

METODA KLIMATOLOGICKÉHO HODNOCENÍ SUCHA A SUCHÝCH OBDOBÍ

Petr Blinka

Abstrakt

Problémem při výzkumu sucha zůstávají kvantifikace intenzity a určování jeho délky. Většina současných indexů, které se používají při hodnocení sucha, má řadu slabin. Nedokáží dostatečně přesně určit začátek a konec sucha, neboť pracují pouze s měsíčními průměry. Neuvažují rovněž úbytek vodních zásob v čase, který je funkcí odtoku a evapotranspirace. Nevýhodou některých metod zůstává značná náročnost na vstupní údaje a navíc musí být mnoho parametrů při výpočtu odhadováno.

H. R. Byun a D. A. Wilhite navrhli nové indexy sucha, které řeší nedostatky současných metod hodnocení sucha. Denní úbytek vodních zdrojů reprezentuje efektivní srážka (EP), k jejíž určení potřebujeme pouze denní průměry srážek na stanici. Z ní pak vychází řada dalších indexů, které dovolují stanovit délku a intenzitu sucha, akumulovaný srážkový deficit (odchylku od normálu), srážku nutnou pro návrat k normálu. Standardizovaný index intenzity sucha (EDI) umožňuje srovnání mezi různými místy.

Tato metoda byla testována na srážkové řadě 1921 - 1999 stanice Praha-Karlov. Určili jsme jednoletá a horší sucha a suchá období. Zhodnotili jsme rovněž jejich intenzitu a provedli rozbor četnostního zastoupení těchto období v jednotlivých letech, měsících a dnech roku. Na závěr příspěvku uvádíme srovnání výsledků stanic Praha-Karlov a Žabčice, kde bylo stejným postupem zpracováno období 1961 – 2000.

Abstract

A method for climatological evaluation of drought and dry periods

There are some problems connected with the research of drought, e.g. quantifying drought intensity and duration. Most of the current indexes, which are used by quantification of drought severity and duration, have weak points. They are not precise enough in detecting the onset, end and accumulated stress of drought. They are usually based on a monthly time step. They also don't effectively take into account the diminishing of water resources over time. Many current indexes are calculated from data which are hardly to obtain and many parameters must be estimated.

H. R. Byun and D. A. Wilhite proposed new indexes to solve the weaknesses and to improve drought monitoring. Daily depletion of water resources is represented by effective precipitation (EP). We need only daily precipitation to find EP. There are many other indexes calculated from EP. They determine the duration and severity of drought, accumulated precipitation deficit, precipitation for the return to normal condition. A standardized index EDI can be used to assess drought severity worldwide because it allows comparison between different places.

The weather-station Prague-Karlov was chosen to test this method in years 1921 – 1999. We determined 1-year and worse drought and dry periods and quantified their intensity. We also made an analysis of frequency of days of 1-year and worse drought and dry periods in each year, month and in each day of the year. At the end of the study we compared

results from Prague-Karlov with the results from station Žabčice, where the same method was applied to period 1961 – 2000.

1. Úvod

Sucho je podle [8] (National Drought Mitigation Center (NDMC), Lincoln, Nebraska) normální, opakující se projev klimatu, který souvisí s jeho kolísáním (fluktuací). Mnoho lidí se však chybně domnívá, že se jedná o vzácný a náhodný jev. Sucho jako přechodná anomálie klimatu se může vyskytovat ve všech klimatických zónách (srážkových režimech) a liší se tak od aridity, kterou považujeme za trvalý znak klimatu.

Neexistuje žádná univerzální a všeobecně uznávaná definice sucha. D. A. Wilhite a M. H. Glantz (1985) uvádějí přehled některých z více než 150 publikovaných definic sucha. Většina autorů rozlišuje definice meteorologického, zemědělského, hydrologického a socioekonomického sucha.

Sucho lze definovat jako deficit srážek vzhledem k očekávané srážce (normálu), který se vyskytuje v průběhu sezóny nebo delší části roku (Wilhite 1991). Normál přibližně znázorňuje dlouhodobou rovnováhu mezi srážkami a evapotranspirací pro určitou lokalitu (meteorologické pojetí sucha). Podle [9] hovoříme o agronomickém suchu, jestliže množství půdní vláhy nevyhovuje potřebám rostlin. Agronomické sucho tak vztahujeme zejména k deficitu vody v půdě.

Stanovení začátku a konce sucha je velmi obtížné a vyžaduje řadu meteorologických, ale také hydrologických proměnných. Efekty působení sucha mají kumulativní charakter, velikost intenzity sucha se zvyšuje s každým dalším dnem. S dopady po suchu se setkáváme ještě několik let po výskytu normálních dešťů [11].

Dopady sucha jsou méně nápadné, avšak sucho postihuje větší území než jiná

přírodní rizika. Také kvantifikace škod způsobených suchem bývá velmi obtížná. Nicméně podle různých studií převyšují odhady ztrát způsobených suchem škody z jiných přírodních neštěstí [6]. NDMC dělí dopady sucha na tři základní kategorie: ekonomické, environmentální a sociální.

2. Metody hodnocení sucha

V [4] nacházíme stručný komentář k charakteristikám sucha. Sucho hodnotíme z prostorového a časového hlediska, určujeme také jeho intenzitu (sílu).

První kategorií je plošný rozsah sucha. Časovými vlastnosti sucha rozumíme zejména začátek, konec a délku trvání. Kromě času se na charakteru a průběhu sucha podílejí také další faktory jako vysoká teplota a rychlost větru, nízká relativní vlhkost vzduchu a jiné. Tyto faktory mohou významně zvýšit intenzitu (sílu) sucha.

Naším hlavním úkolem bude vymezení suchých období a stanovení jejich intenzity. Absence univerzální definice sucha vede k mnoha problémům. Obtížné je v některých případech vůbec rozhodnout, zda se sucho vyskytuje či nikoliv.

Pro stanovení začátku, konce a intenzity sucha máme celou řadu objektivních metod. Do výpočtu indexů sucha vstupují různé faktory jako srážky, teplota, evapotranspirace, půdní vláha, odtok, zásoby sněhu a vody v řekách a nádržích atd. Výsledné indexy sucha umožňují vzájemné srovnání suchých období. Nejčastěji používaný a nejrozšířenější je Palmer Drought Severity Index (PDSI), který řadíme mezi meteorologické indexy sucha. K výpočtu indexu potřebujeme vedle srážek rovněž evapotranspiraci, odtok, půdní a hloubkovou infiltraci. PDSI modeluje rovnici vodní bilance pro danou lokalitu.

