

APLIKACE GIS – JAKO NASTROJ PRO PROSTOROVÉ DISTRIBUCE INDIKÁTORU SUCHA *Si* NA ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY

Vera Potop, Luboš Türkott, Věra Kožnarová

ČZU v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra agroekologie a biometeorologie, potop@af.czu.cz

ABSTRACT

This main goal of this paper is the presentation of the drought **Si** index and its potential use for real time monitoring of spatial extension and severity of droughts in Czechia. Besides, the presence of Geographical Information System (GIS) has allowed estimating spatial lows of distribution of drought event in the territory of Czechia. We have developed the thematic maps with the use of GIS software such as Surfer (by Golden Software Inc.) and ArcGis (by ESRI Inc.). Clima database for period 1961 to 2007 was stored in Microsoft Access, then it is linked with climate data layer in an ArcGis 9.2 vector format. The assessment is conducted of climatological information from 56 weather stations recorded at the Czech Hydrometeorological Institute.

Keywords: drought, Si index, GIS.

1. Úvod

Geografický informační systém (GIS) se používá všude tam, kde je třeba efektivně a rychle pracovat s prostorovými daty např. v klimatologii. Prostorová data lze přiřadit k určitému bodu v prostoru (klimatologická stanice), kterému je přiřazena prostorová souřadnice (je lokalizován) a to včetně možnosti propojení s klimatologickou databází s možností automatického zpracování. GIS je také vhodným nástrojem pro vizualizaci a monitorování sucha na lokální, regionální úrovni, ale i na celém území ČR zejména s ohledem na delimitaci regionů ohrožených výskytem sucha v ČR.

S ohledem na negativní účinky sucha vyskytujícího se i v České republice, vznikla v poslední dekádě řada prací, které přispívají k řešení tohoto problému se zaměřením na opakování a pravděpodobnost výskytu sucha, na vztah sucha a zemědělských plodin a dopady sucha na výnosy (Dubrovský *et al.* 2008; Trnka *et al.* 2007; Potop *et al.* 2008b, 2008c; Potop, Kožnarová 2008). Kapler *et al.* (2004) tvrdí, že zatímco za současných klimatických pod-

mínek mohou být k výskytu sucha náchylné pouze dvě oblasti (jižní Morava a oblast srážkového stínu Krušných hor), očekávaná změna klimatu během tohoto století pravděpodobně povede ke zvýšení pravděpodobnosti výskytu sucha i jinde. Podle Brazdila *et al.* (2008) má sucho v ČR rostoucí tendence k delšímu trvání a suché epizody jsou intenzivnější. Jejich výsledky jsou založeny na těchto parametrech: Palmerův index intenzity sucha (PDSI) a Palmerův Z-index. Z-index je považován za samostatný parametr, nicméně je základem pro výpočet PDSI.

Obvykle se rozlišují čtyři typy sucha: meteorologické, zemědělské, hydrologické a socioekonomické. K identifikaci závažnosti ohrožení jednotlivých regionů epizodami meteorologického a zemědělského sucha v ČR se aplikují různé metody – např. Langův dešťový faktor (LDF), SPI, index meteorologicky možného sucha (IMMS), PDSI či Palmerův Z-index. Poslední dva indexy PDSI a Palmerův Z-index se staly jedním z nejpoužívanějších nástrojů pro hodnocení zemědělského su-

cha v České republice. Bohužel hlavní překážkou v implementaci těchto indexů je nedostatek vstupních meteorologických informací o půdně vlhkostním režimu z většiny klimatologických stanic.

Příspěvek se zabývá využitím GIS jako nástroje pro prostorové a časové distribuce indikátoru sucha S_i na území České republiky (Potop, Soukup 2008a).

2. Materiál a metody

2.1 Index sucha S_i

V předloženém příspěvku byly zpracovány některé z metod analýzy časové a prostorové distribuce suchých období v ČR. V současné době existuje celá řada publikací, které se zabývají problematikou klasifikace metod hodnocení sucha, testováním efektivity různých indexů pro identifikaci a monitorování sucha. V odborné literatuře existuje přes 100 meteorologických ukazatelů. Mnohé z těchto indexů dávají analogické výsledky; u některých z nich byly dosaženy horší výsledky.

Z vytvořené agrodatabáze meteorologických prvků a charakteristik z období 1961 - 2007 byly využity měsíční hodnoty klimatologických prvků: úhrn srážek a průměrná teplota vzduchu.

Kombinaci srážek, teploty vzduchu a vlhkosti půdy zahrnuje index sucha S_i využívaný pro stanovení zemědělského sucha:

$$S_i(\tau) = \frac{\Delta T}{\sigma T} - \frac{\Delta R}{\sigma R} - \frac{\Delta E}{\sigma E} \quad (1)$$

Samotný index S_i lze také vypočítat pomocí teploty vzduchu a srážek a stanovit tak meteorologické sucho:

$$S_i(\tau) = \frac{\Delta T}{\sigma T} - \frac{\Delta R}{\sigma R}, \quad (2)$$

kde

$\Delta T = (t - t_n)$ - rozdíl měsíčních odchylek teploty vzduchu,

$\Delta R = (r - r_n)$ - úhrn srážek,

$\Delta E = (e - e_n)$ - vlhkost půdy,

$\sigma T, \sigma R, \sigma E$ - směrodatné odchylky,

τ - rok.

