

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Hodnocení rizika výskytu extrémního sucha v období
1961-2018**

Bakalářská práce

Lucie Maiwaldová

Obor studia: Rostlinná produkce

Vedoucí práce: Dr. Ing. Martin Možný

© 2020 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Lucie Maiwaldová

Fytotechnika
Rostlinná produkce

Název práce

Hodnocení rizika výskytu extrémního sucha v období 1961-2018

Název anglicky

Risk assessment of extreme drought for the period 1961-2018

Cíle práce

Cílem je hodnocení rizika výskytu extrémního sucha na vybraných klimatologických stanicích za období 1961-2018. Součástí bude analýza trendů sucha.

Metodika

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje:

- rešerše zahraniční a domácí odborné literatury na danou problematiku
- příprava vstupních datových podkladů
- spočítat a analyzovat Standardizovaný srážkový evapotranspirační index (SPEI) pro období měsíční a za vegetační období, analyzovat trendy sucha vymezeného podle SPEI
- diskuse a shrnutí výsledků

Datové zdroje:

Odborná literatura, data ČHMÚ.

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

klima, srážky, evapotranspirace, sucho

Doporučené zdroje informací

- Brázdil R, Trnka M a kol. 2015. Historie počasí a podnebí v českých zemích, svazek XI. Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost. Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i., Brno, 402 pp.
- Brázdil R, Zahradníček P, Pišoft P, Štěpánek P, Bělínová M, Dobrovolný P. 2012. Temperature and precipitation fluctuations in the Czech Republic during the period of instrumental measurements. *Theoretical and Applied Climatology* 110:17–34.
- 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* 156:121–133.
- Štěpánek P, Zahradníček P, Skalák P. 2009. Data quality control and homogenization of air temperature and precipitation series in the area of the Czech Republic in the period 1961–2007. Pages 23–26 *Advances in Science and Research*. Copernicus GmbH. Available from <https://www.adv-sci-res.net/3/23/2009/>
- Tolasz R, Míková T, Valeriánová A, Voženílek V. 2007. Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. ISBN 978-80-86690-26-1.
-

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FAPPZ

Vedoucí práce

Dr. Ing. Martin Možný

Garantující pracoviště

Katedra agroekologie a rostlinné produkce

Konzultant

Ing. Lenka Hájková, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2020

prof. Ing. Josef Soukup, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 17. 2. 2020

prof. Ing. Iva Langrová, CSc.

Děkanka

V Praze dne 12. 07. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Hodnocení rizika výskytu extrémního sucha v období 1961-2018" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 17.7.2020

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Dr. Ing. Martinovi Možnému za odborné vedení, rady a připomínky při vypracování této bakalářské práce.

Hodnocení rizika výskytu extrémního sucha v období 1961-2018

Souhrn

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou sucha, jeho projevy, typy a hodnocením rizika výskytu extrémního sucha. Jelikož je sucho závažný přírodní extrém, je žádoucí pochopit a porozumět jeho podstatě a příčinám vzniku, aby bylo možné jeho dopady alespoň zmírnit. Teoretická část je věnována definici sucha a klasifikaci typů sucha, mezi které patří sucho meteorologické, hydrologické, zemědělské a socioekonomické. Zároveň jsou vysvětleny potřebné termíny používané při hodnocení rizika extrémního sucha. Dále jsou popsány vybrané indexy sucha - Standardizovaný srážkový index (SPI) a Standardizovaný evapotranspirační srážkový index (SPEI). Podstatnou kapitolou jsou dopady sucha v zemědělství, kde jeho důsledky mohou velmi negativně ovlivnit růst rostlin, a následně snížit kvalitu a výnos pěstovaných plodin. Jelikož je sucho spojeno se změnou klimatu, je tomuto tématu také věnována pozornost. Další důležitou kapitolou jsou příčiny, které mají za následek vznik sucha. V neposlední řadě jsou v této bakalářské práci sepsána opatření proti suchu, kterými by bylo dobré se řídit.

Praktická část se zabývá hodnocením extrémního sucha na vybraných meteorologických stanicích České republiky v průběhu vegetační doby za období let 1961-2018. Součástí hodnocení je analýza trendů sucha, vymezeného podle indexu SPEI. Pomocí hodnot SPEI jsou graficky znázorněna suchá a extrémně suchá období. Lineární funkce trendu v grafu naznačuje téměř u všech stanic růst sucha ve vegetačním období v posledních letech.

Klíčová slova: evapotranspirace, klima, srážky, sucho, teplota

Risk assessment of extreme drought for the period 1961-2018

Summary

This bachelor thesis deals with the issue of drought, its manifestations, types and the assessment of extreme drought risk. As drought is a serious natural extreme, it is necessary to understand its nature and causes, so that its effects can at least be mitigated. The theoretical part deals with the definition of drought and the classification of drought types, which include meteorological, hydrological, agricultural and socioeconomic droughts. The necessary terms used in assessing the risk of extreme drought are explained as well. Selected drought indices - Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) are also described. An important chapter is the effects of drought in agriculture, where its consequences can have a very negative effect on plant growth, and consequently reduce the quality and yield of cultivated crops. As drought is linked to climate change, the attention is also being paid to this issue. Another important chapter is the causes that result in drought. Last but not least, a list of measures against drought was made in this bachelor's thesis, which would be good to follow.

The practical part deals with the assessment of extreme drought at selected meteorological stations in the Czech Republic during the growing season for the period 1961-2018. The assessment includes an analysis of drought trends, defined according to the SPEI index. Using SPEI values, dry and extremely dry periods are graphically represented. The linear function of the trend in the graph indicates an increase in drought at the vegetation period in recent years at almost all stations.

Keywords: evapotranspiration, climate, precipitation, drought, temperature

Obsah

1	Úvod	11
2	Cíl práce.....	13
3	Literární rešerše.....	14
3.1	Charakteristika sucha.....	14
3.2	Klasifikace sucha.....	17
3.2.1	Meteorologické sucho	18
3.2.2	Hydrologické sucho	18
3.2.3	Zemědělské sucho	19
3.2.4	Socioekonomické sucho	20
3.3	Termíny používané při hodnocení rizika extrémního sucha.....	20
3.3.1	Evapotranspirace.....	20
3.3.2	Atmosférické srážky	21
3.3.2.1	Geografické rozložení srážek	21
3.3.2.2	Rozdělení atmosférických srážek.....	22
3.3.2.3	Srážkový deficit	22
3.3.3	Teplota	23
3.3.3.1	Teplota vzduchu.....	23
3.3.4	Půdní vláha	23
3.4	Indexy sucha	23
3.4.1	Standardizovaný srážkový index (SPI).....	25
3.4.2	Standardizovaný srážkový evapotranspirační index (SPEI).....	25
3.5	Dopady sucha v zemědělství.....	26
3.6	Příčiny sucha.....	30
3.6.1	Změna klimatu	31
3.7	Opatření proti suchu v ČR.....	33
4	Metodika	36
4.1	Podklady ke zhodnocení SPEI	36
5	Výsledky.....	38
6	Diskuze.....	51
6.1	Sucho v konkrétních letech	52
6.1.1	Sucho v roce 1992.....	52
6.1.2	Sucho v roce 2000.....	52
6.1.3	Sucho v roce 2003.....	53
6.1.4	Sucho v roce 2007.....	53
6.1.5	Sucho v roce 2015.....	53

6.1.6	Sucho v roce 2018	54
7	Závěr.....	56
8	Literatura.....	57
9	Seznam tabulek.....	61
10	Seznam obrázků.....	61
11	Samostatné přílohy.....	I

1 Úvod

Sucho, které patří mezi hydrometeorologické extrémy, je postupně se vyvíjející jev, jehož důsledky a projevy se objevují s jistým zpožděním. Meteorologické příčiny sucha se projeví nejprve deficitem vlhkosti půdy. Mezi tyto příčiny patří nedostatek srážek, který je obvykle spojen s vysokou teplotou a velkým výparem. S jistou prodlevou se zmenšují velikosti průtoků na vodních tocích a následně klesají stavy podzemních vod. Ve stejné posloupnosti potom projevy sucha odeznívají, z tohoto důvodu může sucho v některých formách a regionech zůstat i při nadnormálních srážkách (Daňhelka et al. 2015).

Sucho je doprovázeno nedostatečným úhrnem srážek s dopady na zemědělství, vodní zdroje a přírodní ekosystémy. Je to přírodní nebezpečí, které postihuje stále více lidí po celém světě velice vážnými důsledky, je odpovědné za extrémní ekonomické ztráty, hladomor, epidemie a degradaci půdy. V mnoha rozvojových zemích sucho zhoršuje strukturální problémy, způsobuje nezaměstnanost, chudobu, pokles výnosů plodin a také nucenou migraci. Zlepšení našich znalostí o prostorové a časové variabilitě sucha je tedy základním předpokladem pro kvantifikaci rizika sucha a zranitelnosti různých systémů a regionů s konečným cílem sucho zmírnit a připravit se na něho lépe. Dostupnost údajů pro charakterizaci suchých podmínek v daných regionech a časových obdobích je proto ze strany vědců a manažerů na různých úrovních velmi žádaná (Beguería et al. 2010).

Nejjednodušší je sucho definovat jako nedostatek vody ve srovnání s normálními podmínkami. Při použití této definice mohou vyvstat různé otázky, jako je například - jaké jsou normální podmínky; jestli je zvažována voda ve všech složkách hydrologického cyklu, nebo pouze v některých; jak velký nedostatek vody musí být a jak dlouho trvá, než je možné tento stav začít nazývat suchem. Dále vyvstává otázka, jestli se tato definice vztahuje jen k přírodním procesům, nebo jestli zde hrají roli antropogenní vlivy. To, co by mělo být považováno za „normální“ situaci, silně závisí na tom, k čemu je voda používána. Definice sucha tedy závisí na cíli studie, což je při kvantifikaci sucha velmi důležité. Při výzkumu sucha se obecně zaměřuje na atmosférické a pozemní složky vodního cyklu a na jejich propojení, tj. srážky, evapotranspirace, hromadění sněhu, vlhkost půdy, podzemní vody, jezera, mokřady a toky řek. Dále je obvyklé definovat sucho jako přetrvávající a regionálně rozsáhlý jev, i když tyto pojmy nelze snadno kvantifikovat. Je také důležité poznamenat, že sucho je spíše relativní než absolutní stav hydrologického systému. Sucho je období s dlouhodobým deficitem vody. Jde o opakující se celosvětový jev s prostorovými a časovými charakteristikami, které se v jednotlivých regionech výrazně liší.

Meteorologické sucho se vztahuje k nedostatku srážek, který může být spojen se zvýšenou potenciální evapotranspirací, která se rozprostírá na velké ploše a zahrnuje dlouhé časové rozpětí. Sucho v půdní vlhkosti (většinou v kořenové zóně) snižuje přísun vlhkosti pro vegetaci. Sucho v půdní vlhkosti se také nazývá zemědělské sucho, protože je silně spojeno s neúrodou (Van Loon 2015). Obzvláště v zemědělství jsou tedy dopady sucha nejzávažnější. Zemědělské sucho většinou trvá od několika týdnů až do 6–9 měsíců (Brázdil & Trnka 2015). Zejména v raných fázích vývoje převážné části zelenin může sucho zapříčinit pozdější tržní zralost a snížit výnos (Potop et al. 2010).

Deficity půdní vlhkosti mají další dopady například na přírodní ekosystémy a infrastrukturu. Hydrologické sucho je široký pojem související s negativními anomáliemi

v povrchové a podpovrchové vodě. Příkladem jsou podnormální hladiny podzemní vody nebo vodní hladiny v jezerech, úbytek mokřad a snížený průtok řek. Socioekonomické sucho je spojeno s dopady výše uvedených typů. Může odkazovat na neschopnost systémů vodních zdrojů uspokojit požadavky na vodu a na ekologické nebo zdravotní dopady sucha (Van Loon 2015).

Kritickou otázkou při studiu zranitelnosti suchem je multiskalární povaha sucha, protože reakce hydrologických (půdní vlhkost, podzemní voda, stav hlubinných zásob atd.) a biologických systémů (plodiny, přirozená vegetace atd.) na nedostatek vody se výrazně liší a má rozdílnou rychlost odezvy. To vysvětluje, proč lze v jednom systému zaznamenat vážné poškození suchem (např. nízké toky řek), zatímco jiné systémy ve stejné oblasti (např. plodiny) mají normální nebo dokonce vlhké podmínky či naopak. Časové měřítko, během kterého se akumuluje deficit vody, se tak stává nesmírně důležité a funkčně odděluje hydrologické, zemědělské a jiné typy sucha (Beguería et al. 2010).

Jen málo studií charakterizovalo složitost jevů sucha na místní, regionální nebo celostátní úrovni dokumentující jeho dopad, sledovalo trendy v regionálních odvětvích a pomáhalo těm, kteří rozhodují o zlepšení jejich úrovně připravenosti a přijalo vhodná opatření pro zmírnění dopadů a přizpůsobení se hrozbě sucha (Potop et al. 2014).

Sucho je běžným projevem klimatu a jeho opakování je nevyhnutelné. Nicméně stále zůstává hodně nejasností ve vědecké a politické komunitě ohledně jeho charakteristik. S těmito nejasnostmi je spojeno nedostatečné zlepšení při řešení problému sucha v téměř všech oblastech světa. Sucho je považováno mnoha lidmi za nejsložitější a nejméně pochopitelnou přírodní hrozbu, která ovlivňuje více lidí než jakákoliv jiná přírodní ohrožení (Wilhite 2000).

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce bylo přiblížit problematiku sucha a jeho klasifikaci. Rovněž se práce zabývala příčinami, dopady a opatřeními proti suchu. Dílčím cílem bylo zhodnotit rizika výskytu extrémního sucha na vybraných klimatologických stanicích za období 1961-2018 v průběhu vegetačního období od dubna do září. Součástí byla analýza trendů sucha.

3 Literární rešerše

3.1 Charakteristika sucha

Společně s povodněmi lze sucho považovat za nejnebezpečnější přírodní riziko v České republice. Termín „sucho“ vyjadřuje zápornou odchylku vodní bilance od klimatologické normy v dané oblasti. Nedostatek srážek po delší dobu (několik týdnů až několik let) je hlavní příčinou sucha ve střední Evropě, zatímco jiné meteorologické prvky (například teplota, vítr a vlhkost) často zesilují jeho dopady. Jakákoli realistická definice sucha musí být specifická s ohledem na region a využití (Brázdil et al. 2009).

Sucho je obtížné popsat pouze jednou definicí. Existuje spousta různých definic, které ho charakterizují. Avšak neexistuje žádná, která by ho komplexně vystihovala. Například je možné sucho definovat jako nedostatek srážek v určitém časovém období, který vede k nedostatku vody pro určitou činnost, skupinu lidí či životní prostředí. V případě České republiky se jedná o období v řádu týdnů až měsíců. Dopady sucha jsou způsobeny následkem menšího úhrnu srážek, než lidé očekávají, a současně jejich vyšší poptávkou po dodávce vody. Dopady sucha mohou být tedy negativně ovlivňovány lidskou činností. V České republice způsobuje sucho problémy zvláště v zemědělství, lesnictví a vodním hospodářství. Sucho dělíme zpravidla do čtyř typů: meteorologické, hydrologické, zemědělské a socioekonomické (Intersucho 2020).

Dále se dá sucho definovat jako prodloužená absence či výrazný deficit srážek, nebo také jako období neobvykle suchého počasí dostatečně dlouhotrvající na to, aby nedostatek srážek způsobil vážnou hydrologickou nerovnováhu. Zaměřit se však pouze na srážky znamená zanedbat důležitost evaporace a transpirace, které snižují množství využitelné vody. Tyto definice rovněž ignorují význam příčných přítoků (potoků a spodních vodních toků) do oblastí, které mohou sloužit jako důležitý zdroj vody kromě místních srážek. Definice dále neodkazuje na načasování dešťových srážek, což je faktor, který je rozhodující pro stanovení mnoha dopadů sucha. Proto by se dalo sucho definovat přesněji jako „deficit vody ve srovnání s normálními podmínkami“. Je to časový interval, obvykle trvající v řádu měsíců nebo let, během kterého skutečná potřeba vlhkosti v daném místě dlouhodobě nedosahuje klimaticky očekávané nebo klimaticky vhodné dodávky vlhkosti. Kvůli různorodým pohledům na sucho neexistuje žádná jediná metoda posuzování a popisování závažnosti sucha, která by byla vhodná pro všechny okolnosti a uživatele (Lloyd-Hughes 2014).

Sucho je přirozeným projevem proměnlivosti klimatu po celém světě. Je to jev, který souvisí s trvalým nedostatkem srážek a v některých případech nadměrné evapotranspirace. Meteorologické sucho je výsledkem srážkových deficitů, zemědělské sucho je identifikováno na základě celkových deficitů půdní vlhkosti a hydrologické sucho souvisí s nedostatkem vody v povrchových a podpovrchových zdrojích vody. Tyto tři typy sucha mají souvislost s prodlouženým obdobím nedostatečných srážek. Deficity evapotranspirace by však mohly být kritické pro zemědělská a hydrologická sucha a v některých případech mohou prohloubit deficity srážek. Bez ohledu na klasifikace může mít sucho za následek velké společenské dopady. Další důležitou vlastností sucha jsou jeho charakteristické časové stupnice, které se mohou podstatně lišit. Jeden měsíc nedostatečného úhrnu srážek může nepříznivě ovlivnit

plodiny závislé na dešťových srážkách, aniž by to mělo nějaký dopad na velký rezervoárový systém.

Vzhledem k tomu, že sucho je obecně vnímáno jako jev s pomalým nástupem, nejvýznamnějším časovým měřítkem pro předpovědi sucha by tak mohla být jednotlivá roční období (případně delší období). Zejména v zemědělství jsou však také velmi důležité meteorologické informace o kratším časovém měřítku (Potop et al. 2012).

Sucho se nachází prakticky ve všech klimatických pásmech. Je velmi náročné přesně určit jeho počátek i konec z důvodu pomalého nástupu. Různá období sucha mají své typické znaky, což si žádá odlišné přístupy k monitoringu jejich vývoje a ukončení, odhadu jejich potenciálu a důsledků pro lidi a společnost na lokální, regionální a národní úrovni (Možný et al. 2010).

Sucho má podstatný vliv na spoustu lidských činností. Je jedním z nejsložitějších přírodních rizik s dopadem na zemědělství, vodní zdroje, přírodní ekosystémy, a společnost. Negativní společenské důsledky sucha zahrnují extrémní ekonomické ztráty, hladomor, epidemie a degradaci půdy (Potop et al. 2014). Přírodní rizika mají za následek značné ztráty na životech a vážné ekonomické, environmentální a sociální dopady, které výrazně zpomalují proces vývoje. Centrum pro výzkum epidemiologie katastrof seskupilo výskyt přírodních katastrof po desítkách let a ukázalo, že sucho se zvýšilo z počtu 62 epizod v 60. letech 20. století na 237 během 80. let. Tyto údaje o suchu jsou však zavádějící. Sucho je jednou z nejvíce neohlášených přírodních katastrof, protože zdrojem většiny těchto statistik je mezinárodní pomoc nebo dárcovské organizace. Pokud země postižené suchem nepožádají o pomoc mezinárodního společenství nebo vlády dárcovských zemí, tyto epizody nejsou hlášeny.

Mnozí považují sucho za nejsložitější a nejméně pochopitelné ze všech přírodních rizik, které ovlivňuje lidi více než kterékoli jiné nebezpečí. Například v Subsaharské Africe sucha na počátku 80. let 20. století nepříznivě zasáhla více než 40 milionů lidí. Sucho v letech 1991–1992 v jižní Africe zasáhlo 20 milionů lidí a mělo za následek nedostatečné dodávky obilovin o více než 6,7 milionu tun. Ve Spojených státech vyústilo sucho v roce 1988 v odhadované dopady v řádu téměř 40 miliard dolarů, což činí z tohoto jednoletého sucha nejnákladnější katastrofu v americké historii. Sucho má za následek významné dopady bez ohledu na úroveň vývoje, ačkoliv charakter těchto dopadů se bude výrazně lišit. Dopady sucha se často pomalu akumulují po značnou dobu a mohou přetrvávat roky po ukončení události. Je tak obtížné určit nástup a konec sucha. Z tohoto důvodu je sucho často označováno jako plíživý jev.

Přirozená událost (tj. meteorologické sucho) je výsledkem přetrvávajících rozsáhlých narušení globálního cirkulačního vzorce atmosféry. Vystavení suchu se liší prostorově a často lze jen dělat opatření, které ho zmírní. Na druhou stranu je zranitelnost určována sociálními faktory jako je populace, demografické charakteristiky, technologie, politika a sociální chování. Tyto faktory se v průběhu času mění, a proto je pravděpodobné, že v důsledku těchto změn se zranitelnost zvýší nebo sníží. Následná sucha ve stejném regionu budou mít různé dopady, i když jsou shodné intenzitou, trváním a prostorovými vlastnostmi, protože se změní společenské charakteristiky. Lze však udělat mnoho pro zmírnění zranitelnosti společnosti vůči suchu (Wilhite 2000).

Během posledních dvou desetiletí zvýšilo sucho a záplavy ve střední Evropě povědomí veřejnosti o závažnosti extrémních meteorologických událostí a jejich environmentálních a sociálně-ekonomických dopadech. Očekávaný nárůst teploty ve střední Evropě spolu s mírným nárůstem množství srážek během zimních i jarních měsíců (spojené se snížením srážek v letních měsících) s velkou pravděpodobností zvýší četnost výskytu sucha a jeho závažnost ve střední Evropě a zesílí dopady spojené s těmito událostmi (Potop et al. 2014).

Sucho se může projevit buď jako krátkodobé, ale extrémní sucho v jedné sezoně (např. extrémně horké léto v Evropě v roce 2003) nebo jako dlouhodobější vícesezónní sucho, které může být lokální nebo rozšířené povahy. V Evropě činí průměrná roční hospodářská ztráta způsobená suchem 5,3 miliardy eur, přičemž v roce 2003 dosáhla vrcholu 8,7 miliardy eur (Strauss et al. 2013).

Dopady sucha jsou nestrukturální a jsou rozloženy na větší geografické oblasti než škody způsobené jinými přírodními riziky. Například nedávná analýza výskytu sucha Národním střediskem pro zmírnění sucha (US) pro čtyřicet osm sousedních států ve Spojených státech ukázala, že těžké a extrémní sucho zasáhlo více než 25 procent země ve 27 letech posledního století. To představuje plochu 1 942 500 km² nebo i více. Na rozdíl od povodní, hurikánů a tornád má sucho zřídka za následek strukturální poškození. Z těchto důvodů je vyčíslení dopadů a poskytování pomoci při katastrofách mnohem náročnějším úkolem pro sucho než pro jiná přírodní nebezpečí.

Například orgány krizového řízení jsou více zvyklé na řešení strukturálních a lokalizovaných dopadů, reagují na tyto události obnovením komunikačních a dopravních kanálů, poskytováním pohotovostních zdravotnických zásob, zajišťováním zdravotně nezávadné vody atd. Tyto charakteristiky sucha brzdily vývoj přesných, spolehlivých a včasných odhadů závažnosti a dopadů, a v konečném důsledku většina orgánů státní moci formulovala pohotovostní plány pro období sucha.

Sucho je normální, opakující se znak klimatu. Vyskytuje se prakticky ve všech klimatických režimech. Nachází se v oblastech s vysokými i nízkými srážkami. Jedná se o dočasnou aberaci, na rozdíl od vyprahlosti, která je trvalým jevem podnebí a je omezena na oblasti s nízkými srážkami. Mnoho lidí spojuje výskyt sucha s většinou Afriky, Indie, Číny, Austrálie a Velkých plání Severní Ameriky. Mají větší potíže představit si sucha v jihovýchodní Asii, Brazílii, západní Evropě nebo ve východních Spojených státech - tedy v regionech, které mnozí vnímají jako oblasti s nadbytkem vody.

Tato skutečnost zdůrazňuje jak regionální, tak relativní povahu sucha. Sucho je důsledkem přirozeného snížení množství srážek, které spadly během delšího časového období, obvykle ročního období nebo déle. I když často jsou s ním spojovány i jiné klimatické faktory (jako jsou vysoké teploty, velké větry a nízká relativní vlhkost) v mnoha regionech světa a mohou výrazně zhoršit závažnost události. Sucho souvisí také s načasováním (tj. hlavní období výskytu, prodlevy na začátku období dešťů, výskyt dešťů ve vztahu k hlavním fázím růstu plodin) a účinností dešťů (tj. intenzita srážek, počet srážek) (Wilhite 2000).

