

## **Palmerův index závažnosti sucha a jeho aplikace pro lokalitu Žabčice**

*Tomáš Litschmann, Amet Velké Bílovice*

*Jaroslav Rožnovský, Český hydrometeorologický ústav Brno*

### **Úvod**

Sucho patří k průvodním jevům našeho klimatu a je jevem, s nímž je nutno počítat jak v zemědělské praxi, tak i ve vodním hospodářství a dalších odvětvích. Výraznost suchých období bývá různá, od krátkodobých přísušků až po několikaměsíční či dokonce roční období s nízkými úhrny srážek. Následky sucha mohou být rovněž rozdílné v závislosti na ročním období, v němž se sucho vyskytne, na sledované plodině a jejím vývojovém stadiu apod. Lze proto oprávněně i předpokládat, že metody hodnocení výraznosti sucha budou rozdílné a jejich výstupy se mohou navzájem lišit.

Ve světě byla vypracována celá řada metod na kvantifikaci sucha, přičemž ty jednodušší berou v úvahu pouze množství spadlých srážek (procenta normálu, decily, standardizovaný index srážek, efektivní srážky atd.), složitější pak uvažují i s proměnlivým vlivem teploty na výpar a další bilanční metody již přímo počítají s evapotranspirací buď standardního travního porostu anebo přímo dané plodiny (většinou sója anebo i další obiloviny). U nás často používané indexy, jako např. Langův dešťový faktor, Končekův index zavlažení, hydrotermický koeficient Seljaninova, Minářův index vláhové jistoty apod. byly svými autory zamýšleny původně jako klimatické ukazatele k rozlišení jednotlivých oblastí a méně pak již k hodnocení průběhu povětrnosti na jednom stanovišti, popřípadě k vyjádření závažnosti sucha.

Jestliže rok 1997 ukázal na naše nedostatky v případě povodní, naopak rok 2000 odhalil, že ani na výskyt sucha nejsme zcela připraveni. Výskytu přívalových dešťů a následnému rozvodnění toků je v naší klimatologické a hydrologické literatuře věnována podstatně větší pozornost než opačnému extrému, který nepřichází zcela náhle, může však postihnout rozsáhlejší území.

Přes své některé kritiky (např. Alley, 1984) je v USA poměrně rozšířen Palmerův index závažnosti sucha (Palmer Drought Severity Index – PDSI), vytvořený v šedesátých letech W. C. Palmerem a sloužící ke kvantifikaci sucha na rozsáhlém území s rozdílnými pedologickými a klimatickými poměry. Při jeho konstrukci Palmer stanovil kritéria tak, aby výjimečně vlhký měsíc uprostřed suchého období příliš neovlivnil hodnotu indexu, stejně tak jako série měsíců s přibližně normálními srážkami následující po suchém období ještě neznamená, že již sucho skončilo.

Palmerův index zohledňuje jak klimatické charakteristiky dané oblasti, tak i její základní pedologické hydrolimity. Znamená to tedy, že stejná hodnota Palmerova indexu v různých oblastech by v nich měla mít přibližně i stejné ekonomické dopady.

Je-li tento index rozšířen v USA, kde jsou pravidelně k dispozici na INTERNETU aktualizované údaje o situaci jak v některých státech (viz např. obr. 1 pro stát Texas), tak i na celém území USA, pak v Evropě byly doposud činy sporadické pokusy o jeho implementaci. Poznatky nejbližší našemu území i cíli lze nalézt v práci Szinella a kol (1998), používající Palmerova indexu ke zjišťování tendencí ve výskytu sucha na území Maďarska, stoleté řady ze 600 srážkoměrných stanic na území Evropy byly vyhodnoceny pomocí tohoto indexu v práci Briffa a kol (1994) ve svých vzájemných prostorových souvislostech.

Mezi některé příčiny, kvůli nimž nebyl Palmerův index v našich podmínkách doposud podrobněji ověřen, lze pravděpodobně zařadit jednak to, že suchá období se doposud vyskytovala s nižší frekvencí, jednak i to, že jeho stanovení je náročnější na výpočetní operace, takže jeho výpočet před obdobím osobních počítačů byl u nás obtížný a hledaly se jiné cesty, jak kvantifikovat suchá období. Z této doby je i např. práce Kotta (1992).

