

Vliv sucha ve středních Čechách na výnos bulev cukrovky

DROUGHTS IN THE CENTRAL BOHEMIA REGION AND THEIR INFLUENCE ON THE YIELD OF SUGAR BEET

Luboš Türkott, Vera Potop, Věra Kožnarová – Česká zemědělská univerzita v Praze

Pěstování cukrovky v regionu středních Čech má dlouhou tradici a výnosy, kterých zde bylo a je dosahováno, jsou velmi dobré. V současné době dochází k soustředění pěstebních ploch do několika málo regionů typických řepařských oblastí v blízkosti cukrovarů (zde Dobruška). Tím však vyvstává riziko výrazného snížení produkce bulev vyvolané mimo jiné i počasím na daném stanovišti. Nepříznivé a rizikové meteorologické jevy determinované synoptickou situací, kdy tlakové útvary, vzduchové hmoty a atmosférické fronty pokrývají sice rozsáhlá území, ale intenzita jejich projevů má často lokální charakter, jsou v současné době faktorem podílejícím se na ekonomice pěstování. Projevy těchto jevů mohou být velmi odlišné a obvykle jsou charakterizovány jako zima, teplo, mokro nebo sucho.

V posledních letech se nejen v České republice, ale i v ostatních zemích Evropy stále častěji setkáváme s výskytem sucha, které má za následek značné ekonomické ztráty a to zejména v zemědělství. Dle informací Mezinárodního panelu klimatických změn byla 90. léta dvacátého století nejteplejší dekáda tisíciletí (1). Vyšší teploty v důsledku možné klimatické změny vedou ke zvýšení klimatických rizik na regionální úrovni. Sucha jsou nejnekladnější živelná pohroma světa a ovlivňují více lidí než jakákoliv jiná živelná pohroma (2). Nedávná vlna epizodického sucha v letech 2000, 2002, 2003, 2006 a 2007 procházela nejen jižní, ale i centrální Evropou včetně teritoria ČR (3, 4, 5).

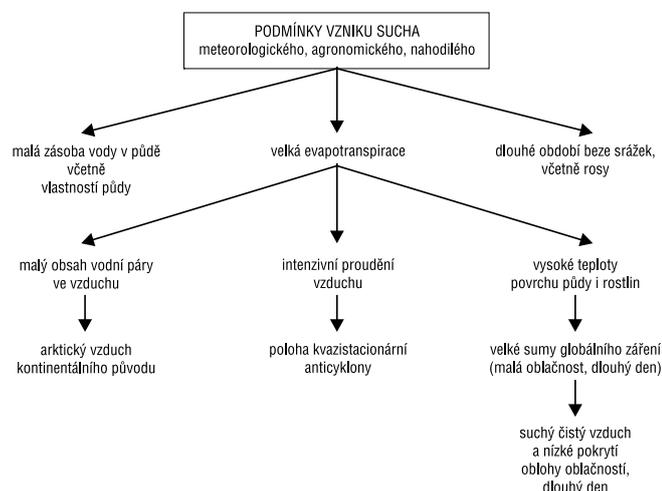
S ohledem na vysoké nároky cukrovky na úhrn srážek, a to nejen na jejich množství, ale i na rozložení během vegetace, jsou atmosférické srážky ve střední Evropě a zejména v ČR zpravidla limitujícím faktorem při produkci cukrovky (6). Proto je

v současné době věnována značná pozornost problémům týkajícím se výskytu sucha a suchých období.

