období sucha, predovšetkým sucho v rokoch 2003, 2011 – 2012 a 2015, ktoré zasiahli s rôznou intenzitou rôzne veľkú časť územia Slovenska.

Preto sme sa rozhodli v rámci riešenia projektu APVV-0089-12 Výskyt a prognóza hydrologického sucha na území Slovenska pokračovať vo výskume sucha, ktorého začiatok sa na Slovensku dá datovať do obdobia druhej polovice 80-tych rokov minulého storočia, kedy sa začali riešiť prvé komplexné poznatky o fenoméne sucha, jeho šírení sa hydrologickým cyklom a následky v rôznych sférach prírodného prostredia, ale aj potenciálne dopady na spoločnosť v rámci Národného klimatického programu SR. Suchu sa doteraz venovalo mnoho vedecko -výskumných projektov v rámci rôznych grantových schém, či už na domácej (VEGA, APVV) alebo medzinárodnej úrovni (COST, 5., 6. a 7 RP EÚ), riešených na rôznych pracoviskách. Výskum sucha sa rozvíjal tak v akademickej sfére – na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského v Bratislave a Stavebnej fakulte Slovenskej technickej univerzity v Bratislave, ako aj na Ústave hydrológie Slovenskej akadémie vied a na rezortných inštitúciách Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky, teda na Slovenskom hydrometeorologickom ústave a na Výskumnom ústave vodného hospodárstva.

Aj napriek množstvu doteraz získaných poznatkov o suchu, nie je tento fenomén dodnes dostatočne preskúmaný, hlavne v oblasti prognózovania jeho výskytu v budúcnosti. Preto sa zatiaľ môžeme spoliehať len na opatrenia na prevenciu a zmierňovanie jeho účinkov, ktoré sú v mnohých krajinách súčasťou akčných plánov boja proti následkom sucha. Tieto opatrenia však možno prijímať len na základe poznania lokálnych a regionálnych špecifík klimatického a hydrologického režimu tej-ktorej krajiny. Prispieť k poznaniu územných špecifík Slovenska bolo hlavným cieľom predkladanej monografie ***Hydrologické sucho na Slovensku a prognóza jeho vývoja.***

1. SUCHO - EXTRÉMNY METEOROLOGICKÝ A HYDROLOGICKÝ JAV

Sucho ako prírodný fenomén patrí k tým extrémnym javom, ktorých následky ohrozujú nielen prírodu a krajinu, ale aj spoločnosť. Nedostatok zrážok s následným znížením odtoku vody ako primárneho efektu následne vyvoláva sekundárne následky. Patria k nim najmä problémy v zásobovaní pitnou vodu a elektrickou energiou, zníženie priemyselnej a poľnohospodárskej produkcie, ale aj vysychanie malých tokov a prameňov, zhoršovanie kvality prírodných vôd, vznik a šírenie lesných požiarov a prachových búrok a ďalšie. Zvýšená frekvencia výskytu extrémnych meteorologických a hydrologických javov je jedným z očakávaných dopadov klimatickej zmeny, meteorologické a hydrologické sucho k týmto extrémnym javom jednoznačne patria.

Sucho ako prírodný jav sa líši od ostatných prírodných katastrof (povodne, zosuvy a iné) najmä tým, že sa vyvíja pomaly a môže ostať bez povšimnutia dlhší čas. Sucho je charakteristickým a permanentným javom v aridných a semi-aridných oblastiach, v dôsledku špecifických klimatických podmienok. V posledných desiatkach rokoch sa však sucho vyskytuje čoraz častejšie aj v klimatických podmienkach mierneho pásma a jeho negatívne následky sa prejavujú v čoraz väčšej miere a intenzite. To vyvoláva zvýšený záujem o tento prírodný jav nielen u odbornej, ale aj laickej verejnosti.

Termín sucho je relatívny pojem a je ho možné definovať z rôznych uhlov pohľadu. Preto dodnes nejestvuje jedna jednotná definícia tohto javu. Vo všeobecnosti sucho predstavuje komplex prirodzených javov, prejavujúcich sa v rôznych častiach klimatického systému Zeme a v rôznych priestorových a časových mierkach. Vyskytuje sa predovšetkým v dôsledku negatívnej zrážkovej anomálie a je charakterizované podpriemerným množstvo vody a jeho zlou dostupnosťou v rôznych častiach hydrologického cyklu (Ogallo a Gbeckor-Kove, 1989). Je potrebné zdôrazniť, že sucho je prirodzenou súčasťou hydrologického cyklu.

Ako už bolo uvedené, existuje množstvo definícií sucha, ktoré identifikujú hlavne začiatok, závažnosť a koniec tohto javu. Už začiatkom roku 1980 výskumy Wilhitea (riaditeľa inštitúcie National Drought Mitigation Center, USA) a Glanza (National Center for Atmospheric Research, USA) dokumentovali viac než 150 zverejnených definícií sucha. Wilhite a Glanz rozčlenili tento súbor definícií do štyroch základných kategórií, ktorými sú meteorologické, hydrologické, poľnohospodárske a socio-ekonomické sucho. Prvé tri kategórie sa zaoberajú definovaním sucha ako fyzikálneho javu, vyvolaného variabilitou klímy. Sucho predstavuje prirodzený nedostatok vody, aj keď naň inak nazerá a inak ho definuje meteorológ, poľnohospodár alebo hydrológ. Posledná kategória sa zaoberá suchom z hľadiska požiadaviek na vodu a ich uspokojovania, sledujúc účinky deficitu vody ako reťazového vplyvu na socio-ekonomické systémy (The Disaster Handbook, 1998). Podľa Gibbsa (1975) je sucho stav, kedy množstvo vody, ktoré je k dispozícii, nepostačuje pokryť nároky na jej využitie. Socio-ekonomické sucho vyjadruje deficit vody ako formu ekonomického zisku v rámci zvýšeného obratu a dopytu, čo je spôsobené všetkými typmi sucha (Stahl, 2001). Kategória socio-ekonomického sucha teda jednoznačne

definuje nedostatok vody, viazaný na jej potrebu a označuje sa ako *water scarcity*.

Nový súhrn definícií jednotlivých kategórií sucha, vytvorený na základe rešerše definícií zo svetovej literatúry, publikovali Mishra a Singh (2010).

1.1 METEOROLOGICKÉ SUCHO

Mishra a Singh (2010) charakterizujú meteorologické sucho ako nedostatok zrážok v určitom období. Podľa nášho názoru, v kontexte klimatickej zmeny, ktorá prináša na mnohých miestach zvyšovanie priemernej teploty vzduchu, a tým aj vyššie nároky na vodu vplyvom zvyšujúceho sa výparu, nepostačuje len sledovanie zrážkových úhrnov, ale potrebné je brať do úvahy aj potenciálnu evapotranspiráciu, hoci aj v zjednodušenej podobe. Preto meteorologické sucho chápeme aj ako nedostatok vody, spôsobený nedostatkom zrážok a zvýšenou evapotranspiráciou.

Niekoľko štúdií zameraných na problematiku meteorologického sucha vzniklo aj na Slovensku. Suchými obdobiami sa na Slovensku v minulosti zaoberali Šamaj a Valovič (1972), ktorí pre ich analýzu vytvorili vlastnú metodiku založenú na minimálnom počte za sebou nasledujúcich dní s kumulatívnym úhrnom zrážok pod určitou hraničnou hodnotou. V neskoršom období medzi štúdie zaoberajúce sa meteorologickým suchom patrili napríklad výsledky publikované Tomlainom (1980, 1991) a kolektívom Patassiová et al. (2002). Autori využili okrem hodnotenia klimatického ukazovateľa zavlaženia K, teda vzťahu úhrnov zrážok ($\boldsymbol{P}$) a potenciálnej evapotranspirácie ($\boldsymbol{E_o}$) aj index PDSI (Palmer Drought Severity Index). Klimatický ukazovateľ zavlaženia $\boldsymbol{K}$ je definovaný ako $\boldsymbol{K = E_o - P}$, kde $\boldsymbol{P}$ a $\boldsymbol{E_o}$ sa môžu použiť za celé roky alebo vegetačné obdobia a v priblížení aj za 3-mesačné a mesačné obdobia. Tomlain týmto spôsobom spracoval údaje z 54 staníc na Slovensku za obdobie 1931 – 60 (Tomlain, 1980), resp. 1951 – 1980 (Tomlain, 1991). Index PDSI bol použitý aj na hodnotenie sucha v období rokov 1971 – 2003 na 18 vybraných staniciach na Slovensku (Litschmann a Klementová, 2004). Práve posledný rok hodnoteného obdobia sa ukázal ako extrémne suchý, predovšetkým na juhovýchode Slovenska. Z toho vyplynula aj ďalšia práca Klementovej a Litschmanna (2004), ktorá hodnotila agro-klimatické sucho v roku 2003 na Slovensku.

S meteorologickým suchom je tesne späté poľnohospodárske sucho – nedostatok pôdnej vlhkosti. Komplexné vzťahy v rámci systému pôda – rastlina – atmosféra boli modelované pomocou modelu WOFOST autormi Skalský et al. (2012). Uvedení autori využili model pre hodnotenie vplyvu sucha na jačmeň jarný v období 1997 – 2007. Potenciálne ohrozenie pre jačmeň jarný bolo identifikované na Záhorskej nížine, v oblasti horného Žitného ostrova, v okolí Hurbanova a na juhu Východoslovenskej nížiny. Jednou z najnovších štúdií zameraných na poľnohospodárske sucho na Slovensku je publikácia Takáča (2015), ktorý okrem iných indikátorov využíva index SPI (štandardizovaný zrážkový index). Vzťah medzi výskytom meteorologického sucha a výnosmi poľnohospodárskych plodín na Podunajskej a Východoslovenskej nížine identifikovali Labudová et al. (2017).

Okrem teoretických štúdií, hodnotiacich historické obdobia, ktoré pre hodnotenie vývoja sucha v budúcnosti využívajú predpovedné modely, existuje v oblasti výskumu sucha snaha o vybudovanie efektívneho monitoringu sucha a systému včasného varovania. V zahraničí vzniklo

už viacero platforiem, ktoré takéto informácie poskytujú. Medzi najstaršie patrí U.S. Drought Monitor (http://droughtmonitor.unl.edu/), ktorý vznikol zo spolupráce medzi National Drought Mitigation Center (University of Nebraska-Lincoln), U.S. Department of Agriculture a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Monitoring sucha, založený na indexe SPI a percentiloch zrážkových úhrnov vznikol aj v juhovýchodnej Európe, kde pôsobí Drought Management Centre for Southeastern Europe.

Pod názvom Intersucho je od apríla 2014 prevádzkovaný monitoring sucha v Českej republike. Zameriava sa na hodnotenie pôdnej vlhkosti a kondície vegetácie. Vznikol zo spolupráce Ústavu výskumu klimatickej zmeny Akadémie vied Českej republiky (CzechGlobe), Mendelovej Univerzity a Masarykovej Univerzity v Brne. Súčasný stav sa aktualizuje raz týždenne (v pondelok), pričom jeho súčasťou je aj predpoveď vývoja na nasledujúcich sedem dní na základe údajov modelu GFS. V roku 2015 sa k projektu pridal aj Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ), a tak od jesene 2015 beží monitoring sucha nielen pre Českú republiku, ale aj Slovenskú republiku (www.intersucho.sk). Okrem toho, SHMÚ úspešne vyvinul aj vlastný monitoring sucha, ktorý je zameraný na meteorologické sucho. Rovnako, raz týždenne, vyhodnocuje indexy SPI a SPEI na dennej báze a index CMI na týždennej báze (http://www.shmu.sk/sk/?page=2162), pričom dostupná je aj predpoveď indexov na nasledujúcich sedem dní na základe výstupov z modelu ECMWF.

Index SPI (Standardized Precipitation Index), ktorý odvodili McKee et al. (1993), je odporúčaný Svetovou meteorologickou organizáciou (WMO) na hodnotenie meteorologického sucha. Výpočet SPI vychádza z dlhodobého radu mesačných úhrnov zrážok (odporúčaný je minimálne tridsaťročný rad), pretransformovaného použitím teoretického rozdelenia pravdepodobnosti (najčastejšie gama rozdelenia) na časový rad s normálnym rozdelením početnosti. Distribučná funkcia gama rozdelenia má tvar:

$$f(x,\alpha) = \frac{x^{\alpha-1} * e^{-x}}{\Gamma\alpha} \qquad (1.1.1)$$

pre $0 < x < \infty$, kde α je parameter tvaru funkcie.

Vzťah na výpočet hodnoty indexu SPI je potom nasledovný:

$$SPI = (P - P^{\star})/(\sigma_p) \qquad (1.1.2)$$

kde:
P = úhrn zrážok (mm),
$P^{\star}$ = dlhodobý priemer zrážkového úhrnu (mm),
σ_p = smerodajná odchýlka úhrnu zrážok.

Priemerná hodnota SPI pre danú lokalitu a uvažované obdobie je potom rovná nule. Sucho nastáva vtedy, keď sa hodnoty SPI dlhodobo pohybujú pod hodnotou -1,0. Limitné hodnoty indexu sú uvedené v tab. 1.1.1. Vplyv zrážok na výskyt sucha v povrchových a podzemných vodách možno vyhodnotiť pomocou trojmesačného indexu SPI-3, šesťmesačného indexu SPI-6, ktorý indikuje sezónny trend, ako aj deväť SPI-9 a dvanásťmesačného indexu SPI-12, odrážajúcich dlhodobý trend zrážok (WMO, 2012). Výhodou tohto spôsobu hodnotenia vlhkostných pomerov počas roka je, že sa nehodnotí rok ako celok, čím je odstránená možnosť ovplyvnenia výsledného hodnotenia roka výskytom jedného, resp. niekoľkých zrážkovo nadpriemerných/

podpriemerných mesiacov, čo v konečnom dôsledku vedie ku klasifikácii roka ako zrážkovo normálneho aj napriek tomu, že sa v ňom vyskytli periódy extrémneho prebytku / nedostatku zrážok.

Na hodnotenie meteorologického sucha sa okrem hodnoty SPI často používa aj štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index (SPEI), ktorý bol vyvinutý autormi Vincente-Serrano et al. (2010). Tento index, okrem úhrnov zrážok, berie do úvahy aj potenciálnu evapotranspiráciu, čím vyjadruje aj vplyv teploty vzduchu na spotrebu vody. Výpočet indexu je založený na rovnakom princípe ako SPI, avšak v prípade SPEI sa nepočíta s úhrnom zrážok ale s rozdielom medzi zrážkami a vypočítanou potenciálnou evapotranspiráciou. Na vyhodnotenie získaných hodnôt indexu SPEI sa používa rovnaká klasifikačná schéma (tab. 1.1.1) ako pre index SPI.

Tab. 1.1.1 Limitné hodnoty štandardizovaného zrážkového indexu SPI (podľa McKee et al., 1993)

Tab. 1.1.1 Limit values of the standardized precipitation index SPI (according to McKee et al., 1993)

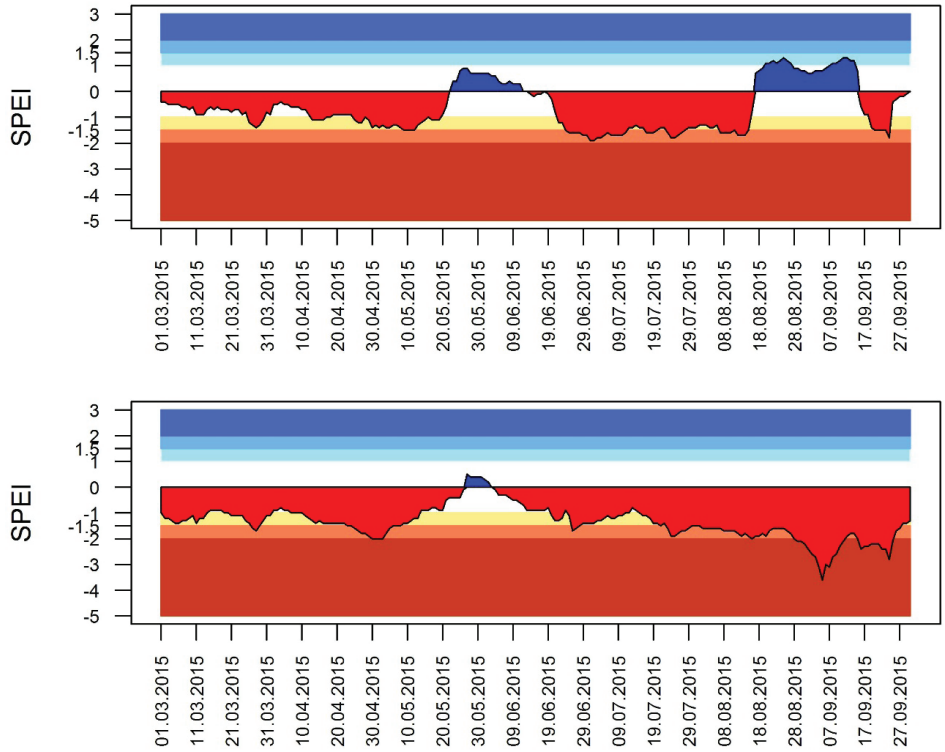
Štandardizovaný zrážkový index (SPI)	
Hodnota SPI	**Klasifikácia**
2,00 a viac	Extrémne vlhko
1,50 až 1,99	Veľké vlhko
1,00 až 1,49	Mierne vlhko
-0,99 až 0,99	Blízko normálu
-1,00 až -1,49	Mierne sucho
-1,50 až -1,99	Veľké sucho
-2,00 a menej	Extrémne sucho

V prvej monitorovacej sezóne 2015 bolo meteorologické sucho sledované len v Podunajskej a Východoslovenskej nížine. Priebeh indexov sucha zaznamenal viacero suchých až extrémne suchých období (Obr. 1.1.1). Najhoršia situácia bola pozorovaná na východe krajiny, kde sucho pretrvávalo prakticky neustále počas viac ako siedmych mesiacov. Na niektorých staniciach boli prekonané rekordné hodnoty indexov SPEI a CMI (Labudová a Turňa, 2015).

Počas monitoringu sa najviac osvedčili práve indexy SPEI a CMI. Index SPEI mal výhodu najmä na začiatku sezóny, kedy skôr zachytil začiatok sucha. CMI v tom čase udával nulové hodnoty vplyvom nižších teplôt vzduchu. Neskôr, najmä v letných mesiacoch, však o niečo lepšie vyjadroval akumuláciu deficitu index CMI. Index SPI bol počas mesiacov s vysokým výparom nedostatkovým, nakoľko aj nižšie úhrny zrážok, ktoré sa reálne veľmi rýchlo vyparili, výraznejšie hýbali hodnotami indexu. Presnejšie informácie poskytuje v mesiacoch chladného polroka, kedy evapotranspirácia nezohráva významnú úlohu pri výskyte suchých období.

Monitoring meteorologického a pôdneho sucha umožnil operatívne sledovať aj priebeh suchého obdobia v roku 2017. Obdobie zrážkového, ale aj vlahového deficitu na väčšine územia Slovenska sa začalo ešte v polovici decembra 2016. Najvyšší vlahový deficit bol na začiatku roku 2017 pozorovaný na južnej polovici územia. Február priniesol zlepšenie situácie vo viacerých

regiónoch. Suchým však zostával západ Slovenska, kde sa vlahový deficit naďalej kumuloval aj v priebehu marca. Ten bol doplnený až v priebehu posledných aprílových dní a začiatkom mája, kedy intenzívnejšie zrážky dokázali doplniť aj pôdnu vlhkosť. Problematickým zostal iba krajný juhozápad v okolí Bratislavy, kde sa nasýtenie vrchnej vrstvy pôdneho profilu pohybovalo pod bodom zníženej dostupnosti (menej ako 50 %). Je však potrebné dodať, že májové zrážky mali prevažne búrkový charakter v dôsledku rozvíjajúcej sa konvekcie. Takéto zrážky majú častokrát len lokálny rozmer a nezasahujú plošne veľké územia. Z tohto dôvodu sa mohli na Podunajskej a Záhorskej nížine nachádzať lokality, kde sa vyskytovali ešte suchšie podmienky než boli monitorované našimi stanicami.

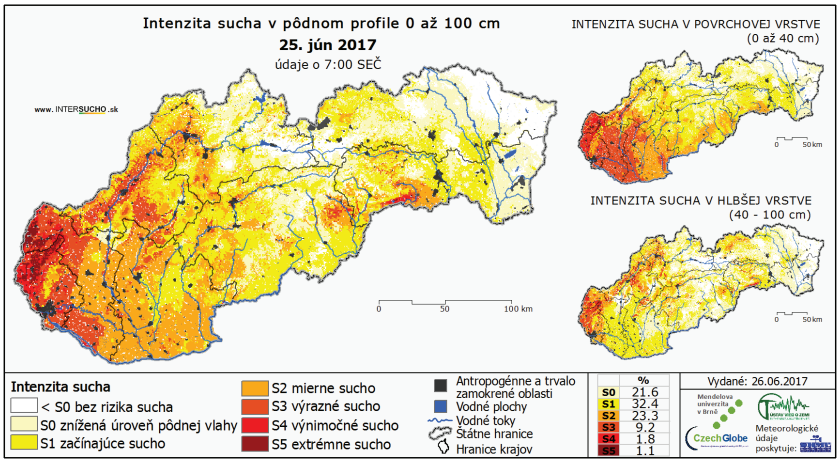


Obr. 1.1.1 Priebeh indexu SPEI na staniciach Žihárec (hore) a Vysoká nad Uhom (dole) počas monitorovacej sezóny 2015

Fig. 1.1.1 SPEI at the stations Žihárec (top) and Vysoká nad Uhom (bottom) during the monitoring season 2015

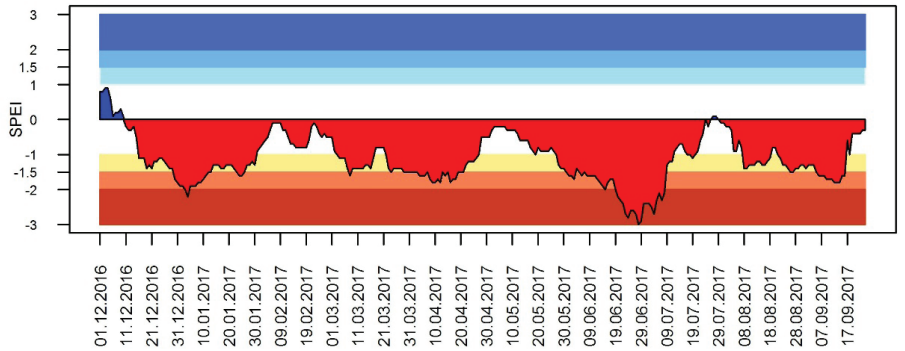
Dlhodobo pretrvávajúci vlahový deficit sa čoraz výraznejšie prejavoval aj na intenzite pôdneho sucha. Miera intenzity sucha (porovnanie aktuálneho stavu s obvyklými podmienkami v rovnakom období v priebehu rokov 1961 – 2010) v povrchovej vrstve na konci júna bola na úrovni výnimočného až extrémneho sucha na Záhorí (obr. 1.1.2). Výrazné sucho zasahovalo západnú polovicu Podunajskej nížiny a čiastočne aj stredné Považie. Zásobenie pôdy vlahou a relatívne nasýtenie v povrchovej vrstve (0 – 40 cm) bolo na Podunajskej nížine v intervale 10 – 20 %,

v juhozápadnej časti nížiny len do 10 %. V celom pôdnom profile (0 – 100 cm) boli hodnoty nasýtenia na väčšine Podunajskej nížiny taktiež veľmi nízke (v intervale 30 – 40 %). Sucho (meteorologické, aj pôdne) dosahovalo v tom čase svoju najvyššiu intenzitu. V priebehu júla dochádzalo k postupnému zlepšovaniu situácie a zmierňovaniu sucha. Na mnohých staniciach východnej časti Podunajskej a severnej časti Záhorskej nížiny došlo k prerušeniu sucha na dva až štyri týždne. Juhozápadná časť Podunajska a juh Záhoria však prerušenie nezaznamenali a sucho pretrvávalo až do konca septembra 2017. Na stanici Bratislava – letisko (obr. 1.1.3) tak bolo zaznamenané najdlhšie suché obdobie od roku 1981 (trvalo takmer 6-krát dlhšie než je priemerná dĺžka suchých období od roku 1981), pričom dosahovalo aj najvýraznejšiu mieru deficitu naakumulovaného počas celého trvania.



Obr. 1.1.2 Intenzita sucha v rôznych vrstvách pôdneho profilu dňa 25. júna 2017 na Slovensku

Fig. 1.1.2 Intensity of soil drought in different soil layers on 25th June 2017 in Slovakia



Obr. 1.1.3 Index SPEI na stanici Bratislava – letisko od 1. decembra 2017 do 24. septembra 2017

Fig. 1.1.3 SPEI at the Bratislava - airport station from 1st December 2017 until 24th September 2017

1.2 HYDROLOGICKÉ SUCHO A JEHO ODRAZ V PRIETOKOCH POVRCHOVÝCH TOKOV

Hydrologické sucho je fázou nadväzujúcou na sucho meteorologické. Dôsledky meteorologického sucha, najmä nedostatok zrážok, sa prejavujú poklesom hladín a prietokov v povrchových tokoch, hladín jazier, nádrží a podzemných vôd. Časová odozva medzi meteorologickou a hydrologickou fázou sucha je rozdielna pre povrchové a podzemné vody, ale aj v týchto podsystémoch je v časovom nástupe sucha výrazná variabilita. V rámci hydrologického cyklu sú obvykle podzemné vody posledným článkom reagujúcim na situáciu spojenú so suchom. V povrchových vodách môže byť reakcia na zrážkový deficit otázkou niekoľkých dní, napr. u menších povodí s rýchlym odtokom, ale aj niekoľko mesiacov, pri tokoch významne napájaných podzemnými vodami (Tallaksen, van Lanen Eds., 2004). Faktormi, ovplyvňujúcimi čas nástupu hydrologického sucha, môžu byť napríklad: veľkosť povodia, vlastnosti povodia (fyzicko-geografické, geologické, morfologické, pôdne typy, využívanie územia), napájanie povrchových vôd podzemnými vodami, snehové zásoby v povodí, atď. Výrazným faktorom je aj antropogénne ovplyvnenie – odbery a vypúšťania, ako aj manipulácie na vodných nádržiach, ktoré obzvlášť v období malej vodnosti môžu významnou mierou ovplyvniť prietoky v povrchových tokoch.

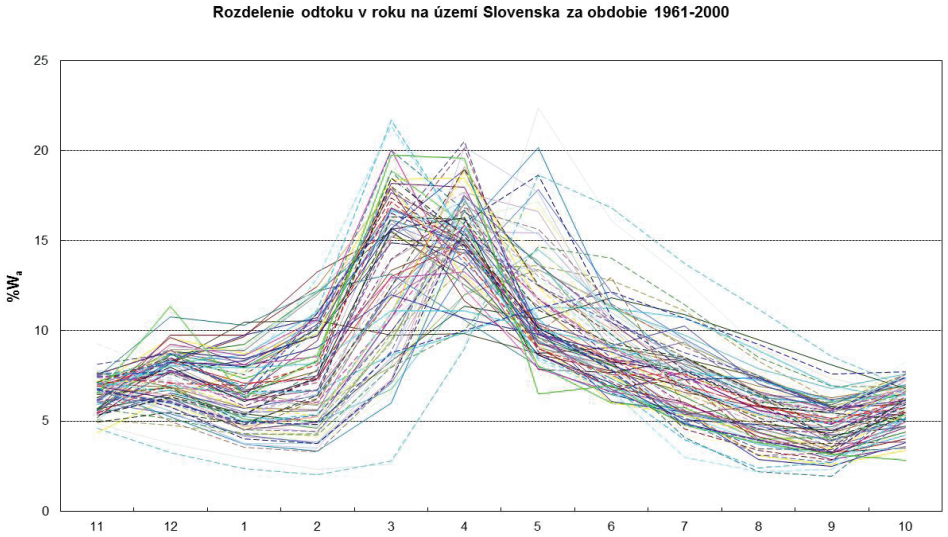
Pojmom sucho sa často označuje aj nedostatok vody, ktorý však predstavuje situáciu, kedy aktuálne zdroje vody nepokrývajú aktuálne požiadavky na vodu. Nedostatok vody teda nemusí nutne nastať z dôvodu sucha/malej vodnosti, ale aj z dôvodu nárokov na vodu, ktoré sú vyššie ako aktuálne disponibilné vodné zdroje.

Hydrologické sucho, resp. obdobie malej vodnosti, je prirodzenou súčasťou hydrologického režimu povrchových vôd. Režim povrchového odtoku na území Slovenska je typický zvýšeným jarným odtokom (pozri obr. 1.2.1), pričom v horských oblastiach s väčšou nadmorskou výškou sa zvýšený jarný odtok prejavuje v neskorších mesiacoch ako u tokov nížinných, z dôvodu neskoršieho topenia snehu a obvykle aj jeho väčších zásob, čím tvorí významnú zložku jarného odtoku.

Obdobie malej vodnosti je na väčšine slovenských tokov reprezentované letno-jesenným obdobím (najmä mesiace august až október), v horských oblastiach je ale výrazné aj zimné málo vodné obdobie (najmä mesiace december až február). Zimné málo vodné obdobie súvisí so zrážkami vo forme snehu, ktoré v období nízkych teplôt (pod bodom mrazu) neprispievajú k okamžitému odtoku a s čiastočným, prípadne úplným zámrzom toku. S tým súvisí v hydrologických hodnoteniach používanie tzv. hydrologického roku, ktorý zabezpečuje to, aby zrážky, ktoré spadnú vo forme snehu koncom kalendárneho roka, ale odtekajú zväčša až na jar, boli započítané do odtoku v rámci uzavretého časového obdobia/roka. Rôzne krajiny používajú rôzne zadefinované hydrologické roky; na Slovensku je zaužívaný hydrologický rok v trvaní od 1. novembra do 31. októbra nasledujúceho roka.

Jarný zvýšený odtok predstavuje dôležitý faktor aj vzhľadom na odtokové pomery počas zvyšku roka. Pri analýzach období sucha sa v mnohých prípadoch preukázalo, že suchým obdobiam v lete a na jeseň predchádzala absencia v tom čase obvyklého odtoku, najmä kvantitatívne znížený odtok v obvykle vodných jarných mesiacoch. Ako príklad na obr. 1.2.2 uvádzame priebeh

prietokov v stanici Štítnik, tok Štítnik (povodie Slanej) v hydrologickom roku 1993, kde na farebnom pozadí kvantilov dlhodobých priemerných mesačných prietokov (referenčné obdobie 1961 – 2000) je zobrazený priebeh priemerných denných a priemerných mesačných prietokov za uvedený rok. Z grafu je evidentné, že v jarnom období chýbal zvýšený jarný odtok v obvykle vodných mesiacoch marec, apríl a máj – priemerné mesačné hodnoty pre tieto mesiace za rok 1993 sa nachádzajú v červeno vyznačenom kvantile označujúcom menej ako 40 % dlhodobého priemerného mesačného prietoku. V letných mesiacoch v auguste a v septembri je vidieť dlhšie obdobia výskytu priemerných denných prietokov pod úrovňou 364-denného prietoku, čo predstavuje výrazne suché obdobie.

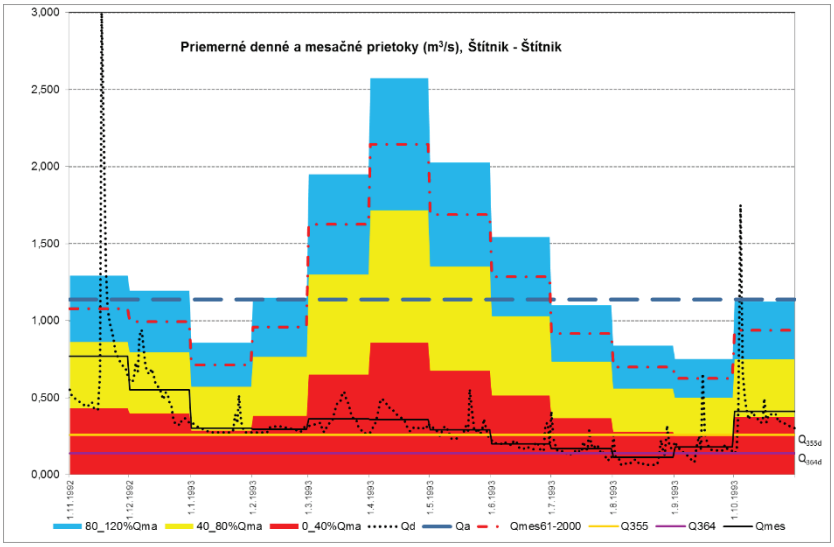


Obr. 1.2.1 Rozdelenie odtoku v roku na území Slovenska (referenčné obdobie 1961 – 2000)

Fig. 1.2.1 Intra-annual runoff distribution in the Slovak territory (reference period 1961 – 2000)

Jednotné kritérium pre kvantitatívne vymedzenie hydrologického sucha neexistuje, a to v dôsledku rozmanitých hľadísk meteorologických, hydrologických, poľnohospodárskych a celého radu ďalších, s ohľadom na škody v rôznych oblastiach národného hospodárstva (Meteorologický slovník výkladový terminologický, 1993). Trvanie malej vodnosti je súvislé časové obdobie počas ktorého je prietok menší ako zvolená prahová hodnota prietoku (OTN 3113-1, 2005). Pri hodnotení sucha v povrchových tokoch je preto kľúčovou otázkou práve zvolenie limitnej prahovej hodnoty prietokov na vymedzenie období malej vodnosti.

Hodnotenie malej vodnosti v povrchových tokoch zahŕňa viacero hydrologických charakteristík. Hydrologický režim prietokov sa z pohľadu sucha hodnotí v rozličných časových krokoch a obdobiach. Pre zvolené hodnotené obdobie sa vyhodnocujú napr. minimálne priemerné denné prietoky (v mesačnom, resp. ročnom kroku, za celé obdobie), M-denné prietoky (krivka prekročenia priemerných denných prietokov), minimálne mesačné a ročné prietoky (s dátumom výskytu), ktoré sa štatisticky spracovávajú.



Obr. 1.2.2 Priebeh priemerných denných a mesačných prietokov vo vodomernej stanici Štítnik - Štítnik v roku 1993

Fig. 1.2.2 Course of the average daily and monthly discharges at the gauging station Štítnik – Štítnik in 1993

Prietokové charakteristiky sa porovnávajú s dlhodobými hodnotami za referenčné obdobie. V súčasnosti (od r. 2006) je pre hodnotenie povrchových vôd v platnosti referenčné obdobie 1961 – 2000. Toto obdobie nahradilo predchádzajúce platné referenčné obdobie 1931 – 1980. V minulosti sa ako referenčné obdobia pre hydrologické hodnotenie množstva a režimu vodných tokov používali ešte postupne obdobia 1931 – 1940 a 1931 – 1960.

Ďalší spôsob hodnotenia malej vodnosti predstavujú tzv. neprietokové charakteristiky, ktoré sa týkajú časového výskytu suchých období (dátumy výskytu, počet dní málo-vodných období, najdlhšia epizóda sucha v hodnotenom období) a nedostatkových objemov (objemy vody, chýbajúce v dňoch suchých epizód pre zadaný prietokový limit). Tieto analýzy poskytujú cenné informácie nielen o sezónnosti výskytu suchých období, dĺžke období s podlimitným prietokom, ale aj o deficite objemu vody, a tak vytvárajú podklady pre možné vyčíslenie ekonomických dopadov nedostatku vody v poľnohospodárstve, priemysle, energetike a pod. Môžu tiež slúžiť ako zdroj informácií o možných negatívnych vplyvoch sucha na prírodu a krajinu.

Výstupmi oboch spôsobov hodnotenia je spravidla aj vymedzenie suchých rokov, resp. viacročných suchých období z posudzovaného obdobia na základe posúdenia vodnosti jednotlivých rokov v jednotlivých hodnotených vodomerných staniciach, datovanie výskytu minimálnych prietokov či dĺžky málovodných období a pod.

Ďalším krokom je hodnotenie prietokových i neprietokových charakteristík nielen v čase, ale aj v priestore. Posúdenie súčasného výskytu hydrologického sucha, jeho prietokových a neprietokových charakteristík v jednotlivých povodiach, tokoch a profiloch, umožňuje hodnotenie sucha v rámci čiastkových povodí Slovenska ako aj jeho regionalizáciu.

1.3 HYDROLOGICKÉ SUCHO A JEHO ODRAZ VO VÝDATNOSTIACH PRAMEŇOV A V HLADINÁCH PODZEMNÝCH VÔD

Prác, ktoré sa zaoberajú hodnotením sucha v podzemnej vode cez hladinový režim a výdatnosť prameňov, nie je veľa, ale predsa existujú či už v zahraničnej alebo v domácej literatúre. Patrí sem napríklad rozšírený prehľad výskytu sucha vo Veľkej Británii za roky 1988 – 1992 spracovaný kolektívom Marsh et al. (1994), ktorí identifikovali vplyv sucha na hladinu podzemnej vody, ale sucho ako také podrobnejšie analyzované nebolo. Z existujúcich štúdií „šírenia" sa sucha systémami podzemných vôd je veľmi dôležitá práca Eltahira a Yeha (1999). Autori skúmali „šírenie" sa sucha systémami podzemných vôd s použitím pozorovaných dát z Illinois (USA). Títo autori pozorovali tendenciu zvýšenia vytrvalosti a závažnosti tohto typu sucha. Van Lanen a Peters (2000) poskytujú prehľad definícii a následkov sucha v podzemnej vode. Konštatujú, že sucho v podzemnej vode nastane vtedy, keď v zvodnenej vrstve hladina podzemnej vody klesne pod stanovenú prahovú hodnotu pre určité časové obdobie. Tento pokles pod prahovú hodnotu vedie k priamym a sekundárnym následkom. Medzi priame následky patrí pokles hladiny podzemnej vody, zníženie odtoku do povrchovej zložky hydrosféry, redukcia kapilárneho vzlínania. Medzi sekundárne následky patrí vysychanie riek, zhoršenie kvality povrchových a podzemných vôd, degradácia akvatických a terestriálnych ekosystémov, redukcia plodín, atď. Neskôr Peters a van Lanen (2001) tento typ sucha definovali ako pokles dostupnej podzemnej vody s negatívnymi následkami alebo bez nich, ktoré sú spôsobené premenlivosťou počasia. Marani, Eltahir a Rinaldo (2001) dokázali, že zmena v pretrvávaní a závažnosti sucha môže byť čiastočne spojená s nelinearitou vo vzťahu podzemná voda – prietok (konzumčná krivka podzemnej vody) ako následok zmien v hustote riečnej siete s meniacimi sa hladinami podzemných vôd. Medzi ďalšie štúdie „šírenia" sa sucha systémami podzemných vôd patria štúdie Whitea, Falklanda a Scotta (1999) a Changnona, Huffa a Hsu (1988), ako aj dizertačná práca Petersovej (2003), ktorá študovala povodia Pang (Veľká Británia) a Guadiana (Španielsko). Regionálnymi aspektmi sucha sa zaoberala Hisdal (2002). Tallaksen a van Lanen (2004) sú editormi monografie zaoberajúcej sa problematikou sucha v povrchových a podzemných vodách. V roku 2003 sa suchom v podzemnej vode, jeho priestorovým výskytom a výberom jeho ukazovateľov vo svojom článku zaoberajú Peters, Torfs, van Lanen a Bier (2003). Regionálnymi charakteristikami meteorologického a hydrologického sucha v Dánsku sa zaoberali Hisdal a Tallaksen (2003). „Šírením" a priestorovým rozdelením sucha v podzemnej vode sa zaoberajú autori Peters, Bier, van Lanen a Torfs (2006). Autori sa zaoberajú simuláciou priestorového rozdelenia prítoku do podzemnej vody, hladiny a odtoku podzemnej vody pre povodie Pang. Na simuláciu hladiny podzemnej vody bol použitý model MODFLOW a prítok ku hladine podzemnej vody bol simulovaný modelom 1D SWAP. „Šírením" sucha hydrologickým cyklom sa vo svojom článku zaoberá van Lanen (2006). Časový rad simulovaného prítoku, hladiny podzemnej vody a odtoku bol hodnotený v humídnej a semi-arídnej oblasti. Tieto parametre boli simulované modelom SIMGRO a parametre sucha boli stanovené pomocou programu NIZOWKA. Hodnotením hydrologického sucha v roku 2015 sa zaoberali van Lanen et al. (2016) a Laaha et al. (2017). V rámci týchto dvoch prác bolo hodnotené aj územie Slovenska.

1.3.1 Stav preskúmanosti fenoménu sucha v podzemnej vode

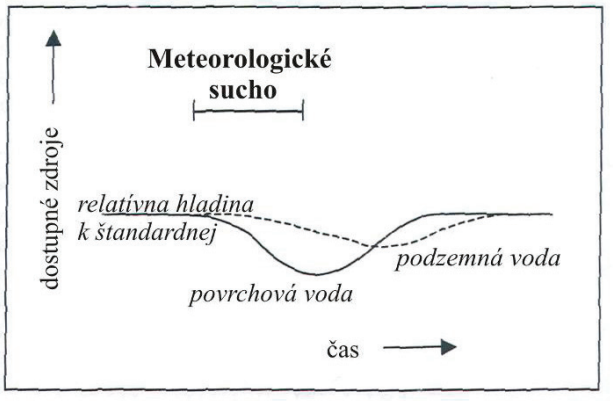
Hodnoteniu sucha v podzemnej vode na Slovensku nebola v minulosti venovaná dostatočná pozornosť. Do popredia sa začalo dostávať až po roku 1992, kedy bol prvýkrát posúdený režim podzemných vôd na Slovensku z pohľadu prirodzených poklesov výdatnosti vybraných prameňov (Chalupka a Kullman st., 1992). Analytické zhodnotenia sucha v podzemnej vode a hodnotenie vzájomných vzťahov meteorologického a hydrologického sucha boli publikované ešte neskôr, až v priebehu posledných cca 10 rokov. V roku 2005 sa Burger vo svojom článku venoval konceptu a identifikácii hydrologického sucha ako deficitu podzemnej vody. Hodnoteniu meteorologického sucha a jeho vplyvu na sucho v podzemnej vode v povodí hornej Torysy sa vo svojich článkoch venovala Brušková (2007). Analýze a modelovaniu hydrologického sucha sa vo svojej dizertačnej práci venovala Slivová (2007). Hlavnými cieľmi práce bolo vybrať vhodné parametre a metódy charakterizovania hydrologického sucha v podzemnej vode, navrhnúť metodický postup jeho hodnotenia a skúmať väzby medzi meteorologickým suchom a suchom v podzemnej vode. Vplyvu hydrologického sucha na kvantitatívne a kvalitatívne parametre povrchových a podzemných vôd sa venovala Fendeková et al. (2009). Hodnoteniu sucha v podzemnej zložke hydrosféry pri ktorej boli vzaté do úvahy aj vplyv hydrogeologických vlastností horninového prostredia a taktiež zmena kvality vody v podmienkach sucha, sa venuje štúdia o hodnotení hydrogeologického sucha (Fendeková, et al., 2010). Identifikácii a klasifikácii sucha v povrchovej a podzemnej vode v povodí hornej Nitry sa v roku 2012 venovali Fendeková a Fendek. Hodnoteniu výskytu sucha v hladinovom režime podzemných vôd v povodí Laborca sa v roku 2013 venovala Stojkovová. Priestorové zhodnotenie dopadov sucha v podzemnej vode, hodnotené na základe hladinového režimu a výdatnosti prameňov v roku 2014 v rámci celého Slovenska a spracované na základe nameraných údajov z vybraného súboru objektov štátnej hydrologickej siete podzemných vôd, publikovali Kullman et al. (2015). Hydrologický rok 2015, rovnakou metodikou ako v roku 2014, z pohľadu podzemných vôd zhodnotili Slivová a Kullman (2016). Hodnoteniu sucha na základe výdatnosti prameňov v oblasti Nízkych Tatier sa v roku 2016 venovali Vrablíkova a Fendeková, sezónnosti minimálnych výdatností prameňov sa venovala Vrablíková (2017). Porovnaním výskytu sucha v podzemnej vode v období troch hydrologických rokov 2013, 2014 a 2015 v rámci celého Slovenska sa venovali Slivová et al. (2016). Výskyt sucha vo vybraných povodiach Slovenska hodnotila Stojkovová (2014) a Fendeková et al. (2017a, 2017b, 2017c).

1.3.2 Faktory vzniku sucha v podzemnej vode

Na vznik sucha majú primárne vplyv klimatické faktory, ktoré podmieňujú vodnosť v povodí, veľkosť odtoku a hydrologický režim toku. Patria sem najmä zrážky, teplota vzduchu, územný výpar, vlhkosť ovzdušia a veterné pomery. Medzi sekundárne faktory patria činitele pokryvných útvarov, a to reliéf územia, vegetácia, jazerá, bariny, vodné nádrže a riečna sieť, patriace medzi povrchové regulátory odtoku, ako aj pôda, geologický a hydrogeologický charakter zvodnených horizontov, čo sú podzemné regulátory odtoku (Balco, 1990). Podzemné vody v povodiach nie sú vždy rovnomerne rozdelené. Nerovnomernosť ich rozdelenia v priestore a čase závisí od klimatických, geologických a hydrogeologických činiteľov. Ďalej sú významné hydrofyzikálne vlastností hornín, ako aj rozsah a charakter ich otvorenej porušenosti, ktoré podmieňujú rozdielne infiltračné, akumulačné a vyprázdňovacie možnosti horninového prostredia. Hydrolo-

gické sucho v podzemnej vode je spôsobené zväčšujúcim sa deficitom pôdnej vlhkosti počas leta a nedostatkom zrážok počas zimy (alebo iného vlhkého obdobia). V miernom klimatickom pásme sa zvyšuje deficit vlhkosti pôdy počas leta, pretože evapotranspirácia je vyššia ako zrážkový úhrn.

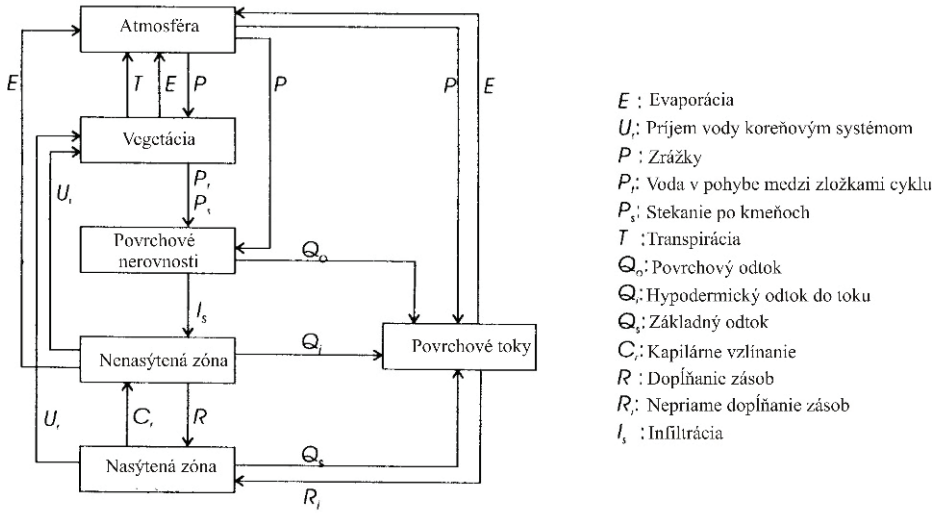
Z časového hľadiska je podzemná voda koncovou zložkou, ktorá je ovplyvnená suchom v období hydrologického sucha (obr. 1.3.2.1). Tento jav nastane, ak povrchová voda prestane byť dotovaná podzemnou vodou. V takomto prípade sa sucho v povrchovej a podzemnej vode vyvíja viac-menej súbežne. Časový posun medzi meteorologickým a hydrologickým suchom môže však byť aj niekoľko mesiacov. Zásoby podzemnej vody sa obnovujú pomaly, čo znamená, že dôsledky sucha v podzemnej vode môžu byť citeľné ešte dlhý čas po skončení meteorologického sucha (Peters, van Lanen, 2000).



Obr. 1.3.2.1 Reakcia podzemnej vody na sucho (Slivová, 2007, upravené podľa Robinsa et al., 1997)

Fig. 1.3.2.1 Groundwater reaction on drought (Slivová, 2007, adopted according to Robins et al., 1997)

Hydrologický cyklus prebiehajúci za prírodných podmienok je znázornený na obr. 1.3.2.2. Ak neberieme do úvahy absorpciu podzemnej vody (v nasýtenej zóne) cez vegetáciu, priamo cez koreňový systém ($\boldsymbol{U}_r$) alebo cez kapilárne vzlínanie ($\boldsymbol{C}_r$) a nepriame dopĺňanie podzemnej vody ($\boldsymbol{R}_i$), sucho v podzemnej vode môže byť spôsobené buď poklesom v dopĺňaní ($\boldsymbol{R}$) alebo nárastom základného odtoku ($\boldsymbol{Q}_s$). Pokles v dopĺňaní môže byť spôsobený viacerými faktormi: veľmi významný je pokles v množstve alebo efektívnosti zrážok ($\boldsymbol{P}$), ale taktiež je dôležitý nárast evapotranspirácie ($\boldsymbol{ET}$). Nízka efektívnosť zrážok nastane napríklad pri veľmi vysokej intenzite zrážok. Vtedy dochádza k nárastu povrchového odtoku a zníženiu infiltrácie (Wilhite, 1999).



Obr. 1.3.2.2 Schematický prehľad hydrologického cyklu. „Atmosféra“ reprezentuje všetky zásoby vody v atmosfére. „Vegetácia“ predstavuje zásobu vody v a na rastlinách. „Povrchové nerovnosti“ reprezentujú vodu na povrchu územia, pred infiltráciou do pôdy. „Nenasýtená zóna“ je zásobárňou vlhkosti v nenasýtenej zóne a „Nasýtená zóna“ je všetka voda v nasýtenej zóne. „Povrchové toky“ sú zásobárňou všetkej vody vyskytujúcej sa v povrchovom systéme vody, ako sú povrchové toky, rieky a jazerá (upravené, podľa Wilhite, 1999)

Fig. 1.3.2.2 Schematic overview of the hydrological cycle. “Atmosphere” represents all supplies of water in the atmosphere. “Vegetation” means a supply of water in and on plants. “Surface disparities” represent water on the surface of the soil before infiltration into the soil. “Unsaturated Zone” is a reservoir of moisture in an unsaturated zone, and “Saturated Zone” is all water in the saturated zone. “Surface streams” are a reservoir of all water present in a surface water system such as surface streams, rivers and lakes (modified, based on Wilhite, 1999)

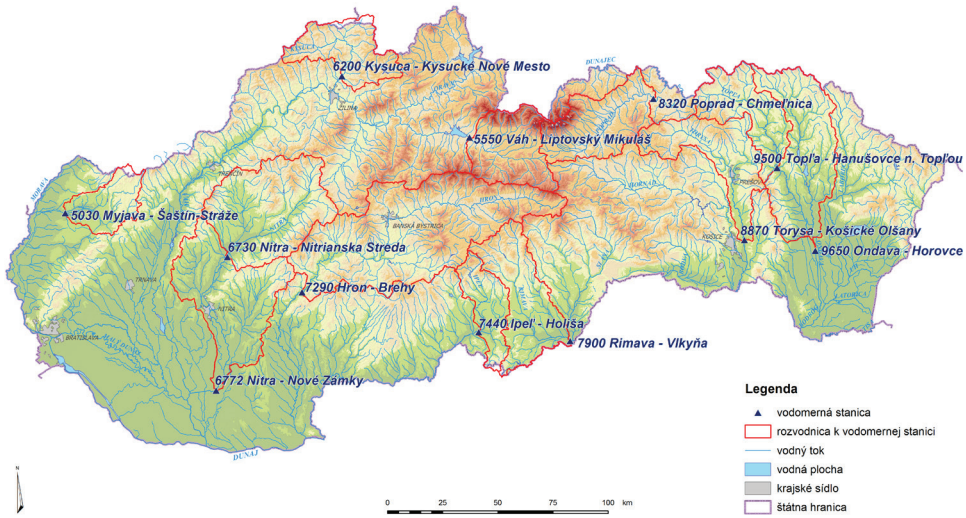
2. STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA HODNOTENÝCH POVODÍ

Povodia hodnotené v rámci výskumu boli vybrané tak, aby pri výskume sucha boli zastúpené rôzne časti Slovenska, s rôznymi hydrologickými režimami, a súčasne, aby boli povodia dostatočné veľké z dôvodu lepšej kalibrovateľnosti hydrologickej bilancie pri analýzach pomocou hydrologických modelov. Väčšie plochy povodí tiež poskytovali možnosť lepšie pokryť plochu územia Slovenska v mapách prognózy výskytu sucha na základe klimatických scenárov vývoja situácie v budúcich rokoch.

Negatívnym sprievodným faktorom pri výbere väčších povodí je vo veľkej časti profilov ovplyvnenosť prietokov ľudskou činnosťou, najmä manipuláciou na nádržiach v povodí a užívaním vody (odbery, vypúšťanie). Na druhej strane, použité vstupné údaje priemerných denných, mesačných a ročných prietokov charakterizujú reálnu situáciu v tokoch. Zoznam hodnotených povodí so základnými charakteristikami sa nachádza v tabuľke 2.1, situácia hodnotených povodí je znázornená na mape Slovenska na obr. 2.1.

Tab. 2.1 Základná charakteristika vybraných povodí
Tab. 2.1 Basic characteristic of evaluated catchments

Číslo v databáze SHMÚ	Stanica	Tok	Hydrologické číslo	Riečny kilometer	Plocha povodia (km^2)	Nadmorská výška "0" vodočtu (m n. m.)
5030	Šaštín-Stráže	Myjava	4-13-03-073	15,18	644,89	164,25
5550	Liptovský Mikuláš	Váh	4-21-02-027	346,60	1107,21	567,73
6200	Kysucké Nové Mesto	Kysuca	4-21-06-105	8,00	955,09	346,14
6730	Nitrianska Streda	Nitra	4-21-12-017	91,10	2093,71	158,27
7290	Brehy	Hron	4-23-04-110	93,90	3821,38	194,27
7330	Holiša	Ipeľ	4-24-01-058	157,20	685,67	172,40
7900	Vlkyňa	Rimava	4-31-03-146	1,60	1377,41	150,77
8870	Košické Oľšany	Torysa	4-32-04-151	13,00	1298,30	185,70
9500	Hanušovce nad Topľou	Topľa	4-30-09-132	47,50	1050,05	160,40
8320	Chmeľnica	Poprad	3-01-03-088	60,10	1262,41	507,41



Obr. 2.1 Lokalizácia hodnotených povodí

Fig. 2.1 Location of the evaluated catchments

Niektoré z povodí boli pri modelovaní prvkov hydrologickej bilancie modelom Frier a pre zostavenie prognózy vývoja jej členov do r. 2100 zväčšené po záverečné prietokové profily, napr. Nitra po Nové Zámky, resp. Hron po Kamenín.

Na obrázku 2.2 je mapové znázornenie klimatickej klasifikácie územia Slovenska podľa Končeka, s vyznačenými záujmovými povodiami.

Tok Myjava po vodomernú stanicu Šaštín-Stráže

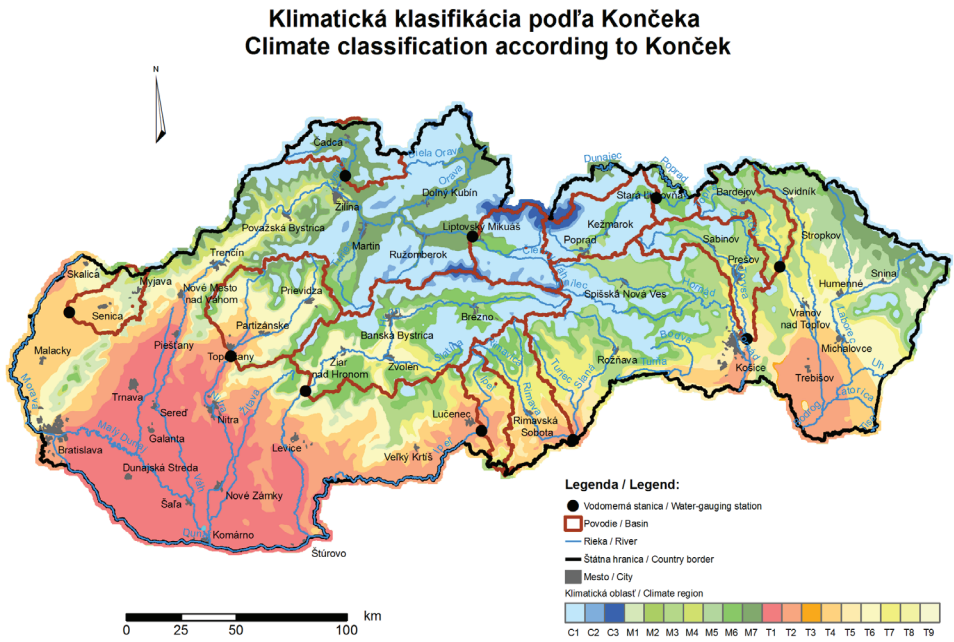
Povodie rieky Myjavy je súčasťou slovenskej časti čiastkového povodia Dolnej Moravy a nachádza sa v jej hornom úseku vo východnej časti (obr. 2.1).

Klimatické pomery

Povodie Myjavy môžeme z klimatického hľadiska podľa Končekovej klimatickej klasifikácie (Konček, Petrovič, 1957) rozdeliť na dve časti. Prvú tvorí časť povodia, ktorá sa z geografického hľadiska nachádza v oblasti Borskej nížiny, patriacej do mierne suchého okrsku a miernou zimou teplej klimatickej oblasti (obr. 2.2). Priemerná ročná teplota vzduchu za obdobie 1981 – 2010 tu dosahuje hodnoty okolo 9,5 °C. Veľká časť povodia, ktorá leží v Bielych Karpatoch a Myjavskej pahorkatine, patrí do mierne teplej, mierne vlhkej pahorkatinovej klimatickej oblasti s miernou zimou, s priemernou ročnou teplotou vzduchu približne 9 °C, ktorá postupne s rastúcou nadmorskou výškou klesá. Najvyššie položené časti povodia patria do vlhkého, vrchovinového klimatického okrsku mierne teplej oblasti (obr. 2.2). Priemerný ročný úhrn zrážok na povodie je približne 700 mm.

Hydrologické pomery

Rieka Myjava je jedným z troch najvýznamnejších prítokov rieky Moravy zo slovenského územia, ďalšími dvoma sú toky Malina a Rudava, pričom Myjava je z nich najväčšia. Pramení



Chladná oblasť (C) - júlový priemer teploty vzduchu < 16 °C, všetky 3 okrsky sú veľmi vlhké Cool region (C) - the July mean temperature < 16 °C, all 3 subregions are considered as very humid		
C1	mierne chladný moderately cool	júl ≥ 12 °C až < 16 °C July ≥ 12 °C to < 16 °C
C2	chladný horský cool mountainous	júl ≥ 10 °C až < 12 °C July ≥ 10 °C to < 12 °C
C3	studenýhorský cold mountainous	júl < 10 °C July < 10 °C

Mierne teplá oblasť (M) - priemerne menej ako 50 letných dní (LD) za rok (s denným maximom teploty vzduchu ≥ 25 °C), júlový priemer teploty vzduchu ≥ 16 °C Moderately warm region (M) - less than 50 summer days (LD) annually in average (with daily maximum air temperature ≥ 25 °C), the July mean temperature ≥ 16 °C		
M1	mierne teplý, mierne vlhký, s miernou zimou, pahorkatinový moderately warm, moderately humid, with mild winter, hilly land	január > -3 °C, júl ≥ 16 °C, LD < 50, Iz = 0 až 60, do 500 m n. m. January > -3 °C, July ≥ 16 °C, LD < 50, Iz = 0 to 60, up to 500 a. s. l.
M2	mierne teplý, mierne vlhký, so studenou zimou, dolinový/kotlinový moderately warm, moderately humid, with cold winter, valley/basin	január ≤ -5 °C, júl ≥ 16 °C, LD < 50, Iz = 0 až 60 January ≤ -5 °C, July ≥ 16 °C, LD < 50, Iz = 0 to 60
M3	mierne teplý, mierne vlhký, pahorkatinový až vrchovlý moderately warm, moderately humid, hilly land or highlands	júl ≥ 16 °C, LD < 50, Iz = 0 až 60, okolo 500 m n. m. July ≥ 16 °C, LD < 50, Iz = 0 to 60, appr. 500 a. s. l.
M4	mierne teplý, vlhký, s miernou zimou, pahorkatinový až rovinový moderately warm, humid, with mild winter, hilly land or planes	január > -3 °C, júl ≥ 16 °C, LD < 50, Iz = 60 až 120, do 500 m n. m. January > -3 °C, July ≥ 16 °C, LD < 50, Iz = 60 to 120, up to 500 a. s. l.
M5	mierne teplý, vlhký, s chladnou až studenou zimou, dolinový/kotlinový moderately warm, humid, with cool to cold winter, valley/basin	január ≤ -3 °C, júl ≥ 16 °C, LD < 50, Iz = 60 až 120 January ≤ -3 °C, July ≥ 16 °C, LD < 50, Iz = 60 to 120
M6	mierne teplý, vlhký, vrchovinový moderately warm, humid, highlands	júl ≥ 16 °C, LD < 50, Iz = 60 až 120, prevažne nad 500 m n. m. July ≥ 16 °C, LD < 50, Iz = 60 to 120, mostly above 500 a. s. l.
M7	mierne teplý, veľmi vlhký, vrchovinový moderately warm, very humid, highlands	júl ≥ 16 °C, LD < 50, Iz ≥ 120, prevažne nad 500 m n. m. July ≥ 16 °C, LD < 50, Iz ≥ 120, mostly above 500 a. s. l.

Teplá oblasť (T) - priemerne menej ako 50 a viac letných dní (LD) za rok (s denným maximom teploty vzduchu ≥ 25 °C) Warm region (T) - 50 or more summer days (LD) annually in average (with daily maximum air temperature ≥ 25 °C)		
T1	teplý, veľmi suchý, s miernou zimou warm, very dry, with mild winter	január > -3 °C, Iz < -40 January > -3 °C, Iz < -40
T2	teplý, suchý, s miernou zimou warm, dry, with mild winter	január > -3 °C, Iz = -20 až -40 January > -3 °C, Iz = -20 to -40
T3	teplý, suchý, s chladnou zimou warm, dry, with cool winter	január ≤ -3 °C, Iz = -20 až -40 January ≤ -3 °C, Iz = -20 to -40
T4	teplý, mierne suchý, s miernou zimou warm, moderately dry, with mild winter	január > -3 °C, Iz = 0 až -20 January > -3 °C, Iz = 0 to -20
T5	teplý, mierne suchý, s chladnou zimou warm, moderately dry, with cool winter	január ≤ -3 °C, Iz = - 0 až -20 January ≤ -3 °C, Iz = 0 to -20
T6	teplý, mierne vlhký, s miernou zimou warm, moderately humid, with mild winter	január > -3 °C, Iz = 0 až 60 January > -3 °C, Iz = 0 to 60
T7	teplý, mierne vlhký, s chladnou zimou warm, moderately humid, with cool winter	január ≤ -3 °C, Iz = - 0 až 60 January ≤ -3 °C, Iz = 0 to 60
T8	teplý, vlhký, s miernou zimou warm, humid, with mild winter	január > -3 °C, Iz = 60 až 120 January > -3 °C, Iz = 60 to 120
T9	teplý, vlhký, s chladnou zimou warm, humid, with cool winter	január ≤ -3 °C, Iz = - 60 až 120 January ≤ -3 °C, Iz = 60 to 120

Obr. 2.2 Priestorové znázornenie klimatickej klasifikácie územia Slovenska podľa Končeka (Konček a Petrovič, 1957)

Fig. 2.2 Areal plot of the climatic classification of the Slovak territory according to Konček (Konček and Petrovič, 1957)

v Bielych Karpatoch pod Šibeničným vrchom, dĺžka toku je 80,1 km po ústie do rieky Moravy, s celkovou plochou povodia 745,34 km^2. Pre čiastkové povodie Moravy vrátane Myjavy je charakteristický odtokový režim s maximálnymi priemernými mesačnými prietokmi v jarnom období, v marci a apríli, čo zväčša priamo súvisí s odtokom vody z topiaceho sa snehu v českej, rakúskej a slovenskej časti povodia. Najmenšie priemerné mesačné prietoky sú charakteristické pre letno-jesenné obdobie, obvykle sa vyskytujú v mesiacoch august a september.

Tvar povodia rieky Myjavy po záujmový profil, vodomernú stanicu Šaštín-Stráže (obr. 2.1), je pretiahnutý s priemerným sklonom 6°, maximálna nadmorská výška je 809,1 m n. m. a minimálna 167,4 m n. m. Hustota riečnej siete je 1,22 km.km^{-2} a lesnatosť je na úrovni 34,9 %. Väčšinu plochy povodia zaberá orná pôda, a to až 44 %.

Hydrogeologické pomery

Geologicko-tektonicky a hydrogeologicky je povodie Myjavy tvorené hlavne bielokarpatskou jednotkou vonkajšieho flyšového pásma, v ktorej prevládajú pelitické horniny s charakteristickou medzizrnovou a puklinovou priepustnosťou. Pramene sú charakteristické veľkou rozkolísanosťou výdatnosti a z vodohospodárskeho hľadiska sú bezvýznamné. Ďalšou tektonickou jednotkou, tvoriacou hodnotené povodie, je bradlové pásmo, ktoré začína v doline Myjavy pri obci Podbranč a pokračuje východným smerom k Myjave a Rudníku. Je budované rôznymi horninami, najmä krinoidovými, hľuznatými, rádiolaritovými, a slienitými vápencami, slieňovcami, ale aj pieskovcami, bridlicami a zlepencami. Južne a juhovýchodne od bradlového pásma sa rozprestiera Myjavská pahorkatina, ktorej západnú časť tvoria horniny neogénu. Litologické zloženie je tu veľmi pestré, pričom najlepšie zvodnené sú zlepence, pieskovce, koralové vápence a organogénne vápence s puklinovou alebo puklinovo – medzizrnovou priepustnosťou.

Ovplyvnenie prietokov

- vplyv vodnej nádrže Kunov na Teplici,
- odbery povrchovej vody nie sú významné,
- významné vypúšťania: ČOV Senica (0,066 m^3.s^{-1}), ČOV Myjava – Turá Lúka (0,047 m^3.s^{-1}) a ČOV Brezová pod Bradlom (0,024 m^3.s^{-1}),
- sumárne odbery podzemnej vody: 0,047 m^3.s^{-1}.

Tok Váh po vodomernú stanicu Liptovský Mikuláš

Rieka Váh s dĺžkou 367 km od ústia do Dunaja po sútok Čierneho a Bieleho Váhu je najdlhšou riekou na Slovensku. Povodie zaberá plochu 19 696 km^2, čo predstavuje približne 40 % z celkovej rozlohy Slovenska. Záujmové povodie Váhu (obr. 2.1) po vodomernú stanicu Liptovský Mikuláš sa nachádza v hornom úseku toku v severovýchodnej oblasti čiastkového povodia rieky Váh, ktorá sa od ostatných častí povodia odlišuje predovšetkým chladnejšou klímou a vyššou nadmorskou výškou.

Klimatické pomery

Záujmové povodie sa nachádza v chladnej oblasti povodia Váhu. Prevažná časť tohto územia patrí najmä do mierne chladného a veľmi vlhkého okrsku chladnej klimatickej oblasti. Vo vyšších nadmorských výškach Malej a Veľkej Fatry, Oravských Beskýd, Oravskej vrchoviny, Chočských vrchov, Tatier a Nízkych Tatier sa okrsok mení na chladný horský a na vrcholoch Malej

Fatry, Nízkych Tatier a Západných Tatier až na studený horský (obr. 2.2). Priemerná ročná teplota vzduchu v najnižšie položených územiach tejto časti povodia Váhu dosahuje hodnoty do 7 °C a s nadmorskou výškou postupne klesá, na hrebeňoch Západných Tatier až pod -3 °C. Ročný úhrn zrážok v tejto oblasti je približne 1 100 mm, pričom v najvyšších polohách Tatier a Nízkych Tatier dosahujú dlhodobé priemery ročných úhrnov zrážok až 1 700 mm a v nižšie položených oblastiach záujmového povodia len okolo 700 mm.

Hydrologické pomery

Povodie po vodomernú stanicu Liptovský Mikuláš (obr. 2.1) je odvodňované hlavne riekami Biely a Čierny Váh a prítokmi zo Západných Tatier. Povodie Čierneho Váhu sa vyznačuje maximálnymi odtokmi v apríli, zriedkavejšie v máji. Povodie Bieleho Váhu je charakterizované veľmi vyrovnaným režimom odtoku počas celého roku, s miernym maximom v apríli a minimom v januári a februári. Prítoky zo Západných Tatier sa vyznačujú výrazným maximom odtoku v máji a vysokým podielom odtoku v júni. Vysoká vodnosť vysokohorských vodných tokov je spôsobená neskorším topením snehu vo vyšších polohách.

Tvar záujmovej časti povodia je vejárovitý s priemerným sklonom 17,3°, maximálna nadmorská výška je 2 406,2 m n. m. a minimálna 566,0 m n. m. Hustota riečnej siete je 1,52 km.km^{-2} a lesnatosť je na úrovni 59,1 %. Väčšinu plochy povodia zaberajú ihličnaté lesy, pokrývajúce až 42,7 %.

Hydrogeologické pomery

Centrálna časť záujmovej oblasti je tvorená hydrogeologickým komplexom vnútrokarpatského paleogénu, budovaným vrstvovým sledom podtatranskej skupiny. Tvoria ho subhorizontálne uložené flyšové súvrstvia, tektonicky diferencované do blokov. Z hornín podtatranskej skupiny má najväčší hydrogeologický význam bazálne – borovské súvrstvie tvorené zlepencami, brekciami, pieskovcami a vápencami, ktoré sa vyznačujú dobrou puklinovou priepustnosťou, zvýraznenou ešte priečnou zlomovou tektonikou. Výdatnosť prameňov dosahuje 2 až 15 l.s^{-1}, ojedinele aj viac. Okrajové časti územia sú tvorené kryštalinikom Tatier a Nízkych Tatier, na ktorom ležia mezozoické sekvencie obalovej jednotky tatrika, fatrika a hronika. Hlavne mezozoikum fatrika a hronika je charakteristické prítomnosťou karbonatických štruktúr s krasovo-puklinovou priepustnosťou. Krasové pramene s vysokými výdatnosťami sa vyskytujú najmä na severných svahoch Nízkych Tatier (oblasť Jánskej a Demänovskej doliny). Pokryvné útvary sú tvorené aluviálnymi náplavmi tokov, v horských oblastiach aj glacigénnymi a svahovými sedimentmi.

Ovplyvnenie prietokov

- vplyv vodných nádrží v rámci vodohospodárskej bilancie nie je hodnotený; v hornej časti povodia sa nachádza prečerpávacia vodná elektráreň Čierny Váh,
- odbery povrchových vôd nie sú významné,
- významné vypúšťania: nie sú, ČOV Liptovský Mikuláš sa nachádza až pod vodomernou stanicou,
- sumárne odbery podzemných vôd dosahujú 0,315 m^3.s^{-1}.

Tok Kysuca po vodomernú stanicu Kysucké Nové Mesto

Povodie rieky Kysuca je súčasťou čiastkového povodia Váhu a nachádza sa v jeho hornom úseku v severnej oblasti (obr. 2.1).

Klimatické pomery

Povodie Kysuce sa nachádza v dvoch klimatických okrskoch. Nižšie položené údolia v blízkosti toku spadajú do veľmi vlhkého, vrchovinového okrsku mierne teplej klimatickej oblasti, s priemernou ročnou teplotou vzduchu okolo 7,5 °C (za obdobie 1981 – 2010). Vyššie položené časti povodia v nadmorských výškach nad približne 600 m n. m. patria do mierne chladného, veľmi vlhkého okrsku chladnej oblasti s priemernou ročnou teplotou do 5 °C (obr. 2.2). V priemere na povodie spadne okolo 1 060 mm atmosférických zrážok za rok.

Hydrologické pomery

Rieka Kysuca pramení na severnom svahu vrchu Hričovec (1 062 m n. m.), dĺžka toku po ústie do rieky Váh je 65,60 km s plochou povodia 1 037,67 km^2. Vyznačuje sa výrazným maximom odtoku v apríli, jesenným minimom odtoku v septembri, prípadne zimným minimom v januári.

Tvar záujmového povodia je vejárovitý s priemerným sklonom 13,8°, maximálna nadmorská výška je 1 234,5 m n. m. a minimálna 347,2 m n. m. Hustota riečnej siete je 1,94 km.km^{-2} a lesnatosť je na úrovni 65,3 %. Väčšinu plochy povodia zaberajú ihličnaté lesy 36,0 %.

Hydrogeologické pomery

Prevažná časť záujmového povodia sa nachádza vo flyšovovom súvrství Vonkajších Západných Karpát, je paleogénneho veku. Pre flyšové súvrstvia je charakteristické rytmické striedanie sedimentov pelitického (ílovce) a psamitického (pieskovce) charakteru. Horniny možno charakterizovať ako slabo zvodnené, málo priepustné, s vlastnosťami izolátora, s obmedzeným obehom podzemných vôd viazaným hlavne na zónu rozvoľnenia, so slabou akumulačnou schopnosťou. Pramene vo flyšovom komplexe majú priemernú výdatnosť 0,5 l.s^{-1}.

Ovplyvnenie prietokov:

- vplyv vodárenskej nádrže Nová Bystrica na toku Bystrica (ľavostranný prítok-Kysuce),
- odbery povrchovej vody sú významné: SeVS Žilina (0,228 m^3.s^{-1}) z VN Nová Bystrica,
- významné vypúšťania: najmä ČOV Čadca (0,100 m^3.s^{-1}),
- sumárne odbery podzemnej vody: 0,009 m^3.s^{-1}.

Tok Nitra po vodomernú stanicu Nitrianska Streda

Povodie rieky Nitra je súčasťou čiastkového povodia Váhu a nachádza sa v jeho strednej časti (obr. 2.1). Pre potreby modelu Frier a prognózu výskytu sucha bolo územie rozšírené až po záverečný prietokový profil Nitra – Nové Zámky (obr. 2.1).

Klimatické pomery

Záujmové povodie spadá do viacerých klimatických oblastí, od suchého okrsku teplej klimatickej oblasti cez vlhký až veľmi vlhký pahorkatinový až vrchovinový okrsok mierne teplej klimatickej oblasti až po mierne chladný a veľmi vlhký okrsok chladnej oblasti (obr. 2.2). Priemerná ročná teplota vzduchu sa v pahorkatinovej časti povodia pohybuje v rozmedzí 9 až 10 °C, vo vyšších polohách Strážovských vrchov a Považského Inovca dosahuje okolo 5 °C. Priemerný ročný úhrn atmosférických zrážok sa na danom území pohybuje okolo 800 mm.

Hydrologické pomery

Rieka Nitra pramení na južnom svahu tesne pod Fačkovým sedlom, ktoré leží na rozhraní medzi Strážovskými vrchmi a Malou Fatrou. Dĺžka toku po ústie do rieky Váh je 165,86 km, s plochou povodia 4 501,15 km^2. Tok je charakterizovaný maximom odtoku v mesiacoch marec a apríl a jesenným minimom odtoku v auguste a septembri.

Tvar záujmového povodia je pozdĺžny až vejárovitý s priemerným sklonom 10,1°, maximálna nadmorská výška je 1 341,9 m n. m a minimálna 159,3 m n. m. Hustota riečnej siete je 1,29 km. km^{-2} a lesnatosť je na úrovni 54,1 %. Väčšinu plochy povodia zaberajú listnaté lesy 41,2 %.

Hydrogeologické pomery

Centrálna časť územia je tvorená neogénnymi sedimentmi, ktoré sú z hydrogeologického hľadiska nepriepustné, prekryté aluviálnymi náplavmi rieky Nitry a jej prítokov. Pravú stranu územia lemujú Strážovské vrchy, geologicky budované kryštalinikom, na ktorom sa nachádzajú sekvencie mezozoického obalu, vystupujúce na povrch najmä v oblasti Bojníc. Pramene kryštalinika majú nízke, nestále výdatnosti, vyššie výdatnosti prameňov sú charakteristické pre mezozoické komplexy (napr. prameň Kamenná dolina). Do územia čiastočne zasahuje svojím okrajom aj pohorie Malá Fatra a Kremnické vrchy. Ľavú stranu územia lemuje pohorie Žiar s výrazne vyvinutým kryštalickým jadrom. Južne od neho sa nachádza neovulkanické pohorie Vtáčnik. Povodie Žitavy - najvýznamnejšieho ľavostranného prítoku lemuje sprava jadrové pohorie Považský Inovec s vyvinutým mezozoickým obalom a z ľavej strany vulkanické pohorie Pohronský Inovec. V oblastiach budovaných neovulkanickými horninami sú zdroje podzemných vôd geneticky viazané na zónu zvýšenej puklinovitosti skalného masívu, vulkanické sedimenty s medzizrnovou priepustnosťou a na významné tektonické zóny. Pre zvodnenie sú významné najmä intenzívne porušené zlomové tektonické línie s drenážnym účinkom na širšie horninové areály, ako aj dobre rozpukané andezity a ich vulkanoklastiká. Výdatnosť prameňov dosahuje hodnoty niekoľkých decilitrov, ale vyskytujú sa tiež pramene s výdatnosťou do 2 až 5 l.s^{-1}, zriedkavo medzi 5 až 10 l.s^{-1} a celkom ojedinele nad 10 l.s^{-1}. Charakteristické sú nestálym režimom, zmenami teploty vody a výdatnosti.

Ovplyvnenie prietokov:

- vplyv vodnej nádrže Nitrianske Rudno na toku Nitrica,
- odbery povrchovej vody: významné sú: z VN Nitrianske Rudno - pre VN SE Nitrianske Rudno (0,221 m^3.s^{-1}) a Novácke chemické závody (0,062 m^3.s^{-1}),
- významné vypúšťania sú: najmä ČOV Prievidza (0,173 m^3.s^{-1}), ČOV Baňa Handlová (0,134 m^3.s^{-1}), ČOV Partizánske (0,130 m^3.s^{-1}), Baňa Cigeľ (0,113 m^3.s^{-1}),
- sumárne odbery podzemnej vody: 0,594 m^3.s^{-1}.

Tok Hron po vodomernú stanicu Brehy

Čiastkové povodie Hrona má celkovú plochu povodia 5 464, 56 km^2 (obr. 2.1). Pre potreby modelu Frier a prognózu výskytu sucha bolo územie rozšírené až po záverečný prietokový profil Hron - Kamenín.

Klimatické pomery

Teplotné pomery v čiastkovom povodí Hrona závisia prevažne od nadmorskej výšky, expozície

svahov a konfigurácie reliéfu. Sú tu zastúpené mierne vlhké okrsky teplej klimatickej oblasti s miernou zimou v oblasti Zvolenskej kotliny až po studené horské okrsky chladnej klimatickej oblasti v najvyšších polohách Nízkych Tatier (obr. 2.2). Priemerná ročná teplota vzduchu dosahuje v najnižšej a najjužnejšej časti čiastkového povodia 9 °C, postupne v smere od juhu na sever klesá, v oblasti Zvolenskej kotliny na 8 °C, v nižších polohách hornej časti povodia na 6 až 7 °C. Teplota vzduchu sa mení s nadmorskou výškou; v oblasti Slovenského rudohoria je priemerná ročná teplota vzduchu 3 až 4 °C a v najvyšších polohách Nízkych Tatier -1 °C. Pre zrážky sú typické výrazné rozdiely v ich priestorovom rozložení. Na pomerne malých vzdialenostiach sa striedajú mierne vlhké až veľmi vlhké oblasti. Priemerný ročný úhrn zrážok za obdobie rokov 1981 – 2010 predstavuje 890 mm. V najvyšších polohách Nízkych Tatier a Veľkej Fatry dosahujú priemerné ročné úhrny zrážok výšku viac ako 1 500 mm, a viac ako 900 mm zrážok býva v hrebeňových polohách ostatných pohorí. V najnižších polohách čiastkového povodia Hrona dosahujú priemerné ročné úhrny zrážok výšku 600 až 700 mm.

Hydrologické pomery

Rieka Hron pramení v Horehronskom podolí, asi 3 km východne nad obcou Telgárt, pod sedlom Besník. Celé čiastkové povodie sa nachádza na území Slovenska a tvorí prirodzený hydrologický celok, všetka voda prameniaca v ňom pochádza z nášho územia. Dĺžka toku od prameňa po ústie do Dunaja je 278,5 km. Pre čiastkové povodie Hrona je charakteristický odtokový režim s maximálnymi priemernými mesačnými prietokmi v apríli a s najmenšími priemernými mesačnými prietokmi v septembri. Podobne ako v rozdelení vodnosti počas roka, aj výskyt maximálnych prietokov počas povodní sa sústreďuje do jarného obdobia, prevažne do apríla. Ďalším častým obdobím výskytu povodní sú letné mesiace, najmä v čase od júna do augusta.

Tvar záujmového povodia je pretiahnutý, s priemerným sklonom 14,3°, maximálna nadmorská výška je 2 036,9 m n. m a minimálna 189,9 m n. m. Hustota riečnej siete je 1,49 km.km^{-2} a lesnatosť je na úrovni 63,3 %. Väčšinu plochy povodia zaberajú listnaté lesy 30,6 %.

Hydrogeologické pomery

Čiastkové povodie Hrona sa vyznačuje pestrou a zložitou geologicko-tektonickou stavbou. Vyskytuje sa tu veporidné kryštalinikum tvoriace kryštalické jadro Nízkych Tatier, Starohorských a Veporských vrchov, ako aj mezozoikum fatrika a hronika na južných svahoch Nízkych Tatier a vo Veľkej Fatre. Vulkanický neogén je tvorený sústavou vulkanických pohorí stredoslovenskej provincie (Kremnické vrchy, Štiavnické vrchy, Javorie, Poľana), južná časť povodia je tvorená horninami sedimentárneho neogénu. V Nízkych Tatrách, Starohorských a Veporských vrchoch možno vo všeobecnosti podzemné vody charakterizovať ako vody puklinového, resp. puklinovo-krasového charakteru. Granitoidné horniny sa vyznačujú väčšou rozpukanosťou ako kryštalické bridlice. Ako v kryštaliniku, tak aj v mladšom paleozoiku vystupujú početné pramene s malou alebo nestálou výdatnosťou, ktorá málokedy presahuje 0,3 l.s^{-1} a závisí takmer výlučne na atmosférických zrážkach. Zvodnenie mezozoických karbonátov je významné, prevláda tu krasovo-puklinové prostredie, na ktoré sa viažu významné zdroje podzemných vôd, najmä v oblasti Veľkej Fatry v oblasti harmaneckej synklinály (Tunel, Matanová, Čierno 1 a 2, Veľké a Malé Cenovo, Zalámaná 1, 2 a 3), ale aj pramene Jergaly, Pod starým mlynom, a ďalšie. Tieto dosahujú výdatnosti niekoľko desiatok, lokálne stoviek litrov za sekundu. Puklinové pramene viazané na zónu rozvoľnenia efuzívnych neovulkanických hornín majú zväčša malé výdatnosti

do 1,5 $l.s^{-1}$. Vyššie výdatnosti boli získané z hydrogeologických vrtov situovaných v tektonickej zóne prebiehajúcej údolím Neresnice (ľavostranný prítok Hrona v oblasti Zvolena), tvoriacich vodárenské zdroje Podzámčok (súčasná výdatnosť okolo 70 $l.s^{-1}$) a Dobrá Niva (15 $l.s^{-1}$). Terciérne sedimenty budujú vrchnú časť geologickej stavby čiastkového povodia Hrona hlavne v jeho strednej a južnej časti. Staršie paleogénne horniny vystupujú v Horehronskom podolí, hlavne v Breznianskej kotline. Zastúpené sú eocénnym vápencovo-pieskovcovým súvrstvím, ktoré je celkovo málo priepustné až nepriepustné.

Ovplyvnenie prietokov:

- prevod vody z Turca (Váh) do Hrona (Turčekovský vodovod),
- vplyv vodárenskej nádrže Hriňová a vodnej nádrže Môťová na Slatine,
- odbery povrchovej vody sú významné: KBS Kremnica (0,237 $m^3.s^{-1}$ z Dedičnej Štôlne a 0,210 $m^3.s^{-1}$ z Kremnického potoka), StVS Hriňová (0,132 $m^3.s^{-1}$),
- významné vypúšťania sú: najmä ČOV Kremnická banská spoločnosť (0,544 $m^3.s^{-1}$), ČOV Banská Bystrica (0,457 $m^3.s^{-1}$),
- sumárne odbery podzemnej vody: 0,650 $m^3.s^{-1}$.

Tok Ipeľ po vodomernú stanicu Holiša

Klimatické pomery

Celková orientácia územia čiastkového povodia Ipľa smerom na juh sa prejavuje aj v jeho klimatických pomeroch. Lučenecká kotlina patrí do suchého okrsku teplej klimatickej oblasti s miernou zimou (obr. 2.2). Priemerná ročná teplota vzduchu tu dosahuje okolo 9,5 °C. Najvyššie polohy Veporských vrchov patria do mierne chladného, veľmi vlhkého okrsku chladnej klimatickej oblasti. Priemerná ročná teplota vzduchu je tu v rozmedzí 5 – 6 °C. Priemerný ročný úhrn atmosférických zrážok je v tomto čiastkovom povodí len okolo 650 mm, pričom v najnižších polohách Lučeneckej kotliny je to v priemere o 100 mm menej.

Hydrologické pomery

Rieka Ipeľ pramení vo Veporských vrchoch, asi 2 km južne od obce Lom n/Rimavicou. Celková dĺžka toku je 199 km s plochou povodia 5 151,04 km^2. Pre čiastkové povodie Ipľa je charakteristický odtokový režim s maximálnymi priemernými mesačnými prietokmi v marci a s najmenšími priemernými mesačnými prietokmi v letno-jesennom období, v auguste a v septembri. Tak ako v rozdelení vodnosti v roku prevláda na Ipli jarný odtok, tak vo výskyte povodňových situácií prevláda jarné obdobie, od februára do apríla, s najčastejším výskytom maximálnych prietokov v marci, pričom jarné prietokové vlny sú väčšinou zmiešaného typu, vznikajúce kombináciou dažďa a topiaceho sa snehu. Malá vodnosť je v čiastkovom povodí Ipľa v priebehu roka sústredená do dvoch období, do letno-jesennej prietokovej depresie s minimom v septembri a do podružnej zimnej depresie s minimom obvykle v januári.

Tvar záujmového povodia po vodomernú stanicu (obr. 2.1) je vejárovitý s priemerným sklonom 8,8°, maximálna nadmorská výška je 1 111,1 m n. m. a minimálna je 375,46 m n. m. Hustota riečnej siete je 1,3 $km.km^{-2}$ a lesnatosť je na úrovni 46,9 %. Väčšinu plochy povodia zaberajú listnaté lesy 40,0 %.

Hydrogeologické pomery

Záujmové povodie sa nachádza v oblasti terciérnych hornín a tieto zaberajú významovo najväčšiu časť čiastkového povodia Ipľa. Sú veľmi pestré čo do litofaciálneho zloženia i stratigrafického rozpätia a sú zastúpené vulkanickým i sedimentárnym vývojom: pieskovce, prachovce, zlepence a ryodacitové tufy, sivé piesky s uhoľnými slojmi a jazerné ílovce. Tieto horniny nie sú významné z hydrogeologického hľadiska, neogénne sedimenty majú funckiu izolátorov. Vrcholy Cerovej vrchoviny sú budované andezitovými intruzívnymi telesami ako aj bazaltami, aglomerátmi a tufmi. Vrcholová časť povodia je tvorená veporidným kryštalinikom Veporských vrchov, ktoré sa vyznačuje puklinovou priepustnosťou s výskytom málo významných prameňov s výdatnosťami do 1 $l.s^{-1}$.

Ovplyvnenie prietokov:

- vplyv vodárenskej nádrže Málinec,
- odbery povrchových vôd sú významné: StVS Málinec (0,093 $m^3.s^{-1}$),
- významné vypúšťania: ČOV Fiľakovo (0,022 $m^3.s^{-1}$),
- sumárne odbery podzemnej vody: 0,057 $m^3.s^{-1}$.

Tok Rimava po vodomernú stanicu Vlkyňa

Povodie rieky Rimava je súčasťou čiastkového povodia Slanej a nachádza sa v jeho západnej časti (obr. 2.1).

Klimatické pomery

Klimatické pomery tohto povodia sú veľmi podobné klimatickým pomerom čiastkového povodia Ipľa. Južná časť Rimavskej kotliny patrí do suchého okrsku teplej klimatickej oblasti s miernou zimou, najvyššie polohy povodia (Veporské vrchy a Muránska planina) patria do mierne chladného, veľmi vlhkého okrsku chladnej klimatickej oblasti (obr. 2.2). Priemerná ročná teplota v povodí je v rozmedzí od 5 °C vo vyšších polohách v severnej hornatej časti územia do 9,5 °C v južnej časti Rimavskej kotliny. Priemerný ročný úhrn atmosférických zrážok je v závislosti od nadmorskej výšky v rozpätí od 550 mm do 1 000 mm.

Hydrologické pomery

Rieka Rimava pramení v Slovenskom rudohorí, prameň leží vo výške asi 1 130 m n. m. na juhovýchodnom svahu vrchu Fabova hoľa (1 439 m n. m.). Jej celková dĺžka po ústie do toku Slaná je 83,12 km s plochou povodia 1 378,43 km^2. Pre povodie Rimavy, podobne ako pre rieku Slaná, je charakteristický odtokový režim s maximálnymi priemernými mesačnými prietokmi v jarnom období, počas marca a apríla a s najmenšími priemernými mesačnými prietokmi v letno-jesennom období, v ktorom dominuje september. Najväčší odtok prevláda v jarnom období, výskyt maximálnych prietokov sa sústreďuje tiež do jarného obdobia. Viac ako polovica ročných kulminácií bola zaznamenaná práve v týchto mesiacoch. Jarné prietokové vlny vodných tokov čiastkového povodia Slanej sú väčšinou zmiešaného typu, vytvárané odtokom vody z topiaceho sa snehu a dažďa. Tieto povodňové vlny majú spravidla väčší objem a dlhší čas trvania ako povodňové vlny vytvorené čisto kvapalnými zrážkami. Ďalším častým obdobím výskytu povodní v čiastkovom povodí Slanej sú letné mesiace; povodne bývajú zväčša v čase od júna do augusta, pričom tieto sú obvykle následkom prívalových dažďov a sú charakteristické

maximálnymi prietokmi pomerne veľkého významu, ale menším objemom vody tvoriacej povodňovú vlnu.

Tvar záujmového povodia po vodomernú stanicu (obr. 2.1) je pretiahnutý s priemerným sklonom 10,5°, maximálna nadmorská výška je 1 395,8 m n. m. a minimálna 150,8 m n. m. Hustota riečnej siete je 1,4 km.km^{-2} a lesnatosť je na úrovni 48,7 %. Väčšinu plochy povodia zaberajú listnaté lesy 36,9 %.

Hydrogeologické pomery

Územie povodia Rimavy v rámci čiastkového povodia Slanej je charakteristické stratigraficky a tiež litologicky veľmi pestrou geologickou stavbou, ktorá spolu s komplikovanou tektonickou stavbou je príčinou značnej hydrogeologickej rozdielnosti. Na formovanie riečnych údolí v povodí Slanej vplývali hlavne geologicko-tektonické pomery. Údolia narezávajú v pozdĺžnom smere rôzne geologické útvary. Na horných a stredných tokoch sú to kryštalické bridlice a granitoidy Veporských vrchov, ako aj mezozoické horniny západnej časti Slovenského krasu (Tisovecký kras, Licinská pahorkatina), kým dolné toky sú modelované v terciérnych neogénnych, prevažne ílových sedimentoch, pokrytých kvartérnymi náplavmi. V riečnej nive Rimavy je priemerná hrúbka náplavov od 4,2 do 5,5 m, miestami až 6,8 m. Hrúbka zvodnených štrkov sa pohybuje od 1,6 do 4,7 m. Výdatnosť jednotlivých vrtov sa pohybuje od 1 do 4 l.s^{-1}, lokálne aj do 9 l.s^{-1}. Údolie Rimavy lemujú terasy, ktorých hrúbka je veľmi premenlivá a ich litologické zloženie je nehomogénne.

Ovplyvnenie prietokov:

- vplyv vodárenskej nádrže Klenovec na Klenoveckej Rimave a vodnej nádrže Teplý Vrch na toku Blh,
- odbery povrchovej vody sú významné: StVS Rimavská Sobota (0,082 m^3.s^{-1}),
- významné vypúšťania: ČOV Rimavská Sobota (0,082 m^3.s^{-1}),
- sumárne odbery podzemnej vody: 0,034 m^3.s^{-1}.

Tok Torysa po vodomernú stanicu Košické Oľšany

Povodie rieky Torysa je súčasťou čiastkového povodia Hornád a zaberá jeho východnú časť (obr. 2.1).

Klimatické pomery

Čiastkové povodie Hornádu vďaka zložitým, členitým orografickým pomerom patrí do viacerých klimatických oblastí. Mierne chladný okrsok chladnej oblasti na severe (Levočské vrchy a Čergov) postupne prechádza až do teplého, mierne suchého okrsku s chladnou zimou v južnej časti povodia (obr. 2.2). Priemerná ročná teplota vzduchu sa pohybuje v rozpätí od 3 do 4 °C v Levočských vrchoch, až do 9 °C v Košickej kotline. Priemerný ročný úhrn atmosférických zrážok za obdobie 1981 – 2010 je 730 mm, avšak v Čergove a Levočských vrchoch dosahujú ročné úhrny zrážok vyše 1 100 mm.

Hydrologické pomery

Rieka Torysa pramení v Levočských vrchoch, prameň rieky leží severozápadne od obce Torysky, pod hrebeňom medzi vrchmi Javorina (1 225 m n. m.) a Javor (1 206 m n. m.) vo výške asi 1 040

m n. m. Celková dĺžka po ústie do toku Hornád je 129,0 km s plochou povodia 1 348,98 km^2. Pre povodie Hornádu je charakteristický odtokový režim s maximálnymi priemernými mesačnými prietokmi v jarnom období, v marci, apríli a máji a s najnižšími priemernými mesačnými prietokmi v jesennom období, väčšinou v septembri. Malá vodnosť v čiastkovom povodí Hornádu je v priebehu roka sústredená do dvoch období: do letno-jesennej prietokovej depresie s minimom od augusta do októbra a do podružnej zimnej depresie s minimom, ktoré sa obvykle vyskytuje v januári.

Tvar záujmového povodia po vodomernú stanicu Košické Oľšany (obr. 2.1) je pretiahnutý, s priemerným sklonom 9,8°, maximálna nadmorská výška je 1 263,9 m n. m. a minimálna je 186,5 m n. m. Hustota riečnej siete je 1,49 km.km^{-2} a lesnatosť je na úrovni 42,7 %. Väčšinu plochy povodia zaberajú listnaté lesy 32,1 % a orná pôda 29,4 %.

Hydrogeologické pomery:

V čiastkovom povodí Hornádu sa nachádzajú všetky geologické útvary od paleozoika až po kvartér, pričom je to oblasť s výraznou prevahou výskytu nepriepustných alebo slabo priepustných hornín s miernou až nízkou priepustnosťou. Záujmové povodie je charakteristické paleozoickými horninami Slovenského rudohoria a Braniska, ktoré sú reprezentované kryštalickými horninami (granitoidy, vysoko a stredne metamorfované kryštalické bridlice); tieto sú málo priepustné a prevláda v nich puklinová priepustnosť. V tomto prostredí sú hlavným zdrojom podzemnej vody atmosférické zrážky. Výdatnosti prameňov dosahujú 0,1 až 1,0 l.s^{-1}. Výplň kotlín je tvorená flyšovými horninami vnútrokarpatského paleogénu s kvartérnym pokryvom aluviálnych náplavov tokov. V kvartérnych náplavoch Torysy a jej prítokov sú situované významné vodárenské zdroje (Brezovička, Brezovica a ďalšie). Z hydrogeologického hľadiska majú význam aj podzemné vody vápencovo-dolomitických mezozoických súvrství Braniska (napr. Hlavný prameň vo Vyšnom Slavkove).

Ovplyvnenie prietokov:

- vplyv vodných nádrží a prevodov vody nie je,
- odbery povrchovej vody významné: MO – vod. Prešov (0,047 m^3.s^{-1})
- významné vypúšťania: ČOV Prešov - Kendice (0,205 m^3.s^{-1}), ČOV Sabinov (0,029 m^3.s^{-1}),
- sumárne odbery podzemnej vody: 0,177 m^3.s^{-1}.

Tok Topľa po vodomernú stanicu Hanušovce nad Topľou

Povodie rieky Topľa je súčasťou čiastkového povodia Bodrogu a zaberá jeho západnú časť (obr. 2.1).

Klimatické pomery

Čiastkové povodie Bodrogu má variabilné klimatické pomery, pretože sa rozkladá v polohách od nadmorskej výšky 200 m n. m. až po hrebeňové polohy Nízkych Beskýd presahujúce 1 000 m n. m. Záujmové povodie po vodomernú stanicu Hanušovce nad Topľou patrí do niekoľkých klimatických oblastí a okrskov - od mierne vlhkého okrsku teplej klimatickej oblasti s chladnou zimou v najnižšie položených častiach až po vlhký, vrchovinný okrsok mierne teplej

oblasti (obr. 2.2). Najvyššie polohy nad 600 m n. m. patria do mierne chladného, veľmi vlhkého okrsku chladnej klimatickej oblasti. Priemerný ročný úhrn atmosférických zrážok je v tomto povodí 750 mm, pričom najvyššie priemerné ročné úhrny zrážok, až do 1 000 mm, sa vyskytujú v hrebeňových častiach pohraničných pohorí na severe územia. Priemerná ročná teplota vzduchu na území čiastkového povodia Bodrogu dosahuje v najnižšie položených oblastiach 7,5 až 8,5 °C, vo vyššie položených oblastiach 6 až 7 °C a v hrebeňových polohách pohorí 4 až 6 °C.

Hydrologické pomery

Rieka Topľa pramení v pohorí Čergov. Celková dĺžka po ústie do toku Ondava je 131,37 km s plochou povodia 1 544,00 km^2. Pre povodie Bodrogu je charakteristický odtokový režim s maximálnymi priemernými mesačnými prietokmi v jarnom období (mesiace marec a apríl) a s najmenšími priemernými mesačnými prietokmi v letno-jesennom období (august a september). Prevláda tu najväčší odtok v jarnom období, aj výskyt kulminačných prietokov sa sústreďuje do jarného obdobia, prevažne v mesiaci marec. Jarné povodne sú typické väčšími objemami, pretože ide spravidla o povodne z topiaceho sa snehu, prípadne povodne zmiešaného typu z topiaceho sa snehu a dažďa. Malá vodnosť je v priebehu roka sústredená do dvoch období: do letno-jesennej prietokovej depresie s minimom v mesiacoch august až október a do podružnej zimnej depresie s minimom obvykle sa vyskytujúcim v januári.

Tvar záujmového povodia po vodomernú stanicu Hanušovce nad Topľou (obr. 2.1) je pretiahnutý-vejárovitý s priemerným sklonom 10,7°, maximálna nadmorská výška je 1 129,5 m n. m.

a minimálna je 154,2 m n. m. Hustota riečnej siete je 1,84 km.km^{-2} a lesnatosť je na úrovni 55,4 %. Väčšinu plochy povodia zaberajú listnaté lesy 42,8 %.

Hydrogeologické pomery

Povodie Tople a Ondavy je z väčšej časti budované flyšovými horninami magurskej jednotky vonkajšieho flyšového pásma. Horniny sú tvorené ílovcami a pieskovcami, prevláda medzizrnová a puklinová priepustnosť. Zvodnenie tohto celku je nízke, výdatnosti prameňov dosahujú 0,1 – 1,0 l.s^{-1}. Hlavným faktorom ovplyvňujúcim výdatnosť prameňov sú zrážky.

Ovplyvnenie prietokov:

- vplyv vodnými nádržami a prevodmi nie je,
- odbery povrchovej vody nie sú významné,
- významné vypúšťania: ČOV Bardejov (0,069 m^3.s^{-1}),
- sumárne odbery podzemnej vody: 0,060 m^3.s^{-1}.

Tok Poprad po vodomernú stanicu Chmeľnica

Povodie rieky Poprad je súčasťou čiastkového povodia Dunajca a Popradu, plocha povodia je 1 889,21 km^2 (obr. 2.1).

Klimatické pomery

Prevažná časť územia povodia, s výnimkou východnej časti Popradskej a Ľubovianskej kotliny, sa podľa Končekovej klimatickej klasifikácie nachádza v chladnej a veľmi vlhkej klimatic-

kej oblasti. Podľa nadmorskej výšky sú tu zastúpené všetky tri okrsky od mierne chladného (Popradská kotlina) až po studený horský klimatický okrsok, do ktorého patria vysokohorské polohy Tatier (obr. 2.2). Priemerná ročná teplota vzduchu dosahuje v nadmorskej výške okolo 1 000 m n. m. 5 °C a na hrebeňoch Tatier okolo -3,5 °C. Územie východnej časti Popradskej kotliny a Ľubovnianskej kotliny sa nachádza v mierne teplej oblasti, pričom južná časť kotliny patrí do mierne teplého, vlhkého, vrchovinového klimatického okrsku a severná časť do mierne teplého, mierne vlhkého, pahorkatinového až vrchovinového okrsku. Priemerná ročná teplota vzduchu je tu okolo 6,5 °C. Priemerný ročný úhrn atmosférických zrážok v povodí je približne 880 mm, pričom sú priestorovo nerovnomerne rozložené. Najviac zrážok, až okolo 1 700 mm, padne v najvyšších polohách Tatier, v nižšie položených oblastiach Popradskej kotliny je priemerný ročný úhrn atmosférických zrážok omnoho nižší, len na úrovni okolo 600 mm.

Hydrologické pomery

Voda z tohto čiastkového povodia odteká do hlavného povodia Visly a prináleží do úmoria Baltského mora. Oficiálne sa za prameň rieky Poprad považuje Popradské pleso v Tatrách v Mengusovskej doline. Celková dĺžka toku po slovensko-poľskú štátnu hranicu je 104,3 km. Pre čiastkové povodie Dunajca a Popradu je charakteristický odtokový režim s maximálnymi priemernými mesačnými prietokmi v jarno-letnom období, v mesiacoch máj a jún a s najmenšími priemernými mesačnými prietokmi v zimných mesiacoch január a február, čo je typický režim horských tokov. V povodí prevláda najväčší odtok v neskorom jarnom a letnom období, a tiež výskyt maximálnych prietokov sa sústreďuje do jarno-letného obdobia. V tomto období sú pre povodne typické väčšie objemy povodňových vĺn, pretože ich príčinou je spravidla topiaci sa sneh alebo súčasný výskyt topiaceho sa snehu a dažďa. Sezóna malých prietokov v čiastkovom povodí Dunajca a Popradu býva počas zimnej prietokovej depresie s minimom v mesiaci január a február.

Tvar záujmového povodia po vodomernú stanicu (obr. 2.1) je pretiahnutý s priemerným sklonom 10,7°, maximálna nadmorská výška je 2 597,3 m n. m. a minimálna je 507,99 m n. m. Hustota riečnej siete je 1,68 km.km^{-2} a lesnatosť je na úrovni 43,6 %. Väčšinu plochy povodia zaberá orná pôda 22,9 %, lúky, pasienky 21,7 % a ihličnaté lesy 20,6 %.

Hydrogeologické pomery

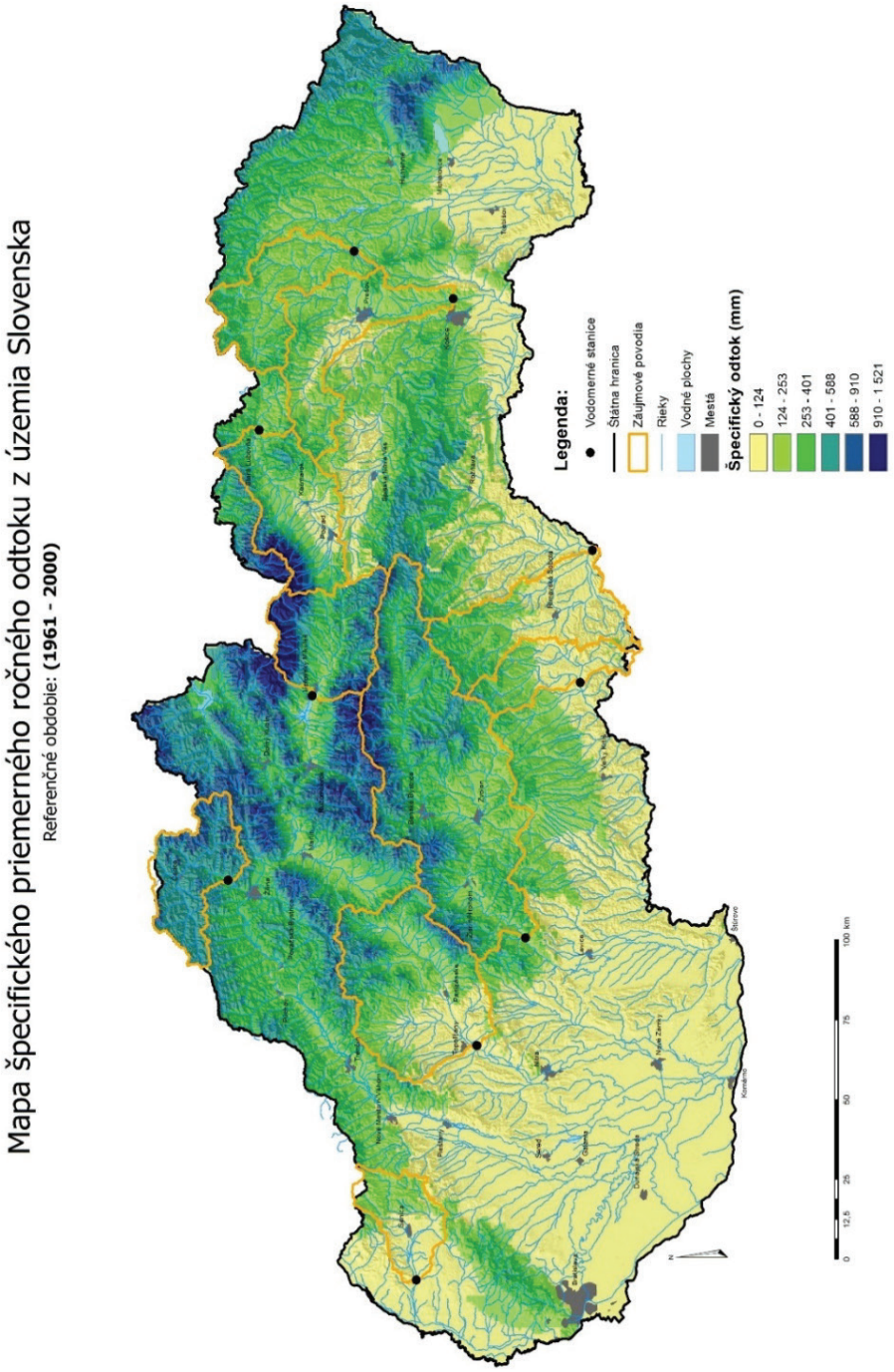
Najstarším hydrogeologickým celkom v čiastkovom povodí Dunajca a Popradu je kryštalinikum, ktoré buduje južnú a centrálnu časť Tatier a tiež tvorí podložie mladším, najmä mezozoickým útvarom. Kotliny sú vyplnené horninami vnútrokarpatského paleogénu, ktoré sú v hydrogeologickej pozícii izolátora a tvoria bariéru, na ktorej vystupujú pramene. Významným prostredím pre akumuláciu podzemných vôd v povodí Popradu sú kvartérne sedimenty. Sú zastúpené fluviálnymi sedimentmi poriečnej nivy Popradu, Dunajca a ich väčších prítokov, ale najmä glaciálnymi a glacifluviálnymi sedimentmi Popradskej kotliny a Vysokých Tatier. V oblasti Vysokých a Belianskych Tatier sú glaciálne sedimenty najvýznamnejšími kolektormi podzemných vôd. Pramene sú bariérové, erózne alebo líniové s výdatnosťami 5,0 až 15,0 l.s^{-1}, niekedy však aj nad 20,0 l.s^{-1}.

Ovplyvnenie prietokov:

- vplyv vodných nádrží a prevodov nie je,

- odbery povrchovej vody: SV Stará Ľubovňa (0,030 $m^3.s^{-1}$), PVS vod. Biela Voda (0,017 $m^3.s^{-1}$),
- významné vypúšťania sú: najmä ČOV Poprad (0,471 $m^3.s^{-1}$), ČOV Stará Ľubovňa (0,073 $m^3.s^{-1}$), ČOV Kežmarok (0,067 $m^3.s^{-1}$),
- sumárne odbery podzemnej vody: 0,164 $m^3.s^{-1}$.

Na obrázku 2.3 sú na mape Slovenska zobrazené odtokové pomery územia (priemerná ročná výška odtoku) s vyznačenými záujmovými povodiami.



Obr. 2.3 Odtokové pomery územia Slovenska – priemerná výška ročného odtoku (mm)
Fig. 2.3 Runoff conditions of Slovakia – average annual runoff depth (mm)

3. VÝVOJ A PROGNÓZA METEOROLOGICKÉHO SUCHA NA SLOVENSKU

3.1 CHARAKTERISTIKA METEOROLOGICKEJ SITUÁCIE NA SLOVENSKU V ROKOCH 1981 – 2015

Postup spracovania teploty vzduchu vychádzal z Metodického predpisu pre tvorbu klimatologických normálov, vypracovaného metodickou skupinou klimatológov. Metodický predpis definuje základné pojmy, spôsoby spracovania a používania klimatologických normálov. Tento materiál je plne v súlade s odporúčaniami Svetovej meteorologickej organizácie (SMO), publikovanými v roku 1983 (WMO, 1983), ako aj s doteraz platnou metodikou (Nosek, 1972), ktorú iba spresňuje a doplňuje.

3.1.1 Definície a pojmy

Pod pojmom klimatický normál rozumieme štatistickú charakteristiku klímy, vypočítanú z dostatočne dlhého časového radu meteorologických meraní a pozorovaní za klimaticky ustálené obdobie tak, aby reprezentovala klímu daného miesta. Pod pojmom charakteristika reprezentujúca klímu sa rozumie taká charakteristika, ktorá je vhodná pre daný účel. SMO definuje normály ako štatistické charakteristiky vypočítané jednotne z údajov najmenej za 3 po sebe nasledujúce desaťročia. Štandardné normály sú 1931 – 1960, 1961 – 1990. Ostatné obdobia, aj keď sú 30-ročné sa doteraz označovali ako dlhodobé priemery. V súčasnosti, aj vzhľadom na zmenu klímy, SMO pristupuje k zmenám a uvažuje o zavedení normálu 1981 – 2010, ktorý sme vzhľadom na aktuálnosť meraní v tejto práci použili.

Pre porovnávanie aktuálneho počasia (resp. nami zadefinovaného obdobia s istým typom počasia definovaného meteorologickým prvkom alebo jeho charakteristikou) s normálom alebo dlhodobým priemerom platia nasledujúce pravidlá:

- pojem **odchýlka od normálu alebo dlhodobého priemeru** sa používa pre charakteristiky nadobúdajúce kladné a záporné hodnoty (napr. teplota vzduchu),
- pojem **percento normálu alebo dlhodobého priemeru** sa používa pre charakteristiky nadobúdajúce iba nezáporné hodnoty (úhrny atmosférických zrážok, slnečný svit a pod.),
- pojem **kvalitatívne hodnotenie** v stupňoch: normálny, nadnormálny, silne nadnormálny, mimoriadne nadnormálny jav, resp. podnormálny, silne podnormálny, mimoriadne podnormálny jav, sa používa pre hranice zabezpečenia výskytu meteorologického prvku alebo jeho charakteristiky v % uvedené v tab. 3.1.1.1,
- pri určení pravdepodobnosti opakovania (raz za 10; 30; 100 rokov a pod.) boli hodnoty

hraníc intervalov pre hodnotenie mesačných (sezónnych) priemerov teploty vzduchu a mesačných (sezónnych) súm atmosférických zrážok určené z kvantilov mesačných (sezónnych) priemerov teploty vzduchu za obdobie 1951 – 1980 a zabezpečenie výskytu mesačných (sezónnych) úhrnov zrážok za obdobie 1901 – 1970 v zmysle Petroviča a Šoltýsa (1984), resp. Šamaja a Valoviča (1984),

- kvantitatívne hodnotenie zrážok bolo vykonané podľa Duba (1957) – tab. 3.1.1.2,
- homogenita (nehomogenita) časového radu pre stanovenie normálu 1981 – 2010 (resp. ostatných hodnôt radu 1981 – 2015) bola overená programom MASH (Multiple Analysis of Series for Homogenization), schváleným a odporučeným v rámci projektu ACTION COST-ES0601 a jeho jednotlivými pracovnými skupinami ako jedným z možných programov pre detekciu nehomogenít v časovom rade a doplnené programom MISH (Meteorological Interpolation Software for Homogenization).

Tab. 3.1.1.1 Kvalitatívne hodnotenie výskytu meteorologického prvku alebo jeho charakteristiky

Tab. 3.1.1.1 Qualitative evaluation of meteorological element or parameter occurrence

Označenie	Zabezpečenie v percentách
MnN-mimoriadne nadnormálny	<2 %
SnN-silne nadnormálny	2-9,9 %
nN-nadnormálny	10-24,9 %
N-normálny	25-75 %
pN-podnormálny	75,1-90 %
SpN-silne podnormálny	90,1-98 %
MpN-mimoriadne podnormálny	>98 %

Tab. 3.1.1.2 Kvalitatívne hodnotenie atmosférických zrážok podľa Duba (1957)

Tab. 3.1.1.2 Qualitative evaluation of precipitation according to Dub (1957)

Označenie	Rozsah v percentách
MV-mimoriadne vlhký	nad 140 %
VV-veľmi vlhký	121 až 140 %
V-vlhký	111 až 120 %
N-normálny	90 až 110 %
S-suchý	80 až 89 %
VS-veľmi suchý	60 až 79 %
MS-mimoriadne suchý	pod 60 %

Vývoj teploty vzduchu

Pre hodnotenie teploty vzduchu bol kompletný, resp. doplnený (zhomogenizovaný) rad mesačných hodnôt porovnaný s normálom (resp. dlhodobým priemerom) 1981 – 2010. Hodnotenie vychádza z údajov cca 70 klimatologických staníc pozorujúcich v období 1981 – 2015, ktoré majú kompletný rad pozorovania (po doplnení) a dostupnú hodnotu normálu (resp. dlhodobého priemeru) za obdobie 1981 – 2010.

Medzi teplotne normálne roky (na viac ako 50 % klimatologických staníc bola priemerná ročná teplota vzduchu vyhodnotená ako normálna) radíme roky 1981 – 1983, 1988 – 1990, 1992 – 1993, 1998 – 1999, 2001, 2003 – 2006 a 2010.

Medzi teplotne podnormálne roky (na viac ako 50 % klimatologických staníc bola priemerná ročná teplota vzduchu vyhodnotená ako podnormálna) radíme roky 1984 – 1987, 1991 a 1996.

Medzi teplotne nadnormálne roky (na viac ako 50 % klimatologických staníc bola priemerná ročná teplota vzduchu vyhodnotená ako nadnormálna) radíme roky 1994, 2000, 2002, 2007 – 2009 a 2011 – 2015.

K rokom, kedy sme zaznamenali výrazné percento podnormálnych hodnôt, patrí najmä rok **1985.** V roku 1985 až 100 % klimatologických staníc malo priemernú ročnú teplotu pod normálom 1981 – 2010, pričom 3,4 % staníc dosahovalo podnormálne hodnoty, 44,1 % silno podnormálne a 52,5 % mimoriadne podnormálne hodnoty. K podnormálnemu charakteru počasia prispeli najmä január, ktorý bol teplotne silno podnormálny na 92,9 % klimatologických staníc a mimoriadne podnormálny na 2,9 %, tiež február silno podnormálny na 85,9 % a mimoriadne podnormálny na 14,1 % a ďalej jún, kedy na 88,4 % meracích lokalitách boli zaznamenané mimoriadne podnormálne hodnoty v mesačnom priemere. Podnormálne mesačné teploty vzduchu sme zaregistrovali aj v júli v percentách dostupných klimatologických staníc (38,8 %), v auguste (22,1 %), v septembri (36,2 %), v októbri (40 %) a ešte výraznejšie v novembri v detailnejšom rozlíšení 19,4 % ako podnormálne mesačné teploty vzduchu a 67,6 % ako silno podnormálne hodnoty. Teplota vzduchu za teplý polrok bola na 45 % klimatologických staníc podnormálna a na 50 % až silno podnormálna. Teplota za zimu 1984/1985 bola na 96,6 % klimatologických staníc podnormálna a na 3,1 % až mimoriadne podnormálna. Zastúpenie silno podnormálnych a mimoriadne podnormálnych hodnôt bolo pravidelné na celom území Slovenska, nevyskytovali sa regionálne rozdiely.

Podobne aj v roku **1987** malo 100 % klimatologických staníc priemernú ročnú teplotu vzduchu pod normálom 1981 – 2010, z toho 23,7 % klimatologických staníc malo priemernú ročnú teplotu vzduchu podnormálnu a 76,3 % až silno podnormálnu. K teplotne podnormálnemu hodnoteniu prispeli najmä február, ktorý bol výrazne chladný, na 77,8 % meracích staníc boli mesačné hodnoty teploty vzduchu silno podnormálne a na 18,6 % mimoriadne podnormálne. Podnormálne boli aj mesiace marec, kedy 11,9 % staníc zaznamenalo silno podnormálne mesačné hodnoty a 88,1 % mimoriadne podnormálne hodnoty, máj (29,4 %), 63,2 % silno podnormálne a 4,4 % mimoriadne podnormálne, august - silno podnormálny na 17,6 % meracích staníc a až na 82,4 % mimoriadne podnormálny. Teplota za teplý polrok bola podnormálna na 66,7 % klimatologických staníc a silno podnormálna na 3,3 %. Zima 1986/1987 ako ročné obdobie bola teplotne podnormálna na 78,1 % meracích staníc, silno podnormálna na 20,3 % a normálna len na 1,6 % klimatologických staníc. Zastúpenie silno podnormálnych hodnôt bolo pravidelné na celom území Slovenska okrem Hontu a Gemeru, kde boli hodnoty podnormálne.

Za zmienku stojí aj rok **1996**, kedy až na 98,3 % klimatologických staníc bola priemerná ročná teplota vzduchu pod normálom 1981 – 2010, z toho 45,8 % ako podnormálna hodnota, 45,8 % ako silno podnormálna a 6,8 % ako mimoriadne podnormálna. Výraznejšie teplotne podnormálne mesiace boli február, kedy podnormálne hodnoty jednotlivých staníc predstavovali súhrne 84,4 %, 14,1 % silno podnormálne, v marci 68,7 % podnormálne a 31,3 %

silno podnormálne. Mimoriadne podnormálne mesačné hodnoty boli registrované v júli až na 88,1 % staníc. Veľmi nízke hodnoty priemernej mesačnej teploty vzduchu sme zaznamenali aj v septembri a to na 30,4 % klimatologických staníc a mimoriadne podnormálne na 69,6 %, ako aj v decembri na 59 % meracích bodov, silno podnormálne na 33,3 % a mimoriadne podnormálne na 2 %. Teplý polrok ako celok z pohľadu priemernej teploty vzduchu bol na 66,7 % meracích lokalít podnormálny, silno podnormálny na 18,3 %, normálny na 15 %. Teplota za zimné obdobie 1995/1996 bola na 90,6 % teplotne podnormálna a len na 9,4 % meracích staníc normálna. Z územného hľadiska hodnotenia ročných teplôt vzduchu sa silno podnormálne až mimoriadne podnormálne hodnoty vyskytli najmä juhozápade Slovenska, severe Slovenska a z časti na Dolnom Pohroní a na Zvolensku.

Z rokov, v ktorých sme zaznamenali výraznejší počet klimatologických staníc s nadnormálnymi hodnotami priemernej ročnej teploty vzduchu spomenieme rok **1994**, kedy na 96,6 % všetkých klimatologických staníc boli hodnoty priemernej ročnej teploty vzduchu nad normálom 1981 – 2010, z toho na 64,4 % ako nadnormálne hodnoty a na 32 % ako silne nadnormálne hodnoty. Z pohľadu mesačných teplôt vzduchu k nadnormálnym hodnotám prispeli najmä január, kedy 11,4 % staníc malo nadnormálne a až 82 % silno nadnormálne hodnoty. Nadnormálne hodnoty teploty vzduchu v mesačnom priemere sme zaznamenali aj v marci na 95,5 % meracích staníc, v júli na 4,5 % staníc (silno nadnormálne na 65,7 % a mimoriadne nadnormálne na 28,4 %) a v auguste (nadnormálne hodnoty na 29,4 % a silno nadnormálne na 7,4 %). Najvýraznejšie nadnormálne teplotne odlišný od normálu 1981 – 2010 bol september, kedy na 31,9 % klimatologických staníc sme pozorovali nadnormálne hodnoty mesačnej teploty vzduchu a na 68,1 % až silno nadnormálne hodnoty. Október bol teplotne nadnormálny na 26,5 % meracích staníc, november na 18,8 %. Teplý polrok bol teplotne nadnormálny na 85 % klimatologických staníc a silno nadnormálny na 10 %. Zima 1994/1995 ako ročné obdobie bola podnormálna na 53,1 % meracích staníc a silno nadnormálna na 9,4 %. Z územného hľadiska hodnotenia ročných teplôt vzduchu sa silno nadnormálne hodnoty vyskytli najmä v južných okresoch Slovenska (Bratislava a okolie, Podunajsko, Dolná Nitra, Hont, Novohrad - Poiplie a Dolný Zemplín).

Podobne aj rok **2000** sa vyznačoval nadnormálnymi ročnými hodnotami teploty vzduchu na 98,3 % klimatologických staníc, z toho nadnormálne hodnoty boli na 28,8 % a silno nadnormálne na 67,8 % klimatologických staníc. Nadnormálne hodnoty teploty vzduchu sa vyskytli vo februári na 25 % meracích staníc (75 % normálne hodnoty), k teplotne nadnormálne vysokým hodnotám prispeli najmä hodnoty v apríli, kedy 13,4 % staníc malo nadnormálne a až 86,6 % silno nadnormálne hodnoty. V máji sme zaznamenali 45,6 % meracích staníc s nadnormálnymi mesačnými hodnotami a 1,5 % so silno nadnormálnymi (52,9 % s normálnymi), v máji 42 % s normálnymi a 7,2 % so silno nadnormálnymi hodnotami (50,7 % s normálnymi). V auguste sme pozorovali zvýšený počet klimatologických staníc s nadnormálnymi hodnotami mesačnej teploty vzduchu (29,4 %) ako aj so silno nadnormálnymi hodnotami (33,8 %), resp. normálnymi (36,8 %). V októbri boli nadpriemerné hodnoty na 1,4 %, silno nadnormálne na 75,7 % staníc a mimoriadne nadnormálne na 22,9 % staníc. V novembri priemerná teplota vzduchu bola silno nadnormálna na 29,4 % a mimoriadne nadnormálna na 70,6 % staníc. December bol teplotne nadnormálny na 84,1 % meracích lokalít a na 13 % silno nadnormálny. Teplý polrok bol ako celok teplotne nadnormálny na 55 hodnotených staniciach. Zima 1999/2000 bola teplotne normálna na 93,8 % miestach Slovenska. Z územného hľadiska hodnotenia ročných teplôt vzduchu sa silno nadnormálne hodnoty vyskytli pravidelne po celom území Slovenska

(výraznejšie v jeho západnej polovici).

Rok **2002** sa vyznačoval nadnormálnymi ročnými hodnotami teploty vzduchu na 94,9 % klimatologických staníc pričom staníc s nadnormálnou hodnotou bolo 78 % so silno nadnormálnou hodnotou 16,9 %. K nadnormálnym teplotám prispeli hodnoty vo februári (3,1 % staníc nameralo nadnormálne a 96,9 % staníc silno nadnormálne hodnoty). V marci okrem normálnych hodnôt na 28,4 % meracích bodov sme namerali na 71,6 % staníc nadnormálne mesačné teploty vzduchu. Tri po sebe idúce mesiace (máj – júl) boli teplotne nadnormálne. V máji 77,9 % meracích staníc zaznamenalo nadnormálne hodnoty, 22,1 % silno nadnormálne hodnoty, v júni 81,2 % nadnormálne a 2,9 % silno nadnormálne, v júli 38,8 % nadnormálne, 46,3 % silno nadnormálne a 7,5 % mimoriadne nadnormálne. August bol teplotne skôr normálny, avšak na 25 % lokalít sa vyskytli nadnormálne a na 2,9 % silno nadnormálne hodnoty. November bol teplotne výrazne nadnormálny na 29,4 % a silno nadnormálny na 69,1 % meracích staniciach. Teplý polrok ako celok bol teplotne nadnormálny na 73,3 % lokalít a na 18,0 % až silno nadnormálny. Z územného hľadiska hodnotenia ročných teplôt vzduchu sa nadnormálne hodnoty vyskytli pravidelne po celom území Slovenska, lokálne sa vyskytli aj miesta so silno nadnormálnymi hodnotami napr. na Podunajsku, na Horehroní, vo Vysokých Tatrách, na Gemeri, na Spiši a na Dolnom Zemplíne.