Jestliže $\Delta T > 0$ nebo $\Delta T/\sigma T > 0$; $\Delta R < 0$ nebo $\Delta R/\sigma R < 0$; $\Delta E < 0$ nebo $\Delta E/\sigma E < 0$, tehdy je $S_i > 0$, a je identifikováno zemědělské sucho. Dle vypočtené hodnoty S_i je pak klasifikován stupeň závažnosti sucha: $S_i > 0 \rightarrow$ suchý, $1 \leq S_i < 2 \rightarrow$ mírně suchý, $2 \leq S_i < 3 \rightarrow$ silně suchý a $S_i \geq 3 \rightarrow$ mimořádně suchý. Normální hodnoty jsou kolem nuly, kladné hodnoty označují období sucha a záporné hodnoty označují období vlhka.

Výhodou indexu sucha S_i je použití hodnot teploty vzduchu, úhrnu srážek a vlhkosti půdy ve standardizované formě, což umožňuje objektivní porovnávání trendů mezi různými stanicemi a měsíci. Proto je nezbytné dostatečné množství dat, obecně jsou doporučovány alespoň třicetileté řady.

Podobný index ke stanovení výskytu sucha, který pracuje s normovanými hodnotami, je *Standardizovaný srážkový index (SPI)*. Je založen jen na úhrnu srážek a vyjadřuje kvantifikaci srážkového deficitu ve vícerozměrném časovém měřítku, a je proto počítán pro různé časové úseky. *SPI* není schopen určit oblasti, které jsou více náchylné k suchu než jiné, také neumí identifikovat oblasti s nízkými „sezónními“ srážkami.

Co se týče kritéria indexu S_i , je užitečný jen pro hodnocení měsíčního sucha. Avšak sucha se mohou objevit například až na konci měsíce a pokračovat do měsíce následujícího. V tomto případě ale nemusí být první měsíc hodnocen na základě indexu S_i jako suchý, a to i přes to, že se již sucho vyskytlo. Proto bylo navrženo vymezit výskyt sucha trvajícím déle než jeden měsíc podle indexu S_i jinou metodikou. Za předpokladu, že data po sobě následujících měsíců jsou na sobě nezávislá, platí:

$$S_i \geq 2/\sqrt{r},$$

kde

r - počet detekovaných měsíců.

Výše uvedený postup byl detailně vyzkoušen při vyhodnocování období sucha v regionu srážkového stínu Krušných hor (Žatecko) v rámci celého teplého půlroku (duben až září), a odděleně podle ročních období: jaro, léto a podzim. V případě teplého půlroku byly stanoveny hranice inter-

valů pro hodnocení sucha na základě následujících vztahů: $Si \geq 1/\sqrt{6}$; $Si \geq 2/\sqrt{6}$; $Si \geq 3/\sqrt{6}$, $Si \geq 4/\sqrt{6}$, jejichž výsledky jsou uvedeny v tab. 1. Pro vymezení sucha v jednotlivých ročních obdobích teplého půlroku bylo stanoveno $r = 2$ pro jaro a podzim a $r = 3$ pro léto. Intervaly vymezené pro tato období jsou uvedeny také v tab. 1.

Tab. 1 Hranice intervalů pro hodnocení sucha na základě indexů Si

Index	Kritérium sucha			
	suchý	mírně suchý	silně suchý	mimořádně suchý
Si v časovém měřítku 6 měsíců	$0,41 \leq Si < 0,81$	$0,81 \leq Si < 1,22$	$1,22 \leq Si < 1,63$	$Si \geq 1,63$
Si v časovém měřítku 3 měsíce	$0,58 \leq Si < 1,15$	$1,15 \leq Si < 1,73$	$1,73 \leq Si < 2,31$	$Si \geq 2,31$
Si v časovém měřítku 2 měsíce	$0,71 \leq Si < 1,41$	$1,41 \leq Si < 2,12$	$2,12 \leq Si < 2,86$	$Si \geq 2,86$
Si v časovém měřítku 1 měsíc	$0,00 \leq Si < 1,00$	$1,00 \leq Si < 2,00$	$2,00 \leq Si < 3,00$	$Si \geq 3,00$

2.2 Algoritmus aplikovaný v GIS v prostorovém rozložení indexu Si

V druhé části metodiky se zabýváme popisem algoritmu modelu, použitými programovými prostředky a datovými zdroji. V aplikaci pro vizualizaci plošných rozsahů výskytu sucha byly použity tyto programové prostředky: ArcGIS (ArcCatalog a ArcMap) a Surfer 8.

Navržené metody byly ověřeny ve třech odlišných etapách:

A. Příprava klimatologických vstupních dat do GIS

Pro efektivní sledování cíle je nutné, aby každá charakteristika byla uložena v oddělených souborech, ve formátu podporovaném GIS softwarem. Základním požadavkem jsou:

- zobrazovat klimatologické údaje ve zvoleném formátu;
- zobrazovat je na základě zvoleného kritéria;
- zobrazovat zeměpisné souřadnice klimatologických stanic ve zvolené projekci.