Domníváme se, že i u nás bychom měli mít nějakou vyzkoušenou metodu, umožňující průběžně kvantifikovat závažnost sucha v jednotlivých lokalitách, umožňující v případě potřeby učinit operativní opatření na příslušném území. Dříve, než se pokusíme jít nějakou vlastní specifickou cestou, není určitě na škodu se podívat, jak k dané problematice přistupují v krajinách, kde se sucho vyskytuje

častěji než u nás a v nichž mají bohatší zkušenosti a pokusit se ověřit některé jejich metody v našich podmínkách.

### Postup výpočtu PDSI

Podařilo se nám získat přímo z USA zdrojový program na výpočet měsíčních hodnot PDSI, což má nespornou výhodu v tom, že je možno si jej upravovat podle vlastních potřeb, především pak vstupy a výstupy dat, stejně tak i jako měnit jednotlivé empirické koeficienty a sledovat projevy této změny na výsledné hodnotě PDSI. Rovněž studium zdrojového kódu umožňuje lépe pochopit celkovou filozofii výpočtu a použití jednotlivých rovnic. Není bez zajímavosti, že tento zdrojový program je napsán v jazyce FORTRAN, což svědčí jednak o tom, že v zemi vzniku PDSI je stále používána původní verze, která prošla pouze několika drobnými úpravami, jednak i o tom, že FORTRAN není ještě zcela mrtvý jazyk a je vhodný pro vědeckotechnické výpočty, přičemž programy v něm napsané běží na současných počítačích poměrně rychle i při značném objemu zpracovávaných dat.

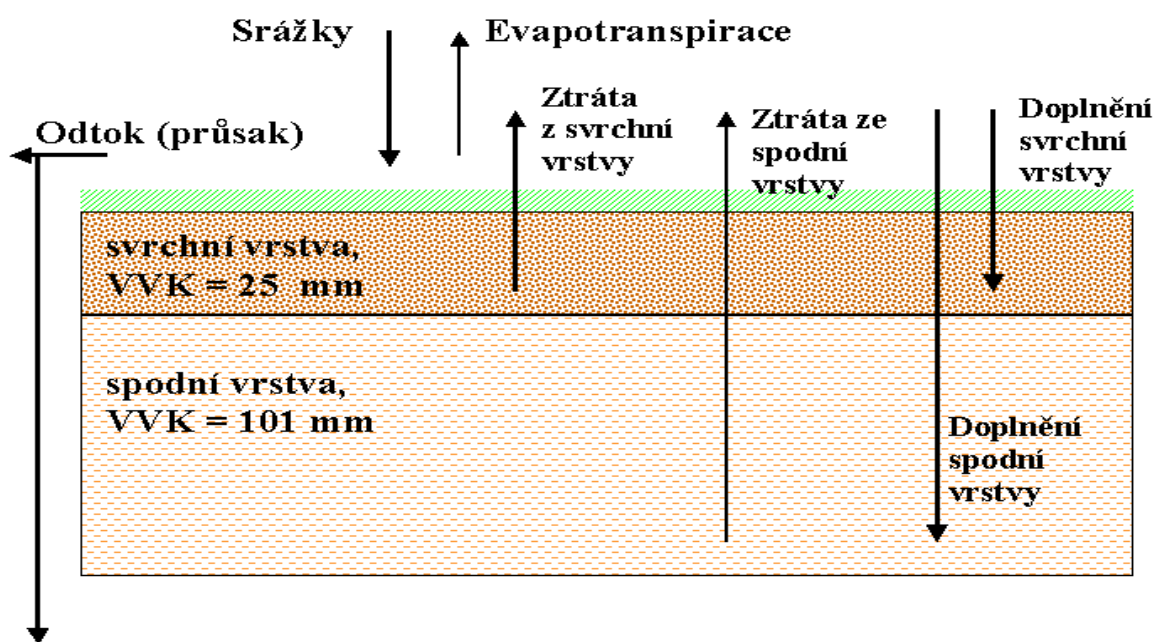
Výpočet PDSI probíhá ve dvou krocích:

1. výpočet koeficientů  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  a  $\delta$  na základě bilancování zásob půdní vláhy během referenčního období pro danou lokalitu. PDSI lze počítat pouze pro lokality, které mají delší řadu měření, aby bylo možno odvodit reálné parametry jejich klimatu.

K této bilanci je použito srážkových údajů a vypočítané evapotranspirace, v původní verzi pomocí Thornthwaita, v našich výpočtech byla evapotranspirace počítána Penmannovy-Monteithovy rovnicí, která je uznávaným standardem FAO.

