

Česká zemědělská univerzita v Praze

**Fakulta agrobiologie, potravinových
a přírodních zdrojů**

Katedra agroekologie a biometeorologie



Bakalářská práce

Výskyt sucha ve střední a východní Evropě

Autor práce: Anežka Trejbalová
Obor studia: Veřejná správa v zemědělství a krajině

Vedoucí práce: Dr. Vera Potopová

© 2017 ČZU v Praze

Prohlášení:

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Výskyt sucha ve střední a východní Evropě" 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 neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18. dubna 2017

.....

Anežka Trejbalová

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucí mé práce, Dr. Veře Potopové, za veškeré rady a čas, který mi ochotně věnovala.

Děkuji

Výskyt sucha ve střední a východní Evropě

Souhrn

Úkolem této bakalářské práce je popsat sucho ze všech jeho hledisek ale i z pohledu různých oborů, tedy popsat sucho meteorologické, agronomické, hydrologické i socio-ekonomické. Jedním z hlavních faktorů jsou synoptické příčiny, následně také příčiny klimatotvorné a cirkulační. Pro výpočty sucha a jeho detekci se využívá různých indexů, jako jsou Palmer Drought Severity Index, Standardizovaný Srážkový Index, indexy humidity, index předchozích srážek, srážkový normál a dokumentární index. Práce také popisuje dopady sucha, kterými jsou například nepříznivý vliv na rostliny, výnosy zemědělských plodin a na vodní hospodářství. Výskyt sucha je také ovlivněn geografickým rozmístěním, proto se práce především zaměřuje na Českou republiku, střední Evropu a východní Evropu.

Průměrná měsíční teplota i srážky evidované v českých zemích v letech 1805-2012 byly použity pro výpočet jarních a letních indexů sucha, které pak byly použity pro další analýzy. Kolísání indexů sucha prokázalo zvýšení dlouhodobé suchosti v Českém klimatu, statisticky významné pro srážkový evapotranspirační index. Následně popisuje účinky sněhové pokrývky na půdní vlhkost, která má důležitou funkci v zásobování půdní vody. Pro porovnání byly pozorovány oblasti východní části Evropy v roce 2012, oblast Rumunska a Moldavska, s velmi suchými místy. Následující roky ukázaly výrazné zmenšení oblastí trpících suchem a regeneraci vegetace.

Klíčová slova: sucho, dopady, časová a prostorová variabilita, index

Drought occurrences in Central and Eastern European regions

Summary:

The aim of this bachelor thesis is to describe the drought from all its aspects but also from the point of view of various fields, describe the drought meteorological, agronomic, hydrological and socio-economic. One of the main factors is the synoptic causes, and consequently also the causes of climate forcing and circulatory. For drought calculations and detection, various indexes such as the Palmer Drought Severity Index, Standardized Rain Index, Humidity Index, Precipitation Index, Rainfall, and Documentary Index are used. The paper also describes drought-related droughts, such as adverse effects on plants, crop yields, and water management. The occurrence of drought is also influenced by geographical deployment, so the work focuses primarily on the Czech Republic, Central Europe and Eastern Europe.

The average monthly temperature and precipitation recorded in the Czech lands in 1805-2012 were used for the calculation of the spring and summer drought indexes, which were then used for further analyzes. Fluctuations in drought indexes have shown an increase in long-term dryness in the Czech climate, statistically significant for the collision evapotranspiration index. It then describes the effects of snow cover on soil moisture, which has an important function in the supply of soil water. The eastern part of Europe in 2012, Romania and Moldavia, with very dry areas, were observed for comparison. The following years have shown significant reductions in areas suffering from drought and regeneration of vegetation.

Keywords: droughts, impacts, temporal and spatial variability, index

Obsah

1	Úvod	5
1.1	Popis tématu.....	5
1.2	Důvod výběru tématu	5
1.3	Cíl práce.....	5
2	Definice sucha.....	6
3	Sucho dle jednotlivých disciplín.....	7
3.1	Meteorologické sucho	7
3.2	Agronomické sucho.....	7
3.3	Hydrologické sucho	7
3.4	Socio-ekonomické sucho.....	8
4	Příčiny vzniku sucha.....	9
4.1	Synoptické příčiny	9
4.2	Vliv klimatotvorných a cirkulačních faktorů.....	10
5	Metody hodnocení sucha	12
5.1	Palmerův index závažnosti sucha	12
5.2	Standardizovaný srážkový index.....	12
5.3	Index humidity.....	13
	Langův dešťový faktor.....	13
	Thornthwaiteův index	14
	De Martonneův index	14
5.4	Index předchozích srážek.....	15
5.5	Srážkový normál	15
5.6	Dokumentární index.....	15
6	Dopady sucha.....	17
6.1	Dopady sucha na rostliny.....	17
6.2	Dopady sucha na výnosy zemědělských plodin	17
6.3	Dopady sucha na vodní hospodářství	18
7	Vývoj sucha	19
7.1	Sucho v České republice.....	19
	Vliv sněhové pokrývky na půdní vlhkost	19
	Variabilita výnosů zelenin ve vztahu k suchým a vlhkým obdobím v Polabí.....	21
	Nejdelší období beze srážek (CDD index)	22
	Nejdelší srážkové období	24
7.2	Sucho ve Střední Evropě.....	25
	Vývoj teplot.....	25
7.3	Sucho ve východní Evropě	31
8	Závěr	40

1 Úvod

Sucho představuje ohrožení pro všechny ekosystémy, způsobuje nedostatek vody, tím pádem i nedostatek potravy pro živočichy. V posledních letech, díky velkým suchům se odhalila velká zranitelnost některých společenstev na nedostatek vody, a tak způsobila konflikt mezi uživateli vody. V období sucha je prostředí velmi náchylné a zranitelné. Díky studiím let předchozích se předpokládá, že sucha zesílí v mnoha oblastech. Rozsah sucha a jeho dopadů bude stoupat. Sucho je nepostižitelným jevem, které se značně liší od ostatních přírodních rizik. Je to pozvolna se rozvíjející nebezpečí bez výrazného začátku a konce. Sucho se dotýká všech částí hydrologického koloběhu, ekosystémů a sektorů společnosti. Dopady sucha jsou často bezstrukturní a těžko je lze kvalifikovat.

1.1 Popis tématu

Tato bakalářská práce se zabývá popisem sucha, jeho vlivem, výskytem a pozorováním abychom mohli předejít nezvratným a ničivým důsledkům, nebo se na ně alespoň připravit. Sucho je těžce definovatelné, proto se jeho prvotní výskyt nesnadno pozoruje. Většinou ho detekujeme až v nezvratné fázi.

Díky meteorologické, hydrogeologické, agrometeorologie (a jiné) dokumentaci však můžeme zjistit kdy a za jakých podmínek sucho vznikalo, jeho dopady na společnost a ekosystémy.

1.2 Důvod výběru tématu

Toto téma jsem si vybrala, protože je dlouhodobě řešeným problémem sužujícím naši planetu. Nepřeberné množství metod hodnocení sucha nás dostává do bodu, kdy jsme schopni sucho stanovit vláhově-bilanční stav a tím určit výskyt a vývoj. Tyto vědomosti nám umožňují předejít vysychání podzemní vody a vysychání půdy celkově.

1.3 Cíl práce

Cílem práce je analýza a zpracování zdrojů informací zaměřených na studium výskytu období sucha ve střední a východní Evropě v důsledku proměnlivosti klimatu.

2 Definice sucha

Dle Bachmair et al. (2016) je sucho jedním z nejvíce škodlivých a nejméně pochopených přírodních rizik. Je to pozvolna se rozvíjející riziko bez výrazného začátku a konce. Neexistuje žádná jednoznačná definice sucha, protože ovlivňuje rozličné prvky krajiny. Pro představu předložím několik nejvíce publikovaných definic sucha.

Za zmínku stojí Thornthwaiteova klasifikace podnebí (1948), ve které se sucho dělí na: stálé, sezonní a nahodilé. Stálým suchem se míní nejsušší klimatické pásy, tedy neproměnlivé oblasti, jako jsou pouště v severní a jižní Africe, jižní Austrálii a arabském poloostrově. Sezonní sucho se vyskytuje v některých klimatických pásmech a oblastech monzunového podnebí (jihovýchodní Asie, Afrika a Severní Amerika). Nahodilá sucha, jsou sucha typická pro oblasti mírného pásu, se kterými se musíme často potýkat i v ČR (Rožnovský, 2012).

Sucho znamená nedostatek (větší, než jsme zvyklí) srážek po delší období. Tudiž nestačí pro spotřebu a požadavky konzumentů. Každý druh sucha je dopadem deficitu srážek. Je to nežádoucí pro obvyklý chod ekosystémů. Sucho lišíme dle vlastností: intenzitou, trváním a rozsahem působení. Výskyt sucha v jakékoliv podobě či intenzitě, poškozují všechna společenstva, krajinu (Trnka, 2010).

Sucho je velmi nebezpečné přírodní riziko, u kterého nemůžeme předpovědět, kdy a kde se vyskytne. Proto vytvořit funkční prognózu sucha je velice těžké až nemožné. V nynější době se ale můžeme spolehnout na speciální postupy a přístupy, kterými vyhodnocujeme aktuální vláhově-bilanční stav prostředí. Dle těchto informací lze určit výskyt a vývoj sucha. Výskyt sucha je velice ovlivněn vyššími teplotami, nízkou relativní vlhkostí vzduchu, prodloužením slunečního svitu, a to vše na malé rozloze. Záslouhou těchto činitelů je nadměrné odpařování (ČHMÚ, 2008).

3 Sucho dle jednotlivých disciplín

3.1 Meteorologické sucho

Tento typ sucha je definovaný jako deficit srážek, často vztahovaného k meteorologickému normálu. Dalším faktorem je výpar, který je důsledkem dlouhých suchých období. Pro hodnocení tohoto fenoménu se využívá indexů sucha, ty pro lepší určení pracují jak s množstvím srážek a výparu, tak i s teplotou vzduchu, rychlostí větru a vlhkostí vzduchu. V teplých měsících je srážkový deficit provázen nadnormální teplotou vzduchu, nižší relativní vlhkostí vzduchu, zmenšenou oblačností a delším trváním slunečního svitu (ČMES, 1993).

3.2 Agronomické sucho

Agronomické sucho se značí nedostatkem půdní vlhkosti, kterou způsobuje již zmíněné meteorologické sucho. Dalšími ovlivňujícími faktory jsou vlastnosti půdy, způsob obhospodávání a mnoho jiných. Tímto typem sucha se zabývá agrometeorologie, přičemž musíme brát v úvahu i poznatky z hydrologie, fyziologie rostlin, zemědělské ekonomiky a podobně (ČMES, 1993).

Synonymem pro Agronomické sucho je sucho půdní. Tím se rozumí nedostatek vody v kořenové vrstvě půdního profilu, díky němuž jsou porušovány vodní režimy zemědělských plodin, tak i volně rostoucích plodin. Jelikož jsou všechny typy sucha propojené a jedno ovlivňuje druhé, i v tomto případě je svrchní část půdního horizontu nejvíce ovlivněná fyziologickým suchem nebo suchem klimatickým. Půdní sucho působí na každou rostlinu různě, záleží na její vývojové fázi, stáří a nároku na vodu. Vlhkost půdy je jedním z nejdůležitějších půdních faktorů, kterou ovlivňují růst rostlin, spolu s teplotou půdy a vzduchu. Půdní sucho vzniká při nízkých srážkách, vysokém výparu a hydrolimitech (hraniční hodnoty vlhkosti půdy) (ČHMÚ, 2008; Leporelo, 2015).

3.3 Hydrologické sucho

Tento typ definujeme za pomoci hydrologických ukazatelů, jako například průtok povrchových vodních toků. Kalkuluje se jak s jeho hodnotou, tak i s počtem dní s průtokem nižším než tzv. m-denní průtok, který je v dlouhodobém průtoku překročen po většinu hydrologického roku (např. m-355 dní). Pokud je hydrologické sucho kratší, nabízí se porovnání s měsíčními normálami. Stejně se hodnotí stav hladiny podzemní vody, vydatnost pramenů apod.

Právě meteorologické sucho má za následek hydrologické sucho, které se vyskytuje zpravidla ke konci meteorologického, ale často pokračuje i po jeho odeznění. Jinou jeho příčinou může být akumulace tuhých srážek ve sněhové pokrývce a promrzání půdy (ČMES, 1993).

3.4 Socio-ekonomické sucho

Tomuto typu sucha předchází sucho meteorologické, agronomické, ale i hydrologické. Jedná se o nemožnost uspokojit poptávku po produktech díky nedostatku vody. Avšak svůj podíl na tomto druhu fenoménu mají také lidé (antropogenní faktory-rychlost socioekonomického vývoje, vodohospodářská opatření apod.) (ČMES, 1993).

4 Příčiny vzniku sucha

Příčiny sucha můžeme rozdělit na dva různé zdroje, buď přirozeného, nebo antropogenního původu. Velkou zásluhu na tom má člověk. Nadbytečným využíváním vody v domácnostech, v průmyslu apod. Vypouštění nebo samovolný únik škodlivin do vody, který znemožňuje její další užití. Díky velkému suchu zaznamenáváme neúrodu zemědělských plodin a vysychání pastvin. Následkem toho jsou dlouhodobým problémem hladomory v Africe a Asii. Pokles vodních toků způsobí zaniknutí přírodních hranic v podobě řek a zvýší napětí v těchto oblastech (Kostrůnková, 2014).

Je vědecky prokázáno, že meteorologické sucho není zapříčiněno pouze jedním faktorem ale mnoha společně působícími. Studie, které byly prováděny v minulosti nás dovedli, k částečnému pochopení globálních modelů počasí, avšak schopnost předpovědět počasí v Severní Americe je stále velmi omezená. Pro lepší předpověď počasí je nutno pochopit dlouhodobé výkyvy mořské povrchové teploty, tvrdí vědci.

Fyziologické sucho je zaměřeno na potřeby vody jednotlivých druhů rostlin. Jsou to různé vlastnosti vody (pevné skupenství, vysoká koncentrace rozpuštěných látek) či půdy (malá velikost zrn), které rostlinám zabraňují nebo ztěžují přijímání půdní vody, ačkoliv jí může být dostatek. Proto je možné zahrnout do příčin agronomického sucha i sucho fyziologické (ČMES, 1993).

4.1 Synoptické příčiny

Za vznik sucha mohou synoptické typy, které se vyskytují nad určitými oblastmi a tím je ovlivňují. Sleduje se charakter přízemního tlakového pole a přítomnost synoptických typů v suchých měsících. Pro určení typických cirkulačních poměrů v extrémních suchých měsících, bylo nutné nejdříve analyzovat charakteristické rysy pole přízemního tlaku. Informace o rozložení tlaku nad evropsko – atlantskou oblastí byly zpracovány z gridové databáze Met Office Hadley Centre HadSLP2. Databáze umožňuje analyzovat průměrné měsíční hodnoty tlaku vzduchu od roku 1850 do současnosti (Allan, Ansell, 2006).