B. Uložení klimatologické informace v osobní geodatabázi ArcCatalog

Za účelem vytvoření různých vrstev s klimatologickou informací byla vytvořena osobní geodatabáze v aplikaci ArcCatalog. Atributová data ukládaná do speciálních tabulek v interní relační databázi ArcCatalog jsou kompatibilní s formátem externí databáze v Microsoft Access. Interní atributové tabulky obsahují jen nutné

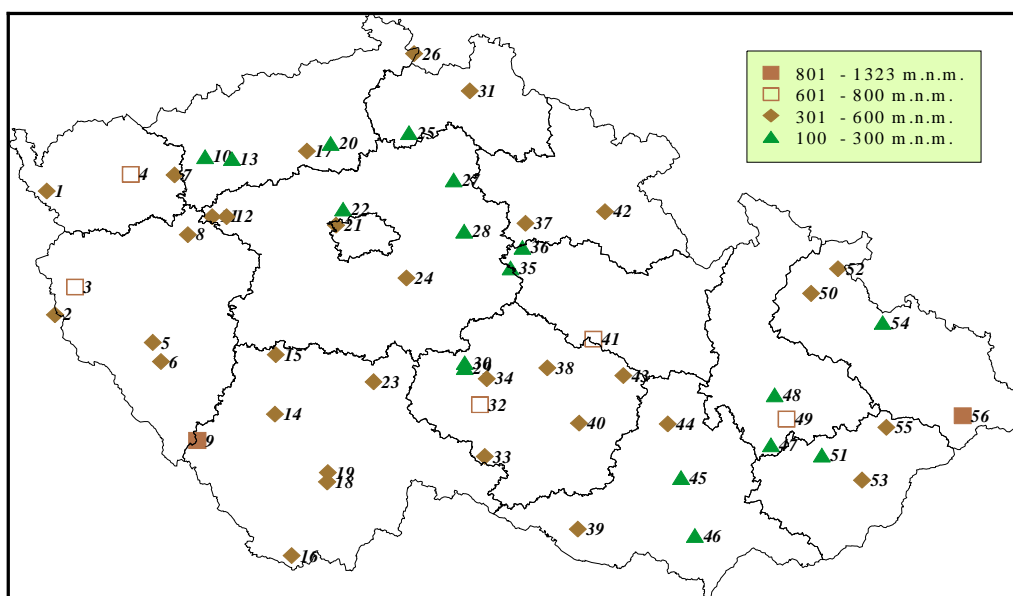
položky pro zobrazení a klíčové identifikátory, přes které bude kdykoli možné navázat externí databáze. Za účelem snadnějšího a efektivnějšího prohledávání klimatologických stanic a meteorologických prvků se soubory obsahující data připojí k tabulce spojené s prázdným polygonem (formát *shapefile*). Nové tabulky pomáhají vytvořit další vektorové vrstvy. Vektorová data byla uložena ve struktuře ArcCatalog *shapefile*, rastrová data potom ve struktuře *grid*.

C. Mapování plošného rozložení indexu Si

Nejdůležitější součástí GIS jsou data. GIS klade vyšší nároky na strukturu dat, která musí respektovat vzájemné prostorové i neprostorové vazby mezi objekty. Splnění těchto nároků je předpokladem pro logické uspořádání dat a pro efektivní propojení prostorových dat geometricky reprezentujících reálný svět s neprostorovými údaji uloženými v informačních databázích, kte-

ré popisují vlastnosti jednotlivých objektů reality. Databáze by měla být adaptabilní tak, aby mohla sloužit pro aplikace GIS.

Pro statistické zpracování meteorologické informace do výstupu umožňujícího vypočítat Si byl použit Microsoft Access. Prostřednictvím programu Surfer 8 byla zpracována základní databáze stanic v ČR. Tento software slouží jako nástroj umožňující zpracovat mapové výstupy ve formě izolinií jednotlivých charakteristik s libovolnou hustotou dat (Potop, 2003). Mezi základními požadavky pro volbu stanic byly: nadmořská výška (vysoké, střední a nízké polohy), homogenita řady meteorologických dat u vybraných stanic, rovnoměrné rozdělení stanic na území ČR (obr. 1). Byly stanoveny základní požadavky na kompatibilitnost programových prostředků GIS: propojení s databází Access a implementace Surfer 8 pro práci s rastry.



obr. 1 Mapa rozmístění klimatologických stanic, jejichž data byla použita v této studii (číslování je ve směru od východu k západu a stanice jsou klasifikovány podle nadmořské výšky)

Dalším cílem byla implementace zvolené metody do aplikace v prostředí ArcGIS. V aplikaci, která generuje plošné rozložení