Při tomto výpočtu vláhové bilance je půdní profil rozdělen na dvě vrstvy, přičemž svrchní má vždy hodnotu využitelné vodní kapacity (VVK) rovnou 25 mm (1" v originálním podání). V závislosti na druhu půdy je mocnost této vrstvy rozdílná. Druhá vrstva má hodnotu VVK již odpovídající danému druhu půdy a hloubce bilancování. V našich výpočtech pro Žabčice jsme uvažovali hloubku bilancování do 60 cm při VVK = 126 mm, takže po odečtení VVK svrchní vrstvy 25 mm byla VVK pro spodní vrstvu rovna 101 mm (viz obr. 1).

### Schéma prvku vodní bilance v dvouvrstevovém modelu

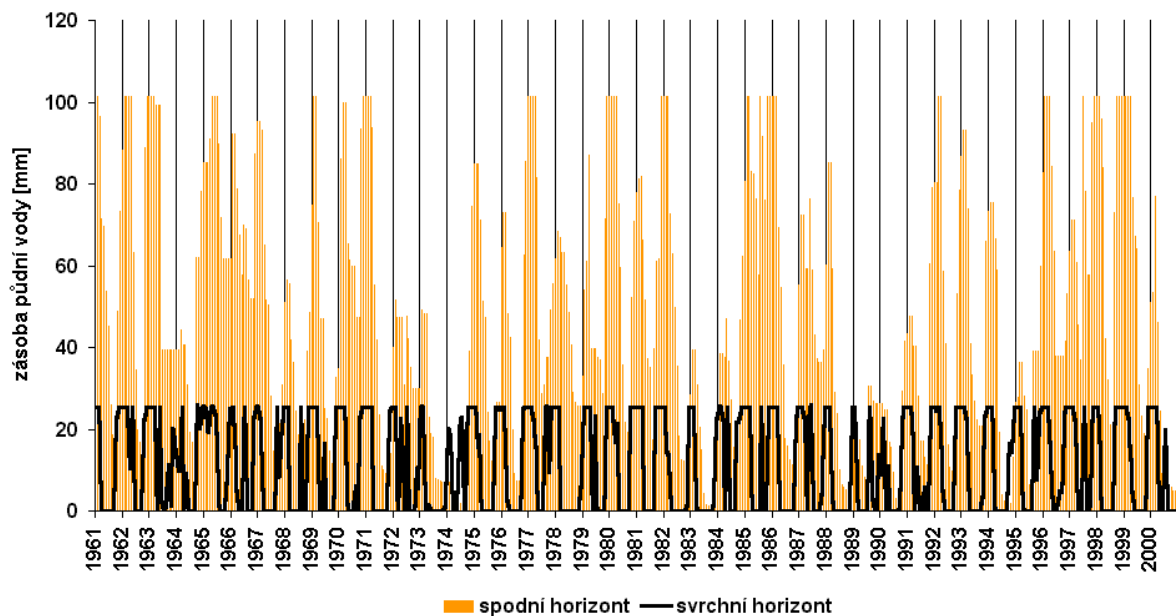


Obr. 1

Algoritmus výpočtu předpokládá, že:

- doplnění (spotřeba) vláh ve spodním horizontu nastává až tehdy, je-li nasycen (vyčerpán) horizont svrchní
- ztráta vody evapotranspirací nastává tehdy, převyšuje-li ve výpočtovém období srážky
- ztráta vody evapotranspirací ve svrchním horizontu je rovna potenciální
- ztráta vody ve spodním horizontu je funkcí počátečního obsahu vody v tomto horizontu, potenciální evapotranspirace a využitelné vodní kapacity obou horizontů
- odtok (průsak) vody nastává tehdy a jen tehdy, je-li v obou horizontech dosaženo jejich využitelné vodní kapacity