Současné používané indexy sucha však mají celou řadu slabin, na které upozorňují H. R. Byun a D. A. Wilhite v [2] a [10]. Většina indexů, které se používají při hodnocení sucha, nedokáže dostatečně přesně určit začátek a konec sucha. Obvykle pracují pouze s měsíčními průměry (nejen meteorologických prvků). Neuvažují rovněž úbytek vodních zásob v čase, který je funkcí odtoku a evapotranspirace. Nevýhodou některých metod zůstává značná náročnost na vstupní údaje. Mnoho parametrů při výpočtu indexů musí být odhadováno (např. odtok a evapotranspirace). Dále je také opomíjen fakt, že základem všech odhadovaných parametrů jsou srážky. Někteří autoři se domnívají, že použití pouze srážek pro stanovení meteorologického sucha je lepší než užití složitých indexů. Žádný z indexů také nezohledňuje skutečnost, že dopady sucha se na jednotlivé části krajinné sféry projevují s určitým zpožděním. Velikost půdní vláhly vztahujeme obvykle k aktuálním srážkovým poměrům, vodní zdroje v rezervoárech pak k časově delším součtům srážek.

H. R. Byun a D. A. Wilhite v [2] a [10] navrhli nové indexy sucha, které řeší nedostatky současných metod hodnocení sucha. Denní úbytek vodních zdrojů reprezentuje efektivní srážka (EP), k jejíž určení potřebujeme pouze denní průměry srážek na stanici. Úbytek vodních zásob v čase vyjadřuje časově závislá redukční funkce, z níž odhadujeme aktuální vodní deficit.

Z EP vychází řada dalších indexů, které dovolují stanovit délku a intenzitu sucha, akumulovaný srážkový deficit (odchylku od normálu), srážku nutnou pro návrat k normálu. Standardizovaný index intenzity sucha umožňuje srovnání mezi různými místy s odlišnými klimatickými poměry.

2.1 Metoda efektivní srážky (EP)

Denní úbytek vodních zdrojů reprezentuje efektivní srážka EP (Effective Precipitation), která je dána rovnicí

$$EP_i = \sum_{n=1}^i \left(\frac{\sum_{m=1}^n P_m}{n} \right),$$

kde i je doba sumace (DS), P_m je srážka před m dny. P_1 značí aktuální srážku.

Složitý matematický zápis můžeme přepsat:

$$EP_i = \sum_{m=1}^i \lambda_m P_m,$$

kde λ_m je váha srážky P_m .

Položíme-li i rovno 365, představuje EP_{365} vodní zdroje nahromaděné za posledních 365 dní. Pro hodnocení deficitu půdní vláhly (vlhkosti) se používá $EP_{14(15)}$, jež označuje vodní zdroje akumulované během posledních 14 (resp. 15) dnů. Rovnice EP vychází z úvahy, že srážka před m dny je přidána k celkovým zásobám vody ve tvaru průměru srážek za m dnů (např.

$$EP_2 = P_1 + \frac{(P_1 + P_2)}{2}).$$

Způsob vážení denních srážek v závislosti na čase, který uplynul od jejich výskytu (čas je vyjádřen počtem dní, které uběhly od příslušného dne, jehož úhrn srážek vážíme), popisuje obrázek 1 (příloha). Křivka z obr. 1 znázorňuje rovněž průběh časově závislé redukční funkce. Jak vidíme z obrázku, rovnice EP zaručuje strmější změny vah v prvních dnech.

Jaká úroveň změn vah (úbytku vodních zdrojů v čase) je nejlepší? Vycházíme-li z různých hydrologických srážkovo-odtokových modelů, ukazuje se, že změna poměru odtoku je nejprudší jen po dešti [2]. Koncept EP vyhovuje tomuto tvrzení.

Kromě této uvažované rovnice lze úbytek vodních zdrojů v čase vyjádřit také dalšími rovnicemi. Výběr nejlepší rovnice však nadále zůstává neřešitelným problémem, protože zde vystupuje velmi mnoho parametrů. Jedná se zejména o topografii, vlastnosti půdy, schopnost zadržovat vodu ve vodních nádržích, teplotu a vlhkost vzduchu, rychlost větru a další. Všechny zmínované faktory ovlivňují úbytek vody v přírodě odtokem a evapotranspirací.

3. Aplikace EP

Metodu EP jsme aplikovali na řadu srážek 1921-1999 ze stanice Praha-Karlov, která se nachází v centru Prahy a je nestandardně umístěna na střeše budovy MFF UK. Nadmořská výška stanice se uvádí 232 (resp. 262) m. n. m.

Rozhodli jsme se pracovat pouze s EP_{365} (vodní zdroje za 365 posledních dní), neboť rok se vyznačuje charakteristickým chodem srážek. Z EP počítáme další indexy, které nám dovolí vymezit období sucha, zhodnotit jejich intenzitu a rovněž umožní jejich vzájemné srovnání. Společně s přehledem indexů naznačíme postup při aplikaci EP.

Pro každý den se stanoví průměr **EP (MEP)** za dané období (v našem případě 78 let – pro rok 1921 metodika výpočtu nedovoluje hodnotu EP spočítat). MEP má vysokou variabilitu, proto se dále počítá s 5-denními klouzavými průměry. Hodnota MEP představuje klimatologickou charakteristiku vodních zdrojů.

Ve druhém kroku počítáme pro každý den období **DEP** (Deviation of EP from MEP) ze vztahu

$$DEP = EP - MEP,$$

kde DEP vyjadřuje nedostatek nebo nadbytek zdrojů k určitému datu a místu.

Standardizací DEP dostáváme index **SEP** (Standardized value of DEP), který umožňuje srovnání intenzity sucha mezi různými místy:

$$SEP = \frac{DEP}{\sigma(EP)},$$

kde $\sigma(EP)$ je standardní odchylka pro každou denní řadu EP. Standardní odchylka je spočítána z pětidenních klouzavých průměrů EP.

Negativní hodnoty DEP a SEP znamenají období vodního deficitu, neboť hodnoty EP jsou pod úrovní normálu. **Suché období lze pak definovat jako období po sobě jdoucích dní s negativní hodnotou SEP (DEP)**. Délku suchého období označujeme CNS (Consecutive days of negative SEP).

Kvantifikaci intenzity sucha provedeme pomocí dalších indexů.

ANES (Accumulation of consecutive negative SEP) značí součet všech záporných po sobě jdoucích negativních hodnot SEP. ANES dobře vyjadřuje také délku sucha, protože absolutní hodnota ANES je skoro vždy menší než 2.

