

Palmerův index závažnosti sucha a jeho použití v našich podmínkách

Tomáš Litschmann, Amet Velké Bílovice
Eva Klementová, Stavebná fakulta Slovenskej technickej univerzity
Jaroslav Rožnovský, Český hydrometeorologický ústav Brno

SUMMARY

In the article is shown the procedure of calculation PDSI out of precipitation data and data of potential evapotranspiration. The calculation push from stations Hurbanovo and Žabčice and is applied for time range 1961 – 2000. It indicates that the conditions of both spots are not much different to conditions of the region in USA for which PDSI was implied. The fact that the index was used for the first time in 1965 and is employed till now should suggest that its construction is so sophisticated to be worthy for applying it also by us.

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.

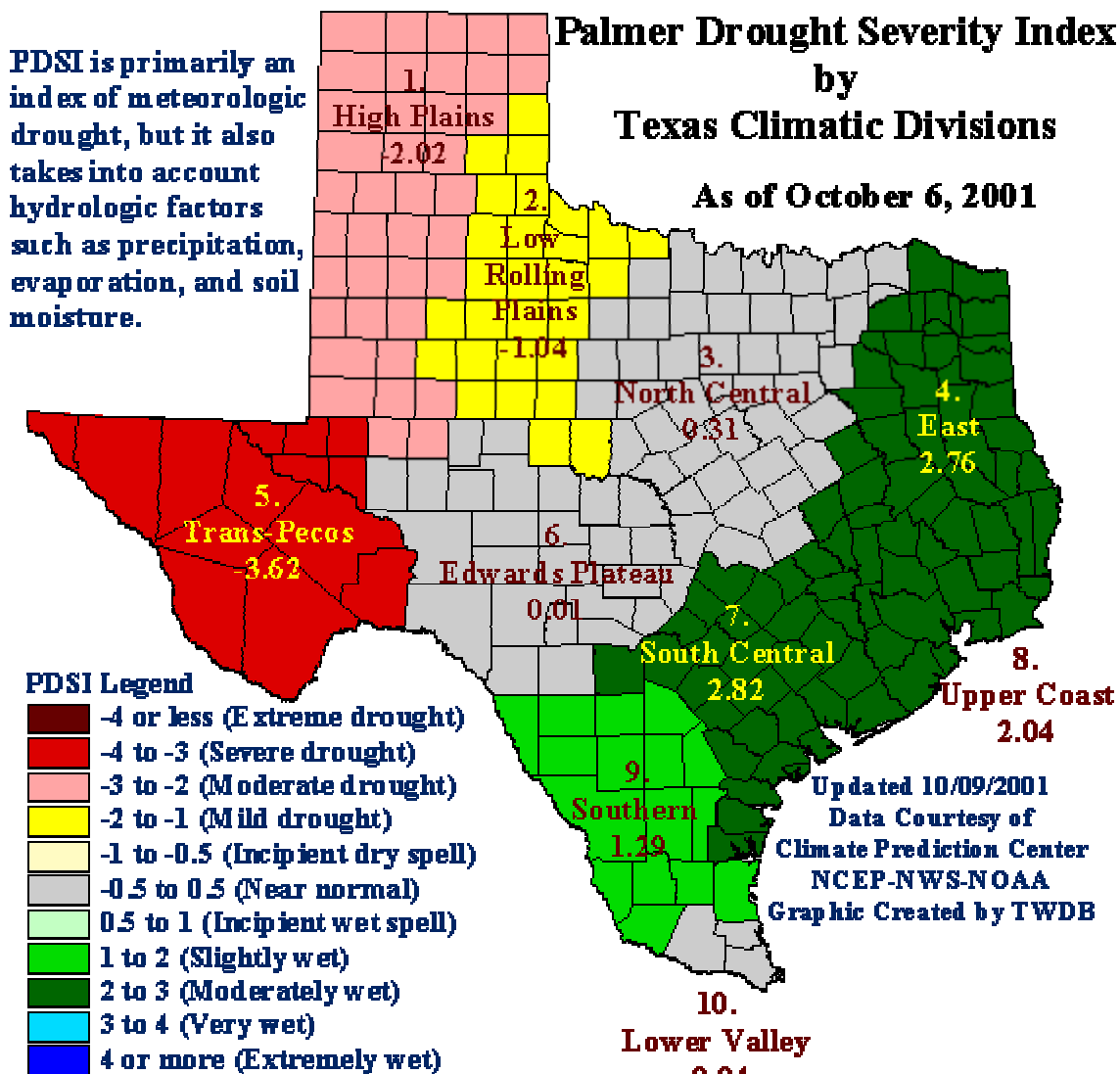
Palmerův index zohledňuje jak klimatické charakteristiky dané oblasti, tak i její základní pedologické hydrolimity. Znamená to tedy, že stejná hodnota Palmerova indexu v různých oblastech by v nich měla mít přibližně i stejné ekonomické dopady.

