

ANALÝZA HYDROLOGICKÉHO SUCHA

HYDROLOGICAL DROUGHT ANALYSIS

Demeterová, D

Abstract

There is a good understanding of minimum discharge values of our streams. The thesis presented aims to evaluate the less-known area of low-flow runoff period, its non-flow parameters - water deficit volume (severity) and its duration. The evaluation is based on 25 years of surface stream observations in 26 state-discharge gauging stations in eastern Slovakia within the catchment area of the Poprad, Hornád, Bodva and Bodrog rivers. Drought is defined as a secondary interrupted stream time series generated out of the uninterrupted stream discharge time series and truncated at a preliminary chosen truncation (threshold) level. The average monthly discharge values in 26 gauging stations during the period between 1971 through 1995 are used as the input data. The truncation level is assigned a drought probability quantile of $q_1 = 10\%$, $q_2 = 15\%$, $q_3 = 20\%$, $q_4 = 25\%$ of the average monthly values of input discharge series. For the evaluation of hydrological drought The following approaches were used to evaluate the hydrological drought: 1. hydrographical – the fluctuation of drought characteristics over the period of 25 years in temporal-spatial relations is described; 2. statistical – deficit volume and drought duration are evaluated by means of statistical methods; 3. regional – drought characteristics in ungauged locations are specified.

1. Úvod

Sucho spôsobovalo a spôsobuje značné škody národnému hospodárstvu. Poznanie zákonitostí tohto fenoménu a jeho parametrov umožňuje pripraviť návrh opatrení na zlepšenie vodohospodárskych bilancií v suchých obdobiach. Analýza sucha umožňuje racionálnejšie využívanie vodných zdrojov a zvýšenie efektívnosti vodohospodárskej a národohospodárskej činnosti. Mať v zásobe v kritickom čase dostatočný objem vody pre krytie určitej požiadavky znamená, že sa riziká sucha minimalizujú.

Problematika sucha bola v odbornej literatúre študovaná rôznymi prístupmi. Týka sa to už samotnej definície sucha, študovaných charakteristík sucha, popisovaných vlastností sucha a následne aj aplikácie získaných výsledkov v praxi. Vo všeobecnosti je sucho definované ako deficit vody, ktorý má určité trvanie. Rozlišujeme meteorologické, poľnohospodárske a hydrologické sucho, ktoré majú svoje špecifiká. Hydrologické sucho nastáva, keď prirodzené zásoby vody v danej oblasti nestačia pokryť minimálne potreby človeka na vodu.

Disproporcie medzi možnosťami prirodzeného zdroja a potrebou vody vznikajú spravidla v málovodných obdobiach. Pod málovodným obdobím rozumieme odtokovú fázu povrchového toku, počas ktorej zaznamenávame dlhodobý a výrazný pokles prietokov v toku. Obdobie kedy minimálne potreby na vodu prevyšujú možnosti zdroja je obdobie trvania sucha. Tento fenomén združuje jednak prírodný proces málovodného obdobia, jednak úroveň nárokov spoločnosti na vodu.

Poznanie parametrov sucha sa spolupodieľa na kvalite mnohých hospodárskych, vodohospodárskych a ekologických rozhodnutí. Spomeňme udeľovanie povolení na odbery vody, analýzu zásobných priestorov nádrží, ochranu kvality vody a riečnej ekológie vody, zabezpečenie podmienok pre plavbu, manipulačné poriadky pre hospodárenie s vodnými nádržami.

Štúdium hydrologického sucha znamená štúdium málovodnej odtokovej fázy v toku a jej parametrov. Poznanie dolného extrému málovodnej fázy - minimálnych prietokov je u nás na pomerne vysokej úrovni. Vytvára to dobrú základňu pre hodnotenie ďalších neprietokových parametrov málovodnej odtokovej fázy - jej hodnotenie z hľadiska nedostatku vody, či už veľkosti, alebo dĺžky trvania. V tomto kontexte už hovoríme o hodnotení hydrologického sucha. Túto oblasť pokladáme u nás za slabšie pokrytú najmä preto, že hodnotenie sucha zatiaľ nebolo spravené v ucelenom regióne a v dlhoročnom časovom intervale. Našou snahou v predkladanej práci bolo sformulovať definíciu hydrologického sucha, ktorá by najlepšie v našich klimatických podmienkach vystihovala jav a zhodnotiť ho na príklade celého východoslovenského regiónu v dlhoročnom čase - podľa toho ako to umožňujú pozorovania prietokov.

2. Prehľad o súčasnom stave problematiky

Historicky prvé práce o málovodných obdobiach vychádzali z prietokového hodnotenia. Problematika minimálnych prietokov má v našej domácej hydrologickej literatúre bohaté zastúpenie. Dnes už ku klasickým patria práce, ktoré sa zaoberali štatistickým spracovaním minimálnych prietokov: Balco, M. (1977), Kulman, E., Petráš, I. (1979), J. Drako, O. Majerčáková (1985). Makel, M. a kol. (1970) v Hydrologických pomeroch III. určujú režim minimálnych prietokov vo viac ako 200 profiloch na území Slovenska a Česka. Ďalšie práce sa zaoberali regionalizáciou minimálnych prietokov rozdelením v priestore: O. Dub, J. Straka (1972), J. Szolgay (1976), rozdelením v čase P. Škoda, J. Turbek (1986). Súborné dielo M. Balcu (1977 - 1990) riešilo rozsiahlu problematiku minimálnych prietokov na Slovensku. V 90-tych rokoch bola publikovaná celá séria prác o nízkej vodnosti. Niekoľkodňové minimálne prietoky spracovali B. Horváthová, P. Škoda (1994). Celú sériu prác venovanú nízkym vodnostiam publikovali Majerčáková, Lešková (1993, 1995, 1996).

V zahraničnej literatúre hodnotenie sucha na prietokovej báze - hodnotenia minimálnych prietokoch bolo najmä v prvých prácach autorov: M. Zielinska (1965), E. Glos, D. Lauterbach (1972), I. Kontur, J. Winter (1972), L. T. Streil (1979), S. Dyck (1976), A. Gustard (1976), R. J. Nathan, T. Mahon (1990). Tieto práce sa venovali prevažne zostavovaniu štatistických súborov a voľbe teoretického rozdelenia pravdepodobnosti minimálnych prietokov. Pomerne široko je zastúpená literatúra, ktorá sa zaoberá regionalizáciou nízkych vodností a špecifikami v regiónoch: Pálfay (1985), Demuth (1995), Gustard (1979).