Analýza sucha v České republice v období 1881–2006 potvrzuje statisticky významnou tendenci k dlouhotrvajícím a intenzivnějším suchým epizodám z hlediska zvýšených teplot a snížených úhrnů srážek. Podle teorií fyzikální geografie a empirických terénních průzkumů

se dopady sucha na různé formy půdy, typy půdy a systémy řízení plodin mohou výrazně lišit (Strauss et al. 2013).

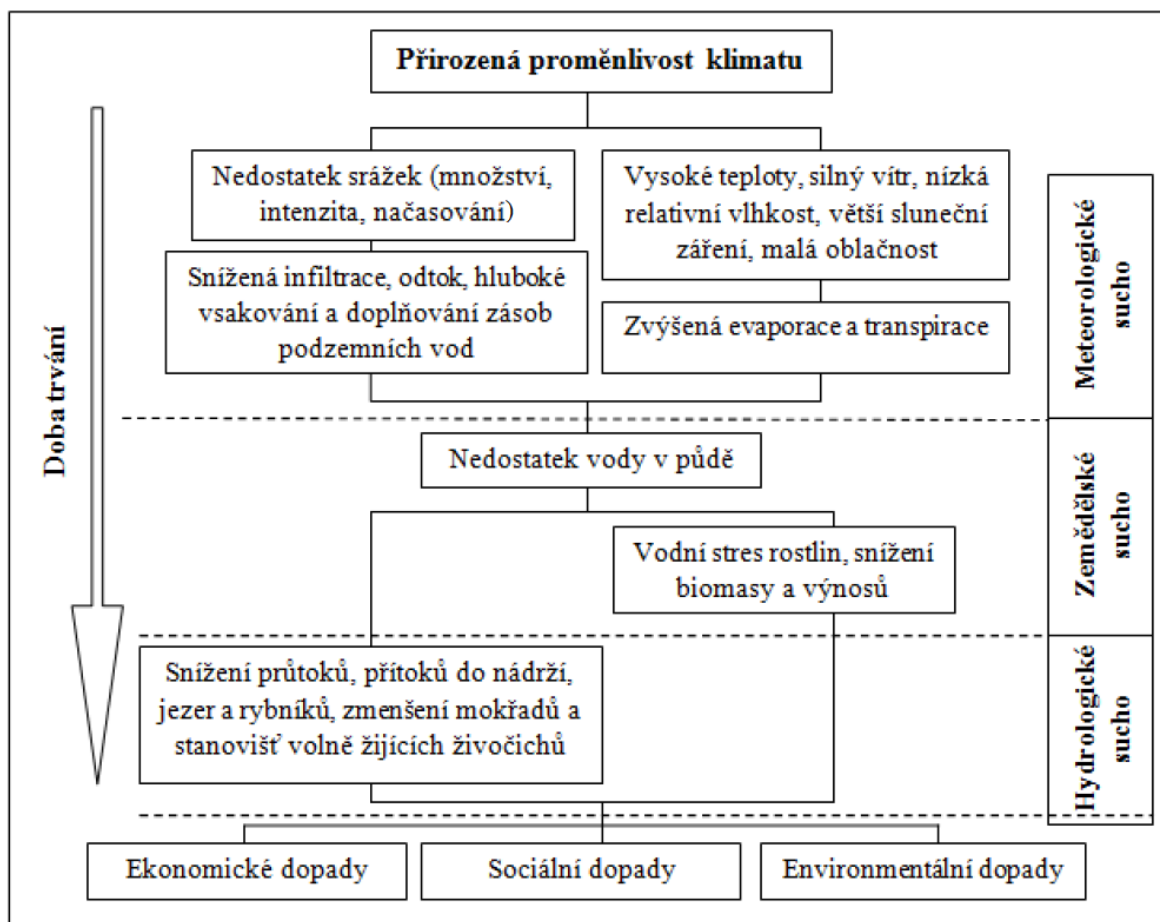
3.2 Klasifikace sucha

Sucho dělíme na základě časových měřítek a dopadů zpravidla do čtyř typů: meteorologické, hydrologické, zemědělské a socioekonomické.

Jednotlivé kategorie sucha a jejich časový rozsah se zjevně překrývají. Výskyt meteorologického sucha však předchází vzniku specifických dopadů, takže je velmi důležité porozumět regionálním charakteristikám meteorologického sucha před studiem specifických dopadů tohoto jevu (Brázdil et al. 2009).

Meteorologické sucho je období podnormálních srážek, trvající několik měsíců až let. To je často doprovázeno nadměrnými teplotami a předchází a způsobuje ostatní typy sucha. Zemědělské sucho je období se suchými půdami, které je výsledkem podnormálních srážek, silných, ale méně častých nepravidelných srážek, nebo nadměrného odpařování, což vše vede ke snížení produkce plodin a růstu rostlin. Hydrologické sucho nastává, pokud tok řeky a voda zadržovaná ve vodonosných vrstvách, jezerech nebo nádržích klesne pod dlouhodobé průměrné úrovně. Hydrologické sucho nastává pomaleji, jelikož zahrnuje zásobárnu vody, která se vyčerpává, ale není doplněna. Nedostatek srážek často způsobuje zemědělské a hydrologické sucho, ale ostatní faktory, včetně silných, ale méně častých srážek, špatné hospodaření s vodou a eroze, mohou také způsobit nebo zesílit tyto typy sucha (Potop et al. 2014).

Sucho se dělí podle typu na meteorologické, hydrologické, zemědělské a socioekonomické. Na obrázku 1 je znázorněn vztah mezi těmito různými typy sucha a délkou trvání události. Vývoj sucha obvykle trvá tři nebo více měsíců, ale toto časové období se může značně lišit v závislosti na načasování iniciace nedostatku srážek. Například významné období sucha během zimní sezóny může mít jen málo, jestli vůbec nějaké dopady na mnoho oblastí. Pokud však tento nedostatek pokračuje ve vegetačním období, dopady se mohou rychle zvětšovat, protože nízké srážky během podzimu a zimní sezóny vedou k nízkému doplňování půdní vlhkosti, což vede k nedostatečné vlhkosti půdy při jarním setí (Wilhite 2000).



Obrázek 1 - Vztahy mezi typy sucha a jejich délkou trvání (Zahradníková 2018)

3.2.1 Meteorologické sucho

Meteorologické sucho lze definovat jako zápornou odchylku od normálního úhrnu srážek v určitém časovém období (Možný et al. 2010). Meteorologické sucho je lehce rozpoznatelné dle výsledků přístrojových měření, epizody sucha v době před započítáním těchto měření jsou zpravidla spojeny s výskytem podstatných důsledků sucha, které lze zjistit z dokumentárních pramenů (nízký výnos plodin, nízké průtoky řek a vysychající vodní toky, socioekonomické problémy) či proxy dat (úzká šířka letokruhů stromů signalizující suché období) (Brázdil & Trnka 2015). Meteorologické události sucha v nížinných oblastech České republiky, vyjádřené v krátkodobém časovém měřítku, se vyznačují relativně vysokou frekvencí a intenzitou (Potop et al. 2012). Období meteorologického sucha, kdy převažuje nedostatek srážek a vysoká evapotranspirace, má dopad na projev ostatních typů sucha (Tremel 2011).

3.2.2 Hydrologické sucho

Kromě hydrologického extrému povodní je potřeba se v současné době více věnovat i opačnému extrému sucha.

Při nízkém úhrnu srážek dochází k hydrologickému suchu, které se vyznačuje nedostatkem zdrojů podzemních a povrchových vod. Jde například o hladiny jezer a nádrží, průtoky vodních toků, podzemní vody. Přestože je sucho přirozeným hydrologickým jevem, jeho následky mohou být umocněny nevhodným zacházením a plýtváním dostupné vody lidmi. Ve složkách podzemní části hydrologického cyklu se nedostatek srážek ukazuje s jistým zpožděním. V rámci celého povodí je hydrologické sucho důsledkem vzájemného vlivu dějů hydrologického cyklu a antropogenní činnosti.

Významnou složkou oběhu vody v přírodě jsou podzemní vody, které vzájemně působí na povrchové vody a další složky životního prostředí. Následkem sucha v podzemních vodách může dojít ke krizovým stavům nejen ve spojitosti s životním prostředím, ale i s dodávkami pitné vody pro obyvatelstvo a užití v zemědělství (Soukalová & Muzikář 2015). Tak jako dopady sucha podzemní vody nebo socioekonomického sucha, tak i hydrologické sucho se projevuje až po delší době. Je charakteristické nedostatkem vody ve zvodnělých vrstvách, nádržích a ve vodních tocích. Problémy v hospodaření s vodními zdroji způsobují nízké vodní stavy na řekách a snížení zásob podzemní vody, a to většinou na delší dobu. Sucho má vliv nejen na lidskou společnost, ale zároveň vede k narušování funkcí přírodních ekosystémů (Brázdil & Trnka 2015).

Jak již bylo výše zmíněno, s hydrologickým suchem jsou spojeny nízké průtoky. V České republice je za hydrologické sucho považováno období, kdy na vodoměrné stanici pozorovaného toku průtok klesne pod hranici limitního průtoku Q_{355} , nebo se zvolí jiná hranice dle potřeb. Zemědělské sucho se zase projevuje vysycháním půdy. Pro zjištění velikosti zemědělského a hydrologického sucha je velmi důležitý i vliv člověka na životní prostředí, který může snížit velikost sucha (jako třeba závlahy u zemědělského sucha, nadlepšování průtoků), a zároveň ale také i zhoršit (např. čerpáním vody pro zavlažování nebo při nepatřičném využívání krajiny) (Tremel 2011).

3.2.3 Zemědělské sucho

Zemědělské sucho, které trvá od několika týdnů po 6 až 9 měsíců, je způsobeno nedostatkem vody pro zemědělské plodiny. V porovnání s normálními roky v zemědělství vede sucho ke snížení výnosů plodin v postižené oblasti. Výskyt sucha ve zmiňovaném období má vliv i na lesní porosty. Dlouhodobější sucha způsobují usychání stromů v lesích, což způsobuje nucenou nahodilou těžbu dřeva dříve, než je dosaženo optimální velikosti stromů (Brázdil & Trnka 2015).

Výnosy plodiny mohou být dále ovlivněny zvýšením teploty, rychlostí větru a vlhkostí, což může vést k vyšším hodnotám potenciální evapotranspirace, a tím prohloubit deficit půdní vlhkosti. Zemědělské sucho bylo různě definováno několika autory, např. definice založená na denních dešťových srážkách a spotřebě vody rostlinami, na nedostatku nebo nepřítomnosti srážek během vegetačního období nebo dlouhých suchých období, na počtu po sobě jdoucích dnů, ve kterých poměr aktuální evapotranspirace k potenciální evapotranspiraci zůstává pod určitou hraniční hodnotou (Strauss et al. 2013). Zemědělská sucha, vyjádřená ve střednědobém časovém měřítku, se staly neustávající a déle-trvající, překračující v průměru 4,6 měsíců. V nížinných klimatických stanicích byl v nejteplejších oblastech zaznamenán nejnižší úhrn srážek, lokalizovaných převážně na

těžkých půdách (Potop et al. 2012). Důsledkem sucha dochází k velkým ztrátám v oblasti zemědělství, proto patří zemědělství mezi jeden z nejohroženějších sektorů produkce. Při dlouhodobém suchu může dojít k obrovským poklesům výnosů.

Pro monitoring zemědělského sucha v týdenních intervalech se v České republice využívá Integrovaný Systém Sledování Sucha (ISSS, www.intersucho.cz). Ke vzniku tohoto systému vedla řada vědeckých prací, zabývajících se měnícím se obsahem vody v půdě způsobeným klimatickým vývojem. ISSS pomocí více zdrojů dat analyzuje dopady sucha na výnosy pěstovaných plodin, stav vegetace a aktuální stav obsahu vody v půdě. Cílem tohoto systému je co nejpřesnější monitorování vývoje sucha a přinášet tak cenné informace pro polní práce a při plánech spojených se zásahy v krajině (Bartošová et al. 2016).

3.2.4 Socioekonomické sucho

Socioekonomické sucho nastává ve chvíli, kdy výskyt sucha začíná negativně ovlivňovat celou společnost, kromě již zmíněného zemědělství, vodního hospodářství a lesnictví. Deficit vody se může negativně promítnout do průmyslové produkce (z důvodu nedostatku technologické vody), produkce elektrické energie (nedostatkem vody pro výrobu například u vodních elektráren nebo nedostatku vody nutné pro chlazení), do turistického ruchu, života obyvatel (nedostatek pitné vody, popřípadě zemědělských produktů) a také do celé ekonomiky a chodu společnosti (Brázdil & Trnka 2015).

3.3 Termíny používané při hodnocení rizika extrémního sucha

3.3.1 Evapotranspirace

Přeměna vody z kapalného nebo tuhého stavu na vodní páru je fyzikální jev, který se nazývá evapotranspirace. Slovo evapotranspirace vzniklo spojením dvou termínů – evaporace a transpirace. Evaporace znamená výpar z půdního nebo vodního povrchu nezakrytého vegetací a transpirace představuje výdej vody z vegetace. Je vyjadřována v milimetrech jako vrstva vody, která se za jistý časový interval uvolní do atmosféry. Vliv na hodnotu evapotranspirace mají převážně půdní poměry a klimatické podmínky. Mezi skutečně důležité prvky patří vlhkost půdy, intenzita vztlínání vody, reliéf (expozice, sklon, nadmořská výška), teplota vzduchu a půdy, hloubka hladiny spodní vody, vítr, vlhkost vzduchu a atmosférický tlak. Pro půdy, které jsou nasycené vodou, je důležitá závislost výparu na pohybu vzduchu. Hodnoty výparu jsou obvykle 10 až 15 mm denně. Vegetační vrstva intenzivně ovlivňuje výpar z povrchu půdy lesních porostů. Potenciální a aktuální výpar je důležité při popisu evapotranspirace rozlišovat. Jako definici potenciální evapotranspirace lze považovat velikost výparu v určité lokalitě, která je pokryta souvislým vegetačním porostem při současném neomezeném přísunu vody. Potenciální evapotranspirace je tedy největší možný výpar a transpirace při daném podnebí stanoviště a vyjadřuje také nasycenost vzduchu vodní párou.

Určení aktuální evapotranspirace je poněkud obtížné, protože je nutné stanovit množství skutečně odpařené vody za reálných přírodních podmínek. Potenciální evapotranspirace nabývá vždy vyšších hodnot a ve vegetačním období jsou rozdíly pokaždé nejvyšší. Sluneční záření je jedním z nejvýznamnějších meteorologických parametrů ovlivňujících evapotranspiraci. Jakožto největší energetický zdroj dokáže snadno přeměnit

vodu z její kapalně fáze na páru. Sluneční záření je ovlivněno hustotou vzduchu a oblačností, jelikož oblaka jí absorbují a odrážejí. Vlhkost vzduchu je nejdůležitějším prvkem při přenosu páry. V současné době je na území České republiky v průběhu nočních hodin vlhkost vzduchu nejčastěji mezi 80-90 %. Na mnoha místech vlhkost vzduchu neklesá pod 60 % ani v denních hodinách. Proces přenosu vodní páry do okolního vzduchu je ovlivněn vzdušnou turbulencí a rychlostí větru. Evapotranspiraci zvyšuje rychlejší výměna vzduchu nad plochou odpařování. Pro měření evapotranspirace se používají metody přímé a nepřímé. Přímé měření je finančně velice nákladné a je zde nutná odborná obsluha. Proto se používají převážně metody nepřímé, které zvládnou vyčíslit evapotranspiraci pomocí znalostí hydrometeorologických dat obvykle měřených v klimatických stanicích. Jednoduchým způsobem pro měření aktuálního výparu je využití výparoměřů, které jsou schopny měřit výpar z volné vodní hladiny. Za posledních padesát let bylo vymyšleno několik výpočtových metod pro určení evapotranspirace. K nejpřesnějším metodám se řadí Penmanova a Penman-Monteithova metoda (Honsová 2007). Měření evapotranspirace je určováno lyzimetrem (nádoba naplněná půdou), kdy množství přírodně a manuálně přidané vody je registrováno stejně jako množství vody protékající nádobou (Možný 2005).

Evapotranspirace je jednou z nejdůležitějších složek vodního cyklu. K dispozici je však relativně málo přímých měření evapotranspirace. Nicméně, různé disciplíny, od hydrologie po zemědělství a klimatické vědy, vyžadují informace o prostorovém a časovém rozložení evapotranspirace na regionální a globální úrovni (Weerasinghe et al. 2020).

3.3.2 Atmosférické srážky

Vlivem kondenzace nebo desublimace vodní páry v ovzduší se tvoří vodní kapky nebo ledové částice, které jsou označovány jako atmosférické srážky. Jedná se o veškerou vodu z atmosféry, která padá z různých skupin oblaků v tuhém nebo kapalném skupenství. Pro měření úhrnů srážek se používá srážkoměr (ombrometr). Jde v zásadě o válec s nálevkou, přes kterou jsou sváděny veškeré srážky do vnitřní části nádoby, která je chráněna proti větru, aby toto měření nezkresloval vliv víření vzduchu. Pro zaznamenání úhrnu srážek a jejich časového průběhu se používají ombrografy, které zaznamenávají průběh srážek na pásce.

Na meteorologických stanicích se při sledování a měření srážek stanovuje:

- množství srážek (úhrn) - výška vodního sloupce v milimetrech: 1 mm srážek představuje 1 litr vody spadlé na plochu 1 m²
- intenzita srážek
- doba trvání srážek
- skupenství srážek

3.3.2.1 Geografické rozložení srážek

Pro geografické rozložení srážek průměrného ročního úhrnu platí, že nejvíce srážek je blízko oceánu a směrem do vnitrozemí postupně ubývají. Ve vyšších nadmořských výškách srážky nejdříve přibývají až po dosažení výšky pásma maximálních srážek, které se nachází přibližně ve 2-3 km nad mořskou hladinou. Nad tímto pásmem poté naopak s vyšší nadmořskou výškou

srážek ubývá. Dále platí, že více srážek je na návětrných svazích horských pásem než na závětrných.

Rozdělení srážkových režimů s vlastnostmi sezónního rozložení atmosférických srážek v daném místě:

Oceánský	Převaha srážek v zimním pololetí oproti srážkám v pololetí letním
Kontinentální	Převaha srážek v letním pololetí oproti srážkám v zimním pololetí (v ČR)
Monzunový	Výrazná doba dešťů v období letního monzunu a malé množství srážek po zbytek roku

Tabulka 1 - Rozdělení srážkových režimů

Geografické rozložení srážek je vyjadřováno izohyetami, což jsou čáry, které spojují místa se stejnými úhrny srážek za určité období.

3.3.2.2 Rozdělení atmosférických srážek

Atmosférické srážky se rozdělují dle:

Skupenství	kapalné, tuhé a smíšené srážky
Původu	padající a usazené srážky
Délky výskytu	srážky trvalé, občasné a přeháňky
Příčin vzniku	konvekční, cyklonální a orografické srážky

Tabulka 2 - Rozdělení atmosférických srážek

Padající srážky představuje například déšť, sníh, mrholení, kroupy a ledové jehličky. Jako usazené srážky lze označit rosu, jinovatku, ledovku a námrazu. Občasnými srážkami se rozumí trvalé srážky, které ustávají na určitou dobu. Přeháňky jsou srážky s neočekávaným začátkem i koncem, trvají pouze krátce a padají z konvekčních oblaků. Konvekční srážky padají především z oblaků typu cumulonimbus. Mají charakter přeháněk a často jsou spojeny s bouřkou. Cyklonální srážky padají na území cyklón a orografické srážky se tvoří jako důsledek terénních překážek (Meteocentrum 2020).

3.3.2.3 Srážkový deficit

Záporný rozdíl mezi množstvím aktuálně spadlých srážek a jejich dlouhodobým průměrem (normálem) za určité časové období je možné označit jako srážkový deficit. Velikost srážkového deficitu je potřeba zohlednit společně s časovým rozložením srážek za dané období při hodnocení klimatického sucha (Portál Monitoring sucha 2015).

3.3.3 Teplota

3.3.3.1 Teplota vzduchu

Teplota vzduchu patří mezi základní meteorologické prvky a určuje tepelný stav ovzduší neboli schopnost vzduchu přijímat či předávat tepelnou energii. Teplota vzduchu se měří přesným teploměrem, který je kvůli ochraně před přímým slunečním zářením umístěn ve výšce 2 m nad zemským povrchem v meteorologické budce, nebo štítu. V České republice se měří ve °C. Maximální teplota vzduchu je definována jako nejvyšší teplota vzduchu za určité časové období, kterým je většinou den, měsíc či rok a zaznamenává se na meteorologické stanici. Jako teploměrná látka max. teploměru se používá rtuť. Minimální teplota vzduchu je definována jako nejnižší teplota vzduchu za určité časové období, kterým je nejčastěji den, měsíc či rok a je zaznamenána na meteorologické stanici. Jako teploměrná látka min. teploměru se používá líh (Čermák 2020).

3.3.4 Půdní vláh

Znát hodnoty vlhkosti půdy může být prospěšné při stanovení vlivu aktuálních srážek na množství vody v půdě. Při měření půdní vlhkosti je velkou výhodou automatizace a uložení dat po deseti minutách. V rámci Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) se měření vlhkosti půdy používá v SIVS – Systému integrované výstražné služby. V České republice v důsledku rostoucího sucha spojeného s předpokládanými klimatickými změnami stoupá prospěch z měření vlhkosti půdy. Pokud dojde ke snížení půdní vlhkosti, pracovníci v zemědělství budou varováni před rostoucím suchem a informováni o účinnosti srážek. Naopak zvýšení vlhkosti půdy může fungovat jako výstraha pro hydrology, kterým pomůže při odhadu vzniku záplav (Možný et al. 2010). Posledních pár let se používá převážně metoda Penman-Monteithova pro zjištění přesného odhadu evapotranspirace. Pro výpočet této metody jsou potřeba údaje denních minimálních a maximálních teplot vzduchu, suma globálního záření, úhrny srážek, průměrné rychlosti větru a tlaku vodní páry. Bilance srážek a evapotranspirace slouží pro odhad půdní vlhkosti. Evapotranspiraci významně ovlivňuje globální záření (krátkovlnné záření vlnové délky 300-3000 nm), kterému by měla být věnována mimořádná pozornost (Brázdil & Trnka 2015).

3.4 Indexy sucha

Problematika sucha je velice komplexní záležitostí, a proto je nutné jeho hodnocení činit pomocí vyhovujícího souboru indikátorů. Mezi tyto indikátory lze zařadit posuzování zásoby vody v půdě pomocí meteorologických měření v síti stanic, predikce budoucího vývoje s využitím předpovědi počasí i prognóz podle běžného vývoje a posuzování situace a následků pomocí zpětné vazby od dotazovaných respondentů. Vegetační podmínky je možné analyzovat s využitím satelitní techniky a dostupných senzorů v rámci Dálkového průzkumu Země (DPZ) (Hlavinka et al. 2016).

Sucha jsou patrná po dlouhém období bez srážek, ale je obtížné určit jejich počátek, rozsah a konec. Je tedy velmi náročné objektivně kvantifikovat jejich charakteristiky z hlediska intenzity, velikosti, trvání, a prostorového rozsahu. Z tohoto důvodu bylo věnováno

velké úsilí vývoji metod pro analýzu a monitorování sucha. Mezi nimi jsou nejpoužívanější objektivní indexy, ale subjektivita v definici sucha velmi ztěžovala vytvoření jedinečného a univerzálního indexu sucha. Během dvacátého století bylo vyvinuto několik ukazatelů pro kvantifikaci, monitorování a analýzu sucha. V posledních letech došlo k mnoha pokusům o rozvoj nových ukazatelů sucha nebo ke zlepšení stávajících. Většina studií týkajících se systémů analýzy a monitorování sucha byla provedena pomocí Palmerova indexu závažnosti sucha (PDSI) založeného na rovnici rovnováhy půdní vody, nebo Standardizovaného srážkového indexu (SPI) na základě srážek pravděpodobnostního přístupu (Vicente-Serrano et al. 2010).

Jednou z nejučinnějších strategií ke snížení dopadů sucha je včasné a cílené varování koncových uživatelů. Výsledky studií Sutanto et al. (2020) ukazují, že předpovědi hydrologického sucha předčí meteorologické předpovědi sucha. Hydrologické předpovědi sucha dokonce vykazují predikční sílu (oblast s perfektní predikcí > 50%) až 2 měsíce dopředu. Jejich studie došla k závěru, že dynamické předpovědi odvozené od sezónních prognóz mají vyšší předvídatelnost než souborový proud předpovědi toku. Výsledky naznačují, že další vývoj sezónních hydrologických předpovědních systémů sucha je přínosný, zvláště důležitý v souvislosti s globálním oteplováním, kde se riziko sucha stane častějším a závažnějším ve více regionech světa. V minulosti předpovědi počasí, jakožto hlavní součást výstražného systému, postrádaly schopnost vytvářet spolehlivé předpovědi na delší období než dny a týdny. V posledním desetiletí se dynamické systémy sezónní predikce založené na numerických predikčních modelech staly dovednějšími. Zlepšení pravděpodobnostních sezónních předpovědí má proto velký potenciál pro předpovědi sezónního sucha (Sutanto et al. 2020).

