

# Manažment sucha – Zhodnotenie rokov 2011 a 2012 podľa indexov sucha

Pavel Šťastný, Maroš Turňa

## Anotácia

Predmetom článku je hodnotenie sucha vo vyvíjajúcich sa podmienkach meteorologického a pôdneho sucha v období rokov 2011 a 2012 podľa vybraných indexov sucha. V metodologickej časti sú predstavené jednotlivé indexy a spôsob ich výpočtu, pričom sú vysvetlené ich rôzne možnosti využitia. Vo výsledkoch sú predstavené hodnotenie sucha podľa jednotlivých indexov v rokoch 2011 a 2012. V diskusii a závere sú analyzované možnosti využitia indexov pre operatívne a režimové hodnotenie sucha.

## Annotation

The object of the article is to evaluate the dryness in the evolving conditions of the meteorological and soil drought during the years 2011 and 2012 by selected indices of drought. The methodological part presents the different indexes and methods of their calculation. Different possibilities of individual indexes use are explained in this part as well. The results are presented according to evaluation of individual drought indices in 2011 and 2012. In the discussion and conclusion parts there are analyzed the possibilities of using indices for operational and regime drought assessment.

## Metodika

Výpočet indexov sucha spočíva väčšinou v použití údajov o úhrnoch atmosférických zrážok, teplote vzduchu, prípadne iných klimatických prvkov.

Pre spracovanie hodnotenia teploty vzduchu, zrážok ako aj indexov sucha bolo vybraných 31 klimatologických staníc (Obr. 1). Kritériom pre výber boli kvalitné údaje za obdobie 1961 – 2012. Stanice pokrývajú dostatočne reprezentatívne hlavné krajinné celky Slovenska.



Obr. 1 Klimatologické stanice použité pri výpočte indexov sucha

RNDr. Pavel Šťastný, CSc., Mgr. Maroš Turňa  
Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava

Metodika hodnotenia sucha vychádza z použitia kombinácie viacerých ukazovateľov sucha, ktoré využívajú hodnotenie zrážkových úhrnov ako aj indexy, obsahujúce vplyv teploty na bilanciu vody vo vrchnej vrstve pôdy, alebo indexy, ktoré zahrňujú výpar a odtok z nej. Základom pre hodnotenie je štandardizovaný zrážkový index (SPI). Ten je doplnený ďalšími indexmi sucha, ktoré zahrňujú nielen samotný vplyv deficitu zrážok na tvorbu meteorologického sucha, ale aj vplyv ostatných zložiek vodnej bilancie vrchnej vrstvy pôdy.

#### a. Štandardizovaný zrážkový index (SPI)

SPI je založený na pravdepodobnosti výskytu určitého množstva zrážok v rôznej časovej škále. Najčastejšie sa používajú časové škály 1-,2-,3-,6-,9-,12- a 24- mesačné [5]. V našej práci sme použili 1-mesačnú škálu na posúdenie najsuchšieho mesiaca, 6-mesačnú na posúdenie vegetačného obdobia (koniec septembra) a 12-mesačnú na posúdenie celého roka (koniec decembra). Pri počítaní SPI sa využíva gama funkcia na určenie hustoty pravdepodobnosti rozdelenia. Každý hodnote SPI prislúcha hodnota kumulatívnej pravdepodobnosti výskytu v danej časovej škále [5]. Nevýhoda tohto indexu je, že sucho sa posudzuje len na základe úhrnu zrážok a nezohľadňujú sa tu vlhkosť, radiačné a energetické podmienky v pôde. Pri pridaní nových mesiacov sa gama funkcia znova prepočíta a hodnoty SPI v predošliých mesiacoch sa zmenia. Okrem toho, samotné hodnoty indexu sú reprezentatívne len pre danú lokalitu, teda aký má deficit vzhľadom na jej dlhodobý priemer úhrnov zrážok. Nemôžeme totiž podľa hodnôt SPI povedať, aký deficit má daná lokalita vzhľadom na ostatné územie (v našom prípade celé územie Slovenska). Podľa hodnôt SPI charakterizujeme hodnotené obdobie podľa Tab. 1. V Tab. 2 sa nachádza početnosť výskytu sucha podľa hodnôt SPI v priebehu obdobia 100 rokov a pravdepodobnosť závažnosti výskytu sucha [6].

**Tab.1 Intervaly SPI a prislúchajúca charakteristika obdobia**

SPI	charakteristika
2,0 a viac	extrémne vlhké
1,5 až 1,99	veľmi vlhké
1,0 až 1,49	priemerne vlhké
-0,99 až 0,99	blízko normálu
-1,0 až -1,49	priemerne suché
-1,5 až -1,99	závažne suché
-2,0 a menej	extrémne suché

**Tab. 2 Početnosť výskytu javu za 100 rokov a pravdepodobnosť závažnosti podľa intervalu SPI**

SPI	kategória	početnosť výskytu za 100 rokov	pravdep. závažnosti
0 až -0,99	mierne sucho	33	1 za 3 roky
-1,00 až -1,49	priemerné sucho	10	1 za 10 rokov
-1,5 až -1,99	závažné sucho	5	1 za 20 rokov
< -2,00	extrémne sucho	2,5	1 za 50 rokov

V práci sme uviedli priebeh hodnôt SPI v 1-, 6- a 12- mesačnej časovej škále v rokoch 2011 a 2012 na reprezentatívnej slovenskej stanici, ktorá predstavuje územný priemer mesačných úhrnov zrážok na vybraných 31 staniaciach v rokoch 1961 – 2012.

#### b. Palmerov index závažnosti sucha (PDSI)

Palmerov index sucha je veľmi komplexný model výpočtu deficitu zrážok v pôdnom profile. Pri PDSI sa zohľadňuje okrem teploty vzduchu, evapotranspirácie, zrážok aj hodnota využiteľnej vodnej kapacity (VVK). Pri pôvodnej Palmerovej metodike sa pôdny profil rozdelí na dve vrstvy. Mocnosť vrchnej vrstvy pôdy je predpokladaná tak, aby táto obsahovala práve 25.4 mm (25.4 mm = 1 inch) vody pri poľnej vodnej kapacite [4]. Mocnosť spodnej vrstvy závisí na pôdnych charakteristikách skúmanej oblasti. Evapotranspirácia v pôvodnej Palmerovej metóde bola počítaná pomocou Thornthwaitovej metódy z roku 1948 [3]. Vstupnými údajmi pri výpočte PDSI boli mesačné údaje teploty vzduchu a úhrnov zrážok, hodnota VVK závislá od pôdneho typu a zemepisná šírka. Výstupné hodnoty PDSI boli určené pre každý mesiac v období 1961 – 2012. PDSI je kumulatívny index, teda dopad vlhkosťného nedostatku/nadbytku sa prejaví v dlhodobejšom časovom horizonte. V Tab.3 je klasifikácia a charakteristika mesiaca podľa hodnoty PDSI navrhnutá tiež Palmerom [3].

**Tab.3 Intervaly PDSI a prislúchajúca charakteristika obdobia**

PDSI (interval)	Charakteristika
4,00 a viac	extrémne vlhko
3,00 až 3,99	veľmi vlhko
2,00 až 2,99	priemerne vlhko
1,00 až 1,99	mierne vlhko
0,50 až 0,99	začínajúce vlhko
-0,49 až 0,49	blízko normálu
-0,50 až -0,99	začínajúce sucho
-1,00 až -1,99	mierne sucho
-2,00 až -2,99	sucho
-3,00 až -3,99	veľmi sucho
-4,00 a menej	extrémne sucho

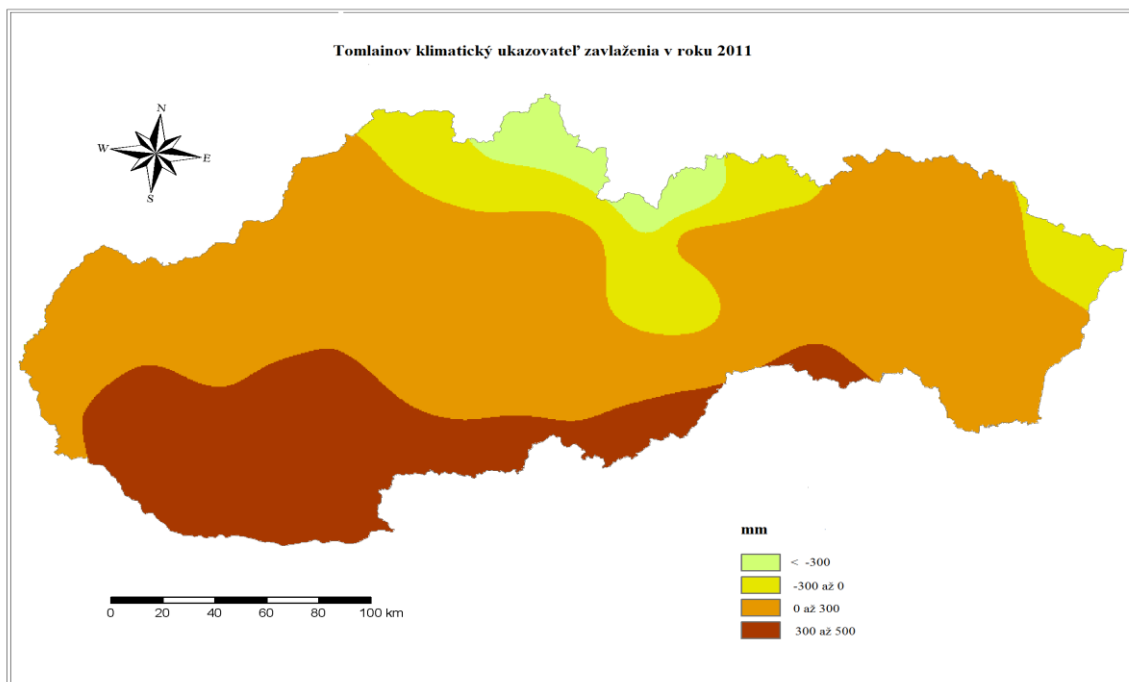
V našej práci sme použili originálny PDSI, aj keď v súčasnosti sa viac presadzuje kalibrovaný sc-PDSI. Pre lepšiu ilustráciu sme uviedli priebeh mesačných hodnôt PDSI v rokoch 2011 a 2012 vypočítaných pre reprezentatívnu slovenskú stanicu, ktorá predstavuje územný priemer mesačných teplôt vzduchu a úhrnov zrážok v rokoch 1961 – 2012 a priemernej využiteľnej vodnej kapacity a zemepisnej šírky určených z 31 vybraných staníc

**c. Tomlainov klimatický ukazovateľ zavlaženia**

Tomlainov klimatický ukazovateľ zavlaženia  $K_z$  je určený vzťahom

$$K_z = E_0 - R,$$

kde  $E_0$  je potenciálny výpar z trávnatého povrchu vypočítaného pomocou Budyko-Zubenokovej metódy a  $R$  je úhrn atmosférických zrážok. Aj v tomto prípade je užitočný pre zaradenie lokality do určitej klimatickej oblasti na základe dlhodobých priemerov  $E_0$  a  $R$  [2]. Kladná hodnota nám ukazuje, že v danom období bol vyšší výpar ako zrážky a predstavuje množstvo vody v mm, ktoré treba do pôdy dodať zavlažovaním, aby bola vyrovnaná bilancia. Lokality so zápornými hodnotami sú vlhké a zrážky dostatočne pokrývajú straty spôsobené výparom a zavlažovanie nie je potrebné.



