

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a biometeorologie



**Kvantifikace sucha a možná opatření ke zmírnění dopadů
sucha v Polabí**

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Tereza Schováňková

Obor studia: Rozvoj venkovského prostoru

Vedoucí práce: doc. Dr. Mgr. Vera Potopová

© 2017/2018 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Kvantifikace sucha a možná opatření ke zmírnění dopadů sucha v Polabí" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 13. 4. 2018

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucí mé diplomové práce doc. Dr. Mgr. Vera Potopová. Za její trpělivost, čas a věcné připomínky, které mi pomohly při psaní práce. Dále bych chtěla poděkovat Českému hydrometeorologickému ústavu za pomoc při hledání zdrojů.

Kvantifikace sucha a možná opatření ke zmírnění dopadů sucha v Polabí

Souhrn

Cílem práce bylo testování efektivity indexů sucha pro detekci, sledování a hodnocení epizod sucha ve vztahu k vláhovým poměrům v Polabí. V literární rešerši se věnuji shrnutí aktuální vědecké publikace o klimatologii sucha ve střední Evropě v současných klimatických podmínkách, včetně koncepce sucha v antropocénu. V práci je předložen způsob monitorování sucha v několika vybraných zemích a částech světa (Evropa, ČR, USA, Austrálie, Čína). Indexy byly rozděleny do kategorií sucha dle konkrétních požadavků řešitele: meteorologické indexy, zemědělské indexy, hydrologické indexy, indexy dálkové detekce a kompozitní indexy. Kvantifikace sucha byla provedena na základě meteorologického indexu Standardizovaný srážkový index sucha s kumulativním intervalem 1, 2, 3, 6, 12, 24, 36 měsíců za období 1961 - 2014. Dále byla řešena různá opatření vedoucí ke zmírnění dopadů sucha. K tomu byla využita rozsáhlá databáze dopadů sucha v Evropě (European Drought Impact report Inventory). Z výsledku je patrné, že vývoj intenzity a četnosti sucha v Polabí má v posledních dvou dekadách rostoucí trend. Navíc dopady sucha na zemědělství představují ve většině regionů Evropy největší podíl ze všech dopadů.

Klíčová slova: sucho, meteorologické indexy, zemědělské indexy, hydrologické indexy, indexy dálkové detekce, kompozitní indexy

The drought quantification and measures of the drought impacts in Elbe lowland

Summary

The aim of the thesis was to test the effectiveness of drought indices for the detection, monitoring and evaluation of such occurrences in relation to moisture conditions in Elbe lowland. The literature review is focused on a summary of the current scientific publications focused on drought climatology in Central Europe in current climatic conditions, including the concept of drought in Anthropocene. The thesis presents a way of monitoring drought in several selected countries and parts of the world (Europe, the Czech Republic, USA, Australia, and China). The indices were divided into categories of drought according to the specific request of the investigator: meteorological indices, agricultural indices, hydrological indices, remote detection indices and composite indices. The quantification of drought was based on the meteorological index Standardized rainfall index of drought, with a cumulative interval of 1, 2, 3, 6, 12, 24, 36 months for the period 1961 - 2014. In addition, various measures have been addressed to mitigate the impacts of drought. This has been done through extensive databases of drought effects in Europe (European Drought Impact report Inventory). From the result is clear that the development of drought intensity and frequency in Elbe lowland has been on the rise for the past two decades. In addition, such impacts of drought on agriculture represent the largest share of all impacts in most regions of Europe.

Keywords: drought, meteorological indices, agricultural indices, hydrological indices, Remote detection indexes, composite indices

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
3	Literární rešerše	3
	3.1 Klimatologie sucha ve střední Evropě v současných klimatických podmínkách včetně koncepce sucha v antropocénu	3
	3.1.1 Změna klimatu.....	3
	3.1.2 Extrémní jevy.....	4
	3.2 Sucho	4
	3.2.1 Monitoring.....	7
	3.2.1.1 Monitoring ve Spojených státech amerických.....	8
	3.2.1.2 Monitoring v Evropě.....	9
	3.2.1.3 Monitoring v České republice.....	10
	3.2.1.4 Monitoring v Austrálii.....	11
	3.2.1.5 Monitoring v Čínské lidové republice.....	11
	3.2.2 Sucho a jeho dopady.....	11
	3.2.2.1 Dopady sucha v zemědělství.....	12
	3.2.2.2 Dopady sucha v lesnictví.....	13
	3.2.2.3 Dopady sucha v hydrologii a vodním hospodářství.....	13
	3.2.2.4 Omezení dopadů sucha.....	14
	3.3 Indexy sucha	15
	3.3.1. Rozšířený přehled indexů meteorologického sucha.....	15
	3.3.2. Rozšířený přehled indexů hydrologického sucha.....	17
	3.3.3. Rozšířený přehled indexů zemědělského sucha a metody dálkové detekce.....	18
	3.3.4. Socioekonomické sucho.....	19
4	Metodika	20
5	Výsledky	22
	5.1 Četnost výskytu jednotlivých kategorií dle sedmistupňového hodnocení	22
	5.2 Vývoj výskytu suchých a vlhkých období	32
	5.2.1 Významná sucha v Evropě.....	36
6	Diskuze	39
7	Seznam literatury	46
8	Přílohy	53

1 Úvod

Sucho je náhodný přírodní jev, který vyplývá ze značného nedostatku srážek. Mezi přírodními riziky je sucho známé tím, že způsobuje rozsáhlé škody a postihuje významný počet lidí (Zargar *et al.*, 2011). Nízká hladina vody v řekách a snížené zásoby podzemních vod vedou k problémům s řízením vodních zdrojů, obvykle po delší dobu. Sucho ovlivňuje nejen lidskou společnost, ale také vede ke zhoršení přirozených ekosystémových funkcí. Všechna tato kritéria zdůrazňují význam výzkumu sucha v Evropě pro budoucnost, zejména ve světle antropogenně zhoršených klimatických změn a také potřebě správného a vědecky zdravého plánování reakcí na sucho (Brázdil *et al.*, 2015). Sucho jako klimatologický fenomén, který má významné dopady na mnoho aspektů lidské společnosti a ovlivňuje mnoho jejích důležitých činností. V zemědělství vede k výrazně nižším výnosům zemědělských plodin než v běžných letech (např. Hlavinka *et al.*, 2009, Brázdil *et al.*, 2015).

Sucho které je zjevně důsledkem klimatických anomálií, stejně jako praxe v oblasti využívání vody u člověka. Avšak mnoho aspektů pro společnost je přímo spojeno s hydrologickými podmínkami vyplývajících z těchto dvou faktorů. Indexy sucha jsou kvantitativními opatřeními, který charakterizují hladiny sucha asimilací dat z jedné nebo více proměnných (indikátorů), jako je srážení a evapotranspirace, do jediné číselné hodnoty. Takový index je snadněji použitelný než surové indikátorové údaje. Aby bylo možné snížit škody způsobené suchem, je důležité charakterizovat sucho. Charakterizace sucha umožňuje operace jako je včasné varování proti suchu a analýza rizika sucha, které umožňují lepší přípravu a plánování nepředvídatelných událostí (Zargar *et al.*, 2011).

Potopová *et al.*, (2015) v článku uvádí, že po povodních jsou sucha nejrozsáhlejšími přírodními katastrofami v České republice, což je fakt, který naléhavě vyžaduje studium sucha z různých hledisek.

Zemědělství ve všech jeho oblastech je přímo ovlivněno extrémními událostmi a jejich účinky, obzvláště těmi negativní, které nemohou být minimalizovány nebo ignorovány. Po celém světě dochází každoročně k suchu v zemědělství (např. Semenov and Shewry, 2011, Rötter *et al.*, 2012).

2 Cíl práce

Cílem práce bude testování efektivity různých indexů pro detekci, sledování a hodnocení epizod sucha (nástup, konec a závažnost sucha) ve vztahu k vláhovým poměrům v Polabí.

Hypotézy:

1. Vývoj intenzity a četnosti sucha v Polabí má v posledních dvou dekadách rostoucí trend.
2. Dopady sucha na zemědělství představují ve většině regionů Evropy největší podíl ze všech dopadů.

3 Literární rešerše

3.1 Klimatologie sucha ve střední Evropě v současných klimatických podmínkách včetně koncepce sucha v antropocénu

3.1.1 Změna klimatu

Pojem „změna klimatu“ vyjadřuje odhad či predikci budoucího klimatu podle výsledků z klimatologických modelů, které se ve výstupech i liší. Podle výsledků klimatologických modelů by mohlo dojít ke vzrůstu průměrných ročních teplot koncem tohoto století až o více jak dva stupně (Brohan *et al.*, 2006), ale srážkové úhrny budou víceméně shodné se současnými. Z toho plyne jeden významný poznatek, a sice že na našem území by se mohly významně snižovat hodnoty vláhové bilance, což znamená zvyšování jak intenzity, tak četností výskytu sucha (Rožnovský, 2016). Dai *et al.*, (2004) popsali pozoruhodný trend sucha v celé střední Evropě (včetně České republiky) od počátku 20. století, který byl spojen s rostoucími teplotami ve stejném časovém horizontu.

Jedním z nejdůležitějších mezinárodních orgánů věnujících se problematice změny klimatu, adaptací, snížením zranitelnosti a zvýšením odolnosti vůči jejím dopadům je Mezivládní panel pro změnu klimatu. V letech 2013 a 2014 byli zveřejněny jednotlivé části ((fyzikální základy pozorovaných změn v klimatickém systému (IPCC, 2013); dopady změny klimatu, adaptace a zranitelnost; zmírňování změny klimatu (IPCC, 2014)) páté hodnotící zprávy IPCC (tzv. AR5). Tento panel uvádí, že lineární trend globální průměrné teploty vykazuje za období 1880 – 2012 oteplení o 0,85 °C a že na severní polokouli bylo období 1983 – 2012 pravděpodobně nejteplejším třicetiletím za posledních 1400 let (IPCC, 2013). Čtvrtá hodnotící zpráva Mezivládního panelu o změně klimatu dospěla k závěru, že oteplování klimatického systému je jednoznačné, velmi pravděpodobné. Bude zapříčiněno pozorovaným nárůstem antropogenních emisí skleníkových plynů. Pokračující emise by způsobily změny klima během 21. století, které by byly pravděpodobně větší než ty, které byly pozorovány během 20. století. Zpráva rovněž dospěla k závěru, že změněné frekvence a intenzity extrémního počasí mají většinou nepříznivý vliv na přírodní a lidské systémy a konkrétněji na to, že oblast zasažená suchem se pravděpodobně zvýší (IPCC, 2007).

Kromě průměrných trendů však mohou být změny frekvence extrémních událostí (např. povodně a sucha) jedním z nejvýznamnějších důsledků klimatických změn (Katz & Brown, 1992, Karl *et al.*, 1993, Frei and Schär, 1998).

Extrémní počasí (hurikány, tornáda, povodně, sněhové bouřky, vlny veder a sucho) má zpravidla ničivý charakter a jeho následky mohou být katastrofální až smrtelné (Simons, 2010).

3.1.2 Extrémní jevy

Jedná se o jevy, které nejsou omezeny povodím nebo mezinárodními hranicemi, a mohou narůstat k postižení velkých oblastí a mnoha zemí současně (Lehner *et al.*, 2006). Prudké změny frekvence, umístění nebo intenzity extrémních meteorologických událostí (povodně, sucho, bouře atd.) mají přímé a těžké dopady na ekosystémy a společnost, což vede k sociálním a ekonomickým nákladům a dokonce ke ztrátám na životech (Meehl *et al.*, 2000; Murnane, 2004; Parmesan *et al.*, 2000). Na rozdíl od sucha jsou krátkodobé extrémní události neutrální nebo dokonce povzbudivé pro hospodářský růst ve vyspělých zemích. Na druhé straně, prodloužené období sucha by mohlo nejen způsobit vážné ekonomické ztráty, ale mohlo by paralyzovat zemědělskou produkci v několika ročních obdobích a omezit i jiné segmenty ekonomiky (např. White *et al.*, 2003; Horridge *et al.*, 2005).

3.2 Sucho

Jedná se o obecné označení pro nedostatek vody v krajině. Je vyvoláno nedostatkem atmosférických srážek v důsledku výskytu suchých období a ovlivňováno mnoha dalšími faktory, včetně těch antropogenních. Definice sucha proto není jednoznačná a různí autoři k hodnocení jeho intenzity používají různé indexy sucha. Můžeme přitom vycházet z několika hledisek, která na sebe navazují: meteorologické sucho vyvolává agronomické sucho, navazující hydrologické a socioekonomické sucho. Sucho patří mezi největší meteorologicky podmíněná přírodní ohrožení zejména v chudých zemích (<http://slovník.cmes.cz/>). Neexistuje žádná univerzální a všeobecně uznávaná definice sucha. D. A. Wilhite & M. H. Glantz (1985) uvádějí přehled některých z více než 150 publikovaných definic sucha. Lehner *et al.*, (2006) definují sucho jako perzistentní období, kdy odtok řeky zůstává pod referenčním minimálním průtokem.

Sucho lze definovat jako deficit srážek vzhledem k očekávané normální srážce, která se vyskytuje v průběhu sezóny nebo delší části roku (Wilhite, 1991). Jedná se o opakující se celosvětový fenomén s prostorovými a časovými charakteristikami, které se v jednotlivých regionech výrazně liší (http://www.geo.uio.no/edc/index_old.htm).

Obecně je při suchu nedostatek srážek za delší časové období v řádech týdnů až měsíců, a proto je třeba do analýzy zahrnout i začátek vzniku srážkového deficitu (Daňhelka *et al.*, 2015). Účinky sucha jsou závislé nejen na délce, intenzitě, oblastech postižených epizodou sucha, zásobováním vodou, ale také na úrovni hospodářského rozvoje v dané zemi (Wilhite, 1990). Důsledky období sucha se stejnou intenzitou a délkou trvání budou mít různé účinky v různých regionech (Potop *et al.*, 2010). Problémem je složitost přesné definice sucha, určení jeho počátku, konce a délky trvání. Jednotná a obecně přijímaná definice nebyla přesto doposud stanovena, a to díky řadě faktorů, které mohou mít vliv na výskyt sucha (na jedné straně meteorologické vlivy a na straně druhé vlastnosti půdy) a rovněž řady oborů, které sucho zásadně ovlivňuje. V odborné literatuře se můžeme setkat s poměrně rozsáhlým a velmi různorodým souborem definic, které se snaží popsat uvedený jev. V současné době se pro detailnější popis sucha, využívá jeho rozdělení na čtyři různé typy dle dominujících projevů (Heim, 2002).

Rozložení tlakových útvarů a zejména rozsáhlé a obnovující se tlakové výše přispívaly k tomu, že se do střední Evropy nedostával dostatečně vlhký vzduch z okolních moří a oceánu (Daňhelka *et al.*, 2015). Sucho by se nemělo zaměňovat se suchostí, která je trvalým rysem suchého klimatu. Ani s nedostatečností vody, která by znamenala dlouhodobou nerovnováhu v dostupných vodních zdrojích. Existuje tedy naléhavá potřeba řešit vznikající problémy v oblasti výzkumu a řízení sucha. V tomto směru bude EDC spolupracovat s vědeckými a operačními komunitami, jakož i s tvůrčími politiky a společností s cílem zvýšit povědomí o riziku sucha (http://www.geo.uio.no/edc/index_old.htm).

Organizace IPCC (2013) udává, že oblasti nejvíce postiženými suchem jsou Středozeří a jihovýchodní Evropa. Nejvýznamnější sucha, která postihla Evropu, byla v letech 1959, 1972, 1973, 1975 - 1976, 1991 - 1995, 2000, 2003, 2004 - 2007, 2007 (http://www.geo.uio.no/edc/index_old.htm).

Proměnlivost podnebí České republiky způsobuje, že se zde vyskytují roky s povodněmi, ale i se suchem (Rožnovský a Kohut, 2004). Naše podnebí je limitováno polohou, jsme součástí mírného klimatického pásu, ovšem v oblasti přechodného středoevropského klimatu (Kolektiv autorů, 1958). Významnou roli sehrávají cirkulační a geografické poměry. Po převážnou část roku u nás převládá vzduch mírného pásma, ale na našem území se také projevuje v krátkých obdobích i vzduch tropický a arktický. Oceanita našeho podnebí je vyvolávána Atlantickým oceánem, proto je proudění vzduchu vyšší v Čechách, kde jsou častěji mírnější zimy a chladnější léta než na Moravě. Srážky jsou rozděleny rovnoměrněji.

Naopak kontinentalita je oproti Čechám vyšší na Moravě a ve Slezsku, kde jsou také větší teplotní amplitudy. Z geografických podmínek mají vliv naše hory, které vytvářejí tzv. klimatické přehradu, kdy zčásti zabraňují vpádům studeného vzduchu od severu, ale vzhledem k západnímu proudění vyvolávají dešťový stín. Významnou roli pro naše počasí má cyklonální činnost, která ovlivňuje přechody atmosférických front přes naše území, a tím i výskyt srážek (Tolasz *et al.*, 2007). Téměř každý rok postihne některý z regionů České republiky alespoň krátkodobě období sucha (Tremml, 2011).

Téměř veškerá voda, která se na území České republiky vyskytuje, pochází z atmosférických srážek. Poloha České republiky na rozhraní tří úmoří sebou tedy přináší nutnost šetrně hospodařit se srážkovou vodou v krajině tak, aby byla využitelná pro všechna potřebná odvětví (Anonym, 2015).

Sucho může být kromě záplav považováno za nejvíce katastrofální přírodní událost v České republice (viz např. Brázdil *et al.*, 2005, 2007b). Již nyní lze na území České republiky identifikovat oblasti (příloha č. 1) nejvíce ohrožované suchem (Anonym, 2015).

Nejvyšší počty suchých epizod na území České republiky se vyskytují na Žatecku (suchá podkrušnohorská oblast), v Polabské nížině (okresy Mělník, Nymburk a Kolín) a v oblasti jižní Moravy, přičemž počet suchých období výrazně roste s poklesem nadmořské výšky (Tolasz *et al.*, 2007).

Sucho patří mezi extrémní hydrologické jevy. Hlavní příčinou sucha jsou přitom vždy synoptické příčiny. Jedná se o převládající období s nedostatkem srážek a vysokou evapotranspirací (tzv. meteorologické sucho). Důsledkem toho se pak projevují ostatní typy sucha (Tremml, 2011). Frontální systémy, které se dostaly nad území České republiky, neměly dostatečnou vlhkost pro vývoj bouřek. Nízká relativní vlhkost vzduchu a málo oblačnosti přispívaly i k celkově většímu výparu, čímž se dále prohlubuje nedostatek vody v krajině (Daňhelka *et al.*, 2015).

Také sucho v létě 2015, které postihlo území České republiky, se zařadilo mezi historicky významné epizody sucha na našem území (Daňhelka *et al.*, 2015). Roční kolísání srážek by se také mělo měnit s nápadným nárůstem v zimě (až o 25%) a snížením v létě.

To by mohlo vést k desertifikaci klimatu střední Evropy s nevyhnutelnými důsledky pro Českou republiku, kde jsou srážky hlavním zdrojem vody. Jedním z důsledků může být násobné zvýšení pravděpodobnosti výskytu intenzivních období sucha (včetně ničivých) a také následné změny ve vodní ekonomice krajiny, jak zdokumentovali Dubrovský *et al.* (2007a, b).

Velikost sucha je, z důvodu jeho komplexního vývoje a dopadů, velmi obtížné vyhodnotit jedním kritériem, přesto je zjevné, že sucho v roce 2015 lze srovnávat se významnými historickými epizodami sucha, např. v letech 1947 či 2003 (Daňhelka *et al.*, 2015). Dvě významné zeleninové oblasti v České republice jsou jižní Morava a nížiny Labe, kde se pěstuje částečně odlišný sortiment zeleniny. Labská řeka je jedním z největších a nejproduktivnějších dodavatelů zeleniny v České republice (Potopová *et al.*, 2015). Nížiny mají vysoké riziko výskytu sucha (údolí řeky Labe a jižní Morava). Výše zmíněný příklad dopadu sucha na zemědělské plodiny slouží jako hlavní motivace pro testování nového indexu pro zjišťování epizod sucha v nížinných oblastech České republiky (Potop *et al.*, 2011).

Brázdil *et al.*, (2009) uvádějí že, analýza ročního cyklu trendů vybraných klimatických prvků v České republice vykazuje poměrně výraznou tendenci k vyšším teplotám a nižšímu srážení během období duben - červen. Podle prognóz modelů globálního oběhu v České republice (např. Dubrovský *et al.*, 2005) nebude nárůst potenciální evapotranspirace (způsobený nárůstem teploty) uspokojen dostatečným nárůstem srážek, což nevyhnutelně povede k vyšší frekvenci sucha, jak ukazuje studie Dubrovského *et al.*, (2007a, b). Stále vzrůstá důkaz, že historické změny půdního krytu změnily regionální klima. Což přispělo ke změně frekvencí výskytu sucha a tím došlo ke zvýšení vlivu přírodní klimatické variability (McAlpine *et al.*, 2007; Taylor *et al.*, 2002).