Rok **2007** bol výrazne teplotne nadnormálny z pohľadu hodnotenia priemernej ročnej teploty vzduchu a celých 100 % klimatologických staníc patrilo do intervalu s nadnormálnymi hodnotami. Z toho 6,8 % klimatologických staníc zaznamenalo nadnormálnu ročnú hodnotu, 81,4 % silno nadnormálnu a 11,9 % mimoriadne nadnormálnu hodnotu priemernej ročnej teploty vzduchu v porovnaní s normálom 1981 – 2010. V priebehu roku 2007 boli len dva teplotne podnormálne mesiace (september a november). K nadnormálnym patrili mesiace: január (nadnormálny na 5,7 % meracích staniciach, silne nadnormálny na 41,4 % a mimoriadne silno nadnormálny na 51,4 %), marec (nadnormálny na 56,7 % staníc silno nadnormálny na 43,3 % staníc), apríl (významne nadpriemerné hodnoty na 71,6 % a silno nadpriemerných na 6 % staníc). Trend pokračoval i v máji s 57,4 % staníc s nadnormálnymi a 2,9 % silno nadnormálnymi hodnotami, v júni s 39,1 % nadnormálnymi a 60,9 % silno nadnormálnymi hodnotami a v júli so 43,3 % zastúpením nadnormálnych hodnôt a 37,3 % silno nadnormálnych hodnôt. August ukončil toto významne teplé obdobie s nadnormálnymi hodnotami na 47,1 % meracích staníc a 16,2 % so silno nadnormálnymi hodnotami priemernej mesačnej teploty vzduchu. Teplý polrok ako celok bol teplotne nadnormálny na 43,3 % klimatologických staníc a silno nadnormálny na 50 % meracích staníc. Zima 2006/2007 bola zo 7,8 % teplotne silno nadnormálna, z 92,2 % mimoriadne nadnormálna. Z územného hľadiska hodnotenia ročných teplôt vzduchu sa silno nadnormálne hodnoty vyskytovali pravidelne na celom území Slovenska, na východe Slovenska aj mimoriadne nadnormálne hodnoty, a to na Spiši, v Košiciach a okolí (Abov) a na dolnom Zemplíne.

Rok **2008** patril tiež k výrazne teplotne nadnormálnym rokom, pričom 100 % klimatologických staníc zaznamenalo priemernú ročnú teplotu vzduchu nad normálom 1981 – 2010, z toho 15,3 % malo nadnormálnu hodnotu, 78 % silno nadnormálnu a 6,8 % mimoriadne nadnormálnu hodnotu oproti normálu 1981 – 2010. Nadnormálne mesačné hodnoty sme pozorovali v januári na 74,3 % meracích miest a na 15,7 % lokalitách silno nadnormálne hodnoty (normálne na 10 % lokalít). Vo februári sme nadnormálne hodnoty zaznamenali na 70,3 % meracích miest,

na 26,6 % silno nadnormálne hodnoty (normálne na 3,1 %). Významne teplotne nadnormálnym mesiacom bol jún, kedy na 66,7 % lokalít boli zaznamenané nadnormálne hodnoty a na 23,2 % silno nadnormálne. Mesiace júl – september boli teplotne normálne, jeseň a začiatok zimy boli teplotne nadnormálne. Október bol teplotne nadnormálny na 81,4 % lokalít, silno nadnormálny na 1,4 % meracích miest. V novembri bolo 55,9 % miest s pravidelným meraním teplotne nadnormálnych a 42,6 % silno nadnormálnych. V decembri sme zaznamenali na 58 % klimatologických staníc teplotne nadnormálne hodnoty a na 34,8 % silne nadnormálne hodnoty. Teplý polrok ako celok bol teplotne nadnormálny na 28,3 % a silno nadnormálny na 1,7 %. Zima 2007/2008 bola teplotne nadnormálna na 50 % meracích miest a na 18,8 % silno nadnormálna (normálna na 31,3 %). Z územného hľadiska hodnotenia ročných teplôt vzduchu sa silno nadnormálne hodnoty vyskytovali pravidelne na celom území Slovenska, na severe Slovenska to boli aj mimoriadne nadnormálne hodnoty na Liptove, Zamagurí a na Spiši.

Rok **2009** radíme k výrazne teplým rokom s 94,9 % klimatologických staníc nad normálom priemernej ročnej teploty vzduchu 1981 – 2010. Pri detailnejšom pohľade na 72,9 % klimatologických staníc bola nadnormálna a na 22 % silno nadnormálna priemerná ročná teplota vzduchu. V priebehu roka k teplotne nadnormálnej ročnej hodnote prispeli apríl (10,4 % lokalít s nadnormálnou, 64,2 % so silno nadnormálnou a 25,4 % s mimoriadne nadnormálnou hodnotou), júl (56,7 % s nadnormálnou a 17,9 % silno nadnormálnou hodnotou), august (42,6 % s nadnormálnou, 10,3 % so silno nadnormálnou a 1,5 % s mimoriadne nadnormálnou hodnotou) a september (46,4 % nadnormálnych, 53,6 % silno nadnormálnych hodnôt). Po teplotne takmer normálnom októbri nastúpil teplotne nadnormálny november s výskytom 45,6 % hodnôt a 54,4 % silno nadnormálnych hodnôt. Teplý polrok ako celok bol teplotne nadnormálny na 13,3 % miest, silno nadnormálny na 61,7 % a mimoriadne nadnormálny na 25 % meracích miest Slovenska. Zima 2008/2009 bola teplotne normálna. Z územného hľadiska hodnotenia ročných teplôt vzduchu sa nadnormálne hodnoty vyskytovali pravidelne na celom území Slovenska, silno nadnormálne hodnoty v južných okresoch stredného a východného Slovenska.

Rok **2014** bol najvýraznejší z pohľadu nadnormálnych rokov priemernej ročnej teploty vzduchu v porovnaním s normálom 1981 – 2010, na 100 % všetkých klimatologických staníc bola zaznamenaná nadnormálna priemerná ročná teplota vzduchu. Detailnejšie zhodnotenie ukázalo, že zhodne 100 % klimatologickým staniciam bol priradená najvyššia ročná teplota vzduchu za obdobie nielen 1981 – 2015 ale aj za obdobie 1961 – 2015. S výnimkou mesiacov máj a jún boli všetky mesiace v roku 2014 teplotne nadnormálne teplé. V januári boli na 31,4 % meracích miestach zaznamenané nadnormálne hodnoty, na 65,7 % silno nadnormálne a na 2,9 % mimoriadne nadnormálne hodnoty. Podobne tomu bolo aj vo februári so 4,7 % výskytu nadnormálnych hodnôt, až 87,5 % silno nadnormálnych hodnôt a na 7,8 % boli priemerné mesačné teploty mimoriadne nadnormálne. V marci bolo 1,5 % všetkých meracích miest z vybraného počtu klimatologických staníc nadnormálne teplých, na 80,6 % lokalít sme zaznamenali silno nadnormálne hodnoty a na 17,9 % mimoriadne nadnormálne hodnoty. V apríli sa vyskytovali najčastejšie nadnormálne hodnoty a to v 91 % prípadov z meracích miest a len na 3 % so silno nadnormálnymi hodnotami. V júli sme na 38,8 % meracích miest pozorovali nadnormálne mesačné teploty vzduchu, na 9 % silno nadnormálne hodnoty. September bol teplotne nadnormálny na 76,8 % miest kde sme vyhodnocovali priemernú mesačnú teplotu a na 10,1 % silno nadnormálny (normálna hodnota bola na 13 % miest). V októbri bolo 78,6 % meracích lokalít pokrytých nadnormálnymi hodnotami a 21,4 % silno nadnormálnymi hodnotami. V novembri

prevládali silno nadnormálne hodnoty na 70,1 % územia, mimoriadne nadnormálne na 28,4 % a normálne len na 1,5 %. December bol teplotne nadnormálny na 70,1 % klimatologických staníc a silno nadnormálny na 23,9 % meracích staníc (normálny na 6 % lokalít). Teplý polrok bol teplotne nadnormálny na 50,8 % meracích miest a na 6,8 % silno nadnormálny (normálny na 42,4 %). Zima 2013/2014 bola teplotne silno (30,2 % miest) až mimoriadne nadnormálne teplá (69,8 % meraných lokalít). Z územného hľadiska hodnotenia ročných teplôt vzduchu sa mimoriadne nadnormálne hodnoty vyskytovali na celom území Slovenska.

Rok **2015** hodnotením priemernej ročnej teploty vzduchu bol tiež veľmi výrazne nadnormálny (100 % všetkých vybraných staníc malo nadnormálne vysoké hodnoty priemernej ročnej teploty vzduchu), z toho silno nadnormálne 37,5 % a mimoriadne nadnormálne 62,5 % z vybraného počtu klimatologických staníc. Teplotný význam ročnej teploty vzduchu bol podporený v januári 84,3 % zastúpením nadnormálnych hodnôt a 5,7 % silno nadnormálnym výskytom z celkového počtu kompletného radu klimatologických staníc. Február z teplotného hľadiska bol skôr normálny (90,6 % lokalít zaznamenalo odchýlky nie významné od normálu 1981 – 2010), i keď na 9,4 % meracích bodoch sa vyskytli nadnormálne hodnoty teploty vzduchu. Marec bol teplotne (z pohľadu percentuálneho rozloženia významných hodnôt) podobný predchádzajúcemu mesiacu s tým, že teplotne normálnych hodnôt bolo menej (61,2 % všetkých mesačných zhodnotení) a naopak viac bolo miest, kde sme zaznamenali nadnormálne hodnoty priemernej mesačnej teploty vzduchu (38,8 % z vybraného počtu klimatologických staníc). Apríl a máj boli teplotne normálne (94 a 98,5 % zastúpenie). Jún bol teplotne nadnormálny na 66,7 % miest z vybraného počtu meracích staníc a na 1,5 % silno nadnormálny (31,8 % bolo teplotne normálnych). Júl bol teplotne významný najmä vysokými mesačnými odchýlkami a tak „len" 7,6 % lokalít z celkového počtu zaznamenalo nadnormálne hodnoty, až 54,5 % silno nadnormálne a 34,8 % mimoriadne nadnormálne hodnoty v porovnaní s normálom 1981 – 2010. Ešte výraznejšie maximálne odchýlky boli pozorované v auguste, kedy silno nadnormálne hodnoty boli v 4,4 % prípadov, avšak až v 95,6 % prípadov boli hodnoty mimoriadne nadnormálne. September sa vrátil síce k nadnormálnym hodnotám ale nie tak excentricky rozloženým, 52,5 % tvorili nadnormálne hodnoty priemernej mesačnej teploty vzduchu a 36,2 % silno nadnormálne hodnoty z vybraného počtu klimatologických staníc. Normálne hodnoty boli len v 11,6 % staníc. Október bol teplotne normálny (97,1 % lokalít) takmer na celom území SR. November bol teplotne nadnormálny na 44,8 % meracích staníc, na 29,9 % silno nadnormálny a na 7,5 % mimoriadne nadnormálny. V decembri sa na 29,2 % meracích staníc vyskytli nadnormálne hodnoty, na 63,2 % silno nadnormálne a na 7,7 % mimoriadne nadnormálne hodnoty. Teplý polrok ako celok bol teplotne nadnormálny na 10,5 % miest, kde sme mesačnú teplotu vzduchu porovnávali s normálom 1981 – 2010, na 63,2 % silno nadnormálny a na 26,3 % bol mimoriadne nadnormálny. Zima 2014/2015 bola nadnormálne teplá na 21 % meracích miest a silno nadnormálna na 67,7 % miestach (normálna na 11,3 % všetkých lokalít). Z územného hľadiska hodnotenia ročných teplôt vzduchu sa mimoriadne nadnormálne hodnoty vyskytovali na celom území Slovenska, no nie tak výrazne ako v roku 2014.

3.1.2 Atmosférické zrážky

Pre hodnotenie zrážkových pomerov v období 1981 – 2015 sme použili 500 zrážkomerných staníc na území Slovenska. Pri hodnotení zrážkového charakteru roka sme použili relatívny úhrn atmosférických zrážok, pri ktorom sa celkové množstvo spadnutých zrážok vyjadrí v percentách normálu. Pri kvalitatívnom hodnotení sme použili metodiku Duba, pri ktorej sa príslušný ročný úhrn vyjadril v % dlhodobého priemeru (tu normálu 1981 – 2010). Toto delenie podľa relatívneho úhrnu zrážok je veľmi prehľadné a umožňuje posúdiť odchýlky zrážok, ak pre dané miesto máme k dispozícii hodnotu dlhodobého priemeru.

Medzi roky s najnižšími úhrnmi zrážok a teda aj s najnižším percentom normálu rokov 1981 – 2010 patrí rok **2003**. Tento rok bol na 19,8 % staníc suchý, na 74,4 % staníc veľmi suchý a na 3 % staníc mimoriadne suchý. Rokom, v ktorom ročný úhrn zrážok bol z počtu 500 zrážkomerných staníc najčastejšie vyhodnotený v hraniciach normálu bol rok **1998.** Rok **2010** patril k vlhkým rokom na 96,6 % staníc, z toho pri detailnejšom rozbore patril na 1,6 % staníc do kategórie vlhký, na 19,6 % do kategórie veľmi vlhký a až na 78,4 % staníc do kategórie mimoriadne vlhký.

Ak hodnotíme obdobie 1981 – 2015 z pohľadu ročných úhrnov a Slovensko ako celok tak konštatujeme, že do roku 1993 sa častejšie vyskytovali roky, ktoré podľa Duba klasifikujeme ako suché (niekedy i viac rokov po sebe), po roku 2002 sa vyskytujú extrémne suchšie roky ale s odstupom viacerých rokov (2003, 2011). Ak by sme ako hranicu pre stanovenie obdobia s normálnymi úhrnmi zrážok vzali 50 % všetkých zrážkomerných staníc, tak v období 1981 – 2015 za najnormálnejšie (celistvé) obdobie ročných úhrnov zrážok pre Slovensko vychádza obdobie 1991 – 2001. Najvyššie zastúpenie v celkovom počte 500 zrážkomerných staníc mal však rok 1988, kedy až 68,6 % meracích objektov vykázalo normálny ročný úhrn zrážok. Po roku 1993 začali pribúdať roky s klasifikovaním ako rok vlhký s maximom v roku 2010, kedy vo všetkých meracích objektoch bol rok 2010 v ročnom úhrne klasifikovaný ako vlhký.

Hodnotenie jednotlivých rokov z pohľadu ročných úhrnov zrážok:

Rok **1981** bol suchý na 20,4 % územia Slovenska, normálny na 63 % a vlhký na 16,6 %. Vlhký bol najmä na Kysuciach, strednom a hornom Považí a na dolnom Zemplíne. Suchý bol najmä na Poiplí, na Šariši, na Spiši a na Above a tiež v okolí Bratislavy.

Rok **1982** bol suchý na 80,4 % územia Slovenska (z toho suchý na 38,6 % a veľmi suchý na 41,4 %, najmä na Záhorí, na dolnom Považí, na Honte a Poiplí, na Gemeri, na Šariši, na Spiši a v Zamagurí), normálny na 19,4 % (len na Podunajsku, Above, Zemplíne a miestami aj na hornom Považí, Turci a Orave) a vlhký na 0,2 % územia.

Rok 1**983** bol suchý na 79,4 % územia Slovenska (z toho suchý bol na 47,8 % a veľmi suchý na 31,6 %, najmä v západnej polovici Slovenska), normálny na 20,4 % a vlhký len na 0,2 %.

Rok **1984** bol suchý na 15,4 % územia Slovenska (len na krajnom severe Slovenska), normálny na 58,6 % a vlhký na 26 % (z toho vlhký na 18,4 % a veľmi vlhký na 7,6 % Slovenska) a to najmä na dolnom Pohroní, na Zvolensku, na Honte, na Poiplí a na Above.

Rok **1985** bol suchý na 7,2 % územia Slovenska (Hont a Poiplie), normálny na 47,6 % a vlhký na 45,2 % (z toho vlhký na 30,6 %, veľmi vlhký na 13,6 % a mimoriadne vlhký na 1 % územia

Slovenska) a to najmä na Záhorí, z časti na dolnej Nitre, na severe Slovenska ale najvýraznejšie na východnom Slovensku, kde miestami najmä v oblasti Šariša boli miesta až mimoriadne vlhké.

Rok **1986** bol suchý na 69 % územia Slovenska (najmä vo východnej polovici Slovenska bol až veľmi suchý, čiastočne aj v južných častiach stredného a západného Slovenska a na Záhorí), normálny na 28,8 % (najmä v západnej časti Slovenska, s výnimkou suchých oblastí) a vlhký na 2,2 % (a to na strednom Považí a na hornej Nitre).

Rok **1987** bol suchý na 27,2 % územia Slovenska (najmä na veľkej časti stredného Slovenska), normálny na 66 % a vlhký na 6,8 % (Záhorie, krajný juh Podunajska a krajný sever Šariša).

Rok **1988** bol suchý na 28 % územia Slovenska (Záhorie, z časti Orava, Liptov, Gemer, Zamagurie, Spiš a Šariš), normálny na 68,6 % a vlhký na 3,4 % (lokálne na dolnej a hornej Nitre a na úplne krajnom východe Slovenska).

Rok **1989** bol suchý na 59 % územia Slovenska (najmä západná polovica Slovenska, kde sa vyskytovali lokality charakterizované ako veľmi suché), z toho suchý na 29,8 %, veľmi suchý na 27,8 % a mimoriadne suchý na 1,4 %, normálny na 36,4 % územia (najmä vo východnej časti územia Slovenska), vlhký (až veľmi vlhký) na 4,6 % územia (miestami v Zamagurí, na Spiši a na Above).

Rok **1990** bol suchý na 30,6 % územia (najmä na západnom Slovensku), normálny na 61 % a vlhký na 8,4 % (z časti na strednom Slovensku a na krajnom východe).

Rok **1991** bol suchý na 50,6 % územia (veľká časť západného Slovenska, severné a východné Slovensko), normálny na 45 % a vlhký na 4,4 % (Poiplie, Gemer).

Rok **1992** bol suchý na 61,4 % územia Slovenska (Záhorie, Bratislava a okolie, stredné a horné Považie, Kysuce, Orava, Liptov, Spiš, Šariš, Dolný Zemplín), veľmi suchý v južných častiach stredného a východného Slovenska (najmä Hont, Poiplie, Gemer, Abov a dolný Zemplín).

Rok **1993** bol suchý na 66,4 % územia Slovenska (východná časť Slovenska, z toho veľmi suchý lokálne na Honte, Gemeri, Orave, Zamagurí, Spiši, Above a na dolnom Zemplíne), normálny na 33 % (západná časť Slovenska) a vlhký na 0,6 % (lokálne na hornej Nitre).

Rok **1994** bol suchý na 13,8 % územia Slovenska (krajné Záhorie, krajný Gemer a Abov, Šariš a dolný Zemplín), normálny na 51,8 % územia a vlhký na 34,4 % najmä v západnej polovici územia, z toho veľmi vlhký až mimoriadne vlhký na Považí a na Ponitrí.

Rok **1995** bol suchý na 6,6 % územia Slovenska, normálny na 60,6 % a vlhký 32,8 % (z toho vlhký na 22,2 %, veľmi vlhký na 10 % a mimoriadne vlhký na 0,6 %) najmä v južnej časti západného a na juhu stredného Slovenska (Poiplie a Gemer).

Rok **1996** bol suchý na 2,2 % územia Slovenska, normálny na 55,4 % a vlhký na 42,4 %, z toho 33,6 % vlhký, 8,2 % veľmi vlhký (najmä na dolnom Považí a na dolnej Nitre) a 0,6 % mimoriadne vlhký (najmä na dolnom Ponitrí, lokálne na Poiplí a na Zamagurí a v oblasti Tatier).

Rok **1997** bol suchý na 30 % územia Slovenska (najvýraznejšie na dolnom Považí a na Zvolensku, pričom veľmi suchý bol na krajnom juhu stredného Slovenska), normálny na 60,8 % a vlhký na 9,2 % (najmä na severe Záhoria, na hornom Považí, na Kysuciach, Orave, v Tatrách a na Zamagurí).

Rok **1998** bol suchý na 7,2 % územia Slovenska, normálny na 66,4 % a vlhký na 26,4 %, z toho vlhký bol len miestami na Záhorí, hornom Považí a na juhu Podunajska, tiež na Orave, vlhký až veľmi vlhký na juhu stredného Slovenska a veľmi vlhký až mimoriadne vlhký na krajnom východe Slovenska (Zemplín).

Rok **1999** bol suchý na 3,6 % územia Slovenska, normálny na 57,4 % a vlhký na 39,2 % najmä v južných okresoch Slovenska, pričom na juhu stredného Slovenska (Hont, Poiplie, Gemer) bol charakterizovaný skôr ako veľmi vlhký, lokálne až mimoriadne vlhký.

Rok **2000** bol suchý na 29,6 % územia Slovenska, z toho veľmi suchý v najjužnejších okresoch Slovenska (najmä na Podunajsku, dolnej Nitre, Gemeri a dolnom Zemplíne), normálny na 58,6 % (najmä na západe a východe Slovenska) a vlhký na 11,8 % (najmä v severnej polovici stredného Slovenska a v niektorých severných častiach okresov východného Slovenska).

Rok **2001** bol suchý na 10,4 % územia Slovenska (Bratislava-okolie, z časti dolné Považie, dolná Nitra a Podunajsko), normálny na 55,6 % a vlhký na 34 % v severných okresoch stredného a východného Slovenska, na Poiplí, Gemeri a na Zemplíne.

Rok **2002** bol suchý na 9 % územia (najmä na krajnom východe), normálny na 46,8 % a vlhký na 44,2 %, najmä na väčšej časti západného a stredného Slovenska, kde sa často vyskytovali aj miesta (dolné Považie, Tekov, Zvolensko) s charakteristikou roka ako veľmi vlhkého.

Rok **2003** bol suchý na 97,2 % územia Slovenska, z toho veľmi suchý na 74,4 % (prakticky na celom území Slovenska) a mimoriadne suchý na 3 % (na krajnom juhu západného Slovenska).

Rok **2004** bol suchý na 5,4 % (na časti Záhoria, na Hornej Nitre a Hornom Považí), normálny na 57,8 % (najmä v západnej polovici územia), vlhký na 36,8 % územia, a to na východe Slovenska, pričom v mnohých okresoch bol charakterizovaný ako veľmi vlhký (východ Liptova, Spiš, Šariš a Zemplín).

Rok **2005** bol suchý na 0 % územia Slovenska, normálny na 18,8 % (na krajnom západe Záhoria, Horehroní a miestami aj na severe Slovenska - Kysuce, Orava) a vlhký na 81,2 %, z toho vlhký na 40,4 %, veľmi vlhký na 38,8 % (najmä na juhu stredného Slovenska, tiež na hornom Považí a na východnom Slovensku) a mimoriadne vlhký na 2 %.

Rok **2006** bol suchý na 41,2 % územia Slovenska, z toho veľmi suchý na 11,4 % najmä na strednom Slovensku (výraznejšie na Zvolensku a Liptove), normálny na 54 % územia na západe a východe krajiny a vlhký na Záhorí (4,8 %).

Rok **2007** bol suchý na 3,2 % (Zvolensko a dolný Zemplín), normálny na 64,8 % a vlhký na 32 % (najmä na dolnom Považí, Podunajsku, hornej Nitre a hornom Považí, v severných okresoch stredného a východného Slovenska (Zamagurie) a v niektorých lokalitách horného Zemplína.

Rok **2008** bol suchý na 10 % územia (severné okresy západného Slovenska), normálny na 61,6 % a vlhký na 28,4 % (južné okresy stredného Slovenska), miestami veľmi vlhký (najmä vo východnej polovici územia).

Rok **2009** bol suchý na 1 % územia Slovenska, normálny na 56 % a vlhký na 43 % najmä na západe Slovenska, kde sa vyskytli aj veľmi vlhké oblasti, ako aj na východe krajiny (výraznejšie na Gemeri a na Zamagurí).

Rok **2010** bol suchý na 0 % územia Slovenska, normálny na 0,4 % a vlhký 99,6 %, z toho vlhký na 1,6 % územia (na strednom Považí a krajnom Zemplíne), veľmi vlhký na 19,6 % (Kysuce, Orava) a veľmi vlhký na 78,4 % ostatného územia Slovenska.

Rok **2011** bol suchý na 88,6 % územia Slovenska, z toho suchý bol na 31,2 % (s výskytom na celom území Slovenska), veľmi suchý na 56,8 % (s výskytom na celom území Slovenska) a mimoriadne suchý na 0,6 % na krajnom juhu západného Slovenska. Normálny bol rok 2011 na 11 % územia, a to na krajnom západe a v časti stredného Slovenska a vlhký len na 0,4 % územia Slovenska.

Rok **2012** bol suchý na 33,8 % územia s výskytom po celom Slovensku (výraznejšie na západe Slovenska, kde sa vyskytovali aj oblasti s charakteristikou roka ako veľmi suchého), normálny na 64 % územia s výskytom na celom Slovensku a vlhký na 2,2 % územia s lokálnym výskytom len na niekoľkých lokalitách (Hont a okolie Košíc).

Rok **2013** bol suchý na 9,4 % územia Slovenska (horné Považie a Kysuce), normálny na 46 % (skôr najmä severná a východná polovica Slovenska) a vlhký na 44,6 % územia Slovenska (najmä v južnej polovici), z toho veľmi vlhký na 19,4 % územia (najmä juh stredného Slovenska, lokálne na Gemeri sa vyskytli oblasti s charakteristikou roka ako mimoriadne vlhkého).

Rok **2014** bol suchý na 1,8 % územia (lokálne len na úplne krajnom východe Slovenska), normálny na 27,2 % Slovenska (v severnej časti západného Slovenska, na Kysuciach, Orave a na veľkej časti Zemplína), vlhký na 71 % územia Slovenska, z toho na 34,8 % ako vlhký rok (v rôznych častiach Slovenska), na 33,4 % ako veľmi vlhký (na rôznych miestach Slovenska) a na 2,8 % ako mimoriadne vlhký (lokálne na Podunajsku, Honte, Poiplí, Gemeri, Spiši a Above).

Rok **2015** bol suchý na 56,4 % územia Slovenska s výskytom na celom území Slovenska, najvýraznejšie vo východnej polovici Slovenska, pričom najmä na východe Slovenska boli celé okresy (Šariš, Zemplín), v ktorých rok 2015 môžeme charakterizovať ako veľmi suchý.

3.2 METODIKA PRÍPRAVY SCENÁROV KLIMATICKEJ ZMENY

3.2.1 Pojem „Klimatická zmena“ a stručný fyzikálny opis

Klimatológia je veda o podnebí Zeme, o súvislostiach a príčinách vzniku a zmien klimatických podmienok, o vplyvoch klímy na objekty činnosti človeka a naopak o vplyve človeka na klímu (tiež o dlhodobom režime počasia - vždy najmenej za 30 rokov, vo vzťahu ku geografickým podmienkam, ekosystémom a k socioekonomickej sfére). Tým sa líši od **meteorológie**, ktorá sa zaoberá prevažne aktuálnym stavom klimatického systému Zeme (KSZ) a prognózou na najbližšie dni. Klimatológia využíva rovnaké údaje ako meteorológia, avšak údaje na klimatologické spracovanie podliehajú detailnejšej kontrole spoľahlivosti, najmä ich časovej homogenity (Lapin a Tomlain, 2001). Pod pojmom KSZ rozumieme procesy a faktory prebiehajúce alebo pôsobiace v subsystémoch KSZ, ktorými sú atmosféra, hydrosféra, kryosféra, litosféra, biosféra a noosféra (Peixoto a Oort, 1992).

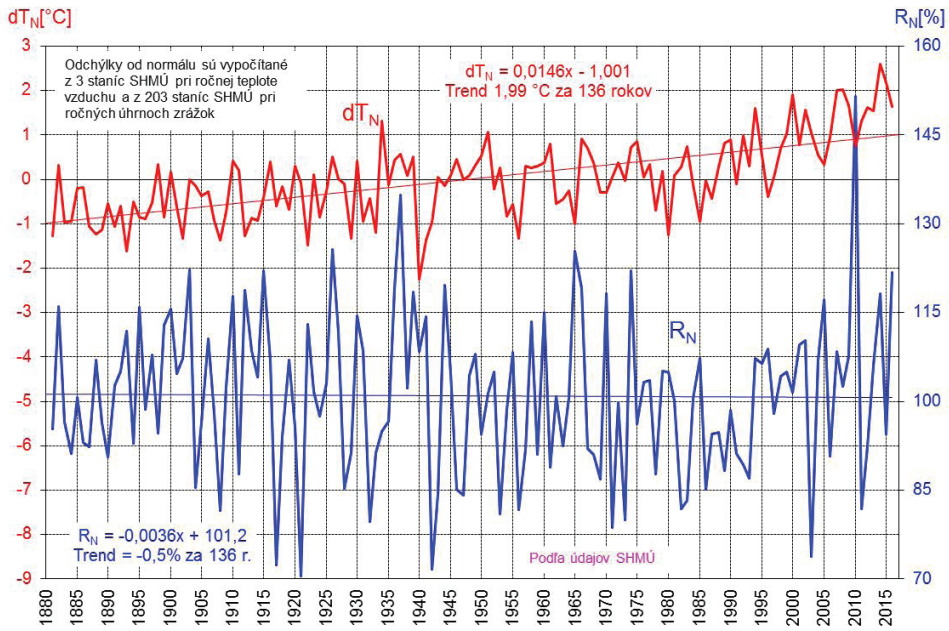
Pod pojmom **zmeny klímy** rozumieme všetky zmeny súvisiace s klímou, teda zmeny najmenej 30-ročných charakteristík klímy. V súčasnosti sa podľa Medzivládneho panelu OSN pre zmenu klímy (IPCC, 1995) takto nazývajú už len zmeny klímy prirodzeného charakteru, teda tie, ktoré sú spôsobené zmenami slnečnej aktivity a inými astronomickými a terestriálnymi faktormi, napríklad sopečnými erupciami, zmenami v cirkulácii vody oceánov, atď.

Pod pojmom **zmena klímy** (klimatická zmena) rozumieme len tú časť zo zmien klímy, ktorú spôsobuje človek vplyvom na skleníkový efekt atmosféry (emisiou skleníkových plynov a aerosólov do atmosféry a zmenou využívania krajiny). Zosilený (tzv. „radiative forcing“) skleníkový efekt atmosféry dosahuje v roku 2017 už zrejme viac ako 2,2 $W.m^{-2}$ a môže sa zvýšiť do roku 2100 aj na viac ako 5 $W.m^{-2}$ (IPCC, 2014). Pod pojmom „**skleníkový efekt atmosféry**“ rozumieme sumu dôsledkov radiačne aktívnych plynov v atmosfére, ktoré absorbujú tepelné vyžarovanie Zeme, zohrievajú tú časť atmosféry kde sa nachádzajú a silnejším spätným vyžarovaním atmosféry menia bilanciu dlhovlnného žiarenia Zeme najmä v pásme vlnovej dĺžky 5 až 50 mikrometrov. Dôležité je okno prakticky bez absorpcie vodnou parou v pásme 8,5 – 12,0 mikrometrov.

Pod pojmom **premenlivosť klímy** rozumieme celý rad klimatických charakteristík vyjadrujúcich fluktuáciu (premenlivosť) v časových radoch klimatických údajov. Klimatické pomery môžeme teda kvantitatívne opísať stredovými, rozptylovými, trendovými a cyklickými štatistickými charakteristikami, pričom kvantily, smerodajná odchýlka a variačný koeficient sú príkladom charakteristík variability alebo premenlivosti klímy. Klimatické charakteristiky môžu mať aj viac-menej pravidelné zmeny, ktoré nazývame **kolísanie klímy.** Prirodzené kolísanie (cyklické zmeny) klimatických charakteristík je dané predovšetkým solárnou klímou (ročný chod, 11-ročný cyklus…), iné cykly súvisia s cykličnosťou niektorých klimatotvorných procesov (napr. asi 2-ročný cyklus QBO, atmosférické alebo oceánické oscilácie vyjadrené indexmi ENSO, ElNiño/LaNiňa, NAO, AO, PDO a radom iných regionálnych indexov cirkulačných oscilácií).

Keď chceme analyzovať možné dôsledky klimatickej zmeny na prírodné prostredie, sociálnu a ekonomickú sféru, tak si musíme predovšetkým zadefinovať také pojmy ako klimatické návrhové charakteristiky (používané najmä v technických aplikáciách) a pravdepodobnosť výskytu určitého nebezpečného alebo škodlivého počasia. Aj prirodzené zmeny klímy a prirodzená premenlivosť klímy sa vyznačujú ojedinelým výskytom takého počasia, ktoré môže mať negatívne dôsledky na prírodné prostredie a objekty činnosti človeka. Ak je klíma stacionárna (30-ročné klimatické charakteristiky nevykazujú významný trend), tak za mimoriadne sa považujú také prípady počasia, ktoré majú menšiu pravdepodobnosť výskytu (sú v priemere zriedkavejšie) ako raz za 50 rokov. Ak je ale klíma nestacionárna (30-ročné charakteristiky vykazujú významný trend), tak môže značne vzrásť počet niektorých mimoriadnych prípadov počasia a rastie preto aj počet a výška súvisiacich škôd. To je práve prípad rýchlej klimatickej zmeny, teda aj rýchleho rastu globálnej, hemisférickej a regionálnej teploty a s tým súvisiacich zmien iných klimatických charakteristík.

Na Slovensku máme celkom kvalitné merania teploty vzduchu a úhrnov zrážok od roku 1881. Viacnásobnými testami sme sa presvedčili, že na získanie obrazu o dlhodobých teplotných pomeroch stačia mesačné priemery teploty vzduchu z 3 staníc (Hurbanovo, Košice - letisko a Liptovský Hrádok) a územných zrážok ako priemer pre celé Slovensko z 203 staníc, ktoré po homogenizačných úpravách teploty (kvôli premiestňovaniu staníc) poskytujú naozaj reprezentatívny obraz o zmenách klímy za posledných 136 rokov (obr. 3.2.1.1).

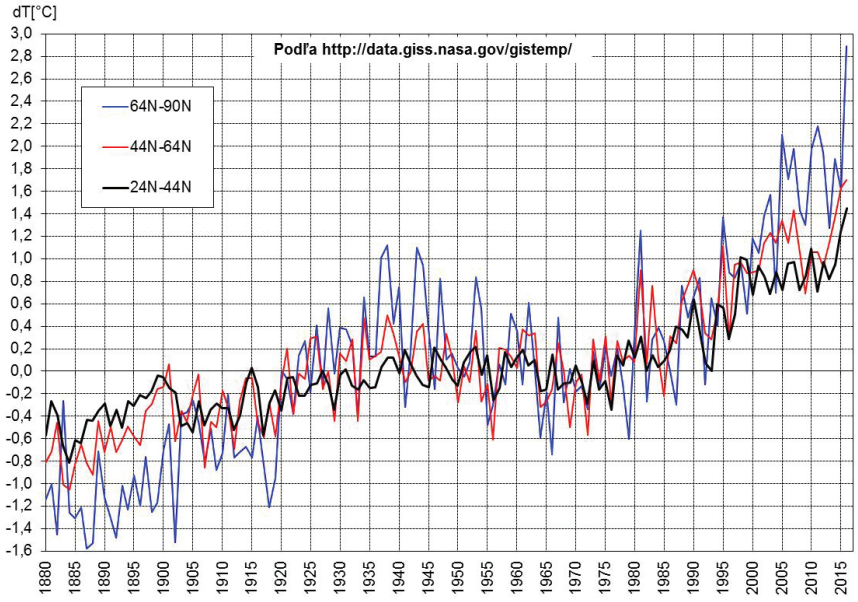


Obr. 3.2.1.1 Odchýlky ročných priemerov teploty vzduchu (dT_N) na Slovensku (priemer zo staníc Hurbanovo, Košice, letisko a Liptovský Hrádok) od dlhodobého priemeru obdobia 1951 – 1980 a odchýlky percenta územných ročných úhrnov zrážok vypočítaných dvojitým váženým priemerom z 203 staníc na Slovensku od dlhodobého priemeru z obdobia 1901 – 1990 (podľa údajov SHMÚ).

Fig. 3.2.1.1 Deviation of annual air temperature averages (dT_N) in Slovakia (average value of the Hurbanovo, Košice, letisko and Liptovský Hrádok stations) comparing to the long-term average of the period 1951 – 1980 and deviations of the areal annual precipitation totals estimated by double weighted average(the 203 stations in Slovakia) comparing to the long-term average of the period 1901 – 1990 (according to SHMÚ data)

Dlhodobé priemery 1951 – 1980 pri teplote vzduchu a 1901 – 1990 pri úhrnoch zrážok sme použili preto, lebo dobre charakterizujú klímu pred výraznejším nástupom klimatickej zmeny (pred rokom 1985). Je vidieť, že trend ročných priemerov teploty vzduchu (aj vo vegetačnom období) je približne 2,0 °C, pričom rovnaný trend je aj od roku 1980. Trend ročných úhrnov zrážok je nevýznamný, hoci od roku 1995 pozorujeme nielen zvyšovanie ročných úhrnov, ale aj zväčšovanie ich premenlivosti. Niektoré iné prvky majú dostatočne dobrú spoľahlivosť iba z Hurbanova od roku 1901 (vlhkosť vzduchu, extrémy teploty, slnečné žiarenie...).

Podľa svetovo uznávaných stredísk je možné spracovať dostatočne spoľahlivé celosvetové a hemisférické priemery teploty vzduchu tiež od roku 1881 (strediská NOAA, NASA, CRU...). Na severnej pologuli boli ale merania pred rokom 1950 nepomerne spoľahlivejšie ako na južnej, preto na obr. 3.2.1.2 uvádzame iba údaje zo severnej pologule (v tropickom pásme sú odchýlky a trend ešte menšie ako v subtropickom pásme severnej pologule). Je vidieť celkom jednoznačne, že Arktída sa otepľuje v posledných desaťročiach podstatne rýchlejšie ako iné podnebné pásma. Je to neklamný dôkaz toho, že zmeny skleníkového efektu atmosféry a zmeny albeda zemského povrchu sú v Arktíde relatívne najväčšie.



Obr. 3.2.1.2 Odchýlky zonálnych priemerov teploty vzduchu (*dT*) v období 1880 – 2016 na severnej pologuli od priemerov z obdobia 1951 – 1980 v subtropickom pásme (24° až 44° na sever od rovníka, čierna čiara), v miernom pásme (44° až 64° na sever od rovníka, červená čiara) a v Arktíde (severne od 64° s.z.š., modrá čiara) podľa strediska GISS (NASA, 2017)

Fig. 3.2.1.2 Deviation of the zone average air temperatures (***dT***) on the northern hemisphere in the period 1880 – 2016 comparing to the average of the period 1951 – 1980 in the sub-tropical zone (24° to 44° to the north of the equator, black line), in the temperate zone (44° to 64° to the north of the equator, red line) and in the Arctic (to the north from the 64° northern latitude, blue line) according to GISS centre (NASA, 2017)

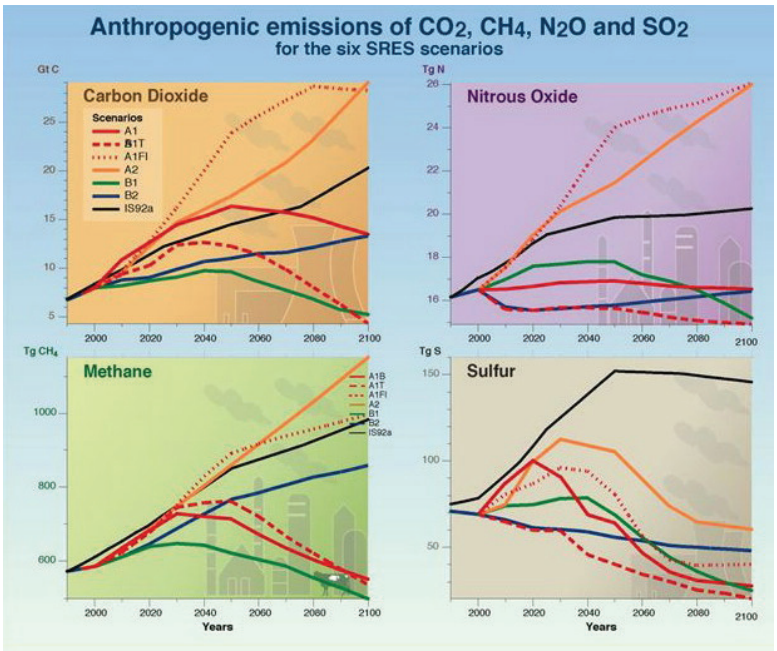
3.2.2 Definícia scenárov klimatickej zmeny a metódy ich prípravy

Pod pojmom scenár klimatickej zmeny rozumieme očakávaný vývoj antropogénne podmienenej zmeny klímy v budúcich desaťročiach za predpokladanej zmeny základných klimatotvorných faktorov ovplyvnených aktivitami človeka na celej Zemi (IPCC, 2007; 2014). Väčšinu prirodzených zmien klímy nedokážeme predvídať s požadovanou spoľahlivosťou. Predovšetkým nemôžeme odhadnúť výskyt významných sopečných erupcií a ani odchýlky v slnečnej aktivite v časovom horizonte dlhšom ako niekoľko rokov. Preto sa v klimatických modeloch predpokladá dlhodobá stabilita prirodzených faktorov, pričom predpokladáme podobnú krátkodobú premenlivosť týchto faktorov ako bola zistená v minulosti. Ako sme už uviedli, prirodzené faktory meniace klímu v časovom horizonte dlhšom ako tisícky rokov nemajú v príprave scenárov zmeny klímy do roku 2100 prakticky žiaden význam.

Z antropogénne podmienených faktorov meniacich klímu v horizonte jedného storočia sú najdôležitejšie tie, ktoré menia radiačné a energetické podmienky na zemskom povrchu a v troposfére, prípadne aj v dolnej stratosfére (do výšky 50 km). Sú to: zmeny koncentrácie skleníkových plynov v atmosfére (najmä vodnej pary, CO_2, CH_4, N_2O, O_3 a halokarbónov), zmeny v koncentrácii a zložení atmosférických aerosólov (najmä síranov, sadzí a prašnosti), zmeny vo využívaní krajiny (najmä odlesnenie, zalesnenie, odvodnenie a zavlaženie rozsiahlych plôch), zmeny v znečistení oceánov, zmeny v snehovej pokrývke a ľadovcoch a niektoré iné, s menším celkovým významom (IPCC, 2007; 2014; Vegetation, Water..., 1992; Lapin a Tomlain, 2001). Tieto zmeny sa dajú odhadnúť aj pre budúce desaťročia z predpokladaného vývoja počtu obyvateľov, generovania a využívania energie, vývoja dopravy, poľnohospodárstva, spotreby vybraných tovarov a niektorých iných odvetví. Nemalý význam pri odhade týchto faktorov má aj uplatnenie vedecko-technických poznatkov a objavov v praxi ako aj legislatívy pri ochrane životného a prírodného prostredia, dôležité sú medzinárodné alebo celosvetové politické rozhodnutia a opatrenia prijaté na celosvetovej úrovni. Dnes nevieme dostatočne presne, ako sa bude ľudstvo ako celok správať v celosvetovom priemere do roku 2100 (obr. 3.2.2.1, IPCC, 2007, 2014).

Pri príprave scenárov klimatickej zmeny hrajú dôležitú úlohu aj ďalšie skutočnosti. V KSZ existujú tzv. rôzne oneskorené spätné väzby, ktoré môžu byť kladné (urýchľujú alebo zväčšujú vplyv prvotného klimatotvorného faktora) a záporné (zmenšujú alebo tlmia vplyv prvotného klimatotvorného faktora). Oneskorenie spätných väzieb môže trvať od niekoľkých dní (napríklad evapotranspirácia a zmeny vlhkosti atmosféry pri zvýšení teploty) do rokov až stoviek rokov (napríklad zmeny v polárnych pevninských ľadovcoch, alebo zmeny vo výmene tepla medzi povrchovými a hlbokomorskými vrstvami), pre viac informácií pozri publikáciu Peixoto a Oort (1992). Všetky uvedené skutočnosti je potrebné zahrnúť do fyzikálnych numerických modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry, ktoré sa stručne nazývajú globálne a regionálne klimatické

modely (GCMs a RCMs). Sú to podobné modely ako sa používajú v synoptickej predpovedi počasia do 15 dní, v tomto prípade sa ale modelové výpočty realizujú od roku 1950 (1900) až po rok 2100 (2200) po jednotlivých dňoch. Modeluje sa teda minulá klíma (kontrolné alebo referenčné obdobie) a budúca klíma (Lapin et al., 2012).



Obr. 3.2.2.1 Emisné scenáre SRES IPCC (2007), vrátane predchádzajúceho stredného scenára IS92a pre hlavné skleníkové plyny (CO_2 v Gt fosílneho uhlíka), CH_4 (v Tg, Mt), N_2O (v Tg dusíka) a síry (v Tg). IPCC (2014) prezentuje aj novšie RCP scenáre, ktoré sú podobné.

Fig. 3.2.2.1 Emission scenarios SRES IPCC (2007), including preceding middle scenario IS92a for major greenhouse gases (CO_2 in Gt of fossil carbon), CH_4 (in Tg, Mt), N_2O (in Tg of nitrogen) and sulphur (in Tg). IPCC (2014) presents also later RCP scenarios, which are similar.

Medzivládny panel pre klimatickú zmenu pri OSN (IPCC) dal vypracovať emisné scenáre šiestim významným vedeckým inštitúciám a tieto boli publikované ako SRES IPCC (2007) a RCP IPCC (2014) scenáre. Odporúča sa použiť pri regionálnej interpretácii klimatickej zmeny aspoň dva alternatívne scenáre. Na Slovensku sme aplikovali v posledných 10 rokoch GCMs a RCMs so 4 emisnými scenármi IPCC (SRES A2, B1, B2 a A1B). Využili sme výstupy GCMs a RCMs z významných a uznávaných centier CCCM (Kanada), ECHAM a MPI (Nemecko), KNMI (Holandsko), pre viac informácií pozri publikácie Lapin a Melo (2004) a Lapin et al. (2012).

Regionálna interpretácia výstupov GCMs a RCMs sa realizuje tzv. downscalingom pri využití meraných údajov v sieti staníc z referenčného a kontrolného obdobia. Štatistický alebo dynamický downscaling umožňuje fyzikálne korektne upraviť výstupy klimatických modelov tak, že sú ich charakteristiky v referenčnom období (zväčša 1961 – 1990) po úprave prakticky zhodné

s tými, ktoré získame z experimentálnych údajov a nezmenia sa pritom pôvodné fyzikálne závislosti medzi premennými v GCMs a RCMs. V kontrolnom období (zväčša 1951 – 2010) sa uvedená zhoda iba potvrdí, pričom predpokladáme, že podobná zhoda sa zachová aj v budúcich obdobiach až do roku 2100 (Lapin a Melo, 2004; Lapin et al., 2012). Budúci vývoj ale dominantne závisí od toho, ktorý emisný scenár sa v skutočnosti naplní a tiež od toho, či budú prirodzené klimatotvorné faktory dlhodobo stacionárne. Štatistickým downscalingom môžeme celkom úspešne pripraviť scenáre základných klimatických prvkov (denné priemery, maximá a minimá teploty vzduchu, denné úhrny zrážok, denné priemery relatívnej vlhkosti vzduchu a denné sumy globálneho žiarenia), pričom sa zachováva aj ich časová premenlivosť.

Metódou analógov a fyzikálnych závislostí môžeme potom z týchto scenárov pripraviť scenáre celého radu ďalších prvkov (zväčša ako mesačné hodnoty). Ide napríklad o potenciálnu a aktuálnu evapotranspiráciu, obsah vlhkosti pôdy vo vrchnej jednometrovej vrstve, priemerný odtok z povodia, snehovú pokrývku, a iné (Lapin a Melo, 2004). Tieto scenáre sa pri prvkoch, ako sú evapotranspirácia, odtok a snehová pokrývka, trochu líšia od výstupov modelov GCMs a RCMs. Uvedené odlišnosti sa najviac prejavia v zmenenej vlahovej zabezpečenosti pôdy na jar a koncom leta (skoršie roztopenie snehovej pokrývky spôsobí urýchlenie nástupu vegetačného obdobia a aj suchšej jarnej sezóny, horúce leto s odlišným režimom zrážok sa tiež prejaví na častejšom výskyte sucha).

V praxi sa už dnes nepoužívajú na prípravu scenárov také metódy ako historické analógy, štatistický generátor počasia a inkrementálna (prírastková) metóda, no môžu sa použiť na testovanie tzv. impaktných modelov, teda na oceňovanie dôsledkov klimatickej zmeny.

Po experimentoch s GCMs CGCM1 a 2, GISS 1995 až 1998, GFDL 1995 (Marečková et al., 1997; Lapin et al., 2001) sme sa rozhodli v roku 2010 pre novú generáciu GCMs a RCMs modelov, ktoré sme vyberali z väčšieho počtu (8+15) modelov v ponuke IPCC. Nakoniec sme sa rozhodli pre 2 modely GCMs (CGCM3.1 – Kanada a ECHAM5 – Nemecko s emisnými scenármi SRES A2, A1B a B1 s rozlíšením asi 250x250 km) a 2 modely RCMs (KNMI – Holandsko a MPI – Nemecko (pri obidvoch boli okrajové podmienky prevzaté z GCM ECHAM5), s emisným scenárom A1B, rozlíšenie 25x25 km. Bližšia charakteristika uvedených modelov je v publikácii Lapina et al. (2012).

3.2.3 Metodika prípravy scenárov klimatickej zmeny z výstupov GCMs a RCMs

Modelové simulácie poskytujú fyzikálne konzistentné výstupy meteorologických veličín v priestore a čase. V súčasnosti najväčším problémom, ktorý najviac prispieva ku chybe výstupov, je nepresnosť na vstupoch. V prípade klimatologických modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs a RCMs) pri simuláciách dlhých niekoľko desaťročí rozhoduje práve kvalita vstupných údajov a použitých scenárov, ktoré ako vieme sú zaťažené veľkými neistotami. Ďalším zdrojom nepresností je priestorové rozlíšenie modelu. Aj v RCMs sa toto rozlíšenie pohybuje v desiatkach kilometrov štvorcových vzhľadom na časovú náročnosť výpočtov. Pri takomto rozlíšení dochádza k zmene tvaru reliéfu, ktorý sa líši od skutočnosti. Pritom tvar reliéfu a jeho vlastnosti sú kľúčové pre fyzikálne interakcie medzi atmosférou a povrchom.

Tieto nepresnosti spôsobujú odchýlky v modelových výstupoch voči reálne nameraným údajom. Pri dlhodobých simuláciách do budúcnosti nemáme možnosť okamžitej kontroly kvality modelových výstupov v období, kedy ešte nemáme dostupné údaje z meraní. Preto volíme referenčné obdobie, dlhé aspoň 30 rokov, kedy máme dostupné aj merané a modelové údaje. Štatistickým porovnaním potom dokážeme vyhodnotiť vhodnosť a kvalitu vybraných klimatologických modelov. V našom prípade sme vybrali RCMs KNMI a MPI, ktorých priestorové rozlíšenie je približne 25x25 km.

Vzhľadom na to, že body merania sú zväčša lokalizované mimo modelovej siete, musíme vhodnou metódou, napr. interpoláciou, získať modelovú hodnotu v bode merania pre potreby ďalšieho štatistického spracovania. Použitá metóda závisí od priestorovej premenlivosti analyzovanej veličiny. Pri teplote vzduchu je rozumné použiť váhovú interpoláciu z okolitých štyroch gridových (uzlových) bodov. Pri úhrnoch zrážok je situácia odlišná, vhodnejšou alternatívou sa javí zobrať najbližší modelový bod k bodu merania, prípadne geograficky najlepšie reprezentujúci uzlový bod polohu danej stanice, vzhľadom na členitosť okolitého terénu, prevládajúceho prúdenia, atď. V nasledujúcom texte uvádzame iba upresnenia metodiky prezentovanej Lapinom et al. (2012), ktoré boli aplikované v rokoch 2015 – 2017.

Modelové a namerané údaje reprezentujú časové rady vybraných meteorologických veličín. Časové rady môžeme rozložiť do troch zložiek - trendovej, sezónnej (cyklickej) a náhodnej. Aby sme dané údaje mohli správne štatisticky spracovať, musíme pri analýze zohľadniť periodické zložky obsiahnuté v časovom rade. Najdôležitejším sezónnym cyklom, vzhľadom na dĺžku našich časových radov, je ročný cyklus. Pri spracovaní premennej $\boldsymbol{X}$, preto aplikujeme na časový rad údajov dva indexy, trendový (index $\boldsymbol{i}$, vyjadruje rok spracovania) a cyklický (index $\boldsymbol{j}$, deň v roku).

Na základe získaných štatistík z meraných a modelových údajov z referenčného obdobia vieme za istých predpokladov upraviť aj modelové údaje v budúcnosti takým spôsobom, aby čo najlepšie vystihovali predpokladané klimatické charakteristiky daného regiónu a tým minimalizovali odchýlky spôsobené nepresnosťami na vstupoch prípadne v modelovej štruktúre rovníc v dôsledku ich zjednodušení.

Štatistické parametre v referenčnom období určujeme v závislosti od typu premennej, pre ktorú sú počítané. Pri výpočtoch sa snažíme:

- nenarušiť fyzikálnu konzistentnosť medzi prvkami,
- minimalizovať rozdiel medzi priemerom modelových výstupov a priemerom meraných údajov v čo najdlhšom sledovanom období,
- minimalizovať rozdielnosť variability modelových a meraných údajov v čo najdlhšom sledovanom období.

Pre premenné s Gaussovým rozdelením hustoty pravdepodobnosti výskytu hodnôt (napr. teplota vzduchu, maximálna a minimálna teplota vzduchu, relatívna vlhkosť vzduchu, krátkovlnný radiačný tok) volíme úpravu štatistického priemeru modelových údajov pomocou korekcie s využitím priemernej odchýlky od meraných údajov vypočítanú pre referenčné obdobie. Vzhľadom na to, že veľkosť chyby sa mení počas roka, v prípade denných údajov počítame priemerné odchýlky pre každý deň v roku. Priemer odchýlok je počítaný pre vybrané referenčné, zväčša 30 ročné obdobie ako:

$$\overline{d_j} = \frac{1}{n_r}\sum_{i=1}^{n_r}\left(x_{i,j}^{s} - x_{i,j}^{m}\right) \quad (3.2.3.1)$$

kde: $\overline{d_j}$ reprezentuje priemernú odchýlku pre daný deň v roku, pričom x^m sú modelové a x^s merané denne údaje. ($j,\ j \in (1,\dots,n_d)$, n_r je počet dní v referenčnom období pre daný deň v roku a n_d je počet dní v jednom roku).

Vzhľadom na zašumenie získaných údajov, volíme nasadenie filtra, 11 dňového kĺzavého priemeru s periodickou okrajovou podmienkou na priemernú dennú odchýlku $\left(\overline{d_j}\right)_{11}^{c}$.

Celková úprava modelových údajov vzhľadom na priemer s využitím korekcie pre priemernú odchýlku (n_f počet rokov, pre ktoré je robená úprava) je daná výrazom:

$$x_{i,j}^{mn} = x_{i,j}^{m} + \left(\overline{d_j}\right)_{11}^{c}, \text{ kde } i \in \left(1,\dots,n_f\right),\ j \in (1,\dots,n_d) \quad (3.2.3.2)$$

Ďalším krokom je korekcia variability modelových údajov. Pri tejto úprave požadujeme, aby neovplyvňovala priemer danej veličiny. Modifikáciu údajov môžeme realizovať pomocou pomeru výberových smerodajných odchýlok modelových a meraných údajov vypočítaných pre referenčné obdobie:

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{n_r - 1}\sum_{i=1}^{n_r}\left(x_{i,j} - \overline{x_j}\right)^2} \quad (3.2.3.3)$$

pričom

$$\overline{x_j} = \frac{1}{n_r}\sum_{i=1}^{n_r} x_{i,j},\ j \in (1,\dots,n_d) \quad (3.2.3.4)$$

kde n_r je počet dní v referenčnom období pre daný deň v roku a n_d je počet dní v jednom roku.

Pre celkovú modifikáciu modelových údajov použijeme spomínaný pomer výberových smerodajných odchýlok a kĺzavý priemer (21 denný) na odstránenie šumu v údajoch:

$$x_{i,j}^{mnf} = \left(x_{i,j}^{mn}\right)_{21}^{c} + \left[x_{i,j}^{mn} - \left(x_{i,j}^{mn}\right)_{21}^{c}\right]\frac{s_j^s}{s_j^m} \quad (3.2.3.5)$$

kde: operátor $(x)_{21}^{c}$ označuje aplikovanie 21 dňového kĺzavého priemeru, pomer $\frac{s_j^s}{s_j^m}$ reprezentuje pomer meranej a modelovej výberovej smerodajnej odchýlky a indexy $i \in \left(1,\dots,n_f\right),\ j \in (1,\dots,n_d)$, $x_{i,j}^{mnf}$ je teraz požadovaný výsledok celkovej adaptácie modelových údajov.

Pre premenné, ktoré nemajú Gaussove rozdelenie hustoty pravdepodobnosti, použijeme len modifikáciu vzhľadom na priemer. Vzhľadom na veľkú šikmosť týchto údajov, modifikáciu na variabilitu nepoužijeme, keďže by mohla ovplyvniť aplikovanú korekciu na priemer.

Ďalší problém, ktorý riešime pri takých údajoch, akými sú zrážky, prípadne vietor, sú rozdielne početnosti nulových zrážok, prípadne dní s bezvetrím. Našou snahou je minimalizovať rozdiel početností týchto dní medzi modelovými a meranými údajmi. Úlohu realizujeme aplikovaním priemernej odchýlky:

$$x_{i,j}^{m0} = x_{i,j}^{m} + d_j^0 \quad (3.2.3.6)$$

kde: $i \in \left(1,\dots,n_f\right),\ j \in (1,\dots,n_d)$.

Všetky negatívne hodnoty pre $x_{i,j}^{m0}$ sa vynulujú, a tým získame novú početnosť pre modelové údaje pre dni bez zrážok, prípadne pre dni s bezvetrím. Týmto spôsobom sme nenarušili fy-

zikálnu konzistentnosť údajov, len sme zreálnili početnosti nulových výskytov medzi modelom a meraním. Modelové výstupy v gridovom bode reprezentujú plochu, v našom prípade v RCMs KNMI a MPI až 25x25 km^2 . Z tohto pohľadu je preto logické prispôsobenie početností, keďže model vzhľadom na plošnú reprezentáciu nadhodnocuje početnosti, najmä pre výskyt nízkych úhrnov zrážok.

Vzhľadom na nezáporné hodnoty údajov, môžeme modifikáciu priemeru realizovať kvocientovou metódou. Výskyt šumu v údajoch eliminujeme použitím 21-denných kĺzavých priemerov. Pre kvocient, daný ako pomer filtrovaných priemerov, máme:

$$\overline{q_j} = \frac{\left(\frac{1}{n_r}\sum_{i=1}^{n_r} x_{i,j}^{s}\right)_{21}^{c}}{\left(\frac{1}{n_r}\sum_{i=1}^{n_r} x_{i,j}^{m0}\right)_{21}^{c}} \qquad (3.2.3.7)$$

kde: $j \in (1, \dots, n_d)$.

Korekciu celého radu modelových údajov na základe vypočítaného kvocientu pre referenčné obdobie teraz realizujeme pomocou vzťahu:

$$x_{i,j}^{m0n} = x_{i,j}^{m0} . \overline{q_j} \qquad (3.2.3.8)$$

kde: $i \in (1, \dots, n_f),\ j \in (1, \dots, n_d)$.

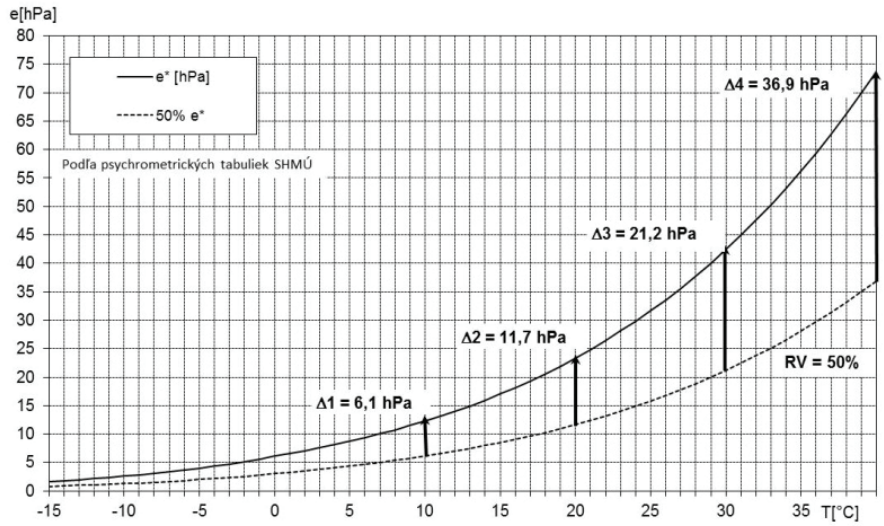
3.2.4 Ďalšie možnosti prípravy scenárov (jednoduché modely, analógy, kombinované metódy)

V meteorológii a klimatológii používame veľké množstvo rôznych klimatických prvkov a ich charakteristík. Súvisí to jednak so zložitosťou KSZ ale aj s variabilnými požiadavkami odborníkov z iných sektorov a odvetví. Je zrejmé, že vo výstupoch klimatických modelov nájdeme v lepšej kvalite iba scenáre základných klimatických prvkov ako sú: denné priemery, maximá a minimá teploty vzduchu, denné priemery vlhkosti vzduchu, rýchlosti vetra, globálneho žiarenia a denné úhrny zrážok. Ostatné prvky sú dosť závislé od typu modelu a od detailnosti použitej orografie, väčšinou majú už horšiu spoľahlivosť v porovnaní s pozorovanou klímou v kontrolnom (referenčnom) období. Máme teda dve možnosti, buď (1) prevezmeme aj menej spoľahlivé scenáre z cirkulačných modelov GCMs a RCMs a štatistickou modifikáciou ich upravíme do vhodného stavu v porovnaní s meranými (pozorovanými) údajmi (môže byť pritom porušená fyzikálna konzistentnosť medzi rôznymi klimatickými prvkami) alebo (2) použijeme jednoduché štatistické a fyzikálne modely na výpočet scenárov požadovaných prvkov zo spoľahlivých výstupov GCMs a RCMs. Druhá možnosť má zaručenú výhodu v tom, že výsledné údajové súbory klimatických scenárov odvodených prvkov budú určite fyzikálne konzistentné. Nevýhodou je ale to, že väčšina takýchto analytických metód sa dá použiť len na mesačné priemery alebo mesačné sumy. Odvodené denné hodnoty takýchto scenárov majú už horšiu spoľahlivosť. Viac detailov o metódach downscalingu výstupov GCMs a RCMs sa môžeme dočítať v IPCC (2007 a 2014) a Lapin et al. (2012).

V ďalšom texte uvedieme podrobnejšie dve metódy prípravy scenárov potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie a charakteristík snehovej pokrývky na základe využitia modifikovaných vý-

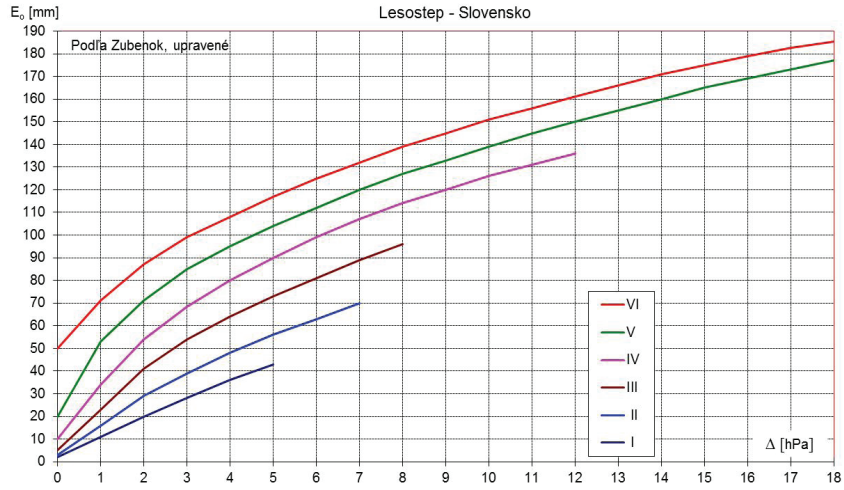
stupov teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu a zrážok ako spoľahlivejších prvkov scenárov klimatickej zmeny.

Najjednoduchšie je usudzovať o možnej mesačnej sume potenciálnej evapotranspirácie (E_o) na základe vyhodnotenia sýtostného doplnku $e^* - e = \Delta$, teda rozdielu medzi tlakom vodnej pary v stave nasýtenia (e^*) pri teplote vzduchu meranej v meteorologickej búdke a tlaku vodnej pary podľa psychrometrického rozdielu v meteorologickej búdke (e, vo výške 2 m nad prirodzeným krátko strihaným trávnikom s horizontálnou plochou). Pod pojmom potenciálna evapotranspirácia rozumieme maximálny možný výpar a transpiráciu rastlín za daných meteorologických podmienok, ak voda nie je limitujúcim faktorom. V skutočnosti závisí potenciálna evapotranspirácia aj od disponibilnej energie na výpar z aktívneho povrchu (celková radiačná bilancia), lebo sa táto energia spotrebuje ako skupenské teplo výparu a turbulentného prenosu vodnej pary od vyparujúceho sa povrchu smerom nahor. Navyše môže E_o môže byť ovplyvňované aj transpiračnou schopnosťou rastlín. V metodike podľa Zubenok (1976) sa daná úloha riešila tak, že sa pre jednotlivé geobotanické zóny odvodili regresné krivky závislosti E_o od Δ pre každý mesiac zvlášť, čiže energia na výpar a turbulentný prenos sa „skryli" v nejakých univerzálnych koeficientoch (obr. 3.2.4.1 a 3.2.4.2).



Obr. 3.2.4.1 Závislosť tlaku vodnej pary v atmosfére od teploty vzduchu (T) nad rovinnou vodnou plochou v stave nasýtenia (e^*) a pri 50 % relatívnej vlhkosti vzduchu (RV = 50 %), plné šípky označujú veľkosť sýtostného doplnku (Δ), ktorý sa zvyšuje s rastúcou T

Fig. 3.2.4.1 Dependency of water vapour pressure on air temperature (T) over a planar water area in the saturation state (e^*) and at 50 % of relative air humidity (RV = 50 %), full arrows show size of the saturation deficit (Δ), which increases with the increasing T



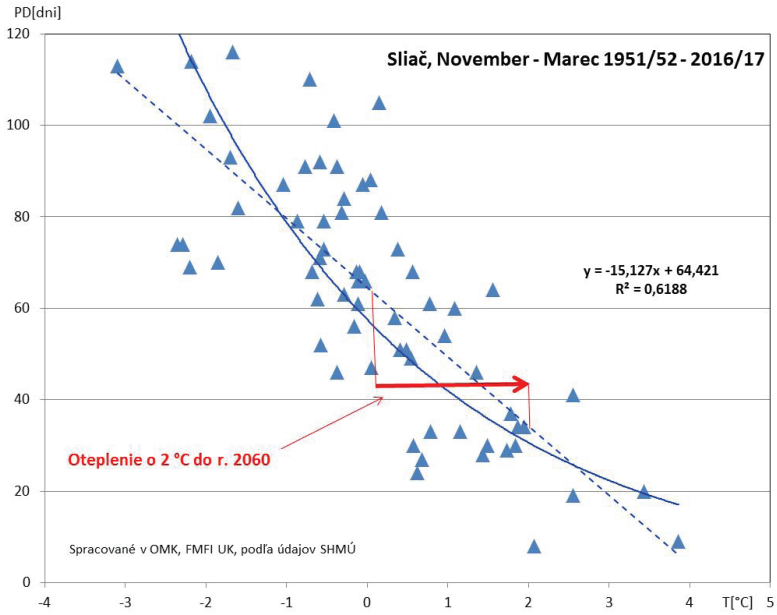
Obr. 3.2.4.2 Nomogram na výpočet mesačných súm potenciálnej evapotranspirácie (E_o) v závislosti od sýtostného doplnku (Δ) pre geobotanickú zónu lesostep (Zubenok, 1976), podobné nomogramy boli odvodené aj pre iné geobotanické zóny, v mesiacoch júl až december sú podobné krivky s klesajúcimi sumami E_o)

Fig. 3.2.4.2 Nomogram for calculation of the monthly totals of potential evpotranspiration (E_o) in dependence on saturation deficit (Δ) for geobotanic zone forest-steppe (Zubenok, 1976), similar monograms were derived also for other geobotanic zones, in months July to December, the curves are similar with the decreasing E_o totals)

Napriek tomu je táto metóda pomerne spoľahlivá, ako sa dá posúdiť porovnaním s inými podobnými metódami výpočtu. Určitým nedostatkom je použitie sýtostného doplnku vzhľadom k teplote meranej v meteorologickej búdke a nie k teplote vyparujúceho sa povrchu trávnika. To trochu nadhodnocuje E_o v zimných mesiacoch a len nepatrne podhodnocuje E_o v letných mesiacoch. Výhodou je ale možnosť použitia výstupov teploty vzduchu a vlhkosti vzduchu z modelov GCMs a RCMs, ktoré sa považujú za najspoľahlivejšie.

Snehové pomery dobre opisujú najmä tieto 3 charakteristiky snehovej pokrývky: (1) suma denných výšok novej snehovej pokrývky za jednotlivé mesiace v cm (SNS); (2) počet dní so snehovou pokrývkou ≥1 cm (PD) a (3) suma denných výšok celkovej snehovej pokrývky za jednotlivé mesiace v cm (SDV). Z nich sa dá potom vypočítať aj priemerná výška snehovej pokrývky v dňoch so snehovou pokrývkou za jednotlivé mesiace alebo celú zimu.

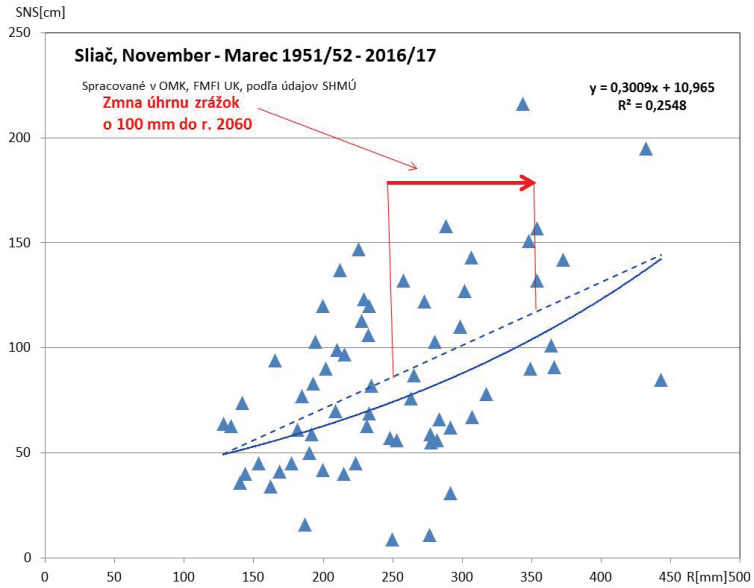
Analýzou meraných hodnôt meteorologických prvkov, ktorými boli priemerná teplota vzduchu a úhrn zrážok za jednotlivé mesiace alebo celé zimy a uvedených troch charakteristík snehovej pokrývky sme zistili, že existuje dosť vysoká korelácia zmien mesačných a sezónnych priemerov teploty vzduchu o 1 až 2 °C a zmien charakteristík snehovej pokrývky na strane jednej a dobrá až menej významná korelácia vzťahu úhrnov zrážok a charakteristík snehovej pokrývky ako vidíme z obr. 3.2.4.3 a 3.2.4.4.



Obr. 3.2.4.3 Závislosť počtu dní so snehovou pokrývkou (***PD***) od priemerov teploty vzduchu (***T***) v sezóne XI – III na stanici Sliač, letisko, vrátane scenára pri oteplení o 2 °C

Fig. 3.2.4.3 Dependency of the number of days with the snow cover (***PD***) on average air temperatures (***T***) in the XI – III season at Sliač, letisko, including the scenario with 2 °C warming

V praxi to môžeme vyjadriť asi tak, že závislosť snehovej pokrývky od teploty vzduchu je na celom území Slovenska významná (na hladine významnosti $\alpha = 0{,}1$) až veľmi významná (na hladine významnosti $\alpha = 0{,}01$), kým závislosť od úhrnov zrážok je významná (na hladine významnosti $\alpha = 0{,}1$) až nevýznamná. Keďže zmeny teploty vzduchu sa podieľajú na zmenách snehovej pokrývky asi 10-krát viac ako zmeny úhrnov zrážok, tak horšiu významnosť vplyvu zmien úhrnov zrážok môžeme zanedbať a scenáre zmien charakteristík snehovej pokrývky môžeme považovať za vcelku spoľahlivé na väčšine územia Slovenska. Je zrejmé, že najväčšiu „úspešnosť" má táto metóda prípravy scenárov tam, kde sa budú meniť mesačné priemery teploty vzduchu z hodnôt okolo -3 °C na hodnoty okolo 0 °C. Oteplenie z mesačných priemerov okolo -8 °C na -5 °C sa vôbec nemusí prejaviť na znížení snehových charakteristík, lebo súčasne sa väčšinou zvýšia úhrny zrážok a množstvo snehu sa môže s otepľovaním klímy aj zvyšovať. Oteplenie o 1 °C znamená pri teplote -10 °C prírastok množstva vodnej pary v stave nasýtenia o 10 %, o približne toľko zvyšuje aj úhrn zrážok za rovnaký čas (pri teplote pod bodom mrazu ide skoro vždy o sneženie). Analýza meraných tuhých zrážok a priemernej teploty vzduchu ukázala, že pri denných priemeroch teploty vzduchu nižších ako +2 °C už začínajú prevládať tuhé zrážky (nemusí sa ale pri tom vytvoriť snehová pokrývka).



Obr. 3.2.4.4 Závislosť sumy novej snehovej pokrývky (***SNS***) od úhrnov zrážok (***R***) v sezóne XI – III na stanici Sliač, letisko, vrátane scenára pri zvýšení úhrnov zrážok za sezónu o 100 mm

Fig. 3.2.4.4 Dependency of the new snow (***SNS***) on precipitation totals (***R***) in the XI – III season at Sliač, letisko, including the scenario with 100 mm precipitation totals increase per season

Keď už máme k dispozícii scenáre mesačných hodnôt teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, úhrnov zrážok a počtu dní so snehovou pokrývkou, môžeme sa odhodlať aj k príprave scenárov potenciálnej (E_o) a aktuálnej (E) evapotranspirácie pomocou komplexnej metódy (Budyko 1974) adaptovanej na podmienky Slovenska Tomlainom (1980).

$E_o = \rho D.(s^\star - s)$ - Budyko, $s^\star$ je merná vlhkosť vzduchu v stave nasýtenia pri teplote vyparujúceho sa povrchu a s merná vlhkosť vzduchu vo výške 2 m, kde D je integrálny koeficient difúzie (okolo 0,2, pričom je rozdielny pre podmienky nad snehovou pokrývkou, nad holou pôdou a nad trávnikom) a ρ je konštanta.

Vo výpočtoch E sa podľa komplexnej Budykovej metódy upravenej Tomlainom (Gera et al., 2011) berie do úvahy vlhkosť pôdy v hornej 1-metrovej vrstve (W), pričom sa tok vlhkosti do pôdy a z pôdy zjednodušene počíta z úhrnov zrážok, snehovej pokrývky a ročného chodu teploty vzduchu postupne po mesiacoch. Výpočet sa stabilizuje po asi 6 mesiacoch od začiatku výpočtov (P sú mesačné alebo ročné úhrny zrážok).

Označme si skutočnú priemernú vlhkosť pôdy $\overline{W}$ a kritickú vlhkosť v danom období roka W_o, t je v tomto prípade teplota vzduchu v °C. Ak teda $\overline{W} \geq W_o$, potom $E = E_0$ a ak $\overline{W} < W_o$, potom $E = E_0 \frac{\overline{W}}{W_0}$. Hodnoty W_o závisia od vývojovej fázy rastlinstva a ročného chodu teploty vzduchu.

Ak pre ročné úhrny platí $\frac{E_o}{P} < 1{,}3$, potom na jar, pokiaľ priemerná mesačná teplota vzduchu je

menšia ako 10 °C máme W_o = 200 mm. V prvom mesiaci s $t \geq 10^oC$ W_o = 170 mm a v ďalších mesiacoch W_o = 150 mm. Na jeseň pri poklese t < 3 °C W_o rastie na W_o = 170 mm a ďalší mesiac s kladnou teplotou opäť nadobúda hodnotu W_o = 200 mm.

Ak pre ročné úhrny platí $\frac{E_o}{P} \geq 1{,}3$, potom druhý mesiac s t > 10 °C W_o = 120 mm a ďalšie mesiace na hodnotu W_o = 100 mm. Na jeseň pri poklese teploty t < 3 °C W_o = 120 mm a ďalší mesiac s kladnou teplotou W_o = 170 mm.

Vidíme, že W_o sa mení počas roka. V počiatočnej fáze vývoja rastlín, kedy koreňový systém je nedostatočne rozvinutý a sústredený v najvyššie ležiacej vrstve pôdy, vysychanie najvyššieho pôdneho horizontu vedie k intenzívnemu zmenšovaniu evapotranspirácie bez ohľadu na vlhkosť pôdy celej 1 m hrubej povrchovej vrstvy pôdy. V tomto prípade skutočný výpar sa bude rovnať potenciálnemu pri väčších hodnotách vlhkosti. Podobne aj na jeseň W_o je väčšie ako vo vegetačnom období, kedy rastliny čerpajú vodu koreňovým systémom z väčších hĺbok. Čo je však podstatné, pomer $\frac{\overline{W}}{W_o}$ sa mení relatívne málo pre dostatočne veľký interval hodnôt W_o. Analýza ukázala, že rozdiely medzi ročnými úhrnmi evapotranspirácie stanovenými pre rôzne hodnoty W_o neprevyšujú 3 %, t.j. chybný údaj W_o nevedie k podstatným chybám v určovaní evapotranspirácie.

Hodnoty kritickej vlhkosti pôdy môžeme stanoviť zo vzťahu $E = E_o \frac{\overline{W}}{W_o}$, ak poznáme E_o a hodnoty E si určíme z rovnice vodnej bilancie pri známych hodnotách odtoku, vlhkosti pôdy a atmosférických zrážok.

Priemernú vlhkosť pôdy $\overline{W} = \frac{W_1 + W_2}{2}$ určujeme z rovnice vodnej bilancie metódou postupných priblížení (O je tu odtok):

$$P = E + O + W_2 - W_1, \tag{3.2.4.1}$$

kde $(W_2 - W_1)$ je zmena vlhkosti pôdy v najvyššie ležiacej 1 m hrubej vrstve pôdy (W_1 je vlhkosť pôdy na začiatku a W_2 na konci uvažovaného časového intervalu).

Pre mesačné hodnoty odtoku bola aplikovaná nasledovná parametrizácia:

pre $P \geq E_o$
$$O = \frac{\overline{W}}{W_k} P \sqrt{\alpha^2 \left[1 - \left(1 - \frac{E_o}{P}\right)^2\right] + \left(1 - \frac{E_o}{P}\right)^2}, \tag{3.2.4.2}$$

pre $P < E_o$
$$O = \alpha P \frac{\overline{W}}{W_k}. \tag{3.2.4.3}$$

W_k je najväčšia hodnota W_o počas roka (najväčší obsah vody v pôde, ktorý sa môže udržať v najvyššom horizonte pôdy bez kontaktu s podzemnou vodou). α je tu koeficient úmernosti, ktorý závisí od intenzity zrážok. Pre naše podmienky, ak P je ročný úhrn zrážok, hodnoty α sú nasledovné:

$\alpha = 0{,}2$, ak $P \leq 760 mm$;

$\alpha = 0{,}3$, ak $760 < P \leq 960 mm$;

$\alpha = 0{,}4$, ak $P > 960$ mm.

Rovnice pre mesačné hodnoty odtoku boli zostavené na základe týchto predpokladov: ak mesačný úhrn potenciálnej evapotranspirácie E_o je väčší ako mesačný úhrn zrážok P, potom koeficient odtoku je úmerný vlhkosti pôdy. Odtok sa rovná nule pri úplne suchej pôde a dosahuje maximum pri $\frac{\overline{W}}{W_k} = 1$.

Výpočet vlhkosti pôdy robíme pre mesiace s kladnými priemermi teploty vzduchu. Model predpokladá, že oscilácie vlhkosti pôdy v priebehu roka závisia predovšetkým od úhrnov zrážok a potenciálnej evapotranspirácie a aj od ich rozloženia počas roka.

Pri určovaní W_2 za prvý jarný mesiac s kladnou priemernou teplotou vzduchu sa k úhrnom zrážok tohto mesiaca pripočítajú úhrny zrážok za predchádzajúce mesiace so zápornou priemernou teplotou vzduchu zmenšené o mesačné sumy potenciálnej evapotranspirácie. Správnosť postupu pri určovaní vlhkosti pôdy a evapotranspirácie za jednotlivé mesiace kontrolujeme rovnicou vodnej bilancie za rok *($P = E + O$)*.

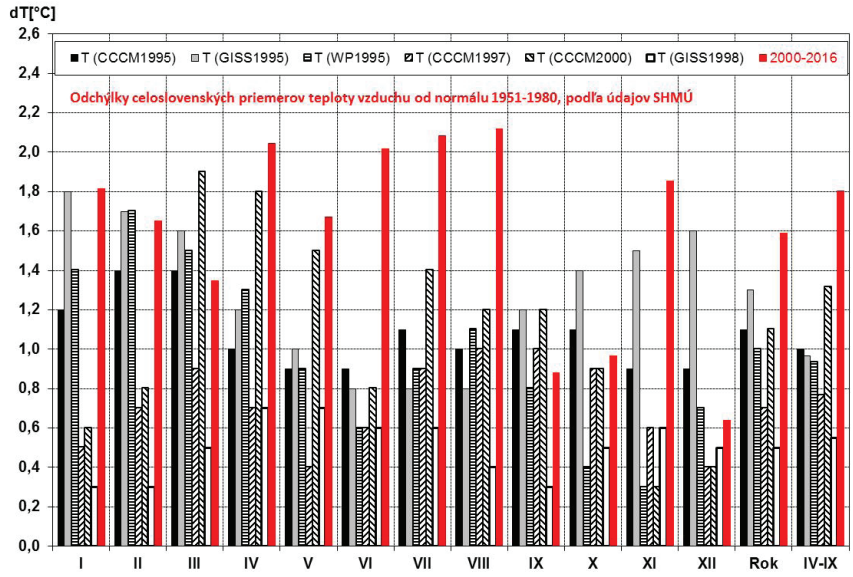
Je zrejmé, že príprava scenárov zložiek hydrologickej bilancie je zložitá aj v prípade štandardného povrchu – rovinný nízko strihaný trávnik na meteorologickej stanici. Takéto údaje E_o, E a W môžu významne pomôcť pri výpočtoch hydrologickej bilancie v zložitejších podmienkach povodí (iný aktívny povrch, iný sklon terénu, iná hĺbka koreňového systému, zatiaľ iba v režime mesačných hodnôt). Zložitejšie podmienky hydrologickej bilancie aktívneho povrchu komplexných povodí vedú aj k zložitejšiemu mechanizmu doplňovania a ovplyvňovania podzemnej vody vo vrchnom horizonte. V prípade analýzy režimu denných hodnôt hydrologickej bilancie (vrátane podzemnej vody vo vrchnom horizonte) je potrebné prijať rad zjednodušujúcich predpokladov, pretože nemáme dostatok vstupných údajov na také výpočty. Napriek tomu môžeme na základe denných hodnôt sýtostného doplnku (Δ) približne vypočítať denné sumy E_o, ak máme k dispozícii spoľahlivé mesačné sumy E_o (v nasledujúcej podkapitole 3.3 uvádzame príklad takého výpočtu).

3.3 SCENÁRE DENNÝCH AŽ SEZÓNNYCH CHARAKTERISTÍK KLIMATICKÝCH PRVKOV DO ROKU 2100

3.3.1 Stručný prehľad scenárov klimatickej zmeny doteraz pripravených na Slovensku a predbežné vyhodnotenie ich úspešnosti

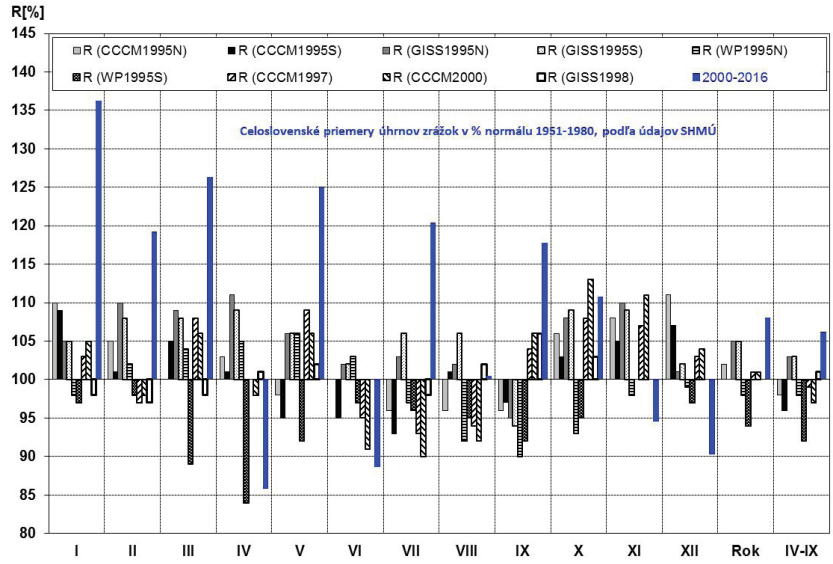
V období 1993 – 1997 a potom v období 1999 – 2004 boli pripravené viaceré už historické verzie scenárov klimatickej zmeny pre Slovensko, všetko len pre mesačné priemery v časových horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075 (Marečková et al., 1997; Lapin a Melo, 2004). Po roku 2000 boli pripravené aj prvé scenáre ako časové rady mesačných priemerov teploty vzduchu, úhrnov

zrážok, vlhkosti vzduchu a globálneho žiarenia. Prvé scenáre boli pripravené jednak metódou analógov (podľa relatívne teplých období – WPT, WPR, alebo korelačno-regresnou metódou), ale už od roku 1995 aj metódou štatistickej adaptácie výstupov modelov všeobecnej cirkulácie atmosféry (GCMs GISS-1995 a GISS-1998, CCCM-1995 a CCCM-2000). Vzhľadom na to, že sa tieto scenáre používajú doteraz v niektorých impaktových štúdiách, uvádzame ich vyhodnotenie v časovom horizonte 2010, pričom sme ako merané údaje použili obdobie 2000 – 2016. Je zrejmé, že ide o krátke verifikačné obdobie, navyše nemá stred v roku 2010. Aj tak ale poskytuje zaujímavú informáciu o prebiehajúcej klimatickej zmene na Slovensku. Odchýlky mesačných, ročných a sezónnych priemerov teploty vzduchu (***dT***) na Slovensku od normálu 1951 – 1980 pre 6 scenárov klimatickej zmeny spracovaných v období 1995 – 2000 a časový horizont roku 2010 a verifikácia scenárov podľa meraných priemerov teploty vzduchu v období 2000 – 2016 sú na obr. 3.3.1.1, percentá mesačných, ročných a sezónnych priemerov úhrnov zrážok (***R***) na Slovensku v porovnaní s normálom 1951 – 1980 pre 9 scenárov klimatickej zmeny spracovaných v období 1995 – 2000 a časový horizont roku 2010, verifikácia scenárov podľa meraných priemerov úhrnov zrážok v období 2000 – 2016 sú na obr. 3.3.1.2.



Obr. 3.3.1.1 Odchýlky mesačných, ročných a sezónnych priemerov teploty vzduchu (***dT***) na Slovensku od normálu 1951 – 1980 pre 6 scenárov klimatickej zmeny spracovaných v období 1995 – 2000 a časový horizont roku 2010, verifikácia scenárov podľa meraných priemerov teploty vzduchu v období 2000 – 2016 (CCCM a GISS sú scenáre podľa výstupov GCM z Kanady, resp. USA, WP je scenár na základe analýzy relatívne teplých období, IV – IX je teplý polrok)

Fig. 3.3.1.1 Deviation of monthly, annual and seasonal averages of the air temperature (***dT***) in Slovakia comparing to the 1951 – 1980 normal value for six scenarios of the climate change elaborated in the period 1995 – 2000 and temporal horizon of 2010, verification of scenarios according to measured air temperature averages in the period 2000 – 2016 (CCCM and GISS are scenarios according to GCM from Canada and USA, respectively, WP is a scenario based on analysis of relatively warm periods, IV – IX is a warm half-year)



Obr. 3.3.1.2 Percentá mesačných, ročných a sezónnych priemerov úhrnov zrážok (***R***) na Slovensku v porovnaní s normálom 1951 – 1980 pre 9 scenárov klimatickej zmeny spracovaných v období 1995 – 2000 a časový horizont roku 2010, verifikácia scenárov podľa meraných priemerov úhrnov zrážok v období 2000 – 2016 (CCCM a GISS sú scenáre podľa výstupov GCMs z Kanady, resp. USA, WP je scenár na základe analýzy relatívne teplých období, S a N je scenár pre južnú a severnú polovicu Slovenska, IV – IX je teplý polrok)

Fig. 3.3.1.2 Deviation of monthly, annual and seasonal averages of the precipitation totals (***R***) in Slovakia comparing to the 1951 – 1980 normal value for nine scenarios of the climate change elaborated in the period 1995 – 2000 and temporal horizon of 2010, verification of scenarios according to measured precipitation totals averages in the period 2000 – 2016 (CCCM and GISS are scenarios according to GCMs from Canada and USA, respectively, WP is a scenario based on analysis of relatively warm periods, S and N is a scenario for the southern and the northern half of Slovakia, IV – IX is a warm half-year)

Z vyhodnotenia scenárov teploty vzduchu (obr. 3.3.1.1) je zrejmé, že napriek krátkemu verifikačnému obdobiu 2000 – 2016, je terajšie otepľovanie klímy na Slovensku výraznejšie ako predpokladali všetky scenáre. Platí to predovšetkým pre mesiace apríl až august. Obdobie 2000 – 2020 bude mať zrejme ešte väčšiu kladnú odchýlku. Skutočné úhrny zrážok boli podstatne vyššie ako všetky scenáre v období 2000 – 2016 v mesiacoch január, marec, máj, júl a september (obr. 3.3.1.2). Naopak, prekvapujúco nižšie boli v decembri (17-ročné obdobie je ale na hodnotenie zrážkových pomerov príliš krátke, ovplyvnil to aj extrémne daždivý rok 2010 a rad vysokých alebo nízkych mesačných úhrnov v rôznych mesiacoch).

Od roku 2009 sme využili na spracovanie scenárov klimatickej zmeny novšie výstupy modelov GCMs (CGCM3.1 a ECHAM5) a RCMs (KNMI a MPI). Scenáre zmien dôležitých klimatických prvkov pre odlišné časové horizonty sú v tabuľkách (tab. 3.3.1.1 – 3.3.1.5). V tab. 3.3.1.1 – 3.3.1.5 sú v 1. riadku hodnoty meraných údajov: ***T*** – mesačné a ročný priemer teploty

vzduchu v °C, scenáre sú odchýlky v °C, $\boldsymbol{R}$ – mesačné a ročný priemer úhrnov zrážok v mm, $\boldsymbol{R_M}$ – mesačné a sezónne maximá denných úhrnov zrážok (Mea – priemer, Max – maximum) v mm, scenáre sú ako kvocienty, $\boldsymbol{\Delta}$ – mesačné a ročný priemer sýtostného doplnku v hPa, scenáre sú odchýlky v hPa, $\boldsymbol{E_o}$ – mesačné a ročný priemer potenciálnej evapotranspirácie podľa metodiky Zubenok a scenáre $\boldsymbol{E_o}$ v mm, A2, B1, A1B emisné scenáre SRES IPCC, scenáre majú ročný chod mierne hladený formulou $X = X_{i-1} + 2X_i + X_{i+1})/4$ (okrem $\boldsymbol{R_M}$)). Na tomto mieste uvádzame iba scenáre pre Hurbanovo, ktoré sú vypočítané na základe štatistickej modifikácie (downscaling) podľa najbližších uzlových bodov, pri zrážkach len podľa jedného blízkeho charakteristického uzlového bodu.

Tab. 3.3.1.1 Scenáre klimatickej zmeny pre teplotu vzduchu $\boldsymbol{T}$ v Hurbanove pre 50-ročný časový horizont so stredom v roku 2075 podľa 4 modelov a 3 emisných scenárov v porovnaní s dlhodobým priemerom 1961 – 1990

Tab. 3.3.1.1 Scenarios of the climate change for air temperature $\boldsymbol{T}$ at Hurbanovo for 50-year time horizon with the middle in 2075 according to four models and three emission scenarios in comparison with the long-term average 1961 – 1990

Hurbanovo $\boldsymbol{T}$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
1961-1990	-1,52	0,95	5,35	10,66	15,65	18,69	20,25	19,48	15,48	10,20	4,69	0,37	10,02
KNMI A1B	3,13	3,07	2,60	2,28	2,58	3,10	3,30	3,08	2,83	2,68	2,52	2,75	2,83
MPI A1B	3,40	3,24	2,60	1,96	1,91	2,33	2,88	3,39	3,47	3,18	2,92	3,07	2,86
CGCM3.1 A2	3,84	4,18	4,34	4,15	3,32	2,75	2,91	3,37	3,54	3,50	3,44	3,44	3,56
CGCM3.1 A1B	3,10	3,41	3,49	3,37	2,97	2,65	2,70	3,00	2,98	2,75	2,62	2,67	2,97
CGCM3.1 B1	2,88	3,08	2,95	2,67	2,15	1,69	1,48	1,66	2,05	2,23	2,22	2,40	2,29
ECHAM5 A2	3,78	3,89	3,56	3,10	2,90	3,43	4,37	4,72	4,42	3,70	3,03	3,22	3,68
ECHAM5 B1	3,12	2,94	2,47	2,09	2,04	2,58	3,22	3,54	3,50	3,01	2,51	2,70	2,81

Tab. 3.3.1.2 Scenáre klimatickej zmeny pre mesačné a ročný priemer úhrnov zrážok $\boldsymbol{R}$ v Hurbanove pre 50-ročný časový horizont so stredom v roku 2075 podľa 4 modelov a 3 emisných scenárov v porovnaní s dlhodobým priemerom 1961 – 1990

Tab. 3.3.1.2 Scenarios of the climate change for monthly and annual average of precipitation totals $\boldsymbol{R}$ at Hurbanovo for 50-year time horizon with the middle in 2075 according to four models and three emission scenarios in comparison with the long-term average 1961 – 1990

Hurbanovo $\boldsymbol{R}$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
1961-1990	34,0	34,1	26,6	38,9	55,7	60,9	50,7	57,7	38,9	32,2	53,8	39,8	523,4
KNMI A1B	1,28	1,23	1,08	1,07	1,09	0,90	0,76	0,93	1,18	1,24	1,22	1,24	1,08
MPI A1B	1,27	1,30	1,23	1,07	0,92	0,86	0,82	0,87	1,12	1,27	1,24	1,23	1,05
CGCM3.1 A2	1,56	1,52	1,57	1,48	1,31	1,19	1,01	0,95	1,12	1,32	1,45	1,56	1,30
CGCM3.1 A1B	1,40	1,36	1,42	1,43	1,31	1,19	1,07	0,94	0,93	1,11	1,35	1,43	1,32
CGCM3.1 B1	1,39	1,35	1,38	1,37	1,29	1,18	1,07	1,13	1,27	1,31	1,31	1,37	1,26
ECHAM5 A2	1,39	1,21	0,92	0,86	0,98	0,81	0,67	0,81	1,03	1,13	1,25	1,42	1,01
ECHAM5 B1	1,36	1,20	0,93	0,85	0,97	0,90	0,76	0,82	0,99	1,06	1,12	1,29	1,00

Tab. 3.3.1.3 Scenáre klimatickej zmeny pre mesačné a sezónne maximá denných úhrnov zrážok $\boldsymbol{R_M}$ v Hurbanove pre 50-ročný časový horizont so stredom v roku 2075 podľa 4 modelov a 3 emisných scenárov v porovnaní s dlhodobým priemerom 1961 – 1990

Tab. 3.3.1.3 Scenarios of the climate change for monthly and seasonal maxima of daily precipitation totals $\boldsymbol{R_M}$ at Hurbanovo for 50-year time horizon with the middle in 2075 according to four models and three emission scenarios in comparison with the long-term average 1961 – 1990

Hurbanovo $\boldsymbol{R_M}$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	IV-IX
1951-2016 Mea	10,9	10,6	9,1	13,6	17,4	21,9	22,2	19,8	16,9	13,9	15,4	12,7	35,5
1951-2016 Max	31,0	42,0	29,4	44,7	45,5	77,7	81,8	90,2	49,6	47,0	42,6	36,6	90,2
KNMI A1B	1,16	1,28	1,13	1,06	1,65	1,05	0,66	0,95	1,43	1,12	1,25	1,22	1,08
MPI A1B	1,17	1,65	1,22	1,20	0,75	1,17	0,95	0,92	1,04	1,34	1,27	1,34	0,99
CGCM3.1 A2	1,29	1,31	1,68	1,35	1,02	1,19	0,83	0,79	1,48	1,26	1,30	1,34	1,08
CGCM3.1 A1B	1,33	1,30	1,35	1,39	1,10	1,33	1,04	0,92	1,07	1,12	1,40	1,24	1,13
CGCM3.1 B1	1,34	1,04	1,63	1,21	1,36	1,18	0,88	1,09	1,58	1,09	1,39	1,14	1,20
ECHAM5 A2	1,12	1,43	0,89	0,78	1,53	0,86	0,83	1,02	1,07	1,23	1,23	1,63	1,01
ECHAM5 B1	1,24	1,30	0,96	0,71	1,34	0,95	0,85	0,91	1,02	1,03	1,22	1,37	0,96

Tab. 3.3.1.4 Scenáre klimatickej zmeny pre mesačné a ročný priemer sýtostného doplnku $\boldsymbol{\Delta}$ v Hurbanove pre 50-ročný časový horizont so stredom v roku 2075 podľa 4 modelov a 3 emisných scenárov v porovnaní s dlhodobým priemerom 1961 – 1990

Tab. 3.3.1.4 Scenarios of the climate change for monthly and annual average of the saturation deficit $\boldsymbol{\Delta}$ at Hurbanovo for 50-year time horizon with the middle in 2075 according to four models and three emission scenarios in comparison with the long-term average 1961 – 1990

Hurbanovo Δ	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
1961-1990	0,95	1,37	2,74	4,76	6,32	7,23	8,48	7,35	4,73	3,05	1,59	1,00	4,13
KNMI A1B	0,29	0,37	0,69	0,94	1,91	2,47	3,48	2,43	1,10	0,54	0,28	0,20	1,23
MPI A1B	0,69	0,69	0,74	0,56	0,49	1,40	1,81	3,31	1,95	0,83	0,53	0,49	1,12
CGCM3.1 A2	0,05	0,20	0,11	2,05	1,46	1,41	1,02	3,24	2,02	1,22	0,39	0,17	1,11
CGCM3.1 A1B	0,02	0,22	-0,10	1,32	0,94	1,00	-0,20	1,30	0,70	0,63	0,15	0,14	0,51
CGCM3.1 B1	0,62	0,76	1,61	1,98	1,47	2,50	5,78	6,32	4,48	2,04	0,78	0,42	2,40
ECHAM5 A2	0,74	0,49	1,00	1,45	0,97	2,17	3,43	3,98	3,12	1,39	0,67	0,37	1,63
ECHAM5 B1	0,95	1,37	2,74	4,76	6,32	7,23	8,48	7,35	4,73	3,05	1,59	1,00	4,13

Je vidieť, že scenáre mesačných priemerov teploty vzduchu a mesačných úhrnov zrážok sa pre Hurbanovo zásadne nemenia v porovnaní s predchádzajúcimi projekciami (dlhodobé priemery 1951 – 1980 a 1961 – 1990 sa odlišujú iba nepatrne). V prípade denných extrémov úhrnov zrážok sme zvolili za dlhodobý priemer obdobie 1951 – 2016, lebo ide o veľmi premenlivý prvok.

Nižšie emisné scenáre znamenajú aj pomalší vývoj otepľovania klímy, SRES B1 má celosvetovú emisiu fosílneho uhlíka v cieľovom roku 2100 iba 5,2 miliárd ton, kým SRES A2 až 28,9 miliárd ton, scenár A1B je kdesi uprostred (IPCC, 2007). To sa ale neprejavuje rovnako pri scenároch

úhrnov zrážok, vlhkosti vzduchu a potenciálnej evapotranspirácie, pretože sa súčasne menia aj podmienky cirkulácie atmosféry nad Európou.

Tab. 3.3.1.5 Scenáre klimatickej zmeny pre mesačné a ročné priemery potenciálnej evapotranspirácie E_o v Hurbanove pre 50-ročný časový horizont so stredom v roku 2075 podľa 4 modelov a 3 emisných scenárov v porovnaní s dlhodobým priemerom 1961 – 1990

Tab. 3.3.1.5 Scenarios of the climate change for monthly and annual average of the potential evapotranspiration E_o at Hurbanovo for 50-year time horizon with the middle in 2075 according to four models and three emission scenarios in comparison with the long-term average 1961 – 1990

Hurbanovo E_o	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
1961-1990	11,7	19,1	47,1	84,3	111,7	130,1	133,7	112,4	77,1	46,8	22,8	12,1	808,9
KNMI A1B	12,5	20,6	52,1	92,2	118,3	135,2	141,0	118,1	82,6	49,6	24,4	12,7	859,4
MPI A1B	14,7	22,3	54,8	93,7	126,5	148,4	156,6	130,6	86,8	52,7	25,9	13,7	926,7
CGCM3.1 A2	14,3	20,7	52,2	91,4	111,2	133,4	136,7	122,4	84,4	52,6	25,9	13,9	859,0
CGCM3.1 A1B	19,1	25,5	54,6	90,3	116,3	141,7	148,0	135,9	95,3	56,2	29,6	17,0	929,6
CGCM3.1 B1	12,7	21,2	48,2	91,4	116,8	137,7	136,0	120,4	85,1	52,6	23,2	12,2	857,5
ECHAM5 A2	12,4	21,2	49,3	103,7	123,6	141,5	143,0	135,5	96,7	57,8	27,8	14,1	926,6
ECHAM5 B1	12,3	22,4	48,0	90,0	117,9	135,3	135,5	116,5	80,2	50,4	24,2	12,7	845,3

Pokiaľ ide o územné rozdelenie projektovaných scenárov, tak pri teplote vzduchu sú odchýlky podobné na celom území Slovenska, no pri úhrnoch zrážok pozorujeme dosť zásadné rozdiely medzi juhom a severom Slovenska a medzi letom a zimou. Prírastok zrážok na severe Slovenska by mal byť väčší ako na juhu, pričom na juhu sa objavuje v lete aj pokles úhrnov zrážok o viac ako 10 %, no nie pri všetkých modeloch. To ovplyvňuje aj scenáre ďalších klimatických prvkov, najmä vlhkosti vzduchu. Očakáva sa, že relatívna vlhkosť vzduchu bude mierne klesať na celom území Slovenska, tlak vodnej pary a sýtostný doplnok sa bude zvyšovať v súlade s rastom teploty vzduchu. To ovplyvní aj rast potenciálnej evapotranspirácie a pokles vlhkosti pôdy, najmä pri scenároch na báze pesimistického emisného scenára SRES A2 (IPCC, 2007).

Výstupy modelov GCMs a RCMs poskytujú projektované priemerné údaje v štvorcovej sieti od 25x25 km do asi 250x250 km v priestore zjednodušenej orografie daného modelu. Ide teda o pomerne zhladené údaje, čo nehrá podstatnú úlohu v prípade teploty vzduchu, no je významným zjednodušením v prípade úhrnov zrážok. Extrémy úhrnov zrážok počas mimoriadnych konvektívnych a cyklonálnych situácií sme preto riešili aj na základe zjednodušeného fyzikálneho modelu rýchlosti kondenzácie pri raste teploty vzduchu v prízemnej vrstve a nad základňou oblačnosti. Predpokladáme pritom, že kondenzačná hladina bude vo výške základne oblačnosti vo výške 900 hPa a tomu bude zodpovedať aj relatívna vlhkosť vzduchu 100 % a zvýšený tlak vodnej pary v súlade so zvyšujúcou sa teplotou vzduchu. Pri konvekcii a aj v cyklónach sa udržiava určitá priemerná vertikálna rýchlosť výstupu vzduchovej hmoty, ktorá potom určuje množstvo skondenzovanej vodnej pary ako padajúce zrážky (Lapin et al., 2003). Je zrejmé, že so zvyšujúcou sa teplotou vzduchu rastie aj tlak vodnej pary asi o 6 % na 1 °C oteplenia, čo zvyšuje nielen energiu nestability ale aj priemernú vertikálnu rýchlosť výstupu vzduchovej hmoty. Na základe takýchto predpokladov sme navrhli scenáre rastu extrémne vysokých úhrnov zrážok

pre zvyšujúcu sa teplotu vzduchu podľa jednotlivých modelov. Z dôvodov úspory priestoru tu uvádzame iba časť výsledkov dotýkajúcich sa zmien mimoriadne vysokých 5-denných úhrnov zrážok v porovnaní s tými, ktoré sa vyskytli počas význačných cyklonálnych situácií v období 1951 – 1980. V tab. 3.3.1.6 sú uvedené odchýlky priemernej mesačnej teploty vzduchu (***dT***), kvocienty priemerného mesačného tlaku vodnej pary vo vzduchu (***qe***) a priemerných mesačných úhrnov zrážok (***qR***) podľa scenárov na báze výstupov modelov CGCM3.1-B1, CGCM3.1-A2, KNMI-A1B a MPI-A1B pre stred Slovenska a časový horizont so stredom v roku 2075 v porovnaní s dlhodobým priemerom z obdobia 1951 – 1980, v tab. 3.3.1.7 kvocienty extrémnych 5-denných úhrnov zrážok počas cyklonálnych situácií s mimoriadne vysokými úhrnmi zrážok v 50-ročných časových horizontoch so stredom v rokoch 2025 a 2075 za predpokladu splnenia scenárov klimatických prvkov uvedených v tab. 3.3.1.6.

Tab. 3.3.1.6 Odchýlky priemernej mesačnej teploty vzduchu (***dT***), kvocienty priemerného mesačného tlaku vodnej pary vo vzduchu (***qe***) a priemerných mesačných úhrnov zrážok (***qR***) podľa scenárov na báze výstupov modelov CGCM3.1-B1, CGCM3.1-A2, KNMI-A1B a MPI -A1B pre stred Slovenska a časový horizont so stredom v roku 2075 v porovnaní s dlhodobým priemerom z obdobia 1951 – 1980

Tab. 3.3.1.6 Deviation of the average monthly air temperature (***dT***), coefficients of average monthly water vapour pressure (***qe***) and average precipitation totals (***qR***) according to scenarios based on CGCM3.1-B1, CGCM3.1-A2, KNMI-A1B a MPI-A1B model outputs for the centre of Slovakia and temporal horizon with the middle in 2075 in comparison with the long-term average 1951 – 1980

Model	Prvok	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
CGCM3,1-B1	dT[°C]	3,45	3,66	3,51	3,08	2,66	2,02	0,94	1,57	2,39	2,53	2,23	2,34
CGCM3,1-B1	qe	1,30	1,30	1,35	1,26	1,16	1,14	1,12	1,11	1,17	1,16	1,18	1,22
CGCM3,1-B1	qR	1,36	0,99	1,38	1,42	1,14	1,16	1,12	1,04	1,02	0,88	1,42	1,15
CGCM3,1-A2	dT[°C]	4,56	4,75	5,06	4,82	3,67	2,87	2,07	3,38	3,76	3,58	3,73	3,14
CGCM3,1-A2	qe	1,43	1,43	1,51	1,41	1,23	1,20	1,18	1,21	1,22	1,22	1,32	1,29
CGCM3,1-A2	qR	1,39	1,10	1,34	1,50	1,21	1,15	0,94	0,87	0,86	1,06	1,34	1,32
KNMI-A1B	dT[°C]	2,81	2,75	2,70	2,17	2,41	3,16	3,17	3,10	2,88	3,06	2,05	2,48
KNMI-A1B	qe	1,25	1,24	1,22	1,15	1,13	1,17	1,13	1,16	1,17	1,21	1,14	1,21
KNMI-A1B	qR	1,24	1,27	1,32	1,16	0,93	0,81	0,65	0,94	1,07	1,04	1,23	1,21
MPI-A1B	dT[°C]	3,11	2,69	2,38	1,90	1,54	2,50	2,37	3,36	3,40	3,34	2,31	2,95
MPI-A1B	qe	1,23	1,21	1,18	1,17	1,14	1,16	1,15	1,17	1,19	1,21	1,15	1,20
MPI-A1B	qR	1,20	1,37	1,24	1,25	0,93	0,92	0,72	0,83	1,16	1,22	1,17	1,31

Tab. 3.3.1.7 Kvocienty extrémnych 5-denných úhrnov zrážok počas cyklonálnych situácií s mimoriadne vysokými úhrnmi zrážok v 50-ročných časových horizontoch so stredom v rokoch 2025 a 2075

Tab. 3.3.1.7 Coefficients of extreme 5-days precipitation totals during cyclonic situations with extraordinary high precipitation depths in 50-year temporal horizons with the middle in 2025 and 2075

Model	Horizont	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
CGCM3.1-B1	2025	1,21	1,28	1,23	1,15	1,17	1,11	1,05	1,05	1,11	1,10	1,13	1,08
	2075	1,33	1,35	1,30	1,24	1,20	1,14	1,06	1,11	1,17	1,19	1,16	1,21
CGCM3.1-A2	2025	1,27	1,28	1,27	1,15	1,13	1,16	1,05	1,07	1,14	1,12	1,06	1,06
	2075	1,46	1,48	1,45	1,40	1,28	1,21	1,15	1,25	1,28	1,28	1,29	1,29
KNMI-A1B	2025	1,06	1,09	1,10	1,07	1,05	1,07	1,05	1,06	1,08	1,12	1,01	0,99
	2075	1,26	1,26	1,23	1,16	1,18	1,23	1,23	1,22	1,21	1,23	1,15	1,23
MPI-A1B	2025	1,05	1,05	1,09	1,07	1,02	1,05	1,04	1,07	1,09	1,14	1,03	1,06
	2075	1,29	1,25	1,22	1,14	1,11	1,18	1,17	1,24	1,25	1,26	1,17	1,27

Z tab. 3.3.1.6 a 3.3.1.7 je zrejmé, že v prípade rastu teploty vzduchu počas význačných cyklonálnych situácií trvajúcich okolo 5 dní môžeme očakávať aj zvýšenie 5-denných úhrnov zrážok približne do 50 % v chladnom polroku a do 25 % v lete. Krátkodobé úhrny zrážok v trvaní od 15 minút do 120 minút sa môžu zvýšiť ešte o 5 až 10 % viac ako 5-denné úhrny. To môže mať závažný význam pre protipovodňovú ochranu tak v prípade náhlych povodní ako aj rozsiahlych regionálnych povodní na celom území Slovenska. Povodňové udalosti z obdobia 1996 až 2017 potvrdili správnosť uvedených scenárov, hoci sme zaznamenali iba niekoľko mimoriadnych letných a zimných povodňových situácií v strednej Európe. Jarné povodne z topiaceho sa snehu majú na našom území všeobecne klesajúci význam, čo ovplyvňuje negatívne jarné zásoby vody v pôde.

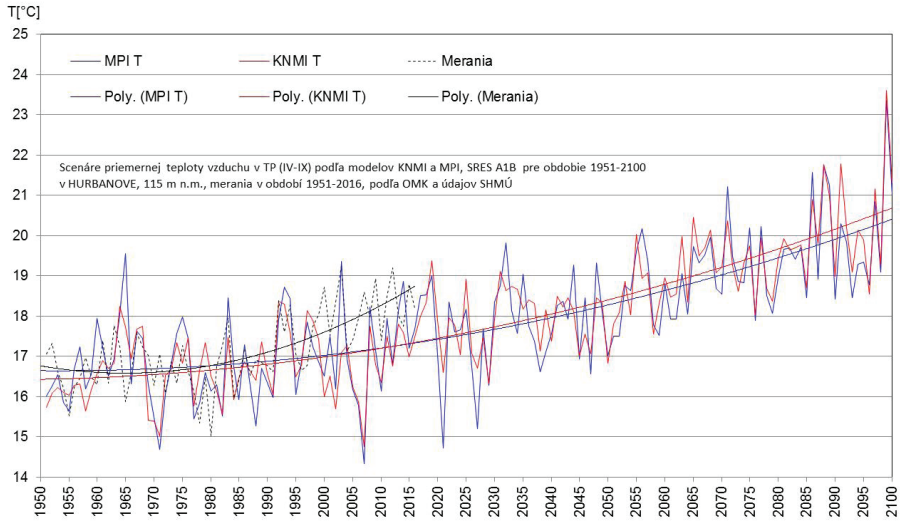
3.3.2 Časové rady denných, mesačných, sezónnych a ročných scenárov ako modifikované výstupy modelov GCMs a RCMs

Už od roku 1998 sa začali objavovať vo výstupoch globálnych cirkulačných modelov (GCMs) použiteľné časové rady mesačných priemerov vybraných klimatických prvkov. Pri vzdialenosti uzlových bodov nad 250x250 km a veľmi zjednodušenej orografii mali hodnoty týchto výstupov občas veľké odchýlky od meraných hodnôt v tzv. referenčnom období (zväčša 1961 – 1990 alebo 1951 – 2000). Riešilo sa to tak, že sa v referenčnom období porovnávali výstupy GCMs s meranými údajmi a štatisticky sa upravovali podľa odchýlok priemerov a variability, čím sa čiastočne porušila fyzikálna konzistentnosť vzťahov medzi modifikovanými údajmi rôznych klimatických prvkov. Výsledné časové rady sa potom testovali podľa meraní v nasledujúcom alebo predchádzajúcom kontrolnom (validačnom) období (1991 – 2015, 1901 – 1960 atď.).

Na Slovensku sme spracovali veľké množstvo takýchto časových radov modifikovaných výstupov GCMs a regionálne cirkulačné modely (RCMs) pre viac ako 100 klimatologických a zráž-

komerných staníc. Sústreďovali sme sa na hlavné klimatické prvky ako priemery teploty vzduchu, priemery vlhkosti vzduchu, globálneho žiarenia, rýchlosti vetra a úhrny zrážok. Neskôr, od roku 2011, sme takto spracovali aj výstupy denných hodnôt z GCMs a RCMs, vrátane denných maxím a miním teploty vzduchu. Je potrebné zdôrazniť, že významné zlepšenie fyzikálnej podstaty klimatických modelov a zmenšenie vzdialenosti uzlových bodov (až na 25x25 km, po roku 2015 až na 10x10 km) znamenalo značné priblíženie hodnôt z výstupov modelov k meraným údajom pokiaľ ide o dlhodobé (najmenej 30-ročné) priemery a charakteristiky variability. Po modifikácii údajov podľa meraných hodnôt preto dochádzalo iba k nevýznamnému porušeniu fyzikálnej konzistentnosti údajov z výstupov modelov.

Na tomto mieste uvádzame iba vzorku vybraných výsledkov spracovania ročných, sezónnych, mesačných a denných časových radov modifikovaných výstupov GCMs a RCMs v období 1951 – 2100 a ich porovnanie s meranými údajmi z obdobia 1951 – 2016. Je zrejmé, že výstupy GCMs a RCMs nepredstavujú predpoveď klimatických prvkov pre jednotlivé roky, sezóny, mesiace a dni, dobre však vyjadrujú priemery a väčšinou aj časový trend vývoja klimatických pomerov ako aj premenlivosť klimatických prvkov. Najprv sa venujme priemerom základných klimatických prvkov v teplom polroku v Hurbanove podľa RCMs KNMI a MPI. Na obr. 3.3.2.1 sú scenáre priemernej teploty vzduchu (***T***) podľa RCMs KNMI a MPI, emisný scenár A1B, pre teplý polrok (IV – IX) 1951 – 2100 v Hurbanove, merané údaje v Hurbanove sú z obdobia 1951 – 2016.

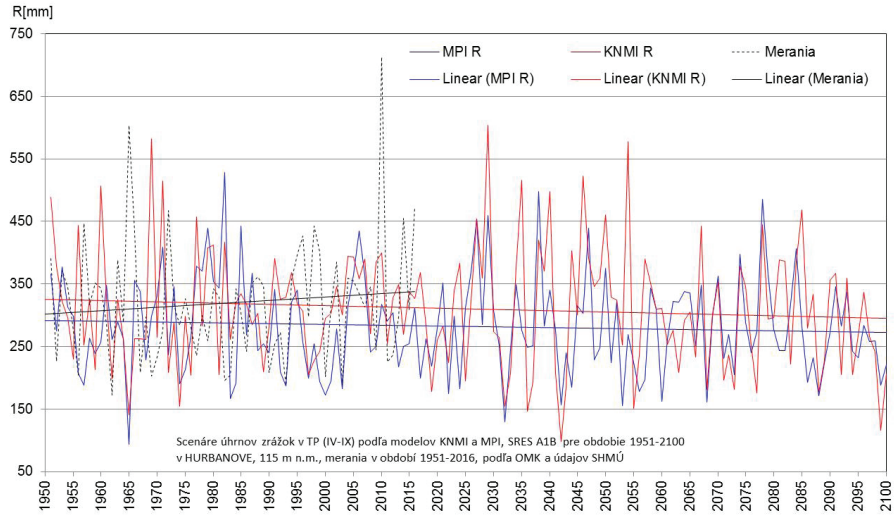


Obr. 3.3.2.1 Scenáre priemernej teploty vzduchu (***T***) podľa RCMs KNMI a MPI, emisný scenár A1B, pre teplý polrok (IV – IX) 1951 – 2100 v Hurbanove, merané údaje sú z obdobia 1951 – 2016

Fig. 3.3.2.1 Scenarios of the average air temperature (***T***) according to RCMs KNMI and MPI, emission scenario A1B, for the warm half-year (IV – IX) 1951 – 2100 at Hurbanovo, measured data come from the period 1951 – 2016

Z obr. 3.3.2.1 je zreteľne vidieť, že obidva modely (KNMI a MPI) poskytujú približne rovnaký časový priebeh priemerov teploty, pričom sa očakáva v Hurbanove oteplenie do konca storočia asi o 4 °C v porovnaní so stavom v období 1951 – 1980. Merané údaje sú iba približne v súlade so scenármi, po roku 1990 je ale evidentne teplejšie ako predpokladali scenáre modifikované podľa meraní v období 1961 – 1990. Dá sa to kvalifikovať tak, že po teplotnej stránke bolo obdobie 1991 – 2016 také teplé ako očakávali scenáre až okolo roku 2050. Očakávané oteplenie do konca 21. storočia je asi 2-krát také veľké ako je scenár globálneho otepľovania podľa stredného emisného scenára A1B. Takýto vývoj pozorujeme na celom Slovensku a aj scenáre majú pre zvyšok Slovenska podobný priebeh.

Pokiaľ ide o úhrny zrážok v teplom polroku (obr. 3.3.2.2), tak scenáre všeobecne predpokladajú nevýznamný až významne klesajúci trend úhrnov zrážok, v lete by mal byť trend poklesu úhrnov zrážok ešte výraznejší.

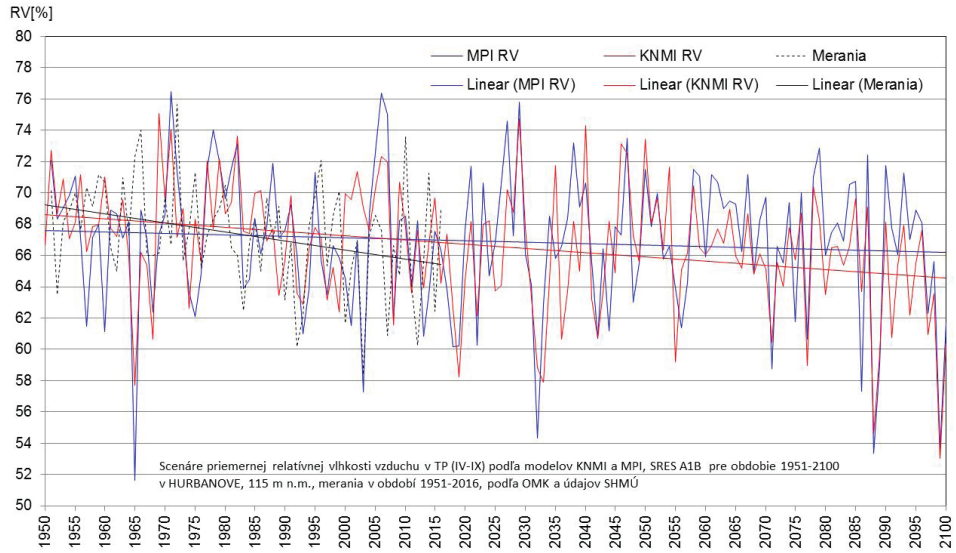


Obr. 3.3.2.2 Scenáre úhrnov zrážok (***R***) podľa RCMs KNMI a MPI, emisný scenár A1B, pre teplý polrok (IV – IX) 1951 – 2100 v Hurbanove, merané údaje sú z obdobia 1951 – 2016

Fig. 3.3.2.2 Scenarios of precipitation totals(***R***) according to RCMs KNMI and MPI, emission scenario A1B, for the warm half-year (IV – IX) 1951 – 2100 at Hurbanovo, measured data come from the period 1951 – 2016

To nie je celkom v súlade s pozorovaniami, lebo po roku 1990 sme zaznamenali návrat k vyšším úhrnom zrážok, pričom bolo zvýšenie mesačných a sezónnych úhrnov predovšetkým v dôsledku zvýšenia početnosti konvektívnych zrážok (prehánky a búrkové lejaky). Takýto vývoj sme zaznamenali prakticky na celom Slovensku. Vzhľadom na to, že zrážkové úhrny majú veľkú časovú premenlivosť nemôžeme z krátkeho radu robiť rozsiahlejšie a definitívne závery.

Priemery relatívnej vlhkosti vzduchu v teplom období roka (obr. 3.3.2.3) jednoznačne klesajú v celej oblasti nížin na Slovensku, v stredných polohách tiež zväčša klesajú a vo vyšších polohách sa menia len málo.