K analýze v Brázdil et al. (2015) byly vybrány měsíce s nejnižšími úhrny srážek ve vegetačním období, což je od dubna až do září. Pro tyto analýzy byly využity řady měsíčních hodnot Z-indexu a SPEI-1 pro české země v období 1850-2010. Dle druhého decilu se pro každý měsíc vybral nejsušší rok a do další analýzy vstupovaly pouze ty roky, které byly podle Z-indexu a SPEI nejextrémnější. Analyzovaná oblast měla rozpětí 30-70° severní zeměpisné šířky a 30° západní až 40° východní zeměpisné délky. Tato oblast je znázorněna celkem 135 gridovými body. Byly vytvořeny mapy pole průměrného přízemního tlaku vzduchu z referenčního období 1961-1990 pro každý měsíc také průměrného pole tlaku v extrémně suchých měsících. Charakteristické rysy můžeme předkládat také jako anomálie rozdílů

průměrného tlakového vzduchu ve velmi suchých měsících a průměrného tlaku vzduchu v referenčním období. Anomálie prošli testováním za pomoci t-testu na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

V extrémně suchých měsících vykazují společné rysy jak průměrná pole přízemního tlaku vzduchu, tak i Azorská tlaková výše a hřeben vysokého tlaku vzduchu. Hřeben vysokého tlaku vzduchu zasahuje do střední i východní Evropy, nejvíce jej pozorujeme v září a poměrně méně v dubnu a květnu. Celkově můžeme říci, že nízký tlak vzduchu je typický pro oblast Severního moře, ale také pro východní Středomoří. V teplejší části roku v Evropě převládá anticyklonální ráz počasí. Pozorujeme nadprůměrné teploty vzduchu a podprůměrný úhrn srážek, a tedy nejlepší podmínky pro výskyt sucha. Výskyt sucha není podmíněn jednotlivým charakteristikám, ale kombinací teplotních a srážkových poměrů. Proto výskyt sucha na území České republiky nemá vždy stejný původ, ale mnoho faktorů, který je ovlivňuje. Tři hlavní módy vysvětlují zhruba 70-80 % prostorové variability přízemního tlaku vzduchu ve všech analyzovaných měsících. První mód charakterizuje pouze 36-37 % variability tlakového pole v evropsko-atlantské oblasti. V teplejších měsících (dubnu a květnu) je podíl větší = 44 %.

Synoptické příčiny výskytu sucha lze také analyzovat se zřetelem na klasifikaci přízemního tlakového pole jednotlivých synoptických typů. Pro Českou republiku byla taková typizace vytvořena pro krátkodobé a dlouhodobé předpovědi počasí. Byla sestavena Brádkou et al. (1961). Procesy jsou klasifikovány podle směru cyklonality. Podle typu synoptických situací byly dány podstatné rysy tlakových útvarů, frontálních zón a frontálních systémů. Byl vytvořen katalog obsahující 28 těchto synoptických typů, který je dále doplňován až do současnosti. Pro další analýzy byly vybrány stejné měsíce jako pro předchozí. Zadaná data pro zpracování byla možná brát až od roku 1946. Výskyt jednotlivých synoptických typů je dán odchylkami, podle jejich průměrného relativní četnosti výskytu od roku 1961 až do roku 1991. Vyšší výskyt těchto synoptických typů je znát podle kladných odchylek naměřených v extrémně suchých měsících. v porovnání s průměrem uvedeném v referenčním období. Nižší výskyt synoptických typů je naopak vidět při záporných odchylkách v porovnání s průměrem let 1961-1991. Usuzujeme tedy, že můžeme očekávat větší úhrn srážek při výskytu cyklonálních synoptických typů, a naopak větší sucho při anticyklonálních typech. V letních měsících je všeobecný nárůst anticyklonálních synoptických typů, jedná se tedy o pouhé přiblížení při hledání příčin vzniku sucha (Brázdil et al., 2015).

4.2 Vliv klimatotvorných a cirkulačních faktorů

Tyto faktory ovlivňují klima v globálním měřítku. V této kapitole jsou zkoumány všechny možné souvislosti mezi různými indexy sucha a časovými řadami prezentujícími vybrané klimatotvorné faktory. „*Vyšetřovány jsou jak projevy vlivu přirozených vnějších činitelů a*

lidské činnosti, tak přítomnost komponent synchronizovaných s velkoprostorovými a vnitřními oscilacemi samotného klimatického systému.“ (Brázdil et al., 2015).

Nejvíce řešeným problémem je velká variabilita klimatických a meteorologických veličin. Propojenost faktorů, které formují dynamiku atmosféry a oceánu jsou stále velkým problémem. Analýzy těchto faktorů jsou prováděny za pomoci numerických simulací (globální klimatické modely). Dále bývají užívány techniky statistické analýzy, posuzuje vztahy mezi klimatologickými veličinami.

V následujícím odstavci shrnu možné vlivy na změny klimatu v Evropě, jak malých, tak i velkých měřítek.

Svou roli na změně klimatu nesou také velké koncentrace skleníkových plynů. Největší výskyt lze detekovat v posledních desetiletích, v lokálním či regionálním měřítku. Jedním z nejvyužívanějších plynů pro analýzy je CO₂. Charakterizuje efekt antropogenních emisí skleníkových plynů a jiné formy lidské činnosti. Dalším faktorem, který způsobuje globální změnu teploty vzduchu jsou vulkanické erupce. Však pro střední Evropu je nejdůležitější severoatlantská oscilace (NAO), která má velký vliv na úhrn srážek a teplotu vzduchu. K analýze byl využit skalární index, který pracuje s tlakovým rozdílem mezi Gibraltarem a Reykjavíkem. Systém ENSO, jehož primární oblast je lokalizována v Tichém oceánu může působit i na klimatologické veličiny v Evropě. Klimatický systém osciluje v delších časových úsecích a primárním nízkofrekvenčním oscilačním modem pro severní polokouli je atlantská multidekádová oscilace. Fáze AMO je spojována s následky jak na globální ale i klimatologické charakteristiky (Brázdil et al., 2015).

5 Metody hodnocení sucha

Jednou z věcí, kterou můžeme posuzovat je rozloha působení sucha. Může se jednat pouze a několik stovek km². Tyto menší oblasti většinou nezaznamenávají velká sucha. Kontinentální sucha (stovky tisíc až miliony km²), sucha s podstatně větší rozlohou, jsou naneštěstí stabilnější, trvají déle a mají mnohem větší sílu. V krajních případech může sucho zasáhnout i celý kontinent.

Hlavním úkolem je vymezení začátku a konce sucha. Díky nesjednocené definici sucha je to velice těžké. Občas je složité rozhodnout, zda se sucho vyskytuje či nikoliv.

Aby se dal zjistit začátek a konec sucha, je nutné jej zjistit pomocí objektivních metod. Pro výpočty indexů je nutné znát srážky, evapotranspiraci, teplotu, půdní vláhu, odtok, zásoby sněhu a vody v řekách. Po následném získání indexů porovnáváme výsledky z jiných období (Blinka, 2004). Pro snazší přípravu lidstva na krátkodobá, či dlouhodobá sucha, je zapotřebí se zaměřit na určité indikátory sucha a porovnat výsledky z uplynulých let. Sucho se zjišťuje a porovnává pomocí několika různých indexů, se kterými ve své práci obeznamuji.

5.1 Palmerův index závažnosti sucha

Nejvíce porovnávaným, používaným a nejvýznamnějším indexem je Palmer Drought Severity Index (zkráceně PDSI), navržen W. C. Palmerem roku 1968. Tento index využívá snadno dostupných teplotních a srážkových dat k odhadu relativního sucha. Je považován za jednu z neúčinnějších metod pro málo zavlažované zemědělské půdy.

PDSI je meteorologický index, který kromě srážek a teploty využívá také odtok, půdní a hloubkovou infiltraci. Lidské vlivy na vodní bilanci v půdě – například odvodňování nejsou ve výpočtu PDSI zohledňovány. Palmer na základě PDSI odvodil kritéria, ze kterých je možné určit začátek a konec sucha. Index je počítán typicky pro měsíce ve vegetačním období, ale i pro jednotlivé týdny (Blinka, 2004; Dai et al., 2013)

5.2 Standardizovaný srážkový index

Standardised Precipitation Index (zkráceně SPI), navržený roku 1993 McKeem (McKee, 1993) a kolektivem, je další velmi rozšířený a hojně používaný index sucha. Je definován deficit, případně nadbytek srážek na daném místě za libovolně dlouhý časový úsek. Vychází z dlouhé řady (i několik desítek let) pozorování na dané lokalitě. Standardizovaný srážkový úhrn je přímo úměrný srážkovému deficitu a jeho hodnotu je možné snadno vyjádřit prostřednictvím pravděpodobnosti výskytu, popřípadě v podobě bezrozměrného indexu. Vypočítává se kumulativní pravděpodobnost srážkového úhrnu v daném měsíci na základě

dlouhodobých měření, což obvykle odpovídá gama rozdělení. Křivka je následně transformována na hodnotu normálního rozdělení, která je určena střední hodnotou a rozptylem. Výstup je bezrozměrné číslo, které obvykle vymezuje 7 tříd indikujících suchu. Hodnota SPI = 0 odpovídá klimatologickému normálu, hodnoty se pak zpravidla pohybují mezi 3 až -3, přičemž pod -1,5 mluvíme o extrémním suchu. SPI je vhodným nástrojem k vymezení epizod sucha, jejichž délka je nicméně závislá na zvoleném časovém kroku. Taková suchá epizoda začíná měsícem, kdy poprvé SPI dosáhne záporné hodnoty a končí návratem do kladných hodnot. Zároveň však musí alespoň jednou za měsíc být hodnota SPI nižší než -1.

5.3 Index humidity

Tento index slouží k vyjádření humidity klimatu neboli vlhkosti, ale slouží také jako index aridity. Počítá s faktory srážek, teplotou vzduchu, výparu a sytostního doplňku. Využívá se pro klasifikaci klimatu a pro studium vazeb mezi klimatem a vegetací. Nahradíme-li dlouhodobý průměr konkrétními roky, můžeme takto hodnotit dlouhodobé sucho. Do indexu humidity řadíme: Langův dešťový faktor, de Martonneův index aridity, Thornthwaiteův index vlhkosti, Končkův index zavlažení, Seljaninovův hydrotermický koeficient, Meyerův kvocient aj (ČMES, 1993).

Langův dešťový faktor

Langův dešťový faktor byl navržen R. Langem roku 1920. Tímto faktorem hodnotíme a klasifikujeme dostupnosti vody v půdě potřebné pro rostliny. Určuje se podílem ročního úhrnu srážek a průměrné roční teploty vzduchu na daném místě. Pro představu je v pražském Klementinu průměrný roční úhrn srážek 456,5 mm a dlouhodobá průměrná roční teplota 10 °C: $(L)Df = 456,5/10,4$ tj. 43,9. LDF s nadmořskou výškou stoupá, jelikož s nadmořskou výškou klesá teplota vzduchu zhruba o 0,95 °C na 100 metrů a přibývá atmosférických srážek. Limitní hodnotou pro sucho je 70. Tato metoda nekalkuluje s rozložením teploty vzduchu a srážkami v průběhu roku proto její užití není zcela vhodné v určitých oblastech (Brázdil a Kirchner, 2007; Tolasz et al., 2007).

LDF	KLIMA	POZNÁMKY
< 10	výstředně aridní	zavodňování nezbytné
10 - 40	aridní	zavodňování nutné
40 - 50	semiaridní	zavodňování doporučeno
50 - 60	semihumidní	pěstování okopanin (cukrovka)
60 - 160	humidní	60-80 nejlepší podmínky pro polní hospodářství 80-120 podmínky pro pěstování obilnin a pícnin > 120 podmínky pro pěstování pícnin 100-160 odvodnění doporučeno
> 160	perhumidní	odvodnění nezbytné

Obrázek 1 - Langův dešťový faktor

Thornthwaiteův index

Thornthwaiteův index byl navržen C. W. Thornthwaitem roku 1948 (Thornthwaite, 1948). Index rozděluje klima podle vegetační charakteristiky do různých skupin. Vegetace se stanovuje pomocí srážení účinnosti: P / E , kde P je celkový měsíční úhrn srážek a E je celkový měsíční odpar. Součet měsíčních P / E hodnot udává index, který definuje 5 vlhkostních skupin podobných vegetací. Čísla vyšší než 127 označují deštný prales, 64–127 (vlhký) les, 32–63 (subhumidní) louky a pastviny, 16–31 (polosuché stepi), čísla menší než 16 (suché) pouště. Roku 1948 byl index doplněn o index vlhkosti, který se vztahuje na množství vody, které je rostlinám k dispozici srážením pomocí indexu potenciální evapotranspirace (PE). Index vlhkosti je v suchých oblastech negativní, protože srážky jsou menší než PE.

De Martonneův index

Tento index navrhl roku 1926 De Martonne (De Martonne, 1926). Vypočítá se jako $I = R / (T + 10)$, kde R je průměrný roční úhrn srážek v mm a T je průměrná roční teplota vzduchu ve °C. Lze ho aplikovat i na stanicích se zápornou hodnotou $T > -10$ °C, na rozdíl od staršího Langova dešťového faktoru. Prahové hodnoty pro stanovení aridity klimatu, resp. humidity klimatu bývají přizpůsobeny klimatu studovaného území. V roce 1935 byl vzorec upraven do podoby $I = ((R * N) / (T + 10)) * N'$, kde N je počet dní v roce se srážkami na daném místě a N' představuje průměrný počet srážkových dní v okolí (ČMES, 1993; Sobíšek et al., 1993).

5.4 Index předchozích srážek

Veličina k odhadu vlhkosti půdy, založená na sumaci denních úhrnů srážek za sledované období s klesající vahou směrem do minulosti. Byl navržen Köhlerem a Linsleyem (Köhler and Linsley, 1951) ve tvaru

$$API_n = \sum_{i=1}^n R_i k^i$$

kde n je počet uvažovaných dní (nejčastěji $n = 30$) a R_i je denní úhrn srážek v i -tém dni sledovaného období, přičemž $i = 1$ pro předchozí den a směrem do minulosti roste. Tzv. evapotranspirační konstanta k odráží vlastnosti daného povodí. Pro celé území ČR se zpravidla používá její průměrná hodnota $k = 0,93$. Index předchozích srážek je užíván k vyjádření nasycenosti povodí před případnou povodní, může však sloužit i jako index sucha (ČMES, 1993).

5.5 Srážkový normál

Tato metoda patří mezi nejjednodušší a zároveň nejběžněji používané metody, které porovnávají meziroční srážky. Jedná se o bodovou hodnotu ročního či měsíčního průměru. Srážkový normál se vypočítá jako průměrný úhrn srážek v mm / normál srážek * 100. Výsledek je v procentech. Nevýhodou této metody je, že normál bere v potaz pouze srážky, proto je konečná hodnota poměrně omezena (WMO a GWP, 2016).

5.6 Dokumentární index

Používá se k hodnocení informací o teplotách a srážkách z historických zdrojů. Zohledňuje dopady počasí na společnost, například teplotní a srážkové anomálie, extrémní jevy (vichřice, povodně, sucha), jejich biofyzikální dopady (nižší výnosy, nižší nutriční hodnoty), jejich ekonomické dopady (ceny potravin, krmiv), jejich demografické a sociální dopady (podvýživa, úmrtnost, sociální narušení a migraci potravin). Za nejdůležitější parametry považuje měsíční údaje o teplotách a srážkách pocházející z doby před jejich pravidelným měřením. K jejich získání, a tím pádem rekonstrukci počasí (teplot a srážek), je podstatné pracovat se správným dokumentárním zdrojem. Ke klasifikaci jednotlivých měsíců se používá jednoduchý 3 bodový index, kdy číslo 1 označuje mokrý měsíc, 0 normální měsíc a -1 suchý měsíc (u teplot: 1 = teplý měsíc, 0 = normální měsíc, -1 = chladný měsíc). Také je možné použít index 7 bodový, kdy číslice 3 značí extrémně mokrý měsíc, 2 velmi mokrý měsíc, 1 mokrý měsíc, 0 normální měsíc, -1 suchý měsíc, -2 velmi suchý měsíc a -3 extrémně suchý měsíc (obdobně vypadá číselná řada i u teplot). Sezónní či roční indexy jsou součtem

jejich měsících. U sezónních se většinou řeší období: březen–květen a červen–červenec, hodnoty zde tedy mohou kolísat mezi +9 až -9, u ročních je výsledek ve škále +36 až -36. Výsledek, je ovlivněn hustotou a kvalitou základních informací a do jisté míry i subjektivitou výzkumníka (Pfister a Brázdil, 2006).

Souhrnně lze říct, že nejvíce porovnávaným, používaným a nejvýznamnějším indexem je PDSI. Tento index využívá snadno dostupných teplotních a srážkových dat k odhadu relativního sucha. Je považován za jednu z nejúčinnějších metod pro málo zavlažované zemědělské půdy. PDSI je meteorologický index, který kromě srážek a teploty využívá také odtok, půdní a hloubkovou infiltraci. Lidské vlivy na vodní bilanci v půdě – například odvodňování nejsou ve výpočtu PDSI zohledňovány. Palmer na základě PDSI odvodil kritéria, ze kterých je možné určit začátek a konec sucha. Index je počítán typicky pro měsíce ve vegetačním období, ale i pro jednotlivé týdny. SPI – je další velmi rozšířený a hojně používaný index sucha. Je definován deficit, případně nadbytek srážek na daném místě za libovolně dlouhý časový úsek. Indexy humidity slouží k vyjádření humidity klimatu neboli vlhkosti, ale slouží také jako index aridity, patří sem Langův dešťový faktor, Thornthwaiteův index vlhkosti. Dokumentární index se používá k hodnocení informací o teplotách a srážkách z historických zdrojů.