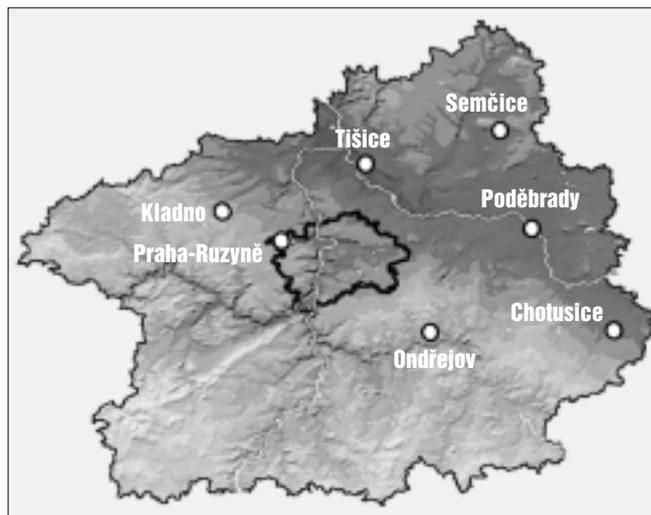
Definovat pojem „sucho“ je úkol poměrně složitý navzdory obecné představě, že se jedná o pojem se zcela jednoznačným výkladem. V odborné literatuře se můžeme setkat s poměrně rozsáhlým velmi různorodým souborem definic, které se snaží popsat uvedený jev. Obvykle se rozlišuje sucho meteorologické, agronomické a nahodilé.

Sucho meteorologické je nejčastěji definováno časovými a prostorovými srážkovými poměry, sucho agronomické je nedostatek vody v půdě ovlivněný předchozím, nebo ještě stále trvajícím výskytem meteorologického sucha. Z dalších vlivů mají značný význam vlastnosti půdy, úroveň zemědělské techniky a celá řada dalších faktorů. Sucho nahodilé je nepravidelně se vyskytující období podnormálních srážek, trvající několik týdnů, měsíců i roků. Ve vegetačním období bývá srážkový deficit doprovázen často i nadnormálními teplotami, nižší relativní vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a delší dobou trvání slunečního svitu. Tyto meteorologické faktory mají pak za následek větší evapotranspiraci, čímž se dále zvyšuje nedostatek vody v půdě. Sucho nahodilé je velmi nebezpečné právě svým neočekávaným a nepravidelným výskytem. Vzájemná provázanost těchto jevů (7) je znázorněna na obr. 1. Jak je patrné, hodnocení sucha je velmi problematické, účinky mají zpravidla kumulativní charakter. Z praktických důvodů se proto pro hodnocení používají různé indexy. Při jejich aplikaci je nutné mít na paměti, že mají celou řadu nedostatků – velmi obtížně lze stanovit začátek a konec, a tím i určit dobu trvání. Neuvažují zásobu

Obr. 1. Meteorologické faktory ovlivňující sucho



Obr. 2. Geografická poloha stanic



vody v půdě a projevy sucha v prostoru ovlivněném reliéfem se objevují se zpožděním a v různých stupních. Pro objektivitu řešení lze pak považovat použití několika různých metod.

Materiál a metody

Při posuzování vlivu sucha a stanovení suchých období jsme vycházeli ze statistické analýzy výnosů cukrovky v jednotlivých letech a vytvořeného katalogu let s nízkými výnosy v důsledku výskytu sucha o různé intenzitě. Dalším kritériem byla volba optimálního modelu pro hodnocení vlivu sucha na produkci cukrovky ve Středočeském kraji. Jako základ pro aplikaci modelu byla použita agrodata-báze zahrnující meteorologické charakteristiky – průměrnou denní teplotu vzduchu, průměrnou měsíční teplotu vzduchu, denní úhrn srážek a měsíční sumu srážek z vybraných lokalit. Při jejich výběru byla zohledněna zejména nadmořská výška jako klíčový faktor pro hodnocení zemědělsky využívaných ploch ve středních Čechách (Tišice, 168 m; Poděbrady, 196 m; Semčice, 234 m; Chotusice, 235 m; Praha-Ruzyně, 354 m; Kladno, 404 m a Ondřejov, 486 m). Jejich rozmístění je na obr. 2.

Databáze dále obsahuje výnosy zemědělských plodin jednotlivých krajů ČR. Ze souboru byly vybrány výnosy bulev cukrovky v intervalu let 1961–2006.

Pro stanovení variability výnosů byl použit model klimatické proměnlivosti výnosu (C_m). Hodnota C_m se stanoví jako suma dvou složek: první složka je průměrná hodnota výnosu určovaná podle úrovně technologií použitých v zemědělství a podle zvláštností klimatických podmínek daného území. Druhou složku tvoří hodnota výnosů ovlivněných agrometeorologickými podmínkami jednotlivých let.

$$C_m = \frac{1}{y} \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 - \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2 \right] / (n - 1)} \quad (1)$$

kde: y_i – výnos za rok,
 \bar{y} – průměrný výnos,
 y_i – výnos podle trendu,
 i – konkrétní rok,
 n – počet sledovaných let.