Obr. 3.3.2.3 Scenáre priemerov relatívnej vlhkosti vzduchu (***RV***) podľa RCMs KNMI a MPI, emisný scenár A1B, pre teplý polrok (IV – IX) 1951 – 2100 v Hurbanove, merané údaje sú z obdobia 1951 – 2016

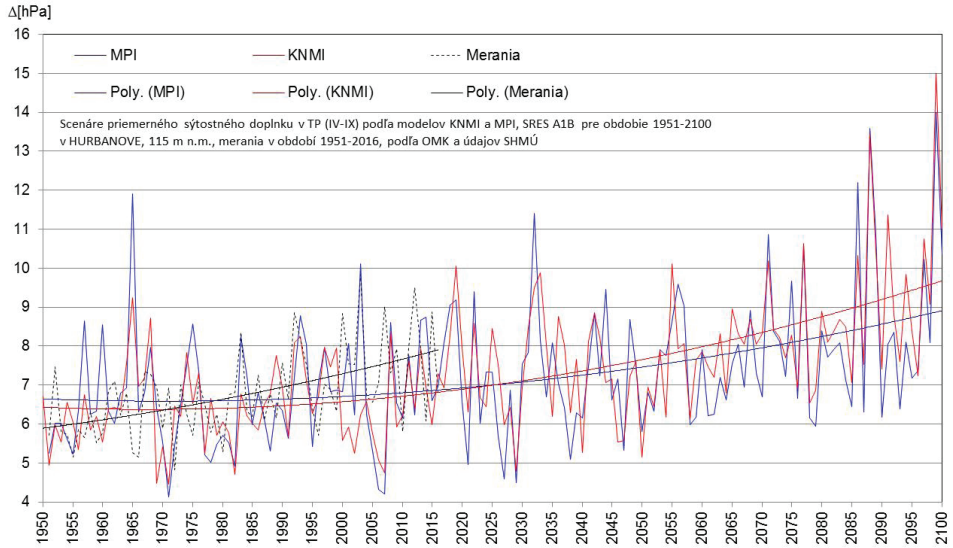
Fig. 3.3.2.3 Scenarios of air relative humidity averages (***RV***) according to RCMs KNMI and MPI, emission scenario A1B, for the warm half-year (IV – IX) 1951 – 2100 at Hurbanovo, measured data come from the period 1951 – 2016

K takému vývoju dochádza napriek tomu, že množstvo vodnej pary v atmosfére (tlak vodnej pary, merná vlhkosť) rastie v súlade so zvyšujúcou sa teplotou vzduchu. Príčinou poklesu relatívnej vlhkosti vzduchu je rastúca potenciálna evapotranspirácia, pričom požiadavky na zavlaženie nestačia pokryť úhrny zrážok, ktoré v teplom období roka nerastú dostatočne, prípadne klesajú pokiaľ ide o počet dní so zrážkami. Výsledkom je pokles pôdnej vlhkosti. Ako je vidieť z obr. 3.3.2.3 podobný vývoj môžeme očakávať aj v budúcich desaťročiach, no merané hodnoty z Hurbanova zaznamenali do roku 2016 ešte väčší pokles ako predpokladajú projekcie podľa stredného emisného scenára SRES A1B.

Rovnako to platí aj o vývoji sýtostného doplnku (***Δ***), ktorý je rozhodujúcim klimatickým prvkom na odhad (výpočet) potenciálnej evapotranspirácie (podkapitola 3.2.4). Sýtostný doplnok by sa mal jednoznačne zvyšovať na väčšine Slovenska (nižšie polohy) aj v nasledujúcich desaťročiach podľa všetkých scenárov. Z obr. 3.3.2.4 je vidieť, že aj v tomto prípade je vývoj v Hurbanove nepriaznivejší ako projekcie podľa stredného emisného scenára A1B.

Na tomto mieste nemáme dostatok priestoru na prezentovanie vývoja ďalších klimatických prvkov v iných regiónoch Slovenska. Uvádzame preto ešte dva obrázky reprezentujúce scenáre počtu teplotne význačných tropických dní v Hurbanove a Poprade (s denným maximom ≥ 30 °C). Ako sme už uviedli vyššie, spracovali sme desiatky podobných príkladov pre iné klimatické prvky, iné scenáre a iné regióny Slovenska. Všetky dokumentujú a potvrdzujú aj v tomto prípade závažné zmeny v klimatických pomeroch na Slovensku, ktoré nemajú svojou

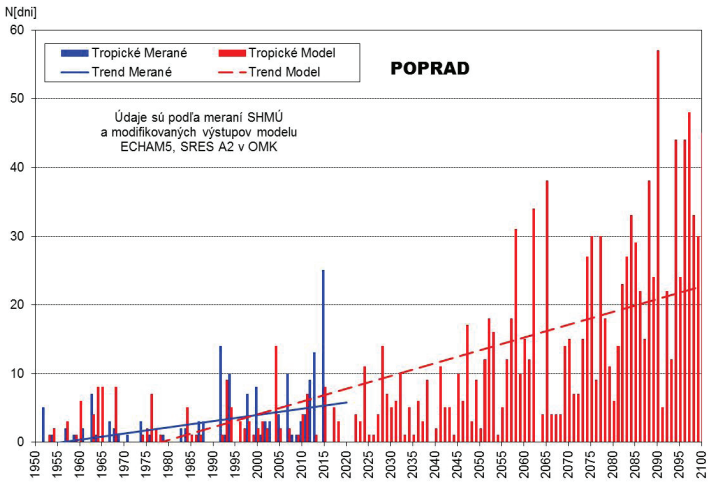
rýchlosťou obdobu v celom období prístrojových meteorologických meraní (od roku 1775 vo Viedni a rade iných staníc v strednej Európe).



Obr. 3.3.2.4 Scenáre priemerov sýtostného doplnku (*Δ*) podľa RCMs KNMI a MPI, emisný scenár A1B, pre teplý polrok (IV – IX) 1951 – 2100 v Hurbanove, merané údaje sú z obdobia 1951 – 2016

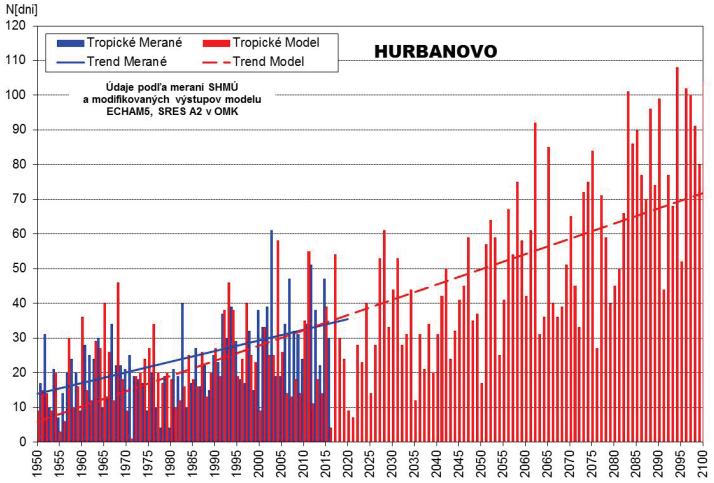
Fig. 3.3.2.4 Scenarios of the saturation deficit averages (*Δ*) according to RCMs KNMI and MPI, emission scenario A1B, for the warm half-year (IV – IX) 1951 – 2100 at Hurbanovo, measured data come from the period 1951 – 2016

Z obr. 3.3.2.5 je vidieť, že tropické dni boli pred rokom 1990 v Poprade zriedkavou udalosťou, v posledných rokoch sa objavujú občas a po roku 2050 už bude ich výskyt zrejme pravidelný. Rok 2015 bol výnimočný a počet tropických dní už zodpovedal scenárom z obdobia okolo roku 2075. Podobne to bolo aj v Hurbanove (obr. 3.3.2.6), kde bol počet tropických dní aj v minulosti oveľa väčší ako v Poprade. Po roku 2050 musíme počítať s tým, že v lete bude na juhu Slovenska v priemere veľká väčšina dní tropických s nevyhnutnosťou klimatizácie interiérov. Iba zriedkavo sa vyskytnú letá s malým počtom tropických dní. Výskyt tropických dní je mimoriadne dôležitý aj z pohľadu bilancie vlahy v pôde (výskyt sucha), pretože počas nich je spravidla veľmi vysoká potenciálna evapotranspirácia (aj nad 10 mm denne).



Obr. 3.3.2.5 Scenáre počtu tropických dní (***N***, s denným maximom teploty vzduchu ≥ 30 °C) v Poprade podľa modifikovaných výstupov modelu ECHAM5, emisný scenár SRES A2, v období 1950 – 2100, merané údaje SHMÚ sú z obdobia 1951 – 2015 (modré)

Fig. 3.3.2.5 Scenarios of the tropical day numbers (***N***, with the daily air temperature maximum ≥ 30 °C) at Poprad according to modified ECHAM5 model outputs, emission scenario SRES A2, in the period 1950 – 2100, measured data of the SHMÚ come from the period 1951 – 2015 (blue)



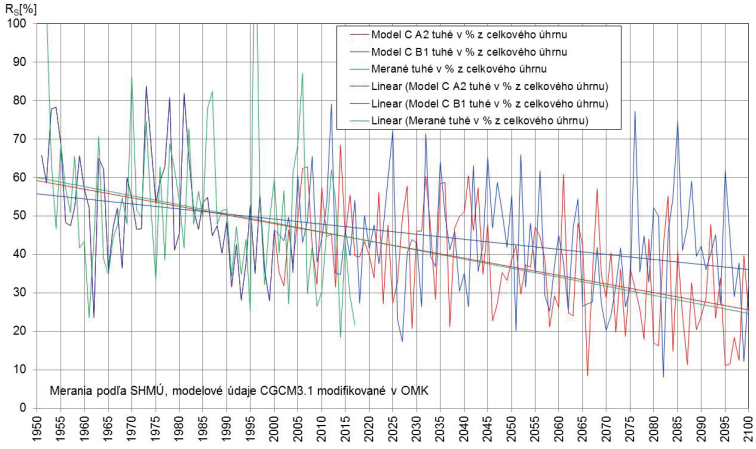
Obr. 3.3.2.6 Scenáre počtu tropických dní (***N***, s denným maximom teploty vzduchu ≥ 30 °C) v Hurbanove podľa modifikovaných výstupov modelu ECHAM5, emisný scenár SRES A2, v období 1950 – 2100, merané údaje SHMÚ sú z obdobia 1951 – 2016 (modré).

Fig. 3.3.2.6 Scenarios of the tropical day numbers (***N***, with the daily air temperature maximum ≥ 30 °C) at Hurbanovo according to modified ECHAM5 model outputs, emission scenario SRES A2, in the period 1950 – 2100, measured data of the SHMÚ come from the period 1951 – 2015 (blue)

3.3.3 Časové rady odvodených scenárov klimatickej zmeny (evapotranspirácia, nová snehová pokrývka, sucho)

Ako sme už uviedli v predchádzajúcej podkapitole, výstupy modelov GCMs a RCMs poskytujú spoľahlivé údaje a spoľahlivé podklady na priamu prípravu klimatických scenárov iba pre obmedzený počet klimatických prvkov. Preto musíme pri niektorých požadovaných scenároch siahnuť k analytickým metódam (jednoduché fyzikálne alebo štatistické modely). Týka sa to hlavne takých klimatických a hydrologických prvkov, ktoré silne závisia od miestnych geografických podmienok (snehová pokrývka, evapotranspirácia, vlhkosť pôdy, odtok, smer a rýchlosť vetra a rad ďalších).

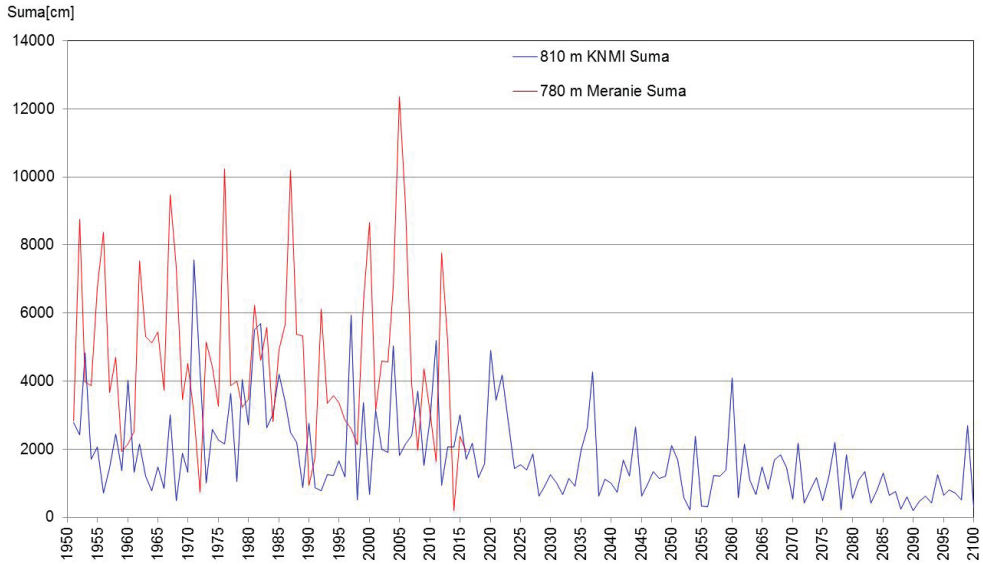
Na tomto mieste sa budeme venovať iba dvom často požadovaným klimatickým prvkom – snehovej pokrývke a evapotranspirácii. Snehová pokrývka je komplexným meteorologickým prvkom, pričom sa u nás detailnejšie zaoberáme najmä týmito hlavnými charakteristikami snehovej pokrývky: suma novej snehovej pokrývky za rok, zimu, zimné obdobie (súčet hodnôt z meraní raz denne o 7. h stredného miestneho času (SMČ), suma denných výšok celkovej snehovej pokrývky za rok, zimu, zimné obdobie (súčet výšok snehovej pokrývky meranej o 7. h SMČ), počet dní so snehovou pokrývkou ≥ 1 cm, ≥ 5 cm, ≥ 10 cm atď. Na obr. 3.3.3.1 je príklad odhadu vývoja podielu tuhých zrážok z celkového úhrnu zrážok v Poprade za predpokladu padania tuhých zrážok pri denných priemeroch teploty vzduchu nižších ako +2 °C. Je vidieť, že merané hodnoty nového snehu (v priblížení je 1 cm nového snehu rovný 1 mm tuhých zrážok) dobre korešpondujú s modelovými výstupmi v období 1951 – 2016.



Obr. 3.3.3.1 Podiel tuhých zrážok (R_S) v % z celkového úhrnu zrážok v snehovej sezóne X – III v Poprade, v prípade meraných údajov ide o zjednodušený prepočet 1 cm nového snehu = 1 mm tuhých zrážok, vo výstupe modelu CGCM3.1 (SRES A2 a B1) sme predpokladali tuhé zrážky v prípade denného priemeru teploty vzduchu menej ako +2 °C

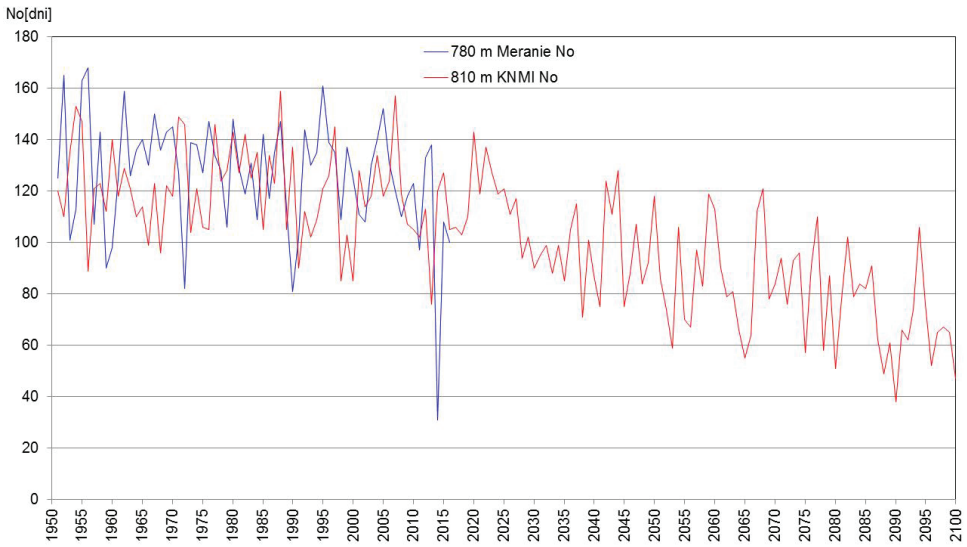
Fig. 3.3.3.1 Ratio of the solid precipitation (R_S) in % of the total precipitation amount in the snow season X – III at Poprad, in the case of measured data it goes on the simplified re-calculation 1 cm of new snow = 1 mm of solid precipitation, in the CGCM3.1 (SRES A2 a B1) model output the solid precipitation were anticipated in the case of daily air temperature less than +2 °C

Pre niektoré stanice sa dajú použiť aj výstupy modelov bez modifikácie (Oravská Lesná, obr. 3.3.3.2 a 3.3.3.3, kde sú merané hodnoty dokonca vyššie ako modelové výstupy), pre iné nie, lebo modely majú podstatne väčšia hodnoty výšky celkovej snehovej pokrývky tam, kde sa nepredpokladajú v modeloch významné záveterné efekty. V takých prípadoch je potrebné použiť komplexnejšiu metódu výpočtu scenárov snehovej pokrývky (príklady sú uvedené na obr. 3.2.4.3 a 3.2.4.4, výsledky sú v tab. 3.3.3.1 až 3.3.3.6).



Obr. 3.3.3.2 Ročná suma denných výšok snehovej pokrývky (***Suma***) ≥ 1 cm v Oravskej Lesnej (780 m n. m.) podľa merania SHMÚ a podľa výstupu modelu RCM KNMI (SRES A1B), najbližší uzlový bod s výškou 810 m n. m.

Fig. 3.3.3.2 Annual sum of daily snow cover depth (***Suma***)) ≥ 1 cm at Oravská Lesná (780 m amsl) according to SHMÚ measurements and according to RCM KNMI (SRES A1B) model output, the nearest nodal point with the altitude of 810 m amsl.



Obr. 3.3.3.3 Ročný počet dní (***No***) s výškou snehovej pokrývky ≥ 1 cm v Oravskej Lesnej (780 m n. m.) podľa merania SHMÚ a podľa výstupu modelu RCM KNMI (SRES A1B), najbližší uzlový bod s výškou 810 m n. m.

Fig. 3.3.3.3 Annual sum of days (***No***) with snow cover depth ≥ 1 cm at Oravská Lesná (780 m amsl) according to SHMÚ measurements and according to RCM KNMI (SRES A1B) model output, the nearest nodal point with the altitude of 810 m amsl.

V horských polohách je a aj bude vývoj predsa len zložitejší, pretože v nadmorskej výške nad 1 000 m n. m tam určitú dobu (najmenej do roku 2040) ešte zotrvá teplota počas väčšiny zimného obdobia pod bodom mrazu. Tabuľky z predchádzajúcich odhadov scenárov snehovej pokrývky (Lapin a Melo, 2004) sme preto prepracovali (Šťastný et al., 2017), výsledky sú uvedené v tab. 3.3.3.1 až 3.3.3.6 (teraz iba pre širšie a užšie zimné obdobia, pre 4 horské regióny a 5 nadmorských výšok, uvedenú štúdiu sme ešte doplnili aj pre 2 nižšie polohy). V tabuľkách je ZI zima (XII – II), RZI je rozšírená zima (XI – III) a H je nadmorská výška v m. V dolných dvoch riadkoch tabuliek sú uvedené nové hodnoty zmien charakteristík snehovej pokrývky len pre stanice Sliač, letisko a Hurbanovo (ktoré sa príliš nezmenili v porovnaní s našimi predchádzajúcimi odhadmi). Je zrejmé, že závislosť snehových charakteristík a teploty vzduchu je nelineárna, preto uvedené hodnoty platia iba pre zmeny teploty vzduchu o 1 až 2 °C (pri väčšom oteplení to už bude zrejme trochu inak, obr. 3.2.4.3, podobne to bude aj pri závislosti snehových charakteristík od úhrnov zrážok, obr. 3.2.4.4.). Tieto tabuľky sa dajú previesť aj na časové grafy podľa sezónnych priemerov teploty vzduchu a úhrnov zrážok, ktoré by v tejto kapitole zabrali príliš veľa miesta.

Tab. 3.3.3.1 Scenáre zmeny sezónnych priemerov počtu dní so snehovou pokrývkou (***PD***) v percentách vo vybraných horských polohách na Slovensku v porovnaní s priemermi obdobia 1981 – 2010 pri raste priemerov teploty vzduchu o 1 °C (dobrá významnosť vzťahu)

Tab. 3.3.3.1 Scenarios of seasonal average changes of the days with the snow cover (***PD***) in % in selected mountain areas of Slovakia in comparison with the averages of the period 1981 – 2010 at increasing air temperature averages in 1 °C (good significance of the relationship)

Región	H	ZI	RZI	H	ZI	RZI	H	ZI	RZI
Kysuce	600	-7	-10	1200	0	-3			
Orava	600	-7	-10	1200	0	-3			
Tatranská Lomnica	850	-10	-14	1500	-1	-2	2000	0	-1
Jasná	1000	-5	-6	1500	-1	-2	2000	0	-1
Sliač	313	-17	-24						
Hurbanovo	115	-27	-32						

Tab. 3.3.3.2 Scenáre zmeny sezónnych priemerov počtu dní so snehovou pokrývkou (***PD***) v percentách vo vybraných horských polohách na Slovensku v porovnaní s priemermi obdobia 1981 – 2010 pri raste úhrnov zrážok o 10 % (malá významnosť vzťahu)

Tab. 3.3.3.2 Scenarios of seasonal average changes of the days with the snow cover (***PD***) in % in selected mountain areas of Slovakia in comparison with the averages of the period 1981 – 2010 at increasing precipitation totals in 10 % (week significance of the relationship)

Región	H	ZI	RZI	H	ZI	RZI	H	ZI	RZI
Kysuce	600	1,5	1,1	1200	0,4	0,3			
Orava	600	1,5	1,1	1200	0,4	0,3			
Tatranská Lomnica	850	1,0	0,8	1500	0,3	0,3	2000	0,2	0,2
Jasná	1000	0,5	0,4	1500	0,3	0,3	2000	0,2	0,2
Sliač	313	1,7	1,6						
Hurbanovo	115	3,4	3,1						

Tab. 3.3.3.3 Scenáre zmeny sezónnych priemerov sumy denných výšok snehovej pokrývky (***SDV***) v percentách vo vybraných horských polohách na Slovensku v porovnaní s priemermi v období 1981 – 2010 pri raste priemerov teploty vzduchu o 1 °C (vysoká významnosť vzťahu)

Tab. 3.3.3.3 Scenarios of seasonal average changes of the daily snow cover depth (***SDV***) in % in selected mountain areas of Slovakia in comparison with the averages of the period 1981 – 2010 at increasing air temperature averages in 1 °C (good significance of the relationship)

Región	H	ZI	RZI	H	ZI	RZI	H	ZI	RZI
Kysuce	600	-15	-28	1200	-8	-14			
Orava	600	-15	-29	1200	-8	-14			
Tatranská Lomnica	850	-20	-35	1500	-7	-15	2000	-5	-5
Jasná	1000	-17	-25	1500	-7	-15	2000	-5	-5
Sliač	313	-26	-39						
Hurbanovo	115	-37	-48						

Tab. 3.3.3.4 Scenáre zmeny sezónnych priemerov sumy denných výšok snehovej pokrývky (***SDV***) v percentách vo vybraných horských polohách na Slovensku v porovnaní s priemermi v období 1981 – 2010 pri raste úhrnov zrážok o 10 % (malá významnosť vzťahu)

Tab. 3.3.3.4 Scenarios of seasonal average changes of the daily snow cover depth (***SDV***) in % in selected mountain areas of Slovakia in comparison with the averages of the period 1981 – 2010 at increasing precipitation totals in 10 % (week significance of the relationship)

Región	H	ZI	RZI	H	ZI	RZI	H	ZI	RZI
Kysuce	600	5	3	1200	4	2			
Orava	600	5	3	1200	4	2			
Tatranská Lomnica	850	5	4	1500	3	2	2000	2	1,5
Jasná	1000	4	2	1500	3	2	2000	2	1,5
Sliač	313	4	3						
Hurbanovo	115	5	4						

Tab. 3.3.3.5 Scenáre zmeny sezónnych priemerov sumy novej snehovej pokrývky (***SNS***) v percentách vo vybraných horských polohách na Slovensku v porovnaní s priemermi v období 1981 – 2010 pri raste priemerov teploty vzduchu o 1 °C (malá významnosť vzťahu)

Tab. 3.3.3.5 Scenarios of seasonal average changes of the new snow cover depth (***SNS***) in % in selected mountain areas of Slovakia in comparison with the averages of the period 1981 – 2010 at increasing air temperature averages in 1 °C (week significance of the relationship)

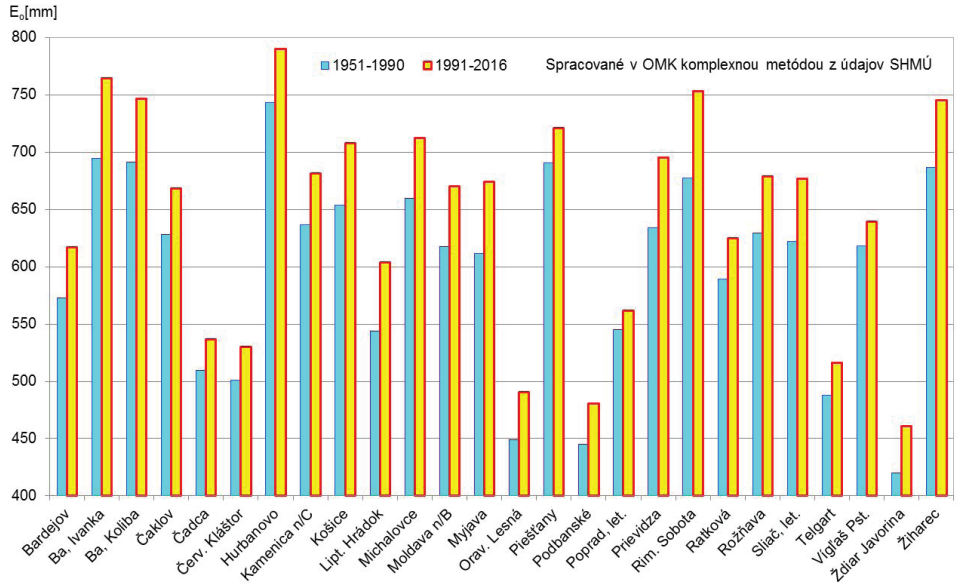
Región	H	ZI	RZI	H	ZI	RZI	H	ZI	RZI
Kysuce	600	-8	-9	1200	-4	-5			
Orava	600	-8	-9	1200	-4	-5			
Tatranská Lomnica	850	-8	-12	1500	-3	-5	2000	-2	-2
Jasná	1000	-4	-7	1500	-3	-5	2000	-2	-2
Sliač	313	-14	-21						
Hurbanovo	115	-24	-29						

Tab. 3.3.3.6 Scenáre zmeny sezónnych priemerov sumy novej snehovej pokrývky (***SNS***) v percentách vo vybraných horských polohách na Slovensku v porovnaní s priemermi v období 1981 – 2010 pri raste úhrnov zrážok o 10 % (dobrá významnosť vzťahu)

Tab. 3.3.3.6 Scenarios of seasonal average changes of the new snow cover depth (***SNS***) in % in selected mountain areas of Slovakia in comparison with the averages of the period 1981 – 2010 at increasing precipitation totals in 10 % (good significance of the relationship)

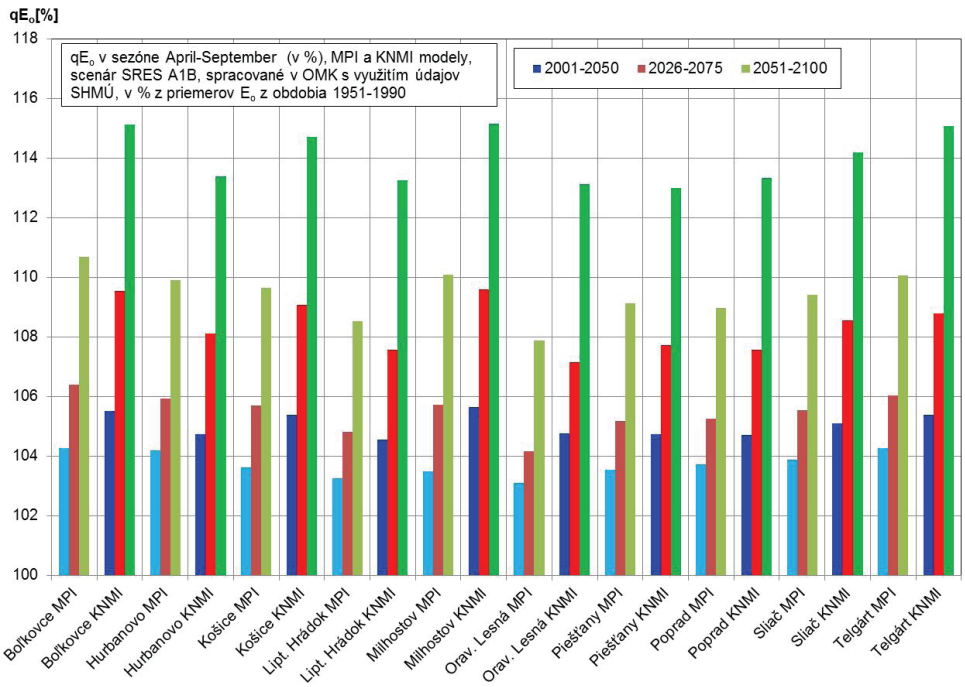
Región	H	ZI	RZI	H	ZI	RZI	H	ZI	RZI
Kysuce	600	5,5	3,8	1200	3,8	2,4			
Orava	600	5,5	3,8	1200	3,8	2,4			
Tatranská Lomnica	850	7,0	3,5	1500	3,5	2,0	2000	3,0	1,8
Jasná	1000	4,0	2,5	1500	3,5	2,0	2000	3,0	1,8
Sliač	313	4,5	3,5						
Hurbanovo	115	8,1	5,6						

Ako sme už uviedli v predchádzajúcej podkapitole, potenciálna (E_o) a aktuálna (E) evapotranspirácia môže byť síce vo výstupoch GCMs a RCMs k dispozícii, no spoľahlivosť týchto údajov je už podstatne horšia ako v prípade teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu a úhrnov zrážok. Preto sme postupovali tak, že sme najprv vypočítali E_o a E pomocou metodiky navrhnutej Budykom (1974) a upravenej Tomlainom (1980) na podmienky Slovenska a na porovnanie aj vypočítané hodnoty E_o jednoduchšou metodikou podľa Zubenok (1976). Potom sme na základe modifikovaných denných výstupov GCMs a RCMs spracovali potrebné mesačné charakteristiky sýtostného doplnku (Δ) a podľa metodiky Zubenok spracovali mesačné sumy E_o v období 1951 – 2100 pre viaceré stanice na Slovensku a viaceré scenáre klimatickej zmeny. Na tomto mieste uvádzame iba vzorku zo všetkých výpočtov a len pre E_o. Na obr. 3.3.3.3 sú priemerné ročné sumy E_o v obdobiach 1951 – 1990 a 1961 – 2016. Je vidieť, že na celom Slovensku došlo k významnému zvýšeniu priemerov E_o. Vo vegetačnom období (IV – IX) sú iba malé rozdiely priemerných súm E_o medzi metódami Budyko a Zubenok. V obr. 3.3.3.4 sú hodnoty scenárov E_o vo vegetačnom období vyjadrené ako percentuálne zvýšenie E_o v porovnaní s obdobím 1951 – 1990.



Obr. 3.3.3.4 Priemerné ročné sumy potenciálnej evapotranspirácie (E_o) na Slovensku v období 1951 – 1990 a 1991 – 2016 vypočítané v OMK FMFI UK komplexnou Bydykovou metódou upravenou Tomlainom podľa mesačných údajov z klimatologických staníc SHMÚ

Fig. 3.3.3.4 Average annual sums of potential evapotranspiration (E_o) in Slovakia in the periods 1951 – 1990 and 1991 – 2016 calculated at OMK FMFI UK by complex Budyko method adopted by Tomlain, according to monthly data from the climatologic stations of the SHMÚ



Obr. 3.3.3.5 Scenáre zmien priemerných súm potenciálnej evapotranspirácie (***qE***$_o$) na Slovensku v % v sezóne IV – IX v obdobiach 2001 – 2050, 2026 – 2075 a 2051 – 2100 v porovnaní s obdobím 1951 – 1990, vypočítané v OMK FMFI UK metódou Zubenok podľa mesačných údajov sýtostného doplnku pre vybrané klimatologické stanice SHMÚ

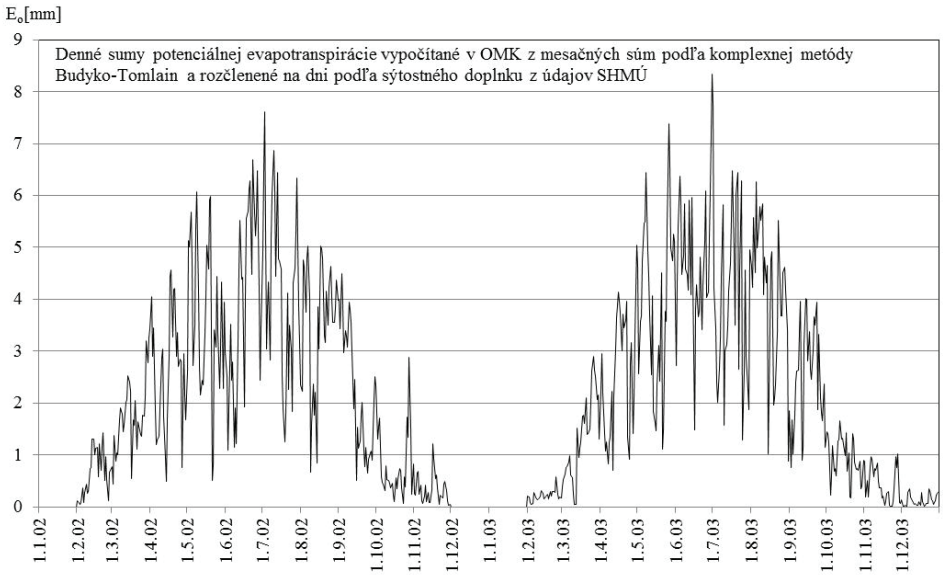
Fig. 3.3.3.5 Scenarios of changes in average sums of potential evapotranspiration (***qE***$_o$) in Slovakia in % for the season IV – IX of the periods 2001 – 2050, 2026 – 2075 and 2051 – 2100 in comparison with the period 1951 – 1990, calculated in OMK FMFI UK by Zubenok method according to monthly data on saturation deficit for selected climatologic stations of the SHMÚ

V obr. 3.3.3.4 je badateľný významný nárast ročných súm ***E***$_o$ v období 1991 – 2016 v porovnaní s obdobím 1951 – 1990. V percentách je to pre Hurbanovo 106,3 %, Košice 108,2 %, Liptovský Hrádok 111,0 %, Oravskú Lesnú 109,3 %, Piešťany 104,4 %, Poprad 103,0 %, Sliač 108,7 % a Telgárt 105,8 %. Vo sezóne IV – IX je zvýšenie E_o v % podobné ako pre celý rok.

Z obr. 3.3.3.5 je vidieť, že trochu „vlhší" scenár MPI dáva v sezóne IV – IX menší rast súm ***E***$_o$ ako KNMI. Z porovnania s obr. 3.3.3.3 je tiež zrejmé, že v období 1991 – 2016 boli ročné sumy ***E***$_o$ v podstate už rovnaké ako predpokladajú scenáre KNMI a MPI pre obdobie 2001 – 2050 alebo 2026 – 2075. Je to závažné zistenie, ktoré vnáša určité pochybnosti do modelových scenárov GCMs a RCMs s emisným scenárom SRES A1B, ktoré sú pri hodnotení rizika sucha skôr konzervatívne, čiže predpokladajú nižšie riziko sucha. Obr. 3.3.3.4 bol už v inej modifikácii prezentovaný na medzinárodnej konferencii ako rozsiahlejšia informácia o možných zmenách ***E***$_o$ (Lapin et al., 2015; 2016). Mesačné a ročné sumy aktuálnej evapotranspirácie (***E***) silne závisia nielen od ***E***$_o$ ale najmä od režimu zrážok, venovali sme im pozornosť v Lapin et al. (2009;

2015 a 2016), ide o zložitú problematiku presahujúcu možnosti tejto monografie. Problémami výpočtu evapotranspirácie a sucha na Slovensku sa zaoberal v rozsiahlejšej štúdii v minulosti aj Tomlain (1991).

Pri niektorých aplikáciách sú potrebné aj denné hodnoty E_o do modelových výpočtov zmien hydrologického cyklu alebo zmien vlhkosti pôdy. V zásade máme niekoľko možností ako sa dá výpočet denných hodnôt E_o realizovať. Na tomto mieste uvádzame na obr. 3.3.3.6 iba príklad jednoduchého rozčlenenia mesačných súm E_o (spracovaných metódou Budyko-Tomlain), ktoré považujeme za celkom spoľahlivé, na denné sumy E_o podľa denných hodnôt sýtostného doplnku. Sýtostný doplnok ($\Delta = e^* - e$, kde e^* je tlak vodnej pary v stave nasýtenia pri danej teplote vzduchu a e je meraný tlak vodnej pary) dominantne určuje aj hodnoty E_o, pričom dôležitú úlohu hrá aj energia radiačnej bilancie a turbulentná difúzia, ktoré ale tiež ovplyvňujú veľkosť Δ. Podobná metóda výpočtu denných hodnôt E_o bola prezentovaná na medzinárodnej konferencii (Lapin et al., 2015; 2016).



Obr. 3.3.3.6 Denné sumy potenciálnej evapotranspirácie (E_o) pre Košice, letisko v období 1.1.2002 až 31.12.2003, vypočítané z mesačných súm podľa komplexnej metódy Budyko-Tomlain a rozčlenené na denné sumy podľa veľkosti sýtostného doplnku (spracované v OMK FMFI UK s využitím údajov SHMÚ)

Obr. 3.3.3.6 Daily sums of potential evapotranspiration (E_o) for Košice, letisko in the period 1.1.2002 to 31.12.2003, calculated from monthly sum by complex method of Budyko-Tomlain and exploded on daily sums according to saturation deficit (processed in OMK FMFI UK using the SHMÚ data)

3.3.4 Posun klimatických oblastí na Slovensku v dôsledku klimatickej zmeny

Z hľadiska štúdia vývoja klímy na určitom území nás zaujímajú tendencie, ktoré sa prejavujú v dlhodobejších zmenách režimu (rast alebo pokles teploty vzduchu, nárast aridity alebo humidity klímy a podobne). Tieto trendy môžu viesť ku geografickému posunu jednotlivých klimatických oblastí a môžu tak závažnejším spôsobom ovplyvniť celú štruktúru krajiny, resp. ju časom i pozmeniť. Klimatické oblasti bývajú vyčleňované na základe rôznych klasifikácií. V jednotlivých krajinách bývajú používané rôzne národné klasifikácie s rôznou metodikou. Jedinou všeobecne používanou metódou vo svete je Köppenova klasifikácia klímy. Na Slovensku častejšie používame členenie klimatických oblastí podľa Končekovej klasifikácie.

Köppenova klasifikačná schéma je založená na rozložení teploty vzduchu, atmosférických zrážok vo vzťahu ku vegetácii a vychádza z hodnôt priemernej mesačnej teploty vzduchu a priemerných mesačných úhrnov zrážok. Každý región je symbolicky charakterizovaný sériou dvoch alebo troch písmen. V Köppenovej klasifikácii klímy sú dominantné prvé písmená "A – E". Písmeno "A" predstavuje tropickú klímu, písmeno "B" suchú klímu, písmeno "C" označuje teplú, mierne vlhkú klímu, písmeno "D" charakterizuje boreálnu klímu a písmeno "E" snehovú a ľadovú klímu (Blüthgen a Weischet, 1980; Oliver, 2008; Kottek et al., 2006). Na území Slovenska sa vyskytujú klimatické typy "C", "D" a "E".

Klimatická oblasť "C" je definovaná hodnotami priemernej teploty vzduchu najchladnejšieho mesiaca v roku medzi -3 a +18 °C a hodnotou priemernej teploty vzduchu najteplejšieho mesiaca v roku nad 10 °C. Klimatická oblasť "D" sa vyznačuje priemernou teplotou vzduchu najchladnejšieho mesiaca pod -3 °C a priemernou teplotou vzduchu najteplejšieho mesiaca nad 10 °C. Pokiaľ priemerná hodnota teploty vzduchu najteplejšieho mesiaca dosahuje hodnotu nižšiu ako 10 °C, tak ide o klimatickú oblasť "E" (v ďalšom členení je to pri hodnote medzi 0 °C a 10 °C klimatická oblasť "ET" a pri hodnote pod 0°C oblasť "EF"). Ďalšie (druhé) písmeno "f" vyjadruje, že oblasť sa vyznačuje celoročne vlhkejším podnebím, písmeno "w" indikuje oblasť so suchou zimou (v Európe sa nenachádza) a písmeno "s" vyjadruje oblasť s letným obdobím sucha. Tretie písmeno "a" znamená, že najteplejší mesiac v roku (u nás júl) dosahuje priemernú hodnotu vyššiu ako > 22 °C, pri písmene "b" dosahuje najteplejší mesiac priemernú hodnotu pod 22 °C a najmenej 4 mesiace majú priemernú hodnotu nad 10 °C, pri písmene "c" majú iba 1 – 3 mesiace priemernú hodnotu nad 10 °C.

Na základe Köppenovej klasifikácie je vo svete vyčlenených spolu 31 klimatických oblastí (Kottek et al., 2006), z toho na Slovensku sa vyskytujú nasledujúce 4 oblasti: "Cfb", "Dfb", "Dfc", "ET". V horskej (karpatskej) oblasti Slovenska pozorujeme na prelome 20. a 21. storočia postupný posun týchto štyroch klimatických oblastí do miest s väčšou nadmorskou výškou, a to približne v smere od juhu na sever (Melo et al., 2013). Na tomto území v 30-ročnom období 1980 – 2009 v porovnaní so starším 30-ročným obdobím 1961 – 1990 narastá podiel klimatickej oblasti "Cfb", ktorá sa pôvodne nachádzala iba v najnižších polohách juhozápadnej časti Karpát. V juhovýchodnej časti našich Karpát sa vyskytovala iba izolovane ako teplá svahová zóna na južných svahoch Zemplínskych vrchov a Vihorlatu. V novšom období bola zaznamenaná už aj vo vyšších polohách juhozápadnej časti Karpát a novo sa objavila ako súvislý celok aj v južnej a juhovýchodnej časti Karpát. Na druhej strane v najvyšších oblastiach Tatier a Nízkych Tatier

(približne nad 1 700 m nad morom) sa v období 1961 – 1990 vyskytovala horská tundrová klíma "ET", typická bola napr. aj pre Skalnaté Pleso (1 778 m n. m.). V novšom období 1980 – 2009 sme na meteorologickej stanici Skalnaté Pleso už zaznamenali teplejšiu klimatickú oblasť "Dfc", ktorá sa sem posunula z nižších oblastí, vo vyšších oblastiach Tatier a Nízkych Tatier sa horská tundrová klíma "ET" udržala aj v novšom období (Melo et al., 2013).

Pokiaľ ide o naše nížiny, tak na Východoslovenskej nížine bola klimatická oblasť "Dfb" (1961 – 1990) nahradená v období 1980 – 2009 teplejšou klimatickou oblasťou "Cfb", ktorá sa na toto miesto posunula z Maďarska. V nížinných oblastiach západného Slovenska (Záhorská a Podunajská nížina) v sledovanom období (na prelome 20. a 21. storočia) zostala síce zachovaná klimatická oblasť "Cfb", avšak výrazne sa k nám na Slovensko približuje od juhovýchodu (z oblasti Balkánu) nová teplejšia klimatická oblasť "Cfa". Kým v období 1961 – 1990 sa táto oblasť nachádzala v oblasti Dolnodunajskej nížiny na oboch stranách Dunaja okolo rumunsko-bulharskej hranice (od Železných vrát na východ), ako aj na ďalších miestach Bulharska, Macedónska a severného Grécka, v období 1981 – 2010 sa táto klimatická oblasť posunula až do Veľkej Dunajskej kotliny na územie juhovýchodného Maďarska. V súvislosti s očakávaným rastom teploty vzduchu v dôsledku klimatickej zmeny predpokladáme v najbližších rokoch jej ďalší posun smerom k našej Podunajskej a Východoslovenskej nížine. Hranicou medzi klimatickými oblasťami "Cfa" a "Cfb" je hodnota priemernej teploty vzduchu najteplejšieho mesiaca v roku 22 °C. Ako príklad uvádzame, že v Hurbanove sa priemerná teplota vzduchu v júli v jednotlivých 30-ročných obdobiach postupne menila a približuje sa tak ku hodnote, reprezentujúcej novú klimatickú oblasť "Cfa": 19,8 °C v 1901 – 1930, 20,5 °C v 1931 – 1960, 20,3 °C v 1961 – 1990, 20,6 °C v 1971 – 2000, 21,4 °C v 1981 – 2010 a 21,7 °C v 1986 – 2015.

Na Slovensku pri vyčleňovaní klimatických oblastí najviac využívame metódu založenú na Končekovej klasifikácii klímy, ktorá je na úrovni stredoeurópskeho regiónu detailnejšie prepracovaná. Podľa Končekovej klasifikácie máme v súčasnosti na území Slovenska spolu až 17 klimatických oblastí (okrskov) a preto dokáže v porovnaní s Köppenovou klasifikáciou klímy pozornejšie zachytiť aj prípadné menšie posuny klimatických oblastí, pokiaľ také v posledných rokoch na Slovensku nastali.

Pri tejto klasifikácii je významnou klimatickou charakteristikou Končekov index zavlaženia (Konček, 1955; Melo et al., 2007; Lapin a Melo, 2012). Jeho hodnota sa vypočíta na základe rovnice:

$$Iz = 0{,}5R + dr - 10T - (30 + v^2) \qquad (3.3.4.1)$$

kde R – je priemerný mesačný úhrn zrážok vo vegetačnom období (IV – IX) [mm], dr – úhrn zrážok prevyšujúci v priemere 105 mm za zimu (XII. – II.) (záporné hodnoty sa neberú do úvahy) [mm], T - priemerná teplota vzduchu za vegetačné obdobie [°C], v – priemer rýchlosti vetra meranej v klimatickom termíne o 14 hodine vo vegetačnom období [$m.s^{-1}$].

Index $Iz = 0$ dáva vyrovnanú bilanciu zavlaženia, pri Iz od 0 až do -20 je mierne suchá oblasť a pod -20 suchá oblasť, pri Iz od 0 do 60 je mierne vlhká a nad 120 veľmi vlhká oblasť. Veľmi suchá oblasť $Iz < -40$ sa na Slovensku do roku 1960 nevyskytovala, po prvýkrát sme ju zadefinovali v Atlase krajiny Slovenskej republiky (Lapin et al., 2002), v období 1951 – 1980 sa objavila iba v Hurbanove, do roku 2010 sa šíri ďalej na sever a východ. V súvislosti s predpo-

kladanými scenármi klimatickej zmeny sme v príspevku Lapin a Melo (2012) uviedli niekoľko návrhov na modifikáciu Končekovho indexu zavlaženia tak, aby sa zreálnili hodnoty ***Iz*** v súlade so skutkovým stavom zavlaženia pôdy.

Klimatická klasifikácia vychádza z hodnôt Končekovho indexu zavlaženia a z niektorých charakteristík, týkajúcich sa teploty vzduchu (Konček a Petrovič, 1957; Konček, 1980; Lapin et al., 2002). Regióny sa rozčlenili na tri oblasti (teplá, mierne teplá a chladná oblasť). Teplá oblasť má priemerne 50 a viac letných dní za rok (s denným maximom teploty vzduchu ≥ 25 °C). Mierne teplá oblasť má priemerne menej ako 50 letných dní za rok (s denným maximom teploty vzduchu ≥ 25 °C) a júlový priemer teploty vzduchu ≥ 16 °C. Chladná oblasť má júlový priemer teploty vzduchu < 16 °C. Teplá oblasť obsahuje 7 okrskov (rozdiely sú v hodnotách januárového priemeru teploty vzduchu a v hodnotách ***Iz***). Mierne teplá oblasť má 7 okrskov (rozdiely sú v hodnotách januárového a júlového priemeru teploty vzduchu a v hodnotách ***Iz***). Chladná oblasť má 3 okrsky, všetky tri okrsky sú veľmi vlhké, rozdiely sú v hodnotách júlového priemeru teploty vzduchu (Lapin et al., 2002).

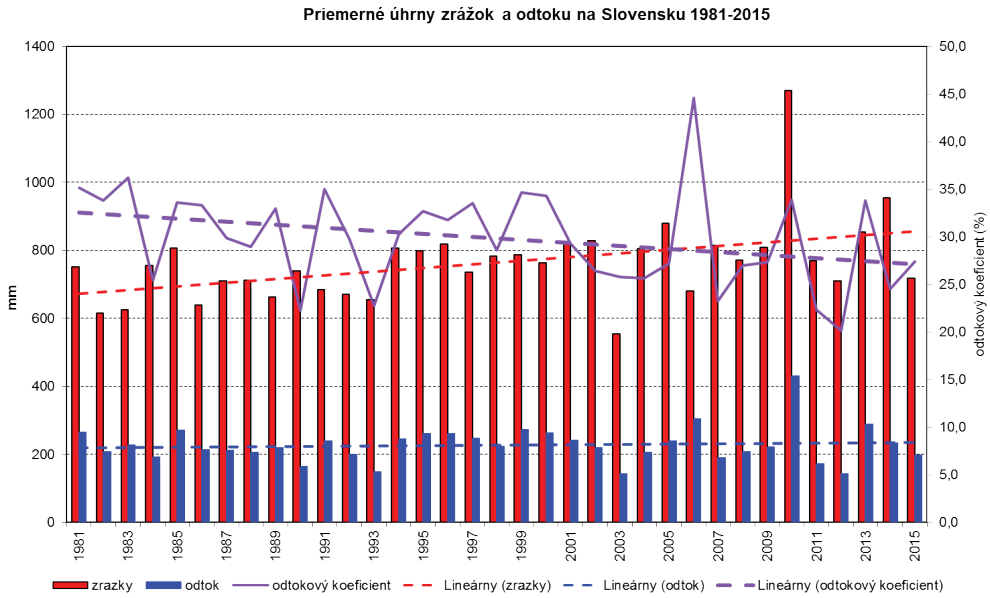
V Atlase SSR (1980) boli predstavené klimatické oblasti na Slovensku, charakteristické pre obdobie 1901 – 1950 (Konček, 1980), v Atlase krajiny SR (2002) klimatické oblasti na Slovensku, typické pre obdobie 1961 – 1990 (Lapin et al., 2002). Vzhľadom na použitú rovnakú metodiku v obidvoch atlasoch, môžeme navzájom porovnávať dosiahnuté zmeny hraníc jednotlivých klimatických oblastí na Slovensku medzi týmito dvoma obdobiami. Z ich vzájomného porovnania vyplýva, že v rámci celého Slovenska sa najvýznamnejšie zmeny klimatických pomerov prejavili na území Podunajskej nížiny, Východoslovenskej nížiny a na juhu stredného Slovenska, kde bol zaznamenaný nárast aridity klímy (index ***Iz*** dosiahol v novšom období nižšie hodnoty) a došlo tak až k zmene klimatických oblastí. Tak napr. na Východoslovenskej nížine a na juhu stredného Slovenska sa v období 1901 – 1950 vyskytovala klimatická oblasť s okrskom teplým, mierne suchým a s chladnou zimou, avšak v novšom období 1961 – 1990 to bola klimatická oblasť s okrskom teplým, suchým a s chladnou zimou. V južnej časti Podunajskej nížiny sa zmenila klíma z okrsku teplého, suchého, s miernou zimou na okrsok teplý, veľmi suchý, s miernou zimou. Ďalšie zmeny a posuny klimatických oblastí boli zaznamenané aj v iných oblastiach Slovenska (Konček, 1980; Lapin et al., 2002). V súvislosti s predpokladanými scenármi klimatickej zmeny očakávame v budúcnosti ďalší rast aridity klímy na Slovensku (najmä na juhu územia) a ďalší posun jednotlivých klimatických oblastí smerom na sever a do vyšších nadmorských výšok.

4. VÝVOJ A PROGNÓZA VÝSKYTU HYDROLOGICKÉHO SUCHA V PRIETOKOCH

4.1 CHARAKTERISTIKA HYDROLOGICKEJ SITUÁCIE NA SLOVENSKU V ROKOCH 1981 – 2016

Z časového hľadiska sa hydrologické hodnotenia prietokových charakteristík vykonávajú v dennom, mesačnom a ročnom kroku, alebo vo viacročnom období. Ešte menšie časové kroky (napr. hodinové) majú význam pri hodnotení hydrologických udalostí s rýchlym priebehom, ako sú napríklad prívalové povodne. Hydrologické sucho je naopak typické svojim pozvoľným nástupom i postupným odznievaním. Pri jeho hodnotení sa preto obvykle ako najmenší krok používa rad priemerných denných prietokov a jeho štatistické spracovanie.

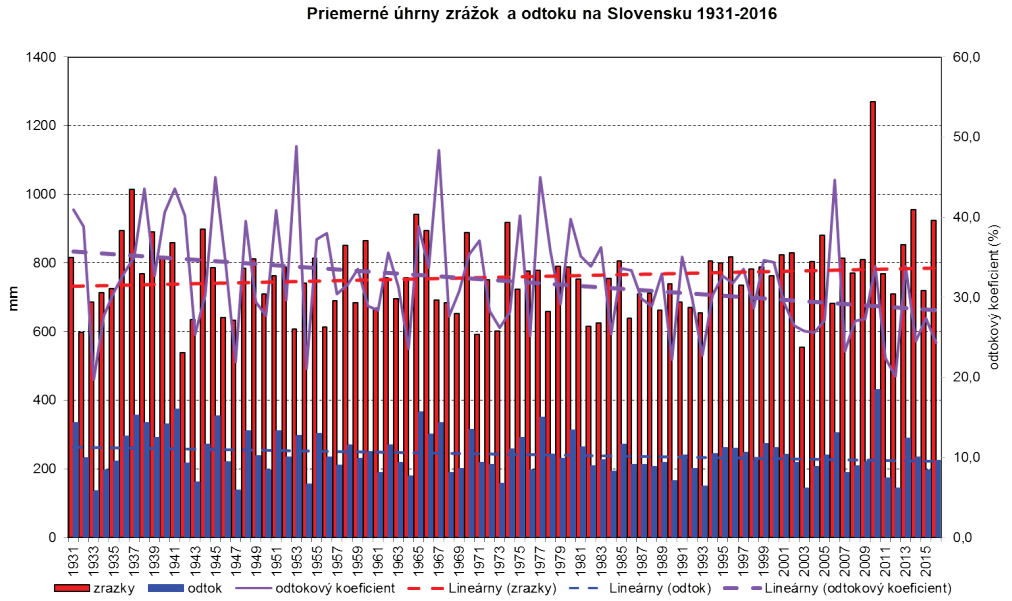
Pri hodnotení zrážko-odtokovej situácie na Slovensku v hodnotenom období je vidieť mierne rastúci lineárny trend odtoku (obr. 4.1.1).



Obr. 4.1.1 Vývoj ročného odtoku, ročného úhrnu zrážok a odtokového koeficienta pre územie Slovenska v jednotlivých rokoch za obdobie 1981 – 2015

Fig. 4.1.1 Annual runoff, precipitation totals and runoff coefficient development for the Slovak territory in respective years of the 1981 – 2015 period

To je však značne ovplyvnené tým, že začiatok tohto obdobia spadá do viacročného obdobia s menšou vodnosťou, preto je celkové vyhodnotenie zrážok, odtoku a odtokového koeficientu prezentované na dlhšom období 1931 – 2016 (obr. 4.1.2, 4.1.3).

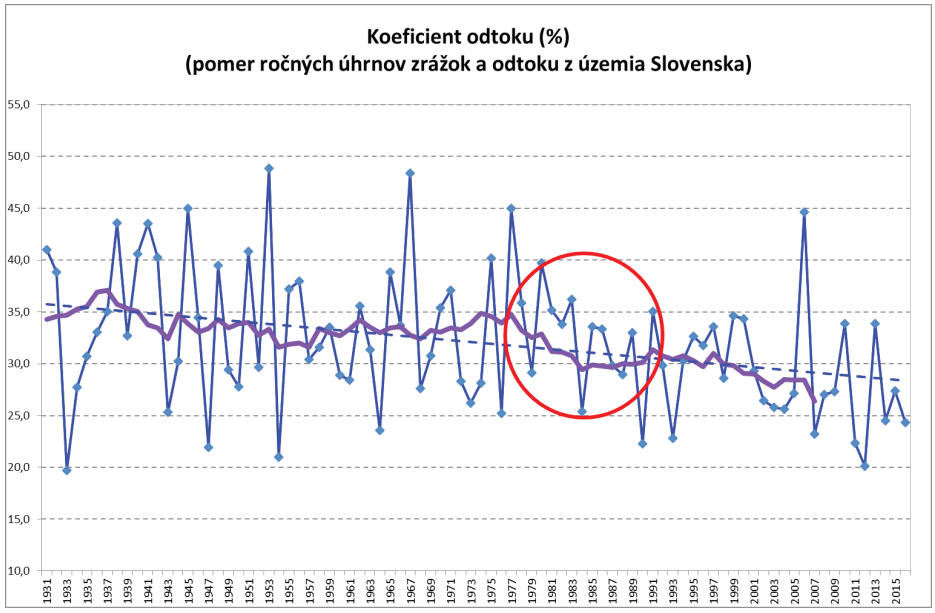


Obr. 4.1.2 Vývoj ročného odtoku, ročného úhrnu zrážok a odtokového koeficienta pre územie Slovenska v jednotlivých rokoch za obdobie 1931 – 2016

Fig. 4.1.2 Annual runoff, precipitation totals and runoff coefficient development for the Slovak territory in respective years of the 1931 – 2016 period

V dlhšom časovom úseku je zrejmý mierne rastúci lineárny trend ročných úhrnov zrážok na území Slovenska, ako aj mierne klesajúci trend ročného odtoku povrchovej vody z územia Slovenska. Koeficient odtoku, vypočítaný ako podiel odtoku a zrážok, má preto logicky klesajúci trend. Na obrázku 4.1.3 s priebehom hodnôt koeficientu odtoku je zvýraznené obdobie rokov 1978 – 1990, kedy je viditeľný prudší pokles hodnôt koeficientu odtoku, dokumentovaný aj priebehom 10-ročných kĺzavých priemerov s ročným krokom.

Dlhodobý priemer hodnoty koeficientu odtoku je približne zhodný s hodnotou za referenčné obdobie 1961 – 2000 (32,3 %), v období 1981 – 2015 priemerná hodnota klesla na 29,8 %, pričom v samotnom 15-ročí 2001 – 2015 až na 27,9 %. Klesajúci trend koeficientu odtoku je jednoznačným dôsledkom zvyšujúcich sa strát v rovnici hydrologickej bilancie. Straty predstavujú predovšetkým výpar a jeho zmena je vyvolaná narastajúcou teplotou vzduchu. Základnými faktormi ovplyvňujúcimi odtok z nášho územia sú teda množstvo zrážkových úhrnov a teplota vzduchu (Majerčáková, et al., 2011).



Obr. 4.1.3 Koeficient odtoku z územia SR (%) v jednotlivých rokoch za obdobie 1931 – 2016, 10-ročný kĺzavý priemer a lineárny trend

Fig. 4.1.3 Runoff coefficient from the Slovak territory (%) in respective years of the 1931 – 2016 period, 10-year moving average and linear trend

4.1.1 Priemerné ročné prietoky

Pri hodnotení priemerných ročných prietokov za hydrologické roky obdobia 1981 – 2012 sme s ohľadom na porovnateľnosť prietokových údajov veľkostne odlišných tokov použili relatívne hodnoty, t.j. percentuálny pomer priemerného ročného prietoku (Q_r) a dlhodobého priemerného prietoku za referenčné obdobie 1961 – 2000 (Q_a) v jednotlivých vodomerných staniciach. Tabuľkové porovnanie relatívnych vodností v hodnotených profiloch s farebným odlíšením pre suché, normálne a vodné roky sa nachádza v tabuľke 4.1.1.1.

V roku 1982 sa vyskytli výrazne podpriemerné hodnoty takmer vo všetkých hodnotených povodiach okrem Myjavy, pričom relatívne hodnoty sa pohybovali v rozmedzí cca 60 – 85 %, Nitra a Kysuca cca 90 %. V roku 1984 sa vyskytli podpriemerné hodnoty vodnosti v rozmedzí cca 60 až 90 % Q_a, s výnimkou Hrona a Ipľa.

Dlhšie obdobie malých vodností vo viacerých hodnotených profiloch bolo obdobie rokov 1986 až 1993, kedy sa podpriemerné hodnoty vyskytovali najmä v strednej časti Slovenska (Hron, Ipeľ, Rimava), v období 1989 – 1993 aj na Myjave a 1988 – 1993 na Nitre. Na Poprade boli málo vodné roky 1986 – 1988, 1990, 1993 prerušené rokmi s normálnou alebo nadpriemernou vodnosťou 1989, 1991 a 1992. Z tohto obdobia bol výrazne suchými vo všetkých hodnotených profiloch rok 1990, ale najmä rok 1993, v ktorom boli zasiahnuté všetky povodia, pričom relatívne hodnoty Q_r/Q_a na Ipli a Rimave klesli až na 25 – 28 %, v ostatných profiloch sa relatívne hodnoty pohybovali v rozmedzí od 42 % do 76 %.

Tab. 4.1.1.1 Výskyt suchých období v hodnotených profiloch – priemerné ročné prietoky (relatívne hodnoty Q_r/Q_a (%))

Tab. 4.1.1.1 Occurrence of dry periods in evaluated profiles – average annual discharges (relative values Q_r/Q_a (%))

Relatívne hodnoty Qr/Q (%) vo vybraných vodomerných staniciach, obdobie 1981 - 2012

Obdobie	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Myjava-Šaštín-Stráže	141	108	84	66	105	112	146	121	66	44	44	69	42	101	106	98	96	78	133	72	60	72	70	48	63	171	57	75	142	252	165	60
Váh - LM	108	84	92	81	97	73	83	94	92	86	98	97	75	110	105	102	90	95	104	101	117	101	77	84	94	86	97	99	95	149	104	69
Kysuca - KNM	91	89	104	75	111	93	114	100	104	86	65	100	76	94	113	107	120	91	90	117	117	107	69	80	101	94	99	72	89	131	87	84
Nitra - NS	112	90	85	74	99	101	126	87	70	51	61	80	58	122	120	94	79	75	121	97	69	89	66	67	97	119	72	81	66	156	97	58
Hron-Brehy	114	84	91	112	104	80	90	84	67	62	83	88	55	121	121	100	69	75	108	84	94	94	67	70	92	100	69	69	81	180	109	50
Ipeľ-Holiša	126	67	71	92	106	74	63	66	48	50	97	80	25	77	110	91	51	57	119	86	89	55	53	79	88	135	37	36	91	257	144	19
Rimava-Vlkyňa	105	64	76	89	114	66	53	77	55	45	89	82	28	93	116	90	55	65	128	78	89	68	58	64	83	137	42	43	79	255	146	28
Torysa-Koš.Olšany	112	70	97	74	178	98	79	87	116	65	86	91	51	74	94	93	99	83	133	113	105	60	59	98	171	139	70	110	100	202	105	46
Topľa-Hanušovce	125	75	103	59	145	99	92	77	118	71	81	95	65	67	85	73	87	76	101	100	99	70	58	86	154	114	60	98	96	178	98	54
Poprad-Chmeľnica	91	71	100	82	124	80	84	87	120	84	91	93	72	89	107	112	116	103	99	120	128	101	75	100	130	105	100	104	109	173	113	61

málo vodné obdobie

10 - 29	suché roky
30 - 49	
50 - 69	
70 - 89	
90 - 110	normálny rok
111 - 130	vodné roky
131 - 150	
151 - 170	
171 - 190	
a viac	

V rokoch 1997 – 1998 boli zaznamenané podnormálne hodnoty priemerných ročných prietokov opäť najmä v strednej časti Slovenska (Nitra, Hron, Ipeľ, Rimava) v rozmedzí cca 50 – 80 % a na východe (Topľa) v rozmedzí 76 – 87 %.

Ďalším obdobím, kedy hodnoty priemerných ročných prietokov klesli pod dlhodobé priemery boli roky 2000 – 2004, najvýraznejšie sa prejavili na Myjave, Nitre, Ipli a Rimave, v rokoch 2002 – 2003 aj na Toryse a Topli. Z tohto obdobia sa ako najsuchší hodnotí rok 2003, kedy boli opäť podpriemerné hodnoty vo všetkých hodnotených profiloch, v rozmedzí 53 – 77 %.

V rokoch 2007 – 2008 boli zaznamenané podpriemerné hodnoty $\boldsymbol{Q}_r$ v hodnotených profiloch na Myjave, Nitre, Hrone, Ipli a Rimave, pričom na Ipli a Rimave dosiahli len cca 40 % dlhodobých hodnôt.

Ku koncu hodnoteného obdobia sa vyskytol mimoriadne vodný rok 2010, kedy sa hodnoty $\boldsymbol{Q}_r/\boldsymbol{Q}_a$ pohybovali v rozmedzí 150 – 255 %, na Kysuci cca 130 %. Následne hodnoty v roku 2011 klesali a rok 2012 bol vo všetkých profiloch hodnotený ako výrazne podpriemerný, relatívne hodnoty na Ipli dosiahli len 19 %, na Rimave 28 % a v ostatných profiloch od 46 do 60 %, na Váhu 69 % a na Kysuci 84 % dlhodobých priemerných prietokov.

Na základe zotriedených hodnôt sa ako najsuchší rok prejavil rok 2012 v profiloch na Váhu, Hrone, Ipli, Topli, Toryse a Poprade. Na Myjave a na Hrone to bol rok 1993, na Kysuci rok 1991 a na Nitre rok 1990. Ak sa pre každý profil uvažujú 3 najsuchšie roky, s najväčšou početnosťou sa medzi nimi vyskytujú roky 2012 a 1993, nasledované o niečo menším počtom výskytov v rokoch 2003 a 1990. V prípade zahrnutia 5 najsuchších rokov z každého profilu, počtom výskytu prevažuje rok 1993, nasledujú roky 2012, 2003, 1990 a 2007.

4.1.2 Priemerné mesačné prietoky

Pri hodnotení výskytu minimálnych hodnôt priemerných mesačných prietokov je potrebné brať do úvahy prirodzenú sezónnosť prietokov u jednotlivých tokov a profilov. Rozdelenie odtoku v roku reprezentujú hodnoty dlhodobých priemerných prietokov v jednotlivých mesiacoch roka Q_{ma} za referenčné obdobie (v súčasnosti používané 1961 – 2000). Pre hodnotené profily sa obdobia minimálnych hodnôt priemerných mesačných prietokov za referenčné obdobie líšia, v južných oblastiach prevládajú letné až jesenné mesiace (napr. Myjava – september, október, august; Nitra – september, august, október), v severnejších polohách zimné a jesenné mesiace (napr. Váh – február, január, december; Poprad – január, február, december).

Takémuto rozdeleniu odpovedá aj výskyt najmenších hodnôt priemerných mesačných prietokov za hodnotené obdobie 1981 – 2012 vo vybraných profiloch. V tabuľke 4.1.2.1 sú pre hodnotené profily uvedené minimálne hodnoty Q_m za hodnotené obdobie, s uvedením mesiaca a roku jeho výskytu.

Tab. 4.1.2.1 Výskyt absolútneho minima priemerného mesačného prietoku v hodnotených profiloch za obdobie 1981 – 2012

Tab. 4.1.2.1 Occurrence of average monthly absolute minimum discharge in evaluated profiles in the period 1981 – 2012

Stanica	Tok	Mesiac a rok výskytu min Q_m	Q_m (min) ($m^3.s^{-1}$)	% Q_{ma}
Šaštín-Stráže	Myjava	08.1990	0,407	25
Liptovský Mikuláš	Váh	01.1985	4,976	50
Kysucké Nové Mesto	Kysuca	08.1992	1,523	13
Nitrianska Streda	Nitra	09.2003	2,940	40
Brehy	Hron	09.2003	9,967	41
Holiša	Ipeľ	08.1993	0,049	4
Vlkyňa	Rimava	08.1993	0,492	17
Košické Oľšany	Torysa	01.2004	1,316	30
Hanušovce nad Topľou	Topľa	12.1986	1,330	22
Chmeľnica	Poprad	12.1986	2,819	34

Pre 10 najmenších hodnôt priemerných mesačných prietokov za jednotlivé roky zvoleného obdobia v jednotlivých profiloch boli najviac zastúpenými mesiacmi výskytu mesiace zhodné alebo blízke mesiacom, v ktorých sa v danom profile vyskytujú najmenšie dlhodobé priemerné mesačné prietoky za referenčné obdobie.

V profile Myjava - Šaštín-Stráže to boli mesiace august, september, október, t.j. letno-jesenné obdobie (najmenšie dlhodobé priemerné mesačné prietoky za referenčné obdobie: september, október, august).

V profile Váh - Liptovský Mikuláš sa v hodnotenom období vyskytli najmenšie priemerné mesačné prietoky najčastejšie v januári, februári a marci, t.j. zimné obdobie (dlhodobé: február, január, december).

Najmenšie priemerné mesačné prietoky na Kysuci v Kysuckom Novom Meste sa vyskytli najmä v mesiacoch august, september, november, október (dlhodobé: november, január).

Na Nitre v Nitrianskej Strede boli najmenšie priemerné mesačné prietoky zaznamenané v letno-jesennom období, prevažne v septembri, auguste, októbri (dlhodobé: september, august, október, júl).

V profile Hron - Brehy sa najmenšie priemerné mesačné prietoky vyskytli najmä v septembri, auguste a novembri, t.j. v letno-jesennom období (dlhodobé: september, august, január, júl).

Na Ipli v Holiši prevládali v hodnotenom období ako mesiace s najmenšími hodnotami priemerných mesačných prietokov august, júl a september, t.j. letno-jesenné mesiace (dlhodobé: september, august, júl, október).

V profile Rimava - Vlkyňa boli najmenšie priemerné mesačné prietoky zaznamenané najčastej-

šie v letno-jesennom období – september, august a júl, zhodne s výskytom minimálnych dlhodobých mesačných priemerov.

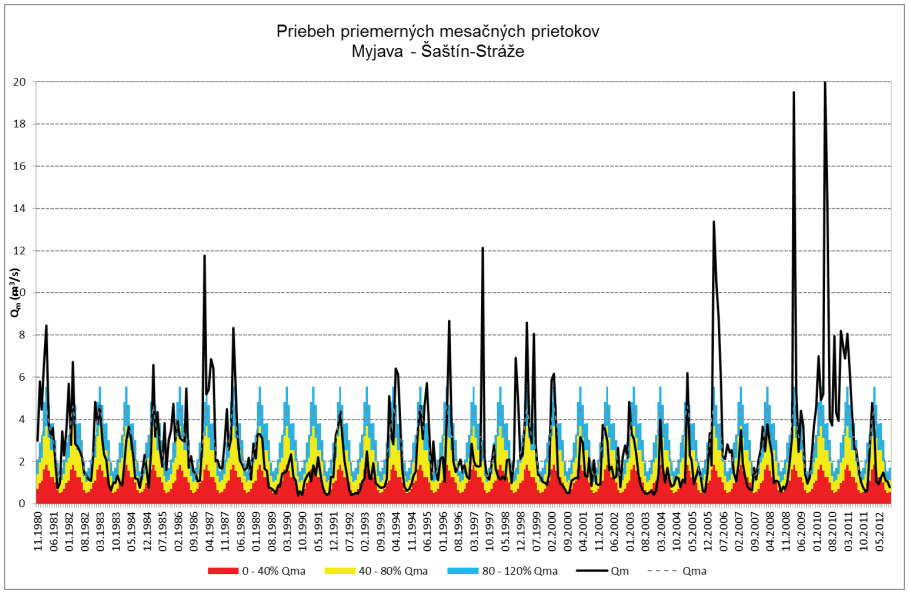
V profile Torysa - Košické Olšany sa minimálne hodnoty priemerných mesačných prietokov vyskytli najmä v zimných mesiacoch január, december a september (dlhodobé: september, január, november, december).

Na Topli v Hanušovciach boli minimálne hodnoty najmä v mesiacoch január, december, október a september (dlhodobé: september, január, október).

Na Poprade v Chmeľnici sa najmenšie hodnoty priemerných mesačných prietokov v hodnotenom období vyskytli v zimných mesiacoch február, december a január, rovnako ako u dlhodobých priemerných mesačných priemerov.

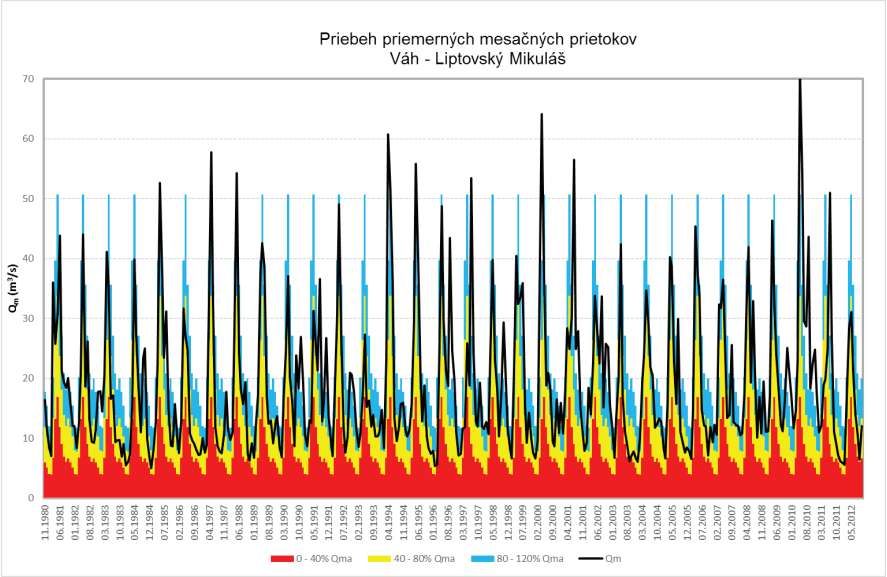
Priebeh priemerných mesačných prietokov v hodnotených profiloch za obdobie 1981 – 2012 v porovnaní s dlhodobými priemernými mesačnými prietokmi (kvantilmi 40 %, 80 %, 120 % Q_{ma}) je zobrazený na obr. 4.1.2.1 až 4.1.2.10, na pozadí farebne vyznačených kvantilov Q_{ma} nasledovne:

	1.	kvantil (80 až 120 % z $\boldsymbol{Q}_{mes61\text{-}2000}$ - normálny stav vodnosti)
	2.	kvantil (40 až 80 % z $\boldsymbol{Q}_{mes61\text{-}2000}$ - podnormálny stav vodnosti)
	3.	kvantil (menej ako 40 % z $\boldsymbol{Q}_{mes61\text{-}2000}$ - kritická hodnota podnormálneho stavu vodnosti)



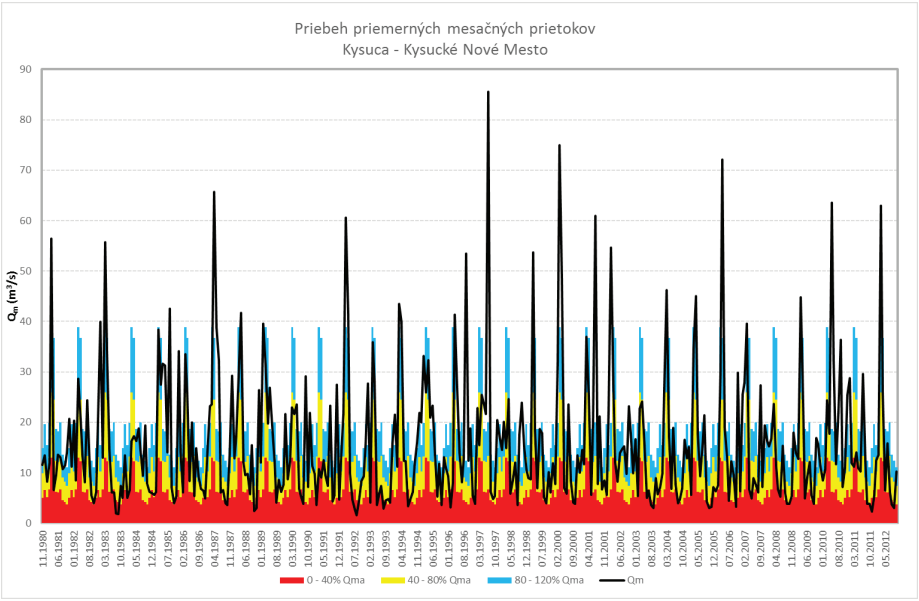
Obr. 4.1.2.1 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Myjava - Šaštín-Stráže

Fig. 4.1.2.1 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Myjava - Šaštín-Stráže



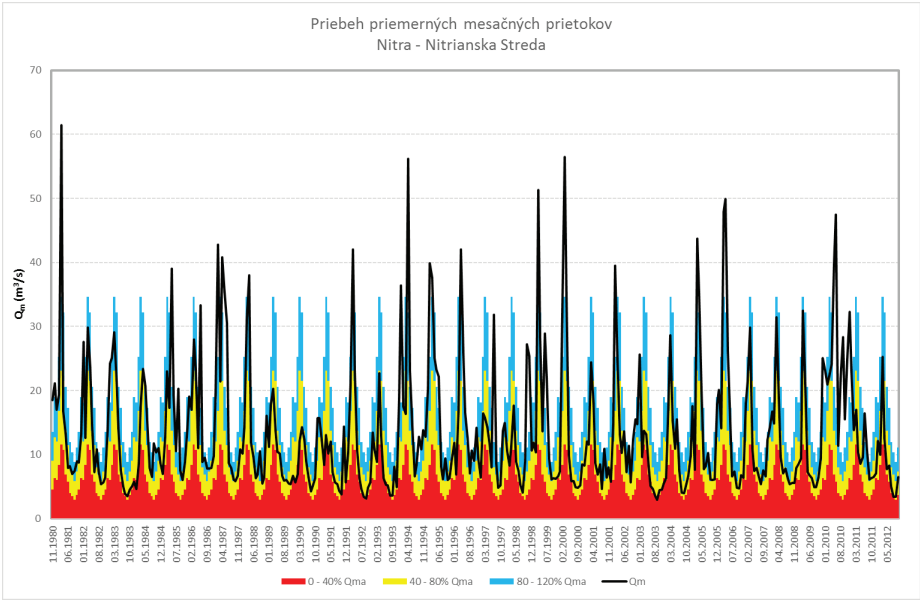
Obr. 4.1.2.2 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Váh - Liptovský Mikuláš

Fig. 4.1.2.2 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Váh - Liptovský Mikuláš



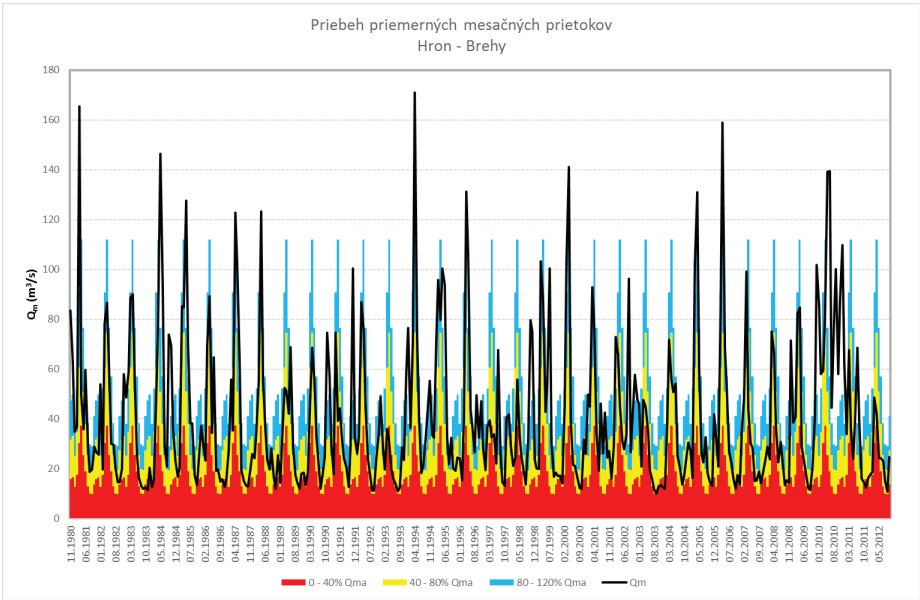
Obr. 4.1.2.3 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Kysuca - Kysucké Nové Mesto

Fig. 4.1.2.3 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Kysuca - Kysucké Nové Mesto



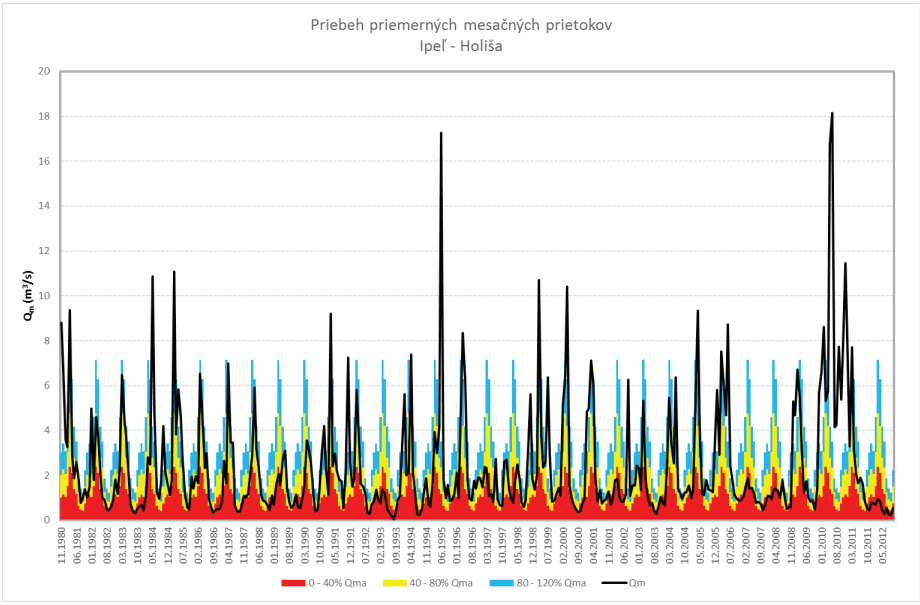
Obr. 4.1.2.4 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Nitra - Nitrianska Streda

Fig. 4.1.2.4 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Nitra - Nitrianska Streda



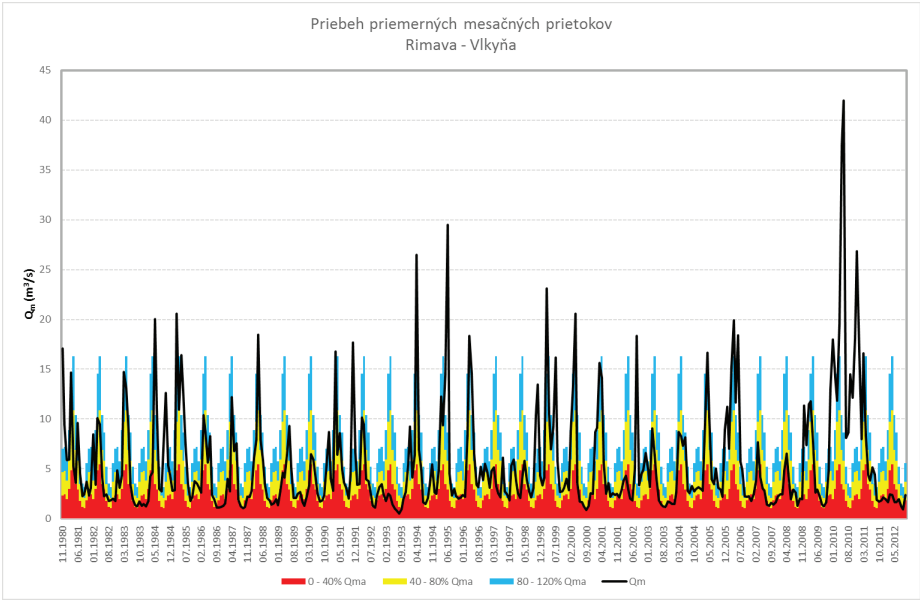
Obr. 4.1.2.5 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Hron - Brehy

Fig. 4.1.2.5 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Hron - Brehy



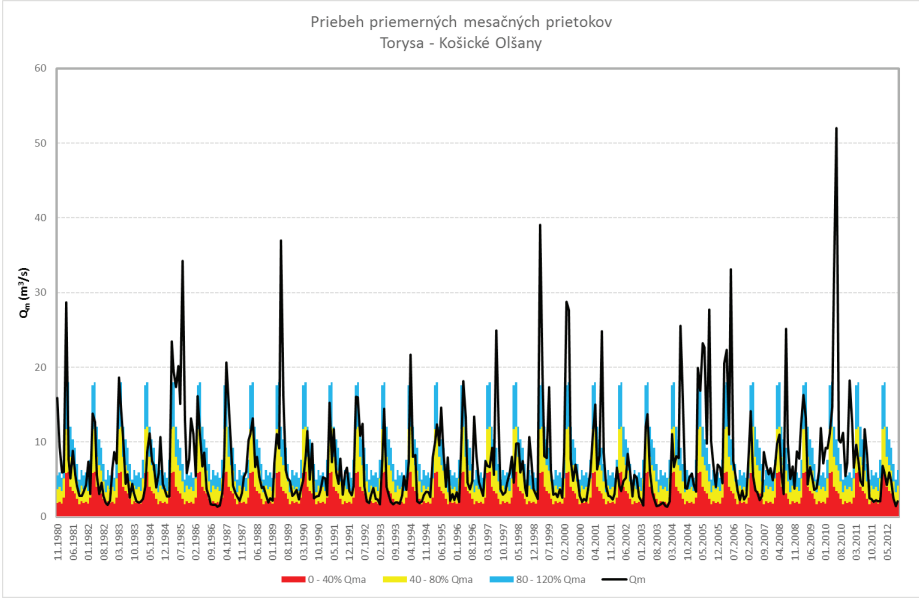
Obr. 4.1.2.6 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Ipeľ - Holiša

Fig. 4.1.2.6 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Ipeľ - Holiša



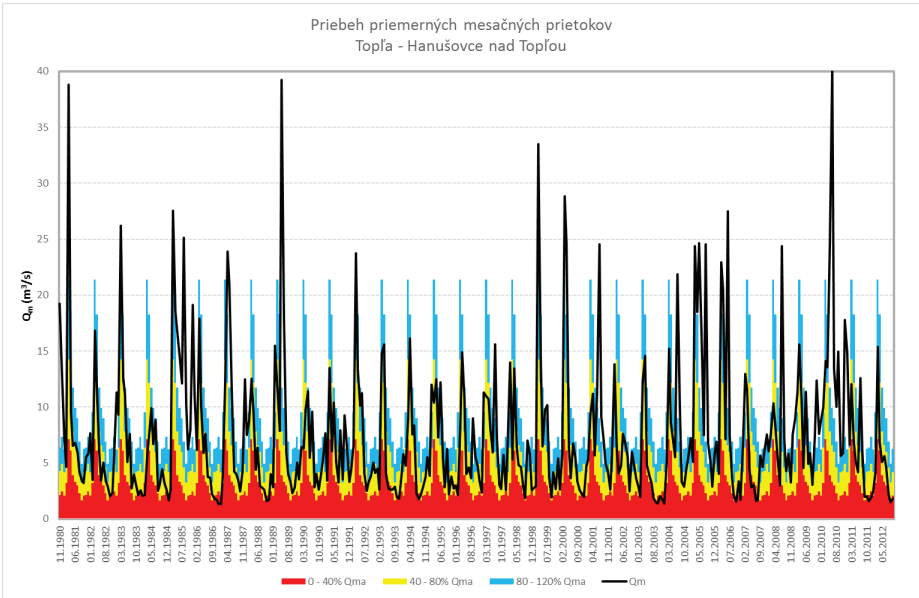
Obr. 4.1.2.7 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Rimava - Vlkyňa

Fig. 4.1.2.7 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Rimava - Vlkyňa



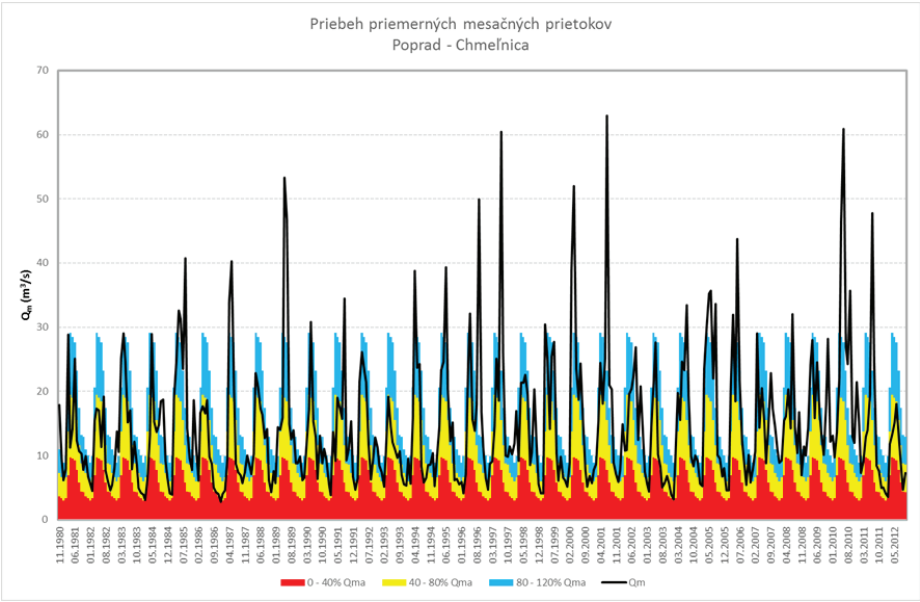
Obr. 4.1.2.8 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Torysa - Košické Olšany

Fig. 4.1.2.8 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Torysa - Košické Olšany



Obr. 4.1.2.9 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, stanica Topľa - Hanušovce nad Topľou

Fig. 4.1.2.9 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Topľa - Hanušovce nad Topľou



Obr. 4.1.2.10 Priebeh priemerných mesačných prietokov v období 1981 – 2012, profil Poprad - Chmeľnica

Fig. 4.1.2.10 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Poprad - Chmeľnica

Priemerné mesačné prietoky sa hodnotia aj pomocou relatívnych hodnôt, pomerom k dlhodobým hodnotám priemerných mesačných prietokov odpovedajúcich mesiacov roka (Q_m/Q_{ma} (%)). V takomto prípade mesiace s minimálnymi relatívnymi hodnotami mesačných prietokov väčšinou neodpovedajú mesiacom s reálne najmenšími prietokmi. Kým minimálne prietoky sa vyskytujú v letno-jesennom období, prípadne v zime (voda uviazaná v snehu, zámrz), minimálne relatívne hodnoty mesačných prietokov sa vyskytujú aj v jarných mesiacoch, kedy sa obvykle prejavuje zvýšený odtok súvisiaci s topením snehu. Menšie hodnoty prietokov v konkrétnych rokoch v týchto mesiacoch oproti dlhodobým priemerom môžu byť spôsobené rôznymi faktormi (menšou zásobou snehu, posunom jarného odtoku do skorších/neskorších mesiacov, teplotou vzduchu, množstvom a rozdelením zrážok a pod.). I keď hodnoty v tomto období zväčša nedosahujú absolútne minimá v roku, relatívna hodnota môže byť výrazne nižšia a deficit odtoku voči normálu môže tvoriť pomerne veľké objemy, čo sa môže premietnuť do nasledujúceho obdobia.

V tab. 4.1.2.2 sú zobrazené relatívne hodnoty priemerných mesačných prietokov v jednotlivých hodnotených profiloch za obdobie 1981 – 2012, pričom sú farebne odlíšené podľa vyššie uvedených kvantilov % Q_{ma}. Podľa zoskupenia farieb vyjadrujúcich výrazne podpriemerné mesačné hodnoty prietokov (žltá - menej ako 80 % dlhodobého priemeru odpovedajúceho mesiaca a červená – menej ako 40 % dlhodobej priemernej hodnoty prietoku odpovedajúceho mesiaca) je prehľadne vidno obdobia, kedy sa suché obdobie vyskytlo v súvislo po sebe nasledujúcich mesiacoch a plošne zasahovalo viac hodnotených profilov.

Tab. 4.1.2.2 Priemerné mesačné prietoky vo vybraných profiloch – relatívne hodnoty Q_m/Q_{ma} (%)

Tab. 4.1.2.2 Average monthly discharges in evaluated profiles – relative values of Q_m/Q_{ma} (%)

mesiac	5030	5550	6200	6730	7290	7440	7900	8870	9500	8320
11.1980	171,4	110,8	92,6	163,7	211,6	350,7	293,1	345,1	361,7	196,2
12.1980	239,4	92,3	81,8	133,7	150,5	237,4	157,2	187,8	210,3	113,9
01.1981	163,4	86,5	63,6	112,9	110,1	139,4	122,5	136,5	134,7	82,5
02.1981	166,3	71,6	71,8	92,2	84,9	85,5	80,0	94,0	58,6	96,4
03.1981	182,7	214,6	174,4	212,8	218,7	157,5	120,6	195,6	217,8	168,1
04.1981	96,2	78,1	21,2	62,4	53,1	54,5	38,8	50,7	62,3	46,1
05.1981	99,7	72,7	61,6	77,2	56,2	54,0	41,7	51,4	66,7	59,6
06.1981	113,4	147,4	89,1	54,8	125,8	88,3	132,9	102,0	82,2	108,7
07.1981	81,3	94,1	78,5	81,9	94,6	110,8	104,4	72,9	78,8	64,0
08.1981	44,1	111,2	95,1	80,9	75,5	66,0	77,3	68,6	72,7	73,7
09.1981	75,0	121,9	110,3	101,8	81,4	100,1	92,4	66,9	83,3	93,3
10.1981	242,5	120,7	150,4	96,6	84,4	74,2	79,7	53,8	61,2	72,0
11.1981	130,4	107,1	166,7	77,6	67,1	39,9	39,9	72,4	103,8	108,4
12.1981	143,6	93,8	68,5	83,2	61,7	52,6	51,3	85,9	94,9	80,3
01.1982	209,3	120,2	158,5	183,3	170,7	193,9	176,2	169,7	147,3	78,6
02.1982	69,6	85,4	51,0	59,7	45,3	46,4	45,9	47,6	43,3	54,5
03.1982	145,2	75,3	88,4	103,3	103,4	77,4	83,2	94,1	94,4	90,1
04.1982	72,8	62,7	67,1	88,1	92,8	73,7	69,8	84,3	77,9	71,4
05.1982	85,2	104,2	86,1	86,3	99,3	59,9	47,9	56,0	61,2	71,7
06.1982	78,1	62,5	53,5	50,3	63,0	34,6	30,7	35,4	41,4	49,0
07.1982	86,3	115,8	146,6	108,2	92,4	58,1	56,0	59,9	67,2	99,2
08.1982	90,5	75,6	104,4	86,4	81,9	39,8	61,3	47,3	58,3	52,9
09.1982	103,2	62,3	53,4	72,9	59,8	44,1	70,1	43,7	72,4	54,4
10.1982	82,0	55,4	42,6	61,6	42,4	32,4	43,9	30,8	38,8	42,6
11.1982	62,3	77,3	50,2	56,9	50,9	36,3	30,2	46,5	42,5	58,7
12.1982	84,7	138,4	123,9	87,2	139,9	63,7	80,2	130,3	95,0	97,5
01.1983	177,6	177,9	311,0	160,4	154,4	45,9	64,2	199,8	217,7	186,3
02.1983	94,2	147,7	78,3	119,2	136,3	57,6	59,2	112,9	117,3	127,8
03.1983	100,2	122,5	172,1	100,9	117,0	108,9	121,5	127,2	147,1	146,5
04.1983	78,0	124,6	111,5	80,0	96,7	86,2	96,6	99,4	83,2	119,4
05.1983	74,4	85,5	94,5	82,0	88,8	105,8	100,9	102,5	112,7	103,8
06.1983	65,5	55,7	40,3	52,7	53,4	67,1	48,2	50,8	61,6	65,7
07.1983	36,2	76,1	36,5	50,3	52,0	47,0	44,3	74,3	101,5	87,8
08.1983	40,3	53,9	16,5	44,9	52,6	34,3	45,2	42,8	47,5	54,3
09.1983	78,8	64,0	17,2	47,9	49,2	30,7	47,7	107,5	96,8	110,4
10.1983	68,8	58,4	79,2	49,0	36,1	26,1	37,4	59,9	60,4	80,4
11.1983	76,4	46,7	40,6	44,9	29,2	24,2	21,7	44,9	39,6	54,0
12.1983	40,7	70,2	82,2	36,5	49,0	22,8	24,4	39,0	41,7	50,8
01.1984	32,4	54,6	38,9	30,8	39,8	17,3	25,1	46,0	39,7	53,3
02.1984	42,8	62,0	39,5	41,0	35,0	28,2	24,1	37,7	26,7	37,3
03.1984	65,3	43,1	50,4	60,3	64,8	47,1	35,1	28,4	31,8	37,7
04.1984	93,9	46,1	56,4	86,9	81,7	47,3	34,3	58,2	48,5	54,2
05.1984	96,9	94,2	105,2	120,7	229,6	313,1	232,2	111,4	101,1	122,1
06.1984	68,4	91,5	124,1	105,8	192,9	166,6	152,8	86,5	80,8	66,2
07.1984	47,9	81,4	86,6	78,7	89,9	80,7	68,1	90,0	117,8	70,4
08.1984	71,8	63,4	83,5	75,6	84,1	81,5	93,0	66,2	44,0	101,9
09.1984	58,2	155,0	187,7	160,5	305,1	164,8	267,3	140,4	76,0	167,4
10.1984	102,5	150,2	84,6	112,6	202,6	223,8	272,9	206,4	85,0	173,2
11.1984	132,1	67,1	50,3	97,0	92,2	87,2	91,2	95,3	59,1	100,4
12.1984	69,9	52,4	36,1	55,0	56,0	56,2	73,3	69,1	43,7	78,0
01.1985	28,2	49,7	43,6	46,4	53,1	43,6	58,7	61,9	31,6	55,7
02.1985	61,3	82,7	37,3	60,7	46,6	47,1	38,8	42,7	32,5	46,7
03.1985	142,7	76,4	118,5	79,6	112,6	186,3	169,6	159,7	154,7	109,4
04.1985	81,7	67,8	89,8	64,3	90,7	72,8	80,5	129,4	121,9	101,5
05.1985	137,3	124,5	203,8	227,9	200,2	167,9	190,1	172,9	171,5	137,4
06.1985	81,9	125,7	206,3	133,2	148,0	157,1	176,3	233,4	177,0	135,9
07.1985	70,3	103,5	84,7	105,5	120,0	173,9	169,4	196,9	161,3	121,3
08.1985	234,7	179,8	376,8	235,3	153,7	97,5	118,3	580,4	437,1	281,0
09.1985	122,7	99,3	68,2	102,1	72,5	54,4	68,5	313,3	253,0	129,5
10.1985	212,8	52,7	42,4	65,8	38,8	25,8	45,6	112,4	118,6	89,7
11.1985	199,0	58,6	42,9	78,4	59,5	77,5	64,5	167,2	149,4	85,3
12.1985	195,6	122,5	208,7	89,1	90,0	49,4	58,2	265,6	312,7	224,0
01.1986	108,1	101,4	108,8	126,5	96,5	76,9	65,3	255,5	213,3	148,5
02.1986	98,8	77,0	36,4	80,7	53,4	43,6	35,5	85,7	77,5	73,0
03.1986	67,4	76,8	103,5	96,8	91,4	109,7	85,4	109,9	100,5	97,1

04.1986	77,4	95,9	84,7	86,2	95,7	89,1	64,3	72,4	65,8	72,9
05.1986	93,8	64,7	53,5	64,4	53,7	66,9	65,2	67,2	60,0	69,6
06.1986	172,3	82,8	132,0	231,9	136,0	102,4	114,7	99,5	92,0	80,7
07.1986	67,6	47,8	32,0	88,3	59,8	60,3	54,7	47,6	49,6	50,8
08.1986	138,2	55,4	131,9	110,1	79,2	53,9	64,7	46,3	64,2	59,6
09.1986	120,2	60,4	89,7	105,9	61,6	33,0	42,6	39,3	54,9	45,8
10.1986	101,8	48,6	72,7	84,7	45,8	23,2	24,0	30,1	34,8	39,5
11.1986	60,5	48,8	51,7	70,0	31,8	19,8	19,7	34,3	32,1	43,6
12.1986	45,5	57,0	29,6	61,7	37,9	17,2	21,1	26,8	21,8	33,9
01.1987	103,2	100,0	112,9	129,4	88,1	32,6	31,3	34,3	25,8	53,9
02.1987	292,8	77,4	140,1	203,4	128,2	69,2	54,4	48,8	48,2	55,5
03.1987	112,6	52,8	72,7	74,1	46,6	27,6	22,5	45,9	68,5	55,5
04.1987	138,9	98,8	214,8	152,0	131,6	133,5	90,2	137,4	156,9	139,2
05.1987	216,8	136,6	249,4	205,9	160,1	100,2	78,6	148,0	213,5	169,9
06.1987	202,0	108,7	212,6	212,6	134,7	118,0	104,4	120,5	138,0	87,7
07.1987	80,5	52,5	36,4	86,8	60,6	42,4	44,0	54,1	56,3	44,9
08.1987	126,7	49,9	57,9	91,3	60,9	33,1	41,0	53,8	70,2	50,6
09.1987	131,3	51,1	38,6	83,3	54,6	36,8	40,2	64,8	83,9	62,4
10.1987	119,0	45,1	39,2	63,8	37,9	31,0	25,4	42,1	46,6	52,6
11.1987	164,9	71,6	111,0	58,9	49,8	43,2	37,8	68,4	80,2	81,3
12.1987	185,3	138,4	178,7	68,3	62,6	35,5	36,2	107,2	203,8	120,2
01.1988	94,5	114,8	99,7	67,3	76,6	44,3	57,7	139,0	144,4	118,0
02.1988	76,6	99,1	105,1	68,1	80,5	55,4	81,7	161,4	110,0	85,7
03.1988	180,8	65,6	90,0	107,1	73,3	48,4	65,4	75,7	70,5	60,0
04.1988	138,3	84,5	136,3	141,6	132,2	112,9	136,2	87,7	63,7	94,0
05.1988	100,4	128,4	77,4	69,2	87,7	91,4	91,5	66,6	44,8	87,3
06.1988	65,1	82,2	62,6	67,6	74,6	78,0	81,0	92,5	77,1	75,0
07.1988	73,7	80,0	58,8	62,9	74,2	71,1	81,0	69,2	39,1	84,6
08.1988	97,2	90,3	50,9	79,7	79,1	75,4	69,9	65,1	47,8	87,8
09.1988	132,4	128,3	150,6	143,8	115,8	79,9	70,0	98,0	64,1	128,4
10.1988	154,0	44,2	26,3	59,2	48,3	33,7	29,6	55,5	30,8	56,9
11.1988	64,9	42,5	23,7	56,3	29,9	17,8	26,0	41,4	31,9	47,2
12.1988	117,1	71,5	161,3	101,4	61,6	38,3	32,1	49,6	65,1	90,7
01.1989	79,2	66,8	93,4	74,0	45,4	26,6	28,5	49,3	54,7	77,2
02.1989	82,1	122,5	239,4	84,5	73,4	40,9	37,7	113,7	194,8	174,7
03.1989	71,3	103,9	96,7	70,2	69,2	34,4	38,0	75,6	65,6	82,0
04.1989	79,5	112,7	64,3	50,8	54,9	29,8	30,2	60,8	51,6	65,5
05.1989	52,0	100,7	172,7	61,1	65,9	78,2	74,3	368,5	400,9	225,0
06.1989	49,2	130,0	127,2	71,0	145,0	106,1	128,8	187,0	217,6	202,7
07.1989	30,7	75,3	73,5	67,3	91,5	91,7	119,6	81,3	78,2	76,8
08.1989	44,2	71,9	36,3	68,9	70,6	68,3	71,2	88,8	69,2	86,4
09.1989	49,0	85,6	83,4	82,8	60,1	54,8	78,1	114,4	79,1	126,9
10.1989	34,7	54,8	66,8	59,2	35,1	35,6	53,5	53,5	43,9	81,8
11.1989	49,3	83,8	61,4	47,6	45,4	45,3	45,8	65,1	53,5	96,2
12.1989	33,3	106,9	132,5	42,1	44,2	21,8	27,7	71,9	81,9	117,8
01.1990	52,8	86,4	67,3	37,7	42,6	20,7	26,8	52,2	68,2	83,4
02.1990	36,6	70,3	73,7	33,3	43,2	26,6	30,3	56,1	80,3	78,6
03.1990	33,6	96,2	70,8	42,0	56,8	25,6	27,4	33,4	35,3	69,9
04.1990	49,4	73,8	70,9	53,1	73,5	67,9	47,5	52,7	64,4	70,8
05.1990	73,9	87,7	152,0	71,6	85,2	93,2	68,6	114,8	116,8	129,8
06.1990	40,1	68,0	44,8	62,0	70,0	86,3	54,5	57,1	66,3	66,6
07.1990	43,1	71,3	32,2	64,5	65,3	73,0	57,9	127,2	127,9	66,8
08.1990	25,0	50,1	33,7	48,7	47,7	34,3	58,4	41,6	49,6	43,9
09.1990	46,6	158,0	282,8	69,1	77,3	43,6	69,3	65,2	98,2	119,4
10.1990	30,2	109,9	77,7	68,4	72,4	68,7	49,8	53,6	49,9	81,3
11.1990	60,3	182,0	176,1	139,0	188,5	118,4	91,7	77,1	76,5	121,2
12.1990	54,3	148,0	69,0	99,5	138,3	147,2	145,4	106,3	86,3	111,1
01.1991	54,4	107,2	76,1	80,9	92,9	88,9	83,4	117,3	147,4	75,1
02.1991	26,6	88,2	21,6	39,6	40,7	29,9	37,3	44,8	42,7	46,3
03.1991	39,6	77,5	32,9	45,2	98,7	154,5	138,3	104,1	75,7	79,5
04.1991	34,3	38,1	29,4	37,8	42,1	45,8	47,2	48,6	39,8	37,8
05.1991	69,8	74,0	80,3	70,3	69,4	85,3	99,6	116,5	106,1	79,9
06.1991	50,7	85,4	61,7	50,2	65,3	76,1	68,2	68,7	61,8	76,1
07.1991	36,1	94,4	44,2	56,8	75,4	116,1	83,6	57,4	43,7	81,4
08.1991	32,5	210,7	205,6	62,2	83,5	148,8	104,1	132,1	138,1	237,8
09.1991	33,0	85,0	41,6	59,7	51,7	51,9	75,8	72,1	86,0	84,0
10.1991	34,1	98,8	58,7	40,5	83,9	119,7	97,2	113,9	177,2	102,4

Tab. 4.1.2.2 Pokračovanie

Tab. 4.1.2.2 Continuation

mesiac	5030	5550	6200	6730	7290	7440	7900	8870	9500	8320
11.1991	73,6	180,2	221,6	127,2	254,1	288,5	302,6	142,7	122,1	167,6
12.1991	52,3	107,4	28,2	35,9	78,7	90,6	110,3	69,4	54,2	81,2
01.1992	118,6	96,4	97,5	68,8	83,0	57,8	70,5	66,8	83,4	63,2
02.1992	91,2	71,7	131,2	99,9	75,4	48,4	47,0	63,8	83,4	77,8
03.1992	95,1	111,1	187,2	145,5	115,0	97,4	83,5	109,6	133,1	125,6
04.1992	83,1	93,1	136,1	86,0	80,6	68,5	69,9	106,4	87,9	107,4
05.1992	63,8	116,1	63,8	62,1	69,3	47,1	45,6	107,8	103,3	97,9
06.1992	43,5	90,0	30,3	43,2	49,9	51,0	52,1	144,5	136,6	93,1
07.1992	25,4	52,3	16,8	45,9	58,0	74,5	62,5	52,9	54,3	60,9
08.1992	25,4	43,7	13,5	39,6	44,9	27,2	43,9	35,1	43,5	43,3
09.1992	35,9	68,5	42,8	42,9	46,4	28,6	42,7	44,4	79,9	81,3
10.1992	35,3	125,8	90,5	51,9	70,8	36,8	49,8	55,3	73,3	118,6
11.1992	26,8	139,1	74,8	50,2	85,9	33,5	54,1	83,2	94,5	123,4
12.1992	28,8	138,3	94,6	85,2	117,8	47,9	57,3	48,2	67,3	101,6
01.1993	37,9	115,8	215,3	71,0	90,3	36,7	50,2	52,9	86,4	100,0
02.1993	29,6	87,4	24,6	42,1	45,1	19,1	23,6	26,0	33,1	61,9
03.1993	53,8	64,2	110,9	78,8	47,5	23,0	20,5	52,5	82,9	62,8
04.1993	31,0	51,1	92,0	47,8	33,6	23,0	17,1	96,4	102,4	79,2
05.1993	36,9	64,6	23,2	36,9	31,1	13,8	16,1	39,7	42,3	60,9
06.1993	60,3	51,2	39,7	36,6	34,3	12,5	13,8	32,3	32,9	52,3
07.1993	38,6	72,1	44,5	51,9	43,7	11,2	18,1	25,9	34,6	56,6
08.1993	52,8	69,0	25,0	41,8	44,1	4,2	16,9	28,3	44,9	66,3
09.1993	59,4	92,3	44,1	48,7	51,4	30,7	34,1	46,5	70,7	97,3
10.1993	54,5	61,8	51,2	87,8	83,8	49,1	42,0	37,4	37,1	64,7
11.1993	45,9	69,7	32,5	43,5	59,5	42,4	45,4	37,8	33,5	60,1
12.1993	49,2	86,1	96,9	118,8	142,6	116,7	89,7	58,0	63,9	64,2
01.1994	187,1	147,7	167,4	241,8	242,9	219,1	192,7	125,8	111,5	128,9
02.1994	77,5	85,5	67,3	83,0	83,3	52,7	56,0	55,9	59,5	67,2
03.1994	60,8	137,6	134,5	56,4	95,1	36,0	52,5	50,4	50,5	93,5
04.1994	164,6	183,8	130,7	209,5	183,5	141,2	195,6	144,2	106,1	159,8
05.1994	194,1	121,6	80,0	134,3	113,5	61,3	79,6	79,7	77,2	99,9
06.1994	114,1	121,4	80,7	100,3	87,9	39,4	67,2	95,2	101,3	105,3
07.1994	66,0	58,7	19,9	65,8	57,0	17,1	37,3	27,0	30,0	42,8
08.1994	47,3	54,8	42,0	97,0	84,0	19,7	50,1	31,4	30,7	39,8
09.1994	46,8	79,4	60,5	175,0	130,8	50,2	79,8	50,6	52,2	59,0
10.1994	50,2	94,5	126,5	117,2	121,9	63,4	73,5	56,0	55,0	79,1
11.1994	55,2	107,7	128,0	121,9	140,1	74,3	93,0	72,3	70,3	93,7
12.1994	53,7	89,6	133,5	81,0	80,9	24,3	43,7	66,3	90,2	124,5
01.1995	56,6	103,4	155,1	133,7	102,6	23,8	51,6	61,2	73,8	70,8
02.1995	91,2	116,1	200,6	189,9	165,5	46,2	65,1	125,5	151,0	118,7
03.1995	100,0	95,6	80,2	130,5	126,5	66,1	100,9	68,1	58,2	84,5
04.1995	78,8	90,0	105,5	93,4	85,6	57,1	68,9	82,3	82,0	96,2
05.1995	147,2	132,1	134,4	135,9	157,2	119,9	167,3	95,3	74,4	103,7
06.1995	180,6	135,1	153,4	154,1	197,8	590,3	408,4	169,6	148,2	170,8
07.1995	134,6	94,4	80,8	81,2	102,0	117,7	103,3	110,7	71,2	104,7
08.1995	70,0	73,8	46,8	71,0	87,7	84,7	79,9	67,7	49,4	84,3
09.1995	228,9	124,5	113,9	128,7	133,6	154,4	113,6	192,2	153,8	137,9
10.1995	109,0	61,9	39,1	65,4	59,0	45,4	48,1	42,1	42,0	57,5
11.1995	64,2	56,7	105,5	55,4	48,4	35,8	34,6	65,8	71,0	69,7
12.1995	88,2	57,6	67,9	59,2	58,9	40,7	35,6	45,4	44,1	66,5
01.1996	80,8	79,3	72,4	78,4	77,0	81,8	49,8	75,3	57,2	79,3
02.1996	26,0	55,2	18,4	32,7	35,0	25,9	29,4	31,4	26,9	49,9
03.1996	88,5	33,2	25,1	58,2	52,6	84,2	69,3	56,2	46,5	41,4
04.1996	222,5	76,5	135,0	156,5	140,7	159,6	135,5	120,8	97,9	99,7
05.1996	119,2	115,4	172,5	150,7	166,8	181,1	168,2	132,7	107,7	135,4
06.1996	63,4	100,5	91,4	115,1	92,5	60,6	90,3	52,4	48,8	67,8
07.1996	60,5	94,8	48,6	126,6	116,2	62,7	78,2	48,2	61,2	71,5
08.1996	107,7	108,0	113,9	81,2	107,3	75,7	108,7	82,0	62,8	123,0
09.1996	161,6	287,8	519,2	145,5	204,7	171,8	200,0	325,3	220,5	454,4
10.1996	105,1	147,6	133,6	98,2	94,5	75,4	83,5	155,7	106,3	154,9
11.1996	105,5	132,4	151,3	125,8	119,0	76,7	94,2	100,3	88,7	123,3
12.1996	52,5	85,2	33,6	59,1	67,7	65,9	78,1	77,6	54,9	78,5
01.1997	43,0	71,4	29,4	42,7	61,1	57,1	64,3	64,7	45,4	63,2
02.1997	70,8	75,4	138,0	78,3	84,4	62,3	64,9	116,8	142,2	105,2
03.1997	43,7	68,7	47,8	54,8	52,0	37,1	42,2	46,4	61,5	53,0
04.1997	46,3	36,0	83,2	53,2	34,9	20,4	23,5	44,3	70,3	60,0
05.1997	56,0	61,2	151,2	66,8	52,9	32,9	29,2	91,7	82,1	105,7

06.1997	56,7	63,1	142,7	55,5	46,3	28,3	29,6	65,0	72,1	80,5
07.1997	482,7	236,0	514,9	318,9	211,8	175,2	141,4	325,3	208,0	312,1
08.1997	132,9	140,0	55,1	99,0	104,1	78,7	93,3	198,7	124,8	178,8
09.1997	100,3	85,8	46,0	66,2	59,8	65,9	93,0	89,1	74,1	91,3
10.1997	81,9	71,9	58,5	56,4	38,0	34,4	40,0	56,9	50,4	91,3
11.1997	106,5	130,4	165,1	121,2	102,4	103,5	91,2	70,6	107,0	124,9
12.1997	114,2	93,4	104,9	94,7	101,0	94,9	98,7	92,1	42,0	122,9
01.1998	60,9	115,7	112,8	70,1	93,5	55,5	78,3	133,3	131,3	161,0
02.1998	32,1	130,3	121,1	39,4	48,3	26,7	34,3	125,9	175,6	204,3
03.1998	24,8	63,5	45,8	39,8	32,6	12,9	17,0	30,8	29,8	53,5
04.1998	33,0	72,0	80,6	65,8	59,7	31,5	32,9	65,1	88,2	87,9
05.1998	36,2	94,0	37,7	51,5	51,4	71,4	67,3	97,7	66,1	90,1
06.1998	64,8	77,7	55,5	51,9	51,9	62,2	53,0	68,4	58,4	97,9
07.1998	82,8	79,6	72,3	52,6	57,6	51,3	61,0	97,0	61,9	100,7
08.1998	59,3	59,3	32,0	46,7	55,3	49,7	72,3	65,5	49,1	58,6
09.1998	162,8	115,8	170,6	122,2	127,8	90,2	117,3	68,4	46,0	95,9
10.1998	489,7	175,8	258,2	295,8	232,7	168,6	224,9	206,4	133,5	188,2
11.1998	284,7	146,9	121,2	223,9	189,2	223,6	230,5	172,4	107,0	123,6
12.1998	87,7	91,0	64,1	67,0	57,4	64,2	71,5	74,2	42,0	67,5
01.1999	87,0	83,3	69,1	78,3	64,0	52,9	70,0	67,3	53,4	54,9
02.1999	102,8	68,3	52,1	49,2	45,6	53,7	55,9	37,0	37,0	50,0
03.1999	186,1	125,0	165,9	177,8	136,5	180,1	190,1	266,7	188,1	177,6
04.1999	93,2	122,6	60,3	104,8	93,4	70,9	77,2	126,1	95,5	102,4
05.1999	90,7	76,6	44,8	79,3	67,2	67,5	80,7	80,5	66,3	59,4
06.1999	254,1	112,8	123,2	201,5	115,5	88,1	127,5	91,0	117,8	110,5
07.1999	110,6	158,7	107,3	220,1	314,5	408,4	373,0	226,1	135,4	143,3
08.1999	85,4	90,0	44,9	107,9	122,3	251,1	197,6	104,3	65,2	71,5
09.1999	100,4	61,6	38,2	83,2	69,3	81,0	101,7	72,3	47,3	55,3
10.1999	74,0	85,9	109,4	68,0	53,6	46,7	58,6	59,8	79,1	90,6
11.1999	55,7	66,6	48,7	55,2	43,0	45,7	52,6	56,3	49,8	71,1
12.1999	37,4	59,2	72,9	41,7	41,5	50,7	67,0	74,3	88,5	73,6
01.2000	52,8	66,5	60,6	48,7	44,7	42,9	58,9	59,2	49,9	69,0
02.2000	145,6	98,7	192,3	152,5	105,7	133,9	116,5	133,7	72,7	107,7
03.2000	133,4	194,1	231,6	195,6	137,4	109,5	110,9	196,1	161,8	227,1
04.2000	90,3	194,1	158,7	128,7	151,3	198,7	151,8	183,8	162,1	214,2
05.2000	41,4	87,4	44,5	57,8	62,2	43,8	41,6	76,6	64,9	99,1
06.2000	30,2	63,4	38,7	40,7	45,3	32,8	23,4	55,5	44,0	81,2
07.2000	34,1	92,4	141,6	58,7	65,7	45,0	37,5	90,6	89,7	125,5
08.2000	41,6	104,3	73,2	56,8	66,2	40,7	41,5	92,0	94,2	107,7
09.2000	39,3	62,6	39,4	66,0	50,4	34,7	33,7	67,6	82,2	71,3
10.2000	36,3	51,9	41,3	55,9	34,9	20,9	28,0	38,8	48,4	47,7
11.2000	61,9	111,7	108,2	74,9	79,9	32,0	43,9	51,7	41,0	74,2
12.2000	48,2	84,8	61,3	52,1	62,4	33,1	41,0	43,5	31,9	68,5
01.2001	45,6	158,7	113,0	79,6	157,6	189,1	181,4	100,1	90,0	104,4
02.2001	29,7	110,1	70,4	55,0	103,5	129,9	123,7	96,6	66,5	105,5
03.2001	68,4	110,8	114,0	84,5	122,8	119,4	129,0	75,4	52,9	91,1
04.2001	74,5	86,0	81,8	67,2	84,3	113,7	104,0	100,0	73,6	100,5
05.2001	41,1	58,9	36,0	50,3	54,0	55,4	64,9	63,3	57,6	76,3
06.2001	40,4	102,8	128,9	48,0	40,3	28,4	34,7	94,3	136,2	109,0
07.2001	86,3	249,7	366,7	84,8	144,4	85,1	82,9	323,7	328,0	325,1
08.2001	52,2	143,7	68,5	53,2	105,1	64,4	75,8	145,8	159,3	144,5
09.2001	159,8	184,8	205,4	148,4	175,8	86,1	98,0	98,7	170,5	185,1
10.2001	68,2	90,9	71,6	69,1	71,2	49,3	51,2	54,4	94,4	82,6
11.2001	50,5	79,2	68,4	70,7	68,7	50,5	42,2	58,4	79,6	77,8
12.2001	37,5	61,8	34,2	36,3	38,9	24,0	35,0	46,2	42,5	70,3
01.2002	137,5	93,5	171,8	98,2	93,8	37,2	60,7	70,6	116,3	105,2
02.2002	87,5	188,1	330,1	188,1	168,0	46,7	51,6	103,6	173,6	180,0
03.2002	63,2	83,5	84,9	85,7	87,2	31,1	35,4	28,2	33,5	62,9
04.2002	41,1	68,8	39,3	48,7	48,7	19,7	21,5	22,8	26,7	44,6
05.2002	55,5	79,9	53,2	59,9	48,7	23,4	23,5	47,8	48,8	82,3
06.2002	37,8	94,1	91,7	95,1	58,7	27,7	25,4	59,8	92,3	88,3
07.2002	51,6	99,2	88,8	73,0	106,1	73,4	117,2	109,3	90,1	115,1
08.2002	163,3	193,9	135,0	131,6	388,1	536,4	630,7	101,9	95,9	185,3
09.2002	61,4	100,5	94,5	76,5	110,2	108,0	128,4	65,5	60,0	113,1
10.2002	159,0	154,5	249,8	134,3	131,3	82,3	96,9	109,1	113,9	192,8

Tab. 4.1.2.2 Pokračovanie

Tab. 4.1.2.2 Continuation

mesiac	5030	5550	6200	6730	7290	7440	7900	8870	9500	8320
11.2002	158,8	169,9	128,5	137,5	146,1	62,0	84,4	112,8	88,0	166,5
12.2002	89,6	121,9	60,3	93,5	115,6	85,6	110,1	53,1	59,3	90,0
01.2003	177,2	118,6	129,7	170,2	145,4	89,1	104,1	51,0	54,4	74,6
02.2003	82,3	69,2	32,4	45,8	47,9	35,1	42,4	23,7	24,6	52,9
03.2003	66,5	80,4	70,1	47,5	62,8	89,5	74,8	81,9	69,2	84,7
04.2003	60,4	60,5	79,0	49,0	47,9	33,9	46,6	91,5	95,6	89,6
05.2003	42,6	100,3	99,5	47,5	54,6	31,9	46,5	61,6	49,3	116,6
06.2003	28,9	57,7	33,0	35,7	40,5	23,0	25,4	37,9	47,3	44,2
07.2003	25,2	49,5	38,5	45,9	48,4	49,8	32,0	30,8	41,8	42,9
08.2003	29,5	50,5	31,4	40,1	47,2	35,8	42,2	24,5	32,0	34,4
09.2003	37,2	41,0	29,0	40,1	41,2	27,0	44,1	36,2	36,6	51,9
10.2003	38,1	41,9	97,0	47,7	36,8	30,6	36,3	31,9	26,2	63,3
11.2003	34,9	52,5	45,6	40,1	33,7	41,5	27,8	41,5	38,1	63,2
12.2003	17,8	52,0	43,2	34,5	30,1	26,3	24,5	27,9	27,6	47,3
01.2004	23,6	60,2	76,8	41,6	38,2	26,2	31,1	30,4	26,7	42,6
02.2004	36,8	102,1	159,2	85,4	89,5	69,5	35,8	32,0	63,9	114,8
03.2004	86,6	114,8	142,7	99,3	94,7	91,7	71,4	75,6	85,5	115,4
04.2004	44,6	71,8	55,4	56,8	59,3	63,6	61,2	44,4	56,1	64,1
05.2004	32,1	82,1	43,9	63,9	79,7	73,4	84,6	80,4	70,2	103,7
06.2004	53,3	96,0	124,3	107,8	114,0	217,1	112,7	91,2	66,9	101,0
07.2004	41,8	96,9	46,1	74,2	79,0	89,1	63,8	333,5	292,2	172,9
08.2004	50,0	117,5	35,1	46,8	82,4	100,9	86,6	263,9	170,3	133,0
09.2004	69,7	78,1	45,1	53,8	56,2	93,6	124,7	93,8	81,4	89,8
10.2004	89,4	74,6	74,3	55,0	50,0	65,1	58,8	72,8	55,2	76,9
11.2004	68,3	89,8	133,7	59,2	62,2	50,1	50,6	115,0	85,7	109,4
12.2004	32,6	99,4	78,8	61,8	73,4	54,0	52,4	116,6	90,0	110,1
01.2005	41,9	83,9	117,7	116,4	85,0	38,3	62,2	99,8	139,8	75,8
02.2005	25,2	67,7	33,9	36,3	37,3	35,4	37,8	52,4	63,6	62,9
03.2005	134,3	97,2	106,8	151,6	135,4	88,0	78,3	135,8	136,9	137,9
04.2005	58,6	121,9	147,1	131,0	140,5	178,5	123,0	112,5	121,6	123,6
05.2005	65,5	91,5	114,0	117,9	96,0	118,7	116,6	231,7	252,0	148,6
06.2005	28,8	76,5	61,5	53,8	54,6	41,1	54,6	262,1	203,6	155,0
07.2005	52,6	69,4	93,0	81,9	70,8	72,1	79,4	127,3	100,3	113,7
08.2005	105,7	172,3	189,1	118,8	131,7	153,0	172,7	471,1	427,5	232,1
09.2005	95,4	73,5	42,0	82,9	76,2	133,8	117,2	246,0	165,7	92,1
10.2005	44,0	56,0	32,8	65,2	42,6	70,8	63,2	131,4	97,6	88,1
11.2005	31,7	51,4	26,0	54,1	32,9	49,9	37,7	86,9	54,0	73,6
12.2005	60,0	65,9	43,5	112,8	101,0	134,5	148,9	140,0	96,6	96,7
01.2006	122,7	78,8	49,4	133,5	97,1	226,2	234,3	151,8	133,3	61,6
02.2006	45,4	66,7	45,1	66,8	47,9	76,3	95,1	71,0	50,2	54,9
03.2006	290,0	88,8	92,4	165,9	113,5	126,2	125,5	140,4	128,8	115,4
04.2006	270,6	137,3	235,8	185,9	170,5	115,4	147,1	148,7	134,4	131,5
05.2006	279,4	88,2	121,4	152,2	107,9	135,0	135,2	109,3	73,0	77,7
06.2006	183,6	114,6	86,2	104,9	111,9	297,6	255,1	383,9	333,3	189,7
07.2006	91,6	65,2	26,5	65,8	84,8	155,5	130,7	97,6	99,3	111,5
08.2006	130,0	69,9	108,2	84,6	88,4	162,5	167,2	89,0	63,0	85,3
09.2006	218,4	79,3	92,3	65,7	66,9	108,1	85,2	87,1	48,5	84,9
10.2006	172,2	43,0	35,2	51,1	34,9	51,0	46,7	43,6	29,5	50,2
11.2006	145,8	80,2	240,5	60,2	43,9	35,4	38,1	75,4	63,1	110,3
12.2006	60,4	72,6	38,3	40,2	33,6	30,8	29,2	47,0	28,0	69,6
01.2007	38,5	122,6	199,0	119,3	109,6	41,8	50,6	65,4	125,5	107,1
02.2007	47,7	108,3	167,8	102,1	111,7	37,2	51,4	139,4	162,9	129,2
03.2007	75,5	192,4	122,3	103,3	131,1	31,4	63,1	96,5	64,9	169,5
04.2007	49,7	96,1	21,8	40,4	47,2	27,0	31,0	36,1	29,5	59,1
05.2007	40,5	86,2	31,4	43,5	46,9	41,3	35,2	35,1	28,8	86,3
06.2007	25,3	78,0	58,5	54,9	59,9	39,6	38,8	37,4	36,5	65,9
07.2007	26,9	59,1	45,9	64,3	47,5	50,0	32,9	29,2	21,5	45,5
08.2007	39,3	80,0	53,5	62,0	61,6	70,5	44,6	47,9	29,2	102,3
09.2007	131,2	169,8	265,5	102,3	78,4	69,5	60,6	210,2	139,3	207,8
10.2007	80,9	76,5	77,1	71,8	41,5	24,2	29,9	132,7	89,2	160,9
11.2007	119,7	82,4	156,1	108,6	47,8	26,7	28,1	123,0	114,7	157,5
12.2007	106,8	93,5	99,7	90,3	58,6	35,6	36,8	130,2	123,4	129,8
01.2008	133,9	104,5	118,2	110,7	91,4	42,9	51,2	112,6	116,7	119,8
02.2008	61,7	111,5	101,0	70,4	54,5	24,1	33,1	110,4	98,4	112,2
03.2008	81,5	104,9	73,1	109,0	99,4	22,2	39,7	66,7	57,8	90,2
04.2008	74,2	102,5	37,0	69,7	71,5	27,0	47,9	73,0	54,9	66,1
05.2008	73,0	99,1	43,1	55,8	58,9	36,1	43,6	60,1	55,3	85,5

06.2008	30,8	65,0	34,3	48,9	47,4	33,7	26,6	34,6	36,0	61,5
07.2008	43,4	145,4	92,2	78,1	96,3	115,3	66,6	328,3	325,6	165,7
08.2008	63,7	121,6	53,2	72,3	93,4	96,9	89,2	166,2	124,9	99,8
09.2008	43,2	66,8	36,6	73,3	55,2	49,4	49,8	123,0	104,5	94,7
10.2008	57,5	101,2	41,6	60,5	44,9	30,7	43,9	130,4	111,2	155,0
11.2008	40,0	73,2	43,1	49,1	36,5	23,5	33,6	80,8	60,7	75,7
12.2008	43,3	152,0	109,6	50,2	172,5	186,6	188,8	175,7	123,4	137,7
01.2009	73,9	110,6	108,6	56,4	122,1	183,0	153,5	178,6	171,6	135,3
02.2009	79,4	114,1	76,7	44,9	93,7	175,5	155,0	194,9	141,7	171,9
03.2009	422,4	102,8	138,4	112,3	108,7	91,2	96,8	111,1	87,5	140,7
04.2009	138,2	140,3	98,1	77,9	90,8	60,8	56,1	87,7	68,3	115,3
05.2009	77,8	74,2	31,8	42,5	45,1	35,2	30,1	43,1	46,2	66,8
06.2009	138,8	80,8	60,6	47,0	47,7	59,5	40,4	76,7	137,6	106,5
07.2009	147,2	79,9	73,3	63,3	57,2	65,7	51,3	65,6	65,5	86,0
08.2009	88,4	70,1	48,6	57,1	49,0	70,0	47,3	60,9	102,7	92,0
09.2009	73,7	74,2	37,5	67,3	47,3	87,2	46,2	93,8	74,7	92,1
10.2009	90,5	98,9	183,0	69,4	59,0	25,1	36,0	118,6	141,9	166,5
11.2009	145,7	169,7	126,5	84,3	102,0	56,4	82,2	257,9	232,1	309,2
12.2009	150,0	167,8	68,3	158,5	245,7	200,5	217,3	143,4	124,4	146,5
01.2010	169,2	171,7	66,0	154,0	271,4	257,0	376,0	212,7	168,6	176,5
02.2010	174,3	119,7	64,8	99,7	133,5	225,5	190,9	143,9	125,0	117,1
03.2010	106,2	87,0	75,3	77,0	78,6	89,6	97,5	76,3	79,5	79,7
04.2010	134,0	69,5	57,9	89,7	88,2	109,9	143,6	97,9	88,9	91,1
05.2010	634,0	168,0	409,8	232,5	218,1	482,7	434,6	326,7	251,1	196,3
06.2010	448,1	181,8	211,4	330,7	293,4	620,1	581,7	602,7	487,4	264,4
07.2010	159,8	130,4	70,0	114,4	139,2	266,1	186,4	133,7	178,6	138,8
08.2010	227,5	165,4	195,0	254,3	321,7	362,6	296,3	169,3	174,0	167,3
09.2010	615,9	289,3	353,5	387,1	413,9	757,8	554,3	272,8	366,9	324,3
10.2010	305,3	110,2	77,4	167,9	169,7	285,8	262,2	104,6	107,0	119,9
11.2010	224,9	151,6	88,2	220,3	222,4	309,8	309,1	156,4	110,5	130,7
12.2010	337,8	192,7	155,7	203,9	265,2	403,0	447,6	368,1	291,2	258,0
01.2011	272,8	174,9	223,7	152,3	199,5	315,8	354,7	295,6	285,4	197,8
02.2011	171,4	112,0	71,6	65,8	78,0	86,1	107,9	103,2	83,5	87,9
03.2011	174,4	71,5	34,4	58,9	89,3	129,4	136,8	65,8	67,6	52,9
04.2011	160,6	57,2	46,0	38,7	39,0	60,4	61,2	47,5	44,8	53,0
05.2011	134,0	47,0	70,6	49,9	37,4	57,6	50,5	47,8	52,5	58,7
06.2011	81,8	84,5	67,4	67,0	83,0	56,1	53,1	48,2	50,6	84,6
07.2011	102,8	225,1	178,0	164,7	215,0	121,7	118,8	152,3	167,9	246,9
08.2011	103,4	154,8	110,4	121,6	157,8	136,5	152,7	141,6	107,7	168,3
09.2011	79,2	73,7	36,7	82,9	66,4	86,9	72,2	59,1	47,8	76,7
10.2011	54,0	53,7	41,6	68,3	42,1	28,6	37,3	46,7	38,5	70,4
11.2011	32,0	48,7	18,0	57,1	31,4	18,2	31,7	42,5	29,5	54,2
12.2011	26,8	48,2	34,0	44,9	39,4	27,4	35,7	44,9	31,1	61,0
01.2012	95,6	58,6	95,9	80,5	55,4	28,4	40,9	46,7	46,1	54,7
02.2012	119,0	56,6	81,7	47,4	42,9	17,9	22,3	32,7	52,0	42,4
03.2012	72,4	99,1	194,5	87,6	64,3	15,5	20,0	46,5	86,4	68,7
04.2012	27,0	85,9	84,5	46,7	45,0	15,5	17,4	39,3	45,3	54,8
05.2012	29,5	73,4	41,5	44,8	38,0	13,9	19,3	42,5	51,6	64,0
06.2012	39,1	72,0	104,1	57,7	50,8	10,0	22,3	68,4	68,1	78,3
07.2012	58,5	61,7	37,2	50,6	72,1	33,1	45,0	64,0	60,6	66,5
08.2012	67,6	60,7	32,7	39,1	60,6	23,3	41,9	42,1	38,0	54,7
09.2012	81,6	42,9	29,5	46,7	44,5	22,3	34,3	35,4	37,0	42,0
10.2012	55,8	72,6	109,9	70,9	72,4	28,4	51,7	39,5	34,9	67,4

1983/1984: Relatívne mesačné hodnoty prietokov menšie ako 80 % Q_{ma} sa vyskytli vo všetkých hodnotených profiloch od mesiaca 6/1983 a vo väčšine pretrvali do 3/1984 až 4/1984. Z toho menej ako 40 % Q_{ma} bolo zaznamenané na Myjave v 7/1983, na Kysuci v 7/1983-9/1983, od 8/2003 aj na Ipli, v rozmedzí 10/1983-2/1984 na Hrone, Ipli a Rimave. Vo východnej časti územia (Torysa, Topľa, Poprad) sa relatívne hodnoty menšie ako 40 % vyskytli v mesiacoch 2/1984 a 3/1984.