**Obr. 2 Tomlainov klimatický ukazovateľ zavlaženia v roku 2011**

Na Slovensku sa dlhodobé priemerné hodnoty  $K_Z$  za obdobie 1961 – 2012 pohybovali od +200,4 v Hurbanove po -864,2 v Ždiari - Javorine. Typické hodnoty pre nížiny sú teda okolo +200 a pre hory okolo -1000 [2].

V našej práci sme chceli porovnať SPI s  $K_Z$ , preto sme zvolili odchýlky  $K_Z$  od referenčného obdobia 1961 až 2012. Na Obr. 2 je pre ilustráciu mapa  $K_Z$  v roku 2011. Najvyššie hodnoty boli na juhu Podunajskej nížiny a presahovali 300 mm. Naopak, najnižšie hodnoty pod -300 mm boli na krajnom severe. To nám však nepovie, aké boli odchýlky od dlhodobého priebehu  $K_Z$  v jednotlivých lokalitách, a keďže hodnoty SPI nám ukazujú tieto odchýlky, zvolili sme princíp odchýlok aj pri  $K_Z$ .

#### d. Končekov index zavlaženia

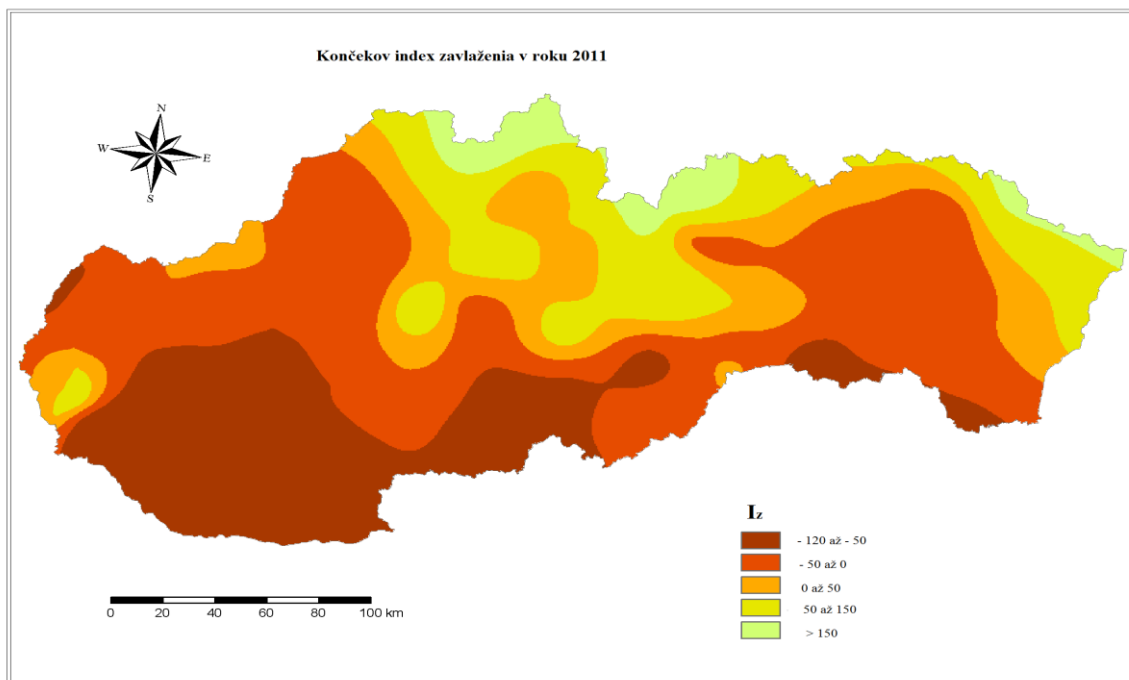
Končekov index zavlaženia bol navrhnutý pôvodne na vymedzenie klimatických oblastí v Československu. Spolu s teplotou vzduchu a počtom letných dní v roku sa používal na určenie klimatologickej klasifikácie na Slovensku. Najväčší význam má pre posúdenie dlhšieho, napr. normálového 30-ročného obdobia. V našom spracovaní sme ho použili na posúdenie jednotlivých hodnotených rokov, aby sme ich mohli porovnať s dlhodobým priemerom, resp. medzi sebou navzájom.

Končekov index zavlaženia  $I_Z$  vychádza z pôvodnej Thornthwaitovej metodiky a je vyjadrený vzťahom

$$I_Z = 0,5 \cdot R + \Delta r - 10 \cdot T - (30 + v^2)$$

kde  $R$  sú zrážky za vegetačné obdobie (IV-IX) v mm,  $\Delta r$  je prebytok zrážok v zime (XII-II) od úhrnu 105 mm, v prípade ak zrážky za zimu sú menšie ako 105 mm, tak  $\Delta r = 0$ , ďalej  $T$  je priemerná teplota vzduchu v 2 m za vegetačné obdobie v °C a  $v$  je rýchlosť vetra v m/s o 14 hodine za vegetačné obdobie [1].

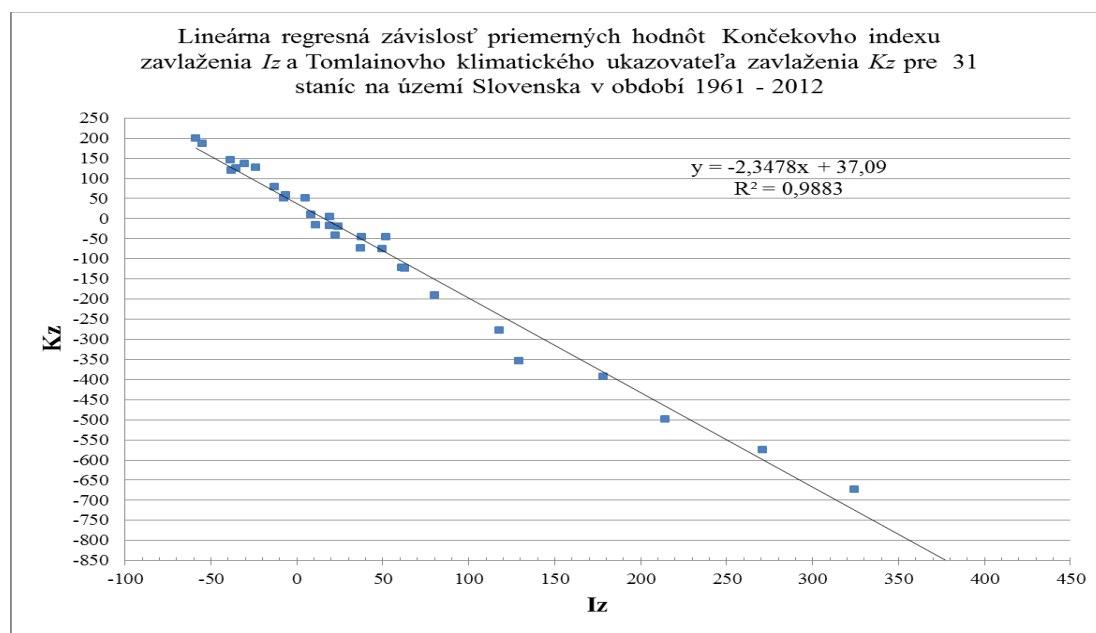
Hodnota  $I_Z = 0$  predstavuje vyrovnanú bilanciu zavlaženia, pri  $I_Z$  od -20 až do 0 ide o mierne suchú oblasť a pri  $I_Z$  od 0 do 60 o mierne vlhkú, od 60 do 120 vlhká, nad 120 je veľmi vlhká, od -40 do -20 suchá oblasť, a pod -40 veľmi suchá oblasť. Veľmi suchá oblasť sa na Slovensku do roku 1960 nevyskytovala, do 1980 iba v Hurbanove, do 2010 sa šírila ďalej na sever a východ [1]. Pre obdobie 1961 – 2012 sa hodnoty  $I_Z$  pohybujú od -58,6 v Hurbanove po 395,6 v Ždiari - Javorine. Výhodou Končekovho indexu zavlaženia je jeho jednoduché určenie, jeho nevýhodou je, že je použiteľný pre porovnanie len pre Slovensko, inde vo svete sa nepoužíval. Okrem toho, nezohľadňujú sa tu rozdielne podmienky odtoku počas roka a rôznymi orografickými typmi.



Obr. 3 Končekov index zavlaženia v roku 2011

Na Obr. 3 si môžeme všimnúť, že najnižšie hodnoty v roku 2011 boli na juhozápade a čiastočne juhu stredného Slovenska. Tieto lokality z pohľadu  $I_z$  teda boli najsuchšie. Naopak, najvyššie hodnoty boli na krajnom severe. Toto nám však neumožní porovnať tento index pri hodnotení sucha v rokoch 2011 a 2012 s SPI, preto sme aj pri  $I_z$  použili princíp odchýlok od priemerných hodnôt v rokoch 1961 – 2012, a tak ho môžeme porovnať aj s predošlým indexom  $K_z$ .

Na Obr. 4 je graf lineárnej regresnej závislosti obidvoch indexov zavlaženia, Končekovho aj Tomlainovho. Závislosť je klesajúca a spoľahlivá s hodnotou koeficientu  $R^2 = 0,9883$ . Tomlainov klimatický ukazovateľ zavlaženia sme použili aj pre hodnotenie sucha vo vegetačnom období, ale aj v tomto prípade jeho nevýhodou je, že sa používal v minulosti len na Slovensku a v zahraničí si nenašiel veľké uplatnenie ani dnes.