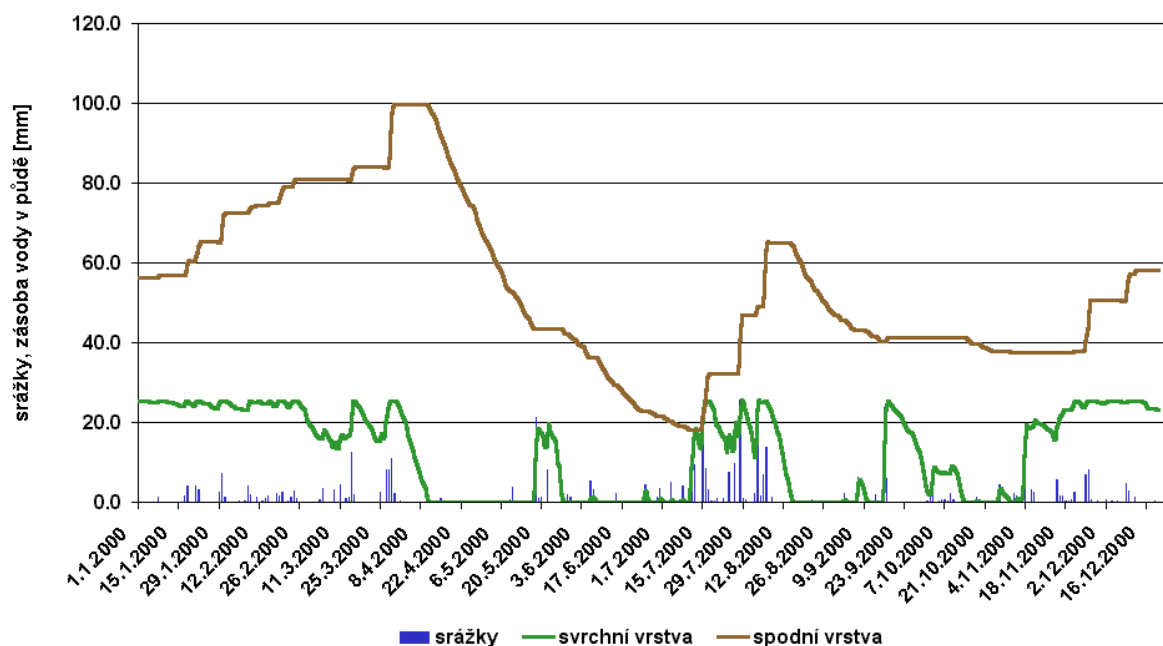
**Průběh zásoby vody v jednotlivých vrstvách podle Palmera v Žabčicích za období 1961-2000**



Obr. 2

Jak to vypadá konkrétně lze sledovat na obr. 2, kde jsou vyneseny zásoby vláh v jednotlivých měsících od r. 1961 až do r. 2000. Lze si tak udělat názornou představu zejména o tom, že v některých letech nedocházelo k doplnění zásob půdní vláh v zimním a jarním období. Nejhorší na tom byl pravděpodobně rok 1974 a pak počátek devadesátých let. Podrobnější průběh v roce 2000 ukazuje obr. 3. Během zimního období docházelo k postupnému doplňování spodní vrstvy a až teprve srážky v posledních dnech března způsobily, že bilancovaná vrstva 60 cm se nasýtila. Od tohoto okamžiku nastalo postupné vyčerpávání vláh, které bylo ukončeno v druhé polovině července, kdy se vyskytly poměrně vydatné srážky.

**Průběh zásoby vody v půdě v jednotlivých vrstvách (Žabčice 2000)**



Obr. 3

K tomu, aby bylo možno vypočítat potřebné koeficienty  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  a  $\delta$  Palmer definuje následující veličiny:

- potenciální doplnění (PR – potential recharge) – množství vláhy, potřebné k doplnění profilu na využitelnou vodní kapacitu (AWC)

$$PR = AWC - (S_s + S_u)$$

kde

$S_s$  – zásoba vláhy ve svrchním horizontu (mm)

$S_u$  – zásoba vláhy ve spodním horizontu (mm)

- potenciální ztráta (PL – potential loss) – množství vláhy, která může být odebrána z půdy evapotranspirací v případě nulových srážek v daném měsíci

- potenciální odtok (PRO – potential runoff) – rozdíl mezi potenciálními srážkami a potenciálním doplněním. Palmer předpokládá, že potenciální srážky jsou rovny využitelné vodní kapacitě, takže

$$PRO = AWC - PR = S_s + S_u$$

Jak sám autor dodává, není to právě nejelegantnější řešení tohoto problému, avšak po dobu jeho používání zatím nikdo nepřišel s něčím lepším.