1986/1987: Vo väčšine hodnotených profilov sa relatívne mesačné prietoky Q_m/Q_{ma} (%) menšie ako 80 % vyskytli v rozmedzí mesiacov 7/1986 až 12/1986, no na Ipli, Rimave, Toryse, Topli a Poprade až do 3/1987. Z toho hodnoty menšie ako 40 % Q_{ma} sa vyskytli v oblasti stredného a východného Slovenska od 10/1986 do 1/1987.

1992/1993: Začiatok tohto suchého obdobia, ktoré zasiahlo celé Slovensko, bol vo väčšine hodnotených profilov zaznamenaný od mesiaca 5/1992 (okrem Váhu a východného Slovenska), celoplošne od 7/1992. Suché obdobie pretrvalo až do 11/1993, na východe až do 12/1993. Výrazne bola zasiahnutá Myjava, relatívne mesačné hodnoty prietokov menšie ako 40 % Q_{ma} sa takmer súvislo vyskytli od mesiaca 7/1992 do 7/1993, s výnimkou 3/1993 (54 %) a 6/1993 (60 %). V ostatných oblastiach boli hodnoty < 40 % Q_{ma} zaznamenané takmer celoplošne v mesiacoch 5/1993 – 6/1993, na Toryse aj v 7/1993 – 8/1993, na Ipli, Rimave 7/1993 – 9/1993. Na Ipli v Holiši sa v auguste 1993 vyskytol mesačný prietok dosahujúci len 4 % $Q_{ma4/1961\text{-}2000}$.

1995/1996: Prietoky s relatívnou hodnotou menšou ako 80 % sa takmer vo všetkých hodnotených profiloch vyskytovali v období 10/1995 – 3/1996, pričom menšie ako 40 % Q_{ma} boli zaznamenané prevažne v mesiaci 2/1996, na Kysuci v mesiacoch 2/1996 – 3/1996 a na Váhu v 3/1996.

1997: Menej ako 80 % dlhodobých hodnôt dosiahli priemerné mesačné prietoky vo väčšine profilov od 12/1996 do 6/1997, z toho prietoky menšie ako 40 % Q_{ma} sa vyskytli na Kysuci od 12/1996 do 1/1997, v strednej časti Slovenska (Hron, Ipeľ, Rimava) v mesiaci 4/1997, na Ipli a Rimave až do 6/1997.

1998: Mesačné prietoky menšie ako 80 % Q_{ma} sa na Myjave, Nitre, Ipli a Rimave vyskytli už v mesiaci 1/1998, v ostatných profiloch od 2/1998 až 3/1998 (v 3/1998 vo väčšine profilov boli relatívne hodnoty menšie ako 40 %). Hodnoty menšie ako 80 % Q_{ma} vo väčšine profilov pretrvali do 8/1998.

2000/2001: Vo väčšine hodnotených profilov sa vyskytli relatívne hodnoty mesačných prietokov menšie ako 80 % Q_{ma} v období od 5/2000 do 12/2000, na Myjave až do 6/2001 – z toho 6/2000 – 7/2000, 9/2000 – 10/2000 a 2/2001 boli relatívne hodnoty menšie ako 40 %. Na Hrone, Rimave a Toryse boli hodnoty menšie ako 40 % zaznamenané v mesiaci 10/2000, na Ipli v mesiacoch 9/2000 až 12/2000.

2003/2004: Začiatok suchého obdobia bol na väčšine územia zaznamenaný od 2/2003 (na východe už v mesiacoch 12/2002 – 1/2003). V profiloch na Kysuci, Ipli, Toryse a Topli sa hneď na začiatku suchého obdobia v mesiaci 2/2003 vyskytli mesačné prietoky s hodnotou menšou ako 40 % Q_{ma}. Obdobie s výrazne podpriemernými relatívnymi hodnotami mesačných prietokov pokračovalo do mesiaca 1/2004, na Ipli a Topli do 2/2004, na Rimave a Toryse až do 4/2004. V mesiaci 4/2004 boli opäť relatívne hodnoty mesačných prietokov menšie ako 80 % vo všetkých hodnotených profiloch. Obdobia s relatívnymi hodnotami prietokov < 40 % Q_{ma} boli na Myjave súvislo po sebe až 9 mesiacov, od 6/2003 – 2/2004, na Kysuci 6/2003 – 9/2003, v strednej a východnej časti Slovenska najmä v mesiacoch 10/2003, 12/2003 a 1/2004 a v menšom počte profilov v období od 4/2003 do 2/2004.

2007/2008: Vo väčšine hodnotených profilov sa suché mesiace vyskytli už na jeseň 2006, v mesiacoch 10/2006 – 12/2006, pričom v mnohých boli relatívne hodnoty mesačných prietokov menšie ako 40 % (Kysuca, Hron, Ipeľ, Rimava, Topľa). Na Myjave suché obdobie trvalo od 12/2006 do 8/2007, pričom relatívne hodnoty menšie ako 40 % Q_{ma} sa vyskytli v mesiacoch 6/2007 – 8/2007. Vo väčšine profilov sa mesačné prietoky s hodnotami menšími ako 80 % Q_{ma} vyskytli od 4/2007 do 8/2007 (v 6-7/2007 vo všetkých hodnotených profiloch). Na Rimave, Toryse a Topli v mesiacoch 4/2007-7/2007 boli relatívne hodnoty mesačných prietokov men-

šie ako 40 %. V profiloch na Ipli, Rimave a sčasti na Hrone pokračovali prietoky menšie ako 80 % Q_{ma} plynulo do ďalšieho suchého obdobia v r. 2008, ktoré väčšinu územia zasiahlo najmä v mesiacoch 4/2008 – 6/2008. V profiloch Ipeľ – Holiša a Rimava – Vlkyňa trvalo suché obdobie (< 80 % Q_{ma}) súvislo od 10/2006 do 6/2008, t.j. 21 po sebe idúcich mesiacov, z toho menej ako 40 % Q_{ma} bolo zaznamenané v 14 mesiacoch na Ipli a v 12 mesiacoch na Rimave.

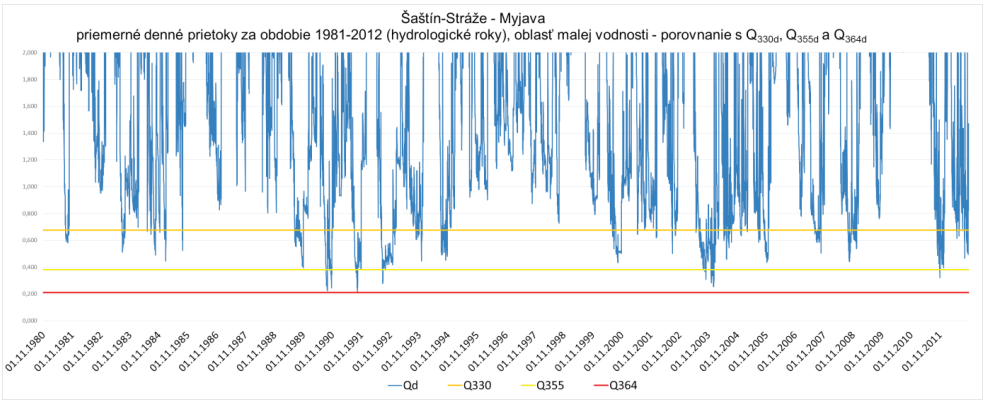
2011/2012: Hydrologické sucho v roku 2012, ktoré sa zrážkovým deficitom začalo už v r. 2011, sa hydrologicky prejavilo už na jar roku 2011 v mesiacoch 3/2011 – 6/2011 a potom opäť od 9/2011 až po koniec hodnoteného obdobia 10/2012, z toho najmä na Myjave a v strednej a východnej časti územia sa vyskytovali mesiace s relatívnymi hodnotami menšími ako 40 %, prevažne v mesiacoch 11 – 12/2011 a 8 – 9/2012. Na Ipli sa vyskytlo súvislé obdobie s relatívnymi hodnotami priemerných mesačných prietokov menšími ako 40 % od 10/2011 do 10/2012.

4.1.3 Priemerné denné prietoky

Pre jednotlivé profily sa analyzovali priemerné denné prietoky za obdobie 1981 – 2012 porovnaním s hodnotami M-denných prietokov za referenčné obdobie 1961 – 2000 pre odpovedajúce profily, a to pre M-dennosti reprezentujúce malú vodnosť: Q_{330d}, Q_{355d} a Q_{364d}. Selektované boli epizódy prietokov menších ako Q_{330d}, ktoré trvali aspoň 10 dní, a neboli prerušené súvislo na viac ako tri dni.

Myjava - Šaštín-Stráže

V hodnotenom období boli v stanici Myjava - Šaštín-Stráže dve výrazne dlhšie obdobia, kedy boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, a to v období júl 1992 až december 1992 (trvanie 149 dní, z toho počas 146 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 8 dní menšie ako Q_{355d}) a v období júl 2003 až január 2004 (trvanie 190 dní, z toho počas 176 dní < Q_{330d}, 27 dní < Q_{355d}). Celkovo bolo pre zadané kritériá identifikovaných 26 málo vodných období, s celkovým počtom 1 030 dní s $Q_d < Q_{330d}$, 80 dní s $Q_d < Q_{355d}$ a 1 deň s $Q_d < Q_{364d}$ (obr. 4.1.3.1).

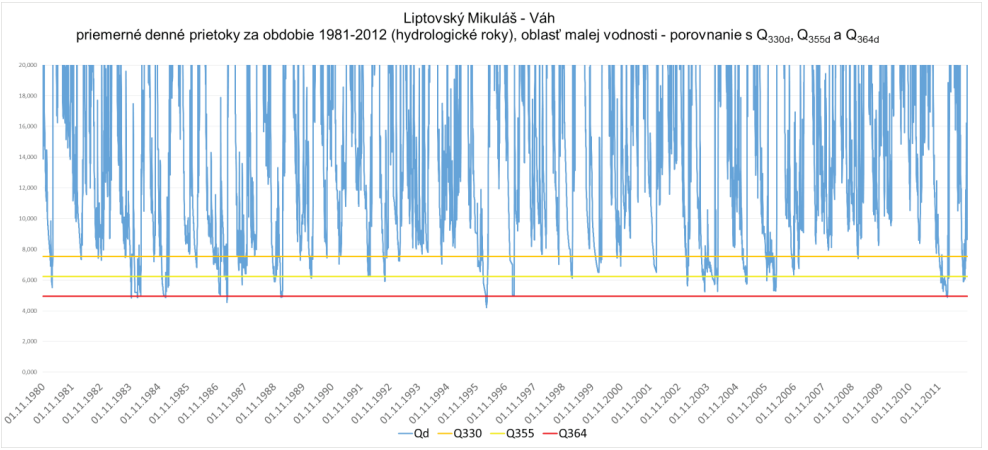


Obr. 4.1.3.1 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Myjava - Šaštín-Stráže

Fig. 4.1.3.1 Course of average daily discharges in the Myjava - Šaštín-Stráže profile

Váh - Liptovský Mikuláš

V profile Váh - Liptovský Mikuláš bolo najdlhšie suché obdobie v novembri 2011 až februári 2012 (trvanie 111 dní, z toho počas 108 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 76 dní menšie ako Q_{355d} a 1 deň menšie ako Q_{364d}). Významné boli aj obdobia v januári – marci 1996 (trvanie 68 dní, z toho počas 66 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 56 dní menšie ako Q_{355d} a 17 dní menšie ako Q_{364d}) a december 1984 – február 1985 (trvanie 67 dní, z toho počas 67 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 61 dní menšie ako Q_{355d} a 11 dní menšie ako Q_{364d}). Celkovo bolo pre zadané kritériá identifikovaných 35 málo vodných období, s celkovým počtom 1 300 dní s $Q_d < Q_{330d}$, 533 dní s $Q_d < Q_{355d}$ a 50 dní s $Q_d < Q_{364d}$ (obr. 4.1.3.2).

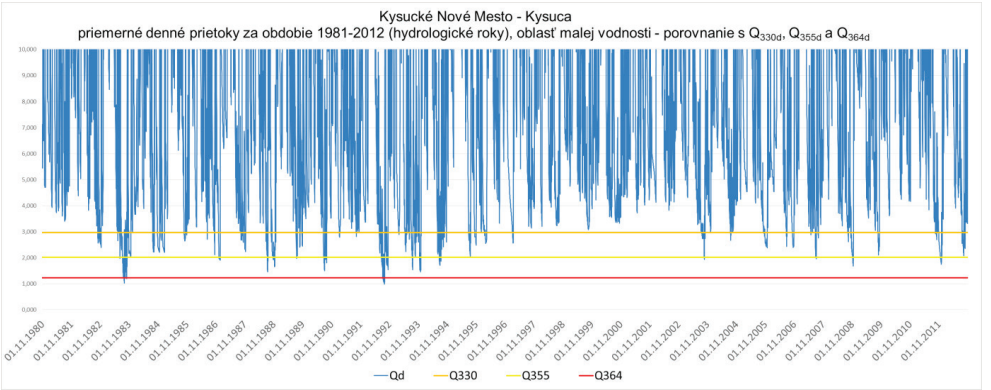


Obr. 4.1.3.2 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Váh - Liptovský Mikuláš

Fig. 4.1.3.2 Course of average daily discharges in the Váh - Liptovský Mikuláš profile

Kysuca - Kysucké Nové Mesto

Najvýraznejšími suchými obdobiami na Kysuci boli obdobia júl – október 1983 (trvanie 74 dní, z toho počas 69 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 47 dní menšie ako Q_{355d} a 9 dní menšie ako Q_{364d}) a júl – september 1992 (trvanie 46 dní, z toho počas 45 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 36 dní menšie ako Q_{355d} a 15 dní menšie ako Q_{364d}). Celkovo bolo pre zadané kritériá identifikovaných 34 málo vodných období, s celkovým počtom 789 dní s $Q_d < Q_{330d}$, 206 dní s $Q_d < Q_{355d}$ a 24 dní s $Q_d < Q_{364}$ (obr. 4.1.3.3).

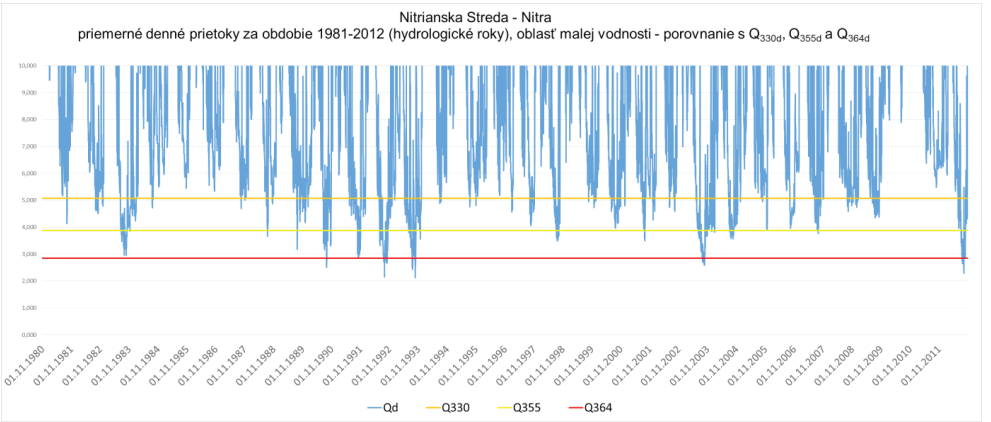


Obr. 4.1.3.3 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Kysuca - Kysucké Nové Mesto

Fig. 4.1.3.3 Course of average daily discharges in the Kysuca - Kysucké Nové Mesto profile

Nitra - Nitrianska Streda

Na Nitre v Nitrianskej Strede bolo najdlhším suchým obdobím v hodnotených rokoch obdobie júl – november 1983 (trvanie 133 dní, z toho počas 127 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako $\boldsymbol{Q_{330d}}$, 48 dní menšie ako $\boldsymbol{Q_{355d}}$). Počtom dní s prietokmi menšími ako 355-denný a 364-denný prietok však bolo výrazne suché obdobie v júni až októbri 2012 (trvanie 119 dní, z toho počas 105 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako $\boldsymbol{Q_{330d}}$, 50 dní menšie ako $\boldsymbol{Q_{355d}}$ a 14 dní menšie ako $\boldsymbol{Q_{364d}}$). Celkovo bolo pre zadané kritériá identifikovaných 36 málo vodných období, s celkovým počtom 1 327 dní s $\boldsymbol{Q_d < Q_{330d}}$, 420 dní s $\boldsymbol{Q_d < Q_{355d}}$ a 58 dní s $\boldsymbol{Q_d < Q_{364d}}$ (obr. 4.1.3.4).

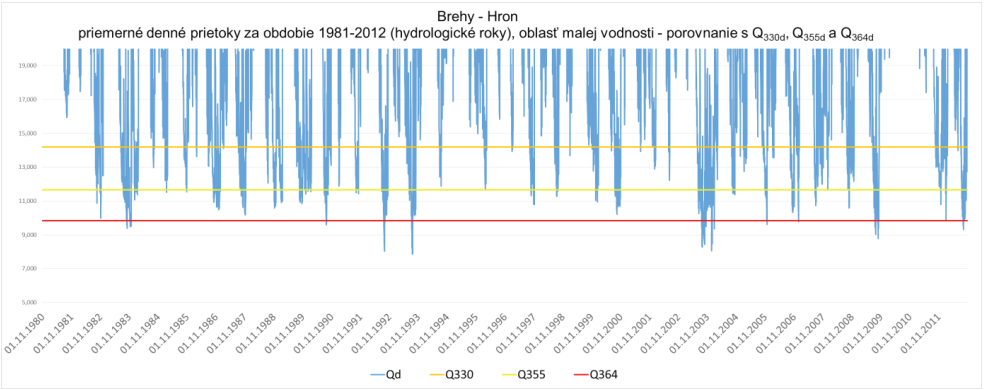


Obr. 4.1.3.4 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Nitra - Nitrianska Streda

Fig. 4.1.3.4 Course of average daily discharges in the Nitra - Nitrianska Streda profile

Hron - Brehy

V stanici Hron - Brehy sa v rade priemerných denných prietokov za hodnotené obdobie vyskytli najdlhšie periódy sucha v obdobiach júl – október 1983 (trvanie 89 dní, z toho počas 79 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 34 dní menšie ako Q_{355d} a 4 dni menšie ako Q_{364d}), júl – október 1992 (trvanie 86 dní, z toho počas 76 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 50 dní menšie ako Q_{355d} a 12 dní menšie ako Q_{364d}) a júl – október 2009 (trvanie 79 dní, z toho počas 72 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 42 dní menšie ako Q_{355d} a 9 dní menšie ako Q_{364d}). Vzhľadom na počet prietokov menších ako Q_{364d} bolo významné aj obdobie august – október 2003 (trvanie 63 dní, z toho počas 62 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 52 dní menšie ako Q_{355d} a 22 dní menšie ako Q_{364d}). Celkovo bolo pre zadané kritériá identifikovaných 51 málo vodných období, s celkovým počtom 1 658 dní s $Q_d < Q_{330d}$, 612 dní s $Q_d < Q_{355d}$ a 93 dní s $Q_d < Q_{364d}$ (obr. 4.1.3.5).

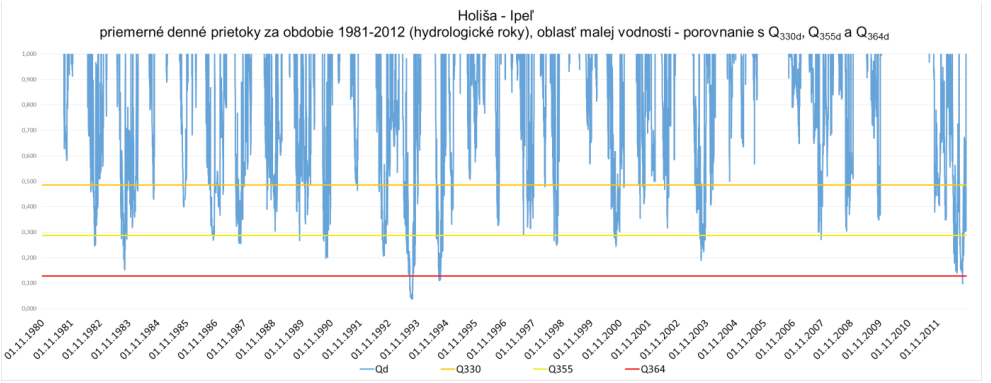


Obr. 4.1.3.5 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Hron - Brehy

Fig. 4.1.3.5 Course of average daily discharges in the Hron - Brehy profile

Ipeľ - Holiša

Vo vodomernej stanici Ipeľ - Holiša bolo pri hodnotení priemerných denných prietokov za roky 1981 – 2012 jednoznačne najvýznamnejším suchým obdobím máj až október 1993, ktoré trvalo 146 dní. Počas toho bol 136 dní prietok menší ako Q_{330d}, 93 dní menší ako Q_{355d} a 37 dní menší ako Q_{364d}. Celkovo bolo pre zadané kritériá identifikovaných 39 málo vodných období, s celkovým počtom 837 dní s $Q_d < Q_{330d}$, 329 dní s $Q_d < Q_{355d}$ a 52 dní s $Q_d < Q_{364d}$ (obr. 4.1.3.6).

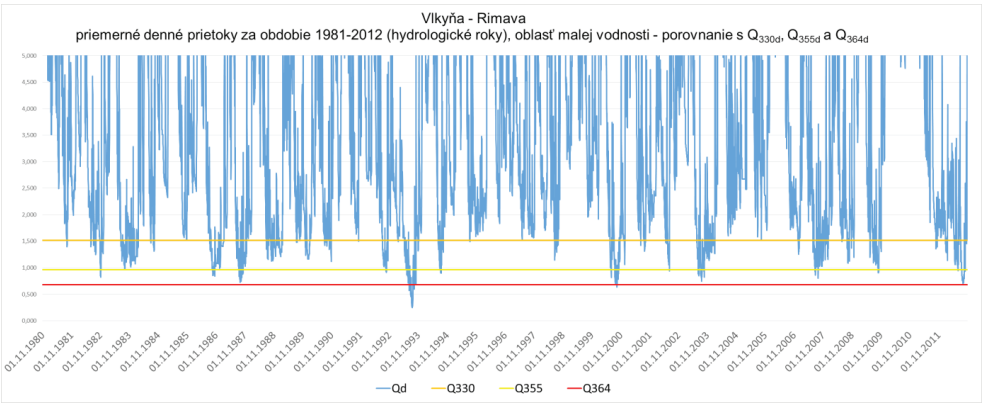


Obr. 4.1.3.6 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Ipeľ - Holiša

Fig. 4.1.3.6 Course of average daily discharges in the Ipeľ - Holiša profile

Rimava - Vlkyňa

Na Rimave vo Vlkyni boli v hodnotenom období zaznamenané 3 dlhé obdobia, kedy boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d} po dobu viac ako 100 dní (vrátane krátkodobých prerušení): august – december 1986 (trvanie 111 dní, z toho počas 102 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 18 dní menšie ako Q_{355d}), júl – november 1987 (trvanie 130 dní, z toho počas 113 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 36 dní menšie ako Q_{355d}) a máj – október 1993 (trvanie 146 dní, z toho počas 142 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 96 dní menšie ako Q_{355d} a 44 dní menšie ako Q_{364d}). Celkovo bolo pre zadané kritériá identifikovaných 43 málo vodných období, s celkovým počtom 1 234 dní s $Q_d < Q_{330d}$, 246 dní s $Q_d < Q_{355d}$ a 45 dní s $Q_d < Q_{364d}$ (obr. 4.1.3.7).



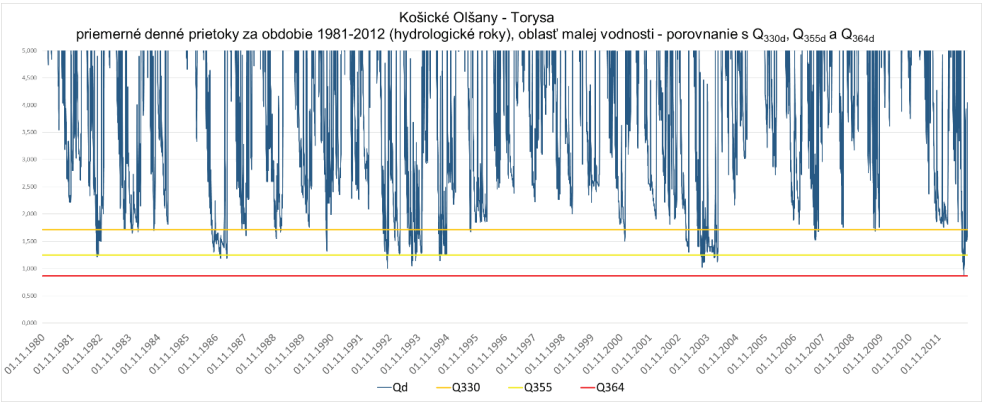
Obr. 4.1.3.7 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Rimava - Vlkyňa

Fig. 4.1.3.7 Course of average daily discharges in the Rimava - Vlkyňa profile

Torysa - Košické Olšany

Najdlhším suchým obdobím vzhľadom na priemerné denné prietoky v profile Torysa - Ko-

šické Olšany bolo obdobie september 1986 až február 1987 (trvanie 159 dní, z toho počas 154 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d} a 7 dní menšie ako Q_{355d}). Celkovo bolo pre zadané kritériá identifikovaných 22 málo vodných období, s celkovým počtom 718 dní s $Q_d < Q_{330d}$, 106 dní s $Q_d < Q_{355d}$ a 0 dní s $Q_d < Q_{364d}$ (obr. 4.1.3.8).

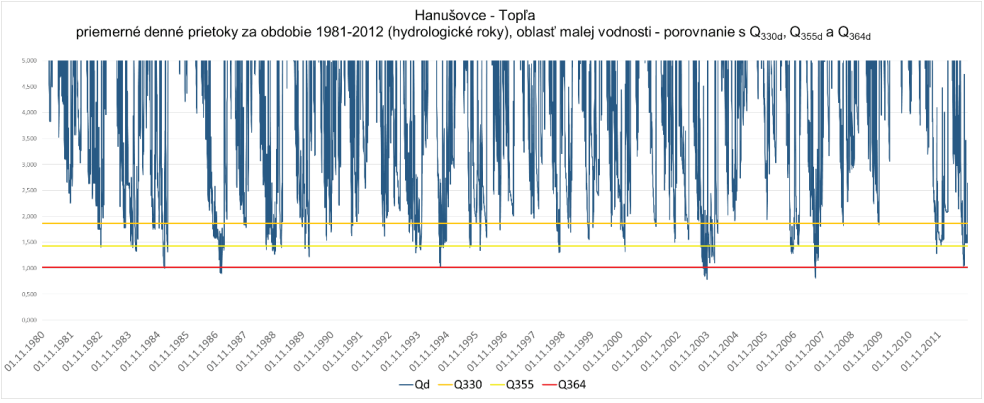


Obr. 4.1.3.8 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Torysa - Košické Olšany

Fig. 4.1.3.8 Course of average daily discharges in the Torysa - Košické Oľšany profile

Topľa - Hanušovce

Na Topli v Hanušovciach boli najdlhšie obdobia denných prietokov, ktoré boli menšie ako 330-denný prietok, nasledovné: november 1986 – február 1987 (trvanie 94 dní, z toho počas 94 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 41 dní menšie ako Q_{355d} a 16 dní menšie ako Q_{364d}) a august – október 2003 (trvanie 83 dní, z toho počas 71 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 49 dní menšie ako Q_{355d} a 17 dní menšie ako Q_{364d}). Celkovo bolo pre zadané kritériá identifikovaných 40 málo vodných období, s celkovým počtom 984 dní s $Q_d < Q_{330d}$, 317 dní s $Q_d < Q_{355d}$ a 47 dní s $Q_d < Q_{364d}$ (obr. 4.1.3.9).

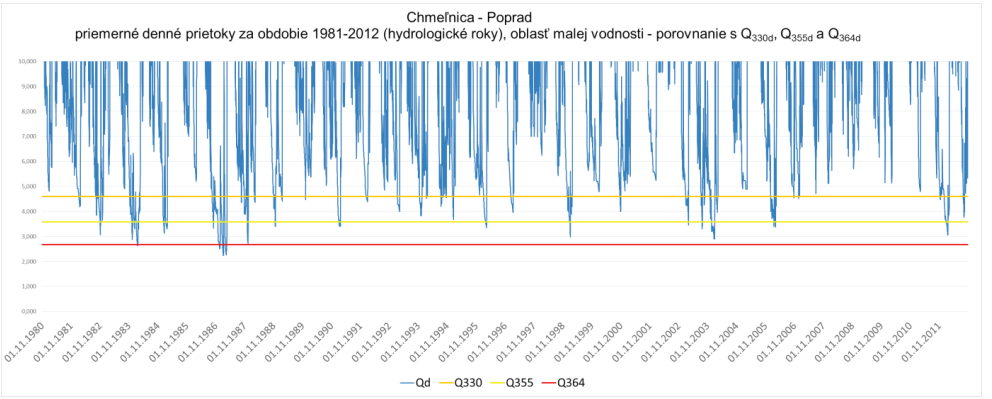


Obr. 4.1.3.9 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Topľa - Hanušovce

Fig. 4.1.3.9 Course of average daily discharges in the Topľa - Hanušovce profile

Poprad - Chmeľnica

Na Poprade v Chmeľnici bolo najdlhšie suché obdobie zaznamenané v januári až marci 1984 (trvanie 80 dní, z toho počas 77 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 39 dní menšie ako Q_{355d} a 6 dní menšie ako Q_{364d}). Ďalším dlhším suchým obdobím bol október až december 1986 (trvanie 79 dní, z toho počas 76 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 30 dní menšie ako Q_{355d} a 12 dní menšie ako Q_{364d}). Toto obdobie po krátkom prerušení nasledovali dve ďalšie suché obdobia, s kratším trvaním, ale s hodnotami prietokov < Q_{364d} po viac ako 10 dní, a to 9.1.1987 – 13.2.1987 (trvanie 36 dní, z toho počas 36 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 25 dní menšie ako Q_{355d} a 14 dní menšie ako Q_{364d}) a 25.2.1987 – 25.3.1987 (trvanie 29 dní, z toho počas 29 dní boli priemerné denné prietoky menšie ako Q_{330d}, 25 dní menšie ako Q_{355d} a 17 dní menšie ako Q_{364d}). Celkovo bolo pre zadané kritériá identifikovaných 29 málo vodných období, s celkovým počtom 958 dní s $Q_d < Q_{330d}$, 304 dní s $Q_d < Q_{355d}$ a 49 dní s $Q_d < Q_{364d}$ (obr. 4.1.3.10).



Obr. 4.1.3.10 Priebeh priemerných denných prietokov v profile Poprad - Chmeľnica

Fig. 4.1.3.10 Course of average daily discharges in the Poprad - Chmelnica profile

V tabuľke 4.1.2.3 sú zosumarizované výstupy pre jednotlivé hodnotené vodomerné stanice. Z prehľadu je zrejmé, že najväčší počet suchých epizód na základe zvolených kritérií sa vyskytol v staniciach Brehy (Hron) - 51 udalostí, Vlkyňa (Rimava) - 43 udalostí a Hanušovce (Topľa) - 40 udalostí. Najväčší počet dní s podkročením prietoku pod Q_{330d} pri zadaných kritériách sa vyskytol v staniciach Brehy (Hron), Nitrianska Streda (Nitra) a Liptovský Mikuláš (Váh), pričom najdlhšie súvislé obdobia (vrátane krátkodobých prerušení) boli zaznamenané v staniciach Šaštín-Stráže (Myjava): 190 dní; Košické Olšany (Torysa): 159 dní; Holiša (Ipeľ) a Vlkyňa (Rimava): 146 dní.

Tab. 4.1.2.3 Výskyt málo vodných období v hodnotených prietokových profiloch

Tab. 4.1.2.3 Occurrence of low flow periods in evaluated discharge gauging profiles

Stanica	Počet období	Dni $< Q_{330}$	Dni $< Q_{355}$	Dni $< Q_{364}$	Najdlhšie dni spolu	Mesiace	Rok
Šaštín-Stráže	26	1 030	80	1	190	7,8,9,10,11,12,1	2003/2004
Liptovský Mikuláš	35	1 300	533	50	111	11,12,1,2	2011/2012
Kysucké Nové Mesto	34	789	206	24	74	7,8,9,10	1983
Nitrianska Streda	36	1 327	420	58	133	7,8,9,10,11	1983
Brehy	51	1 658	612	93	89	7,8,9,10	1983
Holiša	39	837	329	52	146	5,6,7,8,9,10	1993
Vlkyňa	43	1 234	246	45	146	5,6,7,8,9,10	1993
Košické Oľšany	22	718	106	0	159	9,10,11,12,1,2	1986/1987
Hanušovce nad Topľou	40	984	317	47	94	11,12,1,2	1986/1987
Chmeľnica	29	958	304	49	80	1,2,3	1984

Podľa mesiacov výskytu najdlhších málo vodných epizód sa v letno-jesennom období zaznamenali epizódy v staniciach: Kysucké Nové Mesto (Kysuca), Nitrianska Streda (Nitra), Brehy (Hron); v staniciach Holiša (Ipeľ) a Vlkyňa (Rimava) prechádzali málo vodné obdobia cez jarné a letné mesiace až do jesenných; v staniciach Liptovský Mikuláš (Váh), Hanušovce (Topľa) a Chmeľnica (Poprad) sa jednalo o zimné málo vodné obdobia; v Košických Oľšanoch (Torysa) sa suchá epizóda vyskytla v jesenno-zimnom období a v stanici Šaštín-Stráže (Myjava) sa najdlhšie málo vodné obdobie prejavilo v letno-jesenno-zimných mesiacoch.

4.2 MODELOVANIE ZRÁŽKOVO-ODTOKOVÝCH VZŤAHOV

4.2.1 Model hydrologickej bilancie Bilan

Model Bilan (Výskumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., 2015) simuluje zložky hydrologickej bilancie pre povodie. Štruktúra modelu je daná vzťahmi, ktoré opisujú základné princípy hydrologickej bilancie na povrchu, v pôdnej zóne (ovplyvnenej vegetačným krytom) a v zóne podzemnej vody. Na výpočet energetickej bilancie sa využíva teplota vzduchu. Časové rozlíšenie modelu je deň, resp. mesiac, prezentované výsledky výpočtov boli realizované v dennom časovom kroku.

Vstupnými dátami pre výpočet hydrologickej bilancie (v prípade simulácie s denným krokom) sú denné úhrny zrážok reprezentujúce priemerné úhrny zrážok na plochu povodia, teplota vzduchu a voliteľne aj relatívna vlhkosť vzduchu. Tento parameter je možné nahradiť priamym zadaním priemernej hodnoty potenciálnej evapotranspirácie na plochu povodia. Za účelom kalibrácie parametrov modelu (vykonávanej optimalizačným algoritmom) sa využívajú simulo-

vané a pozorované priemerné denné hodnoty odtoku v záverečnom profile povodia, vyjadrené pomocou odtokovej výšky v milimetroch.

Model simuluje časové rady dennej potenciálnej evapotranspirácie, územného výparu, infiltrácie do pôdy a dotácie podzemnej vody z pôdy. Pre každý časový krok sa tiež simuluje množstvo vody obsiahnutej v snehovej prikrývke, v pôde a zásoba podzemnej vody. Tieto veličiny sa vzťahujú k celému povodiu. V modeli pracujúcom v dennom kroku sa odtok rozčleňuje na priamy a základný.

Model využíva šesť kalibračných parametrov, ktoré sa kalibrujú pomocou optimalizačného algoritmu, pričom si užívateľ môže zvoliť niektorú z modelom ponúkaných možností. Globálny algoritmus kombinuje metódu SCE-UA (Shuffied Complex Evolution - The University of Arizona), opísanú Duanom et al. (1994), pre evolúciu komplexu sa používa metóda diferenciálnej evolúcie (DE) opísaná Stornom a Prieceom (1997). Ako kriteriálnu funkciu zhody je možné si vybrať strednú kvadratickú chybu (MSE), strednú absolútnu chybu (MQAE), strednú percentuálnu chybu (MAPE), ale aj Nash-Sufcliffov koeficient (NS) resp. jeho logaritmickú verziu (LNNS). Cieľom optimalizácie je dosiahnuť čo najlepšiu zhodu medzi pozorovaným a simulovaným radom odtoku.

Teplota vzduchu, prípadne relatívna vlhkosť vzduchu slúži na výpočet potenciálnej evapotranspirácie, teplota vzduchu sa používa aj pri rozlíšení zimných a letných podmienok (typu režimu). Pri výskyte snehovej pokrývky sa uplatňujú algoritmy pre akumuláciu vody v snehu a pre topenie snehu. Voda z roztopeného snehu infiltruje do pôdy, infiltrovaná voda sa z pôdy môže dostávať k poľnohospodárskym plodinám, resp. inej vegetácii. Plodiny, resp. vegetácia využívajú pôdnu vlhkosť v určitej potenciálnej miere (potenciálna evapotranspirácia) a to tak dlho, pokiaľ je jej dostatok. Pri nedostatku vody v pôde sa územný výpar zníži pod potenciálnu mieru. Za daždivých období, keď zrážky prevyšujú potenciálnu evapotranspiráciu, sa z prebytku zväčšuje zásoba pôdnej vlahy. Pokiaľ zásoba prekročí maximálnu kapacitu, dochádza k priesaku ku hladine podzemnej vody. K priamemu povrchovému odtoku dochádza pri vysokých zrážkových úhrnoch.

Vstupné dáta sa do modelu načítavajú z textového súboru, ktorý má na prvom riadku uvedený začiatočný dátum časových radov vo formáte RRRR MM DD, rok, mesiac a deň sú oddelené prázdnymi medzerami. Vstupné rady sa zadávajú v poradí zrážky $\boldsymbol{P}$ (mm), pozorovaný odtok $\boldsymbol{R}$ (mm), teplota vzduchu $\boldsymbol{T}$ (°C), relatívna vlhkosť vzduchu $\boldsymbol{H}$ (%). V piatom stĺpci môže byť použitá ľubovoľná veličina (podzemný odtok, hladina podzemnej vody...), ktorú je možné využiť pri vizualizácii výstupov modelu. V modeli je možné v šiestom stĺpci zadať potenciálnu evapotranspiráciu a v siedmom údaje o užívaní vôd.

Potenciálna evapotranspirácia sa odhaduje na základe hodnoty sýtostného doplnku pomocou funkcií (vo forme tabuliek), ktoré boli odvodené pre jednotlivé mesiace roka a rôzne bioklimatické zóny (Gidrometeoizdat, 1976). Sýtostný doplnok (mb) sa počíta z údajov o teplote vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu. Denná hodnota výslednej potenciálnej evapotranspirácie sa počíta z mesačnej hodnoty vydelením hodnotou 30. Alternatívnou metódou výpočtu potenciálnej evapotranspirácie je využitie vzťahu Oudina et al. (2010), pre ktorý je potrebné zadať teplotu vzduchu a zemepisnú šírku povodia v stupňoch. Pre každý časový krok sa potom

počíta hodnota extra terestrického slnečného žiarenia a pomocou nej hodnota potenciálnej evapotranspirácie.

Ako voľné kalibračné parametre sa používajú:

- ***Spa*** – kapacita zásoby pôdnej vlhkosti (mm),
- ***Dgm*** – koeficient vyjadrujúci vzťah medzi teplotou a topením snehu,
- ***Alf*** – parameter určujúci odtok zo zásob pre tvorbu priameho odtoku,
- ***Soc*** – parameter rozdeľujúci priesak (perkoláciu) na priamy odtok a na dotáciu podzemnej vody za letných podmienok,
- ***Mec*** – parameter rozdeľujúci priesak (perkoláciu) na priamy odtok a na dotáciu podzemnej vody za podmienok topenia snehu,
- ***Grd*** – parameter určujúci odtok zo zásob podzemnej vody - podzemný odtok.

Po dokončení optimalizácie sa na výstupnom paneli zobrazia optimalizované výstupné kalibračné parametre a časové rady hydrologických parametrov v štruktúre:

- ***P*** (mm) – zrážky na plochu povodia,
- ***T*** (°C) – teplota vzduchu na plochu povodia,
- ***H*** (%) – relatívna vlhkosť vzduchu na plochu povodia,
- ***R*** (mm) – pozorovaný odtok v záverečnom profile,
- ***PET*** (mm) – potenciálna evapotranspirácia,
- ***ET*** (mm) – územný výpar,
- ***INF*** (mm) infiltrácia do pôdy,
- ***PERC*** (mm) priesak z pôdy ku hladine podzemnej vody,
- ***RC*** (mm) – dotácia zásob podzemnej vody,
- ***DR*** (mm) – priamy odtok,
- ***BF*** (mm) – základný odtok (simulovaný),
- ***RM*** (mm) – celkový odtok (simulovaný),
- ***SS*** (mm) – zásoba vody v snehu,
- ***SW***(mm) – pôdna vlhkosť,
- ***GS*** (mm) zásoba podzemnej vody.

Výstupné údaje je možné graficky zobraziť v ľubovoľnej kombinácii premenných v dennom, resp. aj v mesačnom či ročnom časovom kroku. Je možné tiež zobraziť kvantilové grafy mesačných údajov, gumbelove grafy (zamerané na extrémne hodnoty radov mesačných údajov), či zadať konštantnú prahovú hodnotu pre identifikáciu suchých, resp. vlhkých období.

4.2.2 Model Frier

Model Frier bol vytvorený v rámci dizertačnej práce (Horvát, 2007) a neustále vylepšovaný vďaka mnohým projektom, napr. APVV projektom LPP-0254-07 (Hlavčová a Horvát, 2011), či projektu WATCH zo 6. rámcového programu EÚ. Základná koncepcia modelu vychádza zo štruktúry fyzikálne orientovaného modelu WetSpa (Wang et al., 1996), model je však modifikovaný a preprogramovaný tak, aby bol vhodný na modelovanie odtoku zo zrážok a topenia snehu v slovenských podmienkach. Povodie je v modeli rozdelené štvorcovou sieťou na rovnomerné priestorové jednotky, v ktorých sa počíta hydrologická bilancia, a z ktorých sa simuluje pohyb

vody do záverečného profilu povodia. Jednotlivé zložky hydrologickej bilancie tvoria tekuté a tuhé zrážky, intercepcia, pôdna vlhkosť, infiltrácia, aktuálna evapotranspirácia, povrchový odtok, podpovrchový odtok v koreňovej zóne, priesak do podzemných vôd, podzemný odtok a zásoby podzemnej vody v zóne nasýtenia. Transformácia povrchového odtoku na povodí sa simuluje pomocou rovníc odvodených z difúznej vlny a na základe hydraulických charakteristík prúdenia vody na svahoch a v riečnej sieti. Výpočet podpovrchového odtoku vychádza z Darcyho zákona a metódy kinematickej vlny. Model s priestorovo rozčlenenými parametrami spolupracuje s programom ArcView GIS a príprava priestorovo distribuovaných údajov je viazaná na prostredie GIS. Vstupy do modelu sa pripravujú ako mapové podklady v digitálnej forme, hydrometeorologické údaje a údaje o fyzicko-geografických vlastnostiach prostredia v textovej forme.

Model pracuje s nasledovnými digitálnymi priestorovými údajmi:

- digitálnym modelom reliéfu (DMR),
- mapou pôdnych druhov,
- mapou využitia krajiny, rozvodnicou,
- riečnou sieťou,
- geografickou lokalizáciou zrážkomerných, klimatických a vodomerných staníc.

Digitálny model reliéfu a mapy využitia krajiny a pôdnych druhov v rastrovom formáte sú základom pre odvodenie väčšiny priestorových parametrov modelu. Mapy rozvodnice a riečnej siete sú líniové vektorové súbory, používajú sa na vyčlenenie povodia a posúdenie presnosti generovanej riečnej siete v modeli.

Model využíva 4 typy hydrometeorologických údajov:

- denné (hodinové) úhrny zrážok z bodových meraní v staniciach ($mm.d^{-1}$, $mm.h^{-1}$),
- denné (hodinové) úhrny potenciálnej evapotranspirácie vypočítané v staniciach ($mm.d^{-1}$, $mm.h^{-1}$),
- priemerné denné (hodinové) hodnoty teploty vzduchu z bodových meraní v staniciach (°C),
- priemerné denné (hodinové) prietoky v záverečnom profile povodia ($m^3.s^{-1}$).

Zrážky sú v každej časovej jednotke rozložené do jednotlivých buniek povodia metódou Thiessenových polygónov. Potenciálna evapotranspirácia (PET) je v každej časovej jednotke a bunke vypočítaná podľa vzťahu Blaney-Criddle na základe teploty vzduchu a indexu oslnenia, alebo ďalšími možnými metódami podľa disponibilných vstupných údajov. Meraný prietok slúži na porovnanie so simulovaným prietokom a následným vyhodnotením presnosti modelu, pre samotnú simuláciu odtoku nie je potrebný.

Model obsahuje viaceré globálne parametre (GP), ktoré sa týkajú celého povodia :

- GP pre zrážky:
  a) súčiniteľ vyjadrujúci vplyv intenzity dažďa na povrchový odtok ***K_run*** (-),
  b) maximálna intenzita dažďa $\boldsymbol{P}_{max}$ ($mm.d^{-1}$, $mm.h^{-1}$), pre ktorú ***K_run*** = 1.
- GP pre tvorbu pevných zrážok alebo topenie snehu:
  a) hraničná teplota ***T0*** pre tvorbu zásob snehu, pri ktorej sa dážď mení na sneh (°C),

b) „degree-day“ koeficient pre topenie snehu ***K_snow*** (mm.°C^{-1}.d^{-1}),
c) koeficient pre opravu množstva pevných zrážok ***K_rain*** (-),

- GP pre využitie krajiny: koeficient rela tívneho zastúpenia nepriepustných plôch na urbanizovaných územiach ***K_imp*** (-),
- GP pre vlhkosť pôdy: relatívna začiatočná vlhkosť pôdy ***Kss*** (-), udávaná ako pomer k poľnej vodnej kapacite,
- GP pre evapotranspiráciu: koeficient ***Kep*** (-) pre opravu aktuálnej evapotranspirácie,
- GP pre podpovrchový odtok: súčiniteľ mierky pre podpovrchový odtok ***Ki*** (-) je pomer medzi horizontálnym a vertikálnym koeficientom filtrácie a odzrkadľujúci vplyv organického materiálu a koreňových systémov v najvrchnejšej vrstve pôdy,
- GP pre podzemný odtok: koeficient výtokovej čiary podzemnej vody ***Kg*** (-) vyjadruje režim poklesu podzemnej vody pre priemerné subpovodie, celková plocha je rozdelená na viac subpovodí,
- GP pre zásoby podzemnej vody: začiatočné množstvo podzemnej vody ***G0*** a maximálne množstvo podzemnej vody ***Gmax*** (mm).

V prvej fáze modelovania sa počíta jednotkový hydrogram (IUH) každej bunky po záverečné profily z povodia a subpovodí a IUH hlavných tokov. Ďalej sa pri simulácii odtoku určujú nasledovné výstupné veličiny:

- priemerné zrážky na povodie (mm),
- povrchový odtok v záverečnom profile povodia (m^3.s^{-1}),
- podpovrchový odtok v záverečnom profile povodia (m^3.s^{-1}),
- podzemný odtok v záverečnom profile povodia (m^3.s^{-1}),
- celkový odtok v záverečnom profile povodia (m^3.s^{-1}),
- prvky hydrologickej bilancie povodia (mm):
  a) priemerné zrážky na povodie,
  b) intercepcia,
  c) priemerná pôdna vlhkosť,
  d) infiltrácia,
  e) evapotranspirácia,
  f) priesak z koreňovej zóny,
  g) povrchový odtok,
  h) podpovrchový odtok,
  i) podzemný odtok,
  j) celkový odtok,
  k) zmena zásob podzemnej vody.

V rámci riešenia projektu APVV-0089-12 bolo potrebné dopracovať a odskúšať určité vylepšenia programu, ku ktorým patrili najmä stanovenie hĺbky premŕzania a možnosť kalibrácie podzemného odtoku. Pre reálny výpočet hydrologickej bilancie je stanovenie pôdnych procesov v nenasýtenej zóne veľmi dôležité, keďže pôda je v interakcii aj s povrchom aj s nasýtenou zónou. Bol vytvorený algoritmus na stanovenie hĺbky premŕzania pôdy, vďaka ktorému vieme presnejšie určiť aktuálnu aktívnu časť pôdnej vrstvy. V zrážkovo-odtokových modeloch sa s ňou neuvažuje kvôli náročnosti jej stanovenia.

Možnosť kalibrácie podzemného odtoku je kľúčová pre modelovanie sucha, a pomohla spresniť najmä výpočet podpovrchového a podzemného odtoku. Pre presnejší výpočet procesov v nasýtenej zóne bola vyskúšaná metóda separácie podzemného odtoku BFI z meraného prietoku, ktorá bola vyvinutá britským ústavom hydrológie (British Institute of Hydrology) v roku 1980. Na porovnanie so simulovaným podzemným odtokom sa využíva Nash-Sutcliffov koeficient (Nash a Sutcliffe, 1970). K spresneniu odhadu podzemného odtoku prispelo i odbúranie priameho limitovania parametrom zhora, teraz je nepriamo limitovaný zásobou podzemnej vody v povodí a jej gravitačným stečením do výtoku z povodia. Počet dní zdržania vody v nasýtenej zóne je podstatný údaj, ktorým sa podzemný odtok odhaduje, v modeli ho ovplyvňuje kalibračný parameter ***B_UH***.

4.3 CHARAKTERISTIKA ZRÁŽKOVO-ODTOKOVÝCH VZŤAHOV V HODNOTENÝCH POVODIACH

4.3.1 Výsledky modelovania pomocou modelu Bilan

Modelom Bilan boli nakalibrované a spracované povodia Myjavy po Šaštín-Stráže, Váhu po Liptovský Mikuláš, Kysuce po Kysucké Nové Mesto, Nitry po Nitriansku Stredu, Hrona po Brehy, Ipľa po Holišu, Rimavy po Vlkyňu, Popradu po Chmelnicu, Torysy po Košické Olšany a Tople po Hanušovce nad Topľou.

Modelovanie bolo založené na klimatických údajoch, prepočítaných na celú plochu povodia a hydrologických údajoch z príslušného prietokového profilu. Klimatické údaje predstavovali zrážky (mm), priemerná teplota vzduchu (°C) a priemerná relatívna vlhkosť vzduchu (%), hydrologické boli zastúpené odtokovou výškou na povodí po uzáverový profil (mm). Klimatické údaje prepočítané na hodnotenú plochu povodia boli v rámci riešenia projektu vypočítané na SHMÚ. Pre výpočet potenciálnej evapotranspirácie bola použitá metóda nomogramu (pozri kap. 4.2.1). Kalibrácia modelov bola vykonaná vzhľadom k podzemnému odtoku vypočítanému z údajov o priemerných denných prietokoch metódou Killeho a metódou BFI, pričom ako kalibračné obdobie bolo použité celé hodnotené obdobie rokov 1981 – 2012. Ako optimalizačné kritérium bola väčšinou použitá hodnota MAPE (kap. 4.2.1), pričom dosiahnuté hodnoty sa pohybovali od 0,31 (povodie Váhu) do 0,77 (povodie Nitry), v prípade povodia Tople bola hodnota NS (kap. 4.2.1) s výslednou hodnotou 0,66 a v prípade povodia Kysuce to bol parameter MSE (kap. 4.2.1) s výslednou hodnotou 2,4.

Za štandardnú metódu používanú na určenie hodnoty podzemného odtoku pre územie Slovenska sa považuje Killeho metóda. Jej nevýhodou je z pohľadu času relatívne veľká náročnosť na podkladové údaje, pretože vyžaduje minimálne desaťročné hodnoty priemerných denných prietokov.

Killeho metóda (Kille, 1970) stanovuje hodnotu podzemného odtoku grafickoanalytickým spôsobom s použitím štatistických metód z minimálnych priemerných denných prietokov v mesiaci za dostatočne dlhé hodnotené obdobie (minimálne desať rokov). Tieto hodnoty usporiadané podľa veľkosti a vynesené graficky (*Q* oproti počtu hodnôt) vytvoria obrazec podobný čiare nedosiahnutia prietokov. V dolnej časti množiny usporiadaných bodov mesačných miním

denných prietokov z celého obdobia merania sa pomocou lineárnej regresie vyčlení úsek (približne v oblasti hodnôt $5 \leq n \leq 50$) s priamkovým priebehom s najvyšším koeficientom korelácie. Následne pomocou rovnice exponenciálnej regresie na základe korelačného koeficientu sa vyčlení v dolnej časti množiny bodov úsek s najlepšou aproximáciou exponenciálnou funkciou. Pomocou získanej exponenciálnej rovnice sa vypočítajú tzv. redukované hodnoty minimálnych mesačných prietokov v hornej časti množiny bodov. Potom predelením sumy minimálnych mesačných prietokov v dolnej časti množiny bodov a redukovaných hodnôt minimálnych mesačných prietokov v oblasti exponenciálnej krivky (v hornej časti množiny bodov) počtom údajov, sa získa hodnota podzemného odtoku (Fendeková a Fendek, 1999).

Pri riešení úloh spojených s výpočtom podzemného odtoku sa zhruba od roku 2005 začala na Slovensku využívať metóda lokálneho minima. Táto metóda patrí k automatizovaným separačným metódam riešeným v dennom kroku. Vychádza z priemerných denných prietokov a je založená na separácii minimálnej hodnoty prietoku z N-denného časového úseku. Táto minimálna hodnota je vynásobená korekčným faktorom (zväčša s hodnotou 0,9) a porovnaná s hodnotou získanou rovnakým postupom v predchádzajúcom a nasledujúcom časovom kroku. Ak je získaná hodnota nižšia, resp. rovná obidvom porovnávaným hodnotám, ponecháme ju v časovom rade a stáva sa tzv. bodom zvratu, ktorým vedieme separačnú čiaru medzi priamym a základným odtokom. V opačnom prípade ju vynecháme a postupujeme k ďalšiemu N-dennému úseku. Spojením získaných bodov zvratu dostávame separačnú čiaru, pričom hodnoty medzi bodmi zvratu získavame lineárnou interpoláciou. Takto vzniknutý časový rad hodnôt predstavuje podzemný odtok v dennom kroku.

Pôvodný program vznikol vo Veľkej Británii (Institute of Hydrology, 1980) a bol označený ako BFI (Base Flow Index). Program v originálnej verzii pracoval s fixnou hodnotou N-denného časového úseku 5 dní. Korekčný faktor bol kalibráciou nastavený na hodnotu 0,9. Pri aplikácii 5-denného časového kroku boli pre povodia Slovenska získavané príliš vysoké hodnoty podzemného odtoku, neporovnateľné s výsledkami dovtedy zaužívaných metód (Killeho metóda, Fosterova separačná schéma, Kliner-Kňežkova metóda a iné). Preto bol program BFI preprogramovaný Gregorom (2011) do verzie BFI+2.0, resp. BFI+3.0 (Gregor, 2013), v ktorej je možné nastaviť dĺžku N-denného časového úseku v ľubovoľnom rozsahu a podobne je možné voliť aj hodnotu korekčného faktora f.

Doterajšie štúdie ukázali, že pri použití hodnoty podzemného odtoku určenej Killeho metódou ako porovnávacej hodnoty, sa ako najvhodnejšia dĺžka časového kroku ukazuje hodnota $N = 15 – 30$ v závislosti na hodnotenom povodí. Fendeková a Fendek (2012) pre povodie Nitry použili dĺžku časového kroku $N = 20$ a táto dĺžka časového kroku sa ukázala ako optimálna aj napr. pre povodia v slovenskej časti Tatier (Fendeková et al., 2014). V povodiach na Kysuciach a Orave sa naopak, ako optimálna dĺžka časového kroku ukazuje $N = 15$. Podkladové hodnoty veľkosti podzemného odtoku vypočítané metódami Killeho a BFI a použité pri kalibrácii modelu Bilan pre hodnotené povodia sú uvedené v tab. 4.3.1.1.

Tab. 4.3.1.1 Hodnoty podzemného odtoku vypočítané metódami Killeho a BFI

Tab. 4.3.1.1 Values of the baseflow estimated by Kille´s and BFI methods

Povodie	Plocha povodia (km^2)	Podz. odtok Kille ($m^3.s^{-1}$)	Podz. odtok Kille (mm)	Podz.odtok BFI (mm)
Myjava	644,89	1,250	61	64*
Váh	1107,21	9,878	281	282**
Kysuca	995,09	4,219	134	144*
Nitra	2093,71	6,417	97	96**
Hron	3821,38	17,387	143	160*
Ipeľ	685,67	0,883	41	43*
Rimava	1377,41	2,090	48	56*
Poprad	1262,41	6,448	161	162***
Torysa	1298,30	3,109	76	78*
Topľa	1050,05	3,000	90	90*

Vysvetlivky: * N = 15, ** N = 20, *** N = 25

Výstupmi modelových riešení boli vypočítané prvky hydrologickej bilancie vo forme denných úhrnov (mm) a to: hodnota potenciálnej evapotransiprácie $\boldsymbol{P_{ETP}}$, úhrnný výpar z povodia ***ET***, infiltrácia do pôdy (nenasýtenej zóny) ***INF***, priesak z nenasýtenej do nasýtenej zóny ***PERC***, dotácia zásob podzemnej vody ***RC***, priamy odtok zo zrážok ***DR***, základný odtok (simulovaný) ***BF*** a celkový odtok (simulovaný) ***RM***. Program Bilan v dennom kroku nepočíta hodnotu podpovrchového (hypodermického) odtoku.

Ďalšiu skupinu výstupov tvorili prvky zásoby vody, a to: zásoba vody v snehu ***SS***, zásoba vody v nenasýtenej zóne (pôde) ***SW***, zásoba podzemnej vody ***GS*** a zásoba pre priamy odtok ***DS***.

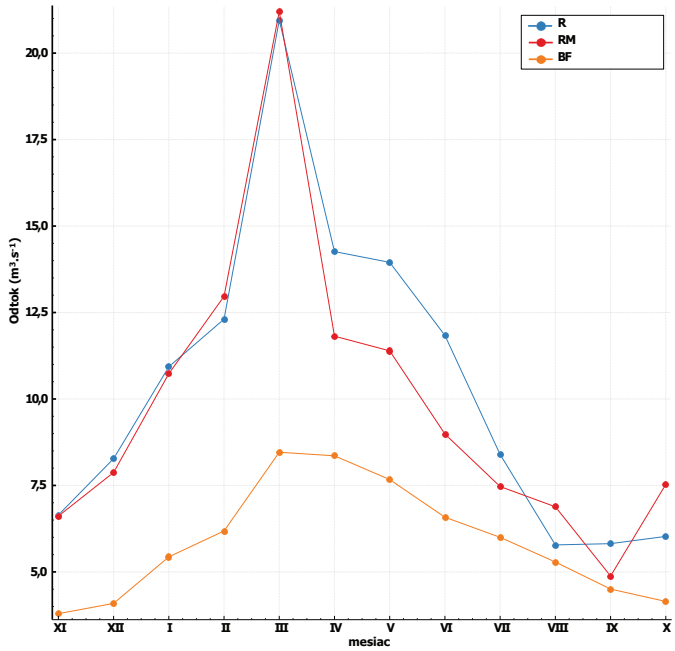
Výsledky modelovania prvkov hydrologickej bilancie modelom Bilan sú uvedené v tab. 4.3.1.2.

Výsledky modelovania prvkov hydrologickej bilancie v hodnotených povodiach boli posudzované na základe priebehu pozorovaného odtoku (R), modelovaného odtoku (RM) a podzemného odtoku (BF). Príklad výsledkov pre povodie Myjavy (profil Šaštín-Stráže) je na obr. 4.3.1.1, pre povodie Hrona (profil Brehy) je na obr. 4.3.1.2, pre povodie Ipľa (profil Holiša) je na obr. 4.3.1.3 a pre povodie Popradu (profil Chmelnica) je na obr. 4.3.1.4.

Tab. 4.3.1.2 Hydrologická bilancia hodnotených povodí za obdobie 1981 – 2012, vstupy a výstupy z modelu Bilan

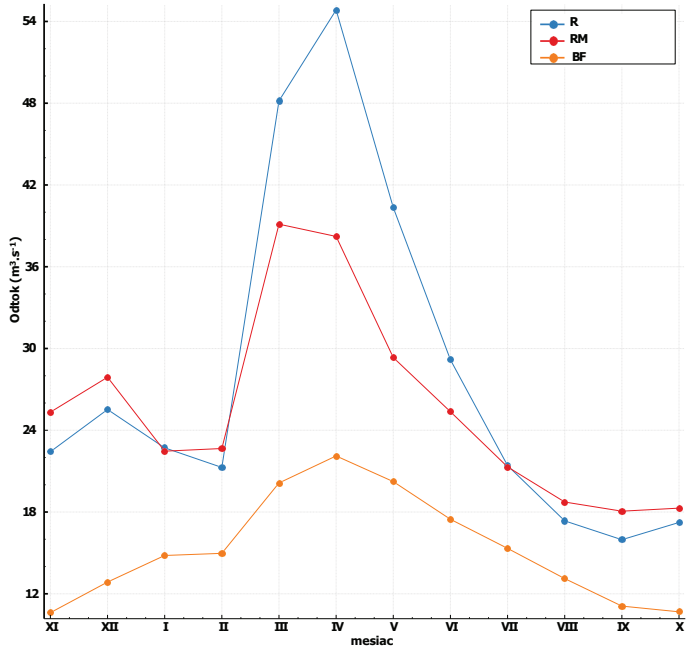
Tab. 4.3.1.2 Hydrological balance of evaluated catchments in the period 1981 – 2012, inputs and outputs of the Bilan model

Parameter	Myjava	Váh	Kysuca	Nitra	Hron po Brehy	Ipeľ	Rimava	Poprad	Torysa	Topľa
Vstupné veličiny										
Zrážky P (mm)	653	737	812	591	788	625	644	793	678	678
Teplota vzduchu T (°C)	9	2,5	8	9,7	7	9	8	4	9	8
Vlhkosť vzduchu H (%)	76	81	79	75	77	75	76	77	77	78
Odtok (meraný) R (mm)	125	542	334	205	336	108	126	373	182	225
Prvky hydrologickej bilancie										
Potenciálna evapotranspirácia P_{ETP} (mm)	733	364	602	768	600	749	661	472	712	664
Územný výpar ET (mm)	536	275	450	403	471	510	504	434	512	497
Infiltrácia INF (mm)	630	678	792	567	762	606	623	760	649	636
Priesak PERC (mm)	118	461	362	187	397	113	140	360	165	180
Dotácia zásob pozemnej vody RC (mm)	70	293	153	99	183	48	56	179	92	139
Priamy odtok DR (mm)	48	168	209	88	123	65	85	180	73	41
Základný odtok BF (mm)	71	294	153	99	183	48	56	179	92	138
Celkový odtok (simulovaný, mm)	118	462	362	187	307	114	141	359	166	180
Prvky zásoby vody										
Zásoba vody v snehu SS (mm)	3	33	6	3	9	2	5	8	4	11
Pôdna vlhkosť (zásoba vody v nenasýtenej zóne) SW (mm)	131	30	61	22	121	103	158	190	56	81
Zásoba vody v nasýtenej zóne GS (mm)	46	122	16	9	78	23	44	37	41	27
Zásoba vody pre priamy odtok DS (mm)	1	3	2	2	2	1	2	2	1	0



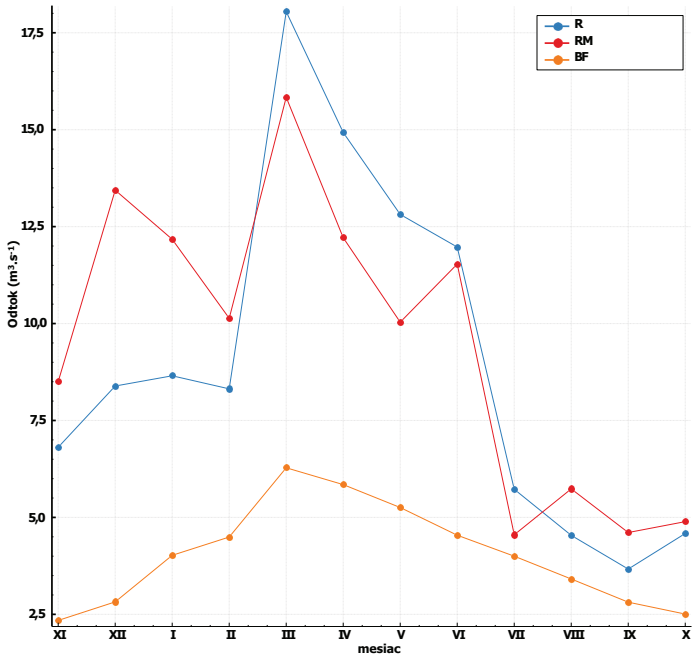
Obr. 4.3.1.1 Porovnanie odtokových zložiek pre povodie Myjavy

Fig. 4.3.1.1 Comparison of runoff compounds for the Myjava River catchment



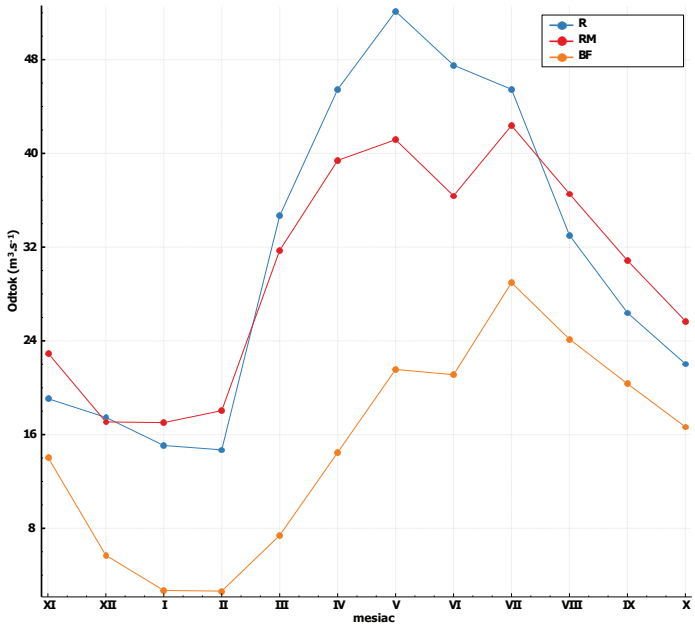
Obr. 4.3.1.2 Porovnanie odtokových zložiek pre povodie Hrona

Fig. 4.3.1.2 Comparison of runoff compounds for the Hron River catchment



Obr. 4.3.1.3 Porovnanie odtokových zložiek pre povodie Ipľa

Fig. 4.3.1.3 Comparison of runoff compounds for the Ipeľ River catchment



Obr. 4.3.1.4 Porovnanie odtokových zložiek pre povodie Popradu

Fig. 4.3.1.4 Comparison of runoff compounds for the Poprad River catchment

Na obr. 4.3.1.1. – 4.3.1.4 je vidieť, že najlepšia zhoda medzi pozorovaným a modelovaným odtokom bola dosiahnutá pre povodie Myjavy po profil Šaštín-Stráže (obr. 4.3.1.1), kde z pohľadu porovnania priebehu priemerných mesačných hodnôt je najlepšie namodelovaná perióda akumulácie a kulminácie odtoku (mesiace XI. – III.) a mierne podhodnotený začiatok periódy výtoku (IV. – VI.). Vo zvyšných mesiacoch sú rozdiely medzi pozorovaným a modelovaným odtokom malé, generálna zhoda v priebehu sezónnosti je dobrá. Pre povodie Hrona (obr. 4.3.1.2) po profil Brehy je najväčší rozdiel v hodnotách kulminácie prietokov v jarnom období, kedy model síce vystihuje ich priebeh, no podhodnocuje maximálne hodnoty. Najlepšia zhoda je dostiahnutá pre obdobie akumulácie (XI. – II.) a druhú časť obdobia výtoku (VI. – X.). Výsledky modelovania odtoku v povodí Ipľa po profil Holiša (obr. 4.3.1.3) naopak výraznejšie nadhodnotili odtoky v období akumulácie (XI. – II.), no slušná zhoda bola dosiahnutá pre obdobie kulminácie a výtoku (III. – X.). V poslednom príklade povodia Popradu boli podhodnotené hodnoty v oblasti kulminácie (V. – VI.) a mierne nadhodnotné hodnoty v období výtoku (VIII. – XI.). Vo všetkých uvedených príkladoch, ale aj v prípadde ostatných modelovaných povodí, bola dosiahnutá dobrá zhoda v priebehu sezónnosti. Hodnoty podzemného odtoku vo všetkých prípadoch sledujú priebeh modelovaného odtoku.

Vyhodnotenie veľkosti a vzťahu odtokových zložiek pre jednotlivé hodnotené povodia je v tab. 4.3.1.3. Keďže model Bilan v dennom časovom kroku nepočíta hodnotu podpovrchového odtoku, sú v tab.4.3.1.3 uvedené hodnoty priameho, podzemného a celkového odtoku.

Tab. 4.3.1.3 Vyhodnotenie odtokových zložiek v modelovaných povodiach

Tab. 4.3.1.3 Evaluation of the runoff components in the modelled catchments

Povodie	Priamy odtok	Podzemný odtok	Celkový odtok	Odtokový pomer DR:BF
	(mm)	(mm)	(mm)	(%)
Myjava	48	70	118	41:59
Váh	168	294	462	36:64
Kysuca	209	153	362	58:42
Nitra	88	99	187	47:53
Hron po Brehy	123	121	307	04:96
Ipeľ	65	49	114	57:43
Rimava	85	56	141	60:40
Poprad	207	156	363	50:50
Torysa	73	92	166	44:56
Topľa	41	138	180	23:77

Infiltrácia ***INF*** odráža zrážkové pomery a predstavuje vstup do podpovrchovej vrstvy modelu Bilan. Najvyššie hodnoty boli namodelované (tab. 4.3.1.2) v povodiach Kysuce (792 mm), Hrona (762 mm) a Popradu (760 mm).

Hodnota územného výparu (***ET***, evapotranspirácie) odráža cez nadmorskú výšku teplotné pomery povodia. Najvyššie hodnoty boli namodelované (tab. 4.3.1.2) pre povodia Myjavy (536 mm), Ipľa (510 mm) a Rimavy (504 mm), najnižšia hodnota bola vypočítaná pre povodie Váhu (275 mm). Podobne sa vyvíjali aj hodnoty potenciálnej evapotranspiráci (***PET***), ktoré dosiahli maximá v povodiach Nitry (768 mm), Ipľa (749 mm), Myjavy (733 mm) a Torysy (712 mm). Minimá potenciálnej evapotranspirácie boli vypočítané pre povodia Váhu (364 mm) a Popradu (472 mm).

Najvyšší podiel priameho odtoku (tab. 4.3.1.3) bol namodelovaný v povodí Rimavy (60 %), Kysuce (58 %), Ipľa (57 %) a Popradu (50 %), najnižší v povodí Hrona (4 %), Tople (23 %), Váhu (36 %) a Torysy (44 %).

Najvyššie hodnoty podzemného odtoku (tab. 4.3.1.2) boli vypočítané pre povodie Váhu (294 mm), Hrona (183 mm), Popradu (179 mm) a Kysuce (153 mm), najnižšie pre povodia Ipľa (48 mm), Rimavy (56 mm), Myjavy (71 mm), Torysy (92 mm) a Nitry (99 mm). Podiel podzemného odtoku na celkovom odtoku (tab. 4.3.1.3) bol najvyšší v povodí Hrona (96 %), Tople (77 %) a Váhu (64 %). Celkovo najviac vody odteká (tab. 4.3.1.2) v povodí Váhu (462 mm), Kysuce (362 mm) a Popradu (359 mm), najmenej v povodiach Ipľa (114 mm), Myjavy (118 mm) a Rimavy (141 mm).

4.3.2 Výsledky modelovania pomocou modelu Frier

V rámci riešenia projektu boli nakalibrované a spracované povodia Myjavy po Šaštín-Stráže, Váhu po Liptovský Mikuláš, Kysuce po Kysucké Nové Mesto, Nitry po Nové Zámky (celé povodie), Hrona po Kamenín (celý), Ipeľ po Holišu (horný), Poprad po Chmelnicu (celý v SR), Hornád po Žďaňu (celý v SR), Torysa po Košické Olšany ako čiastkové povodie Hornádu (celá), Slaná po Lenártovce (celá v SR pred sútokom s Rimavou), Rimava po Vlkyňu (celá), Bodva po Hosťovce (celá), Ondava po Horovce (celá), Topľa po Hanušovce nad Topľou ako čiastkové povodie Ondavy (celá) a Laborec po Humenné (pred Zemplínskou Šíravou).

Naším cieľom bolo zahrnúť do analýzy a prognózy sucha čo najväčšiu časť územia SR. Limitovaní sme však boli rozmiestnením vodomerných staníc, priebehom štátnej hranice, prítokmi z iných krajín a existenciou veľkých vodných nádrží na toku, ktoré ovplyvňujú prietoky v nižšie ležiacich profiloch. Z tohto dôvodu nebolo možné modelovať Dunaj na našom území, celý Váh, Bodrog, Ipeľ, či Dunajec.

Vstupné údaje tvorili **časové** rady **úhrnu zrážok, prietoku, teploty vzduchu, relatívnej vlhkosti vzduchu, oblačnosti a rýchlosti vetra**, ktoré boli v rámci riešenia projektu poskytnuté z databáz Slovenského hydrometeorologického ústavu. K dispozícii boli časové rady od začiatku kalendárneho roku 1981 do konca roku 2012.

Potenciálna evapotranspirácia bola počítaná Schendelovým vzorcom (Hölting, 1980, upravené na denný úhrn):

ak T > 0, tak:

$$E_{max} = 16 \cdot \frac{T}{U} \qquad (4.3.2.1)$$

kde: E_{max} – potenciálna evapotranspirácia (mm.deň$^{-1}$),
T – denná priemerná teplota vzduchu (°C),
U – relatívna vlhkosť vzduchu (%).

Ako vstupné priestorové mapy digitálneho modelu reliéfu s veľkosťou rastra 200 m, riečnej siete 1:10 000, využitia krajiny (CORINE 2006) a mapy pôdnych druhov (AKSR, 2002) boli použité mapy z archívu Katedry hydrogeológie PriFUK.

4.3.2.1 Najčastejšie problémy pri kalibráciách hydrologického modelu

Žiadna metóda rozloženia meraných meteorologických prvkov do priestoru nedokáže dôveryhodne určiť hodnoty v bunkách, ak nemáme dostatok staníc, alebo nie sú vhodne rozmiestnené v povodí (lokalizáciou, nadmorskou výškou). V takmer každom slovenskom povodí chýbajú stanice najmä vo vyšších nadmorských výškach.

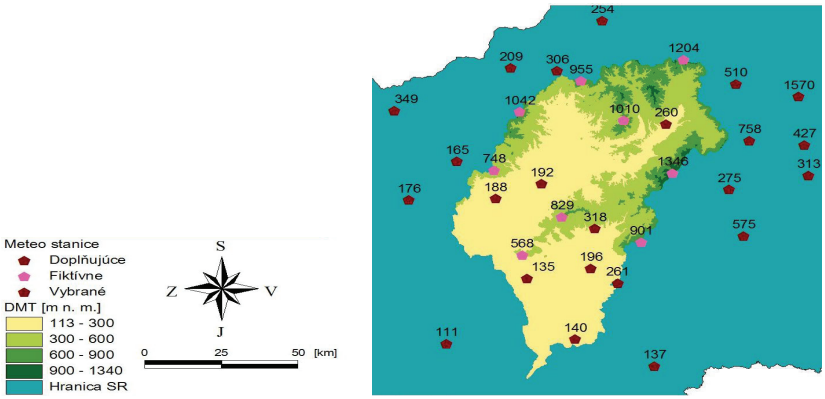
Na doplnenie úhrnov zrážok využívame vzájomnú závislosť údajov chýbajúcej a dopĺňajúcej stanice v čase, keď sa meralo na oboch staniciach. Dopĺňajúcou stanicou je väčšinou tá, ktorá je najbližšie položená k stanici s výpadkom údajov. Využíva sa mocninová závislosť medzi nadmorskou výškou staníc a úhrnom zrážok. Pri veľkom rozdiele nadmorských výšok je rozdiel pri nižších úhrnoch proporcionálne vyšší, pri veľmi veľkých úhrnoch sa predpokladá zanedbateľný rozdiel. Ťažko odstrániteľným nedostatkom je fakt, že vo vyšších nadmorských výškach nielenže prší viac, ale aj častejšie. Takmer vždy treba doplniť vyššie položenú stanicu nižšie položenou. Počet dní so zrážkami bude pri takomto dopĺňaní rovnaký.

Pri teplote vzduchu sa vytvára tabuľka vzájomných závislostí po jednotlivých °C (čo riadok, to rozdiel 1 °C), chýbajúce hodnoty sa doplnia z tabuľky pomocou spriemerovaných hodnôt závislostí medzi stanicami a danou hodnotou, ktorá bola nameraná na dopĺňajúcej stanici.

Dôležitým krokom je vytvorenie tzv. „fiktívnych" staníc, pár strategických bodov väčšinou na najvyšších vrchoch a najnižšom bode, vo výtoku z povodia. Zachytenie hodnôt v najvyšších a najnižších bodoch povodia nám umožní vytvoriť reálnejší vertikálny gradient v každom časovom kroku. Týchto pár bodov sa dá skontrolovať ľahšie ako všetky bunky v povodí. Hodnoty sa dosádzajú pomocou priemerných ročných hodnôt v danej nadmorskej výške na danom mieste. Pri úhrne zrážok sa tvoria vertikálne gradienty pre jednotlivé mesiace z dopĺňajúcich staníc, stanovia sa úhrny, aké by padli v danej stanici, keby bola v rovnakej nadmorskej výške ako fiktívna stanica, konečná hodnota sa stanoví váženým priemerom na základe inverznej vzdialenosti dopĺňajúcich staníc od fiktívnej. Pri teplote vzduchu sa pre každý časový krok vytvorí vertikálny gradient z dopĺňajúcich staníc, prepočíta sa hodnota, aká by bola teplota vzduchu v danej dopĺňajúcej stanici, keby bola v rovnakej nadmorskej výške, ako fiktívna stanica, vytvorí sa rovnaká tabuľka ako v predošlom prípade (čo riadok, to rozdiel 1 °C), konečná hodnota sa stanoví na základe váženého priemeru hodnôt z dopĺňajúcich staníc. Hodnoty z fiktívnych staníc sú kontrolované a je možné ich čiastočne obmeniť pomocou meraného prietoku v podprograme Uprava_radov (Hlavčová & Horvát, 2011). Zrážky sú najdôležitejším vstupom do modelov, preto je potrebné venovať ich príprave príslušnú pozornosť. Na Slovensku je topenie snehu najdôležitejšou nárazovou dotáciou vody do systému, preto je potrebné venovať pozornosť i teplote vzduchu, a to najmä v okolí hodnôt zmeny snehu na vodu, zlý odhad teploty vzduchu

čo i len o 1 °C pri hodnotách blízkych 0 °C má za následok neschopnosť prijateľne nakalibrovať dané simulačné obdobie Ako príklad vytvorenia fiktívnych staníc uvádzame ich situovanie v povodí Nitry.

Na Slovensku je celkovo len 9 meteorologických staníc lokalizovaných v nadmorskej výške viac ako 1 000 m n. m. Stanice v nadmorských výškach okolo 2 000 m n. m. sa nedajú adekvátne použiť na dopĺňanie hodnôt so stanicami v nížinách a kotlinách, pretože medzi nimi väčšinou neexistuje spoľahlivá závislosť kvôli meniacim sa podmienkam v nadmorských výškach okolo 1 500 m n. m. (Lapin, 2004, ústna informácia). Na základe tohto a ďalších limitujúcich skutočností, napr. veľkej vzdialenosti, sa dá na doplnenie údajov použiť väčšinou len stanica Krížna (1 570 m n. m.), na ktorej sa však už od roku 2001 nemeria.



Obr. 4.3.2.1.1 Rozmiestnenie meteorologických staníc v povodí Nitry a okolí (červené body) a vybrané kóty v povodí (ružové body)

Fig. 4.3.2.1.1 Location of meteorological gauging stations in the Nitra catchment and adjacent area (red points) and selected ground elevations (pink points)

4.3.2.2 Hydrologická bilancia v modelovaných povodiach

Modelované povodia sa podstatne líšia plochou povodia. Najmenším povodím bolo horné povodie Ipľa so 650 km^2, najväčší bol Hron s plochou 5 460 km^2. Medzi povodia s nižšou priemernou nadmorskou výškou patria Ondava, Ipeľ, Bodva a Rimava. Naopak, najvyššiu priemernú nadmorskú výšku majú povodia Popradu, Hornádu a Hrona. Najvyšší priemerný sklon je v povodí Hrona po Brehy a v povodí Slanej, najnižší v povodí Bodvy, Ipľa a Ondavy.

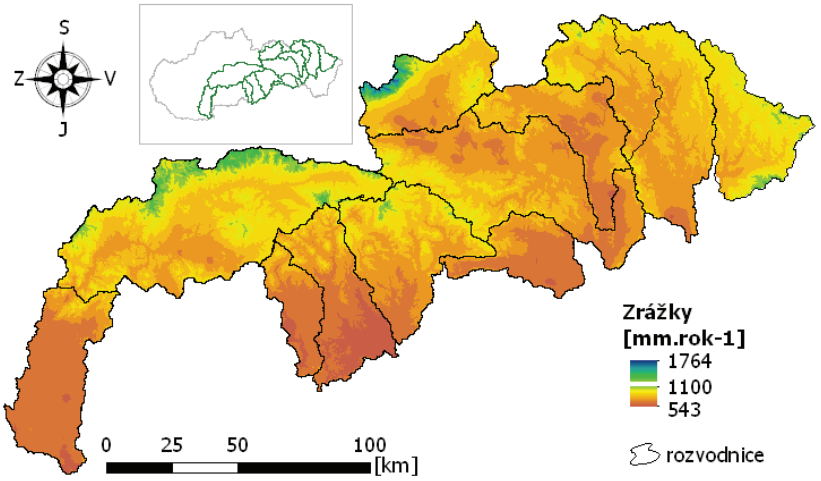
Podiel ílu v pôde je veľmi podobný. Zrnitosť sa odlišuje najmä v pomere piesku a prachu. Najnižší podiel piesku v pôde je prítomný v povodiach Slanej, Ipľa a Hornádu, najvyšší v povodiach Hrona, Ondavy, Popradu a Torysy.

Využitie krajiny bolo pre jednoduché porovnanie rozdelené do 3 kategórií: (1) nepriaznivé plochy (nepriepustné plochy), (2) priaznivé (lesy, kroviny a lúky) a (3) poľnohospodárska pôda. Všetky povodia majú nízku zastavanosť územia do 4 %. Iba v povodí Popradu dosahuje holá pôda významnejšiu hodnotu, a to 3 %, všade inde je pod hodnotou 1 %. Lesy, kroviny a lúky sú

v každom povodí v prevahe, ich výskyt sa pohybuje od 58 % v Bodve po 86 % na Hrone po Brehy. Najviac poľnohospodárskej pôdy je v povodí Bodvy (38 %) a Ipľa (36 %), najmenej v povodí Laborca (13 %) a Hrona po Brehy (11 %). Vo všetkých povodiach povrchová voda stečie do výtoku z povodia do 1 dňa, najdlhšie je to na Hrone s trvaním17 hodín, najrýchlejšie v povodí Ipľa a Laborca - do 6 hodín. Najrýchlejšia priemerná postupová doba je 3 hodiny vo viacerých povodiach, v povodí Hrona je to však až 9 hodín.

Hydrologická bilancia bola počítaná na 3 úrovniach: na povrchu, v nenasýtenej a v nasýtenej zóne. Výsledné parametre hydrologickej bilancie všetkých modelovaných povodí pre obdobie 1981 – 2012 sú sumárne uvedené v tab. 4.3.2.2.1.

Najviac zrážok za rok v priemere padlo v povodí Kysuce (1 054 mm), Laborca (976 mm), Váhu (938 mm), ako aj Bodvy, Hrona a Popradu (všade viac ako 900 mm), najmenej v povodí Myjavy (569 mm), Nitry (574 mm), Ipľa (680 mm) a Rimavy (685 mm). Maximálny rozdiel medzi povodiami dosiahol takmer 500 mm (485 = 1 054 – 569). Najvyššie úhrny sú na vrcholoch Tatier v povodí Popradu, až 1 764 mm (Obr. 4.3.2.2.1).



Obr. 4.3.2.2.1 Úhrny zrážok v stredo- a východoslovenských povodiach v období 1981 – 2012

Fig. 4.3.2.2.1 Precipitation amounts in central- and eastern Slovakian catchments in 1981 – 2012

Infiltrácia odráža zrážkové pomery, jej podiel je podobný. Najvyššia evaporácia bola v povodí Kysuce (112 mm), Váhu (110 mm) a Hornádu (94 mm), najnižšia v povodí Myjavy a Nitry (60 mm), ako aj Ipľa (65 mm). Odtok z povrchu bol najvyšší v povodí Kysuce (37 mm) a Popradu (30 mm), najnižší v povodí Hrona (13 mm), Ipľa, Rimavy, Laborca a Bodvy (zhodne po 17 mm). Zmeny zásob intercepcie sú v takom dlhom období všade nulové. Zmeny retenčných zásob a zásob snehu boli v povodiach nulové, resp. poklesli, pretože na začiatku roku 1981 dosahovali vysoké hodnoty, a naopak, na konci roka 2012 nízke.

Tab. 4.3.2.2.1 Hydrologická bilancia hodnotených povodí za obdobie 1981 – 2012, výstup z modelu Frier

Tab. 4.3.2.2.1 Hydrological balance of evaluated catchments in the period 1981 – 2012, output of the Frier model

Parameter	Myjava	Váh	Kysuca	Nitra	Hron celý	Hron po Brehy	Ipeľ	Rimava	Slaná	Poprad	Torysa	Hornád	Topľa	Ondava	Laborec	Bodva
Povrch																
Zrážky	569	938	1054	574	858	939	680	685	835	913	765	784	831	844	976	943
Infiltrácia	485	809	906	496	768	837	599	599	729	794	670	670	736	745	880	850
Evaporácia	60	110	112	60	78	91	65	72	91	91	94	94	81	79	79	79
Povrchový odtok	25	19	37	22	13	13	17	17	18	30	23	23	18	23	17	17
Zmena zásob intercepcie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zmena retenč. zásob	-1	0	0	0	0	0	-1	-2	-2	-1	-1	-3	-3	-2	-1	-1
Zmena zásob snehu	-1	0	-1	-4	-3	-4	-2	-2	-2	-3	-3	-2	-2	-2	0	-2
Pôda																
Infiltrácia	485	809	906	496	768	837	599	599	729	794	670	670	736	745	880	850
Evapotranspirácia	342	248	333	326	432	431	442	424	457	398	437	418	465	477	506	500
Priesak	126	317	291	150	265	290	141	151	223	259	198	207	217	224	246	235
Podpovrch. odtok	18	244	281	16	71	117	16	23	48	136	34	44	54	44	130	115
Zmena pôdnej vlhkosti	-1	0	1	4	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	-2	0
Nasýtená zóna																
Priesak	126	317	291	150	265	290	141	151	223	259	198	207	217	224	246	235
Transpirácia	34	33	46	50	96	87	60	66	80	56	71	70	68	76	53	52
Podzemný odtok	92	279	244	102	167	202	81	86	143	204	128	138	150	150	192	182
Zmena zásob podzemnej vody	0	4	1	-2	2	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	1	0

Najvyššia hodnota evapotranspirácie bola vypočítaná pre povodia Laborca (506 mm) a Bodvy (500 mm), najnižšia pre povodie Váhu (248 mm). V povodí Myjavy a Laborca poklesla pôdna vlhkosť, v ostatných povodiach bola zmena nulová, resp. stúpla zväčša o 1 mm, najviac v povodí Nitry o 4 mm.

V nasýtenej zóne bola stanovená najvyššia hodnota výparu z hladiny podzemnej vody - transpirácia v povodí Hrona (96 mm - celý, 87 mm po Brehy) a Slanej (80 mm), najnižšie hodnoty boli zaznamenané v povodí Váhu (33 mm) a Myjavy (34 mm).

Pomer jednotlivých zložiek odtoku ukazuje rozdiely v charaktere jednotlivých povodí. Kým v povodiach Váhu, Kysuce, Hrona, Laborca, Popradu, Slanej a Tople je odtok z povrchu menší ako 10 %, v povodí Myjavy dosahuje 18 % a v povodí Bodvy až 20 % (Tab. 4.3.2.2.2). Najvyšší podiel podpovrchového odtoku bol stanovený pre povodia Myjavy (51 %), Popradu, Laborca (37 %) a Hrona, najnižší pre povodie Nitry (11 %), Ipľa a Bodvy (14%).

Tab. 4.3.2.2.2 Vyhodnotenie odtokových zložiek v modelovaných povodiach

Tab. 4.3.2.2.2 Evaluation of the runoff components in the modelled catchments

	Povrchový odtok	Podpovrchový odtok	Podzemný odtok	Celkový odtok	Odtokový pomer OF:IF:BF	Miminálny prietok	Maximálny prietok	Priemerný prietok
Jednotky	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(%)	($m^3.s^{-1}$)	($m^3.s^{-1}$)	($m^3.s^{-1}$)
Myjava	25	18	92	135	18:13:69	0,2	72	2,5
Váh	19	244	279	542	03:51:46	4,2	260	19
Kysuca	37	281	244	599	06:47:47	0,3	286	8
Nitra	22	16	102	140	16:11:73	2,5	308	18
Hron celý	13	71	167	251	05:28:66	7	684	44
Hron po Brehy	13	117	202	331	04:35:61	8	753	41
Ipeľ	17	16	81	114	15:14:71	0	80	2
Rimava	17	23	86	126	14:18:68	0	160	5
Slaná	18	48	143	210	09:23:68	1	284	12
Poprad	30	136	204	370	08:37:55	2	447	15
Torysa	23	34	128	185	12:19:69	1	292	7
Hornád	23	44	138	205	12:21:67	4	772	27
Topľa	18	54	150	222	08:24:67	1	220	7
Ondava	23	44	150	217	11:20:69	2	420	20
Laborec	17	115	182	314	05:37:58	1	323	13
Bodva	21	15	69	105	20:14:66	0	92	3

Najvyššie hodnoty podzemného odtoku boli vypočítané pre povodie Váhu (279 mm), Kysuce (244 mm) a Popradu (204 mm), najnižšie v povodí Ipľa (81 mm) a Rimavy (86 mm). Vo všetkých povodiach prevažuje dotácia z podzemného odtoku, najmenej však v povodí Váhu (46 %), Kysuce (47 %), Popradu (55 %) a Laborca (58 %). V ostatných povodiach dotácia podzemným odtokom dosahuje 61 – 73 %, najviac v povodí Nitry. Celkovo najviac vody odteká v povodí Kysuce (599 mm), Váhu (542 mm) a Popradu (370 mm), najmenej v povodiach Bodvy (104 mm) a Myjavy (135 mm).

Najvyšší pomer podpovrchového odtoku je prítomný v povodiach Popradu a Laborca (37 %), ako aj Hrona (28 %, resp. 35 %), najnižší v povodiach Ipľa a Bodvy (iba 14 %).

Vo všetkých povodiach prevažuje dotácia z podzemného odtoku, najmenej však v povodí Popradu (55%) a Laborca, v ostatných povodiach je to 66 – 71 %, najviac v povodí Ipľa. Celkovo najviac vody odteká v povodí Popradu (370 mm), najmenej v povodí Bodvy (104 mm).

Najvyšší maximálny prietok bol zaznamenaný v Žďani na Hornáde (772 $m^3.s^{-1}$) a na Hrone v Brehoch (753 $m^3.s^{-1}$), najnižšie hodnoty sa približujú k nule na Myjave, Kysuci, Ipli, Rimave a Bodve. Najvyšší dosiahnutý priemerný prietok je 44 $m^3.s^{-1}$ na Hrone v Kameníne, najnižší na Ipli v Holiši (2 $m^3.s^{-1}$), na Myjave v Šaštíne-Strážach (2,5 $m^3.s^{-1}$) a na Bodve v Hosťovciach s hodnotou 3 $m^3.s^{-1}$ (tab. 4.3.2.2.2).

Keďže model Frier poskytuje podstatne lepšie možnosti detailnejšieho štúdia zložiek hydrologickej bilancie povodia ako model Bilan, pri prognóze výskytu hydrologického sucha sucha sme použili už len model Frier.

4.4 CHARAKTERISTIKA VYBRANÝCH EPIZÓD HYDROLOGICKÉHO SUCHA V 21. STOROČÍ

Aj Slovensko patrí ku krajinám, ktoré v 21. storočí postihlo už niekoľko epizód sucha. Tri z nich, v rokoch 2003, 2011 – 2012 a 2015, patrili k tým, v ktorých sa prejavilo meteorologické a hydrologické sucho na pan-európskej úrovni. Všeobecne je možné konštatovať, že všetky tri hodnotené roky patrili k najteplejším rokom z pohľadu priemernej globálnej teploty vzduchu na Zemi v histórii registrovaných systematických meraní. Ako to dokumentuje tab. 4.4.1, rok 2015 bol v doterajšej histórii druhým najteplejším rokom, rok 2012 bol deviatym najteplejším a rok 2003 sa spolu s rokmi 2006 a 2007 umiestnil na 10 – 12. mieste. V tab. 4.4.1 sú uvedené odchýlky v °C, ktoré predstavujú rozdiel oproti priemernej globálnej teplote vzduchu v období rokov 1880 – 2016, ktorá má hodnotu 13,9 °C.

Tab. 4.4.1 Poradie 12 najteplejších rokov na Zemi v období pozorovania 1880 – 2016 (upravené podľa NOAA, 2017)

Tab. 4.4.1 Ranking of 12 warmest years on the Earth within the observation period 1880 – 2016 (adopted according to NOAA, 2017)

Poradie*	Rok	Odchýlka (°C)
1.	2016	0,94
2.	2015	0,90
3.	2014	0,74
4.	2010	0,70
5.	2013	0,67
6.	2005	0,66
7.	2009	0,64
8.	1998	0,63
9.	2012	0,62
10 – 12.	2003	0,61
10 – 12	2006	0,61
10 – 12	2007	0,61

Pozn. * 1 – najteplejší rok

Sucho v roku 2003 zasiahlo celú západnú, severnú, strednú a južnú Európu, pričom kombinácia vlny horúčav a sucha v roku 2003 je dodnes považovaná za jeden z ekonomicky najzávažnejších dopadov prírodných hazardov na Európu. Z klimatologického hľadiska bolo leto v roku 2003 charakteristické výnimočne vysokými teplotami v mnohých častiach strednej a východnej Európy, pričom priemerné denné teploty boli o 2 – 3 °C vyššie ako dlhodobý priemer obdobia 1971 – 2000. Atmosférické indikátory, napr. štandardizovaný zrážkový a evapotranspiračný index SPEI, ukazovali dipólovú štruktúru so zrážkovým deficitom a extrémnym suchom v strednej a južnej Európe a na druhej strane s vysokými úhrnmi zrážok nad časťou Škandinávskeho polostrova a Britskými ostrovmi (Laaha et al., 2017).

V roku 2012 hodnota globálnej priemernej ročnej teploty vypočítanej ako kombinácia teploty povrchu pevniny a oceánu bola o 0,62 °C vyššia ako priemer obdobia 1880 – 2016 a o 0,57 °C vyššia, ako bol priemer pre 20. storočie. Z pohľadu zrážok rok 2012 nasledoval po dvoch najvlhkejších rokoch v histórii pozorovaní, dosiahnuté hodnoty pevninských zrážok boli blízke dlhodobému priemeru.

Posledný hodnotený rok 2015 bol globálne druhým najteplejším rokom obdobia 1880 – 2016, ako to dokumentuje tab. 4.4.1. V tomto roku bola dosiahnutá kladná odchýlka +0,9 °C od dlhodobého priemeru obdobia 1901 – 2000. Globálne teploty v roku 2015 boli výrazne ovplyvnené silným pôsobením globálneho klimatického fenoménu El Niño, ktorý sa začal vyvíjať už koncom roka 2014, trval počas celého roku 2015 a končil v polovici roka 2016, kedy prešiel do nevýraznej fázy La Niňa. Hodnoty trojmesačného priemeru indexu ***ONI*** (Oceanic Niño Index) v rokoch 2014 – 2016 sú v tab. 4.4.2. Trojmesačný kĺzavý priemer je počítaný z trojmesačného obdobia tvoreného tromi po sebe nasledujúcimi mesiacmi roku (DJF – december-janu-

ár-február, JFM – január-február-marec, ..., NDJ – november-december-január). Hraničnou hodnotou je hodnota +/- 0,5 °C ***ONI*** indexu (trojmesačný kĺzavý priemer anomálií povrchovej teploty oceánu v Niño oblasti; región 3.4: 5°N-5°S, 120° – 170°W; v porovnaní s 30-ročným referenčným obdobím. V súčasnosti je platným referenčným obdobím obdobie rokov 1986 – 2015, ktoré bude aktualizované v roku 2021. Kladná anomália s hodnotou ≥ 0,5 charakterizuje efekt El Niño, záporná s hodnotou ≤ -0,5 efekt La Niña.

Tab. 4.4.2 Hodnoty odchýlok indexu ***ONI*** v rokoch 2014 – 2016 od dlhodobého priemeru (http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml)

Tab. 4.4.2 Values of the deviations of ***ONI*** index in 2014 – 2016 compared to long-term period (http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml)

Rok	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2014	-0,4	-0,4	-0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,0	0,2	0,4	**0,6**	**0,7**
2015	**0,6**	**0,6**	**0,6**	**0,8**	**1,0**	**1,2**	**1,5**	**1,8**	**2,1**	**2,4**	**2,5**	**2,6**
2016	**2,5**	**2,2**	**1,7**	**1,0**	**0,5**	0,0	-0,3	**-0,6**	**-0,7**	**-0,7**	**-0,7**	**-0,6**

Teploty vzduchu nad pevninou boli v roku 2015 oproti priemernej hodnote 20. storočia vyššie o 1,33 °C, odchýlky jednotlivých mesiacov sa pohybovali od +0,94 °C v júni po +1,89 °C v decembri. Z pohľadu globálneho ročného úhrnu zrážok bol rok 2015 tesne pod dlhodobým priemerom obdobia 1961 – 1990 s odchýlkou -22,5 mm oproti hodnote 1 033 mm. Rok 2015 bol suchým okrem strednej Európy aj v južnej Afrike, Mongolsku, vo východnej časti Brazílie a v časti juhovýchodnej Ázie.

4.4.1 Meteorologické sucho v rokoch 2003, 2011 – 2012 a 2015 na Slovensku

Z pohľadu Slovenska boli v lete 2003 priemerné teploty vzduchu na celom území vyššie ako je hodnota dlhodobého priemeru za roky 1951 – 2015. Ako vyplýva z výsledkov uvedených v podkap. 3.1.3, rok 2003 bol charakterizovaný ako suchý na 97,2 % územia Slovenska, z čoho na 74,4 % územia bol veľmi suchý. Zrážkový úhrn v roku 2003 dosiahol na území Slovenska priemernú hodnotu 573 mm, čo predstavuje 74,5 % normálu. Hoci v mesiaci január spadlo na územie Slovenska až 57 mm zrážok (124 % normálu), začiatok roka bol (február až apríl) veľmi suchý, resp. suchý (43 %, 28 % a 78 % normálu). Mesiac máj bol zrážkovo normálny (103 %), jún opäť veľmi suchý (44 %). Júlové úhrny nepriaznivú situáciu zmiernili (109 %), no august a september boli opätovne veľmi suchými, resp. suchými mesiacmi (44 %, 70 %). Po vlhkom októbri (130 %) boli zvyšné mesiace roka opäť suché a celkovo sa na území Slovenska vytvoril v roku 2003 zrážkový deficit s hodnotou 189 mm (www.shmu.sk). Deficit v pôdnej vlhkosti vo všetkých sledovaných staniciach na Slovensku bol väčší ako 30 mm.

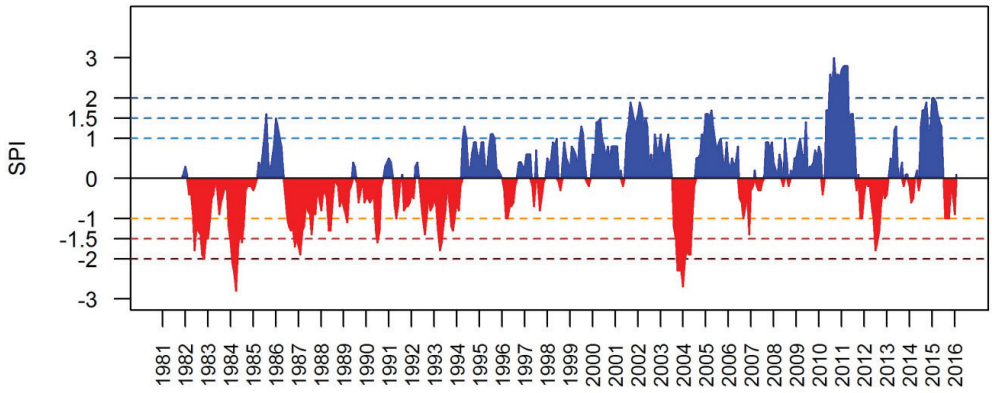
Rok 2012 bol na Slovensku jedným z najteplejších od začiatku meteorologických pozorovaní. V Hurbanove dosiahla priemerná ročná teplota 11,7 °C, čo je +1,9 °C nad dlhodobým priemerom obdobia 1901 – 2000. Podobne tomu bolo aj na ostatnom území. V priebehu roka prevládalo nadnormálne teplé počasie, relatívne najteplejšie bolo leto. Len dva mesiace boli z celého roka teplotne podpriemerné, všetky ostatné skončili s kladnou teplotnou odchýlkou.

Zrážkovo bol priebeh roka 2012 skôr normálny (64 % územia Slovenska), suchý bol na 33,8 % územia. Nasledoval však po suchom roku 2011, v ktorom až 88,6 % územia malo zrážkové pomery charakterizované ako suché, pričom na 56,8 % územia bol rok charakterizovaný ako veľmi suchý. Hoci na začiatku roka 2012 v mesiacoch január a február spadlo na územie Slovenska 74 a 42 mm zrážok (161 %, 100 % normálu), jarné mesiace marec až máj boli veľmi suché, resp. suché (28 – 78 % normálu). Mesiac jún bol zrážkovo normálnym mesiacom, júl bol vlhkým mesiacom, tieto mesiace boli vystriedané suchými mesiacmi august s úhrnom 59 mm (27 % normálu) a september (75 % normálu). Nepriaznivú situáciu zlepšil veľmi vlhký október (169 % normálu), nasledovaný suchým novembrom. Koniec roka bol zrážkovo normálny. Pri celkovom hodnotení roka 2012 ako zrážkovo normálneho bol zaznamenaný celkový deficit zrážok 49 mm, najhlbší deficit bol dosiahnutý v mesiaci august (www.shmu.sk).

Rok 2015 bol na Slovensku teplotne výrazne nadnormálny, na 100 % klimatologických staníc bola zaznamenaná nadnormálna priemerná ročná teplota vzduchu, pričom nadnormálne teplý bol január, celé obdobie od júna do septembra, ako aj november a december. Väčšina z týchto mesiacov bola teplotne silne nadnormálna (pozri kap. 3.1.2). Zrážkovo bol rok 2015 hodnotený ako normálny rok (www.shmu.sk) s hodnotou 719 mm (94 % dlhodobého normálu). Na 56,4 % územia Slovenska bol však hodnotený ako suchý (kap. 3.1.3), pričom sucho sa vyskytovalo na rôznych miestach územia, najmä však na východnom Slovensku. Prvým suchým mesiacom bol február (31 mm, 74 % normálu), suchý bol aj apríl (55 % normálu). Vo veľmi suchom júni dosiahol zrážkový deficit maximum 47 mm (45 % normálu) a zrážkovo suché boli aj mesiace júl a august (53 a 57 mm, 59 a 70 % normálu). Po zrážkovo normálnej až vlhkej jeseni nasledoval veľmi suchý december (18 mm, 34 % normálu). Rok 2015 skončil so zrážkovým deficitom 43 mm.

Meteorologické sucho bolo hodnotené pomocou indexu SPI (Standardized Precipitation Index) a SPEI (Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index), opis výpočtu a limitné hodnoty pre klasifikáciu meteorologického sucha sú uvedené v kap. 1.1.

Výsledky analýzy hodnôt SPI12 ukazujú, že obdobie rokov 1981 – 2015 je možné rozdeliť do dvoch častí a toto delenie platí pre väčšinu nami hodnotených povodí. V osemdesiatych a v prvej polovici deväťdesiatych rokov minulého storočia prevládali vo väčšine oblastí Slovenska suché podmienky, no najextrémnejšie suchá sa vyskytli v povodiach severného Slovenska. Ako príklad možno uviesť povodie horného Váhu (obr. 4.4.1.1), ale aj Popradu a Kysuce, kde dlhotrvajúce intenzívne obdobia sucha boli prerušované len krátkymi periódami s vlhkejšími podmienkami.

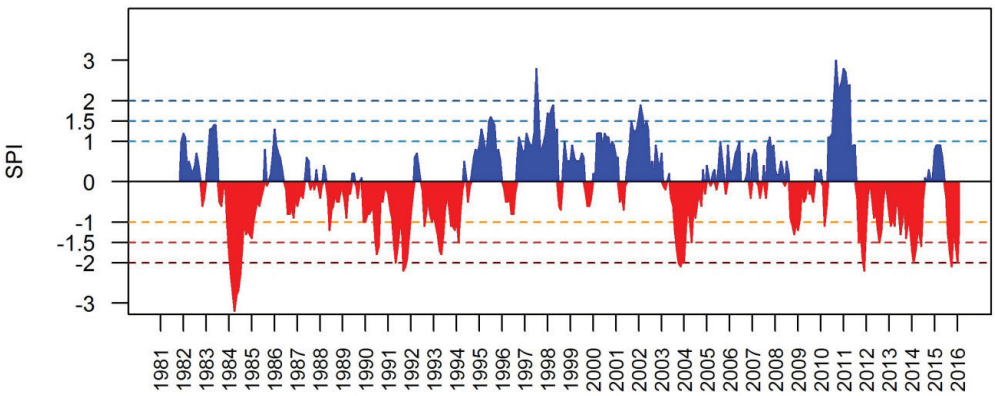


Obr. 4.4.1.1 Vývoj hodnoty indexu SPI12 v povodí Váhu po profil Liptovský Mikuláš

Fig. 4.4.1.1 Development of the SPI12 index in the Váh River catchment up to Liptovský Mikuláš gauging profile

Od polovice 90-tych rokov je možné na obr. 4.4.1.1 vidieť normálne až vlhké podmienky, ktoré vyvrcholili extrémne vlhkým rokom 2010. Toto obdobie bolo prerušené len tromi zreteľnými periódami sucha, a to v rokoch 2003 – 2004, 2011 – 2012 a 2015. Práve v povodí Váhu možno sucho v roku 2003 – 2004, v dôsledku jeho relatívne krátkeho trvania ale veľkého deficitného objemu charakterizovať ako doteraz najintenzívnejšie sucho v 21. storočí.

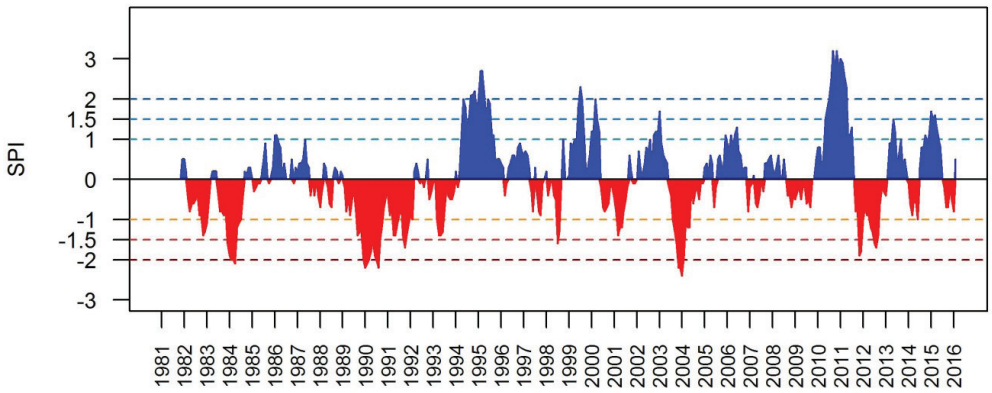
Odlišne sa vlhkostné pomery v 21. storočí vyvíjali v povodí Kysuce, ako to dokumentuje obr. 4.4.1.2. V tomto povodí bolo ostatných päť rokov veľmi suchých, hodnoty SPI12 klesali k hodnote -2 aj menej. Na rozdiel od ostatných povodí severného Slovenska tu vlhké obdobia boli omnoho miernejšie a nedokázali vyrovnať veľký zrážkový deficit vytvárajúci sa najmä po roku 2011.



Obr. 4.4.1.2 Vývoj hodnoty indexu SPI12 v povodí Kysuce po profil Kysucké Nové Mesto

Fig. 4.4.1.2 Development of the SPI12 index in the Kysuca River catchment up to Kysucké Nové Mesto gauging profile

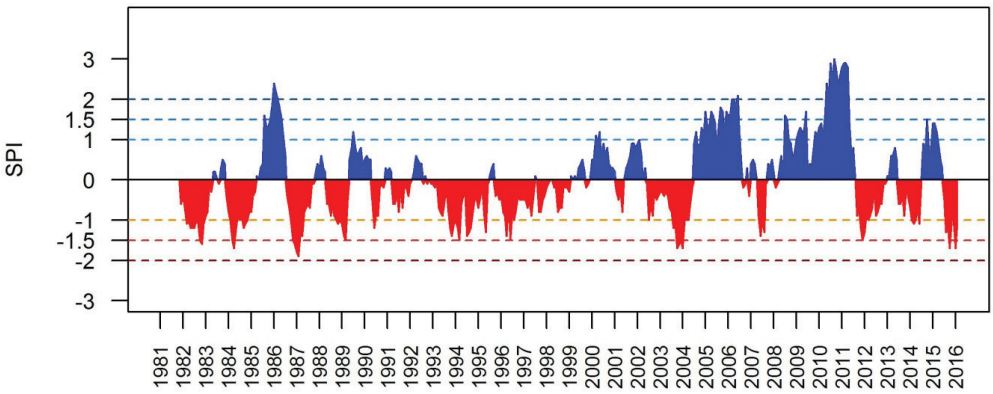
Situáciu v južnej a východnej časti Slovenska ilustruje obr. 4.4.1.3 s hodnotami indexu SPI-12 pre povodie Nitry po profil Nitrianska Streda. Vlhké podmienky od druhej polovice 90-tych rokov tu boli menej kompaktné a popri extrémnom suchu v roku 2003 sa ako extrémne prejavilo aj sucho v rokoch 2011 – 2012.

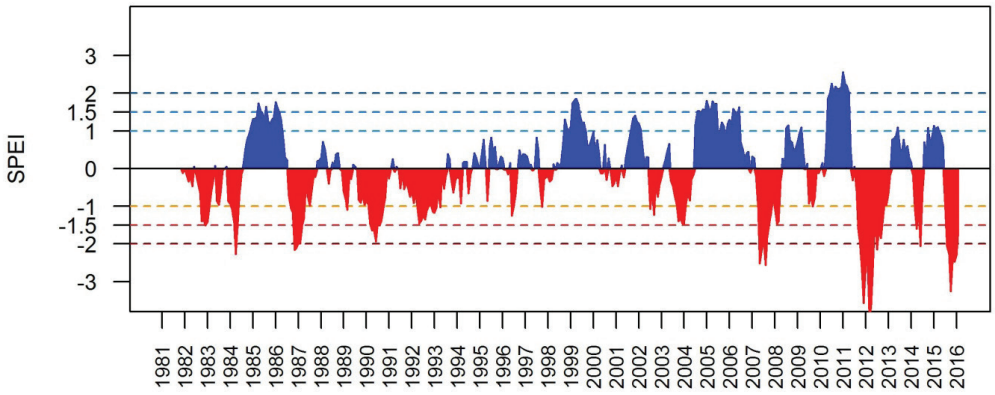


Obr. 4.4.1.3 Vývoj hodnoty indexu SPI12 v povodí Nitry po profil Nitrianska Streda

Fig. 4.4.1.3 Development of the SPI12 index in the Nitra River catchment up to Nitrianska Streda gauging profile

Ak sa na vlhkostné pomery pozeráme iba cez zrážky, potom na južnom a východnom Slovensku neboli ostatné roky extrémne suché. Situácia sa však zmení, ak vezmeme do úvahy aj teplotné pomery, čo je možné urobiť hodnotením sucha na základe indexu SPEI. Najmarkant-nejší rozdiel sa prejavuje pri porovnaní hodnôt indexu SPI a SPEI pre povodie Tople po profil Hanušovce nad Topľou, ako to dokumentuje obr. 4.4.1.4. Intenzita sucha v rokoch 2011 – 2012, ale aj v roku 2015 je pri použití indexu SPEI12 extrémna a dosahuje hodnoty -3 a menej.

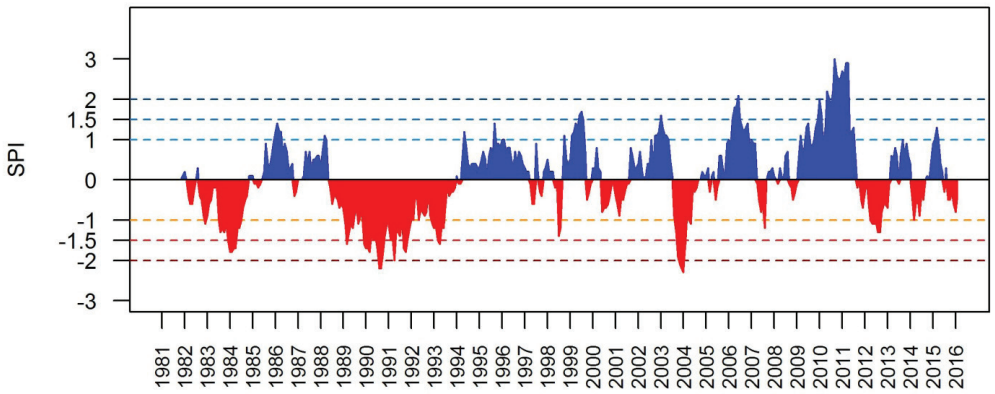


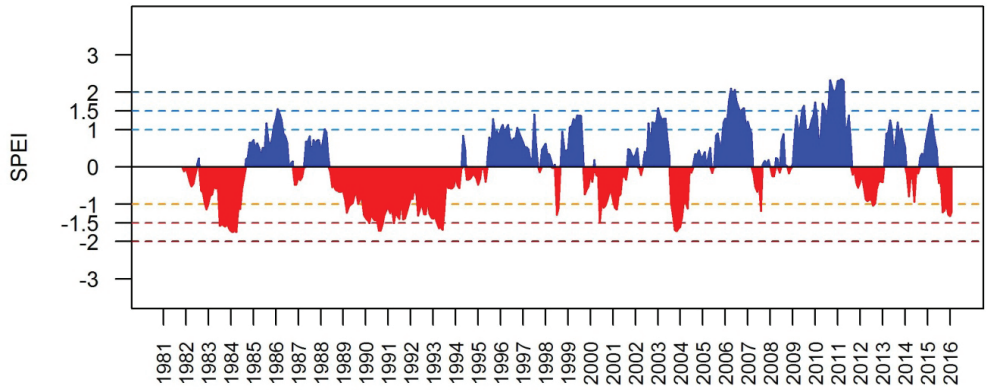


Obr. 4.4.1.4 Vývoj hodnoty indexu SPI12 v povodí Tople po profil Hanušovce nad Topľou (hore) a indexu SPEI12 pre stanicu Čaklov (dolu)

Fig. 4.4.1.4 Development of the SPI12 index in the Topľa River catchment up to Hanušovce nad Topľou gauging profile (up) and SPEI12 for the Čaklov station (down)

Vlhkostné podmienky v povodí Myjavy boli tiež špecifické a dokumentovali v prvej polovici hodnoteného obdobia prevahu kompaktných suchých období (obr. 4.4.1.5), najmä v rokoch 1988 – 1994, a v druhej polovici prevahu normálnych a vlhkejších rokov. Situáciu podstatnejšie nezmenilo ani uváženie vplyvu evapotranspirácie determinujúcej hodnotu indexu SPEI12.