Ostatní faktory (choroby, škůdci, různá úroveň managementu) mají proti meteorologickým podmínkám na produkci zemědělských plodin často větší vliv. V rozboru dlouhodobého vývoje produkce cukrovky v ČR byly pozorovány poklesy a vzestupy produkce determinované právě těmito podmínkami. Proto byl původní model modifikován pomocí rovnice

$$y_i^O = y_i^{(v)} + y_i^{(T)} \quad (2)$$

kde: $y_i^{(v)}$ – výnos představovaný prům. dynamickou veličinou,
 $y_i^{(T)}$ – anomálie výnosů.

Tab. I. Parametry kvality modelu použitého pro hodnocení vlivu sucha na výnos cukrovky ve Středočeském kraji

	Odhad	Standardní chyba	t	p – hladina významnosti (%)	RMSE	Hladina spolehlivosti (%)	Y1 (t.ha ⁻¹)	Y2 (t.ha ⁻¹)
konstanta	-716,126	127,749	-5,606	0,001	5,799	99	26,4	43,4
šikmost	0,379	0,064	5,879	0,001				

Tab. II. Vyjádření efektu sucha na snížení výnosu

	$-0,5\sigma \geq y_i^{(T)} > -\sigma$	$-\sigma \geq y_i^{(T)} > -1,5\sigma$	$y_i^{(T)} \leq -1,5\sigma$
modifikované C_m vliv na výnos	-0,085 až -0,160 efekt mírného sucha	-0,170 až -0,250 efekt silného sucha	$\leq -0,260$ efekt mimořádného sucha

Za předpokladu, že výnos konkrétního roku byl větší než výnos představovaný průměrnou dynamickou veličinou $y_i^O > y_i^{(v)}$, byl konkrétní rok pro pěstování cukrovky z agrometeorologického hlediska příznivý. Bude-li $y_i^O < y_i^{(v)}$, hodnotíme sledovaný rok jako nepříznivý. Nevýznamné odchylky od průměrné dynamické veličiny byly z modelu odstraněny. Meziroční odchylka průměrného výnosu cukrovky v regionu může být vyjádřena:

$$y_i^{(T)} = \frac{y_i^O - y_i^{(v)}}{y_i} \quad (3)$$

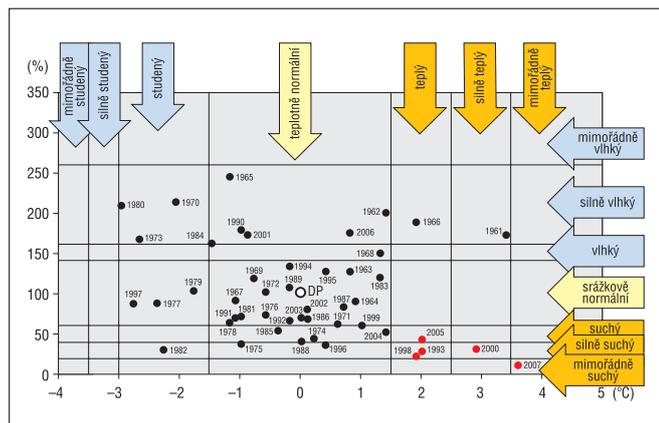
Negativní odchylky byly primárním důsledkem působení nepříznivých povětrnostních podmínek, zvláště pak suchem. Parametry modelu jsou uvedeny v tab. I. Hladina významnosti je menší než 0,05 a úroveň spolehlivosti větší než 95 %. V dalším kroku byly podle rovnice (3) stanoveny hranice intervalu pro roky s nízkými výnosy od $y_i^{(T)} \leq -0,5\sigma$. Pro tyto účely byly negativní odchylky výnosů cukrovky vyjádřeny v absolutní hodnotě (tab. II.). Pro rigorózní popis sucha byl doporučen index sucha Si (8):