6 Dopady sucha

Tento problém je aktuálním a velice diskutovaným tématem ve všech koutech světa. Pro snazší přípravu lidstva na krátkodobá, či dlouhodobá sucha, je zapotřebí se zaměřit na určité indikátory sucha a porovnat výsledky z uplynulých let.

6.1 Dopady sucha na rostliny

Nedostatek vody sužuje produktivity rostlin na celé Zemi a představuje jeden z nejnebezpečnějších faktorů. Pouštní oblasti produkují ročně 0,1 t. ha⁻¹. Oblasti, ve kterých nedochází k nedostatku vody je produkce biomasy o minimálně dva řády vyšší. Nýbrž i území, která jsou dostatečně zásobena vodou trpí suchem a díky tomu jsou sníženy výnosy plodin o 10-15 %. Důvodem je nerovnoměrné rozložení srážek v průběhu vegetačního období. Jak bylo popsáno v předchozích kapitolách, sucho je definováno mnoha definicemi a indexy. Protože rostliny přijímají vodu hlavně kořenovým systémem, je důležité se zaměřit na studium půdy a půdní vlhkost. Přítomnost vody v půdě se vyjadřuje v procentech nasycení půdního profilu. Míra sucha ve fyziologii rostliny se dá také vyjádřit vodním potenciálem půdy nebo vodním potenciálem listů. V případě vodního potenciálu půdy se jedná o odpor, který musí rostlina překonat, aby se dostala k vodě z půdy. Vodní potenciál listů vyjadřuje energii, díky níž se voda v rostlině může pohybovat. Příjem vody rostlinou však probíhá díky rozdílu hodnot vodního potenciálu půdy a kořenů. Aby mohlo docházet k příjmu vody musí být vodní potenciál kořenů nižší než vodní potenciál půdy. Pro dosažení vody až do listů, vodní potenciál listů musí být nižší než vodní potenciál kořenů. K vyrovnání těchto potenciálů dochází v noci. Vodní potenciál jednotlivých orgánů rostlin však nejsou jediným parametrem při hodnocení reakce rostlin na sucho. Dalším významným projevem neblahého vlivu sucha na rostliny je zpomalení nebo úplné zastavení růstu. Ke zpomalení růstu dochází již při minimální ztrátě vody, turgor v listech klesne o 0,1-0,2 MPa (Brázdil et al., 2015).

6.2 Dopady sucha na výnosy zemědělských plodin

Sucho v rámci Evropy i České republiky je pro hospodářské odvětví největším problémem v porovnání s ostatními hydrometeorologickými extrémy (Potop et al. 2011b, Potopová et al., 2016a, Potopová et al., 2016b). Sucho způsobuje škody při zakládání porostů, z důsledku zvýšených nákladů na vodu dodávanou na závlahy, snížením výnosů a samozřejmě zhoršením kvality produkce. Zemědělské sucho jako takové se nedá definovat ani kvantifikovat díky rozmanitým přírodním podmínkám v jednotlivých zemědělských oblastech. Při pozorování sucha, jeho výskytu a síle, můžeme určit intervaly podmínek, při nichž dochází k poškození plodin. Specifická kombinace načasování, délka trvání a velikost vláhového

deficitu je pak pro každý region a jinou plodinu jiná. Pochopení této problematiky pomáhá a přizpůsobuje hospodaření v regionech přizpůsobuje pěstitelské postupy. Nejvíce postiženými oblastmi suchem v České republice jsou jižní Morava a střední Čechy. Suché oblasti se však v posledních letech rozšířila i na střední Moravě. Díky rozrůstajícímu se suchu značně poklesly meziroční výnosy. Dalšími sledovanými poznatky jsou také pozměněné reakce plodin na výskyt sucha a teplotu. Výnosy plodin jsou více ovlivňovány klimatickou variabilitou, než tomu bývalo na konci 19. a začátku 20. století. Oproti minulému století vzrostl výnos plodin o trojnásobek, díky technologickému pokroku. Sucho nepoškozuje zemědělství pouze ve výnosu plodin, ale také přispívá k degradaci půdního prostředí. Půda ztrácí schopnost vykonávat své přirozené funkce, jako např.: zadržování vody, živin, filtrace, atd (Brázdil et al., 2015).

6.3 Dopady sucha na vodní hospodářství

Při výskytu hydrologického sucha dochází k poklesu průtoku nebo úplnému vysychání toků. Díky sníženému průtoku vody, je tok náchylnější na znečištění, což způsobuje zhoršené životní podmínky pro živočichy a ekosystémy (Daňhelka et al. 2015). Každý organismus potřebuje k životu jiné podmínky, nedostatek vody tak může způsobit pokles výskytu jednotlivých druhů, či úplné vyhubení. Znečištění vody je způsobeno jak samotným poklesem průtoku vody, tak i tím, že nedochází k ředění nečistot a zůstává tak její vysoká koncentrace. Zhoršení kvality vody je jedním z nejzávažnějších dopadů na vodní hospodářství. Neovlivňuje to pouze ekosystémy, ale také obyvatelstvo, kvůli znemožnění využití vody pro zásobení a také jako pitnou vodu. Dochází ke změně chemizmu vody, ke snížení množství rozpuštěného kyslíku, se zvyšuje koncentrace škodlivých látek a zvýšená teplota vody (Brázdil et al., 2015).

7 Vývoj sucha

V této kapitole sleduji vývoje sucha v různých oblastech a za pomoci různých indikátorů. Zaměřuji se především na Českou republiku, střední Evropu a východní Evropu. Pro porovnání využívám mapy s aktuálními daty a na druhé straně data historická. U historických dat je problémem jejich dostupnost. Ne vždy jsou dostupné od žadoucího roku, proto jsem si vybrala data nejbližší roku 1980 jako historická. Měsíc pro porovnání jsem si vybrala srpen, který je jedním z nejteplejších měsíců v roce.

7.1 Sucho v České republice

Sucho je extrémní meteorologický jev zahrnující vážné ekonomické důsledky. V českých zemích se projevuje ve značném snížení zemědělské produktivity, nedostatek vody pro hygienu a průmysl a dopadů na lesní hospodaření. Průměrná měsíční teplota i srážky evidované v českých zemích v letech 1805-2012 byly použity pro výpočet jarních (MAM) a letních (JJA) indexů sucha (SPI-1, SPI-12, SPEI-1 (Srážkového Evapotranspirace Indexu), SPEI-12, Z-index a PDSI), které pak byly použity pro další analýzy. Kolísání indexů sucha prokázalo zvýšení dlouhodobé suchosti v Českém klimatu, statisticky významné pro SPEI-12 a PDSI v MAM a JJA (v MAM, stejně jako pro-SPEI-1 a Z-index). Dopady sucha se odráží na značném snížení produkce ozimé pšenice a ječmene jarního ve východní části Moravy. Regresní analýza odhaluje význam Severoatlantické oscilační fáze a působení antropogenních vlivů (zvýšená koncentrace CO₂). Velikost tohoto vlivu se výrazně liší podle typu indexu sucha a ročního období. Další faktory, jako je například sluneční záření a jižní oscilační fáze mají pouze nevýznamný dopad na proměnlivost sucha. Účinky sopečné činnosti a Atlantické více dekádové oscilace jsou ještě slabší a statisticky nevýznamné (Brázdil et al., 2015).

Vliv sněhové pokrývky na půdní vlhkost

Velmi důležité jsou změny v charakteru a délce trvání sněhové pokrývky, která je v podmínkách střední Evropy významným faktorem doplňování zásob půdní vláhy při jarním tání. Potopová et al. (2016a) přináší podrobnou analýzu o úloze sněhové pokrývky během zimního období (říjen-březen) na deficit půdní vlhkosti a vývoje sucha během vegetačního období (duben až září) v nížinných a horských místech v České republice. Kromě toho byly v této studii použity, denní, týdenní a sezónní řady základních sněhových charakteristik [první den a poslední den sněhové pokrývky, počet dnů se sněhovou pokrývkou (DSC), vrstva sněhu a sněhový vodní ekvivalent (SWE)] a dále obsah vody v půdě, měření šesti indexů sucha s cílem kvantifikovat suchost. Akumulace let s výrazně podprůměrným DSC/SWE

byly zaznamenány v časných šedesátých letech, v polovině osmdesátých, pozdních devadesátých a většině z let 2000. Tendence k dřívějším datům ukončení sněhové pokrývky se vyskytuje v obou nížinných a horských lokalitách. Nicméně, nejvýznamnější posun v termínech brzkého konce sněhové pokrývky byl identifikován především v horských oblastech, zatímco v nížinách tyto změny nejsou tak zřejmé. Kapalní srážky více, než pevné srážky v chladném období vedou k oslabení korelací mezi vodní hodnotou sněhové pokrývky a půdní vlhkosti na počátku vegetačního období. Z analýzy vztahu mezi vodní hodnotou sněhu a vlhkosti půdy vyplývá (Potopová et al., 2016a), že více než 52 % suchých vegetačních období následovalo po chladných obdobích s minimální vodní hodnotou sněhové pokrývky. Negativní anomálie sněhových charakteristik mohou až o 45 % snížit množství vláhy v půdě především v dubnu a květnu. Napjatá korelace mezi indexy sucha a anomáliemi vlhkosti půdy je vyšší v pozdním létě. Negativní anomální sněhové charakteristiky ve spojení se zimou a AMJ suchem zesiluje přetrvávající vliv na vyčerpání půdní vlhkosti v pozdějším létě (Potopová et al., 2016a).

I přesto, že Česká republika není obecně charakterizována jako oblast náchylná k suchu v Evropě, sucho přetrvává a je jedním z nejdůležitějších klimatických extrémů, pokud jde o ztráty v zemědělství. To můžeme vidět na příkladu posledního období nejvíce přetrvávajícího sucha zaznamenaného v roce 2014 a 2015. Jak bylo ukázáno, negativní anomální sněhové charakteristiky ve spojení se zimou a časným letním suchem zesiluje přetrvávající dopady na vyčerpání vlhkosti půdy v pozdějším létě a v důsledku toho snížení latentního tepelného proudění a jeho schopnosti ochladit povrch půdy. Například velká část území České republiky (ČR) byla ovlivněna vážným suchem v období zima-jaro-léto v roce 2015 (Potopová et al., 2016b). V důsledku velmi špatné sněhové sezóny ve spojení s vysokou evapotranspirací a nedostatkem letních srážek situace vyústila v klesající úroveň disponibilní půdní vody od dubna do září. Obsah půdní vody klesl pod 10 % úroveň disponibilní kapacity vody (bodů vadnutí bylo dosaženo v některých lokalitách) v rozsáhlých oblastech Moravy, na východě, jihu a západu Čech. Pokud jde o srážky, rok 2015 reprezentuje druhý nejnižší úhrn srážek od roku 1961 (k nejnižším hodnotám srážek 335 mm došlo v roce 2003). V případě povrchových vod, minimální hladiny většiny sledovaných řek poklesly více než v roce 2003, a proto byla situace z pohledu nízkého průtoku srovnatelná s rokem 1947 nebo 1904 (Daňhelka et al. 2015). Mimo to, sucho z roku 2015 v ČR bylo součástí kontinentálního evropského fenoménu, který ovlivnil velkou oblast střední Evropy, černomořského regionu, Balkánu a Pyrenejského poloostrova. Nepřítomnost tlakových minim z důvodu výskytu permanentní oblasti vysokého tlaku vzduchu nad Euroasijskou částí země vedly ke snížení přenosu vlhkého vzduchu z Atlantiku a Středozemního moře přes území ČR. K tomu nízká relativní vlhkost, omezený výskyt mraků a tepelné vlny způsobovaly zvýšené odpařování. Tato analýza potvrzuje i sledování sucha na základě globálního 0,5 ° rastovaného Standardizovaného Srážkového Evapotranspirace Indexu (SPEI) v časové škále v rozmezí 1 až 48 měsíců v Evropě, kde SPEI poskytuje měřítko rovnováhy mezi dostupností vody a potřebě atmosférické vody (Vicente-Serrano et al., 2010, Potopová et al., 2016b). V ČR se polní zelenina převážně pěstuje v oblastech kolem nížinných povodí řek jako je Labe, Vltavy,

Ohře, Moravy, Dyje a Svratka, které jsou zemědělsky nejproduktivnější, ale mají nížinné klimatické charakteristiky „malé množství srážek a vyšší potenciál evapotranspirace a často jsou postiženy suchem. Rostlinná výroba (v závislosti na zelinářské oblasti) je ovlivněna vysokými teplotami (jižní Morava), výskytem sucha (nížinné oblasti Labe a jižní Morava), pozdními a časnými mrazy (ve všech oblastech), zamokřením (například mokro v průběhu vegetačního období v letech 2010 a 2013 ve Středočeském kraji) a přístupnost polí během klíčových zemědělských prací v terénu. V této studii vědci použili hlavní výhodu SPEI (Potopová et al., 2016b), a to schopnost určit roli evapotranspirace a proměnlivosti teploty s ohledem na posouzení sucha v globálním kontextu. Kombinace vysoké teploty a sucha iniciuje pozitivní regionální mechanismus zpětné vazby: deficity srážek a zvýšenou potřebu odpařování obecně spojené s teplotními změnami (např. atmosférické blokace) iniciující nedostatek půdní vlhkosti, čímž se potlačuje chlazení odpařováním a vede k teplejším a sušším podmínkám a půdní vlhkost se stává limitujícím faktorem evapotranspirace, což vedlo k závěru, že zvýšené globální záření a teplota vzduchu spolu s poklesem relativní vlhkosti vedly ke zvýšení referenční evapotranspirace po celé měsíce vegetačního období (zejména v dubnu, květnu a srpnu) po celé ČR. Delší intervaly mezi srážkovými událostmi mohou prodloužit dobu trvání a závažnost stresu půdy z důvodu sucha.

Variabilita výnosů zelenin ve vztahu k suchým a vlhkým obdobím v Polabí

Polní zelenina se převážně pěstuje v našich zemědělsky nejproduktivnějších, avšak srážkově nevyrovnaných oblastech nížinných úvalů řek Labe, Vltavy, Ohře, Moravy, Dyje a Svratky trpících často suchem (Malý et al., 1998). Největším nebezpečím pro farmáře podnikajících v oblasti pěstování polních plodin je sucho. Dopady sucha mohou v extrémních případech vést k vážnému poškození porostů a ztrátám výnosů plodin. Polabská nížina je oblasti trpící často suchem, v jehož důsledku může docházet ke zvýšené větrné erozi a vyšší potřebě závlah, což může vést k akumulaci solí v povrchové vrstvě půdního profilu. Zemědělské plodiny, které se poměrně náhle ocitnou na půdách se „suchým“ vlhkostním režimem, jsou náchylnější k chorobám a škůdcům (Kaple et al., 2004; Kocmánková et al., 2008). V souvislosti s častějším výskytem sucha podmíněným klimatickou změnou je možné očekávat významné zvýšení ekonomických ztrát (Potop et al., 2011b). Většina druhů a odrůd zelenin reaguje na sucho zpomalením růstu, omezením kvality a snížením výnosu. Suchá období v počátečních fázích vývoje většiny zelenin má za následek oddálení tržní zralosti a snížení výnosu. Postihne-li sucho zeleniny v období utváření jejich hlavního tržního produktu, tedy v druhé polovině vegetace, bývá často snížena především kvalita tohoto produktu (Kee et al., 1992). Konkrétní nároky rostlin na vodu se velmi liší, a to dle vývoje počasí, druhu půdy a období jednotlivých fenologických fází vývoje rostlin. Přitom v kritických fázích zvýšené potřeby vody a stability vláhových poměrů rostlin má její nedostatek silně negativní vliv na jejich další vývoj, a právě tehdy je nutné plně zabezpečit dostatek vody v půdě (Malý et al., 1998).