Další charakteristikou, která vychází z EP, je **PRN** (Precipitation needed for a return to normal condition). Z negativní hodnoty DEP lze spočítat denní srážku nutnou pro návrat k normálním podmínkám. PRN vyjadřuje rovnice

$$PRN = \frac{DEP}{\sum_{N=1}^{365} \frac{1}{N}}.$$

PRN udává rovněž deficit srážek akumulovaný během posledních 365 dní.

Ačkoliv PRN a jiné uvedené indexy poměrně dobře určují intenzitu sucha, je potřeba konstruovat také index, který by umožňoval stanovit intenzitu sucha a při-

tom dovolil srovnání mezi různými místy (nezávisle na klimatických charakteristikách místa). **EDI** (Effective drought index) tyto požadavky splňuje:

$$EDI = \frac{PRN}{\sigma(PRN)} = \frac{DEP}{\sigma(DEP)},$$

kde σ značí standardní odchylku indexu v závorce pro příslušný den.

Standardizací se rozložení EDI blíží normovanému normálnímu rozdělení. Proto se někdy **sucho definuje jako období s hodnotami EDI menšími než -1,0**. Suchá období mezi jednotlivými suchy jsou zahrnuta, pokud se nevyskytnou kladné hodnoty EDI [2]. Suchá období však my při vymezení such uvažovat nebudeme. **Sucho v našem pojetí bude znamenat období po sobě jdoucích dní s hodnotou EDI menší než -1,0**. Pravděpodobnost, že EDI bude menší než tato hodnota, je přibližně 15,86 %.

Vedle indexů vztažených k EP, jsme používali charakteristiku **APD** (Accumulated precipitation deficit):

$$APD_j = \sum_{i=1}^j (P_i - AVG_i),$$

kde j je délka suchého období (nebo sucha), P_i denní úhrn srážek pro i -tý den a AVG_i je dlouhodobý průměr srážek (normál) pro den i .

4. Sucha a suchá období na stanici Praha-Karlov v letech 1922 – 1999

Výše uvedenou metodikou jsme získali indexy, které nám posléze umožní vymežit suchá období a sucha (viz tučně vyznačené definice) a kvantifikovat jejich intenzitu. Vybrané výsledky zdlouhavého početního postupu shrnuje tabulka 1. V příloze naleznete grafy denních úhrnů srážek a také hodnot indexů EP₃₆₅ a EDI pro období 1922 – 1999.

Tabulka 1 Srovnání průměrných měsíčních hodnot úhrnů srážek a MEP (5-denní klouzavé průměry za období 1921 – 1999 (resp. 1922 – 1999))

	Měs. úhrn srážek v mm	Měs. průměr MEP	Měs. úhrn srážek / úhrn srážek za průměrný měsíc (v %)	MEP _{měs} / MEP _{rok} v %
leden	21,11	411,03	54,51	88,06
únor	19,83	374,00	51,19	80,13
březen	24,37	349,89	62,92	74,96
duben	32,76	348,81	84,58	74,73
květen	54,87	396,06	141,64	84,85
červen	62,49	485,08	161,31	103,93
červenec	64,02	548,35	165,26	117,48
srpen	63,02	595,26	162,69	127,53
září	37,74	586,13	97,42	125,58
říjen	33,61	538,30	86,77	115,33
listopad	27,39	504,37	70,72	108,06
prosinec	23,63	457,43	61,00	98,00
rok	464,84	466,76	1200	100

Pozn.: Průměrný měsíc má délku 30,44 dnů a úhrn srážek 38,74 mm.

MEP (5-denní klouzavý průměr) představuje pro každý den roku klimatologickou charakteristiku vodních zdrojů. Průměrné měsíční hodnoty MEP z tabulky

1 nejsou překvapující, jestliže si uvědomíme způsob výpočtu EP. Například vysoce nadprůměrná hodnota MEP u září je dána předcházejícími letními měsíci

s vysokými průměrnými srážkovými úhrny. Naproti tomu u dubna, s měsíčním úhrnem srážek téměř srovnatelným se zářím, dosahuje průměr MEP pouze 60 % hodnoty měsíce září. Obecně nízké hodnoty zásoby vodních zdrojů jarních měsíců způsobuje předcházející zimní období s dny s nízkými úhrny srážek, jenž jsou pak ve výpočtu EP pro dny jarních měsíců váženy relativně vysokými koeficienty v porovnání se srážkami z letních měsíců. Na tomto místě musíme upozornit na určitý nedostatek metody EP, která, jak je patrné z tabulky 1, nepočítá s evapotranspirací. Při jejím započítání v denním kroku by se zásoby vodních zdrojů v jarních měsících z relativního pohledu jistě zvýšili a zajímavé by bylo nové srovnání s podzimem.

Hodnoty jednotlivých indexů jsme metodou EP obdrželi pro období 1.1.1922 – 31.12.1999. Celé období zahrnuje 28489 dní, z nichž u 14885 (52,25 %) dní jsme zaznamenali zápornou hodnotu EDI (resp. SEP) a 4468 dní vykazovalo hodnotu EDI nižší než -1 (15,68 %). Tato hodnota se blíží teoretické hodnotě 15,86 % z normovaného normálního rozdělení. Rovněž průměr EDI a směrodatná odchylka odpovídají tomuto rozdělení (průměr 0, směr. odch. 1). Hodnota EDI se pro jednotlivé dny období pohybuje v rozmezí od 5,36 (8.4.1941) do -2,62 (21.2.1954). Podobně se můžeme podívat na ukazatel PRN, který lze chápat jako aktuální denní srážku pro návrat do normálních podmínek. Největšího deficitu bylo podle PRN dosaženo 11.8.1990, kdy by bylo zapotřebí denní srážky 54,14 mm k vyrovnání deficitu z předchozího období.

V další části textu přistoupíme k samotnému vymezení a hodnocení sucha a suchých období.

V prvním kroku jsme vymezili suchá období a sucha způsobem, jak jsme jej popsali v metodice EP. Uvažovali jsme pouze období, která jsou tvořena po sobě jdoucími dny s negativní hodnotou SEP (suchá období), resp. s hodnotou EDI menší než -1,0 (sucha). Takto vymezená období jsme poté seřadili podle níže uvedených kritérií, jenž by měla pomoci kvantifikovat intenzitu sucha vzhledem k normálu. Uvažována byla následující kritéria:

- délka
- suma EDI
- suma PRN
- průměr EDI na den
- průměr PRN na den.

