

SUCHO – JEHO PRÍČINY, NÁSLEDKY A MOŽNOSTI ICH ZMIERNENIA

prof. RNDr. Miriam Fendeková, CSc.

Katedra hydrogeológie, Prírodovedecká fakulta UK v Bratislave

TEXT K PREDNÁŠKE

2018

Prednáška a text sú súčasťou riešenia projektu:
KEGA č. 003UK-4/2017: Terénne vyučovanie geovied s využitím vybraných náučných
chodníkov

Úvod

Hydrologické sucho v povrchových a podzemných vodách sa ako dôsledok meteorologického sucha vyskytuje čoraz častejšie aj v miernom klimatickom pásme. Pozornosť venovanú suchu narastá po výskyte extrémnych udalostí, ktoré zasiahnu priestorovo rozsiahle územia, často celé kontinenty. Najdlhšie periódy sucha sa viažu na arídne a semiarídne oblasti, kde však predstavujú trvalý – permanentný stav klímy, ktorý nazývame ariditou.

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 periód sucha, predovšetkým sucho v rokoch 2003, 2011 – 2012 a 2015, ktoré zasiahli s rôznou intenzitou rôzne veľkú časť územia Slovenska.

Začiatok intenzívneho vedeckého výskumu fenoménu sucha 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.

ČO JE TO SUCHO

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 vodou 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.

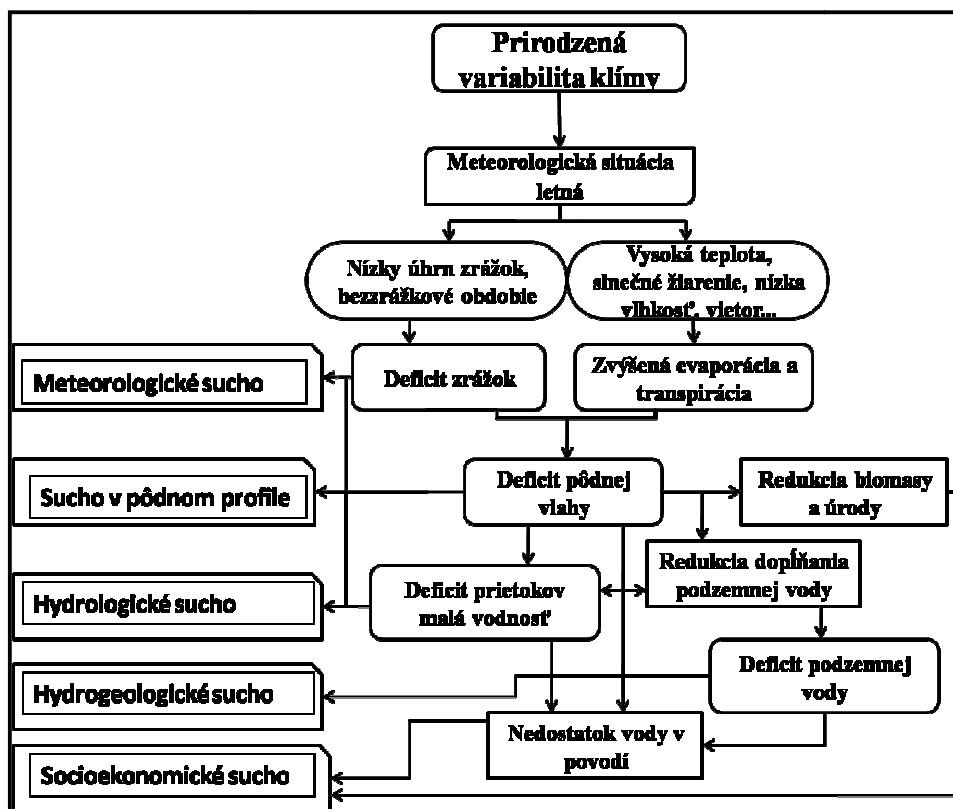
Termín sucho je relatívny pojem a je ho možné definovať z rôznych uhlov pohľadu. Preto dodnes nejestvuje jedna jednotná definícia tohto javu. Vo všeobecnosti sucho predstavuje komplex prirodzených javov, prejavujúcich sa v rôznych častiach klimatického systému Zeme a v rôznych priestorových a časových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

Najjednoduchšia definícia sucha ho predstavuje ako nedostatok vody v prírode a krajine, ktorý primárne vzniká z nedostatku zrážok. Môže však vzniknúť aj ako následok negatívnych antropogénnych vplyvov na vodné zdroje povodia, napr. pri nadmernom čerpaní podzemnej vody z vrtov, zachytení prameňov, či iných neprimeraných technických zásahoch do krajinskej štruktúry.