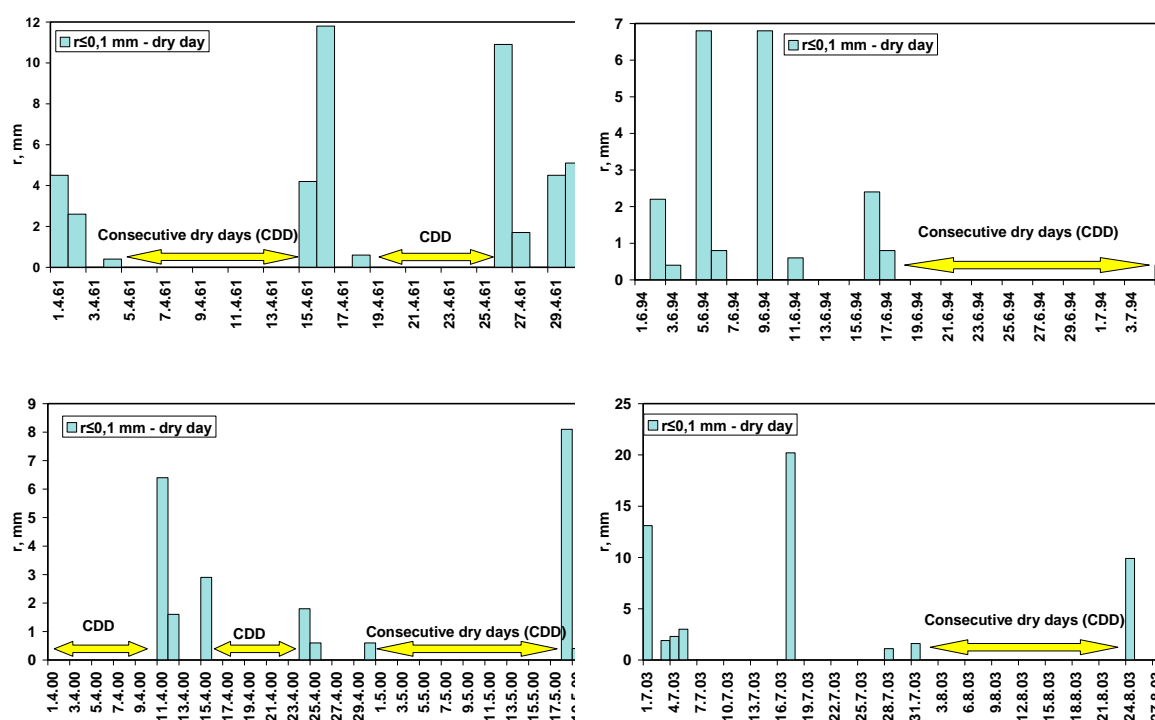
Příspěvek Potop et al. (2012) se zabývá posuzováním variability výnosů zelenin (celer bulvový, mrkev obecná, petržel zahradní, kedluben raný, kapusta hlávková, květák pozdní, zelí hlávkové pozdní, okurky nakladačky a salátové, rajče jedlé, cibule obecná, česnek jarní a hrách setý dřevňový) ve vztahu k suchým a vlhkým obdobím v Polabí, které patří mezi tradiční zelinářské oblasti České republiky. Jako vstupní údaje do modelů byly použity informace o produkčních parametrech (průměrné výnosy tržních polních zelenin (t/ha) a osevňovací plochy všech okresů ve Středočeském kraji) a denní meteorologická data (průměrná a maximální teplota vzduchu, úhrn srážek a doba trvání slunečního svitu).

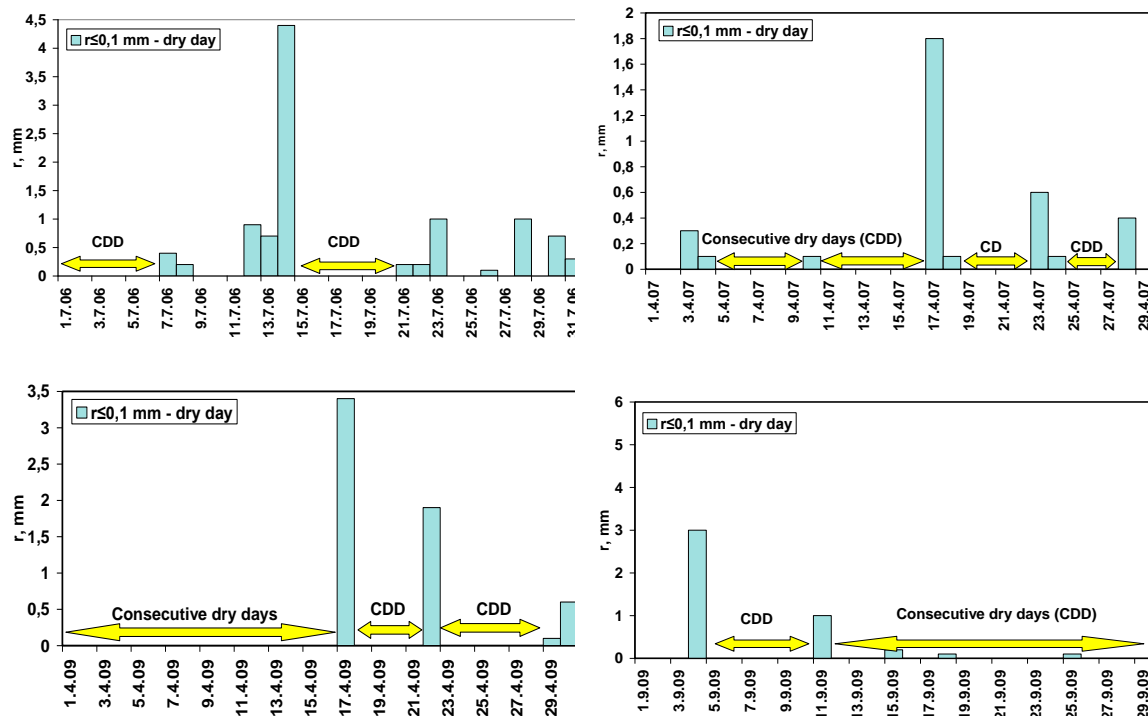
Nejdelší období beze srážek (CDD index)

S ohledem na vysoké nároky zelenin na rozložení srážek během vegetace, jsou atmosférické srážky v Polabí limitujícím faktorem při produkci zelenin. Vysoká citlivost většiny zelenin na nedostatek vody v půdě může proto způsobit vážné poškození jejich vývoje, mající za následek snížení výnosu a jakosti sklizně nebo i ztrátu celé produkce, a to i v případě jen krátkodobého několikadenního přísušku. Prodlužování období beze srážek a jejich zvýšená četnost ovlivňuje do značné míry i ceny produkce tržních zelenin. V naší práci jsou za nejdelší bezesrážková období považovány periody s největším počtem souvisle za sebou jdoucích dní, pro které platí, že jejich denní srážkový úhrn je menší než nebo roven 0,1 mm. V Polabí nejdelší bezesrážková období ve vegetační době většiny zelenin kolísá mezi 20 dny (duben) a 30 dny (září).

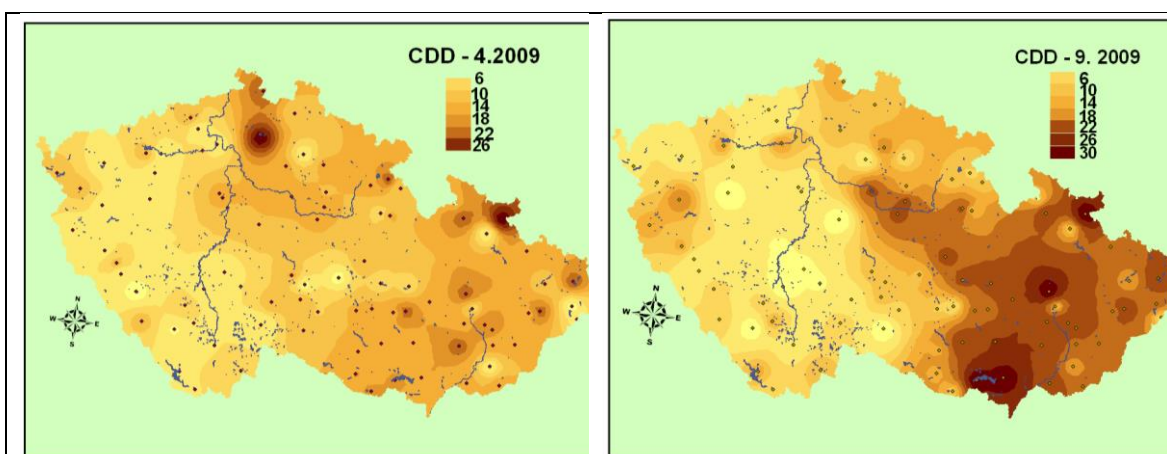
Ve vegetační době košťálové zeleniny je škodlivý efekt častějších výskytů období bez srážek během výsadby a v období tvorby zdužnatělých stonků kedluben, při zakládání růžic kvěťáku a hlávek zelí. Průměrná délka činí 12 dní a maximální 30 dní. Právě v tomto období vyžadují košťálové zeleniny vyšší a rovnoměrnou vlhkost půdy. Kořenová a cibulová zelenina je v době výsevu a výsadby méně ovlivněna výskytem období beze srážek.

Plodová zelenina je nejvíce ohrožena výskytem a delší dobou trvání bezesrážkových období ve fázích kvetení a tvorby plodů. Informace o nejdelším období bez srážek poskytuje obr. 2-4.

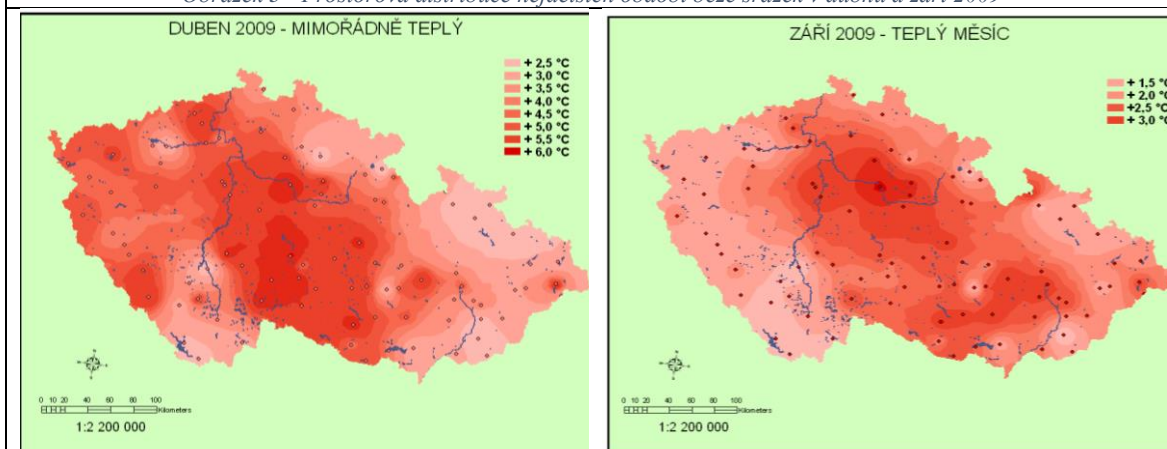




Obrázek 2 - Nejdelší období beze srážek (CDD index) Zdroje: Potop et al. 2010



Obrázek 3 - Prostorová distribuce nejdelších období beze srážek v dubnu a září 2009



Obrázek 4 - Odchytky od normálu teploty vzduchu v nejteplejším a nejsušším měsíci v roce 2009. Zdroje: Potop et al. 2010

Nejdelší srážkové období

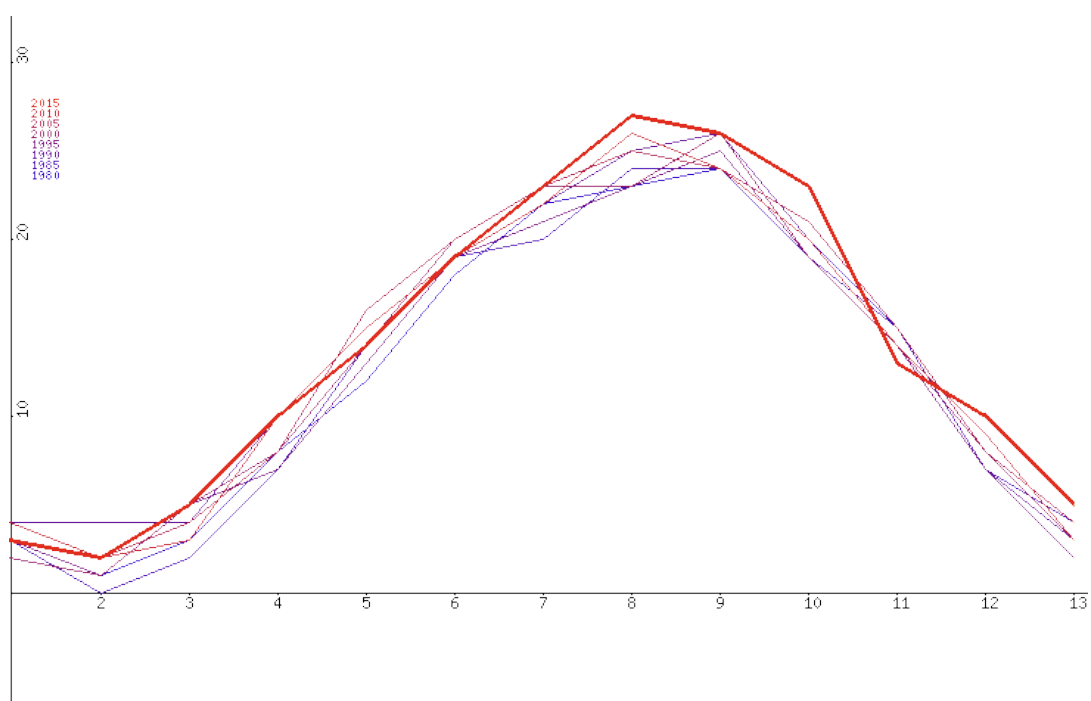
I když většina druhů zeleniny potřebuje dostatek vláhy, může v některých případech být nepříznivá i nadměrné množství vláhy, především proto, že kořeny rostliny při ní trpí nedostatkem potřebného vzdušného kyslíku. Pro některé druhy zeleniny je škodlivé přílišné kolísání vláhových poměrů, které vede např. k praskání hlávek (zelí a kapusta), kořenů (především mrkve) a plodů (hlavně rajčat).

Nejdelší srážkové období je definováno jako největší počet souvisle za sebou jdoucích dní, pro které platí, že jejich denní srážkový úhrn je větší než 0,1 mm. Průměrná délka srážkových období ve vegetačním období zelenin je 6-7 dní s nejdelším trváním 19 dní. Maximální trvání srážkových období spadá do doby výsevu cibulové a luskové zeleniny. Ve skutečnosti se shoduje s požadavky cibule mající větší nároky na vláhu jen na začátku vegetačního období. Později se zavlažuje jen v případě delšího sucha a při produkci lahůdkové cibule.