$$Si_{(v)} = \frac{\Delta T}{\sigma T} - \frac{\Delta R}{\sigma R} \quad (4)$$

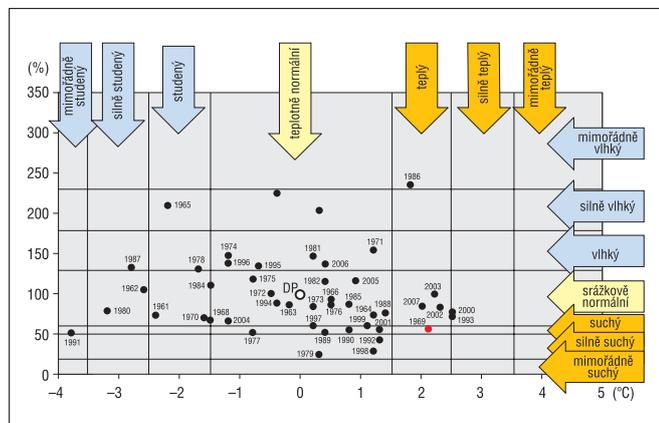
Index Si představuje rozdíl měsíčních odchylek teploty vzduchu (ΔT) a úhrnu srážek (ΔR), a jejich vlastní směrodatné odchylky (σT , σR), kde τ je rok. Dle vypočtené hodnoty Si je klasifikována míra atmosférického sucha: jestliže $Si > 0$ pozorujeme počátek sucha; $1 \leq Si < 2$ pak nastává mírné sucho; $2 \leq Si < 3$ silné sucho a $Si \geq 3$ mimořádné sucho.

Jako další možnost hodnocení podmínek meteorologického sucha jsme zvolili metodu hodnocení pomocí termopluvio-gramu (9) založené na kombinaci základních statistických veličin u nejčastěji používaných klimatologických charakteristik (průměrné měsíční teploty vzduchu a měsíčního úhrnu srážek) v časové řadě 1961 až 2007. Vymezení roků, které v daném měsíci lze charakterizovat kombinací vyšší teploty vzduchu (teplé, silně teplé, mimořádně teplé) a malou srážkovou aktivitou (suché, silně suché a mimořádně suché) jako nebezpečné a riziko-

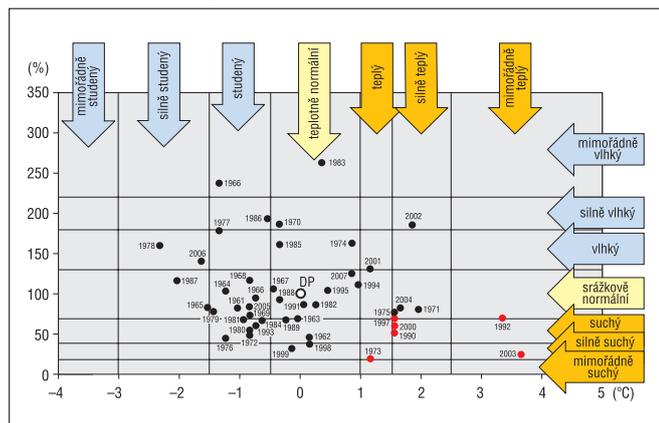
Obr. 3. Hodnocení povětrnostních podmínek v dubnu pomocí termopluviogramu



Obr. 4. Hodnocení povětrnostních podmínek v květnu pomocí termopluviogramu



Obr. 5. Hodnocení povětrnostních podmínek v srpnu pomocí termopluviogramu



vé, je založeno na pravděpodobnosti opakování určené pomocí kvantilů.

Často však pro plodiny může být užitečnější hodnotit povětrnostní podmínky v kratším intervalu (několik dnů). Měsíc může být z hlediska srážkové potřeby rostlin považovaný za suchý, i když úhrn srážek přesáhl dlouhodobý průměr. Dochází k tomu za situací, kdy distribuce srážek byla nerovnoměrná a deficit

srážek v měsíci byl z hlediska statistického zpracování překročen např. přívalovým deštěm. V takových případech voda odtéká a není rostlinám k dispozici. Sucho lze také hodnotit na základě počtu dnů bez efektivních srážek. Za efektivní srážky považujeme tu část, která zůstává v porostu a v půdě po odtoce a výparu.