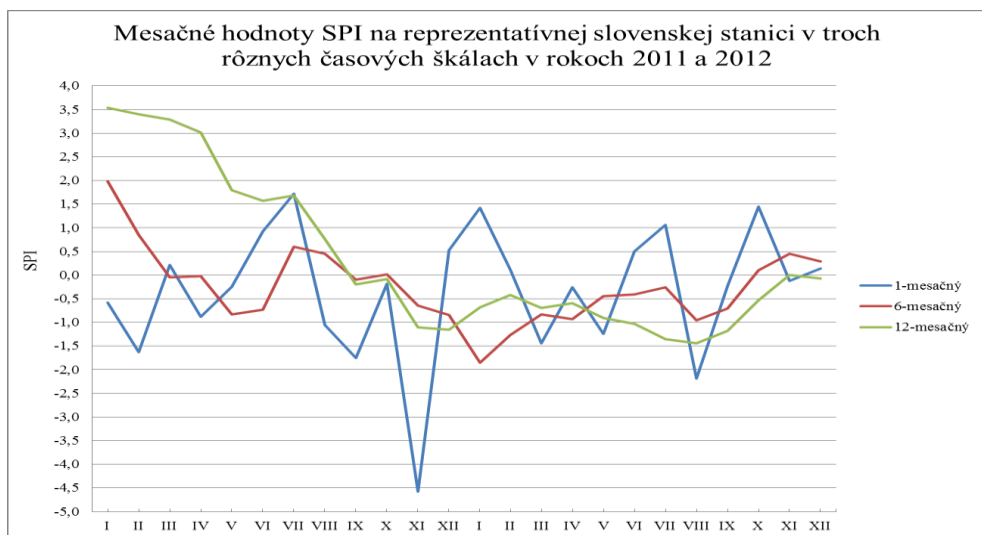
Obr. 4 Lineárna regresná závislosť priemerných hodnôt Končekovho indexu zavlaženia a Tomlainovho klimatického ukazovateľa zavlaženia pre 31 staníc na území Slovenska v období 1961 až 2012

## Výsledky hodnotenia sucha v rokoch 2011 a 2012 podľa jednotlivých indexov

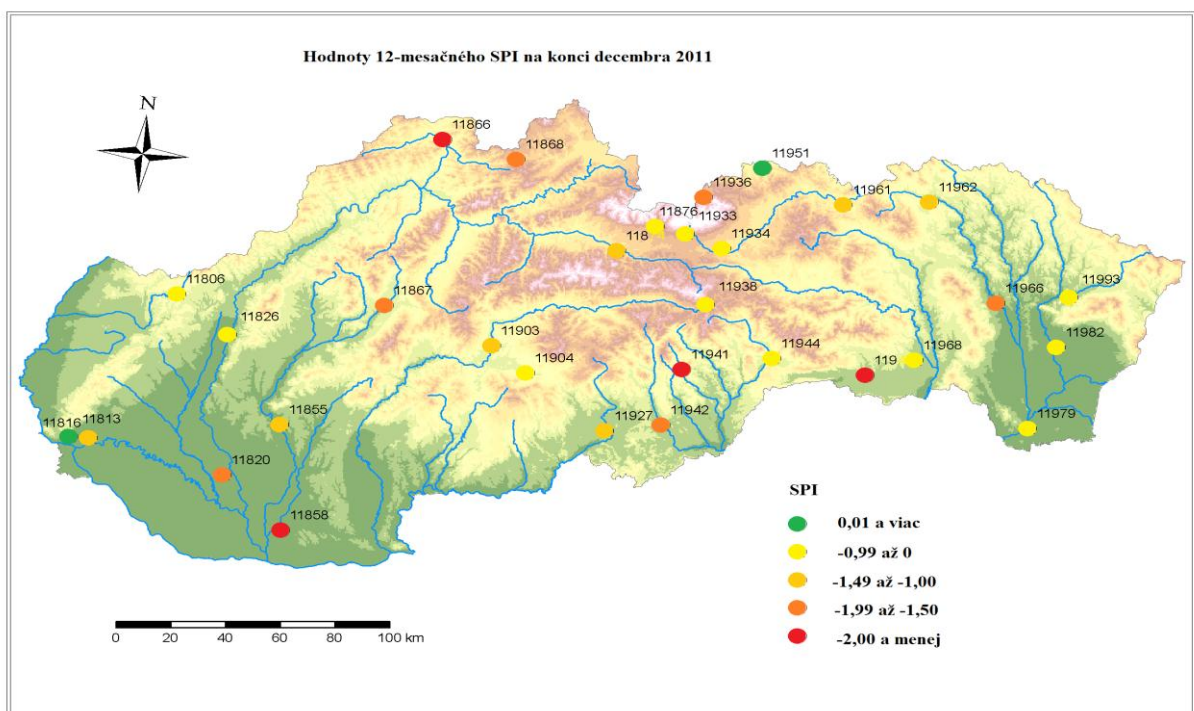
### a. Roky 2011 a 2012 podľa SPI

Na Obr. 5 je graf priebehu mesačných hodnôt 1-, 6- a 12- mesačného SPI na reprezentatívnej slovenskej stanici, ktorý vznikol z výpočtu priemerných mesačných územných zrážok všetkých použitých 31 staníc na území Slovenska v rokoch 1961 a 2012. V roku 2011 bola najvyššia hodnota 1- mesačného SPI v júli 2011 a presiahla 1,5. Najnižšia hodnota bola v novembri 2011 a klesla pod -4,5. Týmto môžeme vysloviť záver, že najväčší deficit zrážok v roku 2011 sa vyskytol v novembri a najvyšší prebytok zrážok bol v júli. Hodnoty 6-mesačného SPI boli najskôr ovplyvnené extrémne vlhkým rokom 2010, postupne v jarných mesiacoch klesali takmer na -1,0, no počas leta, v júli stúpili nad 0,5. Neskôr s príchodom suchých jesenných mesiacov klesali až do decembra. Hodnoty 12- mesačného SPI pozvoľne klesali takmer počas celého roka až do decembra 2011.

Na Obr. 6 sú hodnoty 12-mesačného SPI na konci decembra 2011. Môžeme si všimnúť, že najnižšie hodnoty pod -2,00 sa vyskytli prevažne v južnej polovici Slovenska, a to ako na západe, tak aj na východe, ojedinile aj na severozápade Slovenska. Na týchto miestach bol teda najväčší deficit ročného úhrnu zrážok v roku 2011 oproti dlhodobému priemeru v rokoch 1961 až 2012. Naopak najvyššiu hodnotu, viac ako 0,01, mali dve stanice (Červený Kláštor, Bratislava-Kolibá).



Obr. 5 Mesačné hodnoty SPI na reprezentatívnej slovenskej stanici v troch rôznych časových škálach v rokoch 2011 a 2012



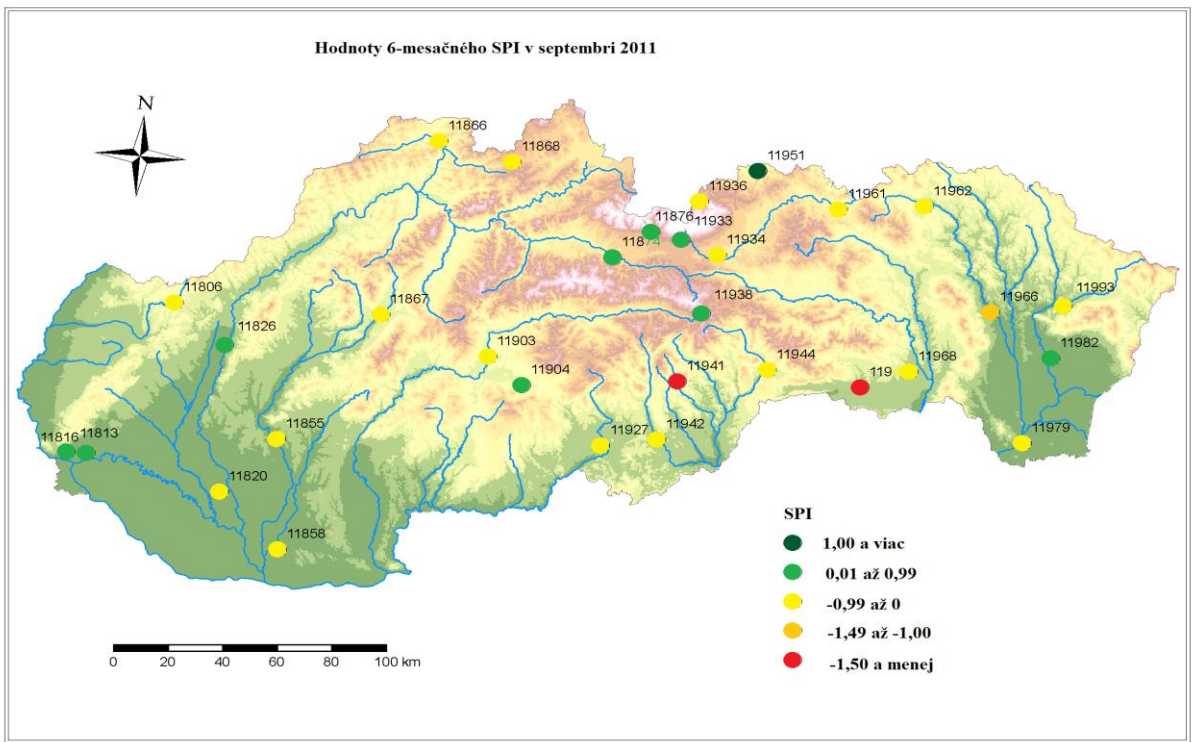
Obr. 6 Hodnoty 12-mesačného SPI na konci decembra 2011

Na Obr. 7 sú hodnoty 6-mesačného SPI na konci septembra 2011. V tomto prípade boli hodnoty vyššie a pod -1,50 sa vyskytli hodnoty SPI iba na dvoch staniciach (Ratková, Moldava nad Bodvou). Najvyššia hodnota SPI presiahla 1,00 a vyskytla sa iba na jednej stanici (Červený Kláštor).