Pomocí těchto charakteristik jsou odvozeny čtyři koeficienty, potřebné k výpočtu vodní bilance v j - tém měsíci. Jsou to:

$$\alpha_j = \frac{\overline{ET}_j}{\overline{PE}_j}$$

$$\beta_j = \frac{\overline{R}_j}{\overline{PR}_j}$$

$$\chi_j = \frac{\overline{RO}_j}{\overline{PRO}_j}$$

$$\delta_j = \frac{\overline{L}_j}{\overline{PL}_j}$$

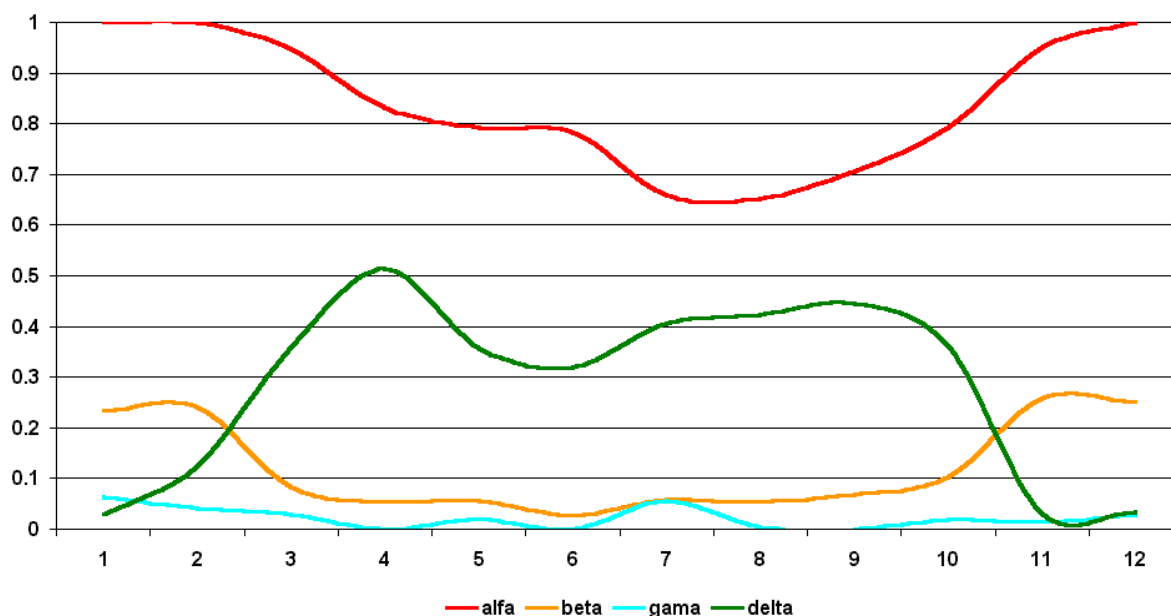
Ve své podstatě vyjadřují poměr průměrných aktuálních hodnot (pruh nad symbolem značí, že se jedná o dlouhodobý průměr pro j-tý měsíc za celé kalibrační období) dané veličiny v jednotlivých měsících k jejich potenciálním hodnotám pro danou lokalitu.

Srážky, příslušné pro dané místo (v podstatě se jedná o dlouhodobý srážkový průměr) lze s použitím těchto koeficientů rozepsat jako

$$\overline{P}_j = \alpha_j PE_j + \beta_j PR_j + \chi_j PRO_j - \delta_j PL_j$$

Na obr. 4 je ukázka průběhu těchto koeficientů za období 1961-2000 pro Žabčice. Je zřejmé, že v důsledku převahy potenciální evapotranspirace nad srážkami klesá v průběhu vegetačního období poměr skutečné a potenciální evapotranspirace, stejně tak i koeficienty  $\beta$  a  $\gamma$  (snižuje se skutečný odtok a nedochází k doplňování půdní vláhy), zatímco koeficient  $\delta$  mírně vzrůstá, tak jak je odebírána akumulována vláha v půdním profilu.

**Hodnoty koeficientů v jednotlivých měsících pro Žabčice za období 1961-2000**



Obr. 4

## 2. Výpočet indexu odchylky vlhkosti Z a PDSI

Při druhém průchodu řadou naměřených hodnot od počátku kalibračního období se již počítá pouze se stanovenými koeficienty a měsíčními hodnotami srážek a potenciální evapotranspirace.