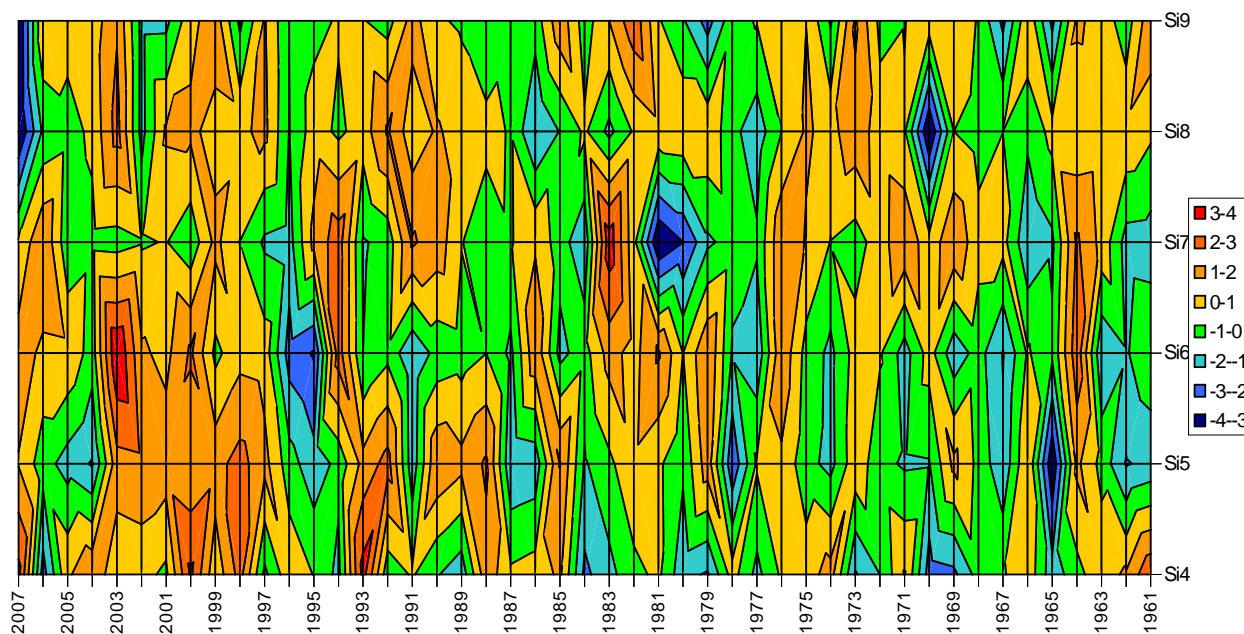
Si, jsme použili metody vážené vzdálenosti (IDW- Inverse Distance Weighted) a Kriging tak, abychom mohli mít možnost

ovlivnit parametry těchto interpolací (změnit velikost okolí, počet stanic vstupující do výpočtů). IDW předpokládá, že každý vybraný bod má vliv na své okolí. Jak naznačuje název metody, váha hodnoty známého bodu klesá se vzdáleností od toho bodu. Pro „kriging“ se používá tzv. lokální odhad. Lokálním odhadem rozumíme výpočet pravděpodobné hodnoty proměnné buď v bodě, kde nebylo provedeno měření - bodový odhad, anebo v relativně malé ploše – blokový odhad. Obě tyto interpolační metody umožňují provádět objektivní analýzu uvažovaného pole, tj. umožňují odhadnout hodnotu indexu S_i v libovolném místě pole. Za předpokladu, že dané pole je statisticky homogenní (Bailey, 1994), je odhad získaný metodou „kriging“ optimální v tom smyslu, že je nestranný a jeho střední kvadratická chyba je minimální. Jako souřadnicový systém pro ArcGIS a Surfer byl aplikován *S-JTSK Krovak East-North*.

3. VÝSLEDKY A DISKUSE

Na základě indexu sucha S_i byl vytvořen „katalog“ suchých a vlhkých měsíců v lokalitě Žatec (1961 až 2007) a bylo provedeno hodnocení mimořádných výskytů sucha