3.2.1 Monitoring

Základním krokem v rámci preventivních opatření pro zvládnutí sucha i pro operativní opatření realizovaná v průběhu sucha je monitoring hydrometeorologických prvků a stavu důležitých vodohospodářských struktur tak, aby byly zajištěny významné časoprostorové informace o výskytu sucha a jeho intenzitě (Anonym, 2015). Klíčovou složkou řízení rizika sucha a přerušování "hydrologického cyklu" je monitorování sucha. Rozhodovací činitelé potřebují včasné a přesné informace o vývoji podmínek sucha. Ve skutečnosti se jedná o systém včasného varování, aby mohli předvídat nástup sucha a připravit se na něj. Rovněž potřebují přesné a včasné posouzení závažnosti sucha, takže odpovídající reakce mohou být spojeny se současnými nebo očekávanými dopady sucha. Monitorování sucha musí být nepřetržitým procesem, takže nebezpečí a jeho dopady se v regionu neskrývají (Hayes *et al.*, 1999).

Účinné systémy včasného varování proti suchu jsou nedílnou součástí celosvětového úsilí o zlepšení připravenosti na sucho.

Účinné sledování sucha vyžaduje integraci různých indexů a ukazatelů. Indexy, které se běžně používají k monitorování podmínek sucha a dešťových srážek, zahrnují Standardizovaný index srážek, decile, procento normálních srážek, Palmerův index intenzity sucha, Index dodávek povrchových vod a Index vegetačních podmínek (<http://droughtmonitor.unl.edu/>). Dalšími indikátory sucha, které se často používají ke sledování stavu, jsou vlhkost půdy, sníh, proudění, hladina podzemních vod, hladina nádrží a jezer, vegetační zdraví a krátkodobá, střednědobá a dlouhodobá prognóza. Dálkové snímání nabízí nové a vzrušující příležitosti k monitorování podmínek sucha kvůli vyššímu rozlišení. Tyto techniky jsou zvláště výhodné v oblastech, kde chybí odpovídající meteorologické stanice (Sivakumar, 2010). Potřeba zlepšeného monitorování sucha je zdůrazněna nedávným rozsáhlým a závažným suchem, které v mnoha zemích vedlo k vážným ekonomickým, sociálním a environmentálním dopadům (Hayes *et al.*, 1999). Některé příklady monitorování sucha v Evropě a ve světě jsou představeny níže.

3.2.1.1 Monitoring ve Spojených státech amerických

Účinné systémy včasného varování proti suchu (DEWS)

Sucho a jeho dopady se v jednotlivých regionech liší. Rozvoj a implementace regionálních DEWS, umožňuje reagovat na specifické geografické a hydrologické okolnosti, jakož i potřeby informací o přidané hodnotě, specifické pro zúčastněné strany v příslušných oblastech.

Systém národního integrovaného programu pro sucho (NIDIS) koordinuje systémy včasného varování proti suchu (DEWS) v mnoha oblastech USA. Prostřednictvím DEWS zúčastněné strany prozkoumají a demonstrují řadu strategií včasného varování a snižování rizika sucha (<https://www.drought.gov/drought/regions/dews>).

Monitoring sucha v USA (USDM)

Jedním z nejlepších příkladů nového nástroje pro monitorování sucha je monitoring sucha v USA (<http://drought.unl.edu/dm>). Národní centrum pro zmírňování následků sucha (NDMC), Ministerstvo zemědělství USA (USDA), Národní středisko pro klimatická data (NACC) a národní klimatické centrum (NACC) tvoří celek, který byl poprvé spuštěn v roce 1999 (Hayes *et al.*, 1999). Vytváří souhrnné mapy sledování sucha, identifikuje obecné oblasti sucha a označuje je podle intenzity. D1 je nejméně intenzivní a D4 nejsilnější. Sucho je definováno jako nedostatek vlhkosti, které je dost daleko, aby mohlo mít sociální, ekologické nebo ekonomické účinky.

Mapa vychází z měření klimatických, hydrologických a půdních podmínek. Jedenáct klimatologů z partnerských organizací se každý týden střídá jako hlavní autor. Autoři zkoumají všechna data a používají svůj nejlepší úsudek ke sladění případných rozdílů mezi zdroji. Monitoring Spojených států amerických pro sucho používají političtí činitelé a média v diskusích o suchu a při rozdělení úlevy proti suchu. Země po celém světě se snažily napodobit americký monitoring sucha a několik zemí nyní používá vlastní verzi (<<http://droughtmonitor.unl.edu/AboutUSDM.aspx>>).

3.2.1.2 Monitoring v Evropě

The European Drought Centre (EDC)

Evropské středisko pro sucho je virtuálním centrem evropských organizací pro výzkum sucha, které podporují spolupráci a budování kapacit mezi vědci a uživatelskou komunitou. Dlouhodobým cílem střediska je posílit evropskou spolupráci s cílem zmírnit dopady sucha na společnost, ekonomiku a životní prostředí. Ačkoli má EDC primárně evropský rozměr, bude se rovněž vztahovat k jiným mezinárodním projektům, organizacím a odborníkům mimo Evropu. Evropské středisko pro boj proti suchu je virtuální informační středisko s cílem koordinovat činnosti související se suchem v Evropě. S cílem lépe zmírnit environmentální, sociální a hospodářský dopad sucha (<http://www.geo.uio.no/edc/index_old.htm>).

Úkoly EDC:

- usilovat o lepší pochopení fenoménu sucha;
- působí jako platforma k zahájení a projednávání vědeckého pokroku v oblasti výzkumu sucha v rámci akademické společnosti, ale i jako významné místo pro setkání mezi multidisciplinárními odborníky v oblasti výzkumu sucha;
- působí jako fórum pro diskusi o politických otázkách souvisejících s udržitelným hospodařením s vodními zdroji v celoevropském kontextu;
- spojení s mezinárodními organizacemi a programy (např. UNESCO, WMO - HWRP, IAHS), rámcové programy EU, mezinárodní říční komise a regionální centra pro sucho;
- usilovat o vytvoření evropského systému sledování sucha, zaměřeného na prognózu a monitorování sucha na celoevropské úrovni;
- podporovat vypracování vnitrostátních plánů pro zmírnění sucha

(<http://www.geo.uio.no/edc/index_old.htm>)

Databáze evropského sucha a evropská zpráva o dopadech sucha byly sestaveny jako součást projektu DROUGHT R & SPI financovaného Evropskou unií. Databáze je navržena tak, aby poskytovala jediný, veřejně přístupný web pro šíření detailních informací o historických událostech sucha v Evropě. Databáze evropského sucha a Evropská zpráva dopadů sucha jsou nyní veřejně přístupné (<<http://www.geo.uio.no/edc/droughtdb/index.php>>).

3.2.1.3 Monitoring v České republice

Intersucho

Hlavními provozovateli portálu Intersucho jsou tři instituce, na kterých probíhají stěžejní výzkumné práce a zároveň je zajišťována operativa celého webu. Jedná se o spolupráci Ústavu výzkumu globální změny Akademie Věd České republiky (CzechGlobe), Mendelovy univerzity v Brně a Státního pozemkového úřadu. Bez spolupráce s dalšími institucemi by řada produktů tohoto portálu nebyla možná. Jedná se o pracovníky z Českého hydrometeorologického ústavu a Masarykovy univerzity v Brně. Na počátku vzniku projektu Intersucho byly veškeré vědecké práce, aktivity a řady nutných pracovních stáží a cest hrazeny díky podpoře Evropské unie. Integrovaný systém pro sledování sucha se zaměřuje na meteorologické a zemědělské sucho, a to s ohledem na jejich častější výskyt a ekonomické dopady pro ČR a také proto, že jsou nutným předpokladem obou kategorií následujících (hydrologické a socioekonomické sucho). Jedná se o portál sloužící nejen pro Českou republiku, ale i Slovensko a střední Evropu (<[http://www.intersucho.cz/cz/o - suchu/](http://www.intersucho.cz/cz/o-suchu/)>).

Český hydrometeorologický ústav

Spojením původního meteorologického ústavu s hydrologií vznikl dnešní hydrometeorologický ústav. Stalo se tak vládním nařízením Československé republiky č. 96/1953 Sb. s účinností od 1. 1. 1954.

Předmětem činnosti ČHMÚ v uvedených oborech je:

- racionálně, věcně a ekonomicky integrovat výkon státní služby;
- zřizovat a provozovat měřicí stanice a sítě s využíváním telekomunikačních sítí;
- odborně zpracovávat výsledky pozorování, měření a monitorování;
- vytvářet a spravovat databáze;
- poskytovat předpovědi a výstrahy;
- provádět a koordinovat vědeckou a výzkumnou činnost

(<[http://portal.chmi.cz/o - nas/historie - ustavu](http://portal.chmi.cz/o-nas/historie-ustavu)>)

3.2.1.4 Monitoring v Austrálii

Australian Bureau of Meteorology

Meteorologický úřad je národní agentura pro počasí, klima a vodu v Austrálii. Jeho odborné znalosti a služby pomáhají Australanům při řešení drsné reality jejich přirozeného prostředí, včetně sucha, záplav, požárů, bouří, tsunami a tropických cyklón. Prostřednictvím pravidelných prognóz, varování, sledování a poradenství v oblasti australského a antarktického území předsednictvo poskytuje jednu z nejzákladnějších a nejrozšířenějších vládních služeb. Meteorologický úřad musí také plnit mezinárodní závazky Austrálie podle Úmluvy světové meteorologické organizace a souvisejících mezinárodních meteorologických smluv a dohod (<http://www.bom.gov.au/inside/index.shtml?ref=hdr>).

3.2.1.5 Monitoring v Čínské lidové republice

China Meteorological Administration

Čína je jednou ze zemí světa, která je často vážně zasažena meteorologickými katastrofami. Každý rok je až 400 milionů lidí postiženo různými meteorologickými hrozbami. Proto je velmi prakticky významné poskytovat přesné a včasné předpovědi počasí a varování a zlepšit tak schopnost celé společnosti předcházet katastrofálním událostem. Pro zajištění maximální ochrany života, majetku, hospodářského rozvoje a společenského pokroku. Čína se rozprostírá přes pět klimatických zón, vyznačující se klimatem monzunů a bohatými klimatickými zdroji. V současné době Čínská meteorologická správa zřídila integrovaný meteorologický pozorovací systém zahrnující pozorování vesmírných, vzdušných a pozemních závislostí, které neustále zlepšují přesnost předpovědí počasí a klimatických předpovědí (<http://www.cma.gov.cn/en2014/aboutcma/>).

3.2.2 Sucho a jeho dopady

Fenomén sucho je označováno jako nejkompexnější a nejméně pochopitelný ze všech přírodních rizik, který postihuje více lidí, nežli byli postiženi jakoukoli jinou extrémní událostí. Sucho by mělo být vnímáno jako přirozený aspekt klimatu ve všech klimatických režimech, jelikož se vyskytuje jak ve vlhkých, tak v suchých oblastech. 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 (Wilhite, 2000).

Nedostatek vody v období sucha má důležité důsledky pro zemědělství, lesnictví, hospodaření s vodou a další lidské činnosti, stejně jako pro zbyvající polo přírodní ekosystémy (Brázdil *et al.*, 2009).

Sivakumar *et al.*, (2010) uvádějí, že mezi klíčové ukazatele nedostatku vody patří těžba podzemních vod, narůstající konflikty mezi odvětvími ohledně využívání vody, přetrvávající nebo trvalé potoky a degradace pozemních zdrojů. Nedostatek vody může také být produktem bohatství nebo očekávání dodávek nad rámec toho, který je běžně dostupný, nebo změnou nabídky, která může být spojena se změnou klimatu (tj. s vyššími teplotami, snižováním srážek). Sucho má rozsáhlé sociální, ekologické a ekonomické dopady. Nejzávažnější sociální důsledky sucha se však nacházejí ve vyprahlých nebo polosuchých oblastech, kde je dostupnost vody již za normálních podmínek nízká (<http://www.geo.uio.no/edc/index_old.htm>). Sucho může mít vážné důsledky pro využívání vody v různých sektorech, například v zemědělství, zásobování pitnou vodou a výrobou vodní energie, stejně jako nepříznivé dopady na ekosystémy (Lake, 2011, Sheffield *et al.*, 2012).

3.2.2.1 Dopady sucha v zemědělství

Nejzávažnější dopady sucha jsou patrné především v zemědělství. Tak zvané zemědělské sucho (na polích se může sucho projevit vysycháním a rozpraskáním půdy) obvykle trvá od několika týdnů až do 6 - 9 měsíců (Trnka *et al.*, 2009a). Největší vliv sucha na výnosy českých národních plodin lze nalézt v letech 1922, 1934, 1947, 1976, 1988, 1992, 1993, 2000 a 2003. Mimořádně horké a suché léto 2003 (pro Českou republiku viz Pavlík *et al.*, 2003) nemělo pouze zemědělské důsledky; mezi Evropou (např. Schär and Jendritzky 2004; Schönwiese *et al.*, 2004) bylo zaznamenáno mezi 22 000 - 35 000 úmrtí souvisejících s teplem (Brázdil *et al.*, 2009).

V posledních 20 letech bylo sucho největším nebezpečím pro zemědělce, kteří pěstují polní plodiny v nížinných oblastech České republiky. V extrémních případech mohou účinky sucha způsobit vážné poškození vegetace a ztráty výnosů. Polabí a moravská nížina, jedny z největších pěstebních oblastí pro tržní zeleninové plodiny, jsou často postiženy suchem, a proto mohou zažít zvýšenou větrnou erozi a vyžadují vyšší úroveň zavlažování. To může vést k akumulaci solí v povrchové vrstvě půdního profilu. Trend zvyšující se četnosti suchých a teplých epizod v nížinné oblasti v České republice vede ke snížení výnosů a větší variabilitě výnosů u zeleninových plodin (Potop, 2010). Výsledkem jsou rostoucí náklady na pěstování zeleniny a rostoucí hospodářské ztráty pro zemědělce.

Například většina druhů zeleniny reaguje na sucho snížením kvality a výnosů nebo celkovou ztrátou produkce často i v případě krátkého sucha. Pokud dojde k suchému období během počátečních fází vývoje plodin, dozrávání je často zpožděno a výnos je snížen. Pokud se na konci vegetačního období vyvíjí sucho, převážně se sníží kvalita zeleniny pro trh. Protahování období bez srážek nebo jejich zvýšená četnost výrazně ovlivňuje náklady na pěstování zeleniny na trhu.

V souvislosti s častějším výskytem sucha kvůli změně klimatu se očekává značný nárůst hospodářských ztrát (Možný *et al.*, 2009; Trnka *et al.*, 2007; Trnka *et al.*, 2009). Důsledky klimatických změn pro moderní zemědělství budou záviset na třech hlavních faktorech. První z nich je samotná povaha změny klimatu. Druhým klíčovým faktorem je reakce produkčních systémů na změny klimatu a vlastnosti atmosféry, jako je koncentrace oxidu uhličitého (CO₂), ozónu (O₃), aj., třetím faktorem bude reakce zemědělství na celosvětové změny produkčních systémů a agrární politiky (Gornall *et al.*, 2010). Hlavní dopady změny klimatu na zemědělství budou spočívat ve zvýšení nejistoty dosažení předpokládané zemědělské produkce, zvýšení nákladů na jednotku zemědělské produkce a zvýšení kolísavosti cen na trhu se zemědělskými komoditami (Lobell and Gourdj, 2012; Leclère *et al.*, 2014; Moore and Lobell, 2015).

3.2.2.2 Dopady sucha v lesnictví

V lesnictví je sucho řazeno mezi abiotické škodlivé činitele, v rámci nichž bývají jeho dopady hodnoceny. Sucho obecně zhoršuje fyziologický stav dřevin a připravuje vhodné podmínky pro kolonizaci biotickými škůdci (Brázdil *et al.*, 2015). Spiecker (2000) řadí sucho společně s požáry, vichřicemi, sněhem či lavinami mezi jevy, které způsobují změny v přirozené sukcesi lesa a mění řídicí faktory lesního porostu (například soutěživost o světlo, dostatek živin a vody, druhové složení).

3.2.2.3 Dopady sucha v hydrologii a vodním hospodářství

Pokud jde o hydrologické sucho, objevila se řada prací v souvislosti se semináři zaměřenými na problematiku extrémních hydrologických jevů v povodích (Brázdil *et al.*, 2015).

Za zásadní lze považovat studii Kašpárka a Novického (1999), kteří shrnuli poznatky o metodách hodnocení hydrologického sucha, charakterizovali tehdejší stav výzkumů v České republice a formovali závěry pro další studium hydrologického sucha. Kříž (2002) diskutoval o příčinách a důsledcích hydrologického sucha v režimu podzemních vod.

Soukalová a Muzikář (2013b) se zabývali periodicitou a předpovědí výskytu sucha v podzemních vodách. Sucho je trvalý a regionálně rozšířený výskyt podprůměrné přírodní vody. Sucho postihuje všechny složky vodního cyklu z nedostatku půdní vlhkosti, snížením hladin a hladiny podzemní vody a nízkým proudem vody nebo vysycháním řek (<http://www.geo.uio.no/edc/index_old.htm>).

Dlouhodobé sucho, které začalo ve druhé polovině roku 2011 a trvalo až do května 2012, mělo na území České republiky za následek pokles hladin povrchových a podzemních vod a snížení výnosu zemědělských plodin. Z prostorového hlediska se sucho v roce 2012 výrazněji projevilo na Moravě než v Čechách (Zahradníček *et al.*, 2015). Hydrologický systém je vnitřně propojen s klimatickým, ekologickým a sociálním systémem. Tyto vazby jsou dynamické a vzájemně závislé. Přirozené přítoky a odtoky vody se liší a mění v čase a prostoru, stejně jako využívání vody a s tím související činnosti. Vedoucí k tomu, co někteří nazvali vzájemně se vyvíjející hydrosociální cyklus (Linton and Budds, 2014). Pokud v hydrologickém systému existuje (mnohem) méně vody než normálně, což se projevuje v nižších úrovních vlhkosti půdy, hladinách řek. Je vnímán jako sucho, způsobené buď přirozenou příčinou (meteorologické anomálie) nebo antropogenní příčinou, jako je odběr podzemních vod (Van Loon *et al.*, 2016)

Potopová *et al.*, (2015) v článku uvádějí několik strategií pro zlepšení dopadů sucha: agronomické strategie zahrnující úpravu doby výsadby, aby se zabránilo stresu v kritických fázích růstu, technologie šetřící zdroje, které optimalizují vstupy, jako je zavlažování, a dobré pěstování, aby se zabránilo plevelům, škůdcům a chorobám. Krátkodobá úprava (např. změny v druzích plodin, odrůdy a data setí) a dlouhodobé přizpůsobení (např. vodní hospodářství, přidělování pozemků a zemědělské systémy) jsou důležité ve většině evropských zemí.

3.2.2.4 Omezení dopadů sucha

Hlavním cílem Koncepce na ochranu před následky sucha pro území České republiky je vytvoření strategického rámce pro přijetí účinných legislativních, organizačních, technických a ekonomických opatření k minimalizaci dopadů sucha a nedostatku vody pro život a zdraví obyvatelstva, hospodářství, životní prostředí a na celkovou kvalitu života v ČR. Koncepce se zaměřuje na strategické cíle pro ochranu před suchem a navrhuje komplex opatření, kterými je možné nepříznivé důsledky sucha a nedostatku vody zmírnit či zcela eliminovat

(<http://eagri.cz/public/web/file/545860/Koncepce_ochrany_pred_nasledky_sucha_pro_uzemi_CR.pdf>).

3.3 Indexy sucha

Index sucha je veličina pro kvantitativní vyhodnocení sucha (především ve smyslu nahodilého sucha), sloužící též k vymezení epizod sucha. Vzhledem k nejednoznačnosti definice sucha a různým hlediskům pro jeho hodnocení, existuje takových indexů velké množství. Mnohé jsou založeny na zvolených prahových hodnotách úhrnů srážek nebo např. počtu bezesrážkových dní. Pokročilejší indexy reflektují časovou distribuci srážek (např. index předchozích srážek) nebo míru abnormality srážek (např. Standardizovaný srážkový index). Další skupinu indexů sucha tvoří ty, které kromě deficitu srážek zohledňují i podmínky pro výpar (např. Palmerův index intenzity sucha). Mnoho indexů sucha lze využít i k hodnocení vlhkých období. K hodnocení celých roků, případně jejich vegetačních období, pak mohou sloužit i některé indexy aridity (<http://slovník.cmes.cz/>).

Brázdil *et al.*, (2009) vyzdvihli klinické studie, ve kterých se uvádí, že PDSI se používají k popisu klimatologie sucha (např. Tolasz *et al.*, 2007, Trnka *et al.*, 2007a) a index Z je také dobrým indikátorem zemědělského sucha (Quiring and Papakryiakou 2003, Trnka *et al.*, 2007b). Výsledky analýzy sucha na území České republiky v období 1881 - 2006 ukazují jasnou tendenci k prodloužení a větší závažnosti období sucha. Důvodem je především proces globálního oteplování (IPCC, 2007), který se odráží také v nárůstu teploty vzduchu v České republice. Převládající indexy sucha obvykle používané v České republice jsou, SPI, PDSI, Palmerův index Z a Langův dešťový faktor. Poslední zmíněný index, tj. Langův dešťový faktor, je jedním z nejstarších a nejčastěji používaných indexů pro identifikaci suchých a / nebo vlhkých oblastí, také nejoblíbenější v České republice (Tolasz *et al.*, 2007).