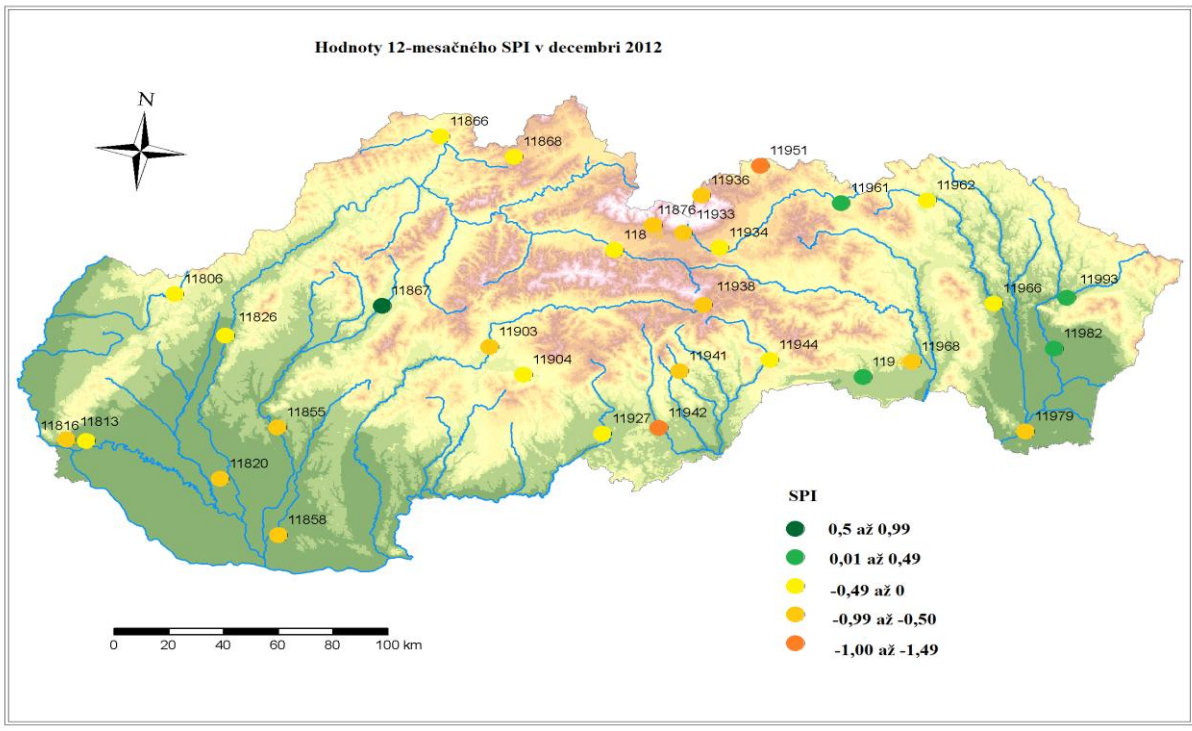
Na Obr. 8 sú hodnoty 12-mesačného SPI na konci decembra 2012. Najnižšie hodnoty klesli pod -1,00 a vyskytli sa na dvoch staniciach (Červený Kláštor, Rimavská Sobota). V porovnaní s rokom 2011 bol rok 2012 vlhkejší a extrémne sucho sa nevyskytlo. Najvyššia hodnota viac ako 0,50 sa vyskytla len na jednej stanici (Prievidza).

Na Obr. 9 sú hodnoty 6-mesačného SPI na konci septembra 2012. Hodnoty nižšie ako -1,50 sa vyskytli na severe Slovenska na dvoch staniciach (Červený Kláštor, Čadca) no nepresiahli hranicu extrémneho sucha. Vegetačné obdobie v roku 2012 bolo celkovo suchšie ako v roku 2011 a hodnoty 6-mesačného SPI na konci septembra 2012 boli všeobecne nižšie ako v septembri 2011. Najvyšší prebytok zrážok s kladnými hodnotami SPI sa vyskytol na 3 staniciach ležiacich na východnom Slovensku.

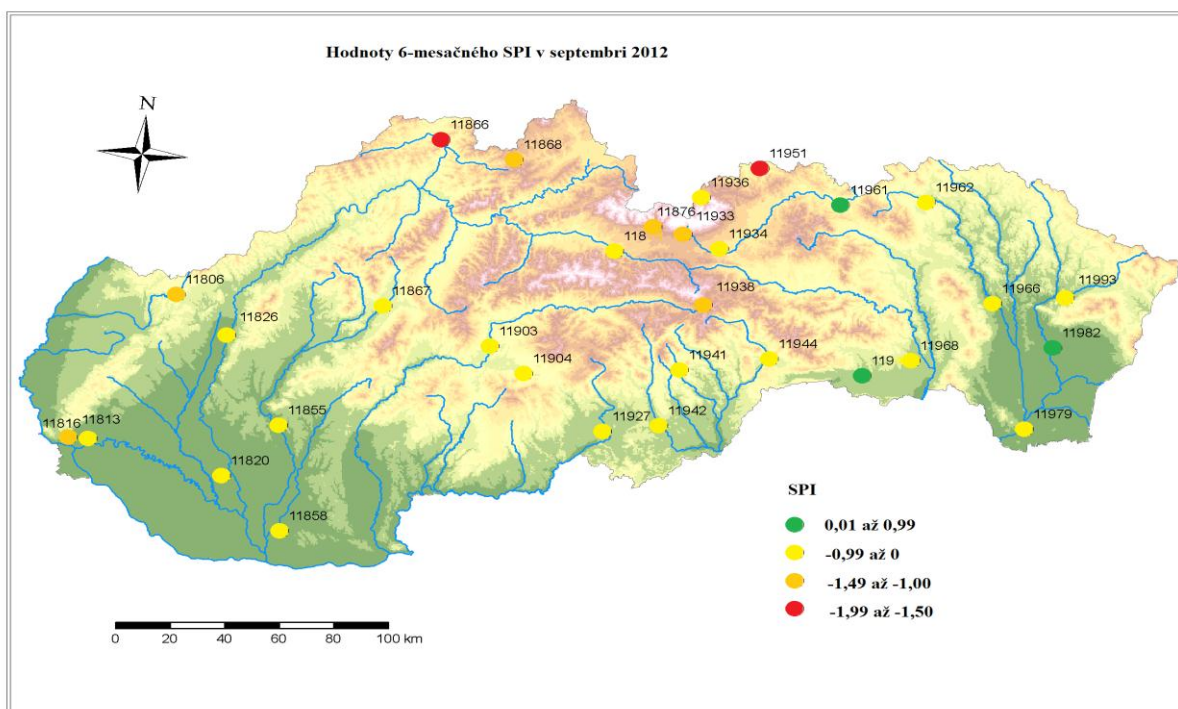




Obr. 7 Hodnoty 6-mesačného SPI na konci septembra 2011



Obr. 8 Hodnoty 12-mesačného SPI na konci decembra 2012



Obr. 9 Hodnoty 6-mesačného SPI na konci septembra 2012

Podľa Obr. 5 najsuchším mesiacom v roku 2012 s najnižšou hodnotou 1-mesačného SPI bol august, kedy SPI na väčšine staníc kleslo pod hranicu  $-2,0$ . Naopak, najvlhkejšími mesiacmi v roku 2012 boli január a október, s hodnotami SPI takmer  $1,5$ .

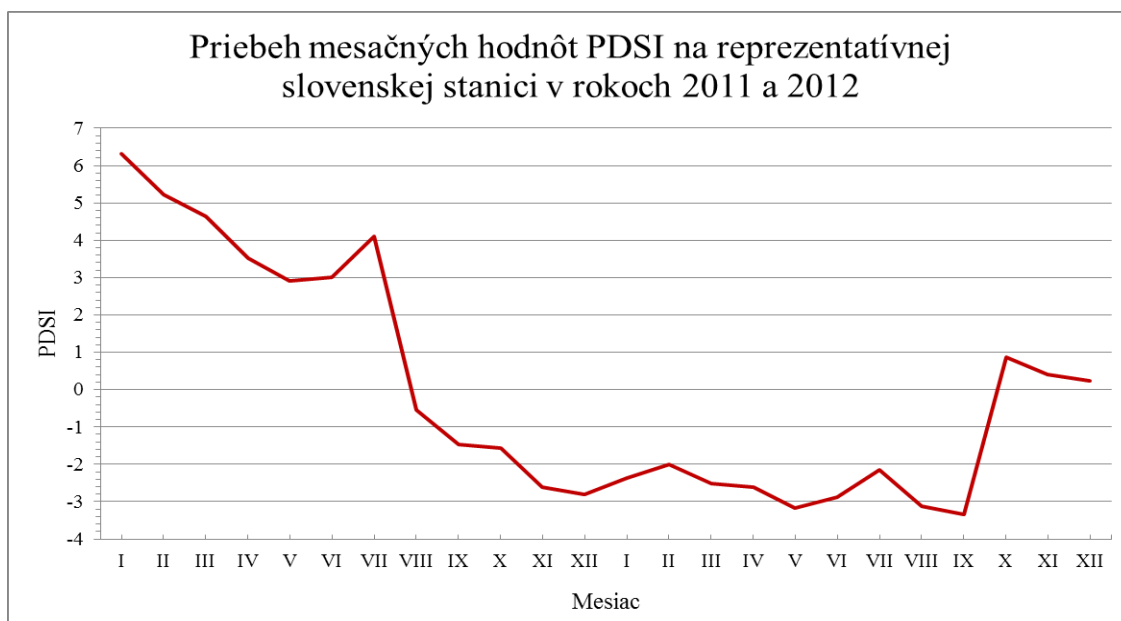
6-mesačný SPI dosiahol najnižšiu hodnotu v januári 2012, a to vplyvom najmä extrémne suchého novembra 2011. 12-mesačný SPI má väčšiu časovú odozvu a sucho v jesenných mesiacoch v roku 2011 a jarných mesiacoch 2012 sa prejavilo minimom, ktoré bolo v auguste 2012. Na záver môžeme zhrnúť, že najsuchším mesiacom podľa 1-mesačného SPI počas rokov 2011 a 2012 bol november 2011 a najvlhkejším mesiacom bol júl 2011. Suchými mesiacmi s hodnotou  $-1,00$  a menej boli február, august a september v roku 2011 a tiež marec, máj a august 2012.