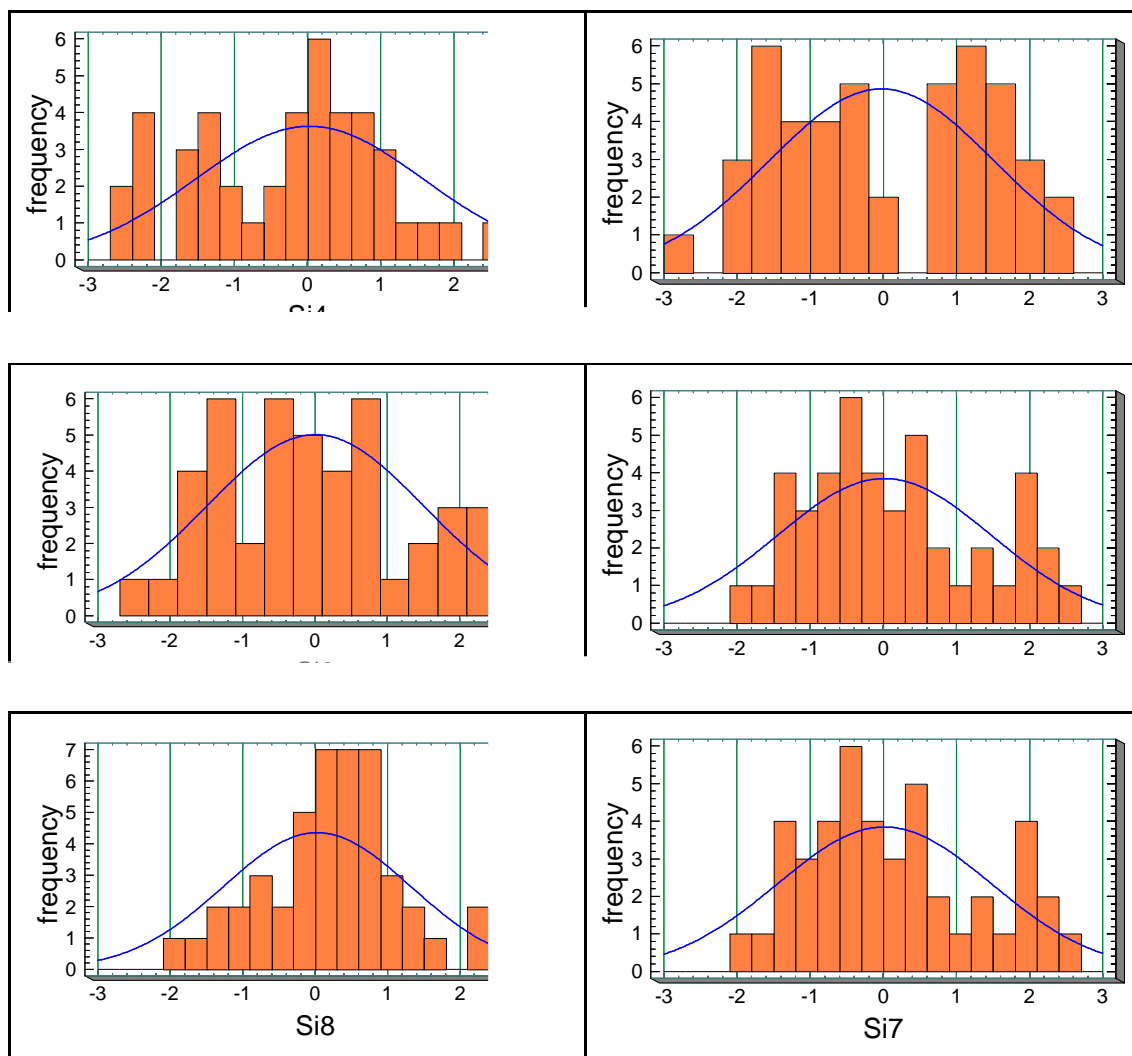
v letech 2006 a 2007 na území ČR. „Katalog sucha“ dokumentuje výskyt sucha v časovém rozlišení měsíční, sezónní a roční na území ČR za posledních 47 let. Katalog umožňuje získání komplexních informací o závažnosti, opakování a pravděpodobnosti výskytu sucha a suchých období pro vybranou lokalitu. Zvolená lokalita Žatec patří do regionu s mimořádně vysokým rizikem výskytu sucha, zejména během období od dubna do září. Analýza prokázala, že ve vegetačním období sledovaném v letech 1961 – 2007 bylo 5 měsíců charakterizovaných jako mimořádně suchých, 17 měsíců silně suchých a 45 měsíců mírně suchých (graf 1).



obr. 2 Výskyt suchých a vlhkých období v jednotlivých měsících teplého půlroku (Si4 – duben, Si5 – květen, Si6 - červen, Si7 – červenec, Si8 – srpen, Si9 – září) pro stanici Žatec v období 1961 až 2007

Z dosažených výsledků vyplývá, že nejsušším měsícem za celé sledované období je červen roku 2003, následně červenec 1983, duben 1993, duben 2007 a duben 2000. Měsícem s nejvyšším výskytem sucha s různým stupněm (16) se stal květen a s nejvyšším počtem období mimořádného sucha (3) měsíc duben. Nejsuššími roky

byly 2003, 2000, 2006, 2007, 1993, 1983 a 1964. Analýza „katalogu sucha“ ukazuje zvýšení tendence výskytu četnosti (obr. 2) a závažnost sucha v období na konci 20. století. V lokalitě Žatec se sucho často projevuje 2 až 3 roky, které po sobě následují (2001- 2002 - 2003).



graf 1 Distribuce hodnot indexu S_i (S_{i4} – duben, S_{i5} – květen, S_{i6} - červen, S_{i7} – červenec, S_{i8} – srpen, S_{i9} – září) a jich četnost pro jednotlivé měsíce teplého půlroku pro stanici Žatec (1961 až 2007)