V naší práci jsou za bezsrážková období považovány časové úseky, kdy po minimálně deset po sobě jdoucích dní nebyly na stanici naměřeny žádné měřitelné srážky (tj. s menším úhrnem srážek než 0,1 mm), případně byly srážkové úhrny velmi malé (0,1 mm, výjimečně 1 mm) a úhrn srážek, který přerušil suché období dosáhl maximálně 5 mm během 1 až 5 dní.

Výsledky

Předložené výsledky dokládají několik možných pohledů na řešenou problematiku. První část je zobrazena na termopluviogramu (obr. 3. až obr. 5.) vyjadřujícím teplotní a srážkové podmínky v jednotlivých měsících s vymezením hranic podle metodiky (9). Roky s výskytem rizikových období jsou diagnostifikovány v pravém dolním rohu.

V průběhu 46 let měl výnos cukrovky rostoucí trend. Rozdíl mezi počáteční a konečnou hodnotou trendu byl 17 t.ha⁻¹ (tab. I. – Y1 a Y2). Dle modelu Cm byly za období 1961–2006 vyhodnoceny roky povětrnostně příznivé a povětrnostně nepříznivé (obr. 6.).

Podle modelu byl stanoven výskyt let s nízkým výnosem cukrovky způsobeným mimořádným suchem 1x ve sledovaném období 46 let, silným suchem 1x za 6,6 roků ve sledovaném období a mírným suchem 1x za 7,7 roků ve stejném časovém intervalu. Potřeba vody za vegetační období cukrovky je cca 500 mm (10). Těto hodnoty nebylo dosaženo ani v jednom z ročníků klasifikovaných dle modelu jako mírně suché, silně

Tab. III. Katalog let s nízkými výnosy v důsledku sucha různé intenzity (podle indexu Si) a úhrn srážek ve vegetačním období cukrovky

Rok	C _m	Měsíc						Úhrn srážek (mm)
		IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	
1962	-0,5σ			++		+		304
1965	-0,5σ							464
1969	-0,5σ		+		++		++	265
1973	-0,5σ					+++		306
1976	-1,5σ			+	+	+		222
1980	-0,5σ					+		385
1981	-σ			++				462
1983	-σ				+			483
1988	-σ	++						360
1990	-σ				+++	+		222
1991	-σ		+				+	266
1992	-σ		++				+	270
1994	-σ			++	++			279
1995	-0,5σ							430

+ mírně suchý ++ silně suchý +++ mimořádně suchý

suché a mimořádně suché. Jako příklad lze uvést nejkritičtější rok sledovaného období 1976, kdy úhrn srážek za vegetační období cukrovky byl 222 mm. Docházelo k slunečnímu úžehu (úpalu), kdy řepný porost na poli doslova usychal. V tomto roce zasáhla sucha cukrovku v období největších nároků na vodu, a to v měsících červnu, červenci a srpnu. I když tato sucha byla klasifikována podle agrometeorologických indexů jako mírně suchá, jejich kontinuita způsobila výrazné snížení výnosu. V pořadí druhý kritický rok byl 1990 se stejným úhrnem srážek za vegetaci 222 mm. I když se v tomto roce vyskytlo mimořádné sucho v červenci, negativní účinek sucha byl díky dostatku srážek v červnu zmírněn v porovnání s rokem 1976 (tab. III.).

V první polovině 90. let byl hojný výskyt let s negativním působením sucha na výnos cukrovky, čemuž napovídají i velmi nízké úhrny srážek za vegetační období. Od druhé poloviny 90. let dochází k vzestupu modifikované hodnoty C_m , a to i v letech s nízkými srážkovými úhrny v době vegetace řepy. V roce 1998 byl srážkový úhrn za vegetační období cukrovky 279 mm, v roce 1999 dosáhl 286 mm a v roce 2003 pouhých 235 mm. Obdobné výsledky jsme zjistili i při zpracování bezesrážkových dní. Nejeфекtivnější metoda vymezení sucha a suchých období na území ČR je na základě denních, popřípadě měsíčních údajů. Hodnocení delších časových úseků nepřináší spolehlivé informace o četnosti a pravděpodobnosti výskytu sucha. Při vyhodnocení denních meteorologických dat posledního desetiletí byly roky 2003 a 2006 označeny jako nejsušší s nejvyšším počtem dní beze srážek, 130 a 144 (tab. IV.), avšak výnos cukrovky byl v obou letech nadprůměrný.