Odchylku srážek v daném měsíci od normálu lze pak vyjádřit jako

$$d_i = P_i - \bar{P}_i$$

Index odchylky půdní vlhkosti  $Z_i$  pro měsíc  $i$  je vyjádřen jako

$$Z_i = K_j d_i$$

přičemž  $K_j$  je empirický koeficient, umožňující na základě údajů z kalibračního období přiřadit indexu  $Z_i$  vhodné měřítko. Stanovuje se na základě rovnice:

$$K_j = \left( \frac{17.67}{\sum_{i=1}^{12} D_j K'_j} \right) K'_j$$

kde  $D_j$  – průměr absolutních hodnot odchylek  $d$  za kalibrační období pro každý měsíc v roce

$$K'_j = 1,5 \log \left( \frac{\frac{PE_j + R_j + RO_j}{P_j + L_j} + 2,8}{D_j} \right) + 0,5$$

V původní Palmerově práci koeficient 17.67 znamená průměrnou hodnotu výrazu  $\sum_{j=1}^{12} D_j K'_j$  pro devět

oblastí, které si vybral pro ověření a v nichž se hodnoty těchto sum pohybovaly v rozmezí od 12,46 do 20,97. Tento korekční faktor umožňuje zařadit výpočet provedený pro danou lokalitu do širší oblasti.

Pro stanici Žabčice vychází hodnota  $\sum_{j=1}^{12} D_j K'_j$  za zpracované období 1961 – 2000 rovna 14,54,

nevybočuje tedy z rozpětí oblasti, pro níž byl Palmerův index původně stanoven.

V případě větších odchylek je možno upravit některé empirické koeficienty tak, aby lépe vyhovovaly dlouhodobým klimatickým podmínkám dané oblasti, tak jak je navrženo v práci Akinremiho a McGinna (1996).

V tab.1 je orientační stupnice, podle níž je možno posoudit závažnost sucha v příslušném měsíci na základě indexu  $Z$ .

hodnota indexu $Z$	charakteristika měsíce
>3.50	Extremně vlhký
2.50 - 3.49	Silně vlhký
1.00 - 2.49	Mírně vlhký
-1.24 – 0.99	Blízko normálu
-1.99 – 1.25	Mírně suchý
-2.74 - -2.00	Silně suchý
< -2.75	Extremně suchý

Tab. 1

Na obr. 4 je průběh měsíčních hodnot indexu  $Z$  za celé studované období 1961-2000. Je zřejmé, že nejvlhčí perioda byla v roce 1997, z téhož roku je i největší povodeň ve druhé polovině XX. stol. na Moravě, nejsušší období se vyskytlo v dubnu roku 1974.

Z křivky překročení, uvedené pro index  $Z$  na obr. 5 vyplývá, že za zpracované období bylo 13 % všech měsíců silně suchých, z toho 11 % lze zařadit do kategorie extrémně suchých. Vazba tohoto indexu na měsíční úhrny srážek je poměrně těsná, koeficient korelace dosahuje pro Žabčice hodnotu 0.79. Na

obr. 5 je vykreslena i křivka překročení tohoto indexu udávaná pro USA. Jak je vidět, četnosti jednotlivých hodnot jsou velmi podobné jak pro Žabčice, tak i pro USA, což by mohlo ukazovat na poměrnou univerzálnost tohoto indexu pro různé oblasti.

Jak je zřejmé z rovnice pro výpočet indexu Z, berou se v úvahu pouze srážky a výpar v daném měsíci, nikoliv již však charakter předchozích měsíců. Aby byla zajištěna vazba mezi jednotlivými měsíci, je PDSI počítán jako:

$$PDSI_i = 0.897PDSI_{i-1} + 0.33Z_i$$

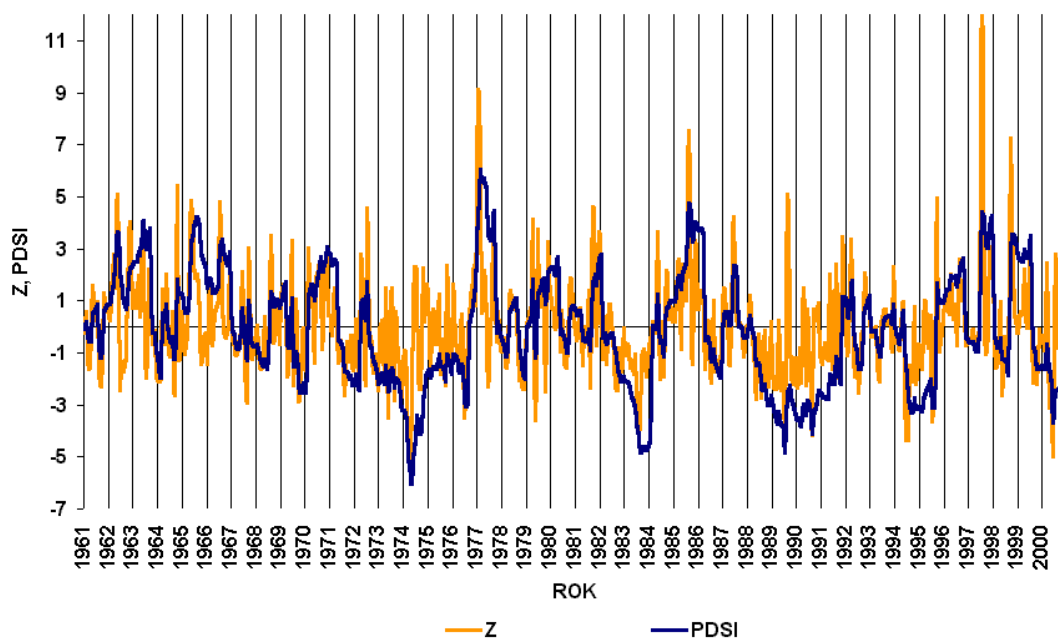
Aby však byly splněny podmínky, které si Palmer položil na počátku práce, t.j. že ojedinělý výskyt vlhkého měsíce neznamena ještě konec suchého období (a naopak), stejně tak jako období s normálními srážkami následující po období sucha (vlhka), je počítána tato rovnice pro tři různé indexy  $X_1$ ,  $X_2$ , a  $X_3$ .

$X_1$  – index závažnosti pro nastupující vlhké období

$X_2$  – index závažnosti pro nastupující suché období

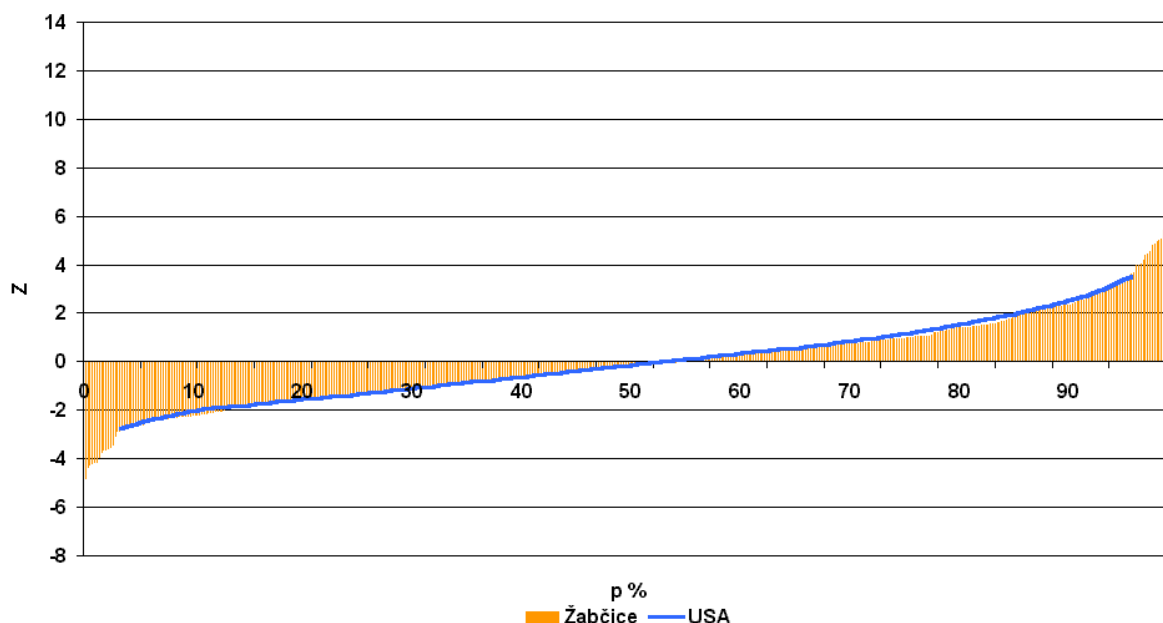
$X_3$  – index závažnosti pro vzniklé suché anebo vlhké období