3.3.1. Rozšířený přehled indexů meteorologického sucha

Blinka (2004) uvádí, že meteorologické sucho se obvykle hodnotí na základě odchylky srážek od normálu pro určité časové období. Vyjadřuje tedy jednu z primárních příčin sucha. Další definicí je, že meteorologické sucho lze definovat jako zápornou odchylku od standardních hodnot srážek během určitého časového období (Wilhite, 2005).

Jak je ukázáno v různých dokumentech (např. Quiring and Papakryiakou 2003, Trnka *et al.*, 2007b), dopady meteorologického sucha jsou pro zemědělství velice důležité, a to i ve střední Evropě.

Zemědělství v České republice je nejvíce ohroženo dlouhotrvajícím suchem během počátku jara, protože snižuje přežití a hustotu porostu, což v některých případech vede k úplnému

selhání plodin (jak tomu bylo v případě sucha v letech 1947 a 2000). Sucho během období doby květu a / nebo zrání zrna negativně ovlivňuje počet a hmotnost zrna (Brázdil *et al.*, 2009).

Největší meteorologická sucha připadají na roky 1953, 1959, 1947, 1921, 1983 a 1904 (Tremel, 2011). Sucho meteorologické definované pomocí meteorologických prvků, především srážek, resp. jejich deficitu, často vztahovaného ke klimatologickému normálu. Vzniká následkem dlouhých nebo často se opakujících suchých období, přičemž důležitou roli hrají i další faktory, především výpar. Indexy sucha k hodnocení meteorologického sucha proto berou často v úvahu kromě množství a intenzity srážek buď přímo výpar, nebo meteorologické prvky, které ho ovlivňují: teplotu vzduchu, rychlost větru, vlhkost vzduchu aj. V teplé části roku přitom bývá srážkový deficit často provázen nadnormální teplotou vzduchu, nižší relativní vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a delším trváním slunečního svitu. Tyto faktory mají za následek větší evapotranspiraci a zmenšování vlhkosti půdy, což vyvolává agronomické sucho (<http://slovník.cmes.cz/>).

Tab. 1 Rozšířený přehled indexů meteorologického sucha

Název indexu	Vstupní data	Popis
Standardized Precipitation Index (SPI, McKee <i>et al.</i>, 1993)	Srážky (týdenní, měsíční)	Standardizovaná srážková suma za pevně stanovené časové měřítko.
Palmer Drought Severity Index (PDSI, Palmer, 1965)	Měsíční údaje o teplotě a srážkách	Vyvinut k identifikaci dopadů zemědělského sucha. Identifikace a monitorování sucha spojeného s různými typy dopadů.
Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI, Vicente - Serrano <i>et al.</i>, 2010)	Měsíční údaje o teplotě a srážkách	Lze použít k identifikaci a monitorování podmínek spojených s různými dopady sucha.
Effective Drought Index (EDI, Byun and Wilhite, 1996)	Denní data o srážkách pro vývoj a výpočet několika parametrů: efektivní srážení, denní průměr, odchylka a standardizovaná hodnota	Identifikovat náběh a ukončení období nedostatku vody. V době vývoje EDI se většina indexů sucha počítala za použití měsíčních údajů, takže přepnutí na denní údaje je jedinečné a důležité pro užitečnost indexu.
Rainfall Anomaly Index (RAI, van Rooy, 1965)	Normalizované hodnoty srážek na základě historie stanice konkrétní lokality	Srovnání s aktuálním obdobím uvádí výstup do historického pohledu.
Reclamation Drought Index (RDI, Weghorst, 1996)	Požadavek na vodu a teplotní složku, která umožňuje zařazení odpařování do indexu	Definuje závažnost sucha a dobu trvání a může být také použit k předpovědi nástupu a ukončení období sucha.

3.3.2. Rozšířený přehled indexů hydrologického sucha

Hydrologické sucho se vyskytuje v období s nedostatečnými povrchovými a podpovrchovými vodními zdroji pro stanovení využití v rámci daného systému řízení vodních zdrojů (Clausen and Pearson, 1995). Blinka (2004) udává, že se vyjadřuje pomocí deficitů povrchových a podpovrchových zásob vody. Pro vyčíslení velikosti hydrologického a agronomického sucha jsou podstatné i antropogenní vlivy, které mohou velikost sucha jak zmírnit (nadlepšování průtoků, závlahy u agronomického sucha), tak i zhoršit (čerpání vody pro závlahy, nevhodné využívání krajiny). U hydrologických such jsou významná sucha z let 1911, 1992 a 2003 (Treml, 2011).

Sucho hydrologické definované pomocí hydrologických ukazatelů, především průtoku povrchových vodních toků. Zvažuje se přitom nejen jeho hodnota, ale i počet dní s průtokem nižším než tzv. m – denní průtok, který je v dlouhodobém průměru překročen po velkou většinu hydrologického roku (např. $m = 355$ dnů). V případě kratšího hydrologického sucha se provádí porovnání s měsíčními normály. Obdobně se hodnotí i stav hladiny podzemní vody, vydatnost pramenů apod. Hydrologické sucho se vyskytuje zpravidla ke konci déle trvajících meteorologického sucha a často pokračuje i po jeho odeznění. Jinou jeho příčinou může být akumulace tuhých srážek ve sněhové pokrývce a promrzání půdy (<http://slovník.cmes.cz/>). Hydrologické sucho bývá analyzováno také v návaznosti na meteorologické sucho. Tak je tomu v práci Kakose a Müllera (2004), kteří se podrobně zabývali analýzou hydrometeorologického sucha v Čechách od roku 1851.

Tab. 2 Rozšířený přehled indexů hydrologického sucha

Název indexu	Vstupní data	Popis
Regional Streamflow Deficiency Index (RSDI, Stahl 2001) <i>Prosté indexy založené na pozorování odtoku</i>	Průtok toku	Pro stanovení velikosti sucha v regionu určující podíl povodí postižených nedostatkem odtoku.
Streamflow Drought Index (SDI, Nalbantis and Tsakiris, 2008)	Měsíční hodnoty toku proudů a historické časové řady pro průtokoměr	Slouží k monitorování a identifikaci událostí sucha s ohledem na konkrétní měřidlo, které může nebo nemusí reprezentovat větší povodí.
Standardized Runoff Index (SRI, Shukla, Wood 2008)	Srážky (týdenní, měsíční)	V podstatě shodný s postupem stanovení SPI v případě srážek.
Standardized Water Level Index (SWI, Bhuiyan, 2004) <i>Prosté indexy založené na sledování zásob podzemní vody</i>	Úroveň hladiny podzemní vody	Pro oblasti s častými sezónními nízkými toky na hlavních řekách a tocích.
Groundwater Resource Index (GRI, Mendicino et al. 2008)	Zadržení podzemní vody	Vyvinut za účelem kvantifikace poklesu zásob podzemní vody.
Aggregate Dryness Index (ADI, Keyantash, Dracup 2002)	Srážky, evapotranspirace, průtok vody, zásoba nádrží, obsah půdní vlhkosti a sněhové vody	Lze použít v kontextu více typů dopadů sucha. Při pohledu na celkové množství vody v klimatickém režimu je možné lépe pochopit dostupnost vody.

3.3.3. Rozšířený přehled indexů zemědělského sucha a metody dálkové detekce

Zemědělské sucho je charakterizováno nedostatkem vody, která je k dispozici pro růst plodin nebo rostlin (Hlavinka *et al.*, 2009). Obvykle se vztahuje k potřebám půdní vláhy konkrétních plodin v určitém čase (Blinka, 2004).

Dopady zemědělského sucha jsou spjaty hlavně s časovým rozsahem (od týdne po 6 - 9 měsíců), zatímco hydrologické a socioekonomické dopady se obvykle projevují po delších časových intervalech. Výskyt meteorologického sucha však předchází vzniku specifických dopadů, takže je velmi důležité pochopit regionální charakteristiky meteorologického sucha před studiem konkrétních dopadů tohoto jevu (Brázdil *et al.*, 2009).

Sucho agronomické je nedostatek vody v půdě projevující se nízkou půdní vlhkostí způsobený meteorologickým suchem. Z dalších vlivů mají značný význam vlastnosti půdy, způsob jejího obhospodařování a celá řada dalších faktorů. Posuzování agronomického sucha je úkolem agrometeorologie, přičemž je třeba zvažovat i poznatky hydropedologie, fyziologie rostlin apod. (<<http://slovník.cmes.cz/>>).

Tab. 3 Rozšířený přehled indexů zemědělského sucha a metody dálkové detekce

Název indexu	Vstupní data	Popis
<i>Indexy dálkové detekce</i>		
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI, Tarpley et al., 1984)	Satelitní signály AVHRR společnosti NOAA	Používá se při zjišťování a monitorování sucha ovlivňujícího zemědělství.
Remote Sensing Drought Risk Index (RDRI, Liu et al., 2008)	Založený na lineární kombinaci tří produktů týkajících se oblačnosti	Popisují souvislou délku období s jasnou oblohou (tedy bez srážek).
Enhanced Vegetation Index (EVI, Huete et al., 2002)	Satelitní informace založené na modelu MODIS.	Identifikace stresu souvisejícího se suchem v různých krajinách. Souvisí s vývojem sucha ovlivňujícího zemědělství.
Vegetation Condition Index (VCI, Kogan 1995)	Satelitní data AVHRR	Používá se ve spolupráci s NDVI a TCI pro posuzování sucha ve vegetaci v zemědělství.
Perpendicular Vegetation Index (PVI)	Odrazivost vegetace a půdy	Na principu PVI je založen výpočet modifikovaného kolmého indexu sucha.
Temperature Condition Index (TCI, Kogan 1995)	Satelitní data AVHRR	Používá se spolu s NDVI a VCI pro hodnocení sucha ve vegetaci v situacích, kdy jsou hlavním problémem zemědělské dopady.
Model SoilClim	Vytvoření dvou mapových podkladů: popisu intenzity sucha a relativního nasycení půdy.	
Crop Moisture Index (CMI, Palmer, 1968)	Srážky, teplota	Zvažuje dopad na zemědělství (krátkodobě).
<i>Indexy zemědělské</i>		
Reconnaissance Drought Index (RDI, Tsakiris, 2004)	Množství srážek, PET	Vyvinut aby definoval závažnost sucha a dobu trvání a mohl být použit k předpovědi nástupu a ukončení období sucha.
Palmer Drought Severity Index (PDSI, Palmer, 1965)	Měsíční srážky, měsíční průměrná teplota, obsah půdní vody	Vyvinutý především jako způsob, jak identifikovat dopady zemědělského sucha.
Palmer Moisture Anomaly Index (ZIndex, Palmer 1965)	Měsíční srážky, měsíční průměrná teplota, obsah půdní vody	Může vzít v úvahu krátké události sucha. Užitečný při porovnávání současných období s dalšími obdobími sucha.

3.3.4. Socioekonomické sucho

Socioekonomické sucho spojuje nabídku a poptávku po určitém zboží nebo službě s prvky meteorologického, hydrologického nebo zemědělského sucha (Možný *et al.*, 2012). Blinka (2004) uvádí, že socioekonomické sucho spojuje ekonomickou teorii nabídky a poptávky. Hrozba sucha nevyplývá pouze ze stavu krajiny v posledních desetiletích 20. století, kdy se na funkci krajiny nehledělo díky intenzifikaci zemědělství a zvýšení jeho efektivity (scelování pozemků, likvidace mezí, remízků, masivní odvodňování).

Hlavním nepříznivým jevem je značná změna zemědělské rostlinné výroby od produkce potravin

k produkci technických plodin, která vede ke zhoršování úrodnosti půdy a ke zvyšování nadměrné eroze půdy (Anonym, 2015). Lidské důsledky sucha, ať už meteorologické, zemědělské nebo hydrologické, závisí nejen na intenzitě, délce a rozsahu klimatické anomálie, ale také na expozici a zranitelnosti lidských systémů a často na výzvěch jiných tlaků. Navíc frekvence výskytu sucha je velmi silně ovlivněna rytmem a vzory přírodní klimatické variability a může být ovlivněna změnami půdního krytu. Účinky zvyšující se koncentrace skleníkových plynů na "sucho" a jeho "dopady" jsou proto pravděpodobně velmi složité (Arnell *et al.*, 2008).

Sucho socioekonomické je definované pomocí ekonomických ukazatelů, kdy poptávka po nejrůznějších produktech a službách nemůže být uspokojena v důsledku nedostatku vody. Bývá vyvoláno meteorologickým, agronomickým nebo hydrologickým suchem, podstatnou roli však hrají i antropogenní faktory, jako rychlost socioekonomického vývoje, vodohospodářská opatření a jiné (<http://slovník.cmes.cz/>).

4 Metodika

Tato práce o kvantifikaci sucha v Polabí (Česká republika) využívala údaje z roku 1961 do roku 2014, které umožnili podrobné posouzení časových modelů sucha během 20. století a prvního desetiletí 21. století. Hodnocení meteorologického sucha se opírá o analýzu množství srážek, k čemuž byla vyvinuta řada na nich založených indexů (například McKee *et al.*, 1993; Byun and Wilhite, 1999).

Z nich je nejčastěji používán Standardizovaný srážkový index (Standardised Precipitation Index), který umožňuje hodnotit sucho jen s použitím měsíčních nebo týdenních srážkových úhrnů. Index je definován jako normovaná hodnota úhrnu srážek za dané období, tedy SPI má normální rozdělení N s nulovým průměrem a jednotkovou směrodatnou odchylkou. Vědci v oblasti sucha si jsou vědomi nadřazenosti multikvalitních indexů sucha jako SPI. SPI je navíc uznáván Světovou meteorologickou organizací jako referenční index sucha pro charakterizaci sucha a může být využíván národními hydrometeorologickými službami po celém světě (Potop *et al.*, 2012).

SPI lze určit pomocí vztahu:

$$SPI = F^{-1} [G(\text{PREC})],$$

kde G je kumulativní distribuční funkce srážkových úhrnů (distribuční funkce je obvykle aproximována gama rozdělením) a F^{-1} je inverzní funkce normálního rozdělení $N(0,1)$. Distribuční funkce G vychází z dlouhodobé řady pozorování na dané stanici. Standardizovaný srážkový úhrn je přímo úměrný srážkovému deficitu a jeho hodnotu lze snadno vyjádřit prostřednictvím pravděpodobnosti výskytu, případně v podobě bezrozměrného indexu, tj. SPI (Brázdil *et al.*, 2015).

Tab. 4 Sedmistupňová škála hodnocení intenzity sucha dle Standardizovaného srážkového indexu

Stupeň	SPI	Hodnocení	Pravděpodobnost
1	$\geq 2,0$	Extrémně vlhký	0,05
2	1,50 – 1,99	Silně vlhký	0,10
3	1,49 – 1,00	Mírně vlhký	0,20
4	0,99 - - 0,99	Normální	0,60
5	- 1,00 - - 1,49	Mírně suchý	0,20
6	- 1,50 - - 1,99	Silně suchý	0,10
7	$\leq - 2,00$	Extrémně suchý	0,05

Potop *et al.*, 2015

Index je konstruován pro kvantifikaci srážkového deficitu ve vícerozměrném časovém měřítku a je proto počítán pro rozličné časové úseky. Z dlouhodobé řady srážek se stanoví rozdělení pravděpodobnosti (distribuční funkce), které se převede na normované normální rozložení s průměrem 0 a směrodatnou odchylkou 1 (Blinka, 2004).

Hlavním cílem této práce byla aplikace Standardizovaného srážkového indexu a jeho využití při hodnocení sucha na regionální úrovni v České republice. Sucho v České republice je zde hodnoceno z klimatologického hlediska a to za celé vegetační období (duben – září) v letech 1961–2014. Meteorologická data byla vypsána z Měsíčního přehledu meteorologických měření a pozorování z meteorologické stanice Poděbrady (189 m n. m). V oblasti Labe je průměrná dlouhodobá roční srážková hodnota 591,6 mm ve srovnání s průměrem 674 mm pro celé území ČR. Tato srážka spadá především v létě (40 % ročních součtů). Ve vegetačním období činí střední průměrná srážka 365 mm (Potop *et al.*, 2014).

Dalším velmi důležitým cílem práce bylo zpracování databáze The European Drought Centre dopadů sucha v Evropě. Kdy výsledky jsou uvedené v kapitole 5.2.1. Významná sucha v Evropě.

V práci byly použity tyto charakteristiky:

SPI - 01 (Meteorologické sucho, 1 měsíc)	SPI - 12 (Hydrologické sucho, 12 měsíců)
SPI - 02 (Meteorologické sucho, 2. měsíce)	SPI - 24 (Hydrologické sucho, 24. měsíců)
SPI - 03 (Zemědělské sucho, 3. měsíce)	SPI - 36 (Socioekonomický dopad, 36 měsíců)
SPI - 06 (Zemědělské sucho, 6. měsíce)	

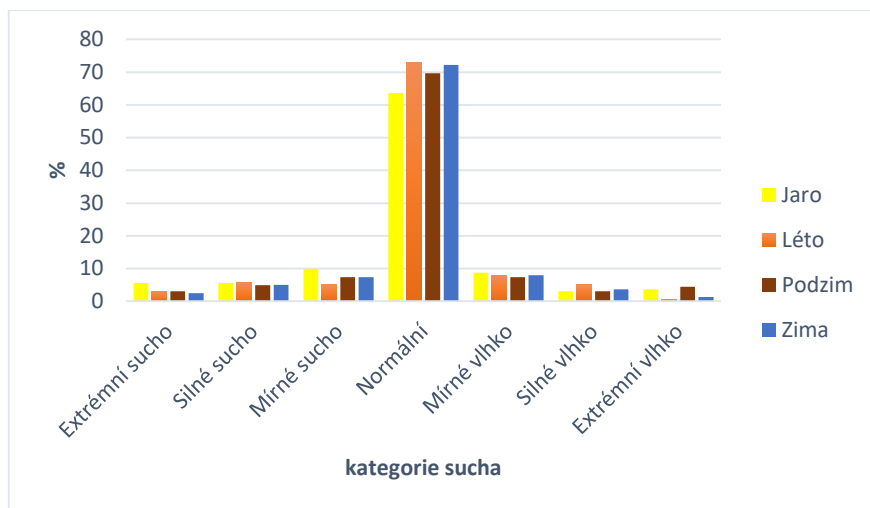
5 Výsledky

5.1 Četnosti výskytu jednotlivých kategorií dle sedmistupňového hodnocení

Výsledky popisují četnosti výskytu jednotlivých kategorií sucha vymezených podle hodnotící tabulky standardizovaného srážkového indexu. Pro každý kumulativní interval, byla vypočtena četnost výskytu v každé kategorii sucha vymezené podle SPI (extrémní vlhko, silné vlhko, mírné vlhko, normální, mírné sucho, silné sucho a extrémní sucho, tab. 4). Frekvence distribuce byla vždy vypočtena jako poměr mezi počtem výskytů s danou intenzitou a celkovým počtem událostí, počítáno pro jeden měsíc v každém intervalu (1, 2, 3, 6, 12, 24 a 36 měsíců).