Pořadí nejhorších such, resp. suchých období se s volbou kritéria nutně mění. Dále budeme vycházet pouze z pořadí podle sumy EDI, která se nám pro hodnocení intenzity sucha jeví jako nejvhodnější. Narozdíl od ukazatele PRN je EDI pro jednotlivé dny roku standardizovaný - máme tak eliminován vliv ročního chodu srážek. Vysoký denní průměr EDI a PRN značí vysokou intenzitu suchého období (resp. sucha). Zásoby vody v daném období jsou sice výrazně podnormální, nicméně délka bývá mnohem kratší než u období dle sumy EDI a navíc musíme zohlednit skutečnost, že s rostoucí délkou suchého období (sucha) se zároveň zvyšuje i intenzita sucha jako jevu.

Tabulka 2 Přehled vybraných charakteristik za jednotlivá období

	Celé období	Období s EDI (SEP) < 0	Období s EDI < -1	Suché obd.	Sucho
Délka	28489	14885	4468	138,96	47,37
Srážka v mm	36461,60	11207,40	2071,50	112,12	23,92
APD	204,00	-7942,87	-3474,28	-62,27	-33,43
Suma SEP	-2,54	-11326,61	-6351,45	-130,54	-70,33
Suma PRN	0,00	-214899,93	-121014,48	-2479,99	-1344,41
Suma EDI	-5,43	-11192,29	-6281,69	-129,05	-69,57
Průměr srážka/den	1,28	0,75	0,46	0,81	0,50
Průměr APD/den	0,01	-0,53	-0,78	-0,53	-0,82
Průměr SEP/den	0,00	-0,76	-1,42	-0,79	-1,34
Průměr PRN/den	0,00	-14,44	-27,08	-15,14	-24,92
Průměr EDI/den	0,00	-0,75	-1,41	-0,78	-1,32
Suma EDI<-1	4468	4468	4468	57,06	47,37

Pozn.: Suché obd. (sucho) značí průměrné jednoleté a horší suché období (sucho).

Tabulka 3 Charakteristika deseti nejhorších such a suchých období

Suchá období	Délka	Srážka	APD	suma PRN	suma EDI	APD/den	PRN/den	EDI/den	EDI<-1
16.6.42-21.5.44	706	513,2	-362,97	-20762,26	-1093,07	-0,51	-29,41	-1,55	596
11.4.53-7.7.54	453	410,4	-210,46	-11727,78	-642,87	-0,46	-25,89	-1,42	321
28.4.90-1.8.91	461	438,4	-213,01	-11028,34	-553,21	-0,46	-23,92	-1,20	304
28.5.62-3.5.63	341	269,1	-154,28	-7994,60	-420,22	-0,45	-23,44	-1,23	260
13.4.33-18.4.34	371	325,2	-146,73	-7874,05	-404,55	-0,40	-21,22	-1,09	247
26.5.47-14.2.48	265	204,6	-150,21	-8603,94	-399,67	-0,57	-32,47	-1,51	197
17.9.63-18.10.64	398	357,9	-139,86	-7213,55	-373,09	-0,35	-18,12	-0,94	185
9.8.73-14.5.74	279	166,7	-120,01	-6293,71	-345,27	-0,43	-22,56	-1,24	240
12.8.92-10.6.93	303	186,5	-148,97	-6074,73	-336,77	-0,49	-20,05	-1,11	196
5.6.76-28.1.77	238	215,8	-107,79	-6231,91	-281,38	-0,45	-26,18	-1,18	125
Sucha	Délka	Srážka	APD	suma PRN	suma EDI	APD/den	PRN/den	EDI/den	EDI<-1
3.11.42-14.8.43	285	184	-174,86	-9035,72	-513,38	-0,61	-31,70	-1,80	285
23.8.53-20.4.54	241	88	-135,08	-8272,62	-459,91	-0,56	-34,33	-1,91	241
15.7.-27.12.47	166	82,5	-133,92	-7084,46	-318,26	-0,81	-42,68	-1,92	166
19.8.43-13.2.44	179	82,1	-94,00	-6088,09	-302,36	-0,53	-34,01	-1,69	179
22.6.-17.11.90	149	124,7	-107,37	-5771,68	-250,62	-0,72	-38,74	-1,68	149
5.11.62-25.3.63	141	58,9	-48,56	-3407,22	-206,98	-0,34	-24,16	-1,47	141
25.10.73-13.3.74	140	56,7	-52,40	-3363,22	-194,60	-0,37	-24,02	-1,39	140
22.6.-15.10.76	116	92,6	-103,55	-4474,49	-192,66	-0,89	-38,57	-1,66	116
1.11.33-19.2.34	111	47,3	-38,13	-2627,03	-147,73	-0,34	-23,67	-1,33	111
25.10.83-6.2.84	105	43,3	-40,40	-2562,79	-138,23	-0,38	-24,41	-1,32	105

Z pořadí jsme určili 78 nejhorších such a suchých období (s nejvyšší zápornou hodnotou sumy EDI), která budeme dále označovat jako jednoletá a horší sucha, resp. jednoletá a horší suchá období. Tabulka 2 přináší srovnání průměrného jednoletého a horšího suchého období (sucha)

s celým obdobím 1922 – 1999, s obdobím tvořeným všemi dny se zápornou hodnotou SEP (EDI), resp. hodnotou EDI < -1,0. Z tabulky 2 lze vyčíst, že průměrná délka jednoletého a horšího suchého období, tedy období po sobě jdoucích dní se zápornou hodnotou EDI (SEP), je asi 139 dní. Na-

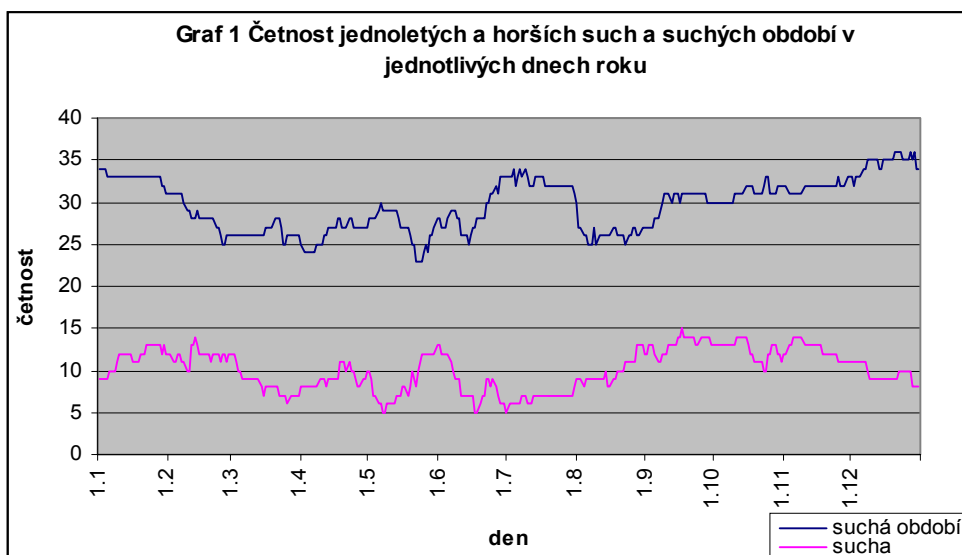
proti tomu délka průměrného jednoletého a horšího sucha, období tvořeného dny s EDI < -1 , je jen 47 dní a průměrný denní úhrn srážek činí pouze 0,5 mm. Za rok by tak spadlo pouhých 182,5 mm srážek ve srovnání s dlouhodobým průměrem 466,76 mm (1921 – 1999). K vyrovnání deficitu vodních zdrojů v jednotlivých dnech jednoletého a horšího sucha by bylo potřeba denního úhrnu srážek v průměru okolo 25 mm (průměr PRN/den), ve dnech 78 nejhorších suchých období asi 15 mm. V tabulce 3 naleznete deset nejhorších such a suchých období (dle sumy EDI) a jejich základní charakteristiku.