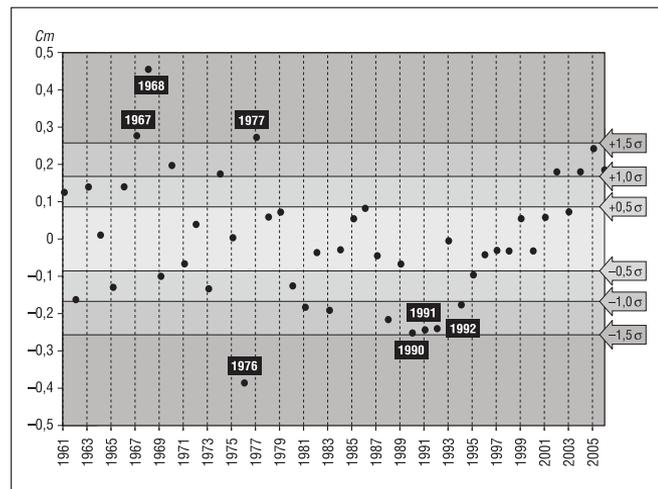
Při porovnání ročních výnosů s průměrným výnosem za roky 1990–2006 dosáhl v roce 2003 výnos cukrovky 113 % průměru a v roce 2006 dokonce 128 % průměru. Tato skutečnost je zřejmě způsobena změnou v managementu pěstování a zpracování řepy (především zlepšování agrotechniky, výživy a ochrany řepy). Pěstitelům se již nevyplatí dopěstovat a sklídit oslabené porosty s potenciálně nízkým výnosem a dochází tak k zaorávkám. Tento trend má za následek sklizeň cukrovky jen z porostů s potenciálně vysokým výnosem, což se projeví ve statistickém zpracování údajů o výnosech zvýšením průměrných hektarových výnosů za regiony. V takových případech dochází při modelování vlivu povětrnostních podmínek na výnos plodin ke zkrácení výstupu modelu. Při hodnocení meteorologického sucha za období 1961–2007 nezávisle na výši výnosů byl výskyt sucha postihující Středočeský kraj u 12 ročníků v dubnu, v 11 letech v květnu a v 5 letech v srpnu.

Závěr

U většiny let s nízkým výnosem je podle modelu za toto snížení odpovědné mimořádné sucho vyskytující se v daném roce. Jako nejméně příznivé pro růst a vývoj cukrovky byly vyhodnoceny roky 1976, 1990 a 1991. Největším rizikem pro dobrý výnos cukrovky jsou sucha v období května, popřípadě června. Pokud sucho pokračuje i v následných měsících je snížení výnosu výraznější. Dle výsledků četnosti výskytu sucha postihuje sucho území Středočeského kraje jednou za 5 let ve sledovaném období 47 let a nejvíce postiženými měsíci jsou duben a červenec.

LISTY CUKROVARNICKÉ a ŘEPAŘSKÉ

Obr. 6. Hodnocení kompatibilitnosti modelu výnosu s agrometeorologickými indexy



V posledních letech, v souvislosti se změnou managementu pěstování cukrovky a výroby cukru, dochází ke zvyšování průměrných výnosů za regiony a tento fakt negativně ovlivňuje výstupy modelu. Bude tedy nutné zpracovávat kratší časové řady a vytvářet další modifikace modelů.

Tento příspěvek byl vytvořen za podpory výzkumného záměru MSM6046070901 „Setrvalé zemědělství, kvalita zemědělské produkce, krajinné a přírodní zdroje“.

Tab. IV. Hodnocení dnů bez srážek za období 1999–2007 ve Středočeském kraji

Rok	Počet suchých období v roce	Suma dní bez srážek	Nejdlejší období bez srážek (dny)	Doba trvání období bez srážek	
				počátek	konec
1999	4	47	14	4. IX.	17. IX.
2000	4	54	18	13. IV.	30. IV.
2001	2	20	10	22. VIII.	31. VIII.
2002	3	42	19	26. III.	13. IV.
2003	8	130	25	23. X.	16. XI.
2004	5	78	22	28. III.	18. IV.
2005	5	91	24	22. XI.	15. XII.
2006	9	144	23	5. IX.	27. IX.
2007	2	52	13	5. IV.	17. IV.