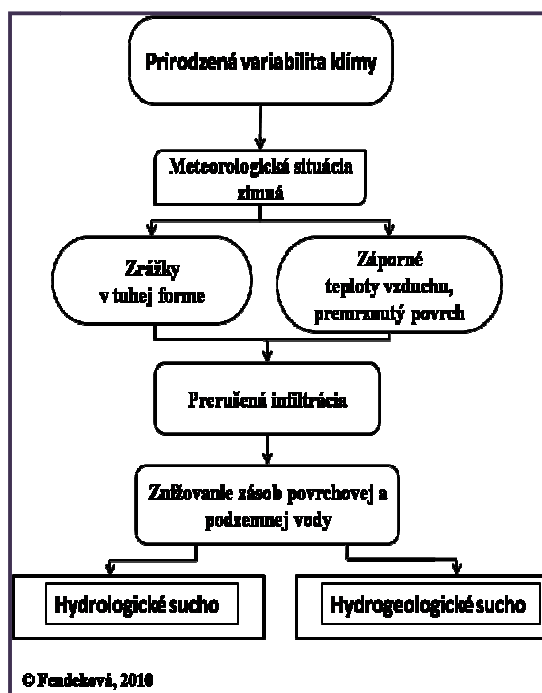
Pojem sucho je potrebné odlíšiť od pojmu nedostatok vody, ktorý vyjadruje situáciu, kedy je disponibilné množstvo vody nedostatočné na uspokojenie potrieb vody v rôznych oblastiach života spoločnosti.

Sucho primárne vzniká v atmosfére ako meteorologické sucho. V mnohých definíciách je meteorologické sucho charakterizované ako nedostatok zrážok v určitom období. V súčasnosti v podmienkach zmien klímy, ktoré sa prejavujú nárastom teploty vzduchu sa stále viac uplatňuje chápanie meteorologického sucha ako nedostatku vody, spôsobeného nedostatkom zrážok a zvýšenou evapotranspiráciou.

Všeobecne môžeme rozlíšiť letnú a zimnú meteorologickú situáciu, ktoré vedú ku vzniku sucha. Letná je zobrazená na obr. 1, zimná na obr. 2. Výskyt sucha v letnom období je podstatne závažnejší, pretože v teplom polroku je spotreba vody v prírode, ale aj sociosfére podstatne vyššia a následky sucha sú omnoho závažnejšie.



Obr. 1 Šírenie sa sucha hydrologickým cyklom – letná meteorologická situácia



Obr. 2 Šírenie sa sucha hydrologickým cyklom – zimná meteorologická situácia

S meteorologickým suchom je tesne späté poľnohospodárske (agronomické) sucho, prejavujúce sa nedostatkom pôdnej vlhkosti (obr. 3). Znížený obsah pôdnej vlhkosti môže mať za následok vädnutie rastlín a v extrémnych prípadoch ich vysychanie.



Obr. 3 Vysychanie pôdy v dôsledku sucha

Následne sa sucho šíri v povrchovej a podpovrchovej hydrosfére – v povrchových tokoch a v podzemnej vode. V povrchových tokoch sa prejavuje poklesom vodných stavov a prietokov, v podzemnej vode spôsobuje pokles výdatnosti prameňov, pokles hladiny podzemnej vody, resp. znižovanie podzemného odtoku, ktorý zásobuje povrchové toky.



Obr. 4 Šírenie sa sucha hydrologickým cyklom – nízke prietoky v povrchovom toku

HODNOTENIE SUCHA

Meteorologické sucho

Meteorologické sucho hodnotíme na základe rôznych ukazovateľov. V súčasnosti najčastejšie používame index SPI (Standardized Precipitation Index), ktorý odvodili McKee et al. (1993), a ktorý 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 počtosti. Distribučná funkcia gama rozdelenia má tvar:

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

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

Vzťah na výpočet hodnoty indexu SPI je potom nasledovný:

$$SPI = (P - P^*) / (\sigma_p)$$

kde:

P = úhrn zrážok (mm),

P^* = dlhodobý priemer zrážkového úhrnu (mm),

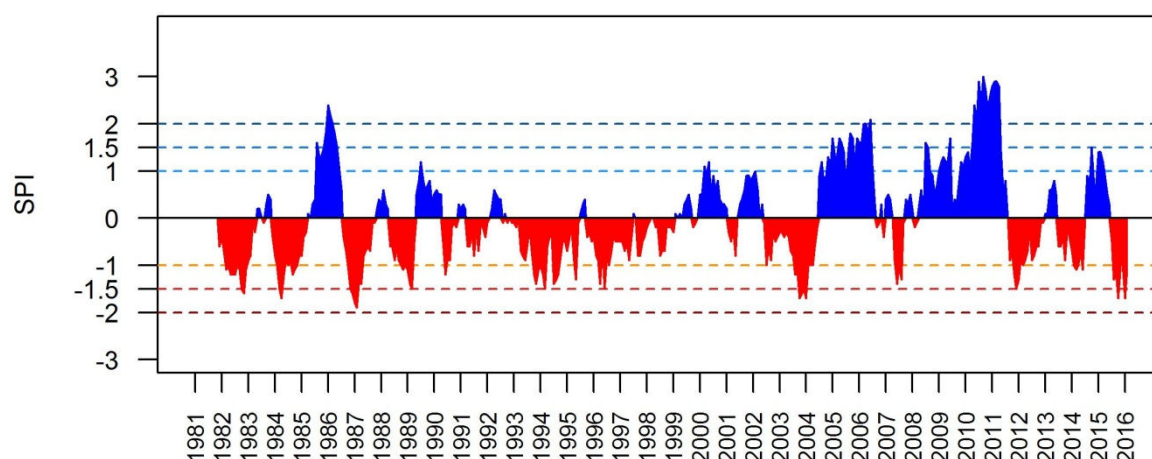
σ_p = smerodajná odchýlka úhrnu zrážok.

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) ako pre index SPI.

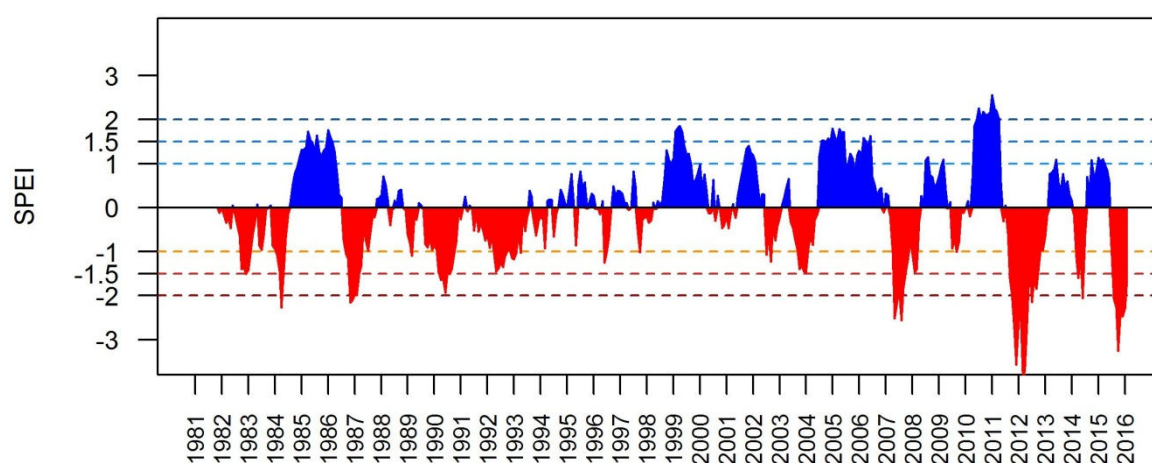
Tab. 1 Limitné hodnoty štandardizovaného zrážkového indexu SPI (podľa McKee et al., 1993)

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

Príklad grafického znázornenia vypočítaných hodnôt indexu SPI a SPEI pre povodie Tople za obdobie rokov 1981 – 2016 je na obr. 5 a 6. Z obrázkov je zrejmé, že vypočítané hodnoty SPI a SPEI sa líšia najmä v rokoch 2012 a 2015. V týchto rokoch sa na veľmi nízkej hodnote indexu SPEI prejavili vysoké teploty vzduchu.



Obr. 5 Hodnoty indexu SPI vypočítané pre povodie Tople po profil Hanušovce n. Topľou



Obr. 6 Hodnoty indexu SPEI vypočítané pre meteorologickú stanicu Čaklov v povodi Tople

Hydrologické sucho

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 podsystemoch 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).