#### b. Roky 2011 a 2012 podľa PDSI

Na Obr. 10 je priebeh mesačných hodnôt PDSI na reprezentatívnej slovenskej stanici v rokoch 2011 a 2012. Priebeh týchto hodnôt je veľmi podobný s priebehom mesačných hodnôt 12-mesačného SPI. Spočiatku vysoké hodnoty ovplyvnené vlhkým rokom 2010 postupne klesajú z  $6,32$  v januári 2011 na  $2,91$  v máji 2011. Ešte stále však bolo v pôde dostatok vlhky a sucho sa neprejavilo. Situácia sa ešte zlepšila v júni a v júli, no v auguste nastal prepád hodnôt z  $4,10$  na konci júla 2011 na  $-0,54$  v auguste. August 2011 bol teda prvým výrazne suchým mesiacom, po ktorom nastalo už suché obdobie. Hodnoty naďalej klesali až na úroveň  $-2,80$  na konci decembra 2011. Po vlhkej zime nastal slabý nárast hodnôt, no vplyv najsuchšieho mesiaca november bol badateľný. Vegetačné obdobie v roku 2012 bolo suché a charakteristické na viacerých miestach nedostatkom zrážok. Minimum dosiahlo PDSI až v septembri 2012 a zastavilo sa na hodnote  $-3,33$ . Október 2012 priniesol dostatok zrážok a PDSI začalo stúpať. Na konci decembra 2012 bolo PDSI blízke nule.

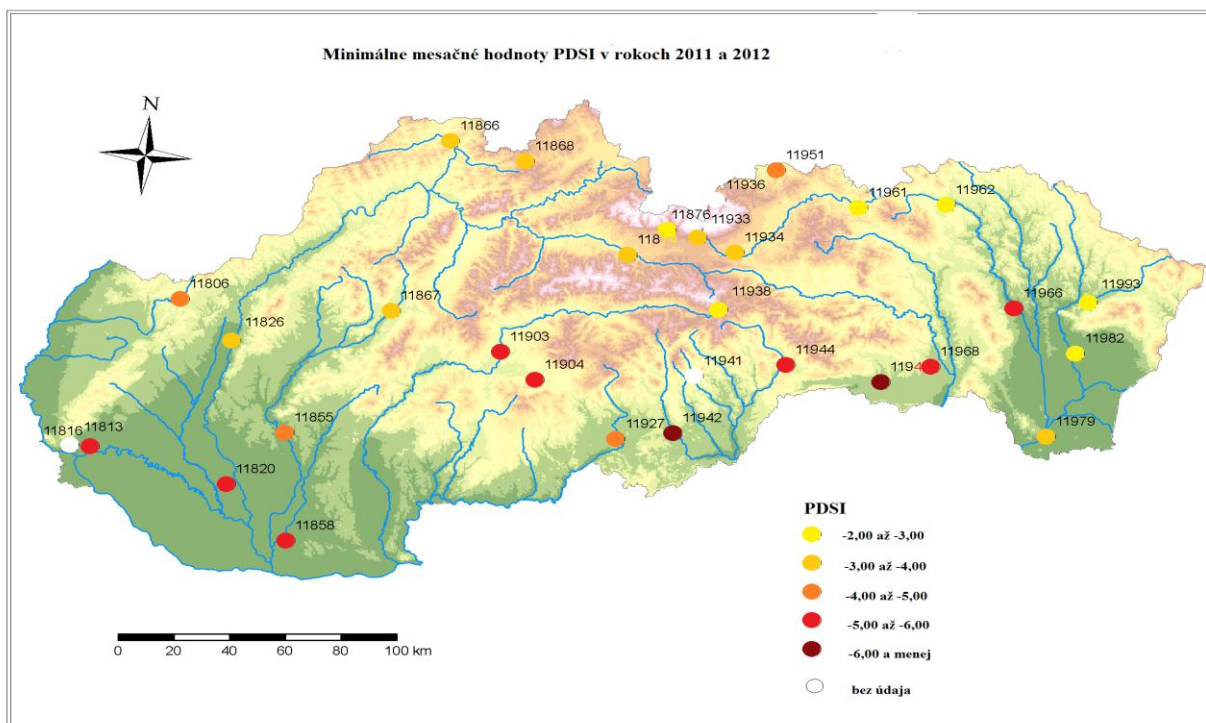
Na tomto mieste si môžeme všimnúť podobnosť PDSI s 12-mesačným SPI. Pri 12-mesačnom SPI taktiež nastal postupný pokles hodnôt počas obidvoch rokov so slabým nárastom v júli 2011. Minimum pri 12-mesačnom SPI bolo však už v auguste 2012. Rozdiely pri priebehu mesačných PDSI a 12-mesačného SPI sú spôsobené rozdielnou metodikou výpočtu, pretože PDSI okrem zrážok berie do úvahy aj evapotranspiráciu. Pri týchto dvoch indexoch je zreteľne vidieť, že spočiatku v roku 2011 až do augusta bolo vlhko, no následkom veľmi teplého a suchého ôsmeho mesiaca nastal postupný deficit vlhky, ktorý sa v ďalších suchých mesiacoch (najmä v novembri) zväčšoval a približne na prelome augusta až septembra 2012 dosiahol najvyššiu hodnotu. Vlhkým mesiacom október 2012 sa dosiahol normálny stav.





Obr. 10 Priebeh mesačných hodnôt PDSI na reprezentatívnej slovenskej stanici v rokoch 2011 a 2012

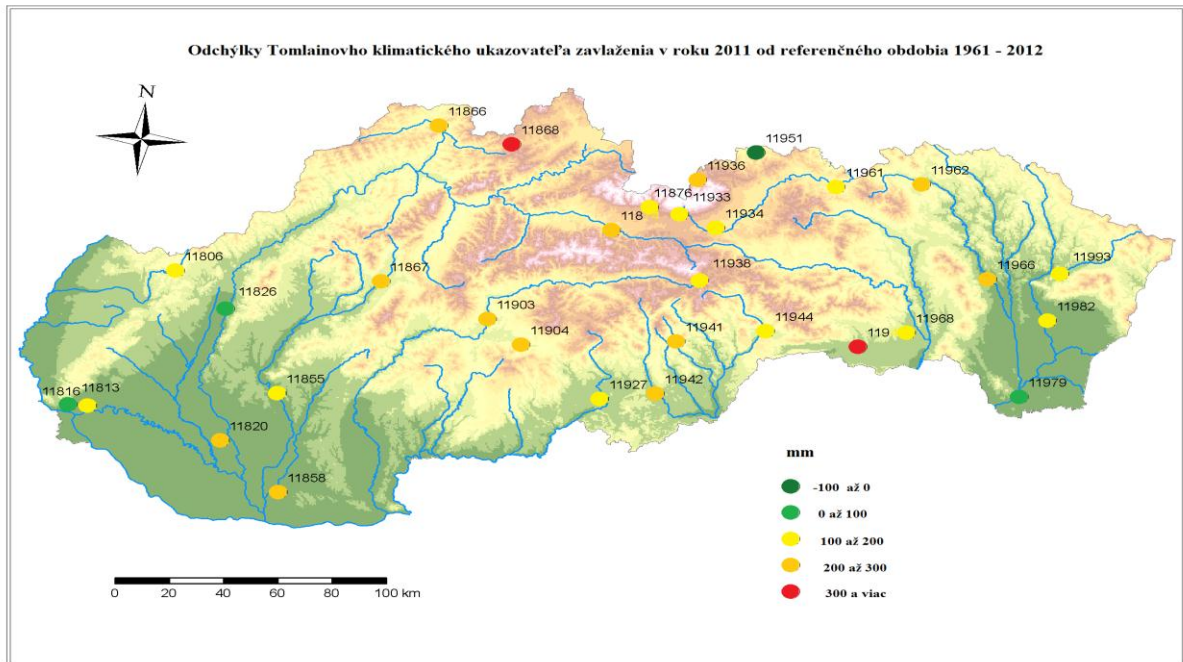
Na Obr. 11 sú minimálne mesačné hodnoty PDSI v rokoch 2011 a 2012. Väčšina týchto minimálnych hodnôt na viacerých staniciach bola v lete 2012. Najnižšie hodnoty klesli až pod -6,00, a to na dvoch staniciach (Rimavská Sobota a Moldava nad Bodvou).



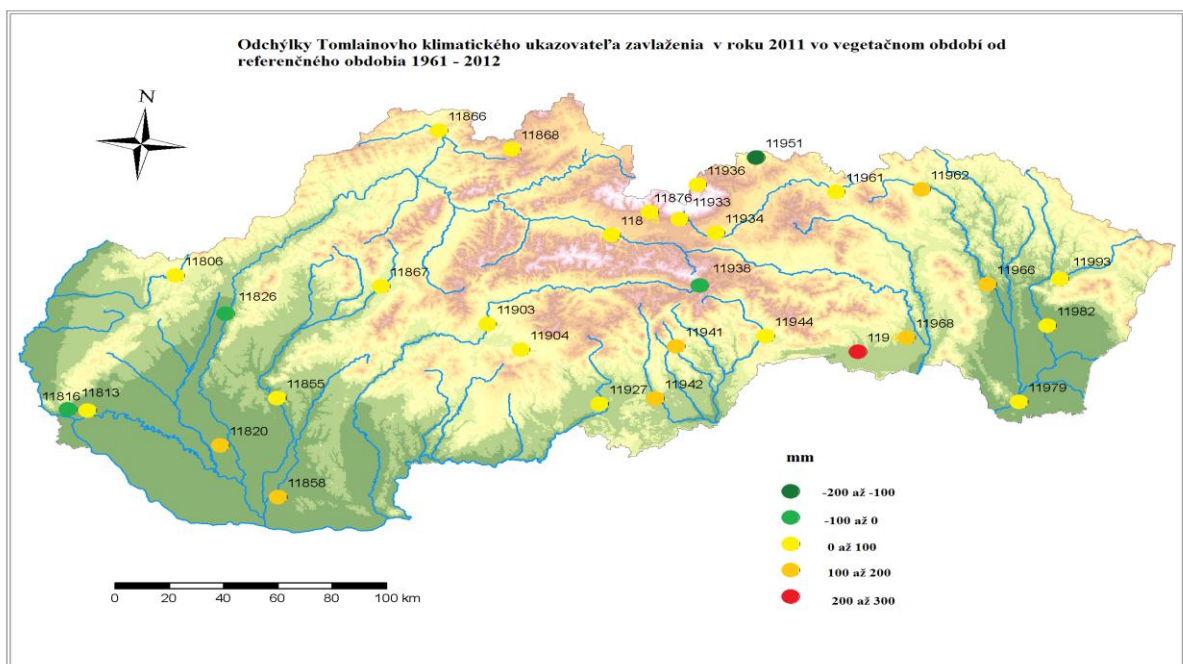
Obr. 11 Minimálne mesačné hodnoty PDSI v rokoch 2011 a 2012

### c. Roky 2011 a 2012 podľa Tomlainovho ukazovateľa zavlaženia

Na Obr. 12 sú odchýlky Tomlainovho klimatického ukazovateľa zavlaženia  $K_Z$  v roku 2011 od priemerných ročných hodnôt v období 1961 – 2012. Najväčšie odchýlky nad 300 mm sme zaznamenali na dvoch staniách (Moldava nad Bodvou a Oravská Lesná). Naopak, najnižšia a zároveň jediná záporná odchýlka bola na jedinej stanici ležiacej na severe Slovenska (Červený Kláštor). Záporné odchýlky totiž predstavujú vlhko v porovnaní s uvedeným obdobím. Tieto závery sú podobné s 12-mesačným SPI na konci decembra 2011 (Obr. 6). Rozdiel je opäť iba v metodike výpočtu, pretože pri  $K_Z$  sa berie do úvahy aj potenciálna evapotranspirácia.