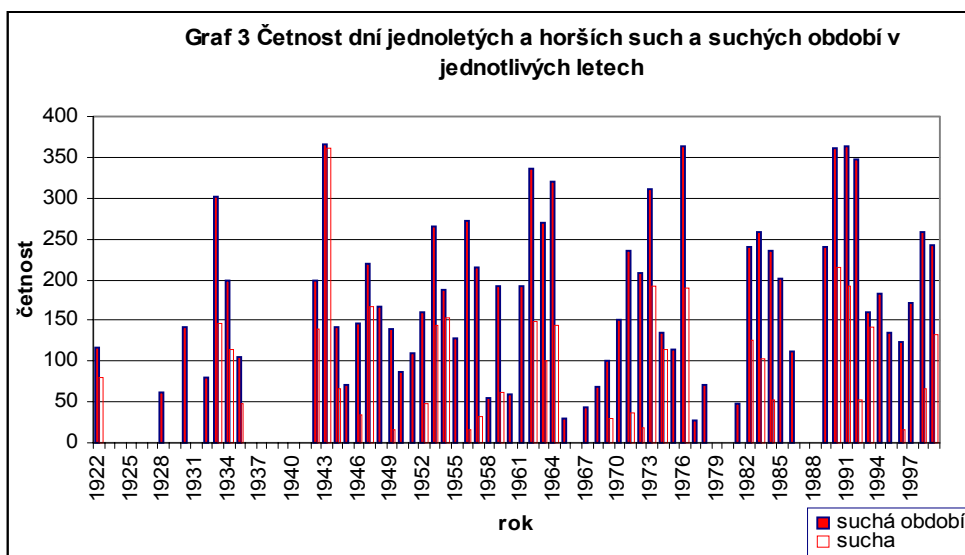
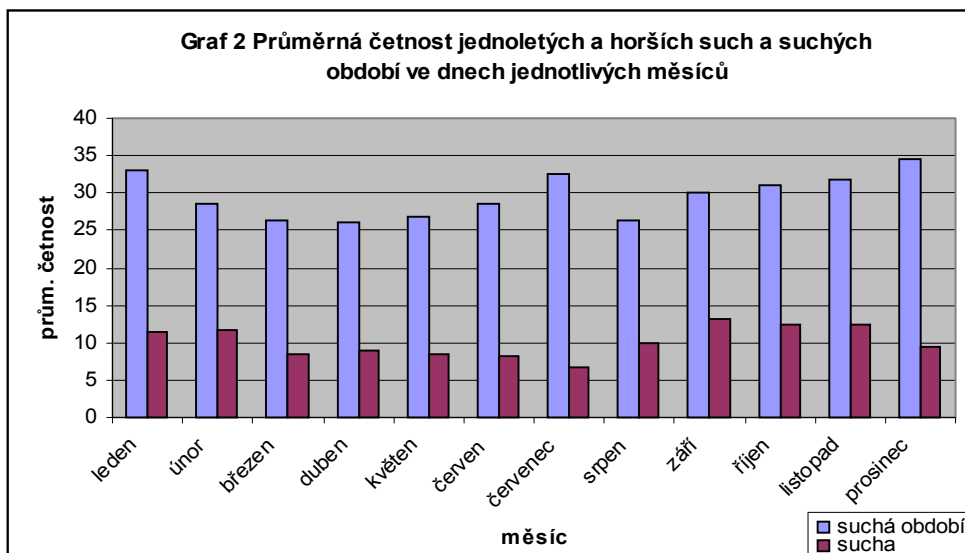
Období vymezené dny 16.6.42 – 21.5.44 lze označit jako nejhorší suché období podle většiny uvažovaných kritérií. Všechny 706 dní je z pohledu vodních zdrojů pod hodnotou normálu, průměrný deficit srážek připadající na den se blíží 30 mm a rovněž ukazatel EDI/den, který charakterizuje intenzitu sucha, přesahuje výrazně hodnotu -1. Téměř 85 % dní tohoto období má hodnotu EDI menší než -1 a patří tak mezi 16 % nejsušších dní celého období

1922 – 1999. Vyšší průměrný deficit vodních zdrojů na den (PRN/den) zaznamenáváme jenom u podstatně kratšího období 26.5.47 – 14.2.48 (32,47 mm).

Z tabulky 3 vyplývá, že většina z deseti nejhorších such je součástí některého z nejméně významnějších suchých období. Z nejdelšího suchého období lze vymezit dvě výrazná sucha, z nichž období 3.11.42 – 14.8.43 můžeme z pohledu délky i sumy EDI označit jako nejhorší. Podle charakteristik PRN/den a EDI/den se jeví jako nejintenzivnější sucho 15.7. – 27.12.47, v němž průměrný deficit vodních zdrojů na den přesahuje hodnotu 42 mm a zhruba 47 % dní (78 dní) má hodnotu EDI menší než -2. Asi 20 % všech dní s hodnotou EDI menší než -2 náleží právě do tohoto sucha

V další části textu uvedeme grafy znázorňující četnost zastoupení jednoletých a horších such a suchých období v jednotlivých dnech roku, měsících i letech 1922 – 1999.