7.2 Sucho ve Střední Evropě

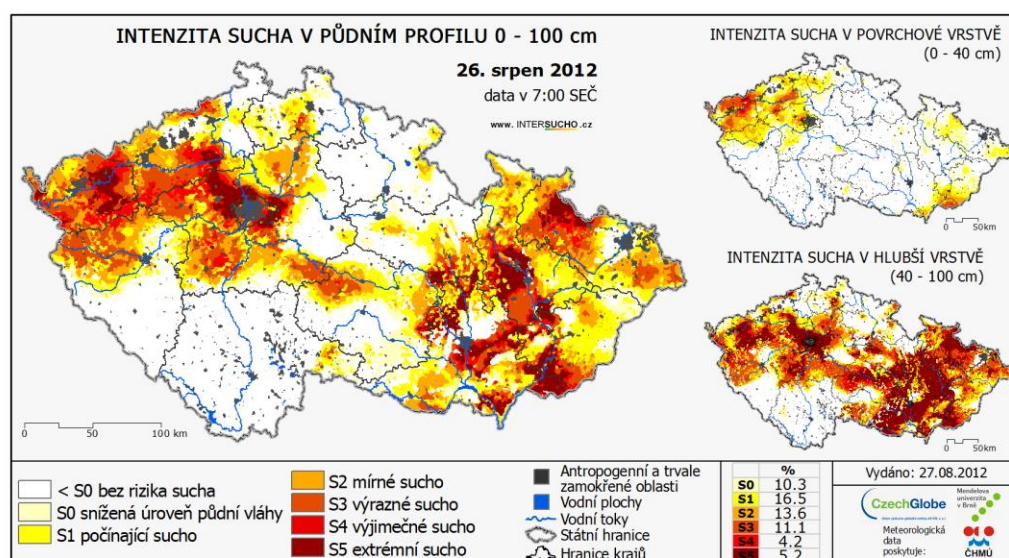
Vývoj teplot

Jedním z důležitých faktorů sucha je vývoj teplot. Pro porovnání jsem použila graf pro město Prahu s vývojem teplot od roku 1980 až do roku 2015. Z grafu je čitelné, že od roku 1980 se teplota v 8. měsíci zvatelně zvedla.



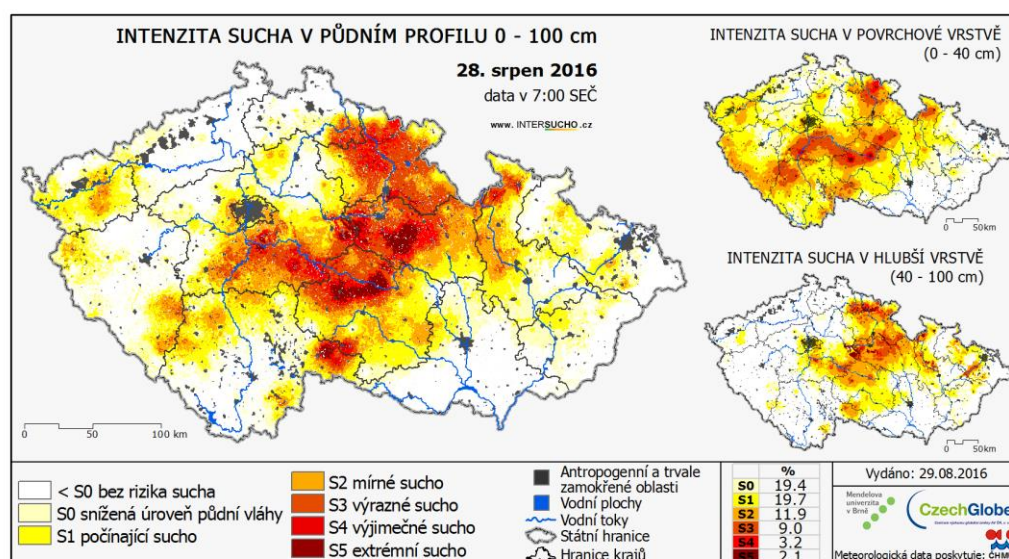
Obrázek 5 - Vývoj teploty, Praha (Zdroj: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1163>)

Další měřením vypovídajícím o suchu je také intenzita sucha v půdním profilu. Sběr těchto dat je veřejně přístupný a volně k dostání až v roce 2012, ale i tak lze vidět určitý přesun sucha do rozdílných oblastí. Rok 2012 se vyznačoval především tím, že nebyl dostatek vláhy v hlubší vrstvě půdy. Z toho lze usoudit, že v tomto období se nad naším územím nevyskytovaly žádné větší srážky a voda z dešťů se nestihla vsáknout do hlubších vrstev půdy. Největší sucho bylo v plzeňském kraji, v okolí Prahy a v podstatě na celé Moravě.



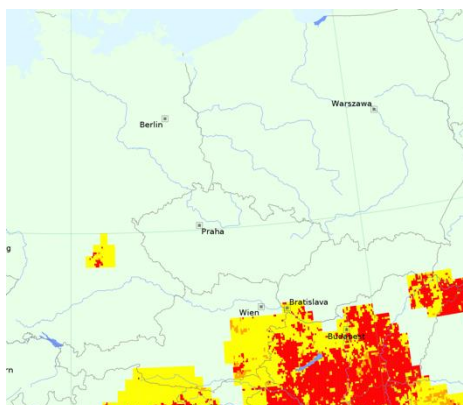
Obrázek 6 - Intenzita sucha ČR 2012 (Zdroj: <http://www.intersucho.cz/cz/mapy/intenzita-sucha/26-srpen-2012/>)

V roce 2016 byl pak nedostatek vláhy hlavně v kraji Pardubickém, Královohradeckém a Vysočina. Nedostatek vláhy byl zejména v povrchové vrstvě, který zasáhl většinu území. Hlubší vrstva pak nebyla nasycena zejména ve výše uvedených krajích.



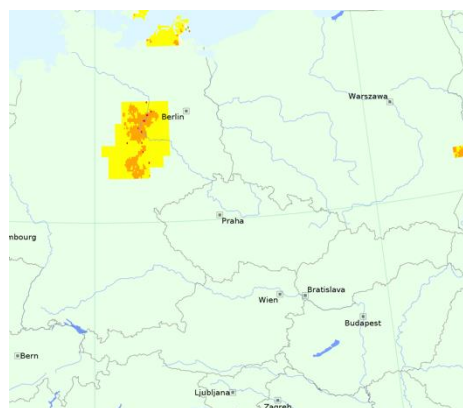
Obrázek 7 - Intenzita sucha v ČR 2016 (Zdroj: <http://www.intersucho.cz/cz/mapy/intenzita-sucha/28-srpen-2016/>)

První porovnání sucha ve střední Evropě může být za pomoci indexu sucha – CDI (Combined Drought Index). Zde zelená barva značí úplné zotavení vegetace do původního stavu, žlutá barva srážkový deficit, oranžová barva deficit půdní vlhkosti a červená vegetační stres. Na konci srpna roku 2012 lze vidět, že severní a střední část střední Evropy se vyznačuje úplným zotavením vegetace do normálních podmínek. V části Německa, a především pak v jižní části střední Evropy lze vidět, že dochází k deficitu úhrnu srážek. S dalším posunem na jih pak deficit srážek přechází do deficitu půdní vlhkosti, a především do vegetačního stresu, způsobeného právě danými deficitem. Nejpostiženější oblastí toho období byla především jižní Evropa.



Obrázek 8 - Střední Evropa CDI 2012, srpen (Zdroj: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/>)

Na rozdíl k tomu v roce 2016 lze vypočítat, že vegetace je téměř všude zotavena do původní kondice. Takřka jedinou postiženou oblastí deficitem srážek a půdní vlhkosti je převážně střední a severní část Německa. Mírné sucho se také objevuje v části Polska. Zbytek střední Evropy je však bez známek většího sucha a vegetace je zotavena do svého původního stavu. V tomto období byla nejvíce postižena západní a východní Evropa. Tedy ve srovnání s předchozím obdobím, srpen 2012, lze říci, že dle indexu CDI došlo ke zlepšení a zmírnění sucha ve střední Evropě. Stav vegetace se také zlepšil, a to výrazně v jižní části střední Evropy.

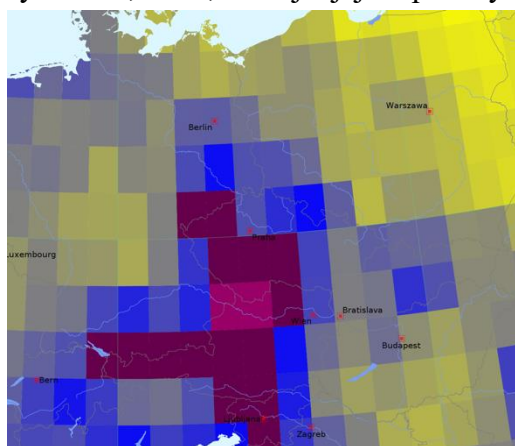


Obrázek 9 - Střední Evropa CDI 2016, srpen (Zdroj: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/>)

K porovnání slouží také mapa s daty o měsíčním úhrnu srážek. Zde barvy postupují od žluté, přes modrou až k fialové, přičemž žlutá barva značí nejméně srážek, tedy 0, a jasná fialová barva největší srážky, 400 mm. Porovnávaným obdobím je opět srpen.

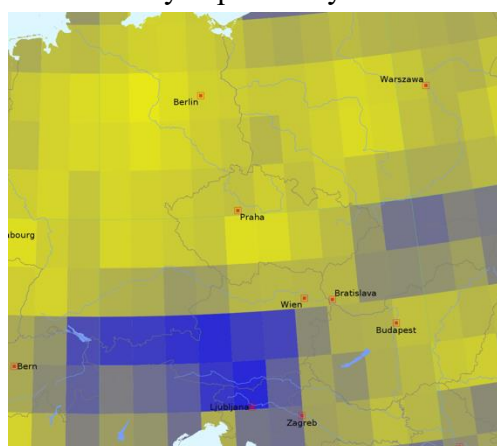
Z mapy lze vidět, že rok 2002 byl velmi hojný na dešť, zejména v hornatých částech Evropy. Z toho lze usoudit, že srpen v tomto roce byl ve znamení bouřek a vydatných, nepřetržitých dešťů. Dedukcí se dá usoudit, že v tomto roce zřejmě výrazné sucho nebylo, jelikož se horní toky řek mohly naplnit z dešťů a spíše převládala velká mokra a přesycení půdy vodou.

Následkem těchto dešťů vznikly také jedny z největších povodní svého druhu, především v České republice, které patří mezi největším přírodním katastrofám moderní české historie. V celé Evropě dosáhly řeky Vltava, Labe, Dunaj a jejich přítoky úrovně stoleté vody.



Obrázek 10 - Střední Evropa, Průměrné srážky 2002, srpen (Zdroj: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/>)

V porovnání s rokem 2002 byl srpen roku 2016 velmi skromný na srážky, což je pochopitelné, kvůli výše zmiňovaným dešťům, které zavinily povodně. Opět je nejvíce srážek vidět v jižní části střední Evropy. Z tohoto pohledu by se dalo říci, že by mohlo převládat poměrné sucho v celé střední Evropě, ale díky mapě z pohledu CDI můžeme prohlásit, že ke zhoršení sucha nedošlo. Srážek nebylo až tak málo, aby nebylo možné zavlažit půdu a také tomu prospěly deště v horách, které dokázaly naplnit koryta řek.



Obrázek 11 - Střední Evropa, Průměrné srážky 2016, srpen (Zdroj: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/>)

Mapa půdní vlhkosti nám za pomoci přirozených barev ukazuje, zda je půda velmi mokrá, tmavě zelená barva, nebo naopak velmi suchá, tmavě červená barva. Z mapy pro rok 1999 lze vyčíst, že většina půdy na území střední Evropy se pohybovala ve středních hodnotách indexu půdní vlhkosti, případně byla mokrá. Objevují se ale také oblasti, kde půda už nebyla dostatečně mokrá a už se v těchto oblastech dalo hovořit o suché půdě. Nejsušší půda se vyskytovala v okolí velkých měst. Dalo by se tedy říci, že v roce 1999 nedocházelo k tak dostatečnému úhrnu srážek, které by zvládly poskytnout vláhu veškeré půdě. V tomto období bylo nejvíce zasaženo Španělsko a Itálie.



Obrázek 12 - Střední Evropa, půdní vlhkost 1999, srpen (Zdroj: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/>)

V porovnání s rokem 1999 se v roce 2016 jednalo o značné zlepšení. Půda na většině území střední Evropy byla velmi mokrá. Jen s velmi zřídka se objevují oblasti, které značí půdní vlhkost pod normálem, a lze tedy prohlásit, že z tohoto pohledu se nejedná o zhoršení sucha. Lze konstatovat, že půda byla dostatečně zásobena vodou z dešťů, ale také vodou podzemní, protože v roce 2016 nedocházelo v srpnu ke značným srážkám. Půda tedy musela čerpat z dřívějších, podzemních zásob.

K rapidnímu zhoršení ovšem došlo ve Španělsku, Itálii a také v Portugalsku.

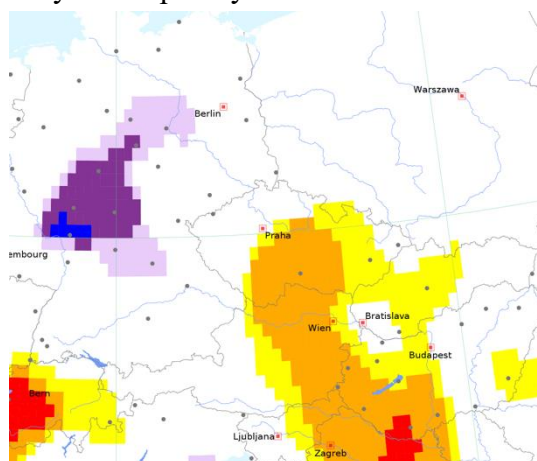


Obrázek 13 - Střední Evropa, půdní vlhkost 2016, srpen (Zdroj: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/>)

Dobře zmapovaným indexem je také SPI. Extrémní sucho, nebo také SPI s hodnotou nižší než -2, je zde vyznačeno červenou barvou, sucho v normálu, tedy SPI v rozmezí od -1 do 1, je vyznačeno bílou barvou a extrémní vlhko, SPI s hodnotou větší než 2, modrou barvou.

Tento index nám poukazuje na deficit nebo nadbytek srážek na daném místě za určité období, tedy za měsíc srpen v závislosti na předešlé časové úseky.

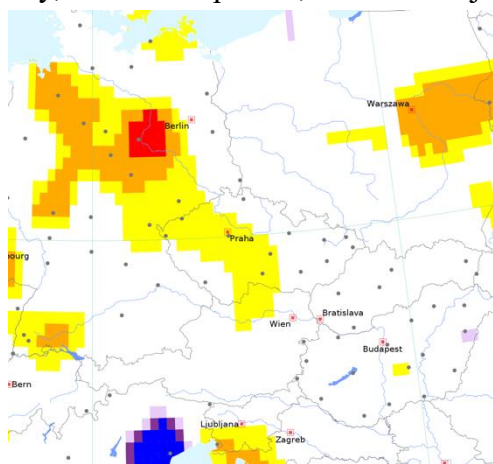
Z mapy jde poznat, že severní část střední Evropy suchem v roce 1981 netrpěla. Ba naopak na území Německa bylo značné a místy až extrémní mokro. Naopak v České republice už se objevovalo mírné a větší sucho, které se táhlo jižním směrem, kde nabíralo na závažnosti až do extrémního sucha. Ve Švýcarsku pak bylo sucho na extrémní úrovni.



Obrázek 14 - Střední Evropa, SPI, 1981, srpen (Zdroj: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/>)

V roce 2016 lze poznat rozdíl, jelikož oproti předchozímu období se sucho z jihu přesouvá směrem k severní části střední Evropy. Můžeme tak vyčíst, že v jižní části, kde před 25 lety převládalo sucho a bylo až v extrémních hodnotách, už se sucho příliš neobjevuje. Naopak se zde začíná formovat mokro.

Oproti tomu v severní části je patrné, že právě mokro, které zde bylo před 35 lety vystřídal sucho. A to nejen sucho mírné, ale také extrémní. Stejně tak se sucho dotklo i Polska, které s ním nemělo žádné problémy, ale zde lze poznat, že sucho už je rozvinuto ve značné míře.