Hydrologické sucho, resp. obdobie malej vodnosti, je prirodzenou súčasťou hydrologického režimu povrchových vôd. Obdobie malej vodnosti je na väčšine slovenských tokov reprezentované letno-jesenným obdobím (najmä mesiace august až október, pozri obr. 1), v horských oblastiach je ale výrazné aj zimné málo-vodné obdobie (najmä mesiace december až február, pozri obr. 2). 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 zámrazom toku.

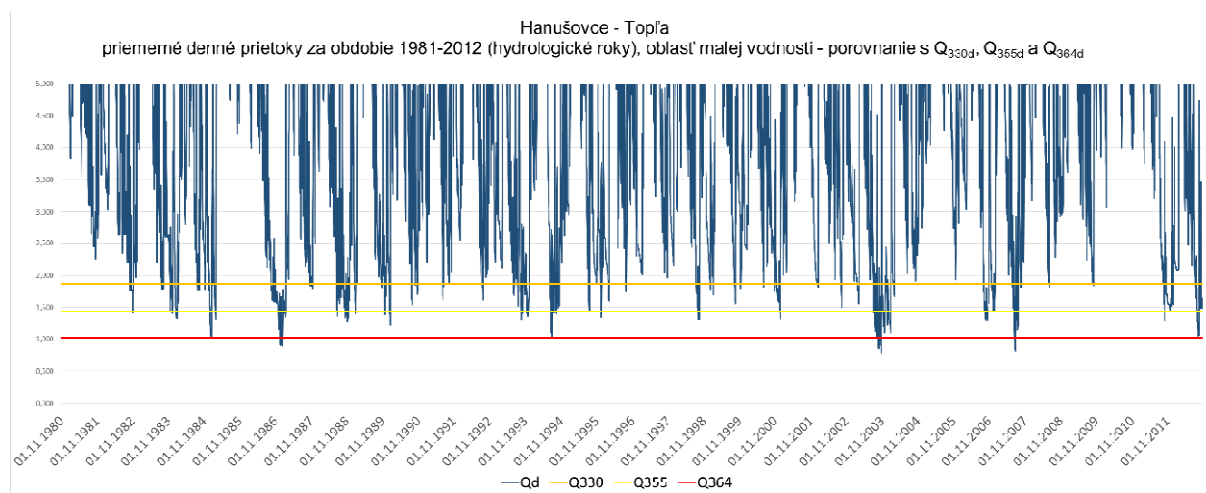
Jednotné kritérium pre kvantitatívne vymedzenie hydrologického sucha neexistuje, a to v dôsledku rozmanitých hľadísk meteorologických, hydrologických, poľnohospodárskych a iných. Hodnotenie malej vodnosti v povrchových tokoch zahŕňa viacero hydrologických charakteristík. Hydrologický režim prietokov 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. 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.

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 málo-vodných 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.