Při hodnocení četnostního zastoupení dní jednoletých a horších such a suchých období v jednotlivých dnech roku, měsících a letech musíme připomenout určitou zvláštnost metodiky EP. Index EDI je standardizovaný. Tzn., že pro každý z 365 dní v roce je přibližně roven počet kladných a záporných hodnot EDI. Tato skutečnost způsobuje poměrně vyrovnané četnosti výskytů jednoletých a horších such a suchých období v průběhu roku. Šest dní z druhé poloviny prosince je zastoupeno v 36 ze 78 suchých období (46 %), naproti tomu dny 22.5., 23.5. a 24.5. mají nejnížší četnost a najdeme je v 23 z 79 nejhorších suchých období (29 %). Vzhledem k průměrné četnosti výskytu konkrétního

dne roku v 78 jednoletých a horších suchých obdobích, která činí 29,7, můžeme rok rozdělit na několik souvislých časových intervalů. Nadprůměrnou četnost výskytů 78 nejhorších suchých období vykazují časové úseky 22.6. – 1.8., 8.9. – 8.2., naopak dny z období 9.2. – 21.6. a 2.8. – 7.9. mají četnosti podprůměrné. Toto rozdělení narušuje pouze 6. květen s četností rovnou 30. Průměrná četnost jednoletých a horších suchých období v jednotlivých měsících se pohybuje mezi 26,2 (duben) a 34,6 (prosinec). Nadprůměrné výskyty suchých období (> 29,7) vykazují měsíce leden, červenec, září, říjen, listopad, prosinec. Zbylých šest měsíců je pod průměrem. Podíváme-li se na četnosti 78 nejhorších suchých ob-

dobí v jednotlivých letech, obdržíme určitou představu o míře sucha v těchto letech. Z tohoto pohledu se jako nejsušší jeví rok 1943, jehož všechny dny spadají do nejhoršího suchého období. Následuje rok 1976 a 1991 s četností výskytů 363 a rok 1990 (četnost 361). U dalších pěti let se četnost pohybuje v intervalu 350 – 300. Jde o roky 1992 (347), 1962 (336), 1964 (321), 1973 (311) a 1933 (301). Naopak 18 let nezasahuje do žádného ze 78 nejhorších suchých období.

U such pozorujeme větší rozdíly jejich výskytů v jednotlivých dnech roku, než tomu bylo u suchých období. Nejvyšší četnost 15 zaznamenáváme u 17.9. (v 19 % ze 78 nejhorších such), nejnižší ve dnech 7.-8.5., 17.-18.6. a 1.7. dosahuje hodnoty 5 (v 6 % ze 78 such). Rozdělení roku na časové úseky podle průměrné četnosti připadající na jeden den roku (10,1) není tak jednoznačné, jak tomu bylo u suchých období. Nejsouvislejší časový úsek s nadprůměrnou četností začíná 23.8. a končí 7.12. (výjimku tvoří dny 24. – 25.10. s četností 10). Průměrná četnost jednoletých a horších such v jednotlivých měsících nabývá maxima v měsíci září (13,2) a minima v červenci (6,7). Nadprůměrem z pohledu výskytu sucha se nacházejí měsíce září, říjen (12,5), listopad (12,5) a zimní měsíce leden (11,4) a únor (11,8). Nejsušším rokem vzhledem k zastoupení jeho dní v některém ze 78 nejhorších such je opět rok 1943. Bez čtyř dní spadá celý rok do dvou ze čtyř nejhorších such. Ostatní roky již následují s odstupem: 1990 (216), 1991 (193), 1973 (191), 1976 (189). Více než 150 dní v jednom ze 78 nejhorších such mají také roky 1947 (166) a 1954 (154). Více než polovina (43) ze 78 zpracovávaných let

není zahrnuta ani v jednom z jednoletých a horších such 1922 – 1999.

Výsledky četnostního zastoupení such a suchých období v jednotlivých letech jsou v souladu se závěry [3]. Suché roky byly na území Čech pozorovány zejména v první polovině jednotlivých dekád (bráno od třicátých let). Výjimku představuje mimořádně dlouhé a suché období 1947 – 1952. Suché roky se podle [3] opakují ve zhruba desetileté periodě s kalendářními roky končícími trojkou. Pokles srážkové činnosti tak zhruba připadá na období minima sluneční činnosti (sluneční cykly).

5. Srovnání výsledků metody EP pro stanici Praha-Karlov (1921 – 1999) a Žabčice (1961 – 2000)

V této kapitole budeme vycházet z výsledků studie výzkumu sucha a suchých období, se kterými se můžete podrobně seznámit v [1].

Stanice Žabčice (179 m. n. m.), jež leží blízko Brna, se liší od stanice Praha-Karlov nejen geografickou polohou, nadmořskou výškou, přírodními poměry, ale také délkou řady srážek, kterou bylo možno využít. Roční průměrný úhrn srážek pro stanici Žabčice za období 1961 – 2000 je roven 485,62 mm – tj. o více než 20 mm více než na Karlově v letech 1921 – 1999. Průměrná délka jednoletého a horšího sucha i suchého období je na stanici Žabčice kratší než na Karlově. Vezmeme-li však průměr EDI na den, pak musíme konstatovat, že nejhorší sucha a suchá období jsou v Žabčicích v průměru intenzivnější než na Karlově (viz tabulka 4)

Tabulka 4 Průměrná jednoletá a horší sucha a suchá období Karlov 1922 – 1999 a Žabčice 1962 – 2000

	Karlov		Žabčice	
	Suché obd.	Sucho	Suché obd.	Sucho
Délka	138,96	47,37	117,92	34,51
Srážka v mm	112,12	23,92	100,57	16,47
APD	-62,27	-33,43	-51,22	-25,69
Suma SEP	-130,54	-70,33	-110,98	-49,71
Suma PRN	-2479,99	-1344,41	-1822,45	-797,90
Suma EDI	-129,05	-69,57	-109,27	-48,98
Průměr srážka/den	0,81	0,50	0,85	0,48
Průměr APD/den	-0,53	-0,82	-0,43	-0,74
Průměr SEP/den	-0,79	-1,34	-0,94	-1,44
Průměr PRN/den	-15,14	-24,92	-15,45	-23,12
Průměr EDI/den	-0,78	-1,32	-0,93	-1,42
Suma EDI < -1	57,06	47,37	48,79	34,51

Chceme-li provést určité srovnání nejhorších such a suchých období na obou stanicích, musíme vycházet z období, ve kterém se oba výzkumy překrývají (1962 – 1999). Deset nejhorších such a suchých období z tohoto časového intervalu uvádí

tabulka 5. Při bližším rozboru zjišťujeme, že uvedených 10 suchých období se na obou stanicích shoduje v 549 ze 2175 možných dní (asi 25 %). U deseti nejhorších such je tato shoda téměř stejná (181 ze 649 – asi 28 %).