V celosvětovém měřítku nedávné studie o suchu naznačovaly, že zvyšující se trendy sucha zjištěné v globálním datovém souboru Palmerova indexu intenzity sucha (PDSI) a Standardizovaného srážkového indexu v několika oblastech, jsou zapříčiněny zvláště zvyšující se teplotní tendencí (pomocí evapotranspiračních procesů) od poloviny 80. let (Potop et al. 2014).

Standardizovaný srážkový index (SPI) a SPEI byly analyzovány v předchozích studiích o suchu v České republice. SPEI se zabývá i předcházejícími okolnostmi při hodnocení závažnosti sucha. Trend desetiletí v rozsahu sucha byl detekován SPEI v České republice. Více period sucha bylo sledováno v průběhu čtyřicátých, na začátku padesátých a devadesátých let dvacátého století a méně během desetiletí 1910, 1930 a 1980. Tyto epizody sucha se v České republice shodují se sekulárním vývojem sucha hlášeným pro střední Evropu. Porovnání SPEI a SPI ukázalo rozdíly v představujících záznamech o závažnosti sucha během desetiletí v kombinaci nejnižších letních negativních teplotních odchylek s nejnižšími negativními srážkovými odchylkami (studené a suché, během prvních dvou desetiletí dvacátého století), nejvyšší letní pozitivní teplotní odchylky (na konci dvacátého století), vysoké jarní pozitivní teploty a srážkové odchylky (teplé a mokré, na začátku dvacátého století) a nejvyšší nedostatek vodní bilance (1947, 2003, 1994, 1983 a 1933 - seřazené podle nejvyššího deficitu).

Shody v detekci sucha pomocí SPI a SPEI byly hlášeny během desetiletí vykazující vysoké pozitivní teplotní odchylky na jaře spojené s podnormálními srážkami (teplo a sucho, v průběhu desetiletí 1950, 1990 a 2000) a extrémně dlouhé trvání slunečního svitu

(155 % normální doby slunečního svitu hlášeno za extrémně suchý červen 2006 a srpen 2003 a až dvojnásobně dlouhé trvání slunečního svitu v dubnu 2007 a 2009) spojené s velkým počtem po sobě následujících suchých dnů. Bylo zřejmé, že teplota hrála hlavní roli v letních epizodách sucha. Pozitivní teplotní odchylky přispěly k vyšší poptávce po vodě kvůli zvýšenému potenciálu evapotranspirace (PET) na konci minulého století (Potop et al. 2014).

Z nejrůznějších indexů, které jsou využívány k charakteristice sucha, jsou níže detailněji popsány indexy sucha odvíjející se od meteorologických veličin (Brázdil & Trnka 2015).

3.4.1 Standardizovaný srážkový index (SPI)

Meteorologický index sucha, který se používá při posuzování sucha s využitím týdenních a měsíčních srážkových úhrnů se nazývá Standardizovaný srážkový index (SPI). Jedná se o normovanou hodnotu úhrnu srážek za určité období. Pro posuzování krátkodobého, střednědobého a dlouhodobého sucha je použitelný tento index, který ukazuje nedostatek srážek, ale nebere v úvahu vypařování ani výkyvy teploty vzduchu. Jiné existující indexy jsou v tomto ohledu komplexnější (Meteo Aktuality 2018).

V krátkých časových úsecích SPI úzce souvisí s půdní vlhkostí, zatímco v delších časových úsecích může SPI souviset s ukládáním podzemní vody nebo v nádržích. SPI lze porovnat napříč regiony s výrazně odlišnými klimatickými podmínkami. Kvantifikuje pozorované srážky jako standardizovaný odklon od vybrané pravděpodobnosti distribuční funkce, která modeluje primární srážková data. Hodnoty SPI vyjadřují, jak se pozorovaná anomálie statisticky odchyluje od dlouhodobého průměru. SPI lze vytvořit pro různá období od 1 do 36 měsíců pomocí měsíčních vstupních dat. Pro operační komunitu byl SPI uznán jako standardní index, který by měl být k dispozici po celém světě pro kvantifikaci a hlášení meteorologického sucha. Byly vzneseny obavy ohledně užitečnosti SPI jako měřítka změn v suchu spojených se změnou klimatu, protože se nezabývá změnami evapotranspirace. Byly navrženy alternativní indexy, které se zabývají evapotranspirací (viz SPEI) (Keyantash 2018).

3.4.2 Standardizovaný srážkový evapotranspirační index (SPEI)

Byl navržen pro identifikaci období sucha. SPEI, který je založen na klimatické vodní bilanci (tj. odečtení evapotranspirace od srážek), je upraven použitím tříparametrové logistické distribuce, která bere v potaz obvyklé záporné hodnoty. SPEI se počítá v různých časových měřítcích podle přístupu podobnému SPI indexu sucha. SPEI kombinuje citlivost PDSI (Palmerův Index intenzity sucha) na změny hodnot evapotranspirace (související s kolísáním teplot a trendů) s vícenásobnou povahou SPI. Významnou výhodou SPEI je to, že podobně jako SPI lze vypočítat pro různé časové stupnice pro sledování sucha s ohledem na závažnost, trvání, začátek, rozsah a konec. Hlavní výhodou SPEI oproti ostatním široce používaným indexům sucha spočívá v jeho schopnosti identifikovat roli evapotranspirace a kolísání teploty s ohledem na hodnocení sucha v souvislosti s globálním oteplováním (Potop et al. 2012). Je zapotřebí víceúrovňový ukazatel sucha, který zohlední deficity, které ovlivňují různé využitelné vodní zdroje, a rozlišuje různé druhy sucha.

Index SPEI nejčastěji pracuje s měsíčními úhrny srážek a evapotranspirací na základě normalizace jednoduché vodní bilance. Matematicky je SPEI podobný SPI, ale zahrnuje roli

teploty. Jelikož je SPEI založen na vodní bilanci, je možné ho porovnávat s autokalibrovaným PDSI, jak bylo prokázáno u globálních datových souborů z observatoří umístěných v různých klimatických zónách.

Další výhodou SPEI je jeho nezávislost s ohledem na metodu použitou pro výpočet PET. Tato nezávislost byla prokázána v předchozích studiích, kdy byl testován dopad dvou různých parametrizací PET pro výpočet vodní bilance. Různé prodlevy, které by mohly být zvažovány pro výpočet SPEI, mohou souviset s různými typy sucha v regionu. Krátká časová měřítká prodlev vykazují silný vztah ke změnám v půdní vlhkosti, které určují dostupnost vody pro vegetaci a zemědělství, zatímco vodní zdroje v nádržích většinou souvisejí s delšími časovými měřítky. SPEI je zvláště vhodný pro detekci, monitorování a hodnocení účinků globálního oteplování na stav sucha (Potop et al. 2014).

3.5 Dopady sucha v zemědělství

Pro vykonávání zemědělské činnosti se půdní sucho může stát kritickou okolností při současných extrémních výkyvech počasí a klimatických změnách. Proto je nutné změnit postupy v provozování zemědělství. Promyšlené spojení ekonomických a ekologických pohledů založených na ochraně půdní vody by mělo být klíčové při využívání krajiny v zemědělství. Mělo by se vycházet z výsledků stanovištního mapování zemědělské krajiny pro zvolení přijatelných způsobů hospodaření. Což poskytuje informace pro prostorovou úpravu krajiny, pro nutné pozemkové úpravy a zároveň i pro zvolení nejlepších způsobů obhospodařování půdy. Systémové řízení vývoje a využívání krajiny, odpovědnost krajinné politiky a plánování krajiny by mohlo být vhodnou odezvou na změnu klimatu a rizika sucha. Toto by mělo vystřídat současné volné zacházení s krajinou bez žádného usměrňování.

V posledních letech jsou extrémní změny počasí zřejmým signálem změny klimatu. Tato změna, trvající už pár desítek let, způsobuje ve střední Evropě stále výraznější dopady obzvláště v zemědělství a lesnictví. Konkrétní ukázkou v České republice je jižní Morava, která často bývá na celém území zasažena extrémním suchem, které způsobuje místní krajinně značné nepříznivé důsledky. Proto zde převládá určitá nejistota nad dalším průběhem. Je tedy zřejmé, že budoucí zásobování vodou této oblasti bude hrát velkou roli v jejím dalším vývoji.

Půda, která patří mezi základní složky životního prostředí, zde vykonává celou řadu funkcí a je hlavním výrobním prostředkem pro zemědělství a lesnictví. Antropogenní činnost se podílí a mnohokrát urychlí degradaci půdy, která může být způsobena a ohrožena i přirozenými degradačními faktory. Úrodná půda je schopna splňovat své produkční i ekologické funkce, avšak tyto schopnosti mohou být omezeny či ztraceny, pokud dojde k její degradaci. Z důvodu aktuálních klimatických změn, které vedou ke vzestupu teplotních průměrů a nestejněměrnému rozložení srážek ve spojení s půdní degradací, dochází ke ztrátám v zemědělské produkci následkem sucha (Fanta 2016).

Za posledních 20 let bylo sucho největší hrozbou pro zemědělce pěstující polní plodiny v nížinných regionech České republiky. V extrémních případech mohou dopady sucha vést k vážným poškozením vegetace a následným ztrátám úrody. Na Žatecku, v Polabské nížině a Jihomoravském kraji se vyskytuje největší počet epizod sucha. Polabská nížina, která je jednou z největších obhospodařovaných oblastí zeleniny, je často zasažena suchem. Sucho je často provázené zvýšenou větrnou erozí a oblasti vyžadují vyšší úrovně zavlažování. Rostoucí

četnost suchých, horkých epizod v nížinných oblastech České republiky vedla ke snížení výnosů a větší variabilitě výnosu zeleniny, což má za následek zvýšení nákladů na pěstování zeleniny a zvýšení ekonomické ztráty pro pracovníky v zemědělství. Například většina druhů zeleniny reaguje na sucho snížením jejich kvality a výnosů nebo celkovou ztrátou výroby, často v případech pouze krátkého sucha. Pokud během počátečních vývojových fází plodiny dojde k suchému období, tržní zralost se často zpozdí a sníží se výnos (Potop et al. 2012).

Kulturní plodiny, nacházející se na sušších půdách s nízkou půdní vlhkostí, jsou více náchylné k chorobám a škůdcům. Vzhledem k opakovanému výskytu sucha, způsobenému změnou klimatu, lze předpokládat vyšší ekonomické ztráty. Sucho se na většině odrůd a druhů zeleniny projevuje pomalejším růstem, horší kvalitou a nižším výnosem. Kvalita hlavního tržního produktu může být suchem negativně ovlivněna při nedostatku vody v druhé polovině vegetace. Požadavky rostlin na vodu jsou velmi odlišné, což souvisí s vývojem počasí, půdním druhem a obdobím jednotlivých fenologických fází vývoje rostlin. V kritických fázích, kdy rostliny potřebují více vody a stabilní vláhový poměr, je důležité zajistit její dostatek v půdě, jinak bude další vývoj rostlin velice negativně ovlivněn (Potop et al. 2010). Skutečný výnos a kvalita jsou ovlivněny výskytem biotických a abiotických stresů během roku, které jsou řízené počasím (Potop et al. 2009).

Na území České republiky, konkrétně na Žatecku (suchá podkrušnohorská oblast), v Polabské nížině (okresy Mělník, Nymburk a Kolín) a dále v oblasti jižní Moravy jsou nejvyšší počty suchých epizod. Počet suchých období navíc značně roste s poklesem nadmořské výšky místa. Na jižní Moravě, v severozápadních Čechách, obecně na jihovýchodě republiky a v nížině řeky Labe byl zaznamenán vysoký výskyt kritického meteorologického a zemědělského sucha. Na celém území České republiky se meteorologické (krátkodobé) sucho a sucho ovlivňující zemědělskou produkci (střednědobé sucho) vyskytovalo za studovaných 40 let každých 3-5 let a dlouhodobé sucho, které má vliv na vodní systémy, se vyskytovalo každých 9 let.

Velké množství studií bylo věnováno dopadům sucha na produkci obilnin. Například na produkci ječmene jarního byl prokázán značný vliv sucha od dubna do června. Mezi nejcitlivější na sucho patřily okresy jižní Moravy, naopak nejméně citlivé byly okresy na severní Moravě a ve Slezsku. Výnosy ječmene jarního (i ostatních jarních obilovin) byly nedostatkem vody ovlivněny více než výnosy ozimých plodin. Významné epizody sucha v období let 1981-2000 byly jednou z příčin nízkých výnosů základních obilovin i dalších pozorovaných plodin (Brázdil & Trnka 2015). Jako jedna z mála studií se Potop et al. (2009) zabývali dopady sucha na výnosy polních plodin v ČR. Konkrétně zkoumali jarní a ozimé obilniny ve středních Čechách. V šedesátých a sedmdesátých letech a potom také v období 1991-2000 byly vypořádovány nízké výnosy. Přičemž v letech 1964, 1976, 2000 a 2003 byly zaznamenány úplně nejnižší výnosy způsobené suchem.

Bylo zjištěno, že plodiny byly citlivé na krátkodobé období sucha (tj. dny, týdny) kvůli množství srážek rozložených v různých časových obdobích během vegetační doby, což může mít na plodinu různé dopady. Pokud se navíc v kritických fázích růstu plodin vyskytne krátká epizoda sucha (18–25 dní), mohou být dopady na zemědělství závažné (jako tomu bylo v období sucha 2000 a 2007). Současně nedostatek srážek v České republice od dubna do května 2000, během kritického období růstu obilných plodin spojeného s nadměrnými teplotami, způsobil různé stupně poškození obilnin. Riziko sucha má potenciálně nepříznivé

dopady na regionální produkci výnosu obilovin. Hlavními aspekty sucha, které zvyšují nebo snižují jeho nepříznivé účinky, jsou frekvence, závažnost a prostorový rozsah (Potop et al. 2009).

Mnohé práce naznačují zvyšující se riziko výskytu sucha ve střední Evropě. Za posledních 130 let je riziko sucha pravděpodobně nejvyšší v posledních pár letech. Dle řady studií je patrné, že v České republice postupně ubývá disponibilní vody v půdě. Děje se tak převážně v době od dubna do června, což může být velmi nežádoucí pro intenzivní růst rostlin a celkovou závislost zemědělství na pravidelných srážkách. V České republice se do budoucna očekávají klimatické podmínky navyšující sušší půdně-vlhkostní režimy, a zároveň by tyto klimatické podmínky měly způsobit výrazné snížení půdně-klimatických režimů.

I v budoucnu bude sucho bezpochyby patřit mezi základní problémy, na které má na našem území vliv antropogenně ovlivněná změna klimatu (Brázdil & Trnka 2015).

Extrémní teploty nevyhovují zvířatům ani rostlinám. Mohou negativně ovlivnit užitkovost v živočišné výrobě i kvalitu úrody. Prezident Agrární komory ČR Jan Veleba považuje horko při žních za přirozené, avšak větším problémem mohou být dny s vyššími teplotami, které probíhaly během celé vegetace obilí. Mohou nastat i problémy s nedostatkem vody. Suché a teplejší počasí může polní práce urychlovat. Část plodin dozrává současně vlivem počasí, což může představovat komplikace při sklizni z důvodů potřeby techniky a sklizení více zralých plodin naráz. Extrémně vysoké teploty mohou mít negativní vliv na hmotnost a kvalitu zrn, protože menší obsah vody může způsobit ztrátu hmotnosti, kvalita zrn se snižuje a u nezralého obilí hrozí zasychání. Například i pro brambory jsou extrémní horka stresovým faktorem, kvůli kterému mohou výrazně fyziologicky zestárnout, čímž se zkrátí jejich vegetační doba a hrozí snížení celkového výnosu. Následkem velkých veder jsou i menší přírůstky zvířat a nižší doživnost. Hrozí také úhyny zvířat z přehřátí (Fialová 2007).

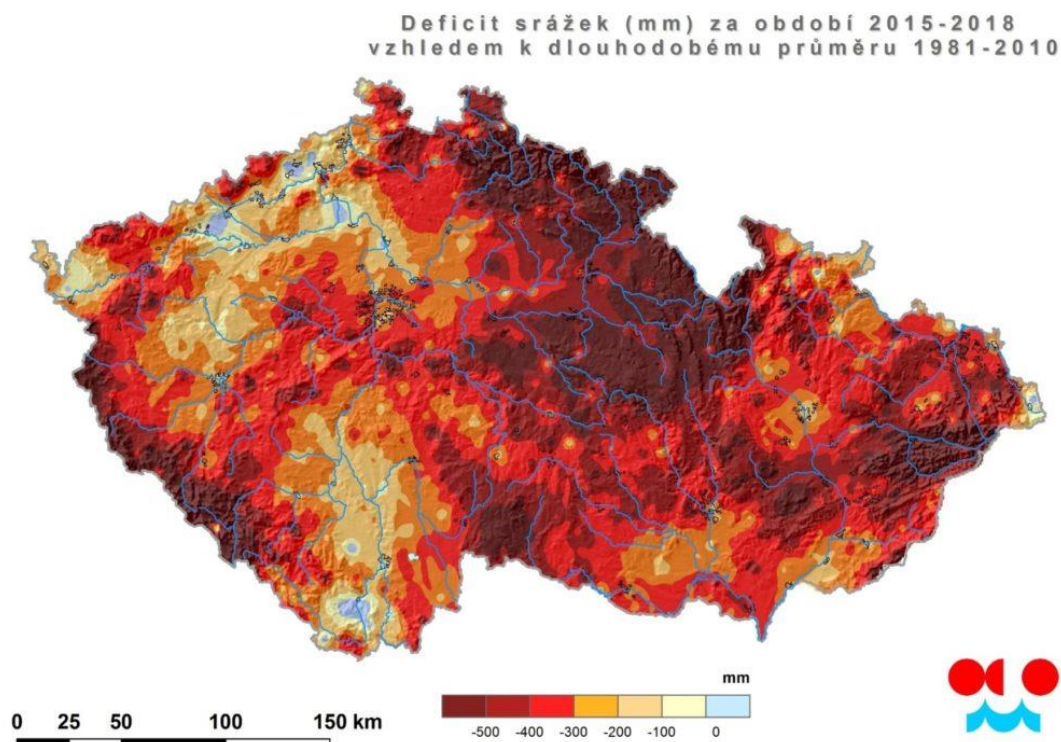
Podle bioklimatologa Zdeňka Žaluda z projektu InterSucho způsobuje problémy českého zemědělství se suchem změna klimatu, která může mít vliv až ze 70 % a z 30 % stav krajiny. Podle modelů a dosavadního měření by se zatím tendence globálního oteplování neměla měnit, a proto je důležité začít přemýšlet o změně stávající rajónizace zemědělství v regionech, kde nebudou tak ideální podmínky, jako byly dříve. Vhodnější pro zemědělskou výrobu by tak mohla být Vysočina, a proto by tam dávalo smysl do zemědělství více investovat. Naopak na jižní Moravě, kde už nyní sucho způsobuje velké problémy, bude nutné přejít na pěstování plodin, které lépe snášejí sucho. Je potřeba se dané situaci a očekáváním přizpůsobit, jelikož poslední roky jsou velice teplé a zřejmě tomu tak bude i nadále. Toto se týká především zemědělců a lesníků. Z důvodu oteplování je důležité pěstování dané situaci přizpůsobit. S vyššími teplotami začíná jaro dříve, vegetační doba má delší trvání než obvykle a z tohoto důvodu dochází k dřívějšímu nedostatku vody v půdě a může nastat sucho. Dochází i k vyššímu riziku jarních mrazíků a množí se noví škůdci (Přibík 2020).

Na území ČR je od 80. let minulého století pozorován prudký nárůst teploty vzduchu. V současné době je tendence vyšších teplot ještě intenzivnější, například v roce 2018 byly naměřeny nejvyšší teploty za celé období měření a tím byly překonány i velmi teplé roky 2014 a 2015. V roce 1996 byly naposledy naměřeny podprůměrné teploty. Průměrné roční teploty v roce 2014 až 2018 se zvýšily o necelé 2 °C, konkrétně na 9,2 °C, oproti období let 1961 až 1990, kdy průměrná roční teplota v ČR dosahovala 7,5 °C. V těchto zmíněných

letech se v kombinaci s nižšími a nevhodně rozloženými srážkami vyskytlo sucho. Za posledních 4,5 let je v České republice průměrný deficit srážek 400 mm. Z důvodu vyšších teplot, které zvyšují intenzitu vypařování, může nastat období zasahující úplně všechny, převážně potom lidi pracující v přírodě.

Sucho má velký negativní dopad pro krajinu i zemědělství v jakémkoliv ročním období. V zimě například v podobě nedostatečné sněhové pokrývky a rizika vymrzání, takže ke konci zimního období nemá co odtávat a půda není doplňována vodou. S tímto souvisí mělké podzemní vody dosycující se v průběhu zimy, k čemuž v posledních letech nedochází. Pokud sucho nastane už na jaře, může být zásadním problémem pro jarní, mělce kořenící plodiny nebo i pro ozimé plodiny, obzvláště pokud rostou na lehčích půdách. Sucho v létě může negativně zasáhnout například cukrovku, kukuřici, brambory, vinnou révu, trvalé travní porosty i jablka. Na podzim může mít sucho opravdu vážné důsledky pro zaseté ozimé plodiny, pokud se nedočkají srážek. Sucho je stresor, který běžně doprovází a vyvolává další nežádoucí faktory. Tím je v ČR například vyskytující se kůrovec. Sucho oslabilo smrkové porosty, které potom nejsou schopny se kůrovci bránit, a tak došlo k jeho kalamitnímu přemnožení.

Vzhledem k rychlejším změnám klimatu, než se přepokládalo, je možné očekávat suché roky v budoucnosti mnohem častěji. K současné situaci silného sucha mělo podle původních předpokladů dojít až v průběhu let 2030-2040. Děje se tak ale už o několik let dříve. Ukázkovým příkladem jsou extrémní sucha v letech 2015 a 2018. Na obrázku 2 je znázorněn deficit srážek právě za období 2015-2018 vzhledem k dlouhodobému průměru 1981-2010 (Žalud 2019).



Obrázek 2 - Mapa České republiky znázorňující deficit srážek za období 2015-2018 vzhledem k dlouhodobému průměru 1981-2010 (Žalud 2019)

3.6 Příčiny sucha

Sucha sužovala lidstvo po většinu naší historie a donedávna to byly často přírodní jevy vyvolané cyklickými vzorci počasí, jako je množství vlhkosti a tepla vzduchu, země a moře. Teploty oceánu do značné míry určují globální povětrnostní vzorce, včetně suchých a mokrých podmínek na pevnině, a dokonce i malé kolísání teplot může mít na klimatické systémy obrovský vlnový efekt. Výzkumy ukazují, že dramatické a dlouhodobé změny teploty v severním Pacifiku a v severním Atlantiku přímo odpovídají extrémním povětrnostním modelům na zemi, včetně přetrvávajících such v severní Americe a východním Středomoří. Přičemž poslední z nich bylo označeno za nejhorší sucho v regionu za posledních 900 let. Kolísající teploty oceánu mohou za povětrnostní jevy El Niño a La Niña, přičemž La Niña je proslulá tím, že vysychala jižní USA. Mezitím teplejší povrchové teploty na zemi vedou k většímu odpařování vlhkosti z půdy, což může zvýšit dopad sucha.

Distribuce srážek po celém světě je také ovlivněna tím, jak vzduch cirkuluje atmosférou. Když dojde k anomálii povrchových teplot, zejména nad mořem, změní se vzorce cirkulace vzduchu, které mění jak a kde srážky dopadají po celém světě. Nové povětrnostní vzorce mohou narušit dodávku vody a její poptávku ze synchronizace, jako je tomu v případě, kdy dřívější než obvyklé tání sněhu sníží množství vody dostupné pro plodiny v létě.

Půdní vlhkost může ovlivnit tvorbu mraků a tím i srážky. Když se voda z vlhké půdy vypařuje, přispívá to k tvorbě dešťových mraků, které vodu vracejí zpět na Zemi. Když je půda sušší než obvykle, vlhkost se stále vypařuje do atmosféry, ale ne v dostatečném množství pro vytvoření dešťových mraků. Rozpálená půda odpařuje dodatečnou vlhkost a dále zhoršuje podmínky sucha. Zatímco sucho se vyskytuje přirozeně, lidská činnost, od používání vody po emise skleníkových plynů, má stále větší dopad na větší pravděpodobnost a intenzitu sucha.

