

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra vodního hospodářství a environmentálního  
modelování



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního  
prostředí

Hydrologické sucho a jeho dopad na životní prostředí  
Hydrological drought and its impact on the environment

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Tereza Vrbová

Bakalant: Eva Zahradníková

© 2018 ČZU v Praze

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Eva Zahradníková

Územní technická a správní služba

Název práce

**Hydrologické sucho a jeho dopad na životní prostředí**

Název anglicky

**Hydrological drought and its impact on the environment**

---

### Cíle práce

Cílem práce je sepsání literární rešerše o hydrologickém suchu a jeho dopadu na životní prostředí v České republice a v zahraničí.

### Metodika

1. Vysvětlete pojem sucho a s tím související hydrologické sucho
2. Popište vybrané metody stanovení hydrologického sucha
3. Porovnejte dopady hydrologického sucha v České republice a v zahraničí
4. Vyberte a popište konkrétní události související s dopadem hydrologického sucha

## Doporučený rozsah práce

Standardní bakalářská práce cca 40stran

## Klíčová slova

nízké průtoky, podzemní voda, základní odtok, nedostatek vody

---

## Doporučené zdroje informací

DINGMAN, S L. *Physical hydrology*. Long Grove, Ill.: Waveland, 2008. ISBN 978-1-57766-561-8.

Mishra, A. K.; Singh, V. P., 2011: Drought modeling – A review. *JOURNAL OF HYDROLOGY* 403 (1-2), pp. 157-175. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.03.049.

Van Loon, A. F., 2015: Hydrological drought explained. *WILEY INTERDISCIPLINARY REVIEWS-WATER* 2 (4), pp. 359-392. DOI: 10.1002/wat2.1085.

Wanders N.; W. Y., 2015: Human and climate impacts on the 21st century hydrological drought. *JOURNAL OF HYDROLOGY* 526 (SI), pp. 208–220. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.10.047.

Zhang Q.; et al., 2011: Flood, drought and typhoon disasters during the last half-century in the Guangdong province, China. *NATURAL HAZARDS* 57 (2), pp. 267-278. DOI: 10.1007/s11069-010-9611-9.

---

## Předběžný termín obhajoby

2017/18 LS – FŽP

## Vedoucí práce

Ing. Tereza Vrbová

## Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 7. 9. 2016

**doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 10. 2016

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 18. 04. 2018

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Terezy Vrbové a že jsem uvedla všechny literární zdroje, ze kterých jsem čerpala.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze: 18.4.2018

.....

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala především vedoucí mé práce Ing. Tereze Vrbové za odborné vedení, cenné rady a připomínky, za trpělivost a vstřícné jednání při zpracování bakalářské práce.

Dále bych ráda poděkovala svojí rodině za podporu při studiu a zpracování bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce pojednává o suchu, jeho projevech a typech sucha. Zaměřuje se především na sucho hydrologické a sucho v podzemních vodách. V práci jsou popsány metody stanovení sucha a následně vybrány a popsány meteorologické indexy sucha jako jsou Standardizovaný srážkový index (SPI), Palmerův index intenzity sucha (PDSI), Z – index a z hydrologických indexů Palmerův index hydrologického sucha (PHDI) a Index zásobování povrchovou vodou (SWSI). Dále se práce věnuje problematice sucha v České republice, kde jsou vybrány jednotlivé události spojené se suchem v roce 2000, 2003, 2012 a v roce 2015. Vedle problematiky sucha v České republice se práce zabývá i suchem v zahraničí, jedná se například o sucho v Sahelských oblastech, víceleté sucho v Kalifornii, či vysychání Aralského jezera.

**Klíčová slova:** nízké průtoky, podzemní voda, základní odtok, nedostatek vody.

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with drought, its signs and types. It is focused especially on hydrological drought and groundwater drought. There are described methods of assessment of drought and then selected and described meteorological indexes of drought like Standardized precipitation index (SPI), Palmer drought severity index (PDSI), Z – index and hydrological indexes like Palmer hydrological drought index (PHDI) and Surface Water Supply Index (SWSI). The thesis also deals with issues of drought in Czech Republic, where individual events related to drought in 2000, 2003, 2012 and 2015 are selected. In addition to drought problems in Czech Republic, the thesis focus on drought abroad like drought in Sahel region, multiyear drought in California and drying of Aral lake.