Tabulka 5 Deset nejhorších such a suchých období Karlov vs. Žabčice v letech 1962 – 1999 (dle sumy EDI)

Karlov		Žabčice	
Suchá období	Sucha	Suchá období	Sucha
28.4.90-1.8.91	22.6.-17.11.90	20.6.71-16.4.72	20.10.78-11.2.79
28.5.62-3.5.63	5.11.62-25.3.63	4.7.83-23.2.84	1.3.-31.5.74
17.9.63-18.10.64	25.10.73-13.3.74	19.6.94-3.3.95	19.10.-20.12.83
9.8.73-14.5.74	22.6.-15.10.76	19.8.78-10.3.79	16.10.-16.12.82
12.8.92-10.6.93	25.10.83-6.2.84	26.10.73-17.6.74	24.6.-20.8.76
5.6.76-28.1.77	11.9.-7.12.82	8.9.88-28.4.89	30.1.-4.4.89
14.7.89-23.4.90	28.8.-15.11.91	9.8.82-9.2.83	7.10.-23.11.69
8.9.75-1.6.76	19.3.-21.5.93	5.9.69-21.2.70	2.11.-26.12.94
24.8.83-1.4.84	1.8.-29.9.99	30.11.63-11.5.64	19.10.-6.12.88
4.8.91-23.3.92	22.1.-21.3.91	13.10.72-19.4.73	13.2.-25.3.64

Tabulka 6 Deset nejsušších roků podle četnostního zastoupení jednoletých a horších such a suchých období na stanicích Karlov a Žabčice v období 1962 – 1999

Karlov				Žabčice			
Suchá období		Sucha		Suchá období		Sucha	
Rok	Četnost	Rok	Četnost	Rok	Četnost	Rok	Četnost
1976	363	1990	216	1983	354	1983	126
1991	363	1991	193	1989	254	1988	102
1990	361	1973	191	1988	253	1978	100
1992	347	1976	189	1973	239	1974	98
1962	336	1962	149	1978	237	1971	96
1964	321	1964	145	1976	199	1976	91
1973	311	1993	141	1994	196	1989	85
1963	269	1999	132	1971	195	1964	80
1983	258	1982	125	1972	187	1982	79
1998	258	1974	114	1974	168	1994	74

Nejvýznamnější suchá období zasažovala na obou stanicích především do zimních měsíců prosinec a leden. Nadprůměrné z hlediska četnosti v jednoletých a horších suchých období jsou také měsíce červenec, září a listopad. Nejnížší četnosti v nejhorsších suchých obdobích mají na obou stanicích jarní měsíce a červen.

Četnosti výskytů jednoletých a horších such vykazují na obou stanicích ještě větší shodu. Nejvyšší četnosti zaznamenáváme u podzimních měsíců a v lednu. Naopak výrazně podprůměrné pozorujeme u měsíců duben, květen, červen a červenec.

Suchost roků budeme hodnotit pouze ve společném období pro obě studie, tedy v letech 1962 – 1999. Nejsušším rokem v Žabčicích je 1983, kde 354 dní roku patří do některého z 39 suchých období. Následují roky 1989, 1988, 1973 a 1978, u kterých se četnost pohybuje v rozmezí 254 až 237. Tedy asi 2/3 roku zasahují do některého z 39 nejvýznamnějších suchých období. Nejsuššími roky na Karlově jsou 1976 a 1991, které bez dvou dní leží celé v některém jednoletém a horším suchém období. Vedle roku 1976 se mezi deset nejsušších let (tabulka 6) na obou stanicích zařadily ještě roky 1973 a 1983. Naopak

suché roky 1962 – 1964 a 1990 – 1992 na Karlově se mezi deseti nejsuššími léty Žabčic vůbec nevyskytují. Pro Žabčice jsou zase specifická suchá období z konce 80. let (1988, 1989).

Srovnání suchosti roků podle jednoletých a horších such na obou stanicích vychází obdobně. Na Karlově se jeví v období 1962 – 1999 jako nejsušší roky 1990, 1991, 1973 a 1976, v Žabčicích zcela odlišné roky 1983, 1988, 1978 a 1974. Čtyři roky (1976, 1964, 1982 a 1974) se objevují mezi deseti nejsuššími roky podle výskytu jednoletých a horších such na obou stanicích.

6. Závěr

Na srážkové řadě 1921 - 1999 stanice Praha-Karlov byla vyzkoušena poměrně nová metoda EP (efektivní srážky). Indexy MEP, DEP a SEP (odvozené z EP) umožňují poměrně přesné vymezení deficitního období z pohledu vodních zásob. Při určování intenzity sucha (resp. suchých období) jsme vycházeli z EDI. Pomocí sumy EDI jsme stanovili 78 nejhorsších suchých období (such) a označili je jako jednoletá a horší suchá období (sucha). Dále

jsme provedli hodnocení jejich četnostního zastoupení v jednotlivých dnech roku, měsících a letech 1922 – 1999. Výsledky ze stanice Praha-Karlov byly porovnány se závěry z výzkumu sucha a suchých období na stanici Žabčice v období 1961 – 2000.

V úvodu článku byly diskutovány výhody metody EP v porovnání s běžně používanými indexy sucha. Mezi nesporné přednosti uvedené metody patří především možnost snadné interpretace výsledků, nenáročnost na vstupní data a precizní vymezení období deficitu vodních zásob. Nutno však poznamenat, že vývoj metody EP autorů H. R. Byun a D. A. Wilhite jistě není ukončen. Otevřenou otázkou zůstává zejména volba redukční funkce (vah pro

denní srážky) a volba období pro výpočet EP. Porovnáním s některou další objektivní metodou pro hodnocení sucha by bylo možné začlenit do redukční funkce odhad evapotranspirace v denním kroku - zejména ze závislosti na teplotě vzduchu. Počet vstupních prvků by se tak rozšířil pouze o teplotu vzduchu a samotný algoritmus výpočtu, jednotlivé indexy i způsob vymezení období vodního deficitu by zůstaly zachovány.

Metoda by se pro svoji jednoduchost a snadnou dosažitelnost vstupních údajů mohla uplatnit při klimatologickém výzkumu sucha velkých územních celků (např. celé ČR).