V literatúre, ktorá sa venuje nízkovodnej fáze odtoku z hľadiska hodnotenia nedostatku vody, je situácia iná. V tejto oblasti je naša literatúra menej zastúpená, hoci prvé práce v našich zemiach boli publikované už v 70-tych rokoch: R. Sochorec, V. Richter, V. Kříž, (1965). V Hydrologických pomeroch III. (1970) boli nedostatkové objemy spracované v siedmich profiloch na území Slovenska. Publikované boli aj dielčie výsledky spracovania nedostatkových objemov O. Majerčáková, D. Lešková (1996). Problém sa v súčasnosti aktualizuje v súvislosti s predefinovaním minimálneho bilančného prietoku.

V zahraničnej literatúre bola problematika o suchu bohato rozpracovaná. Sucho má v rozličných krajinách a rozličných klimatických podmienkach rôzne prejavy a tak podnety pre jeho výskum a samotné definovanie sucha boli veľmi rôznorodé. Beran (1979) definoval sucho ako nedostatok vody vzhľadom k uspokojovaniu ľudských potrieb. Sucho je stav keď dopyt prevyšuje ponuku - Wendal (1977). V závislosti od hydrologických a meteorologických podmienok. definovali sucho J. A. Dracup, K. S. Lee, E. G. Paulson (1980). Ako náhodnú poruchu prietoku chápal sucho Grigg (1989).

Ku klasickým prácam možno zaradiť práce Yevjevicha (1967), Todorovicha a Yevjevicha (1969), ktorí dali teoretické základy najmä pre matematickú formuláciu problému sucha ako stochastického procesu. Stochastické prístupy sa snažili odhadnúť pravdepodobnosť prekročenia historických prípadov a extrapolovať ich na prípady extrémnejšie. K tomu sa zavádzali popisné charakteristiky ako priemerný deficit, trvanie nedostatku a nedostatkový objem Paulson, Sadeghipour a Dracup (1985). Ďalšie charakteristiky ako čas výskytu sucha zaviedli Zelenhasič a Salvai (1987), Demuth a Heinrich (1997). Postup založený na stochastickom generovaní prietokových radov navrhli Srikanthan a McMahon (1985). Bolgov a Fortus (1997) popisovali vývoj a použitie modelu založeného na Markovovom reťazci. Deterministické modelovanie v hydrometeorologických pozorovacích sieťach použili Kašpárek a Novický (1997), ktorí pužili mesačný krok. Kombinované prístupy deterministické a stochastické sa môžu vhodne dopĺňať ako ukázali Kašpárek a Novický (1999). Tieto prístupy rozvinuli v prácach Z. Sen, (1980), E. Zelenhasič, Salvai (1987), V. K. Gupta (1975), M. Bayazit (1981), G. Rossi (1992), O. Bonacci

(1993). Vzájomnú súvislosť nedostatkových objemov a nárokov na vodu študoval T. C. Sharma (1997). V tropickej Afrike študoval sucho J. A. Rodier (1976). Identifikáciu a charakteristiky sucha na základe radov priemerných denných prietokov, rozvinuli práce Tallaksena a Hisdala (1997) v Nórsku, v Nemecku a v strednej Európe práce Gustarda a Coleho (1997). V ďalších prácach sa Kirby, Newson, Gilman (1991), Gustard et al. (1997) venovali určeniu hranice sucha. Stochastický hydroklimatický model sucha podali I. Bogardi, I. Matyasovsky, A. Bardossy, L. Duckstein (1994). Zamerali sa na predpovedanie sucha vo východnej Nebraske, kde kontinentálna klíma zapríčiňuje silné a časté suchá. Gy. Kovács, M. Domokos riešili nedostatok vody na základe priemerných mesačných prietokov na území Maďarska. Regionálna štatistická analýza sucha bola použitá v prácach Paulson, Sadeghipour, Dracup (1985).

Problematika sucha je stále aktuálna aj vo svetle eventuálnych klimatických zmien.

3. Cieľ práce

Naším cieľom bolo navrhnutie metódy hodnotenia málovodnej odtokovej fázy – hydrologického sucha povrchových tokov v dlhoročnom období na väčšom územnom celku a jej aplikácia na príklade východoslovenského regiónu.

Prvým cieľom bolo zhodnotiť doteraz používané definície sucha, metódy jeho hodnotenia a z existujúcich vybrať také, prípadne ich doplniť, ktoré by sa najlepšie uplatnili v našich podmienkach.

Druhým z cieľov bolo na základe prijatej definície určiť také parametre sucha (neprietokové), ktoré v našich podmienkach najlepšie vystihujú jav. Časové rady vybraných parametrov určíme vo vodomerných staniách.

Tretím cieľom bolo štatisticky vyhodnotiť parametre sucha vo vodomerných staniách a určiť ich režim.

Štvrtým cieľom bolo zistiť náväznosť parametrov sucha na parametre povodí. Cieľom bolo hľadať metódy, ktoré umožňujú určiť parametre sucha v miestach kde neexistuje priame meranie prietoku.

4. Metódy spracovania práce

Pri hľadaní vhodnej definície sme vychádzali zo všeobecnej definície, ktorú uvádza A. Szpindov (1974). Prietok v toku je popísaný časovou funkciou $Q(t)$. Funkcia $Z(t)$ je v čase premenná funkcia požiadavky na vodu.

Pre časový interval $\langle t_{pi}, t_{ki} \rangle$, pre ktorý je splnená podmienka, že $Z(t_i) > Q(t_i)$ definujeme určitý integrál W_i :

$$W_i = \int_{t_{pi}}^{t_{ki}} [Z(t_i) - Q(t_i)] dt, \quad (1)$$

kde: $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$, n je počet deficitov vo vyšetrovanom časovom úseku, t_{pi} - čas počiatku i -tého deficitu, t_{ki} - čas konca i -tého deficitu. Vzťah (1) definuje parametre náhodnej veličiny: $S_i [W_i, T_i]$ - i -tého sucha. Sú to parametre: objem nedostatku vody, tzv. nedostatkový objem W_i a čas trvania nedostatku vody $T_i = t_{ki} - t_{pi}$. Okrem týchto hlavných parametrov sa v literatúre hodnotia a uvádzajú aj ďalšie.