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 činěny 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. Některé částečné poznatky v tomto směru lze získat v práci Cveliharové (2001).



Obr. 1 Mapové zobrazení PDSI pro stát Texas (USA) k 6.9.2001

Postup výpočtu PDSI

Podářilo 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.

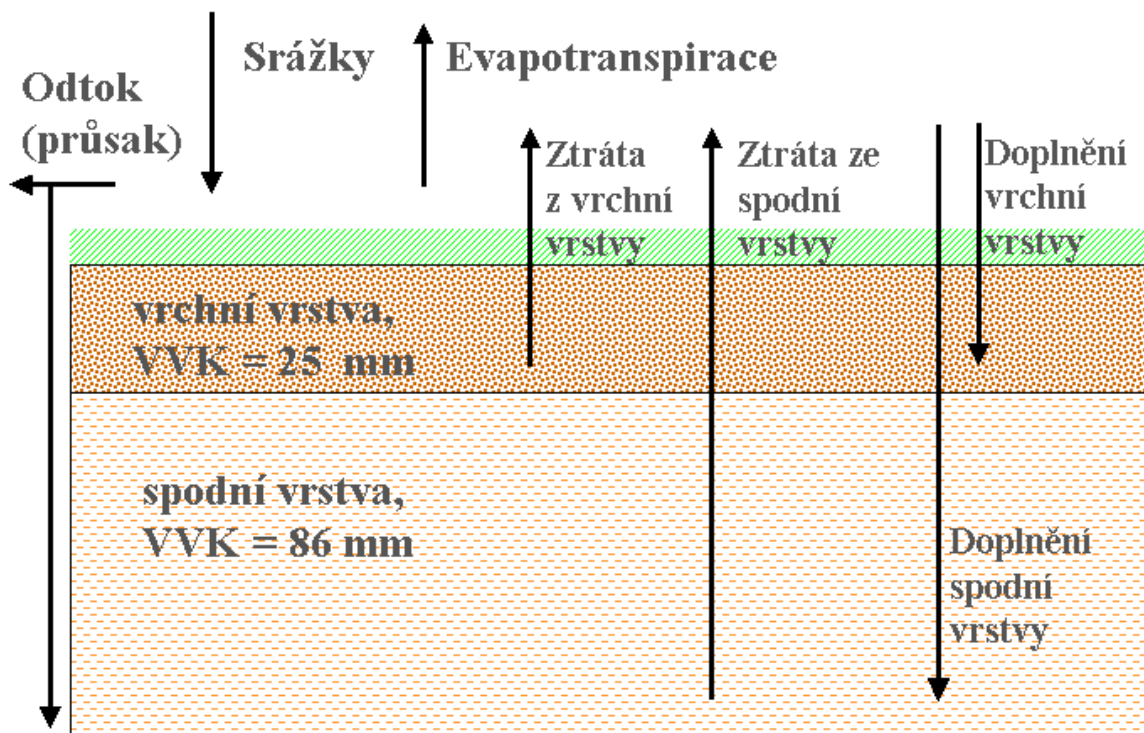
Výpočet PDSI probíhá ve dvou krocích:

1. výpočet koeficientů α , β , γ a δ 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 Hurbanovo jsme uvažovali hloubku bilancování do 60 cm při VVK = 111 mm, takže po odečtení VVK svrchní vrstvy 25 mm byla VVK pro spodní vrstvu rovna 86 mm (viz obr. 2).