Změna klimatu, konkrétně globální oteplování, má dopad na sucho dvěma základními způsoby. Rostoucí teploty obecně způsobují, že mokré oblasti jsou vlhčí a suché oblasti sušší. Pro vlhčí oblasti absorbuje teplý vzduch více vody, což vede k vyšším srážkám. V sušších oblastech však teplejší teploty způsobují, že se voda rychleji vypařuje. Kromě toho změna klimatu mění rozsáhlé vzorce atmosférické cirkulace, což může vychýlit bouřky mimo jejich typické dráhy. To může zase zvětšit extrémy počasí, což je jeden z důvodů, proč klimatické modely předpovídají již vyprahlý americký jihozápad a Středozemní moře bude i nadále sušší.

Sucho často odráží nerovnováhu v zásobování vodou a poptávce po ní. Rozmach regionálního obyvatelstva a intenzivní využívání zemědělské vody mohou zatěžovat vodní zdroje, dokonce naklonit měřítko natolik, aby se hrozba sucha stala skutečností. Jedna studie odhaduje, že od roku 1960 do roku 2010 zvýšila lidská spotřeba vody frekvenci sucha v Severní Americe o 25 procent. Kromě toho, jakmile se sníží dešťové srážky a drží se sucho, přetrvávající poptávka po vodě ve formě zvýšeného čerpání z podzemních vod, řek a nádrží může vyčerpat cenné vodní zdroje, které mohou trvat roky, než se doplní a trvale ovlivní budoucí dostupnost vody. Mezitím může poptávka po vodě z jezer a řek, zejména ve formě zavlažování a přehrad pro vodní elektrárny, vést ke snížení nebo vysušení pramenných vodních zdrojů, což může přispět k suchu v jiných regionech.

Když stromy a rostliny uvolňují vlhkost do atmosféry, vytvářejí se mraky a vrací vlhkost do půdy jako déšť. Pokud ale zmizí lesy a vegetace, je k dispozici méně vody

k napájení vodního cyklu, čímž jsou celé regiony náchylnější k suchu. Mezitím může odlesňování a další špatné způsoby využívání půdy snížit její kvalitu a snížit schopnost půdy absorbovat a zadržovat vodu. V důsledku toho půda rychleji vysychá (což může vyvolat zemědělské sucho) a doplní se méně podzemní vody (což může přispět k hydrologickému suchu). Odborníci se domnívají, že „dust bowl“ třicátých let byla z velké části způsobena špatnými zemědělskými praktikami spojenými s ochlazováním Tichého oceánu a oteplováním Atlantiku o pouhých několik desetin stupně.

Globální teploty se jednoznačně zvýšily a teplejší podmínky vyvolávají extrémní počasí včetně silného sucha. Teplejší podmínky také redukují sněhovou pokrývku, která v mnoha regionech představuje klíčový zdroj zásobování vodou a přirozené akumulace vody. Regionálně se nejsušší části Země stávají ještě sušší, zatímco nejvlhčí části zase vlhčí. Proto některé oblasti světa, jako je jižní Evropa a západní Afrika, trpěly od 50. let 20. století na delší a intenzivnější sucha, zatímco v jiných regionech, jako je střední Severní Amerika, bylo sucho méně časté nebo méně intenzivní (Denchak 2018).

3.6.1 Změna klimatu

Mezi doprovázející úkazy našeho klimatu spadá sucho, které je nutné brát v potaz v zemědělské praxi i vodním hospodářství. Intenzita sucha může být jen v podobě krátkých přísušků, ale mohou nastat i suchá období trvající několik měsíců, doprovázené nízkým úhrnem srážek. V různých oblastech ČR se důsledky klimatické změny projevují s odlišnou intenzitou, ale vždy je důležité zachovávat myšlenku trvale udržitelného rozvoje a účinně se přizpůsobovat dopadům klimatických změn. Jinak se nepodaří zachovat životní prostředí a krajinu pro následující generace. Významně stoupl počet velice horkých dnů i nocí, což negativně ovlivňuje lidské zdraví a zároveň i přírodu. Množství dlouhých dnů bez významných srážek ve spojení s narůstající intenzitou srážek způsobuje zvýšení počtu hydrometeorologických extrémů v České republice, jimiž jsou období sucha a povodně. Za poslední dvě dekády bylo na našem území zaznamenáno 13 těchto extrémů (Zahradníček et al. 2016).

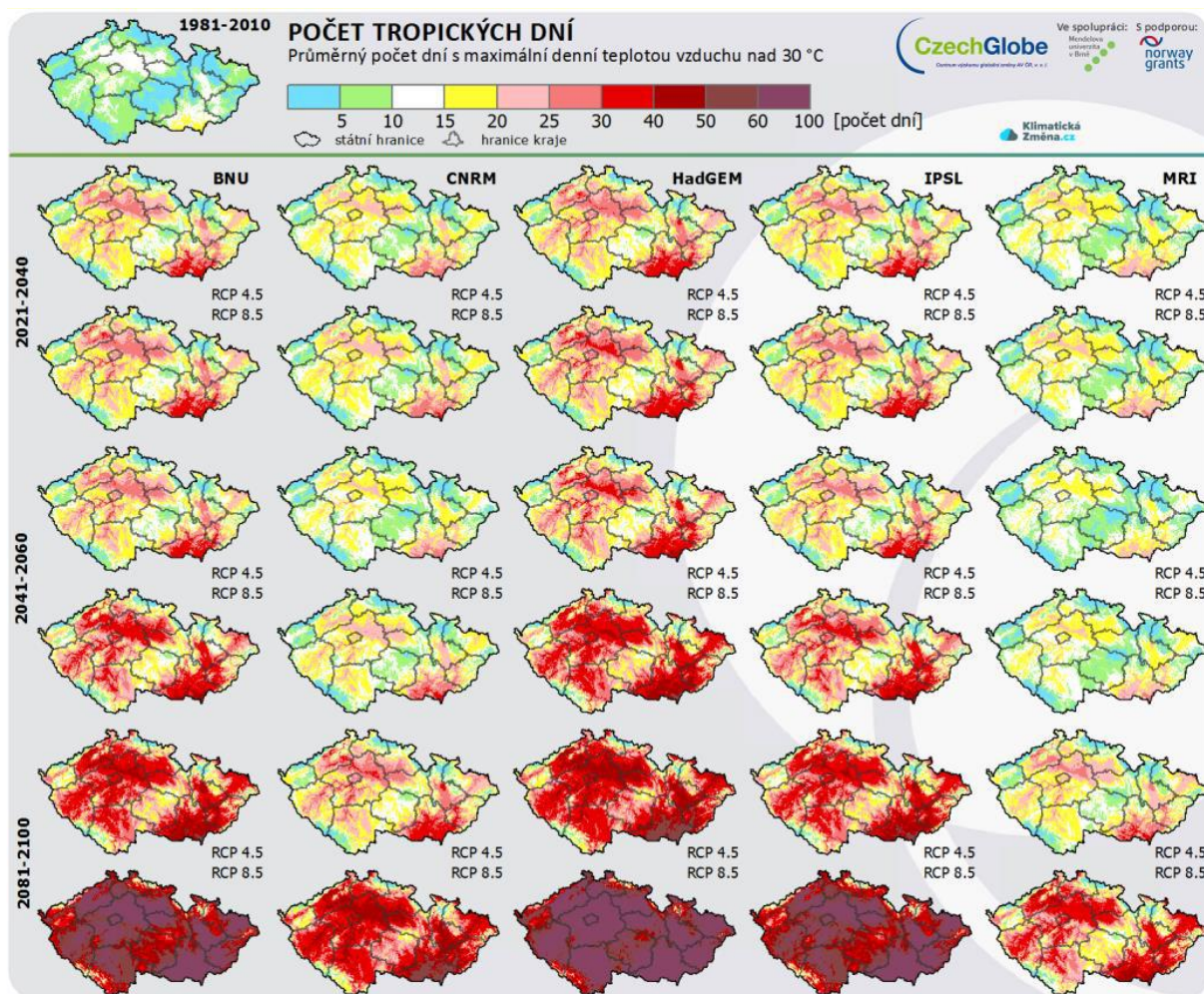
Projevem změny klimatu je globální oteplování, které má vliv na srážky. Zvýšené zahřívání vede k většímu odpařování a sušení povrchu, čímž se zvyšuje intenzita a doba trvání sucha. Modely projektující tyto vzorce srážek se příliš nezmění a suché oblasti budou ještě sušší (obecně v subtropích) a mokré oblasti se budou stávat stále vlhčími, zejména ve středních a vyšších zeměpisných šířkách. Navíc globální oteplování vede ke zvýšení rizika tepelných vln spojených se suchem. Jakmile se jednou půdní vlhkost vyčerpá, toto zahřívání dále přispěje ke zvýšení teploty a vadnutí rostlin (Potop et al. 2014).

Celosvětové klimatické změny mají výrazný dopad jak na přírodu, tak i na činnost člověka, je tedy potřeba se přizpůsobit a připravit na možné změny. Kolísání teploty vzduchu, růst četnosti hydrometeorologických extrémů a rozložení srážek jsou hlavními projevy změny klimatu. Klimatické změny probíhaly v průběhu celé historie planety Země, takže v tomto ohledu nejde o nic nového. V oblasti Severního Atlantiku došlo v období 950-1250 n.l. ke středověkému teplotnímu optimu, které bylo charakteristické výrazným oteplením podnebí. Po této etapě došlo k další výjimečné klimatické situaci. Nastala tzv. Malá doba ledová, která přetrvávala od 14.-19. století, přičemž její vyvrcholení nastalo v 17. století. Za posledních

2000 let tak šlo o nejchladnější období. Nicméně od 80. let minulého století dochází k výraznému růstu teploty vzduchu, s čímž se do té doby nikdo nesetkal. To ovlivňuje chování rostlin, zvířat a také podmínky pro lidskou společnost. V České republice jsou srážky časově a prostorově variabilní z důvodu atmosférické cirkulace, kdy je úhrn srážek závislý na určitém typu synoptické situace. Na prostorovou proměnlivost působí orografické vlivy, ke kterým se řadí například rostoucí úhrn srážek se zvyšující se nadmořskou výškou a také vliv expozice. Na návětrných svazích totiž bývá větší množství srážek než na závětrných.

Posledních několik let počet dnů bez srážek i celých bezsrážkových období přibývá a zároveň také roste množství intenzivních srážek. To znamená, že buď nepší vůbec, nebo dochází k velmi intenzivním a krátkým deštům (většinou ve spojitosti s bouřkou), což přispívá ke zvýšení rizika eroze a zároveň neschopnosti vynahradiť nedostatek srážek z předchozích bezsrážkových období. Vhodnou ukázkou je rok 2014, kdy v průběhu roku v České republice spadl běžný úhrn srážek, ale i tak došlo ke dvěma epizodám sucha a dvěma epizodám povodní. I do budoucna se předpokládá, že nedojde ke změně v průměru množství srážek, ale v jejich rozprostření.

Podle globálních modelů dojde v období 2021-2050 především k úbytku zimních srážek. Již posledních pár let dochází k suchým zimám a poklesu množství sněhové pokrývky. Následkem těchto okolností dochází k vývoji sucha v dalších měsících. Mezi průměrnými hodnotami by se náznak klimatických změn mohl snadno přehlédnout, tudíž je vhodné se zabírat i různými indexy extremity. Tím může být například množství tropických dní. Jako tropický je možné označit takový den, kdy je dosažena či překročena teplota 30 °C. V České republice docházelo dříve k tropickým dnům pouze párkrát za celý rok, ale za posledních dvacet let se jejich počet prudce zvyšuje. Takto zvýšené teploty mohou být velmi nepříjemné pro lidi a zároveň i pro přírodu. Z důvodu intenzivnějšího odpařování je krajina rychleji vysušována. V období let 2003-2015 se množství těchto dní dvojnásobně zvýšilo ve srovnání s obdobím šedesátých let minulého století. Například v Polabí či na území moravských nížin, tedy místech s významnou činností v zemědělství, stoupl počet tropických dnů nejvíce. Před padesáti lety se tropické dny nevyskytly v oblastech hor, avšak v poslední době se objevují i zde. Vysoké teploty se vyskytují hlavně ve městech. Je zde i vyšší počet tropických dní, které potom sužují pochopitelně mnohem více lidí než mimo města. Například v průběhu let 1981-2010 bylo ve velkých městech (Praha, Brno, Plzeň) pozorováno přibližně 12 tropických dnů za rok. Prudký růst tropických dní je předpovídán na konec 21. století, kdy je dle emisního scénáře (obrázek 3) odhadováno 20 až 40 dní ročně. Například rok 2015 byl velmi extrémní, teplota běžně dosahovala hranice 30 °C, někdy i více jak 35 °C. V Praze bylo 35 tropických dnů a v oblastech Jižní Moravy dokonce i přes 40 tropických dnů. Takové množství tropických dnů se předpovídalo až pro konec 21. století.



Obrázek 3 - Predikce počtu tropických dní - emisní scénář. Průměrný počet dní s maximální denní teplotou vzduchu nad 30 °C (Zahradníček et al. 2016)

3.7 Opatření proti suchu v ČR

Nemůžeme ovládat počasí, ale můžeme snížit náš podíl na změně klimatu. Snížením plýtvání vodou a efektivnějším využíváním vody se můžeme připravit a možná dokonce omezit budoucí období sucha.

Dopad změny klimatu, včetně silnějšího sucha, lze zmírnit pouze tehdy, když se země, města, podniky a jednotlivci přesunou od používání fosilních paliv způsobujících oteplování klimatu k čistším obnovitelným zdrojům energie. Pařížská dohoda byla přijata téměř všemi státy v roce 2015 a jejím cílem je omezit oteplování Země v příštím století pod hranici 2 stupně Celsia, nebo 1,5 stupně, je-li to možné. Pařížská dohoda tímto stanovila rámec pro celosvětová opatření v oblasti klimatu. Současné závazky, které země přijaly v rámci paktu, se však nepovažují za dostatečné k omezení globálního oteplování pod hranici 2 stupňů Celsia. Bude úspěšný pouze pokud země překročí své závazky nad rámec paktu, a to včetně Spojených států. Trumpova administrativa však namísto vůle většiny Američanů vychází vstříc velkým znečišťovatelům a zavázala se ke stažení země z dohody, jakož i od klíčových domácích politik - od Plánu čisté energie po standardy palivové hospodárnosti v automobilech, které by měly snížit uhlíkové emise. Naštěstí americké státy a města, jakož i více než dva tisíce amerických podniků, institucí a univerzit, přijímají ořeže proti změně

klimatu snížením emisí a zvyšováním energetické účinnosti. Je zásadní, aby tak učinily, protože výzkum naznačuje, že i splnění nejambicióznějších cílů dohody sníží, nikoli vyloučí pravděpodobnost extrémních povětrnostních událostí.

Stárnoucí infrastruktura - vadné měřicí přístroje, rozpadající se potrubí, netěsné vodovody - stojí Spojené státy odhadem na 2,1 bilionu galonů ve ztrátě pitné vody každý rok. (Je to dost na to, aby se Manhattan utopil v 91,44 metrech vody). Mezitím jeden netěsný kohoutek, uvolňující pouze tři kapky za minutu, ztrácí za rok více než 378,5 litrů vody. Státy, města, vodohospodářské podniky, firmy a občané mohou omezit plýtvání vodou investováním do strategií inteligentních pro klima. Patří mezi ně opravy netěsné infrastruktury (od inženýrských sítí až po kuchyňský kohoutek), zvýšení účinnosti vody pomocí vodo a energeticky účinných technologií a spotřebičů (jako jsou pračky) a přijetí krajinného návrhu, který využívá rostliny odolné vůči suchu a účinné zavlažovací techniky. V Kalifornii by tyto strategie samy o sobě mohly snížit spotřebu vody až o 60 procent. Pro jednotlivce existuje mnoho dalších způsobů, jak šetřit vodu.

Recyklovaná voda je hluboce vyčištěná odpadní voda, která může být použita pro nespočetné účely, od zavlažování krajiny (například zavlažování veřejných parků a golfových hřišť) až po průmyslové procesy (například poskytování chladicí vody pro elektrárny a ropné rafinerie) či doplňování zásob podzemní vody. Šedá voda - recyklovaná voda získaná z dřezů, sprchových odtoků a praček - může být použita například v domácnostech a podnicích jako užitková voda na zavlažování zahrady nebo trávníků. Recyklovaná voda může sloužit jako významný vodní zdroj, což snižuje poptávku po zdrojích jako jsou řeky, potoky, nádrže a zásoby podzemní vody. Podle kalifornského ministerstva vodních zdrojů má recyklace potenciál do roku 2030 zvýšit zásobování vodou ve státě až o 750 miliard galonů ročně.

Ve Spojených státech každý rok vyplavuje dlážděné povrchy a střechy, přes kanalizační systémy a do vodních toků, asi 10 bilionů galonů neupravené dešťové vody. Nejenže to způsobuje problémy se znečištěním (když se kontaminanty ze země vyplavují do řek, jezer a oceánů), ale také se snižuje množství dešťové vody, která se vsákne zpět do země, aby doplnila zásoby podzemní vody. Využití zelené infrastruktury - včetně zelených střech, výsadby stromů, dešťových zahrad, dešťových sudů, cisteren a propustné dlažby - může výrazně zvýšit zásobování vodou. Zachycování dešťové vody v městské jižní Kalifornii a pouze v oblasti San Francisco Bay by mohlo potenciálně zvýšit roční dodávky vody až o 205 miliard galonů.

Zemědělství je největším spotřebitelem dostupné sladké vody na Zemi, což představuje 70 procent z celého světa. Strategie pro lepší hospodaření s vodou v zemědělství se zaměřují na zvýšení účinnosti vody a snížení spotřeby. Patří mezi ně vylepšené zavlažovací techniky - jako je přechod od zaplavení na kapkové zavlažování, které samo o sobě může snížit spotřebu vody asi o 20 procent - stejně jako přesnější plánování zavlažování s přizpůsobeným množstvím vody pro různé fáze růstu plodin. Mezitím střídání plodin, bezorebné zpracování půdy (metoda pěstování plodin s minimálním narušením půdy) a používání krycích plodin pomáhají budovat zdraví půdy, což zase umožňuje půdě absorbovat a zadržovat více vody. Samotné použití krycích plodin pouze na polovině půdy používané k pěstování kukuřice a sójových bobů v 10 amerických, zemědělsky nejproduktivnějších státech, by pomohlo půdě ročně zadržet až bilion galonů vody (Denchak 2018).

V důsledku rostoucí poptávky po vodních zdrojích z důvodu růstu populace, urbanizace a zavlažovaného zemědělství, je optimalizace využívání omezené dostupné vody, zejména v systémech rostlinné výroby každým rokem kritičtější. Proto je za účelem řízení a zachování stále vzácnějších vodních zdrojů důležité prozkoumat různé metody, které zvyšují účinnost využívání vody a snižují její nadměrné používání. Znalost evapotranspirace plodin (ET) je jedním z nejdůležitějších faktorů při porozumění využívání vody v rostlinách, plánování zavlažování, správném řízení vodních zdrojů, produkci plodin a ochraně vody (Awal et al. 2020).

4 Metodika

Byly vypočteny hodnoty SPEI za období duben až září v období 1961–2018 pro 25 vybraných klimatologických stanic (tabulka 3; obrázek 4) rovnoměrně pokrývajících území České republiky.

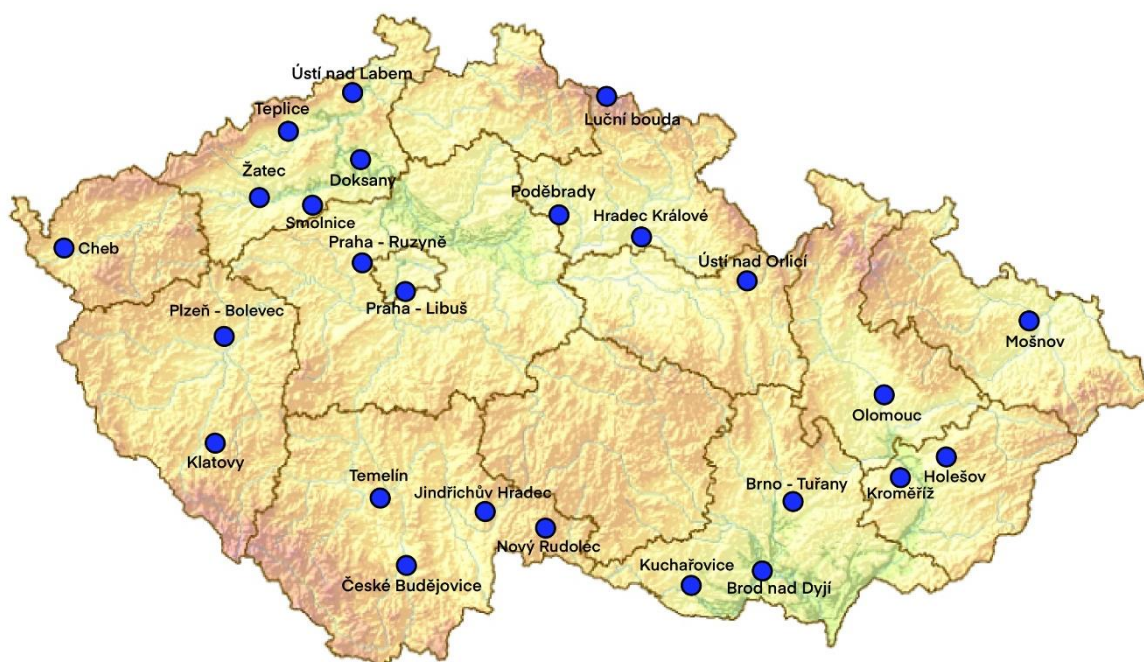
Nadmořská výška stanic se pohybuje od 158 do 1 300 m nad mořem. Vybrané stanice představují odlišné klimatické podmínky jak v nížinných, tak v horských regionech a odrážejí rozdíly v přímořských a kontinentálních povětrnostních režimech, které se vyskytují napříč celou Českou republikou.

Pro výpočet indexů SPEI byly využity denní úhrny srážek, maximální a minimální teploty vzduchu z databáze Českého hydrometeorologického ústavu na základě prostorového rozložení a úplnosti časových řad. Pro výpočet evapotranspirace byl využita metoda podle Hargreaves (Vicente-Serrana et al. 2010).

4.1 Podklady ke zhodnocení SPEI

			Geograf.souřadnice		
	Stanice	Indikativ	X	Y	Nadm.výška
1.	Holešov	B1HOLE01	686757,65	5466268,9	223
2.	Kroměříž	B1KROM01	672008,58	5461797,1	235
3.	Brod nad Dyjí	B2BROD01	612615,14	5414508,3	175
4.	Brno-Tuřany	B2BTUR01	623148,09	5445843,7	241
5.	Kuchařovice (Znojmo)	B2KUCH01	579568,1	5414807,3	334
6.	Temelín	C1TEME01	452079,39	5449650,4	503
7.	České Budějovice	C2CBUD01	461176,9	5422249,1	388
8.	Jindřichův Hradec	C2JHRA01	496901,14	5444754,2	478
9.	Lučňá Bouda	H1LBOU01	538426,02	5624377,1	1300
10.	Ústí nad Orlicí	H2USTI01	601966,38	5537407,2	557
11.	Hradec Králové	H3HRAD01	559867,31	5558719,3	278
12.	Poděbrady	H3PODE01	509543,5	5554261,2	196
13.	Klatovy	L1KLAT01	376854,08	5472243	430
14.	Plzeň-Bolevec	L1PLZB01	383854,79	5516363,7	328
15.	Cheb	L3CHEB01	313324,89	5549488	471
16.	Mošnov	O1MOSN01	724919,14	5509762,1	250
17.	Olomouc	O2OLOM01	665145,33	5493974,8	305
18.	Praha-Libuš	P1PLIB01	460370,6	5539642	303
19.	Praha-Ruzyně	P1PRUZ01	446759,19	5550045,5	374
20.	Nový Rudolec	P3NRUD01	459582,45	5497833,1	348
21.	Doksany	U1DOKS01	441084,83	5589983,3	158
22.	Smolnice	U1SMOL01	418552,17	5573582,2	305
23.	Teplice	U1TEPL01	418866	5612089,2	230
24.	Ústí nad Labem	U1ULK001	432258,72	5615049,5	375
25.	Žatec	U1ZATE01	396338,1	5577612,7	201

Tabulka 3 - Seznam meteorologických stanic s jejich geografickými souřadnicemi a nadmořskou výškou (ČHMÚ)

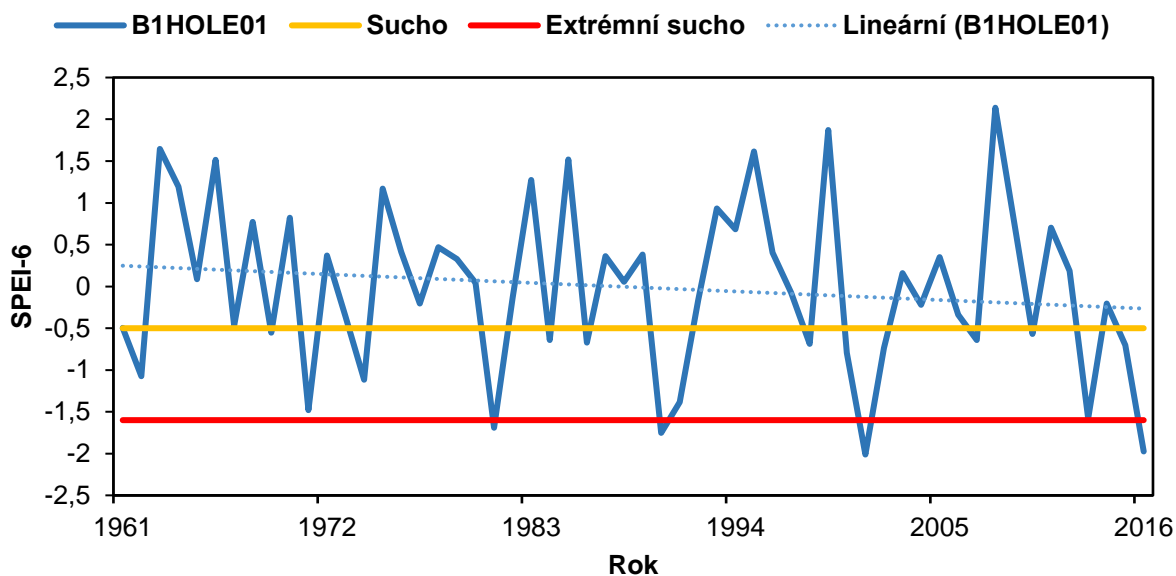


Obrázek 4 – Mapa meteorologických stanic, ze kterých jsou získána data do této bakalářské práce (vlastní zpracování)

Spočítané hodnoty SPEI jsou za vegetační období od dubna do září od roku 1961 až po rok 2018. V průběhu tohoto období byly porovnávány a hodnoceny rizika výskytu sucha a extrémního sucha. Pokud hodnoty SPEI klesnou pod hranici $-0,5$ už se jedná o sucho. Extrémní sucho nastává, pokud SPEI klesne pod hranici $-1,6$. V jednotlivých grafech jsou znázorněny hodnoty SPEI z vybraných meteorologických stanic za období 1961-2018.