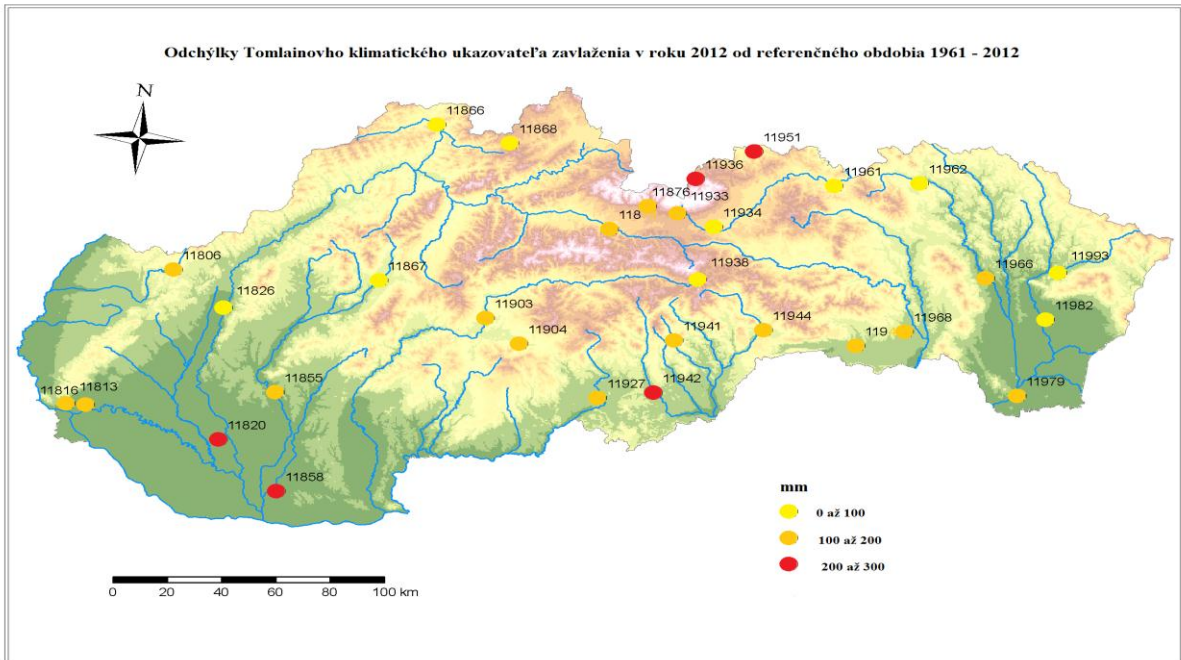


Obr. 12 Odchýlky Tomlainovho klimatického ukazovateľa zavlaženia v roku 2011 od referenčného obdobia 1961 – 2012

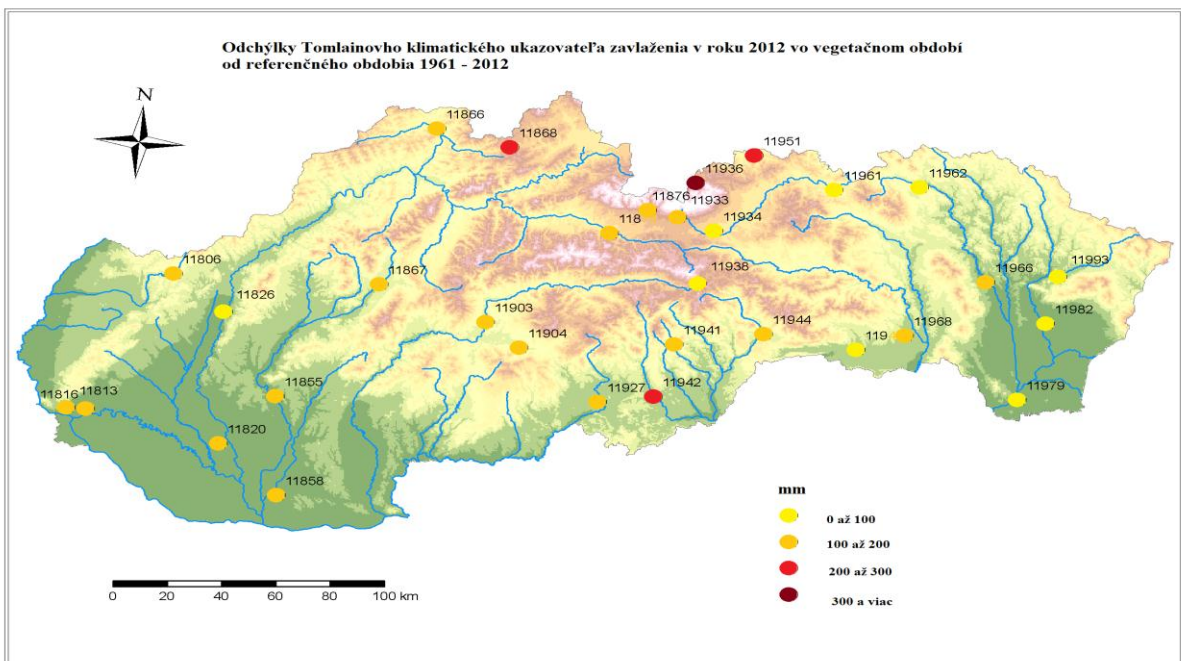


Obr. 13 Odchýlky Tomlainovho klimatického ukazovateľa zavlaženia v roku 2011 vo vegetačnom období od referenčného obdobia 1961 – 2012

Na Obr. 13 sú odchýlky  $K_Z$  v roku 2011 od priemerných hodnôt vo vegetačnom období v rokoch 1961 – 2012. V tomto prípade bola najvyššia odchýlka na stanici Moldava nad Bodvou. Naopak, najnižšia záporná odchýlka bola stanici Červený Kláštor. Výsledky sú podobné s výsledkami na mape na Obr. 7.



Obr. 14 Odchýlky Tomlainovho klimatického ukazovateľa zavláženia v roku 2012 od referenčného obdobia 1961 – 2012



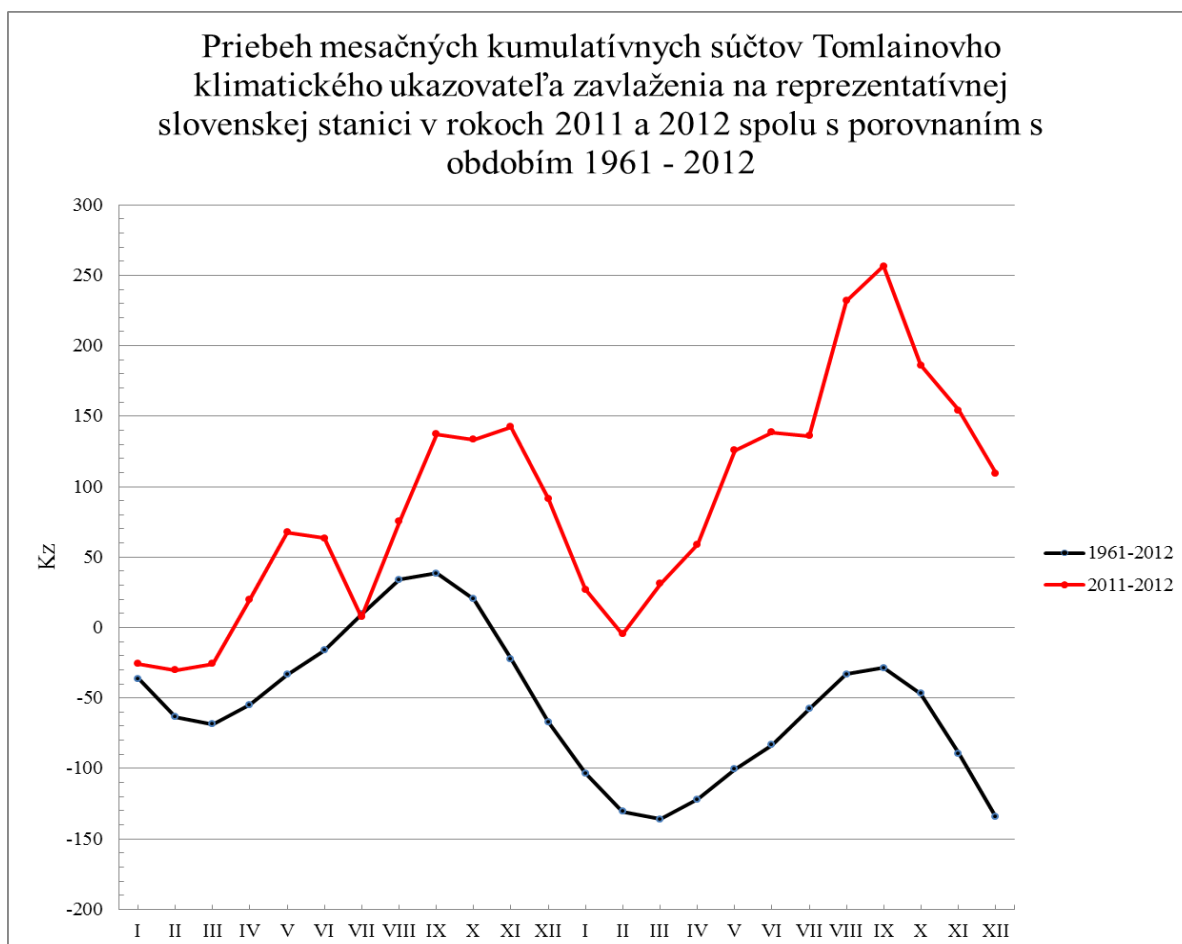
Obr. 15 Odchýlky Tomlainovho klimatického ukazovateľa zavláženia v roku 2012 vo vegetačnom období od referenčného obdobia 1961 – 2012



Na Obr. 14 sú odchýlky  $K_Z$  v roku 2012 od priemerných ročných hodnôt v období 1961 – 2012. Najvyššie odchýlky boli v intervale 200 až 300 mm a vyskytli sa na piatich staniciach. V roku 2012 sa však nevyskytla ani jedna záporná odchýlka.