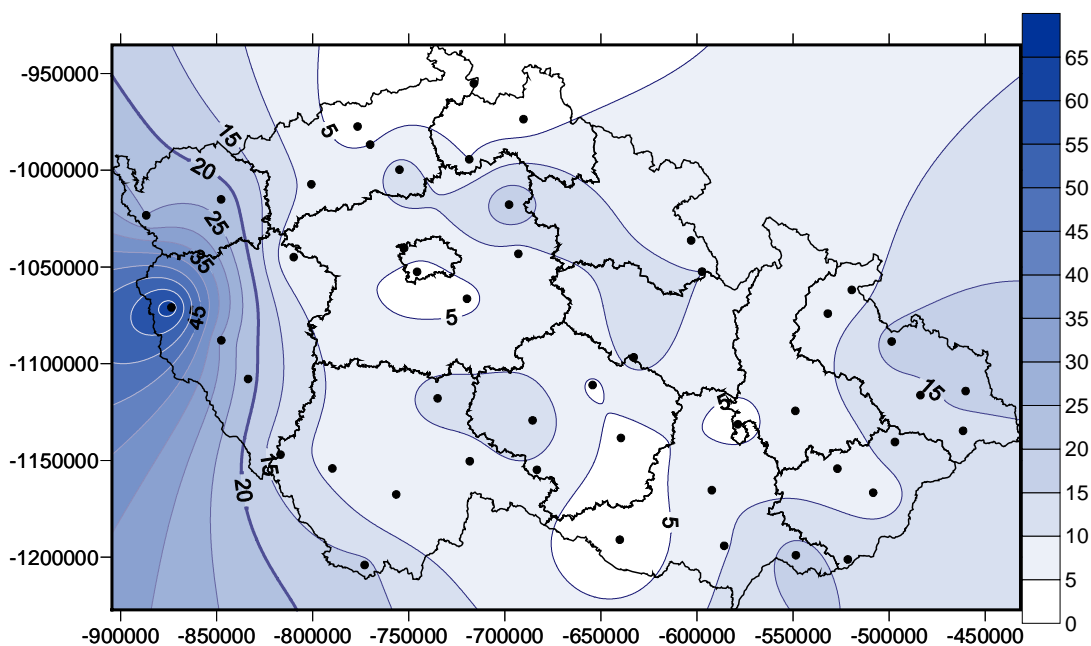
Již na začátku 21. století se projevila 3 mimořádná sucha. V roce 2006 byla zjištěna nerovnoměrná distribuce srážek a také střídání horkých a suchých měsíců se studenými a vlhkými měsíci. Další sucho se projevilo v roce 2007; bylo relativně krátké (duben), avšak s významným negativním

vlivem, a to zejména na plodiny z jarních výsevů. Jarní sucho nastalo v důsledku nízké zimní zásoby vody v půdě a velmi slabých srážek i nadnormálně vysoké teploty vzduchu v dubnu na celém území (obr. 3 a 4). Podle ČHMÚ byl duben 2007 od roku 1961 nejsušším a z hlediska průměrné

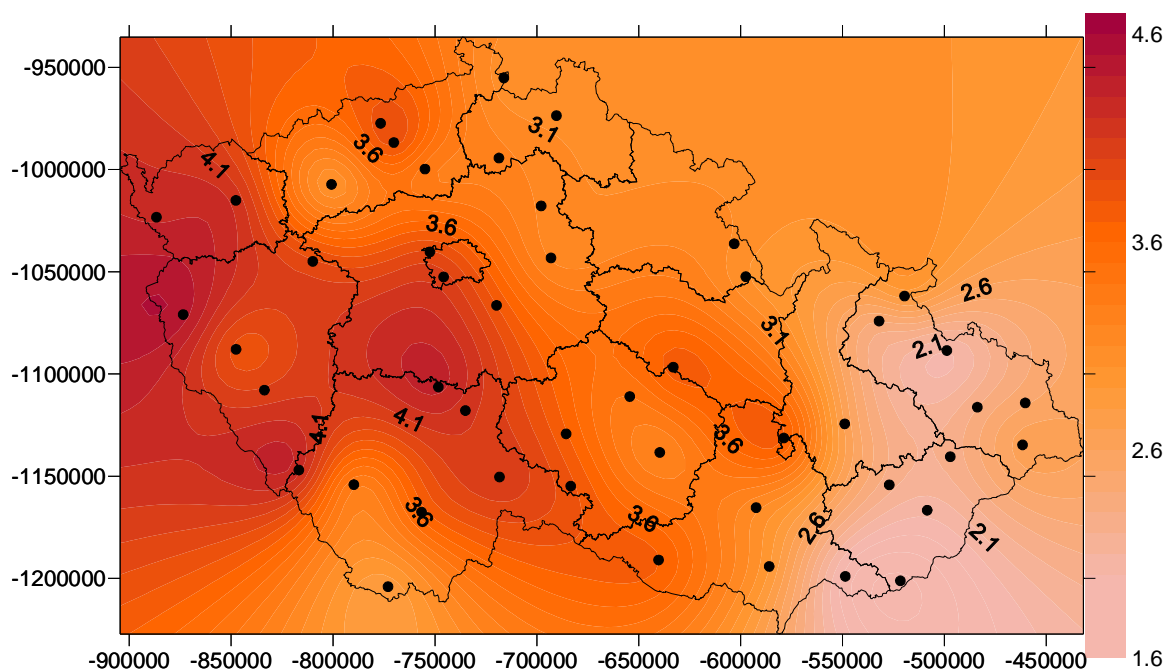
teploty třetím nejteplejším měsícem vůbec. Během mimořádného sucha v dubnu 2007 na území ČR napršelo v průměru pouze 6 mm (14 % normálu měsíčního úhrnu srážek). Nejvíce srážek spadlo v západních Čechách (13 mm, 35 % normálu), nejméně v severních Čechách 2 mm tj. 5 % normálu. Poslední dubnový týden byl týdnem pokračujícího jarního sucha, které bylo slabě zmírněno dvěma studenými frontami.