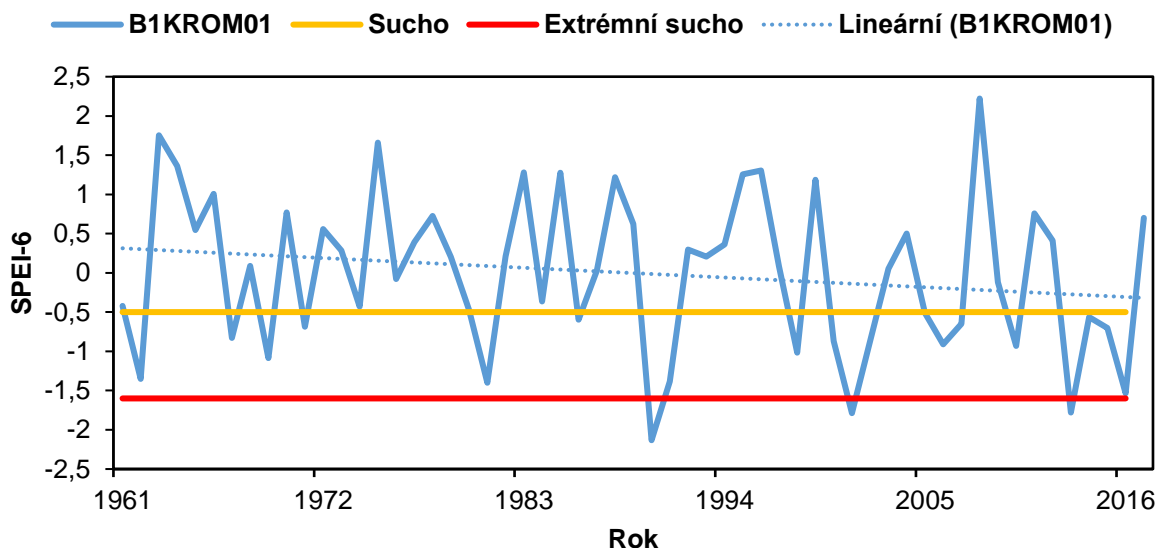
5 Výsledky

První analyzovanou meteorologickou stanicí je Holešov v nadmořské výšce 223 m. Extrémní sucho se zde vyskytovalo v roce 1983, v roce 1992, 2003 a 2018. K hranici extrémního sucha se zároveň blížil i rok 2015 s hodnotou SPEI -1,5. Avšak nejextrémnějším rokem zde byl 2003 s hodnotou -2. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



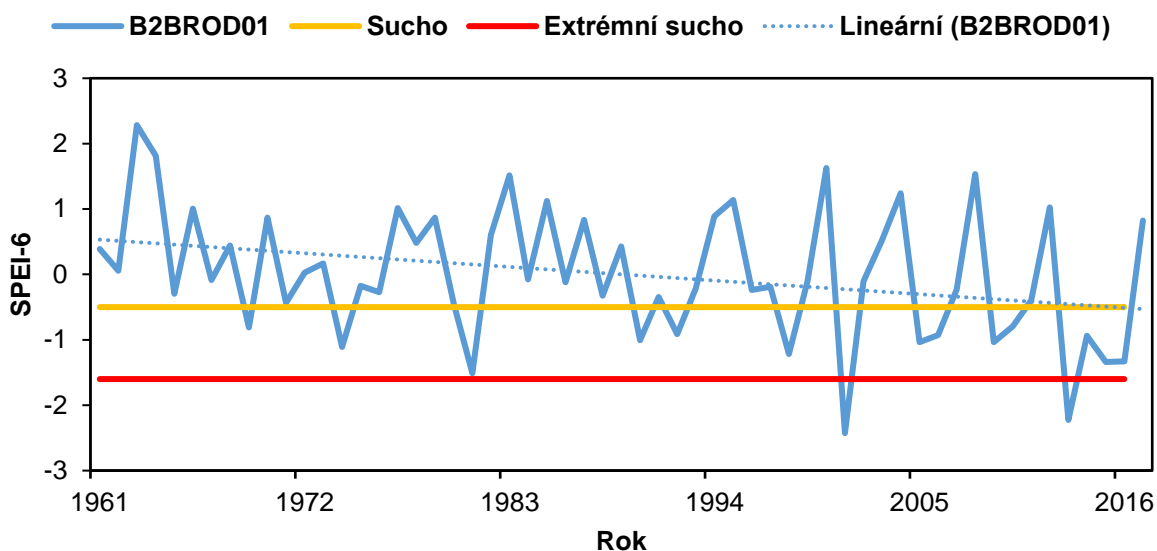
Obrázek 5 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Holešov

Další meteorologickou stanicí je Kroměříž v nadmořské výšce 235 m. Zde byl nejextrémnějším rokem rok 1992 s hodnotou SPEI -2,13. A poté ještě roky 2003, 2015 a 2018 s hodnotami kolem -1,7. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



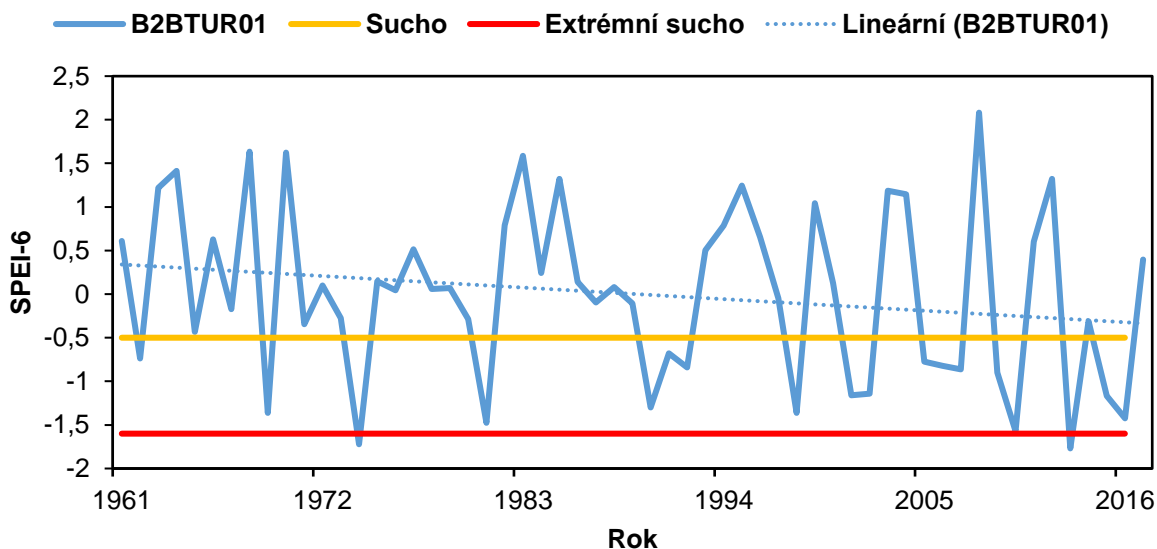
Obrázek 6 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Kroměříž

Na meteorologické stanici Brod nad Dyjí v nadmořské výšce 175 m, se v průběhu vegetace vyskytovalo pouze občas slabší sucho, ale až rok 2003 a 2015 s hodnotami pod -2 byly nejextrémnějšími roky. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



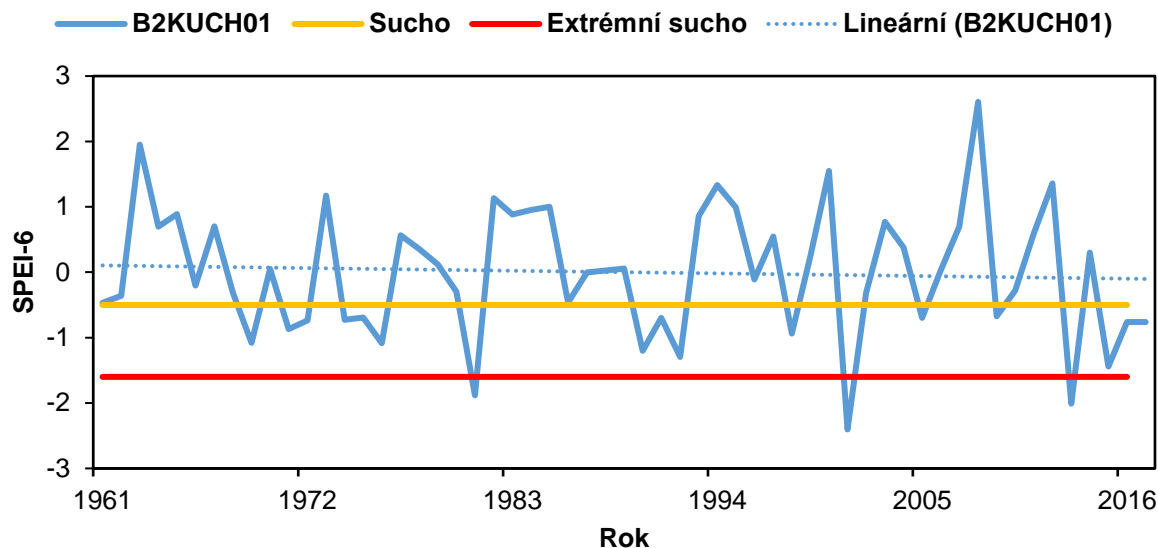
Obrázek 7 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Brod nad Dyjí

Stanice Brno-Tuřany s nadmořskou výškou 241 m. Zde se mezi roky s extrémním suchem řadil rok 1976 a poté rok 2015 s hodnotami pod -1,7. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



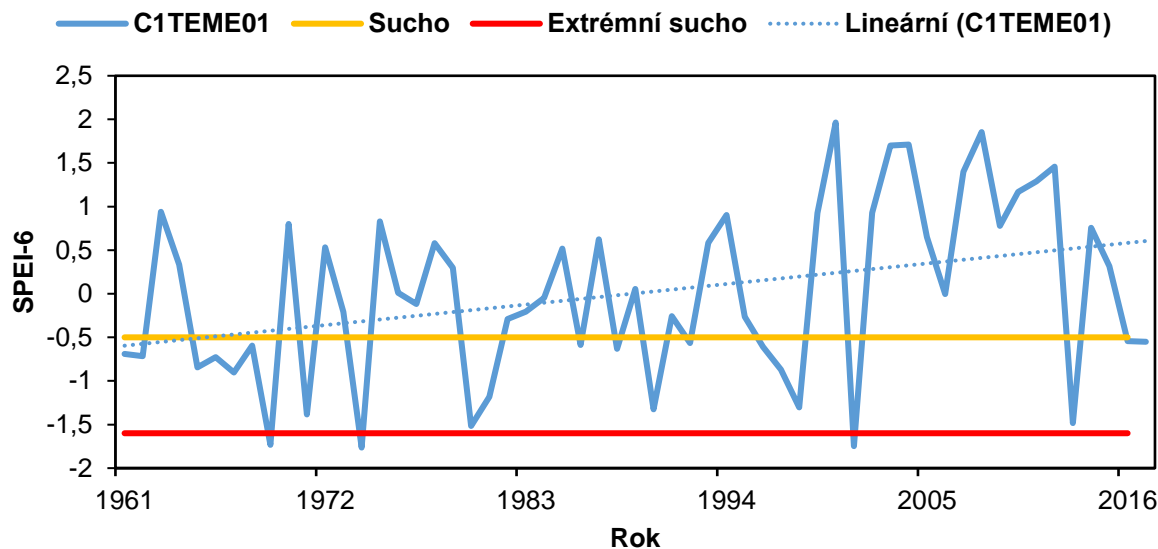
Obrázek 8 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Brno - Tuřany

Na meteorologické stanici Kuchařovice, okres Znojmo s nadmořskou výškou 334 m, byla pro rok 1983 vypočítána hodnota SPEI -1,88, což už řadilo tento rok k extrémně suchým rokům, ale poté rok 2003 s hodnotou dokonce -2,4 byl nejextrémnějším rokem na této stanici. V roce 2015 bylo také velmi extrémní sucho s hodnotou SPEI -2. Z grafu není patrný významný trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech zde nebyl pozorován.



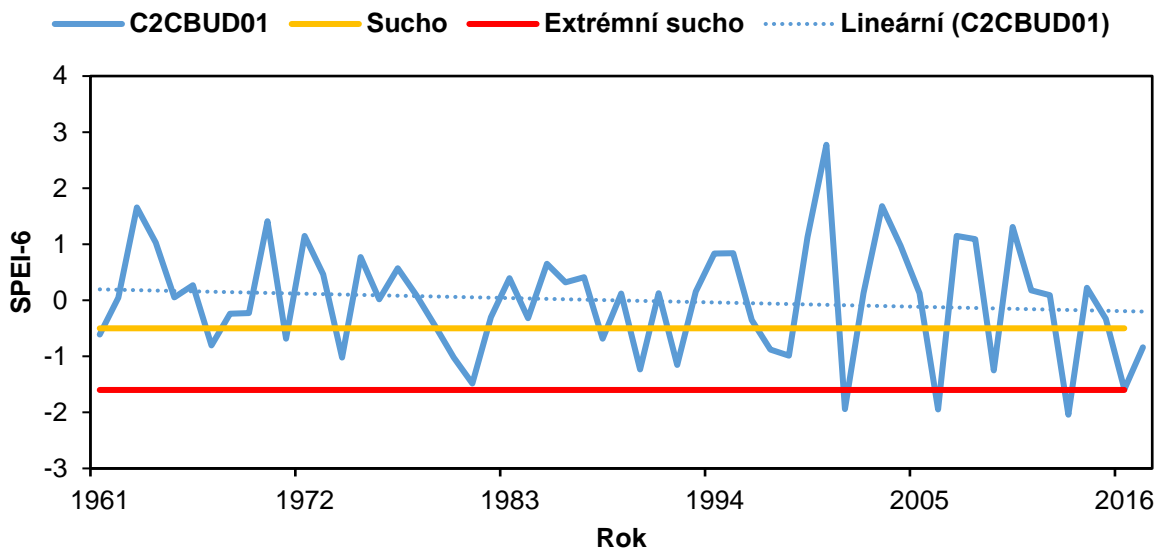
Obrázek 9 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Kuchařovice

Na meteorologické stanici Temelín v nadmořské výšce 503 m bylo za dobu měření od roku 1961 nejextrémnější sucho v roce 1971, 1976 a 2003 s hodnotami SPEI pod -1,7. K hranici extrémního sucha se zároveň blížil i rok 2015 s hodnotou SPEI -1,48. Z grafu je patrný rostoucí trend indexu SPEI, tj. nedošlo zde k nárůstu sucha v posledních letech.



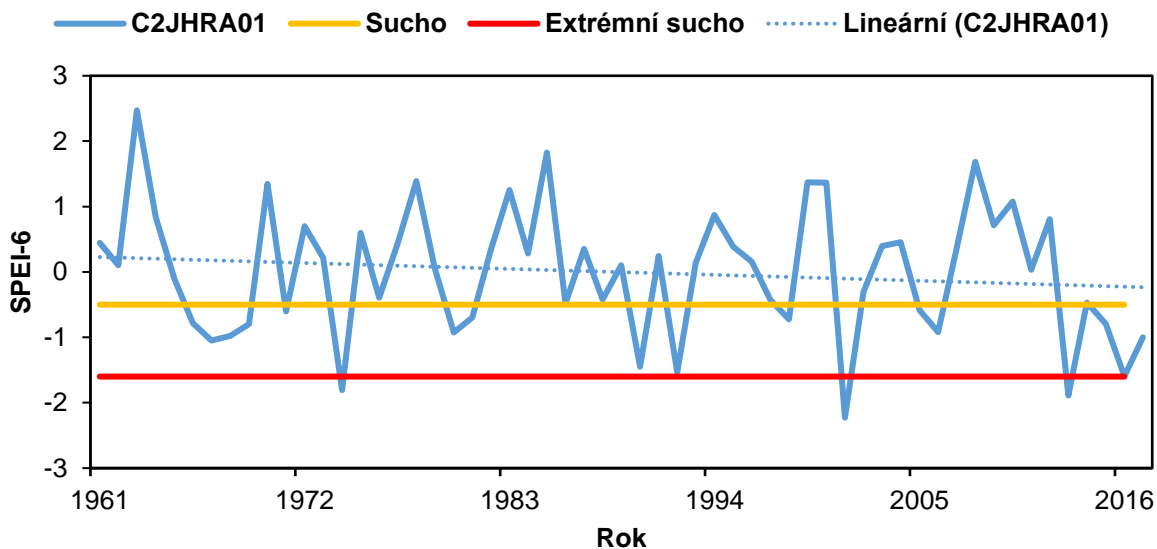
Obrázek 10 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Temelín

Na stanici České Budějovice, nacházející se v nadmořské výšce 388 m, se vyskytovalo extrémní sucho v letech 2003 s hodnotou SPEI -1,94. K hranici extrémního sucha se zároveň blíží i rok 1983 a 2018 s hodnotami SPEI pod -1,48. Avšak nejextrémnějším rokem byl velice suchý rok 2015 s hodnotou SPEI pod -2. Z grafu je patrný mírně klesající trend indexu SPEI, tj. mírný nárůst sucha v posledních letech.



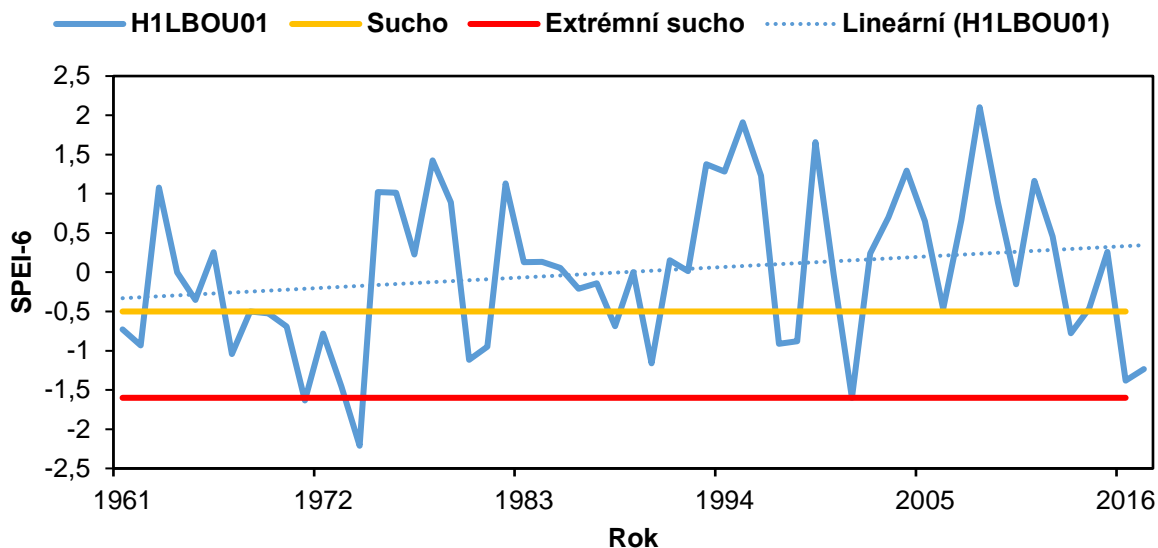
Obrázek 11 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici České Budějovice

Stanice Jindřichův Hradec, v nadmořské výšce 478 m, zaznamenala extrémní sucho v letech 1976 a 2015 s hodnotou pod -1,8. K hranici extrémního sucha se zároveň blíží i roky 1992 a 1994. Nicméně nejextrémnějším rokem byl suchý rok 2003 s hodnotou SPEI pod -2,22. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



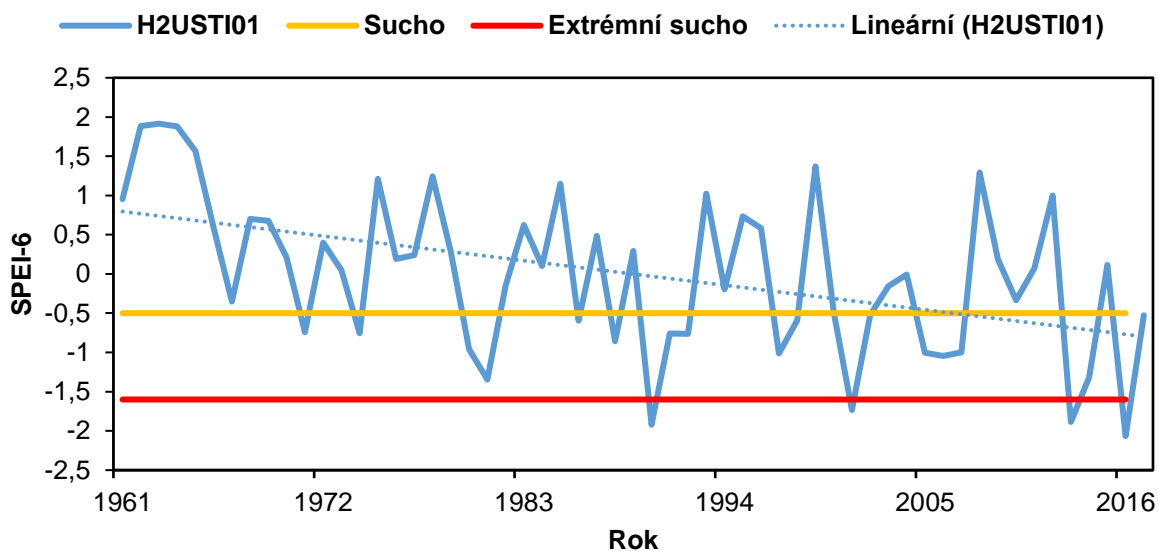
Obrázek 12 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Jindřichův Hradec

Na meteorologické stanici Luční Bouda, v nadmořské výšce 1300 m, bylo zaznamenáno extrémní sucho v letech 1973, 1976 a 2003. Rok 2003 se přiblížil k hranici extrémního sucha s hodnotou -1,59. Avšak největším suchým extrémem byl rok 1976 s hodnotou SPEI pod -2,21. Z grafu je patrný rostoucí trend indexu SPEI, tj. nedošlo zde k nárůstu sucha v posledních letech.