Tab. 5 Četnost vláhových poměrů v % dle SPI v sedmistupňové škále pro časový interval 1 měsíce (doplňková příloha č. 11)

SPI - 01	Extrémní sucho	Silné sucho	Mírné sucho	Normální	Mírné vlhko	Silné vlhko	Extrémní vlhko
Leden	0,0	5,6	5,6	79,6	7,4	0,0	1,9
Únor	5,6	1,9	7,4	74,1	5,6	5,6	0,0
Březen	5,6	3,7	5,6	64,8	9,3	1,9	9,3
Duben	3,7	5,6	9,3	63,0	13,0	5,6	0,0
Květen	7,4	7,4	14,8	63,0	3,7	1,9	1,9
Červen	5,6	0,0	7,4	77,8	1,9	5,6	1,9
Červenec	1,9	9,3	1,9	70,4	11,1	5,6	0,0
Srpen	1,9	7,4	5,6	70,4	11,1	3,7	0,0
Září	1,9	3,7	9,3	72,2	1,9	5,6	5,6
Říjen	5,6	7,4	7,4	61,1	11,1	1,9	5,6
Listopad	1,9	3,7	5,6	75,9	9,3	1,9	1,9
Prosinec	1,9	7,4	9,3	63,0	11,1	5,6	1,9



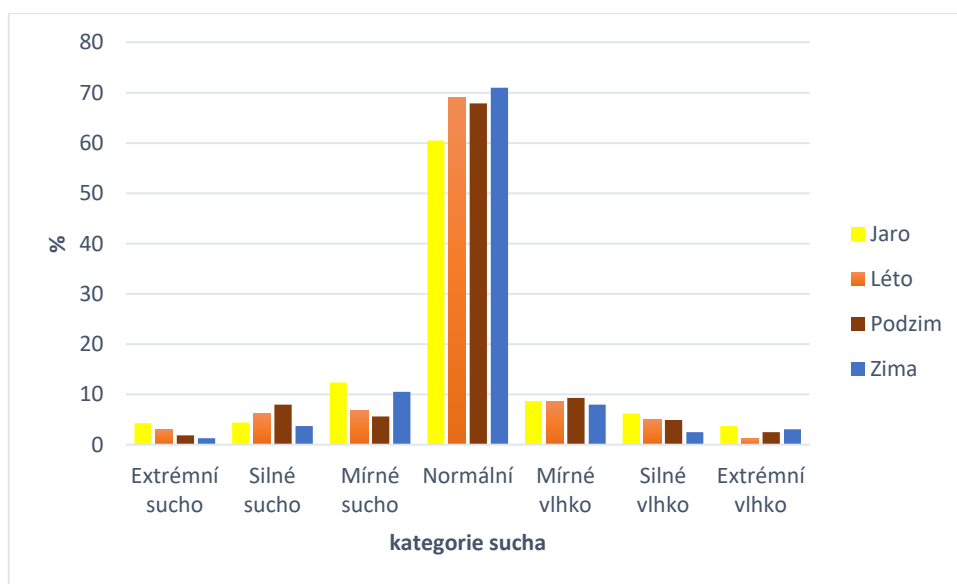
Graf č. 1 Četnost distribuce vláhových poměrů

V tab. 5 je uvedena četnost výskytu (%) jednotlivých stupňů vláhových poměrů dle SPI - 01. V jarních měsících se extrémní sucho projevilo nejvíce v měsíci květnu a to 7,4 %. Naopak extrémní vlhko s hodnotou 9,3 % se projevilo v měsíci březnu. Počet normálních vláhových podmínek se během měsíců březen – květen pohyboval v rozmezí 63 – 64,8 %. Procenta mírného sucha a vlhka jsou poměrně vyrovnaná, zatímco silné sucho výrazně převyšuje. Hodnocení ukázalo, že vlhký se jeví měsíc duben a na něj navazující měsíc květen se vyznačuje jako výrazně suchý. V letních měsících se extrémní vlhko a sucho projevilo ve stejném měsíci a to v červnu. Kdy u extrémního vlhka to byl zároveň i jediný údaj. Normální vláhové podmínky se navýšily a pohybují se mezi 70,4 – 77,8 %. Výrazně v tomto období převažuje silné vlhko nad suchem. Zaznamenané epizody mírného sucha 14,9 % zatímco mírné vlhko má hodnotu 24,1 %. Na podzim se extrémní vlhko projevilo v období září – říjen. V měsíci říjen se také nejvíce projevilo extrémní sucho. Jak sucho tak vlhko se projevilo stejnou hodnotou a to 5,6 %. Výskyt normálních vláhových podmínek se zvětšil o skoro dvojnásobek, jak tomu bylo v letních měsících. Kategorie mírného sucha a vlhka jsou naprosto totožné v celkové hodnotě. Zatímco v silné kategorii převažuje sucho nad vlhkem. Extrémní sucho se vyskytlo v měsíci únor 5,6 % a extrémní vlhko převážilo v měsících prosinec–leden s hodnotou 1,9 %. Normální vláhové podmínky se ještě zvýšily o 1,8 %, než tomu bylo v období září - listopad. Mírné sucho zůstalo stejné, jako v předchozích měsících pouze mírné vlhko vzrostlo. Stejně tak kategorie silného sucha zůstává stejná jako v období podzimu s narůstajícími hodnotami silného vlhka. Celkově vyplývá, že jarní měsíce

(březen – květen) byly výrazně suché. V létě se začíná projevovat mírné vlhko, přesto silné sucho přetrvává až do zimy.

Tab. 6 Četnost vláhových poměrů v % dle SPI v sedmistupňové škále pro časový interval 2 měsíců

SPI - 02	Extrémní sucho	Silné sucho	Mírné sucho	Normální	Mírné vlhko	Silné vlhko	Extrémní vlhko
Leden	1,9	5,6	5,6	75,9	5,6	0,0	5,6
Únor	1,9	3,7	9,3	70,4	11,1	1,9	1,9
Březen	3,7	1,9	13,0	61,1	7,4	5,6	7,4
Duben	3,7	1,9	11,1	63,0	9,3	7,4	3,7
Květen	5,6	9,3	13,0	57,4	9,3	5,6	0,0
Červen	3,7	9,3	7,4	68,5	5,6	5,6	0,0
Červenec	5,6	5,6	7,4	63,0	7,4	7,4	3,7
Srpen	0,0	3,7	5,6	75,9	13,0	1,9	0,0
Září	3,7	3,7	7,4	74,1	5,6	3,7	1,9
Říjen	0,0	11,1	3,7	64,8	7,4	11,1	1,9
Listopad	1,9	9,3	5,6	64,8	14,8	0,0	3,7
Prosinec	0,0	1,9	16,7	66,7	7,4	5,6	1,9



Graf č. 2 Četnost distribuce vláhových poměrů

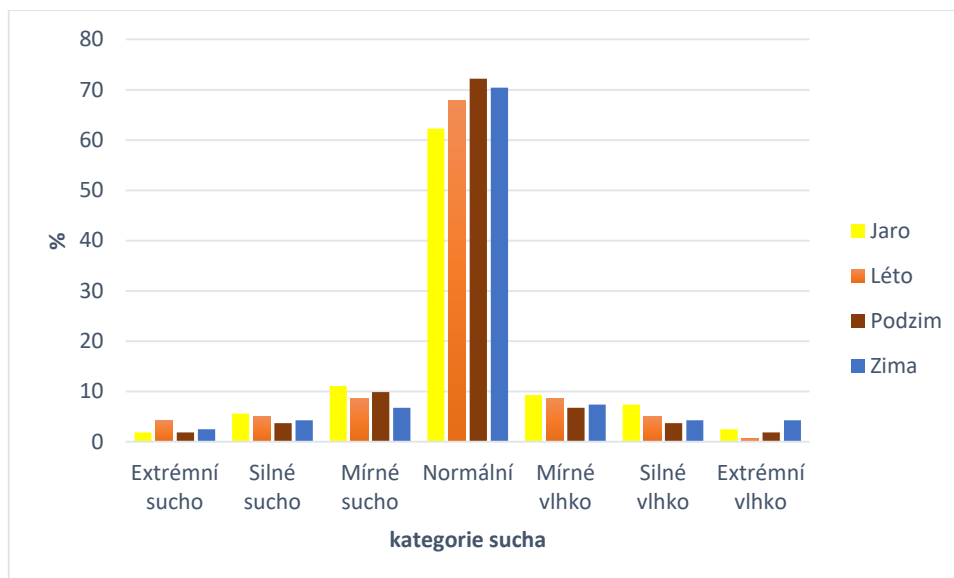
V jarních měsících se jako extrémní jeví měsíc květen s hodnotou 5,6 % a předchází mu extrémně vlhký měsíc březen (7,4 %). Četnosti rozmezí normálních vláhových podmínek jsou 57,4–63 %. V období březen – květen výrazně převyšuje mírné sucho a silné vlhko. V letních měsících se ukázal shodný měsíc červenec kdy sucho (5,6 %) i vlhko (3,7 %) vykázalo nejvyšší extrémní hodnoty. Výskyt normálních vláhových podmínek se zvýšil o dvakrát více, jak tomu bylo na jaře. Mírné vlhko se ukázalo stejně jako v jarních měsících a mírné sucho

naopak pokleslo. V kategorii silné tomu bylo naopak, silné sucho vzrostlo a vlhko pokleslo. Extrémně suchý se ukázal být měsíc září 3,7 % a jako extrémně vlhký se jevil měsíc listopad 3,7 %. Četnost normálních vláhových podmínek se pohybuje okolo 64,8 – 74,1 %. V tab. 6 je zaznamenán pokles mírného sucha, ale také malé stoupání mírného vlhka. V kategorii silného sucha došlo k výraznému zvýšení, zatímco vlhko zůstává stejné jako v letních měsících. Zimní měsíce prosinec - únor s výskytem extrémního sucha připadají na leden – únor s hodnotou 1,9 %. Leden se, ale také jeví jako extrémně vlhký (5,6 %). Normální vláhové podmínky se ukázaly velmi podobné jako v období září - listopad. Mírné sucho v zimních měsících předběhlo jak letní, tak podzimní období. Zatímco mírné vlhko v zimním období

je nejmenší z ostatních ročních období. Silné sucho stejně jako mírné se výrazně snížilo a je tedy nejmenší za celé pozorování v kategorii 2 měsíců. Stejně tak tomu bylo u vlhka. Na závěr lze shrnout, že v období od jara do podzimu se střídají vlhko se suchem s intenzitou mírnou až silnou. Zatímco zima byla mírná až silně suchá.

Tab. 7 Četnost vláhových poměrů v % dle SPI v sedmistupňové škále pro časový interval 3 měsíců (doplňková příloha č. 12)

SPI - 03	Extrémní sucho	Silné sucho	Mírné sucho	Normální	Mírné vlhko	Silné vlhko	Extrémní vlhko
Leden	0,0	1,9	13,0	64,8	9,3	3,7	7,4
Únor	3,7	3,7	3,7	75,9	7,4	3,7	1,9
Březen	1,9	5,6	9,3	61,1	11,1	5,6	5,6
Duben	1,9	0,0	11,1	68,5	7,4	9,3	1,9
Květen	1,9	11,1	13,0	57,4	9,3	7,4	0,0
Červen	3,7	7,4	7,4	68,5	7,4	5,6	0,0
Červenec	5,6	5,6	11,1	59,3	11,1	7,4	0,0
Srpen	3,7	1,9	7,4	75,9	7,4	1,9	1,9
Září	0,0	1,9	11,1	77,8	3,7	3,7	1,9
Říjen	1,9	3,7	7,4	74,1	9,3	1,9	1,9
Listopad	3,7	5,6	11,1	64,8	7,4	5,6	1,9
Prosinec	3,7	7,4	3,7	70,4	5,6	5,6	3,7

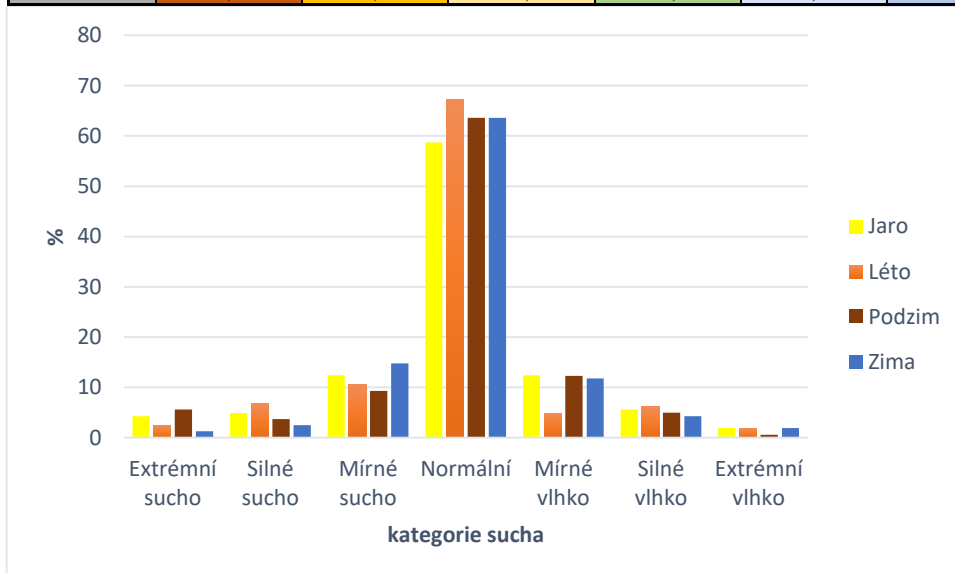


Graf č. 3 Četnost distribuce vláhových poměrů

V měsících březen – květen je v tabulce uvedeno extrémní sucho se stejnou hodnotou 1,9 %. Extrémní vlhko se objevilo pouze v měsíci březnu s hodnotou 5,6 %. Rozmezí normálních vláhových podmínek je 57,4 – 68,5 %. Výsledky ukázaly, že v jarních měsících převážilo mírné sucho nad vlhkem, ale v kategorii silné převážilo to suché. Letní měsíce se projevily jako velmi totožné ne - li stejné. Extrémní vlhko se objevilo pouze jedno a to v měsíci srpnu 1,9 %. Stejně tak extrémní sucho, které bylo zaznamenáno v měsíci červenci 5,6 %. Výskyt normálních vláhových podmínek se v období červen – srpen zvyšovalo. Mírné sucho a vlhko mají shodné hodnoty. Silné vlhko a sucho vykazují taktéž stejné celkové hodnoty, ale nikoli stejné hodnoty ve stejných měsících. V podzimních měsících se jako suchý projevil listopad s hodnotou 3,7 % a vlhké byly měsíce září – listopad všechny s hodnotou 1,9 %. V rozmezí hodnot normálních vláhových podmínek došlo k poklesu. Mírné vlhko se ukázalo jako zatím nejmenší v hodnocení 3 měsíců. V oblasti silného sucha a vlhka zůstává celková suma opět stejná a mění se pouze zastoupení jednotlivých měsíců. V zimním období došlo k poklesu normálních vláhových podmínek o 1,9 %. Sucho se vyskytlo v měsících prosinec a únor 3,7 % a vlhko připadá na leden 7,4 %. Mírné sucho je nejmenší ze všech zmíněných ročních období (jaro, léto, podzim). Silné sucho a vlhko mají opět shodnou celkovou sumu, ale v případě zimních měsíců nikoli stejná čísla. Na závěr je patrné, že během období červenec - srpen má sucho i vlhko vyrovnané hodnoty v kategorii mírné i silné. V dalších obdobích si vždy v kategorii silné jsou sucho a vlhko rovné. Na jaře a na podzim převládá mírné sucho, které vystřídá mírně vlhká zima.

Tab. 8 Četnost vláhových poměrů v % dle SPI v sedmistupňové škále pro časový interval 6 měsíců

SPI - 06	Extrémní sucho	Silné sucho	Mírné sucho	Normální	Mírné vlhko	Silné vlhko	Extrémní vlhko
Leden	1,9	1,9	13,0	64,8	13,0	3,7	1,9
Únor	0,0	5,6	18,5	53,7	13,0	7,4	1,9
Březen	5,6	0,0	13,0	59,3	9,3	11,1	1,9
Duben	3,7	7,4	9,3	57,4	16,7	1,9	3,7
Květen	3,7	7,4	14,8	59,3	11,1	3,7	0,0
Červen	3,7	5,6	11,1	70,4	3,7	5,6	0,0
Červenec	1,9	9,3	9,3	63,0	7,4	7,4	1,9
Srpen	1,9	5,6	11,1	68,5	3,7	5,6	3,7
Září	5,6	3,7	13,0	61,1	11,1	3,7	1,9
Říjen	7,4	3,7	9,3	63,0	11,1	5,6	0,0
Listopad	3,7	3,7	5,6	66,7	14,8	5,6	0,0
Prosinec	1,9	0,0	13,0	72,2	9,3	1,9	1,9



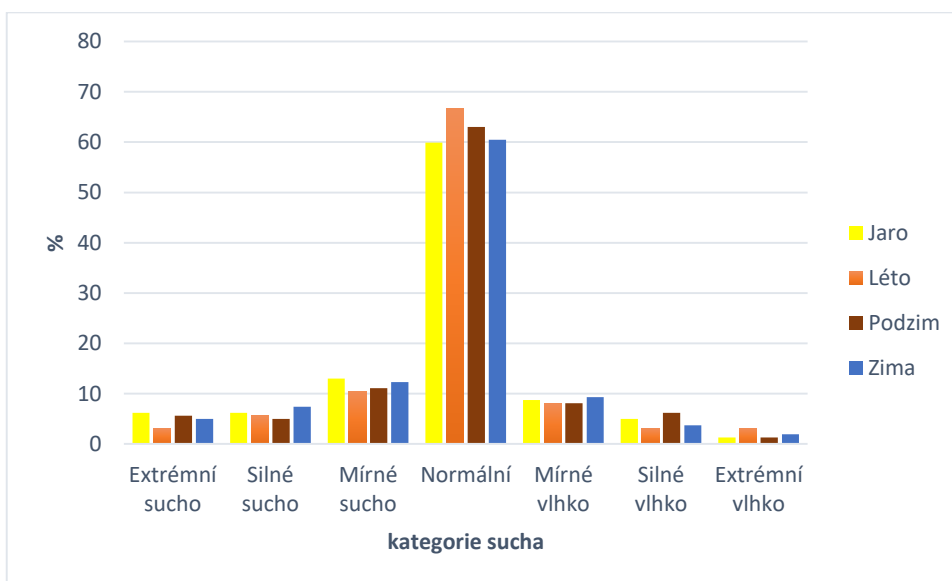
Graf č. 4 Četnost distribuce vláhových poměrů

V jarních měsících začíná extrémně suchý březen 5,6 % a navazuje extrémně vlhký duben 3,7 %. Rozmezí normálních měsíců je poměrně krátké 57,4 – 59,3 %. Mírné sucho a vlhko vykazují shodnou celkovou četnost. A v obou případech došlo ke zvýšení počtu silných epizod. Měsíc červen dosáhl extrémní hodnoty sucha a to 3,7 %. Měsíc srpen zase extrémního vlhka 3,7 %. Zvětšuje se rozmezí normálních vláhových poměrů oproti jarním měsícům. Došlo k poklesu mírných hodnot. Velký skok nastal převedším u mírného vlhka. Naopak u silného vlhka i sucha došlo k vzestupu četností výskytu. Měsíc září jako jediný se s četností 1,9 % řadí mezi extrémně vlhký. Navazující měsíc říjen se řadí jako extrémně suchý. Normální vláhové podmínky se pohybují v rozmezí 61,1 – 66,7 %. Mírné sucho vykázalo

výrazný pokles v četnosti výskytu a stejně tomu tak je v kategorii silného sucha. Zatímco mírné vlhko je stejné, jako tomu bylo v období březen - květen. Pouze silné vlhko zaznamenalo pokles oproti jarnímu a letnímu období. V zimních měsících se žádný extrém nijak zvlášť neprojevil. Výskyt normálních vláhových poměrů se zvýšil až trojnásobně než tomu bylo v měsících září–listopad. Mírné sucho má z kategorie SPI - 06 zatím nejvyšší četnost výskytu. A zároveň v oblasti silného sucha tu nejmenší.

Tab. 9 Četnost vláhových poměrů v % dle SPI v sedmistupňové škále pro časový interval 12 měsíců

SPI - 12	Extrémní sucho	Silné sucho	Mírné sucho	Normální	Mírné vlhko	Silné vlhko	Extrémní vlhko
Leden	5,6	5,6	14,8	63,0	5,6	3,7	1,9
Únor	3,7	7,4	14,8	59,3	9,3	3,7	1,9
Březen	7,4	5,6	13,0	57,4	13,0	1,9	1,9
Duben	5,6	9,3	11,1	63,0	1,9	7,4	1,9
Květen	5,6	3,7	14,8	59,3	11,1	5,6	0,0
Červen	1,9	5,6	11,1	68,5	9,3	1,9	1,9
Červenec	3,7	3,7	9,3	68,5	7,4	3,7	3,7
Srpen	3,7	7,4	11,1	63,0	7,4	3,7	3,7
Září	3,7	5,6	13,0	63,0	5,6	7,4	1,9
Říjen	7,4	1,9	13,0	61,1	9,3	7,4	0,0
Listopad	5,6	7,4	7,4	64,8	9,3	3,7	1,9
Prosinec	5,6	9,3	7,4	59,3	13,0	3,7	1,9

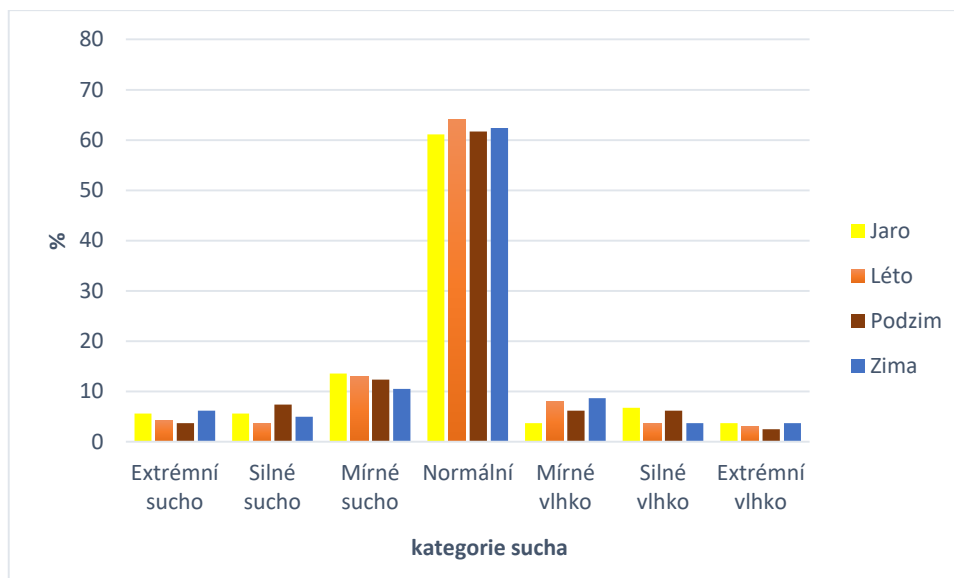


Graf č. 5 Četnost distribuce vláhových poměrů

Extrémní sucho se vyskytlo v měsíci březnu 7,4 % a extrémní vlhko od března do dubna vždy s výskytem 1,9 %. Kromě měsíce května kdy se žádný extrém nevyskytoval. Normální vláhové poměry se vyskytovaly v rozmezí 57,4 – 63 %. Sucho výrazně převážilo nad vlhkem. Největší četnost výskytu připadá na květen. Závěrem tedy je, že období březen – květen bylo výrazně suché. V tomto případě se nejvíce projevil měsíc duben. V měsících červenec a srpen se vyskytlo jak extrémní sucho, tak vlhko s četností 3,7 %. Výskyt normálních vláhových podmínek byl srovnatelný s obdobím březen – květen. Mírné a silné sucho i vlhko pokleslo ve výskytu četnosti oproti jarním měsícům. Na podzim se extrémní sucho objevilo v říjnu s četností 7,4 % a extrémní vlhko se projevilo v měsících září a listopad s četností 1,9 %. Četnost výskytu normálních vláhových poměrů se zmenšila. Počet výskytu mírného sucha je menší, jak tomu bylo na jaře, ale větší oproti letním měsícům. A stejně tomu tak je v případě mírného vlhka. Silné sucho je menší, jak tomu bylo v jarním a letním obdobím. Extrémní vlhko se neprojevilo, za to extrémní sucho se projevilo v období prosinec – leden s četností výskytu 5,6 %. Četnosti normálních vláhových podmínek poklesly od podzimu o 1,8 %. Mírné vlhko je nejvyšší ze zatím zmíněných ročních období PSI - 12. Mírné sucho je větší jak na podzim a v létě a naopak menší než na jaře. Silné sucho nám vzrostlo oproti všem ostatním. Na závěr lze shrnout, že během jara a léta se projevilo jak mírné tak silné sucho. Na podzim již přetrvávalo mírné sucho a silné sucho bylo vystřídáno vlhkem. Zima již potom byla vlhká.