**Key words:** low-flow, groundwater, baseflow, lack of water.

## Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíle práce .....	12
3. Metodika .....	13
4. Sucho.....	14
4.1 Definice sucha.....	14
4.2. Typy sucha .....	16
4.2.1 Meteorologické sucho .....	18
4.2.2 Zemědělské sucho .....	19
4.2.3 Socioekonomické sucho.....	20
4.2.4 Hydrologické sucho .....	20
4.2.5 Sucho v podzemních vodách.....	21
5. Metody stanovení sucha.....	24
5.1 Indexy sucha.....	25
5.1.1 Standardizovaný index srážek (SPI) .....	26
5.1.2 Palmerův index intenzity sucha (PDSI) .....	27
5.1.3 Index zásobování povrchovou vodou (SWSI) .....	27
5.1.4 Z – index .....	28
5.1.5 Palmerův index hydrologického sucha (PHDI) .....	29
6. Sucho ve světě a v ČR.....	31
6.1 Sucho v České republice .....	31
6.1.1 Dopady hydrologického sucha.....	33
6.1.2 Český hydrometeorologický ústav .....	34
6.2 Konkrétní události sucha v letech .....	36
6.2.1 Sucho v r. 2000 .....	37
6.2.2 Sucho v r. 2003 .....	37
6.2.3 Sucho v r. 2007 .....	38
6.2.4 Sucho v r. 2012 .....	39
6.2.5 Sucho v r. 2015 .....	40
6.3 Sucho ve světě.....	43
6.4 Konkrétní události spojené se suchem ve světě .....	45
6.4.1 Víceleté sucho v Kalifornii .....	46
6.4.2 Australské sucho v roce 2005 .....	48
6.4.3 Sucho ve státech Sahelu .....	49
6.4.4 Aralské jezero.....	50



6.4.5 Přehled katastrof způsobených suchem podle organizace UNICEF (2000)	52
7. Diskuse.....	54
8. Závěr .....	56
9. Přehled literatury a zdrojů:.....	57

## 1. Úvod

Lidé po celém světě jsou vystaveni mnoha přírodním nebezpečím, jako jsou zemětřesení, sopečné výbuchy, hurikány, bouře, tornáda, záplavy a sucha (Tallaksen et Van Lanen., 2004).

Sucho je přirozené nebezpečí, které vyplývá z očekávaného nebo z "normálního" nedostatku srážek, které nejsou dostatečné k uspokojení požadavků lidské činnosti a životního prostředí. Sucho samo o sobě není katastrofou. To, zda se stane katastrofou, závisí na jeho dopadu na místní obyvatele a životní prostředí. Klíčem k porozumění sucha je tedy pochopení jeho přirozeného i sociálního rozměru. (Wilhite, 2005)

Mnoho prací (Wilhite, 2005; Heim 2002; Van Loon 2015) poukazuje na rostoucí riziko výskytu sucha ve střední Evropě, které je v posledních letech nejvyšší za posledních 130 let (Brázdil et al., 2015). Sucho je považováno mnohdy za nejvíce složité a nejméně chápané ze všech přírodních nebezpečí, které ovlivňují více lidí než kterákoli jiná nebezpečí. Sucho postihuje rozsáhlé oblasti po celé měsíce nebo roky, to má dopad na produkci potravin, snižování délky života a na ekonomickou výkonnost velkých oblastí nebo celé země (Bates et al., 2008).