Schéma prvků vodní bilance v dvouvrstevovém modelu



Obr. 2

Algoritmus výpočtu předpokládá, že:

- doplnění (spotřeba) vláhy 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

Podrobnější rozbor této metody vláhové bilance byl proveden v práci Klementová, Litschmann (2001). K tomu, aby bylo možno vypočítat potřebné koeficienty α , β , γ a δ 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:

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

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

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

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

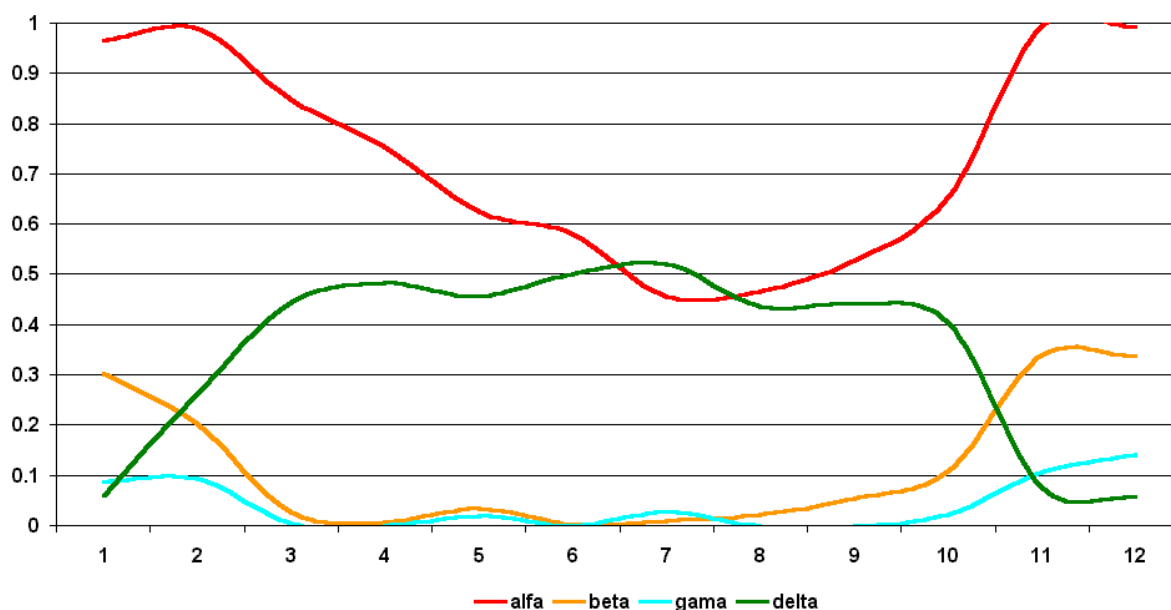
Ve své podstatě vyjadřují poměr průměrných aktuálních hodnot (pruh nad symbolem značí, že se jedná o dlouhodobý průměr pro j-tý měsíc za celé kalibrační období) dané veličiny v jednotlivých měsících k jejich potenciálním hodnotám pro danou lokalitu.

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

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

Na obr. 3 je ukázka průběhu těchto koeficientů za období 1961-2000 pro Hurbanovo. Je zřejmé, že v důsledku převahy potenciální evapotranspirace nad srážkami klesá v průběhu vegetačního období poměr skutečné a potenciální evapotranspirace, stejně tak i koeficienty β a γ (snižuje se skutečný odtok a nedochází k doplňování půdní vláhy), zatímco koeficient δ mírně vzrůstá, tak jak je odebírána akumulovaná vláha v půdním profilu.

Hodnoty koeficientů v jednotlivých měsících pro Hurbanovo za období 1961-2000



Obr. 3

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 Hurbanovo vychází hodnota $\sum_{j=1}^{12} D_j K'_j$ za zpracované období 1961 – 2000 rovna 17,00,

tedy velmi blízká průměru 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	Extrémně suchý

Tab. 1

Na obr. 4 je průběh měsíčních hodnot indexu Z za celé studované období 1961-2000. Je zřejmé, že nejvlhčí perioda byla kolem roku 1965, z téhož roku je i největší povodeň ve druhé polovině XX. stol. na Dunaji, nejsušší období se vyskytlo v červnu roku 2000.

Z křivky překročení, uvedené pro index Z na obr. 5 vyplývá, že za zpracované období bylo 22 % všech měsíců silně suchých, z toho 5 % lze zařadit do kategorie extrémně suchých. Vazba tohoto indexu na měsíční úhrny srážek je poměrně těsná, koeficient korelace dosahuje pro Hurbanovo hodnot 0.88. Na obr. 5 je vykreslena i křivka překročení tohoto indexu udávaná pro USA. Jak je vidět, četnosti jednotlivých hodnot jsou velmi podobné jak pro Hurbanovo, 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:

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

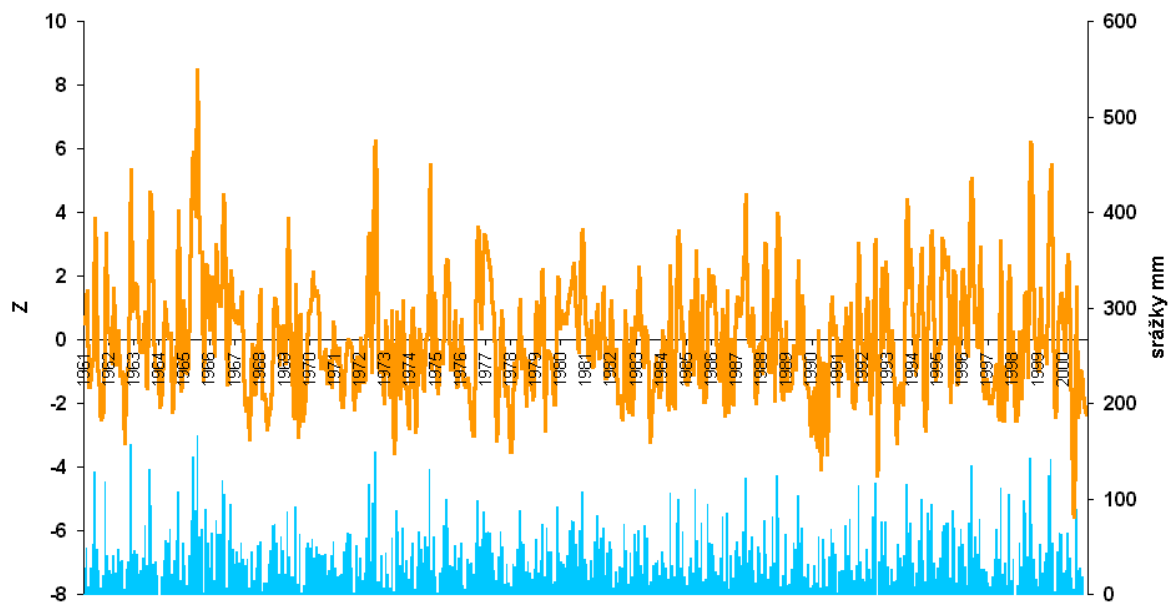
Aby však byly splněny podmínky, které si Palmer položil na počátku práce, t.j. že ojedinelý výskyt vlhkého měsíce neznamena ještě konec suchého období (a naopak), stejně tak jako období s normálními srážkami následující po období sucha (vlhka), je počítána tato rovnice pro tři různé indexy X_1 , X_2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

X_1 – index závažnosti pro nastupující vlhké období

X_2 – index závažnosti pro nastupující suché období

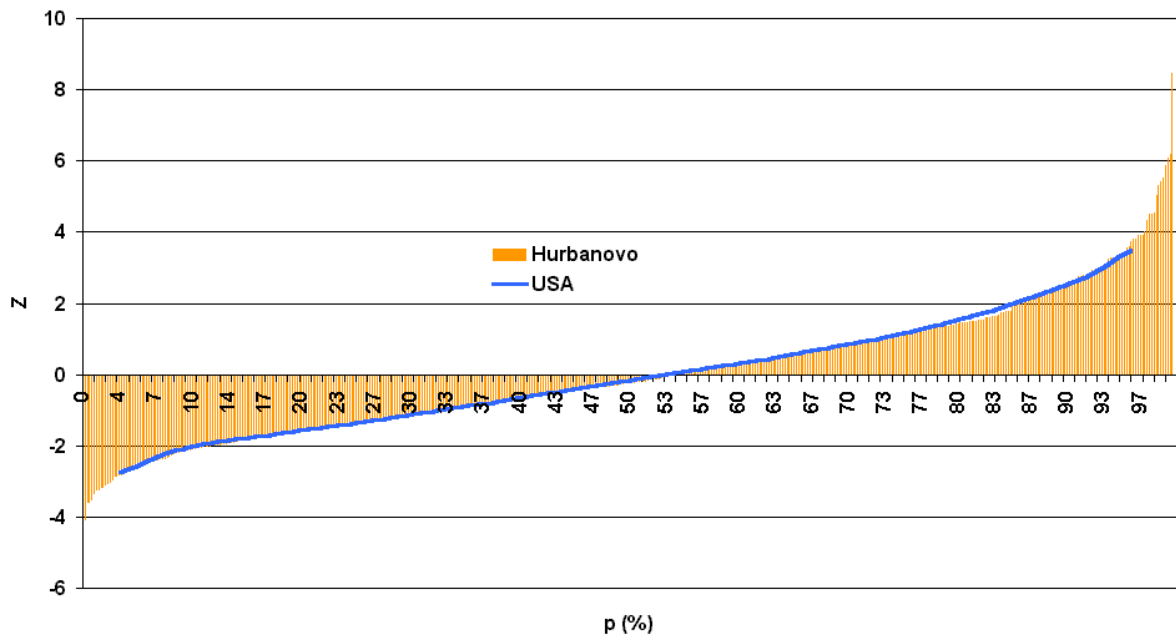
X_3 – index závažnosti pro vzniklé suché anebo vlhké období