Obrázek 15 - Střední Evropa, SPI, 2016 srpen (Zdroj: <http://edo.jrc.ec.europa.eu/>)

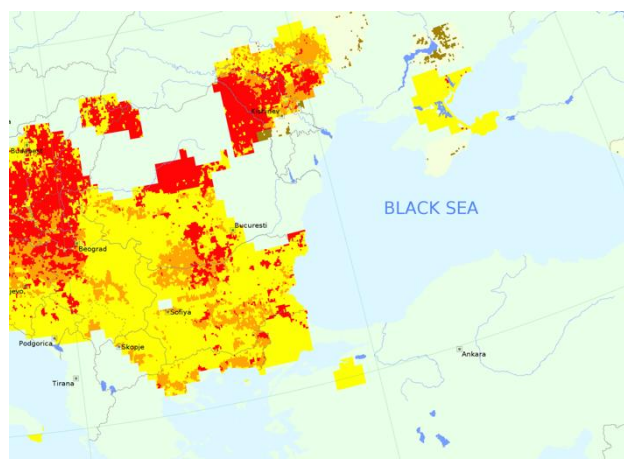
Pokud se podíváme na všechny mapy z roku 2016 lze v nich jasně vidět soudružnost. Lze tedy prohlásit, že mapy spolu souhlasí a vzájemně potvrzují svá data.

V okolí Berlína, kde nebylo příliš mnoho srážek, je patrné dle všech map, že se zde vyskytuje sucho ve větší než malé míře. Potvrzuje nám to jak mapa vyhotovená pomocí indexu CDI nebo SPI, ale také mapa srážek za měsíc srpen a také mapa půdní vlhkosti. Informace obsažené v mapách tak můžeme prohlásit za správné a v synergii.

7.3 Sucho ve východní Evropě

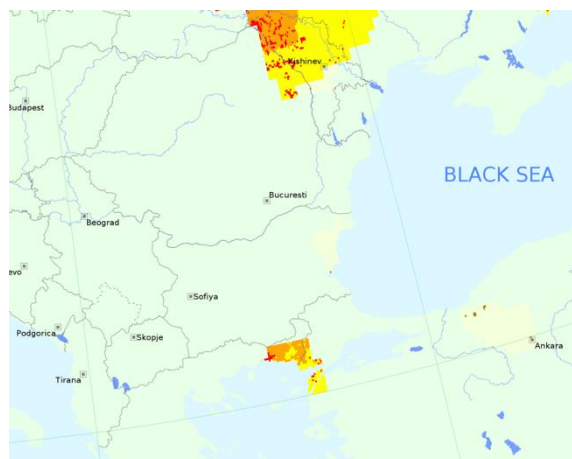
Období sucha mohou mít velký vliv na životní prostředí a společnost kdekoliv na planetě. Z hlediska ekonomických ztrát, je sucho jedním z největších přírodních rizik sužující Rumunsko a Moldavsko (Potop a Soukup, 2009, Corobov et al. 2010, Constantionov a Potop, 2010, Potop, 2011a, Boroneant et al., 2013, Cheval et al., 2014, Busuioc et al, 2015). Klimatické projekce nám ukazují zvyšující se teploty do budoucna a pravděpodobně i klesající úhrny srážek v létě, což bude přispívat výskytu sucha. Tato studie zkoumá variabilitu sucha v Rumunsku a Moldavsko. Cílem je charakterizovat intenzitu sucha, trvání a frekvenci, s cílem určit prostorové a časové trendy. Dále se porovnávalo chování různých instancí standardizovaného srážkového indexu, jako například časové rozpětí a rozdělení pravděpodobnosti funkce času, pro získání vlastností sucha. Homogenní měsíční srážkové úhrny získány z 98 meteorologických stanic provozovaných v Rumunsku v období 1961-2010 byly primárními daty pro 1, 2, 3 a 12 měsíc časovým měřítkem SPI. Variabilita SPI nad Rumunskem je především ovlivněna mechanismy velkých měřítek (např.: NAO-Severoatlantská oscilace a MAO-atlantská multidekadická oscilace) tvořících více než 50 % z pozorovaného rozptylu, na druhém místě jsou Karpaty započítané kvůli největšímu vlivu v zimě. Karpaty rozdělily Rumunsko na dvě hlavní části, a to na vnější a vnitřní část hornatého oblouku. Významné trendy ve vztahu k suchu, jsou zaznamenávány na několika stanicích v zimě, na jaře a v létě, zatímco na podzim nadbytek srážek pokrývá rozlehlé oblasti. Předběžné analýzy ukázaly, že NAO a MAO ovlivňují meteorologické sucho v Rumunsku a jsou kvalifikovány jako prediktory ve studiích deficitu vody. Práce byla financována z výzkumného projektu Změny klimatických extrémů a související dopady na hydrologické jevy v Rumunsku (Cheval et al., 2014).

Pro srovnání používám stejné mapy ze stejných období jako v případě zkoumání výskytu sucha pro střední Evropu. Na mapě z roku 2012 lze hned na první pohled poznat, že východní Evropa je suchem poznamenána znatelně více než střední Evropa. Dalo by se i usoudit, že sucho sužuje větší oblast východní Evropy než vegetace v zotaveném stavu. Můžeme také vidět, že oblast trpí jednak deficitem srážek, ale také deficitem půdní vlhkosti. Tyto dva faktory se značně podílejí na tom, že polovina území postihnutého suchem trpí také vegetačním stresem.



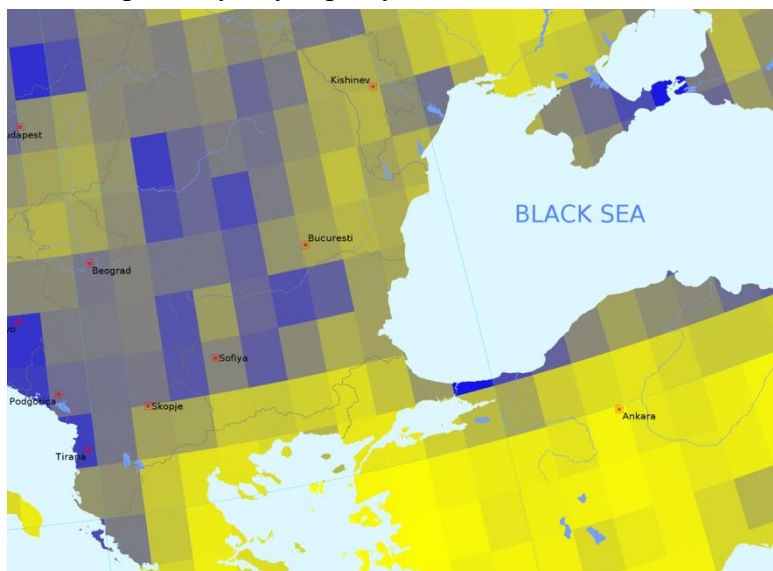
Obrázek 16 - Východní Evropa, CDI, 2012

Rozdíl v roce 2016 je jasný na první pohled. Takřka většina oblastí, které byly v roce 2012 postihnuty suchem, se zlepšila. Již se zde sucho vyskytuje jen v ojedinělých případech a většina vegetace východní Evropy je zotavena do normálních podmínek. Tedy podobně jako ve střední Evropě se i zde vegetace zotavuje do normálního stavu a dochází k celkovému zlepšení. Jedná se tedy o snížení sucha oproti minulému období k celkovému zlepšení kondice vegetace.



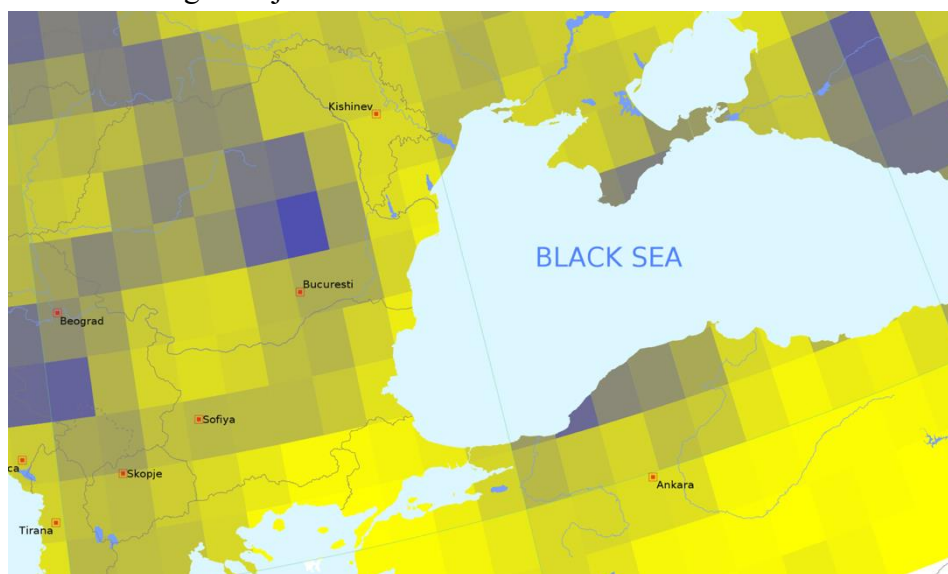
Obrázek 17 - Východní Evropa, CDI, 2016

V mapě se srážkami za měsíc srpen v roce 2002 vidíme, že srážky jsou poměrně dobře rozprostřené po celém území východní Evropy a na základě toho lze odvodit, že se suchem pravděpodobně problém nebyl a půda byla dostatečně mokrá a vegetace mohla být v zotaveném normálním stavu. Oproti tomu ve střední Evropě byly srážky hodně kumulované v horských oblastech a způsobily ony záplavy.



Obrázek 18 - Východní Evropa, srážky, 2002

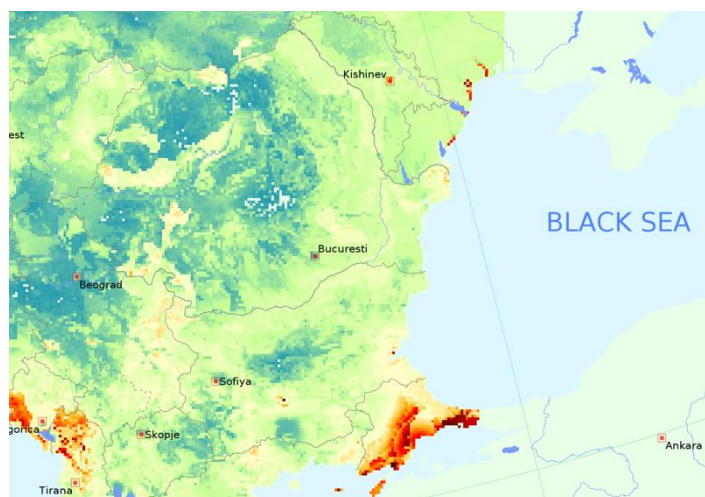
V roce 2016 je znovu vidět ústup srážek v porovnání s obdobím v roce 2002, podobně jako tomu bylo na území střední Evropy. Stejně jako v roce 2002 jsou srážky rozprostřeny v severní části, kdežto jižní část je opět téměř bez srážek. Nejméně srážek se zdá být v okolí Istanbulu, tedy mezi Černým mořem a mořem Egejským. Přestože byl ale úhrn srážek menší než v předchozím porovnávaném období, z pohledu mapy CDI je vidět, že suchých ploch není příliš mnoho a vegetace je dobře zotavená do normálního stavu.



Obrázek 19 - Východní Evropa, srážky 2016

Na mapě půdní vlhkosti z roku 1999 je patrné, že v okolí moří je největší výskyt sucha. Opět je největší koncentrace sucha mezi Černým a Egejským mořem, tedy v okolí Istanbulu, kde sucho dosahuje až extrémních úrovní, na rozdíl od dalších pobřeží, kde je půdní vlhkost lehce pod normálem, s občasnými výjimkami.

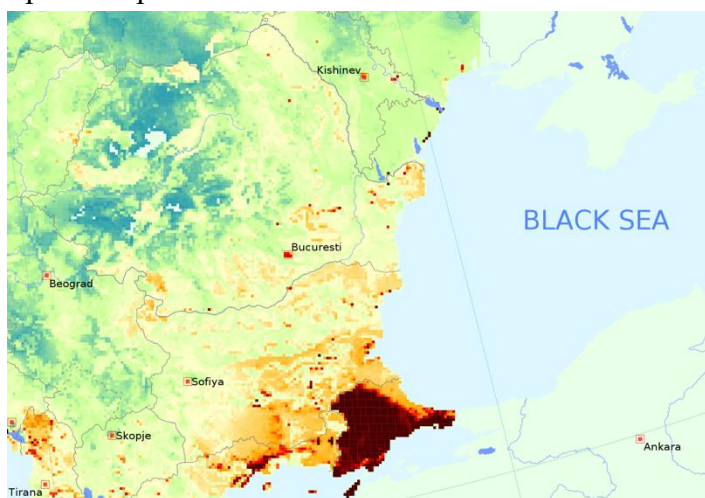
V porovnání se střední Evropou za stejné období se, až právě na výjimku v okolí Istanbulu, může říci, že sucho bylo poměrně stejné v obou částech Evropy a sucho nebylo nikterak závažné.



Obrázek 20 - Východní Evropa, půdní vlhkost, 1999

Při pohledu na mapu z roku 2016 je opět rozdíl patrný ihned, jen v tomto případě je naprosto odlišný než v případě střední Evropy, kde se půdní vlhkost zvětšila a nebylo tedy tolik vysušené půdy. Východní Evropa je toho přesným opakem. Půda už není tak mokrá jako v předešlém období a suchá půda už není jen u mořského pobřeží, ale už zasahuje i do vnitrozemí.

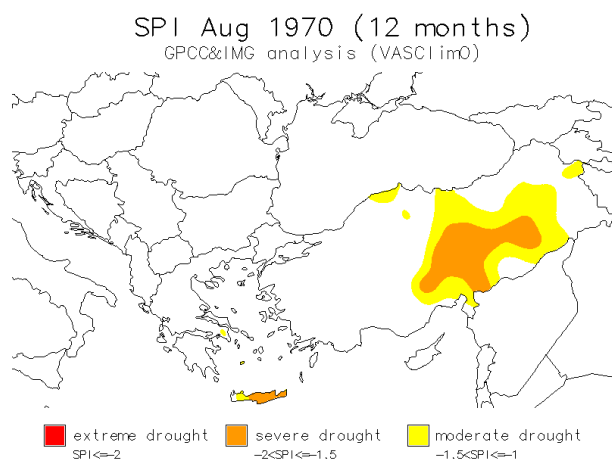
Absolutním extrémem je pak vidět mezi Egejským mořem a Černým mořem, kde je většina Turecka, východně od Istanbulu, ve vysokých číslech hodnocení suchosti půdy. Dá se tedy vyvodit závěr, že z pohledu půdní vlhkosti se sucho zhoršilo a značně rozšířilo.



Obrázek 21 - Východní Evropa, půdní vlhkost, 2016

Poslední metodou porovnávání vývoje sucha ve východní Evropě je opět mapa podle indexu SPI. Tentokrát se nejedná o data pouze za měsíc srpen, ale za období 12 měsíců do srpna.

Historický pohled až zpět do roku 1970 nám ukazuje, jak většina východní Evropy nepociťuje problém nějakého většího sucha. Výjimkou je pouze Turecko, které ve své střední části pociťuje nejen mírné, ale i velké sucho. Extrémní sucho se ale v tomto období nikde nevyskytuje.

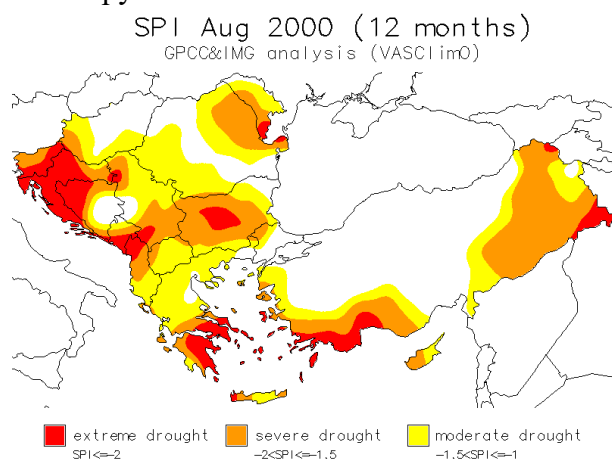


Obrázek 22 - SPI Východní Evropa 1970 (Zdroj: <http://www.dmcsee.org/en/vasclimo/>)

Na přelomu tisíciletí je pak situace východní Evropy úplně jiná. Turecko ve své střední části se už s problémy sucha nepotýká, zato se sucho rozšířilo do ostatních částí Turecka, kromě severní, a dosahuje až extrémních hodnot.