Vzhledem k růstu počtu obyvatel a expanzi zemědělského, energetického a průmyslového odvětví se poptávka po vodě mnohonásobně zvýšila a v mnoha částech světa se téměř každoročně vyskytuje její nedostatek. Faktory, jako je změna klimatu a znečištění vodních zdrojů přispěly k nedostatku vody. V posledních letech byly povodně a sucha zaznamenány s vyšší úrovní závažnosti. (Mishra et Singh, 2010)

Sucho postihuje jak povrchové, tak i podzemní vodní zdroje a může vést ke snížení dodávky vody, zhoršené kvalitě vody, k úbytku produkce plodin, snížení produkce energie, narušení přírodních stanovišť a zastavení rekreačních aktivit a ovlivnění řady ekonomických a sociálních aktivit. Sucho také ovlivňuje kvalitu vody, protože mírné klimatické výkyvy mění hydrologické režimy. (Webster et al., 1996)

Hydrologické extrémny, jako jsou povodně a hydrologická sucha, jsou přírodní nebezpečí, která se neomezují na specifické oblasti, ale vyskytují se po celém světě,

a proto mají dopad na velký počet lidí (Kundzewicz et al., 2000). Nejvíce pozornosti se soustřeďuje na záplavy, jak ve zprávách, tak i ve vědecké literatuře vzhledem k jejím rychlým a jasně viditelným následkům, avšak události týkající se sucha, nazývané také jako *plíživé katastrofy*, se rozvíjí pomaleji, často bez povšimnutí a mají rozmanité a nepřímé důsledky (Mishra et Singh, 2010). Lepší pochopení extrémů počasí má velký význam pro lidskou společnost. Hydrologické extrémy v posledních desetiletích vzbuzují obavy, proto se povědomí veřejnosti, částečně kvůli katastrofické povaze přírodních událostí, v posledních letech zvýšilo (Zhang et al. 2011).

V posledních letech byla pozorována rozsáhlá intenzivní sucha na všech kontinentech, která zasáhla velké oblasti v Evropě, Africe, Asii, Austrálii, Jižní Americe, Střední Americe a Severní Americe. (Le Comte, 1995)

Očekává se, že změna klimatu zvýší celosvětovou intenzitu a frekvenci sucha v důsledku změny srážek a stoupajících teplot. Sucho je obecně spojeno s meteorologickými extrémy a je vyvoláno nízkým srážením. Nedostatek srážek způsobuje meteorologické sucho a zemědělské sucho v daném regionu, ale dále se šíří do hydrologického sucha prostřednictvím odtokového systému. (Wanders et Wada, 2015)

## **2. Cíle práce**

Cílem této rešeršní práce bylo popsat sucho, typy sucha jako jsou meteorologické, zemědělské, socioekonomické a hydrologické. Dalším bodem bylo popsat metody stanovení hydrologického sucha, porovnat dopady hydrologického sucha v České republice a v zahraničí. Vybrat a popsat konkrétní události související s dopadem hydrologického sucha.

### **3. Metodika**

Tato bakalářská práce je psána formou literární rešerše. Při psaní byly využity české, tak i zahraniční tištěné tituly a internetové zdroje. Mezi tuzemskými zdroji to jsou zápisy z odborných seminářů a články ze sborníků. Ze zahraničních zdrojů byly využity především odborné články z databáze Web of Science či Scopus a další informační zdroje, které jsou dostupné na internetu.

## 4. Sucho

### 4.1 Definice sucha

Sucho je složitý jev, univerzální definice sucha neexistuje, pokud bychom ale chtěli sucho definovat, musíme vzít v úvahu zásobu vody v půdě, aktuální spotřebu vody a její management. Například Světová meteorologická organizace (WMO, 1986) definuje sucho jako trvalý, rozšířený nedostatek ve srážkách. Dle úmluvy Organizace spojených národů (OSN) o boji proti suchu a desertifikaci se suchem rozumí přirozeně se vyskytující jev, který nastává tehdy, když byly dešťové srážky výrazně pod běžně zaznamenávanou úrovní způsobující vážnou hydrologickou nerovnováhu. Organizace pro výživu a zemědělství (FAO, 1983) definuje nebezpečí sucha jako ochromující produkci potravin, vyčerpání pastvin, narušení trhů a způsobení rozsáhlých úmrtí lidí a zvířat. Gumbel (1963) definuje sucho jako nejmenší roční hodnotu denního průtoku. Palmer (1965) popisuje sucho jako významnou odchylku od normálu hydrologických podmínek v určité oblasti. Linseley et al. (1959) definuje sucho jako trvalé období bez výrazných dešťů (Lloyd - Hughes, 2013).