Tab. 10 Četnost vláhových poměrů v % dle SPI v sedmistupňové škále pro časový interval 24 měsíců

SPI - 24	Extrémní sucho	Silné sucho	Mírné sucho	Normální	Mírné vlhko	Silné vlhko	Extrémní vlhko
Leden	5,6	7,4	7,4	63,0	9,3	3,7	3,7
Únor	7,4	1,9	14,8	61,1	7,4	3,7	3,7
Březen	5,6	7,4	11,1	63,0	1,9	7,4	3,7
Duben	5,6	5,6	14,8	59,3	3,7	7,4	3,7
Květen	5,6	3,7	14,8	61,1	5,6	5,6	3,7
Červen	3,7	5,6	11,1	66,7	5,6	3,7	3,7
Červenec	3,7	1,9	13,0	64,8	9,3	5,6	1,9
Srpen	5,6	3,7	14,8	61,1	9,3	1,9	3,7
Září	3,7	9,3	9,3	64,8	3,7	7,4	1,9
Říjen	3,7	9,3	13,0	59,3	5,6	5,6	3,7
Listopad	3,7	3,7	14,8	61,1	9,3	5,6	1,9
Prosinec	5,6	5,6	9,3	63,0	9,3	3,7	3,7



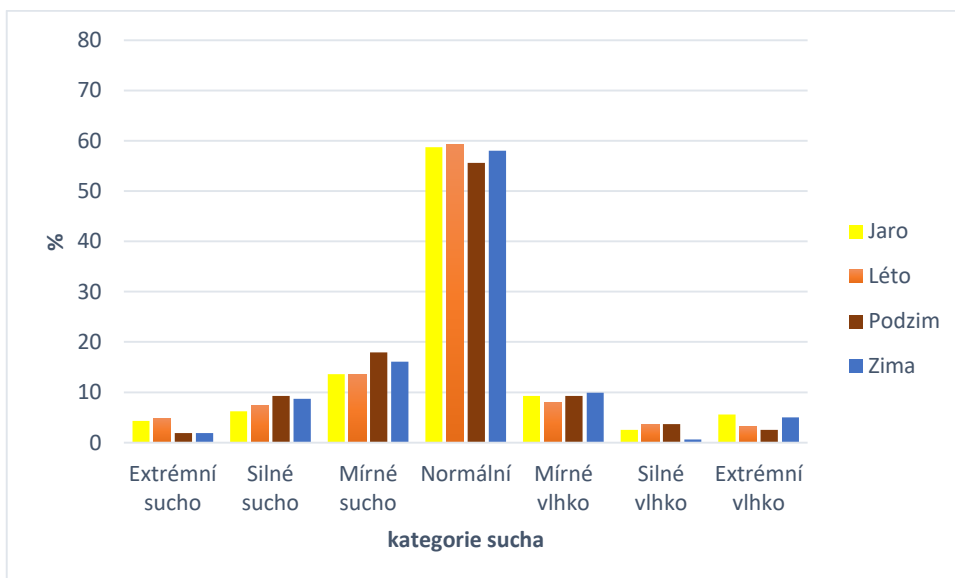
Graf č. 6 Četnost distribuce vláhových poměrů

U SPI - 24 došlo k sjednocení výskytu extrémního sucha (5,6%) a vlhka (3,7%), které se vyskytnulo od března do května. Výskyt normálních vláhových poměrů připadá na rozmezí hodnot 59,3 – 63 %. V jarním období jasně převažuje mírné sucho nad vlhkem. Naopak silné sucho je v daleko menším zastoupení než vlhko. Srpen se projevil jako extrémně suchý s výskytem 5,6 %, červen a srpen jako extrémně vlhký s výskytem 3,7 %. Rozpětí výskytu normálních vláhových podmínek vzrostlo o 1,9 %. Mírné sucho pokleslo oproti jaru, ale stále dominuje. Silné sucho a vlhko mají stejnou celkovou sumu a liší se pouze četností výskytu v jednotlivých měsících. Na podzim se sucho projevilo nejvíce od září do listopadu s četností výskytu 3,7 % a stejnou četnost má i vlhko v měsíci říjnu. Výskyt normálních vláhových poměrů je velmi podobný tomu v období březen - květen. Mírné sucho klesá, je menší, jak na jaře a v létě. Silné sucho však začíná stoupat. V období prosinec – únor se žádné významné extrémní vlhko neprojevilo za to sucho v měsíci únor s četností výskytu 7,4 %. Rozpětí normálních vláhových podmínek je velmi malé pouze 61,1 – 63 %. Mírné sucho pořád převládá nad vlhkem, ale i hodnoty vlhka začínají stoupat a to po celou dobu klesání sucha.

V silné kategorii dochází k poklesu jak suchých tak vlhkých epizod. Závěrem lze dodat, že v kategorii SPI - 24 se přes všechny období projevovale mírné sucho. Jarní období bylo významné silným vlhkem, kterému se v létě vyrovnalo silné sucho, a to pak vystřídal vlhko po zbytek roku.

Tab. 11 Četnost vláhových poměrů v % dle SPI v sedmistupňové škále pro časový interval 36 měsíců

SPI - 36	Extrémní sucho	Silné sucho	Mírné sucho	Normální	Mírné vlhko	Silné vlhko	Extrémní vlhko
Leden	1,9	5,6	20,4	57,4	9,3	0,0	5,6
Únor	1,9	9,3	16,7	57,4	9,3	0,0	5,6
Březen	5,6	5,6	11,1	61,1	9,3	1,9	5,6
Duben	3,7	7,4	11,1	59,3	11,1	1,9	5,6
Květen	3,7	5,6	18,5	55,6	7,4	3,7	5,6
Červen	7,4	7,4	11,1	57,4	9,3	1,9	5,6
Červenec	3,7	9,3	11,1	61,1	7,4	5,6	1,9
Srpen	3,7	5,6	18,5	59,3	7,4	3,7	1,9
Září	1,9	7,4	16,7	61,1	5,6	5,6	1,9
Říjen	1,9	11,1	18,5	51,9	9,3	5,6	1,9
Listopad	1,9	9,3	18,5	53,7	13,0	0,0	3,7
Prosinec	1,9	11,1	11,1	59,3	11,1	1,9	3,7



Graf č. 7 Četnost distribuce vláhových poměrů

Sucho se projevilo v měsíci březnu s četností 5,6 % a vlhko mělo během období březen – květen stejnou procentuální četnost zastoupení. Normální vláhové podmínky se vyskytovaly v rozmezí 55,6 – 61,1 %. Mírné i silné sucho se v jarním období projevilo výrazněji než vlhké epizody. Je tedy možné konstatovat, že v kategorii SPI - 36 výrazně v jarních měsících převažuje sucho nad vlhkem. Jako extrémní měsíc by se dal označit měsíc červen, kdy se vyskytla největší četnost výskytu suchých 7,4 % a vlhkých 5,6 % epizod. Období s výskytem normálních vláhových podmínek se snížilo o 1,9 %. Došlo ke snížení mírného sucha i vlhka přesto pořád dominuje sucho. A stejně tomu je i v oblasti silného sucha.

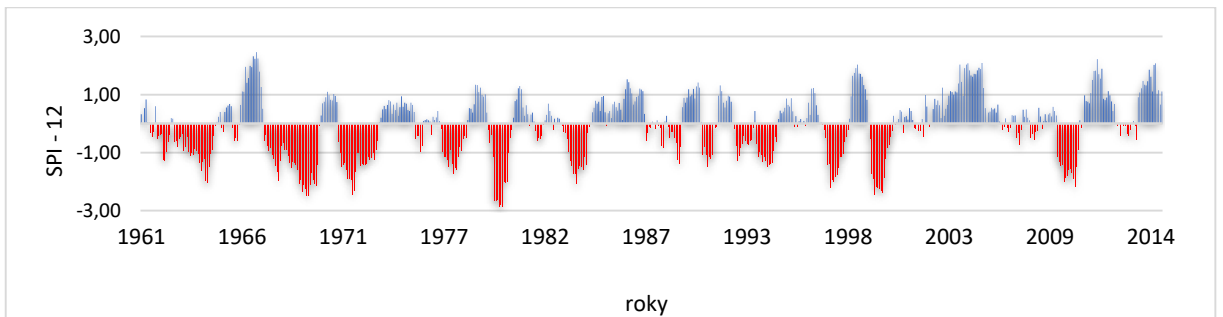
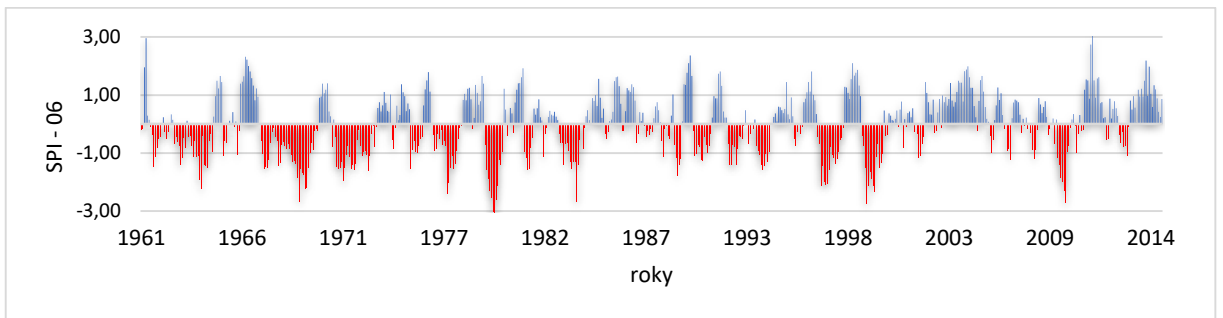
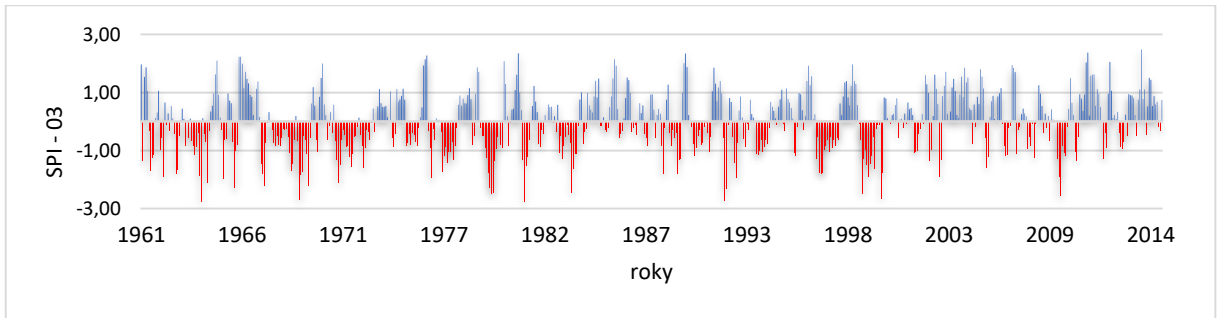
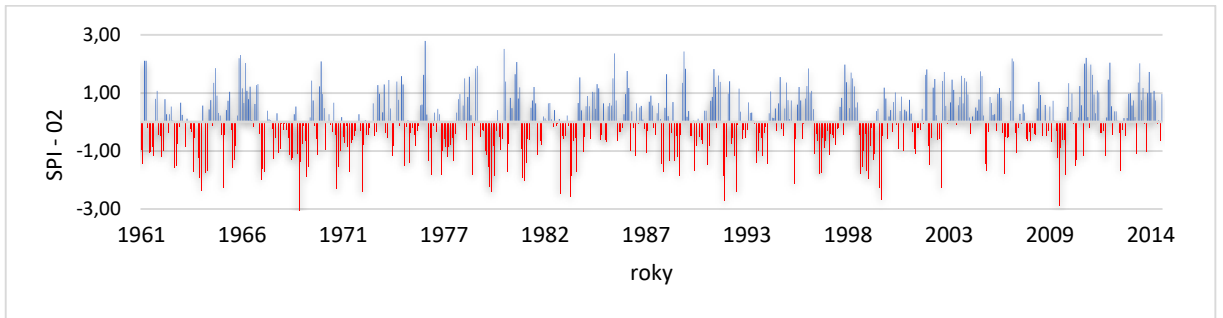
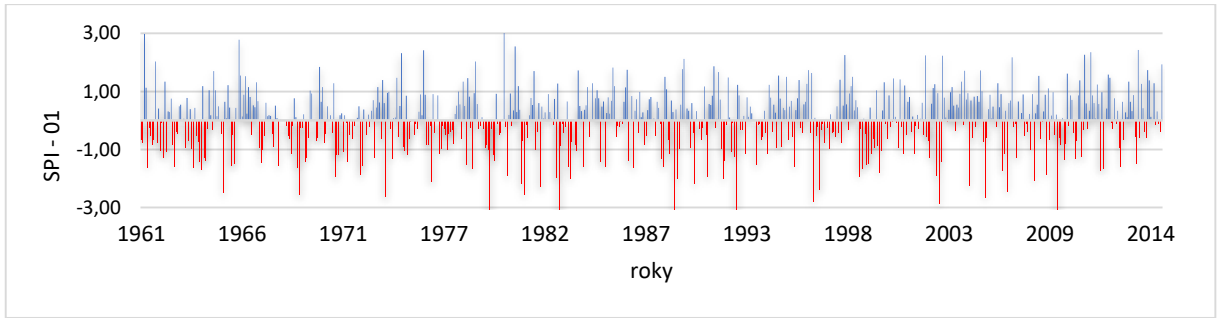
Na podzim se žádný výrazný extrém sucha neprojevil, za to extrémně vlhký byl listopad s četností výskytu 3,7 %. Normální období se pohybuje mezi 51,9 – 61,1 %. Mírné a silné sucho výrazně převyšuje nad vlhkým obdobím. Měsíce leden – únor se projeví jako extrémně vlhké s četností výskytu 5,6 %. Rozmezí období, kdy se vyskytly normální vláhové podmínky, jsou poměrně malé. Nadále pokračuje zvýšené jak mírné tak silné sucho. Výsledky ukázaly, že podzim a zima byly výrazně suché.

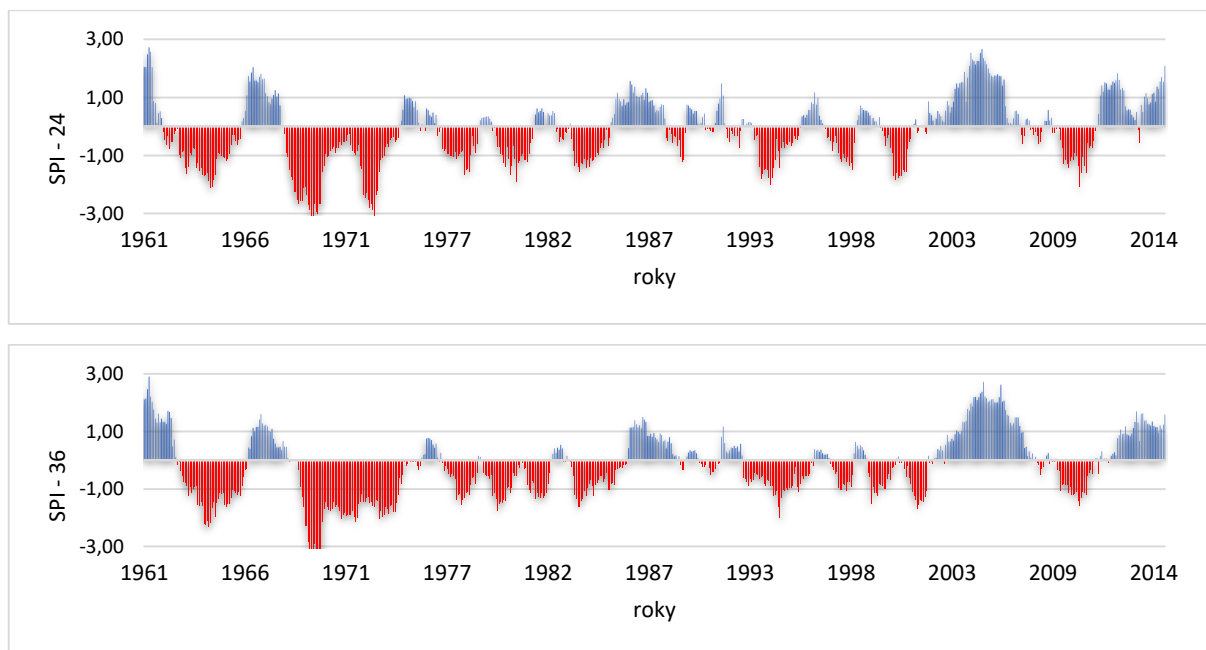
5.2 Vývoj výskytu suchých a vlhkých období

Jako extrémně vlhké roky se v charakteristice SPI - 01 projeví roky 1980 (s hodnotou 3,10), 1961 (2,98), 1966 (2,78) vždy v měsíci březnu. Roky s výskytem extrémního sucha 1983 (- 3,83), 1979 (- 3,27) a 2009, 1992 (- 3,08). Kdy jediný rok 1983 byl zastoupen měsícem únor. Ostatní roky se shodly v měsíci červnu.

V kategorii SPI - 02 se jako velmi vlhké objevují roky 1976, 1998 a 1974. Kdy v roce 1976 byl nejvlhčí měsíc leden (2,80) a další potom březen (2,52) a říjen (2,43). Opakem jsou roky 2009, 1991 a 2000, které se projeví jako velmi suché. A to převážně v měsících červenec (- 2,88), listopad (- 2,72) a únor (- 2,68) podle pořadí roků. Jako vlhké roky je možné v klasifikaci SPI - 03 ohodnotit roky 2011 a 1980. Rok 2011 se tak stal kvůli měsícům listopad (2,49) a leden (2,38). V případě, roku 1980 se jednalo o měsíc prosinec (2,36). Roky 1964, 1996 a 1991 bychom označily jako suché. Jedná se o zastoupení měsíců březen (- 2,77), červen (- 2,76) a listopad (- 2,74). Při hodnocení SPI - 06 se ukázaly, že jako suché roky jsou 1979 (září a srpen) a 1999 (květen). Zatímco jako vlhké se řadí roky 2011, 1961, které jsou zastoupené měsícem březen, duben. Při hodnocení dat po 12 měsících výsledky ukázaly,

že velmi suché jsou roky 1979 a 1980. Kdy rok 1980 je zastoupen obdobím leden – únor a předchází mu měsíc prosinec (1979). A vlhké se ukázaly roky 1966 zastoupený hlavně měsícem prosinec a pokračující v únor a březnu roku 1967. SPI - 24 ukázalo, že extrémně vlhké jsou roky 1961 a 2005. Kdy rok 1961 je zastoupen převážně v měsíci dubnu až květen a rok 2005 v měsíci dubnu. Jako extrémně suché zase rok 1969 (listopad – prosinec) a 1973 měsícem březnem. Hodnocení socioekonomických dopadů vykazalo shodu s SPI - 24 ve vlhkém roce 1961 (duben) a suchém roce 1969 (listopad). Jako vlhké byly dále vyhodnoceny roky 2005 a 2006. K suchému roku 1969 se ještě přidal rok 1970.