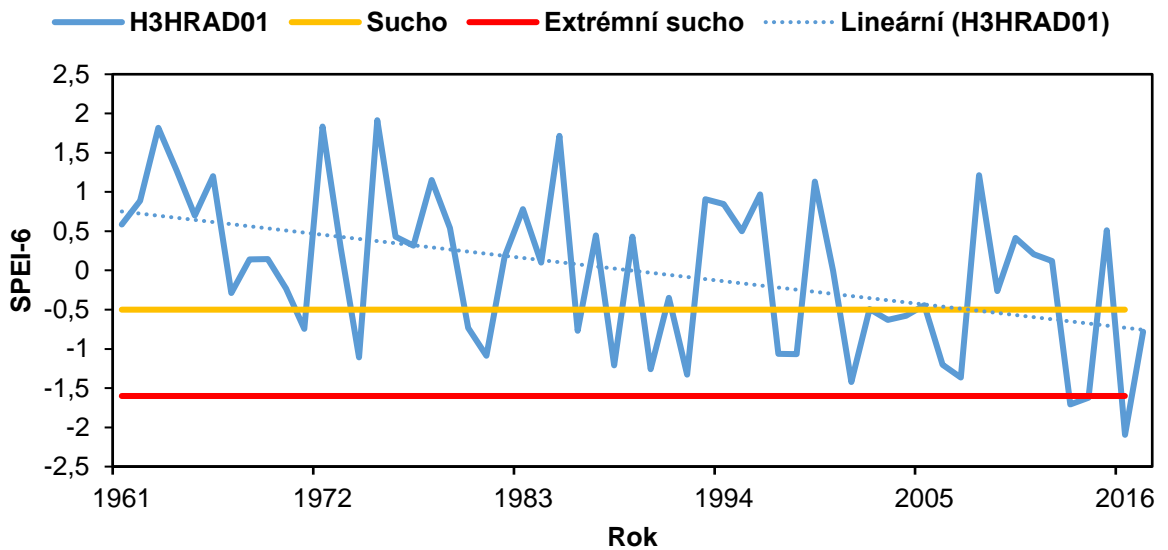
Obrázek 13 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Luční Bouda

Meteorologická stanice Ústí nad Orlicí, nacházející se v nadmořské výšce 557 m, zaznamenala extrémní sucho v roce 1992 (SPEI -1,92), 2003 (SPEI -1,73), 2015 (SPEI -1,88) a 2018. Nejextrémnějším rokem na této stanici byl rok 2018 s hodnotou SPEI pod -2,06. Z grafu je patrný výrazný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



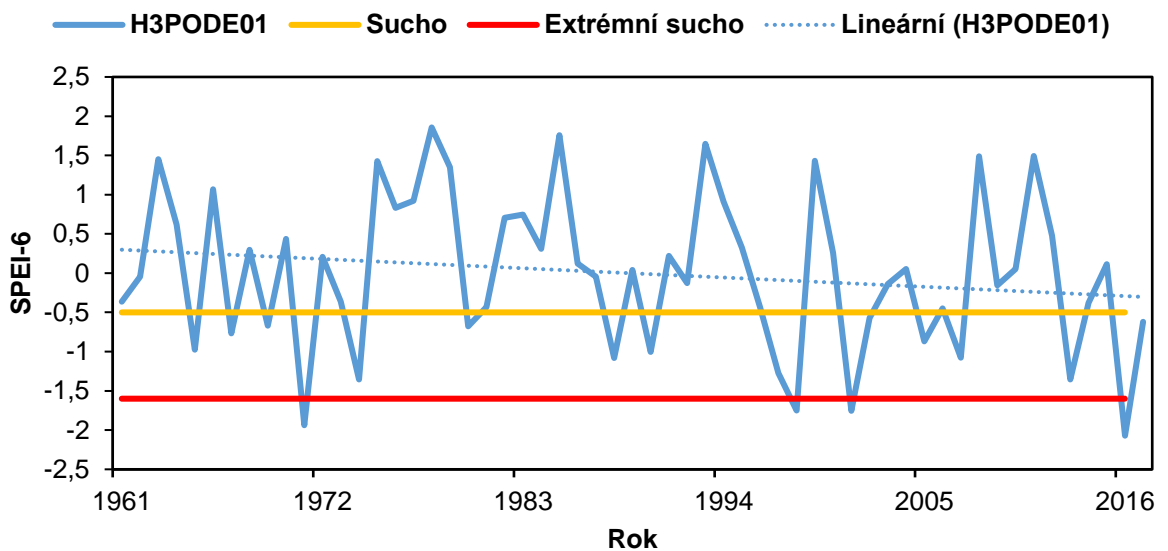
Obrázek 14 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Ústí nad Orlicí

Na stanici Hradec Králové, v nadmořské výšce 278 m, se od roku 1961 vyskytovaly spíše mírnější sucha a extrémní sucho přišlo s rokem 2015 (SPEI -1,7), poté hned další rok 2016 (SPEI -1,62) a největším extrémem byl rok 2018 s hodnotami SPEI -2,09. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



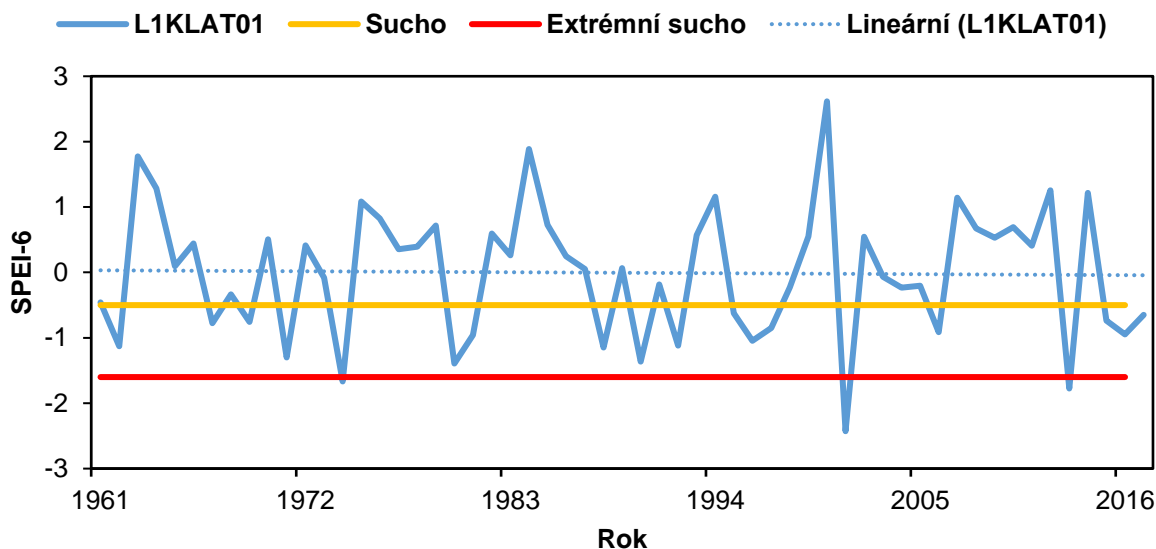
Obrázek 15 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Hradec Králové

Další meteorologickou stanicí jsou Poděbrady v nadmořské výšce 196 m. Mezi extrémní suché roky patřil rok 1973, 2000, 2003 s 2018. Rok 2000 a 2003 s hodnotami SPEI pod -1,7 a rok 1973 s hodnotou pod -1,93. Zde byl největším suchým extrémem rok 2018 s hodnotou SPEI -2,07. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



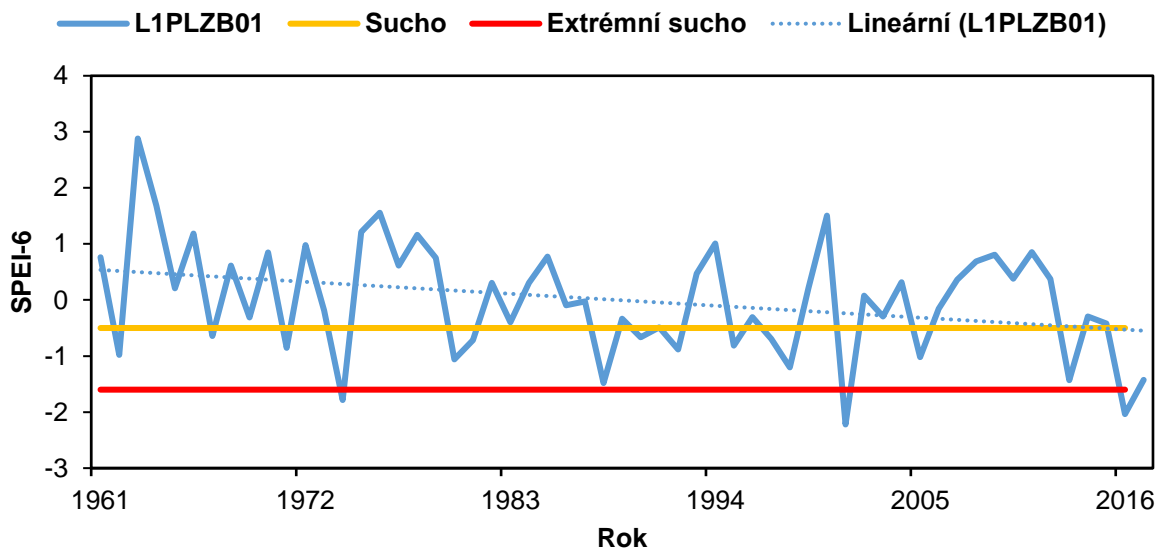
Obrázek 16 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Poděbrady

Stanice Klatovy, v nadmořské výšce 430 m, zaznamenala extrémní sucho v letech 1976, 2003 a 2015. Nicméně nejextrémnějším rokem byl suchý rok 2003 s hodnotou SPEI pod $-2,42$. Z grafu je patrný mírně klesající trend indexu SPEI, tj. nedošlo k nárůstu sucha v posledních letech.



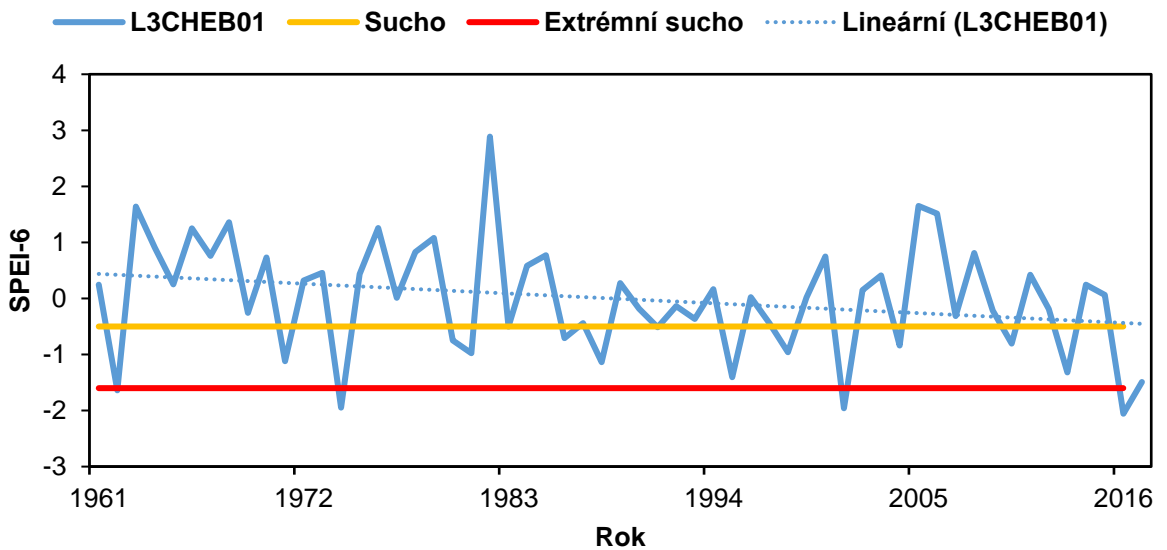
Obrázek 17 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Klatovy

Na meteorologické stanici Plzeň-Bolevec, v nadmořské výšce 328 m, se extrémní sucho vyskytovalo v roce 1976, 2003 a 2018. K hranici extrémního sucha se zároveň blížil i rok 2015 s hodnotou SPEI $-1,4$. Avšak nejextrémnějším rokem zde byl rok 2003 s hodnotou pod $-2,22$ a rok 2018 ($-2,03$). Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



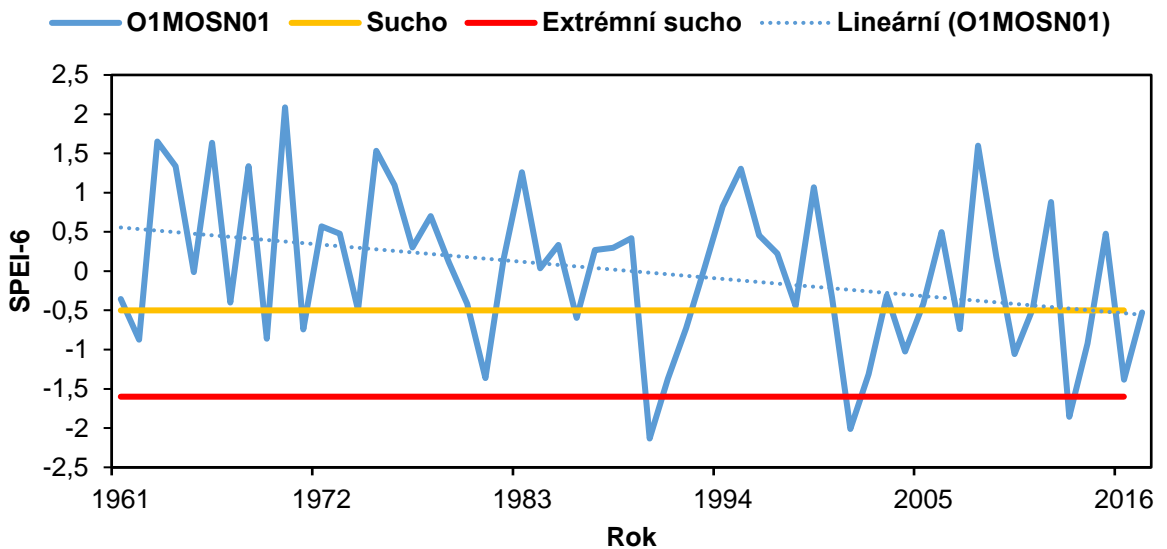
Obrázek 18 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Plzeň - Bolevec

Další meteorologickou stanicí je Cheb v nadmořské výšce 471 m. Extrémní sucho se zde vyskytovalo v letech 1964, 1976, 2003 a 2018, kdy hodnota SPEI byla v roce 1964 -1,63 a 1976 a 2003 s hodnotami pod -1,95. Nejextrémnějším byl však rok 2018 s hodnotou SPEI -2,05. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



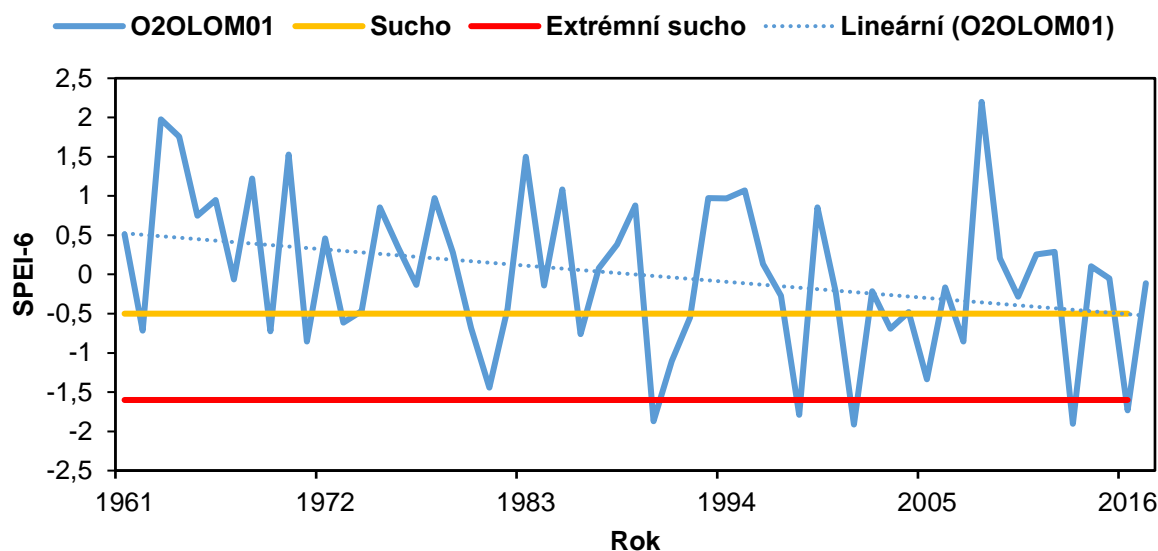
Obrázek 19 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Cheb

Na meteorologické stanici Mošnov, v nadmořské výšce 250 m, bylo zaznamenáno extrémní sucho v roce 1992, 2003 a 2015. Rok 2015 s hodnotou pod -1,85 a roky 1992 a 2003 s hodnotou SPEI dokonce až pod -2. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



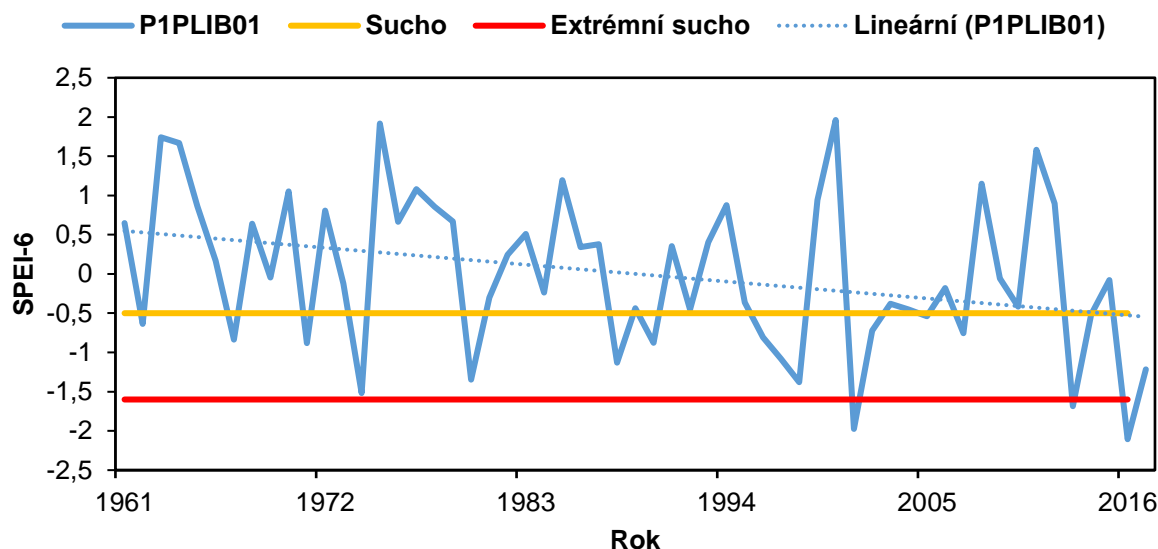
Obrázek 20 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Mošnov

Na meteorologické stanici Olomouc, v nadmořské výšce 305 m, bylo zaznamenáno hned několik extrémně suchých let. V průběhu vegetace bylo extrémní sucho zaznamenáno v roce 2018, poté rok 2000, 1992 a roky 2015 a 2003 od hodnot SPEI pod -1,7 do -1,9 (řazené sestupně). Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



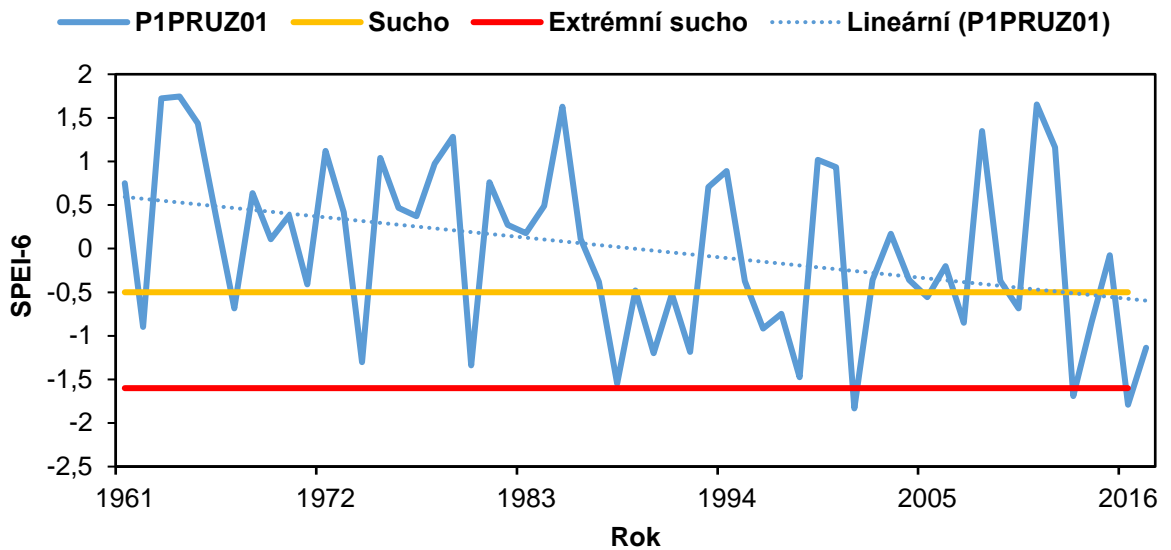
Obrázek 21 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Olomouc

Na stanici Praha-Libuš, nacházející se v nadmořské výšce 303 m, se vyskytovalo extrémní sucho v letech 2003, 2015 a 2018. K hranici extrémního sucha se přiblížil rok 1976 s hodnotou SPEI -1,51. Avšak mezi nejsušší roky patřil rok 2003 s hodnotou SPEI pod -1,97 a rok 2018 s hodnotou až pod -2,106. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



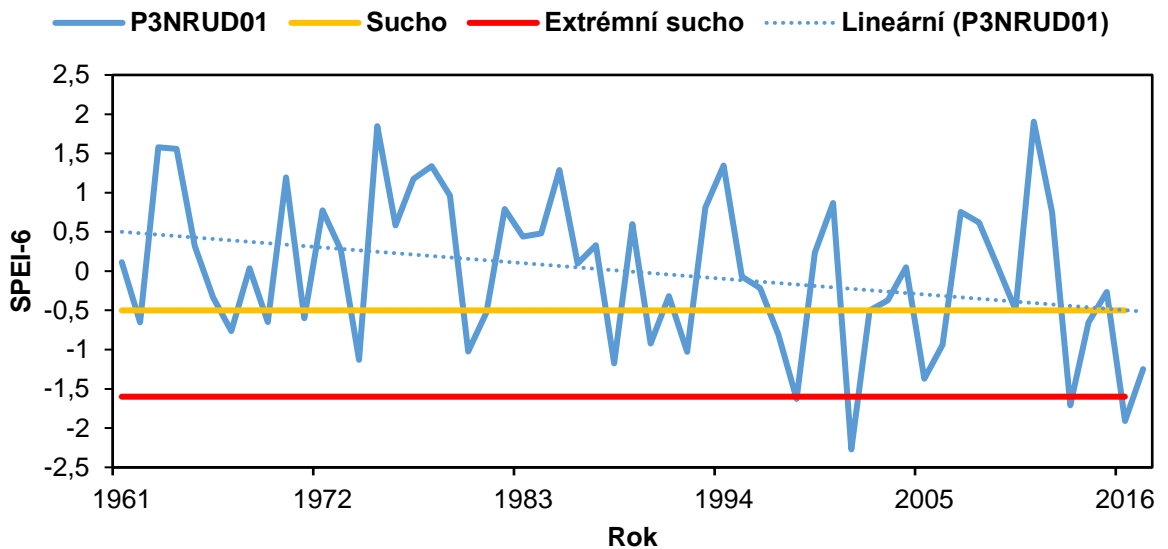
Obrázek 22 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Praha - Libuš

Stanice Praha-Ruzyně, v nadmořské výšce 374 m, zaznamenala extrémní sucho v letech 2003, 2015 a 2018. K hranici extrémního sucha se zároveň blížil i rok 1990 s hodnotou SPEI -1,54. Nicméně nejextrémnějším rokem byl suchý rok 2003 s hodnotou SPEI pod -1,83. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