Na Obr. 15 sú odchýlky  $K_Z$  v roku 2012 od priemerných hodnôt vo vegetačnom období v rokoch 1961 – 2012. Najviac postihnutými oblasťami boli najmä lokality na severe, kde bola odchýlka na jednej stanici vyššia ako 300 mm (Ždiar - Javorina). Tento záver platí aj pre hodnoty 6-mesačného SPI v septembri 2012, kde v porovnaní s obdobím 1961 – 2012 (Obr. 9) sa ako najviac suché javia lokality na krajnom severe.

Obidva roky 2011 aj 2012 môžeme zhodnotiť podľa kumulatívnych súčtov mesačných rozdielov  $E_0 - R$  na reprezentatívnej slovenskej stanici (Obr. 16), ktorej hodnoty  $K_Z$  sú priemerom hodnôt  $K_Z$  zo všetkých 31 staníc v období 1961 – 2012. Kumulatívne súčty počas dvoch rokov sme porovnali s obdobím 1961 – 2012. Najlepšia situácia na úrovni dlhodobého priemeru bola v júli 2011. V tomto prípade sa rok 2010 nezapočítal. Takže v prvých piatich mesiacoch roku 2011 vidíme, že deficit predsa len narastal až do leta, kedy sa v júli 2011 dostal kumulatívny  $K_Z$  do normálu. Postupne však od augusta 2011 zrážky nestačili kompenzovať výpar a nastal opäť nárast deficitu vlahy, pričom v zime 2011/2012 sa situácia zlepšovala, no následkom suchého vegetačného obdobia 2012, stúpala deficit až do septembra 2012. V dôsledku vlhkého mesiaca október 2012 sa deficit znížil. Pribeh deficitu  $K_Z$  má úzky súvis s priebehom mesačných hodnôt indexov na Obr. 5 pre 12-mesačný SPI a na Obr. 10 pre PDSI.

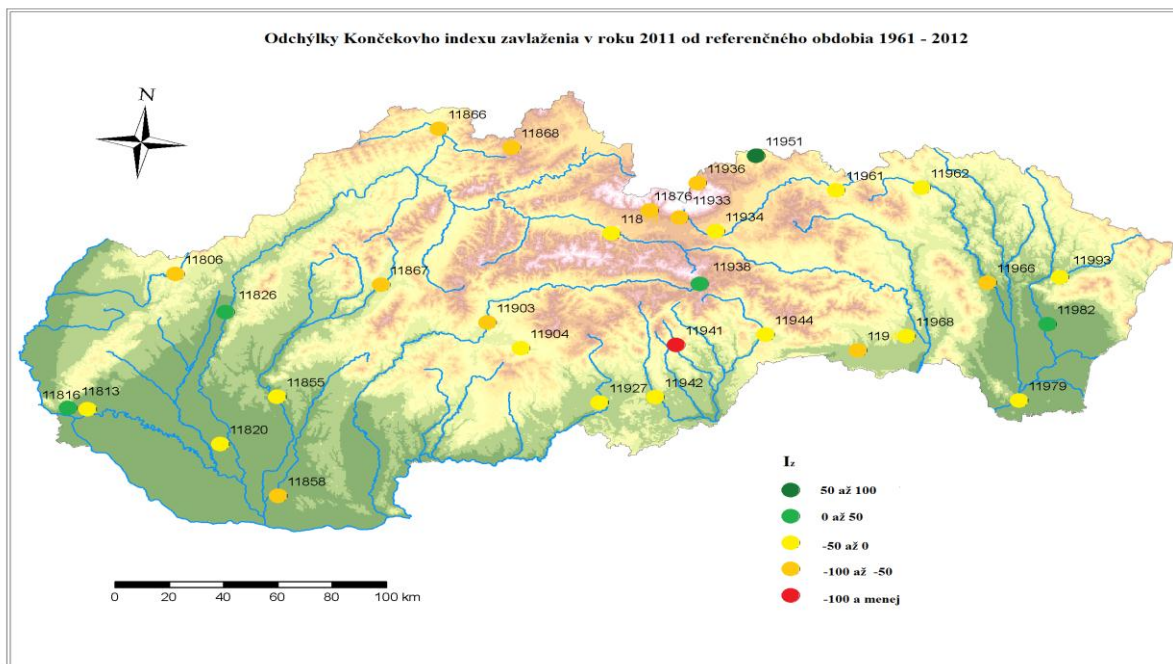


Obr. 16 Priebeh mesačných kumulatívnych súčtov Tomlainovho klimatického ukazovateľa zavlaženia na reprezentatívnej slovenskej stanici v rokoch 2011 a 2012 a jeho porovnanie s obdobím 1961 – 2012

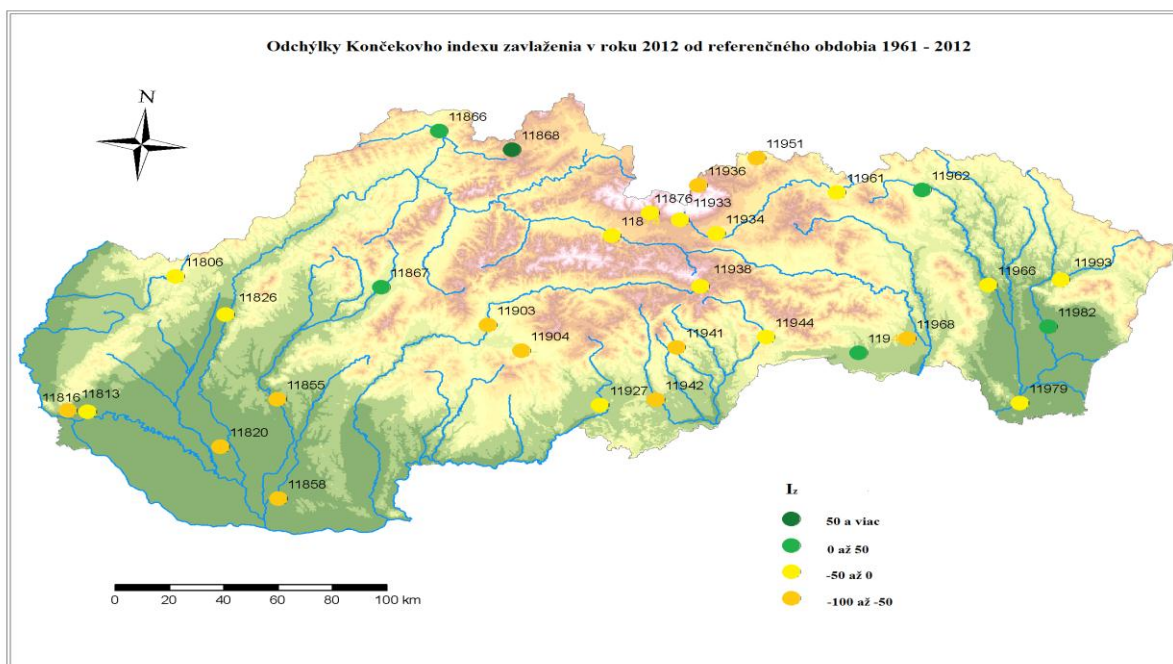
#### d. Roky 2011 a 2012 podľa Končekovho indexu zavlaženia

Na Obr. 17 sú odchýlky Končekovho indexu zavlaženia v roku 2011 od priemerných hodnôt v období 1961 – 2012. Najvyššia odchýlka bola na stanici Červený Kláštor a presiahla hodnotu 50. Najnižšia hodnota odchýlky  $I_z$  bola na stanici Ratková ležiacej na juhu stredného Slovenska a klesla pod -100.

Na Obr. 18 sú odchýlky Končekovho indexu zavlaženia v roku 2012 od priemerných hodnôt v období 1961 – 2012. Najvyššia odchýlka nad 50 bola na jedinej stanici ležiacej na severozápade Slovenska (Oravská Lesná), kde bola na zrážky výdatná zima 2011/2012, čo sa do výpočtu Končekovho indexu zavlaženia zarátalo. Odchýlky pod -100 sa už v roku 2012 nevyskytli. Najnižšiu odchýlku mala Ratková, a to -89,9.



Obr. 17 Odchýlky Končekovho indexu zavlaženia v roku 2011 od referenčného obdobia 1961 – 2012



Obr. 18 Odchýlky Končekovho indexu zavlaženia v roku 2012 od referenčného obdobia 1961 – 2012



Podľa odchýlok  $I_z$  môžeme vysloviť názor, že rok 2012 bol vlhkejším rokom ako rok 2011, a to najmä kvôli vlhkej zime 2011/12, ktorá mala najväčší vplyv na hodnoty odchýlok najmä na severozápade.