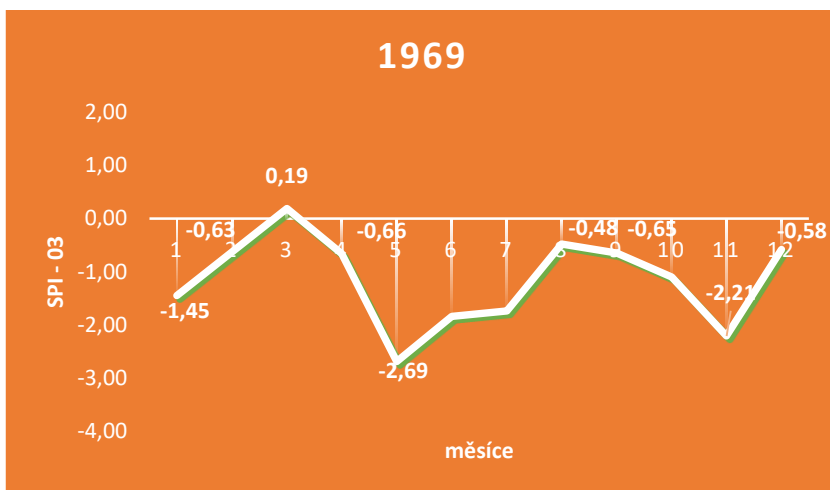




Grafy č. 8 - 14 popisující výskyt sucha/vlhka ve stanovených kategoriích podle doby pozorování

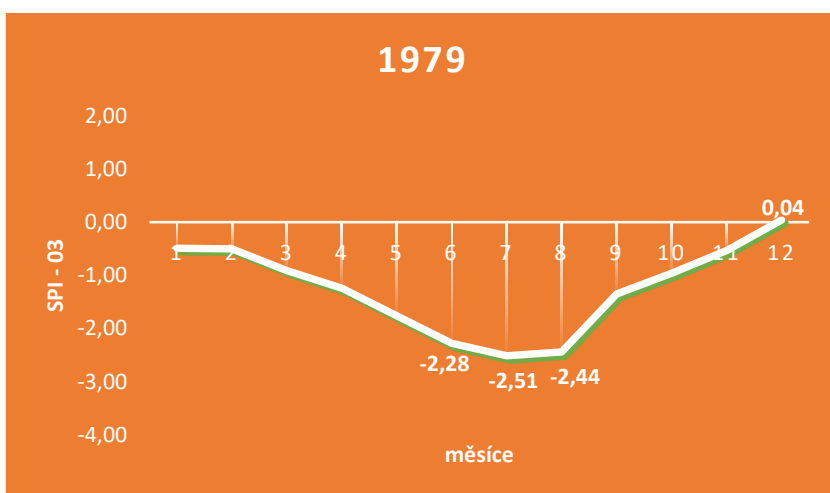
5.3 Intenzita trvání zemědělského sucha s největším dopadem na zemědělství

Jak je uvedeno v různých dokumentech (např. Quiring and Papakryiakou 2003, Trnka *et al.*, 2007b), dopady meteorologického sucha jsou pro zemědělství velice důležité, a to i ve střední Evropě. Zemědělství v této oblasti je nejvíce ohroženo dlouhotrvajícím suchem během počátku jara, protože snižuje přežití a hustotu porostů, což v některých případech vede k úplnému selhání plodin (Brázdil *et al.*, 2009). Největší zemědělská sucha v oblasti Polabí byla vyhodnocena pro roky 1969, 1979 (grafy č. 15 - 18). Potop *et al.*, (2014) uvádí, že produkce zeleniny (v závislosti na rozloze zeleniny) je ovlivňována vysokými teplotami (Jižní Morava), výskytem sucha (Labská nížina a jižní Morava), ranými mrazy (ve všech regionech), nasáklivostí vodou (v sezónách s vlhkostí, např. 2010 a 2013 ve Středočeském kraji) a dostupností v terénu v klíčových provozních podmínkách. Sucha a extrémní vysoké teploty nelze považovat za nezávislé jevy, neboť v mnoha oblastech jsou sucha navíc spojena s extrémními teplotami (např. 2003, 2015).



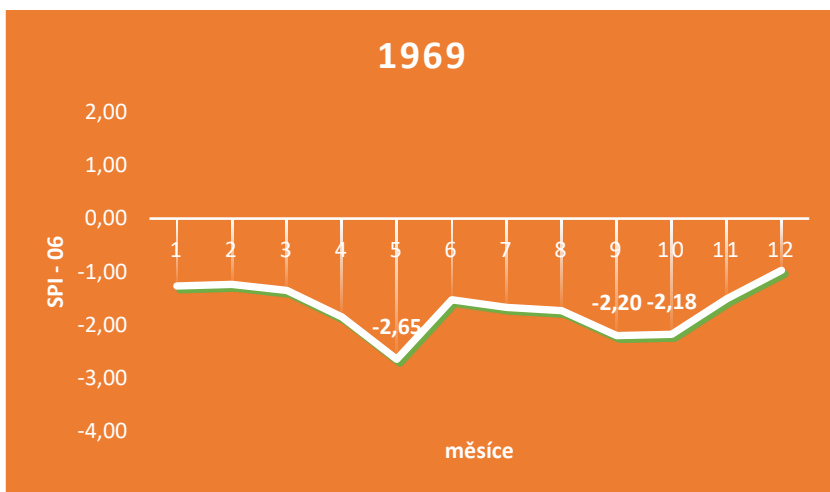
Graf č. 15 Intenzita trvání zemědělského sucha s největším dopadem na zemědělství

Rok 1969 byl výrazně suchý. Nad nulu se křivka dostala pouze jednou během celého roku a to v měsíci březnu. Tato situace měla velký dopad například na pěstování brambor, které jsou v České republice tradiční. Ke snížení zisku došlo v měsících květen – srpen, kdy se projevilo výrazné sucho a pro brambory přímo vražedné. Následně tedy došlo k socioekonomickým dopadům a tj. zdražení z důvodu slabé úrody.



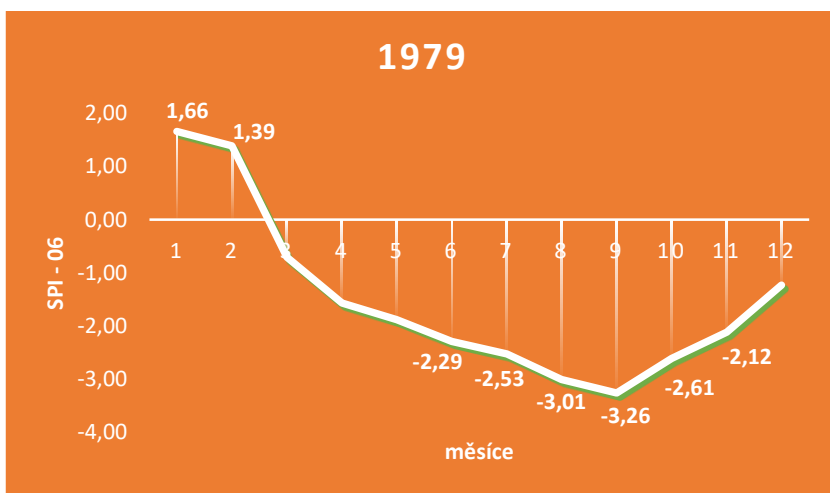
Graf č. 16 Intenzita trvání zemědělského sucha s největším dopadem na zemědělství

Na grafu je uvedeno, že rok 1979 s pozorováním 3 měsíců byl rokem suchým. Pouze jediné číslo za celý rok má kladnou hodnotu 0,04 a to měsíc prosinec. Ostatní hodnoty jsou záporné, což znamená, že došlo k projevení suchých epizod od ledna do listopadu. Nejvyšší hodnoty - 2,51 dosáhl měsíc červenec.



Graf č. 17 Intenzita trvání zemědělského sucha s největším dopadem na zemědělství

Rok 1969 byl v hodnocení SPI - 06 rokem suchým. Proto byl vybrán k ukázce zemědělských dopadů.



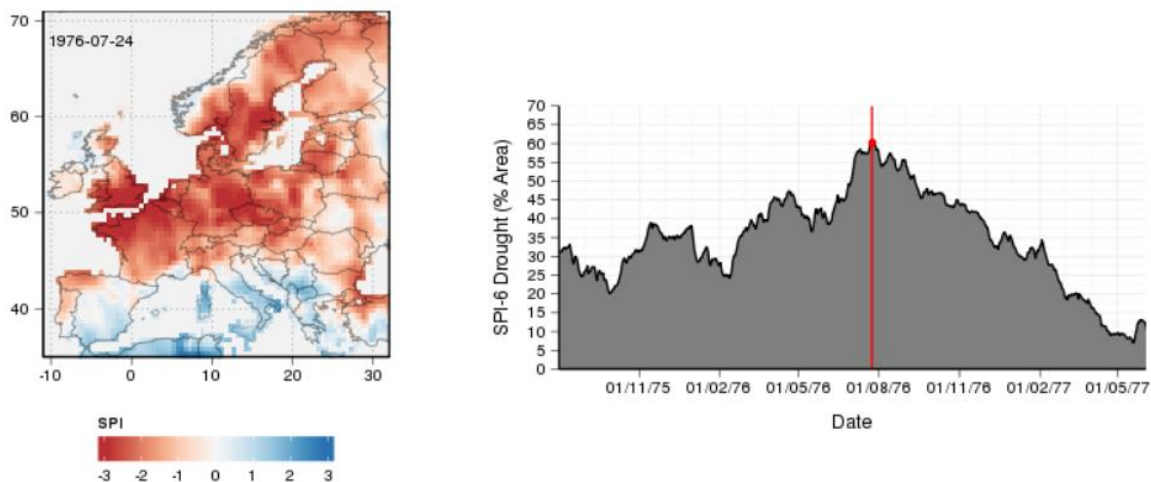
Graf č. 18 Intenzita trvání zemědělského sucha s největším dopadem na zemědělství

V grafu č. 18 je zhodnocen rok 1979 po 6 měsíčním pozorování. Kdy měsíce leden – únor byly významně vlhké, jejich hodnoty překročily 1,0. Zbytek roku je v záporných hodnotách tedy výrazně suchý. Největší sucho nastalo v měsíci září s hodnotou - 3,01.

5.3.1 Významná sucha v Evropě

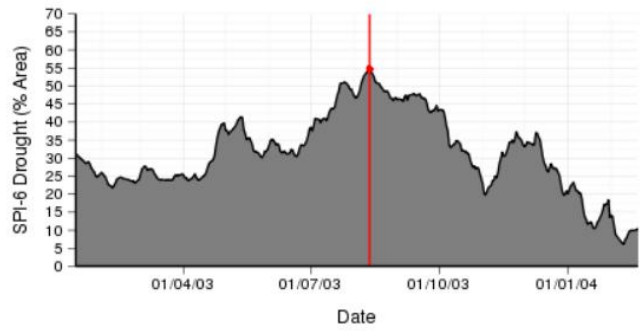
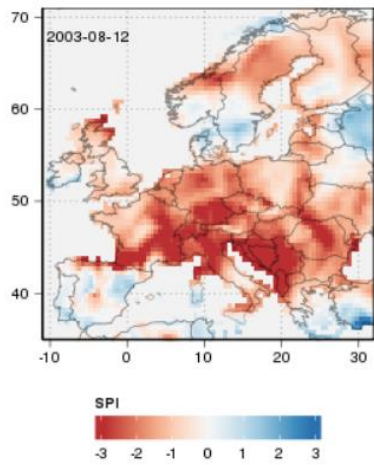
Dle zpracované databáze The European Drought Centre bylo zjištěno, že nejvýznamnější sucha byla v letech 1975 – 1976 a 2003. V období 1975 - 1976 bylo sucho způsobeno poměrně suchou, mírnou zimou s průměrnými srážkami. Tento deficit srážek vznikl v průběhu jara a léta v západní Evropě, která se zaměřuje na severní Francii, střední Evropu a Anglii. Během května a června došlo k šíření sucha na sever a východ, což vedlo k silně sousedícímu seskupení zaměřenému na střední Evropu, které vyvrcholilo 1. července. Českou republiku postihlo v roce 1976. Vlivem sucha došlo ke snížené produktivitě ročního pěstování plodin:

ztráty plodin, poškození kvality plodin nebo selhání plodin v důsledku odumření, předčasného dozrávání, napadení škůdci nebo chorobami vyvolanými suchem atd. Z grafu napravo je patrné, kdy bylo sucha na svém vrcholu. Naopak na levé straně je vyznačen dopad, který sucho mělo na Českou republiku a jiné země v Evropě i na světě. Kde je vidět, že Česká republika se nachází, přibližně v SPI - 3 což je významné sucho (<http://www.geo.uio.no/edc/index_old.htm>).



Graf č. 19 Progrese zemědělského sucha SP - 06

Období sucha v roce 2003 je pro Evropu považováno za výjimečné a spojuje významné deficity srážek s rekordními teplotními extrémy, které zvyšují evapotranspiraci. Na vrcholu byla téměř celá Evropa na suchu, s výjimkou Iberského poloostrova a dalekého východního Středomoří. V důsledku toho byly ve velkých částech Evropy hlášeny velké ztráty výnosu plodin a extrémně nízké hladiny vypouštěných řek. Nejsilnější dešťové srážky, k nimž došlo v červenci a srpnu 2003, byly doprovázeny nejteplejšími teplotami, které byly v Evropě v té době zaznamenány. Ty výrazně zvýšily evapotranspiraci a tím se snížilo množství vody. Na jihu Moravy, která je zodpovědná za 1/5 zemědělské produkce České republiky, je výnos zrna o 30 - 35 % nižší. Navíc prodejní ceny zemědělských produktů, jako je obilí, klesají po delší dobu. Z grafu napravo je patrné, kdy bylo sucho na svém vrcholu. Naopak na levé straně je vyznačen dopad, který sucho mělo na Českou republiku a jiné země v Evropě i na světě. Kdy je vidět, že Česká republika se nachází, přibližně v SPI - 2 což je silné sucho (<http://www.geo.uio.no/edc/index_old.htm>).



Graf č. 20 Progrese zemědělského sucha *SP - 06*

6 Diskuze

Bez ohledu na klasifikaci může sucho vést k významným společenským dopadům. Dalším důležitým rysem sucha je jeho charakteristické časové rozmezí, které se může podstatně lišit. Jediný měsíc nedostatku srážek může nepříznivě ovlivnit plodiny, zatímco prakticky nemá vliv na velký systém zásobníků. Vzhledem k tomu, že sucho je obecně považováno za událost s pomalým nástupem, může být nejrelevantnější časové měřítko pro prognózy sucha sezónní (nebo i delší). Nicméně, zejména v odvětví zemědělství, jsou kratší časové meteorologické informace rovněž velmi významné (Potop *et al.*, 2012). Zemědělské sucho je zastoupeno charakteristikou SPI s hodnocením po 3 a 6 měsících.

Účinky sucha zahrnují multikvalitní povahu sucha, protože reakce hydrologických a / nebo zemědělských systémů na akumulární deficity srážek mají rozdílné časy reakce. Toto vysvětluje, proč jsou v jednom systému zaznamenány těžké podmínky sucha (např. nízké toky řek), zatímco jiný systém (vysoká úroda) ve stejné oblasti vykazuje normální podmínky (např. Guttman, 1999, Keyantash and Dracup, 2002, Lloyd - Hughes and Saunders, 2002, Dai, 2011). V České republice je Labská nížina, jedna z největších hospodářských oblastí pro pěstování zeleninových plodin určených na trh je často postižena suchem; proto dochází ke zvýšené větrné erozi a vyžaduje vyšší úroveň zavlažování. Vzrůstající četnost suchých, horkých epizod v nížinné oblasti v České republice vedla ke snížení výnosů a větší variabilitě výnosů u zeleninových plodin, což vedlo ke zvýšení nákladů potřebných pro pěstování zeleniny a zvýšení ekonomických ztrát pro zemědělce (Potop, 2010; Potop *et al.*, 2011). Podle prognóz modelů globálního oběhu v České republice (např. Dubrovský *et al.*, 2005) nebude nárůst potenciální evapotranspirace (způsobený nárůstem teploty) uspokojen dostatečným nárůstem srážek, což nevyhnutelně povede k vyšší frekvenci sucha, jak ukazuje studie Dubrovského *et al.*, (2007a, b). Výsledky hodnocení sucha v období 1961 - 2014 ukazují výraznou tendenci k prodloužení sucha a větší závažnosti epizod sucha.

IPCC (2007) uvádí, že důvodem je především proces globálního oteplování, který se odráží také v nárůstu teploty vzduchu v České republice; změny v souhrnných hodnotách srážek se nezdají tak zásadní, ačkoli zde dochází i k bezvýznamnému poklesu. Roční kolísání srážek by se mělo také měnit, s nápadným nárůstem v zimě (až o 25%) a snížením v létě. Mohlo by to vést k dezertifikaci klimatu střední Evropy s nevyhnutelnými důsledky pro Českou republiku, kde srážky jsou hlavním zdrojem vody. Jedním z důsledků může být násobné zvýšení pravděpodobnosti

výskytu intenzivních období sucha (včetně ničivých) a také následné změny ve vodní ekonomice krajiny, jak zdokumentovali Dubrovský *et al.*, (2007a, b).

Většina scénářů používaných pro klimatické změny naznačuje výrazný nárůst území ohroženého suchem, které postihuje nejproduktivnější zemědělské oblasti. Takový vývoj by se většinou týkal jižní Moravy, nejsušší jihovýchodní části České republiky (Brázdil *et al.*, 2009).

V případě Labské nížiny se vyskytly hlavní epizody sucha pro SPI - 01 a SPI - 02, které se shodují v roce 1983, SPI - 02 se zase shoduje s SPI - 03 v roce 1979. Dále se shoduje s SPI - 06 v letech 1969 a 1979 (grafy 15 – 18). Stejně roky drží i v kategorii SPI - 12. Akorát v kategorii SPI - 24 s k roku 1969 přidá rok 1970. Pro pozorování po 36 měsících byl zjištěn rok 1964. Hlavní mokré epizody pro SPI, byly identifikovány v letech 1961, 1966–1967, 1976, 1980, 2005, 2011 a 2013.

Celkově se u SPI - 01 až SPI - 24 zjistilo, že na začátku 21. století dochází k převaze vlhkých epizod nad suchými s výskytem extrémního sucha. Podle SPI, se jako téměř vlhké projeví roky 2004 – 2006 a 2011 – 2014. Zbývající měsíce v intervalu 2001 – 2014 se buď střídaly v suchu či vlhku nebo byly téměř vyrovnané. Z intervalu 1961 – 1970 byly vybrány suché jarní měsíce 1963 – 1965 a 1968 – 1970 nebo naopak vlhké 1966 – 1967. V období 1971 – 1980 bylo v jarních měsících zastoupeno převážně sucho, výjimku tvoří roky kdy vlhko a sucho byly poměrně vyrovnané a to v letech 1971, 1976, 1978–1980. V období 1981–1990 se v jarních měsících drží hodnoty, SPI kolem normálu, jen výjimečně se vyskytne nějaký extrém.

V poslední kategorii 1991–2000 jsou hodnoty poměrně vyrovnané, vlhkost se projevila zejména v letech 1996–1997. Potopová *et al.*, (2015) v článku uvádějí, že dobře známé evropské sucho z roku 2003, které je od roku 1961 nejsušší z hlediska délky, intenzity a prostorového rozsahu v krátkodobém a střednědobém horizontu. S tímto tvrzením souhlasím a z výsledků podle hodnot SPI, bylo zjištěno, že mimořádné sucho v roce 2003, které zasáhlo jak Evropu, tak Českou republiku bylo nejsušší v měsíci březen – duben. Naopak vlhké období se objevuje v rozmezí květen – červenec dále potom v říjnu a prosinci. Potop *et al.*, (2012) ve studii vysvětlují, že v současnosti existuje málo studií o dopadu sucha v souvislosti s pěstováním zeleniny v terénu. Studie o suchu, pokud jde o rostlinný růst, je komplikovaná, protože kombinuje rostoucí četnosti sucha vyplývající z globální variability klimatu s výrobními, finančními a tržními faktory, které vyplývají z ekonomické globalizace.

Potop *et al.*, (2015) uvádějí, srovnání se zimními obilovinami kde poměrně krátké období sucha ovlivňuje tvorbu jarních obilovin.

Mezi přezimujícími plodinami měla nejdelší kultivační období (od setí až po sklizeň) olejnatá semena (srpen až červenec), pak zimní žito, následovaná zimní pšenicí a zimním ječmenem (září až červenec). Nejkratší rostoucí cykly byly jarní ječmen a oves (konce března až červenec).