Všeobecnú definíciu (1) konkretizujú rôzni spracovatelia rozlične. Najčastejšie používaným prístupom je voľba funkcie $Z(t_i) = \text{konšt.}$ V tomto prípade hovoríme o metóde zrezania prietokového radu na konštantnej úrovni prietoku. Použili ju Sen (1980), Todorovich a Zelenhasić (1970), Bonacci (1977), (1993), Sochorec, Richter, Kříž (1968) a ďalší spracovatelia.

Metóda zrezania bola použitá aj v predkladanej práci. Pri tejto metóde sa zvolí hranica prietoku q , ktorá oddeluje nedostatočnú vodnosť od tej, ktorá umožňuje zabezpečiť naše požiadavky. Pre konečné riešenia je veľmi dôležitý prístup k voľbe hladiny zrezania q . V našej práci sme sa rozhodli pre štyri hladiny zrezania q_i , ktoré sú definované ako kvantily vstupných prietokových mesačných radov s nízkou pravdepodobnosťou nedostúpenia. Volili sme kvantily: $q_1 = 10\%$, $q_2 = 15\%$, $q_3 = 20\%$, $q_4 = 25\%$ pravdepodobnosti nedostúpenia. Tieto hladiny sme považovali za dostatočne nízke, aby charakterizovali hydrologické sucho, a aby výstupy mali praktickú aplikáciu. Hodnoty týchto prietokov sú v oblasti hodnôt $Q_{270} - Q_{330}$. Jednotne matematicky definovanú úroveň zrezania sme považovali za nevyhnutnú pre regionalizáciu. Štyri úrovne zrezania sme volili, aby sme mohli analyzovať vplyv znižovania zrezania na parametrov sucha.

Rozhodli sme, že vstupné dáta $Q(t)$ budú priemerné mesačné prietokové rady. V literatúre sa vyskytujú príklady na denné, mesačné aj ročné vstupné prietokové rady. Použitie mesačného kroku oproti dennému, resp. druhému extrému ročnému nám dovoľuje vyhnúť sa mnohým problémom. Pri použití mesačného kroku sa môžeme vysporiadať so splnením požiadavky na nezávislosť členov štatistických radov podľa vzťahu (1). Sú tu aj ďalšie výhody. Mesiac je dosť dlhá doba na to, aby sa dali postihnúť regionálne špecifiká a regionálne závislosti. Bonacci (1977),

poukazuje napr. na to, že sucho v Dalmácii nezapríčinil len deficit zrážok, ale aj zmena rozdelenia zrážok v priebehu roka. Tento jav nemôže byť odhalený analýzou ročných prietokov. Praktické hľadisko je tiež nezanedbateľné - mesačný krok vo vodnom hospodárstve je základný pre hospodárenie s vodou a pri bilancovaní vo všetkých vodohospodárskych sústavách. Použitie mesačného kroku nám do určitej miery zahladzuje vplyv užívania vody v povodí. Čo sa týka presnosti vstupných údajov, mesačné prietoky sú raz také presné ako denné prietoky získané z toho istého pozorovacieho radu J. Hladný, L. Horský (1972).

Model sucha použitý v predkladanej práci: O hydrologickom suchu v určitom profile toku hovoríme, ak priemerný mesačný prietok, klesne pod úroveň q_i . Počet mesiacov počas ktorých trvá neprerušene tento stav určuje dĺžku trvania hydrologického sucha. Parametrami sucha sú objem vody, ktorý chýba v toku k zabezpečeniu prietoku q_i – nedostatkový objem a čas trvania nedostatku vody. Parametre sú určené podľa vzťahu (1). Naším prvým krokom pri spracovaní bolo určiť nedostatkové objemy a časy trvania nedostatku v sieti vodomerných staníc pre štyri úrovne. Pri realizovaní tejto objemovo širokej úlohy sme využili možnosti nadstavbového programovania v rámci komerčných počítačových programov. V ďalšom sme sa sústredili na: 1. hodnotenie kolísania suchých a vlhkých období, 2. hodnotenie kolísania parametrov sucha, 3. štatistické hodnotenie parametrov sucha a 4. regionálne hodnotenie parametrov sucha.

1. Pri hodnotení odchýliek prietokov v jednotlivých rokoch od priemeru dlhodobého obdobia sme sa snažili vymedziť rámec hydrologických podmienok riešenia úlohy. Postupovali sme obdobne ako Szolgaya a kol. (1997). Základom analýzy bolo určenie odchýlok priemerného prietoku od dlhodobého prietoku v jednotlivých rokoch. Odchýlky boli vypočítané pre každú pozorovaciu stanicu a každý analyzovaný rok pozorovania podľa vzorca :

$$\Delta Q = (Q_{pr} - Q_{pd}) / Q_{pd} \times 100 \quad (2)$$

Q_{pr} - priemerný prietok v hodnotenom roku v $[m^3s^{-1}]$, Q_{pd} - priemerný prietok (dlhodobý) v $[m^3s^{-1}]$, ΔQ - odchýlka od priemeru v [%]. Pri tomto hodnotení stanice sú zoradené od západu k východu, kôli grafickej interpretácii a tvoria x-ovú súradnicu, roky tvoria y-ovú súradnicu; sieť xy tvorí časopriestorovú rovinu. Odchýlky od dlhodobého priemeru v jednotlivých staniaciach a rokoch tvoria z-ovú súradnicu v systéme xyz.

2. Princiálne podobné hodnotenie bolo použité aj pri hydrografickom hodnotení parametrov sucha.

Pri hodnotení veľkostí prietokových depresí hodnotíme výlučne udalosti nedostatkov vody. Zaujímá nás len tá časť hydrogramu, ktorá leží pod úrovňou zrezania prietoku. Pri hodnotení celkovej vodnosti však hodnotíme kontinuálne celý hydrogram. Nemôžeme preto očakávať, že tieto hodnotenia budú navzájom celkom korešpondovať. Nedostatkové objemy sú hodnotené za vodohospodárske roky, so začiatkom v apríli a koncom v marci. Podľa Dyck, S. (1976) je pri takejto voľbe najmenej pravdepodobné, že sa poruší prietoková depresia, keďže pravdepodobnosť výskytu neprerušného suchého obdobia počas týchto mesiacov (marec, apríl) je štatisticky najnižšia. V prípadoch keď táto podmienka nebola splnená bol nedostatok vody priradený k vodohospodárskemu roku v ktorom bol nedostatok vody väčší. V hydrografickom hodnotení sa uvažuje so sumárnymi nedostatkami vody za vodohospodársky rok. Odchýlky od dlhoročného priemeru boli pre jednotlivé vodomerné stanice určené podľa vzorca :

$$\Delta W = (W_r - W_d) / W_d \times 100 \quad (3)$$

kde W_r - ročný nedostatkový objem v hodnotenom roku v [mil.m³], W_d - dlhodobý nedostatkový objem [mil.m³], ΔW - odchýlka od dlhodobého priemeru v [%]. Odchylky sú v zdola ohraničené hodnotou mínus 100%. Táto hodnota odchýlky znamená, že $W_r = 0$, teda, že v danom roku nebol zaznamenaný nedostatok vody.