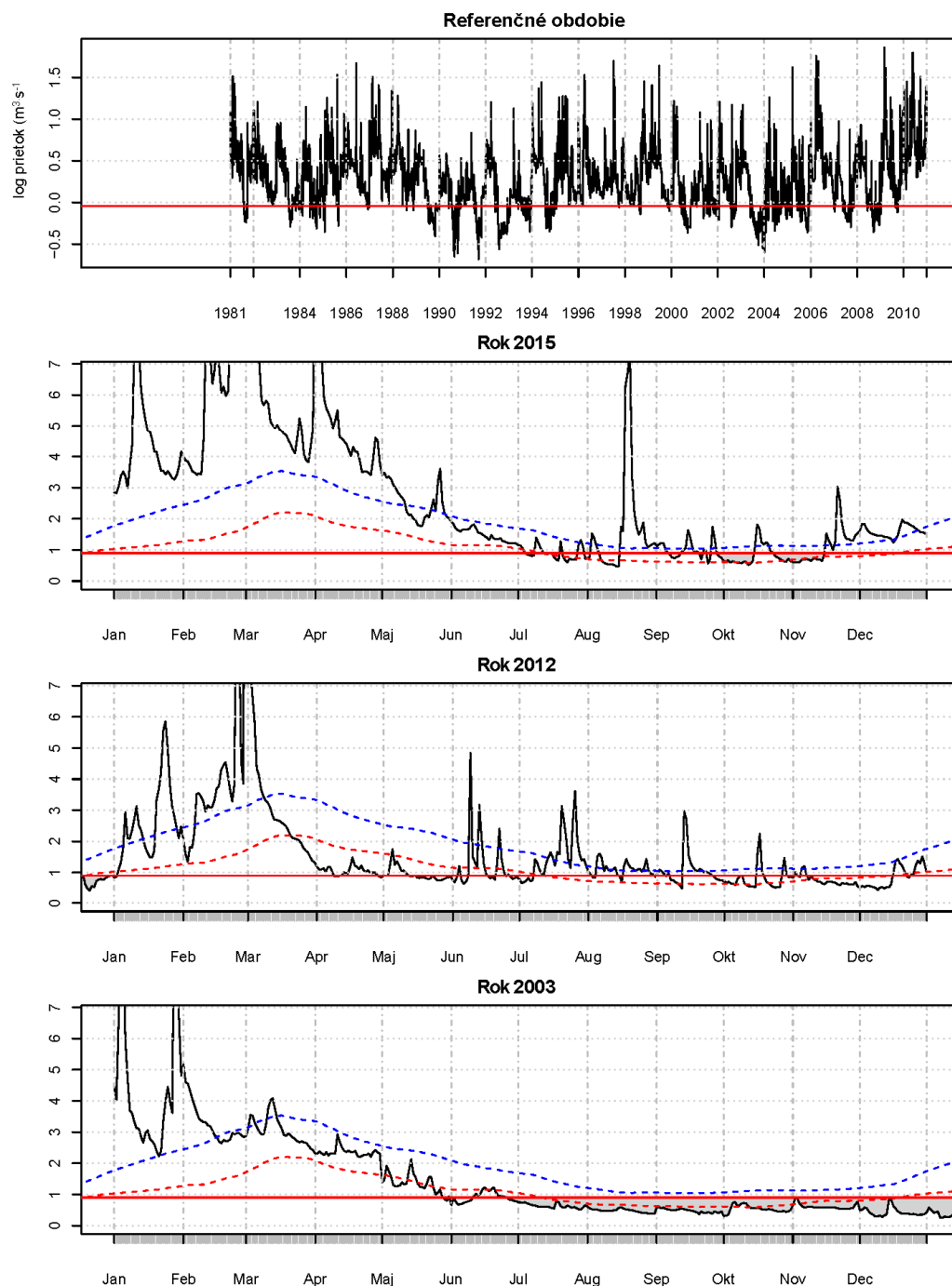
Príklad vyhodnotenia sucha na základe údajov o priemerných denných prietokoch na toku Topľa v profile Hanušovce n. Topľou je na obr. 7. Ako limitné hodnoty výskytu sucha boli použité prietoky s dobou prekročenia 330, 355 a 364 dní (Fendeková, Poórová, Slivová Eds., 2017).



Obr. 7 Vyhodnotenie výskytu sucha v priemerných denných prietokoch na Topli v profile Hanušovce n. Topľou

Z obrázku je zrejmé, že k suchým rokom patrili najmä roky 1982 – 1984, 1986 – 1989, 1993 – 1994, 2003, 2006 – 2007 a 2011 – 2012. Extrémne suché boli roky 1987, 2003 a 2007, kedy sa minimálne prietoky pohybovali na úrovni prietoku Q_{364} .