Obr. 4.4.1.5 Vývoj hodnoty indexu SPI12 v povodí Myjavy po profil Šaštín-Stráže (hore) a indexu SPEI12 pre stanicu Senica (dolu)

Fig. 4.4.1.5 Development of the SPI12 index in the Myjava River catchment up to Šaštín-Stráže gauging profile (up) and SPEI-12 for the Senica station (down)

4.4.2 Hydrologické sucho v rokoch 2003, 2011 – 2012 a 2015 na Slovensku

Hydrologické sucho v prietokoch bolo hodnotené pomocou metódy Sequent Peak Algorithm (SPA metóda), pričom ako hraničná hodnota bola uvažovaná fixná hodnota prietoku Q_{80} vypočítaná pre referenčné obdobie rokov 1981 – 2010. Hraničná hodnota bola stanovená ako 80-ty percentil z čiary prekročenia celého referenčného obdobia a všetky prietoky nižšie ako hraničná hodnota boli považované za prietoky indikujúce sucho (Tallaksen, van Lanen Eds., 2004). Pre jednotlivé obdobia sucha boli štatisticky vyhodnotené minimálne hodnoty a na základe hraničnej hodnoty boli určené dni výskytu minimálneho ročného prietoku, vypočítaného ako 7-dňový kĺzavý priemer (AM7). Ďalej bol určený začiatok a koniec najdlhšej periódy sucha v danom roku a dĺžka jej trvania, ako aj výskyt viacročného sucha (sucha presahujúceho z jedného kalendárneho roka do druhého). Štatistické spracovanie poskytnutých údajov o priemerných denných prietokoch hodnotených povodí pre predloženú analýzu bolo vykonané na Poľnohospodárskej unverzite (BOKU) vo Viedni.

V každom hodnotenom roku bola vybraná perióda s najväčším deficitným objemom a táto bola podrobne štatisticky vyhodnotená z pohľadu parametrov sucha. Pomocou teoretických rozdelení početnosti boli pre identifikované periódy stanovené doby opakovania parametrov sucha vo všetkých troch hodnotených rokoch. Parametrami sucha boli hodnota ročného minima prietoku ($m^3\ s^{-1}$), maximálna ročná hodnota deficitného objemu (m^3), jeho trvanie (deň) a intenzita ($m^3\ d^{-1}$). Tie isté parametre boli ako priemerné hodnoty jednotlivých rokov vypočítané aj pre referenčné obdobie.

Pre výpočet doby opakovania minimálnej ročnej hodnoty prietoku bolo použité Weibullovo teoretické rozdelenie početností, ktoré sa v hydrologickom výskume najčastejšie používa pre analýzu minimálnych hodnôt. Weibullovo rozdelenie početností je možné považovať za generalizované exponenciálne rozdelenie (Sachs, 1984), zahŕňajúce tri parametre (α, β, γ), ktoré

umožňujú týmto rozdelením aproximovať tak normálne, ako aj asymetrické rozdelenia početností súborov, pričom prietokové rady pri prevládajúcich nizkych hodnotách prietokov majú veľmi často asymetrické rozdelenie s kladnou asymetriou. Tvar kumulatívnej distribučnej funkcie pre Weibullovo rozdelenie je nasledovný:

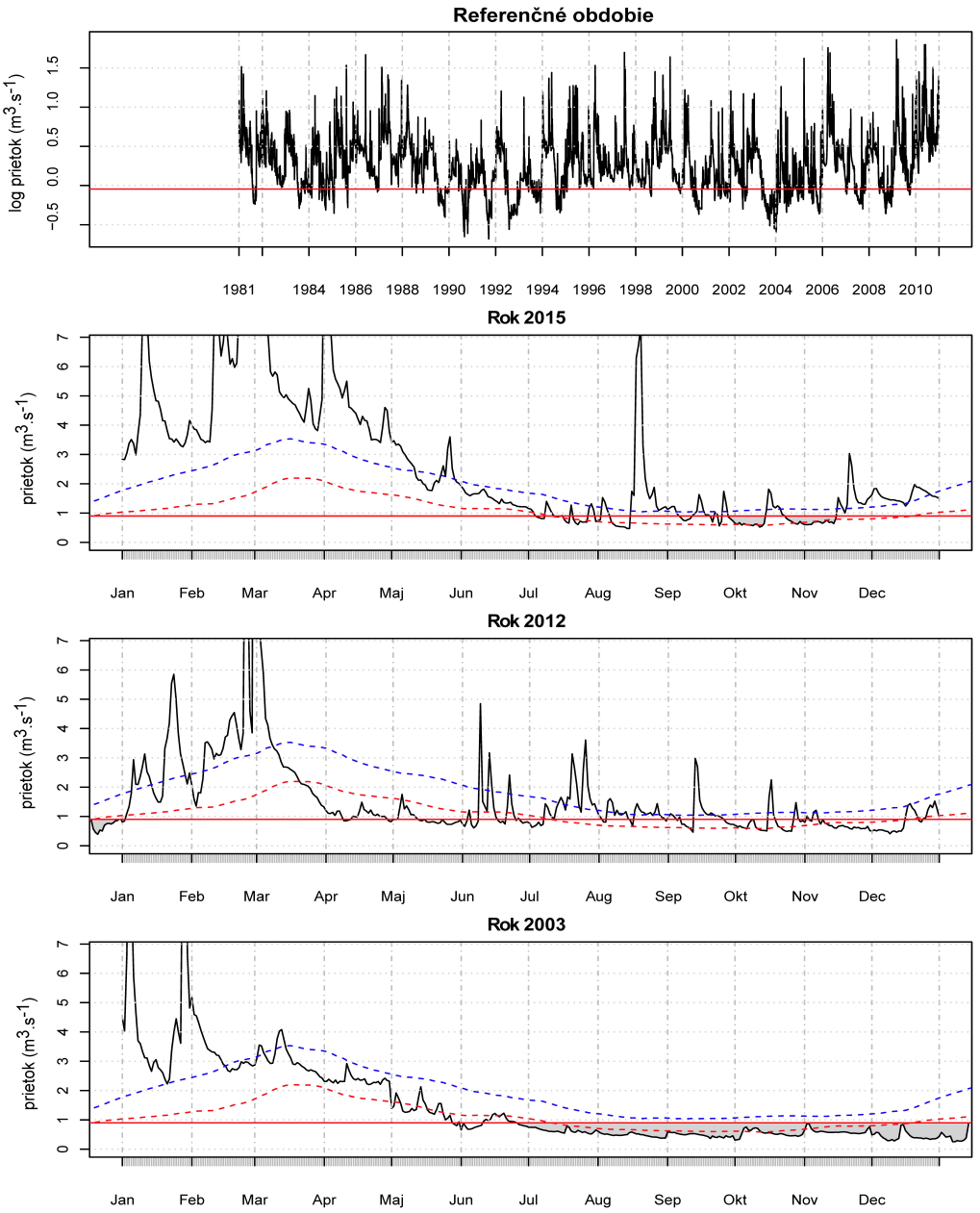
$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-\gamma}{\beta}\right)^{\alpha}} \qquad (4.4.2.2)$$

kde: pre $x > 0$ a $\alpha, \beta > 0$,
$\boldsymbol{\alpha}$ – parameter polohy,
$\boldsymbol{\beta}$ – parameter mierky,
$\boldsymbol{\gamma}$ – parameter tvaru.
Pre maximálny deficitný objem, jeho trvanie a intenzitu bolo použité generalizované rozdelenie extrémnych hodnôt (GEV) používané pre maximálne hodnoty (Maidment Ed., 1992). Toto rozdelenie má v sebe inkorporované Gumbelovo rozdelenie I., II. a III. typu pre maximálne hodnoty. Aj GEV rozdelenie početností je založené na troch parametroch ($\boldsymbol{\xi}$, $\boldsymbol{\alpha}$ a $\boldsymbol{\kappa}$), parametre sa najčastejšie počítajú metódou L-momentov (Hosking, Wallis, 1997). Tvar kumulatívnej distribučnej funkcie pre GEV rozdelenie je nasledovný (Sachs, 1984):

$$F(x) = e^{-\left[1-\frac{\kappa(x-\xi)}{\alpha}\right]^{1/\kappa}} \qquad (4.4.2.3)$$

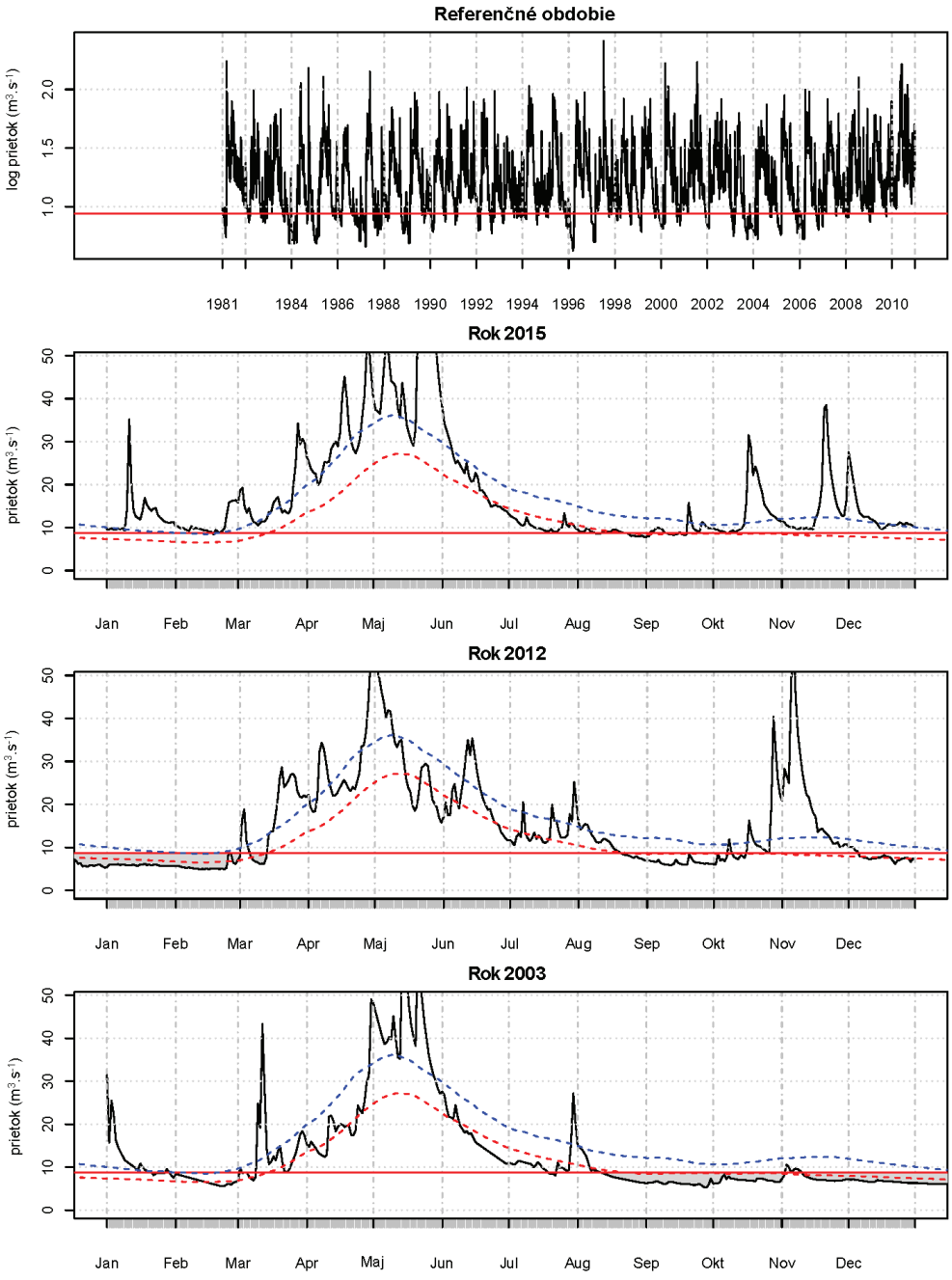
kde: pre $\kappa \neq 0$,
$\boldsymbol{\xi}$ – parameter polohy,
$\boldsymbol{\alpha}$ – parameter mierky,
$\boldsymbol{\kappa}$ – parameter tvaru.
Zhoda empirického a teoretického rozdeleni početnosti testovaná metódou L-momentov.

Rozdiely medzi výskytom a priebehom najdlhších suchých periód v hodnotených rokoch sú dobre viditeľné na priebehu prietokov v jednotlivých hodnotených povodiach pri ich porovnaní s hraničnou hodnotou $\boldsymbol{Q_{80}}$. Na obr. 4.4.2.1 sú vynesené prietoky v profile Myjava - Šaštín-Stráže, na obr. 4.4.2.2 v profile Váh – Liptovský Mikuláš, na obr. 4.4.2.3 v profile Kysuca - Kysucké Nové Mesto a na obr. 4.4.2.4 v profile Nitra - Nitrianska Streda.



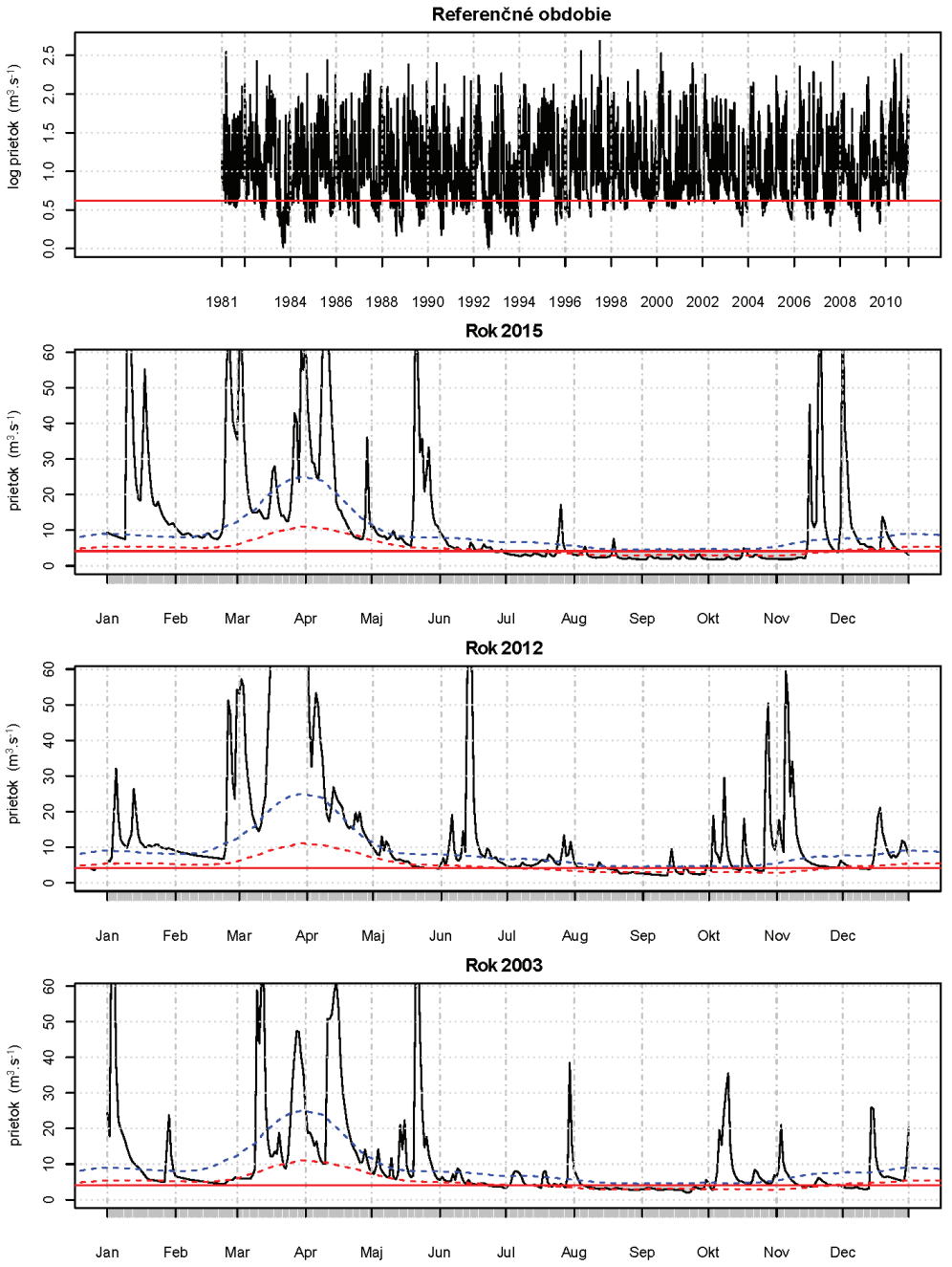
Obr. 4.4.2.1 Vyhodnotenie sucha v prietokových radoch pre Myjavu v Šaštíne-Strážach pomocou SPA metódy s fixnou hraničnou hodnotou a vývoj sucha v rokoch 2015, 2012 a 20035

Fig. 4.4.2.1 Assessment of drought in discharge time series for Myjava River at Šaštín-Stráže station by the SPA method with the fixed threshold value and development of 2015, 2012 and 2003 droughts



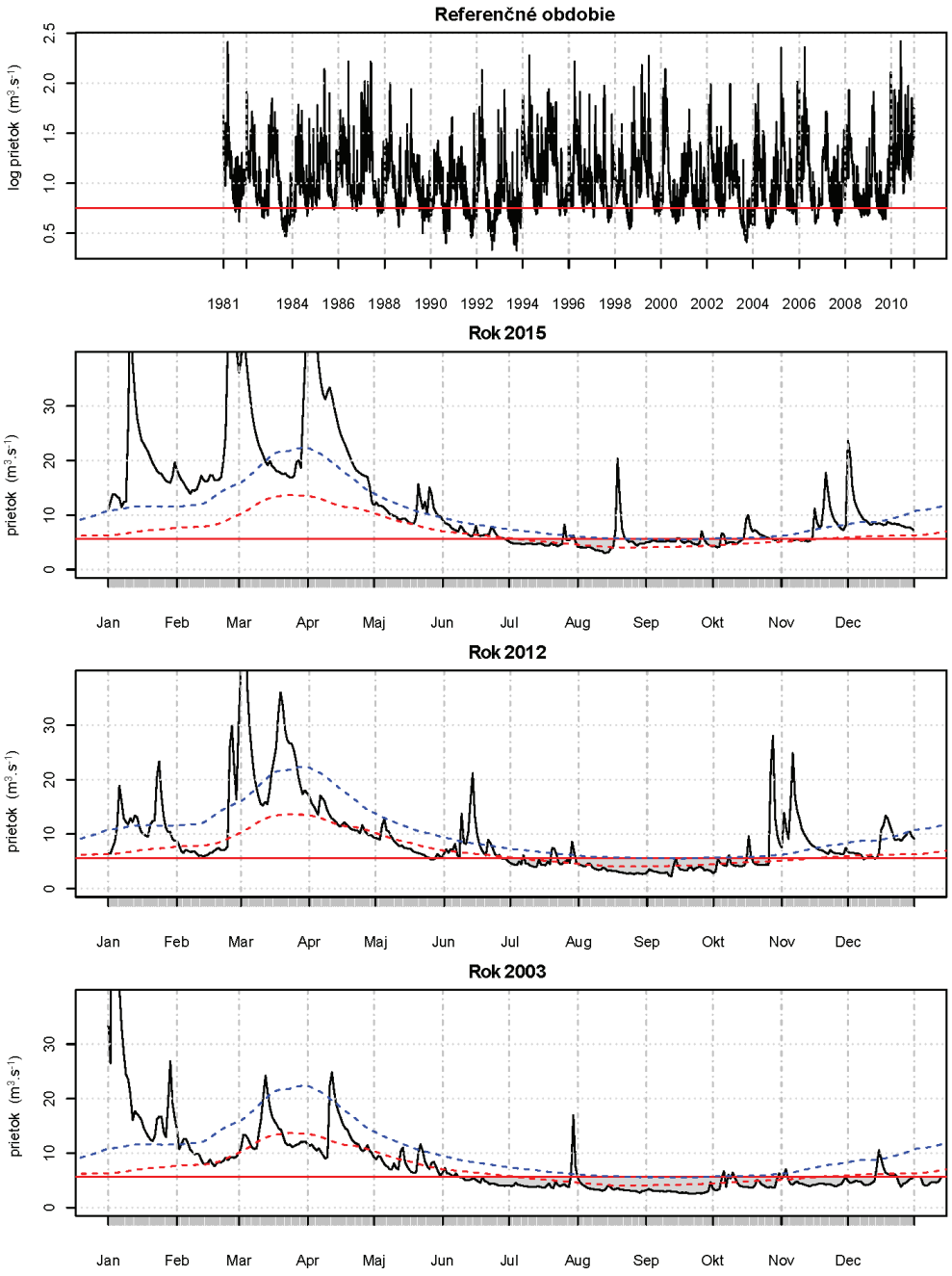
Obr. 4.4.2.2 Vyhodnotenie sucha v prietokových radoch pre Váh v Liptovskom Mikuláši pomocou SPA metódy s fixnou hraničnou hodnotou a vývoj sucha v rokoch 2015, 2012 a 2003

Fig. 4.4.2.2 Assessment of drought in discharge time series for Váh River at Liptovský Mikuláš station by the SPA method with the fixed threshold value and development of 2015, 2012 and 2003 droughts



Obr. 4.4.2.3 Vyhodnotenie sucha v prietokových radoch pre Kysucu v Kysuckom Novom Meste pomocou SPA metódy s fixnou hraničnou hodnotou a vývoj sucha v rokoch 2015, 2012 a 2003

Fig. 4.4.2.3 Assessment of drought in discharge time series for Kysuca River at Kysucké Nové Mesto station by the SPA method with the fixed threshold value and development of 2015, 2012 and 2003 droughts



Obr. 4.4.2.4 Vyhodnotenie sucha v prietokových radoch pre Nitru v Nitrianskej Strede pomocou SPA metódy s fixnou hraničnou hodnotou a vývoj sucha v rokoch 2015, 2012 a 2003

Fig. 4.4.2.4 Assessment of drought in discharge time series for Nitra River at Nitrianska Streda station by the SPA method with the fixed threshold value and development of 2015, 2012 and 2003 droughts

V obrázkoch 4.4.2.1 – 4.4.2.4 sú plnou čiernou čiarou vynesené prietoky v povrchovom toku jednak za referenčné obdobie rokov 1981 – 2010, jednak prietoky v rokoch 2015, 2012 a 2003. Prietoky za referenčné obdobie sú vynesené v logaritmickej mierke, aby bolo možné vyniesť všetky hodnoty, prietoky pre roky 2015, 2012 a 2003 sú vynesené v lineárnej mierke, no zrezané v oblasti maximálnych prietokov pre lepšiu rozlíšiteľnosť minimálnych hodnôt. Plná vodorovná červená čiara vo všetkých obrázkoch zodpovedná prietoku $\boldsymbol{Q_{80}}$, ktorý bol vypočítaný pre referenčné obdobie rokov 1981 – 2010 a reprezentuje limitnú hodnotu, pod ktorou všetky hodnoty prietokov reprezentujú sucho. Čiarkovaná modrá čiara reprezentuje sezónne variabilnú hodnotu 30-dňového kĺzavého priemeru kvantilu $\boldsymbol{Q_{50}}$ s pravdepodobnosťou prekročenia 0,5 (50 %) a čiarkovaná červená čiara reprezentuje sezónne variabilnú hodnotu 30-dňového kĺzavého priemeru kvantilu Q_{80} s pravdepodobnosťou prekročenia 0,8 (80 %). Tieto čiary sú použité ako porovnávacie hodnoty a vyjadrujú dlhodobú priemernú hodnotu (modrá), resp. podmienky sucha (červená). Šedá plocha predstavuje deficitný objem počas periódy sucha.

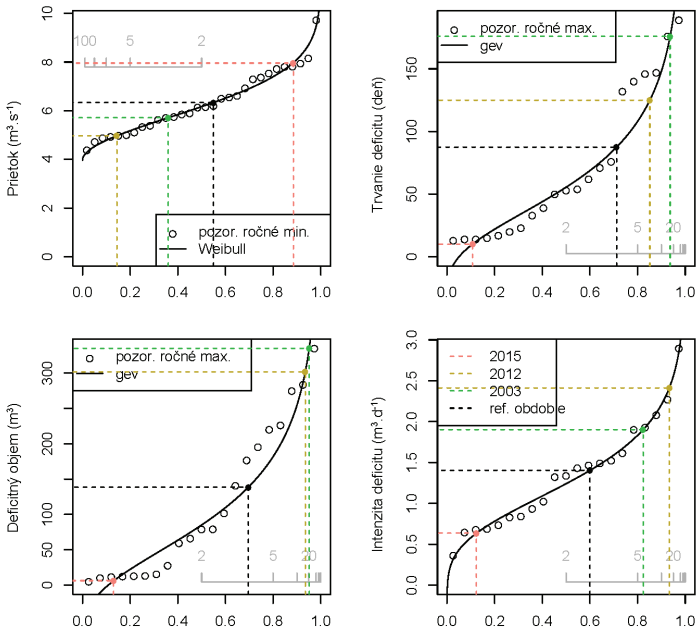
Na obr. 4.4.2.1 je vidieť, že najdlhšie sucho postihlo povodie Myjavy v roku 2003, povodie Váhu v roku 2003 a v zimných mesiacoch roku 2012, povodie Kysuce v roku 2015 a povodie Nitry vo všetkých troch rokoch, pričom najdlhšie trvalo v roku 2003.

Vyhodnotenie doby opakovania jednotlivých parametrov sucha prinieslo nasledujúce výsledky.

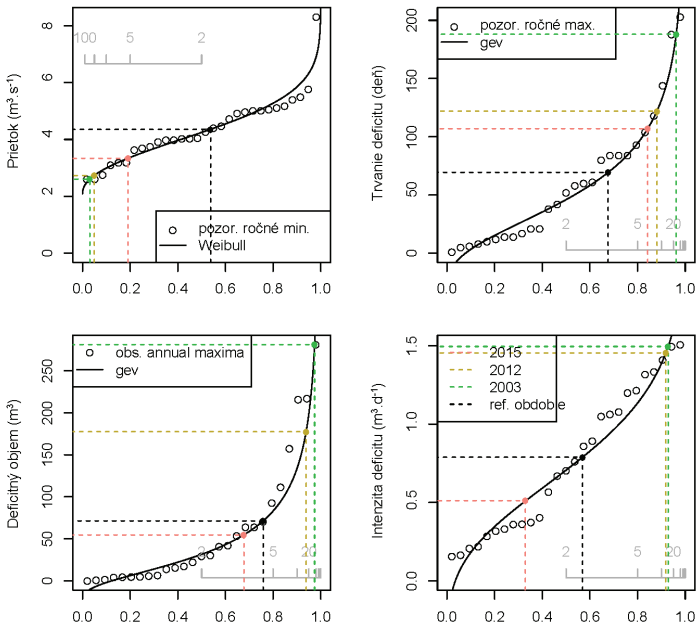
Najextrémnejšie hodnoty všetkých štyroch hodnotených parametrov sucha (minimálnej hodnoty vyjadrenej ako AM7, trvania sucha, deficitného objemu a intensity sucha) boli v tom istom roku súčasne dosiahnuté v siedmich povodiach, a to v povodí Kysuce v roku 2015, v povodí Ipľa v roku 2012 a v povodiach Myjavy, Nitry, Hrona, Torysy a Tople v roku 2003. Vo zvyšných troch hodnotených povodiach boli najextrémnejšie hodnoty niektorého z ostatných parametrov sucha dosiahnuté v inom roku ako u parametra intenzity sucha. Dosiahnutú najvyššiu intenzitu periódy sucha nekopírovala buď hodnota minimálneho prietoku (Rimava), trvania sucha (Poprad), či deficitného objemu (Váh).

Dosiahnuté deficitné objemy boli najvyššie u väčšiny povodí v rokoch 2003 a 2012. Tieto deficitné objemy boli zároveň vyššie ako priemerné maximálne deficitné objemy referenčného obdobia rokov 1981 – 2010. Takáto situácia nastala v povodiach Váhu (obr. 4.4.2.5), Nitry (obr. 4.4.2.6), Hrona, Ipľa, Rimavy a Popradu. Výrazne odlišná bola situácia v povodí Kysuce, kde najvyšší deficitný objem bol dosiahnutý v roku 2015.

Z pohľadu najvyššej intenzity sucha bol rok 2003 najextrémnejší v povodiach Myjavy a Tople, rok 2012 v povodiach Váhu a Popradu a rok 2015 v povodí Kysuce a Rimavy. Maximálna intenzita sucha bola takmer rovnaká v rokoch 2003 a 2012 v povodiach Nitry, Hrona a Ipľa. V povodí Torysy dosiahla hodnota intenzity sucha takmer rovnaké hodnoty vo všetkých troch hodnotených rokoch 2003, 2012 a 2015.

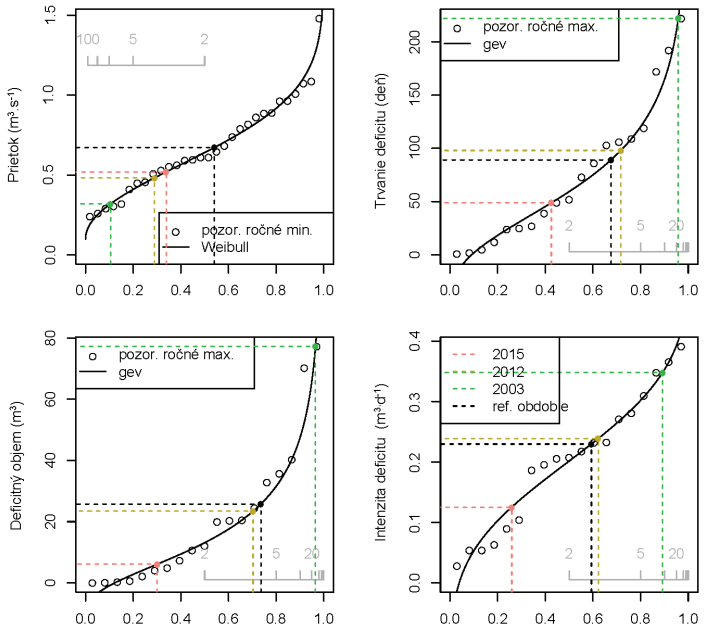


Obr. 4.4.2.5 Stanovenie doby opakovania parametrov sucha pre Váh
Fig. 4.4.2.5 Estimation of drought parameters return periods for Váh River



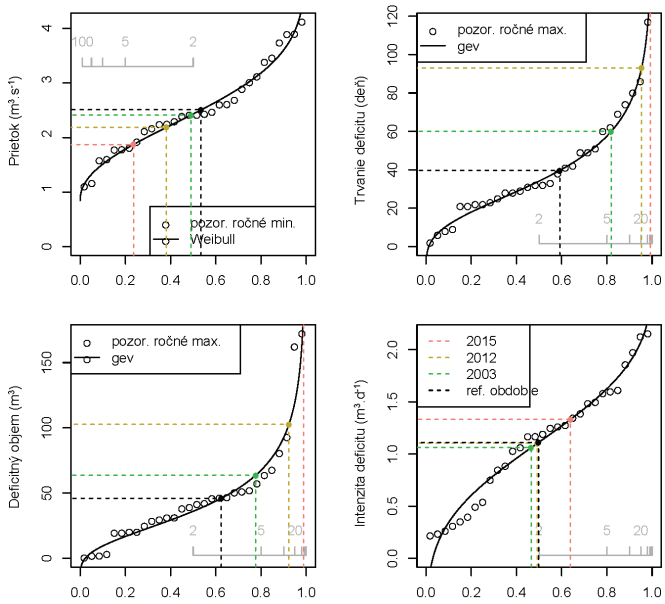
Obr. 4.4.2.6 Stanovenie doby opakovania parametrov sucha pre Nitru
Fig. 4.4.2.6 Estimation of drought parameters return periods for Nitra River

Najvyššie doby opakovania hodnotených parametrov sucha boli dosiahnuté nasledovne: (1) viac ako 100 rokov pre minimálny prietok AM7 na Toryse počas periódy sucha v roku 2012; (2) viac ako 60 rokov pre trvanie najdlhšej periódy sucha na Hrone v roku 2003; (3) viac ako 50 rokov pre maximálny deficitný objem na Kysuci v roku 2015 a (4) takmer 20 rokov pre intenzitu sucha na Toryse v roku 2012. Všeobecne možno konštatovať, že doby opakovania parametrov sucha boli najvyššie v rokoch 2003 a 2012, pričom v povodiach Myjavy (obr. 4.4.2.7), Váhu a Torysy boli tieto vyššie aj ako priemerné doby opakovania v referenčnom období. Jedinou výnimkou boli doby opakovania pre Kysucu, kde u všetkých parametrov sucha boli najvyššie doby opakovania dosiahnuté v roku 2015 (obr. 4.4.2.8).



Obr. 4.4.2.7 Stanovenie doby opakovania parametrov sucha pre Myjavu

Fig. 4.4.2.7 Estimation of drought parameters return periods for Myjava River



Obr. 4.4.2.8 Stanovenie doby opakovania parametrov sucha pre Kysucu

Fig. 4.4.2.8 Estimation of drought parameters return periods for Kysuca River

Pre nájdenie regionálnej podobnosti hodnotených povodí bola použitá metóda faktorovej analýzy vo verzii s použitím metódy hlavných faktorov a ortogonálnou rotáciou metódou Varimax. Vstupné komunality pre výpočet faktorových záťaží boli vypočítané pomocou druhej mocniny koeficienta mnohonásobnej korelácie každej premennej so všetkými ostatnými premennými. Výsledné komunality po ortogonálnej rotácii mali vysoké hodnoty pre všetky vstupné premenné v rozsahu 0,91 – 0,99, výsledný model so štyrmi extrahovanými faktormi vysvetľoval 98,99 % celkovej variability vstupných dát.

Tab. 4.4.2.1 Výsledky faktorovej analýzy parametrov sucha

Tab. 4.4.2.1 Results of drought parameters factor analysis

	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
Myjava	**0,949**	0,212	0,116	0,049
Váh	0,026	**0,710**	**0,665**	-0,046
Kysuca	**0,736**	0,194	0,157	**0,624**
Nitra	**0,668**	**0,668**	0,279	0,128
Hron	0,293	**0,919**	0,156	0,098
Ipeľ	**0,911**	0,109	0,160	0,147
Rimava	**0,944**	0,191	0,273	0,024
Poprad	0,181	0,481	**0,869**	0,069
Torysa	**0,822**	0,475	0,156	0,075
Topľa	**0,865**	0,351	0,211	0,225

Faktor 1 je spoločným faktorom, ktorý zahŕňa povodia západného, južného a východného Slovenska, kam patrili povodia Myjavy, Kysuce, Nitry, Ipľa, Rimavy, Torysy a Tople. Faktor 2 je opäť spoločným faktorom, ktorý zahŕňa povodia stredného Slovenska, kam patrili povodia Váhu, Nitry a Hrona a faktor 3 zahŕňa povodia severného Slovenska, kam patrili povodia Váhu a Popradu. Faktor 4 bol špecifickým faktorom s vysokými faktorovými záťažami pre povodie Kysuce.

Z tab. 4.4.2.1 je zároveň vidieť, že povodia Kysuce, Nitry a Váhu mali vysoké faktorové záťaže zároveň v dvoch rôznych faktoroch. Povodie Kysuce sa zaradilo do faktora 1 a 4, povodie Nitry do faktora 1 a 2 a povodie Váhu do faktora 2 a 3. Signalizuje to prechodný charakter týchto povodí, ktorý je pravdepodobne daný ich lokalizáciou, spojenou s fyzicko-geografickými pomermi, predovšetkým nadmorskou výškou, ktorá je determinujúcim činiteľom vývoja zrážkových a teplotných pomerov.

Podrobnejšie štúdie výskytu sucha v hodnotených povodiach dokumentovali aj ďalšie odlišnosti v parametroch sucha aj medzi susednými povodiami Ipľa a Rimavy, či Torysy a Tople. Tieto boli dokumentované v štúdii Fendekovej et al. (2017a).

4.5 ANALÝZA SUCHA V REFERENČNOM OBDOBÍ ROKOV 1981 – 2012

4.5.1 Vyhodnotenie výskytu meteorologického a hydrologického sucha

Modelom Frier boli získané parametre meteorologického a hydrologického sucha v období rokov 1981 – 2012, uvedené v tab. 4.5.1.1 – 4.5.1.4. Z výsledkov je zrejmé, že počet období hydrologického sucha klesá v súlade so schémou šírenia sa sucha, pričom je najvyšší u sucha v povrchovom toku a najnižší u sucha v nasýtenej zóne. Meteorologických období sucha je najviac, čo však môže byť spôsobené aj trochu odlišnou metódou stanovenia jeho výskytu. V parametri trvania sucha, priemerne najdlhšie obdobia sucha sa vyskytujú v nasýtenej zóne. Najviac ich bolo v povodí Myjavy - 671 dní, čo je takmer 2 roky. Často sa vyskytovali aj v čase, keď v povrchových tokoch a v nenasýtenej zóne sucho bol normálny vlhkostný stav. Zaujímavou štatistickou premennou je pomer dní v období sucha ku celkovému počtu dní.

Meteorologické sucho s trvaním najmenej 1 mesiac (tab. 4.5.1.1) sa najčastejšie vyskytovalo na Myjave a Hrone (2,6-krát ročne), najmenej na Bodve (2,1-krát ročne). Najviac dní meteorologického sucha za rok bolo na Ipli, Bodve a Slanej (91 – 93 dní ročne). Najdlhšie priemerné trvanie meteorologického sucha bolo zistené v povodiach Ipľa, Rimavy a Slanej (28 – 30 dní), najkratšie v povodiach Ondavy a Laborca (22 – 23 dní). Najdlhšie súvislé obdobie meteorologického sucha v trvaní 270 dní sa vyskytlo od 17. 12. 1992 do 13. 9. 1993 súčasne v susedných povodiach Ipľa, Rimavy a Slanej.

Tab. 4.5.1.1 Vybrané charakteristiky meteorologického sucha v období rokov 1981 – 2012

Tab. 4.5.1.1 Selected meteorological drought parameters in the period 1981 – 2012

Povodie	Počet období sucha za rok s trvaním ≥ 31 dní	Počet dní v období sucha (≥ 31 dní)	Priemerné trvanie obdobia sucha v dňoch	Najdlhšie obdobie trvania meteorologického sucha		
				počet dní	od	do
Myjava	**2,7**	85	26	177	04/02/2003	30/07/2003
Kysuca	2,4	74	24	135	02/05/1992	13/09/1992
Váh (horný)	2,5	83	27	156	05/02/1982	10/07/1982
Nitra	2,4	87	27	181	24/06/1983	21/12/1983
Hron celý	**2,6**	87	26	195	17/12/1996	29/06/1997
Ipeľ (horný)	2,4	**93**	**30**	**270**	18/12/1992	13/09/1993
Poprad	2,5	82	26	208	26/10/1983	20/05/1984
Hornád	2,4	82	24	180	09/12/2001	06/06/2002
Slaná	2,3	**91**	28	**270**	17/12/1992	12/09/1993
Rimava	2,3	85	28	**270**	18/12/1992	13/09/1993
Bodva	2,1	**92**	26	217	17/12/1992	21/07/1993
Ondava	2,5	70	22	200	23/02/2003	10/09/2003
Laborec	2,4	74	23	158	25/01/2011	01/07/2011

Tab. 4.5.1.2 Vybrané charakteristiky hydrologického sucha v povrchovom toku v období rokov 1981 – 2012

Tab. 4.5.1.2 Selected surface stream hydrological drought parameters in the period 1981 – 2012

Povodie	Počet období sucha za rok s trvaním ≥ 31 dní	Počet dní v období sucha (≥ 31 dní)	Priemerné trvanie obdobia sucha v dňoch	Najdlhšie obdobie trvania hydrologického sucha v riečnej sieti		
				počet dní	od	do
Myjava	0,3	4	6	58	13/02/1998	11/04/1998
Kysuca	0,7	10	**11**	81	15/06/1992	03/09/1992
Váh horný	0,8	15	9	118	30/10/2011	24/02/2012
Nitra	0,4	5	6	70	20/12/1989	27/02/1990
Hron celý	0,9	13	9	96	22/04/1993	26/07/1993
Ipeľ horný	0,8	20	8	97	10/11/1989	14/02/1990
Poprad	0,9	19	9	166	31/08/1986	12/02/1987
Hornád	0,8	20	8	118	21/10/1986	15/02/1987
Slaná	0,9	**24**	9	**158**	21/10/1986	27/03/1987
Rimava	0,8	20	8	142	17/12/2011	06/05/2012
Bodva	0,8	15	7	82	23/11/1986	12/02/1987
Ondava	0,7	12	7	117	21/10/1986	14/02/1987
Laborec	0,9	17	9	**168**	30/08/1986	13/02/1987

Najnižší počet výskytov hydrologického sucha v riečnej sieti (tab. 4.5.1.2), s trvaním viac ako 1 mesiac, bol vyhodnotený v povodiach Myjavy a Nitry (0,3 – 0,4-krát ročne), najčastejšie sa vyskytlo v povodiach Hrona, Popradu, Slanej a Laborca (0,9-krát ročne). Najdlhšie trvalo hydrologické sucho v riečnej sieti na Kysuci, priemerne 11 dní, najkratšie na Myjave a Nitre, iba 6 dní. Najdlhšie obdobie sucha trvalo 168 dní od 30.8.1986 do 13.2.1987 v povodí Laborca.

Tab. 4.5.1.3 Vybrané charakteristiky hydrologického sucha v nenasýtenej zóne v období rokov 1981 – 2012

Tab. 4.5.1.3 Selected hydrological drought parameters in the unsuturated zone for the period 1981 – 2012

Povodie	Počet období sucha za rok s trvaním ≥ 31 dní	Počet dní v období sucha (≥ 31 dní)	Priemerné trvanie obdobia sucha v dňoch	Najdlhšie obdobie trvania hydrologického sucha v nenasýtenej zóne		
				počet dní	od	do
Myjava	**1,1**	29	18	150	08/11/1989	06/04/1990
Kysuca	0,8	18	11	172	13/09/2005	25/03/2006
Váh horný	0,9	21	11	135	12/10/1988	23/02/1989
Nitra	1,0	34	19	**231**	07/07/1983	22/02/1984
Hron celý	0,9	24	15	144	31/08/2011	21/01/2012
Ipeľ horný	1,0	**49**	**23**	**311**	04/09/2011	10/07/2012
Poprad	0,8	17	12	159	14/09/1986	19/02/1987
Hornád	0,8	32	17	226	01/09/2011	13/04/2012
Slaná	1,0	37	19	225	04/09/2011	15/04/2012
Rimava	**1,1**	43	**23**	**238**	30/08/2011	23/04/2012
Bodva	0,9	**56**	**25**	**238**	30/08/2011	23/04/2012
Ondava	0,8	23	14	182	27/08/2011	24/02/2012
Laborec	1,0	26	14	157	16/09/1986	19/02/1987

Hydrologické procesy v nenasýtenej zóne trvajú dlhší čas ako na povrchu (max. 311 dní v povodí Ipľa vs. 168 dní v povodí Laborca) a sú oproti nim oneskorené. Sucho nie je žiadnou výnimkou z tohto pravidla, napr. sucho začínajúce 15. 6. 1992 v riečnej sieti v povodí Kysuce bolo o 8 dní neskôr nasledované suchom v nenasýtenej zóne. Výskyt období sucha v nenasýtenej zóne (tab. 4.5.1.3) s trvaním viac ako 31 dní dosiahol v priemere hodnoty od 0,8-krát ročne (Kysuca, Poprad, Hornád, Ondava) do 1,1-krát ročne (Myjava, Rimava). Priemerné trvanie období sucha v nenasýtenej zóne dosiahlo maximum 25 dní v povodí Bodvy, a len 11 dní v povodiach Kysuce a Váhu. Najdlhšie obdobie sucha s celkovou dĺžkou 311 dní od 4. 9. 2011 do 10. 7. 2012 bolo zistené v povodí Ipľa.

Tab. 4.5.1.4 Vybrané charakteristiky hydrologického sucha v nasýtenej zóne v období rokov 1981 – 2012

Tab. 4.5.1.4 Selected hydrological drought parameters in the suturated zone for the period 1981 – 2012

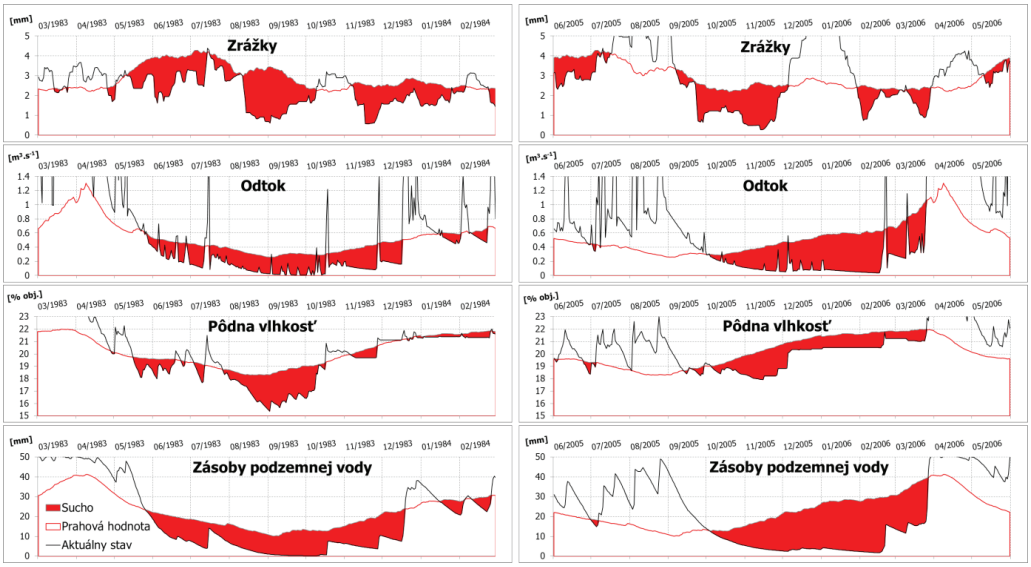
Povodie	Počet období sucha za rok s trvaním ≥ 31 dní	Počet dní v období sucha (≥ 31 dní)	Priemerné trvanie obdobia sucha v dňoch	Najdlhšie obdobie trvania hydrologického sucha v nasýtenej zóne		
				počet dní	od	do
Myjava	1,2	136	90	**671**	26/01/1989	27/11/1990
Kysuca	1,3	51	32	207	26/05/1983	18/12/1983
Váh horný	0,7	72	50	348	09/06/1983	21/05/1984
Nitra	1,2	134	79	**607**	07/03/1989	03/11/1990
Hron celý	1,2	107	62	398	27/09/2011	28/10/2012
Ipeľ horný	1,3	**142**	81	465	02/09/2006	10/12/2007

Poprad	1,2	84	52	290	23/07/1983	07/05/1984
Hornád	1,2	111	70	301	20/09/2011	16/07/2012
Slaná	1,0	126	**95**	335	21/04/2003	20/03/2004
Rimava	1,0	**142**	**104**	432	06/10/2006	11/12/2007
Bodva	1,0	**149**	**104**	420	16/06/2001	09/08/2002
Ondava	**1,5**	97	54	330	02/05/1986	27/03/1987
Laborec	**1,5**	74	41	282	15/05/1986	20/02/1987

Obdobia hydrologického sucha v nasýtenej zóne bývajú menej kolísavé s menšou a neskoršou odozvou, trvajú však najdlhšie. Ako vidieť z tab. 4.5.1.4, maximálna dlžka trvania sucha v nasýtenej zóne dosiahla 671 dní od 26. 1. 1989 do 27. 11. 1990 v povodí Myjavy. O niečo kratšie trvalo sucho v rovnakom období v povodí Nitry. Priemerné trvanie období sucha dosiahlo 104 dní v povodiach Rimavy a Bodvy, a len 32 dní v povodí Kysuce. Najčastejšie sa vyskytlo sucho v povodiach Ondavy a Laborca (1,5-krát ročne), najmenej na Váhu (0,7-krát ročne).

4.5.2 Šírenie sa sucha v referenčnom období rokov 1981 – 2012

Šírenie sa sucha hydrologickým systémom ilustrujeme na príklade povodia Kysuce. Dvomi najväčšími obdobiami sucha v povodí Kysuce, ktoré sa vyskytli počas hodnoteného obdobia rokov 1981 – 2012, boli suchá v rokoch 1983 – 1984 a v rokoch 2005 – 2006. Obidve sa sa začali meteorologickým suchom. Na obr. 4.5.2.1 je sucho v jednotlivých typoch prostredia reprezentované červenou farbou plochy. Meteorologické sucho trvalo dlhšie a bolo väčšie v roku 1983 ako v rokoch 2005 – 2006, no hydrologické sucho naopak, bolo dlhšie v období 2005 – 2006, najmä kvôli tuhej zime, ktorá ho predĺžila. Iba hydrologické sucho v nenasýtenej zóne bolo väčšie v roku 1983, ale nebolo dlhšie. V roku 1983 začalo hydrologické sucho po skončení topenia snehu, v 2005 – 2006 začalo už v jeseni, po nedostatočných zrážkach. Meteorologické suchá v roku 1983 boli prerušené niekoľkými zrážkovými udalosťami, jedna z nich ukončila hydrologické sucho v nenasýtenej zóne v októbri, v riečnej sieti a v nasýtenej zóne až v decembri v dôsledku predčasného topenia snehu. Hydrologické sucho v období 2005 – 2006 sa skončilo topením snehu po tuhej zime s dlho trvajúcou nízkou teplotou vzduchu.



Obr. 4.5.2.1 Sucho v povodí Kysuce v rokoch 1983 – 1984 a 2005 – 2006. Sucho je reprezentované červenou plochou. Horný panel: meteorologické sucho; 2. panel zhora: hydrologické sucho v riečnej sieti; 3. panel zhora: hydrologické sucho v nenasýtenej zóne; dolný panel: hydrologické sucho v nasýtenej zóne

Fig. 4.5.2.1 Drought in the Kysuca River catchment in 1983 – 1984 and 2005 – 2006. Drought is presented by the red colour areas. Upper panel: meteorological drought, second panel – streamflow drought, third panel – unsaturated zone drought, lower panel – saturated zone drought

4.6 ANALÝZA VÝSKYTU SUCHA PODĽA SCENÁROV ZMENY KLÍMY V OBDOBÍ ROKOV 1981 – 2100

Obdobie výskytu meteorologického sucha bolo stanovené porovnaním úhrnu zrážok v scenároch za posledných 31 dní s dlhodobou priemernou hodnotou úhrnu zrážok za 31 dní referenčného obdobia, pričom daný deň bol presne v strede týchto dní (napr. pre deň 16. 1. 2100 bol porovnaný úhrn zrážok v scenári od 17. 12. 2099 do 16. 1. 2100 s priemerným úhrnom zrážok v januároch (1. 1. – 1. 1.) rokov 1981 – 2012. Ak bol úhrn zrážok vypočítaný zo scenárových hodnôt nižší než dlhodobý priemer, deň bol započítaný ako suchý. Minimálne nepretržité trvanie 31 takýchto suchých dní za sebou bolo zaradené do obdobia sucha.

Metóda prahových hodnôt bola aplikovaná pre stanovenie hydrologického sucha v povrchovom toku, nenasýtenej a nasýtenej zóne daného povodia, ktoré boli vypočítané modelom Frier. Použitá bola mesačná prahová hodnota na úrovni 90-eho percentila. Oddelené mesačné prahové hodnoty boli zjemnené stredným kĺzavým priemerom 31 dní. Pre vylúčenie krátkych období sucha bola stanovená aj minimálna dĺžka trvania, a to 31 dní.

4.6.1 Charakteristika parametrov sucha v období 1981 – 2100

Výsledky získané zo scenárov (Univerzita Komenského Bratislava, Fakulta matematiky, fyziky a informatiky, 2016, 2017) indikujú menší výskyt meteorologických súch s kratším trvaním, no s väčším nedostatkom vody počas sucha. Výskyty hydrologického sucha na povrchu v riečnej sieti budú častejšie, s dlhším trvaním a väčším nedostatkom vody. Hydrologické suchá v nenasýtenej zóne budú v budúcnosti dlhšie s väčším nedostatkom vody, suchá v nasýtenej zóne sa budú vyskytovať rovnako často, no s oveľa dlhším trvaním a aj nedostatkom vody, ako to vyplýva z porovnania hodnôt v tab. 4.5.1.1 – 4.5.1.4 s hodnotami v tab. 4.6.1.1 – 4.6.1.4, v ktorých sú uvedené vybrané parametre sucha projektované pre obdobie 1981 – 2100.

Tab. 4.6.1.1 Vybrané charakteristiky meteorologického sucha pre roky 1981 – 2100 zo scenárov KNMI2 a MPI1

Tab. 4.6.1.1 Selected meteorological drought parameters for the period 1981 – 2100 from the KNMI2 and MPI1 scenarios

Scenár KNMI2						
Povodie	Počet období sucha za rok s trvaním ≥ 31 dní	Počet dní v období sucha (≥ 31 dní)	Priemerné trvanie obdobia sucha v dňoch	Najdlhšie obdobie trvania meteorologického sucha		
				počet dní	od	do
Myjava	2,3	72	24	232	05/02/1989	24/09/1989
Kysuca	2,1	76	24	216	28/03/2036	29/10/2036
Váh horný	2,2	81	27	274	08/12/2007	06/09/2008
Nitra	2,2	80	27	214	29/03/2036	28/10/2036
Hron celý	2,2	87	29	270	12/12/2007	06/09/2008
Ipeľ horný	2,2	93	30	297	28/11/2087	19/09/2088
Poprad	2,2	82	27	270	12/12/2007	06/09/2008
Hornád	2,4	139	39	325	19/10/2007	07/09/2008
Slaná	2,2	91	30	332	29/10/2087	24/09/2088
Rimava	2,2	94	30	302	28/11/2087	24/09/2088
Bodva	2,2	93	30	269	28/11/2087	22/08/2088
Ondava	2,3	86	28	191	15/03/1999	21/09/1999
Laborec	2,1	81	25	200	23/03/2055	08/10/2055
Scenár MPI1						
Povodie	Počet období sucha za rok s trvaním ≥ 31 dní	Počet dní v období sucha (≥ 31 dní)	Priemerné trvanie obdobia sucha v dňoch	Najdlhšie obdobie trvania meteorologického sucha		
				počet dní	od	do
Myjava	2,2	84	27	204	02/04/2036	22/10/2036
Kysuca	2,1	67	22	206	06/01/1992	29/07/1992
Váh horný	2,2	65	22	263	25/12/2007	12/09/2008
Nitra	2,2	68	25	168	01/04/2018	15/09/2018
Hron celý	2,3	69	24	164	12/07/2071	22/12/2071
Ipeľ horný	2,3	76	25	207	01/12/2087	24/06/2088
Poprad	2,0	69	23	265	24/12/2007	13/09/2008
Hornád	2,5	124	33	284	26/12/2031	04/10/2032
Slaná	2,2	76	24	306	05/03/2032	04/01/2033

Rimava	2,3	82	26	270	13/12/2007	07/09/2008
Bodva	0,8	14	14	147	06/07/2071	29/11/2071
Ondava	2,1	72	23	215	05/03/2032	05/10/2032
Laborec	2,2	74	24	263	26/03/2071	13/12/2071

Tab. 4.6.1.2 Vybrané charakteristiky hydrologického sucha v povrchovom toku pre roky 1981 – 2100 zo scenárov KNMI2 a MPI1

Tab. 4.6.1.2 Selected surface streams hydrological drought parameters for the period 1981 – 2100 from the KNMI2 and MPI1 scenarios

Scenár KNMI2						
Povodie	Počet období sucha za rok s trvaním ≥ 31 dní	Počet dní v období sucha (≥ 31 dní)	Priemerné trvanie obdobia sucha v dňoch	Najdlhšie obdobie trvania hydrologického sucha v povrchovom toku		
				počet dní	od	do
Myjava	0,4	6	6	90	03/12/2041	02/03/2042
Kysuca	0,9	19	10	133	29/03/2099	08/08/2099
Váh horný	1,3	40	14	221	11/04/2055	17/11/2055
Nitra	0,6	8	7	93	11/02/2033	14/05/2033
Hron celý	1,4	39	12	232	30/03/2055	16/11/2055
Ipeľ horný	1,1	20	10	219	10/11/2087	15/06/2088
Poprad	1,3	32	12	180	17/08/1993	12/02/1994
Hornád	2,2	63	13	275	06/09/1997	07/06/1998
Slaná	1,4	29	12	248	10/11/2087	14/07/2088
Rimava	1,1	20	10	228	10/11/2087	24/06/2088
Bodva	0,9	15	9	105	12/03/2099	24/06/2099
Ondava	0,9	19	10	121	25/02/2088	24/06/2088
Laborec	1,3	26	12	121	11/09/1989	09/01/1990
Scenár MPI1						
Povodie	Počet období sucha za rok s trvaním ≥ 31 dní	Počet dní v období sucha (≥ 31 dní)	Priemerné trvanie období sucha	Najdlhšie obdobie trvania hydrologického sucha v povrchovom toku		
				počet dní	od	do
Myjava	0,5	8	7	107	13/11/2036	27/02/2037
Kysuca	0,8	18	9	143	26/07/2071	15/12/2071
Váh horný	1,0	29	11	271	09/04/2032	04/01/2033
Nitra	0,5	8	6	100	13/02/2041	23/05/2041
Hron celý	1,2	27	10	170	14/08/2071	30/01/2072
Ipeľ horný	0,8	15	8	185	10/11/2087	12/05/2088
Poprad	1,0	32	11	172	01/09/2048	19/02/2049
Hornád	1,8	69	12	257	08/10/2055	20/06/2056
Slaná	1,0	23	9	210	03/10/2041	30/04/2042
Rimava	0,8	16	8	131	03/11/2043	12/03/2044
Bodva	2,4	100	16	384	18/12/2031	04/01/2033
Ondava	0,8	19	8	150	16/01/2056	13/06/2056
Laborec	1,3	29	11	152	18/07/2071	16/12/2071

Tab. 4.6.1.3 Vybrané charakteristiky hydrologického sucha v nenasýtenej zóne pre roky 1981 – 2100 zo scenárov KNMI2 a MPI1

Tab. 4.6.1.3 Selected hydrological drought parameters in the unsaturated zone for the period 1981 – 2100 from the KNMI2 and MPI1 scenarios

Scenár KNMI2						
Povodie	Počet období sucha za rok s trvaním ≥ 31 dní	Počet dní v období sucha (≥ 31 dní)	Priemerné trvanie období sucha	Najdlhšie obdobie trvania hydrologického sucha v nenasýtenej zóne		
				počet dní	od	do
Myjava	1,1	38	19	248	04/08/2071	07/04/2072
Kysuca	1,4	43	16	222	14/03/2055	21/10/2055
Váh horný	1,3	41	17	236	19/03/2099	09/11/2099
Nitra	1,2	54	23	287	12/03/2055	23/12/2055
Hron celý	1,2	50	19	238	17/03/2099	09/11/2099
Ipeľ horný	1,4	76	31	433	20/07/2087	24/09/2088
Poprad	1,3	47	18	248	22/03/2099	24/11/2099
Hornád	0,3	10	16	153	23/09/2030	22/02/2031
Slaná	1,3	76	29	311	31/05/2043	05/04/2044
Rimava	1,3	77	31	460	23/06/2087	24/09/2088
Bodva	1,2	63	29	374	09/06/2030	17/06/2031
Ondava	1,3	63	22	360	07/03/2055	29/02/2056
Laborec	1,3	58	21	264	16/03/2055	04/12/2055
Scenár MPI1						
Povodie	Počet období sucha za rok s trvaním ≥ 31 dní	Počet dní v období sucha (≥ 31 dní)	Priemerné trvanie období sucha	Najdlhšie obdobie trvania hydrologického sucha v nenasýtenej zóne		
				počet dní	od	do
Myjava	1,2	50	22	305	03/05/2036	03/03/2037
Kysuca	1,5	47	17	223	17/08/2032	27/03/2033
Váh horný	1,1	32	13	232	18/05/2032	04/01/2033
Nitra	1,2	44	20	308	21/05/2032	24/03/2033
Hron celý	1,1	36	15	297	22/05/2032	14/03/2033
Ipeľ horný	1,1	55	24	348	20/05/2032	02/05/2033
Poprad	1,0	38	15	223	14/08/2032	24/03/2033
Hornád	0,3	8	20	158	28/08/2071	01/02/2072
Slaná	1,0	57	23	316	03/08/2030	14/06/2031
Rimava	1,1	62	25	325	22/05/2032	11/04/2033
Bodva	0,2	4	12	116	23/08/2071	16/12/2071
Ondava	1,1	54	20	306	21/05/2032	22/03/2033
Laborec	1,4	59	21	309	19/05/2032	23/03/2033

Tab. 4.6.1.4 Vybrané charakteristiky hydrologického sucha v nasýtenej zóne pre roky 1981 – 2100 zo scenárov KNMI2 a MPI1

Tab. 4.6.1.4 Selected hydrological drought parameters in the saturated zone for the period 1981 – 2100 from the KNMI2 and MPI1 scenarios

Scenár KNMI2						
Povodie	Počet období sucha za rok s trvaním ≥ 31 dní	Počet dní v období sucha (≥ 31 dní)	Priemerné trvanie období sucha	Najdlhšie obdobie trvania hydrologického sucha v nasýtenej zóne		
				dni	od	do
Myjava	1,1	131	86	734	05/09/2071	07/09/2073
Kysuca	1,3	67	39	245	26/03/2055	25/11/2055
Váh horný	1,0	130	89	620	27/05/2032	05/02/2034
Nitra	1,1	126	91	641	04/04/1997	04/01/1999
Hron celý	1,1	130	87	648	01/04/1997	08/01/1999
Ipeľ horný	1,3	146	91	633	16/03/2032	08/12/2033
Poprad	1,2	116	68	627	29/06/2030	16/03/2032
Hornád	0,9	274	201	1 686	06/11/2029	18/06/2034
Slaná	1,1	141	99	647	08/04/1997	14/01/1999
Rimava	1,1	146	99	659	27/03/1997	14/01/1999
Bodva	1,0	154	125	877	02/04/2055	25/08/2057
Ondava	1,2	126	75	1 165	29/07/2030	05/10/2033
Laborec	1,4	101	55	332	23/03/2055	17/02/2056
Scenár MPI1						
Povodie	Počet období sucha za rok s trvaním ≥ 31 dní	Počet dní v období sucha (≥ 31 dní)	Priemerné trvanie období sucha	Najdlhšie obdobie trvania hydrologického sucha v nasýtenej zóne		
				dni		
Myjava	1,1	131	95	633	18/03/2032	10/12/2033
Kysuca	1,3	65	36	364	27/03/2032	25/03/2033
Váh horný	1,0	106	67	499	05/12/2002	16/04/2004
Nitra	1,1	133	90	634	04/08/2071	28/04/2073
Hron celý	1,1	125	88	774	23/10/2040	05/12/2042
Ipeľ horný	1,3	146	87	767	25/10/2040	30/11/2042
Poprad	1,2	101	58	384	14/03/2032	01/04/2033
Hornád	1,0	281	195	1 153	16/07/2001	10/09/2004
Slaná	1,1	134	93	750	16/11/2040	05/12/2042
Rimava	1,1	151	101	938	09/09/2001	03/04/2004
Bodva	1,5	70	35	407	15/02/2032	27/03/2033
Ondava	1,2	125	72	580	30/08/2002	31/03/2004
Laborec	1,4	107	56	385	31/05/2030	19/06/2031

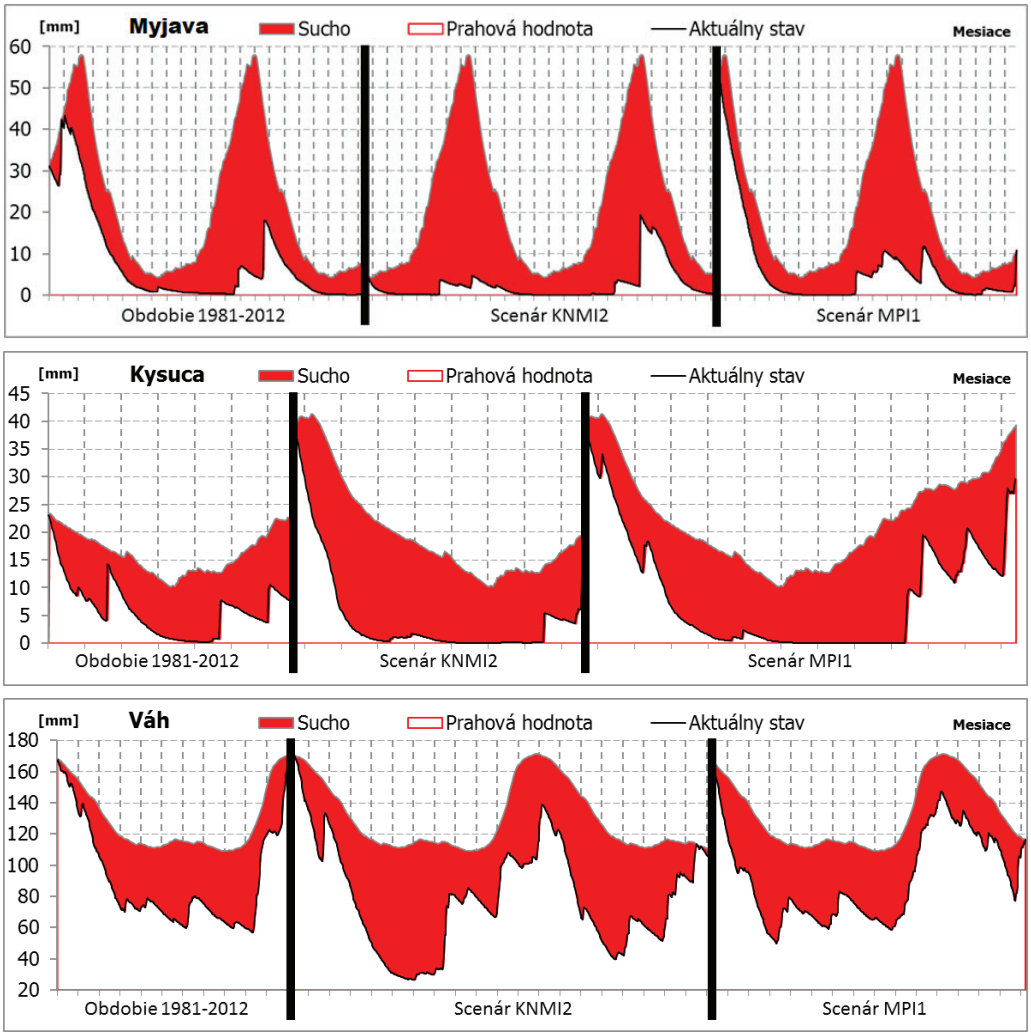
Porovnaním údajov tab. 4.5.1.1 – 4.5.1.4 a 4.6.1.1 – 4.6.1.4 získame prehľad o možnom vývoji meteorologického a hydrologického sucha v hodnotených povodiach SR podľa scenárov KNMI2 a MP1.

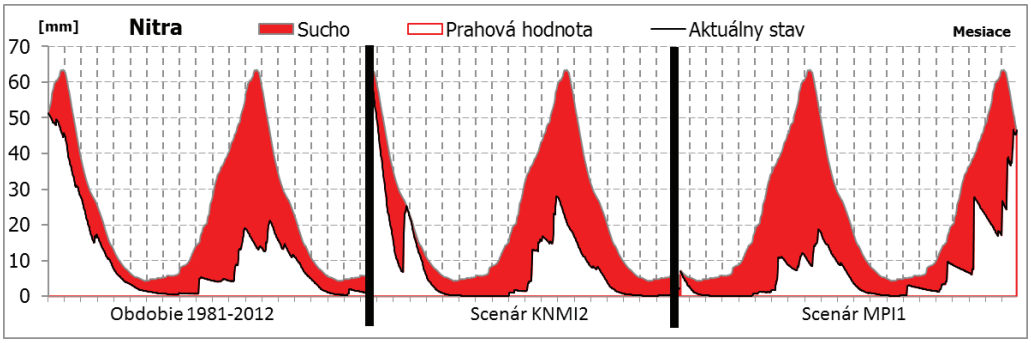
V prípade sucha v nasýtenej zóne sa podľa scenára KNMI2 výraznejšie predĺži jeho trvanie v povodiach na východ od Nitry s výnimkou Laborca, veľmi významne najmä v povodí Horná-

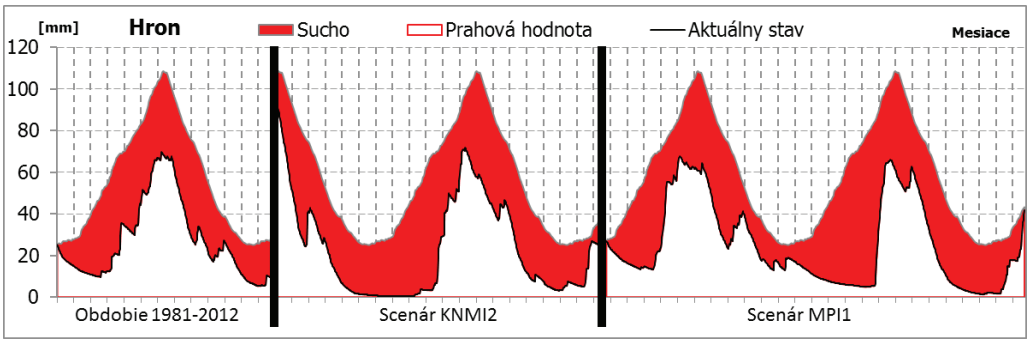
du, kde bolo odhadnuté najdlhšie trvanie sucha nepretržite 1 686 dní, čo je 5-krát viac ako najdlhšie sucho v porovnávacom období rokov 1981 – 2012 (301 dní), podobne v povodí Ondavy (1 165 dní vs. 330 dní), či Bodvy (877 vs. 420 dní). Priemerné trvanie sucha sa predĺži najmä v povodí Hornádu (201 vs. 70 dní)

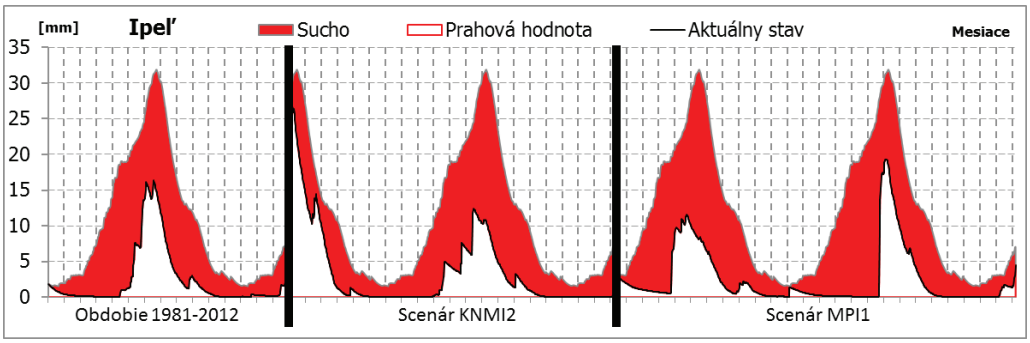
Podľa scenára MPI1 sa tiež predpokladá najdlhšie sucho v povodí Hornádu (max. 1 153 dní, priemerne 195 dní). V povodí Kysuce, Hrona, Ipľa, Slanej, Rimavy a Laborca je predpovedané dlhšie trvanie extrémneho sucha ako podľa scenára KNMI2, naopak je to v povodiach Váhu, Popradu, Hornádu, Bodvy a Ondavy. Priemerné trvanie sucha sa nemení v povodí Popradu, Rimavy a Slanej. V povodí Bodvy sa dokonca výrazne znižuje jeho dĺžka (104 vs. 35 dní).

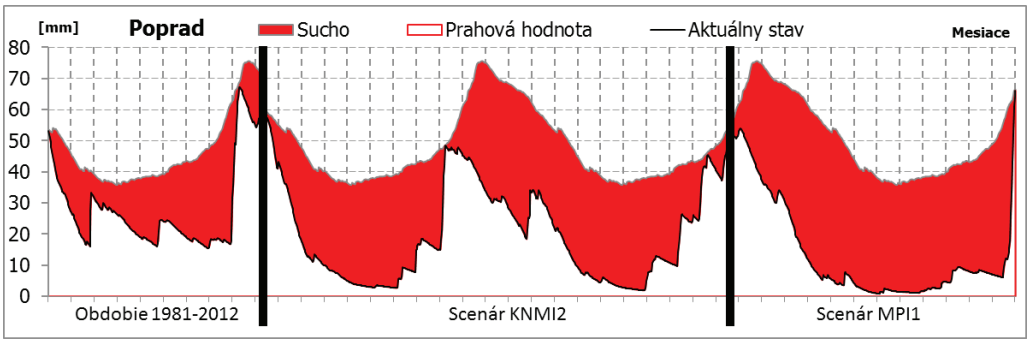
Na obr. 4.6.1.1 je zobrazené porovnanie najväčších súch porovnávaných období v hodnotených povodiach. Referenčné obdobie rokov 1981 – 2012 je porovnané s výsledkami hydrologického modelovania modelom FRIER s použitím klimatických parametrov scenárov KNMI2 a MPI1.

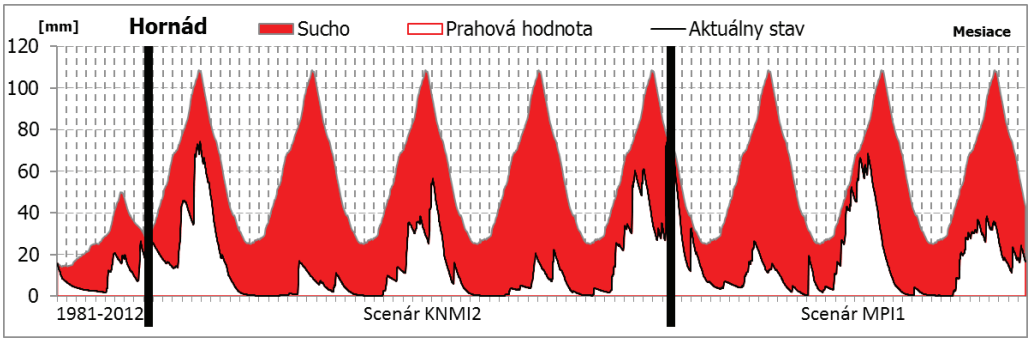


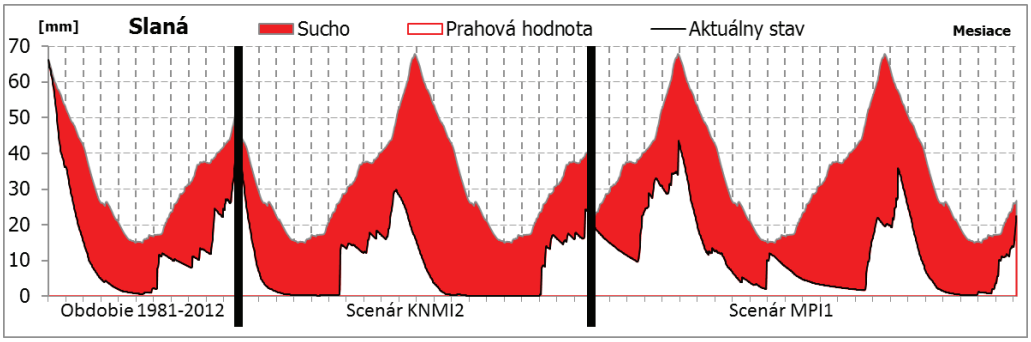

[mm]
Nitra
Sucho
Prahová hodnota
Aktuálny stav
Mesiace
70
60
50
40
30
20
10
0
Obdobie 1981-2012
Scenár KNMI2
Scenár MPI1

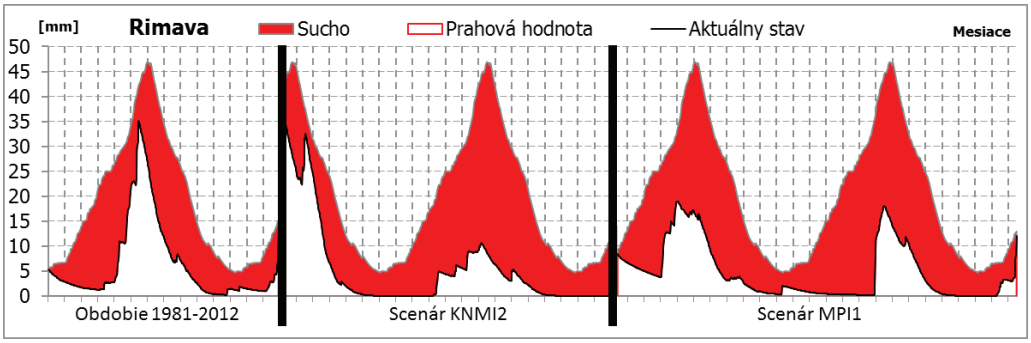

[mm]
Hron
Sucho
Prahová hodnota
Aktuálny stav
Mesiace
120
100
80
60
40
20
0
Obdobie 1981-2012
Scenár KNMI2
Scenár MPI1

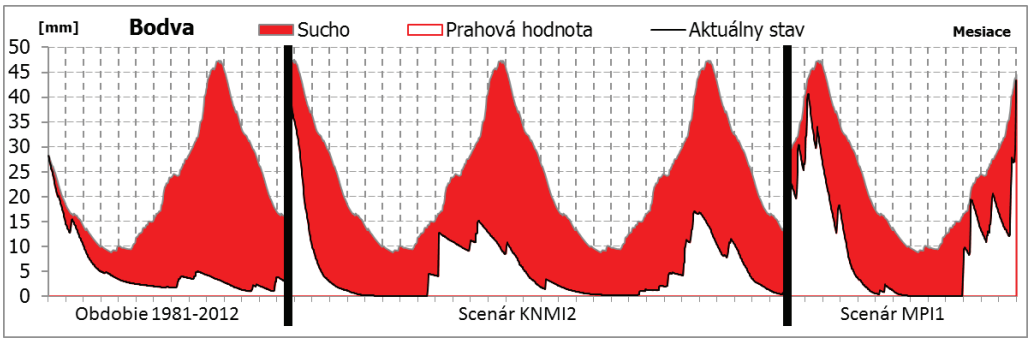

[mm]
Ipeľ
Sucho
Prahová hodnota
Aktuálny stav
Mesiace
35
30
25
20
15
10
5
0
Obdobie 1981-2012
Scenár KNMI2
Scenár MPI1

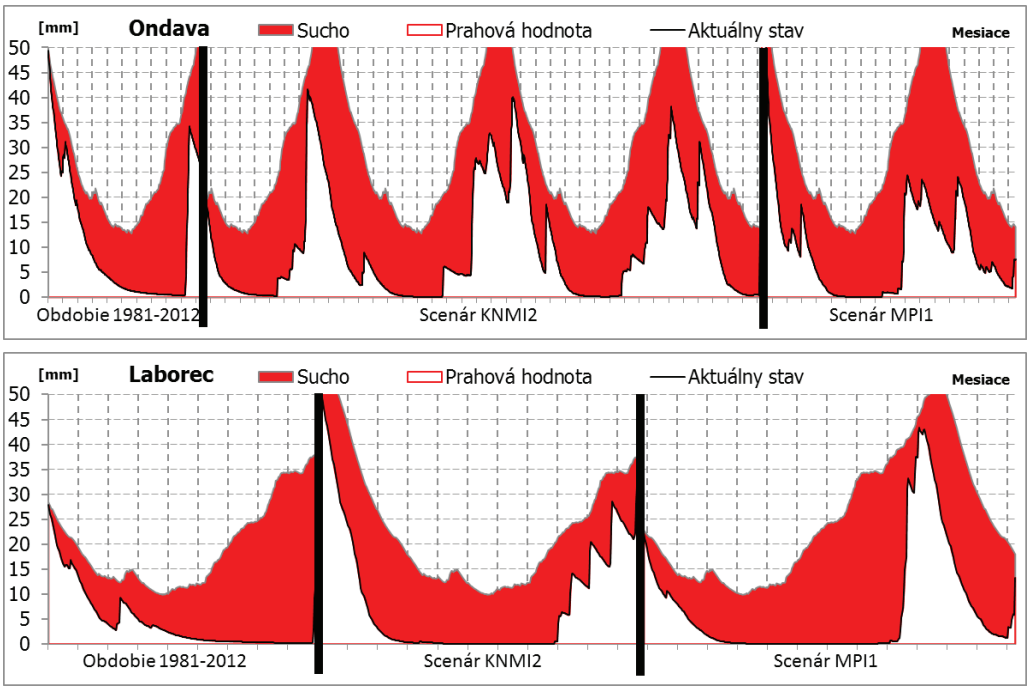

[mm]
Poprad
Sucho
Prahová hodnota
Aktuálny stav
Mesiace
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Obdobie 1981-2012
Scenár KNMI2
Scenár MPI1


[mm]
Hornád
Sucho
Prahová hodnota
Aktuálny stav
Mesiace
120
100
80
60
40
20
0
1981-2012
Scenár KNMI2
Scenár MPI1


[mm]
Slaná
Sucho
Prahová hodnota
Aktuálny stav
Mesiace
70
60
50
40
30
20
10
0
Obdobie 1981-2012
Scenár KNMI2
Scenár MPI1


[mm]
Rimava
Sucho
Prahová hodnota
Aktuálny stav
Mesiace
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Obdobie 1981-2012
Scenár KNMI2
Scenár MPI1


[mm]
Bodva
Sucho
Prahová hodnota
Aktuálny stav
Mesiace
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Obdobie 1981-2012
Scenár KNMI2
Scenár MPI1



Obr. 4.6.1.1 Porovnanie súčasných a budúcich najdlhších období hydrologického sucha v nasýtenej zóne v jednotlivých povodiach: z ľava: referenčné obdobie 1981 – 2012; scenár zmeny klímy KNMI2; scenár zmeny klímy MPI1. Sucho je reprezentované červenou plochou.

Fig. 4.6.1.1 Comparison of the present and future longest drought periods in the saturated zone in the Bodva catchment: from the left – reference period 1981 – 2012; climate change scenario KNMI2; climate change scenario MPI1. Drought is represented by the red area.

4.6.2 Prognóza zmien v ročnom chode vybraných členov hydrologickej bilancie

V tejto podkapitole sme porovnali ročný priebeh úhrnu zrážok, celkového odtoku, pôdnej vlhkosti a dostupných zásob podzemnej vody priemerných modelovaných scenárových hodnôt rokov 2069 – 2100 s meraným obdobím 1981 – 2012.

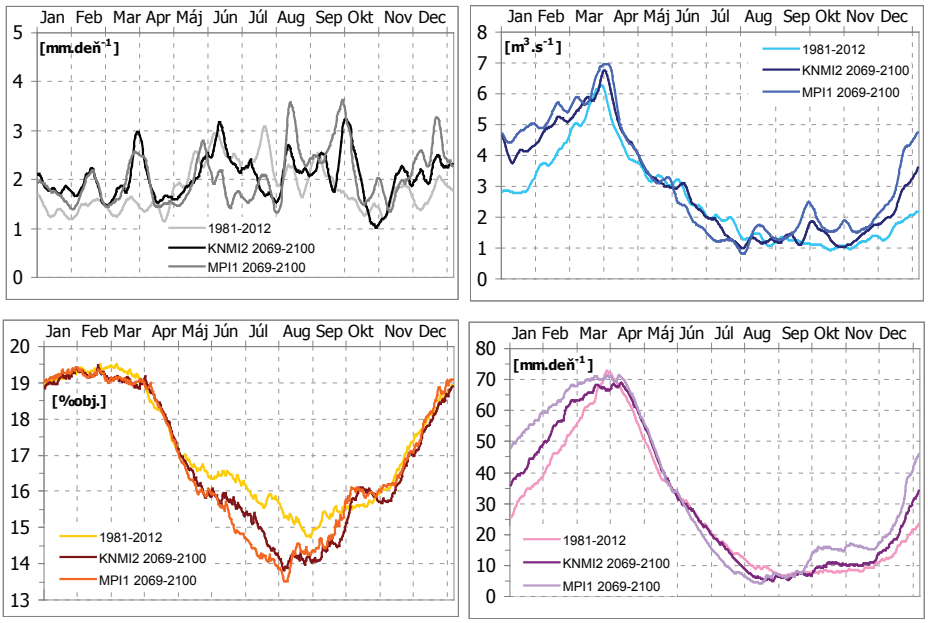
Výsledky modelovania ukázali, že oba použité scenáre KNMI2 a MPI1 dávajú väčšinou veľmi podobné výsledky, scenáre v našich povodiach väčšinou predpovedajú väčší úhrn zrážok, presun najväčších úhrnov zrážok z júla do septembra, zmenšené úhrny zrážok od mája do júla a vyššie teploty najmä v zime. Spôsobí to menšiu akumuláciu snehu v zime, väčší odtok v zime, po roztopení snehu, nástup suchých období s nízkymi zrážkami, vysokou evapotranspiráciou, nízkym odtokom a znižovaním zásob vody počas celého vegetačného obdobia.

Pri takýchto predpokladaných klimatických pomeroch, podľa oboch scenárov, sa najvýraznejšie zmení ročný chod evapotranspirácie. Rozdiely medzi jednotlivými mesiacmi budú menšie, pretože od mája do júla, kedy sú úhrny evapotranspirácie najvyššie, bude podľa scenárov síce

teplejšie, no spadne výrazne menej zrážok. Na jeseň a v zime, kedy bude teplejšie a viac zrážok, sa evapotranspirácia zvýši.

Povodie Myjavy

V scenári KNMI2 (obr. 4.6.2.1) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude väčší s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, menší úhrn bude len v máji a júli. Celkový odtok bude väčší, odtok z topenia snehu nastane v rovnakom čase s väčším maximálnym odtokom v roku, menší odtok sa predpokladá len v júli a auguste, najvýraznejší rozdiel bude v decembri, keď sa zvýši odtok viac ako 2-násobne, miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude menšia, najmä vo vegetačnom období. Dostupné zásoby podzemnej vody mierne stúpnu vďaka ich väčšej akumuláci od októbra do marca.



Obr. 4.6.2.1 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Myjavy

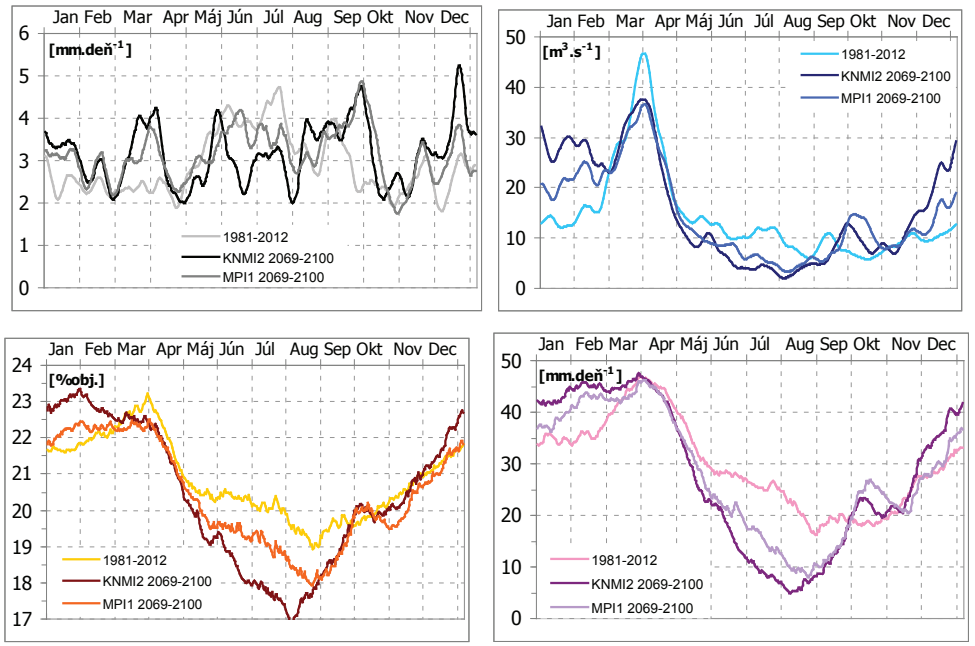
Fig. 4.6.2.1 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Myjava catchment

V scenári MPI1 (obr. 4.6.2.1) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude väčší s presunom najväčších úhrnov zrážok z júna a júla do augusta a septembra, menší úhrn bude len od mája do júla. Celkový odtok bude výrazne väčší, odtok z topenia snehu nastane v rovnakom čase s väčším maximálnym odtokom v roku, menší odtok sa predpokladá len v lete, najvýraznejší rozdiel bude na prelome kalendárnych rokov, keď sa zvýši odtok 1,5-násobne, miernejšie zimy spôso-

bia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude menšia, najmä vo vegetačnom období. Dostupné zásoby podzemnej vody stúpnu vďaka ich väčšej akumuláci od októbra do marca.

Povodie Kysuce

V scenári KNMI2 (obr. 4.6.2.2) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude väčší, s presunom najväčších úhrnov zrážok z júla do septembra a decembra, v zime bude väčší úhrn, od mája do júla menší. Celkový odtok bude väčší, odtok z topenia snehu nastane v rovnakom čase s menším maximálnym odtokom v roku po roztopení snehu, menší odtok sa predpokladá od mája do septembra. Väčšie úhrny zrážok v septembri zväčšia odtok, miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a výrazne väčší odtok počas zimy, na prelome kalendárnych rokov sa predpokladá takmer 3-násobne väčší odtok. Pôdna vlhkosť bude výrazne menšia, najmä vo vegetačnom období. Zásoby podzemnej vody mierne klesnú, predpokladá sa ich výrazné kolísanie s najväčším nedostatkom vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.



Obr. 4.6.2.2 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Kysuce

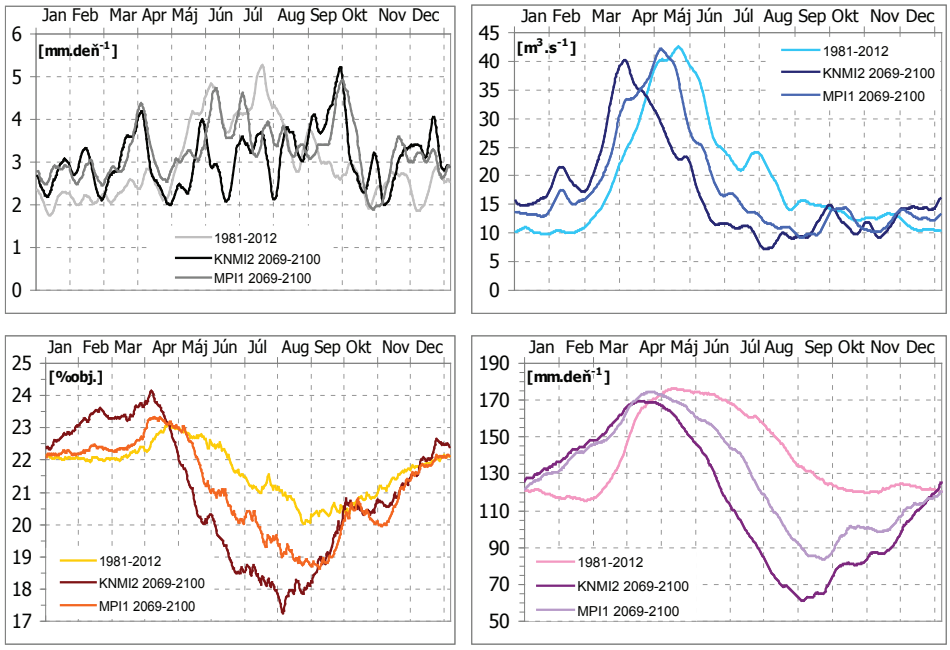
Fig. 4.6.2.2 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Kysuca catchment

V scenári MPI1 (obr. 4.6.2.2) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude väčší s presunom najväčších úhrnov zrážok z júla do septembra, v zime bude väčší úhrn, od mája do júla menší.

Celkový odtok bude väčší, odtok z topenia snehu nastane v rovnakom čase s väčším maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu sa predpokladá menší odtok od mája do augusta, väčšie úhrny zrážok v septembri zväčšia odtok. Miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude menšia, najmä vo vegetačnom období. Množstvo zásob podzemnej vody sa výrazne nezmení, ich najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.

Povodie Váhu po Liptovský Mikuláš

V scenári KNMI2 (obr. 4.6.2.3) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude rovnaký, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, v zime bude väčší úhrn, od mája do júla menší. Celkový odtok bude menší, odtok z topenia snehu nastane o mesiac a pol skôr s menším maximálnym odtokom v roku. Z roztopenia snehu nastane výrazne menší odtok o viac ako polovicu od mája do septembra, potom bude odtok až do konca roku vyrovnaný. Miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok v zime. Pôdna vlhkosť bude výrazne menšia, najmä vo vegetačnom období, väčšia sa predpokladá počas zimy až do apríla. Zásoby podzemnej vody veľmi výrazne klesnú, budú výrazne kolísať s najväčším nedostatkom od mája do decembra, od januára do apríla budú zásoby väčšie.



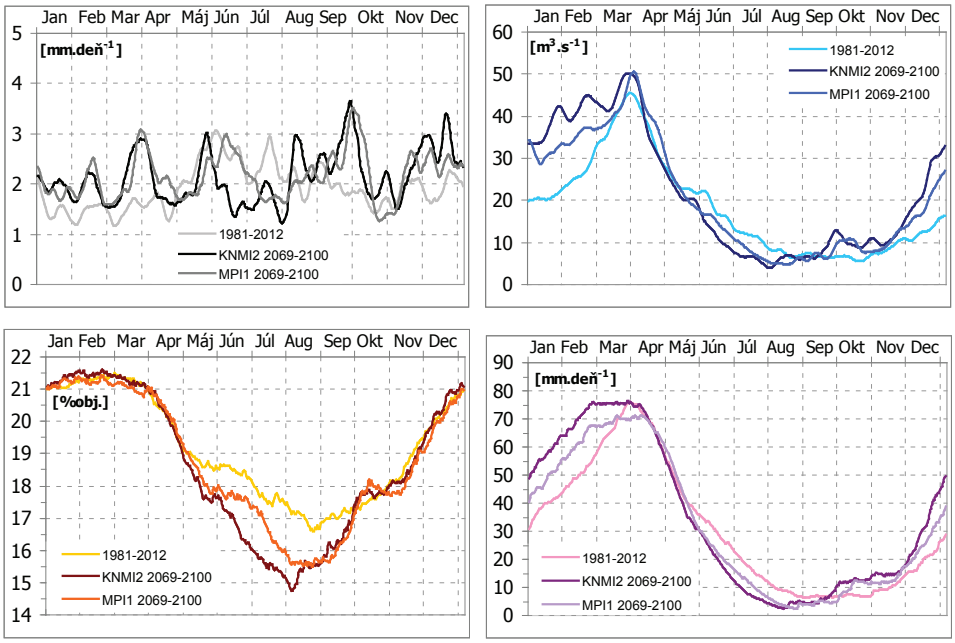
Obr. 4.6.2.3 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí horného Váhu

Fig. 4.6.2.3 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the upper Váh catchment

V scenári MPI1 (obr. 4.6.2.3) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude väčší, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, v zime bude väčší úhrn, od mája do júla menší. Celkový odtok bude mierne menší, odtok z topenia snehu nastane o 10 dní neskôr s menším maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu bude menší odtok od mája do septembra, potom vyrovnaný odtok až do konca roku. Miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok v januári a februári. Pôdna vlhkosť bude menšia, najmä vo vegetačnom období. Zásoby podzemnej vody výrazne klesnú, budú výrazne kolísať s najväčším nedostatkom od mája do decembra, od januára do apríla budú zásoby väčšie.

Povodie Nitry

V scenári KNMI2 (obr. 4.6.2.4) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude väčší, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do septembra a decembra, menší úhrn bude len v máji a júli. Celkový odtok bude väčší, odtok z topenia snehu nastane v rovnakom čase s väčším maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu bude menší odtok od mája do augusta, väčšie úhrny zrážok v septembri zväčšia odtok a miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a výrazne väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude výrazne menšia, najmä vo vegetačnom období. Dostupné zásoby podzemnej vody stúpnu vďaka ich väčšej akumulácií od októbra do marca, menšie zásoby budú v lete.



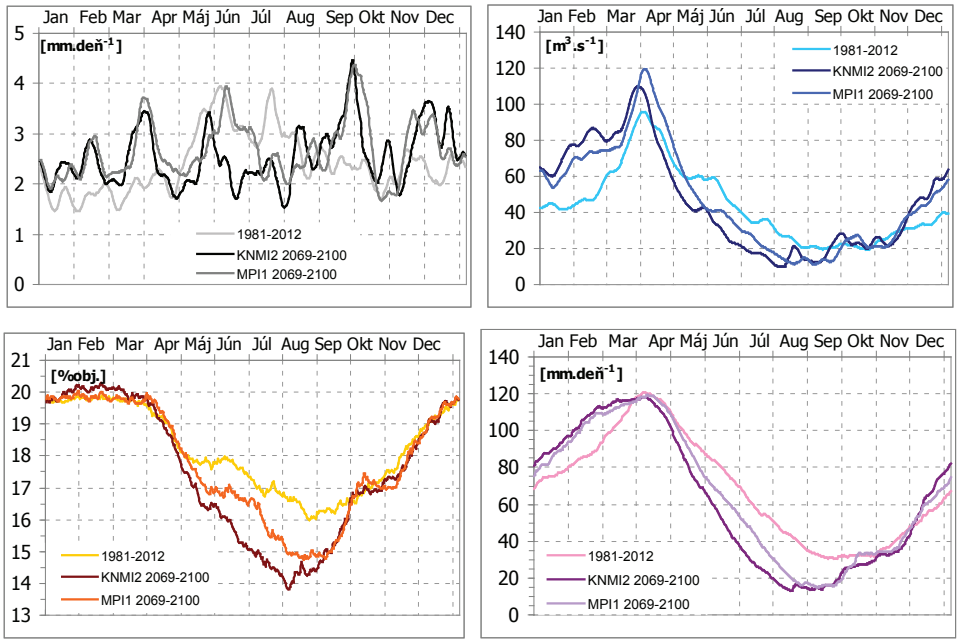
Obr. 4.6.2.4 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Nitry

Fig. 4.6.2.4 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Nitra catchment

V scenári MPI1 (obr. 4.6.2.4) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude väčší, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, menší úhrn bude len v máji a júli. Celkový odtok bude väčší, odtok z topenia snehu nastane v rovnakom čase s väčším maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu bude menší odtok od mája do augusta, väčšie úhrny zrážok v septembri zväčšia odtok. Miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a výrazne väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude menšia, najmä vo vegetačnom období. Dostupné zásoby podzemnej vody mierne stúpnu vďaka ich väčšej akumulácii od októbra do marca, menšie zásoby budú v lete.

Povodie Hrona

V scenári KNM2 (obr. 4.6.2.5) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude väčší, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, výrazne menej zrážok sa vyskytne iba od mája do júla. Celkový odtok bude mierne väčší, odtok z topenia snehu nastane približne v rovnakom čase s väčším maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu bude menší odtok od apríla do septembra, väčšie úhrny zrážok v septembri zväčšia odtok. Miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude výrazne menšia, najmä vo vegetačnom období. Zásoby podzemnej vody klesnú, ich najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.



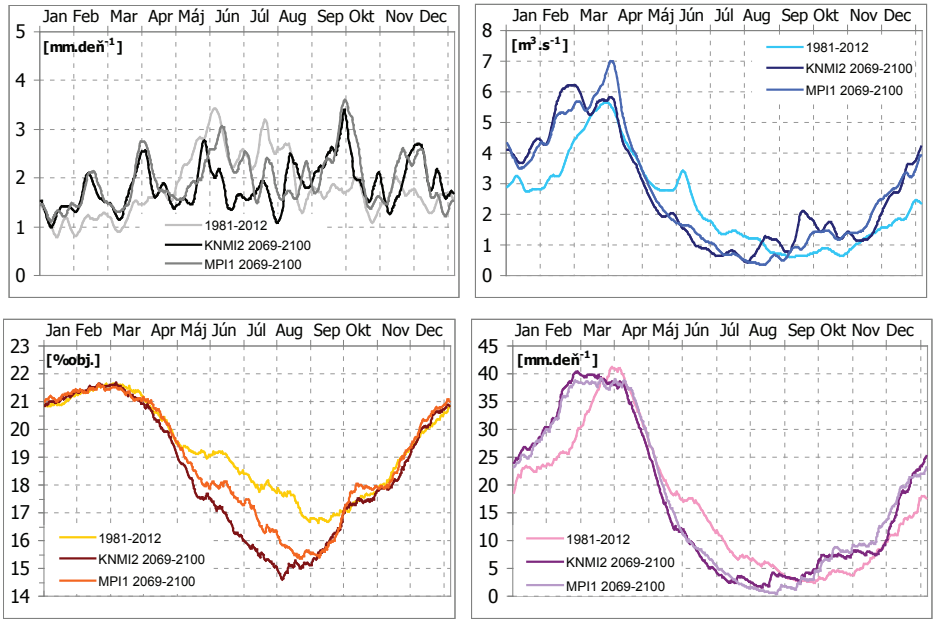
Obr. 4.6.2.5 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Hrona

Fig. 4.6.2.5 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Hron catchment

V scenári MPI1 (obr. 4.6.2.5) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude väčší, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, menej zrážok bude iba v máji a júli. Celkový odtok bude mierne väčší, odtok z topenia snehu nastane približne v rovnakom čase s výrazne väčším maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu bude menší odtok od apríla do septembra, väčšie úhrny zrážok v septembri zväčšia odtok. Miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude výrazne menšia, najmä od mája do novembra. Priebeh aj množstvo zásob podzemnej vody budú podobné ako v scenári KNMI 2, zásoby podzemnej vody klesnú, ich najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.

Povodie Ipľa

V scenári KNMI2 (obr. 4.6.2.6) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude rovnaký, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, v zime bude mierne väčší úhrn, od mája do júla menší. Celkový odtok bude väčší, odtok z topenia snehu nastane o mesiac skôr s väčším maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu bude menší odtok od apríla do augusta, väčšie úhrny zrážok v septembri zväčšia odtok. Miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude výrazne menšia, najmä vo vegetačnom období. Množstvo zásob podzemnej vody sa nezmení, ich najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.



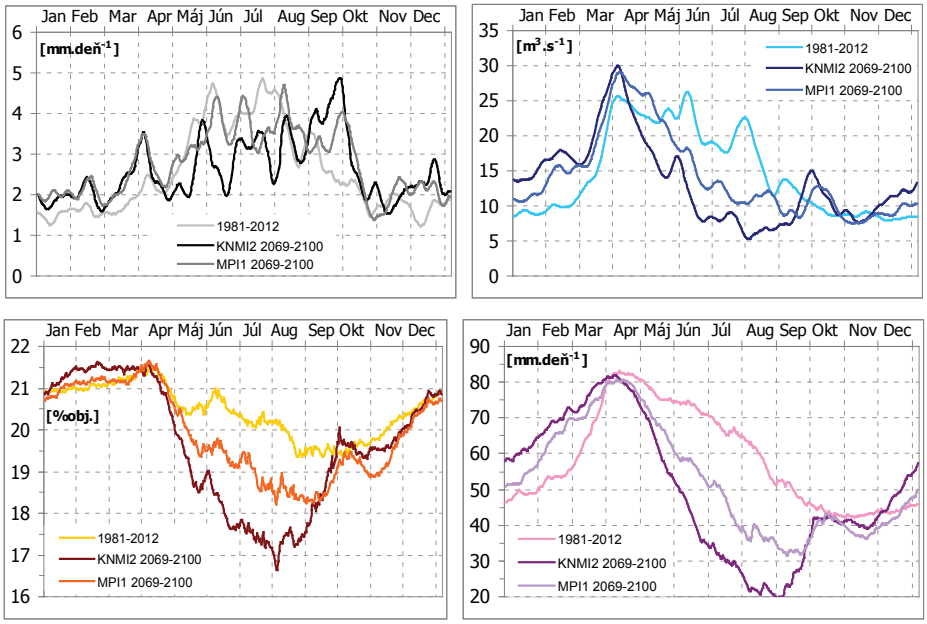
Obr. 4.6.2.6 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Ipľa

Fig. 4.6.2.6 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Ipeľ catchment

V scenári MPI1 (obr. 4.6.2.6) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude väčší, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, mierne menší úhrn bude len od mája do júla. Celkový odtok bude väčší, odtok z topenia snehu sa vyskytne v rovnakom čase s väčším maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu nastane menší odtok od apríla do septembra, väčšie úhrny zrážok v septembri zväčšia odtok. Miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude menšia, najmä vo vegetačnom období. Priebeh aj množstvo zásob podzemnej vody budú podobné ako v scenári KNMI2, množstvo zásob podzemnej vody sa nezmení, najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.

Povodie Popradu

V scenári KNMI2 (obr. 4.6.2.7) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude rovnaký, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, v zime mierne väčší úhrn, od mája do júla menší. Celkový odtok bude menší, pôvodne dlhodobý odtok z topenia snehu od apríla do júna v rovnakom čase sa zmení na výrazný krátkodobejší odtok v apríli s väčším maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu nastane výrazne menší odtok od mája do septembra, miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude výrazne menšia, najmä vo vegetačnom období. Zásoby podzemnej vody klesnú, budú výrazne kolísať s najväčším nedostatkom vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.



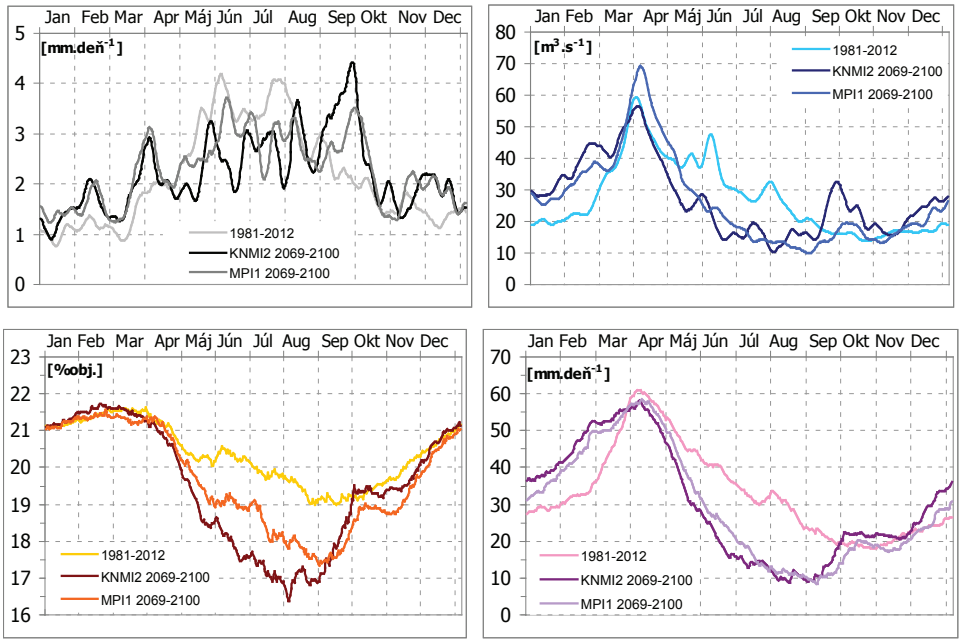
Obr. 4.6.2.7 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Popradu

Fig. 4.6.2.7 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Poprad catchment

V scenári MPI1 (obr. 4.6.2.7) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude väčší, v lete nastanú výkyvy, mierne menší úhrn bude len v máji a júli. Celkový odtok bude mierne menší, pôvodne dlhodobý odtok z topenia snehu od apríla do júna v rovnakom čase sa zmení na výrazný krátkodobý odtok v apríli, s väčším maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu nastane výrazne menší odtok od mája do septembra, miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude menšia, najmä od mája do novembra. Zásoby podzemnej vody klesnú, ich najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.

Povodie Hornádu

V scenári KNMI2 (obr. 4.6.2.8) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude rovnaký, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, v zime bude mierne väčší úhrn, od mája do júla menší. Celkový odtok zostane približne rovnaký, odtok z topenia snehu ostane približne v rovnakom množstve i čase, po roztopení snehu bude menší odtok od apríla do augusta, väčšie úhrny zrážok v septembri zväčšia odtok. Miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude výrazne nižšia, najmä vo vegetačnom období. Zásoby podzemnej vody klesnú, ich najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.



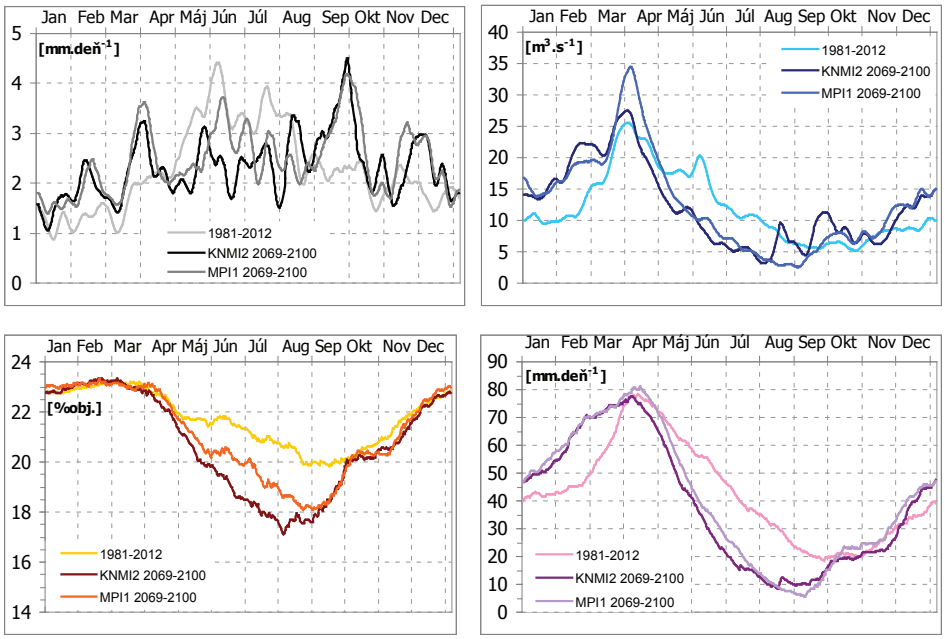
Obr. 4.6.2.8 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Hornádu

Fig. 4.6.2.8 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Hornád catchment

V scenári MPI1 (obr. 4.6.2.8) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude väčší, vyrovnanejší ako predpokladá scenár KNMI2, mierne menší úhrn bude len od mája do júla. Celkový odtok bude mierne menší s extrémami, odtok z topenia snehu bude väčší a bude trvať dlhšie, potom výrazne klesne od mája do septembra, v zime bude mierne väčší. Pôdna vlhkosť bude výrazne menšia, najmä od mája do novembra. Priebeh aj množstvo zásob podzemnej vody budú podobné ako v scenári KNMI2, zásoby podzemnej vody klesnú, ich najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.

Povodie Slanej

V scenári KNMI2 (obr. 4.6.2.9) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude rovnaký s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, v zime bude mierne väčší úhrn, od mája do júla menší. Celkový odtok bude mierne väčší, odtok z topenia snehu začne o mesiac skôr, bude trvať dlhšie s rovnakým maximálnym odtokom v roku, po roztopení snehu menší odtok od apríla do augusta, väčšie úhrny zrážok v septembri zväčšia odtok, miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude výrazne menšia, najmä vo vegetačnom období. Zásoby podzemnej vody mierne klesnú, ich najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.



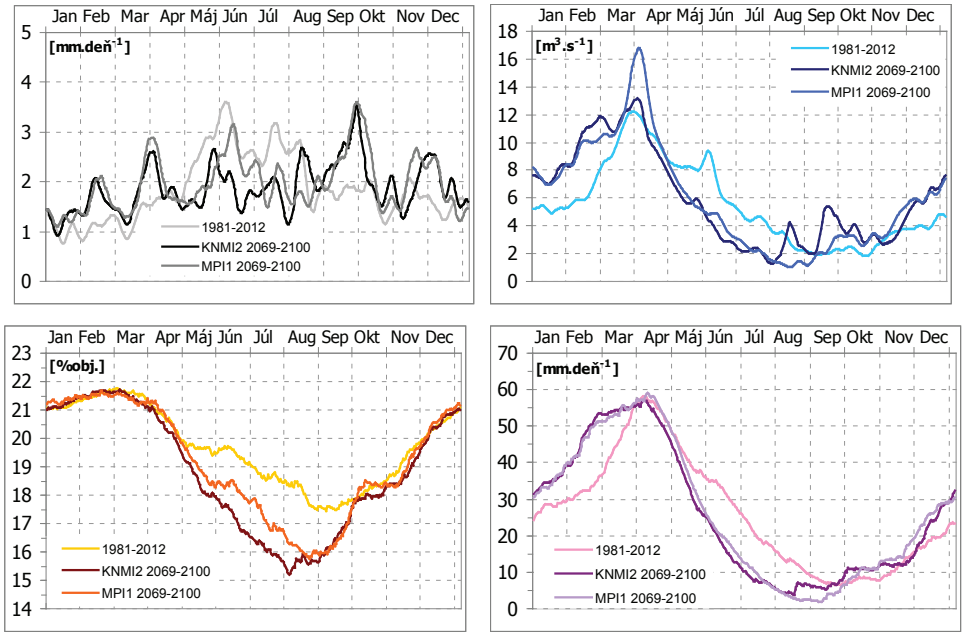
Obr. 4.6.2.9 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Slanej

Fig. 4.6.2.9 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Slaná catchment

V scenári MPI1 (obr. 4.6.2.9) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude rovnaký s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, v zime bude mierne väčší úhrn, od mája do júla menší. Celkový odtok bude mierne väčší, odtok z topenia snehu bude v rovnakom čase s väčším maximálnym odtokom v roku, po roztopení snehu menší odtok od apríla do augusta, väčšie úhrny zrážok v septembri zväčšia odtok, miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude menšia, najmä vo vegetačnom období. Množstvo zásob podzemnej vody sa výrazne nezmení, ich najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.

Povodie Rimavy

V scenári KNMI2 (obr. 4.6.2.10) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude rovnaký, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, v zime bude mierne väčší úhrn, od mája do júla menší. Celkový odtok bude mierne väčší, odtok z topenia snehu začne o mesiac skôr, bude trvať dlhšie s rovnakým maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu nastane menší odtok od apríla do augusta, väčšie úhrny v septembri zväčšia odtok. Miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude výrazne menšia, najmä vo vegetačnom období. Množstvo zásob podzemnej vody sa nezmení, ich najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.



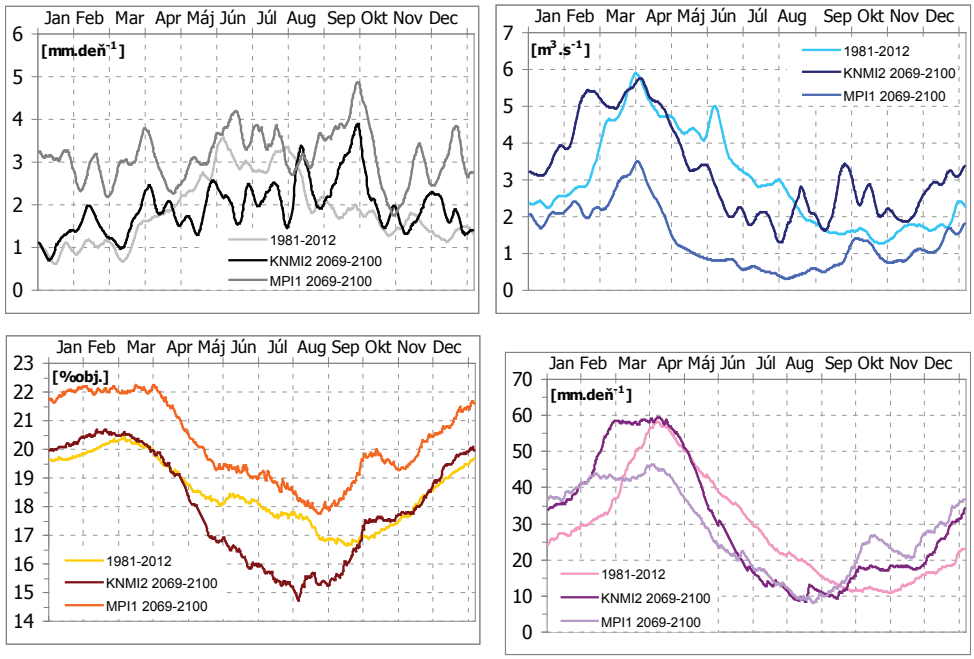
Obr. 4.6.2.10 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Rimavy

Fig. 4.6.2.10 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Rimava catchment

V scenári MPI1 (obr. 4.6.2.10) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude väčší, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, menší úhrn bude len v máji a júli. Celkový odtok bude mierne väčší, odtok z topenia snehu nastane v rovnakom čase s väčším maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu nastane menší odtok od apríla do augusta, väčšie úhrny v septembri zväčšia odtok. Miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude menšia, najmä vo vegetačnom období. Priebeh aj množstvo budú podobné ako v scenári KNMI2, množstvo zásob podzemnej vody sa nezmení, ich najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.

Povodie Bodvy

V scenári KNMI2 (obr. 4.6.2.11) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude približne rovnaký, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene. Odtok bude zvýšený na jeseň a počas zimy, v dôsledku menšej akumulácie snehu. Od mája do júla bude odtok menší, čo bude spôsobené vyššou teplotou, väčšou evapotranspiráciou, a zároveň menším úhrnom zrážok. Celkovo však odtečie približne rovnaké množstvo vody. Pôdna vlhkosť bude celkovo nižšia, výrazne nižšie objemy sa budú vyskytovať od mája do septembra. Dostupné zásoby podzemnej vody budú kopírovať odtok, rozkyv je však jemnejší a oneskorenie bude približne mesačné.



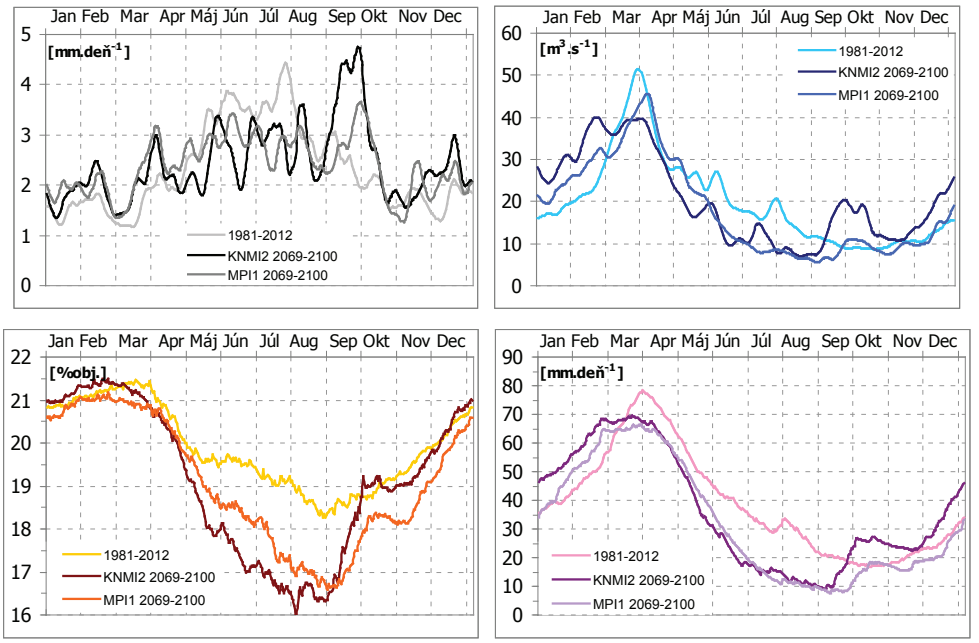
Obr. 4.6.2.11 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Bodvy

Fig. 4.6.2.11 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Bodva catchment

V scenári MPI1 (obr. 4.6.2.11) sa predpokladá výrazne väčší úhrn zrážok počas celého roka, maximá sú presunuté z leta do jesene. Odtok je naopak omnoho nižší po celý rok, pôdna vlhkosť je celoročne väčšia. Zásoby podzemnej vody sú väčšie v zimnom polroku, menšie vo vegetačnom období. Obdobie rokov 2069 – 2010 bude charakteristické celkovo vysokou hodnotou infiltrácie, zadržania vody v pôde a vysokou evapotranspiráciou v povodí.

Povodie Ondavy

V scenári KNMI2 (obr. 4.6.2.12) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude rovnaký, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, v zime mierne väčší úhrn, od mája do júla menší. Celkový odtok bude rovnaký, odtok z topenia snehu začne o mesiac a pol skôr, bude trvať dlho bez výraznejšieho maximálneho odtoku, s výrazne menším maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu nastane menší odtok od apríla do septembra, väčšie úhrny zrážok v septembri zväčšia odtok. Miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude výrazne menšia, najmä vo vegetačnom období. Zásoby podzemnej vody klesnú, ich najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.



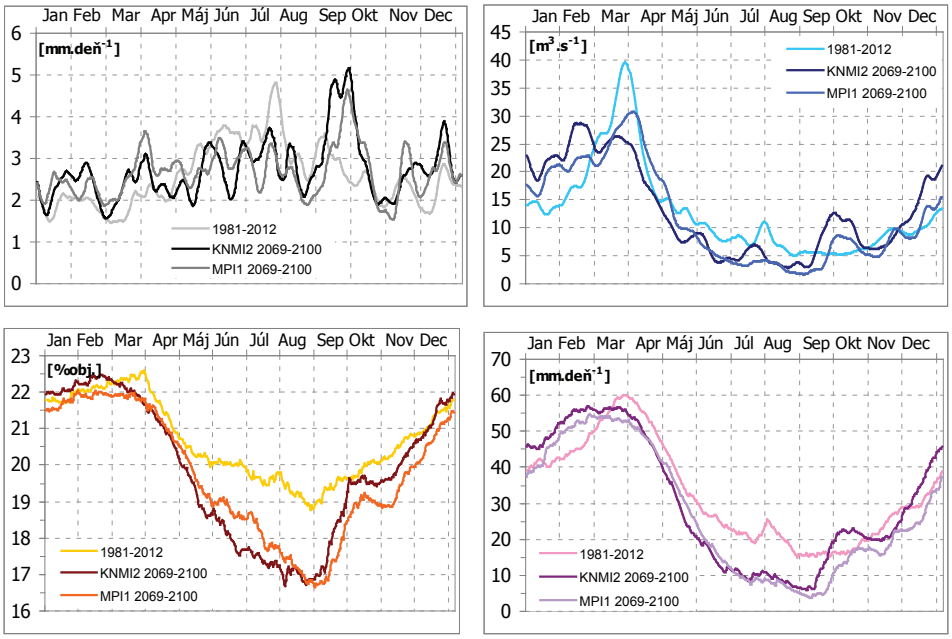
Obr. 4.6.2.12 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Ondavy

Fig. 4.6.2.12 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Ondava catchment

V scenári MPI1 (obr. 4.6.2.12) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude rovnaký, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, v zime bude mierne väčší úhrn, od mája do augusta menší. Celkový odtok bude menší, odtok z topenia snehu nastane cca o 10 dní neskôr, s menším maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu nastane menší odtok od mája do septembra, potom vyrovnaný odtok až do konca roku. Miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok v januári a februári. Pôdna vlhkosť bude výrazne menšia, najmä od mája do novembra. Zásoby podzemnej vody klesnú výraznejšie, ich najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, iba v januári a februári budú zásoby mierne väčšie.