**Průběh indexu Z a srážek v jednotlivých měsících v Hurbanově
(1961 - 2000)**



Obr. 4

Křivka překročení měsíčních hodnot indexu Z (Hurbanovo, 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 (PHDI)	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	Drsně suchý
$\leq -4,00$	Extrémně suchý

Tab. 2 Slovní vyjádření hodnot PDSI a PHDI

Průběh vypočítaných hodnot PDSI a PHDI za období 1961-2000 je na obr. 6. Vyplývá z něj, že nejvlhčí období bylo v letech 1965 až 1966, zatímco nejsušší nebylo v roce 2000, nýbrž o jedenáct let dříve. V srpnu roku 1990 dosáhla hodnota PDSI $-5,06$, což značí extrémně suchý měsíc. Sucho v roce 2000 přišlo po vlhkém období, které začalo mimořádně vlhkým zářím 1998 (hodnota indexu $Z = 6.1$ –

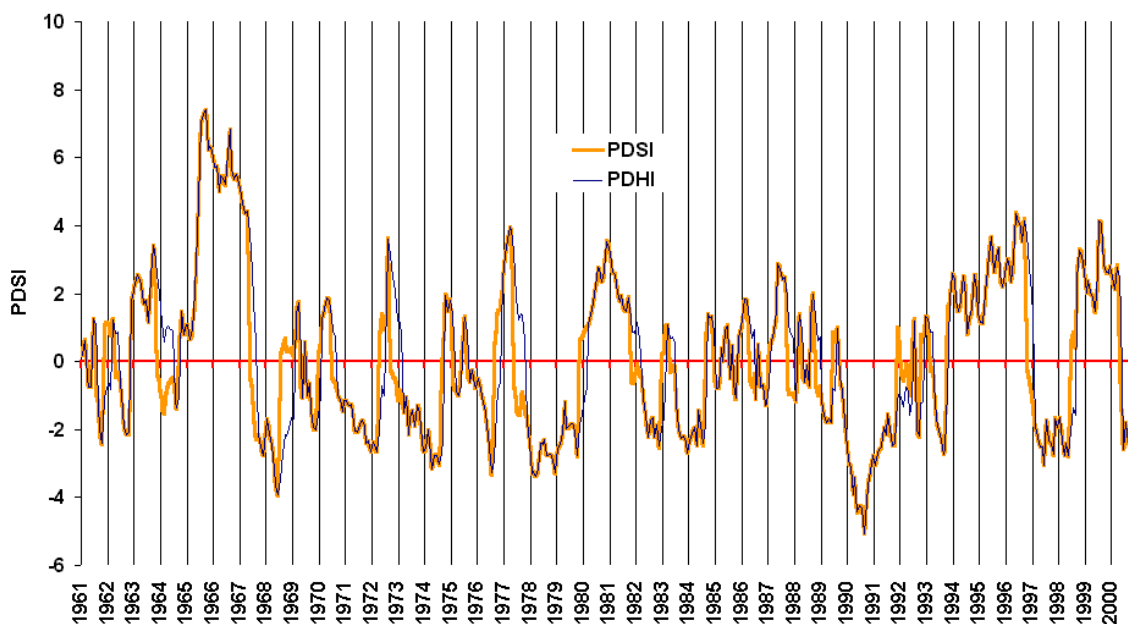
extrémně vlhký, PDSI = 2.4 – mírně vlhký) a ještě březen 2000 bylo možno charakterizovat jako mírně až silně vlhký ($Z = 2,6$ – silně vlhký, PDSI = 2,8 – mírně vlhký), začalo v červnu 2000, kdy již byly vyčerpány zásoby půdní vláhy, doplněné ještě v březnu t.r., a přešlo do mírného sucha podle PDSI (-2,6), popřípadě extrémního sucha podle Z (-5,4). Zde je možno pozorovat rozdíl v závislosti na tom, zda-li se suchost měsíce stanovuje izolovaně anebo v závislosti na předchozím vývoji povětrnosti. U PDSI je vazba na srážky již poměrně volnější, korelační koeficient dosahuje hodnoty 0,43. Index PHDI kopíruje většinou průběh a velikost PDSI, je však vidět, že jeho konstrukce předpokládá, že hydrologické sucho začíná o něco později než meteorologické a opět o něco později končí.