**Porovnání průběhu hodnot indexu Z a PDSI pro Žabčice (1961-1990)**



Obr. 4

**Křivka překročení měsíčních hodnot indexu Z (Žabčice, 1961-2000)**



Obr. 5

Index  $X_1$  je vždy nezáporný, zatímco  $X_2$  vždy záporný anebo roven nule. Při překročení těchto mezí se příslušný index vždy vynuluje a jeho výpočet začíná znovu. Suché období nastává tehdy, je-li hodnota indexu  $X_2 \leq -1.0$ , vlhké v případě že  $X_1 \geq 1.0$ . To vše za předpokladu, že předcházející suché anebo vlhké období skončilo. V těchto případech se hodnota indexu  $X_3 = X_1$  pro vlhké období a  $X_3 = X_2$  v případě nastupujícího suchého období. Pomocí zvláštních pravidel se pak vybere za hodnotu indexu PDSI v daném měsíci jeden s těchto tři indexů.

Tab. 2 obsahuje slovní charakteristiku příslušející jednotlivým hodnotám PDSI. Použitím jiných pravidel při výběru z hodnot  $X$  lze obdržet Palmerův index hydrologického sucha (Palmer Hydrological Drought Index - PHDI)

Hodnota indexu PDSI	Charakteristika měsíce
$\geq 4,00$	Extrémně vlhký
3,00 až 3,99	Velmi vlhký
2,00 až 2,99	Mírně vlhký
1,00 až 1,99	Slabě vlhký
0,50 až 0,99	Období začínajícího vlhka
0,49 až -0,49	Blízko normálu
-0,50 až 0,99	Období začínajícího sucha
-1,00 až -1,99	Slabě suchý
-2,00 až -2,99	Mírně suchý
-3,00 až -3,99	Silně suchý
$\leq -4,00$	Extrémně suchý

Tab. 2 Slovní vyjádření hodnot PDSI

Průběh vypočítaných hodnot PDSI za období 1961-2000 je na obr. 4. Vyplývá z něj, že nejvlhčí období bylo v letech 1977 a 1985, zatímco nejsušší nebylo v roce 2000, nýbrž roce 1974, kdy dosáhla hodnota PDSI  $-6,05$ , což značí extrémně suchý měsíc. V roce 2000 byla nejnižší hodnota PDSI v červnu,  $-3,7$ , ke konci roku se pak prohloubila ještě až na  $-4,14$ .



### **Závěr:**

Z předchozího zpracování se zdá být celkem reálné, že by PDSI mohl být vhodným ukazatelem závažnosti sucha i v našich podmínkách. Je však zapotřebí výpočty provést pro větší počet lokalit a porovnat reálnost vzniklých rozdílů. Rovněž posouzení vztahu mezi PDSI a ekonomickou činností by bylo žádoucí.

**Poděkování:** Výsledky předkládané v příspěvku jsou součástí řešeného grantového projektu GA ČR, č. 205/99/1561.

### **Literatura:**

- AKINREMI, O.O., MCGINN, S.M.: Evaluation of the Palmer Drought Index on the Canadian Prairies. *Journal of Climate*, Vol. 9, 1996, s. 897-905
- ALLEY, M.W.: The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions. *Journal of climate and applied meteorology*, Vol. 25, 1984 s. 1100 – 1109
- BRIFFA, K., R. et al.: Summer moisture variability across Europe, 1892-1991 an analysis based on the Palmer Drought Severity Index: *International Journal of climatology*, vol.14 1994
- CARL T.R.: The Sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-Index to their Calibration Coefficients Including Potential Evapotranspiration, *Journal of climate and applied meteorology*, Vol. 25, National climatic data center 1986
- CVELIHAROVÁ, K.: Metódy hodnotenia sucha a ich aplikácia na vybranú lokalitu. Diplomová práca, Bratislava 2001, 72 s.
- HORVÁTH, S. et al.: Spatial and Temporal Variations of the Palmer Drought Severity Index in South-East Hungary.
- KLEMENTOVÁ E., LITSCHMANN, T.: Hodnotenie sucha s ohľadom na doplnkové závlahy. IX. Mezinárodní zahradnická konference, Lednice na Moravě, 3.-6.9.2001,
- KOTT I.: Vláhová bilance na území České republiky v letech 1974-1990. ČHMÚ Praha, 1992, 125 s.