Povodie Laborca po Humenné

V scenári KNMI2 (obr. 4.6.2.13) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude rovnaký, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, v zime bude mierne väčší úhrn, od mája do júla menší. Celkový odtok bude rovnaký, odtok z topenia snehu nastane o mesiac a pol skôr, s výrazne menším maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu nastane menší odtok od apríla do septembra, väčšie úhrny zrážok v septembri zväčšia odtok. Miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok počas zimy. Pôdna vlhkosť bude výrazne menšia, najmä vo vegetačnom období. Zásoby podzemnej vody klesnú, ich najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, v zime budú zásoby väčšie.



Obr. 4.6.2.13 Porovnanie ročného chodu úhrnov zrážok (vľavo hore), celkového odtoku (vpravo hore), pôdnej vlhkosti (vľavo dole) a zásob podzemnej vody (vpravo dole) predpokladaných hodnôt podľa scenárov KNMI2 a MPI1 s hodnotami referenčného obdobia 1981 – 2012 v povodí Laborca po Humenné

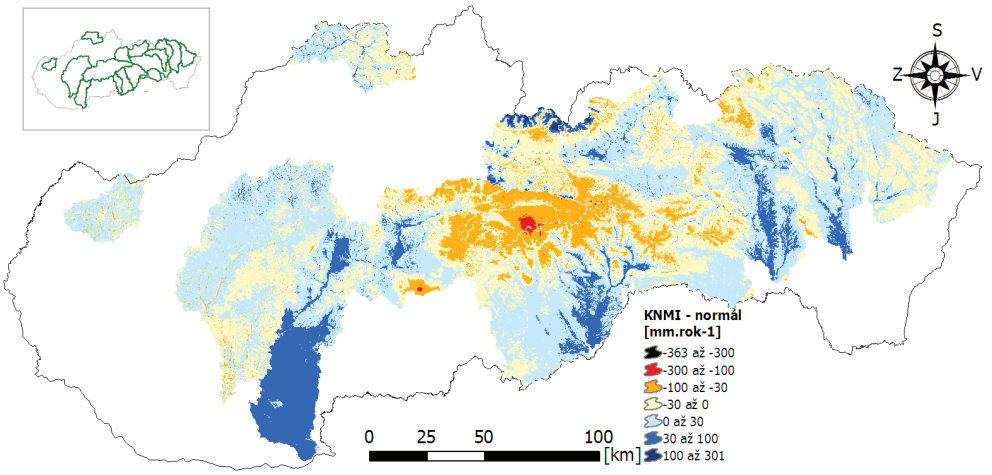
Fig. 4.6.2.13 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Laborec catchment up to Humenné station

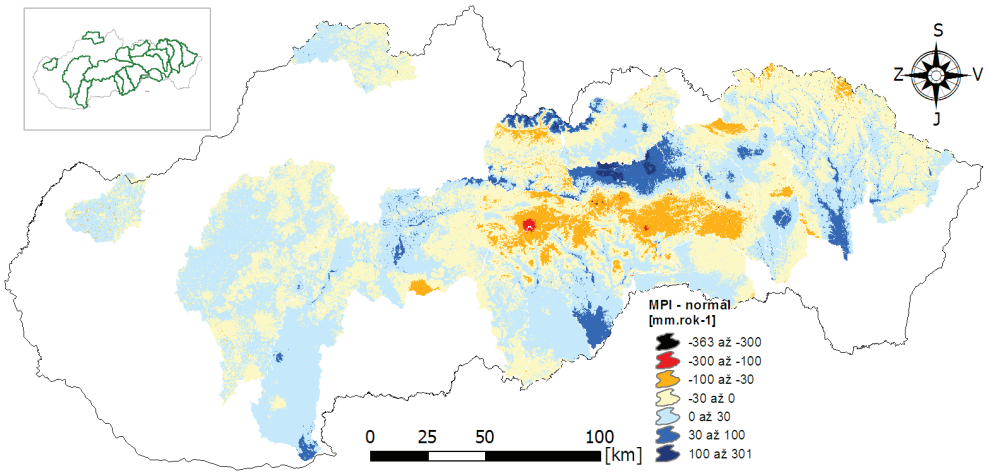
V scenári MPI1 (obr. 4.6.2.13) sa predpokladá, že celkový úhrn zrážok bude rovnaký, s presunom najväčších úhrnov zrážok z leta do jesene, v zime bude mierne väčší úhrn, od mája do júla menší. Celkový odtok bude rovnaký, odtok z topenia snehu o cca týždeň neskôr, s menším maximálnym odtokom v roku. Po roztopení snehu nastane menší odtok od apríla do septembra. Miernejšie zimy spôsobia menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok v januári a februári. Pôdna vlhkosť bude výrazne menšia, najmä od mája do novembra. Zásoby podzemnej vody klesnú výraznejšie, ich najväčší nedostatok nastane vo vegetačnom období, iba v januári a vo februári budú zásoby mierne väčšie.

4.7 PROGNÓZA ZMIEN V JEDNOTLIVÝCH PRVKOCH HYDROLOGICKEJ BILANCIE

V tejto podkapitole sú analyzované prognózované priestorové zmeny tých prvkov hydrologickej bilancie, ktoré sa dali kvantifikovať v každom rastri, teda zmeny zásob, úhrn zrážok, aktuálna evapotranspirácia, celkový odtok, povrchový odtok, podpovrchový odtok, podzemný odtok a pôdna vlhkosť. Na obrázkoch 4.7.1 až 4.7.8 je zobrazená prognózovaná zmena priemerného ročného úhrnu prvku podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 oproti jeho hodnote v referenčnom období 1981 – 2012.

Každý z použitých scenárov dal odlišné výsledky. Scenár KNMI2 je v zmenách zásob vody v povodí extrémnejší. Najviac zásob stratí stred Slovenska, najmä horný Hron a Hornád, naopak, viac zásob ostane v nížinách, dolinách, kotlinách, ale aj vo Vysokých Tatrách. Vo Vysokých Tatrách je dôvodom výskyt holej pôdy (skál). V tejto zložke sa totiž značne prejavuje druh využitia krajiny a zrnitosti pôdy. Scenár MPI1 predpovedá väčšiu stratu zásob ako scenár KNMI2, najvyššie straty sú v horných častiach povodí Hrona, Slanej, Rimavy, naopak najviac sa zvýšia zásoby v horných častiach povodí Hornádu, Popradu, horného Váhu a najnižšie položených území v povodí Rimavy, Hrona a Ondavy. Najextrémnejšie zmeny sa očakávajú v povodí Hornádu, kde vo vyšších polohách sa zásoby zvýšia, v stredných znižujú a v dolnej časti povodia sa opäť zvyšujú (obr. 4.7.1).

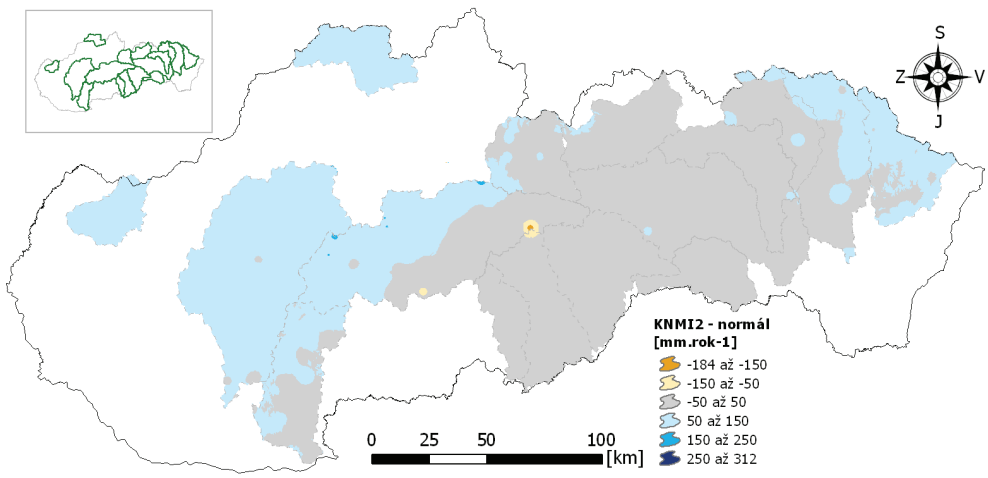


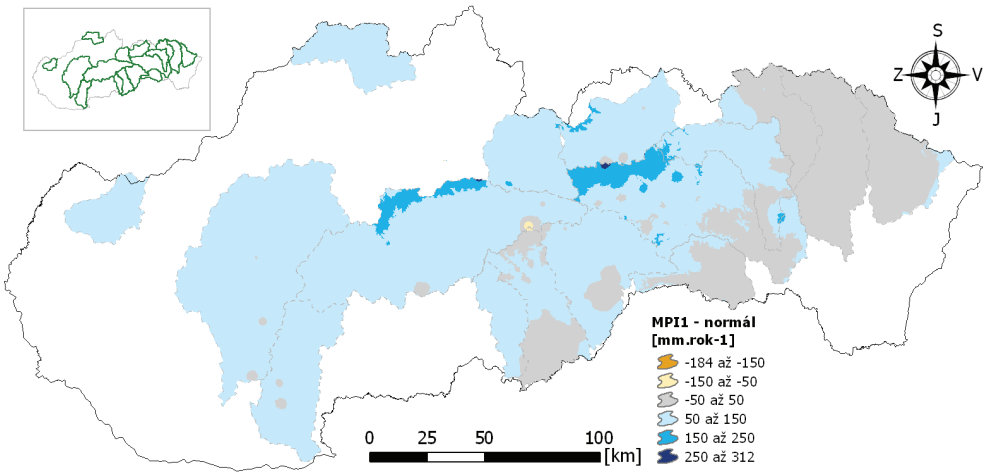


Obr. 4.7.1 Porovnanie rozdielu priemerných zmien zásob vody v povodí podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012

Fig. 4.7.1 Comparison of the differences in basin´s average water storage according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012

Ročný úhrn zrážok sa podľa oboch scenárov na Slovensku zvýši. Scenár KNMI2 predpovedá vyšší úhrn zrážok o 50 – 150 mm na západe a na severovýchode, čiže v povodiach Myjavy, Kysuce, Nitry, Hrona, Laborca a Ondavy. Povodiam v strede a na východe sa ročný úhrn nezmení. Zmenšenie úhrnov zrážok je len v 2 staniciach, čo by sme však mohli klasifikovať aj ako chybu, ktorá však naše výsledky výrazne neovplyvňuje. Scenár MPI1 predpovedá viac zrážok ako scenár KNMI2, najvyšší nárast možno očakávať vo vyšších nadmorských výškach, až okolo 300 mm, najmä v povodiach Hornádu, Hrona, Popradu a Váhu. Bez zmien ostane východ, povodia Ondavy, Laborca, Bodvy a z veľkej časti aj Rimavy (obr. 4.7.2).

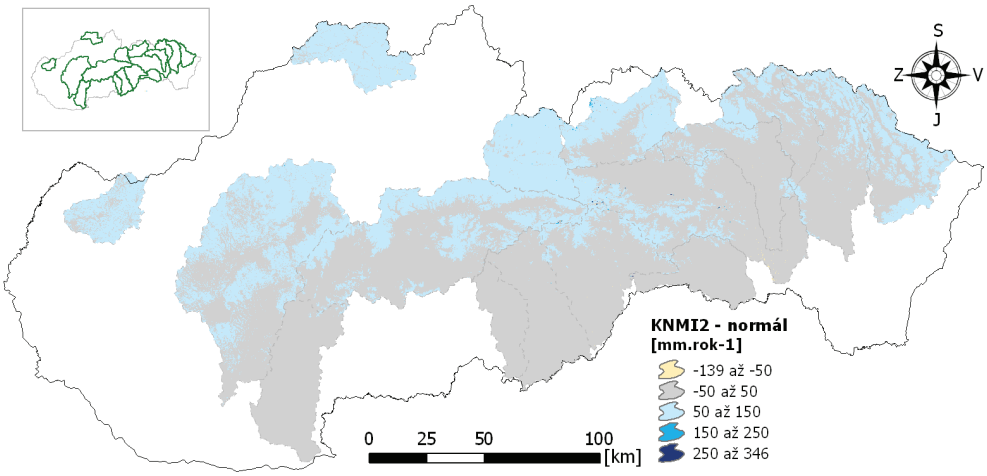


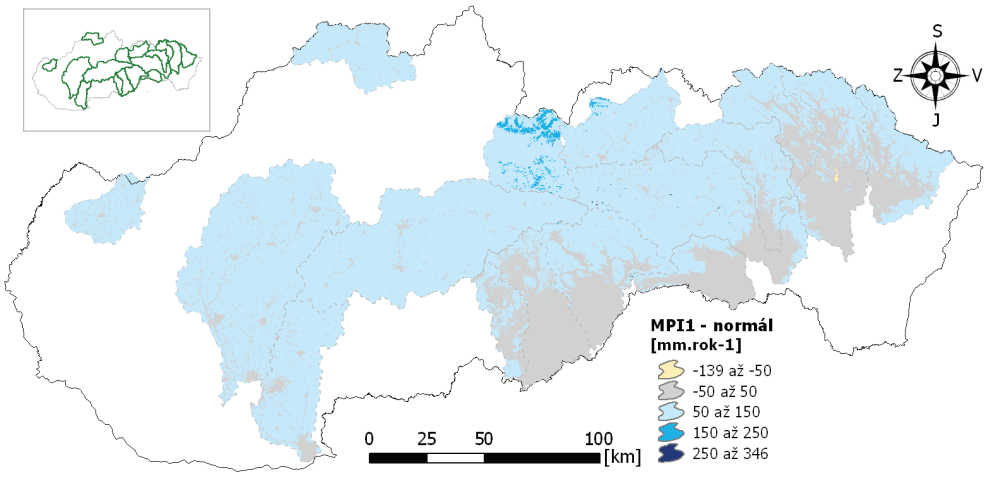


Obr. 4.7.2 Porovnanie rozdielu v priemerných ročných úhrnoch zrážok podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012

Fig. 4.7.2 Comparison of the differences in average precipitation according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012

Ročný úhrn aktuálnej evapotranspirácie sa podľa oboch scenárov na Slovensku zvýši. Scenár KNMI2 predpovedá vyšší úhrn aktuálnej evapotranspirácie na západe a severovýchode o 50 – 150 mm, čiže logicky na miestach zvýšeného úhrnu zrážok s väčším nárastom vo vyšších nadmorských výškach. Najviac sa zvýši v povodiach Kysuce, horného Váhu a Myjavy. V južnejších častiach ostane aktuálna evapotranspirácia nezmenená, najmä v povodiach Ipľa, Rimavy, Bodvy, Slanej a Hornádu. Scenár MPI1 predpovedá výraznejší nárast aktuálnej evapotranspirácie ako scenár KNMI2, vo vyšších nadmorských výškach bude nárast najvyšší, miestami 150 – 250 mm. Aktuálna evapotranpirácia sa zvýši v každom povodí, najviac v povodiach horného Váhu, Popradu, Hornádu a Hrona. Zníži sa len na mieste vodnej nádrže Domaša, scenár pravdepodobne predpokladá častý nedostatok vody v tejto nádrži (obr. 4.7.3).



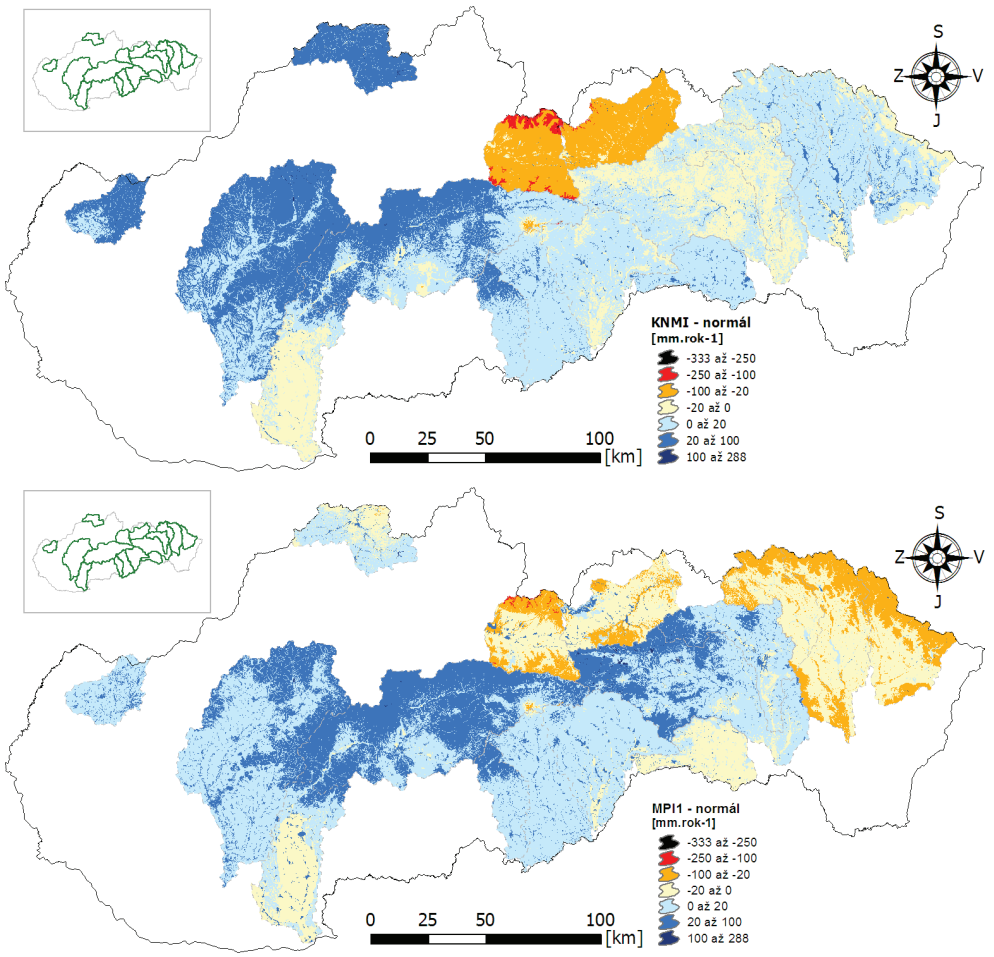


Obr. 4.7.3 Porovnanie rozdielu v priemerných ročných úhrnoch aktuálnej evapotranspirácie podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012

Fig. 4.7.3 Comparison of the differences in average real evapotranspiration according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012

V mapách ročného úhrnu celkového odtoku sa nepodarilo pospájať výsledky z jednotlivých povodí do uceleného obrazu, na rozvodniciach sú rozdiely, ktoré však nie sú až také veľké, ako to vyzerá na prvý pohľad, pretože farebná škála nie je rovnomerne rozložená. Na tejto mape je najviac viditeľná zložitosť tejto témy a dôvod nepresností je vysvetlený na začiatku tejto podkapitoly.

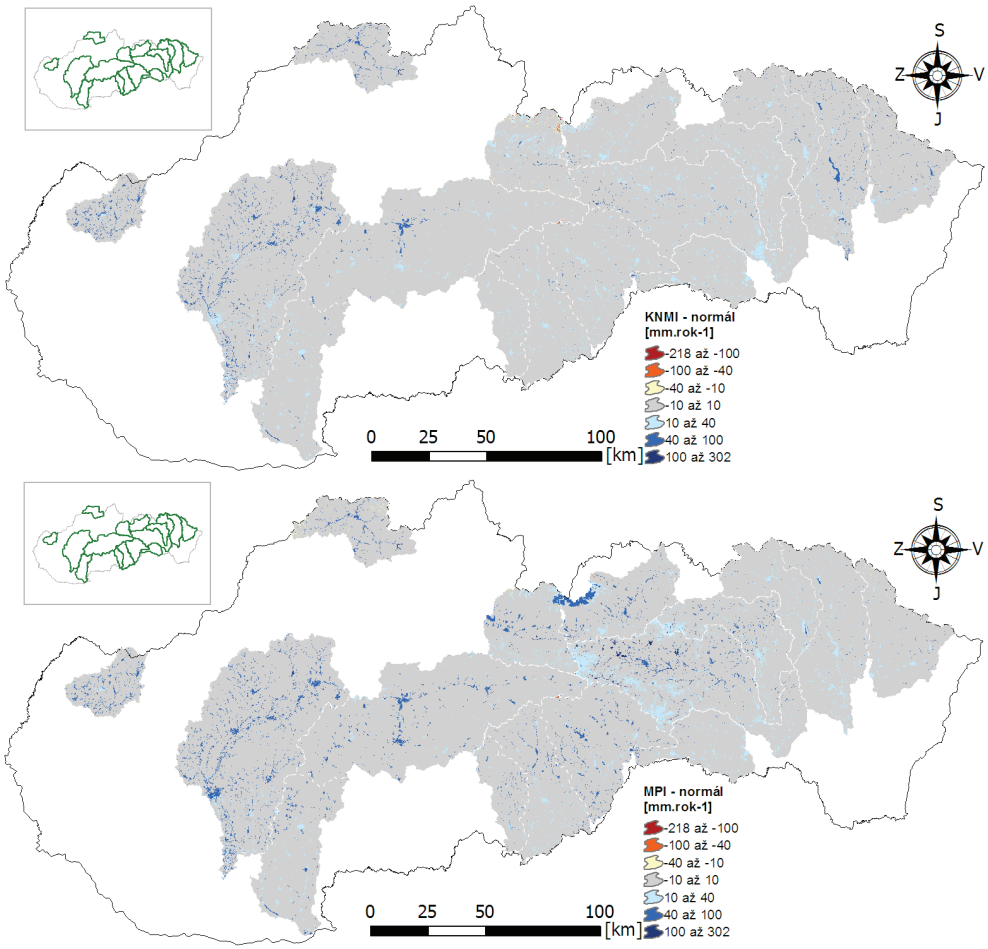
Ročný úhrn celkového odtoku sa podľa oboch scenárov na Slovensku zvýši, rozdelenie je však nerovnomerné. Podľa scenára KNMI2 bude najvyšší nárast celkového odtoku na západe, v povodiach Kysuce, Myjavy, Nitry, horného Hrona a Ipľa. Naopak, celkový odtok sa zníži v povodiach horného Váhu, Popradu, Hornádu, dolného Hrona. Podľa scenára MPI1 sa najviac zvýši celkový odtok v strede Slovenska, prejaví sa to v povodiach horného Hrona, Hornádu, Ipľa, Rimavy, Slanej a Nitry. Celkový odtok sa zníži na severe a na juhu, najmä v povodiach horného Váhu, Laborca, Ondavy, Popradu, Bodvy a dolného Hrona. V oboch scenároch sa najextrémnejšie správa povodie Hrona, pretože kým v hornej časti sa predpokladá zvýšenie odtoku, v dolnej jeho zníženie (obr. 4.7.4).



Obr. 4.7.4 Porovnanie rozdielu v priemerných ročných hodnotách celkového odtoku podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012

Fig. 4.7.4 Comparison of the differences in average annual total runoff values according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012

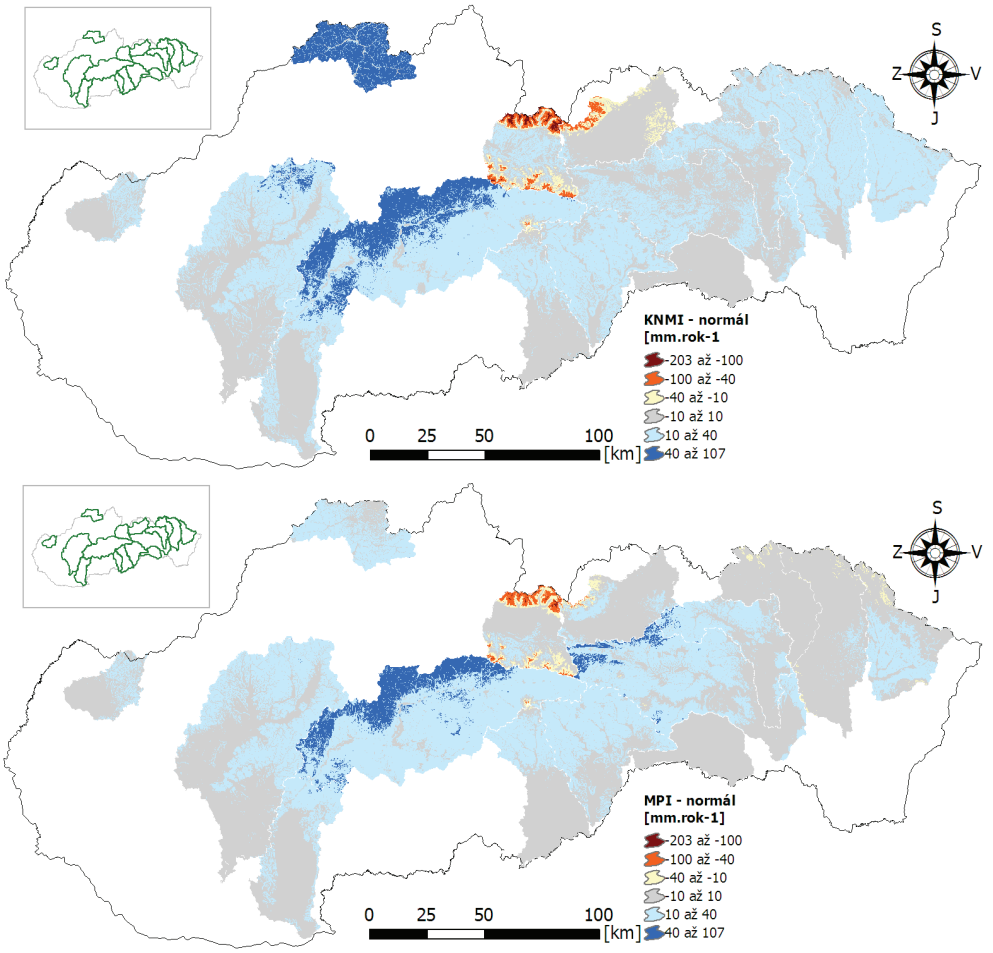
Ročný úhrn povrchového odtoku sa podľa oboch scenárov na Slovensku zvýši. Na mapách povrchového odtoku sa prejavuje najmä vplyv vstupnej mapy využitia krajiny. Najväčší nárast vzniká na urbanizovaných a vodných plochách, na ktorých sa predpokladá, že všetko odtečie po povrchu. Pri predpovedi nárastu zrážok teda bude narastať aj povrchový odtok z týchto plôch. Na ostatných plochách je povrchový odtok blízky nule, preto ani rozdiely nie sú významné (obr. 4.7.5).



Obr. 4.7.5 Porovnanie rozdielu v priemerných ročných hodnotách povrchového odtoku podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012

Fig. 4.7.5 Comparison of the differences in average annual surface runoff values according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012

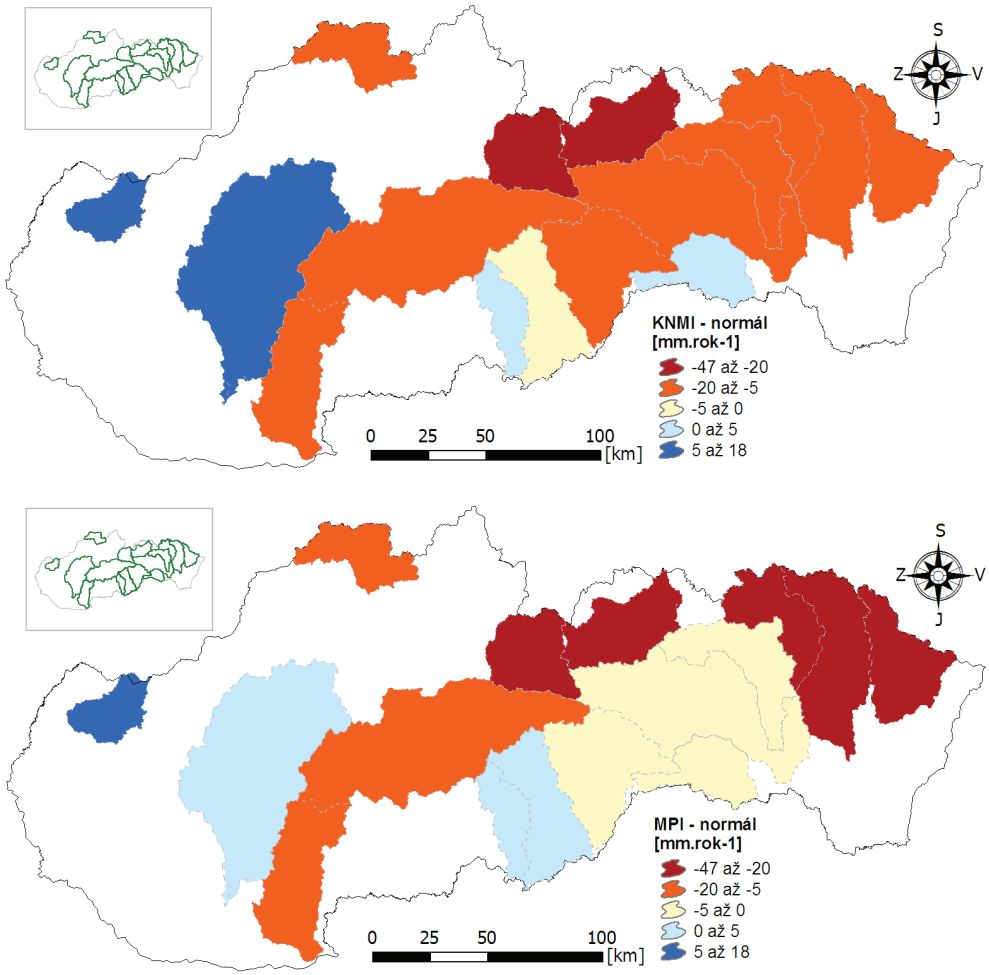
Ročný úhrn podpovrchového odtoku sa podľa oboch scenárov na Slovensku zvýši. Podľa scenára KNMI2 bude najvyšší nárast podpovrchového odtoku v povodiach Kysuce, Hrona, Laborca a Ondavy. Naopak, podpovrchový odtok sa zníži v povodiach horného Váhu a Popradu. Podľa scenára MPI1 sa najviac zvýši podpovrchový odtok v povodiach horného Hrona, Hornádu a Kysuce. Podpovrchový odtok sa zníži v povodí horného Váhu. V oboch scenároch sa najextrémnejšie správa povodie horného Váhu, kým vo vyšších polohách sa predpokladá zníženie podpovrchového odtoku, v nižších polohách jeho zvýšenie (obr. 4.7.6).



Obr. 4.7.6 Porovnanie rozdielu v priemerných ročných hodnotách podpovrchového odtoku podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012

Fig. 4.7.6 Comparison of the differences in average annual lateral flow (subsurface runoff) values according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012

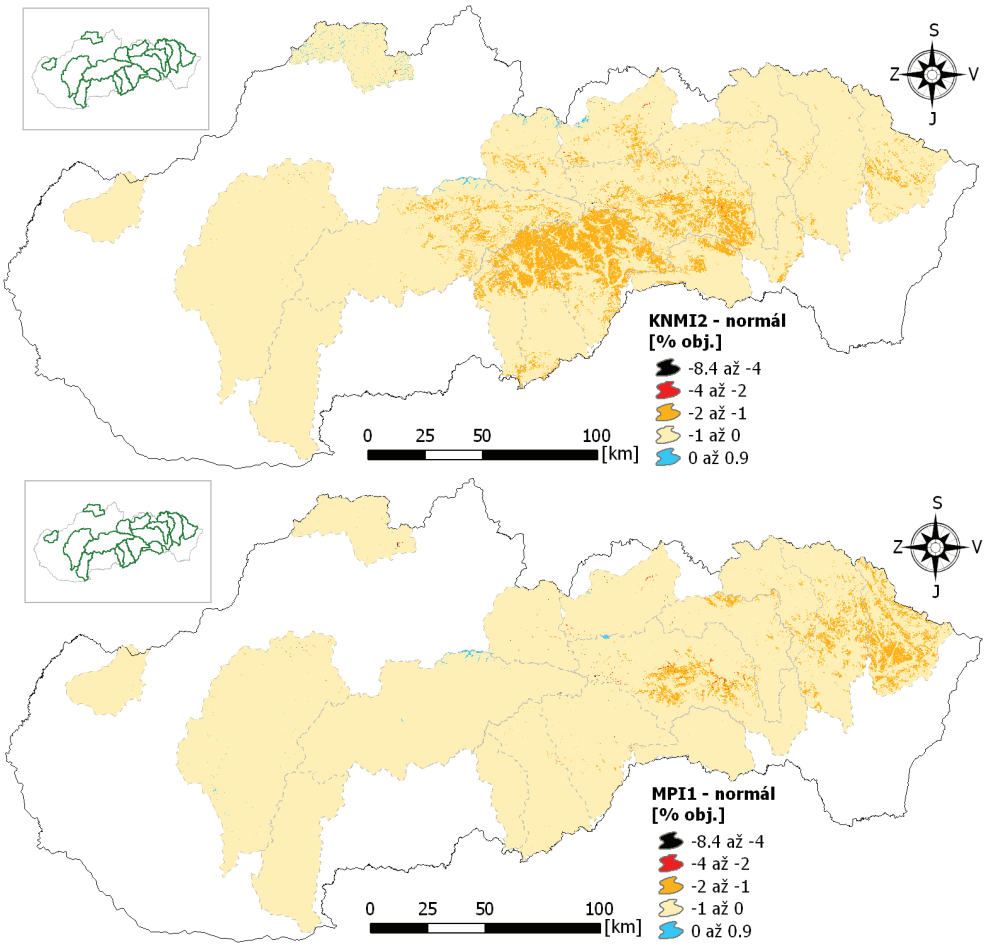
Podzemný odtok sa v modeli počíta ako priemer na celé povodie, nemá ho počítaný v každej bunke. Ročný úhrn podzemného odtoku sa podľa oboch scenárov na Slovensku zníži, avšak rozdelenie nie je rovnomerné. Podľa scenára KNMI2 bude podzemný odtok výraznejšie vyšší v povodiach Myjavy a Nitry, výraznejšie nižší v povodiach horného Váhu a Popradu. Podľa scenára MPI1 bude výraznejšie rásť podzemný odtok len v povodí Myjavy, výraznejšie sa zníži v povodiach horného Váhu, Popradu, Ondavy a Laborca (obr. 4.7.7).



Obr. 4.7.7 Porovnanie rozdielu v priemerných ročných hodnotách podzemného odtoku podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012

Fig. 4.7.7 Comparison of the differences in average baseflow (groundwater runoff) values according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012

Pôdna vlhkosť sa podľa oboch scenárov na Slovensku zníži. Podľa scenára KNMI2 bude najvýraznejší pokles pôdnej vlhkosti na strede, juhu a východe Slovenska v povodiach, horného Hrona, Ipľa, Rimavy, Slanej a Hornádu. Najmenej sa zníži v povodí Kysuce. Podľa scenára MPI1 bude pokles menej výrazný ako podľa scenára KNMI2, najvýraznejší pokles bude na východe Slovenska, najmä v povodiach Hornádu, Ondavy a Laborca. V oboch scenároch sa však najextrémnejšie správa pôdna vlhkosť v povodiach Popradu a Hornádu (obr. 4.7.8).



Obr. 4.7.8 Porovnanie rozdielu v priemerných ročných hodnotách pôdnej vlhkosti podľa scenárov KNMI2 a MPI1 v rokoch 2069 – 2100 voči referenčnému obdobiu 1981 – 2012

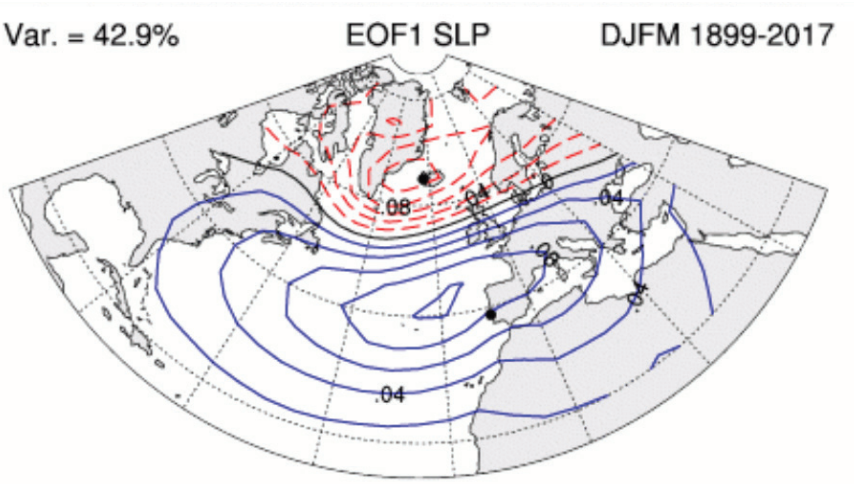
Fig. 4.7.8 Comparison of the differences in average soil moisture values according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012

4.8 PROGNÓZA VÝSKYTU HYDROLOGICKÉHO SUCHA POMOCOU INDEXU SEVEROATLANTICKEJ OSCILÁCIE NAO

Dlhodobé kolísanie zrážok, teploty vzduchu a i prietokov v tokoch v Európe sa v poslednom období čoraz viac dáva do súvisu so severoatlantickou osciláciou NAO (North Atlantic Oscillation). Podľa Hurrella et al. (2003) **NAO index** sa určuje tlakovým gradientom medzi tlakovou výšou nad Azorami (Ponta Delgada, alebo Lisabonom) a tlakovou nížou nad Islandom (Stykkisholmur/ Reykjavik) - obr. 4.8.1. Ak je tlakový gradient medzi Azorami a Islandom nízky (negatívna fáza NAO), tak sa pohyb teplého a vlhkého oceánskeho vzduchu nad Európou spomaľuje. V južnej Európe prevládajú vlhkejšie roky. Pozitívne hodnoty indexu NAO sa zvyčajne

spájajú s intenzívnejšími meteorologickými systémami nad severným Atlantikom a vlhším počasím nad severnou a západnou Európou (Hurrell a Deser, 2009). Základom NAO fenoménu je hlbinné oceánske prúdenie (termohalinná cirkulácia) majúce pôvod až na južnej pologuli a v Indonézii.

V tejto kapitole sa zaoberáme analýzou dlhodobých trendov a možnosťami dlhodobej predpovede výskytu hydrologického sucha resp. minimálnych prietokov slovenských riek na základe zimného indexu severoatlantickej oscilácie – NAOIw. Zo štatistických analýz vyplýva, že ak je hodnota zimného NAO indexu kladná, potom sú prietoky v slovenských tokoch zvyčajne podnormálne. Roky s nízkym zimným NAO indexom sú výrazne vodnejšie.



Obr. 4.8.1 Index zimného (december až marec) NAO na základe rozdielu normalizovaného tlaku na hladinu mora (SLP) medzi Lisabonom, Portugalskom a Stykkisholmurom / Reykjavikom na Islande od roku 1864. Hodnoty SLP na každej stanici sa normalizovali odstránením dlhodobého priemeru a vydelením dlhodobou štandardnou odchýlkou. Dlhodobé priemery aj štandardné odchýlky sú počítané z obdobia 1864–1983, (podľa Hurrel et al., 2017).

Fig. 4.8.1 Winter (December through March) index of the NAO based on the difference of normalized sea level pressure (SLP) between Lisbon, Portugal and Stykkisholmur/Reykjavik, Iceland since 1864. The SLP values at each station were normalized by removing the long-term mean and by dividing by the long-term standard deviation. Both the long-term means and standard deviations are based on the period 1864–1983 (Hurrel et al., 2017).

Pri analýze vzájomnej závislosti medzi klimatickými módmi na severnej pologuli a prietokmi v SR sme použili viaceré indexy severoatlantickej oscilácie (NAOI) a rady priemerných ročných prietokov vybraných slovenských riek z databázy SHMÚ.

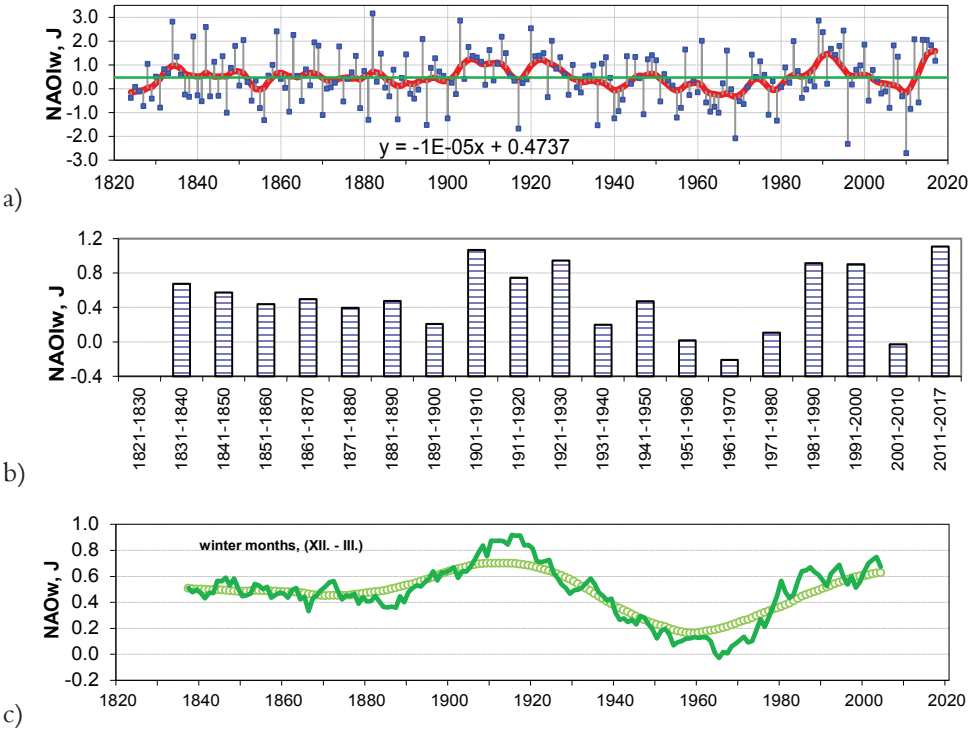
Index NAO

Na účely predpovede vývoja hydrologických a klimatických charakteristík pre daný rok sa používa rad zimných mesačných priemerov indexov NAO (priemery za mesiace december z predchádzajúceho roku až marec daného roku).

Existujú viaceré rady indexov NAO, napr.:

- podľa Jonesa et al. (1997) od roku 1824 (Gibraltar – Island, NAOIJ obr. 4.8.2; 4.8.3), https://crudata.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm;
- podľa Hurrella a National Center for Atmospheric Research Staff (Eds), od roku 1856 (Lisabon-Reykjavik - NAOIH), https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based;
- alebo podľa Strediska pre predpovedanie klímy pri NOAA (US NOAA, National Weather Service Center for Weather and Climate Prediction), ktoré sú k dispozícii od roku 1951 http://www.cpc.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml.

Na obr. 4.8.2 sú vykreslené ročné a dekádne hodnoty zimného indexu severoatlantickej oscilácie NAOIw podľa Jonesa. Z priebehu ročných hodnôt je vidieť, že NAO funguje vo viacročných cykloch, dochádza k zhlukovaniu 5 – 7 ročných vyšších a nižších hodnôt. Podobne, z priebehu tridsaťročných priemerov možno sledovať dlhodobé cca 70 – 80-ročné cykly. Na identifikáciu dĺžky týchto cyklov sme použili viaceré metódy: grafické metódy, autokorelačnú analýzu a spektrálnu analýzu.

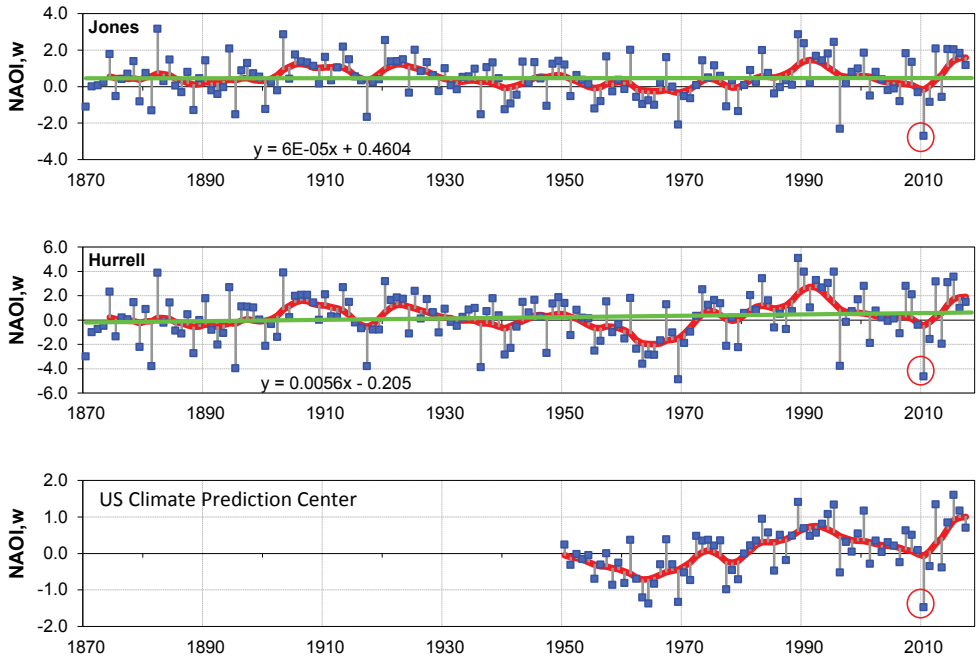


Obr. 4.8.2 a) Ročné hodnoty zimného indexu severoatlantickej oscilácie NAOIw podľa Jonesa (modré body) a filtrované (5-ročné kĺzavé priemery, červená čiara); b) Desaťročné priemery; c) 30-ročné kĺzavé priemery (čiara).

Fig. 4.8.2 a) Annual values of the winter NAO index NAOIw according to Jones (blue points) and filtered data (5-year moving averages, red line); b) Decadal averages; c) 30-years moving averages of the NAOIw phenomena.

Z dlhodobého hľadiska (obdobie 1824 – 2017) nedochádza v prípade zimného indexu NAO podľa Jonesa k rastu, alebo poklesu. Ako vidno na obrázkoch 4.8.2 a 4.8.3 v rokoch 1989 – 1995 boli hodnoty zimného NAO indexu nadpriemerné. Toto obdobie bolo na Slovensku poznamenané nízkymi prietokmi slovenských tokov. Podobne v rokoch 1920 – 1925 boli indexy NAOIw nadpriemerné, na našom území i v celom povodí Dunaja spojené s výskytom historického suchého roku 1921.

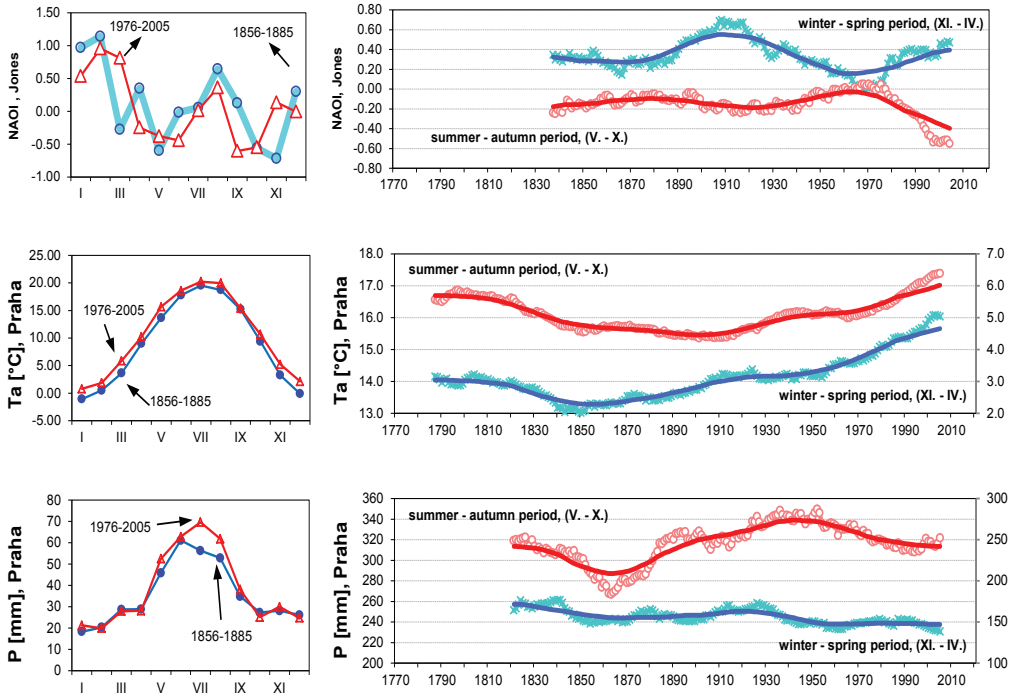
Na druhej strane pozoruhodný je zimný index NAOw v roku 2009/2010 a v roku 2005/2006. Jonesov index v roku 2009/10 bol najnižší za posledných 190 rokov (Osborn, 2011). Rok 2010 bol na Slovensku mimoriadne vodný. Tento rok bol v celej strednej Európe poznamenaný katastrofickými povodňami. Bohužiaľ, nie sú k dispozícii hodnoty NAOI za rok 1813, v ktorom sa v strednej Európe vyskytla historicky najväčšia známa povodeň.



Obr. 4.8.3 Zimné NAO indexy za obdobie 1871 – 2017 a obdobie 1950 – 2017
Fig. 4.8.3 Winter NAO indexes, periods 1871 – 2017 and 1950 – 2017

Zaujímavý je dlhodobý mesačný priebeh NAO indexov a priebeh za letno–jesennú a zimno–jarnú sezónu. Zatiaľ čo zimno–jarný index prirodzene kolíše, letno-jesenný index po roku 1970 výrazne klesá.

Z obrázku 4.8.4 môžeme vidieť, že rast teploty vzduchu v strednej Európe (stanica Praha - Klementinum; http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/praha-klementinum) a NAO fenomén spolu nesúvisia. NAO má svoj vlastný dlhodobý cyklus.



Obr. 4.8.4 30-ročné mesačné priebehy NAO indexu podľa Jonesa, teploty vzduchu a zrážkových úhrnov v stanici Praha: Klementinum, dve obdobia (vľavo). Priebeh 30-ročných kĺzavých priemerov za zimno-jarnú a letno jesennú sezónu (vpravo)

Fig. 4.8.4 30-years monthly averages of the NAO indexes, air temperature and precipitation totals for two periods (left). Course of 30-years moving averages of winter spring and summer – autumn periods (right)

Údaje zo stanice Praha - Klementinum sme použili na prezentáciu vzhľadom na ich unikátnu dĺžku a kvalitu pozorovaní. Sme si vedomí, že zatiaľ čo dlhodobý trend teploty vzduchu z jednej stanice reprezentuje trend teploty širšieho regiónu (teda i Slovenska), o trende zrážok to neplatí. Z dlhodobého hľadiska teplota vzduchu v strednej Európe v období 1775 – 1850 klesala, od roku 1850 rastie. Tým sa zvyšuje výpar - evapotranspirácia, čo má nepriaznivý vplyv na odtok vody z povodí riekami – odtoky klesajú.

Stahl et al. (2001) skúmali závislosť medzi mesačnými, dvojmesačnými a sezónnymi hodnotami NAOI a výskytom sucha v rôznych povodiach Európy (obdobie 1962 – 1990). Povodia v Európe rozdelili do 18-tich regiónov. Stredoslovenské povodia boli zaradené do regiónu č. 15. V našom - stredoeurópskom regióne bola pozorovaná slabá závislosť zrážkových úhrnov na NAO fenoméne, ale nórske, anglické alebo španielske toky vykazujú výraznú závislosť prietokov na NAOI. Podobne Shorthouse a Arnell (1997) študovali vzťah medzi vnútroročnou variabilitou klímy – vyjadrenou NAOI – a priestorovým rozdelením odtoku v Európe. Analýza bola založená na regionálnych údajoch mesačných prietokov z Európskeho archívu FRIEND zo 477 malých povodí z rokov 1961 až 1990. Autori dokázali, že odtok z európskych riek kore-

luje (predovšetkým v zime) s hodnotami NAOI a že táto závislosť má priestorové rozdelenie. Severoeurópske rieky vykazujú kladnú závislosť s hodnotami NAOI, zatiaľ čo rieky južnej Európy majú zápornú závislosť s indexom NAO.

Územím Slovenska prechádza imaginárna hranica medzi severozápadnou a juhovýchodnou Európou (Adler et al., 1999). Táto hranica sa z roka na rok presúva. Vplyv fenoménu NAO na zrážky (a teda i odtok) je rôzny, preto musíme študovať súvis medzi zimným indexom NAO a odtokom v jednotlivých povodiach SR osobitne.

Dlhodobé trendy radov prietokov

Pri štatistických analýzach dlhodobého vývoja prietokov sme vychádzali z údajov o priemerných denných prietokoch, podobne ako pri ich hodnotení v kap. 4.1.3. U šiestich tokov, ktorými boli Váh, Kysuca, Hron, Topľa, Nitra a Ipeľ, sme však hodnotené obdobie predĺžili až na 85 rokov obdobia 1931 – 2015. Základné charakteristiky a opis vybraných povodí sú uvedené v kap. 2. Hydrologické charakteristiky daných povodí po vybrané profily sú uvedené v tabuľke 4.8.1. Z odtokovej výšky ***R*** vyplýva, že napr. Váh a Kysuca v hodnotených profiloch majú viac ako trojnásobný odtok oproti profilu na toku Ipeľ, a viac ako dvojnásobný v porovnaní s hodnotenými profilmi na tokoch Topľa a Nitra.

Tab. 4.8.1 Základné údaje o vodomerných staniciach (***Qa*** - priemerný ročný prietok, ***R*** – odtoková výška)

Tab. 4.8.1 Basic characteristics of the water gauges (***Qa*** - average annual discharge, ***R*** – runoff depth)

Rieka	Stanica	Obdobie	Plocha ($km^{2)}$	Nula vodočtu (m n. m.)	Qa (m^3s^{-1})	R (mm)
1931 – 2015						
Váh	Liptovský Mikuláš		1107	568	20,4	581
Kysuca	Kysucké Nové Mesto		955	346	16,23	536
Hron	Brehy		3821	195	46,7	385
Topľa	Hanušovce		1050	160	8,13	244
Nitra	Nitrianska Streda		2094	158	14,6	220
Ipeľ	Holiša		686	172	3,08	142
1981 – 2015						
Myjava	Šaštín-Stráže		645	164	2,62	128
Rimava	Vlkyňa		1377	151	5,74	132
Poprad	Chmeľnica		1262	507	14,93	373
Torysa	Košické Oľšany		1298	186	7,53	183

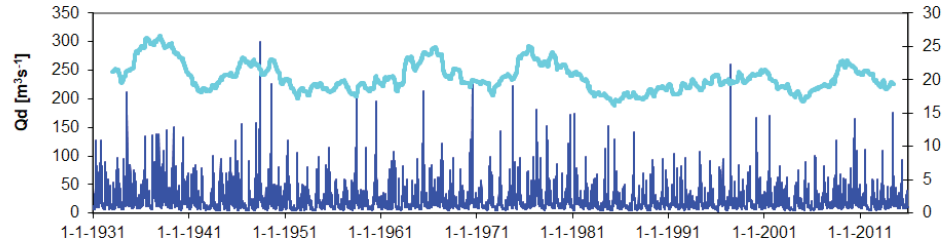
Na obrázkoch 4.8.5a-f sú názorne prezentované výsledky rôznych štatistických analýz zo šiestich staníc s neprerušenými dlhými radmi pozorovaní. Na prvom obrázku sú vykreslené priebehy priemerných denných a ročných prietokov a uvedené základné hydrologické charakteristiky priemerných denných prietokov.

Denné prietoky **Váh: Liptovský Mikuláš**

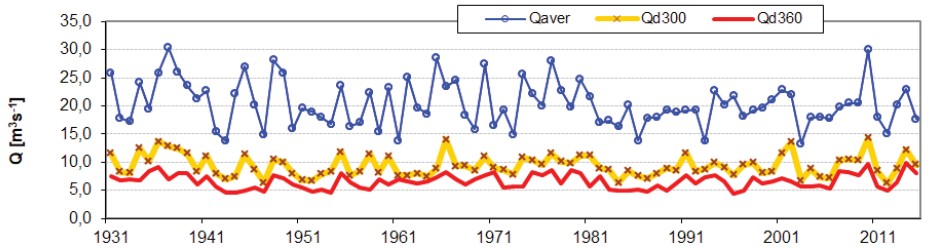
Plocha	1107 km^2
Začiatočný rok	1930
Posledný rok	2015

Základné hydrologické charakteristiky priemerných denných prietokov

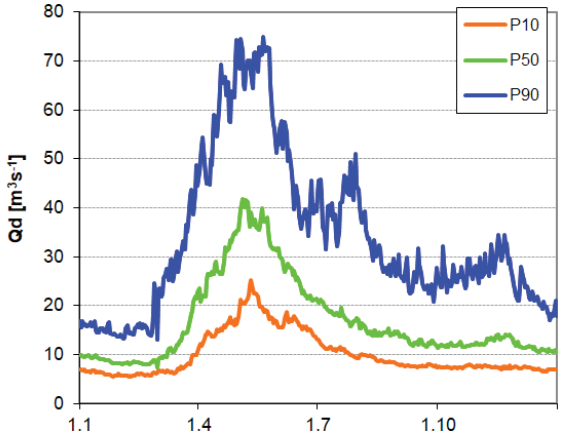
	mean	min	max	330-day	30-day	cs	cv
Q [m^{3}s^{-1}]	20,40	4,20	300	7,34	44	3,03	0,83
q [l.s^{-1}km^{-2}]	18,42	3,79	271,0	6,63	39,7		
R [mm]	581,0						



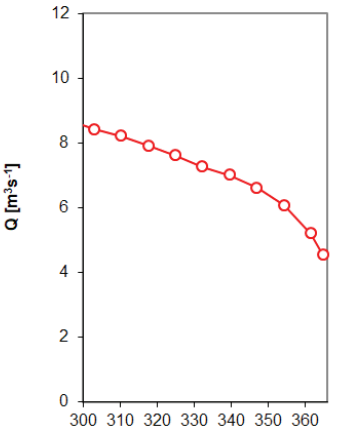
Priemerné denné prietoky a 4-ročné kĺzavé prietoky .



Priebeh priemerných ročných prietokov a lineárny trend, priebeh 300- a 360-dňových prietokov.



Dlhodobé percentily denných prietokov.



M-denné prietoky.

Obr. 4.8.5a Panel základného štatistického a grafického vyhodnotenia prietokov v stanici Váh - Liptovský Mikuláš

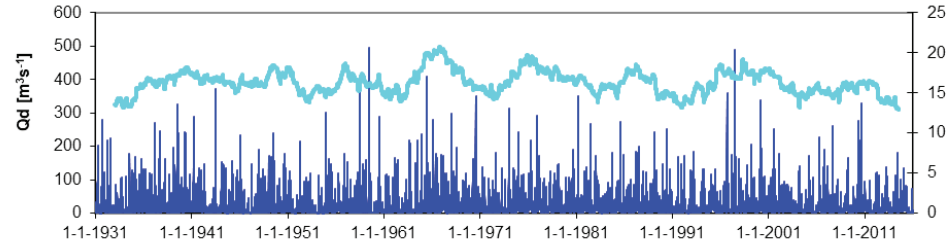
Fig. 4.8.5a Panel of the basic statistical and graphical evaluation of discharges at gauging profile Váh - Liptovský Mikuláš

Denné prietoky **Kysuca: Kysucké Nové Mesto**

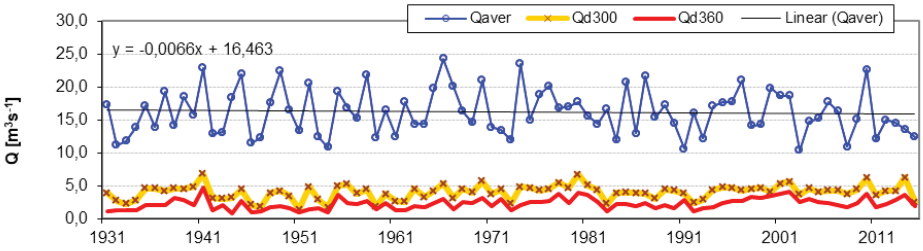
Plocha	955 km^2
Začiatočný rok	1931
Posledný rok	2005

Základné hydrologické charakteristiky priemerných denných prietokov

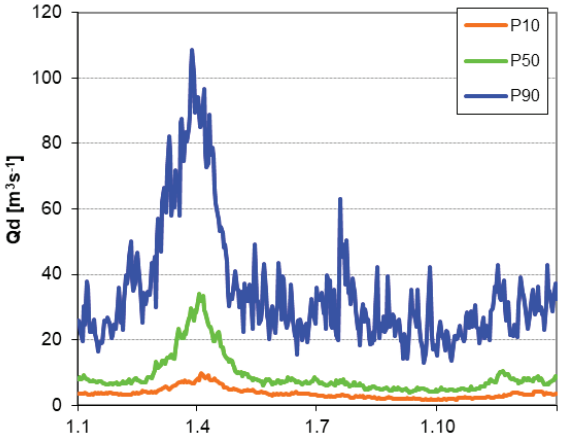
	priemer	minimum	maximum	330-den.	30-den.	cs	cv
Q [m^{3}s^{-1}]	16,23	0,84	496	2,80	43	5,16	1,54
q [l.s^{-1}km^{-2}]	16,99	0,88	519,3	2,93	45,0		
R [mm]	535,7						



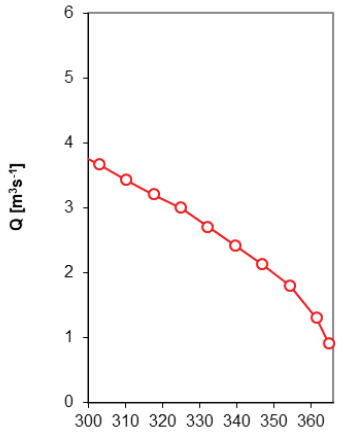
Priemerné denné prietoky a 4-ročné kĺzavé prietoky



Priebeh priemerných ročných prietokov a lineárny trend, priebeh 300- a 360-dňových prietokov.



Dlhodobé percentily denných prietokov.



M-denné prietoky.

Obr. 4.8.5b Panel základného štatistického a grafického vyhodnotenia prietokov v stanici Kysuca -Kysucké Nové Mesto

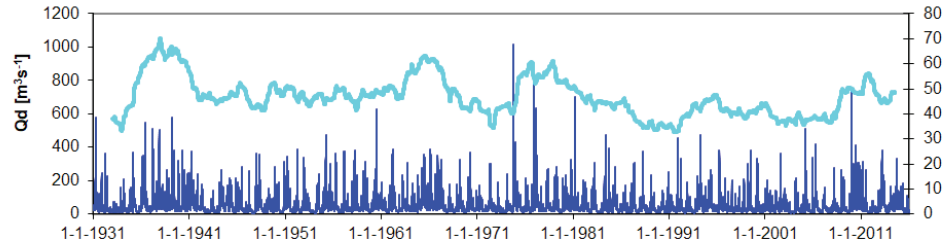
Fig. 4.8.5b Panel of the basic statistical and graphical evaluation of discharges at gauging profile Kysuca - Kysucké Nové Mesto

Denné prietoky **Hron: Brehy**

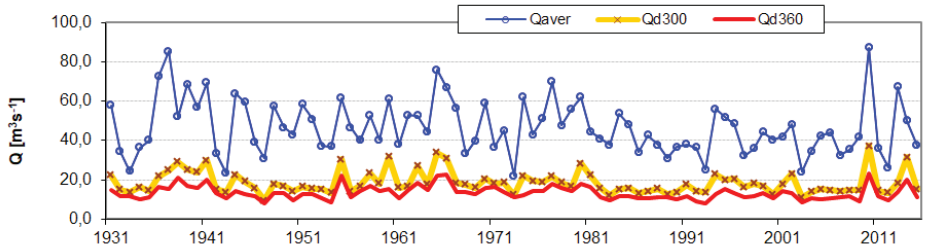
Plocha	3821 km^2
Začiatočný rok	1931
Posledný rok	2005

Základné hydrologické charakteristiky priemerných denných prietokov

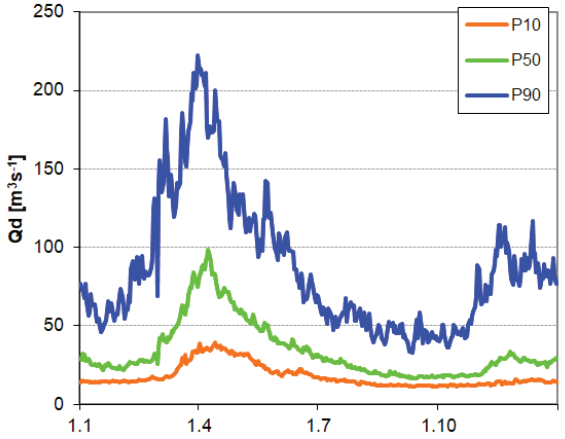
	mean	min	max	330-day	30-day	cs	cv
Q [m^{3}s^{-1}]	46,68	7,70	1013	14,00	110	3,93	1,07
q [l.s^{-1}km^{-2}]	12,21	2,01	265,1	3,66	28,7		
R [mm]	385,2						



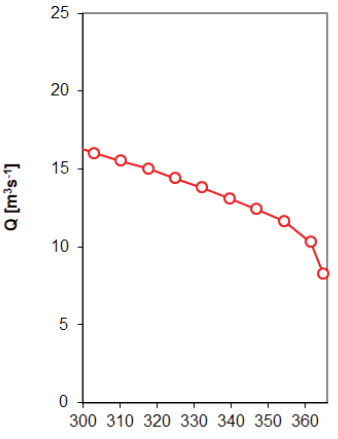
Priemerné denné prietoky a 4-ročné kĺzavé prietoky .



Priebeh priemerných ročných prietokov a lineárny trend, priebeh 300- a 360-dňových prietokov.



Dlhodobé percentily denných prietokov.



M-denné prietoky.

Obr. 4.8.5c Panel základného štatistického a grafického vyhodnotenia prietokov v stanici Hron - Brehy

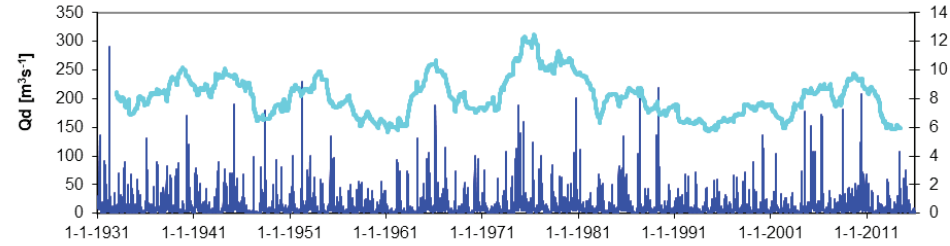
Fig. 4.8.5c Panel of the basic statistical and graphical evaluation of discharges at gauging profile Hron - Brehy

Denné prietoky **Topľa: Hanušovce nad Topľou**

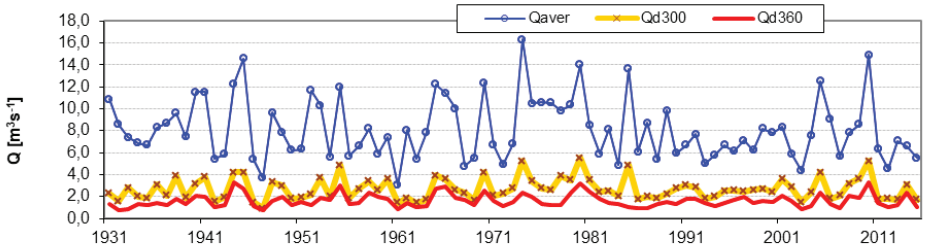
Plocha	1050 km^2
Začiatočný rok	1931
Posledný rok	2005

Základné hydrologické charakteristiky priemerných denných prietokov

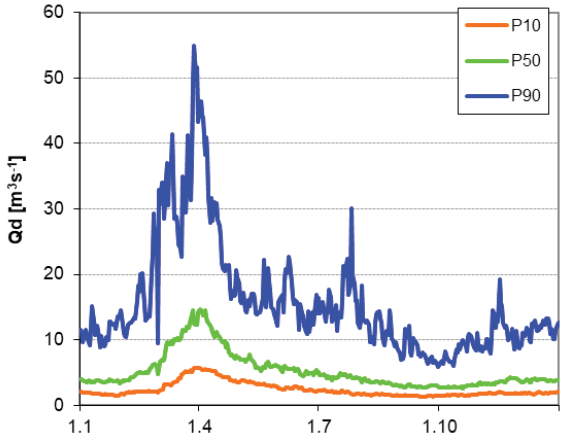
	mean	min	max	330-day	30-day	cs	cv
Q [m^{3}s^{-1}]	8,13	0,71	290	1,80	19	6,42	1,49
q [l.s^{-1}km^{-2}]	7,75	0,68	276,2	1,71	18,1		
R [mm]	244,3						



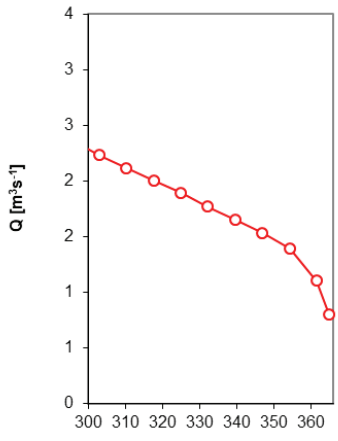
Priemerné denné prietoky a 4-ročné kĺzavé prietoky .



Priebeh priemerných ročných prietokov a lineárny trend, priebeh 300- a 360-dňových prietokov.



Dlhodobé percentily denných prietokov.



M-denné prietoky.

Obr. 4.8.5d Panel základného štatistického a grafického vyhodnotenia prietokov v stanici Topľa - Hanušovce nad Topľou

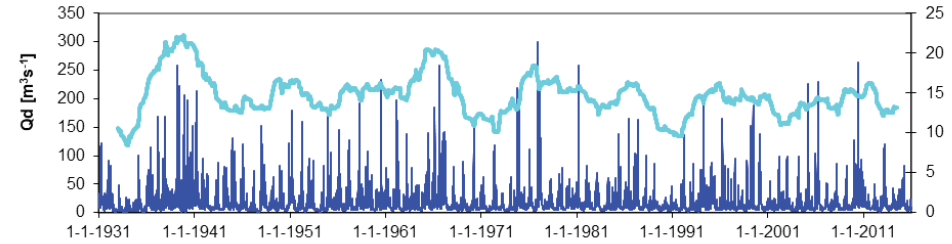
Fig. 4.8.5d Panel of the basic statistical and graphical evaluation of discharges at gauging profile Topľa - Hanušovce nad Topľou

Denné prietoky **Nitra: Nitrianska Streda**

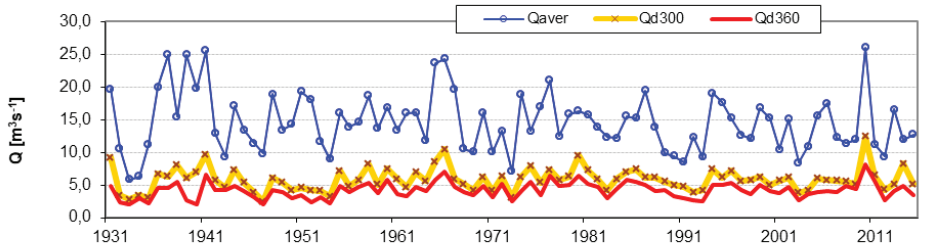
Plocha	2094 km^2
Začiatočný rok	1931
Posledný rok	2015

Základné hydrologické charakteristiky priemerných denných prietokov

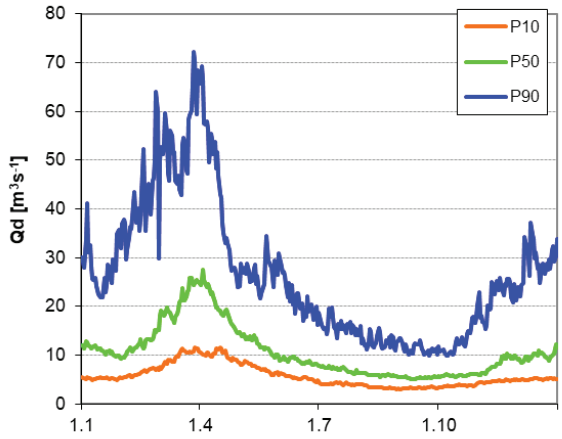
	mean	min	max	330-day	30-day	cs	cv
Q [m^{3}s^{-1}]	14,63	2,00	300	4,40	33	4,81	1,15
q [l.s^{-1}km^{-2}]	6,99	0,96	143,3	2,10	15,8		
R [mm]	220,4						



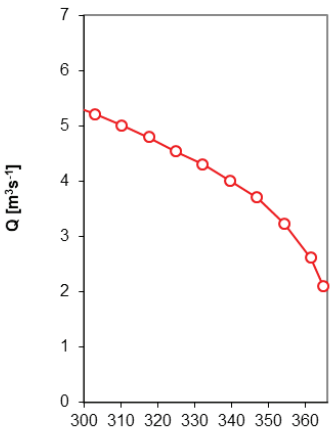
Priemerné denné prietoky a 4-ročné kĺzavé prietoky .



Priebeh priemerných ročných prietokov a lineárny trend, priebeh 300- a 360-dňových prietokov.



Dlhodobé percentily denných prietokov.



M-denné prietoky.

Obr. 4.8.5e Panel základného štatistického a grafického vyhodnotenia prietokov v stanici Nitra - Nitrianska Streda

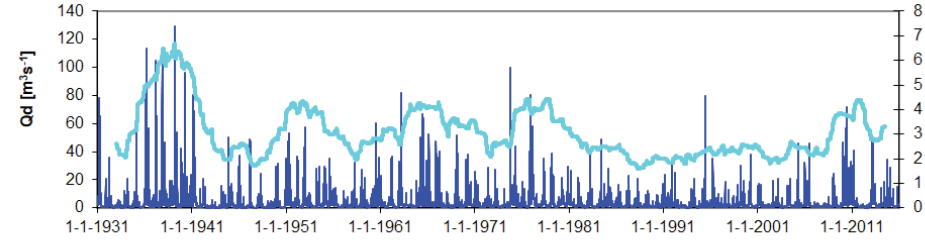
Fig. 4.8.5e Panel of the basic statistical and graphical evaluation of discharges at gauging profile Nitra - Nitrianska Streda

Denné prietoky **Ipeľ: Holiša**

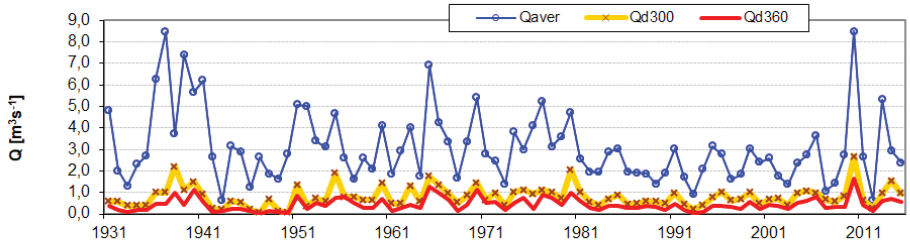
Plocha	686 km^2
Začiatočný rok	1931
Posledný rok	2005

Základné hydrologické charakteristiky priemerných denných prietokov

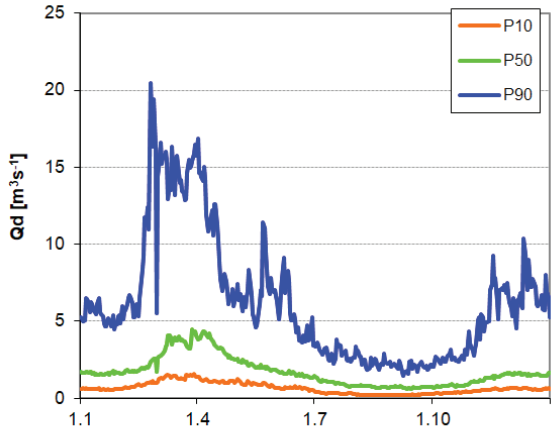
	mean	min	max	330-day	30-day	cs	cv
Q [m^{3}s^{-1}]	3,08	0,010	129,0	0,43	7,6	6,88	1,84
q [l.s^{-1}km^{-2}]	4,49	0,015	188,1	0,63	11,1		
R [mm]	141,5						



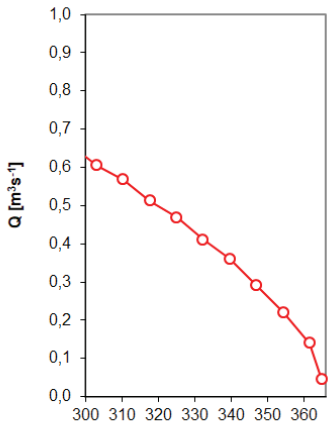
Priemerné denné prietoky a 4-ročné kĺzavé prietoky .



Priebeh priemerných ročných prietokov a lineárny trend, priebeh 300- a 360-dňových prietokov.



Dlhodobé percentily denných prietokov.



M-denné prietoky.

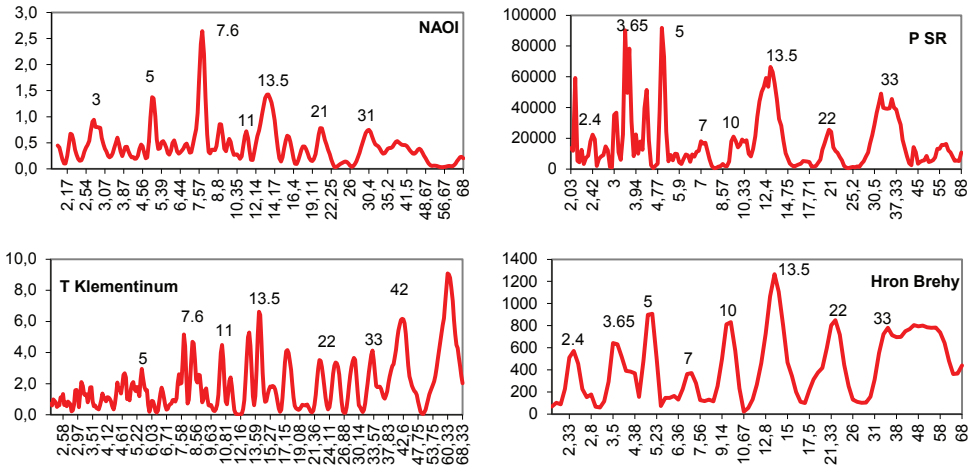
Obr. 4.8.5f Panel základného štatistického a grafického vyhodnotenia prietokov v stanici Ipeľ - Holiša

Fig. 4.8.5f Panel of the basic statistical and graphical evaluation of discharges at gauging profile Ipeľ - Holiša

Z obrázkov priebehov 4-ročných kĺzavých priemerov priemerných denných prietokov je zreteľný pokles prietokov v období cca 1986 – 2005 s výnimkou rieky Kysuca. Prietoky vo vybraných staniciach mierne klesajú, najvýraznejší je pokles v stanici Ipeľ - Holiša. Zaujímavý je tiež dlhodobý vývoj charakteristík malých vôd – dlhodobý trend 300- a 360-dňových prietokov. Za obdobie 1931 – 2015 nebol zaznamenaný významný pokles týchto charakteristík.

Autokorelačná a spektrálna analýza

Všetky rady priemerných ročných prietokov, rad ročných úhrnov zrážok na plochu územia Slovenska a rad zimných indexov NAOIw podľa Jonesa sme podrobili spektrálnej a autokorelačnej analýze za účelom nájdenia skrytých cyklov. V radoch boli spektrálnou analýzou – metódou kombinovaného periodogramu (Pekárová et al., 2003) nájdené cykly dĺžky cca 3,65; 5 – 6; 7; 10 – 11; 13,5; 22 rokov (a ich vyššie harmonické násobky). Na obr. 4.8.6 sú vykreslené príklady kombinovaných periodogramov vybraných radov. Cyklus 2,4 roka v rade prietokov znamená, že v rade je okrem 12 mesačného cyklu, ktorý vyplýva z obehu Zeme okolo Slnka, je aj cca 28 – 29 mesačný cyklus.



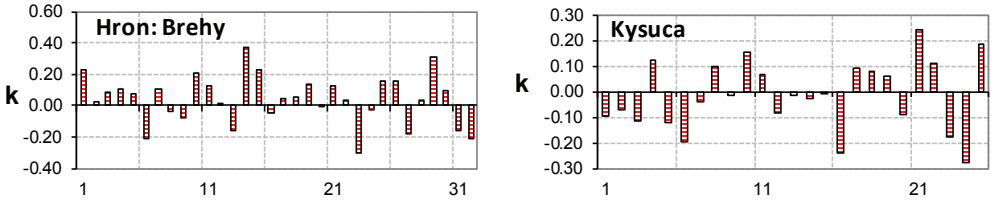
Obr. 4.8.6 Kombinovaný periodogram radu zimných indexov NAO, radu ročných úhrnovzrážok na územie SR, radu teploty vzduchu v Prahe Klementine, radu ročných prietokov Hronu v stanici Brehy. Na x-ovej osi sú dĺžky períód.

Fig. 4.8.6 Combined periodogram of the: winter NAO index time series, precipitation totals on the Slovakia territory series, air temperature – Praha Klementinum series, annual discharge of the Hron: Brehy series. The periods are on the x-axis.

Vo všetkých radoch sa objavuje cyklus o dĺžke 5 – 6 rokov. Znamená to, že prietoky z daného roka závisia na prietokoch spred piatich rokov. Z periodogramu nevieme určiť, či je táto závislosť kladná (priama), alebo záporná (nepriama). Typ závislosti môžeme identifikovať pomocou autokorelogramu daného radu. Obr. 4.8.7 prezentuje príklady autokorelogramov priemerných ročných prietokov Hronu a Kysuce.

Autokorelačné koeficienty pri posune o 5 – 6 rokov sú záporne, čo znamená, že základný cyklus je 11 rokov. Z tejto analýzy vyplýva, že po piatich až šiestich rokoch po výskyte prietokovo

nadnormálneho roku sa vyskytne rok suchý. Tento cyklus by mohol súvisieť so slnečnou aktivitou a termohalinnou cirkuláciou morskej vody. Hľadaním príčin týchto cyklov sa zaoberali viacerí autori, doteraz však nie sú úplne objasnené. Zaujímavé sú práce zaoberajúce sa vplyvom vnútorného pohybu Slnka okolo ťažiska Slnečnej sústavy na slnečnú aktivitu a následne na klímu na Zemi (Charvátová a Streštík, 1995; Charvátová, 2000, Garric a Huber, 2003; Liritzis a Fairbridge, 2003).



Obr. 4.8.7 Autokorelogramy priemerných ročných prietokov Hronu a Kysuce.

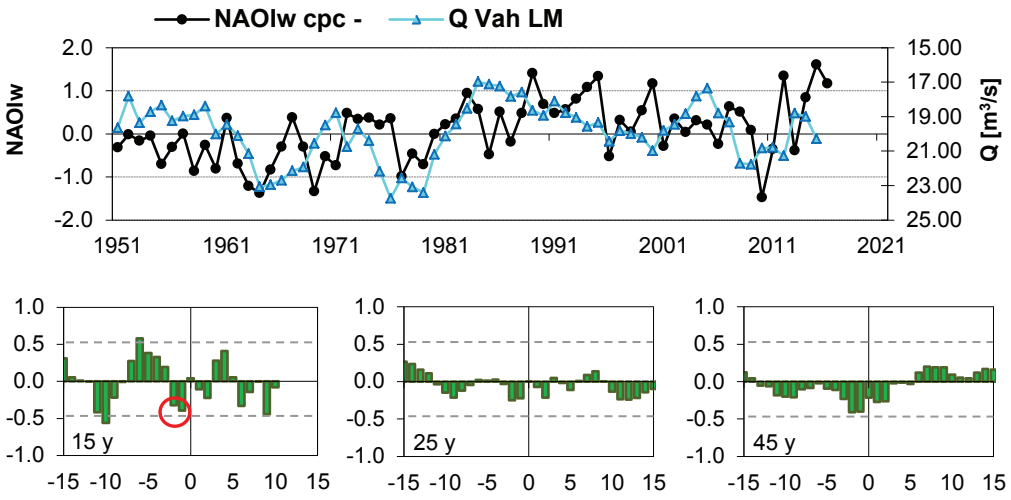
Fig. 4.8.7 Auto-correlograms of the annual discharge of the Hron and Kysuca Rivers.

Predpoveď výskytu suchého roku na základe zimného NAO indexu

Ako bolo ukázané vyššie, rad zimného indexu NAO, ako aj prietokové rady, majú tie isté dĺžky cyklov kolísania hodnôt. Medzi týmito dvoma radmi však existuje niekoľkomesačný časový posun, ktorý umožňuje predpovedať výskyt suchého roku na základe hodnôt NAO indexu za predchádzajúce zimné mesiace.

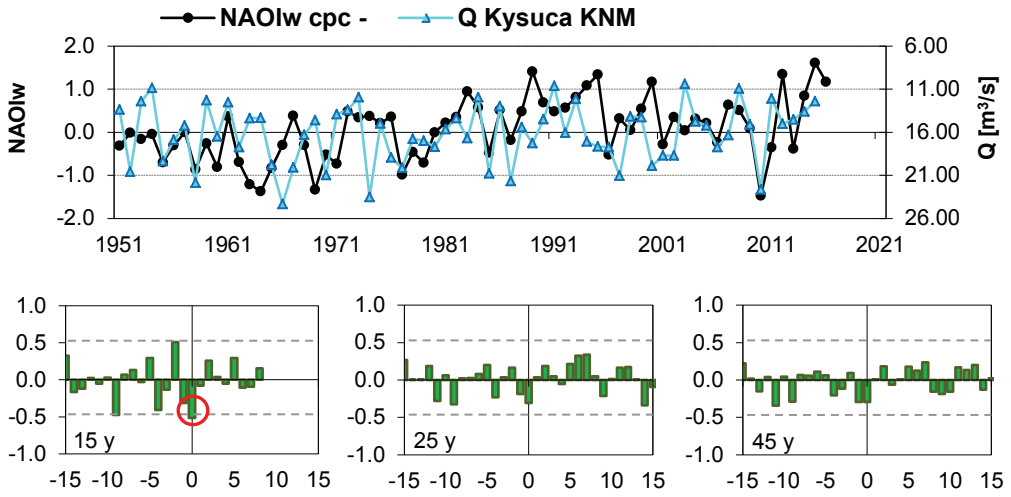
Na identifikáciu časového posunu medzi dvoma radmi a posúdenie tesnosti vzťahu medzi nimi sme použili krížové korelácie. V prvom prípade sme kros-korelačnou analýzou vypočítali korelačné koeficienty a identifikovali časový posun medzi zimným indexom fenoménu NAO (NAOIw) a ročnými radmi prietokov vybraných slovenských tokov (Q_A). Výsledky sú prezentované na obrázkoch 4.8.8a-f.

Vo všeobecnosti platí, že toky na Slovensku sú výrazne ovplyvnené severoatlantickou osciláciou – koeficient korelácie pri nulovom posune napr. medzi ročnými prietokmi Moravy a zimným indexom NAO je nižší než -0,6, t.j. medzi radmi existuje významná záporná závislosť (tab. 4.8.2). Znamená to, že v rokoch s vysokým zimným NAO indexom (NAOIw) môžeme očakávať suché roky. Pri posune o dva a 5 rokov prevláda kladná závislosť medzi NAOIw indexom a priemernými ročnými prietokmi. Na základe týchto výsledkov je možné na základe hodnoty zimného NAOIw indexu odhadnúť vodnosť tokov v nasledujúcom roku. Najtesnejšie závislosti s hodnotou korelačného koeficientu -0,7 boli preukázané medzi NAOIw indexom a hodnotou priemerného ročného prietoku $\boldsymbol{Q}_a$ v povodiach Hrona, Tople, Myjavy a Rimavy, o ničo nižšie s hodnotou -0,6 v povodiach Nitry, Popradu a Torysy a s hodnotou -0,5 v povodiach Váhu a Kysuce. Všetky koeficienty sú významné na hladine významnosti α=0,05. U vzťahu NAOIw a prietoku $\boldsymbol{Q}_{300}$ boli získané hodnoty nižšie, štatisticky významné boli len pre povodia Kysuce, Tople, Nitry, Myjavy, Rimavy a Torysy.



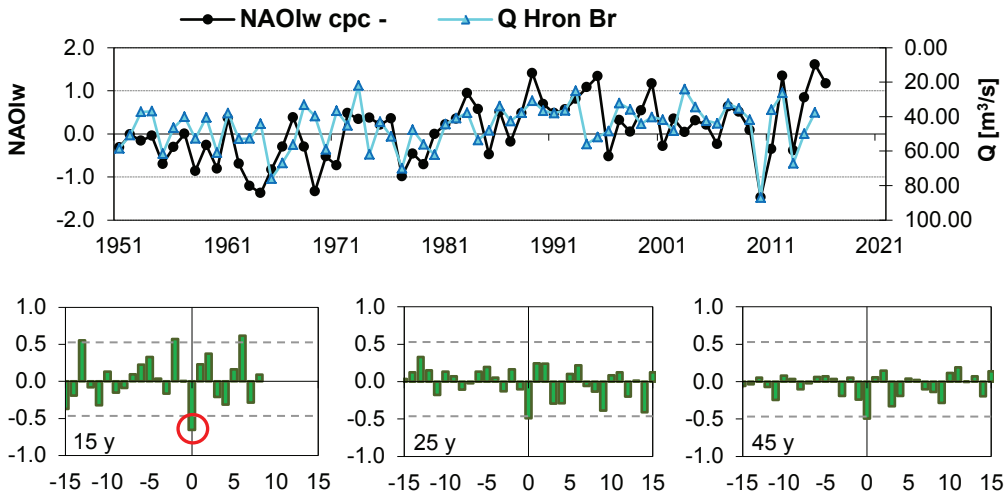
Obr. 4.8.8a Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi priemerných ročných prietokov Váhu pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015

Fig. 4.8.8a Course of the values of NAOIw and annual discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and average annual discharges of the Váh River for three periods: 15-, 25- a 45-years



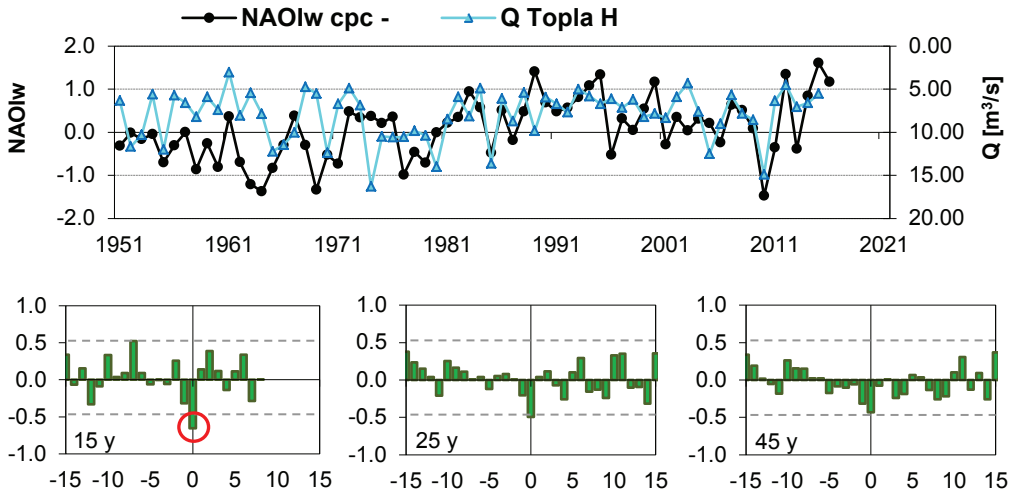
Obr. 4.8.8b Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi priemerných ročných prietokov Kysuce pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015

Fig. 4.8.8b Course of the values of NAOIw and annual discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and average annual discharges of the Kysuca River for three periods: 15-, 25- a 45-years



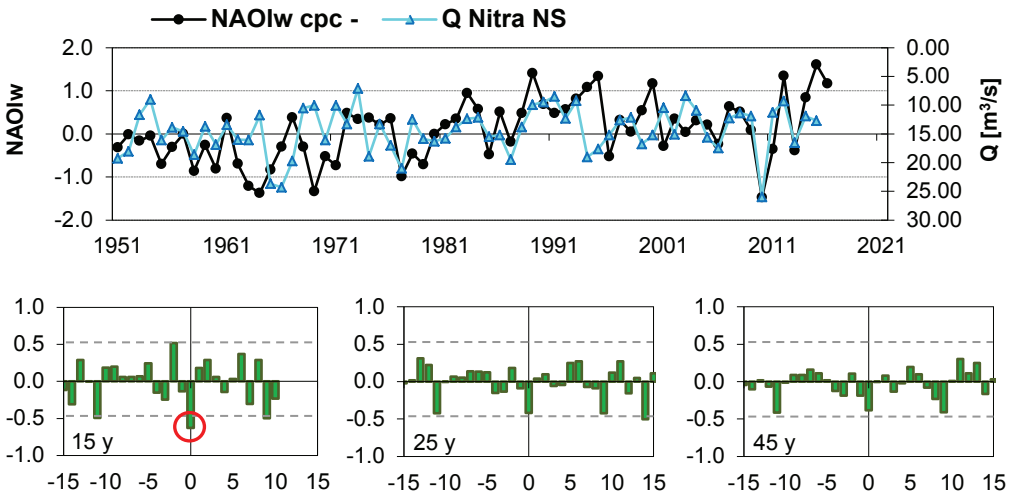
Obr. 4.8.8c Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi priemerných ročných prietokov Hronu pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015

Fig. 4.8.8c Course of the NAOIw values and annual discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and average annual discharges of the Hron River for three periods: 15-, 25- a 45-years



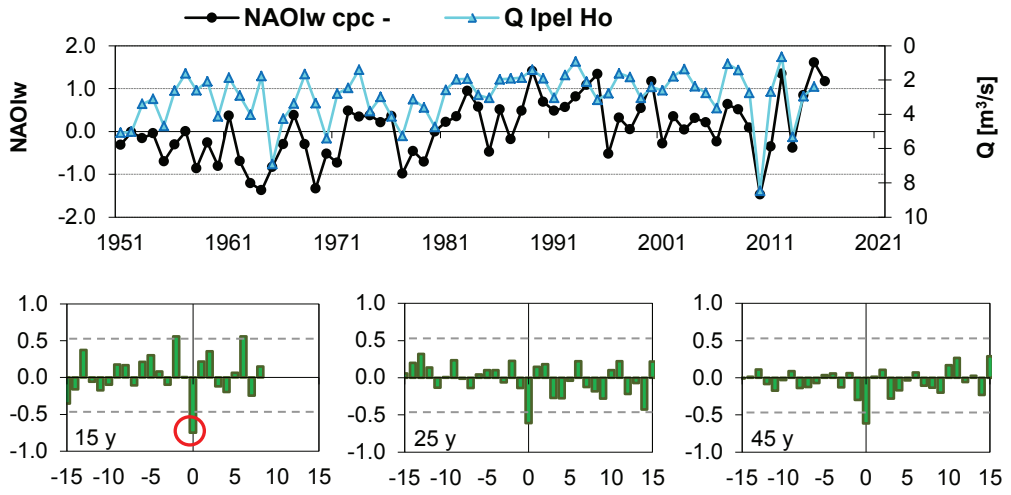
Obr. 4.8.8d Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi priemerných ročných prietokov Tople pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015

Fig. 4.8.8d Course of the values of NAOIw and annual discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and average annual discharges of the Topľa River for three periods: 15-, 25- a 45-years



Obr. 4.8.8e Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi priemerných ročných prietokov Nitry pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015

Fig. 4.8.8e Course of the values of NAOIw and annual discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and average annual discharges of the Nitra River for three periods: 15-, 25- a 45-years.



Obr. 4.8.8f Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi priemerných ročných prietokov Ipľa pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015

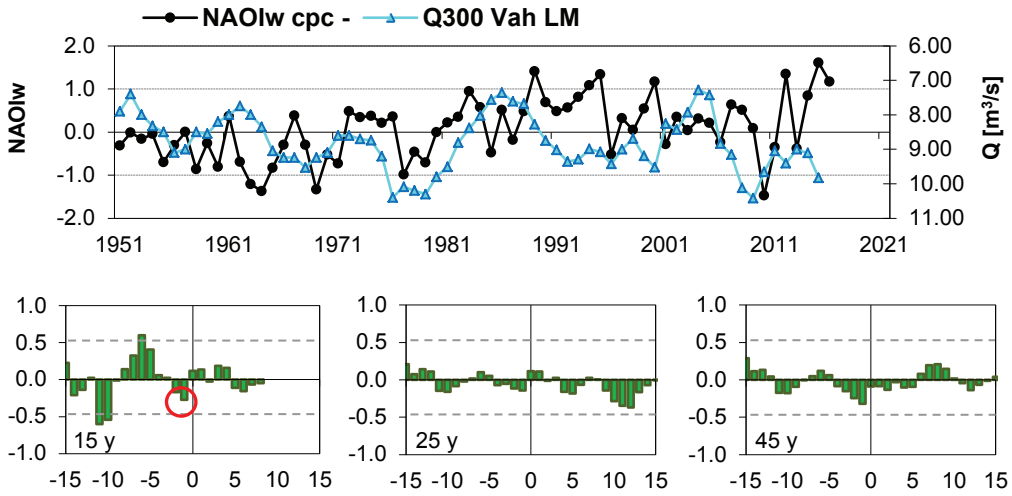
Fig. 4.8.8f Course of the values of NAOIw and annual discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and average annual discharges of the Ipeľ River for three periods: 15-, 25- a 45-years

Tab. 4.8.2 Kroskorelačné koeficienty medzi NAOIw,cpc vs Q_a a NAQIw,cpc vs Q_{330} s posunom 0 – 5 rokov

Tab. 4.8.2 Cross-correlation coefficients among NAOIw,cpc vs. Q_a and NAOIw,cpc vs. Q_{330} with the lag of 0 – 5 years

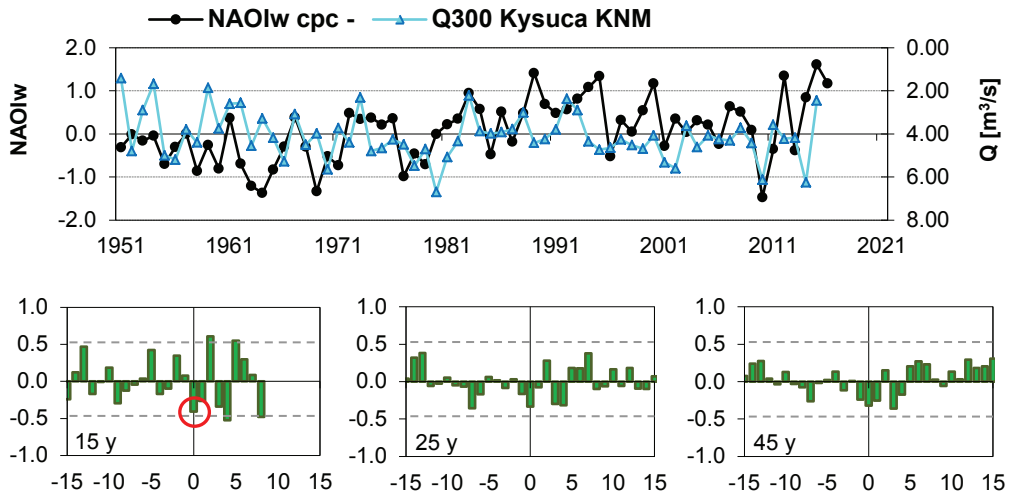
Tok	Stanica/	Q_a						Q_{330}					
		0	-1	-2	-3	-4	-5	0	-1	-2	-3	-4	-5
Váh	Liptovský Mikuláš	**-0,5**	-0,1	*0,2*	-0,3	0,1	0,4	-0,2	0,0	-0,1	-0,4	0,1	0,6
Kysuca	Kysucké Nové Mesto	**-0,5**	-0,3	***0,5***	-0,1	-0,4	0,3	**-0,4**	0,0	0,2	-0,2	-0,1	0,5
Hron	Brehy	**-0,7**	0,0	***0,6***	-0,2	0,0	0,3	-0,3	0,1	0,3	-0,3	0,2	0,4
Topľa	Hanušovce	**-0,7**	-0,3	*0,3*	-0,1	0,0	-0,1	**-0,4**	-0,4	0,0	-0,2	0,2	0,1
Nitra	Nitrianska Streda	**-0,6**	-0,1	***0,5***	-0,2	-0,2	0,2	**-0,4**	0,1	0,2	-0,3	0,3	0,3
Ipeľ	Holiša	**-0,6**	-0,1	***0,5***	-0,2	-0,2	0,2	**-0,4**	0,0	0,3	-0,2	0,3	0,3
Myjava	Šaštín-Stráže	**-0,7**	-0,1	*0,4*	0,0	-0,1	0,4	**-0,6**	0,0	0,5	-0,1	-0,2	0,4
Rimava	Vlkyňa	**-0,7**	-0,1	***0,4***	0,0	-0,1	0,4	**-0,6**	0,0	0,5	-0,1	-0,2	0,4
Poprad	Chmeľnica	**-0,6**	-0,1	*0,2*	-0,2	0,0	0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,3	0,0	0,6
Torysa	Košické Oľšany	**-0,6**	-0,2	*0,3*	-0,1	0,0	-0,1	**-0,4**	-0,2	0,1	-0,2	0,1	0,1

Keďže nás zaujíma predpoveď nízkych prietokov, vypočítali sme korelačné koeficienty a identifikovali časový posun medzi NAOIw a radmi 330-denných prietokov (obr. 4.8.9a-f).



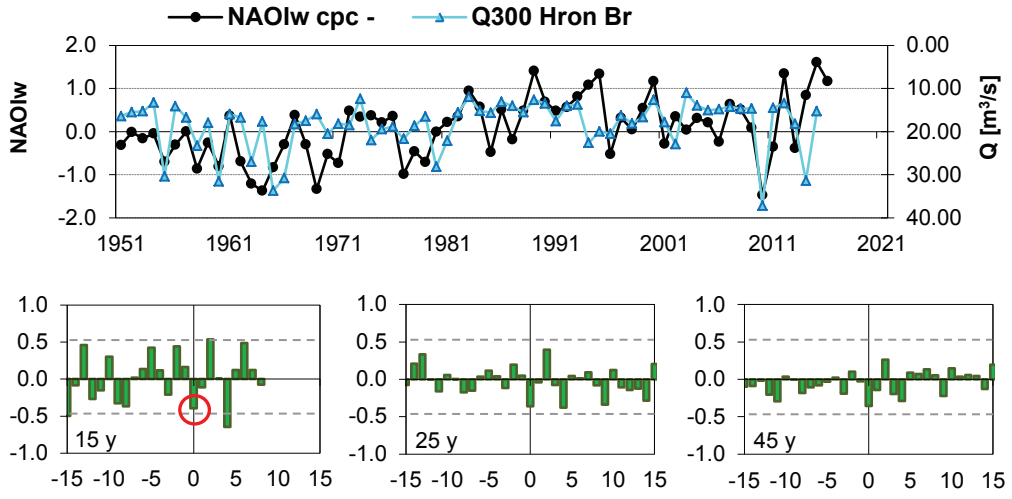
Obr. 4.8.9a Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi 300-denných prietokov Váhu pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015

Fig. 4.8.9a Course of the values of NAOIw and Q_{300} discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and Q_{300} discharges of the Váh River for three periods: 15-, 25- a 45-years ending in 2015



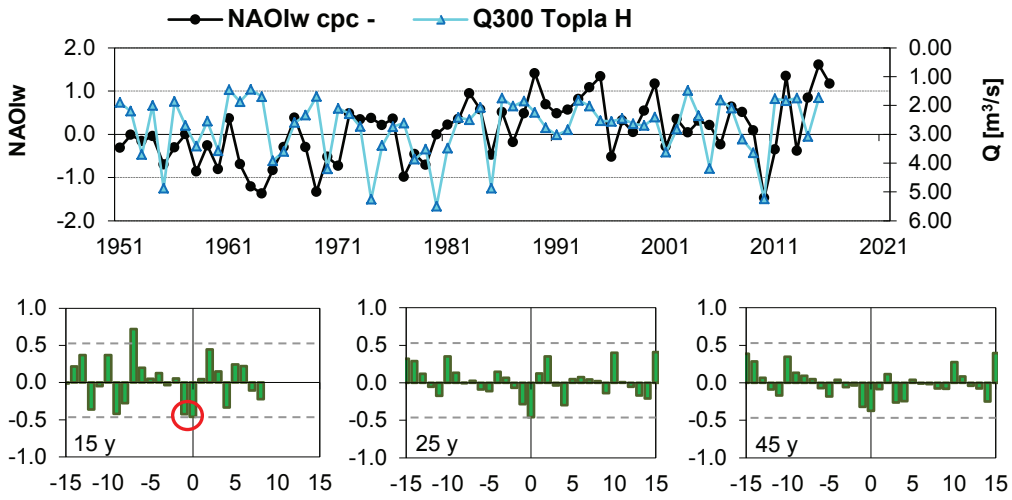
Obr. 4.8.9b Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi 300 denných prietokov Kysuce pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015

Fig. 4.8.9b Course of the values of NAOIw and Q_{300} discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and Q_{300} discharges of the Kysuca River for three periods: 15-, 25- a 45-years ending in 2015



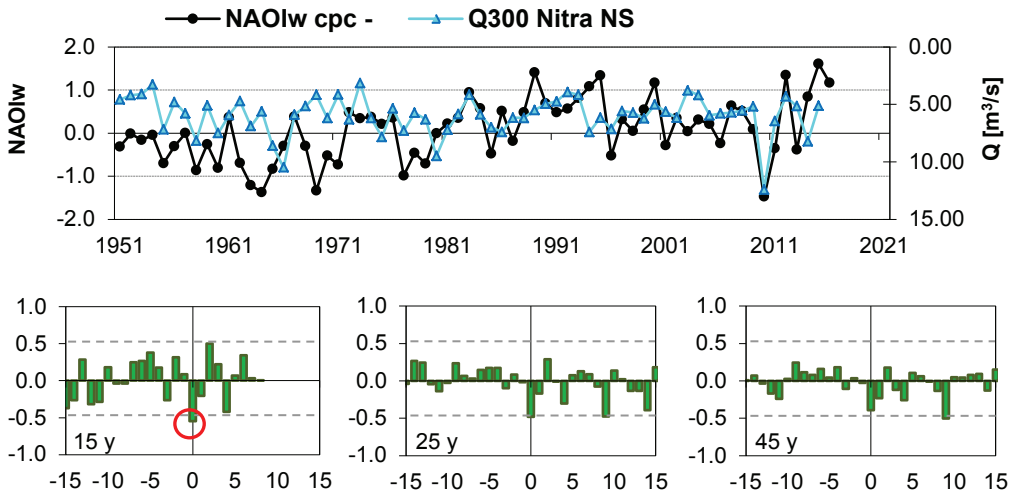
Obr. 4.8.9c Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi 300 denných prietokov Hronu pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015

Fig. 4.8.9c Course of the values of NAOIw and Q_{300} discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and Q_{300} discharges of the Hron River for three periods: 15-, 25- a 45-years ending in 2015



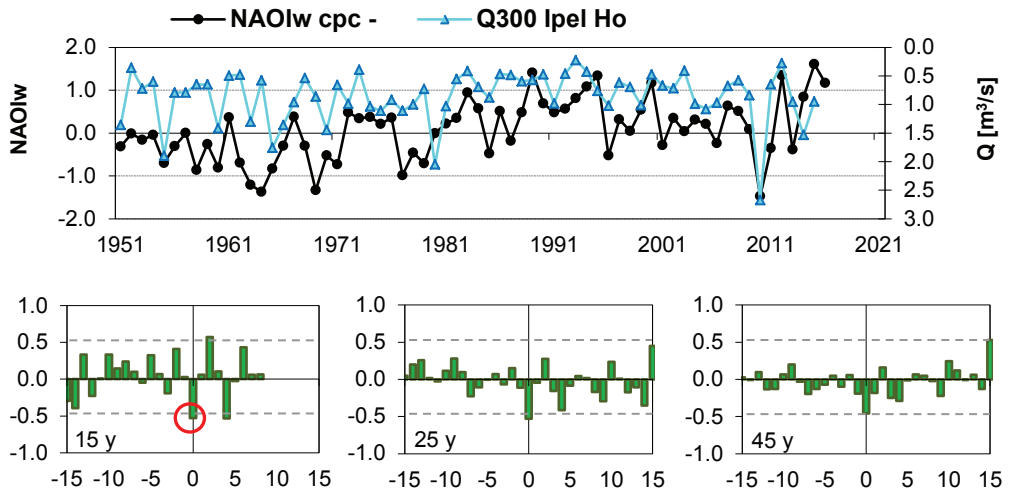
Obr. 4.8.9d Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi 300 denných prietokov Tople pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015.

Fig. 4.8.9d Course of the values of NAOIw and Q_{300} discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and Q_{300} discharges of the Topľa River for three periods: 15-, 25- a 45-years ending in 2015



Obr.4.8.9e Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi 300 denných prietokov Nitry pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015.

Fig. 4.8.9e Course of the values of NAOIw and Q_{300} discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and Q_{300} discharges of the Nitra River for three periods: 15-, 25- a 45-years ending in 2015



Obr.4.8.9f Priebeh hodnôt (hore) a grafy krížových korelácií zimného indexu NAO a radmi 300 denných prietokov Ipľa pre tri obdobia: 15-, 25- a 45- rokov, končiacimi rokom 2015

Fig. 4.8.9f Course of the values of NAOIw and Q_{300} discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and Q_{300} discharges of the Ipeľ River for three periods: 15-, 25- a 45-years ending in 2015

Pri posune o 5 – 6 rokov sú už koeficienty kladné – príčinou je cyklický charakter radov. Znamená to, že po piatich až šiestich rokoch po zistenom nízkom indexe NAO by ročné úhrny zrážok na juhu Slovenska a priemerné ročné prietoky mali byť nižšie.

Závery

Rady ročných prietokov alebo ročných zrážkových úhrnov považujeme za rady náhodné. Vieme o nich povedať, aké (s akou pravdepodobnosťou) môžu dosiahnuť maximá a minimá, ale ich časový výskyt sa odhadnúť nedá.

Už pred 60-timi rokmi zástancovia teórie o dlhodobom kolísaní hydrologických radov (Hurst, 1951; Souček, 1965; Balek 1968) a v súčasnosti napr. (Kane, 1997; Jevrejeva et al., 2003; Turkes a Erlat, 2003; Uvo 2003; Pekárová, 2009) poukázali na to, že klimatický systém podlieha viacročným suchým a vlhkým cyklom. Dnes sa ukazuje, že v Európe tieto cykly sú spôsobené termohalimmou cirkuláciou morskej vody v severnom Atlantiku a jej miestnym prejavom - Severoatlantickou osciláciou.

V tejto kapitole sme sa sústredili na nájdenie závislosti medzi radmi prietokov slovenských tokov a zimným indexom NAO. Vo väčšine prípadov existuje medzi týmito radmi významná záporná závislosť. Táto závislosť nám dovoľuje predpovedať vodnosť daného roku na základe zimného indexu. Druhou významnou informáciou vyplývajúcou zo spektrálnej a kross-korelačnej analýzy je, že 5 – 6 rokov po mimoriadne nízkom NAO indexe by sa malo na Slovensku vyskytnúť suché obdobie.

Z dlhodobej hydrologickej bilancie z územia Slovenska vyplýva, že odtok z územia Slovenska v posledných 20-tich rokoch začal klesať aj napriek vyšším zrážkovým úhrnom na plochu územia Slovenska (Pekárová et al., 2017). Koeficient odtoku zo Slovenska v období 1946 – 1980 mierne klesal z hodnoty 0,34 na 0,32, po roku 1981 je pokles výraznejší, až na hodnotu koeficient odtoku 0,29. V dôsledku vyšších teplôt sa podstatne zvýšil bilančný výpar. Konkrétne, do roku 1981 sa bilančný výpar nemenil, bol okolo 495 mm. Do roku 2002 vzrástol o 50 mm, na hodnotu 550 mm. Tieto výsledky naznačujú, že je potrebné venovať pozornosť ďalšiemu vývoju prvkov hydrologickej bilancie, nakoľko sa môžu zmeniť disponibilné množstvá vodných zdrojov pre uspokojovanie potrieb vody pre obyvateľstvo, rastúcu priemyselnú i poľnohospodársku výrobu, najmä počas letných období.

5. VÝSKYT HYDROLOGICKÉHO SUCHA V PODZEMNEJ VODE

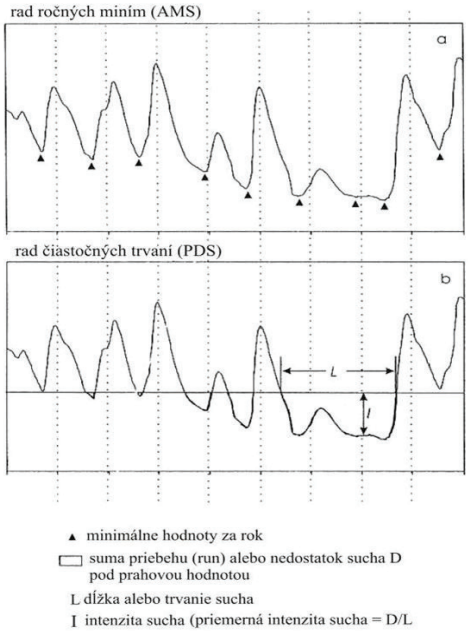
Podzemné vody na Slovensku predstavujú hlavný, a zároveň aj jeden z najekonomickejších zdrojov pitných vôd vzhľadom k ich zachyteniu, exploatácii, požiadavkám na kvalitu a jej ochranu. Systematické zisťovania a hodnotenie výskytu a stavu povrchových a podzemných vôd na území Slovenskej republiky je nevyhnutné na zabezpečovanie podkladov pre tvorbu koncepcií trvalo udržateľného rozvoja, výkon štátnej správy a informovanie verejnosti (Škoda a kol., 2009). Poznanie režimu výdatnosti prameňov nadobúda dôležitosť najmä v horských oblastiach, kde obyvateľstvo nie je zásobované pomocou veľkých vodných zdrojov a musí sa spoliehať na lokálne zdroje, ku ktorým patria predovšetkým pramene.

Výskyt extrémnych hydrologických javov vyvolaných klimatickými zmenami má vplyv na trvalú udržateľnosť vodných zdrojov. Stále častejšie môžeme počuť o problémoch s nedostatkom pitných vôd, ako tomu bolo napríklad v obci Žakarovce pri Gelnici ale aj v obci Prihradzany (okres Revúca) v roku 2012, alebo v obciach Zákamenné a Markušovce v roku 2015, kde sa v dôsledku suchého obdobia prejavili problémy s deficitom pitných vôd, kde miestne pramene takmer úplne vyschli.

5.1 METÓDY HODNOTENIA SUCHA VO VÝDATNOSTIACH PRAMEŇOV A V HLADINOVOM REŽIME PODZEMNEJ VODY

Medzi parametre, ktorými sa hodnotí sucho v podzemnej vode patria nielen prítok a odtok podzemnej vody, ale aj výdatnosť prameňov a hladina podzemnej vody, pretože charakterizujú zásoby podzemnej vody, ktoré sú priamo merateľné s primeranou presnosťou a frekvenciou. Tieto parametre sú ovplyvňované viacerými faktormi, hlavne však klimatickými, hydrologickými a geomorfologickými faktormi, no v neposlednom rade aj geologickými a hydrogeologickými faktormi. Kvantitatívne parametre hodnotenia sucha v podzemnej vode sú v podstate identické ako parametre sucha v povrchovej vode. Môžu to byť percentá z čiary prekročenia, priemerné ročné minimálne *M-denné hodnoty - MAM (M- dní)* a parametre základného odtoku, ktoré môžu byť vypočítané z časového radu prítoku do podzemnej vody, z hodnoty hladiny podzemnej vody alebo z podzemného odtoku. Použitie čiary prekročenia je rovnaké ako pri prietoku a poskytuje podobné informácie. Pri stanovení *MAM(M - dní)* je časový rad rozdelený na ročné obdobia, kalendárne alebo hydrologické roky a pre každú ročnú periódu je vybrané minimum (obr. 5.1.1). Z nich je zostavený takzvaný ročný minimálny rad (*AMS*). Relatívna minimálna hladina porovnaná s minimami ostatných rokov sa stanovuje kvôli závažnosti sucha. Na obr. 5.1.1a je znázornený časový rad s veľkou medziročnou premenlivosťou, v niektorom z rokov môže byť minimum vyššie ako maximum v inom roku. Je tu tiež príklad sucha, ktoré trvá 2 roky (viacročné sucho), ale touto metódou je identifikované ako dve samostatné suchá.

Na obr. 5.1.1b je uvedený príklad prahovej metódy. Súbor hodnôt nachádzajúcich sa pod prahovou hodnotou vytvára čiastkové rady trvania - Partial Duration Series *(PDS*). Závažnosť sucha je zvyčajne definovaná deficitom *D*. pri tejto metóde môžu byť použité aj parametre ako je trvanie sucha *L* alebo jeho intenzita *I.*



Obr. 5.1.1 Príklad dvoch rôznych spôsobov definovania sucha

Fig. 5.1.1 Example of two different ways of drought definition

Príklad poukazuje na rozdielnosť medzi čiastkovým radom trvania (*PDS)* a radom ročných miním (*AMS)*. V prípade *PDS* je výskyt sucha oveľa zriedkavejší a variabilita závažnosti sucha je oveľa vyššia. Výhodou *PDS* oproti *AMS* je možnosť identifikovať viacročné obdobie sucha. Prahová hodnota sa môže aplikovať aj pre prítoky do podzemnej vody, pre hladiny podzemnej vody a odtok podzemnej vody. Ako hlavný parameter závažnosti sucha môžu byť použité nedostatkové charakteristiky sucha. Prahová hodnota pre definovanie sucha môže byť odvodená rôznymi spôsobmi. Často používanou metódu je odvodenie prahovej hodnoty z pravdepodobnosti prekročenia. Ako prahová hodnota môže byť napríklad použitá hladina podzemnej vody, ktorá je prekročená 70 % času. Hodnoty bežných prahových hodnôt sa pohybujú medzi *50-tym* a *95-tym percentilom.* Pre časový rad s niekoľkými nulovými hodnotami, napr. pre prítok alebo prietok v aridných oblastiach, sa ako prahová hodnota používa *20-ty percentil* (Santos a Goncalves-Henriques, 1999). Sucho v podzemnej vode sa dá identifikovať aj výpočtom kumulatívnej odchýlky hladiny podzemnej vody (φ_t) od prahovej hodnoty (φ_D). Výpočet kumulatívnej odchýlky (CD(t)) (vzťah 5.1.1) v čase je ekvivalentný metóde Sequent Peak Algorithm (SPA).

Kumulatívna odchýlka je pozitívna, ak

$$CD(t) = CD(t - 1) + (\varphi D - \varphi t)^{\star}\Delta t \qquad (5.1.1)$$

v ostatných prípadoch je CD(t) = 0. Sucho skončí, keď sa CD(t) rovná nule. Peters a van Lanen pri výpočtoch použili prahové hodnoty: φ_{70} a φ_{50} (Peters a van Lanen, 2000).

Na hodnotenie sucha u hladiny podzemnej vody môže byť aplikovaná aj metóda výtokovej analýzy. Použitie prietoku horninovým prostredím resp. odtoku podzemnej vody je identické s použitím prietoku v povrchovom toku, a jeho aplikácia je oveľa jednoduchšia, pretože pri podzemnom odtoku nemusíme uvažovať s priamym odtokom. Odtoku z hladiny podzemnej vody môže byť opísaný podobným vzťahom ako v nasledovnej rovnici (5.1.2):

$$H_t - H_b = (H_{t=0} - H_b) * \exp(-t/C) \qquad (5.1.2)$$

kde je:
H_t - hladina podzemnej vody v čase t,
$H_{t=0}$ - hladina podzemnej vody v čase t = 0,
H_b - hĺbka eróznej bázy,
C - konštanta

Erózna báza je úroveň, pod ktorú nemôže klesnúť podzemná voda a často je definovaná hĺbkou a dnom toku (Hisdal et. al, 2004).

Na základe priemerných ročných stavov hladín podzemných vôd alebo výdatností prameňov je možné klasifikovať jednotlivé hydrologické roky z hľadiska ich vodnosti. Nadpriemernosť alebo podpriemernosť jednotlivých hydrologických rokov podľa relatívnej početnosti priemerných ročných stavov hladín podzemných vôd alebo výdatnosti prameňov môžeme vyjadriť na základe päťčlennej stupnice uvedenej v tabuľke 5.1.1 (Kříž, 1983).

Tab. 5.1.1 Stupnica pre klasifikáciu rokov podľa priemerných ročných stavov hladín podzemných vôd alebo výdatnosti prameňov (podľa Kříža, 1983)

Tab. 5.1.1 Scale of classification of average annual groundwater stages and spring yields (according to Kříž, 1983)

Prekročenie (%)	Označenie roku	Symbol
pod 11	mimoriadne vlhký (vodný)	VV
11 – 40	vlhký (vodný)	V
41 – 60	priemerne vlhký (vodný)	O
61 – 90	suchý	M
nad 90	mimoriadne suchý	MM

Veľmi často používanou kvantitatívnou metódou, v ktorej je podstatné definovať začiatok a koniec sucha, je metóda prahovej hodnoty. Metódu je možné použiť nielen pri hodnotení sucha v povrchovom toku, ale aj v podzemnej vode. Hodnotené môžu byť nasledovné parametre:

- hladina podzemnej vody
- výdatnosť prameňov,
- podzemný odtok.

V tejto kapitole sa budeme venovať hladine podzemnej vody φ_0 a výdatnosti prameňov Q_0. Základným krokom pri použití metódy je definovanie hranice φ_0, resp. Q_0 pod ktorú, ak klesne

hladina podzemnej vody (príp. výdatnosť prameňa), tak sa začína prejavovať sucho. Koniec tohto obdobia nastane, ak hladina podzemnej vody, resp. výdatnosť prameňa stúpne nad stanovenú prahovú hodnotu. Takto môžeme definovať začiatok a koniec sucha (Tallaksen, 2000). Prahová hodnota môže byť fixná (konštantná) alebo premenlivá (variabilná). Konštantná hodnota je použitá pre celý hodnotený časový rad, naopak, premenlivá prahová hodnota kolíše počas hodnoteného obdobia. Medzi premenlivé prahové hodnoty patrí napríklad mesačná alebo denná, prípadne kĺzavý priemer z určitého počtu časových krokov (Stahl, 2001).

Metóda SANDRE

Táto metóda je používaná na hodnotenie hydrologickej situácie (výskytu sucha) v podzemných vodách vo Francúzsku, v inštitúcii SANDRE (Sevice d' administration nationale des données et référentiels sur l' eau). Metóda je založená na štatistickom porovnaní priemerných hodnôt jednotlivých mesiacov v hodnotenom období (napr. hydrologický rok, kalendárny rok, a iné) s dlhodobým mesačným priemerom vybraného referenčného obdobia, ktoré je reprezentované ucelenými neprerušenými radmi meraní. Dĺžka referenčného obdobia závisí od dostupnosti údajov, ale platí, že čím je dlhší časový rad, tým presnejšie sú výsledky. Odporúča sa minimálne 30 ročný časový rad. Pre každý mesiac v hodnotenom období sa na základe štatistického spracovania priemerných mesačných hodnôt totožného mesiaca za referenčné obdobie vytvorí 5 samostatných kategórii (tab. 5.1.2) (http://www.sandre.eaufrance.fr/). Hraničné hodnoty jednotlivých kategórií pre úrovne hladín podzemných vôd predstavujú hodnoty $\boldsymbol{\varphi_{10\%}}$, $\boldsymbol{\varphi_{40\%}}$, $\boldsymbol{\varphi_{60\%}}$, $\boldsymbol{\varphi_{90\%}}$, pre výdatnosti prameňov hodnoty $\boldsymbol{Q_{10\%}}$, $\boldsymbol{Q_{40\%}}$, $\boldsymbol{Q_{60\%}}$, $\boldsymbol{Q_{90\%}}$. V neposlednom rade je pri hodnotení sucha dôležité vychádzať z prirodzeného režimu podzemných vôd a výdatnosti prameňov.