Z křivky překročení měsíčních hodnot PDSI (obr. 7) je zřejmé, že v Hurbanově se takto stanovené extrémní sucho vyskytuje ve 2 % případů, zatímco extrémní vlhko v 6-ti % případů (především v důsledku vlhkého období ve druhé polovině šedesátých let). Mírné sucho, stejné, jaké se vyskytlo v červnu roku 2000, lze očekávat přibližně ve 4 % všech měsíců. Na obr. 6 je rovněž vynesena i křivka překročení udávaná pro USA, porovnáním obou průběhů lze zjistit, že zatímco hodnoty pro vlhké kategorie jsou prakticky totožné, nejsušší kategorie jsou v Hurbanově přibližně o 2 % méně časté než v USA.

Porovnání hodnot PDSI pro Hurbanova a Žabčice

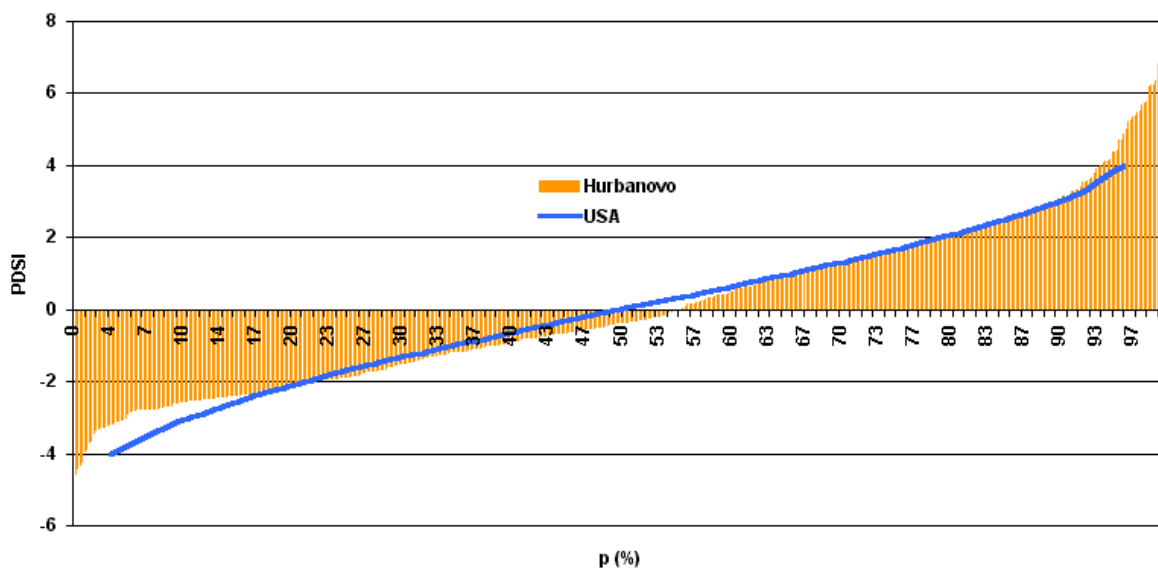
Aby bylo možno posoudit, jak PDSI reaguje na prostorové odlišnosti v rozdělení srážek a PET, provedli jsme výpočet tohoto indexu i pro stanici Žabčice, náležející Ústavu krajinné ekologie MZLU v Brně. Jak je zřejmé z obr. 8, v některých letech byl průběh PDSI v obou lokalitách velmi podobný, naopak v jiných letech se dosti lišil. Vlhké období v letech 1965-1966 se v Žabčicích neprojevovalo, naopak nejsušší období v Žabčicích se vyskytlo v roce 1974. Vysvětlit některé odlišnosti lze pomocí rozdílného průběhu srážek, na obr. 9 jsou jejich pětíměsíční klouzavé průměry pro obě lokality. Těmito rozdíly lze vysvětlit zejména difference ve vlhkých obdobích (např. roky 1965-66 byly v Hurbanově daleko vlhčí než v Žabčicích), naopak difference v suchých obdobích jsou pomocí srážek již méně vysvětlitelné, zde je nutno přihlídnout i k tomu, že v Hurbanově jsou zejména v letním období vyšší úhrny PET, jak dokládá obr. 10.