V přílohách 4 - 10 jsou uvedeny doby trvání sucha ve všech 7 kumulativních obdobích. Čím větší interval tím delší doba trvání. A naopak tedy čím menší je kumulativní interval tím menší je doba trvání, ale má větší frekvenci. V hodnocení doby trvání sucha pro kategorii SPI - 01 a SPI - 02 se zjišťovalo, které období překročilo dobu trvání 2 měsíců. Takové období je označeno modrou barvou zatímco ostatní doby trvání představují období, kdy se vyskytlo extrémní sucho. Ve většině případů se tyto období shodují. Pro kategorii SPI - 03 byla vybrána období, která trvala déle jak 3 měsíce. V dalších kategoriích se hodnotili pouze ty období, které přesáhly dobu trvání 10 měsíců. V příloze č. 4 je uvedeno nejdéle trvající sucho v roce 1971 od dubna do června. Za celé měsíční pozorování bylo toto období nejdelší. Dvuměsíční pozorování vykazuje rok 1979 v období od března do července s nejdelší dobou trvání sucha, a to 5 měsíců ze všech sledovaných let od roku 1961–2014. Při pozorování během 3 měsíců se opět objevil jako význam jeden rok a to 1979 v době od dubna do září, který měl intenzitu 6 měsíců. Dochází zde k přesunu z meteorologického sucha na sucho zemědělské. Při SPI - 06 se extrémní sucho vyskytlo pouze ve dvou případech. V letech 1968–1969 kdy sucho setrvávalo po dobu 12 měsíců (prosinec – listopad) a 1979 – 1980 (duben – leden) po dobu rovných 10 měsíců. Při hodnocení SPI - 12 tedy hydrologického sucha se povedlo přesáhnout hodnotu 10 měsíců hned sedmkrát. A to v letech 1968 - 1970 (říjen - květen), 1971 – 1973 (červenec - květen), 1979–1980 (srpen - červen), 1983–1984 (září - červenec), 1997–1998 (duben - únor), 1999–2000 (srpen - květen), 2009–2010 (od června do června). Výsledky ukázaly v pozorování po 24 měsících období 1963–1964 (říjen – listopad roku 1964), 1968–1970 (srpen - červenec), 1972–1973 (červen – září roku 1973), 1983–1984 (říjen–listopad roku 1984) a 1993–1994 (červenec - květen) u kterých byla přesažena doba trvání 10 měsíců. V poslední kategorii se nachází socioekonomické dopady, kdy hodnotu 10 měsíců překročili jen 4 epizody. Roky 1963 – 1966 (od listopadu do února), 1969 – 1974 (62 měsíců), 2001 – 2002 (srpen - květen) a 2010.

Významné roky sucha, které měly dopad na Českou republiku 1971, **1976**, 1988, **1992**, **1993**, **1993 - 1995**, **2000**, **2003**, 2003 - 2004, 2004, 2004 - 2005, 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014. Ve vyznačených letech se shodují se suchem, které postihlo celou Evropu (<http://www.geo.uio.no/edc/index_old.htm>).

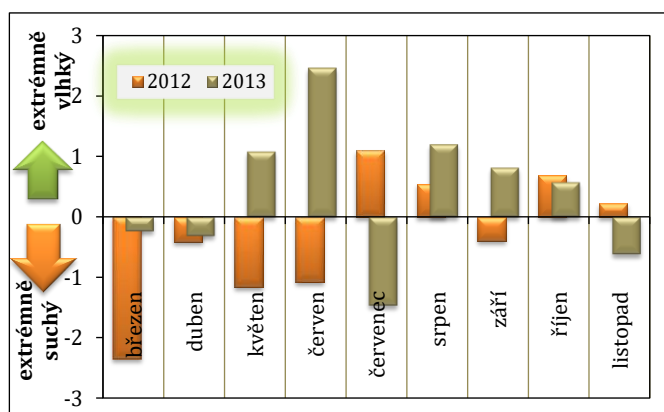
Výsledky se s těmito roky příliš neshodují, přestože se Polabí nachází v České republice.

Výsledky se shodují s rokem 1971, který je výrazně suchý. V roce 1976 jsou podmínky poměrně vyrovnané. Dále rok 1988 bychom uvedla jako vlhký, za to období 1992 - 1993 bylo suché. V rozmezí let 1994 – 1995 se objevilo výrazné vlhko a stejně tomu bylo v období 2003 – 2004, 2005, 2007. V roce 2008 byly podmínky téměř vyrovnané, zatímco v roce 2010 byl počátek pozorování vlhký, ale zakončený suchem. Od roku 2011 – 2014 se výrazně projevovaly vlhké epizody.

Extrémního sucha bylo dosaženo v kategorii SPI - 01 v únoru roku 1983. Při dvouměsíčním pozorování se jednalo o květen 1969. V další kategorii březen 1964. V SPI - 06 se jednalo o období od srpna do září roku 1979, kdy hodnota byla nejvyšší. Po 12 měsíčním pozorování se extrémní sucho vyskytlo v prosinci stejného roku jako v předchozí kategorii tedy rok 1979. Pro SPI - 24 se jednalo o období listopad – prosinec 1969. A socioekonomický dopad, který by se týkal, extrémního sucha připadá na duben 1970 (příloha č. 13 - 14).

Potop *et al.*, (2015) uvádějí, že v 24 měsíčním měřítku (hydrologické sucho), oba indexy (SPI, SPEI) ukázaly následujících šest velkých období sucha: od roku 1943 - 1949, 1952 - 1959, 1975 - 1976, v první polovině osmdesátých let. SPI, obecně identifikoval nejčastější epizody sucha vyskytující se během osmdesátých let a to roky 1990 a 2000. Zatímco v oblasti Polabí se SPI - 24 shoduje pouze se suchým rokem 2000. Zatímco rok 1990 je výrazně vlhký. Jako delší suché epizody by se daly označit období 1962 – 1966 a 1968 – 1974 z analyzovaného rozmezí 1961 – 2014.

Dvě významné zeleninové oblasti v České republice jsou jižní Morava a nížiny Labe, v nichž se pěstuje částečně odlišný sortiment zeleniny. Labská řeka je tradičně oblastí pěstování zeleniny *Brassica*, zatímco jižní Morava je zisková oblast pro termofilní zeleninu (např. rajčata a papriky). Tyto rozdíly v sortimentu kultivované zeleniny pěstované ve dvou oblastech jsou způsobeny zejména rozdíly v teplotních podmínkách těchto oblastí. Významný přebytek srážek v některých obdobích může vést ke katastrofickým záplavám (např. v roce 2002), zatímco dlouhodobý nedostatek srážek může přispět k extrémnímu výskytu sucha (Tolasz *et al.*, 2007, Potop 2010, Potop *et al.*, 2011). Na obr. č. 1 je vidět oranžovou barvou označený rok 2012, který byl vyhodnocen jako suchý rok a to nejen v rámci České republiky, ale také Evropy. Rok 2013 oproti tomu byl vyhodnocen, jako vlhký rok zvláště co se vegetačního období týká. Z grafu je patrný měsíc červen (2013), který je extrémně vlhký oproti stejnému měsíci v roce 2012, který byl výrazně suchý. Další významné záplavy se v oblasti Polabí odehrály v letech 2006 a 2013.



Obr. 1 Střídání vlhkých a suchých měsíců jaro - podzim v období 2012 - 2013

Trnka *et al.*, (2016) uvádějí, že mezi léty 1961–2012 se vyskytlo v České republice devět epizod, ve kterých se nejméně na devíti desetinách území vyskytlo v nějaké podobě sucho. Jednalo se o prosinec 1963, únor 1964, červen 1976, červenec 1983, květen 1992, červen 1994, červen a srpen 2003, duben 2007 a listopad 2011. Tato práce se shoduje s výše uvedenými v prosinci roku 1963, kde všechny kategorie SPI, vykazuje určité sucho. Další shodu tvoří s únorem 1964. V případě června 1976 se sucho projevilo pouze v pozorování 2, 3 a 6 měsíců. Ve zbylých kategoriích se vyskytlo vlhko. V červenci 1983 přibyla četnost, kdy se s prací Trnky *et al.*, (2016) shodují a to v kategorii 3, 6, 12, 36 měsíců. Dále bych zmínila květen 1992, kdy bylo sucho přítomné kromě kategorie, která hodnotí socioekonomické sucho. Listopad 2011 se naopak projevil, jako vlhký měsíc než tomu bylo ve výsledcích Trnky *et al.*, (2016). Stejně tak rok 2003, který na dvě výjimky v měsíci srpnu byl vlhký. Duben 2007 a červen 1994 měly vyrovnané epizody sucha a vlhka. Trnka *et al.*, (2016) uvádějí porovnání období 1961 – 1990 a 1991 – 2014 kde poukazují na výrazný a plošně velmi dobře vyjádřený posun směrem k vyššímu počtu dní, kdy se vegetaci nedostává potřebné vláhy. To se projevuje zejména na zemědělské a lesní produkci, byť prozatím jen v některých oblastech. Výsledky se tedy shodují s tvrzením Trnky *et al.*, (2016), že se snižuje četnost výskytu sucha za to, ale stoupá doba trvání a následná intenzita.

Podle prognóz modelů globálního oběhu v České republice (např. Dubrovský *et al.*, 2005) nebude nárůst potenciální evapotranspirace (způsobený nárůstem teploty) uspokojen dostatečným nárůstem srážek, což nevyhnutelně povede k vyšší frekvenci sucha, jak ukazuje studie Dubrovského *et al.*, (2007a, b). Výsledky hodnocení sucha v období 1961 - 2014 ukazují výraznou tendenci k prodloužení sucha a větší závažnosti epizod sucha.

7. Závěr

Cílem práce bylo testování efektivity indexů sucha pro detekci, sledování a hodnocení epizod sucha ve vztahu k vláhovým poměrům v Polabí. V literární rešerši je uvedena změna klimatu, která vyjadřuje odhad budoucího klimatu, kde podle výsledků z klimatologických modelů vychází, že by mělo dojít ke vzrůstu průměrných ročních teplot až o více než 2,0 °C. Kromě průměrných trendů však mohou být změny frekvence extrémních událostí, jako jsou povodně a sucha. Definice sucha není jednoznačná a různí autoři k hodnocení jeho intenzity používají různé indexy sucha. Můžeme vycházet z několika hledisek, které na sebe navazují: meteorologické (záporná odchylka od standartních hodnot), zemědělské (nedostatek vody, která je k dispozici pro rostliny), hydrologické (období s nedostatečnými povrchovými a podpovrchovými vodními zdroji) a socioekonomické (spojuje nabídku a poptávku po určitém prvku) sucho. V ČR se sucho monitoruje pomocí portálu Intersucho a instituce Českého hydrometeorologického ústavu. V Evropě je naopak významná v této práci zpracovávaná databáze „The European Drought Centre“. Dopady sucha jsou méně nápadné, avšak sucho postihuje větší území než jiné přírodní katastrofy. Nicméně podle různých studií převyšují odhady ztrát způsobených suchem škody z jiných přírodních neštěstí. Index sucha je veličina pro kvantitativní vyhodnocení sucha, sloužící též k vymezení epizod sucha. V další kapitole je popisován index sucha SPI. Bylo analyzována intenzita a četnosti výskytu sucha v kumulativních intervalech 1, 2, 3, 6, 12, 24, 36 měsíců pro stanice Poděbrady za období 1961 - 2014. V práci se také využila a následně zpracovala evropská databáze sucha nazývaná „The European Drought Centre“.

Nejdéle trvající sucha se výrazně projevují v letech 1971 (v období duben - červen), 1979 kdy se prolíná meteorologické sucho se zemědělským suchem, 1968 - 1969, které trvalo 12 měsíců, 1971 - 1973 (23 měsíců), 1969 - 1970 (24 měsíců), 1969 - 1974 (62 měsíců). Je patrné, že hydrologické sucho v letech 1971 - 1973 navazuje na období meteorologického sucha z roku 1971. Z výsledků je tedy patrné, že čím je interval větší, tím delší je doba trvání. A naopak tedy čím menší je kumulativní interval tím menší je doba trvání, ale má větší frekvenci.

Suché epizody, kdy bylo dosaženo největší hodnoty, indexu SPI, jsou v únoru roku 1983, květen 1969, 1970, 1979, 1980 a 1983 převážně v zimních a jarních měsících.

Z výsledků nelze než konstatovat, že hypotézu o zvětšující se četnosti a intenzity sucha nelze odmítnout ani potvrdit. Vzhledem ke skutečnosti, že data pocházejí pouze z jedné

meteorologické stanici Poděbrady. Lze pouze potvrdit, že z výsledků je patrná rostoucí tendence výskytu četností (v %) a intenzity sucha v oblasti Polabí. Dopady sucha se celosvětově ukazují jako devastující.

7 Seznam literatury

Anonym, 2015. Příprava realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody. Dostupné <http://eagri.cz/public/web/file/417667/_3_material_VLADA.pdf>.

Arnell, N. W. 2008. Climate change and drought. In : López - Francos A. (ed.). Drought management: scientific and technological innovations. Zaragoza : CIHEAM, 2008. p. 13 - 19 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 80).

Bednář, J., Brechler, J., Brožková, R., Červená, E., Halenka, T. 3. 1. (10/2017). Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), ČMeS. [online]. [cit. 01. 03. 2018]. Dostupný z <<http://slovník.cmes.cz/>>.

Blinka, P. 2004. Klimatologické hodnocení sucha a suchých období na území ČR v letech 1876 - 2003. V Extrémy počasí a podnebí, Sborník z konference, Brno (svazek 11).

Brázdil, R., Trnka, M. a kolektiv 2015. Historie počasí a podnebí v českých zemích XI: Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno, 402 p. ISBN 978 - 80 - 87902 - 11 - 0.

Brázdil, R., Trnka, M., Dobrovolný, P., Chromá, K., Hlavinka, P., Žalud, Z. 2009. Variability of droughts in the Czech Republic, 1881–2006. Theoretical and Applied Climatology. 97.3 - 4: 297 - 315p.

Brázdil, R., Trnka, M., Mikšovský, J., Řezníčková, L., & Dobrovolný, P. 2015. Spring-summer droughts in the Czech Land in 1805–2012 and their forcings. International Journal of Climatology, 35(7), 1405 - 1421p.

Brohan, P., Kennedy, J. J., Harris, I., Tett, S. F., & Jones, P. D. 2006. Odhady nejistoty v regionálních a globálních změnách teplot: nový datový soubor z roku 1850. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111p.

Clausen, B., Pearson, C., P. 1995. Regional frequency analysis of annual maximum streamflow drought. *J Hydrol* 173:111–130p.

Český hydrometeorologický ústav. Historie ústavu a činnost (online). [cit. 5. 3. 2018]. Dostupné z: <<http://portal.chmi.cz/o-nas/historie-ustavu>>.

Dai, A., 2011. Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index during 1900–2008. *J. Geophys. Res.* 116p, D12115, doi:10.1029/2010JD015541.

Dai, A., Trenberth, K. E., Qian, T. 2004. A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870–2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming. *J Hydrometeorol* 5:1117–1130p.

Daňhelka, J., Bercha, Š., Boháč, M., Crhová, L., Černá, L., Elleder, L. 2015. aj. Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015. Předběžná zpráva, Český hydrometeorologický ústav.

Dubrovský, M., Hayes, M., Trnka, M., Svoboda, M., Wilhite, D. A., Žalud, Z., Semerádová, D. 2007a. Projection of future drought conditions using drought indices applied to GCM - simulated weather series. In: 7th European Meteorological Society Meeting, Madrid, EMS2007 - A - 00355

Dubrovský, M., Nemesová, I., & Kalyová, J. 2005. Uncertainties in climate change scenarios for the Czech Republic. *Climate research*, 29(2), 139 - 156p.

Dubrovský, M., Svoboda, M., Trnka, M., Hayes, M., Wilhite, D., Žalud, Z., Hlavinka, P. 2007b. Application of relative drought indices to assess climate change impact on drought conditions in Czechia. *Theor Appl Climatol* doi:10.1007/s00704 - 008 - 0020 - x

European drought centre. 2013. Webmaster: Jonathan Rizzi. Dostupné z: http://www.geo.uio.no/edc/index_old.htm.

Frei, C., Schär, C. 1998. A precipitation climatology of the Alps from high-resolution rain-gauge observations. *International Journal of climatology*, 18(8), 873 - 900p.

Gornall, J., Betts, R., Burke, E., Clark, R., Camp, J., Willett, K., & Wiltshire, A. 2010. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty - first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2973 - 2989p.

Guttman, N. B., 1999. Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 35, 311–322p.

Heim, Jr, R. R. 2002. Přehled indexů sucha dvacátého století používaných ve Spojených státech. *Bulletin Americké meteorologické společnosti*, 83 (8), 1149 - 1165p.

Hlavinka, P., Trnka, M., Semerádová, D., Dubrovský, M., Žalud, Z., Možný, M. 2009. Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. *Agric For Meteorol* 149(3–4):431–442p.

Horridge, M., Madden, J., Wittwer, G. 2005. The impact of the 2002–2003 drought on Australia. *Journal of Policy Modeling* 27: 285–308p, DOI:10.1016/j.jpolmod.2005.01.008.

Chmielewski, F. M., Kohn, W., 2000. Impact of weather on yield components of winter rye over 30 years. *Agric. For. Meteorol.* 102, 253–261p.

Intergovernmental panel on climate change (IPCC). 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Geneva, Switzerland, IPCC.

Intergovernmental panel on climate change (IPCC). 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the*

Intergovernmental Panel on Climate Change (T.F. Stocker et al., eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 1535 pp.

Intergovernmental panel on climate change (IPCC). 2014. Climate Change 2014—Impacts, Adaptation and Vulnerability: Regional Aspects. Cambridge University Press.

Intersucho. 2012. Jak sucho monitorujeme (online). [cit. 5. 3. 2018]. Dostupné z: <
[http://www.intersucho.cz/cz/o - suchu/](http://www.intersucho.cz/cz/o-suchu/)>.

Kakos, V., Müller, M. 2004. Hydrometeorologická sucha na území Čech od roku 1851. In: Sborník z Workshopu Adolfa Patery 2004 — Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 17–24p.

Karl T. R., Jones P. D., Knight R. W., Kukla G., Plummer N., Razuvayev V., Gallo K. P., Lindsey J., Charlson R. J., Peterson T. C. 1993. A new perspective on recent global warming – Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature, Bull. Am. Meteorol. Soc. 74. 1007–1023p.

Kašpárek, L., Novický, O. 1999. Současný stav metod hodnocení hydrologického sucha. In: Work shop 2000 — grantový projekt reg. č. 103/99/ 1470: Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 111–115p.

Katz, R. W., & Brown, B. G. 1992. Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. Climatic change, 21(3), 289 - 302p.

Keyantash, J., Dracup, J. A., 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. Bull. Am. Meteorol. Soc. 83, 1167–1180p.

Kolektiv autorů. 1958. Atlas podnebí Československé republiky. Ústřední správa geodézie a kartografie, Praha.

Kříž, H. 2002. Příčiny a důsledky hydrologického sucha v režimu podzemních vod. In: Workshop 2002 - Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT a ČVTVHS, Praha, 117–122p.

Lake, P. S. 2011. Drought and aquatic ecosystems: effects and responses. John Wiley & Sons.
Leclère, D., Havlík, P., Fuss, S., Schmid, E., Mosnier, A., Walsh, B., & Obersteiner, M. 2014. Climate change induced transformations of agricultural systems: insights from a global model. Environmental Research Letters, 9(12), 124018.

Lehner, B., Döll, P., Alcamo, J., Henrichs, T., & Kašpar, F. 2006. Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. Climatic Change, 75(3), 273 - 299p.

Linton, J., & Budds, J. 2014. The hydrosocial cycle: Defining and mobilizing a relational - dialectical approach to water. Geoforum, 57, 170 - 180p.

Llyod - Hughes, B., Saunders, M. A., 2002. A drought climatology for Europe. Int. J. Climatol. 22, 1571–1592p.