Tab.5.1.2 Kategórie hodnotenia sucha v podzemnej vode metódou SANDRE (http://www.sandre.eaufrance.fr/)

Tab. 5.1.2 Categories of groundwater drought evaluation according to SANDRE method (http://www.sandre.eaufrance.fr/)

Úroveň hladiny podzemnej vody a výdatnosť prameňa	Výrazne nižšia ako dlhodobý priemer (1981 – 2010) $< \varphi_{10\%}, < Q_{10\%}$	Nižšia ako dlhodobý priemer (1981 – 2010) $\varphi_{10\%} - \varphi_{40\%}$, $Q_{10\%} - Q_{40\%}$	Zodpovedajúca dlhodobému priemeru (1981 – 2010) $\varphi_{40\%} - \varphi_{60\%}$, $Q_{40\%} - Q_{60\%}$	Vyššia ako dlhodobý priemer (1981 – 2010) $\varphi_{60\%} - \varphi_{90\%}$ $Q_{60\%} - Q_{90\%}$	Výrazne vyššia ako dlhodobý priemer (1981 – 2010) $> \varphi_{90\%}, > Q_{90\%}$
Hodnota	1	2	3	4	5

Vysvetlivky: 1 – úroveň hladiny podzemnej vody (hodnota kvantilu menšia a rovná $\phi_{10\%}$) a výdatnosť prameňov (hodnota kvantilu menšia a rovná $Q_{10\%}$) je výrazne nižšia ako dlhodobý priemer referenčného obdobia (sucho); 2 – úroveň hladiny podzemnej vody (hodnota kvantilu menšia a rovná $\varphi_{40\%}$) a výdatnosť prameňov (hodnota kvantilu menšia a rovná $Q_{40\%}$) je nižšia ako dlhodobý priemer referenčného obdobia; 3 – úroveň hladiny podzemnej vody (hodnota kvantilu menšia a rovná $\varphi_{60\%}$) a výdatnosť prameňov (hodnota kvantilu menšia a rovná $Q_{60\%}$) je rovná dlhodobému priemeru referenčného obdobia; 4 – úroveň hladiny podzemnej vody (hodnota kvantilu menšia a rovná $\varphi_{90\%}$) a výdatnosť prameňov (hodnota kvantilu menšia a rovná $Q_{90\%}$) je vyššia ako dlhodobý priemer referenčného obdobia; 5 – úroveň hladiny podzemnej vody (hodnota kvantilu väčšia ako $\varphi_{90\%}$) a výdatnosť prameňov (hodnota kvantilu väčšia ako $Q_{90\%}$) je výrazne vyššia ako dlhodobý priemer referenčného obdobia (vlhko).

5.2 CHARAKTERISTIKA HYDROLOGICKEJ SITUÁCIE V PODZEMNÝCH VODÁCH NA SLOVENSKU V ROKOCH 1981 – 2015

Na hodnotenie výskytu sucha v podzemnej vode bola použitá metóda Sandre. Hodnotenie bolo vykonané na 123 objektoch štátnej hydrologickej monitorovacej siete podzemnej vody. Vybrané objekty museli splniť nasledovné tri podmienky:

- rovnomerné pokrytie celého územia Slovenska,
- neporušený rad 30 ročných meraní,
- neovplyvnené údaje.

Hodnotené bolo obdobie hydrologických rokov 1981 – 2015, ako referenčné obdobie bolo použité obdobie hydrologických rokov 1981 – 2010, pre hodnotenie bol použitý mesačný krok. Zhodnotenie jednotlivých hydrologických rokov z dlhodobého hľadiska je uvedené v tabuľke 5.2.1.

Tab. 5.2.1 Vyhodnotenie vlhkosti hydrologických rokov z pohľadu podzemných vôd

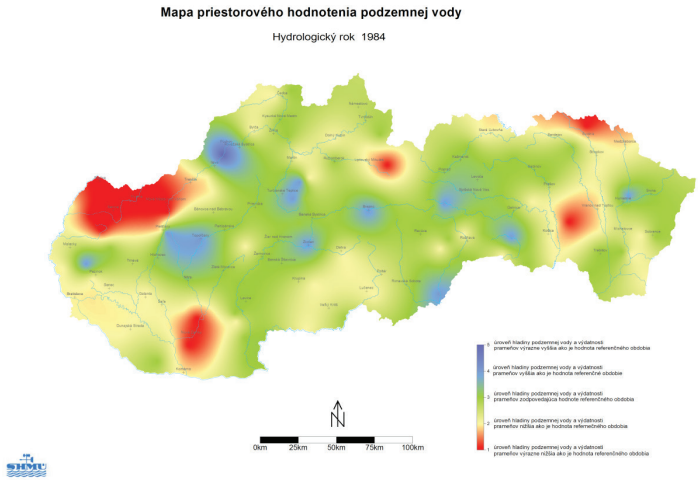
Tab. 5.2.1 Evaluation of hydrological years wetness from the groundwater point of view

Hydrologický rok	Hodnotenie	Označenie
1981	nadpriemerný	V - vlhký
1982	priemerný	N - normálny
1983	priemerný	N - normálny
1984	**podpriemerný**	**S - suchý**
1985	nadpriemerný	V - vlhký
1986	priemerný	N - normálny
1987	priemerný	N - normálny
1988	priemerný	N - normálny
1989	**podpriemerný**	**S - suchý**
1990	**podpriemerný**	**S - suchý**
1991	**podpriemerný**	**S - suchý**
1992	**podpriemerný**	**S - suchý**
1993	**podpriemerný**	**S - suchý**
1994	priemerný	N - normálny
1995	priemerný až mierne nadpriemerný	MV - mierne vlhký
1996	priemerný až mierne nadpriemerný	MV - mierne vlhký
1997	priemerný	N - normálny
1998	priemerný	N - normálny
1999	nadpriemerný	V - vlhký
2000	nadpriemerný	V - vlhký
2001	priemerný	N - normálny
2002	priemerný až mierne podpriemerný	MS - mierne suchý

2003	**podpriemerný**	**S - suchý**
2004	**podpriemerný**	**S - suchý**
2005	priemerný až mierne nadpriemerný	MV– mierne vlhký
2006	nadpriemerný	V - vlhký
2007	**podpriemerný**	**S - suchý**
2008	priemerný až mierne podpriemerný	MS - mierne suchý
2009	priemerný	N - normálny
2010	nadpriemerný	V - vlhký
2011	nadpriemerný	V - vlhký
2012	**podpriemerný**	**S - suchý**
2013	nadpriemerný	V - vlhký
2014	priemerný	N - normálny
2015	priemerný	N - normálny

Môžeme skonštatovať, že najviac suchých rokov v hodnotenom období sa vyskytlo do roku 1993, dokonca s päťročným trvaním sucha od hydrologického roku 1989 do roku 1993. Z týchto piatich hodnotených rokov sa sucho najintenzívnejšie prejavilo v hydrologických rokoch 1990 (obr. 5.2.3) a 1993 (obr. 5.2.6). Po hydrologickom roku 1993 sa sucho vyskytlo iba v rokoch 2003 (obr. 5.2.7), 2004 (obr. 5.2.8), 2007 (obr. 5.2.9) a 2012 (obr. 5.2.10). Z uvedených rokov sa sucho prejavilo najintenzívnejšie v roku 2012 (obr. 5.2.10).

Z meteorologického hľadiska boli roky 1982 a 1983 suché na väčšine územia, čo sa v podzemnej vode prejavilo v hydrologickom roku 1984. Hladina podzemnej vody a výdatnosť prameňov bola výrazne nižšia ako je dlhodobý priemer referenčného obdobia hlavne v oblasti Myjavy a na strednom Váhu, na severe východného Slovenska (oblasť Bardejova, Svidníka a Medzilaboriec) a na juhu východného Slovenska (obr. 5.2.1). Sucho sa však prejavilo v menšej intenzite aj na juhu stredného Slovenska, v oblasti Oravy a Kysúc, na západe v oblasti Záhoria a na východe Slovenska (žltá farba, obr. 5.2.1).

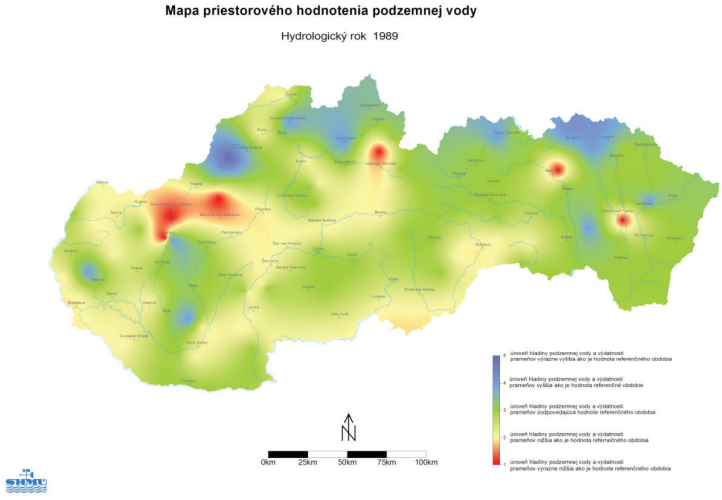


Obr. 5.2.1 Zhodnotenie hydrologického roka 1984 v podzemnej vode

Fig. 5.2.1 Evaluation of the hydrological year 1984 in groundwater

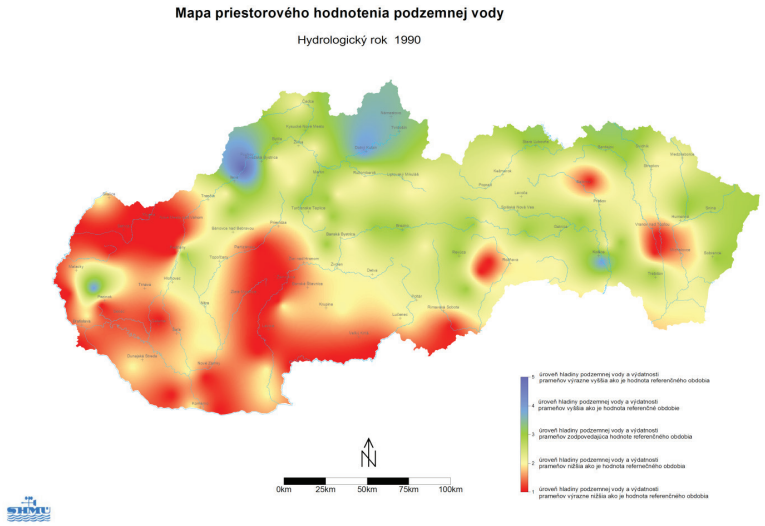
V roku 1989 sa sucho prejavilo menej intenzívne, a to najmä v medzi Bratislavou a Dunajskou Stredou na juhozápadnom Slovensku, v severnej časti Záhorskej nížiny, na strednom Pohroní, v oblasti Lučeneckej a Rimavskej kotliny, ale aj okolí Rožňavy. Hladina podzemnej vody a výdatnosť prameňov bola výrazne nižšia ako je dlhodobý priemer referenčného obdobia hlavne v oblasti stredného Považia a Bánovskej kotliny.

V hydrologickom roku 1990 sa sucho prejavilo hlavne v západnej časti Slovenska a na juhu stredného Slovenska, kde bola hladina podzemnej vody a výdatnosť prameňov výrazne nižšia ako hodnota referenčného obdobia (obr. 5.2.3, červená farba).



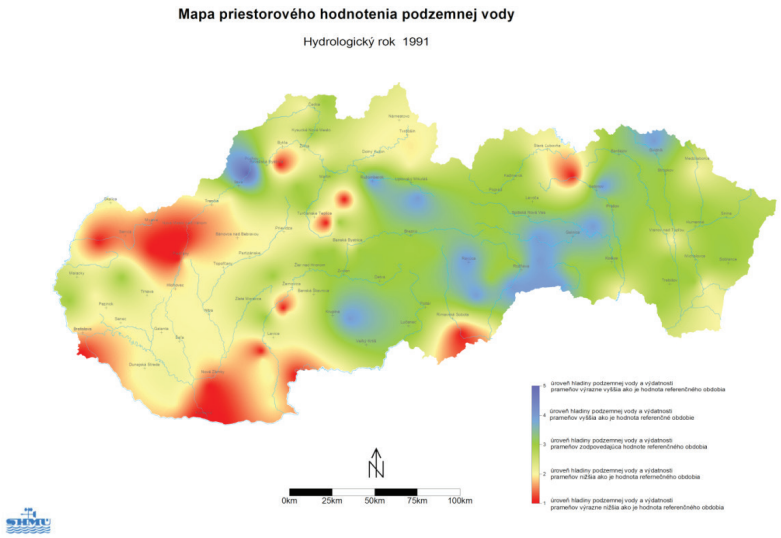
Obr. 5.2.2 Zhodnotenie hydrologického roka 1989 v podzemnej vode

Fig. 5.2.2 Evaluation of the hydrological year 1989 in groundwater



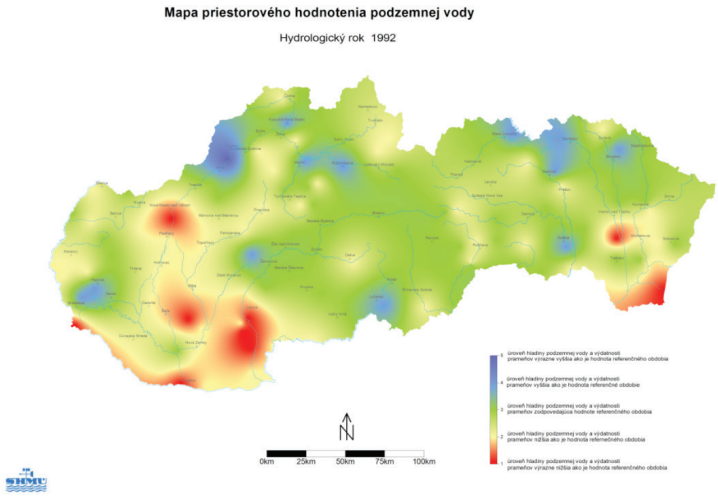
Obr. 5.2.3 Zhodnotenie hydrologického roka 1990 v podzemnej vode
Fig. 5.2.3 Evaluation of the hydrological year 1990 in groundwater

V nasledujúcom hydrologickom roku 1991, hoci dochádza k miernemu nárastu hladín podzemnej vody a výdatnosti prameňov, sa stále prejavuje sucho, aj keď v menšej miere a intenzite hlavne na západe Slovenska a na juhu stredného Slovenska v oblasti Rimavskej Soboty (obr. 5.2.4). Hladina podzemnej vody a výdatnosť prameňov je nižšia ako ich hodnota v referenčnom období nielen na západe Slovenska, ale aj na severe Slovenska v oblasti Kysúc a Oravy (obr. 5.2.4, žltá farba).



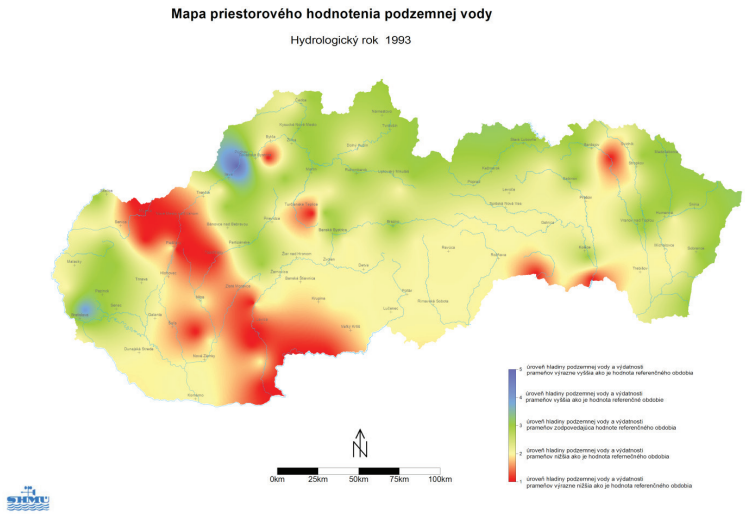
Obr. 5.2.4 Zhodnotenie hydrologického roka 1991 v podzemnej vode
Fig. 5.2.4 Evaluation of the hydrological year 1991 in groundwater

V roku 1992 sa intenzívne sucho prejavilo na strednom Považí, dolnom Ponitrí a Pohroní, ale aj na krajnom juhu Podunajska a na krajnom juhovýchode Slovenska (obr. 5.2.5).



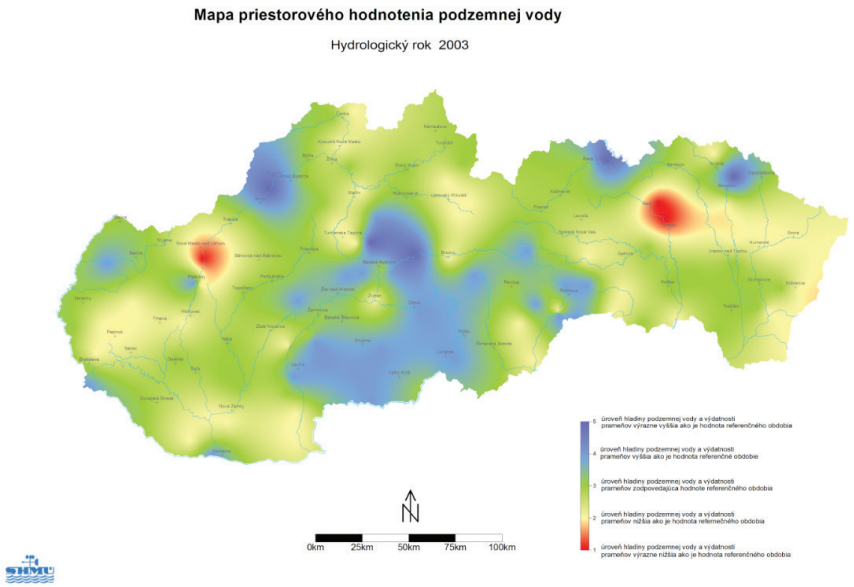
Obr. 5.2.5 Zhodnotenie hydrologického roka 1992 v podzemnej vode
Fig. 5.2.5 Evaluation of the hydrological year 1992 in groundwater

V hydrologickom roku 1993 (obr. 5.2.6) sa sucho prejavilo veľmi intenzívne hlavne v povodí Váhu a Nitry, kde boli hladiny podzemnej vody a výdatnosť prameňov výrazne nižšie ako je dlhodobý priemer referenčného obdobia. Nízke hodnoty hladiny podzemnej vody a výdatnosti prameňov nižšie ako je dlhodobý priemer referenčného obdobia sa prejavili takmer na celom Slovensku s výnimkou severu a krajného východu Slovenska.



Obr. 5.2.6 Zhodnotenie hydrologického roka 1993 v podzemnej vode
Fig. 5.2.6 Evaluation of the hydrological year 1993 in groundwater

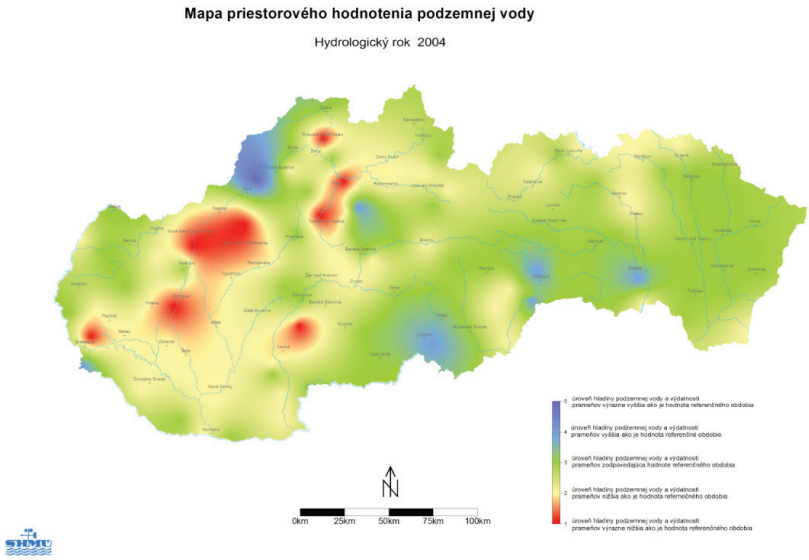
Hoci aj hydrologický rok 2003 patril k suchým rokom, z celkového hľadiska sa hladina podzemnej vode a výdatnosť prameňov výrazne nižšia ako je dlhodobý priemer referenčného obdobia prejavili v povodí stredného Váhu a na strednom toku Torysy (červená farba, obr. 5.2.7). Nižšia hladina podzemnej vody a výdatnosť prameňov sa prejavila nielen v západnej časti Slovenska, ale aj v severnej a východnej (žltá farba, obr. 5.2.7). Na rozdiel od predchádzajúcich suchých rokov sa v roku 2003 prejavili na Slovensku aj vlhké oblasti, napr. oblasť Krupinskej planiny, Lučeneckej kotliny, západná časť Veľkej Fatry a inde (modrá farba, obr. 5.2.7)



Obr. 5.2.7 Zhodnotenie hydrologického roka 2003 v podzemnej vode

Fig. 5.2.7 Evaluation of the hydrological year 2003 in groundwater

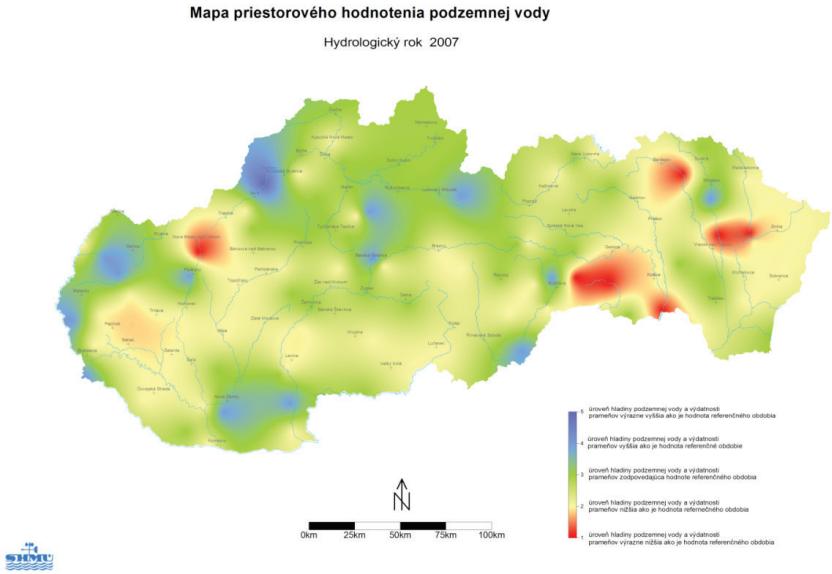
Intenzívnejšie sa sucho v podzemnej vode prejavilo až v nasledujúcom roku 2004, kedy ním bolo zasiahnuté celé západné Slovensko, oblasť Turčianskej kotliny a dolná časť povodia Kysuce (obr. 5.2.8).



Obr. 5.2.8 Zhodnotenie hydrologického roka 2004 v podzemnej vode

Fig. 5.2.8 Evaluation of the hydrological year 2004 in groundwater

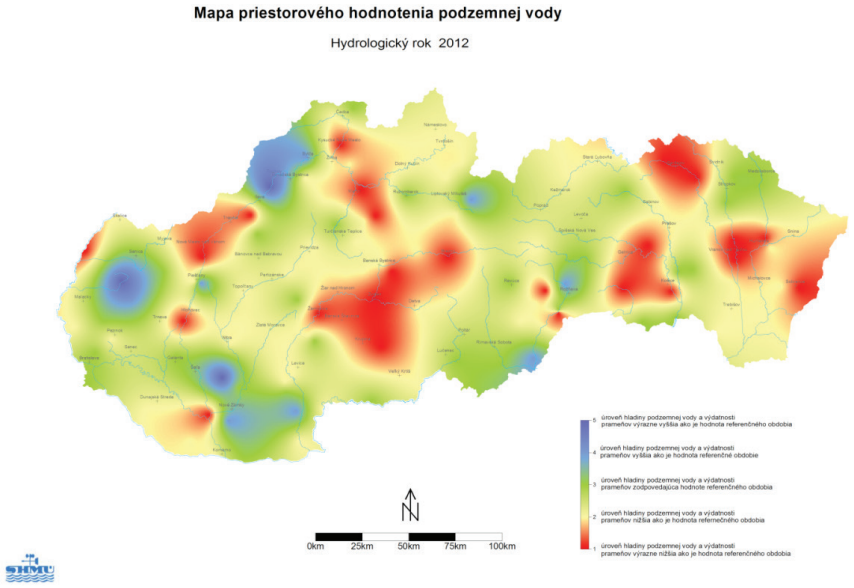
Sucho v hydrologickom roku 2007 zasiahlo predovšetkým východné Slovensko, na ktorom bola hladina podzemnej vody a výdatnosť prameňov výrazne nižšia ako je dlhodobý priemer referenčného obdobia. Nižšia hladina podzemnej vody a výdatnosť prameňov sa prejavila v centrálnej časti západného Slovenska, ako aj v Juhoslovenskej a Lučeneckej kotline (žltá farba, obr. 5.2.9).



Obr. 5.2.9 Zhodnotenie hydrologického roka 2007 v podzemnej vode

Fig. 5.2.9 Evaluation of the hydrological year 2007 in groundwater

Z meteorologického hľadiska suchý rok 2011 sa prejavil v podzemných vodách až v roku 2012 (obr. 5.2.10). Sucho sa výrazne prejavilo hlavne na severozápadnom a strednom (povodie Kysuce a Oravy, veľká časť povodia Hrona) a na východnom Slovensku (povodie Tople, Hornádu a krajný východ). Na západe sa sucho prejavilo v povodí Váhu a Myjavy.



Obr. 5.2.10 Zhodnotenie hydrologického roka 2012 v podzemnej vode

Fig. 5.2.10 Evaluation of the hydrological year 2012 in groundwater

5.3 SEZÓNNOSŤ MINIMÁLNYCH VÝDATNOSTÍ PRAMEŇOV

Využiteľné množstvá podzemných vôd hydrogeologických štruktúr sú priamo závislé od hydrologického režimu podzemných vôd, t.j. od kolísania hladín podzemných vôd a výdatností prameňov (Škoda et al., 2009).

Pri hodnotení využiteľných množstiev vstupuje do hodnotenia aj výdatnosť prameňa. V zmysle Kullmana et al. (2002) pri vyčísľovaní Q_{DOK} prameňa, čo je tá časť ekonomicky a technicky reálne využiteľného množstva, ktorá je z hľadiska príslušných predpisov dostatočne dokumentovaná a preukázaná (Jetel, 2004), je dôležité akú výdatnosť (minimum, hodnota 300-dennej výdatnosti alebo 330-dennej výdatnosti) možno považovať za trvale využiteľnú. Prijímala sa hodnota 300-dennej výdatnosti, pri vyšších kategóriách využiteľných množstiev (kategória B, A) i 330-dennej výdatnosti stanovenej na základe výsledkov dlhodobých pozorovaní. Táto výdatnosť reprezentuje výdatnosť dosiahnutú a prekročenú po 300 alebo 330 dní v roku. Za dostatočnú pre kategóriu C, ale aj pre vyššie kategórie B a A sa považuje hodnota 300-dennej výdatnosti.

Ďalším prvkom pri hodnotení využiteľných množstiev podzemných vôd je vplyv odberu na životné prostredie. Tento vplyv je hodnotený prostredníctvom globálnych a lokálnych ekologických limitov (Kullman et al., 2002). Globálne ekologické limity ($\boldsymbol{MQ_{EKO}}$) sa vzťahujú na prirodzený prietok v povrchovom toku a vyjadrujú medznú hodnotu, ktorá musí byť zachovaná pri nakladaní s vodami v povodí. Lokálne ekologické limity predstavujú medznú hodnotu pre jednotlivé vodohospodársky využívané vodné zdroje (pramene). Dopad exploatácie podzemných vôd na ekologický stav krajiny je v závislosti od varianty zachytenia podzemných vôd rozdielny, a preto aj metodika stanovenia lokálnych ekologických limitov bola rozdelená na dve časti. Pre stanovenie lokálnych ekologických limitov u vodných zdrojov zachytávajúcich prirodzene vystupujúce podzemné vody bolo doporučené pri ich kvantifikácii postupovať tak, že $MQ_{EKO\ (ZDR)}$ rovnajúce sa hodnote (0,30 až 0,35)$\star\boldsymbol{Q_{MIN}}$ bude predstavovať prirodzený odtok podzemných vôd, ktorý musí odtekať 50 m pod záchytom. U prameňov situovaných bližšie ako 50 m od povrchového toku s dostatočným prietokom (dodržanie MQ_{EKO}), môže byť prameň exploatovaný absolútne s využiteľnosťou 100 %. $\boldsymbol{Q_{MIN}}$ prameňa predstavuje minimálnu dokumentovanú výdatnosť prameňa za celé pozorované obdobie.

Aby bolo možné kvantifikovať využiteľné množstvá podzemných vôd a lokálne ekologické limity vzťahujúce sa na výdatnosti prameňov, je dôležité poznať kolísanie výdatnosti prameňa v čase – teda sezónny chod výdatnosti, a najmä sezónnosť minimálnych hodnôt.

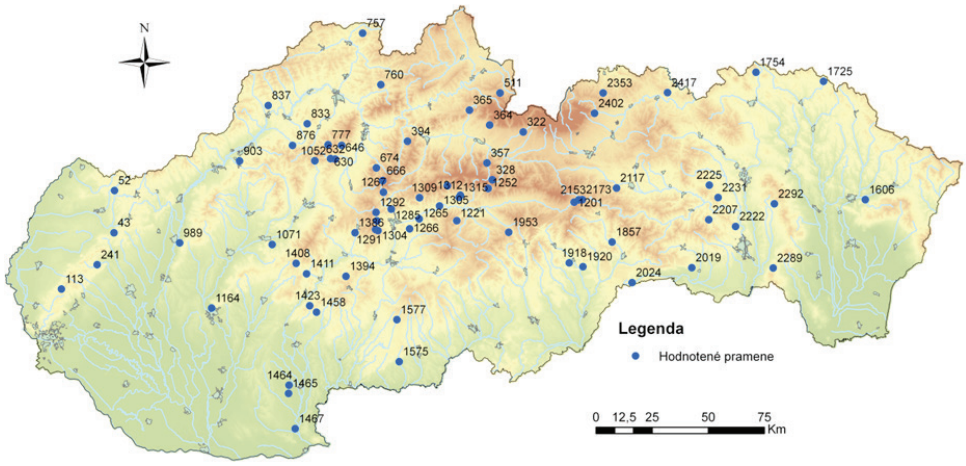
5.3.1 Sezónnosť výdatnosti prameňov

Pod pojmom sezónnosť v hydrológii, ale aj v hydrogeológii rozumieme pravidelnú cyklickú zmenu hodnoteného prvku v priebehu jedného hydrologického roka. Tým prvkom v hydrogeológii môže byť hladina podzemnej vody alebo výdatnosť prameňa, v hydrológii napr. vodný stav alebo prietok.

Problematike sezónnosti výskytu hydrologických, hydrogeologických, prípadne meteorologických javov a ich regionálneho vyjadrenia sa v poslednom období venuje stále väčšia pozornosť. V hydrogeologickom výskume sa priamo hodnoteniu sezónnosti výdatnosti prameňov nevenujú žiadne práce. Sezónna zložka je hodnotená v rámci kvantitatívnej analýzy režimu prameňov (Fendeková eta al., 1995; Fendeková, 1996; Fendeková a Fendek, 2005). V zahraničnej literatúre sa venovali hodnoteniu sezónnosti výdatnosti prameňov napríklad práce Orehovej (2002), Ledvinku a Lamačovej (2014) či Moniewskeho (2015). V hydrológii sa problematike sezónnosti prietokov, či už minimálnych alebo maximálnych, venovali viacerí domáci aj zahraniční autori, napr. Čunderlík (1999); Kohnová a Szolgay (2000), Kohnová et al. (2008), Števková et al. (2012), Burn (1997), Laaha a Blöschl (2006), Parajka et al. (2009; 2010) a mnohí iní.

5.3.2 Vstupné dáta a metódy hodnotenia

Analýza sezónnosti minimálnych výdatnosti prameňov bolo uskutočnená na 75 prameňoch z databázy Slovenského hydrometeorologického ústavu (obr. 5.3.2.1, tab. 5.3.2.1), ktorý pre účely riešenia tohto projektu poskytol týždenné údaje o výdatnosti prameňov za obdobie hydrologických rokov 1980 – 2012.



Obr. 5.3.2.2 Lokalizácia hodnotených prameňov
Fig. 5.3.2.1 Location of the evaluated springs

Okrem údajov o týždenných výdatnostiach prameňov boli použité aj meteorologické dáta a dáta charakterizujúce fyzicko-geografické parametre prostredia vo vývervej oblasti prameňov (tab. 5.3.2.2). Aj meteorologické dáta boli poskytnuté SHMÚ vo forme mapových vrstiev z Klimatického atlasu Slovenska (2015) s priemerným ročným úhrnom zrážok **(*Z*)** a priemernými ročnými teplotami vzduchu **(*t*).**

Fyzicko-geografická charakteristika územia v hydrologickej a hydrogeologickej praxi vychádza z charakteristík hydrologického povodia, avšak stanovenie hydrogeologickej rozvodnice je omnoho komplikovanejšie a komplexnejšie. Rovnako aj určenie infiltračno-akumulačnej oblasti pre konkrétny prameň je niekedy až extrémne náročné. Hodnotené fyzicko-geografické pomery boli preto vztiahnuté najmä k okoliu výveru prameňa a pre účely analýzy sezónnosti výdatnosti prameňov boli použité číselne vyjadriteľné údaje, a to: nadmorská výška výveru prameňa **(*H*)**, koeficient prietočnosti horninového prostredia **(*T*)** (Malík et al., 2007; 2013) a orientácia svahov vývervej oblasti prameňa voči svetovým stranám **(*Or*)**. Sumarizácia údajov o meteorologicických a fyzicko-geografických charakteristikách pre jednotlivé hodnotené pramene je v tab. 5.3.2.2.

Tab. 5.3.2.3 Charakteristika hodnotených prameňov

Tab. 5.3.2.1 Characteristic of evaluated springs

Číslo [kat. SHMÚ]	Lokalita	Názov prameňa	Hydro-geol. rajón	Typ prameňa	Geologické prostredie	Pohorie (Mazúr a Lukniš, 1986)	Útvar podzemných vôd
43	Jablonica	Stužková	MN053	krasový[1]	vápence	Malé Karpaty	SK200060KF
52	Sobotište	Janíkov mlyn	PM043	puklinovo-bariérový[2]	ílovce a pieskovce	Biele Karpaty	SK2000700F
113	Pernek	Štôla	MG008	výtok zo štôlne[3]	biotitické svory a pararuly	Malé Karpaty	SK200010FK
241	Horné Orešany	Husí stok	MG055	vrstvový [1]	rohovcové a slienité vápence	Malé Karpaty	SK200080KF
322	Pribylina	Pleso	QG009	erózny [4]	glacifluviálne sedimenty	Podtatranská kotlina	SK2003300F
328	Vyšná Boca	Bocianka	MG012	puklinovo-bariérový[5]	dolomity, bridlice, pieskovce	Nízke Tatry	SK200360FK
357	Liptovský Ján	Nad škopovou 2	M010	puklinovo-krasový[6]	dolomity	Nízke Tatry	SK200340KF
364	Žiar	Medzivŕšky	QP016	bariérový[4]	triasové karbonáty	Podtatranská kotlina	SK2003300F
365	Huty	Kvačianska dolina 1	M015	puklinový[7]	vápence a dolomity	Chočské vrchy	SK200270KF
394	Ľubochňa	Salatín č.3	M020	krasovo-puklinový[8]	vápence a dolomity	Veľká Fatra	SK200270KF
511	Vitanová/ Oravice	Mihulčie	MG014	puklinovo-bariérový[7]	prachovce, vápence, brekcie	Tatry	SK200270KF
630	Vrícko	Vrícko 2	M032	puklinový [9]	dolomity a vápence	Malá Fatra	SK200140KF
632	Kláštor pod Znievom	Studenec	M032	puklinovo-krasový[10]	dolomity	Žiar	SK200140KF
646	Valča	Valčianska dolina 2	MG031	puklinový[3]	vápence a dolomity	Malá Fatra	SK200240FK
666	Blatnica	Dolné Veterné	MV023	puklinový[11]	slienité vápence	Veľká Fatra	SK200270KF
674	Blatnica	Pod Dedošovou skalou	MV023	puklinový[11]	gaderské vápence	Veľká Fatra	SK200270KF
757	Čadca	U Šimčiska	PQ028	sutinový[3]	pieskovcovo-ílovcové vsetínske vrstvy	Kysucké Beskydy	SK2001800F

760	Belá/Kubíková	Veľhora	PQ028	nezistený	zlepence a pieskovce	Kysucká vrchovina	SK2001800F
777	Rajecká Lesná	Brčné	M032	vrstvový[3]	dolomity	Malá Fatra	SK200140KF
833	Bodiná	Biela voda	M035	erózny[12]	zlepence a vápence	Súľovské vrchy	SK200140KF
837	Ihrište	Káčerovská	PM040	sutinovo-puklinový[12]	pieskovce a sliene	Javorníky	SK2001800F
876	Pružina	Bobot	M035	bariérový[3]	vápence na styku so zlepencami a pieskovcami	Žilinská kotlina	SK200140KF
903	Kolačín	Ľahké zeme	M036	puklinový[12]	dolomity	Strážovské vrchy	SK200140KF
989	Banka	Vápnište	MG047	puklinový[1]	dolomity	Považský Inovec	SK200110KF
1052	Kľačno	Kamenná dolina	M032	puklinový[1]	vápence	Malá Fatra	SK200140KF
1071	Kolačno	Valachov	MG069	nezistený	dolomity	Tríbeč	SK200150FP
1164	Drážovce	Šindoľka	MG070	puklinový[13]	vápence	Tríbeč	SK200150FP
1201	Telgárt	Hron	M126	krasový[14]	vápence	Horehronské podolie	SK200390KF
1221	Osrblie	Teplica	MG078	puklinový [15]	dolomity	Veporské vrchy	SK200280FK
1252	Jarabá	Žliabok	MG076	sutinovo-puklinový[15]	ortoruly	Nízke Tatry	SK200280FK
1265	Slovenská Ľupča	Driekyňa	MG078	sutinovo-puklinový[16]	dolomity	Zvolenská kotlina	SK200280FK
1266	Môlča	Teplica	MG078	krasovo-puklinový[16]	dolomity	Zvolenská kotlina	SK200280FK
1267	Horný Harmanec	V rigole	MV023	puklinový[8]	bridlice karpat. keupru, (podložne vápence?)	Veľká Fatra	SK200250KF
1285	Úľanka	Medzi vodami	MG077	puklinový[17]	dolomity	Starohorské vrchy	SK200280FK
1287	Králiky	Pod kameňolomom	V082	puklinový[16]	dolomity	Starohorské vrchy	SK200250KF

1291	Kordíky	Pod širokou	V082	puklinový[16]	andezitové aglomeráty	Kremnické vrchy	SK200220FP
1292	Kordíky	Na Table	V082	puklinový[16]	andezitové aglomeráty	Kremnické vrchy	SK200220FP
1304	Badín	Pod kordíckou chatou	V082	puklinový[16]	andezitové aglomeráty	Kremnické vrchy	SK200220FP
1305	Nemecká	Pod motorestom	MG076	krasový[15]	vápence	Horehronské podolie	SK200290FK
1307	Jasenie	Zo štôly	MG076	výtok zo štôlne[15]	ortoruly	Nízke Tatry	SK200290FK
1309	Moštenica	Kyslá 1,2	MG077	vrstvový[17]	dolomity	Starohorské vrchy	SK200280FK
1312	Dolná Lehota	Vrabec	MG076	puklinový[15]	vápence	Horehronské podolie	SK200280FK
1315	Dolná Lehota	Dolný	MG076	puklinový[15]	karbonatické zlepence	Horehronské podolie	SK200280FK
1386	Horná Ves	U Hrantu	V082	puklinový[18]	andezity	Kremnické vrchy	SK200220FP
1394	Podhorie	Handrlová	V088	puklinový,bariérový[19]	vápence a andezitové porfýry	Štiavnické vrchy	SK200220FP
1408	Veľké Pole	Studňa	MG069	nezistený	pieskovce, kremence, dolomity karpatského keupru	Tribeč	SK200150FP
1411	Horné Hámre	Kajlovka	V086	výtok zo štôlne [20]	andezity	Vtáčnik	SK200220FP
1423	Brehy	Liešna dolina	V088	výtok zo štôlne[3]	andezity	Štiavnické vrchy	SK200220FP
1458	Pukanec	Ergi štôlňa	V088	výtok zo štôlne [21]	andezity	Štiavnické vrchy	SK200220FP
1464	Veľký Dvor	Bažantnica	QN059	vrstvový[21]	fluviálne sedimenty terás	Podunajská pahorkatina	SK 2000300P
1465	Nýrovce	Pri JRD	QN059	vrstvový[21]	fluviálne sedimenty terás	Podunajská pahorkatina	SK 2000300P

1467	Kamenín	Studená studňa	QN059	vrstvový[21]	fluviálne sedimenty terás	Podunajská pahorkatina	SK 2000300P
1575	Čebovce	Malá studňa	NQ095	vrstvový [22]	piesky, pieskovce, zlepence	Juhoslovenská kotlina	SK 2000300P
1577	Senohrad	Dolný mlyn	V094	nezistený	epiklastické vulkanické brekcie andezitov	Krupinská planina	SK200260FP
1606	Kamenica n. Cirochou	Pod Drieňovou	QP097	nezistený	karbonatické brekcie, zlepence	Beskydské predhorie	SK2005700F
1725	Vyšný Komárnik	Pod dolhoncom	PQ105	puklinovo-sutinový [23]	pieskovce a ílovce	Laborecká vrchovina	SK2005700F
1754	Chmeľová	Podstavy 4	PQ110	vrstvovo-suťový[3]	ílovcový flyš	Busov	SK2005700F
1857	Gemerská Poloma	Hámor	G128	vrstvový[24]	štrky-neogén	Revúcka vrchovina	SK200280FK
1918	Nandraž	Pri kasni	M130	krasovo-puklinovy[25]	dolomity	Slovenský kras	SK200280FK
1920	Gemerské Teplice	Hlavište 1+2	MQ129	vrstvový[26]	dolomity	Slovenský kras	SK200480KF
1953	Tisovec	Pod dielom	M126	krasovo-puklinový[27]	dolomity, rauvaky	Veporské vrchy	SK200390KF
2019	Drienovec	Jaskyňa	MQ129	krasovo-puklinový[26]	vápence	Slovenský kras	SK200480KF
2024	Silická Jablonica	Mlynský	MQ129	vrstvový[26]	vápence	Slovenský kras	SK200480KF
2117	Smižany	V lesnici	MG116	vrstvový[26]	karbonáty	Spišsko-gemerský kras	SK200460KF
2153	Dobšinská ľadová jaskyňa	V spišskom potoku 2	MG116	vrstvový[26]	vápence, kremence	Spišsko-gemerský kras	SK200460KF
2173	Dobšinská ľadová jaskyňa	Pod traťou	MG116	vrstvový[26]	vápence a dolomity	Spišsko-gemerský kras	SK200460KF
2207	Veľký Folkmar	V orlašskom potoku	G118	bariérový [24]	vápence a dolomity	Volovské vrchy	SK200500FK
2222	Družstevná pri Hornáde	Irenka	MG124	vrstvový[28]	dolomity, bridlice	Čierna Hora	SK200510KF

2225	Hrabkov	Teplica	P122	puklinový [28]	karbonatické zlepence a pieskovce	Šarišská vrchovina	SK2004900F
2231	Miklušovce	Pod Obišankou	MG124	puklinový [28]	dolomity	Čierna Hora	SK200510KF
2289	Rákoš	Rákošské lúky	V111	sutinový [29]	deluviálne sedimenty s andezitovými balvanmi	Slanské vrchy	SK200540FP
2292	Lúčina	V suchej doline	V111	nezistený	epiklastické vulkanické brekcie andezitov	Slanské vrchy	SK200540FP
2353	Jezersko	Pod svahom	PQ141	vrstvový [30]	pieskovce, ílovce	Spišská Magura	SK2004700F
2402	Tatranská Kotlina	Malý šumivý	MG142	bariérový[4]	vápence	Tatry	SK200440KF
2417	Matysová	V obci	PQ141	puklinový [31]	pieskovce so závaľkami ílov, drobnozrnné zlepence	Ľubovnianska vrchovina	SK2004700F

Poznámka: 1 - Malík et al., 2012, 2 - Tupý et al., 2004, 3 - Fendeková et al., 1995, 4 - Hanzel et al., 1990, 5 - Rapant, 1994, 6 - Dovina et al., 1984, 7 - Dovina et al., 1990, 8 - Malík a Kordík, 1999, 9 - Ftorková a Galisová, 1990, 10 - Černák et al.,2014, 11 - Malík et al., 2014, 12 - Remšík et al., 2004, 13 - Bačová et al., 1984, 17 - Malík a Kováčová, 2007, 15 - Zakovič et al., 2012, 16 - Malík et al., 2000a, 17 - Zakovič et al., 1999, 18 - Auxt et al., 1989, 19 - Páleník a Tischliar, 1999, 20 - Bučeková et al., 2001, 21 - Malík et al., 1999, 22 - Scherer et al., 2014, 23 - Zakovič et al., 1988, 24 - Grecula et al., 2011, 25 - Malík et al., 2000b, 26 - Hanzel et al., 2012a, 27- Švasta et al., 2004, 28- Malík et al., 1997, 29 - Tometz, 2004, 30 - Jetel et al., 1993, 31 - Pramuka et al., 2010.

Tab. 5.3.2.4 Meteorologické a fyzicko-geografické charakteristiky výverovej oblasti hodnotených prameňov

Tab. 5.3.2.2 Meteorological and physical-geographical characteristics of the discharge areas of evaluated springs

Č.	H (m n. m.)	T (°C)	Z (mm)	Or	T ($m^2 \cdot s^{-1}$)	Č.	H (m n. m.)	t (°C)	Z (mm)	Or	T ($m^2 \cdot s^{-1}$)
43	250	8,8	751,3	W	0,000758000	1305	420	7,5	804,8	SE	0,000619000
52	300	8,3	730,9	SW	0,000176510	1307	885	4,8	1140,4	NW	0,000010866
113	375	7,8	823,9	E	0,000034591	1309	570	5,9	991,5	E	0,001040000
241	302	8,7	802,8	S	0,000200747	1312	550	6,5	882,2	W	0,000619000
322	883	5,2	911,4	S	0,000920214	1315	520	6,8	877,5	NW	0,000815000
328	1178	1,9	1405,4	SE	0,000619000	1386	460	7,2	793	E	0,000286000
357	764	4,6	1071,8	NE	0,003553218	1394	525	7,1	763,2	NW	0,000407367
364	870	5	928,8	SW	0,000920214	1408	465	7,6	836,9	NE	0,000343147
365	764	5,3	989,4	S-SE	0,001040000	1411	300	8,4	777,3	NW	0,000289051
394	733	4,7	1290,3	SW	0,001046569	1423	525	7,9	864,7	E	0,000289051
511	950	4,4	1312	N	0,000358185	1458	390	8,5	723,9	SW	0,001165022
630	590	6,1	1039,9	NE	0,001040000	1464	145	10,2	574,1	N	0,001713848
632	594	5,8	1063,2	SW	0,001046569	1465	136	10,3	577,6	NE	0,001080000
646	575	5,8	1096,9	NE	0,001713848	1467	114	10,1	554,7	SE	0,001713848
666	900	3,3	1407,1	NE	0,000358185	1575	205	9,4	612,1	E	0,000335867
674	689	5,4	1082,5	NW	0,000625534	1577	550	7,3	696,7	W	0,000407367
757	630	5,8	1075,3	SW	0,000060410	1606	215	8,5	769,5	N	0,000358000
760	700	5,7	1121,6	SW	0,000060300	1725	395	6,7	946,7	W	0,000060300
777	641	4,7	1260,9	SE	0,001040000	1754	450	6,7	897,6	S	0,000101071
833	361	6,8	859,9	N-NE	0,000358185	1857	330	8	726,9	N	0,000310000
837	390	7,3	814,6	NW-N	0,000047794	1918	293	8,1	705,2	S	0,001046569
876	420	7,3	880	W	0,000619000	1920	245	8,5	667,4	SW	0,001046569
903	310	8	811,2	W	0,001040000	1953	750	5,3	890,9	S	0,000553000
989	200	9,1	642,6	NE	0,001040000	2019	250	8,7	646,3	SW	0,001713848
1052	603	5,2	1125,1	SW	0,000619000	2024	263	8,8	672,2	N	0,000321766
1071	270	8,9	673,5	S	0,001040000	2117	550	6,1	750,9	SE	0,000310000
1164	160	9,6	679,4	S	0,000619000	2153	925	4,6	1013,3	SE	0,001046569
1201	935	4,4	1030,7	NW	0,000619000	2173	850	4,6	997,7	N	0,000711426
1221	630	5,9	1054,3	SE	0,001024365	2207	500	6,7	760,7	SW	0,000625534
1252	845	4,2	1184,5	SE	0,000010866	2222	375	7,5	728,3	N	0,000665000
1265	450	7,5	769,2	NE	0,001040000	2225	445	6,9	686,8	W	0,000358000
1266	460	7,2	762,7	SW	0,001040000	2231	465	6,9	704,4	NE	0,001046569
1267	725	4,9	1157,8	SW	0,000431000	2289	430	7,7	849,6	SW	0,000321766

1285	400	7,3	933,9	W	0,001040000	2292	500	6,9	923,5	SW	0,000407367
1287	670	5,8	1048,9	NE	0,001040000	2353	715	5,4	896,1	NW	0,000176510
1291	900	4,5	1128,1	SE	0,000289051	2402	865	4,8	958,2	S	0,000343147
1292	830	4,9	1105,2	NE	0,000289051	2417	600	5,8	835,6	NE	0,000060410
1304	775	5,1	1065,6	SW	0,000289051						

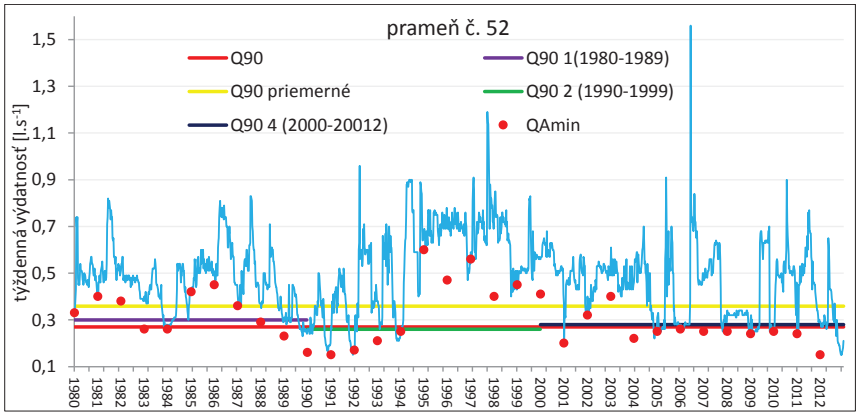
Pred samotným hodnotením sezónnosti výdatnosti prameňov bola vykonaná základná štatistická analýza dát. Hodnotená bola priemerná mesačná výdatnosť prameňov za obdobie hydrologických rokov 1980 – 2012. Analyzovanými štatistickými parametrami boli stredné hodnoty (priemer $\bar{x}$ a medián x_{med}), extrémne hodnoty (minimum $\boldsymbol{x}_{min}$ a maximum $\boldsymbol{x}_{max}$) a koeficienty variácie ($\boldsymbol{C}_v$), asymetrie ($\boldsymbol{C}_s$) a strmosti ($\boldsymbol{E}$).

Po štatistickom vyhodnotení priemerných mesačných výdatností prameňov boli stanovené parametre ich minimálnej výdatnosti.

Minimálna výdatnosť bola definovaná ako:

- prahová hodnota – minimálne výdatnosti rovné a menšie ako je $\boldsymbol{Q}_{90}$, získané z dlhodobej čiary prekročenia týždenných výdatností prameňov,
- absolútne minimálne ročné výdatnosti $\boldsymbol{Q}_{Amin}$.

Minimálne výdatnosti $\boldsymbol{Q}_{90}$ boli stanovené za dlhodobé (1980 – 2012) ročné, letné - $\boldsymbol{Q}_{90s}$ (IV. – X.) a zimné - $\boldsymbol{Q}_{90w}$ (XI. – III.) obdobie. Osobitne boli hodnotené aj jednotlivé desaťročia a to: $\boldsymbol{Q}_{90\,1}$ (1980 – 1989); $\boldsymbol{Q}_{90\,2}$ (1990 – 1999); $\boldsymbol{Q}_{90\,3}$ (2000 – 2009) a $\boldsymbol{Q}_{90\,4}$ (2000 – 2012) (obr. 5.3.2.2., tab. 5.3.2.3). Absolútne ročné minimálne výdatnosti $\boldsymbol{Q}_{Amin}$ boli stanovené za celé hodnotené obdobie rokov 1980 – 2012 a taktiež aj za letnú $\boldsymbol{Q}_{AminS}$ (IV. – X.) a zimnú $\boldsymbol{Q}_{AminW}$ (XI. – III.) sezónu.



Obr. 5.3.2.2 Hodnotené parametre minimálnej výdatnosti vyobrazené na grafe priebehu týždenných výdatností na príklade prameňa č. 52 v Sobotišti

Fig. 5.3.2.2 Evaluated parameters of the minimum yield drawn together with the weekly time series plot - the Sobotište spring No. 52 example

Hodnotenie sezónnosti

Sezónnosť je jednou zo zložiek analýzy časového radu. V hydrogeológii sa na vyhodnotenie sezónnej zložky používa graf sezónnosti, ktorým boli hodnotené priemerné mesačné a minimálne mesačné výdatnosti prameňov. Ďalšiu možnosť hodnotenia sezónnosti poskytuje použitie smerovej štatistiky s použitím Burnovho vektora (Burn, 1997) a pravdepodobnostnej analýzy – histogram relatívnej početnosti. K tomuto hodnoteniu boli použité dátumy výskytu absolútnych minimálnych ročných výdatnosti $\boldsymbol{Q_{Amin}}$ a minimálnych výdatností menších ako $\boldsymbol{Q_{90}}$ v jednotlivých časových intervaloch.

Metóda Burnovho vektora vychádza z dátumu výskytu extrémneho javu v i-tom roku. Dátum výskytu sa prepočíta na Juliánsky dátum ($\boldsymbol{J_i}$), ktorý predstavuje súčet dní v i-tom roku od 1. januára až po deň výskytu, vrátane (Burn, 1997). Na zohľadnenie prestupných rokov má mesiac február 28,25 dní, a teda priemerný rok má 365,25dní. Hodnoty $\boldsymbol{J_i}$ sa pohybujú v rozpätí 1 (1. január) až po 365,25 (31. december). Následne je Juliánsky dátum ($\boldsymbol{J_i}$) výskytu *i*-teho javu transformovaný na uhly θ_i v radiánoch alebo v stupňoch na základe vzťahu (Burn, 1997):

$$\theta_i = (JulianDate)_i \frac{2\pi}{365}, \tag{5.3.2.1}$$

alebo:

$$\theta_i = J_i \frac{360°}{365{,}25}, \tag{5.3.2.2}$$

alebo:

$$\theta_i \in \{0{,}98;360°\} \tag{5.3.2.3}$$

Vďaka transformácii Juliánskeho dátumu na uhol sa môže dátum výskytu ročného minima hydrologického javu vyjadriť ako vektor s jednotkovou dĺžkou a s orientáciou θ_i na jednotkovej kružnici, ktorá predstavuje kalendárny rok. Takto vypočítané orientované uhly θ_i sa na kružnicu nanášajú proti chodu hodinových ručičiek. Priemerný uhol $\overline{\theta}$ je následne stanovený ako:

$$\overline{\theta} = arctg\left(\frac{\overline{y}}{\overline{x}}\right), \ \overline{\theta} \in \langle 0°;360° \rangle \tag{5.3.2.4}$$

kde: $\overline{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \cos\theta_i$, a $\overline{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \sin\theta_i$, pričom ide o priemerné hodnoty x-ových a y-ových súradníc uhlov θ_i a *n* je počet analyzovaných rokov.

Priemerný uhol $\overline{\theta}$ sa dá spätne prerátať na priemerný deň (dátum) výskytu ročného minima hydrologického javu pomocou vzťahov:

$$MD = \overline{\theta} \frac{365}{2\pi}, \tag{5.3.2.5}$$

resp.:

$$\overline{J} = \overline{\theta} \frac{365{,}25}{360°}, \overline{J} \in \langle 0;365{,}25 \rangle \tag{5.3.2.6}$$

Okrem priemerného dátumu výskytu ročného minima javu možno pomocou priemerných hodnôt x-ových a y-ových súradníc definovať index sezónnej koncentrácie minimálnych hodnôt hydrologického javu pomocou vzťahu:

$$\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2}, \bar{r} \in \langle 0;1 \rangle \qquad (5.3.2.7)$$

kde $\bar{r}$ predstavuje mieru rozptylu dát (dátumov výskytu) a môže nadobudnúť hodnoty medzi 0 a 1. Krajný prípad $\bar{r} = 0$ znamená, že ročné minimá sú rozdelené rovnomerne počas roka; druhý extrém predstavuje situáciu, keď všetky ročné minimá sa pozorujú v rovnaký deň roka. Čím vyššiu hodnotu má $\bar{r}$, tým pravidelnejšie sa vyskytujú ročné minimá.

Po výpočte Burnovho vektora, ktorý predstavuje priemerný dátum výskytu minimálnej výdatnosti s určitou pravdepodobnosťou výskytu, bol zostavený aj histogram relatívnej početnosti dátumov výskytu minimálnych výdatností.

Histogram početnosti resp. histogram sezónnosti (Laaha, 2002) umožňuje detailnejšie charakterizovať rozdelenie sezónnosti minimálnych výdatností v roku. Rovnako ako pri Burnovom vektore, aj tu do hodnotenia vstupuje Juliánsky dátum výskytu výdatností menších ako Q_{90} a Q_{Amin}. Histogram zobrazuje výskyt minimálnych výdatnosti v jednotlivých mesiacoch v hydrologickom roku.

Metódy regionalizácie

Na základe získaných indexov sezónnosti, ale aj na základe vybraných fyzicko-geografických parametrov (zrážky, teplota vzduchu, nadmorská výška vývoru, koeficient prietočnosti a orientácia voči svetovým stranám) bola vykonaná regionalizácia minimálnych výdatností prameňov.

Ako základná regionalizačná metóda bola použitá zhlukovacia analýza. Pred samotným zhlukovaním bola vykonaná korelačná analýza. Jej cieľom bolo odhalenie vzájomnej lineárnej závislosti medzi premennými. V prípade, že medzi nezávisle premennými bola silná, štatisticky významná korelácia – efekt multikolinearity, bolo potrebné ju pred samotným procesom zhlukovania odstrániť. Pre tento účel bola použitá faktorová analýza a metóda hlavných komponentov. Následne bol uskutočnený samotný proces zhlukovania. Regionalizácia bola vykonaná pomocou hierarchického zhlukovania Wardovou metódou s použitím druhej mocniny Euklidovskej vzdialenosti.

5.3.3 Výsledky hodnotenia sezónnosti minimálnych výdatností prameňov

Štatistická analýza dát

Štatistickou analýzou priemerných mesačných výdatností (tab. 5.3.3.1) bolo zistené, že priemerné mesačné výdatnosti hodnotených prameňov sa pohybujú v rozmedzí od 30,67 $l.s^{-1}$ (prameň 1312 v Dolnej Lehote) do 0,33 $l.s^{-1}$ (prameň 1725 vo Vyšnom Komárniku). Výnimku predstavuje prameň č. 328 vo Vyšnej Boci, kde priemerná výdatnosť je 115,3 $l.s^{-1}$ a medián dosahuje hodnotu 63,12 $l.s^{-1}$. Tento prameň je však v jarnom období ovplyvnený povrchovými vodami. Pokiaľ ide o extrémne hodnoty, rovnako ako pri priemerných hodnotách aj v prípade maxima bola najvyššia hodnota výdatnosti prameňa vo Vyšnej Boci (328) a to 888,8 $l.s^{-1}$. Naj-

nižšie výdatnosti boli rovné 0,00 $l.s^{-1}$. Takéto minimá boli v prameni v Slovenskej Ľupči (1265), Dobšinskej ľadovej jaskyni (2153) a v Lučinej (2292).

Takmer polovica hodnotených prameňov má hodnotu koeficienta variácie vyššiu ako 50 %, čo poukazuje na nesúrodosť dát, a preto je pri ďalšej analýze vhodnejšie používanie mediánu ako strednej hodnoty. Pokiaľ ide o typ rozdelenia početnosti, rozdelenie početnosti súborov je výrazne odlišné od normálneho rozdelenia a u väčšiny hodnotených prameňov ide o asymetrické rozdelenie. Homogenita súboru dát bola posudzovaná pomocou pravdepodobnostného grafu normálneho rozdelenia početnosti. Na základe výsledkov tohto posúdenia možno považovať súbory výdatností jednotlivých prameňov za homogénne.

Minimálne výdatnosti prameňov menšie ako Q_{90} (Tab. 5.3.3.1) boli stanovené za dlhodobé obdobie z empirickej čiary prekročenia. Hodnoty výdatnosti sú u jednotlivých prameňov samozrejme rôzne. Najnižšia hodnota Q_{90} bola u prameňa v Dobšinej ľadovej jaskyni (2153) s hodnotou 0,00 $l.s^{-1}$, poprípade v Lučinej (2292) s výdatnosťou 0,08 $l.s^{-1}$. Najvyššia výdatnosť Q_{90} bola vo Vyšnej Boci (328) s hodnotou 19,5 $l.s^{-1}$. Zároveň boli stanovené hodnoty Q_{90} aj za jednotlivé desaťročia a sezóny (Tab. 5.3.3.1).

Tab. 5.3.3.1 Základné štatistické parametre výdatnosti prameňov za obdobie hydrologických rokov 1980 – 2012 a hodnoty minimálnej výdatnosti Q_{90} v jednotlivých čiastkových periódach

Tab. 5.3.3.1 Basic statistical parameters of spring yields in the period of hydrological years 1980 – 2012 and values of minimum yield Q_{90} in respective sub-intervals

Kat. č. SHMÚ	Priemerná mesačná výdatnosť							Minimálna výdatnosť						
	$\bar{x}$	x_{med}	x_{min}	x_{max}	C_v (%)	C_s	E	Q_{90}	$Q_{90\,1}$	$Q_{90\,2}$	$Q_{90\,3}$	$Q_{90\,4}$	Q_{90s}	Q_{90w}
43	8,32	6,77	1,35	55,55	70,28	27,72	74,21	4,17	4,97	2,64	4,62	4,62	4,39	3,96
52	0,49	0,49	0,16	0,94	32,55	2,19	-1,35	0,27	0,30	0,26	0,28	0,27	0,27	0,27
113	0,91	0,82	0,27	3,12	43,74	13,66	19,34	0,52	0,64	0,50	0,46	0,48	0,52	0,51
241	4,69	3,59	0,94	17,95	68,38	10,79	6,01	1,67	1,66	1,68	1,65	1,71	1,54	2,18
322	27,7	25,49	11,95	59,83	34,67	6,86	1,01	16,8	16,8	16,8	20,1	19,1	20,1	15,3
328	115,3	63,12	8,87	888,8	120,6	20,25	28,96	19,5	15,9	22,2	28,2	24,4	24,0	15,9
357	16,31	17,0	5,33	20,01	12,28	-15,4	17,83	13,40	12,70	14,50	13,40	12,70	16,10	11,30
364	20,82	17,58	4,67	105,3	66,56	18,91	32,26	8,32	7,28	10,80	8,41	8,20	9,46	7,20
365	15,46	13,59	5,98	44	42,62	7,80	2,39	8,27	8,60	8,93	8,27	7,62	9,26	7,94
394	24,48	23,28	5,72	66,03	28,93	12,08	19,20	16,60	16,60	16,60	17,60	17,60	17,64	16,10
511	11,84	11,09	0,03	41,58	44,56	13,38	21,12	6,27	9,78	6,69	5,86	4,73	7,75	5,47
630	9,01	8,59	4,88	16,88	21,49	9,42	6,25	7,00	6,36	7,35	7,22	7,33	7,21	6,69
632	8,21	7,69	1,5	18,97	34,02	8,41	7,37	5,47	5,86	5,60	4,50	4,85	5,60	5,09
646	4,20	4,13	0,71	10,39	37,64	3,76	1,53	2,30	2,17	3,35	2,22	2,00	2,50	2,13
666	21,10	21,09	3,28	46,78	39,13	0,64	-2,81	8,93	8,27	9,61	8,93	8,27	8,93	8,93
674	1,34	1,16	0,15	4,81	56,28	9,62	6,88	0,47	0,90	0,74	0,34	0,34	0,50	0,47
757	5,68	3,96	0,8	37,04	90,17	21,31	36,62	1,51	1,58	1,61	1,37	1,37	1,51	1,52
760	1,37	1,32	0,02	3,28	37,14	2,49	1,88	0,76	0,67	0,74	1,01	0,84	0,80	0,66

Kat. č. SHMÚ	Priemerná mesačná výdatnosť							Minimálna výdatnosť						
	$\bar{x}$	x_{med}	x_{min}	x_{max}	C_v (%)	C_s	E	Q_{90}	$Q_{90\,1}$	$Q_{90\,2}$	$Q_{90\,3}$	$Q_{90\,4}$	Q_{90s}	Q_{90w}
777	9,24	8,12	1,69	40,64	62,20	13,14	17,86	2,99	2,73	3,17	3,55	3,17	2,81	3,45
833	11,45	9,96	4,36	37,5	43,90	11,03	10,60	6,27	13,00	6,98	5,34	5,34	6,84	5,86
837	1,19	0,91	0,18	4,96	74,91	11,15	6,92	0,33	0,37	0,32	0,34	0,33	0,34	0,31
876	14,16	13,63	5,92	29,03	30,94	6,15	1,97	8,93	10,30	8,93	8,93	8,93	8,93	8,93
903	1,67	1,43	0,82	7,11	47,35	18,24	30,31	1,00	1,15	1,02	1,03	0,94	1,07	0,95
989	1,77	1,75	0,44	3,95	47,28	2,35	-4,22	0,72	1,94	0,63	0,78	0,68	0,69	0,74
1052	7,66	7,45	1,38	17,25	35,87	4,22	2,79	4,35	3,51	4,58	5,77	5,45	4,63	3,82
1071	1,26	0,78	0,08	6,5	103,3	13,57	9,11	0,20	0,83	0,15	0,22	0,20	0,21	0,19
1164	1,09	1,02	0,89	1,53	13,06	9,05	1,36	0,96	0,93	1,03	0,98	0,93	0,96	0,96
1201	7,88	7,29	1,36	23,22	47,04	6,28	2,96	3,35	2,73	3,96	3,45	3,45	3,96	2,99
1221	11,60	11,3	7,79	18,5	13,52	9,76	9,43	9,78	10,70	9,42	9,78	10,14	9,96	9,60
1252	2,23	1,78	0,75	9,79	61,71	15,79	20,77	1,01	0,93	1,19	1,08	1,01	1,21	0,91
1265	3,92	2,87	0,00	12,56	83,76	6,74	-1,67	0,48	0,29	0,68	0,24	0,34	0,53	0,36
1266	14,03	10,49	1,86	59,78	79,06	12,13	8,62	3,26	4,39	3,85	2,90	2,81	3,35	3,17
1267	8,00	7,31	4,26	25,84	34,33	14,2	22,40	5,22	5,15	5,65	5,22	4,97	5,25	5,02
1285	7,85	7,39	1,62	22,51	46,17	6,57	2,40	3,41	3,59	3,46	3,13	3,31	3,98	2,83
1287	4,07	3,21	0,93	26,2	71,58	27,03	65,51	1,96	2,00	2,00	1,57	1,63	1,88	2,00
1291	5,78	4,25	0,81	32,01	83,91	18,78	29,01	1,76	1,63	2,10	1,70	1,70	2,10	1,51
1292	6,79	6,91	4,44	11,48	17,47	3,95	5,32	5,06	4,78	6,51	6,51	6,51	5,24	4,88
1304	1,20	1,06	0,44	3,71	43,47	13,03	13,66	0,64	0,84	0,82	0,55	0,55	0,62	0,70
1305	30,47	28,13	6,62	79,35	46,53	6,40	1,71	12,50	10,70	13,20	20,70	18,10	12,50	13,20
1307	7,03	6,69	3,83	13,5	24,85	7,92	3,81	5,06	4,73	5,22	5,23	5,08	5,41	4,66
1309	6,23	5,76	3,26	14,03	31,13	11,02	7,97	4,23	4,55	4,39	4,04	3,98	4,43	4,07
1312	30,70	28,66	12,25	78,13	34,75	9,51	7,18	18,66	19,20	20,20	16,89	16,89	20,20	16,89
1315	27,34	24,86	14,08	90,13	34,67	18,94	38,76	18,10	20,40	17,70	16,84	17,26	19,00	16,84
1386	1,64	1,37	0,74	6,26	52,26	17,23	23,88	0,89	0,96	0,89	0,87	0,88	0,93	0,86
1394	0,59	0,56	0,42	1,12	18,81	11,66	10,02	0,48	0,47	0,47	0,48	0,48	0,48	0,47
1408	4,28	3,99	0,82	12,73	47,18	8,41	5,68	1,92	1,58	1,90	2,76	2,76	1,96	1,80
1411	0,91	0,6	0,16	6,45	88,32	16,21	25,74	0,22	0,26	0,20	0,20	0,21	0,20	0,27
1423	3,17	3,06	2,05	7,19	20,97	13,52	19,53	2,46	2,64	2,33	2,41	2,41	2,46	2,44
1458	4,37	4,17	2,92	8,95	21,57	13,42	16,14	3,42	3,35	3,45	3,36	3,36	3,45	3,35
1464	0,85	0,83	0,17	2,34	36,37	11,68	17,58	0,51	0,78	0,42	0,56	0,59	0,47	0,60
1465	0,91	0,79	0,25	2,16	45,80	7,82	1,44	0,48	0,97	0,35	0,59	0,60	0,48	0,46
1467	0,67	0,66	0,21	1,46	44,62	3,85	-2,54	0,31	0,68	0,36	0,23	0,23	0,29	0,32
1575	0,39	0,33	0,04	1,33	60,53	10,93	6,83	0,16	0,12	0,14	0,22	0,24	0,15	0,16
1577	0,40	0,30	0,12	1,68	66,31	15,94	16,15	0,19	0,14	0,23	0,22	0,21	0,19	0,20
1606	2,03	1,55	0,51	10,39	74,27	20,41	34,46	0,83	0,97	0,84	0,67	0,69	0,91	0,81
1725	0,33	0,32	0,03	1,21	57,11	7,72	6,46	0,10	0,11	0,14	0,08	0,08	0,17	0,07

Kat. č. SHMÚ	Priemerná mesačná výdatnosť							Minimálna výdatnosť						
	$\bar{x}$	x_{med}	x_{min}	x_{max}	C_v (%)	C_s	E	Q_{90}	$Q_{90\,1}$	$Q_{90\,2}$	$Q_{90\,3}$	$Q_{90\,4}$	Q_{90s}	Q_{90w}
1754	2,79	2,12	0,29	11,19	71,83	9,71	4,03	0,90	1,05	1,05	0,75	0,75	1,05	0,90
1857	1,69	1,63	0,48	4,07	30,88	6,37	5,59	1,11	0,97	1,22	1,14	1,14	1,07	1,13
1918	2,98	2,21	0,92	30,67	89,87	42,31	163,8	1,33	1,40	1,27	1,35	1,31	1,36	1,31
1920	24,75	10,83	1,65	307,9	146,7	31,58	84,91	3,30	2,90	4,40	3,63	3,63	3,85	3,06
1953	6,67	5,57	1,42	21,15	61,38	7,84	1,46	2,46	2,29	2,56	2,46	2,51	2,70	2,20
2019	25,35	14,03	0,71	284,6	121,64	24,55	60,66	3,30	1,80	3,88	4,22	4,57	3,99	2,58
2024	12,31	6,39	1,25	142,5	128,6	26,99	65,00	2,15	2,15	2,15	2,22	2,29	2,50	1,94
2117	7,26	6,57	4,87	20,98	25,23	25,36	60,84	5,95	5,95	5,95	5,95	5,95	5,95	5,95
2153	2,56	1,24	0,00	21,05	129,5	18,06	23,62	0,00	0,00	0,37	0,00	0,00	0,37	0,00
2173	6,80	6,21	1,58	25,85	37,46	16,02	35,93	4,28	4,62	3,55	4,62	4,62	4,62	4,06
2207	1,54	1,38	0,44	6,38	43,99	18,41	38,02	0,88	1,00	0,89	0,82	0,83	0,90	0,87
2222	1,90	1,74	1,29	6,11	29,66	23,30	51,37	1,43	1,38	1,50	1,52	1,49	1,46	1,41
2225	13,82	12,13	2,3	44,55	51,43	9,53	8,32	5,98	5,98	5,98	4,60	5,15	7,35	5,15
2231	2,77	2,34	0,48	9,39	64,79	10,58	6,84	0,82	0,82	1,29	0,82	0,82	1,04	0,82
2289	1,21	1,14	0,91	4,49	23,36	41,78	191,12	0,99	0,99	1,01	1,00	0,99	0,99	1,00
2292	0,96	0,83	0,00	4,59	83,90	11,16	11,12	0,08	0,08	0,08	0,04	0,04	0,08	0,08
2353	1,62	1,55	0,02	4,92	53,78	5,14	1,73	0,43	0,53	0,50	0,39	0,33	0,58	0,37
2402	3,81	3,58	2,75	5,49	14,74	7,84	-0,39	3,24	3,26	3,16	3,38	3,44	3,35	3,18
2417	1,14	1,1	0,36	2,53	35,68	4,34	-0,61	0,69	0,68	0,74	0,69	0,71	0,71	0,58

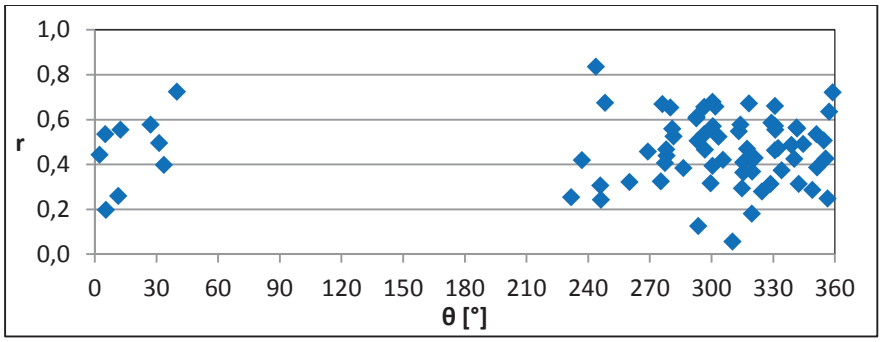
Vysvetlivky: Q_{90} – stanovené za obdobie 1980 – 2012, $Q_{90\,1}$**:** 1980 – 1989, $Q_{90\,2}$**:** 1990 – 1999, $Q_{90\,3}$**:** 2000 – 2009, $Q_{90\,4}$**:** 2000 – 2012, Q_{90s} – leto (1980 – 2012), Q_{90w} – zima (1980 – 2012)

Explanations: Q_{90} – estimated for the period 1980 – 2012, $Q_{90\,1}$**:** 1980 – 1989, $Q_{90\,2}$**:** 1990 – 1999, $Q_{90\,3}$**:** 2000 – 2009, $Q_{90\,4}$**:** 2000 – 2012, Q_{90s} – summer(1980 – 2012), Q_{90w} – winter (1980 – 2012)

Sezónnosť minimálnych výdatnosti prameňov

Sezónnosť minimálnych výdatností prameňov bola hodnotená na základe dátumov výskytu výdatností nižších ako hodnota dlhodobej ročnej výdatnosti Q_{90} (1980 – 2012). Následne bola hodnotená sezónnosť na základe dátumov výskytu výdatností menších ako Q_{90} za dlhodobé letné - Q_{90s} (IV. – X.) a zimné - Q_{90w} (XI. – III.) obdobie. Vzhľadom na to, že hodnota Q_{90} bola určená z celkovej empirickej čiary prekročenia týždenných výdatností za obdobie hydrologických rokov 1980 – 2012, bola hodnotená sezónnosť aj pre jednotlivé desaťročia 1980 – 1989 ($Q_{90\,1}$), 1990 – 1999 ($Q_{90\,2}$), 2000 – 2009 ($Q_{90\,3}$) a za obdobie rokov 2000 – 2012 ($Q_{90\,4}$). Hodnotená bola aj sezónnosť na základe dátumov výskytu absolútnych ročných minimálnych výdatností Q_{Amin} (1980 – 2012) a absolútnych letných Q_{AminS} (IV. – X.) a zimných Q_{AminW} (XI. – III.) minimálnych výdatností.

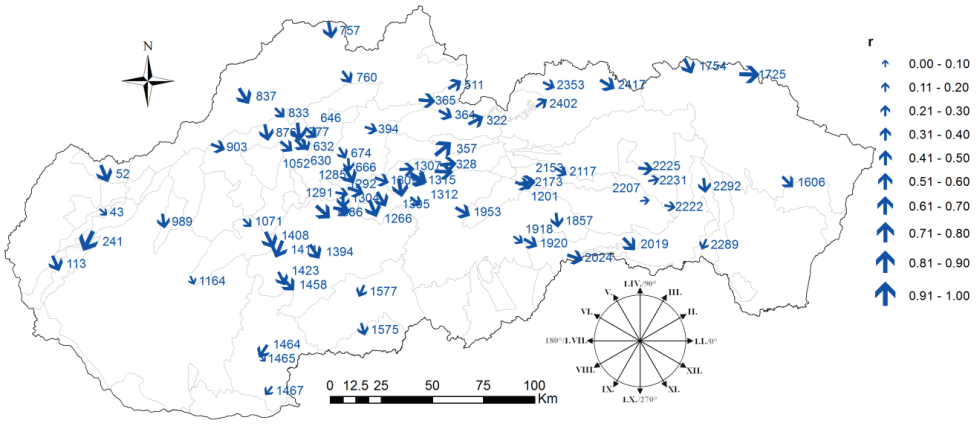
Prvým parametrom sezónnosti hodnotenej metodikou Burna (1997 na základe časového nástupu (θ) a pravidelnosti (r) extrémnych javov, boli dátumy výskytov minimálnych výdatností menších ako Q_{90} (1980 – 2012). Priemerný dátum výskytu bol v rozmedzí mesiacov august – marec (obr. 5.3.3.1).



Obr. 5.3.3.1 Priemerný uhol dátumu výskytu minimálnych výdatnosti (***θ***) a index sezónnej koncentrácie (***r***) vypočítaný pre výdatnosti menšie ako Q_{90}

Fig. 5.3.3.1 Average angle date of minimum yields occurrence (***θ***) and seasonal concentration index (***r***) for yields lower than Q_{90}

Na mape Slovenska (obr. 5.3.3.1 a 5.3.3.2) vidíme zobrazený Burnov vektor pre výdatnosti menšie ako Q_{90}. Smer šípky v mape indikuje mesiac, v ktorom sú zaznamenané minimálne výdatnosti a veľkosť šípky predstavuje pravdepodobnosť výskytu minimálnych výdatností v stanovenom dátume.

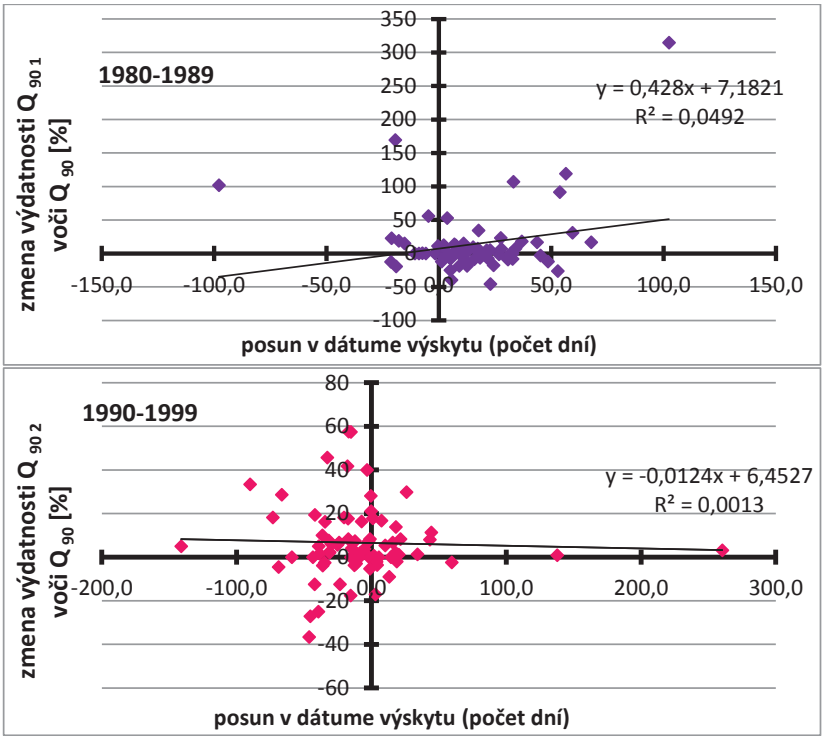


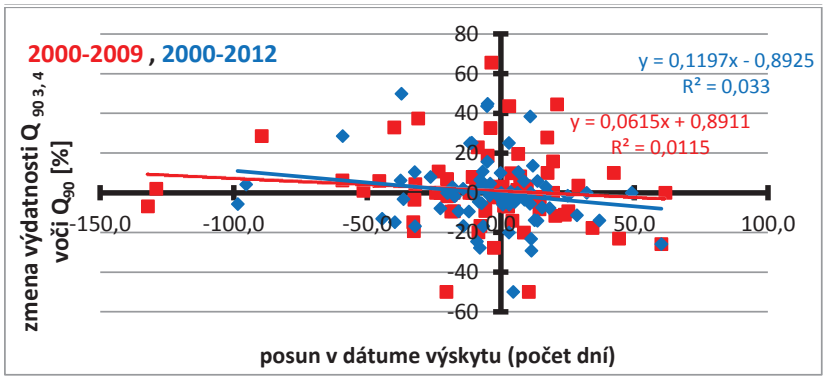
Obr. 5.3.3.2 Burnov vektor vypočítaný pre výdatnosti menšie ako Q_{90}

Fig. 5.3.3.2 Burn´s vector calculated for yields lower than Q_{90}

Najčastejšie sa minimálne hodnoty vyskytujú v mesiacoch november (21), december (20) a október (17). V menšej miere je to v januári (6) a februári (3) a na konci leta, teda v auguste (2) a septembri (6). Druhým parametrom hodnotenia sezónnosti minimálnych výdatností boli dátumy výskytu absolútnych ročných minimálnych výdatností Q_{Amin} za celé hodnotené obdobie, ktoré boli rovnako ako Q_{90}, v období od septembra do februára. Rozdiel bol v hodnote sezónnej koncentrácie ***r***, ktorá je pri Q_{Amin} väčšinou vyššia.

Ak porovnáme sezónny vývoj za jednotlivé desaťročia s dlhodobou sezónnosťou minimálnych výdatností menších ako $Q_{90,}$ posúva sa sezónnosť v priebehu jednotlivých desaťročí väčšinou o jeden mesiac nahor alebo nadol. Vzťah medzi poklesom alebo nárastom hodnoty $Q_{90(1,2,3,4)}$ v jednotlivých desaťročiach v porovnaní s dlhodobou hodnotou Q_{90} a veľkosťou zmeny v priemernom dátume výskytu minimálnych výdatností (obr. 5.3.3.3) nie je štatisticky významný. Z porovnania jednotlivých desaťročí s dlhodobou hodnotou Q_{90} (obr. 5.3.3.3) vyplýva, že v rokoch 1980 – 1989 došlo v porovnaní s dlhodobým obdobím k poklesu hodnoty minimálnej výdatnosti a k neskoršiemu výskytu minimálnych výdatností v hydrologickom roku. V rokoch 1990 – 1999 (obr. 5.3.3.3) došlo skôr k opačnému vývoju, a teda k nárastu minimálnej výdatnosti v porovnaní s dlhodobou hodnotou a k skoršiemu výskytu miním. Roky 2000 – 2009 a 2000 – 2012 mali veľmi podobný vývoj v minimálnej výdatnosti hodnotených prameňov ako pri dlhodobej hodnote (obr. 5.3.3.3). V obidvoch obdobiach došlo k poklesu resp. nedošlo k žiadnej zmene veľkosti minimálnej výdatnosti vo väčšej polovici prameňov (41, 48). V polovici prameňov došlo buď k skoršiemu alebo k neskoršiemu výskytu minimálnych výdatností v porovnaní s výskytom dlhodobej výdatnosti.

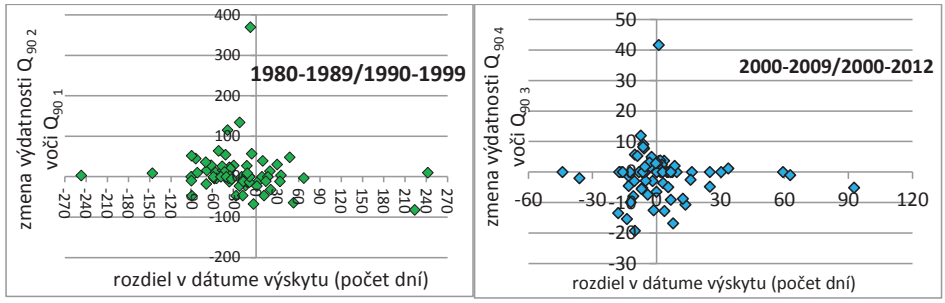




Obr. 5.3.3.3 Grafy závislosti medzi zmenou hodnoty výdatnosti $Q_{90(1,2,3,4)}$ voči Q_{90} a rozdielom v priemernom dátume výskytu minimálnych výdatností Q_{90} a $Q_{90(1,2,3,4)}$

Fig. 5.3.3.3 Plots of dependence between the $Q_{90(1,2,3,4)}$ value change and Q_{90} vs difference in the average datum of the minimum yields of Q_{90} and $Q_{90(1,2,3,4)}$

Pri porovnaní jednotlivých desaťročí medzi sebou došlo k najväčšej zmene hodnôt minimálnej výdatnosti a priemerného dátumu výskytu v rokoch 1990 – 1999 oproti predchádzajúcemu obdobiu rokov 1980 – 1989 (obr. 5.3.3.4).



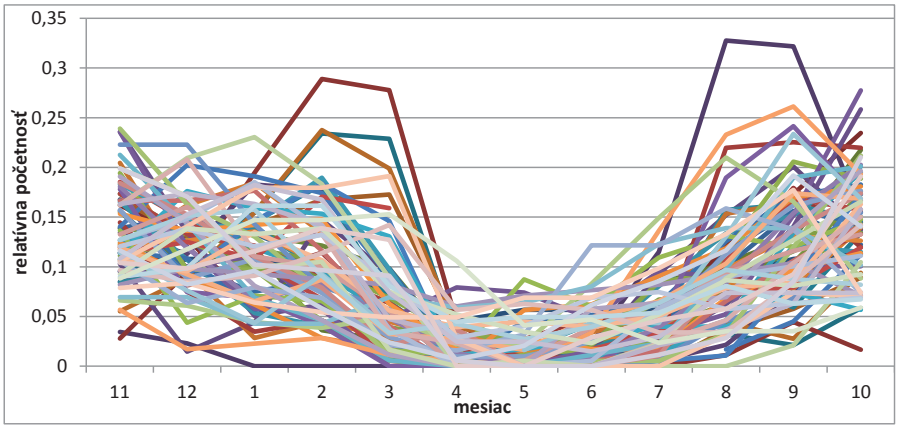
Obr. 5.3.3.4 Zmena minimálnej výdatnosti a priemerného dátumu výskytu medzi desaťročiami 1990 – 1999 a 1980 – 1989 (hore) a 2000 – 2009 a 2000 – 2012 (dole)

Fig. 5.3.3.4 Change in minimum yield and average occurrence date of the decade 1990 – 1999 vs 1980 – 1989 (up) and 2000 – 2009 vs 2000 – 2012 (down)

V porovnaní s rokmi 1980 – 1989 došlo v 90-tych rokoch k poklesu hodnôt minimálnych výdatností u väčšiny prameňov a u niektorých prameňov došlo aj k výraznej zmene priemerného dátumu výskytu. Zmeny vo výdatnosti medzi posledným desaťročím 2000 – 2009 a obdobím rokov 2000 – 2012 nie sú veľmi veľké. Vplyvom suchých rokov 2011 a 2012 sa zotrel vplyv zrážkovo nadnormálneho roka 2010 a skôr došlo k miernemu poklesu minimálnych výdatností za obdobie posledných 13 rokov oproti desaťročiu 2000 – 2009 (obr. 5.3.3.4). Aj keď sa objavili výrazné zmeny v priemernom dátume výskytu minimálnych výdatností u prameňov č. 2222, 2289, 2231, 1164, 394 tieto mali nízke hodnoty sezónnej koncentrácie.

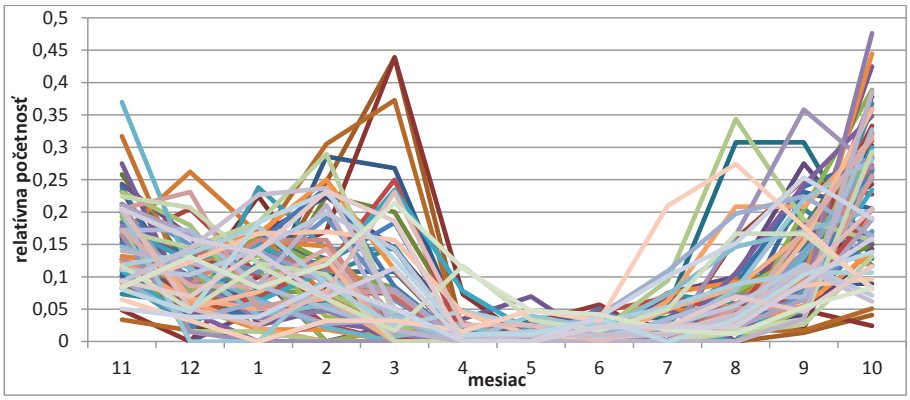
Sezónnosť ročných minimálnych výdatností bola doplnená o sezónnosť minimálnych výdatnosti za letné obdobie, ktoré trvalo od apríla do októbra a za zimné obdobie trvajúce od novembra do marca. Priemerný dátum výskytu letných minimálnych výdatností menších ako Q_{90s} bol najmä v auguste a septembri, zatiaľ čo absolútne letné výdatnosti Q_{AminS} boli najmä v septembri a októbri. V zimnom období sa oba parametre minimálnych výdatností (Q_{90w} a Q_{AminW}) najčastejšie vyskytovali v decembri a januári, ojedinele vo februári.

Vyhodnotenie histogramov početnosti dátumov výskytu výdatností menších ako Q_{90} za celé hodnotené obdobie je na obr. 5.3.3.5 a absolútnych minimálnych výdatností na obr. 5.3.3.6.



Obr. 5.3.3.5 Histogram relatívnej početnosti dátumov výskytu minimálnych výdatností menších ako Q_{90} počas hydrologického roka pre všetky hodnotené pramene

Fig. 5.3.3.5 Histogram of the relative frequency of dates with the minimum yields lower than Q_{90} within a hydrological year for all evaluated springs



Obr. 5.3.3.6 Histogram relatívnej početnosti dátumov výskytu absolútnych minimálnych ročných výdatností Q_{Amin} počas hydrologického roka pre všetky hodnotené pramene

Fig. 5.3.3.6 Histogram of the relative frequency of dates with the absolute minimum yields Q_{Amin} within a hydrological year for all evaluated springs

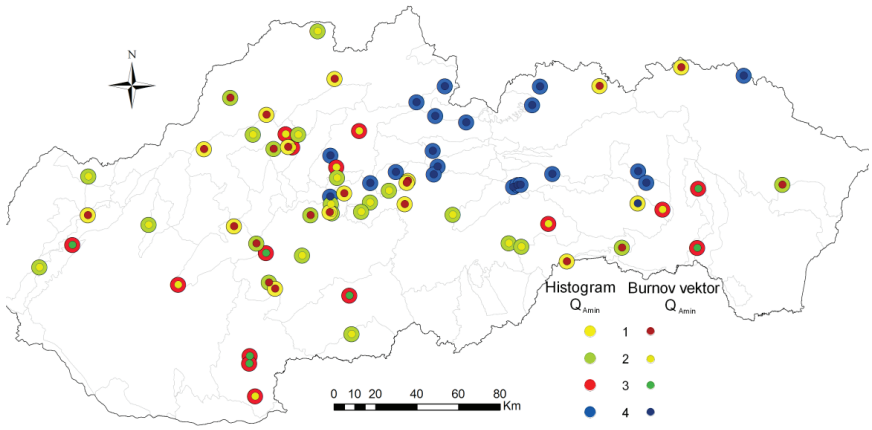
Z priebehu histogramov početnosti (obr. 5.3.3.6) je zrejmé, že minimálne výdatnosti sú najčastejšie v jesenno – zimnom období.

Regionalizácia sezónnosti minimálnych výdatnosti prameňov

Po analýze sezónnosti jednotlivých parametrov minimálnych výdatností prameňov za jednotlivé časové obdobia bola ďalším krokom samotná regionalizácia pomocou zluhovej analýzy. Do procesu regionalizácie vstupovali parametre sezónnosti vyjadrené hodnotami **Burnovho vektora** a **histogramu početnosti** pre výdatnosti menšie ako Q_{90} (1980 – 2012) a pre absolútne ročné minimálne výdatnosti Q_{Amin} (1980 – 2012), parametre fyzicko-geografických pomerov, ako aj ich vzájomná kombinácia.

Hodnoty Burnovho vektora vyjadrené priemerným uhlom θ a hodnotou sezónnej koncentrácie r nemožno použiť na zhlukovú analýzu, a preto boli tieto údaje prepočítané do karteziánskych súradníc: x, y podľa vzťahu: $x = r\cos(\theta)$; $y = r\sin(\theta)$ (Burn, 1997) a následne použité v procese zhlukovania.

Regionálne typizácie vytvorené na základe sezónnosti parametrov minimálnej výdatnosti boli medzi sebou navzájom porovnané. Najviac podobné sú si regióny vytvorené na základe Burnovho vektora a relatívnej početnosti absolútnej ročnej minimálnej výdatnosti Q_{Amin} (obr. 5.3.3.7). Na základe dátumov výskytu absolútnych ročných minimálnych výdatností možno vyčleniť 3 typy režimu minimálnych výdatností: zimný režim, ktorý je zastúpený v regióne č. 4 a minimá sú najčastejšie od decembra do februára; jesenný režim reprezentovaný najmä regiónmi č. 1 a 2 s najnižšími výdatnosťami v mesiacoch október – november a letný režim, ktorý má najnižšie zastúpenie a minimálne výdatnosti sú najmä v auguste a v septembri.

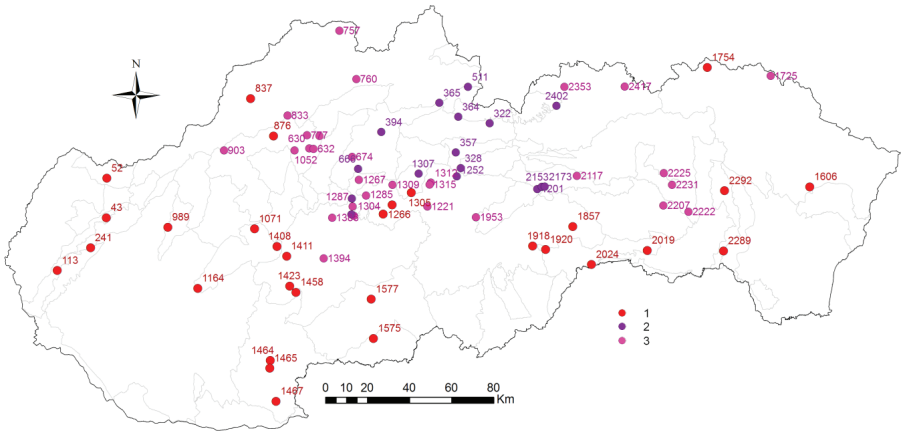


Obr. 5.3.3.7 Porovnanie vytvorených regiónov na základe Burnovho vektora a relatívnej početnosti absolútnych ročných minimálnych výdatnosti

Fig. 5.3.3.7 Comparison of regions based on Burn´s vector and relative frequency of the absolute annual minimum yields

Najlepšie výsledky regionalizácie boli dosiahnuté na základe kombinácie fyzicko-geografických parametrov a Burnovho vektora pre výdatnosti Q_{90} a Q_{Amin}, pričom obe regionalizácie sú si navzájom podobné, čo je ovplyvnené dominujúcim faktorom nadmorskej výšky.

V oboch prípadoch boli vytvorené tri regióny, ktoré sa len minimálne líšili v zatriedení jednotlivých prameňov do rovnakých regiónov. Prvý regionálny typ (obr. 5.3.3.8) je charakteristický výskytom vývervových oblastí prameňov v nadmorských výškach od 100 m do 460 m, ojedinele do 550 m. Minimálne výdatnosti sa najčastejšie vyskytujú v mesiacoch august až prvá polovica novembra. Pramene sú na západe sústredené najmä v oblasti Malých Karpát, Považského Inovca, Tribeča, Vtáčnika, Štiavnických vrchov, Podunajskej pahorkatiny a Juhoslovenskej a Zvolenskej kotliny. Vo východnej časti územia je to najmä v oblasti Slovenského krasu a Slanských vrchov. Druhý regionálny typ je sústredený prevažne v severnej časti územia v oblasti Vysokých a Nízkych Tatier, Podtatranskej kotliny, Veľkej Fatry, Kremnických vrchov a Spišsko-gemerského krasu. Nadmorské výšky vývervov prameňov sú od 700 m vyššie. Z pohľadu sezónnosti sa minimálne výdatnosti vyskytujú v mesiacoch december až február. Posledný regionálny typ s nadmorskými výškami vývervových oblastí prameňov od 300 do 800 m je charakteristický pre oblasti Kysúc, Malej a Veľkej Fatry, Kremnických vrchov, Horehronského podolia, Veporských vrchov a na východe pre oblasti Čiernej hory, Šarišskej, Laboreckej a Ľubovnianskej vrchoviny a Spišskej Magury.



Obr. 5.3.3.8 Priestorové zobrazenie prameňov v jednotlivých regionálnych typoch na základe fyzicko-geografických parametrov a Burnovho vektora stanoveného pre výdatnosti menšie ako Q_{90}

Fig. 5.3.3.8 Spatial plot of springs belonging to the respective regional type according to physical-geographical parameters and Burn´s vector calculated for spring yields lower than Q_{90}

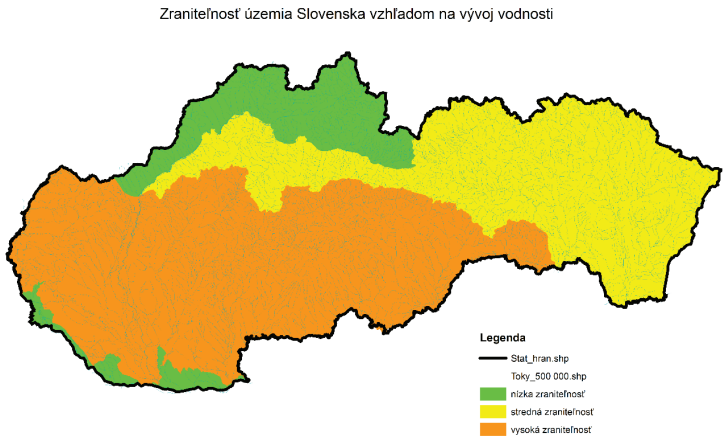
6. MAPA ZRANITEĽNOSTI ÚZEMIA SLOVENSKA VZHĽADOM NA MINIMÁLNE PRIETOKY

6.1 METODIKA ZOSTAVENIA MAPY

V prvej dekáde 2. tisícročia došlo u meteorologických, ale aj hydrologických údajov k zmene referenčného obdobia z 1931 – 1980 na 1961 – 2000. Tejto zmene predchádzali podrobné analýzy a porovnanie údajov za obe obdobia. Mapa zraniteľnosti a citlivosti územia Slovenska (obr. 6.1.1) vyjadruje po vyčíslení základných komponentov priemerných ročných hodnôt hydrologickej bilancie (zrážky, odtok) odhad, v ktorých častiach povodí (územia) došlo k určitým zmenám odtoku. Získané výsledky umožnili rozdeliť územie Slovenska na (1) územia v ktorých je stúpajúci, resp. vyrovnaný trend priemernej vodnosti (nízko citlivé a zraniteľné); (2) povodia, v ktorých je vyrovnaný, resp. alebo mierne klesajúci trend vodnosti (stredne citlivé a zraniteľné) a na (3) povodia, v ktorých prevláda klesajúci, ba až výrazne klesajúci trend vodnosti (vysoko citlivé a zraniteľné).

Do prvej skupiny zaraďujeme samotný Dunaj, povodie Dunajca, vysokohorské časti povodia Váhu, povodie hornej Oravy a Kysuce. Do druhej skupiny zaraďujeme povodie Popradu, hornú časť povodia Váhu, povodie Bodrogu a Hornádu. Ostatné povodia (slovenská časť povodia Moravy, povodia Dunaja a Malého Dunaja, dolná časť povodia Váhu, povodia Nitry, Hrona, Ipľa, Slanej a Bodvy patria do tretej skupiny.

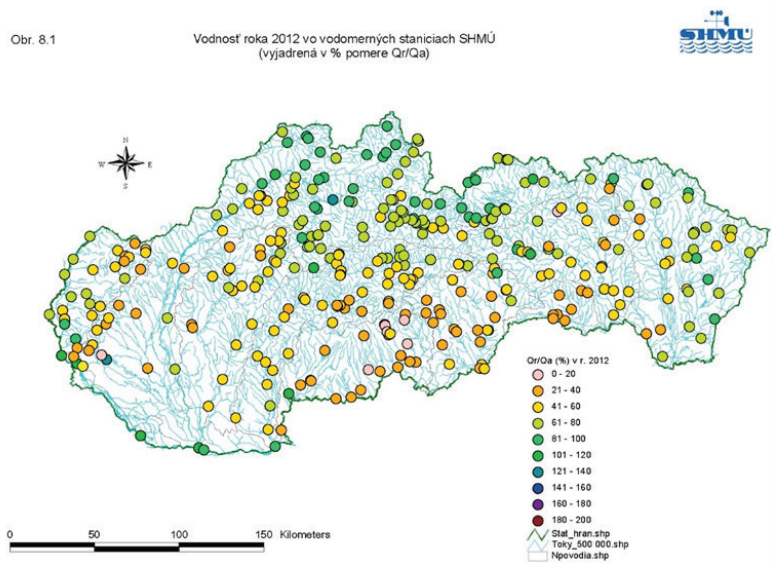
Konkrétne to napr. znamená, že niektoré odtoky za obdobie 1961 – 2000 v oblastiach označených ako vysoko citlivé poklesli až o 20 %. Zároveň je potrebné uviesť, že rozdelenie odtoku v roku (percentuálny podiel odtokov jednotlivých mesiacov na ročnom odtoku) sa v žiadnej oblasti výrazne nezmenilo.



Obr. 6.1.1 Zraniteľnosť územia Slovenska vzhľadom na vývoj vodnosti

Fig. 6.1.1 Vulnerability of the Slovak territory according to annual flow development

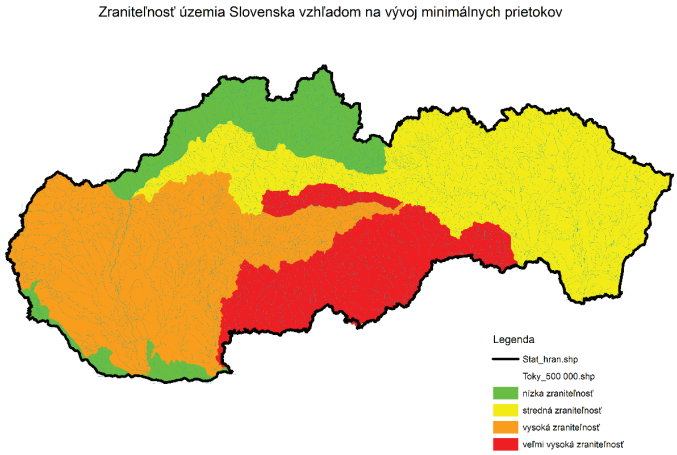
V nasledujúcom období sa u viacerých rokov, hydrologicky hodnotených ako suché, tieto odhady citlivosti potvrdili – napr. hydrologicky výrazne suchý rok 2012 (obr. 6.1.2).



Obr. 6.1.2 Vodnosť roka 2012 (relatívne hodnoty $Q_{r2012}/Q_{a1961\text{-}2000}$) v hodnotených vodomerných staniciach (SHMÚ, 2013)

Fig. 6.1.2 Wettnes of the year 2012 (relative values of $Q_{r2012}/Q_{a1961\text{-}2000}$) in evaluated discharge gauging stations (SHMÚ, 2013)

Obdobným spôsobom ako mapa zraniteľnosti vzhľadom na vývoj vodnosti bola vypracovaná aj mapa zraniteľnosti vzhľadom na vývoj minimálnych ročných prietokov (obr. 6.1.3).



Obr. 6.1.3 Zraniteľnosť územia Slovenska vzhľadom na vývoj minimálnych prietokov

Fig. 6.1.3 Vulnerability of the Slovak territory according to minimum discharges development

MANN-KENDALLOV TEST

Súbory hydrologických údajov boli spracované a štatisticky analyzované pomocou neparametrického Mann-Kendallového testu, ktorý sa používa na detekciu významných trendov v časových radoch. Výhodou Mann-Kendallovho testu je to, že nie je ovplyvnený aktuálnym rozdelením dát a zároveň je menej citlivý na extrémne hodnoty v časovom rade. Test je vhodný predovšetkým pre štatistické súbory väčšieho rozsahu, v ktorých sa nachádza viac ako 40 údajov (WMO, 2008).

Mann-Kendallov test je založený na štatistickej hodnote ***S***, ktorá sa vypočíta porovnaním každých dvoch hodnôt x_i, x_j, (i > j) v časovom rade, pričom štatistická hodnota S je daná vzťahom:

$$S = \sum_{i=2}^{n} \sum_{j=1}^{i-1} sign(x_i - x_j) \qquad (6.1.1)$$

kde *sign* $(x_i - x_j)$ je:

$$\begin{cases} +1 & ak\ x_i - x_j > 0 \\ 0 & ak\ x_i - x_j = 0 \\ -1 & ak\ x_i - x_j < 0 \end{cases}$$

(Pozn. sign znamená znamienko - znamienková metóda).

Mann-Kendallova štatistika (***Z***) vychádza zo štandardného normálneho rozdelenia a je daná nasledovným vzťahom:

$$\boldsymbol{Z} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\sigma_s}} & ak\ S > 0 \\ 0 & ak\ S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\sigma_s}} & ak\ S < 0 \end{cases} \qquad (6.1.2)$$

kde:

σ_s – predstavuje rozptyl a je definovaný ako:

$$\sigma_s = n\,.\,(n-1).\,(2n+5)\,/\,18 \qquad (6.1.3)$$

kde: n - je počet hodnôt v časovom rade.

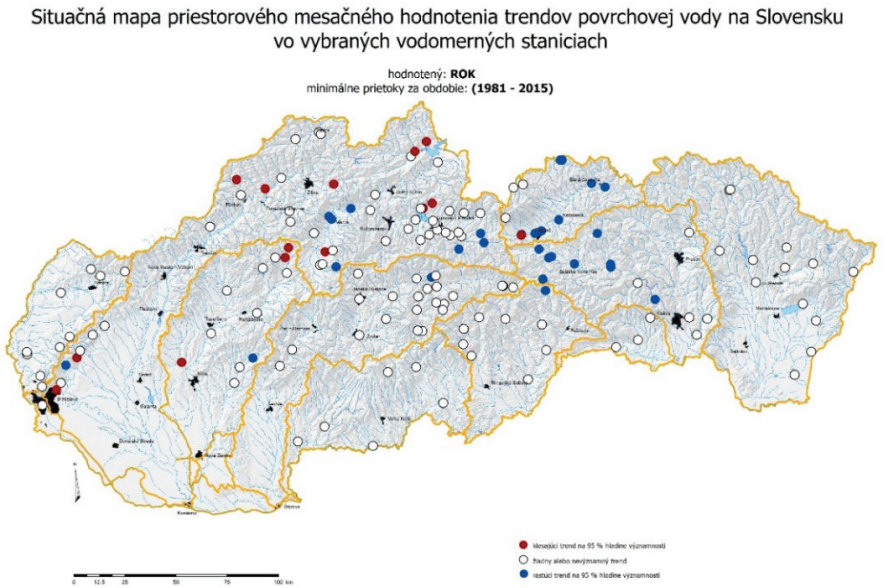
Hypotéza $\boldsymbol{H_0}$: v hodnotenom časovom rade nie je žiadny trend je prijatá, ak platí: $\boldsymbol{Z} < \boldsymbol{Z}_{\alpha}/2$ alebo zamietnutá, ak platí, že $\boldsymbol{Z} > \boldsymbol{Z}_{\alpha}/2$, tzn. existuje významný trend prietokov. Hladina významnosti je zvolená ako $\alpha = 0{,}05$ (95 %) a $\boldsymbol{Z}_{\alpha}/2$ je hodnota funkcie normálneho rozdelenia, v tomto prípade $\boldsymbol{Z}_{\alpha}/2 = 1{,}95996$. Znamienko štatistiky ***Z*** udáva, či tento trend je rastúci ($\boldsymbol{Z} > 0$) alebo klesajúci ($\boldsymbol{Z} < 0$), pričom odhad veľkosti získaných trendov týmto testom nie je možné určiť (Santos et al., 2007).

Na hladine významnosti 95% teda platí, ak $\boldsymbol{Z} > 1{,}96$ je trend rastúci, ak $\boldsymbol{Z} < -1{,}96$ je trend klesajúci.

6.2 VÝSLEDKY ZÍSKANÉ PRE HODNOTENÉ OBDOBIE ROKOV 1981 – 2012

Hodnotenie trendov podľa metodiky uvedenej v kap. 6.1 sa robilo vo vybraných vodomerných staniciach z celého územia Slovenska na základe kritéria dĺžky pozorovacieho obdobia a čo najmenšej ovplyvnenosti prietokového režimu ľudskou činnosťou (odbery, vypúšťania, manipulácia na vodných nádržiach). Vzhľadom na potrebnosť rovnomernejšieho plošného zastúpenia, ako aj typového zastúpenia tokov (menšie aj väčšie toky, profily v horkých aj nížinných častiach), boli do hodnotenia zahrnuté aj niektoré ovplyvnené profily.

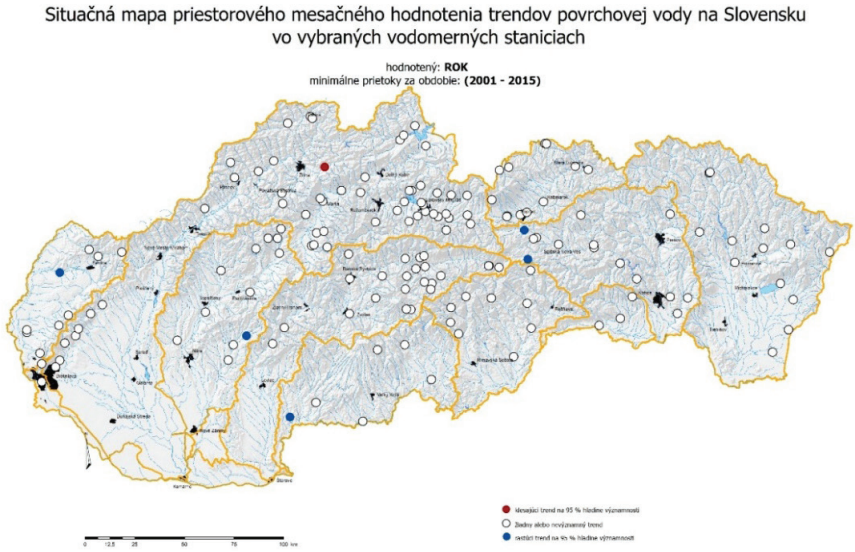
Pri hodnotení trendov minimálnych ročných prietokov (Mann-Kendallov test, hladina významnosti alfa = 0,05) za obdobie 1981 – 2015 vo vybraných vodomerných staniciach (obr. 6.2.1) sa prejavil rastúci trend najmä vo vodomerných staniciach v povodí Popradu, hornej časti povodia Hornádu a Váhu. Klesajúce trendy boli identifikované v niektorých vodomerných staniciach na prítokoch v oblasti Oravy (Polhoranka, Veselianka), prítokov Váhu (napr. Jalovčianka, Suchý potok na Liptove; Rajčianka, Petrovička, toky z Malých Karpát – Račiansky potok, Vištucký potok) a horná Nitra.



Obr. 6.2.1 Priestorové hodnotenie trendov ročných minimálnych prietokov za obdobie 1981 – 2015 vo vybraných vodomerných staniciach

Fig. 6.2.1 Spatial evaluation of trends of minimum annual discharges in the period 1981 – 2015 at selected discharge gauging stations

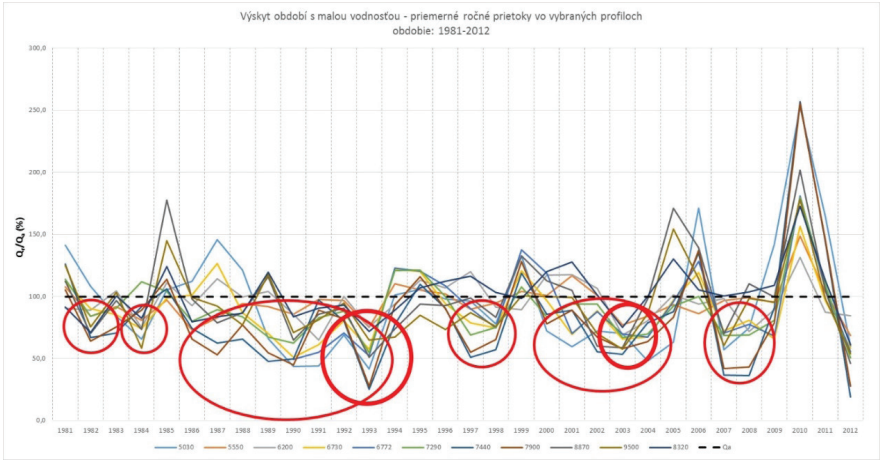
Na mapovom hodnotení trendov za obdobie 2001 – 2015 (obr. 6.2.2) sa v hodnotených profiloch takmer nevyskytujú významné klesajúce trendy. Porovnanie s celým hodnoteným obdobím 1981 – 2015 teda naznačuje, že klesajúce trendy majú svoj pôvod pred rokom 2001.



Obr. 6.2.2 Priestorové hodnotenie trendov ročných minimálnych prietokov za obdobie 1981 – 2015 vo vybraných vodomerných staniciach

Fig. 6.2.2 Spatial evaluation of trends of minimum annual discharges in the period 2001 – 2015 at selected discharge gauging stations

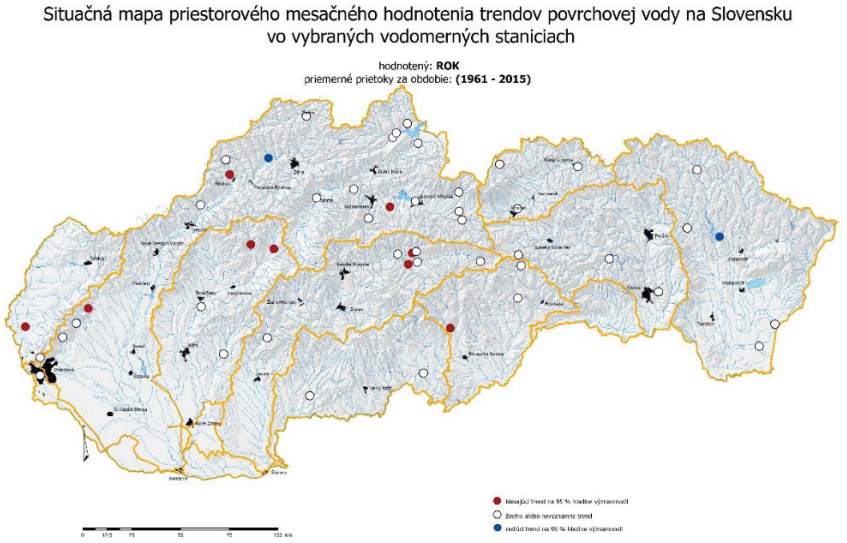
To potvrdzuje aj analýza vývoja vodnosti (obr. 6.2.3), z ktorej je v období 1981 – 2000 zrejmý výskyt výrazne suchého obdobia v rokoch 1987 – 1993.



Obr. 6.2.3 Vývoj relatívnej vodnosti vo vybraných vodomerných staniciach v období 1981 – 2012

Fig. 6.2.3 Development of relative wetness in selected discharge gauging stations in the period 1981 – 2012

Trendové analýzy sú značne citlivé na zvolené hodnotené obdobie. V dlhšom časovom hodnotení za obdobie 1961 – 2015 (55 rokov) sa trendy priemerných ročných prietokov (obr. 6.2.4) prejavujú v relatívne dobrej zhode so stanovenými mapami zraniteľnosti územia Slovenska.

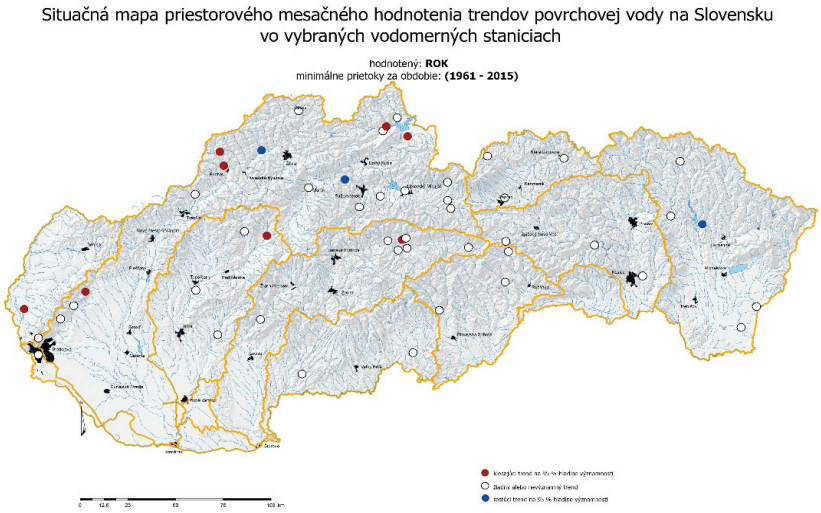


Obr. 6.2.4 Priestorové hodnotenie trendov priemerných ročných prietokov za obdobie 1961 – 2015 vo vybraných vodomerných staniciach

Fig. 6.2.4 Spatial evaluation of trends of average annual discharges in the period 1961 – 2015 at selected discharge gauging stations

Pri hodnotení trendov za toto obdobie u minimálnych ročných prietokov (obr. 6.2.5) sa v oblasti vymedzenej ako oblasť s veľmi vysokou zraniteľnosťou vzhľadom na minimálne prietoky klesajúce trendy v mnohých hodnotených staniciach nepotvrdili. Pri prvotných analýzach lineárnych trendov sa ukazovali klesajúce trendy vo väčšom počte staníc, v štatistickom teste Mann-Kendall na hladine 95% významnosti, sa ale mnohé z nich ukázali ako nevýznamné.

Suché roky sa opakujú v určitých cykloch. Obdobie 2001 – 2015 síce zahŕňa suché roky (napr. 2003, 2007, 2012), ale nevyskytlo sa v ňom dlhšie (viacročné) súvislé obdobie sucha, ako bolo v období 1987 – 1993, a preto nespôsobilo podstatnú zmenu vyhodnoteného dlhodobého trendu.



Obr. 6.2.5 Priestorové hodnotenie trendov ročných minimálnych prietokov za obdobie 1961 – 2015 vo vybraných vodomerných staniciach

Fig. 6.2.5 Spatial evaluation of trends of minimal annual discharges in the period 1961 – 2015 at selected discharge gauging stations

7. ZHRNUTIE VÝSLEDKOV A ZÁVER

Aj napriek vysokému počtu štúdií, ktoré sú každoročne publikované v mnohých krajinách sveta, zostáva sucho fenoménom, ktorý si vyžaduje ďalší výskum. Pre hodnotenie sucha bolo doteraz použitých veľa rôznych prístupov a bolo vytvorených mnoho metód v závislosti na druhu skúmaného sucha.

Celosvetovo bolo pre hodnotenie meteorologického sucha Svetovou meteorologickou organizáciou (WMO) odporúčané použitie metódy štandardizovaného zrážkového indexu (SPI) v rôznom časovom kroku. Výsledky projektu dokumentovali, že SPI je vhodným nástrojom na analýzu meteorologického sucha. V mnohých prípadoch, hlavne pri hodnotení meteorologického sucha v povodiach s nižšou nadmorskou výškou a teda vyššou priemernou ročnou teplotou, sa však ako efektívny nástroj hodnotenia meteorologického sucha ukazuje zrážkový a evapotranspiračný index (SPEI). Táto skutočnosť bola dokumentovaná najmä v povodiach južného a východného Slovenska (Ipeľ, Rimava, Torysa a Topľa). Podľa nášho názoru, v kontexte klimatickej zmeny, ktorá prináša na mnohých miestach zvyšovanie priemernej teploty vzduchu, a tým aj vyššie nároky na vodu vplyvom zvyšujúceho sa výparu, nepostačuje len sledovanie zrážkových úhrnov, ale potrebné je brať do úvahy aj potenciálnu evapotranspiráciu, hoci aj v zjednodušenej podobe. Preto meteorologické sucho chápeme aj ako nedostatok vody, spôsobený nedostatkom zrážok a zvýšenou evapotranspiráciou.

Naším cieľom bolo zahrnúť do analýzy a prognózy sucha čo najväčšiu časť územia SR. Limitovaní sme však boli rozmiestnením vodomerných staníc, priebehom štátnej hranice, prítokmi z iných krajín a existenciou veľkých vodných nádrží na toku, ktoré ovplyvňujú prietoky v nižšie ležiacich profiloch. Z tohto dôvodu nebolo možné modelovať Dunaj na našom území, celý Váh, Bodrog, Ipeľ, či Dunajec.

Pre účely prognózovania vývoja hydrologického sucha bolo vybraných 10 povodí relatívne rovnomerne rozmiestených na ploche územia Slovenska, ktoré reprezentovali rôzne klimatické, ale aj hydrologické a hydrogeologické podmienky formujúce vzájomný vzťah zložiek hydrologickej bilancie. Boli to povodia Myjavy po Šaštín-Stráže, Váhu po Liptovský Mikuláš, Kysuce po Kysucké Nové Mesto, Nitry po Nitriansku Stredu, Hrona po Brehy, Ipľa po Holišu, Rimavy po Vlkyňu, Popradu po Chmelnicu, Torysy po Košické Olšany a Tople po Hanušovce nad Topľou. Pre uvedené povodia boli podrobne zhodnotené hydrologické pomery v dennom, mesačnom i ročnom časovom kroku, pričom tieto boli korelované s detailne vyhodnotenými klimatickými pomermi v hodnotenom období rokov 1981 – 2012. Pre účely zostavenia prognózy vývoja hydrologického sucha do roku 2100 bol uvedený zoznam povodí rozšírený jednak uvažovaním plochy povodia v prípade povodí Nitry (profil Nové Zámky) a Hrona (profil Kamenín), jednak pridaním ďalších povodí, a to Hornádu po Ždaňu (celé povodie v SR), Slanej po Lenartovce (celé povodie nad sútokom s Rimavou v SR), Bodvy po Hosťovce (celé povodie), Ondava po Horovce (celé povodie), a Laborca po Humenné (nad Zemplínskou Šíravou).