Hodnoty PDSI a PHDI za období 1961-2000 pro Hurbanovo



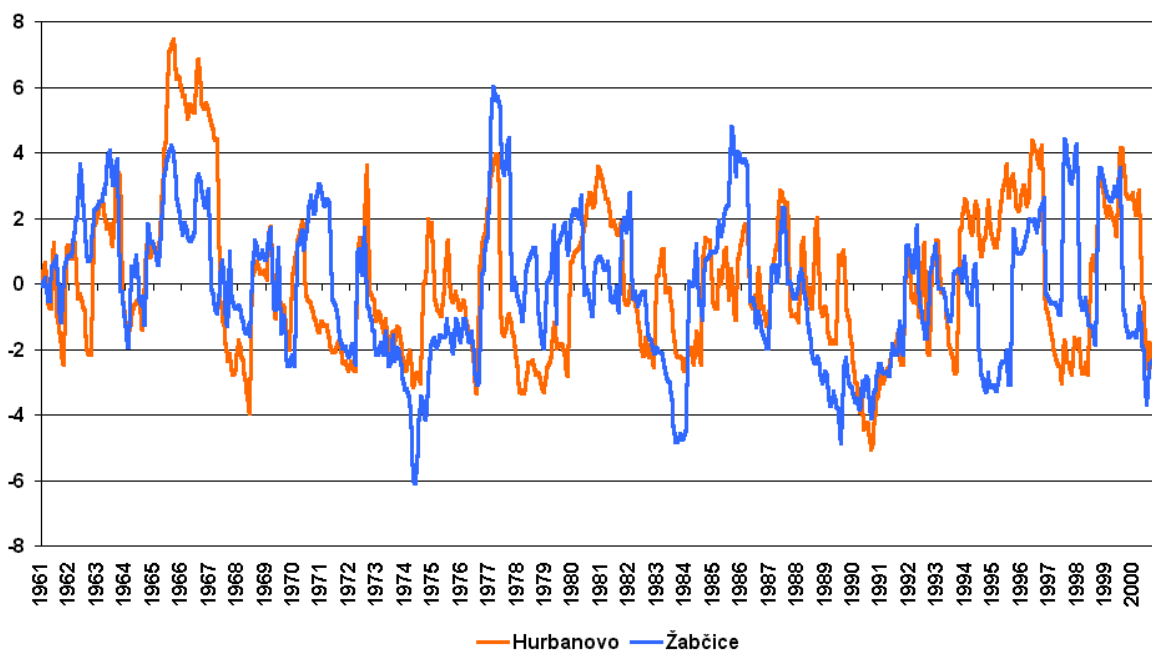
Obr. 6

Křivka překročení měsíčních hodnot PDSI (Hurbanovo, 1961-2000)