Sucha v letech 2006 a 2007 byla hodnocena jako mimořádná a měla negativní vliv na zemědělskou produkci v hlavních ze-

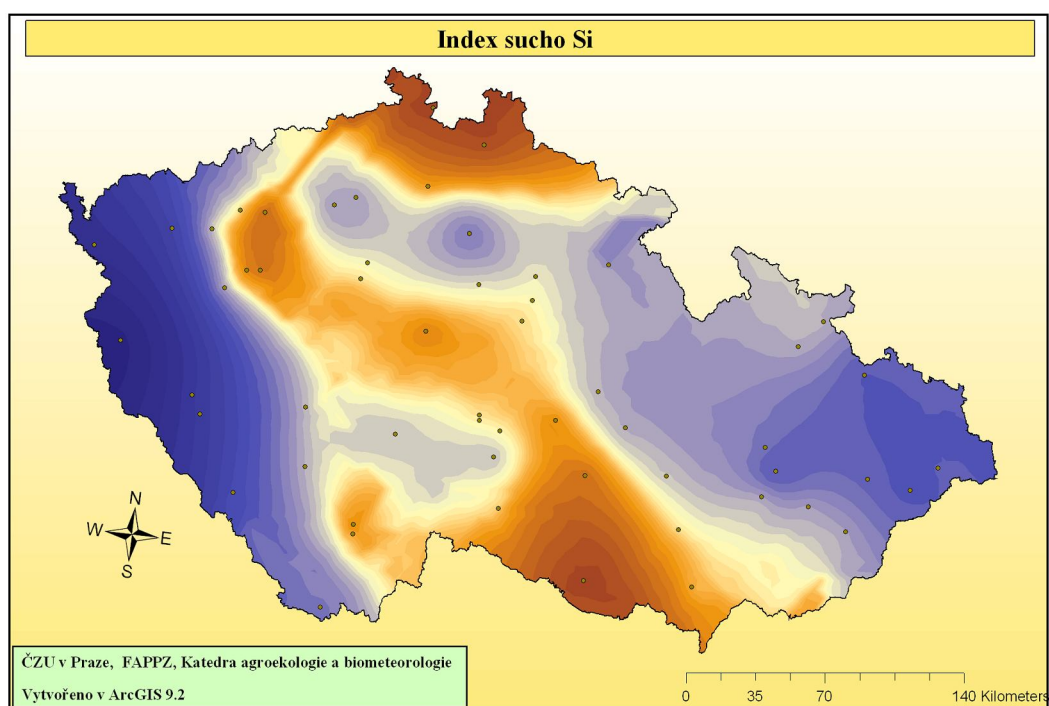
mědělských oblastech ČR (obr. 5 a 6). Z map je zřetelné, že sucha jako přirozené riziko se mohou vyskytnout na celém území i ve všech nadmořských výškách. Výskyt suchých měsíců je vyšší v druhé polovině sledovaného období, zvláště od 90. let, jak je patrné v uvedeném „katalogu“ (obr. 2). Dle informace Mezinárodního panelu klimatických změn IPCC byla 90. léta dvacátého století nejteplejší dekadou tisíciletí. Vyšší teploty v důsledku možné klimatické změny vedou ke zvýšení klimatických rizik na regionální i lokální úrovni.



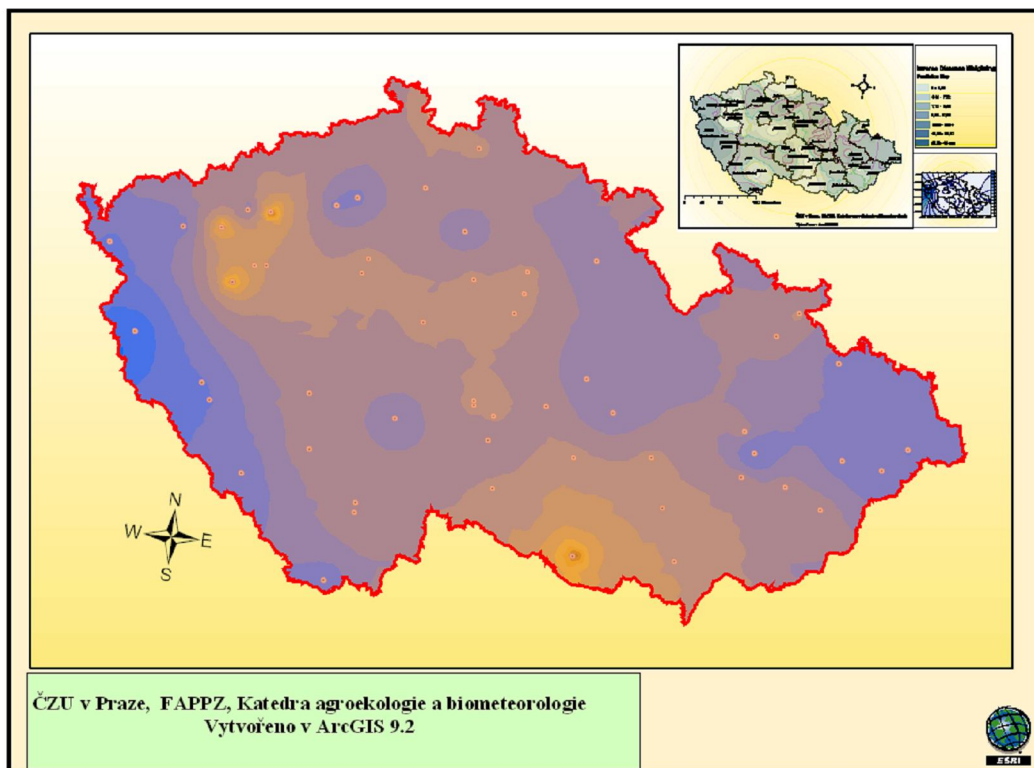
obr. 3 Prostorové rozložení procenta normálu srážek v nejsušším měsíci v roce 2007 na území České republiky (vytvořeno v Surfer 8)