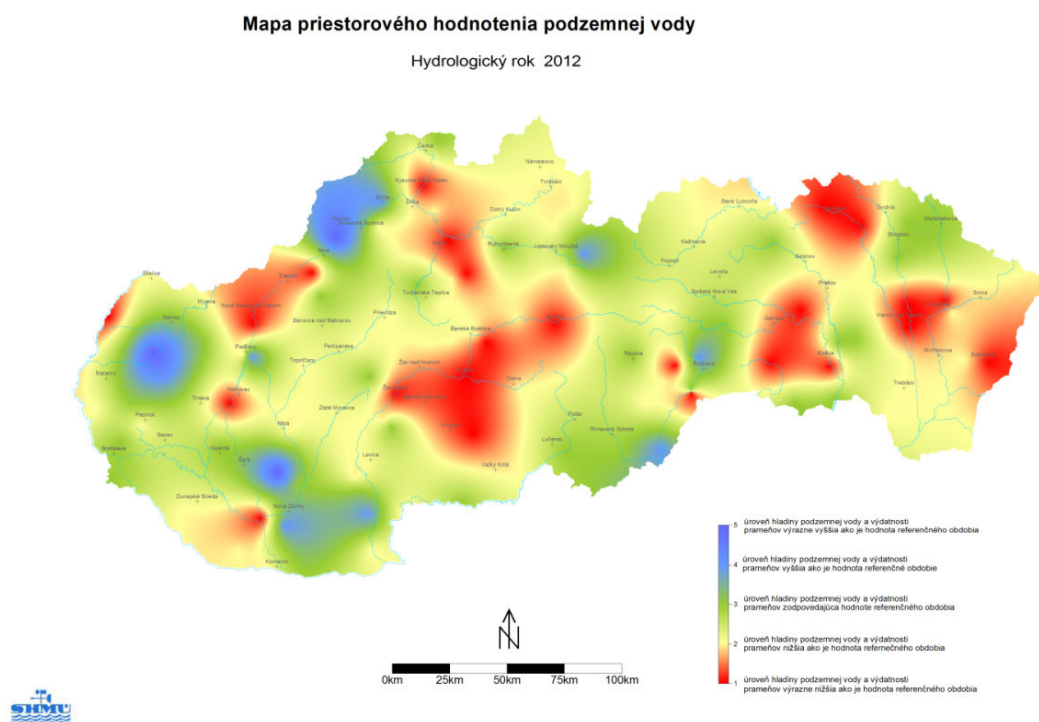
Rôzne prejavy sucha v jednotlivých rokoch je možné porovnávať, ako to ukazuje obr. 8, na ktorom je zreteľne vidieť rôzny výskyt sucha v troch suchých rokoch 21. storočia - v roku 2003, 2012 a 2015 (Fendeková, Poórová, Slivová Eds., 2017).



Obr. 8 Vyhodnotenie výskytu sucha v priemerných denných prietokoch na Myjave v profile Šaštín-Stráže v rokoch 2003, 2012 a 2015 v Topli v profile Hanušovce n. Topľou

Sucho v podzemnej vode sa hodnotí obdobným spôsobom ako sucho v povrchovej vode. Používajú sa tie isté hraničné hodnoty, ktoré sa aplikujú na úroveň hladiny podzemnej vody, výdatnosť prameňa, či veľkosť podzemného odtoku. Je však možné využiť aj ďalšie metódy. Príkladom je aplikácia metódy SANDRE. 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 kategórií (<http://www.sandre.eaufrance.fr/>). Hraničné hodnoty jednotlivých kategórií pre úroveň hladín podzemných vôd predstavujú hodnoty $\phi_{10\%}$, $\phi_{40\%}$, $\phi_{60\%}$, $\phi_{90\%}$, pre výdatnosti prameňov hodnoty $Q_{10\%}$, $Q_{40\%}$, $Q_{60\%}$, $Q_{90\%}$. V neposlednom rade je pri hodnotení sucha dôležité vychádzať z prirodzeného režimu podzemných vôd a výdatnosti prameňov.

Príklad výskytu sucha založený na súčasnom hodnotení výdatností prameňov a úrovne hladiny podzemnej vody v roku 2012 je na obr. 9 (Fendeková, Poórová, Slivová Eds., 2017).



Obr. 9 Priestorové vyhodnotenie výskytu sucha v podzemných vodách na Slovensku v roku 2012

NÁSLEDKY SUCHA A OPATRENIA NA ICH ZMIERNENIE

Podľa typu sucha sa jeho následky prejavujú v rôznych oblastiach, tak v prírode a krajine, ale najmä v socio-ekonomickej sfére. Príklady sú uvedené v tab. 2, 3 a 4. Rozlišujeme následky priame – vyvolané nedostatkom vody a následky nepriame - vyvolané následne.

Tab. 2 Následky sucha v environmentálnej sfére

Sféra	NÁSLEDKY	
	Priame	Nepriame
Environmentálna (ekologická)	- pokles pôdnej vlhkosti - pokles hladiny podzemnej vody - pokles podzemného odtoku - pokles výdatnosti prameňov - pokles prietokov v povrchových tokoch - pokles hladiny jazier - pokles hladiny vo vodných nádržiach - pokles hĺbky vodných telies	- ovplyvnenie rastu vegetácie - ovplyvnenie spoločenstiev živočíchov - ohrozenie niektorých biotických druhov - zmena kvality vody - vznik prachových búrok - vznik lesných požiarov