Oproti předchozímu období se markantně liší i ostatní země, kde problém se suchem nebyl. Nyní se sucho vyskytuje téměř na většině území, z toho méně, než polovina je sucho mírné. Velké a extrémní sucho tak převládá a může způsobovat značné problémy.

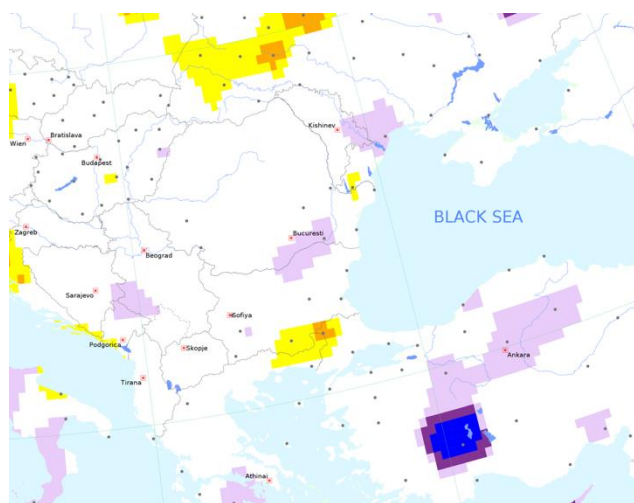
Můžeme tedy prohlásit, že ve východní Evropě se sucho za 30 let, od roku 1970 do roku 2000, ztlačilo zhoršilo. Oproti předešlému suchu pouze v oblasti Turecka se sucho rozšířilo na celé území východní Evropy.



Obrázek 23 - SPI Východní Evropa 2000 (Zdroj: <http://www.dmcsee.org/en/vasclimo/>)

V případě, že bych u východní Evropy zkoumala pouze měsíc srpen, vyšel by mi najevo podobný závěr. V roce 1970 se sucho ve východní Evropě téměř nikde nevyskytovalo, tedy mapa byla takřka bílá. Oproti tomu v srpnu roku 2000 byla mapa téměř celá posetá oranžovou a červenou barvou, bylo tedy na celém území extrémní sucho.

Poslední srovnávací mapa je opět z roku 2016 za měsíc srpen, opět vygenerována za pomoci indexu SPI. Z mapy lze vyčíst, že většina území východní Evropy se s problémem sucha nepotýkala. Naopak v Turecku se vyskytovalo zřejmě dost dešťů, jelikož index zde dosahuje i hodnot větších než 2. Jedinou sušší oblastí je opět ta mezi Černým mořem a Egejským, kde se vyskytuje mírné sucho. Zbytek území se pohybuje v rámci normálních hodnot až mírného mokra.



Obrázek 24 - Východní Evropa, SPI, 2016, srpen

I z této poslední mapy může vyvodit závěr, že všechny mapy z roku 2016 pro východní Evropu spolu náležitě souvisí. Jedinou odlišnou oblastí je zde část Turecka východně od Istanbulu, kde je půdní vlhkost v extrémně suchých hodnotách, nicméně na mapách SPI a DCI v takovýchto extrémech není. Může to být způsobeno právě polohou, která je mezi dvěma moři a půda se tak razantně vysouší.

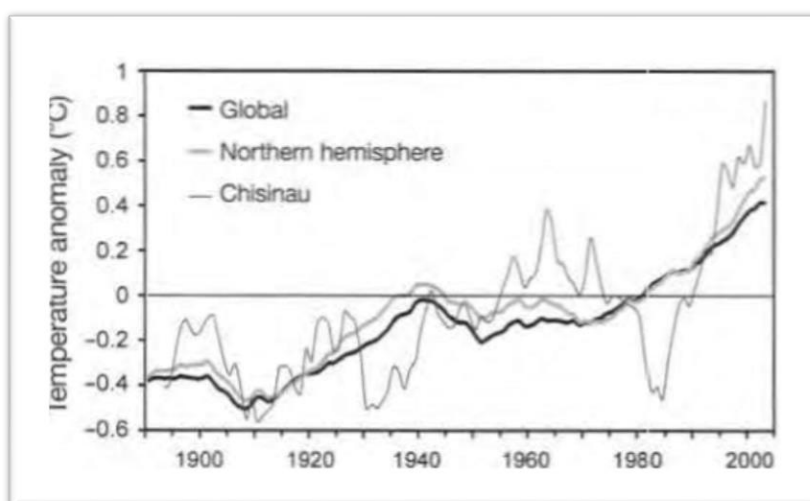
Klima Země se mění, což má za následek negativní důsledky. Hlavním závěrem 4. hodnotící zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu bylo to, že se klimatický systém bezpochyby otepluje, což je zřejmé z pozorovaného nárůstu průměrné teploty vzduchu a oceánu, rozsáhlému tání ledu a zvyšování průměrné hladiny moře (IPCC, 2013, 2014). Primárním cílem mnoha studií bylo vyhodnotit globální oteplování na regionální úrovni a pro odhad empirického propojení zvýšené frekvence a teploty extrémních událostí. Trendy teploty vzduchu se liší jak v globálním měřítku, tak i regionálním. Klimatické změny ovlivní všechny sektory národní ekonomiky-zemědělství, vodní hospodářství, průmysl, dopravu a lidské zdraví. Zpozorované důkazy a modelové simulace ukazují, že znatelné změny variability a dlouhodobých trendů extrémních případů je pravděpodobně pozvolna oteplující se Země. V tomto případě, dynamika extrémů je důležitým faktorem globálního oteplování a

znalost jejich povahy může lépe připravit společnost na tyto rizika. Díky předvídaným změnám v chování počasí a klimatickým odchylkám. Nárazové nebo klimatické extrémny mohou být závažné a rozsáhlé, nicméně nejdramatičtější účinky mají v místním a regionálním měřítku. Na toto téma bylo provedeno mnoho prací, zejména ve speciálních evropských projektech. Například na základě studií vysokých teplot ve Francii, navrhli podrobnou metodiku identifikace a odhadu trendu v sérii velmi vysokých teplot, které povolují empirické zákony. Mají být založeny na distribuci a vývoji teplot a čase. Informace o klimatických extrémech umožňují vyhodnocení probíhajících nebo nedávnych událostí umístěných do historického kontextu. V tomto článku prezentují cíle tří výzkumů: analýza dlouhodobých teplotních trendů a proměnlivosti klimatu v Moldavsku; vztah mezi sezonními teplotními extrémy a zvýšením průměrné teploty; vyhodnocení extrémně horkého léta 2007 v Moldavsku jako důkaz regionálního oteplování (Corobov et al., 2010).

Analýza dlouhodobých trendů klimatických proměnných, navíc v extrémních událostech, které jsou vzácné dle definice, vyžadují dlouhou časovou řadu pro modelování extrémů, ideálně by měli zasahovat do 19. století. Díky malé rozloze Moldavska, relativně homogennímu terénu a umístění Moldavska v blízkosti jeho geografického středu, mohou být výsledky považovány za reprezentativní pro celou zemi. Vzhledem k tomu, že se rok 1980 považuje za bod zlomu, po němž se antropogenní vliv na atmosféru reflektoval do záznamů klimatu. Vědci vyhodnotili teplotní trendy pro 2 období: 1887-1980 (dvě podobdobí 1887-1940 a 1945-1980), a 1981-2008. Rok 1981, prioritně byl vybrán zlom v globálních a hemisférických teplotách dlouhodobých časových řad, které využívají techniky na základě rozčleněných trendů a nepatrných integrací. Další bod zlomu (1940-1945) se shoduje s maximem a minimem teplotních záznamů. Moldavské klima je mírně kontinentální, lehce pozměněné blízkostí Černého moře a je ovlivněné teplým, vlhkým vzduchem proudícím od Středomořího moře. Klimatická období jsou jasně definována krátkými zimami s málo sněhem, dlouhými, hodně suchými a teplými léty. Význam změn teplot od roku 1981-2008 ve srovnání s předchozími byl testován pomocí statistického srovnání odpovídající průměru a hodnotám směrodatných odchylek. V podstatě tato procedura kontroluje nehybnost pozorovaných sérií. Obvykle extrémny reflektují nezvyklé a vysoké dopady, které se vyskytují na chvostu statistického rozdělení. Kritéria rarity se liší od místa k místu a obvykle jsou kalkulovány stejně vzácně jako 10 nebo 90 % percentily. Jiné výzkumy se soustředily na neparametrické přístupy dle Benistona (2004), pokus vztahovaný k vzácným nebo častým událostem, které mění průměrné podmínky klimatu, nejsou v žádném případě příčinné vztahy mezi izolovanými událostmi a dlouhodobé trendy je obtížné stanovit jakýmkoliv statistickým způsobem. Pro zevšeobecnění existuje teorie extrémních hodnot, která se opírá o 2 obecné přístupy k extrémním událostem. Za první ty, které mohou být považovány jako maxima daných úseků času (např.: rok nebo měsíc) jsou popsány všeobecnými, extrémními, rozdělovacími hodnotami (GEV – generalizované extrémní hodnoty). Rozdělení GEV je limitováno rozdělením vhodně normalizovanými maximy dlouhých sekvencí nezávislých a náhodně rozdělených proměnných. Jako takové se využívají odhad pro modelování těchto maxim. Za druhé se další specifikace skládají z vrcholů nad prahovým přístupem (POT – vrcholy nadprahových

přístupů) kde jsou extrémny ponechanými hodnotami a jsou vybrány ty, které jsou nadprahové. V POT je série těchto událostí obvykle trajektorií Poissonova procesu. Nepřímo je tato studie založena na těchto dvou úvahách. Extrémní hodnoty jsou primárně vypočítány jako rozdílné konce procent ročních a sezonních rozdělení teplot minima a maxima.

Klimatické změny mohou být globálního původu, ale stále jsou spíše regionální či lokální. Pár experimentů s komplexem klimatických modelů odhadují vztahy mezi skalárními ukazateli a lokálním množstvím zájmů. Tyto vztahy předpokládají odolnost, kterou jim dává jakékoliv hodnoty skalárních ukazatelů, hodnoty ukazatelů mohou být odhadovány pro každou lokalitu. Corobov et al (2010) využili tento koncept k nalezení společného vztahu teplotních řad naměřených v Moldavsku, vyjádřených jako anomálie vycházejícího z klimatického výchozího bodu s celosvětovými a severními hemisférickými anomáliemi. Zatímco určující trend globálních teplot je široce reflektován v Moldavsku, je evidentní, že převážná část proměnlivého regionálního klimatu je specifická dle lokality.



Obrázek 25 - Anomálie z globálního hlediska, severní hemisféry a Moldavska

Z let 1887-1940 byly v Moldavsku pozorovány nevýznamné poklesy teplotního průměru ve všech ročních obdobích, kromě letního období, kdy byl trend nevýznamně pozitivní. Od roku 1945 do roku 1980 meziroční pokles pokračoval ke statisticky významnému poklesu teploty v létě a nevýznamným pozitivním trendům podzimních a zimních teplot. Od roku 1981 byly všechny trendy pozitivní při $p < 0,05$ (p – teplotní anomálie) pro roční a letní teploty, a $p < 0,10$ pro jarní teploty. Trendy zimních a podzimních teplotních průměrů v tomto období nebyly statisticky významné. Po celou dobu přístrojových měření v Moldavsku byl obecný pozitivní trend teplotního průměru dán hlavně oteplováním klimatu v posledních 3 desetiletích. Výrazné změny mezi dvěma obdobími jsou pozorovány u teplotních maxim. Během let 1945–1980 byl teplotní trend negativní ve všech ročních obdobích; od roku 1980 byl pozitivní, se statisticky významnými změnami v létě, na podzim a za rok jako celek. Naproti tomu vzestupný trend minimální (noc) teploty byl pozorován před rokem 1980. Zpo-

čátku byla významná pouze roční ($p < 0,10$) a podzimní ($p < 0,05$) minima, následovaná prudkým nárůstem v pozdějších letech. Kdy lze pozorovat zvýšení rychlosti trendu. Různé výzkumy a simulace naznačují, že hodnoty se pravděpodobně změní se změnou klimatu, a jejich relativní přínos k novým teplotním režimům záleží na tom, jak se jednotlivé statistiky změní. V našem případě, v posledních 3 letech, sezónní (kromě podzimu) a roční teplotní průměr se liší s vysokou mírou jistoty na základě minulých let. Rozptyl teploty vzduchu zůstává (statisticky) stejný. Synergický efekt změny v prostředí a variability ústí ve změnu v distribuci. Výsledky naznačují, že v průběhu posledních 3 let má špatné střední klima (na hladině významnosti 10 % a méně), ve srovnání s předchozím dlouhodobým horizontem pro všechna roční období s výjimkou podzimu ($p = 0,5$). Nicméně, ve srovnání posledních desetiletí s lety 1945-1980 existují jen významné rozdíly v rozptylu teplotních průměrů na roční úrovni.

Výzkum také podporuje výsledky dalšího výzkumu (IPCC – Mezivládní panel pro změny klimatu) v detekci asymetrie mezi změnou maximální a minimální teploty. Nejsou prakticky žádné významné rozdíly mezi třemi statistikami maximálních sezónních teplot v tomto prostředí ve srovnání s 1940-1970. Nicméně, teplotní minimum se významně změnilo, pokud jde o jeho střední hodnoty, variability ročních hodnot a v rozptylu, při $p < 0,05$ ve všech ročních obdobích, kromě zimy ($p = 0,132$). Proto lze dojít k závěru, že v posledních třech desetiletích pozorování obecného oteplování v Moldavsku je způsobeno především zvýšením minimální teploty.

Analýzy nebo pozorované trendy v teplotách ovzduší v Moldavsku v posledních 120 letech poskytují příležitost pro identifikaci důkazů změn teplot vzduchu režimu Moldavska, které lze shrnout takto. Zrychlení antropogenní změny klimatu v posledních 3 letech na regionální úrovni je jasně patrné díky změnám teplotních trendů a extrémních jevů. Regionální klima Moldavska se výrazně mění. Od počátku roku 1980, trendy teploty vzduchu pozorované na meteorologické stanici v Moldavsku změnila ostře jak svou orientaci, tak kurz. Obecný pozitivní trend teploty po celou dobu instrumentálních pozorování je způsoben především oteplením v posledních třech letech a vzhledem k tomu, že dochází ke změnám v rozložení teplot, je pozorováno nové základní klima. Existuje určitá asymetrie mezi změnou v teplotním maximu a teplotním minimu. Zatímco rozdíly mezi sezónním rozložením maximálních teplot v současnosti ve srovnání s lety 1940-1970 jsou do značné míry nevýznamné, minimální teploty se výrazně změnily v jejich středních hodnotách a rozložení. Takže nedávné regionální oteplení je způsobeno zejména zvýšením minimálních (noční) teplot. V důsledku toho je změna mezi maximální a minimální teplotou v četnosti a intenzitě teplotních extrémů rozdílná. Nedochozí k nárůstu v počtu zimních a letních maximálních extrémů oproti prudkému nárůstu frekvence letních a ročních extrémních minimálních teplot. Rekordní horké léto roku 2007 bylo neobvyklé ve srovnání se základním klimatem Moldavska a na základě teplotního režimu Moldavska v polovině 20. století by bylo považováno za prakticky nemožné (Corobov et al., 2010).

8 Závěr

Cílem práce byla analýza a zpracování zdrojů informací zaměřených na studium výskytu období sucha ve střední a východní Evropě v důsledku proměnlivosti klimatu.

První kapitola se zabývá základní definicí sucha jako takového. Sucho je nepostižitelným jevem, které se značně liší od ostatních přírodních rizik. Je to pozvolna se rozvíjející nebezpečí bez výrazného začátku a konce.