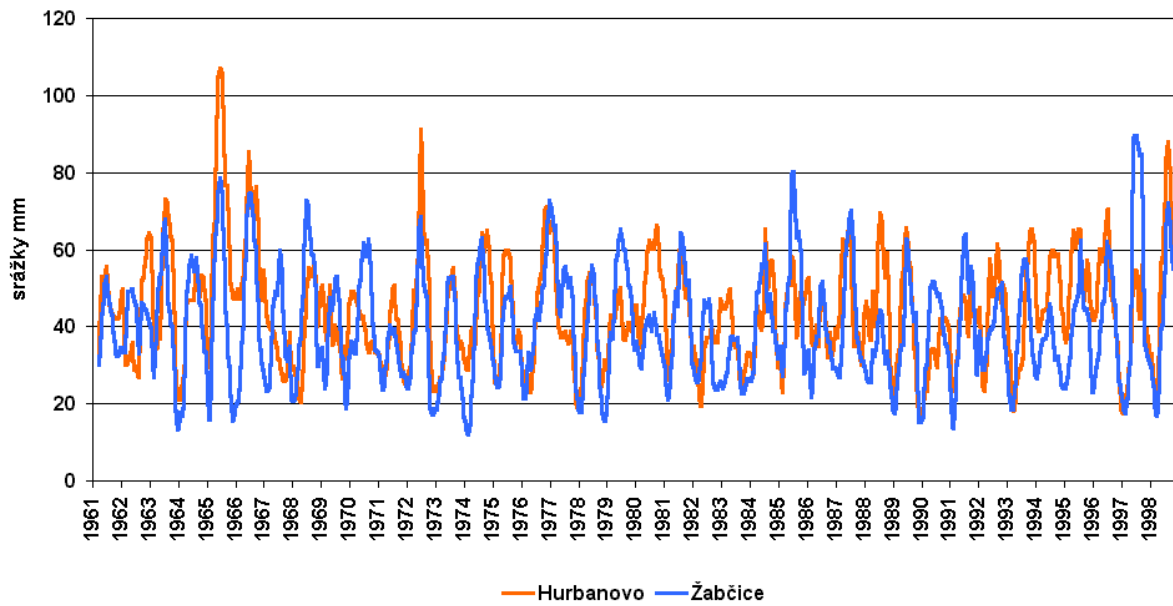
Obr. 7

Porovnání průběhu PDSI v Hurbanově a Žabčicích



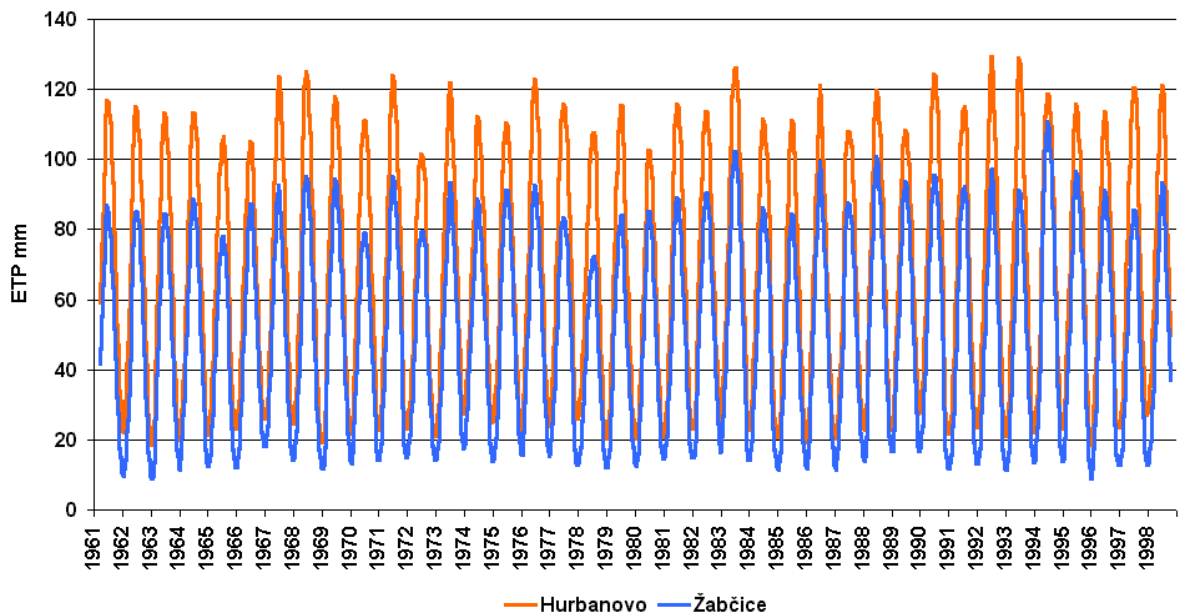
Obr. 8

Porovnání pětíměsíčních klouzavých průměrů úhrnů srážek v Hurbanově a Žabčicích



Obr.9

Porovnání pětíměsíčních klouzavých průměrů ETP v Hurbanově a Žabčicích



Obr. 10

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 realnost vzniklých rozdílů. Rovněž posouzení vztahu mezi PDSI a ekonomickou činností by bylo žádoucí.

Poděkování: Výsledky předkládané v článku 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 zvlahy. 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.

Souhrn:

V práci je ukázán postup výpočtu PDSI z údajů o srážkách a potenciální evapotranspiraci a tento výpočet je aplikován na časovou řadu 1961-2000 ze stanice Hurbanovo a Žabčice. Ukazuje se, že podmínky obou lokalit nejsou příliš odlišné od podmínek v té části USA, pro níž byl PDSI odvozen. Skutečnost, že tento index vznikl v roce 1965 a je dodnes používán by mohlo naznačovat, že jeho konstrukce je natolik propracovaná, že by stálo za to vyzkoušet jeho aplikaci i u nás.