3. Pri štatistickom hodnotení parametrov sucha vychádzame z predpokladu, že prietok predstavuje náhodný proces. Podľa vzťahu (1) sa z pôvodného prietokového časového radu vytvorí druhotný prerušovaný časový rad nedostatkov, ktorý bude mať charakter tiež náhodného procesu Sen (1980).

Pri spracovaní si kladieme za cieľ zodpovedať na otázky týkajúce sa parametrov sucha: koľko neprerušovaných nedostatkov vody sa vyskytlo v hodnotenom období, aké boli priemerné hodnoty parametrov sucha, aké boli koeficienty variácie štatistických súborov parametrov sucha, aké boli ich maximálne hodnoty a najmä aké sú pravdepodobnosti prekročenia parametrov sucha. Pri štatistickom hodnotení bolo vyskúšaných niekoľko rozdelení pravdepodobnosti: logaritmicko – normálne, logaritmický Pearson III, Gumbelovo, Weibulovo rozdelenie. Po testovaní teoretických rozdelení pre rady nedostatkových objemov boli aplikované teoretické rozdelenia pravdepodobnosti: logaritmicko – normálne a exponencionálne. Náväznosť na časy trvania nedostatku vody bol riešený prostredníctvom regresných vzťahov medzi nedostatkovými objemami a časmi trvania nedostatku.

4. Výsledky o nedostatkoch vody a dĺžke ich trvania získané v miestach pozorovania prietoku, vo vodomerných stanicách je možné prostredníctvom regionálnej analýzy využiť na

riešenia v miestach kde nemáme pozorovania prietoku. Môžu byť použité rozličné matematické metódy, v hydrológii sú najčastejšie používané štatistické metódy regresnej analýzy.

V prípade, že sa dokáže dostatočná tesnosť vzťahov parametrov sucha s charakteristikami územia, je možné použiť túto metódu. Pri regresnej analýze sú závislé premenné, cieľové veličiny, hydrologické parametre sucha. Nezávislé premenné sú parametre územia: morfológické, klimatické, geologické, pedologické. Vzťahy medzi závislými premennými a nezávislými premennými sú popísané matematickými rovnicami, ktorých všeobecný tvar je:

$$Y_i = b_0 + \sum b_j X_{i,j} + e_i \quad (4)$$

$$i = 1, \dots, N$$

$$j = 1, \dots, P$$

pričom Y_i je neznámy hydrologický parameter sucha; b_0 , b_j sú koeficienty, ktoré sú určené prostredníctvom napozorovaných údajov metódou najmenších štvorcov. $X_{i,j}$ označuje j -tu charakteristiku i -tého územia, e_i je chybový člen v i -tom regióne, N je počet regiónov, P je počet charakteristík územia.

5. Podkladové údaje

Riešenie celej práce sme zasadili do rámca územia východného Slovenska, ktoré je odvodňované povodiami: Popradu, Hornádu, Bodvy a Bodrogu. Snahou pri výbere vodomerných staníc bolo posúdiť parametre sucha na čo najväčšom množstve staníc a v čo najdlhšom čase pri splnení ďalej uvedených podmienok: a/ splnenie podmienky súčasného pozorovania vo všetkých staniách, b/ splnenie podmienok kritérií homogenity napozorovaných údajov.

Vyššie popísané podmienky spĺňalo 26 staníc, v období priameho pozorovania v rokoch 1971 - 1995, t. j. 650 rokostaníc. Ide o vodomerné stanice na obrázku č. 2: 1. Lipník - Červený Kláštor, 2. Mlynica - Svit, 3. Velický potok - Poprad, 4. Slavkovský potok - Matejovce, 5. Poprad - Matejovce, 6. Poprad - Chmelnica, 7. Hornád - Hranovnica, 8. Hornád - Hrabušice, 9. Hnilec - Stratená, 10. Svinka - Bzenov, 11. Torysa - Prešov, 12. Sekčov - Prešov, 13. Torysa - Košické Olšany, 14. Olšava - Bohdanovce, 15. Bodva - Nižný Medzev, 16. Bodva - Moldava, 17. Ida - Hýľov, 18. Laborec - Koškovce, 19. Laborec - Humenné, 20. Okna - Remetské Hámre, 21. Topľa - Bardejov, 22. Topľa - Hanušovce, 23. Ondava - Svidník, 24. Lodomírka - Svidník, 25. Ondava - Stropkov, 26. Okna - Remetské Hámre .

Podľa geologickej stavby hodnotené povodia môžeme zaradiť do niekoľkých celkov.

I. Povodia profilov 1., 10., 11., 18., 19., 21., 22., 23., 24., 25., 26. v podstatnej miere aj profily 12. a 13. sa vyznačujú flyšovou stavbou, ktorá sa prejavuje striedaním paleogénnych

pieskovcových a ílovcových súvrství, rôznej litografickej povahy a odolnosti. Povodie profilu 1. - odvodňuje časť Spišskej Magury, povodie profilu 10. - časť Šarišskej vrchoviny, povodie profilu 11. - Spišsko-Šarišské medzihorie, Levočské vrchy a Bachureň, povodia profilov 18., 19., 21., 22., 23., 24., 25., 26. - Laboreckú a Ondavskú vrchovinu.

II. Profily povodí 15., 16., 17. (profily v povodí Bodvy) odvodňujú Volovské vrchy, ktoré sú tvorené v prevažnej miere gemeroidmami.

III. Profily povodí 2., 7., 8., 9. majú krasovú stavbu povodí z čoho 7., 8., 9. ležia v Slovenskom raji.

IV. Profily povodí 3., 4., 5., 6. ležia v Podtatranskej kotline a ich povodia sú tvorené v podstatnej miere kryštalinikom, v ktorého nadloží vystupujú intenzívne vrásnené komplexy mezozoického obalu.