Druhá část literární rešerše ukazuje, jak lze sucho popsat z pohledu různých disciplín. Meteorologické sucho se vyznačuje několika faktory, a to srážkovým normálem, výparry, teplotou a vlhkostí vzduchu a rychlostí větru. Agronomické sucho je pak v závislosti na suchu meteorologickém definováno jako sucho půdní, tedy se vyznačuje nedostatkem půdní vlhkosti, která je způsobena právě suchem meteorologickým. Toto sucho pak způsobuje nedostatek vody pro kořeny rostlin a narušuje také jejich vodní režimy. Další oblastí sucha je sucho hydrologické, které lze definovat například pomocí průtoku povrchových vodních toků. Toto sucho bývá také následkem meteorologického sucha a vyznačuje se především na jeho konci. Posledním typem sucha je socio-ekonomické, které je následkem všech such předchozích. Jedná se o nemožnost uspokojit poptávku po produktech díky nedostatku vody. Dopady sucha jsou často bezstrukturní a těžko je lze kvalifikovat. V posledních letech, se díky velkým suchům odhalila zranitelnost některých společenstev na nedostatek vody, a tak způsobila konflikt mezi uživateli vody

Třetí kapitola se zabývá příčinami sucha. Příčiny sucha jsou jak antropogenní, tak i přirozené. Další příčinou vzniku sucha jsou také klimatotvorné a cirkulační faktory. Je vědecky prokázáno, že meteorologické sucho není zapříčiněno pouze jedním faktorem ale mnoha společně působícími. Za vznik sucha mohou synoptické typy, které se vyskytují nad určitými oblastmi a tím je ovlivňují. Sleduje se charakter přízemního tlakového pole a přítomnost synoptických typů v suchých měsících. Klimatotvorné a cirkulační faktory ovlivňují klima v globálním měřítku. Nejvíce řešeným problémem je velká variabilita klimatických a meteorologických veličin. Propojenost faktorů, které formují dynamiku atmosféry a oceánu jsou stále velkým problémem. Svou roli na změně klimatu nesou také velké koncentrace skleníkových plynů. Největší výskyt lze detekovat v posledních desetiletích, v lokálním či regionálním měřítku.

Čtvrtá sekce rešerše seznamuje s jednotlivými metodami, které sucho hodnotí. Hlavním úkolem je vymezení začátku a konce sucha. Díky nesjednocené definici sucha je to velice těžké. Občas je složité rozhodnout, zda se sucho vyskytuje či nikoliv. Nejvíce porovnávaným, používaným a nejvýznamnějším indexem je Palmer Drought Severity Index, Standardised Precipitation, Index Langův dešťový faktor, dokumentární index.

Pátá kapitola přímo popisuje, jaké jsou dopady sucha. Tento problém je aktuálním a velice diskutovaným tématem ve všech koutech světa. Nedostatek vody sužuje produktivity rostlin na celé Zemi a představuje jeden z nejnebezpečnějších faktorů. Je dokázáno, že i území,

kteřá jsou dostatečně zásobena vodou trpí suchem. Důvodem je nerovnoměrné rozložení srážek v průběhu vegetačního období. Dalším významným projevem neblahého vlivu sucha na rostliny je zpomalení nebo úplné zastavení růstu. Sucho v rámci střední a východní Evropy je pro hospodářské odvětví největším problémem v porovnání s ostatními hydrometeorologickými extrémy. Sucho způsobuje škody při zakládání porostů, z důsledku zvýšených nákladů na vodu dodávanou na závlahy, snížením výnosů a samozřejmě zhoršením kvality produkce. Můžeme také říci, že k obecnému oteplování v některých částech východní Evropy především přispívá zvýšení minimální teploty.

Šestá kapitola sleduje už konkrétní vývoj sucha v České republice, střední Evropě a východní Evropě. V České republice byl také pozorován vliv sněhové pokrývky na obsah vody v půdě. Díky špatné sněhové sezoně, vysoké evapotranspiraci a nedostatku letních srážek, situace vyústila v klesající úroveň disponibilní půdní vody od dubna do září. V případě povrchových vod, minimální hladiny většiny sledovaných řek poklesly více než v roce 2003, a proto byla situace z pohledu nízkého průtoku srovnatelná s rokem 1947 nebo 1904.

Rumunsko a Moldavsko jsou země nejvíce postihované extrémním suchem. Východní část Evropy v roce 2012 byla znatelně více poznamenána suchem než střední Evropa, oblasti trpící nedostatkem srážek a deficitu půdní vlhkosti. Oproti tomu rok 2016 ukazuje výrazné zlepšení v oblasti východní Evropy (Rumunsko, Moldavsko). Většina vegetace je zotavena do normálního stavu. Analýzy nebo pozorované trendy v teplotách ovzduší v Kišiněvu v posledních 120 letech poskytují příležitost identifikovat důkazy o jasné změně teplot vzduchu režimu Moldavska. Rekordní horké léto roku 2007 bylo neobvyklé ve srovnání se základním klimatem Moldavska a na základě teplotního režimu Moldavska v polovině 20. století by bylo považováno za prakticky nemožné.

Pro porovnání jsou využity mapy s aktuálními daty a na druhé straně s daty historickými. U historických dat je problémem jejich dostupnost. Ne vždy jsou dostupné od žádoucího roku, proto jsou vybrána data nejbližší roku 1980 jako historická. Jednotlivé mapy jsou porovnány a na základě indexů, za pomoci, kterých jsou mapy vytvořeny, jsou vyvozeny závěry o vývoji sucha v dané oblasti.

Zdroje

Literární zdroje

- Allaby, M. A dictionary of earth sciences. 3rd ed. /. New York: Oxford University Press, 2008. ISBN 01-992-1194-9.
- Allan, R. J., Ansell, T. J. (2006): A new globally complete monthly historical mean sea level pressure data set (HadSLP2): 1850–2004. *Journal of Climate*, 19, 5816–5842.
- Bachmair, S., Stahl, K., Collins, K., Hannaford, J., Acreman, M., Svoboda, M., Knutson, C., Smith, K.H., Wall, N., Fuchs B., Crossman, N.D, Overton, I.C. 2016: Drought indicators revisited: the need for a wider consideration of environment and society. *WIREs Water*, 3: 516-536. doi: 10.1002/wat2.1154.
- Beniston, M. (2004): The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letters*, 31, L02202
- Boroneant, C., Potop(ová), V., Caian, M., Soukup, J. 2013: Using various visualization techniques to outline vulnerability to drought in the Republic of Moldova. *Geographia Napocensis*. 7 (2): 97-108.
- Brázdil, R., Kirchner K. Vybrané přírodní extrémny a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku: Selected natural extremes and their impacts in Moravia and Silesia. Brno: Masarykova univerzita, 2007, 431 s. ISBN 978-80-210-4173-8.
- Brázdil, R., Trnka, M., Mikšovský, J., Řezníčková, L., Dobrovolný, P. 2015a: Spring-summer droughts in the Czech Land in 1805–2012 and their forcings. *Int. J. Climatol.*, 35 (7): 1405-1421.
- Brázdil, R., Trnka, M., Řezníčková, L., Balek, J., Bartošová, L., Bičík, I., Cudlín, P., Čermák, P., Dobrovolný, P., Dubrovský, M., Farda, A., Hanel, M., Hladík, J., Hlavinka, P., Janský, B., Ježík, P., Klem, K., Kocum, J., Kolář, T., Kotyza, O., Kyncl, T., Krkoška Lorencová, E., Macků, J., Mikšovský, J., Možný, M., Muzikář, R., Novotný, I., Pártl, A., Pařil, P., Pokorný, R., Rybníček, M., Semerádová, D., Soukalová, E., Stachoň, Z., Štěpánek, P., Štych, P., Tremel, P., Urban, O., Vačkář, D., Valášek, H., Vizina, A., Vlnas, R., Vopravil, J., Zahradníček, P., Žalud, Z. 2015b: Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno, 402 pp. ISBN 978-80-87902-11-0.
- Busuioc, A., Dobrinescu, A., Birsan, M.V., Dumitrescu, A., Orzan, A. 2015: Spatial and temporal variability of climate extremes in Romania and associated large-scale mechanisms. *Int. J. Climatol.* 35: 1278-1300.
- Constantinov, T., Potop(ová), V. 2010: Manifestarea fenomenelor de uscăciune si secetă în Republica Moldova. Chisinau: Tipografia Centrala, 64pp. ISBN 978-9975-9774-9-4.

- Corobov, R., Sheridan, S., Overcenco, A., Terinte, N. 2010: Air temperature trends and extremes in Chisinau (Moldova) as evidence of climate change. *Clim Res*, 42: 247-256.
- Cheval, S., Busuioc, A., Dumitrescu, A., Birsan, M.V. 2014: Spatiotemporal variability of meteorological drought in Romania using the standardized precipitation index (SPI). *Clim Res*, 60: 235-24.
- Dai, A. 2013: Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*, 3: 52–58.
- Daňhelka J., M. Boháč, I. Crhova, R. Čekal, I. Černa aj. 2015: Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015. Předběžná zpráva, Český hydrometeorologický ústav, 73 pp.
- De Martonne, E. 1926: Areisme et indice aridite. *C. R. Acad. Sci. Paris* 182, 1395–1398.
- IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2014: Summary for Policymakers and Technical Summary, In: *Climate Change 2014, Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kapler P., Žalud Z., Trnka M., Semerádová D (2004): Hodnocení pravděpodobnosti výskytu sucha v současných a očekávaných klimatických podmínkách, Mendelnet 04 Agro. CD ROM, ISBN80-7157-813-4
- Kee E., Cook W., Granberry D., Hohlt H., Sanders D. (1992): *Drought Advisory: Vegetable Crops*. EM4830. Washington State University Cooperative Extension Service, Publication. May.
- Kocmánková E., Trnka M., Žalud Z., Semerádová D., Dubrovský M., Muška F., Možný M. (2008): The comparison of mapping methods of European corn borer (*Ostrinia nubilalis*) potential distribution. *Plant Protection Science*, 44 (2): 49-56.
- Kohler M. A., Linsley R. K. Jr., “Predicting Runoff from Storm Rainfall,” Research Paper 34, US Weather Bureau, Washington DC, 1951.
- Malý I., Bartoš J., Hlušek J., Kopec K., Petříková K., Rod J., Spitz P. (1998): *Polní zelinářství*, Agrospoj, Praha, 196 s.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales *Proceedings of the 8th Climatology*. AMS: Boston, MA; 233–236.

- Piticar, A., Mihăilă, D., Lazurca, L.G., Bistricean, P.I., Puțuntică, A., Briciu, A.E. 2015: Spatiotemporal distribution of reference evapotranspiration in the Republic of Moldova. *Theor Appl Climatol*, doi: 10.1007/s00704-015-1490-2.
- Potopová, V., Boroneat, C., Možný, M., Soukup, J. 2016a: Driving role of snow cover on soil moisture and drought developing during the growing season in the Czech Republic. *Int J Climatol*, 36 (11): 3741-3758.
- Potopová, V., Štěpánek, P., Farda, A., Türkott, L., Zahradníček, P., Soukup, J. 2016b: Drought stress impact on vegetable crop yields in the Elbe river lowland between 1961 and 2014. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. 42 (1): 127-144.
- Potopová, V., Cazac, V., Boincean, B. 2016c: A preliminary assessment of hydroclimatic drought indicators in the trans-boundary Prut River Basin: A case study in the Republic of Moldova. In: *International congress on water: Floods and Drought*. 27-28 Oct 2016, Ourense, Spain. s. 65. ISBN: 9788461760497.
- Potop(ová), 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(ová), V. 2011a: Evolution of drought severity and its impact on corn in the Republic of Moldova. *Theor Appl Climatol*, 105 (3-4): 469-483.
- Potop(ová), V., Soukup, J., Možný, M. 2011b: Drought at various timescales for secular lowland climatologically stations in the Czech Republic. *Meteorologické zprávy*, 64 (6): 177-187.
- Potop(ová), V., Soukup, J. 2009: Spatiotemporal characteristics of dryness and drought in the Republic of Moldova. *Theor Appl Climatol*, 96 (3): 305-318.
- Sobíšek, B. *Meteorologický slovník výkladový & terminologický*. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 1993. ISBN 80-85368-45-5.
- Tolasz, R., Míková, T., Valeriánová, A. (eds). 2007: *Climatic Atlas of Czechia*. Czech Hydrometeorological Institute and Palacky University Olomouc: Prague. 256.
- Thornthwaite, C.W. 1948: An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38 (1): 55-94.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I. 2010: A multi-scalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – SPEI. *J Clim Appl Meteorol*, 23: 1696-1718.
- WMO (World Meteorological Organization), GWP (Global Water Partnership) 2016: *Handbook of Drought Indicators and Indices* (Svoboda, M., Fuchs, B.A.). *Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2*. Geneva. ISBN: 978-91-87823-24-4

Internetové zdroje

BLINKA, Petr. METODA HODNOCENÍ SUCHA [online]. 2004 [cit. 2016-08-24]. Dostupné z: <http://www.cbks.cz/sbornik02/Blinka.pdf>

ČHMÚ, Sucho [online]. 2008 [cit. 2016-08-22]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/Definice_sucha.html

ČMES. Elektronický meteorologický slovník [online]. 1993 [cit. 2016-08-22]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/>

KOSTRŮNKOVÁ, Hanka. Povodně a sucha [online]. 2014 [cit. 2016-08-23]. Dostupné z: <https://prezi.com/xwafqpo9y8r7/povodne-a-sucha/>

Hydrolimity půdní, Leporelo [online]. 2015 [cit. 2016-08-22]. Dostupné z: <https://leporelo.info/hydrolimity-pudni>

PFISTER, C. a R. BRÁZDIL. Social vulnerability to climate in the "Little Ice Age": an example from Central Europe in the early 1770s. *Climate of the Past* [online]. 2006, 2(2), 115-129 [cit. 2017-01-09]. DOI: 10.5194/cp-2-115-2006. ISSN 1814-9332. Dostupné z: <http://www.clim-past.net/2/115/2006/>

ROŽNOVSKÝ, Jaroslav. Sucho na území ČR a jeho dopady [online]. [cit. 2016-08-12]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/katastrofy/26zasedani/Roznovsky_sucho_230412.pdf

TRNKA, Pavel. Možné důsledky déletrvajícího sucha v naší krajině a ve světě [online]. 2010 [cit. 2017-02-02]. Dostupné z: http://user.mendelu.cz/xvlcek1/rrc/sucho/TRNKA_1.pdf

Drought Prediction. UNL Water: Institute of Agriculture and Natural Resources [online]. 2015 University of Nebraska, [cit. 2016-08-26]. Dostupné z: <http://water.unl.edu/drought/droughtprediction>

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Langův dešťový faktor	14
Obrázek 2 - Nejdelsí období beze srážek (CDD index)	23
Obrázek 3 - Prostorová distribuce nejdelsích období beze srážek v dubnu a září 2009	23
Obrázek 4 - Odchyly od normálu teploty vzduchu v nejteplejším a nejsušším měsíci v roce 2009.....	23
Obrázek 5 - Vývoj teploty, Praha	25
Obrázek 6 - Intenzita sucha ČR 2012	26
Obrázek 7 - Intenzita sucha v ČR 2016	26
Obrázek 8 - Střední Evropa CDI 2012, srpen	27
Obrázek 9 - Střední Evropa CDI 2016, srpen	27
Obrázek 10 - Střední Evropa, Průměrné srážky 2002, srpen.....	28
Obrázek 11 - Střední Evropa, Průměrné srážky 2016, srpen.....	28
Obrázek 12 - Střední Evropa, půdní vlhkost 1999, srpen	29
Obrázek 13 - Střední Evropa, půdní vlhkost 2016, srpen	29
Obrázek 14 - Střední Evropa, SPI, 1981, srpen.....	30
Obrázek 15 - Střední Evropa, SPI, 2016 srpen.....	30
Obrázek 16 - Východní Evropa, CDI, 2012.....	32
Obrázek 17 - Východní Evropa, CDI, 2016.....	32
Obrázek 18 - Východní Evropa, srážky, 2002.....	33
Obrázek 19 - Východní Evropa, srážky 2016.....	33
Obrázek 20 - Východní Evropa, půdní vlhkost, 1999	34
Obrázek 21 - Východní Evropa, půdní vlhkost, 2016	34
Obrázek 22 - SPI Východní Evropa 1970	35
Obrázek 23 - SPI Východní Evropa 2000	35
Obrázek 24 - Východní Evropa, SPI, 2016, srpen	36
Obrázek 25 - Anomálie z globálního hlediska, severní hemisféry a Kišiněva	38