- Lobell, D. B., & Gourdji, S. M. 2012. The influence of climate change on global crop productivity. *Plant Physiology*, 160(4), 1686 - 1697p.
- McAlpine, C. A., Syktus, J., Deo, R. C., Lawrence, P. J., McGowan, H. A., Watterson, I. G. Phinn, S. R. 2007. Modeling the impact of historical land cover change on Australia's regional climate. *Geophysical Research Letters*, 34(22). doi: 10.1029/2007GL031524.
- Meehl, G. A., Karl, T., Easterling, D. R., Changnon, S., Pielke, R., Changnon, D., Evans, J., Groisman, P. Y., Knutson, T. R., Kunkel, K. E., Mearns, L. O., Parmesan, C., Puklwarty, R., Root, T., Sylves, R. T., Whetton, P., Zwiers, F. 2000. An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections, *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 81. 413–416p.
- Ministerstvo zemědělství. 2009 – 2018. Koncepce na ochranu před následky sucha pro území České republiky [cit. 27. 3. 2018]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/file/545860/Koncepce_ochrany_pred_nasledky_sucha_pro_uzemi_CR.pdf>.
- Moore, F. C., & Lobell, D. B. 2015. The fingerprint of climate trends on European crop yields. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 112(9), 2670 - 2675p.
- Možný, M., Brázdil, R., Dobrovolný, P., & Trnka, M. 2016. April–August temperatures in the Czech Lands, 1499–2015, reconstructed from grape - harvest dates. *Climate of the Past*, 12(7), 1421 - 1434p.
- Možný, M., Tolasz, R., Nekovar, J., Sparks, T., Trnka, M., Žalud, Z. 2009. The impact of climate change on yield and quality of Saaz hops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149, 913 - 919p.
- Možný, M., Trnka, M., Žalud, Z., Hlavinka, P., Nekovar, J., Potop, V., Virag, M. 2012. Use of a soil moisture network for drought monitoring in the Czech Republic. *Theoretical and applied climatology*, 107(1 - 2), 99 - 111p.
- Murnane, R., J. 2004. Climate research and reinsurance, *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 85. 697–707p.
- National centers for environmental information. 2006. NIDIS US Drought Portal. Dostupné z: <<https://www.drought.gov/drought/regions/dews>>.
- National drought mitigation. 1997. University of Nebraska–Lincoln. Dostupné z: <<http://drought.unl.edu/Planning/DroughtPlans/NationalAgencies.aspx#ag - 2>>.
- Novický, O., Kašpárek, L., Peláková, M., 2006. Climate change impacts and responses in the Czech Republic and Europe. In: *Climate variability and change hydrological impacts, proceedings of the fifth FRIEND world conference held at Havana, Cuba*. p. 418 - 423.
- Parmesan, C., Root, T. L., Willig, M. R. 2000. Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota, *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 81. 443–450p.
- Pavlík, J, Němec, L, Tolasz, R, Valter, J. 2003. Mimořádné léto roku 2003 v České republice (Extraordinary summer 2003 in the Czech Republic). *Meteorol Zpr* 56:161–165, and I–VIII

- Potop, V., Zahradníček, P., Türkott, L., Štěpánek, P., & Soukup, J. 2015. The effects of climate change on variability of the growing seasons in the Elbe River Lowland, Czech Republic. *Advances in Meteorology*.
- Potop, V., & Možný, M. 2011. The application a new drought index—Standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic. *Mikroklima a mezoklima krajinných struktur a antropogenních prostředí*, 2, 2 - 14p.
- Potop, V., 2010. Temporal variability of daily climate extremes of temperature and precipitation in the middle Polabí (Elbeland) lowland region. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 41, p. 140 - 148
- Potop, V., Boroneant, C., Možný, M., Štěpánek, P., & Skalák, P. 2014. Observed spatiotemporal characteristics of drought on various time scales over the Czech Republic. *Theoretical and applied climatology*, 115(3 - 4), 563 - 581p.
- Potop, V., Koudela, M., Možný, M., 2011. The impact of dry, wet and heat episodes on the production of vegetable crops in Polabí (River Basin). *Sci. Agric. Bohemica* 42 (3), 93–101p.
- Potop, V., Možný, M., & Soukup, J. 2012. Drought evolution at various time scales in the lowland regions and their impact on vegetable crops in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 156, 121 - 133p.
- Potop, V., Türkott, L., Kožnarová, V., Možný, M. 2010. Drought episodes in the Czech Republic and their potential effects in agriculture. *Theoretical and applied climatology*. 99. 373–378p.
- Potopová, V., Štěpánek, P., Možný, M., Türkott, L., & Soukup, J. 2015. Performance of the standardised precipitation evapotranspiration index at various lags for agricultural drought risk assessment in the Czech Republic. *Agricultural and Forest Meteorology*, 202, 26 - 38p.
- Quiring, S. M., Papakryiakou, T., N. 2003. An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. *Agr Forest Meteorol* 118:49–62p.
- Rötter, R. P., Palosuo, T., Kersebaum, K. C., Angulo, C., Bindi, M., Ewert, F., Olesen, J. E. 2012. Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: a comparison of nine crop models. *Field Crops Research*, 133, 23 - 36p.
- Rožnovský, J. 2016. Výskyty sucha na území ČR a změny klimatu. *Zpravodaj ochrany lesa*, 39p.
- Rožnovský, J., Kohut, M. 2004. Drought 2003 and Potential Moisture Balance. - *Contributions to Geophysics and Geodesy* 34: 195 - 208p.
- Semenov, M. A, Shewry, P. R. 2011. Modelling predicts that heat stress, not drought, will increase vulnerability of wheat in Europe. *Scientific reports*, 1, 66p.
- Sheffield, J., Wood, E. F., & Roderick, M. L. 2012. Little change in global drought over the past 60 years. *Nature*, 491(7424), 435p.

Shukla, S., & Wood, A. W. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophysical research letters*, 35(2).

Schär, C., Jendritzky, G. 2004. Hot news from summer 2003. *Nature* 432:559–560p.

Schönwiese, C. D., Staeger, T. Trömel, S. 2004. The hot summer 2003 in Germany. Some preliminary results of a statistical time series analysis. *Meteorol Z* 13:323–327p.

Simons, P. 2010. *Extrémny počasí*. Praha. 160p. ISBN: 978 - 80 - 7406 - 110 - 3

Sivakumar, M., Motha, R., Wilhite, D., Wood, D. 2010. Agricultural Drought indices proceedings of an expert meeting. 2–4 June 2010. Murcia, Spain. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

Soukalová, E., Muzikář, R. 2013b. Periodicita a předpovědi výskytu sucha v podzemních vodách. In: Odborný seminář Sucho a jak mu čelit. Sborník abstraktů. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Český hydrometeorologický ústav, Praha, 27–32p.

Spiecker, H. 2000. Growth of Norway Spruce (*Picea abies*, L., Karst.) under changing environmental conditions in Europe. In: Klíma, E., Hager, H., Kulhavý, J., eds.: Spruce monocultures in central Europe — problems and prospects. EFI Proceedings No. 33, 11–26p. Taylor, Ch. M., Lambin, E. F., Stephenne, N., Harding, R. J. and Essery, R. L. H. 2002. The influence of land use change on climate in the Sahel. *Journal of Climate*, 15(24): 3615 - 3629p.

Tolasz, R. 2007. *Atlas podnebí Česka*. 1. vydání. Praha: Český hydrometeorologický ústav. 255p. ISBN 9788086690261

Treml, P. 2011. Největší sucha na území České republiky v období let 1875 – 2010. *Meteorologické zprávy*. 168p.

Trnka, M., Brázdil, R., Žalud, Z. 2016. Sucho v České republice. Publikováno v časopise *Vesmír* roč. 95(146), 10(2016), p. 565 - 567

Trnka, M., Dubrovský, M., Svoboda, M., Semerádová, D., Hayes, M., Žalud, Z., Wilhite, D. 2007a. Developing a regional drought climatology for the Czech Republic. *Int J Climatol* doi:10.1002/joc.1745

Trnka, M., Dubrovský, M., Svoboda, M., Semerádová, D., Hayes, M., Žalud, Z., & Wilhite, D. 2009. Developing a regional drought climatology for the Czech Republic. *International Journal of Climatology*, 29(6), 863 - 883p.

Trnka, M., Dubrovský, M., Svoboda, M., Semerádová, D., Hayes, M., Žalud, Z., Wilhite, D. 2009a. Developing a regional drought climatology for the Czech Republic. *International Journal of Climatology*, 29, 863–883p.

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 and Environment*, 53(7), 306p.

Trnka, M., Hlavinka, P., Semerádová, D., Dubrovský, M., Žalud, Z., Možný, M. 2007b. Agricultural drought and spring barley yields in the Czech Republic. *Plant Soil Environ* 53:306–316p.

United states drought monitor. 1999. National Drought Mitigation Center University of Nebraska - Lincoln. Dostupné z: <<http://droughtmonitor.unl.edu/>>.

Van Loon, A. F., Gleeson, T., Clark, J., Van Dijk, A. I., Stahl, K., Hannaford, J., & HANNAH, D. M. 2016. Drought in the Anthropocene. *Nature Geoscience*, 9(2), 89p.

White, W., Miceon, G., Syktus, J. 2003. Australian drought: the interference of multi - spectral global standing modes and travelling waves. *International Journal of Climatology* 23: 631–662p, DOI: 10.1002/joc.895.

Wilhite, D. A. 1990. Planning for drought: A process for state government. University of Nebraska, International Drought Information Center.

Wilhite, D. A., & Glantz, M. H. 1985. Understanding: the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*, 10(3), 111 - 120p.

Wilhite, D., A. 1991. Drought. *Encyclopedia of Earth System Science, Volumes 1 - 4*. W.A. Nierenberg. Academic Press. Inc. 81 - 92p.

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. 3 - 18p.

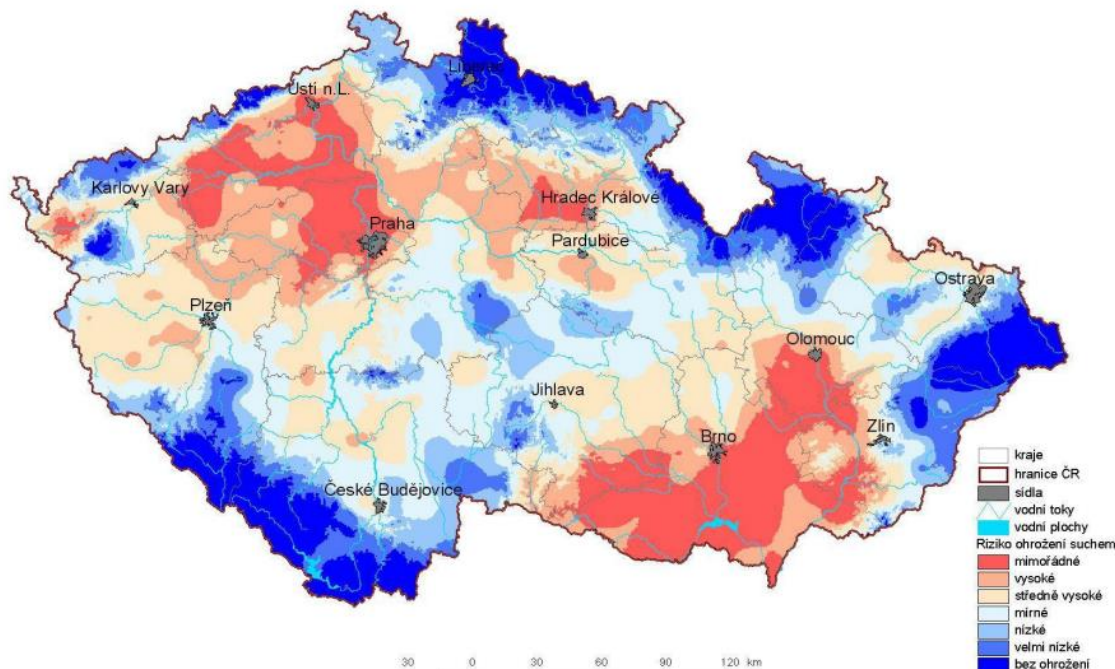
Wilhite, D., A. 2005. *Drought and water crises: science, technology, and management issues*. Taylor and Francis, Boca Raton, 406 p.

Zahradníček, P., Trnka, M., Brázdil, R., Možný, M., Štěpánek, P., Hlavinka, P., & Dubrovský, M. 2015. The extreme drought episode of August 2011–May 2012 in the Czech Republic. *International Journal of Climatology*, 35(11), 3335 - 3352p.

Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., & Khan, F. I. 2011. A review of drought indices. *Environmental Reviews*, 19(NA), 333 - 349p.

8 Přílohy

Příloha č. 1 Mapa ohrožení zemědělským suchem ve vegetačním období na území ČR (na základě analýzy vláhové bilance za období 1961–2000)



Obr. 1. http://eagri.cz/public/web/file/417667/_3_material_VLADA.pdf

Na mapě je tedy možné vidět, že největší ohrožení zemědělským suchem nastává v již zmíněných nejvíce ohrožených oblastech České republiky a tj. oblast na Žatecku, oblast hlavně jižní Moravy a Polabí.

Příloha č. 2 Intenzita trvání sucha pro SPI - 01

Doba trvání	Počet měsíců
4. měsíc 1969 - 5. měsíc 1969	2
4. měsíc 1971 - 6. měsíc 1971	3
5. měsíc 1979 - 6. měsíc 1979	2
8. měsíc 1983 - 9. měsíc 1983	2
10. měsíc 1991 - 11. měsíc 1991	2
5. měsíc 1992 - 6. měsíc 1992	2
3. měsíc 2003 - 4. měsíc 2003	2

Příloha č. 3 Intenzita trvání sucha pro SPI - 02

Doba trvání	Počet měsíců
1. měsíc 1964 - 3. měsíc 1964	3
4. měsíc 1969 - 6. měsíc 1969	3
5. měsíc 1971 - 6. měsíc 1971	2
3. měsíc 1979 - 7. měsíc 1979	5
3. měsíc 1981 - 5. měsíc 1981	3
9. měsíc 1983 - 10. měsíc 1983	2
10. měsíc 1991 - 12. měsíc 1991	3
5. měsíc 1992 - 6. měsíc 1992	2
1. měsíc 2000 - 2. měsíc 2000	2
6. měsíc 2009 - 7. měsíc 2009	2

Příloha č. 4 Intenzita trvání sucha pro SPI - 03

Doba trvání	Počet měsíců
2. měsíc 1964 - 3. měsíc 1964	2
12. měsíc 1965 - 1. měsíc 1966	2
5. měsíc 1967 - 7. měsíc 1967	3
5. měsíc 1969 - 7. měsíc 1969	3
10. měsíc 1969 - 11. měsíc 1969	2
5. měsíc 1971 - 7. měsíc 1971	3
4. měsíc 1979 - 9. měsíc 1979	6
3. měsíc 1981 - 6. měsíc 1981	4
10. měsíc 1983 - 1. měsíc 1984	4
11. měsíc 1991 - 12. měsíc 1991	2
2. měsíce 1999 - 3. měsíce 1999	2
2. měsíc 1964 - 3. měsíc 1964	2
5. měsíc 1999 - 8. měsíc 1999	4
2. měsíce 2000 - 3. měsíce 2000	2
6. měsíc 2009 - 8. měsíc 2009	3

Příloha č. 5 Intenzita trvání sucha pro SPI - 06

Doba trvání	Počet měsíců
12. měsíc 1963 - 3. měsíc 1964	4
12. měsíc 1968 - 11. měsíc 1969	12
3. měsíc 1977 - 8. měsíc 1977	6
4. měsíc 1979 - 1. měsíc 1980	10
9. měsíc 1983 - 2. měsíc 1984	6
12. měsíc 1996 - 5. měsíc 1997	6
4. měsíc 1999 - 11. měsíc 1999	8
6. měsíc 2009 - 11. měsíc 2009	6

Příloha č. 6 Intenzita trvání sucha pro SPI - 12

Doba trvání	Počet měsíců
1. měsíc 1964 - 9. měsíc 1964	9
10. měsíc 1968 - 5. měsíc 1970	20
7. měsíc 1971 - 5. měsíc 1973	23
8. měsíc 1979 - 6. měsíc 1980	11
9. měsíc 1983 - 7. měsíc 1984	11
4. měsíc 1997 - 2. měsíc 1998	11
8. měsíc 1999 - 5. měsíc 2000	10
6. měsíc 2009 - 6. měsíc 2010	13

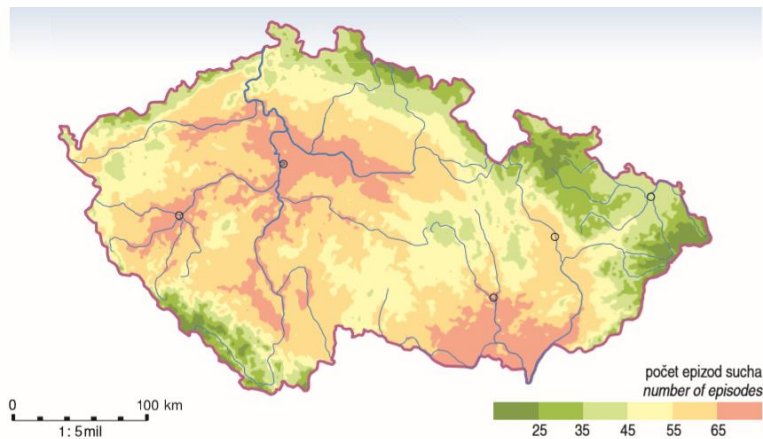
Příloha č. 7 Intenzita trvání sucha pro SPI - 24

Doba trvání	Počet měsíců
10. měsíc 1963 - 11. měsíc 1964	14
8. měsíc 1968 - 7. měsíc 1970	24
6. měsíc 1972 - 9. měsíc 1973	16
10. měsíc 1983 - 11. měsíc 1984	14
7. měsíc 1993 - 5. měsíc 1994	11
4. měsíc 2010 - 10. měsíc 2010	7

Příloha č. 8 Intenzita trvání sucha pro SPI - 36

Doba trvání	Počet měsíců
11. měsíc 1963 - 2. měsíc 1966	28
5. měsíc 1969 - 6. měsíc 1974	62
4. měsíc 1994 - 11. měsíc 1994	8
8. měsíc 2001 - 5. měsíc 2002	10
1. měsíc 2010 - 10. měsíc 2010	10

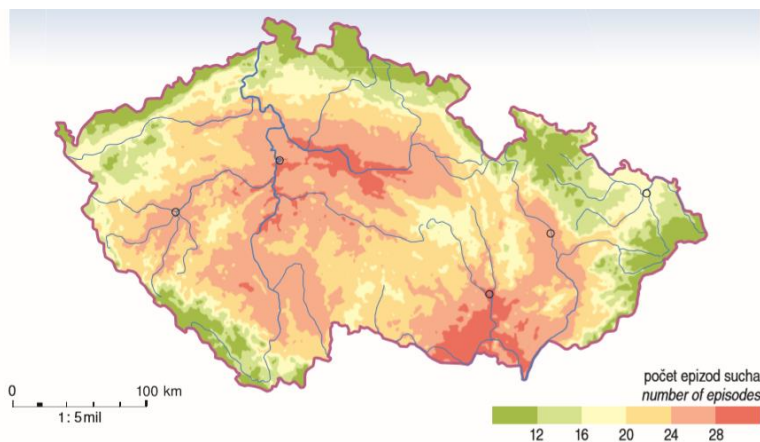
Příloha č. 9 Počet epizod sucha podle hodnot SPI pro 1 měsíc



Tolasz, 2007

Na obrázku je patrné, že pro SPI pozorování 1 měsíce se největší sucho projevilo v oblasti silně ohrožené jako tomu bylo v příloze č. 1. Navíc se zde přidává oblast Plzeňska, Středočeského kraje a tedy i Praha a jižní část České republiky. Naopak kde se sucho vůbec neprojevilo v horských oblastech.

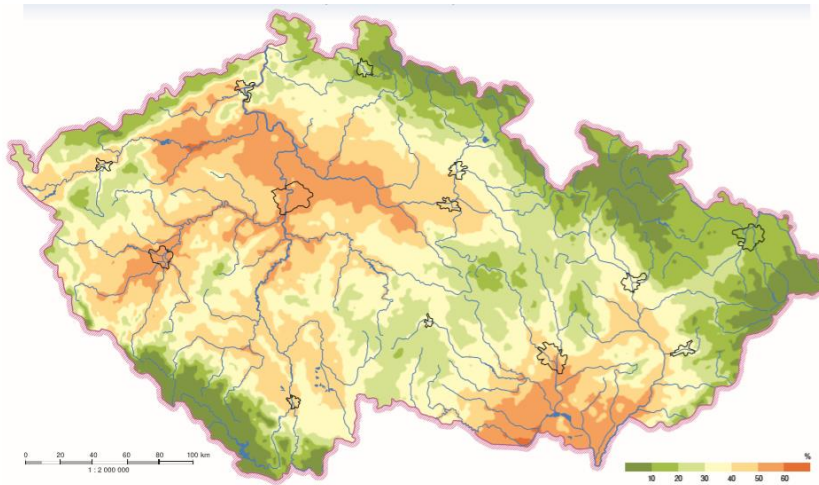
Příloha č. 10 Počet epizod sucha podle hodnot SPI pro 3 měsíce



Tolasz, 2007

V příloze č. 10, kde se délka pozorování dostala až po 3 měsících je uvedeno výrazné rozšíření území kde se vyskytlo sucho. Je vidět výrazně propojení oblastí zasazených suchem po 1 měsíci a naopak zůstávají nedotčená horská území.

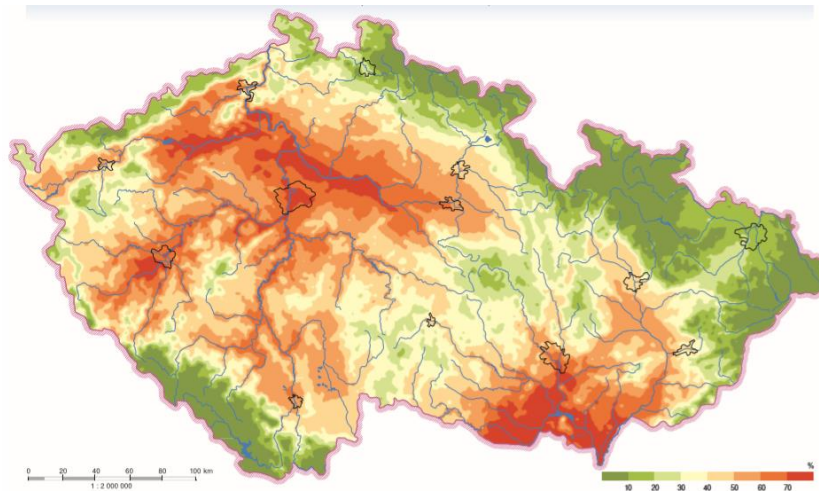
Příloha č. 11 Podíl měsíců zasažených epizodami sucha podle hodnot SPI pro 1 měsíc (leden - prosinec)



Tolasz, 2007

Je patrné, že zasažená území zůstávají stejná naopak horské oblasti se řadí mezi oblasti kde sucho zatím není kritické nebo extrémní.

Příloha č. 12 Podíl měsíců zasažených epizodami sucha podle hodnot SPI pro 3 měsíce (leden - prosinec)



Tolasz, 2007

Na mapách je tedy patrné, že při pozorování po 1 měsíci se sucho projevuje mírné zatímco po 3 měsících pozorování se projevuje s daleko větší silou. Což vypovídá o tom, že sucho se projevuje až po delší časovém období.