V. Geologická stavba povodí 14. a 20. a v podstatnej miere aj profilu 14. je vulkanického pôvodu, povodie profilu 14. leží v Slanských horách a má zložitú stratovulkanickú stavbu, v podloží sopečných hornín sú neogénne sedimenty. Povodie profilu 20. leží vo Vihorlate, je zložený najmä z andezitov a ich pyroklastík.

Pri regionálnej analýze pre všetkých 26 hodnotených vodomerných profilov sa skúmajú náväznosti parametrov sucha na tieto parametre povodia: PLP - plocha povodia, je to najzákladnejšia charakteristika toku, SVP - priemerná stredná výška povodia určená z hypsometrickej krivky klasickým postupom Dub, O. (1963), SKP - sklon povodia bol ohodnotený parametrom: $(2SVP-MVP)/2$, kde MVP je výška najnižšieho bodu povodia, DLU - dĺžka údolia je meraná od maximálnej kóty povodia po minimálnu kótu, STP - súčiniteľ tvaru povodia bol ohodnotený výrazom PLP / DLU^2 , SPT - spád toku (absolútny spád toku) bol určený ako rozdiel nadmorskej výšky prameňa a najnižšieho bodu povodia. SPO - špecifický odtok, je v našom prípade počítaný z reprezentatívneho obdobia 1931-1980. GEI - index, ktorý odráža hydrogeologické prostredie povodia. GEI sme definovali ako podiel $Q330$ a Qa počítané z obdobia 1931 - 1980. (Qa je priemerný prietok, $Q330$ je priemerný denný prietok, ktorý bol v tomto období v priemere 330 krát dosiahnutý, alebo prekročený¹).

6. Výsledky

6. I Hodnotenie časovej a priestorovej premenlivostivodnosti vodnosti

Z hľadiska priemernej vodnosti hodnotíme obdobie 1971 - 1995 ako mierne podpriemerné. Priemerná vodnosť tohoto obdobia je k dlhodobému priemeru 1931 - 1980 v intervale 0,75 – 1,0,

¹ Táto hodnota reprezentuje základný prietok v povrchovom toku, tvorený podzemným napájaním.

len v profiloch Ladamírka - Svidník a Oľka - Jasenovce bola vodnosť mierne nad priemerom. Posúdime aj odchýlky priemernej vodnosti v jednotlivých rokoch k priemernej vodnosti obdobia 1971 –1995. Pri tomto hodnotení stanice sú zoradené a prečíslované v poradí od západu k východu, kôli grafickej časopriestorovej interpretácii uvedenej na obrázku. Uvedené číslovanie profilov bolo použité v kapitole 6.1 a 6.2.

1. Mlynica – Svit, 2. Velický potok - Poprad, 3. Hornád – Hranovnica, 4. Slavkovský potok – Matejovce, 5. Poprad – Matejovce, 6. Hnilec – Stratená, 7. Hornád – Hrabušice, 8. Lipník - Červený Kláštor, 9. Poprad – Chmelnica, 10. Bodva - Nižný Medzev, 11. Bodva - Moldava nad Bodvou, 12. Ida – Hýľov, 13. Svinka – Bzenov, 14. Torysa – Prešov, 15. Sekčov – Prešov, 6. Topľa – Bardejov, 17. Torysa - Košické Olšany, 18. Olšava – Bohdanovce, 19. Topľa – Hanušovce, 20. Ondava –Svidník, 21. Ladamírka – Svidník, 22. Ondava – Stropkov, 23. Oľka – Jasenovce, 24. Laborec – Humenné, 25. Laborec – Koškovce, 26. Okna - Remetské Hámre.

Vodnosť hodnotíme za hydrologické roky. Celková rozkolísanosť podľa vzťahu (2) je 136% až - 82%. 136% sme zaznamenali v roku 1977 v stanici 12. a - 82% sme zaznamenali v roku 1993 v stanici 11. Výrazne málovodný bol rok 1993, kedy odchýlka poklesla pod -24,5% v 21 hodnotených staniaciach a vodnosť bola podpriemerná v celom hodnotenom regióne. V roku 1990 poklesla pod -24,5% v 19. staniaciach a bola podpriemerná tiež v celom regióne. V rokoch 1986, 1987 a 1988 bola súvisle po tri roky v celom regióne podpriemerná vodnosť až na výnimku 5 rokostaníc zo 78 rokostaníc. Nadpriemernú vodnosť v celom hodnotenom regióne zaznamenávame v rokoch 1975, 1977, 1980, 1985. V tomto rámci hydrografického hodnotenia vodnosti sme posudzovali hydrologické sucho.

6. 2 Hodnotenie časovej a priestorovej premenlivostivodnosti nedostatkových objemov

Naším prvým výsledkom bolo 104 dvojrozmerných súborov sucha (pre každú stanicu 4 hladiny zrezania) s nedostatkovým objemom a trvaním nedostatku.. Takto vytvorené súbory boli predmetom nášho ďalšieho skúmania.

Pri hodnotení veľkostí prietokových depresíí hodnotíme výlučne udalosti nedostatkov vody. Zaujímá nás len tá časť hydrogramu, ktorá leží pod úrovňou zrezania prietoku. Pri hodnotení celkovej vodnosti však hodnotíme kontinuálne celý hydrogram. Nemôžeme preto očakávať, že tieto hodnotenia budú navzájom úplne synchronne v čase.

V nami hodnotenom časo - priestore sa odchýlky podľa vzťahu (3) pohybovali v intervale – 100% až 386% od priemeru. (odchýlka – 100% znamená, že v danom roku bol nedostatkový objem s číselnou hodnotou 0, v súlade so vzťahom (3).