obr. 4 Prostorové rozložení odchylky teploty vzduchu v dubnu v roce 2007 na území České republiky (vytvoreno v Surfer 8)



obr. 5 Vymezení oblastí zasažených suchem podle indexu S_i v dubnu 2007



obr. 6 Území ČR klasifikované jako oblasti zasažené suchem a mimořádným suchem podle indexu S_i v září 2006

4. Závěr

Příspěvek se zabývá využitím GIS jako nástroje pro prostorovou analýzu S_i indexu pro hodnocení sucha. Pro distribuci S_i indexu byla vybrána aplikace ArcGIS a Surfer 8. S_i je veličina vypočtená obvykle na základě empirické formule sloužící k podrobnějšímu charakterizování meteorologického a zemědělského sucha. I když

ukazatel sucha S_i vyžaduje dva, respektive tři, meteorologické prvky, lze jej považovat za jednoduchý. Zohledňuje nejen úhrn srážek, teplotní poměry, ale také půdně vlhkostní režim. Priorita indexu S_i spočívá ve velice přesném a jednoduchém výpočtu hodnot, neobsahuje ani konstanty ani koeficienty specifické pro geografické oblasti.

Poděkování:

Příspěvek byl zpracován a publikován s podporou výzkumného záměru MSM No. 6046070901 „Setrvalé zemědělství, kvalita zemědělské produkce, krajinné a přírodní zdroje“.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Bailey, T. (1994): A review of statistical spatial analysis in geographical information systems. In Fotheringham S., Rogerson P. (ed): Spatial Analysis and GIS.
- Brázdil, R., Trnka, M., Dobrovolný, P., Chromá, K., Hlavinka, P., Žalud, Z. (2008): Variability of droughts in the Czech Republic, 1881–2006. Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-03062.

- Dubrovský, M., Svoboda, M., D., Trnka, M., Hayes, M., J., Wilhite, D., A., Žalud, Z., Hlavinka, P. (2008): Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia. *Theor. and Appl. Clima*. Doi: 10.1007/s00704-008-0020-x.
- Kapler, P., Žalud, Z., Trnka, M., Semerádová, D. (2004): Hodnocení pravděpodobnosti výskytu sucha v současných a očekávaných klimatických podmínkách, Mendelnet 04 Agro. CD ROM, ISBN80-7157-813-4.
- Potop, V. (2003): Spatial distribution of droughts with a different degree of intensity at the territory Republic of Moldova. “GIS” of University “Al. I. Cuza” from Iași. nr. 9. T. XLIX, Romania, 145-149 pp.
- Potop, V., Soukup, J. (2008a): Spatiotemporal characteristics of dryness and drought in the Republic of Moldova. *Theor. and Appl. Climatology*. Doi: 10.1007/s00704-008-0041-5.
- Potop, V., Türkott, L., Kožnarová, V. (2008b): Methods for assessment of the drought using meteorological and biometrical indices in Czech Republic. České Budějovice, ISBN 80-85645-58-0, pp. 213-215.
- Potop, V., Türkott, L., Kožnarová, V. (2008c): Spatiotemporal characteristics of drought in Czechia. *Scientia Agriculturae Bohemica*. 39 (3):0-0, pp 258-268.
- Potop, V., Kožnarová, V. (2008): Drought as natural hazard in the Czech Republic. 8th Annual Meeting of the Europe Meteorological Society. Amsterdam. Vol. 5, EMS2008-A-00000.
- Potop V., Türkott, L. (2007): Estimation of dryness and drought in the agrometeorological year 2005/2006 in the Czech Republic. *Bioclimatology and natural hazards*. International Scientific Conference, Polana nad Detvou, Slovakia. SBN 978-80-228-17-60-8.
- Trnka, M., Hlavinka, P., Semerádová, D., Dubrovský, M., Žalud, Z., Možný, M. (2007): Agricultural drought and spring barley yields in the Czech Republic. *Plant Soil Environ*. 53, 306–316.