Tab. 3 Následky sucha v ekonomickej sfére

Sféra	NÁSLEDKY	
	Priame	Nepriame
Ekonomická	- pokles odberov podzemných vôd - pokles odberov povrchových vôd - pokles vypúšťania vody z vodných nádrží - pokles úrodnosti poľnohospodárskych plodín - zníženie energetického potenciálu tokov	- pokles množstva vody pre domácnosti a terciérnu sféru (pitná a úžitková voda) - pokles množstva vody pre priemysel: - pokles priemyselnej produkcie - pokles produkcie energie vo vodných elektrárnach - zníženie splavnosti tokov - pokles množstva vody pre poľnohospodárstvo: - zníženie produkcie - úhyn chovných zvierat - pokles množstva vody pre závlahy - neúroda - vyššie ceny potravín a krmív - ekonomické straty

Tab. 4 Následky sucha v sociálnej sfére

Sféra	NÁSLEDKY	
	Priame	Nepriame
Sociálna	pokles dostupnosti pitnej a úžitkovej vody	- zhoršenie zdravotnej situácie obyvateľstva (chorobnosť, prehrievanie organizmu, únava teplotou) - hlad - chudoba - vznik lokálnych konfliktov medzi užívateľmi vody - nárast bohatstva malej skupiny vlastníkov vodných zdrojov - zníženie výroby a poľnohospodárskej produkcie - nárast nezamestnanosti - migrácia obyvateľstva - vojnové konflikty - straty na životoch

Opatrenia na zmiernenie, resp. predchádzanie následkom sucha je možné rozdeliť do troch oblastí.

Prvou z nich je oblasť krízového manažmentu, ktorá reaguje bezprostredne na vzniknuté sucho sériou rôznych ad-hoc opatrení. Druhou je oblasť operatívna, ktorej úlohou je získavať údaje o možnom výskyte a potenciálnej intenzite sucha, ktorá umožní prijímať do budúcnosti opatrenia na zmiernenie nepriaznivých následkov sucha, resp. týmto následkom predchádzať. Tou treťou je oblasť preventívna, ktorá v jednotlivých potenciálne ohrozených sférach realizáciou opatrení v najmä v sektore poľnohospodárstva a lesníctva, sídelnej krajiny a vodného hospodárstva dokáže čiastočne eliminovať, resp. zmierniť následky sucha.

Podrobne sa týmito skupinám opatrení venuje materiál schválený vládou SR dňa 14.3.2018 s názvom **H2odnota je voda – Akčný plán na riešenie dôsledkov sucha a nedostatku vody**, prístupný na: <http://www.minzp.sk/files/sekcia-vod/hodnota-je-voda/h2odnota-je-voda-akcny-plan-riesenie-dosledkov-sucha-nedostatku-vody.pdf>

Záujemcom o problematiku sucha odporúčame tiež najnovšiu publikáciu venovanú výskytu a prognóze vývoja hydrologického sucha na Slovensku. Monografia, ktorej editormi boli M. Fendeková, J. Poárová a V. Slivová, bola v roku 2017 vydaná Univerzitou Komenského v Bratislave a je prístupná v elektronickej verzii na stránke SHMÚ: http://www.shmu.sk/File/Hydrologia/Publikacna_cinnost/2018/monografia_sucho_12042018_chranene.pdf

a web na stránke Katedry hydrogeológie PriF UK:

http://hydrogeology.sk/download/Hydrologicke_sucho_SR_a_prognosa_jeho_vyvoja_2018.pdf

Zoznam použitej literatúry

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>

FENDEKOVÁ, M., POÓROVÁ, J., SLIVOVÁ, V., Eds., 2017: Hydrologické sucho na Slovensku a prognóza jeho vývoja. 1. Vydanie, Univerzita Komenského v Bratislave, 300 s.

GANGULI, P., GANGULY, A. R., 2016: Space-time trends in U.S. meteorological droughts. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 8, 235-259.

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.

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 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.

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.

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.

Internetové zdroje:

<http://www.minzp.sk/files/sekcia-vod/hodnota-je-voda/h2odnota-je-voda-akcny-plan-riesenie-dosledkov-sucha-nedostatku-vody.pdf>

http://www.shmu.sk/File/Hydrologia/Publikacna_cinnost/2018/monografia_sucho_12042018_chranene.pdf

http://hydrogeology.sk/download/Hydrologicke_sucho_SR_a_prognóza_jeho_vývoja_2018.pdf