Rok 1971 bol rok dobre zabezpečený vodou. V roku 1972 okrem povodia Bodvy a profilov 7., a 8. bol nedostatkom vody zasiahnutý celý región. Rok 1973 bol intenzívnejší nedostatok vody najmä v západnej časti regiónu. V roku 1974 bol nedostatok vody profiloch 3., 4. a v západnej časti regiónu. Rok 1975 okrem profilu 3. a 15. je pomerne dobre zabezpečený vodou. 1976 - len na krajnom západe regiónu na Mlynici vo Svite je nedostatok vody. 1977 - je dobre zabezpečený vodou, nedostatok vody zasahuje len východnú časť regiónu v povodí Bodrogu. 1978 - je nedostatok vody takmer v celom regióne výnimkou je len stredná časť. Roky 1979, 1980, 1981, 1982 patria k najlepšie zabezpečeným vodou. V roku 1982 sa nedostatok vody vyskytuje len na západe regiónu. 1983 - sucho zasahuje aj východnú časť regiónu. Dostatok vody je naďalej v povodí Bodvy, Svinky, horného Hornádu a Hnilca a v povodí Olšavy. 1984 - je výrazne poznačený nedostatkom vody v celom regióne. Výnimku tvorí len Ladamírka vo Svidníku. Rok 1986 je dobre zabezpečený vodou, nedostatok zaznamenávame len v dvoch z 26 hodnotených profilov v Hhranovnici na Hornáde a na Hnilci v Stratenej. 1987 - je katastrofálne chudobný na vodu. V hodnotenom období 1971 - 1975 to bola najväčšia neprerušená prietoková depresia. Prietokové depresie boli v tomto období neprerušené. Vo väčšine hodnotených profilov depresia trvala 5 - 8 mesiacov. V roku 1987 boli dosiahnuté extrémne nedostatky vody za hodnotené obdobie v profiloch: 2., 4., 5., 6., 7., 8., 9., 12., 14., 15., 16., 17., 19., 20., 21., 22., 23., 24., 25., 26. Od roku 1987 začína v celom regióne nedostatok vody, ktorý s menšími pomlčkami trvá až do konca hodnoteného obdobia. Z 234 rokostaníc v tomto období (26 staníc za 9 rokov pozorovania), len v 50 rokostaniciach bol zaznamenaný dostatok vody. V niektorých menších povodiach: Olšava v Bohdanovciach, Oľka v Jasenovciach a Lipník v Červenom Kláštore bol nedostatok vody vo všetkých rokoch 1987 až 1995. 1991 bolo obdobie nedostatku prerušené na Svinke, Toryse, Topli a Ondave. 1992 okrem týchto povodí bol dostatok vody aj na Bodve. 1994 a 1995 bol veľmi intenzívny nedostatok vody hlavne vo východnej časti regiónu.

6.3 Štatistické hodnotenie.

Hodnotenie nedostatkových objemov - V nami prijatom modeli bol objem vody, ktorý chýbal k pokrytiu požadovanej úrovne prietoku - nedostatkový objem jeden z dvoch hlavných parametrov hydrologického sucha. Spravili sme štatistické hodnotenie tohto parametra aj v niekoľkých pre prax zaujímavých interpretáciách ako sú pomerné hodnoty tejto veličiny k celkovému odtečenému množstvu vody a špecifické hodnoty k ploche povodia.

Hodnotenie počtu neprerušených nedostatkov vody - 1. Pri zrezaní hydrogramu na úrovni prietoku q_1 v jednotlivých vodomerných staniciach (celkovo 26 hodnotených) za 25 hodnotených rokov bolo zaznamenaných 11 - 26 neprerušených epizód sucha. Profily s najväčším

počtom súch (viac ako 18) sú na severovýchode hodnoteného územia. Sú to profily 14., 18., 19., 23., 25. a 26. Ich spoločným znakom je flyšové podložie a zemepisné umiestnenie, čo môže súvisieť s charakteristickými synoptickými situáciami pre túto oblasť. Na úrovni q2 bolo 14 – 31, na úrovni q3 15 – 34, na úrovni q4 bolo 23 - 39 epizód sucha.

Hodnotenie koeficientov variácie radov nedostatkových objemov - Pre q1 vo väčšine vodomerných staníc sa hodnota pohybuje blízko 1,00. Väčší výkyv sme zaznamenali v stanici Hornád – Hrabušice 1,71 a v stanici Bodva – Moldava 0,70. Pri vyšších úrovniach zrezania je rozptyl koeficientov variácie ešte menší.

Hodnotenie priemerov nedostatkových objemov – Priemery sme hodnotili podľa povahy riešeného problému: a/ v absolútnych hodnotách W, b/ v pomerných hodnotách $KW = W / WR * 100$ (WR je priemerný ročný odtečený objem), c/ v špecifických hodnotách $WS = WS / PLP$. Špecifické hodnoty nám poskytujú možnosť porovnávať charakteristiku nedostatkového objemu v jednotlivých povodiach nezávisle na ploche povodia.

Absolútne hodnoty nás informujú o nedostatkových objemoch, ktoré sme zaznamenali k hladinám q_i v čase 1971 - 1995 v hodnotených 26 vodočetných staniciach. Pokiaľ by sme tieto objemy vody mali v zásobe sucho je možné eliminovať. Tieto hodnoty v [mil.m³] sa pohybujú: pre q1 v intervale 0,09 až 3,27, q2 v intervale 0,17 - 5,77, pre q3 v intervale 0,29 - 9,38, pre q4 v intervale 0,37 - 13,45.

KW vyjadruje priemerný nedostatkový objem v percentách z priemerného odtečeného objemu vody za rok. Dosahuje hodnoty 0,6 - 1,7 % (pre q1). Najväčšie hodnoty sme zaznamenali v tatranskom povodí Slavkovského potoka, a v povodiach Svinky a Bodvy. Všeobecnejšie závery pre túto transparentnú charakteristiku by si žiadali podrobný cielený výskum. Pre q₄ tieto hodnoty dosahujú 2,3% až 3,8% odtečeného objemu vody.

Špecifické hodnoty priemerných nedostatkových objemov v [tis.m³km⁻²] - sa pohybujú: pre q1 v intervale 0,98 až 6,27 , pre hladinu q2 v intervale 1,80 až 9,69, pre q3 2,72 až 13,01, pre q4 sú tieto limitné hodnoty 4,26 až 19,47. Je tu pomerne tesná spojitosť medzi nedostatkom v povodí a vodnosťou povodia ako to ukázali aj ďalej uvedené regresné vzťahy.