Souhrn

Problém snižování výnosů v důsledku nepříznivých a rizikových meteorologických jevů patří mezi stále aktuální témata vědeckých studií. Předložený příspěvek se zabývá analýzou distribuce srážek ve vegetačním období a s tím souvisejícím výskytem sucha a suchých období. Poukazuje na obtížnost srovnávání získaných výsledků v rámci různých pohledů, která souvisí také s obtížným definováním základních pojmů. Autoři proto doporučují používat pro hodnocení vždy více kritérií.

K hodnocení sucha a suchých období provedli autoři rozbor výnosů cukrovky a agrometeorologickou analýzu rozsáhlé databáze zahrnující období 47 let. Jako kritéria použili modifikovaný model klimatické proměnlivosti výnosů *Cm*, metodu termopluiogramu a index sucha *Si*. Jako nejméně příznivé pro růst a vývoj cukrovky byly vyhodnoceny roky 1976, 1990 a 1991.

Literatura

1. IPCC, *Fourth National Communication of the Czech Republic on the UN Frame Work Convention on Climate Change*, 2007.
2. WILHITE D. A.: Drought as a natural hazard. In *Concepts and definitions*, in *Drought: A Global Assessment*, edited by Wilhite, D. A., Routledge, 2000, s. 3–18.
3. CIAIS P. ET AL.: Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437, 2005, s. 529–533.
4. POTOP V., TÜRKOTT L.: Estimation of dryness and drought in the agrometeorologicak year 2005/2006 in the Czech Republic. *Bioclimatology and natural hazards*. Slovakia, 2007, s. 174.
5. POTOP V., TÜRKOTT L., KOŽNAROVÁ V.: Methods for assessment of the drought using meteorologic and biometrical indices in Czech Republic. *Biotechnology 2008*. Scientific Pedagogical Publishing, České Budějovice, 2007, s. 213–215.
6. ŠROLLER J.: Požadavky na vodu a vliv srážek. In PETR J. AT. AL.: *Počasi a výnosy*. 1. vyd., Praha, SZN, 1987, s. 277–288.
7. KOŽNAROVÁ V., KLABZUBA J.: Příspěvek k problematice hodnocení sucha ve středních Čechách ve vegetačním období roku 2000. In *Pracovní seminář SUCHO, Brno 2001*, [on-line] <http://www.cbks.cz>.
8. PED D. A.: On indicators of droughts and wet conditions. *Russian Meteorol Hydrol.*, 156, 1975, s. 19–39.
9. KOŽNAROVÁ V., KLABZUBA J.: Agrometeorologické hodnocení ročníku nebo kratšího období II. část – Grafické zpracování naměřených hodnot, In *Sborník VŠZ*. Praha, 1993
10. RYBÁČEK V.: *Cukrovka*. 1. vyd., Praha, SZN, 1985, 480 s.

Türkott L., Potop V., Kožnarová V.: Droughts in the Central Bohemia Region and their influence on the yield of sugar beet

The problems concern to reducing yield determined of unfavourable and risk meteorological events belong always to actual subject of scientific studies. The submitted report deals with analyses of distribution precipitation during the growing season and related occurrence of drought and dry spells. This report is adverts to the difficult comparison of results from different points of views. It results from problems of basic terms as dry and wet period therefore the authors recommend to apply to classification more criterions.

The authors performed analyses both of databases including period of 47 years (the sugar beet yield and agrometeorological database) for the classification of drought and dry spells. The modified model of climatic variability of yield *Cm*, method of thermopluiogram and index of drought *Si* were applied as standards. The years 1976, 1990 and 1991 were evaluated as the unfavourable for the growth and ontogenesis of sugar beet.

Key words: drought, index of drought *Si*, thermopluiogram, sugar beet.

Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Luboš Türkott, Ph. D., Česká zemědělská univerzita, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra agroekologie a biometeorologie, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 Suchdol, Česká republika, e-mail: turkott@af.czu.cz