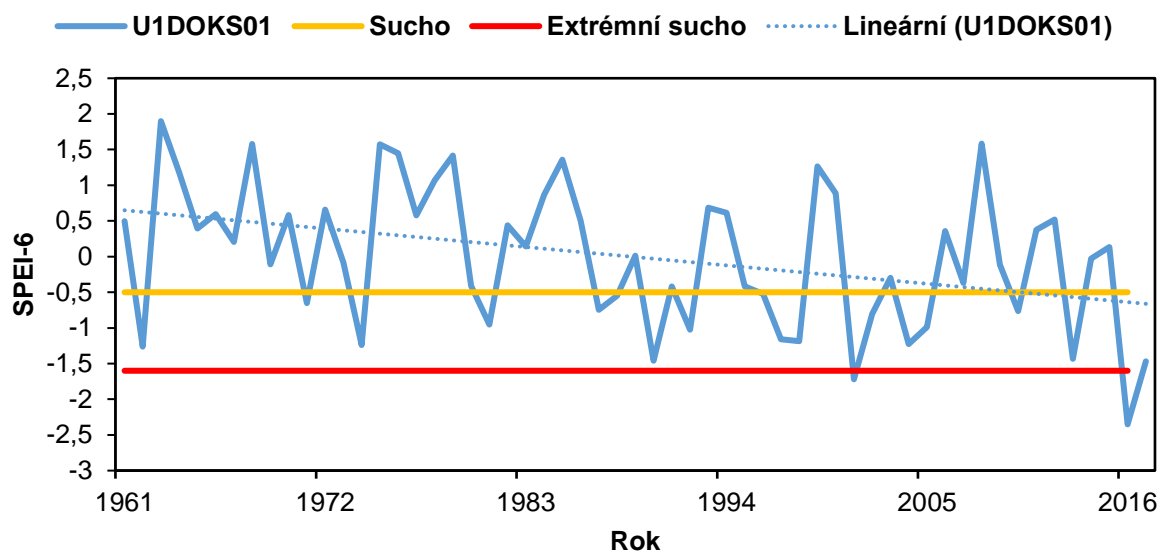
Obrázek 23 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Praha - Ruzyně

Meteorologická stanice Nový Rudolec, nacházející se v nadmořské výšce 348 m, zaznamenala extrémní sucho v roce 2000, 2003, 2015 a 2018. Nejextrémnějším rokem na této stanici byl rok 2003 s hodnotou SPEI pod -2,27. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



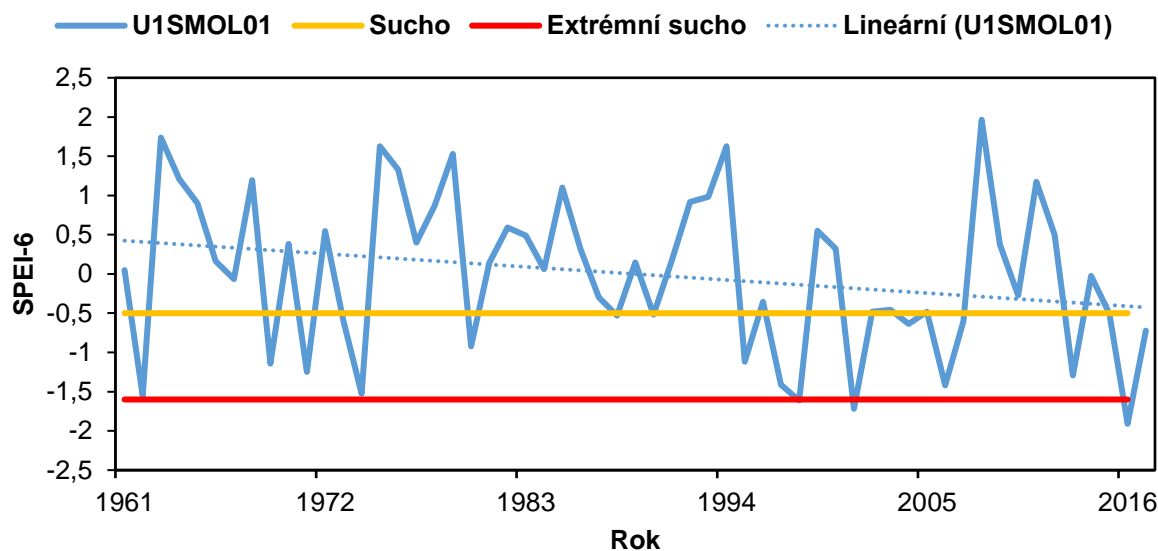
Obrázek 24 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Nový Rudolec

Na meteorologické stanici Doksany v nadmořské výšce 158 m, se v průběhu vegetace vyskytlo pouze občas slabší sucho, ale extrémní sucho zde bylo až v letech 2003 a 2018, kdy hodnota SPEI klesla v roce 2018 až pod -2,35. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



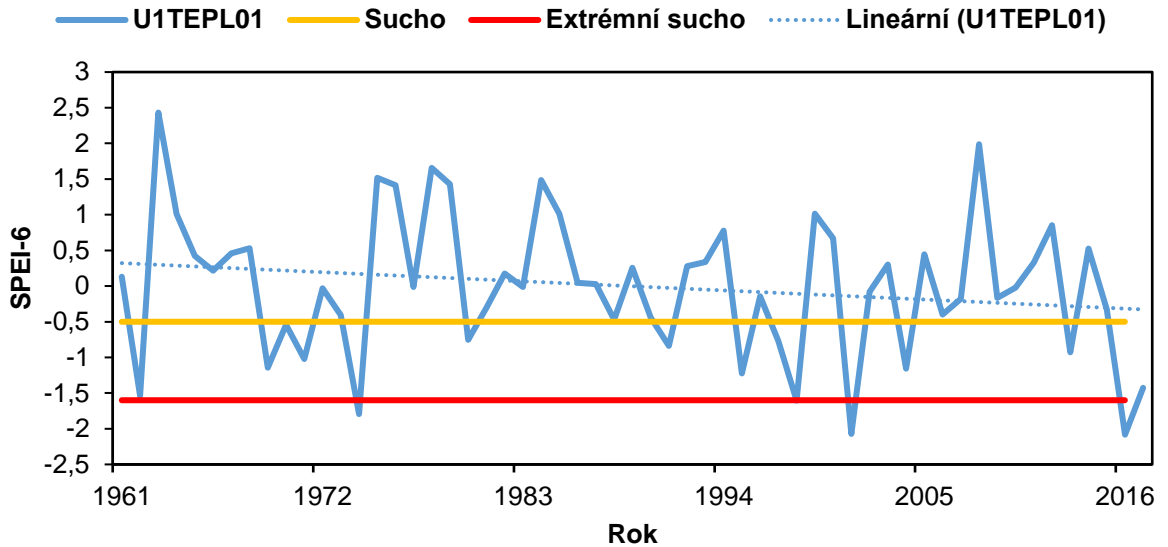
Obrázek 25 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Doksany

Další pozorovanou meteorologickou stanicí je Smolnice, v nadmořské výšce 305 m. Extrémní sucho se zde vyskytovalo v roce 2000, 2003 a 2018. K hranici extrémního sucha se zároveň blížil i rok 1964 a 1976 s hodnotou SPEI pod -1,5. Avšak nejextrémnějším a nejsušším rokem byl rok 2018 s hodnotou -1,91. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



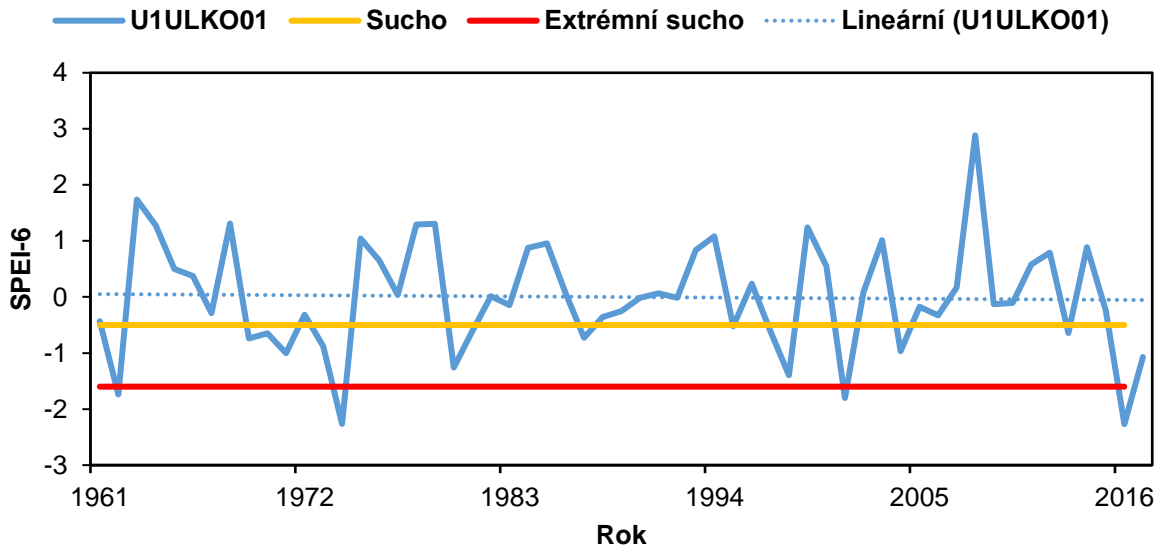
Obrázek 26 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Smolnice

Na stanici Teplice, nacházející se v nadmořské výšce 230 m, se vyskytovalo extrémní sucho v letech 1976, 2000, 2003 a 2018. K hranici extrémního sucha se zároveň blížil i rok 1964 s hodnotou SPEI pod -1,53. Nicméně k nejextrémnějším a nejsušším patřily roky 2003 a 2018 s hodnotou SPEI pod -2,07. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



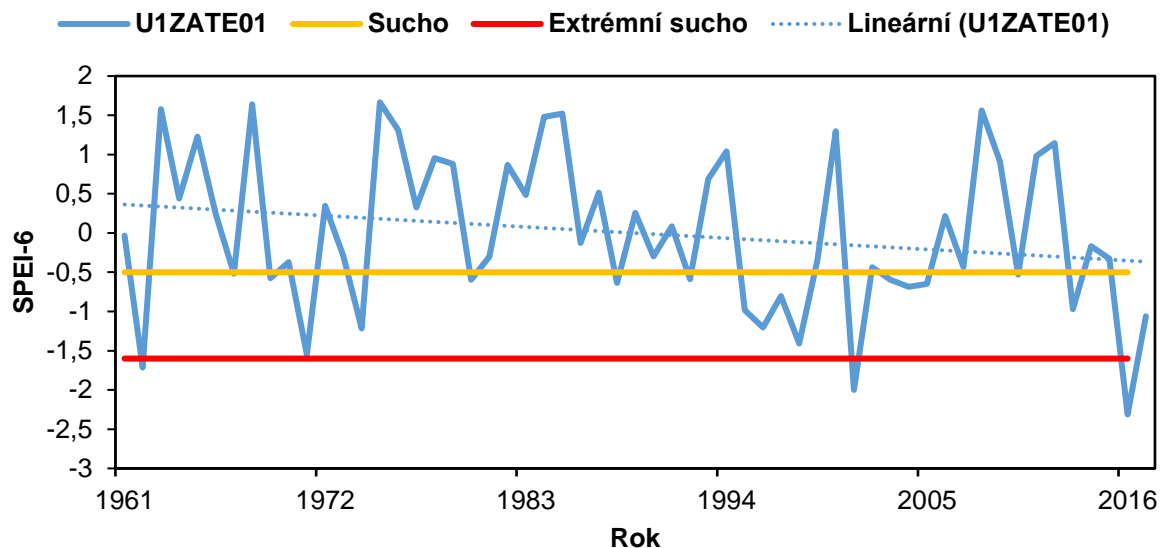
Obrázek 27 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Teplice

Na meteorologické stanici Ústí nad Labem, v nadmořské výšce 375 m, se v průběhu vegetace vyskytlo extrémní sucho v letech 1964, 1976, 2003 a 2018, kdy nejextrémnější sucho bylo v letech 1976 a 2018 s hodnotami SPEI pod -2,26. Z grafu není patrný trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



Obrázek 28 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Ústí nad Labem

Stanice Žatec, v nadmořské výšce 201 m, zaznamenala extrémní sucho v letech 1964, 2003 a 2018. K hranici extrémního sucha se také blížil i rok 1973 s hodnotou SPEI -1,55. Ovšem k nejextrémnějšímu a nejsuššímu patřily roky 2003 a 2018, kdy rok 2003 měl hodnotu SPEI -2, a rok 2018 dokonce pod -2,31. Z grafu je patrný klesající trend indexu SPEI, tj. nárůst sucha v posledních letech.



Obrázek 29 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Žatec

6 Diskuze

V posledních letech se pravděpodobnost rizika sucha zvyšuje. Brázdil & Trnka (2015) uvádí, že v České republice postupně ubývá disponibilní vody v půdě. Tyto okolnosti mají negativní vliv na zemědělskou produkci. Žalud (2019) upozorňuje, že z důvodu změny klimatu bude k suchým epizodám docházet stále častěji. Na území České republiky je pozorován silný nárůst teploty vzduchu již od 80. let minulého století. Je důležité sucho pochopit a najít nejvhodnější opatření, aby bylo možné zabránit nebo alespoň eliminovat důsledky sucha. Předpokládá se, že teploty se budou nadále zvyšovat a sucho se tak bude stále prohlubovat. Jak lze vidět například z emisního scénáře (obrázek 3), predikce pro průměrný roční počet tropických dní má stále rostoucí tendenci. Se suchem je samozřejmě spojené nerovnoměrné rozložení srážek, čemuž by ani v budoucnu nemělo být jinak.

Podle zdroje ČHMÚ jsou v České republice dvě nejsušší oblasti. První pásmo se rozprostírá od úpatí Krušných hor do nížiny Labe a Středočeského kraje, následně i do západních a jižních Čech. Druhá nejsušší oblast je na Moravě, především potom na jižní Moravě. Riziko sucha může mít nepříznivý dopad na regionální produkci výnosu obilovin. Hlavními aspekty sucha, které zvyšují nebo snižují jeho nepříznivé následky, jsou frekvence, závažnost a prostorový rozsah (Potop et al. 2009).

Z grafů vybraných meteorologických stanic je patrné, v jakých letech klesaly hodnoty SPEI pod hranici sucha, případně extrémního sucha. Lineární funkce trendu v grafu naznačuje, jestli je trend hodnot SPEI klesající či rostoucí. Z čehož lze následně odvodit, zdali mělo sucho v průběhu sledovaného období na dané meteorologické stanici rostoucí či klesající tendenci. Grafy z jednotlivých meteorologických stanic znázorňují prohlubující se sucho. Trend indexu SPEI je téměř na všech meteorologických stanicích klesající, kromě stanice Temelín a Luční bouda. U těchto dvou stanic je trend naopak rostoucí. To znamená, že zde nebyl pozorován nárůst sucha. Sucho, vyskytující se téměř na všech vybraných meteorologických stanicích, se nejvíce vyskytovalo v letech 1964, 1971, 1973, 1976, 1982, 1983, 1990, 1992, 1994, 1999, 2000, 2003, 2007, 2015 a 2018 (viz obrázek 33 v samostatné příloze). Vzestupně podle intenzity sucha byly roky seřazeny následovně: 2007, 1990, 1999, 1994, 1971, 1982, 1964, 1983, 1992, 1973, 2000, 1976, 2015, 2018 a 2003. Extrémní sucho se vyskytovalo v letech 1976, 2003, 2015 a 2018. Nicméně nejhorším a nejsušším rokem byl na vybraných stanicích rok 2003. Extrémní sucho se vyskytlo na všech meteorologických stanicích kromě tří, které přesahovaly hranici sucha, ale jejich hodnoty SPEI neklesly pod hranici extrémního sucha. Druhým nejhorším rokem byl rok 2018, kdy se u 10 stanic sucho vyskytovalo, ale nepřesáhlo hranici extrémního sucha. U zbylých 15 stanic bylo pozorováno velice intenzivní extrémní sucho. Třetím nejextrémnějším a suchým rokem byl rok 2015, kdy se sucho vyskytovalo u všech stanic, ale extrémní sucho bylo zaznamenáno na 14 meteorologických stanicích. Obrázek 30 je zkrácenou verzí obrázku 33 z přílohy, kde jsou znázorněné 4 nejextrémnější suché roky za období 1961-2018, ve kterých bylo zaznamenáno sucho téměř na všech vybraných meteorologických stanicích. Z čehož extrémní sucho tvořilo významný podíl výsledků měření.

Extrémně suché roky v období 1961 až 2018					
Stanice	Indikativ	1976	2003	2015	2018
Holešov	B1HOLE01	-1,1160	-2,0116	-1,5806	-1,9756
Kroměříž	B1KROM01	-0,4291	-1,7881	-1,7789	-1,5338
Brod nad Dyjí	B2BROD01	-1,1071	-2,4272	-2,2272	-1,3305
Brno-Tuřany	B2BTUR01	-1,7225	-1,1605	-1,7692	-1,4263
Kuchařovice	B2KUCH01	-0,7252	-2,4041	-2,0102	-0,7610
Temelín	C1TEME01	-1,7642	-1,7462	-1,4820	-0,5428
České Budějovice	C2CBUD01	-1,0223	-1,9419	-2,0420	-1,5872
Jindřichův Hradec	C2JHRA01	-1,8085	-2,2293	-1,8907	-1,5965
Luční Bouda	H1LBOU01	-2,2112	-1,5994	-0,7787	-1,3811
Ústí nad Orlicí	H2USTI01	-0,7550	-1,7323	-1,8855	-2,0661
Hradec Králové	H3HRAD01	-1,1078	-1,4236	-1,7088	-2,0948
Poděbrady	H3PODE01	-1,3538	-1,7541	-1,3550	-2,0712
Klatovy	L1KLAT01	-1,6681	-2,4278	-1,7727	-0,9471
Plzeň-Bolevec	L1PLZB01	-1,7849	-2,2209	-1,4301	-2,0353
Cheb	L3CHEB01	-1,9501	-1,9587	-1,3170	-2,0565
Mošnov	O1MOSN01	-0,4930	-2,0111	-1,8555	-1,3844
Olomouc	O2OLOM01	-0,4667	-1,9127	-1,9048	-1,7327
Praha-Libuš	P1PLIB01	-1,5186	-1,9744	-1,6865	-2,1061
Praha-Ruzyně	P1PRUZ01	-1,3023	-1,8326	-1,6920	-1,7900
Nový Rudolec	P3NRUD01	-1,1319	-2,2720	-1,7095	-1,9099
Doksany	U1DOKS01	-1,2416	-1,7209	-1,4329	-2,3514
Smolnice	U1SMOL01	-1,5276	-1,7171	-1,2936	-1,9101
Teplice	U1TEPL01	-1,7922	-2,0721	-0,9281	-2,0831
Ústí nad Labem	U1ULKOO1	-2,2638	-1,8000	-0,6406	-2,2694
Žatec	U1ZATE01	-1,2176	-2,0005	-0,9707	-2,3123
Vysvětlivky:	SPEI pod -0,5 = SUCHO				
	SPEI pod -1,6 = EXTRÉMNÍ SUCHO				

Obrázek 30 - Extrémně suché roky v období 1961 až 2018 (vlastní zpracování)

6.1 Sucho v konkrétních letech

6.1.1 Sucho v roce 1992

Srážky v období od května do září byly velmi podprůměrné a měsíce květen a srpen byly velice suché. V celém období převládaly nadprůměrné teploty, a to převážně v letních měsících, konkrétně v červenci a srpnu. Nicméně teploty v září se už pohybovaly v normálu jako v průběhu let 1961-1990. Na konci července se sucho začalo projevovat i na nízkých průtocích řeky Labe, což trvalo do poloviny října.

6.1.2 Sucho v roce 2000

V tomto roce začalo sucho od dubna, kdy převažovaly podprůměrné srážky, což kompenzovalo vlhké březnové počasí. V průběhu celého roku zde byly až na pár výjimek nadprůměrné teploty. To bylo jednou z příčin větší intenzity sucha, které bylo nejsilnější v dubnu. Podle průtoků na řece Labe však tato suchá epizoda nebyla až tak závažná. Březnové a červencové srážky podstatně zmírnily průběh sucha.

6.1.3 Sucho v roce 2003

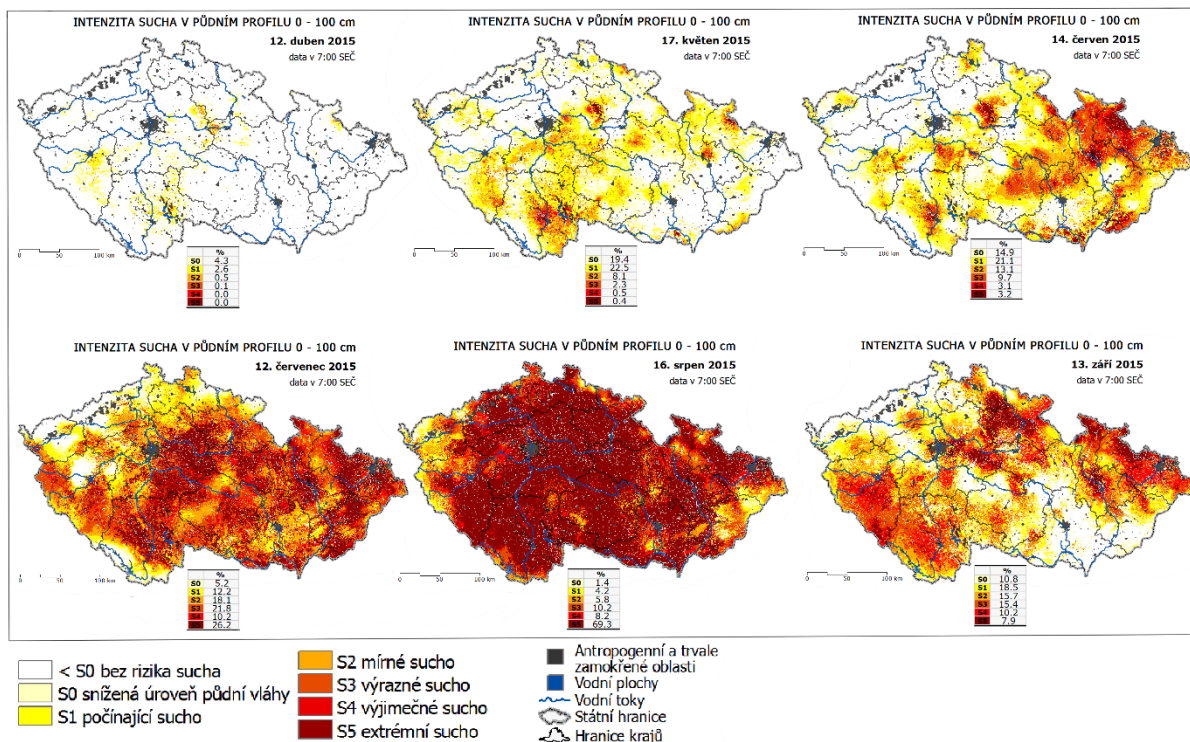
Tento extrémně suchý rok si většina lidí pamatuje. Jednalo se o horký rok s velice podprůměrnými srážkami, a to nejen v České republice, ale i v různých částech Evropy. Kromě května převládaly podprůměrné srážky od února do září, minimální srážky byly v měsících únor, březen a červen. V červnu převažovaly velice nadprůměrné teploty a současně velmi podprůměrné srážky. Na středním Labi se podle průtoků hydrologicky nejzávažnější sucho vyskytovalo od srpna do poloviny září.

6.1.4 Sucho v roce 2007

Období sucha v tomto roce se vztahovalo převážně k jaru, konkrétně k dubnu, což byl měsíc s významným srážkovým podprůměrem. Od začátku roku až do srpna byly nadprůměrné teploty, které vedly k zesílení sucha. Největší sucho nastalo v dubnu, avšak v září spadly významné srážky, které sucho zmírnily. Na intenzitě sucha se nejvíce podílely vysoké teploty trvající dlouhou dobu, a to už od zimních měsíců. Z tohoto důvodu byla ovlivněna i zásoba vody ze sněhové pokrývky.