#### e. Roky 2011 a 2012 podľa všetkých indexov

Pri SPI a PDSI indexoch si môžeme všimnúť, že spočiatku bol prebytok zrážok ešte z roku 2010. Neskôr vplyvom suchých jesenných mesiacov v roku 2011, a tiež jarných mesiacov 2012, deficit zrážok postupne narastal, pričom zima 2011/2012 spôsobila spomalenie tohto nárastu. Pri SPI aj PDSI boli minimálne hodnoty týchto indexov v auguste, resp. septembri v roku 2012. S týmto záverom súhlasia aj kumulatívne súčty  $K_z$ , ktoré dosiahli najvyššiu hodnotu (deficit) v septembri 2012. Čiastočne sa v januári 2012 doplnila vlaha najmä na severozápade Slovenska. Vegetačné obdobie 2012 bolo na väčšine staníc veľmi suché, pričom najväčšie odchýlky oproti dlhodobému režimu zrážok boli na severe Slovenska. Z pohľadu PDSI boli minimálne mesačné hodnoty v roku 2012 ojedinele na juhu stredného a východného Slovenska. Neskôr v októbri 2012 sa postupne dopĺňala zásoba vody v pôde. V období oboch rokov boli najviac postihnuté suchom povodia Bodvy, Rimavy, Slanej a Ipľa. Najsuchším mesiacom na celom území bol november 2011, potom august a september 2011, marec, máj a august v roku 2012. Najvlhkejšími mesiacmi boli júl 2011 a tiež január a október 2012. Tieto závery súhlasia s ostatnými výsledkami, ktoré boli zhodnotené pre teplotu vzduchu a zrážky, a tiež pre prietoky v slovenských tokoch.

#### Diskusia

Na Slovensku sa v minulosti používali na posúdenie sucha len národné indexy, medzi ktoré patrí najmä Tomlainov klimatický ukazovateľ zavlaženia a Končekov index zavlaženia. Najmä Končekov index zavlaženia si našiel na našom území uplatnenie. Používal sa na začlenenie lokalít do určitých klimatických oblastí z hľadiska hydrologického a radiačného charakteru klímy. Okrem nich sa často používal aj Seljaninov hydrotermický koeficient a Langov dažďový faktor, či Budykov radiačný index. Každý z týchto indexov má svoje nedostatky, ale aj výhody. Napríklad Končekov index zavlaženia je založený len na charaktere počasia v zime a vo vegetačnom období. Mesiace marec, október a november sa tak neberú do úvahy, no na posúdenie sucha pre celý rok sú taktiež dôležité a nemôžu sa vynechať. Okrem toho, Končekov index zavlaženia nemôžeme vypočítať pre jednotlivé mesiace.

V roku 1973 sa začal u nás používať NDVI index. NDVI je uznávaný na celom svete, najmä v Spojených štátoch amerických [7]. Jeho výpočet má svoje úskalia, a je to zložitý a nákladný proces. Okrem toho má svoje limity a dá sa vypočítať len pre bezoblačné dni.

V minulom roku sa pre projekt Atlas Slovenska vypočítali Palmerove indexy PDSI a Z-index spolu s relatívnym rPDSI a rZ-indexom. Relatívne indexy rPDSI a rZ-index sú veľmi vhodné, keď chcete zistiť, v ktorej oblasti bolo reálne najintenzívnejšie sucho, pretože umožňujú porovnávať intenzitu sucha na všetkých staniciach navzájom. Ich nevýhodou je, že sú použiteľné len na Slovensku, pretože všetky vstupné údaje zrážok a teploty vzduchu sa vzťahujú na ich dlhodobý priebeh na referenčnej slovenskej stanici, teda hodnoty týchto relatívnych indexov sú nepoužiteľné pre porovnanie so zahraničnými stanicami.

Tento rok sa na Slovensku vypočítal ešte SPI index zatiaľ pre 94 zrážkomerných staníc v rokoch 1961 až 2013. Postupne by sme chceli zahrnúť do monitoringu sucha aj iné indexy, napr. SWSI a SPEI.

Sucho je veľmi komplexný pojem. Poznáme meteorologické, hydrologické, poľnohospodárske či socioekonomické sucho. Vo svete je najviac uznávaný SPI index. Je to veľmi jednoduchý index, pretože zohľadňuje len úhrn zrážok v jednotlivých mesiacoch. Intenzita sucha však závisí od viacerých činiteľov. Pri dvoch mesiacoch s rovnakým úhrnom zrážok sa sucho viacej prejaví v mesiaci s vyššou priemernou teplotou pôdy a s vyššou evapotranspiráciou. V letných mesiacoch je teda dopad sucha, napr. pri mesačnom úhrne zrážok 20 mm, vyšší ako v zimných mesiacoch. Preto je vhodnejšie na posúdenie sucha použitie SPEI indexu. SPEI index je obdobou Tomlainovho klimatického ukazovateľa zavlaženia. Jeho výpočet je založený na výpočte rozdielu zrážok a potenciálnej evapotranspirácie  $R - E_0$ . Ku každému takto vypočítanému rozdielu je podobne ako pri SPI priradená hodnota pravdepodobnosti výskytu v danom mesiaci. Hodnoty podobne ako pri SPI sú zvyčajne v intervale -4,00 až 4,00. Tento index lepšie vystihuje sucho, lebo je kombináciou vlhkosťných, teplotných a radiačných podmienok. Preto bude snaha aj na Slovensku o jeho uplatnenie.

Palmerove indexy sú tiež veľmi vhodné na hodnotenie sucha, pretože okrem zrážok a evapotranspirácie zohľadňujú aj zásobu vody v pôde a druh pôdy, ktorý je vymedzený hodnotou využiteľnej vodnej kapacity. Je dôležité takto rozdeliť pôdy, pretože aj pri tých istých zrážkových a výparových podmienok môže byť dopad sucha odlišný pre rôzne pôdne druhy. Ďalšou výhodou

Palmerových indexov je, že sa dajú vypočítať aj v týždennom kroku. PDSI je dobrý na zhodnotenie dlhotrvajúceho stavu pôdy a Z-index zase na zhodnotenie krátkodobého stavu pôdy. Pomocou týchto indexov môžeme teda pristupovať k určeniu intenzity suchu z krátkodobého aj dlhodobého hľadiska v mesačnom aj týždennom kroku a spolu s SPEI sa ukazujú ako najvhodnejšie indexy na hodnotenie sucha.

WMO navrhla a schválila radu ďalších indexov sucha ako sú SWSI, RDI (reclamation drought index), ADI (aggregate dryness index), SDI (streamflow drought index), EDI (effective drought index) atď. Tieto indexy však sa používajú len obmedzene a na Slovensku sa zatiaľ ešte nepočítali, preto sa o ich spoľahlivosti nevieme vyjadriť.

Na záver preto odporúčame ako najvhodnejšie a najlepšie indexy sucha SPEI, PDSI a Z-index, a ako ich doplnok SPI index.

## **Záver**

Najviac vo svete sa používajú indexy SPI a PDSI. SPI je vhodný na sledovanie deficitu zrážok v jednotlivých mesiacoch, prípadne za posledných 3, 6, 9, 12 a 24 mesiacov. Je vhodný na sledovanie jednotlivých ročných období a vegetačného obdobia. Hodnoty však reprezentujú len danú lokalitu a jej deficit zrážok oproti dlhodobému priemeru zrážok.

PDSI môžeme sledovať po jednotlivých mesiacoch, ale aj jednotlivých týždňoch. Je však dôležité zdôrazniť, že je to kumulatívny index, to znamená, že konkrétna hodnota PDSI v danom týždni reprezentuje akýsi dlhodobý stav. Ak bolo dlhodobo vlhké obdobie a po ňom bude nasledovať len pár suchých týždňov, tak hodnoty PDSI ešte stále môžu byť vysoké. To isté platí aj opačne. Na posúdenie každého týždňa sú teda vhodnejšie indexy Z-index a CMI (Crop Moisture Index). Z-index nemá pamäť, teda jeho hodnota skutočne reprezentuje mieru sucha v lokalite v danom týždni. PDSI aj Z-index však opäť opisujú iba akýsi rozdiel oproti dlhodobému priebehu zrážok na danej stanici. Na lepšie porovnanie je lepší CMI index. Týždenné mapy CMI a PDSI sa zobrazujú pravidelne v Spojených štátoch amerických v Climate Prediction Center, NOAA.

Pri každej mapke, mesačnej resp. týždennej by bola legenda, ktorá by vysvetľovala, do akej miery je oblasť postihnutá suchom podľa intervalu hodnôt jednotlivých indexov sucha. Pri výpočte indexov za posledný týždeň by sa uvažovali klimatologické stanice, ktoré pravidelne denne posielajú správu INTER. Týždenné hodnoty Palmerových indexov sa dajú počítať len v konkrétnych týždňoch. Prvý týždeň v roku začína 1.1. a končí 7.1., potom druhý začína 8.1. a končí 14.1. atď. Teda nedá sa spočítať index sucha napr. od 2.1. do 8.1. Palmerovými indexmi môžeme charakterizovať aj obdobie 2, 4 a 13 týždňov. Pri mesačných hodnotách Palmerových indexov je možné s určitým časovým odstupom (pokým nabehnú údaje v databáze) použiť stanice, ktoré posielajú výkazy. Pri SPI sa využívajú mesačné úhrny, takže tam by sa mohli použiť všetky zrážkomerné stanice, ale výpočet samotného indexu by bol opäť s časovým odstupom dvoch a viac mesiacov. Pre lepšie porovnanie staníc navzájom je možné zrátať tzv. relatívny rPDSI a rZ-index. Každá hodnota týchto indexov na konkrétnej stanici sa vzťahuje v tomto prípade na dlhodobý priebeh zrážok a teplôt na referenčnej stanici, ktorú sme získali spriemerovaním všetkých staníc zahrnutých do výpočtu. Za najvhodnejšie indexy navrhujeme PDSI aj rPDSI v týždennom kroku na posúdenie dlhodobého stavu a tiež Z-index a rZ-index na posúdenie konkrétneho týždňa vzhľadom na dlhodobý priebeh zrážok a teplôt na konkrétnej stanici a pri relatívnych indexoch vzhľadom na dlhodobý priebeh zrážok a teplôt na referenčnej slovenskej stanici.

## **Literatúra:**

- [1] Lapin, M., Tomlain, J.: Všeobecná a regionálna klimatológia, Vydavateľstvo UK, Bratislava, 2001, 184 s.
- [2] Tomlain, J.: Contribution to humid condition of Slovakia, Acta Meteorology of University Comenius, Bratislava, 2004, p. 26-27.
- [3] Palmer, W.C.: Meteorological Drought, U.S. Department of Commerce, Washington, 1965, p.59
- [4] Klementová, E. a kol.: Výskyt sucha a analýza zrážok pri jeho výskyte v jarných mesiacoch, Acta Hydrologica Slovaca, UH SAV Bratislava, 2001, s. 198-205.
- [5] McKee, T.B. et al., The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, Colorado State University, 1993, p.6
- [6] WMO, Standardized Precipitation Index, User Guide, WMO - No. 1090, 2012, p. 24
- [7] Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317.