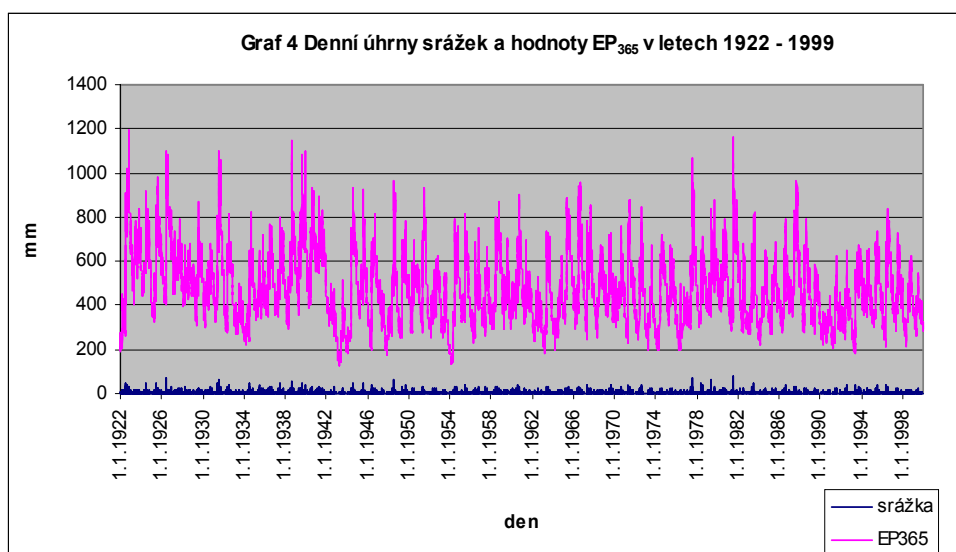
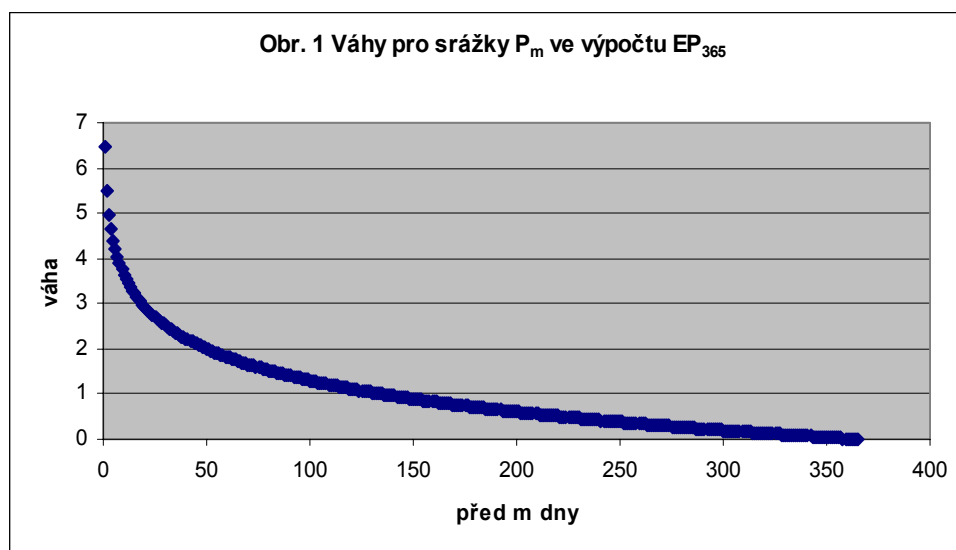
7. Literatura

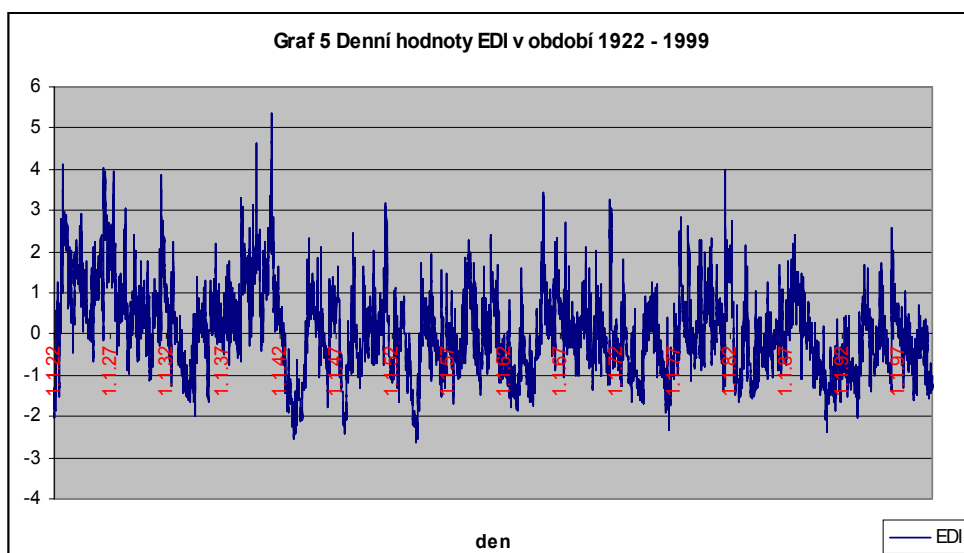
- [1] Blinka, P. (2002): Metoda hodnocení sucha. In: XIV. Česko – slovenská bioklimatologická konference „BIOKLIMA – PROSTŘEDÍ – HOSPODÁŘSTVÍ“, Lednice, 2002. CD, ISBN 80-85813-99-8. Redakce J. Rožnovský, T. Litschmann, ČHMÚ, 2002.
- [2] Byun, H. R., Wilhite, D. A. (1999): Objective Quantification of Drought Severity and Duration, *Journal of Climate*, 12, s. 2747-2756.
- [3] Červený, J. a kol. (1984): Podnebí a vodní režim ČSSR, Státní zemědělské nakladatelství, Praha, s. 414.
- [4] Technical Note, No. 138 WMO – No. 392, Drought and Agriculture, Geneva, WMO, 1975, 127 s.
- [5] Wilhite, D. A. (1991): Drought. *Encyclopedia of Earth System Science, Volumes 1-4*, W.A. Nierenberg, Academic Press, Inc, s. 81-92.
- [6] Wilhite, D. A. (2000): Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions (Chapter 1). In: Wilhite, D. A., *Drought: A Global Assessment, Natural Hazards and Disasters Series*, Routledge Publishers, UK, s. 3-18.
- [7] Wilhite, D. A., Glantz, M. H. (1985): Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, *Water International*, 10, s. 111-120.

Internet

- [8] <http://enso.unl.edu/ndmc/enigma/def2.htm>
- [9] <http://enso.unl.edu/ndmc/plan/define.htm>
- [10] http://rossby.metr.ou.edu/~spark/AMON/v1_n5/Byun/Byun.html
- [11] <http://www.ci.houston.tx.us/OEM/disaster.html>

8. Přílohy





Kontakt

Mgr. Petr Blinka

student PGS studijního programu Fyzická geografie PŘF UK, obor klimatologie

e-mail: Petr_Blinka@seznam.cz

adresa pracoviště: Albertov 6, 128 43 Praha 2