6.1.5 Sucho v roce 2015

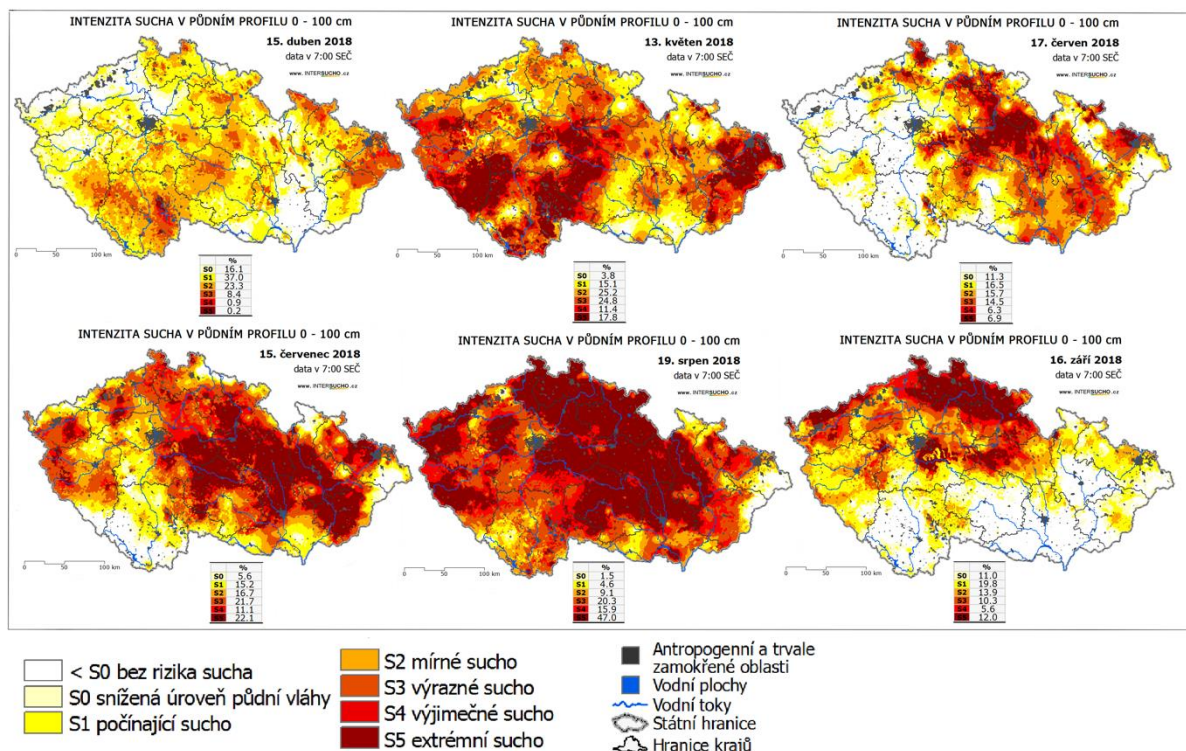
Především v létě tohoto roku bylo sucho silnější a vrcholu dosáhlo na začátku podzimu. To bylo ovlivněno deficitem srážek, který trval už od počátku roku 2014, společně s vysokými teplotami vzduchu v průběhu léta. Z tohoto důvodu byly průtoky vodních toků velmi nízké a na některých místech dokonce došlo i k jejich vyschnutí. Toto suché období bylo podobné s obdobím sucha roku 2003. Tento rok byl vyvrcholením dlouhodobé epizody sucha s vyskytující se deficitem srážek v oblasti České republiky. Na obrázku 31 je znázorněno 6 map z roku 2015 z období od dubna do září (vegetační období), kde je vidět postupně se rozšiřující sucho.



Obrázek 31 - Mapy intenzity sucha v půdním profilu z roku 2015 v průběhu vegetačního období od dubna do září (InterSucho)

6.1.6 Sucho v roce 2018

Nedostatek srážek z roku 2015 se zčásti přesunul do roku 2018. Tento nedostatek byl zmírněn v roce 2017, kdy byl částečně doplněn vláhový deficit. Poté však nastalo teplé a suché počasí. Rok 2018 se považuje za nejteplejší rok z celého období měření, tedy od roku 1961, a zároveň jako nejsušší nebo alespoň druhý nejsušší od roku 1961. Sucho probíhalo v průběhu celého období vegetace a trvalo až do pozdního podzimu. Setrvalo od dubna až do listopadu, kdy nejhorší sucho nastalo v dubnu, a především potom v srpnu (zejména sucho hydrologické). Sucho v tomto roce mělo obdobné důsledky jako předešlá sucha, zvláště v přírodě na vegetaci, zemědělské plodiny a průtoky vodních toků. Poprvé za celou historii klesla hladina vodní nádrže Pařížov (Doubrava) k úrovni stálého nadržení a zůstala tak mnoho týdnů od srpna až po skoro celý podzim (Meteo Aktuality 2018). Na obrázku 32 je znázorněno 6 map z roku 2018, konkrétně od dubna do září (průběh vegetační doby), kde je vidět postupně se rozšiřující sucho.



Obrázek 32 - Mapy intenzity sucha v půdním profilu z roku 2018 v průběhu vegetačního období od dubna do září (InterSucho)

Výsledky této práce se shodují s velkou většinou jiných studií. Tato práce tedy potvrzuje, že sucho se nadále prohlubuje a je nejvyšší čas začít jednat (není-li už pozdě) a problematiku sucha řešit mnohem více než doposud. Suché epizody se projevují mnohem častěji, než jak tomu bylo v minulosti.

Pokud se nepodaří dodržovat doporučená opatření proti suchu, tak je pravděpodobné, že další studie v následujících letech potvrdí trend prohlubující se intenzity sucha a jeho častějšího výskytu. Proto je žádoucí se těmito opatřeními řídit, aby bylo možné dopady sucha alespoň zmírnit.

7 Závěr

Problematika neustále se prohlubujícího sucha a s tím spojené potřeby dodržování vhodných opatření je velmi závažným a aktuálním tématem. Podle mnohých studií se předpokládá, že se sucho v souvislosti s klimatickou změnou bude nadále zhoršovat. Je tedy podstatné udělat vše pro to, aby bylo možné zmírnit jeho dopady. Z tohoto důvodu byla tato bakalářská práce věnována hodnocení rizika výskytu extrémního sucha, aby upozornila na zhoršující se situaci ohledně sucha.

Toto přírodní riziko má dopady na krajinu, zemědělství, lesnictví, vodní hospodářství, přírodu, společnost a další. Jak už bylo zmíněno, důsledky sucha mají negativní vliv na zemědělství, konkrétně v průběhu vegetace, kdy může docházet ke snížení kvality a výnosů pěstovaných plodin. Zároveň se podílí na degradaci půdy, snížení půdní vlhkosti a nedostatku vody v různých zásobárnách vod jako jsou rybníky, řeky, jezera, nádrže i v podzemních vodách apod. Jako nevýhodu sucha lze označit fakt, že se projevuje až po delší době, někdy třeba až po několika letech, na rozdíl od povodní, u kterých jsou škody viditelné ihned. A z tohoto důvodu se sucho dlouhou dobu neřešilo i přes varování různých odborníků - meteorologů, hydrologů apod. Je obtížné určit jeho začátek, průběh a konec, a zároveň také určit jeho intenzitu, rozsah a dobu trvání.

Teoretická část této bakalářské práce se zabývala definicí sucha a klasifikací typů sucha. Dále byly vysvětleny potřebné termíny používané při hodnocení rizika výskytu extrémního sucha. Velmi podstatnou roli zastává monitoring sucha a jeho analýza. V této práci byly z meteorologických indexů pro hodnocení sucha popsány indexy SPI, a především potom SPEI, které byly navrženy pro identifikaci sucha. Následně byly zmíněny dopady sucha v zemědělství, vliv změny klimatu a příčiny sucha. V neposlední řadě byla zmíněna důležitá opatření, kterým by měla být věnována větší pozornost.

V praktické části byly vytvořeny grafy pro zhodnocení intenzity sucha pomocí hodnot indexu SPEI na vybraných meteorologických stanicích. Lineární funkce trendu v grafu znázorňovala téměř na všech stanicích nárůst sucha v posledních letech. Toto zjištění upozorňuje na to, jak závažné sucho je a jak je důležité se tímto tématem nadále zabývat. Jelikož je sucho způsobené antropogenně ovlivněnou změnou klimatu, bude se jistě i v budoucnosti řadit mezi základní problémy na našem území.

Jak už je z této práce patrné, sucho je závažným problémem, který je třeba řešit. Jelikož je sucho společně s povodněmi jedním z nejnebezpečnějších přírodních rizik v České republice, je důležité věnovat pozornost jeho příčinám, průběhu a dopadům. Obzvláště v oblastech náchylnějších na sucho je nutné dodržovat opatření proti suchu co nejstriktněji a snažit se zadržovat co nejvíce vody v krajině. K vhodným opatřením proti suchu patří snížení plýtvání vodou a její efektivnější využívání, zmírnění změny klimatu snížením emisí skleníkových plynů a zvyšováním energetické účinnosti. Dále lze doporučit omezení využívání pitné vody na účely, pro které není nezbytně nutná. K dosažení tohoto cíle může pomoci využívání dešťové vody a vody recyklované.

8 Literatura

- Awal R, Habibi H, Fares A, Deb S. 2020. Estimating reference crop evapotranspiration under limited climate data in West Texas. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 28 (e100677) DOI: 10.1016/j.ejrh.2020.100677
- Bartošová L, Trnka M, Semerádová D, Hlavinka P, Štěpánek P, Zahradníček P, Žalud Z. 2016. Monitoring zemědělského sucha a jeho uživatelé a zpravodajové. Pages 34-40 in Rožnovský J, Vopravil J, editors. *Sborník příspěvků z mezinárodní konference. Půdní a zemědělské sucho*, Kutná Hora.
- Beguiría S, Vicente-Serrano SM, Angulo-Martínez M. 2010. A Multiscalar Global Drought Dataset: The SPEIbase. *Bulletin of the American Meteorological Society* 91:1351-1356. Available at <http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/2010BAMS2988.1> (accessed July 16, 2020).
- Brázdil R, Trnka M. 2015. *Historie počasí a podnebí v Českých zemích: minulost, současnost, budoucnost*. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, Brno.
- 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* 97:297-315. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s00704-008-0065-x> (accessed June 09, 2020).
- Čermák M. 2020. *Základní pojmy*. Hošťálková. Available at http://maruska.ordoz.com/meteorologie/meteorologicke_nazvoslovi (accessed June 10, 2020)
- Daňhelka J, Bercha Š, Boháč M, Crhová L, et al. 2015. *Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015*. Český hydrometeorologický ústav. Available at http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/zpravy/Sucho_2015_prosinec_2015.pdf (accessed June 10, 2020).
- Denchak M. 2018. *Drought: Everything You Need to Know*. Natural Resources Defense Council, USA. Available at <https://www.nrdc.org/stories/drought-everything-you-need-know#causes> (accessed June 09, 2020).
- Fanta J. 2016. *Zemědělské sucho – krajina jako základ řešení*. Pages 60-65 in Rožnovský J, Vopravil J, editors. *Sborník příspěvků z mezinárodní konference. Půdní a zemědělské sucho*, Kutná Hora.
- Fialová Z. 2007. *Extrémy zemědělství nesvědčí*. Available at <https://www.zemedelec.cz/extremy-zemedelstvi-nesvedci/> (accessed June 10, 2020).

- Hlavinka P, Semerádová D, Balek J, Žalud Z, Tadesse T, Hayes M, Wardlow B, Trnka M. 2016. Dálkový průzkum Země jako podpůrný nástroj při posuzování zemědělského sucha. Pages 109-121 in Rožnovský J, Vopravil J, editors. Sborník příspěvků z mezinárodní konference. Půdní a zemědělské sucho, Kutná Hora.
- Honsová D. 2007. Evapotranspirace. Available at <https://www.priroda.cz/clanky.php?detail=922> (accessed June 10, 2020)
- Intersucho. 2020. Co je sucho. Ústav výzkumu globální změny AV ČR, Brno. Available at <https://www.intersucho.cz/cz/o-suchu/co-je-sucho/> (accessed June 10, 2020).
- Keyantash J. 2018. STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI). National Center for Atmospheric Research Staff, Boulder, Colorado. Available at <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-index-spi> (accessed June 10, 2020).
- Lloyd-Hughes B. 2014. The impracticality of a universal drought definition. *Theoretical and Applied Climatology* **117**:607-611. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s00704-013-1025-7> (accessed June 09, 2020).
- Meteo Aktuality. 2018. Meteorologické a hydrologické indexy sucha a jejich využití. Meteo Aktuality, Praha. Available at <https://pocasimeteoaktuality.wordpress.com/2018/08/13/meteorologicke-a-hydrologicke-indexy-sucha-a-jejich-vyuziti/> (accessed June 10, 2020).
- Meteocentrum. 2020. Srážky. [meteocentrum.cz](http://www.meteocentrum.cz). Available at <http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/srazky> (accessed June 10, 2020)
- Možný M, Bareš D, Nosková J. 2010. Využití sítě stanic s měřením půdní vlhkosti pro monitoring sucha. Pages 274-279 in Kožnarová V, Sulovská S, editors. Sborník příspěvků z mezinárodní konference. Bioklima 2010. Česká bioklimatologická společnost, Praha.
- Možný M. 2005. Problematika měření evapotranspirace v ČHMÚ. Pages 7-10 in Rožnovský J, Litschmann T, editors. Seminář „Evaporace a evapotranspirace“, Brno.
- Portál Monitoring sucha. 2015. Sucho. Monitoring sucha a jeho dopadů, Brno. Available at <http://stavsucha.cz/about-drought/> (accessed June 10, 2020).
- Potop V, Boroneanț 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**:563-581. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s00704-013-0908-y> (accessed June 09, 2020).

- 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**:121–133.
- Potop V, Türkott L, Možný M. 2010. Variabilita výnosů zelenin ve vztahu k suchým a vlhkým obdobím v Polabí. Pages 395-404 in Kožnarová V, Sulovská S, editors. *Sborník příspěvků z mezinárodní konference. Bioklima 2010. Česká bioklimatologická společnost, Praha.*
- Potop V, Türkott L, Kožnarová V. 2009. Drought impact on variability crop yields in Central Bohemia. *Cereal Research Communications* **37**:295-304. Available at <http://www.akademai.com/doi/abs/10.1556/CRC.37.2009.2.18> (accessed July 09, 2020).
- Přibík O. 2020. Odborník: Za problémy zemědělců se suchem může především klima. Available at <https://www.zemedelec.cz/odbornik-za-problemy-zemedelcu-se-suchem-muze-predevsim-klima/> (accessed June 10, 2020).
- Soukalová E, Muzikář R. 2015. Hydrologické sucho v podzemních vodách. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* **57**: 34 – 41.
- Strauss F, Moltchanova E, Schmid E. 2013. Spatially Explicit Modeling of Long-Term Drought Impacts on Crop Production in Austria. *American Journal of Climate Change* **02**:1-11. Available at <http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/ajcc.2013.23A001> (accessed July 09, 2020).
- Sutanto SJ, Wetterhall F, Van Lanen HAJ. 2020. Hydrological drought forecasts outperform meteorological drought forecasts. *Environmental Research Letters*. Available at <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab8b13> (accessed June 10, 2020).
- Treml P. 2011. Největší sucha na území české republiky v období let 1875-2010. *Meteorologické zprávy* **64**:168-176.
- Van Loon AF. 2015. Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* **2**:359-392. Available at <http://doi.wiley.com/10.1002/wat2.1085> (accessed July 16, 2020).
- Vicente-Serrano SM, Beguería S, López-Moreno JJ. 2010. A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate* **23**:1696-1718. Available at <https://journals.ametsoc.org/jcli/article/23/7/1696/33033/A-Multiscalar-Drought-Index-Sensitive-to-Global> (accessed July 09, 2020).

- Weerasinghe I, Bastiaanssen W, Mul M, Jia L, Griensven AV. 2020. Can we trust remote sensing evapotranspiration products over Africa? *Hydrology and Earth System Sciences* **24**: 1565-1586.
- Wilhite DA. 2000. Chapter 1 Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. *Drought Mitigation Center Faculty Publications* **69**:3-18.
- Zahradníček P, Štěpánek P, Trnka M, Farda A. 2016. Projevy změny klimatu na území České republiky. Pages 554-566 in Rožnovský J, Vopravil J, editors. *Sborník příspěvků z mezinárodní konference. Půdní a zemědělské sucho*, Kutná Hora.
- Zahradníková E. 2018. *Hydrologické sucho a jeho dopad na životní prostředí [BSc. Thesis]*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Žalud Z. 2019. Sucho jako nejzávažnější dopad změny klimatu. Available at <https://www.mechanizaceweb.cz/sucho-jako-nejzavaznejsi-dopad-zmeny-klimatu/> (accessed June 10, 2020).

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Rozdělení srážkových režimů	22
Tabulka 2 - Rozdělení atmosférických srážek	22
Tabulka 3 - Seznam meteorologických stanic s jejich geografickými souřadnicemi a nadmořskou výškou (ČHMÚ).....	36

10 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Vztahy mezi typy sucha a jejich délkou trvání (Zahradníková 2018)	18
Obrázek 2 - Mapa České republiky znázorňující deficit srážek za období 2015-2018 vzhledem k dlouhodobému průměru 1981-2010 (Žalud 2019).....	29
Obrázek 3 - Predikce počtu tropických dní - emisní scénář. Průměrný počet dní s maximální denní teplotou vzduchu nad 30 °C (Zahradníček et al. 2016)	33
Obrázek 4 – Mapa meteorologických stanic, ze kterých jsou získaná data do této bakalářské práce (vlastní zpracování).....	37
Obrázek 5 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Holešov.....	38
Obrázek 6 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Kroměříž.....	38
Obrázek 7 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Brod nad Dyjí	39
Obrázek 8 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Brno - Tuřany	39
Obrázek 9 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Kuchařovice.....	40
Obrázek 10 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Temelín.....	40
Obrázek 11 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici České Budějovice	41
Obrázek 12 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Jindřichův Hradec.....	41
Obrázek 13 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Luční Bouda	42
Obrázek 14 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Ústí nad Orlicí	42
Obrázek 15 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Hradec Králové.....	43
Obrázek 16 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Poděbrady	43
Obrázek 17 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Klatovy	44
Obrázek 18 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Plzeň - Bolevec.....	44

Obrázek 19 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Cheb	45
Obrázek 20 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Mošnov.....	45
Obrázek 21 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Olomouc	46
Obrázek 22 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Praha - Libuš	46
Obrázek 23 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Praha - Ruzyně	47
Obrázek 24 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Nový Rudolec.....	47
Obrázek 25 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Doksany.....	48
Obrázek 26 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Smolnice.....	48
Obrázek 27 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Teplice.....	49
Obrázek 28 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Ústí nad Labem	49
Obrázek 29 - Kolísání indexu sucha SPEI-6 za období duben až září v letech 1961-2018 pro stanici Žatec	50
Obrázek 30 - Extrémně suché roky v období 1961 až 2018 (vlastní zpracování).....	52
Obrázek 31 - Mapy intenzity sucha v půdním profilu z roku 2015 v průběhu vegetačního období od dubna do září (InterSucho)	54
Obrázek 32 - Mapy intenzity sucha v půdním profilu z roku 2018 v průběhu vegetačního období od dubna do září (InterSucho)	55
Obrázek 33 - Tabulka suchých a extrémně suchých let v období 1961-2018 na vybraných meteorologických stanicích (vlastní zpracování)	I

11 Samostatné přílohy

Stanice	1964	1971	1973	1976	1982	1983	1990	1992	1994	1999	2000	2003	2007	2015	2018
B1HOLE01	-1,07484	-0,55226	-1,48038	-1,11599	0,04476	-1,69143	0,05760	-1,75171	-0,15809	-0,07608	-0,68644	-2,01164	0,35053	-1,58065	-1,97556
B1KROM01	-1,35096	-1,08713	-0,68453	-0,42909	-0,47433	-1,40000	1,21715	-2,13235	0,29753	0,08641	-1,01610	-1,78810	-0,51267	-1,77888	-1,53377
B2BROD01	0,05595	-0,80942	-0,43262	-1,10713	-0,44941	-1,50825	-0,32639	-1,00423	-0,91222	-0,19032	-1,21826	-2,42721	-1,03498	-2,22716	-1,33051
B2BTUR01	-0,73733	-1,36288	-0,34431	-1,72247	-0,28517	-1,47489	0,08018	-1,29868	-0,84205	-0,04806	-1,36082	-1,16051	-0,77350	-1,76920	-1,42631
B2KUCH01	-0,35952	-1,07778	-0,86960	-0,72524	-0,29529	-1,88439	0,02703	-1,20445	-1,29350	0,54542	-0,93535	-2,40405	-0,69946	-2,01016	-0,76100
C1TEME01	-0,71460	-1,73382	-1,38453	-1,76422	-1,51525	-1,18371	-0,63306	-1,32435	-0,56630	-0,86993	-1,30505	-1,74616	0,65062	-1,48195	-0,54275
C2CBUD01	0,04783	-0,22620	-0,68335	-1,02227	-1,02302	-1,48448	-0,68254	-1,23211	-1,15261	-0,87928	-0,99080	-1,94192	0,12829	-2,04204	-1,58721
C2JHRA01	0,10373	-0,79735	-0,60122	-1,80850	-0,92609	-0,69359	-0,42219	-1,45122	-1,53402	-0,42517	-0,72420	-2,22929	-0,58115	-1,89067	-1,59653
H1LBOU01	-0,93135	-0,52238	-1,63539	-2,21118	-1,11651	-0,94968	-0,68755	-1,15879	0,01281	-0,91125	-0,87930	-1,59938	0,65002	-0,77868	-1,38106
H2USTI01	1,88571	0,67701	-0,74352	-0,75500	-0,96070	-1,34465	-0,85751	-1,92302	-0,76287	-1,01119	-0,59378	-1,73226	-1,00316	-1,88549	-2,06605
H3HRAD01	0,88700	0,14560	-0,74484	-1,10776	-0,73376	-1,08570	-1,21157	-1,25841	-1,32886	-1,06203	-1,06778	-1,42364	-0,44186	-1,70877	-2,09483
H3PODE01	-0,04428	-0,67014	-1,93809	-1,35382	-0,67809	-0,43157	-1,08292	-1,00486	-0,12656	-1,27500	-1,74956	-1,75405	-0,86900	-1,35498	-2,07123
L1KLAT01	-1,13028	-0,75502	-1,29756	-1,66808	-1,39278	-0,95748	-1,14829	-1,36323	-1,12065	-0,85004	-0,22773	-2,42781	-0,20188	-1,77270	-0,94707
L1PLZB01	-0,98126	-0,30923	-0,85224	-1,78488	-1,05714	-0,71972	-1,47966	-0,66719	-0,88446	-0,69533	-1,20205	-2,22087	-1,02003	-1,43010	-2,03527
L3CHEB01	-1,63683	-0,25774	-1,11870	-1,95008	-0,75060	-0,97706	-1,13886	-0,18471	-0,13590	-0,43890	-0,95679	-1,95868	1,64851	-1,31700	-2,05651
O1MOSN01	-0,87132	-0,86108	-0,74362	-0,49295	-0,41573	-1,36316	0,29926	-2,13335	-0,72651	0,22275	-0,44409	-2,01108	-0,41711	-1,85549	-1,38438
O2OLOM01	-0,71680	-0,72608	-0,85504	-0,46669	-0,68417	-1,44326	0,38169	-1,87069	-0,55063	-0,27301	-1,79099	-1,91266	-1,33615	-1,90484	-1,73268
P1PLIB01	-0,63716	-0,04650	-0,88164	-1,51861	-1,34501	-0,30137	-1,12909	-0,87927	-0,45259	-1,08230	-1,38121	-1,97442	-0,54037	-1,68653	-2,10615
P1PRUZ01	-0,89795	0,10859	-0,40870	-1,30234	-1,33962	0,76212	-1,54756	-1,19828	-1,18371	-0,74924	-1,47545	-1,83257	-0,55566	-1,69200	-1,79003
P3NRUD01	-0,65197	-0,64912	-0,60079	-1,13187	-1,02349	-0,52546	-1,17430	-0,92253	-1,02640	-0,80931	-1,63005	-2,27198	-1,37110	-1,70948	-1,90991
U1DOKS01	-1,26410	-0,10821	-0,65377	-1,24164	-0,41151	-0,95303	-0,54887	-1,45910	-1,02595	-1,15706	-1,18616	-1,72090	-0,98950	-1,43288	-2,35144
U1SMOL01	-1,55604	-1,14269	-1,24739	-1,52760	-0,92418	0,14387	-0,53231	-0,51956	0,91589	-1,41249	-1,61142	-1,71714	-0,48023	-1,29363	-1,91012
U1TEPL01	-1,53708	-1,14423	-1,02066	-1,79219	-0,75103	-0,30361	-0,47228	-0,43914	0,27992	-0,77165	-1,60491	-2,07208	0,44472	-0,92805	-2,08311
U1ULKO01	-1,73865	-0,74167	-1,00379	-2,26381	-1,26032	-0,60898	-0,35438	-0,01494	-0,01494	-0,60796	-1,39505	-1,80003	-0,17488	-0,64059	-2,26941
U1ZATE01	-1,71356	-0,57562	-1,55031	-1,21762	-0,59569	-0,30347	-0,63707	-0,29776	-0,58721	-0,80421	-1,40777	-2,00054	-0,64773	-0,97073	-2,31226
Vysvětlivky:	SPEI pod -0,5 = SUCHO			SPEI pod -1,6 = EXTRÉMNÍ SUCHO											

Obrázek 33 - Tabulka suchých a extrémně suchých let v období 1961-2018 na vybraných meteorologických stanicích (vlastní zpracování)