Pri príprave podkladov pre modelovanie prognózy hydrologického sucha v hodnotených povodiach bolo nevyhnutné využiť scenárové hodnoty klimatických prvkov vstupujúcich do bilanč-

ných vzťahov v rámci hydrologickej bilancie. Scenáre klimatickej zmeny majú na Slovensku už pomerne dlhú tradíciu spracovania a využívania v praxi v rôznych socio-ekonomických sektoroch. Stručne sa o tom zmieňujú aj Národné správy SR o klimatickej zmene (1995 – 2014) a početné publikácie slovenských autorov. Na vytvorenie scenárových hodnôt v dennom kroku boli použité dva regionálne klimatické modely - KNMI a MPI, každý v dvoch odlišných scenároch. Najnovšími meraniami sa potvrdilo, že navrhované scenáre klimatickej zmeny predstavujú reálne alternatívy vývoja klímy na Slovensku a tiež to, že vývoj vo veľkej väčšine analyzovaných prípadov dôsledkov možnej klimatickej zmeny nie je na Slovensku priaznivý, pričom negatívne dôsledky významne prevyšujú ojedinelé kladné dôsledky. V súvislosti s predpokladanými scenármi klimatickej zmeny očakávame v budúcnosti ďalší rast aridity klímy na Slovensku (najmä na juhu územia) a ďalší posun jednotlivých klimatických oblastí smerom na sever a do vyšších nadmorských výšok.

Analýza vzťahu prvkov hydrologickej bilancie ukázala, že v dlhšom časovom úseku je zrejmý mierne rastúci lineárny trend ročných úhrnov zrážok na území Slovenska, ako aj mierne klesajúci trend ročného odtoku povrchovej vody z územia Slovenska. Koeficient odtoku, vypočítaný ako podiel odtoku a zrážok, má preto klesajúci trend. V období rokov 1978 – 1990 je viditeľný prudší pokles hodnôt koeficientu odtoku, dokumentovaný aj priebehom 10-ročných kĺzavých priemerov s ročným krokom. Dlhodobý priemer hodnoty koeficientu odtoku je približne zhodný s hodnotou za referenčné obdobie 1961 – 2000 (32,3 %), v období 1981 – 2015 priemerná hodnota klesla na 29,8 %, pričom v samotnom 15-ročí 2001 – 2015 až na 27,9 %. Klesajúci trend koeficientu odtoku je jednoznačným dôsledkom zvyšujúcich sa strát v rovnici hydrologickej bilancie. Straty predstavujú predovšetkým výpar a jeho zmena je vyvolaná narastajúcou teplotou vzduchu. Základnými faktormi ovplyvňujúcimi odtok z nášho územia sú teda množstvo zrážkových úhrnov a teplota vzduchu.

Pri hodnotení priemerných ročných prietokov za hydrologické roky obdobie 1981 – 2012 sme s ohľadom na porovnateľnosť prietokových údajov veľkostne odlišných tokov použili relatívne hodnoty, t.j. percentuálny pomer priemerného ročného prietoku ($\boldsymbol{Q}_r$) a dlhodobého priemerného prietoku za referenčné obdobie 1961 – 2000 ($\boldsymbol{Q}_a$) v jednotlivých vodomerných staniciach. Na základe zotriedených hodnôt aj s rokom výskytu pre každý hodnotený profil sa ako najsuchší rok prejavil rok 2012 (v profiloch na Váhu, Hrone, Ipli, Topli, Toryse a Poprade), na Myjave a na Hrone rok 1993, na Kysuci rok 1991 a na Nitre rok 1990. Ak sa v každom profile uvažujú 3 najsuchšie roky, najpočetnejšie sa medzi nimi vyskytujú roky 2012 a 1993, nasledované o niečo menším počtom výskytov v rokoch 2003 a 1990. Hodnotenie priemerných mesačných prietokov umožnilo identifikovať výskyt takých suchých období, kedy sa sucho vyskytovalo v súvislo po sebe nasledujúcich mesiacoch a plošne zasahovalo viac hodnotených profilov. Takýmito suchými obdobiami boli najmä obdobia rokov 1983/1984, 1986/1987, 1992/1993, 1995/1996, roky 1997, 1998 a v 21. storočí roky 2000/2001, 2003/2004, 2007/2008 a 2011/2012. Vyhodnotenie priemerných denných prietokov ukázalo, že najvyšší počet málo vodných období s $\boldsymbol{Q}_d < \boldsymbol{Q}_{330d}$ bol identifikovaný v povodí Hrona po profil Brehy, kde dosiahol 51 takýchto období s celkovým počtom dní 1 658. Rovnako v povodí Hrona bol dosiahnutý najvyšší počet málo vodných období s $\boldsymbol{Q}_d < \boldsymbol{Q}_{355d}$ s celkovým počtom 612 dní a $\boldsymbol{Q}_d < \boldsymbol{Q}_{364d}$ v celkovom počte 93 dní. Najnižší počet takýchto období bol zaznamenaný v povodí Torysy po profil Košické Oľšany, s $\boldsymbol{Q}_d < \boldsymbol{Q}_{330d}$ v 22 obdobiach v celkovom počte 718 dní, $\boldsymbol{Q}_d < \boldsymbol{Q}_{355d}$ bolo zaznamenaných počas 106 dní a ani jeden deň nepoklesla hodnota pod $\boldsymbol{Q}_{364d}$.

Pre potreby riešenia projektu bola vykonaná detailná analýza výskytu a parametrov sucha v hodnotených povodiach v rokoch 2003, 2012 a 2015. Najmä sucho v rokoch 2003 a 2015 malo pan-európsky charakter. Z pohľadu meteorologického sucha výsledky analýzy hodnôt SPI12 ukazujú, že obdobie rokov 1981 – 2015 je možné rozdeliť do dvoch častí, a toto delenie platí pre väčšinu hodnotených povodí. V osemdesiatych rokoch a v prvej polovici deväťdesiatych rokov minulého storočia prevládali vo väčšine oblastí Slovenska suché podmienky, no najextrémnejšie suchá sa vyskytli v povodiach severného Slovenska. Ako príklad možno uviesť povodie horného Váhu, ale aj Popradu a Kysuce, kde dlhotrvajúce intenzívne obdobia sucha boli prerušované len krátkymi periódami s vlhkejšími podmienkami. Od polovice 90-tych rokov do roku 2015 sa vyskytovali skôr normálne až vlhké podmienky, ktoré vyvrcholili extrémne vlhkým rokom 2010. Toto obdobie bolo prerušené len tromi zreteľnými periódami sucha, a to v rokoch 2003 – 2004, 2011 – 2012 a 2015. Tieto sa však v rôznych častiach Slovenska prejavili s rôznou intenzitou. Hydrologické sucho bolo hodnotené na základe štyroch parametrov – minimálneho prietoku vyjadreného ako AM7, trvania sucha, dosiahnutého deficitného objemu a intenzity sucha. Všetky tieto parametre boli počítané pre toto vyselektované obdobie sucha v každom z hodnotených rokov, v ktorom dosiahol deficitný objem najvyššiu hodnotu. Vyhodnotenie doby opakovania jednotlivých parametrov sucha prinieslo nasledujúce výsledky. Najextrémnejšie hodnoty všetkých štyroch hodnotených parametrov sucha (minimálnej hodnoty vyjadrenej ako AM7, trvania sucha, deficitného objemu a intenzity sucha) boli v tom istom roku súčasne dosiahnuté v siedmich povodiach, a to v povodí Kysuce v roku 2015, v povodí Ipľa v roku 2012 a v povodiach Myjavy, Nitry, Hrona, Torysy a Tople v roku 2003. Vo zvyšných troch hodnotených povodiach boli najextrémnejšie hodnoty niektorého z ostatných parametrov sucha dosiahnuté v inom roku ako u parametra intenzity sucha. Dosiahnutú najvyššiu intenzitu periódy sucha nekopírovala buď hodnota minimálneho prietoku (Rimava), trvania sucha (Poprad), či deficitného objemu (Váh). Dosiahnuté deficitné objemy boli najvyššie u väčšiny povodí v rokoch 2003 a 2012. Tieto deficitné objemy boli zároveň vyššie ako priemerné maximálne deficitné objemy referenčného obdobia rokov 1981 – 2010. Takáto situácia nastala v povodiach Váhu, Nitry, Hrona, Ipľa, Rimavy a Popradu. Výrazne odlišná bola situácia v povodí Kysuce, kde najvyšší deficitný objem bol dosiahnutý v roku 2015. Hodnotené povodia je možné z pohľadu parametrov sucha zaradiť do troch oblastí. Prvá zahŕňa povodia západného, južného a východného Slovenska, kam patrili povodia Myjavy, Kysuce, Nitry, Ipľa, Rimavy, Torysy a Tople, druhá zahŕňa povodia stredného Slovenska, kam patrili povodia Váhu, Nitry a Hrona a tretia povodia severného Slovenska, kam patrili povodia Váhu a Popradu. Povodie Nitry má prechodný charakter z pohľadu zaradenia medzi povodia prvej aj druhej oblasti. Podobne sa prechodný charakter prejavuje aj u povodia Váhu, ktoré sa zaradilo do druhej aj do tretej oblasti.

Na modelovanie hydrologickej bilancie uvedených povodí boli použité dva modely – model Bilan so sústredenými parametrami a model Frier s priestorovo distribuovanými parametrami. Model Bilan bol kalibrovaný na hodnotu podzemného odtoku, určenú metódami Killeho a metódou BFI. Veľmi dobrá kalibrácia bola dosiahnutá pre všetky hodnotené povodia, pričom najlepšia zhoda v sezónnosti meraného a simulovaného odtoku bola dosiahnutá pre povodie Myjavy. Keďže model Frier poskytoval lepšie možnosti pri prognózovaní priestorovej distribúcie viacerých parametrov hydrologickej bilancie, bol pri ďalšom postupe využitý práve tento model.

Hodnotenie hydrologického sucha v perióde 1981 – 2012 z výsledkov simulácie modelom Frier ukázalo, že počet období sucha za rok s trvaním rovným, resp. vyšším ako 31 dní bol najvyšší v povodí Hrona, Popradu a Slanej (rovnako s hodnotou 0,9), čo najmä v prípade Hrona veľmi dobre korešponduje s trvaním hydrologického sucha určeným analýzou priemerných denných prietokov.

Prognóza vývoja prvkov hydrologickej bilancie získaná modelom Frier dokumentovala nasledujúce výsledky. Na základe scenárových simulácií pre obdobie 1981 – 2100 je možné predpokladať menší počet výskytov meteorologického sucha, no s väčšími nedostatkovými množstvami. Sucho v nenasýtenej zóne bude v budúcom období dlhšie s väčším nedostatkom vody a sucho v nasýtenej zóne sa bude vyskytovať zhruba rovnako často, aj keď s oveľa dlhším trvaním a nedostatkom vody. V prípade sucha v nasýtenej zóne sa podľa scenára KNMI2 výraznejšie predĺži jeho trvanie v povodiach na východ od Nitry s výnimkou Laborca, veľmi významne najmä v povodí Hornádu, kde bolo odhadnuté najdlhšie trvanie sucha nepretržite 1 686 dní, čo je 5-krát viac ako najdlhšie sucho v porovnávacom období rokov 1981 – 2012 (301 dní), podobne v povodí Ondavy (1 165 dní vs. 330 dní), či Bodvy (877 vs. 420 dní). Priemerné trvanie sucha sa predĺži najmä v povodí Hornádu (201 vs. 70 dní). Podľa scenára MPI 1 sa tiež predpokladá najdlhšie sucho v povodí Hornádu (max. 1 153 dní, priemerne 195 dní). V povodí Kysuce, Hrona, Ipľa, Slanej, Rimavy a Laborca je predpovedané dlhšie trvanie extrémneho sucha ako podľa scenára KNMI2, naopak je to v povodiach Váhu, Popradu, Hornádu, Bodvy a Ondavy. Priemerné trvanie sucha sa nemení v povodí Popradu, Rimavy a Slanej. V povodí Bodvy sa dokonca výrazne znižuje jeho dĺžka (104 vs. 35 dní).

Z pohľadu zmien v sezónnosti výsledky modelovania ukázali, že oba použité scenáre KNMI2 a MPI1 dávajú väčšinou veľmi podobné výsledky, scenáre v našich povodiach väčšinou predpovedajú väčší úhrn zrážok, presun najväčších úhrnov zrážok z júla do septembra, zmenšené úhrny zrážok od mája do júla a vyššie teploty najmä v zime. Spôsobí to menšiu akumuláciu snehu a väčší odtok v zime po roztopení snehu, nástup suchých období s nízkymi zrážkami, vysokou evapotranspiráciou, nízkym odtokom a znižovaním zásob vody počas celého vegetačného obdobia. Pri takýchto predpokladaných klimatických pomeroch, podľa oboch scenárov, sa najvýraznejšie zmení ročný chod evapotranspirácie. Rozdiely medzi jednotlivými mesiacmi budú menšie, pretože od mája do júla, kedy sú úhrny evapotranspirácie najvyššie, bude podľa scenárov síce teplejšie, no spadne výrazne menej zrážok. Na jeseň a v zime, kedy bude teplejšie a viac zrážok, sa evapotranspirácia zvýši.

Prognóza zmien v priestorovej distribúcii jednotlivých zložiek hydrologickej bilancie v období rokov 2069 – 2100 oproti referenčnému obdobiu 1981 – 2012 ukázala, že každý z použitých scenárov dal odlišné výsledky. Scenár KNMI2 je v zmenách zásob vody v povodí extrémnejší. Najviac zásob stratí stred Slovenska, najmä horný Hron a Hornád, naopak, viac zásob ostane v nížinách, dolinách, kotlinách, ale aj vo Vysokých Tatrách. Scenár MPI1 predpovedá väčšiu stratu zásob ako scenár KNMI2, najvyššie straty sú v horných častiach povodí Hrona, Slanej, Rimavy, naopak najviac sa zvýšia zásoby v horných častiach povodí Hornádu, Popradu, horného Váhu a najnižšie položených území v povodí Rimavy, Hrona a Ondavy. Najextrémnejšie zmeny sa očakávajú v povodí Hornádu.

Ďalšiu možnosť prognózovania výskytu sucha ponúka index severoatlantickej oscilácie pre zimné obdobie (NAOw). Bolo dokumentované, že toky na Slovensku sú výrazne ovplyvnené severoatlantickou osciláciou - medzi radmi prietokov a NAOw existuje významná záporná závislosť. Znamená to, že v rokoch s vysokým zimným NAO indexom (NAOIw) môžeme očakávať suché roky. Pri posune o dva a o 5 rokov prevláda kladná závislosť medzi NAOIw indexom a priemernými ročnými prietokmi. Na základe týchto výsledkov je možné na základe hodnoty zimného NAOIw indexu odhadnúť vodnosť tokov v nasledujúcom roku. Najtesnejšie závislosti s hodnotou korelačného koeficientu -0,7 boli preukázané medzi NAOIw indexom a hodnotou priemerného ročného prietoku Q_a v povodiach Hrona, Tople, Myjavy a Rimavy, o niečo nižšie s hodnotou -0,6 v povodiach Nitry, Popradu a Torysy a s hodnotou -0,5 v povodiach Váhu a Kysuce. Všetky koeficienty sú významné na hladine významnosti $\alpha=0,05$. Druhou významnou informáciou vyplývajúcou zo spektrálnej a kross-korelačnej analýzy je, že 5 – 6 rokov po mimoriadne nízkom NAO indexe by sa malo na Slovensku vyskytnúť suché obdobie.

Z pohľadu podzemných vôd bolo dokumentované, že najviac suchých rokov v hodnotenom období sa vyskytlo do roku 1993, dokonca s päťročným trvaním sucha od hydrologického roku 1989 do roku 1993. Z týchto piatich hodnotených rokov sa sucho najintenzívnejšie prejavilo v hydrologických rokoch 1990 a 1993. Tieto výsledky veľmi dobre korešpondujú s výsledkami hodnotenia trendov prietokov, ktoré tak isto dokumentovali, že na identifikovanom poklesovom trende sa podieľalo predovšetkým obdobie pred rokom 2001. Po hydrologickom roku 1993 sa sucho vyskytlo iba v rokoch 2003 a 2004, 2007 a 2012. Z uvedených rokov sa sucho prejavilo najintenzívnejšie práve v roku 2012.

Z hľadiska podzemných vôd boli detailne skúmané aj sezónnosti výdatností 78 prameňov rovnomerne rozložených na území Slovenska, so špeciálnym dôrazom na analýzu výskytu minimálnych výdatností, reprezentovanými charakteristikami $Q_{90\%}$ a Q_{Amin}. Parameter $Q_{90\%}$ bol určený z dlhodobej čiary prekročenia za obdobie rokov 1980 – 2012, parameter Q_{Amin} reprezentoval absolútnu minimálnu výdatnosť prameňa za celé hodnotené obdobie. Osobitne boli vyhodnotené aj výdatnosti prameňov v jednotlivých desaťročiach hodnoteného obdobia, ako aj výdatnosti v zimnej (november – marec) a letnej sezóne (apríl – október). Po vyhodnotení sezónnosti bola vykonaná regionalizácia sezónnosti minimálnych výdatností prameňov. Najlepšie výsledky regionalizácie boli dosiahnuté na základe kombinácie fyzicko-geografických parametrov a Burnovho vektora pre výdatnosti Q_{90} a $Q_{Amin,}$ pričom obe regionalizácie sú si navzájom podobné, čo je ovplyvnené dominujúcim faktorom nadmorskej výšky. V oboch prípadoch boli vytvorené tri regióny, ktoré sa len minimálne líšili v zatriedení jednotlivých prameňov do rovnakých regiónov. Prvý regionálny typ je charakteristický výskytom vývervových oblastí prameňov v nadmorských výškach od 100 m do 460 m, ojedinele do 550 m. Minimálne výdatnosti sa najčastejšie vyskytujú v mesiacoch august až prvá polovica novembra. Druhý regionálny typ je sústredený prevažne v severnej časti územia. Nadmorské výšky vývervov prameňov sú od 700 m vyššie. Z pohľadu sezónnosti sa minimálne výdatnosti vyskytujú v mesiacoch december až február. Posledný regionálny typ s nadmorskými výškami vývervových oblastí prameňov od 300 do 800 m je charakteristický pre oblasti Kysúc, Malej a Veľkej Fatry, Kremnických vrchov, Horehronského podolia, Veporských vrchov a na východe pre oblasti Čiernej hory, Šarišskej, Laboreckej a Ľubovnianskej vrchoviny a Spišskej Magury.

V rámci riešenia projektu boli vyhodnotené trendy vývoja vodnosti slovenských tokov, ktoré boli porovnané s mapou zraniteľnosti územia Slovenska vzhľadom na vývoj vodnosti. Porovnanie ukázalo, že pri hodnotení trendov minimálnych ročných prietokov (Mann-Kendallov test, hladina významnosti alfa = 0,05) za obdobie 1981 – 2015 vo vybraných vodomerných staniciach sa prejavil rastúci trend najmä vo vodomerných staniciach v povodí Popradu, ako aj v hornej časti povodia Hornádu a Váhu. Klesajúce trendy boli identifikované v niektorých vodomerných staniciach na prítokoch v oblasti Oravy (Polhoranka, Veselianka), prítokov Váhu (napr. Jalovčianka, Suchý potok na Liptove; Rajčianka, Petrovička, toky z Malých Karpát – Račiansky potok, Vištucký potok) a na hornej Nitre. Na mapovom hodnotení trendov za obdobie 2001 – 2015 sa v hodnotených profiloch takmer nevyskytujú významné klesajúce trendy. Porovnanie s celým hodnoteným obdobím 1981 – 2015 teda naznačuje, že klesajúce trendy majú svoj pôvod pred rokom 2001.

Táto práca je pilotným projektom v hydrologickom modelovaní budúcich výskytov a intenzity sucha na Slovensku. V hydrologickom modelovaní v súčasnosti stále platí, že veľmi zjednodušuje skutočné hydrologické procesy v prírode, ktoré nedokážeme dostatočne verne napodobniť a vyčísliť. Ďalšou neistotou je skutočný vývoj klimatických pomerov vo vzťahu k scenárom predpovedajúcim vývoj klimatických prvkov až do roku 2100. Preto je potrebné podčiarknuť, že získané výsledky prognózy sú len natoľko presné, nakoľko sa scenárové hodnoty klimatických prvkov budú zhodovať so skutočným budúcim vývojom klímy. Poskytujú však obraz o možnom vývoji hydrologického sucha na Slovensku v súlade so súčasnými poznatkami.

LITERATÚRA

ADLER, M. J., BUSUIOC, A., GHIOCA, M., STEFAN, S., 1999: Atmospheric processes leading to drought periods in Romania. In Hydrological Extremes: Understanding, Predicting, Mitigating, Gottschalk L., Olivoy J. C., Reed D., Rosbjerg D. (eds). IAHS Publication No. 255. IAHS Press: Wallingford; 37–47.

ANDREADIS, K., M., CLARK, E. A., WOOD, A. W., HAMLET, A., F., LETTENMAIER, D. P., 2005: Twentieth century drought in the conterminous United States. Journals Online, American Meteorological Society, http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/JHM450.1

ATLAS KRAJINY SLOVENSKEJ REPUBLIKY, 2002, https://fns.uniba.sk/pracoviska/ geograficka-sekcia/kfg/archivynakfg/atlas-krajiny-slovenskej-republiky-2002-elektronicky/

AUXT, A., GÁLISOVÁ, M., KAZMUKOVÁ, M., JARÚNEK, J., 1989: Neovulkanity Kremnických vrchov, južná časť. Záverečná správa. IGHP, Žilina.

BAČOVÁ, Z., KAZMUKOVÁ, M., VYCHODIL, J., BÍMOVÁ, J., KOVAŘÍK, K., KARABA, J., GAZDA, S., TKÁČOVÁ, H, BIELY, A., 1984: Mezozoikum skupiny Zobora, záverečná správa, vyhľadávací hydrogeologický prieskum, HGP. IGHP, Bratislava, 207 s.

BAJTOŠ, P., ZÁHOROVÁ, Ľ., 2011: Vysvetlivky ku geologickej mape Spišskogemerského rudohoria v mierke 1:50 000. ŠGÚDŠ, 308 s. ISBN 978-80-89343-52-2.

BALCO, M., 1990: Malá vodnosť slovenských tokov. VEDA, Vydavateľstvo Slovenskej akadémie vied, Bratislava, 264 s. ISBN 80-224-0098-x.

BALEK, J., 1968: Lineární extrapolace průměrných ročních průtoků vybraných řek čtyř kontinentů. J. Hydrol. Hydromech., 16, 3, 402–428.

BLAŠKOVIČOVÁ, L., BORODAJKEVYČOVÁ, M., PODOLINSKÁ, J., LIOVÁ, S., LOVÁSOVÁ, Ľ., FABIŠÍKOVÁ, M., POSPÍŠILOVÁ, I., PAĽUŠOVÁ, Z., ŠIPIKALOVÁ, H., 2013: Hydrologická ročenka Povrchové vody 2012. SHMÚ Bratislava, 2013, 225 s.

BLAŠKOVIČOVÁ, L., POÓROVÁ, L., ŠIMOR, V., LOVÁSOVÁ, Ľ., DANÁČOVÁ, Z., 2017: Monitoring hydrologického sucha na Slovensku, elektronický zborník z konferencie Manažment povodí a extrémne hydrologické javy, Vyhne, 2017.

BLAUHUT, STAHL, K., STAGGE, J. H., TALLAKSEN, L. M., DE STEFANO, L., VOGT, J., 2016: Estimating drought risk across Europe from reported drought impacts, drought indices, and vulnerability factors. Hydrol. Earth Syst. Sci., 20, 2770–2800.

BLÜTHGEN, J., WEISCHET, W., 1980: Allgemeine Klimageographie, Walter de Gruyter, Berlin, New York, 887 s.

BOCHNÍČEK, O., BORSÁNYI, P., ČEPČEKOVÁ, E., FAŠKO, P. CHMELÍK, M., JANČOVIČOVÁ, Ľ., KAJABA, P., KAPOLKOVÁ, H., LABUDOVÁ, L., MIKULOVÁ, K., MIŠAGA, O., NEJEDLÍK, P., PRIBULOVÁ, A., SNOPKOVÁ, Z., ŠŤASTNÝ, P., ŠVEC, M., TURŇA, M., 2015: Klimatický atlas Slovenska, Climate atlas of Slovakia, Banská Bystrica: Slovenský hydrometeorologický ústav, 228 s., ISBN 978-80-88907-90-9

BRÁZDIL, R., TRNKA, M. et al., 2015: Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno, 402 s. ISBN 978-80-87902-11-0 S.

BRUŠKOVÁ, V., 2007: Hodnotenie meteorologického sucha v povodí horného toku Torysy. Podzemná voda, 2007, roč. 13, č. 2, 169–176. . ISSN 1335-1052

BRUŠKOVÁ, V., 2007: Hodnotenie sucha v rozpätí rokov 1975-2004 na hornom toku Torysy. In.: Balintová, M., Zeleňáková, M. (Eds.): Zborník príspevkov z VIII. vedeckej konferencie STU, Košice. 28. – 30. 5. 2007. Košice, SvF TU, 2007, 29–34. ISBN 978-80-8073-791-7

BUČEKOVÁ, M., BAJO, I., MLYNARČÍK, M., POSPIECHOVÁ, O., 2001: Vtáčnik a Pohronský Inovec, vyhľadávací HGP. GEOKONZULT, Košice. 157 s.

BUDYKO, M. I., 1974: Climate and life. Gidrometeorizdat. Leningrad. (v ruštine)

BURGER, F., 2005: Koncept a identifikácia hydrologického sucha – deficitu podzemnej vody. Acta Hydrologica Slovaca, 2005, 6, 1, 3–10. ISSN 1335-6291

BURN, D. H., 1997: Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. Journal of Hydrology, 202, 1-4, 212–230.

CORINE, 2006: Corine Land Cover raster data, https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/clc-2006-raster

ČEPČEKOVÁ, E, FAŠKO, P., HLAVATÁ, H., JANČOVIČOVÁ, Ľ., KAJABA, P., LABUDOVÁ, L., MIKULOVÁ, K., PECHO, J., PRIBULLOVÁ, A., ŠŤASTNÝ, P., TOMKOVÁ, M., 2016: Klimatologické normály na Slovensku za obdobie 1981 – 2010, interná publikácia SHMÚ

ČERNÁK, R., KORDÍK, J., BOTTLIK, F., HAVRILA, M., HELMA, J., KOHÚT, M, ŠIMON, L., 2014: Vysvetlivky k základnej hydrogeologickej a hydrogeochemickej mape Pohoria Žiar v mierke 1 : 50 000. ŠGÚDŠ, Bratislava. 155 s. ISBN 978-80-89343-95-9

ČUNDERLÍK, J., 1999: Regionálny odhad N-ročných prietokov vo vybraných povodiach Slovenska. Dizertačná práca. Slovenská technická univerzita v Bratislave. Stavebná fakulta; Katedra vodného hospodárstva krajiny. Bratislava. 144 s.

DANÁČOVÁ, Z., BLAŠKOVIČOVÁ, L., LOVÁSOVÁ, Ľ., POÓROVÁ, J., ŠIMOR, V., ŠKODA, P., 2015: Hydrologické extrémy: modelovanie a predpovedanie, Acta hydrologica Slovaca, 16, Tematické číslo, 2015, 13–22.

DOVINA, V., KULLMAN, E., HANZEL, V., VRANA, K., 1984: Metódy hydrogeologických meraní v horských oblastiach - príklady použitia niektorých metód meraní pre riešenie hydrogeologických problémov v horských oblastiach Západných Karpát, čiastková záverečná správa. ŠGÚDŠ, Bratislava.

DOVINA, V., RAPANT, S., KULLMAN, E., ZAKOVIČ, M., GROSS, P., BUJANOVSKÝ, A., HALOUZKA, R., 1990: Hydrogeologická mapa Oravskej vrchoviny, Skorušinských vrchov a Chočských vrchov v mierke 1:50 000, čiastková záverečná správa. ŠGÚDŠ, Bratislava. 94 s.

DUB, O., 1957: Hydrológia, hydrografia, hydrometria. Vyd. 1. Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, 1957, 484 s.

ELTAHIR, E. A. B., YEH, P. J. F., 1999: On the asymmetric response of aquifer water level to floods and droughts in Illinois. Water resources research 35, 4, 1199–1217.

FENDEKOVÁ, M., DANÁČOVÁ, Z., GAUSTER, T., LABUDOVÁ, L., FENDEK, M., HORVÁT, O., 2017a: Analysis of hydrological drought parameters in selected catchments of the southern and eastern Slovakia in the years 2003, 2012 and 2015. Acta Hydrologica Slovaca, 18, 2, 135–144.

FENDEKOVÁ, M., 1996: Režim prameňov vybraných hydrogeologických celkov Slovenska. Podzemná voda, 1996, 2, 1, 23–31. ISSN 1135-1052.

FENDEKOVÁ, M., FENDEK, M., 1999: Killeho metóda – Teória a prax, Podzemná voda, 5, 2, 77–87

FENDEKOVÁ, M., FENDEK, M., 2005: Režim podzemných vôd kvartérnych sedimentov predpolia Vysokých Tatier a jeho klasifikácia. Podzemná voda. 2005, 11, 2, 129–144. ISSN 1335–1052

FENDEKOVÁ, M., FENDEK, M., 2012: Groundwater drought in the Nitra river basin – Identification and classification. Journal of Hydrology and Hydromechanics., 60, 3, 185–193. ISSN 0042-790X, 2012

FENDEKOVÁ, M., FENDEK, M., DANÁČOVÁ, Z., 2014: Podzemný odtok v slovenskej časti Tatier. Vodní hospodářství, 2014, 8, 9–14. ISSN 1211-0760

FENDEKOVÁ, M., FENDEK, M., DANÁČOVÁ, Z., LABUDOVÁ, L., SLIVOVÁ, V., 2017b: Prejavy sucha v povrchových a podzemných vodách vybraných slovenských povodí v suchých rokoch 2003, 2012 a 2015. 15. hydrogeologický kongres: Podzemní voda a společnost. Brno: PřF MU, ČAH, ČAIG, 2017, 48–51. ISBN 978-80-903635-5-7

FENDEKOVÁ, M., FĽAKOVÁ, R., SLIVOVÁ, V., ŽENIŠOVÁ, Z., ŠKODA, P., DEMETEROVÁ, B., FENDEK, M., GAVURNÍK, J., NÉMETHY, P., KRČMÁŘ, D., 2009: Influence of hydrological drought on surface and groundwater quantitative and qualitative parameters in Torysa River catchment, Eastern Slovakia. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologycznego. ISSN 1644-0870, 2009, 436, 109–114.

FENDEKOVÁ, M., GAUSTER, T., SLIVOVÁ, V., VRABLÍKOVÁ, D., FENDEK, M., LABUDOVÁ, L., DANÁČOVÁ, Z., 2017c: Surface and groundwater drought in the Kysuca river basin in the three driest years of the 21st century. Podzemná voda, 23, 1, 25–37.

FENDEKOVÁ, M., GAVURNÍK, J., KULLMAN, E., SADLOŇOVÁ, K., 1995: Vplyv globálnych klimatických zmien na výdatnosti prameňov na území Slovenska. In: Martoň, J., Melioris, L., Hétharši, J., Škultétyová, I. 1995: Zborník vedeckých prác z vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou AQUA´95. 22.6.1995. Trenčín, ES STU. 8–18.

FENDEKOVÁ, M., ŽENIŠOVÁ, Z., DEMETEROVÁ, B., FENDEK, M., FĽAKOVÁ, R., GAVURNÍK, J., KRČMÁŘ, D., MACURA, V., NÉMETHY, P., SLIVOVÁ, V., 2010: Hydrogeologické sucho. 1. vyd. Bratislava, Slovenská asociácia hydrogeológov, 2010. 190 s. ISBN 978-80-969342-7-0.

FREIRE-GONZÁLEZ, J., DECKER, C., HALL, J. W., 2017: The Economic Impacts of Droughts: A Framework for Analysis. Ecological Economics and management. 132, 196–204.

FTORKOVÁ, M. a GALISOVÁ, J., 1990: Hydrogeologická preskúmanosť a predpoklad možnosti získania kvalitných zdrojov pitnej vody v okrese Martin, štúdia. IGHP, Žilina. 39 s.

GANGULI, P., GANGULY, A. R., 2016: Space-time trends in U.S. meteorological droughts. Journal of Hydrology: Regional Studies, 8, 235–259.

GARRIC, G., HUBER, M., 2003: Quasi-decadal variability in paleoclimate records: Sunspot cycles or intrinsic oscillations? Paleoceanography, 18, 3, art. no. 1068.

GERA, M., TOMLAIN, J., DAMBORSKÁ, I., 2011: Fyzika hraničnej vrstvy atmosféry, Knižničné a edičné centrum FMFI UK, 2. rozšír. vyd., 176 s.

GIBBS, W. J., 1975: Drought — its definition, delineation and eff ects. In: Special Envir. Report No. 5. World Meteorological Organization, Geneva, 11–39.

GIDROMETEOIZDAT, 1976: Rekomendatsii po roschotu ispareniia s poverhnosti suchi. St. Peterburg, Gidrometeoizdat.

GRECULA, P., KOBULSKÝ, J., (eds.) GAZDAČKO, Ľ., NÉMETH, Z., HRAŠKO, Ľ., NOVOTNÝ,L., MAGLAY, J., PRAMUKA, S., RADVANEC, M., KUCHARIČ, Ľ., HANZEL, V., MELIORIS, L., VRANA, K., ZAKOVIČ, M., 1990: Vysvetlivky ku hydrogeologickej mape Tatier v mierke 1:50 000, čiastková záverečná správa. ŠGÚDŠ, Bratislava, 114 s.

GREGOR, M., 2011: Možnosti využitia softvérového balíka HydroOffice 2010 pre hydrológov a hydrogeológov. Acta Geol. Slovaca, 3, 1, 95–104. ISSN 1338-0044.

GREGOR, M., 2013: Surface- and groundwater quality changes in periods of water scarcity. Springer Theses. Berlin Heidelberg: Springer. 2013. 230 s. ISBN: 978-3-642-32243-3.

HANZEL, V., ZAKOVIČ, M., RAPANT, S., REPKA, T., FRANKO, O., ELEČKO, P., GROSS, P., KOHÚT, M., MELLO, J., PRISTÁŠ, J., 2012: Vysvetlivky k základnej hydrogeologickej mape SR 1:200 000, list 37 – Košice. ŠGÚDŠ Bratislava,129 s. ISBN 978-80-89343-79-5

HISDAL, H., 2002: Regional aspects of drought, Thesis submitted for the degree of Doctor Scientarium, Department of Geophysics, Faculty of Mathematics and Natural sciences, University of Oslo, 57 s.

HISDAL, H., TALLAKSEN, L. M., 2003: Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics: a case study for Denmark. Journal of Hydrology, 281, 230–247.

HISDAL, H., CLAUSEN, B., GUSTARD, A., PETERS, E., TALLAKSEN, L. M., 2004: Event Definitions and Indices. In: Tallaksen, L. M., van Lanen, H. A. J. (eds.): Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Developments in Water Science 48. Elsevier Science B.V., Amsterdam, 579 s.

HLAVČOVÁ, K., HORVÁT, O., 2011: Záverečná správa projektu APVV-LPP-0254-07, Bratislava.

HLAVČOVÁ, K., SZOLGAY, J., ČUNDERLÍK J., PARAJKA J., LAPIN, M., 1999: Impact of climate change on the hydrological regime of rivers in Slovakia : Publication of the Slovak Comm. for Hydrology, no. 3. NCH UNESCO, SUT, Bratislava, 101 s. ISBN 80-227-1296-5.

HLAVČOVÁ, K., KOHNOVÁ, S., 2005: Návrh rámcových adaptačných opatrení. In Scenáre zmien vybraných zložiek hydrosféry a biosféry : VEDA, Bratislava, 2005, 419–476. ISBN 80-224-0884-0.

HÖLTING, B., 1980: Hydrogeologie. Einführung in die allgemeine und angewandte Hydrogeologie. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, Germany, 340 s. ISBN 3-432-90791-5.

HORVÁT, O., 2007: Parameterization of Hydrologic Processes in the Runoff Modelling. Dizertačná práca, odbor Hydrológia a vodné hospodárstvo, Katedra vodného hospodárstva krajiny SvF STU Bratislava, 129 s.

HURRELL, J. NATIONAL CENTER FOR ATMOSPHERIC RESEARCH STAFF (Eds)., 2017: The Climate Data Guide: Hurrell North Atlantic Oscillation (NAO) Index (station -based). Retrieved from https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based. Last modified 06 Oct 2017.

HURRELL, J., W., KUSHNIR, Y., OTTERSEN, G., VISBECK, M., (EDS.), 2003: The North Atlantic Oscillation – Climatic Significance and Environmental Impact. Geoph. Mon. 134, American Geophysical Union, Washington, USA, 280 s.

HURRELL, J. W., DESER, C., 2009: North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation. J. Mar. Syst., 78, No. 1, 28–41.

HURST, H. E., 1951: Long term storage capacity of reservoirs. Trans. Am. Soc. Civ. Eng., 116, 770–808.

CHALUPKA, J., KULLMAN, E. st., 1992: Príspevok k posúdeniu trvalého prírodného poklesu výdatnosti zdrojov podzemných vôd vplyvom klimatických faktorov. In: Kullman, E., Hanzel, V. (Eds.): Zborník prác zo sympózia „Využívanie podzemných vôd vo vzťahu k ekológii“. Rajecké Teplice, 9. □ 11. 11. 1992. Bratislava, Slovenská asociácia hydrogeológov, 1992, 95–103.

CHANGNON, S. A., HUFF, F. A., HSU, C. F., 1988: Relations between precipitation and shallow groundwater in Illinois. Journal of climate 1, 12, 1239 – 1250.

CHARVÁTOVÁ, I., 2000: Can origin of the 2400-year cycle of solar activity be caused by solar inertial motion? Ann Geophys. Atmosph. Hydrosph. And Space Scienc. 18, 4, 399–405.

CHARVÁTOVÁ, I., STREŠTÍK, J., 1995: Long-term changes of the surface air-temperature in relation to solar inertial motion. Climatic Change, 29, 3, 333–352.

INSTITUTE OF HYDROLOGY, 1980: Low flow studies. Res. Rep. 1. Institute of Hydrology, Wallingford, UK. 50 s. Manuscript.

IPCC, 1995: Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Houghton, J. T., Meira Filho, L. G., Callander, B. A., Harris, N., Kattenberg, A., Maskell, K. (eds). WMO, UNEP, Cambridge Univ. Press, 572 s.

IPCC, 2007: IPCC Fourth Assessment Report. Working Group I Report „The Physical Science Basis“. Oct. 2007. 996 s. Available at: http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm.

IPCC, 2014. Climate change 2013. The physical science basis: Cambridge University Press, UK, 2014, 1552 s., ISBN: 9781107661820, url: https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/

JETEL, J., 2004: Rozčlenenie využiteľného množstva podzemnej vody na maximálne, reálne využiteľné a dokumentované množstvá. Podzemná voda, 10, 1, 35–42.

JETEL, J., NEMČOK, J., TKÁČ, J., 1993: Hydrogeologický výskum Spišskej Magury - záverečná správa. ŠGÚDŠ, Bratislava. 222 s.

JEVREJEVA, S., MOORE, J. C., GRINSTED, A., 2003: Influence of the Arctic oscillation and El Nino–southern oscillation (ENSO) on ice conditions in the Baltic Sea: the wavelet approach. Journal of Geophysical Research–Atmospheres 108(D21): art. no. 4677.

JONES, P. D., JÓNSSON, T., WHEELER, D., 1997: Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland. Int. J. Climatol. 17, 1433–1450.

KABAT, P. et al., Eds, 2002: Vegetation, Water, Humans and the Climate, The IGBP Series, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 566 s.

KANE, R. P., 1997: Prediction of droughts in north-east Brazil: role of ENSO and use of periodicities. International Journal of Climatology 17, 655–665.

KILLE, K., 1970: Das Verfahren MoMNQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabfliisse. Z. deutsch. geo l. Ges., Sonderh. Hydrogeol. Hydrogeochem., Hannover, 89–95.

KLEMENTOVÁ, E., LITSCHMANN, T., 2004: The agro-climatic drought in Slovakia in 2003. In: Meteorologický časopis, 7, 11–16.

KLIMATICKÝ ATLAS SLOVENSKA. Climate atlas of Slovakia. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav, 2015, 132 s. ISBN 978-80-88907-90-9.

KOHNOVÁ, S., SZOLGAY, J., 2000: Identifikácia homogénnych regionálnych typov pre regionálne určovanie návrhových prietokov. In: Hladný, J. et al.: Hydrologické dny – nové podněty a vize pro příští století, ČVH, SVH, ČHMÚ, Plzeň, 2000. 291–298.

KOHNOVÁ, S., SZOLGAY, J., HLAVČOVÁ, K., GAÁL, L., ŠTEVKOVÁ, A., 2008: Posúdenie malej vodnosti metódou regionálne typizácie. Záverečná správa HZ, 102 s.

KONČEK, M., 1955: Index zavlaženia. Meteorologické Zprávy, 8, 4, 96–99.

KONČEK, M., PETROVIČ, Š., 1957: Klimatické oblasti v Československu. Meteorologické Zprávy, 10, 5, 113–119.

KONČEK, M., 1980: Klimatické oblasti. In: Atlas Slovenskej socialistickej republiky. SAV, Bratislava, číslo mapy 42, s. 64.

KOTTEK M, GRIESER, J., BECK, CH., RUDOLF, B., RUBEL, F., 2006: World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift, 15, 3, 259–263.

KŘÍŽ, H., 1983: Hydrologie podzemních vod. Academia vydavateľstvo ČSAV, Praha, 292 s.

KULLMAN, E. ST., BODIŠ, D., JETEL, J., KOVÁŘÍK, J., KULLMAN, E. ML., MALÍK, P., 2002: Metodické postupy pri stanovovaní výpočtu množstiev podzemných vôd. In: Scherer, S., Slaninka, I., Bahnová, N., Bottlik, F., Malík, P., Švasta, J., Vozár, J. 2004: Mezozoikum a paleozoikum SZ časti Považského Inovca, hydrogeologický rajón MG-046, vyhľadávací hydrogeologický prieskum. Záverečná správa. Manuskript – Archív odboru Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, 206 s.

KULLMAN, E., GAVURNÍK, J., PAĽUŠOVÁ, Z., BODÁCZ, B,. 2015: Zhodnotenie roka 2014 z pohľadu podzemných vôd. Vodohospodársky spravodajca. ISSN 0322 886X, 2015, 58, 5-6, 17–19.

LAAHA, G., 2002: Modelling summer and winter droughts as a basis for estimating river low flows. In: FRIEND 2002 – Regional hydrology: bridging the gap between research and practice. Proceedings of the fourth international conference held in Cape Town, South Africa, March 2002. IAHS publ. 274, 289–295.

LAAHA, G., BLÖSCHL, G., 2006: Seasonality indices for regionalizing low flows. Hydrological Processes. 20, 2006, 3851–3878.

LAAHA, G., GAUSTER, T., TALLAKSEN, L. M., VIDAL, J-P., STAHL, K., PRUDHOMME, CH., HEUDORFER, B., VLNAS, R., IONITA, M., VAN LANEN, H. A. J., ADLER M.-J., CAILLOUET, L., DELUS, C., FENDEKOVA, M., GAILLIEZ, S., HANNAFORD, J., KINGSTON, D., VAN LOON, A., F., MEDIERO, L., OSUCH, M., ROMANOWICZ, R., SAUQUET, E., STAGGE, J. H., WONG, W. K., 2017: The European 2015 drought from a hydrological perspective. Hydrol. Earth Syst. Sci., ISSN 1027-5606, 2017, 21, 6, 3001–3024.

LABUDOVÁ, L., FAŠKO, P., IVAŇÁKOVÁ, G., 2015: Changing Climate and Changes in Climate Regions. In: Moravian Geographical Reports, 23, 3, 71–82. ISSN 1210-8812.

LABUDOVÁ, L., TURŇA, M., 2015: Monitoring sucha na Podunajskej a Východoslovenskej nížine v sezóne 2015. In: 22. Posterový deň s medzinár. úč.: Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda – rastlina – atmosféra (12. 11. 2015 Bratislava, zborník recenzovaných príspevkov). Ed. A. Čelková. Bratislava: Ústav hydrológie SAV a Ústav o Zemi SAV. 157–164.

LABUDOVÁ, L., LABUDA, M., TAKÁČ, J., 2017: Comparison of SPI and SPEI applicability for drought impact assessment on crop production in the Danubian Lowland and the East Slovakian Lowland. Theor Appl Climatology, 128, 491–506.

LAPIN, M., TOMLAIN, J., 2001: Všeobecná a regionálna klimatológia. Vydavateľstvo UK, Bratislava, 184 s.

LAPIN, M., DAMBORSKÁ, I., MELO, M., 2001: Scenarios of several physically plausible climatic elements. Slovak National Climate Program, VI, No. 11, Slovak Hydrometeorological Institute and Ministry of the Environment of the Slovak Republic, Bratislava, Slovakia, 5¬30. (v slovenčine s anglickým súhrnom)

LAPIN, M., FAŠKO, P., MELO, M., ŠŤASTNÝ, P., TOMLAIN, J., 2002: Klimatické oblasti. In: Atlas krajiny Slovenskej republiky. Ministerstvo životného prostredia SR a Slovenská agentúra životného prostredia Banská Bystrica, ISBN 80-88833-27-2, číslo mapy 27, s. 95.

LAPIN, M., HLAVČOVÁ, K., PETROVIČ, P., 2003: Vplyv klimatickej zmeny na hydrologické procesy. Acta Hydrologica Slovaca, IV, 2, 2003, 211–221.

LAPIN, M., MELO, M., 2004: Methods of climate change scenarios projection in Slovakia and selected results. In: Journal of Hydrology and Hydromechanics. 52, 4, 224–238.

LAPIN M., MELO M., DAMBORSKÁ I., VOJTEK M., MARTÍNI M., 2006: Physically and statistically plausible downscaling of daily GCMs outputs and selected results. Acta Met. Univ. Comenianae, Bratislava, XXXIV, 35–57.

LAPIN, M., GERA, M., HRVOĽ, J., MELO, M., TOMLAIN, J., 2009: Possible impacts of climate change on hydrological cycle in Slovakia and results of observations in 1951-2007. Biologia 64, 3, 454–459.

LAPIN, M., MELO, M., 2012: Modifikácia klimatických klasifikácií pre podmienky teplejšej klímy na Slovensku. Meteorologický časopis, 15, 2, 67–74.

LAPIN, M, BAŠTÁK-ĎURÁN, I., GERA, M., HRVOĽ, J., KREMLER, M., MELO, M., 2012: New climate change scenarios for Slovakia based on global and regional general circulation models. Acta Met. Univ. Comen., 37, 25–74.

LAPIN, M., DAMBORSKÁ, I., GERA, M., HRVOĽ, J., MELO, M., 2015: Trends of evapotranspiration in Slovakia, including scenarios up to 2100. In: International Bioclimatological Conference: Toward Climatic Services. Slovak. Bioclimatological Society SAS, Nitra, 5 s.

LAPIN, M., DAMBORSKÁ, I., GERA, M., MELO, M., HRVOĽ J., 2016: Potenciálna a aktuálna evapotranspirácia na Slovensku v období 1951-2015 a scenáre možného vývoja do roku 2100. In: Zborník z medzinárodnej konferencie v Kutnej Hore, 28.-29.4.2016. Půdní a zemědělské sucho [elektronický zdroj], Praha, VÚMOP, 210–225 [USB kľúč], ISBN 978-80-87361-55-9

LEDVINKA, O., LAMAČOVÁ, A., 2015: Detection of field significant long-term monotonic trends in spring yields. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 29, 1463–1484. doi:10.1007/s00477-014-0969-1

LITSCHMANN, T., KLEMENTOVÁ, E., 2004: Using Palmer Drought Severity Index to assess drought in the territory of Slovakia. In: Meteorologický časopis, 7, 67–72.

LIRITZIS, I., FAIRBRIDGE, R., 2003: Remarks on astrochronology and time series analysis of Lake Sake varved sediments. J. Balkan Geoph. Soc., 6, 3, 165–172.

MAJERČÁKOVÁ, O., POÓROVÁ, J., JAROŠOVÁ M., 2008: Sucho ako hydrologický fenomén? Vodohospodársky spravodajca 11-12, ISSN: 0322-886X.

MAIDMENT, D. R., 1992: Handbook of hydrology. MsGraw-Hill, Inc., New York, USA, 1338 s. ISBN 0-07-039732-5.

MAJERČÁKOVÁ, O., ŠKODA, P., POÓROVÁ, J., DANÁČOVÁ, Z., FAŠKO, P., 2011: Voda pre našu krajinu. Vodohospodárky spravodajca, 3-4/2011, 12–14. ISSN: 0322-886X

MALÍK, P. (Ed.), BAČOVÁ, N., HRONČEK, S., IVANIČ, B., KOČICKÝ, D., MAGLAY, J., MALÍK, P., ONDRÁŠIK, M., ŠEFČÍK, P., ČERNÁK, R., ŠVASTA, J., LEXA, J., 2007: Zostavovanie geologických máp v mierke 1 : 50 000 pre potreby integrovaného manažmentu krajiny. Manuskript – archív Geofondu ŠGÚDŠ Bratislava, 552 s.

MALÍK, P., BENKOVÁ-DULOVIČOVÁ, K., HELMA, J., SLANINKA, I., 1999: Hydrogeologická a hydrogeochemická mapa severovýchodnej časti Podunajskej nížiny v mierke 1:50 000 - textové vysvetlivky, čiastková záverečná správa. ŠGÚDŠ, Bratislava. 253 s.

MALÍK, P., BODIŠ, D., MELLO, J., 2000a: Mezozoikum západnej časti Slovenského krasu, Železníckeho podhoria a časti Licinskej pahorkatiny - hydrogeologický rajón M 130. ŠGÚDŠ, Bratislava, 2000, 307 s.

MALÍK, P., KORDÍK, J., 1999: Hydrogeologická a hydrogeochemická mapa východnej časti Veľkej Fatry v mierke 1: 50 000- textové vysvetlivky. Čiastková záverečná správa. ŠGÚDŠ, Bratislava, 1999, 241 s.

MALÍK, P., KORDÍK, J., KOVÁČOVÁ, E., BOTTLIK, F., POLÁK, M., 2014: Vysvetlivky k základnej hydrogeologickej a hydrogeochemickej mape Západnej časti Veľkej Fatry v mierke 1 : 50 000. ŠGÚDŠ, Bratislava, 341 s. ISBN 978-80-89343-94-2

MALÍK, P., KOVÁČOVÁ, E., 2007: Charakteristika výtokových čiar prameňov na južných svahoch Nízkych Tatier. Podzemná voda. 2007, 13, 1, 121–132. ISSN 1335 – 1052.

MALÍK, P., RAPANT, S., ZAKOVIČ, M., HANZEL, V., MARCIN, D., 2012: Vysvetlivky k základnej hydrogeologickej mape SR 1: 200 000, list 35, Trnava. ŠGÚDŠ, Bratislava, 2012, 165 s. ISBN: 978-80-89343-75-1

MALÍK, P., ŠVASTA, J., ČERNÁK, R., LENHARDTOVÁ, E., BAČOVÁ, N., REMŠÍK, A., 2013: Kvantitatívne a kvalitatívne hodnotenie útvarov podzemnej vody. Prípravná štúdia. ŠGÚDŠ, Bratislava. 100 s.

MALÍK, P., ŠVASTA, J., TUPÝ, P., 2000b: Hydrogeologická mapa. Čiastková záverečná správa. In: SCHWARZ, J., TUPÝ, P., MALÍK, P., ŠVASTA, J., LINKEŠ, V., DOŠEKOVÁ, A., KOBZA, J., ČURLÍK, J., ŠEFČÍK, P., LANE, J., HRICKO, J., SUCHÝ, F., KÁTLOVSKÝ, V., HRNČÁROVÁ, M., PITOŇÁK, P., PÚCHYOVÁ, A., VASIĽKO, T., VLČKO, J., OROSZLÁNY, J., VOJTAŠKO, I., 2000: Súbor regionálnych máp geologických faktorov životného prostredia regiónu Banská Bystrica - Zvolen v mierke 1 : 50 000. ENVIGEO, Banská Bystrica, 2000.

MALÍK, P., ZAKOVIČ, M., KORDÍK, J., POLÁK, M., BODIŠ, D., LOPAŠOVSKÝ, K., 1997: Vysvetlivky ku hydrogeologickej a hydrogeochemickej mape Čierna hora 1:50 000, čiastková záverečná správa. ŠGÚDŠ, Bratislava, 1997, 108 s.

MARANI, M., ELTAHIR, E., RINALDO, A., 2001: Geomorphic controls on regional base flow. Water resources research 37, 10, 2619–2630.

MAREČKOVÁ, K., LAPIN, M., MINÁRIK, B., MOJÍK, I., ZÁVADSKÝ, I., ZÁVODSKÝ, D., ZUZULA, I., 1997: Country Study Slovakia, Final Report, U.S. Country Studies Program, Slovak Ministry of the Environment, Slovak Hydrometeorological Institute, Bratislava, 108 s.

MARSH, T. J., et al., 1994: The 1988-92 drought. Institute of Hydrology, Wallingford, UK, 15–22

MCKEE, T. B., DOESKEN, N. J., KLEIST, J., 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17. – 22.1.1993. Anaheim, California, 1993, 179–183.

MELO, M., LAPIN, M., DAMBORSKÁ, I., 2007: Končekov index zavlaženia ako možný indikátor aridizačných trendov v krajine. Acta Hydrologica Slovaca, 8, 2, 224–230.

MELO, M., LAPIN, M., KAPOLKOVÁ, H., PECHO, J., KRUŽICOVÁ, A., 2013: Climate Trends in the Slovak Part of the Carpathians. In: Kozak, J., Ostapowicz, K., Bytnerowicz, A., Wyżga, B. (eds.) (2013): The Carpathians: Integrating Nature and Society Towards Sustainability, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 131–150.

Meteorologický slovník výkladový terminologický, Academia, 1993.

MISHRA, A., SINGH, V., 2010: A review of drought concepts. In: Journal of Hydrology, 391, 1-2, 202–216.

MONIEWSKI, P., 2015: Seasonal Variability of Discharge from Selected Springs in Central Europe. Atmospheric Chemistry and Physics, 15, 6827–6849, doi:10.5194/acp-15-6827-2015.

NÁRODNÁ SPRÁVA SR O KLIMATICKEJ ZMENE, zv. 1 až 6, 1995, 1997, 2001, 2006, 2009, 2014: Ministerstvo životného prostredia SR a Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, http://unfccc.int/national_reports/annex_i_natcom/submitted_natcom/items/7742.php

NASA, 2017: GISS surface temperature analysis: https://data.giss.nasa.gov/gistemp/

NASH, J. E., SUTCLIFFE, J. V., 1970: River flow forecasting through conceptual models, Part I - A Discussion of principles, J. Hydrol., 10, 282–290.

NOAA National Centre for Environmental Information, State of the Climate: Global Analysis for Annual 2015, published online, January 2016. [Prístup 10.12.2016].

NOSEK, M., 1972: Metody v klimatologii. Praha, ČSAV 1972, 433 s.

OGALLO, J. L., GBECKOR-KOVE, N., 1989: Drought and Desertification. WMO, Geneva, 73 s In: Peters, E., Bier, G., Van Lanen, H.A.J., Torfs, P.J.J.F. 2005. Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment. Journal of Hydrology, 321, 257–275.

OLIVER, J. E. (ed), 2008: Encyclopedia of World Climatology. Springer, 854 s.

OREHOVA, T., 2002: Seasonal variability of the groundwater regime for several aquifers in Bulgaria. ICHE-2002 Conference, Warsaw, Poland, 15 s.

OSBORN T. J., 2011: Winter 2009/2010 temperatures and a record-breaking North Atlantic Oscillation index. Weather 66, 19–21.

OTN 3113-1, Hydrologické údaje povrchových vôd. Kvantifikácia malej vodnosti. Časť 1: Stanovenie charakteristík malej vodnosti vo vodomerných staniciach. Odvetvová technická norma MŽP SR, 2004.

OUDIN, L., MOULIN, L., BENDJOUDI, H., RIBSTEIN, P., 2010: Estimating potential evapotranspiration without continuous daily data: possible errors and impact on water balance simulations. Hydrological Sciences Journal, 55, 209–222.

PÁLENÍK, J., TISCHLIAR, S., 1999: Sklené Teplice - návrh odkrývacích prác- prameň Handrlová. STVaK, Banská Bystrica, 1999, 5 s.

PARAJKA, J., KOHNOVÁ, S., BÁLINT, G., BARBUC, M., BORGA, M., CLAPS, P., CHEVAL, S., DUMITRESCU, A., GAUME, E., HLAVČOVÁ, K., MERZ, R., PFAUNDLER, M., STANCALIE, G., SZOLGAY, J., BLÖSCHL, G., 2010: Seasonal characteristics of flood regimes across the Alpine-Carpathian range. Journal of Hydrology 394, 2010, 78–89.

PARAJKA, J., KOHNOVÁ, S., MERZ, R., SZOLGAY, J., HLAVČOVÁ, K., BLÖSCHL, G., 2009: Comparative analysis of the seasonality of hydrological characteristics in Slovakia and Austria. Hydrological Sciences-Journal-Journal des Sciences Hydrologiques, 54, 3, 2009, 456–478.

PATASSIOVÁ, M., KLEMENTOVÁ, E., LITSCHMANN, T., ČISTÝ, M., 2002: Výskyt sucha a analýzy zrážok pri jeho výskyte v jarných mesiacoch. In: Acta Hydrologica Slovaca, 3, 1, 61–69.

PEIXOTO, J., P., OORT, A. H., 1992: Physics of Climate. American Institute of Physics, Springer, New York, 520 s.

PEKÁROVÁ, P., 2009: Multiannual runoff variability in the upper Danube region. Vyšlo na CD-ROM, dizertačná doktorská práca (DrSc.), Bratislava, IH SAS, 151 s.

PEKÁROVÁ, P., MIKLÁNEK, P., PEKÁR, J., 2003: Spatial and temporal runoff oscillation analysis of the main rivers of the world during the 19th-20th centuries. In Journal of Hydrology., 274, 1, 62–79.

PEKÁROVÁ, P., MIKLÁNEK, P., PEKÁR, J., PRAMUK, B., 2017: Identifikácia zmien režimu denných prietokov slovenských riek II. časť: porovnanie dvoch období. Acta Hydrologica Slovaca, 18, 2, 183–192.

PEKÁROVÁ, P., SZOLGAY, J., eds., 2005: Scenáre zmien vybraných zložiek hydrosféry a biosféry povodí Hrona a Váhu v dôsledku klimatickej zmeny. Veda – Vydavateľstvo SAV, Bratislava, 494 s.

PETERS, E., BIER, G., VAN LANEN, H. A. J., TORFS, P. J. J. F., 2006: Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment. Journal of Hydrology, 321, 2006, 257–275.

PETERS, E., TORFS, P. J. J. F., VAN LANEN, H. A. J., BIER, G., 2003: Propagation of drought through groundwater – a new approach using linear reservoir theory. Hydrological Processes, 17, 15, 3023–3040.

PETERS, E., VAN LANEN, H. A. J., 2001: Environmental impact. In Demuth, S., Stahl, K. (eds), Assessment of the Regional Impact of Drought in Europe, Final Report to the European Union, Institute of Hydrology, University of Freiburg, 40–45.

PETERS, E., 2003: Propagation of drought through groundwater systems, Illustrated in Pang (UK) and Upper-Guadiana (ES) catchments, Dissertation Wageningen Universiteit, Wageningen, 201 s.

PETROVIČ, Š., ŠOLTÍS, J., 1984: Teplotné pomery na Slovensku. In: Zborník prác SHMÚ, zv. 23. Bratislava, Alfa 1984, 220 s.

POÓROVÁ, J., ŠKODA, P., BODACZ, B., KULLMAN, E., 2012: Hydrologické zamyslenie nad rokom 2011. Vodohospodársky spravodajca, 55, 7-8, 18–21, ISSN.032-886X.

POÓROVÁ, J., ŠKODA, P., DANÁČOVÁ, Z., ŠIMOR, V., 2013: Vývoj hydrologického režimu slovenských riek, Životné prostredie, 2013, 47, 3.

POÓROVÁ, J., ŠKODA, P., DANÁČOVÁ, Z., BLAŠKOVIČOVÁ, L., ŠIMOR,V., 2014: The assessment of the hydrological drought and the proposal of forecast in real time. Zborník z konferencie Podunajských krajín, Deggendorf, 2014.

PRAMUKA, S., OLEKŠÁK, S, BAJTOŠ, P., 2010: Účelová hydrogeologická mapa, čiatková záverečná správa. In: GLUCH, A., OLEKŠÁK, S., PETRO, Ľ., ŠEFČÍK, P., ZÁHOROVÁ, Ľ., PRAMUKA, S., BAJTOŠ, P. a BODIŠ, D. 2010: Súbor máp geofaktorov životného prostredia Ľubovnianska vrchovina a Spišská Magura. ŠGÚDŠ, Bratislava, 2010.

QINGYUN, D., SOROOSHIAN S., GUPTA, V. K., 1994: Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models. Journal of Hydrology, 158, 265–284.

RAPANT, S., 1994: Geochémia prírodných vôd kryštalinika Nízkych Tatier. In: Západné Karpaty, séria hydrogeológia a inžinierska geológia 12, ŠGÚDŠ, Bratislava, 1994, 177–219.

REMŠÍK, A., MARCIN, D., HANZEL, V., BAJTOŠ, P., ŠVASTA, J., 2004: Základná hydrogeologická mapa regiónu stredné Považie v mierke 1:50 000. Čiastková záverečná sprava. In: RAPANT, S., MELLO, J., REMŠÍK, A., MARSINA, K., KLUKANOVÁ, A., BODIŠ, D., ČURLÍK, J., DANIEL, J. 2004: Súbor regionálnych máp geofaktorov životného prostredia regiónu stredné Považie (Žilina – Trenčianska Teplá) v mierke 1: 50 000.Záverečná správa. ŠGÚDŠ, Bratislava, 2004.

SACHS, L., 1984: Applied Statistics. A handbook of techniques. Second Edition, Springer Verlag New York, Inc., 707 s. ISBN 0-387-90976-1,

SANTOS, M. J., GONCALVES-HENRIQUES, A., 1999: Characterisation of meteorological drought in Mozambique. Proceedings of the International Conference on Integrated Drought Management. 35, 99–109.

SHMÚ, 1986: Metodická skupina klimatológie SHMÚ: Klimatické normály v súlade s odporúčaním Svetovej meteorologickej organizácie (WMO-Guide-1983).

SHMÚ, 2014: Meteorologické a zrážkomerné údaje zo staníc okolia povodia Váhu po Liptovský Mikuláš a Myjavy po Šaštín-Stráže pre obdobie rokov 1981 – 2012.

SHMÚ, 2015: Meteorologické a zrážkomerné údaje zo staníc okolia povodia Kysuce po Kysucké Nové Mesto, Nitry po Nové Zámky a Hrona po Banskú Bystricu pre obdobie rokov 1981 – 2012.

SHMÚ, 2016: Meteorologické a zrážkomerné údaje zo staníc povodí Hrona, Ipľa, Slanej, Bodvy, Hornádu, Popradu a Bodrogu pre obdobie rokov 1981 – 2012.

SHORTHOUSE, C., ARNELL, N., 1997: The effects of climatic variability on spatial characteristics of European river flows. Phys. Chem. Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere, 24, 1-2, 7–13

SCHERER, S., SLANINKA, I., ŠIMON, L., ČERNÁK, R., KOVÁČOVÁ, E., MARCIN, D., ŠVASTA, J., BOTTLIK, F., KORDÍK, J., 2014: Vysvetlivky k základnej hydrogeologickej a hydrogeochemickej mape Ipeľskej kotliny v mierke 1: 50 000. ŠGÚDŠ, Bratislava, 2014. 145 s. ISBN 978-80-89343-83-6

SCHMITT, L. H. M., GRAHAM, H. M., WHITE, P. C. L., 2016: Economic evaluations of the health impacts of weather-related extreme events: A scoping review. International Journal of Environmental Research and Public Health. 13 (11), art. no. 1105.

SKALSKÝ, R., NOVÁKOVÁ, M., MIŠKOVÁ, M., 2012: Analýza sucha v krajine ako príklad využitia simulačných modelov v geografii. In: Geografický časopis, 64, 55–69.

SLIVOVÁ, V., 2007: Analýza a modelovanie hydrologického sucha. Dizertačná práca, Bratislava STU, 2007, 168 s.

SLIVOVÁ, V., KULLMAN, E., 2016: Zhodnotenie hydrologického roka 2015 z pohľadu podzemných vôd. Vodohospodársky spravodajca, 2016, 59, 3-4, 17–19. ISSN 0322-886X

SLIVOVÁ, V., KULLMAN, E., GAVURNÍK, J., 2016: Analýza výskytu sucha v podzemnej

vode v období hydrologických rokov 2013, 2014 a 2015. Podzemná voda, 2016, 22, 1, 40–51. ISSN 1335 – 1052

SOUČEK, V., 1965: Rozbory vztahů průtokových řad. J. Hydrol. Hydromech., 13, 1, 4–22.

STAHL, K., 2001: Hydrological Drought - a Study across Europe. In Tallaksen L.M., van Lanen, H.A.J. (eds), Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater, Developments in Water Science 48. Elsevier Science B.V., Amsterdam, 579 s.

STAHL, K., DEMUTH, S., HISDAL, H, SANTOS, M., J., VERÍSSIMO, R., RODRIGUES, R, 2001: The North Atlantic Oscillation (NAO) and drought. In: Final report ARIDE (Ed. Demuth S. a Stahl K.), Institute of Hydrology, University of Freiburg, 105–109.

STOJKOVOVÁ, D., 2013: Hodnotenie výskytu sucha v hladinovom režime podzemných vôd v povodí Laborca. Podzemná voda, 2013, 19, 2, 91–106. ISSN 1335-1052

STOJKOVOVÁ, D., 2014: Identifikácia a klasifikácia sucha v hladinovom režime podzemných vôd. Dizertačná práca, Univerzita Komenského v Bratislave, 183 s.

STORN, R. PRICE, K., 1997: Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces. J. of Global Optimization, 11, 341–359.

ŠAMAJ, F., VALOVIČ, Š., 1972: Suché a vlhké obdobie na Slovensku. In: Balco, M. Malá vodnosť slovenských tokov, 1990, Veda, Bratislava.

ŠAMAJ, F., VALOVIČ. Š., 1978: Dlhodobé priemery úhrnu zrážok na Slovensku. In: Zborník prác HMÚ, zv. 14. Bratislava, Alfa 1978, 413 s.

ŠIŠKA B., TAKÁČ J., 2009: Drought Analyses of Agricultural Regions as Influenced by Climatic Conditions in the Slovak Republic. Időjárás, 113, 1–2, 135–143.

ŠKODA, P., BLAŠKOVIČOVÁ, L., KULLMAN, E., GAVURNÍK, J., VANČOVÁ, A., KVAPILOVÁ, L., PANÁK, D., KOSMÁLOVÁ, G., VALOVIČOVÁ, Z., 2009: Čiastkový monitorovací systém – voda 2008, SHMÚ, Bratislava.

ŠTEVKOVÁ, A., SABO, M., KOHNOVÁ, S., 2012: Pooling of low flow regimes using cluster and principal component analysis. Slovak Journal of Civil Engineering, XX, 2, 19–27.

ŠŤASTNÝ, P., FAŠKO, P., PECHO, P., LAPIN, M., GERA, M., 2017: Zmena klímy na Slovensku s dôrazom na scenáre očakávaných zmien teplotných, zrážkových a snehových pomerov v horských oblastiach Slovenska. Štúdia pre: Tatra Mountain Resorts a.s., Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, 29 s.

ŠVASTA, J., SLANINKA, I., MALÍK, P., VOJTKO, R., VOJTKOVÁ, S., 2004: Základná hydrogeologická a hydrogeochemická mapa Muránskej planiny v mierke 1:50 000, čiastková záverečná správa. ŠGÚDŠ, Bratislava, 2004. 175 s.

TAKÁČ, J., 2015: Sucho v poľnohospodárskej krajine. Bratislava: Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum – Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, 69 s.

TALLAKSEN, L. M., VAN LANEN, H. A. J., (eds.), 2004: Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Developments in Water Science 48. Elsevier Science B.V., Amsterdam, 579 s.

TALLAKSEN, L. M., 2000: Streamflow drought frequency analysis. In Vogt, J.V. a Somma, F. (eds), Drought and Drought Mitigation in Europe. Advances in natural and technological hazards research, 14, 103–11.

THE DISASTER HANDBOOK, 1998. dostupné << http://disaster.ifas.ufl.edu/>>

TOMETZ, L., 2004: Rákoš - prameň Rákošské lúky - návrh rozsahu ochranných pásiem a režimu hospodárenia v nich. INHYGEO, Košice, 2004, 17 s.

TOMLAIN, J., 1980: Výpar z povrchu pôdy a jeho rozloženie na území ČSSR. Vodohospodársky časopis, XXVIII, 2, 170–205.

TOMLAIN, J., 1991: Výpar z povrchu pôdy a rastlín. Charakteristiky suchých a vlhkých oblastí Slovenska In: Zborník prác SHMÚ, Vol. 33/1. Bratislava, 163–183.

TUPÝ, P., MALÍK, P., BOTTLIK, F., 2004: Hydrogeologická mapa účelová, čiastková záverečná sprava. In: J. SCHWARZ (ed.), J. SOTÁK, P. VEĽKÝ, P. TUPÝ, P. MALÍK, F. BOTTLIK, A. JASOVSKÁ, P. PITOŇÁK, M. MUDRÁKOVÁ, J. HRICKO, M. KANDRÍK, M. HOJNOŠ, L. LUČIVJANSKÝ, K. POLTÁRSKA, J. SOBOCKÁ, M. JAĎUĎA, V. HUTÁR, B. ŠURINA, A. ILKANIČ, T. VASIĽKO, 2004: Súbor máp geologických faktorov životného prostredia regiónu Chvojnická pahorkatina v mierke 1 : 50 000. ENVIGEO, Banská Bystrica.

TURKES, M., ERLAT, E., 2003: Precipitation changes and variability in Turkey linked to the North Atlantic oscillation during the period 1930–2000. Intern. J. Climat. 23, 14, 1771–1796.

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE, FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY, 2016: Scenáre úhrnu zrážok, teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu v staniciach čiastkových povodí Myjavy, Kysúc, Váhu a Nitry pre obdobie rokov 1951 – 2100.

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE, FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY, 2017: Scenáre úhrnu zrážok, teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu v staniciach čiastkových povodí Hrona, Ipľa, Slanej, Bodvy, Hornádu, Popradu a Bodrogu pre obdobie rokov 1951 – 2100.

UVO, C. B., 2003: Analysis and regionalization of Northern European winter precipitation based on its relationship with the North Atlantic oscillation. Intern. J. Climat. 23, 10, 1185–1194.

VAN DIJK, A. I. J. M., BECK, H. E., CROSBIE, R. S., DE JEU, R. A. M., LIU, Y. Y., PODGER, G. M., TIMBAL, B.,VINEY, N. R., 2013: The Millennium Drought in southeast Australia (2001–2009): Natural and human causes and implications for water resources, ecosystems, economy, and society, Water Resour. Res. 49, 2, 1040–1057.

VAN LANEN, H. A. J., PETERS, E., 2000: Definition effects and assessment of groundwater droughts. In Hisdal, H.L.M. a Tallaksen, L.M. (eds), Drought Event definition 2000, Technical Report No. 6, Department of Geophysics, University of Oslo, Norway, 16 s.

VAN LANEN, H. A. J., 2006: Drought propagation through the hydrological cycle. Climate Variability and Change – Hydrological Impacts, IAHS Pub. 308, 122–127.

VAN LANEN, H. A. J., LAAHA, G., KIGSTNON, D. G., GAUSTER, T., IONITA, M., VIDAL, J.-P., VLNAS, R., TALLAKSEN, L. M., STAHL, K., HANNAFORD, J., DELUS, C., FENDEKOVA, M., MEDIERO, L., PRUDHOMME, C., RETS, E., ROMANOWICZ, R. J., GAILLIEZ, S., WONG, W. K., ADLER, M.-J., BLAUHUT, V., CAILLOUET, L., CHELCEA, S., FROLOVA, N., GUDMUNDSSON, L., HANEL, M., HASLINGER, K., KIREEVA, M., OSUCH, M., SAUQUET, E., STAGGE, J. H., VAN LOON, A. F., 2016: Hydrology needed to manage droughts: The 2015 European case. Hydrological Processes. 30, 17, 3097–3104.

VINCENTE-SERRANO, S. M., BEGUERÍA, S., LÓPEZ-MORENO, J. I., 2010: A Multi -scalar drought index sensitive to global warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. Journal of Climate, 23, 1696–1718.

VRABLÍKOVÁ, D., 2017: Regionalizácia sezónnosti výdatnosti prameňov. Dizertačná práca. Univerzita Komenského v Bratislave, 110 s.

VRABLÍKOVÁ, D., FENDEKOVÁ, M., 2016: Evaluation of drought occurrence in spring yields of the Nízke Tatry Mts. In: Joaquín Andreu, Abel Solera, Javier-Paredes Arquiola, David Haro-Monteagudo and Henny A. J. van Lanen Eds.: Drought: Research and Science -Policy Interfacing. CRC Press, Taylor and Francis group, Balkema, London, 514 s. ISBN 978-1-138-02779-4.

VÝSKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA, v.v.i, 2015: Model hydrologické bilance Bilan. Příručka, verze 2014-09-25. Výskumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha, 49 s.

WHITE, I., FALKLAND, T., SCOTT, D., 1999: Droughts in small coral islands. Case study, South Tarawa, Kiribati. IHP – V, Technical document in hydrology, 57 s.

WILHITE, D. A., GLANZ, M. H., 1985: Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water. Int. 10, 3, 111–12.

WILHITE, D. A., 1999: Drought preparedness in the sub – Saharan Africa context. In Proceedings of the International Conference on Integrated Drought Management: Lessons for Sub – Saharan Africa. Pretoria South – Africa. IHP – V, Technical documents in Hydrology, 35, 22–36.

WMO, 1983: Guide to Climatological Practices WMO-No 100, Geneva, WMO, 1983, 117 s.

WMO, 1989: Calculation of Monthly and Annual 30-years Standard Normals, WMO-ID No. 341, Geneva. [Prístup 11.09.2017]

WMO, 2008: Guide to meteorological Instruments and methods of observation. WMO-No-8. World Meteorological Organization, Ženeva, Švajčiarsko, ISBN 978-92-63-10008-5. [Prístup 11.09.2017]

WMO 2012: Standardized Precipitation Index. User Guide. WMO-No. 1090. World Meteorological Organization, Ženeva, Švajčiarsko, ISBN 978-92-63-11091-6, 2012, 16 s. Dostupné na internete: http://www.wamis.org/agm/pubs/SPI/WMO_1090_EN.pdf [Prístup 10.12.2016].

ZAKOVIČ, M., BAŇACKÝ, V., BODIŠ, D., FRANKO, O., HANZEL, V., KORÁB, T., 1988: Vysvetlivky k základnej hydrogeologickej mape ČSSR 1:200 000 – list 28 Svidník. ŠGÚDŠ, Bratislava. 79 s.

ZAKOVIČ, M., BODIŠ, D., FRANKO, O., 2012: Vysvetlivky k základnej hydrogeologickej mape SR 1:200 000, list 36 – Banská Bystrica. ŠGÚDŠ Bratislava, 125 s. ISBN 978-80-89343-78-2

ZAKOVIČ, M., MALÍK, P., BODIŠ, D., 1999: Mezozoikum a paleozoikum Starohorských vrchov a paleozoikum severnej časti Zvolenskej kotliny–hydrogeologický rajón MG 077. Záverečná správa. ŠGÚDŠ, Bratislava, 1999. 200 s.

ZHONG-MIN W., BATELAAN, O., DE SMEDT, F., 1996: A distributed model for water and energy transfer between soil, plants and atmosphere (WetSpa). Phys. Chem. Earth, 21, 3, 189–193.

ZUBENOK, L.I., 1976: Evaporation on Continents, Gidrometeoizdat. Leningrad, 264 s.

http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/praha-klementinum

https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based

http://droughtmonitor.unl.edu

http://www.cpc.noaa.gov/products/precip/CWlink/pna/nao.shtml

https://crudata.uea.ac.uk/~timo/datapages/naoi.htm

http://www.sandre.eaufrance.fr/

http://scopus.com/results

www.intersucho.sk

https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201613

DROUGHT AND PROGNOSIS OF ITS DEVELOPMENT IN SLOVAKIA

SUMMARY

Drought as a global phenomenon still requires further research despite the great number of successful projects and studies published annually world-wide. Many approaches and methods of assessing drought have been developed, depending on the type of drought.

The ***Hydrological drought and prognosis of its development in Slovakia*** project financed by the Slovak Agency for Research and Development (APVV) was undertaken between October 2013 and June 2017. Two organisations were involved in the project; The Comenius University in Bratislava, and the Slovak Hydrometeorological Institute. The Comenius University was the coordinating organisation with Professor Miriam Fendeková as principal investigator leading the research team of the Department of Hydrogeology in the Faculty of Natural Sciences. The Comenius second partner was drawn from researchers in the Department of Astronomy, Physics of the Earth and Meteorology of the Faculty of Mathematics, Physics and Informatics led by Professor Milan Lapin, and the research team of the Slovak Hydrometeorological Institute was headed by Ing. Zuzana Danáčová, PhD.

The World Meteorological Organization (WMO, 2012) recommended utilisation of the Standardized Precipitation Index (SPI) in various time steps for meteorological drought assessment. While this proved a useful tool, the Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index (SPEI) performed much better in lower altitude river basins with higher average annual temperature. The climate-change-induced increase in air temperatures evoke much higher water demand because of increased evapotranspiration, and therefore established precipitation amounts no longer provide relevant description of the meteorological drought generation processes. Meteorological drought is best described as a lack of water from insufficient precipitation and increased evapotranspiration.

The main goal of this research is to assess Slovak drought occurrence between 1981 and 2012 and use models to predict drought development to 2100. Research is based on daily discharge data from ten main river basins approximately equally distributed throughout Slovak territory in the differing climatic, hydrological and hydrogeological conditions which form the mutual interrelationship of the hydrological balance equation elements. The river basins were: the Myjava up to the Šaštín-Stráže gauging profile (western Slovakia), the Kysuca up to the Kysucké Nové Mesto gauging profile (north-western Slovakia), the upper Váh up to Liptovský Mikuláš and the Poprad up to Chmelnica gauging profiles (northern Slovakia), the Hron up to Brehy and the Nitra up to Nitrianska Streda gauging profiles (central Slovakia), the Ipeľ up to Holiša and the Rimava up to Vlkyňa gauging profiles (southern Slovakia) and the Torysa up to Košické Oľšany and the Topľa up to Hanušovce nad Topľou gauging profiles (eastern Slovakia). The hydrological conditions and drought occurrence were evaluated in detail in daily, monthly and

annual steps, with hydrological data correlated with data on meteorological conditions in the evaluated river basins; and hence throughout Slovakia.

The Frier spatially distributed physical model was the main tool used in prognosis of future drought development. The above list of evaluated river basins modelled by the Frier model was complemented by; (1) the Slaná up to Lenartovce (southern Slovakia), the Hornád up to Ždaňa, the Bodva up to Hosťovce, the Ondava up to Horovce and the Laborec up to Humenné gauging profiles in Eastern Slovakia and (2) the Nitra and Hron River Basins were also investigated up to the Nové Zámky and Kamenín gauging profiles.

Detailed analysis of 1981-2012 meteorological and hydrological conditions established meteorological and hydrological drought occurrence. However, it was first necessary to prepare the climatic scenarios data. The Netherlands KNMI and German MPI regional climatic models (RCMs) were both used in two different scenarios. The latest observations have confirmed that predicted climate change progress presents quite realistic alternatives for future Slovak climate development. These have indicated that future climate development is not very favourable for Slovakia; with negative consequences outweighing the positive. Moreover, climate change scenarios anticipate further aridity in southern Slovakia and climate zone shift to higher altitudes in the north.

There is visible moderate linear increase in long-term annual precipitation in Slovakia with concurrent moderate decrease in runoff depth. The runoff coefficient is calculated as the ratio between runoff and precipitation depths, and this highlights a decreasing trend. While the long-term runoff coefficient value approximates the 32.3% value established for 1961 – 2000, this decreased to 29.8% for 1981 – 2015; and even 27.9% between 2001 and 2015. The decreasing runoff depth coefficient value is an explicit consequence of greater losses in the hydrological balance equation caused by increased evapotranspiration from rising air temperature.

The relative values–ratio of the average annual discharge ($\boldsymbol{Q}_r$) compared to the long-term discharge value for 1961–2000 ($\boldsymbol{Q}_a$) at discharge gauging stations evaluated the annual discharges ($\boldsymbol{Q}_r$) for 1981–2012. The evaluation identified dry periods with drought in consecutive months and the effect on river basins. These occurred in 1983/1984, 1986/1987, 1992/1993, 1995/1996, 1997/1998, 2000/2001, 2003/2004, 2007/2008 and 2011/2012. Average daily discharge evaluation showed that the highest number of low flow periods with $\boldsymbol{Q}_d < \boldsymbol{Q}_{330d}$ (average daily discharge lower than that registered in 330 days a year ($\boldsymbol{Q}_{90\%}$)) was identified in the Hron River Basin with 51 such periods for a total of 1,658 days. The highest number of low flow periods with average daily discharge value below $\boldsymbol{Q}_{355d}$ ($\boldsymbol{Q}_{97\%}$) and $\boldsymbol{Q}_{364d}$ ($\boldsymbol{Q}_{99.7\%}$) was also recorded in the Hron River basin with a total 612 days and 93 days, respectively. The lowest number of such periods was found for the Torysa River Basin up to gauging profile Košické Oľšany, with $\boldsymbol{Q}_d < \boldsymbol{Q}_{330d}$ in 22 periods for a total of 718 days and $\boldsymbol{Q}_d < \boldsymbol{Q}_{355d}$ was observed during 106 days, and there was no day the discharge lower than the $\boldsymbol{Q}_{364d}$ value.

Detailed analysis of drought occurrence and parameters was performed in 2003, 2012, and 2015; and the 2003 drought occurrence was obvious throughout Europe. The SPI12 results for Slovakia highlight that the 1981–2012 evaluated period can be divided into two parts according to meteorological drought occurrence. This is valid for almost all evaluated river basins, with dry conditions prevailing in most river basins in the 1980's and the first half of the 90's. The

most extreme dry conditions were documented for the northern part of Slovakia where the upper Váh, Poprad and Kysuca River Basins had long-term dry periods interrupted only by short periods of more humid conditions. The normal to wet conditions then prevailed from the second half of the 1990's until 2015, peaking in the extremely wet 2010 year. This period was interrupted only by three pronounced drought periods in 2003–2004, 2011–2012 and 2015.

The three drought periods had different intensity and the hydrological drought was evaluated using four parameters; minimum discharge expressed as AM7 value, drought duration, drought deficit volume and intensity. The drought period with the highest intensity in each evaluated year was then selected and studied in greater detail. The most extreme drought parameter values were recorded in the same year in seven of the ten evaluated river basins – in the Kysuca River Basin in 2015, in the Ipeľ River Basin in 2012 and in the Myjava, Nitra, Hron, Torysa and Topľa in 2003; with the remaining river basins experiencing these extreme values in different years. The highest drought intensity was not followed by either (1) the lowest value of the minimum discharge in the Rimava River Basin, (2) drought duration in the Poprad River Basin or (3) deficit volume in the Váh River Basin. While the highest deficit volumes were recorded in most river basins in 2003 and 2012, they were still higher than those in the 1981 – 2010 reference period in the Váh, Nitra, Hron, Ipeľ, Rimava and Poprad River basins. The only exception was the Kysuca River Basin where the highest deficit volume occurred in 2015, and this was accompanied by the most extreme values of the three other drought parameters. The factor analysis applied to drought parameters resulted in classification of the evaluated river basins in the following three groups; (1) the Myjava, Kysuca, Nitra, Ipeľ, Rimava, Torysa and Topľa river basins in south, west and east Slovakia; (2) the Váh, Hron, and Nitra River basins in central Slovakia and (3) the Poprad and Váh River basins in northern Slovakia. Analysis highlighted that some river basins have transient character according to drought parameters; with the Nitra River Basin in the first and the second groups above and the Váh River in the second and the third groups.

The hydrological balance equation elements were subjected to two different models. The Bilan model is the 'lumped parameter' model compiled at the T.G. Masaryk Water Research Institute in Prague in the Czech Republic. The Frier model is a physically based spatially distributed model programmed by Oliver Horvat and based on the WetSpa model. The Bilan model was calibrated on the base-flow values estimated by Kille and BFI and this provided conformity in all evaluated basins, with the highest agreement noted in the Myjava River Basin seasonal course of modelled and observed runoff. The Frier model was then applied in further research because it provides the best prognosis of water balance elements on the spatial level.

Frier model evaluation of 1981 – 2012 hydrological drought showed that the number of drought periods with duration of 31 days or more in one year was highest at 0.9 value in the Hron, Poprad and Slaná River basins. This conformed to the average drought duration estimated by analysing average daily discharges; especially in the Hron River Basin.

Frier model prediction of development of the hydrological balance elements provided the following results; (1) while we can anticipate less meteorological drought periods for 1981–2100, greater water deficits are predicted; (2) the future unsaturated zone drought should last longer with greater deficit volumes and (3) although the saturated zone droughts should last appro-

ximately as long as at present, the drought duration could also be much longer and deficit volumes much larger.

The KNMI2 scenario shows that the future saturated zone droughts should be longer, especially in all river basins east of the Nitra River Basin except for the Laborec. The most critical situation should occur in the Hornád River Basin where the longest predicted drought should last 1,686 consecutive days; five-times longer than the 301-day longest drought in the 1981–2012 reference period. A similar situation was predicted for the Ondava River Basin (1,165 days vs. 330) and the Bodva (877 days vs. 420). The average drought duration should extend mainly in the Hornád River Basin (201 days vs. 70). Moreover, similar results were obtained with the MPI1 prognosis which anticipates the longest drought in the Hornád River Basin at 1,153 days maximum and 195 day average. KNMI2 estimates longer extreme drought duration for the Kysuca, Hron, Ipeľ, Slaná, Rimava, and Laborec River basins, while MPI1 predicts shorter drought duration in the Váh, Poprad, Hornád, Bodva, and Ondava River basins. In addition, the average drought duration should not change in the Poprad, Rimava and Slaná River basins but should be shorter in the Bodva River Basin (104 days vs. 35).

Both KNMI2 and MPI1 models gave similar seasonality change prognosis. They predict a general increase in precipitation amounts, shifts in the highest precipitation amounts from July to September and less precipitation from May to July. Air temperature should increase; mainly during the winter period and this could cause less snow accumulation and increased winter snow-melt runoff. While the onset of dry periods should be more frequent, with low precipitation, low runoff and less water storage, the most pronounced seasonality change is expected to evapotranspiration. The expectation of change to spatial distribution in hydrological balance elements from the 1981–2012 reference period to 2069 – 2100 includes the KNMI2 scenario forecast of more extreme water storage changes; with central Slovakia losing the highest amount of water storage in the eastern Slovak Hornád River Basin and most especially in the Hron River Basin. However, increased storage should be retained in the lowlands, valleys, intra-mountainous depressions and the High Tatra Mts. Meanwhile, the MPI1 projects higher water storage losses in the upper parts of the Hron, Slaná, and Rimava River Basins, but storage should increase in the upper parts of the Hornád, Poprad, Váh and at lower altitudes in the Rimava, Hron and Ondava River basins.

Further drought prognosis is provided by the winter North Atlantic Oscillation Index (***NAOIw***). This highlights statistically significant negative correlation between discharge time series and the ***NAOw*** index. In addition, dry years are expected in years with high winter NAO index and the positive correlation prevails in a time shift of 2 to 5 years. Therefore, ***NAOIw*** values provide prediction of annual "wetness". The tightest dependencies were found between the ***NAOIw*** values and $\boldsymbol{Q_a}$ average annual discharge in the Hron, Topľa, Myjava and Rimava river basins with -0.7 correlation coefficients, while the slightly lower -0.6 values were estimated for the Nitra, Poprad and Torysa river discharges. The lowest, but still statistically significant correlation coefficient value, was established for the relationship between ***NAOIw*** estimate and average annual Váh and Kysuca river discharges. Interestingly, the extraordinary low NAO index predicted a further dry period in Slovakia within 5 to 6 years

Groundwater drought occurrence evaluation showed that most dry years in the evaluated 1981–2012 period occurred before 1993; even allowing for the five-year drought between 1989 and 1993. The most intense droughts in these five years were in 1990 and 1993. The groundwater drought evaluation results correspond well with the established discharge trends, and this evaluation documents the important percentage of identified decreasing discharge trends before 2001. Finally, following the 1993 wet spell, droughts occurred only in 2003, 2004, 2007, and also in 2012 which was the most intense event.

Detailed study was also performed on the seasonality of yields from 78 springs in mountainous Slovak areas; with emphasis on minimum yields. These parameters were determined by $\boldsymbol{Q}_{90\%}$ and $\boldsymbol{Q}_{Amin}$ where; (1) $\boldsymbol{Q}_{90\%}$ presents the yield calculated from the long-term flow duration curve which denotes yields attained and exceeded over 90% of the entire 1980-2012 experimental period and (2) $\boldsymbol{Q}_{Amin}$ gives the absolute minimum spring yield in the evaluated period.

Minimum spring yields were evaluated for the 1980 – 1989, 1990 – 1999, 2000 – 2009 ten-year periods, and also for the 2000 – 2012 thirteen years and the European winter and summer periods. The average and minimum spring yield seasonality was then evaluated by Burn vector and frequency histograms. These evaluations were followed by minimum spring yield regionalisation based on the combined physical-geographical factors of precipitation, air temperature, spring discharge area altitude, slope orientation and the rock hydraulic properties expressed as transmissivity coefficient. The Burn vector values and the frequency histogram values were determined, and the best results were obtained using the physical-geographical parameters and the Burn vector for both $\boldsymbol{Q}_{90\%}$ and $\boldsymbol{Q}_{Amin}$. The regionalisation results for these minimum spring yield parameters were similar, thus reflecting the dominant influence of spring discharge area altitude. The following three regions were delineated; (1) all springs with discharge altitude between 100 and 460 m; and to 550 m in a few instances. Minimum yields mostly occurred from August to the first half of November; (2) springs at 700 m and above. Here, the minimum spring yields were recorded in December to February winter months and (3) the third regional springs stretch spatially between the first two regional areas and these are typical spring discharge areas between 300 and 800 m with minimum discharges during the summer-autumn period. They range from the strip of mountains stretching from the Kysuce region through the Malá and Veľká Fatra Mts, the Kremnické vrchy Mts, the upper Hron valley and the Veporské vrchy Mts up to the eastern Slovakian mountains of Čierna Hora, Šarišská, Laborecká and Ľubovnianska vrchovina highlands and the Spišská Magura Mts.

The discharge development trends for 1981 – 2012 were evaluated and compared with the discharge vulnerability map of Slovakia. With Mann-Kendall 0.05 significance, this confirmed an increasing 1981 – 2015 trend in minimum annual discharges at discharge gauging stations in the Poprad River Basin and upper parts of the Váh and Hornád Rivers. In contrast, decreasing trends were identified at the Polhoranka and Veselianka discharge gauging stations in the Orava region, at the Jalovčianka, Suchý potok, Rajčianka and Petrovička upper Váh River tributaries, at the small Račiansky and Vištucký potok small brooks on the eastern slopes of the Malé Karpaty Mts. and also in the upper Nitra region. While these were not identified in the 2001 – 2015 period, the decreasing trends established in the 1981 – 2015 experimental period almost certainly have their origin prior to 2001.

This research is a pilot project in hydrological modelling of future drought occurrence and intensity in Slovak territory. Our models simplify the actual natural hydrological processes and although we are not able to reproduce them precisely at this point in time, our experimental methodology remains extremely valid for hydrological modelling. A further uncertainty in actual development of climatic conditions is acknowledged in scenario prediction of future development in climatic elements up to 2100. Therefore, we stress that the prognostic results are accurate only to the extent that the scenario values of climate elements match real future climate development. While acknowledging these limitations, our predicted values certainly depict the likely future development of hydrological drought on Slovak territory in accordance with current state-of-art analytic technology.

LIST OF FIGURES

Fig. 1.1.1 SPEI at the Žihárec (top) and Vysoká nad Uhom (bottom) stations during the monitoring season 2015, pg. **25**

Fig. 1.1.2 Intensity of soil moisture drought in different soil layers in Slovakia on the 25th June 2017, pg. **26**

Fig. 1.1.3 SPEI at the Bratislava - airport station from 1st December 2017 until 24th September 2017, pg. **26**

Fig. 1.2.1 Intra-annual runoff distribution in the Slovak territory (reference period 1961 – 2000), pg. **28**

Fig. 1.2.2 Course of the average daily and monthly discharges in 1993 at the gauging station Štítnik - Štítnik, pg. **29**

Fig. 1.3.2.1 Groundwater reaction on drought (Slivová, 2007, adopted according to Robins et al., 1997), pg. **32**

Fig. 1.3.2.2 Schematic overview of the hydrological cycle. "Atmosphere" represents all supplies of water in the atmosphere. "Vegetation" means a supply of water in and on plants. "Surface disparities" represent water on the surface of the soil before infiltration into the soil. "Unsaturated Zone" is a reservoir of moisture in an unsaturated zone, and "Saturated Zone" is all water in the saturated zone. "Surface streams" are a reservoir of all water present in a surface water system such as surface streams, rivers and lakes (modified by Wilhite, 1999), pg. **33**

Fig. 2.1 Location of the evaluated catchments, pg. **36**

Fig. 2.2 Areal plot of the climatic classification of the Slovak territory according to Konček (Konček and Petrovič, 1957), pg. **37**

Fig. 2.3 Runoff conditions of Slovakia – average annual runoff depth (mm), pg. **50**

Fig. 3.2.1.1 Deviation of annual air temperature averages ($\boldsymbol{dT}_N$) in Slovakia (average value of the Hurbanovo, Košice, letisko and Liptovský Hrádok stations) comparing to the long-term average of the period 1951 – 1980 and deviations of the areal annual precipitation totals estimated by double weighted average(the 203 stations in Slovakia) comparing to the long-term average of the period 1901 – 1990 (according to SHMÚ data), pg. **63**

Fig. 3.2.1.2 Deviation of the zone average air temperatures ($\boldsymbol{dT}$) on the northern hemisphere in the period 1880 – 2016 comparing to the average of the period 1951 – 1980 in the sub-tropical zone (24° to 44° to the north of the equator, black line), in the temperate zone (44° to 64° to the north of the equator, red line) and in the Arctic (to the north from the 64° northern latitude, blue line) according to GISS (NASA, 2017), pg. **64**

Fig. 3.2.2.1 Emission scenarios SRES IPCC (2007), including preceding middle scenario IS92a for major greenhouse gases (CO_2 in Gt of fossil carbon), CH_4 (in Tg, Mt), N_2O (in Tg of nitrogen) and sulphur (in Tg). IPCC (2014) presents also later RCP scenarios, which are similar., pg. **66**

Fig. 3.2.4.1 Dependency of water vapour pressure on air temperature ($\boldsymbol{T}$) over a planar water area in the saturation state ($\boldsymbol{e^\star}$) and at 50 % of relative air humidity ($\boldsymbol{RV}$ = 50 %), full arrows show size of the saturation deficit ($\boldsymbol{\Delta}$), which increases with the increasing $\boldsymbol{T}$, pg. **71**

Fig. 3.2.4.2 Nomogram for calculation of the monthly totals of potential evpotranspiration (E_o) in dependence on saturation deficit (Δ) for geobotanic zone forest-steppe (Zubenok, 1976), similar monograms were derived also for other geobotanic zones, in months July to December, the curves are similar with the decreasing E_o totals), pg. **72**

Fig. 3.2.4.3 Dependency of the number of days with the snow cover (***PD***) on average air temperatures (***T***) in the XI – III season at Sliač, letisko, including the scenario with 2 °C warming, pg. **73**

Fig. 3.2.4.4 Dependency of the new snow (***SNS***) on precipitation totals (***R***) in the XI – III season at Sliač, letisko, including the scenario with 100 mm precipitation totals increase per season, pg. **74**

Fig. 3.3.1.1 Deviation of monthly, annual and seasonal averages of the air temperature (***dT***) in Slovakia comparing to the 1951 – 1980 normal value for six scenarios of the climate change elaborated in the period 1995 – 2000 and temporal horizon of 2010, verification of scenarios according to measured air temperature averages in the period 2000 – 2016 (CCCM and GISS are scenarios according to GCM from Canada and USA, respectively, WP is a scenario based on analysis of relatively warm periods, IV – IX is a warm half-year), pg. **77**

Fig. 3.3.1.2 Deviation of monthly, annual and seasonal averages of the precipitation totals (***R***) in Slovakia comparing to the 1951 – 1980 normal value for nine scenarios of the climate change elaborated in the period 1995 – 2000 and temporal horizon of 2010, verification of scenarios according to measured precipitation totals averages in the period 2000 – 2016 (CCCM and GISS are scenarios according to GCMs from Canada and USA, respectively, WP is a scenario based on analysis of relatively warm periods, S and N is a scenario for the southern and the northern half of Slovakia, IV – IX is a warm half-year), pg. **78**

Fig. 3.3.2.1 Scenarios of the average air temperature (***T***) according to RCMs KNMI and PI, emission scenario A1B, for the warm half-year (IV – IX) 1951 – 2100 at Hurbanovo, measured data come from the period 1951 – 2016, pg. **84**

Fig. 3.3.2.2 Scenarios of precipitation totals(***R***) according to RCMs KNMI and MPI, emission scenario A1B, for the warm half-year (IV – IX) 1951 – 2100 at Hurbanovo, measured data come from the period 1951 – 2016, pg. **85**

Fig. 3.3.2.3 Scenarios of air relative humidity averages (***RV***) according to RCMs KNMI and MPI, emission scenario A1B, for the warm half-year (IV – IX) 1951 – 2100 at Hurbanovo, measured data come from the period 1951 – 2016, pg. **86**

Fig. 3.3.2.4 Scenarios of the saturation deficit averages (Δ)) according to RCMs KNMI and MPI, emission scenario A1B, for the warm half-year (IV – IX) 1951 – 2100 at Hurbanovo, measured data come from the period 1951 – 2016, pg. **87**

Fig. 3.3.2.5 Scenarios of the tropical day numbers (***N***, with the daily air temperature maximum ≥30 °C) at Poprad according to modified ECHAM5 model outputs, emission scenario SRES A2, in the period 1950 – 2100, measured data of the SHMÚ come from the period 1951 – 2015 (blue), pg. **88**

Fig. 3.3.2.6 Scenarios of the tropical day numbers (***N***, with the daily air temperature maximum ≥30 °C) at Hurbanovo according to modified ECHAM5 model outputs, emission scenario SRES A2, in the period 1950 – 2100, measured data of the SHMÚ come from the period 1951 – 2015 (blue), pg. **88**

Fig. 3.3.3.1 Ratio of the solid precipitation (R_S) in % of the total precipitation amount in the snow season X – III at Poprad, in the case of measured data it goes on the simplified re-calculation 1 cm of new snow = 1 mm of solid precipitation, in the CGCM3.1 (SRES A2 a B1) model output the solid precipitation were anticipated in the case of daily air temperature less than +2 °C, pg. **89**

Fig. 3.3.3.2 Annual sum of daily snow cover depth (***Suma***)) ≥1 cm at Oravská Lesná (780 m amsl) according to SHMÚ measurements and according to RCM KNMI (SRES A1B) model output, the nearest nodal point with the altitude of 810 m amsl., pg. **90**

Fig. 3.3.3.3 Annual sum of days (***No***) with snow cover depth ≥1 cm at Oravská Lesná (780 m amsl) according to SHMÚ measurements and according to RCM KNMI (SRES A1B) model output, the nearest nodal point with the altitude of 810 m amsl., pg. **91**

Fig. 3.3.3.4 Average annual sums of potential evapotranspiration (E_o) in Slovakia in the periods 1951 – 1990 and 1991 – 2016 calculated at OMK FMFI UK by complex Budyko method adopted by Tomlain, according to monthly data from the climatologic stations of the SHMÚ, pg. **94**

Fig. 3.3.3.5 Scenarios of changes in average sums of potential evapotranspiration (qE_o) in Slovakia in % for the season IV – IX of the periods 2001 – 2050, 2026 – 2075 and 2051 – 2100 in comparison with the period 1951 – 1990, calculated in OMK FMFI UK by Zubenok method according to monthly data on saturation deficit for selected climatologic stations of the SHMÚ, pg. **95**

Obr. 3.3.3.6 Daily sums of potential evapotranspiration (E_o) for Košice, letisko in the period 1.1.2002 to 31.12.2003, calculated from monthly sum by complex method of Budyko-Tomlain and exploded on daily sums according to saturation deficit (processed in OMK FMFI UK using the SHMÚ data), pg. **96**

Fig. 4.1.1 Annual runoff, precipitation totals and runoff coefficient development for the Slovak territory in respective years of the 1981 – 2015 period, pg. **101**

Fig. 4.1.2 Annual runoff, precipitation totals and runoff coefficient development for the Slovak territory in respective years of the 1931 – 2016 period, pg. **102**

Fig. 4.1.3 Runoff coefficient from the Slovak territory (%) in respective years of the 1931 – 2016 period, 10-year moving average and linear trend, pg. **103**

Fig. 4.1.2.1 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Myjava - Šaštín-Stráže, pg. **107**

Fig. 4.1.2.2 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Váh - Liptovský Mikuláš, pg. **108**

Fig. 4.1.2.3 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Kysuca - Kysucké Nové Mesto, pg. **108**

Fig. 4.1.2.4 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Nitra - Nitrianska Streda, pg. **109**

Fig. 4.1.2.5 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Hron - Brehy, pg. **109**

Fig. 4.1.2.6 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Ipeľ - Holiša, pg. **110**

Fig. 4.1.2.7 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Rimava - Vlkyňa, pg. **110**

Fig. 4.1.2.8 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Torysa - Košické Oľšany, pg. **111**

Fig. 4.1.2.9 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Topľa - Hanušovce nad Topľou, pg. **111**

Fig. 4.1.2.10 Course of average monthly discharges in the period1981 – 2012, profile Poprad - Chmeľnica, pg. **112**

Fig. 4.1.3.1 Course of average daily discharges in the Myjava - Šaštín-Stráže profile, pg. **120**

Fig. 4.1.3.2 Course of average daily discharges in the Váh - Liptovský Mikuláš profile, pg. **121**

Fig. 4.1.3.3 Course of average daily discharges in the Kysuca - Kysucké Nové Mesto profile, pg. **122**

Fig. 4.1.3.4 Course of average daily discharges in the Nitra - Nitrianska Streda profile, pg. **122**

Fig. 4.1.3.5 Course of average daily discharges in the Hron - Brehy profile, pg. **123**

Fig. 4.1.3.6 Course of average daily discharges in the Ipeľ - Holiša profile, pg. **124**

Fig. 4.1.3.7 Course of average daily discharges in the Rimava - Vlkyňa profile, pg. **124**

Fig. 4.1.3.8 Course of average daily discharges in the Torysa - Košické Oľšany profile, pg. **125**

Fig. 4.1.3.9 Course of average daily discharges in the Topľa - Hanušovce profile, pg. **125**

Fig. 4.1.3.10 Course of average daily discharges in the Poprad - Chmelnica profile, pg. **126**

Fig. 4.3.1.1 Comparison of runoff compounds for the Myjava River catchment, pg. **136**

Fig. 4.3.1.2 Comparison of runoff compounds for the Hron River catchment, pg. **136**

Fig. 4.3.1.3 Comparison of runoff compounds for the Ipeľ River catchment, pg. **137**

Fig. 4.3.1.4 Comparison of runoff compounds for the Poprad River catchment, pg. **137**

Fig. 4.3.2.1.1 Location of meteorological gauging stations in the Nitra catchment and adjacent area (red points) and selected ground elevations (pink points), pg. **141**

Fig. 4.3.2.2.1 Precipitation amounts in central- and eastern Slovakian catchments in 1981 – 2012, pg. **142**

Fig. 4.4.1.1 Development of the SPI12 index in the Váh River catchment up to Liptovský Mikuláš gauging profile, pg. **149**

Fig. 4.4.1.2 Development of the SPI12 index in the Kysuca River catchment up to Kysucké Nové Mesto gauging profile, pg. **149**

Fig. 4.4.1.3 Development of the SPI12 index in the Nitra River catchment up to Nitrianska Streda gauging profile, pg. **150**

Fig. 4.4.1.4 Development of the SPI12 index in the Topľa River catchment up to Hanušovce nad Topľou gauging profile (up) and SPEI12 for the Čaklov station (down), pgs. **150-151**

Fig. 4.4.1.5 Development of the SPI12 index in the Myjava River catchment up to Šaštín-Stráže gauging profile (up) and SPEI12 for the Senica station (down), pgs. **151-152**

Fig. 4.4.2.1 Assessment of drought in discharge time series for Myjava River at Šaštín-Stráže station by the SPA method with the fixed threshold value and development of 2015, 2012 and 2003 droughts, pg. **154**

Fig. 4.4.2.2 Assessment of drought in discharge time series for Váh River at Liptovský Mikuláš station by the SPA method with the fixed threshold value and development of 2015, 2012 and 2003 droughts, pg. **155**

Fig. 4.4.2.3 Assessment of drought in discharge time series for Kysuca River at Kysucké Nové Mesto station by the SPA method with the fixed threshold value and development of 2015, 2012 and 2003 droughts, pg. **156**

Fig. 4.4.2.4 Assessment of drought in discharge time series for Nitra River at Nitrianska Streda station by the SPA method with the fixed threshold value and development of 2015, 2012 and 2003 droughts, pg. **157**

Fig. 4.4.2.5 Estimation of drought parameters return periods for Váh River, pg. **159**

Fig. 4.4.2.6 Estimation of drought parameters return periods for Nitra River, pg. **159**

Fig. 4.4.2.7 Estimation of drought parameters return periods for Myjava River, pg. **160**

Fig. 4.4.2.8 Estimation of drought parameters return periods for Kysuca River, pg. **161**

Fig. 4.5.2.1 Drought in the Kysuca River catchment in 1983 – 1984 and 2005 – 2006. Drought is presented by the red colour areas. Upper panel: meteorological drought, second panel – streamflow drought, third panel – unsaturated zone drought, lower panel – saturated zone drought, pg. **166**

Fig. 4.6.1.1 Comparison of the present and future longest drought periods in the saturated zone in the Bodva catchment: from the left – reference period 1981 – 2012; climate change scenario KNMI2; climate change scenario MPI1. Drought is represented by the red area., pgs. **171-174**

Fig. 4.6.2.1 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right),- soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Myjava catchment, pg. **175**

Fig. 4.6.2.2 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right),- soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Kysuca catchment, pg. **176**

Fig. 4.6.2.3 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right),- soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the upper Váh catchment, pg. **177**

Fig. 4.6.2.4 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right),- soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Nitra catchment, pg. **178**

Fig. 4.6.2.5 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Hron catchment, pg. **179**

Fig. 4.6.2.6 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Ipeľ catchment, pg. **180**

Fig. 4.6.2.7 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Poprad catchment, pg. **181**

Fig. 4.6.2.8 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Hornád catchment, pg. **182**

Fig. 4.6.2.9 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Slaná catchment, pg. **183**

Fig. 4.6.2.10 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Rimava catchment, pg. **184**

Fig. 4.6.2.11 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Bodva catchment, pg. **185**

Fig. 4.6.2.12 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI2 a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Ondava catchment, pg. **186**

Fig. 4.6.2.13 Comparison of the course of precipitation (upper left), total runoff (upper right), soil moisture (lower left) and groundwater storage (lower right) predicted by the KNMI a MPI1 scenarios with the reference period 1981 – 2012 values in the Laborec catchment up to Humenné station, pg. **187**

Fig. 4.7.1 Comparison of the differences in basin´s average water storage according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012, pgs. **188-189**

Fig. 4.7.2 Comparison of the differences in average precipitation according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012, pgs. **189-190**

Fig. 4.7.3 Comparison of the differences in average real evapotranspiration according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012, pgs. **190-191**

Fig. 4.7.4 Comparison of the differences in average annual total runoff values according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012, pg. **192**

Fig. 4.7.5 Comparison of the differences in average annual surface runoff values according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012, pg. **193**

Fig. 4.7.6 Comparison of the differences in average annual lateral flow (subsurface runoff) values according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012, pg. **194**

Fig. 4.7.7 Comparison of the differences in average baseflow (groundwater runoff) values according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012, pg. **195**

Fig. 4.7.8 Comparison of the differences in average soil moisture values according to KNMI2 and MPI1 scenarios in 2069 – 2100 vs reference period 1981 – 2012, pg. **196**

Fig. 4.8.1 Winter (December through March) index of the NAO based on the difference of normalized sea level pressure (SLP) between Lisbon, Portugal and Stykkisholmur/Reykjavik, Iceland since 1864. The SLP values at each station were normalized by removing the long-term mean and by dividing by the long-term standard deviation. Both the long-term means and standard deviations are based on the period 1864–1983 (Hurrel et al., 2017)., pg. **197**

Fig. 4.8.2 a) Annual values of the winter NAO index NAOIw according to Jones (blue points) and filtered data (5-year moving averages, red line); b) Decadal averages; c) 30-years moving averages of the NAOIw phenomena., pg. **198**

Fig. 4.8.3 Winter NAO indexes, periods 1871–2017 and 1950–2017, pg. **199**

Fig. 4.8.4 30-years monthly averages of the NAO indexes, air temperature and precipitation totals for two periods (left). Course of 30-years moving averages of winter spring and summer – autumn periods (right), pg. **200**

Fig. 4.8.5a Panel of the basic statistical and graphical evaluation of discharges at gauging profile Váh - Liptovský Mikuláš, pg. **202**

Fig. 4.8.5b Panel of the basic statistical and graphical evaluation of discharges at gauging profile Kysuca-Kysucké Nové Mesto, pg. **203**

Fig. 4.8.5c Panel of the basic statistical and graphical evaluation of discharges at gauging profile Hron - Brehy, pg. **204**

Fig. 4.8.5d Panel of the basic statistical and graphical evaluation of discharges at gauging profile Topľa - Hanušovce nad Topľou, pg. **205**

Fig. 4.8.5e Panel of the basic statistical and graphical evaluation of discharges at gauging profile Nitra - Nitrianska Streda, pg. **206**

Fig. 4.8.5f Panel of the basic statistical and graphical evaluation of discharges at gauging profile Ipeľ - Holiša, pg. **207**

Fig. 4.8.6 Combined periodogram of the: winter NAO index time series, precipitation totals on the Slovakia territory series, air temperature – Praha Klementinum series, annual discharge of the Hron: Brehy series. The periods are on the x-axis., pg. **208**

Fig. 4.8.7 Auto-correlograms of the annual discharge of the Hron and Kysuca Rivers., pg. **209**

Fig. 4.8.8a Course of the values of NAOIw and annual discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and average annual discharges of the Váh River for three periods: 15-, 25- a 45-years, pg. **210**

Fig. 4.8.8b Course of the values of NAOIw and annual discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and average annual discharges of the Kysuca River for three periods: 15-, 25- a 45-years, pg. **210**

Fig. 4.8.8c Course of the NAOIw values and annual discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and average annual discharges of the Hron River for three periods: 15-, 25- a 45-years, pg. **211**

Fig. 4.8.8d Course of the values of NAOIw and annual discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and average annual discharges of the Topľa River for three periods: 15-, 25- a 45-years, pg. **211**

Fig. 4.8.8e Course of the values of NAOIw and annual discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and average annual discharges of the Nitra River for three periods: 15-, 25- a 45-years., pg. **212**

Fig. 4.8.8f Course of the values of NAOIw and annual discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and average annual discharges of the Ipeľ River for three periods: 15-, 25- a 45-years, pg. **212**

Fig. 4.8.9a Course of the values of NAOIw and Q_{300} discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and Q_{300} discharges of the Váh River for three periods: 15-, 25- a 45-years ending in 2015, pg. **213**

Fig. 4.8.9b Course of the values of NAOIw and Q_{300} discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and Q_{300} discharges of the Kysuca River for three periods: 15-, 25- a 45-years ending in 2015, pg. **214**

Fig. 4.8.9c Course of the values of NAOIw and Q_{300} discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and Q_{300} discharges of the Hron River for three periods: 15-, 25- a 45-years ending in 2015, pg. **214**

Fig. 4.8.9d Course of the values of NAOIw and Q_{300} discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and Q_{300} discharges of the Topľa River for three periods: 15-, 25- a 45-years ending in 2015, pg. **215**

Fig. 4.8.9e Course of the values of NAOIw and Q_{300} discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and Q_{300} discharges of the Nitra River for three periods: 15-, 25- a 45-years ending in 2015, pg. **215**

Fig. 4.8.9f Course of the values of NAOIw and Q_{300} discharges (up), and cross-correlograms of the winter NAO indexes and Q_{300} discharges of the Ipeľ River for three periods: 15-, 25- a 45-years ending in 2015, pg. **216**

Fig. 5.1.1 Example of two different ways of drought definition, pg. **220**

Fig. 5.2.1 Evaluation of the hydrological year 1984 in groundwater, pg. **225**

Fig. 5.2.2 Evaluation of the hydrological year 1989 in groundwater, pg. **225**

Fig. 5.2.3 Evaluation of the hydrological year 1990 in groundwater, pg. **226**

Fig. 5.2.4 Evaluation of the hydrological year 1991 in groundwater, pg. **226**

Fig. 5.2.5 Evaluation of the hydrological year 1992 in groundwater, pg. **227**

Fig. 5.2.6 Evaluation of the hydrological year 1993 in groundwater, pg. **227**

Fig. 5.2.7 Evaluation of the hydrological year 2003 in groundwater, pg. **228**

Fig. 5.2.8 Evaluation of the hydrological year 2004 in groundwater, pg. **229**

Fig. 5.2.9 Evaluation of the hydrological year 2007 in groundwater, pg. **229**

Fig. 5.2.10 Evaluation of the hydrological year 2012 in groundwater, pg. **230**

Fig. 5.3.2.1 Location of the evaluated springs, pg. **231**

Fig. 5.3.2.2 Evaluated parameters of the minimum yield drawn together with the weekly time series plot - the Sobotište spring No. 52 example, pg. **239**

Fig. 5.3.3.1 Average angle date of minimum yields occurrence (θ) and seasonal concentration index (r) for yields lower than Q_{90}, pg. **245**

Fig. 5.3.3.2 Burn´s vector calculated for yields lower than Q_{90}, pg. **245**

Fig. 5.3.3.3 Plots of dependence between the $Q_{90(1,2,3,4)}$ value change and Q_{90} vs difference in the average datum of the minimum yields of Q_{90} and $Q_{90(1,2,3,4)}$, pgs. **246-247**

Fig. 5.3.3.4 Change in minimum yield and average occurrence date of the decade 1990 – 1999 vs 1980 – 1989 (up) and 2000 – 2009 vs 2000 – 2012 (down), pg. **247**

Fig. 5.3.3.5 Histogram of the relative frequency of dates with the minimum yields lower than Q_{90} within a hydrological year for all evaluated springs, pg. **248**

Fig. 5.3.3.6 Histogram of the relative frequency of dates with the absolute minimum yields Q_{Amin} within a hydrological year for all evaluated springs, pg. **248**

Fig. 5.3.3.7 Comparison of regions based on Burn´s vector and relative frequency of the absolute annual minimum yields, pg. **249**

Fig. 5.3.3.8 Spatial plot of springs belonging to the respective regional type according to physical-geographical parameters and Burn´s vector calculated for spring yields lower than Q_{90}, pg. **250**

Fig. 6.1.1 Vulnerability of the Slovak territory according to annual flow development, pg. **251**

Fig. 6.1.2 Wetness of the year 2012 (relative values of $Q_{r2012}/Q_{a1961-2000}$) in evaluated discharge gauging stations (SHMÚ, 2013), pg. **252**

Fig. 6.1.3 Vulnerability of the Slovak territory according to minimum discharges development, pg. **252**

Fig. 6.2.1 Spatial evaluation of trends of minimum annual discharges in the period 1981 – 2015 at selected discharge gauging stations, pg. **254**

Fig. 6.2.1 Spatial evaluation of trends of minimum annual discharges in the period 2001 – 2015 at selected discharge gauging stations, pg. **255**

Fig. 6.2.3 Development of relative wetness in selected discharge gauging stations in the period 1981 – 2012, pg. **255**

Fig. 6.2.4 Spatial evaluation of trends of average annual discharges in the period 1961 – 2015 at selected discharge gauging stations, pg. **256**

Fig. 6.2.5 Spatial evaluation of trends of minimal annual discharges in the period 1961 – 2015 at selected discharge gauging stations, pg. **257**

LIST OF TABLES

Tab. 1.1.1 Limit values of the standardized precipitation index SPI (according to McKee et al., 1993), pg. **24**

Tab. 2.1 Basic characteristic of evaluated catchments, pg. **35**

Tab. 3.1.1.1 Qualitative evaluation of meteorological element or parameter occurrence, pg. **52**

Tab. 3.1.1.2 Qualitative evaluation of precipitation according to Dub (1957), pg. **52**

Tab. 3.3.1.1 Scenarios of the climate change for air temperature ***T*** at Hurbanovo for 50-year time horizon with the middle in 2075 according to four models and three emission scenarios in comparison with the long-term average 1961 – 1990, pg. **79**

Tab. 3.3.1.2 Scenarios of the climate change for monthly and annual average of precipitation totals ***R*** at Hurbanovo for 50-year time horizon with the middle in 2075 according to four models and three emission scenarios in comparison with the long-term average 1961 – 1990, pg. **79**

Tab. 3.3.1.3 Scenarios of the climate change for monthly and seasonal maxima of daily precipitation totals $\boldsymbol{R_M}$ at Hurbanovo for 50-year time horizon with the middle in 2075 according to four models and three emission scenarios in comparison with the long-term average 1961 – 1990, pg. **80**

Tab. 3.3.1.4 Scenarios of the climate change for monthly and annual average of the saturation deficit ***Δ*** at Hurbanovo for 50-year time horizon with the middle in 2075 according to four models and three emission scenarios in comparison with the long-term average 1961 – 1990, pg. **80**

Tab. 3.3.1.5 Scenarios of the climate change for monthly and annual average of the potential evapotranspiration $\boldsymbol{E_o}$ at Hurbanovo for 50-year time horizon with the middle in 2075 according to four models and three emission scenarios in comparison with the long-term average 1961 – 1990, pg. **81**

Tab. 3.3.1.6 Deviation of the average monthly air temperature (***dT***), coefficients of average monthly water vapour pressure (***qe***) and average precipitation totals (***qR***) according to scenarios based on CGCM3.1-B1, CGCM3.1-A2, KNMI-A1B a MPI-A1B model outputs for the centre of Slovakia and temporal horizon with the middle in 2075 in comparison with the long-term average 1951 – 1980, pg. **82**

Tab. 3.3.1.7 Coefficients of extreme 5-days precipitation totals during cyclonic situations with extraordinary high precipitation depths in 50-year temporal horizons with the middle in 2025 and 2075, pg. **83**

Tab. 3.3.3.1 Scenarios of seasonal average changes of the days with the snow cover (***PD***) in % in selected mountain areas of Slovakia in comparison with the averages of the period 1981 – 2010 at increasing air temperature averages in 1 °C (good significance of the relationship), pg. **92**

Tab. 3.3.3.2 Scenarios of seasonal average changes of the days with the snow cover (***PD***) in % in selected mountain areas of Slovakia in comparison with the averages of the period 1981 – 2010 at increasing precipitation totals in 10 % (week significance of the relationship), pg. **92**

Tab. 3.3.3.3 Scenarios of seasonal average changes of the daily snow cover depth (***SDV***) in % in selected mountain areas of Slovakia in comparison with the averages of the period 1981

– 2010 at increasing air temperature averages in 1 °C (good significance of the relationship), pg. **92**

Tab. 3.3.3.4 Scenarios of seasonal average changes of the daily snow cover depth (***SDV***) in % in selected mountain areas of Slovakia in comparison with the averages of the period 1981 – 2010 at increasing precipitation totals in 10 % (week significance of the relationship), pg. **93**

Tab. 3.3.3.5 Scenarios of seasonal average changes of the new snow cover depth (***SNS***) in % in selected mountain areas of Slovakia in comparison with the averages of the period 1981 – 2010 at increasing air temperature averages in 1 °C (week significance of the relationship), pg. **93**

Tab. 3.3.3.6 Scenarios of seasonal average changes of the new snow cover depth (***SNS***) in % in selected mountain areas of Slovakia in comparison with the averages of the period 1981 – 2010 at increasing precipitation totals in 10 % (good significance of the relationship), pg. **93**

Tab. 4.1.1.1 Occurrence of dry periods in evaluated profiles – average annual discharges (relative values Q_i/Q_a (%)), pg. **104**

Tab. 4.1.2.1 Occurrence of average monthly absolute minimum discharge in evaluated profiles in the period 1981 – 2012, pg. **106**

Tab. 4.1.2.2 Average monthly discharges in evaluated profiles – relative values of $\boldsymbol{Q_m/Q_{ma}}$ (%), pgs. **113-118**

Tab. 4.1.2.3 Occurrence of low flow periods in evaluated discharge gauging profiles, pg. **127**

Tab. 4.3.1.1 Values of the baseflow estimated by Kille´s and BFI methods, pg. **134**

Tab. 4.3.1.2 Hydrological balance of evaluated catchments in the period 1981 – 2012, inputs and outputs of the Bilan model, pg. **135**

Tab. 4.3.1.3 Evaluation of the runoff components in the modelled catchments, pg. **138**

Tab. 4.3.2.2.1 Hydrological balance of evaluated catchments in the period 1981 – 2012, output of the Frier model, pg. **143**

Tab. 4.3.2.2.2 Evaluation of the runoff components in the modelled catchments, pgs. **144**

Tab. 4.4.1 Ranking of 12 warmest years on the Earth within the observation period 1880 – 2016 (adopted according to NOAA, 2017), pg. **146**

Tab. 4.4.2 Values of the deviations of ONI index in 2014 – 2016 compared to long-term period (http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_change.shtml), pg. **147**

Tab. 4.4.2.1 Results of drought parameters factor analysis, pg. **161**

Tab. 4.5.1.1 Selected meteorological drought parameters in the period 1981 – 2012, pg. **163**

Tab. 4.5.1.2 Selected surface stream hydrological drought parameters in the period 1981 – 2012, pg. **163**

Tab. 4.5.1.3 Selected hydrological drought parameters in the unsaturated zone for the period 1981 – 2012, pg. **164**

Tab. 4.5.1.4 Selected hydrological drought parameters in the saturated zone for the period 1981 – 2012, pg. **164**

Tab. 4.6.1.1 Selected meteorological drought parameters for the period 1981 – 2100 from the KNMI2 and MPI1 scenarios, pg. **167**

Tab. 4.6.1.2 Selected surface streams hydrological drought parameters for the period 1981 – 2100 from the KNMI2 and MPI1 scenarios, pg. **168**

Tab. 4.6.1.3 Selected hydrological drought parameters in the unsaturated zone for the period 1981 – 2100 from the KNMI2 and MPI1 scenarios, pg. **169**

Tab. 4.6.1.4 Selected hydrological drought parameters in the saturated zone for the period 1981 – 2100 from the KNMI2 and MPI1 scenarios, pg. **170**

Tab. 4.8.1 Basic characteristics of the water gauges (Q_a - average annual discharge, R – runoff depth), pg. **201**

Tab. 4.8.2 Cross-correlation coefficients among NAOIw,cpc vs. Q_a and NAOIw,cpc vs. Q_{330} with the lag of 0 – 5 years, pg. **213**

Tab. 5.1.1 Scale of classification of average annual groundwater stages and spring yields (according to Kříž, 1983), pg. **221**

Tab. 5.1.2 Categories of groundwater drought evaluation according to SANDRE method (http://www.sandre.eaufrance.fr/), pg. **222**

Tab. 5.2.1 Evaluation of hydrological years wetness from the groundwater point of view, pgs. **223-224**

Tab. 5.3.2.1 Characteristic of evaluated springs, pgs. **233-237**

Tab. 5.3.2.2 Meteorological and physical-geographical characteristics of the discharge areas of evaluated springs, pgs. **238-239**

Tab. 5.3.3.1 Basic statistical parameters of spring yields in the period of hydrological years 1980 – 2012 and values of minimum yield Q_{90} in respective sub-intervals, pgs. **242-244**

Miriam Fendeková, Jana Poórová a Valéria Slivová, Eds.

HYDROLOGICKÉ SUCHO NA SLOVENSKU A PROGNÓZA JEHO VÝVOJA

Vydala Univerzita Komenského v Bratislave vo Vydavateľstve UK
Tlač: KO & KA spol. s.r.o., Tlačiareň K-PRINT
Druhé opravené vydanie. Počet výtlačkov 100. Rozsah 300 strán, 24,77 AH
Text neprešiel jazykovou úpravou, korigovali autori
Autorka fotografie na obálke: Soňa Liová (2011): Kysuca pod Kysuckým Novým Mestom
Bratislava, 2018

ISBN 978-80-223-4510-1