Hodnotenie maximálnych nedostatkových objemov - Z hľadiska praktického použitia sú výsledky o maximálnych nedostatkoch vody zaujímavé, nakoľko škody spôsobujú najmä najväčšie nedostatky vody. Analogické hodnotenia ako pre priemerné nedostatkové objemy sme spravili aj pre maximálne nedostatkové objemy. Hodnoty absolútnych veličín maximálnych nedostatkových objemov poskytujú konkrétne hodnoty v miestach pozorovania prietoku zaznamenaných v rokoch 1971 –1995 a sú pre všetky stanice a pre všetky hladiny q_i uvedené v dizertačnej práci. Pomer medzi maximálnym a priemerným nedostatkom je v intervale 1,8 - 6,9. Pomerné hodnoty

maximálnych nedostatkových objemov $KW_{MAX} = W_{MAX}/WR*100\%$. Pre q_1 1,9 % - 6,4 %, q_2 3,4 % - 9,5 %, q_3 8,3 % - 15,8 %, q_4 5,5 % - 12,5 %. Špecifické hodnoty maximálnych nedostatkových objemov v $[tis.m^3km^{-2}]$ sa pohybujú: pre q_1 v intervale 3,17 až 28,469, pre hladinu q_2 5,62 až 47,368 pre q_3 9,079 až 66,268, pre q_4 sú tieto limitné hodnoty: 13,59 až 88,278.

Pravdepodobnosť prekročenia nedostatkových objemov - Na štatistické rady nedostatkových objemov W_{Si} sme aplikovali logaritmicko - normálne a exponenciálne rozdelenie pravdepodobnosti výskytu. Kvantily s vysokým stupňom zabezpečenia v $[tis.m^3km^{-2}]$ reprezentujú významné nedostatky vody. Pohybujú sa v nasledujúcich intervaloch: pre q_1 a 90-% pravdepodobnosť nedostúpenia 3,1 - 20,4, pre q_1 a 95-% zabezpečenie je to 4,3 - 34,2 pre q_1 a 99-% pravdepodobnosť nedostúpenia 5,9 - 122,3. Z výsledkov je vidieť, že maximálna zaznamenaná v 25 ročnom období majú pravdepodobnosť výskytu okolo 10 %. Z praktického hľadiska vyčíslenie kvantilov nám kvantifikuje zásoby vody, ktoré musíme mať k dispozícii, aby sme zabránili rizikám sucha s malou pravdepodobnosťou výskytu. Hodnotenie môže byť zaťažená chybami či už z titulu náhodnosti výberu, alebo vychýlenosti odhadu parametrov, ako aj výberu toho, ktorého teoretického rozdelenia. Vzhľadom na to, že sme sa nezaoberali vychýlenosťou odhadu parametrov rozdelenia a reprezentatívnosťou spracovaných radov, ako aj pre obmedzený rozsah spracovania závery sú čiastočne viazané na použitú metódu a obdobie. Z teoretického hľadiska spracovanie potvrdzuje možnosť použitia teoretického rozdelenia pravdepodobnosti logaritmicko - normálneho a exponenciálneho pre nedostatkové objemy.

Vzťahy medzi nedostatkovými objemami a časmi trvania nedostatku vody. Pri pravdepodobnostnom hodnotení dvojrozmernej veličiny $S_i [W_i, T_i]$ sme pravdepodobnostne pomocou teoretického zákona pravdepodobnosti rozdelenia riešili veličinu W_i . Náväznosť na časy trvania nedostatku sme riešili prostredníctvom regresných vzťahov medzi W_i a T_i . Tieto vzťahy sme skúmali pre všetkých 104 súborov sucha. Koeficienty korelácie sú vysoké a vo všetkých skúmaných prípadoch väčšie ako 0,74. Tieto výsledky dávajú možnosť k nedostatkovému objemu s určitou pravdepodobnosťou výskytu priradiť čas trvania nedostatku vody, a tak riešiť pravdepodobnostne obe dimenzie hydrologického sucha.

Priemerné časy trvania nedostatku T pre všetky q a všetky vodomerné stanice sú uvedené v dizertačnej práci. Sú v intervale 1,5 mesiaca až 3,5 mesiaca. **Koeficienty variácie** štatistických radov $T_{i,j}$ sú v medziach 0,45 až 0,89.

Maximálne časy neprerušenia trvania nedostatku T pre všetky q sú v intervale 3 až 9 mesiacov.

6.4 Regionálna analýza

Skúmali sme náväznosť parametrov sucha na parametre povodia. Pri hľadaní závislosti WS s parametrami povodia sme dospeli k ďalej uvedeným výsledkom. Najväčšiu tesnosť má vzťah so sklonom povodia a so špecifickým odtokom z povodia. Analytické vyjadrenia korelačných vzťahov majú tvar:

$$W_{S1} = 1,68 + 0,47*SKP \quad R = 0,81 \quad (5)$$

$$W_{S2} = 0,11 + 0,39xSPO \quad R = 0,95 \quad (6)$$

$$W_{S3} = 0,63 + 0,52xSPO \quad R = 0,97 \quad (7)$$

$$W_{S4} = 0,14+0,76 x SPO \quad R = 0,96 \quad (8)$$

$$W_{S1} = -0,01+ 0,26*SPO \quad R = 0,89 \quad (9)$$

Pri skúmaní mnohonásobných regresných vzťahov sa tesnosť výpočtu pre priemerný nedostatkový objem zvýšila len začlenením sklonu povodia do výpočtového modelu.

$$W_{S1} = 0,28 + 0,19xSPO + 0,22xSKPR = 0,93 \quad (10)$$

Uvádzame ho aj napriek možnej multikolinearite, pre možnosť technicky zvýšiť tesnosť vzťahu.

Pri hľadaní závislosti WSMAX s parametrami povodia sme dospeli k výsledku, že pomerne tesné korelačné vzťahy sú s dlhodobým špecifickým odtokom, vzťahy majú analytické vyjadrenie:

$$W_{S1MAX} = -1,14 + 1,19*SPO \quad R = 0,87 \quad (11)$$

$$W_{S2MAX} = -1,90 + 2,00*SP \quad R = 0,89 \quad (12)$$

$$W_{S3MAX} = -1,99 + 2,80*SPO \quad R = 0,93 \quad (13)$$

$$W_{S4MAX} = -3,79 + 3,74*SPO \quad R = 0,96 \quad (14)$$

7. Záver

Hydrologické sucho je fenomén, ktorý môže negatívne zasiahnuť jednak do celého chodu hospodárskeho a spoločenského života ľudskej spoločnosti ako aj do ekológie povrchových vôd a ekosystémov s ňou súvisiacich. Poznanie zákonitostí jeho parametrov umožňuje pripraviť opatrenia na zmiernenie následkov sucha, prípadne na ich odstránenie. Hospodárske, vodohospodárske a ekologické rozhodnutia, povolenia na odber vody, návrh zásobných priestorov vodných nádrží, manipulačné poriadky pre hospodárenie s vodnými nádržami, ochrana kvality a riečnej ekológie – to sú všetko oblasti v ktorých poznanie parametrov sucha je nevyhnutné. Poznanie prietokových parametrov málovodnej odtokovej fázy - minimálnych prietokov našich povrchových tokov je na vysokej úrovni poznania. Práca hodnotí u nás menej popísanú oblasť málovodnej odtokovej fázy, jej neprietokové parametre – objem vodnej nedostatočnosti a dĺžku jej trvania. Hodnotenie vychádza z 25 ročných pozorovaní povrchových tokov v 26 vodomerných staniaciach na východnom Slovensku v povodiach Popradu, Hornádu, Bodvy a Bodrogu.

Sucho je definované ako druhotný prerušovaný časový rad v toku, ktorý sa generuje z neprerušovaného časového radu prietokov v toku jeho zrezaním na vopred zvolenej referenčnej úrovni prietoku. Ako vstupné údaje boli použité priemerné mesačné prietoky v 26 vodomerných staniaciach v období 1971 –1995. Referenčná hladina zrezania bola volená na úrovni $q_1 = 10 \%$, $q_2 = 15 \%$, $q_3 = 20 \%$, $q_4 = 25 \%$ pravdepodobnosti nedostúpenia priemerných mesačných prietokov vstupných prietokových radov.

Pri hodnotení hydrologického sucha sme zvolili prístupy:

1. Hydrografický – popisujeme kolísanie parametrov sucha za 25 rokov v čase a priestore. 2. Štatistický – štatistickými metódami sme zhodnotili nedostatkový objem a čas trvania nedostatku vody v miestach priameho pozorovania prietoku. 3. Regionálny - určujeme parametre sucha v miestach, kde nie je priame pozorovanie prietoku vody.

V rovine prínosu pre prax práca predkladá jeden z možných prístupov k otázke riešenia hydrologického sucha v našich hydroklimatických podmienkach na príklade východného Slovenska. Poznanie neprietokových parametrov sucha je dôležité najmä pre vodohospodárske a ekologické účely. Výsledky predkladanej práce rozširujú množinu návrhových charakteristík pre projektovanie zásobných objemov vodných nádrží a hospodárenie s nimi.

V rovine rozšírenia poznatkov o hydrologickom režime povodí práca ukázala, že za 25 rokov pozorovania bolo v hodnotených staniaciach zaznamenaných 11 až 26 epizód sucha. Najviac výskytov bolo na severovýchode regiónu, čo môže súvisieť s flyšovou stavbou tejto oblasti, ale aj so synoptickými situáciami, ktoré sú charakteristické pre túto oblasť. Sucho podľa nášho modelu v našich klimatických podmienkach pre úroveň zrezania q_1 trvá v priemere 1,5 – 3,5 mesiacov,

maximálne hodnoty neprevyšujú 6 mesiacov. Maximálne pozorované deficity prietoku boli takmer vo všetkých hodnotených vodomerných stanicách zaznamenané od septembra roku 1986 do februára 1987. Pozorované maximálne deficity v hodnotenom časopriestore sa pohybovali na úrovni 90 – 95% pravdepodobnosti nedostúpenia. Toto celoregionálne sucho nezostalo zvlášť zapísané v povedomí verejnosti nakoľko bolo v čase keď neohrozovalo poľnohospodársku produkciu a nezasiahlo drasticky do života spoločnosti. Výraznejšie sa do povedomia verejnosti zaznamenali 90 – te roky, kedy sucho zasiahlo najhustejšie obývané časti východného Slovenska, vyskytovalo sa v letných mesiacoch a bolo sprevádzané mimoriadne vysokými teplotami. Tak tomu bolo v roku 1993, kedy sucho v povodí Hornádu a Torysy trvalo od júla až do novembra. V roku 1994 boli opäť veľmi suché mesiace júl august a september nielen v povodí Hornádu a Torysy, ale aj v povodí riečneho systému Bodrogu. V roku 1995 sa podobná situácia zopakovala, ale už len v severovýchodnej časti regiónu.

V rovine teoretických poznatkov sme dospeli k skutočnosti, že v nami prijatom modeli je priemerný vodný deficit (jeho špecifická hodnota) v úzkom vzťahu s dlhodobou vodnosťou (špecifickou) povodia. Na základe toho je možné uvažovať, že tento parameter tak isto ako dlhodobá vodnosť je odrazom klimatických a miestnych pomerov v povodí. Maximálny pozorovaný deficit v určitom vodomernom profile v hodnotenom povodí je tiež v úzkom korelačnom vzťahu s vodnosťou. Dokázali sme, že pre nedostatkové objemy je možné použiť logaritmicko – normálny a exponenciálny zákon rozdelenia pravdepodobnosti prekročenia. Medzi časom trvania a objemom nedostatku bol vo všetkých vodomerných stanicách potvrdený korelačný vzťah s koeficientom korelácie väčším ako 0,75.

Práca sa snažila zodpovedať na niektoré otázky hodnotenia dolnej odtokovej fázy povrchového toku, ale zároveň zviditeľnila veľa problémov na ďalšie riešenie.

8. Literatúra

- [1] Bonacci, O.: Hydrological identification of drought. Hydrological Processes, Vol. 7 , 249 - 262, 1993.
- [2] Demuth, S.: Untersuchungen zum Niedrigwasser, in West-Europa. Freiburger Schriften zur Hydrologie, Band 1, 1993.
- [3] Flow Regimes from International Experimental and Network data(FRIEND). Volume I. Hydrological studies 1993.
- [4] Flow Regimes from International Experimental and Network data(FRIEND). International Hydrological Programme Phases IV and V 1997.

- [5] Gustard, A. a Cole, G. A. 1997. Advances in regional hydrology through East European Cooperation, Report to the commission of European Communities. Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- [6] Gustard, A.(ed.) et al. 1997. Low flows and droughts in Northern Europe. In: Flow Regimes from International Experimental and Network Data (FRIENDS), Third Report: 1994-1997, UNESCO/CEMAGREF.
- [7] Szolgay, J., Hlavčová, K., Mosný, V., Parajka, J.: Časové a priestorové zmeny hydrologickej bilancie na území východného Slovenska. STU, Bratislava 1997.

Kontaktná adresa:

Mgr. Beata Demeterová

Slovenský hydrometeorologický ústav Bratislava, regionálne stredisko Košice

Ďumbierska 26, 04117 Košice

Tel.: (095) 6339271

e-mail: beata@shmuke.shmu.sk