Jak je již výše zmíněno, sucho lze popisovat různými způsoby. Záleží na tom, z jakého pohledu sucho definujeme. Můžeme ale říci, že sucho je komplexní přírodní nebezpečí, které má dopady na ekosystémy a společnost mnoha způsoby. Mnohé z těchto dopadů jsou spojeny s hydrologickým suchem (Van Loon, 2015). Lze ho také charakterizovat jako stav, kdy množství vody, které je obsaženo v různých složkách zemského povrchu nebo atmosféry, není schopno pokrýt potřeby na jeho využití (Novický et al., 2010).

Například podle Allen et al. (1998) lze sucho definovat jakou zápornou odchylku vodní bilance od klimatického normálu v určité oblasti během konkrétního časového intervalu. Příčinou sucha je tedy deficit srážek za určitou dobu. Vyšší teplota vzduchu, intenzivnější sluneční záření, nízká relativní vlhkost vzduchu, nebo intenzivní proudění zvyšují ztráty vody evapotranspirací, mohou tedy také významně přispět k prohloubení takového jevu.

Evapotranspirace je kombinací dvou procesů, při kterých je voda ztracena z povrchu půdy odpařováním (evaporace) a vypařováním vody z vegetace (transpirace). Evaporace a transpirace se vyskytují současně a neexistuje snadný

způsob rozlišování mezi těmito dvěma procesy. Evapotranspirace je tedy celkový výpar z určitého území. Je to fyzikální proces přeměny z kapalné fáze na plynnou. Evapotranspirace je důležitá součást hydrologického cyklu a podílí se také na hydrologické bilanci území. (Allen et al., 1998) Rozlišujeme potenciální a aktuální evapotranspiraci.

Aktuální evapotranspirace (AE) je množství vody, které je skutečně odstraněno z povrchu kvůli procesům odpařování a transpirace (Pidwirny, 2006).

Potenciální evapotranspirace (PET) je velikost výparu, který by nastal v případě celé plochy rovnoměrně pokryté vegetací s neomezeným zásobováním půdní vláhy. Tento koncept byl zaveden Thortwaitem (1948) jako součást schématu pro klasifikaci klimatu, který měl záviset pouze na klimatu a být do značné míry nezávislý na charakteristikách povrchu (Dingman, 2008).

V aridních oblastech potenciální evapotranspirace výrazně překračuje srážky, takže průměrná skutečná evapotranspirace je omezena na vodu a je v podstatě rovna průměrnému srážení. V oblastech s častými dešťovými srážkami ve všech ročních obdobích je evapotranspirace omezena dostupnou energií, takže průměrná evapotranspirace je v podstatě rovna průměrné potenciální evapotranspiraci. Pike (1964) uvedl, že roční evapotranspirace je určena poměrem průměrných srážek k potenciální evapotranspiraci a navrhuje následující vztah pro odhad roční evapotranspirace:

$$ET = \frac{W}{\left[1 + \left(\frac{W}{PET}\right)^2\right]^{1/2}}$$

ET – roční evapotranspirace, W – průměrné srážky, PET – potenciální evapotranspirace (Dingman, 2008).

Sucho se vyskytuje jak v oblastech s vysokým, tak s nízkým výskytem srážek. Je to stav vztahující se k určitému dlouhodobému průměru stavu rovnováhy mezi srážkami a evapotranspirací v určité oblasti, což je často vnímáno jako "normální". Přesto průměrné srážky neposkytují adekvátní statistické měřítko charakteristik dešťových srážek v dané oblasti, zejména v sušších oblastech (Wilhite et Glantz, 1985).

Určit závažnost sucha je obtížné. Závisí to nejen na délce trvání, intenzitě sucha a geografickému určení sucha, ale také na požadavcích lidských činností a na zásobování vodou vegetace v regionu. Sucho a jeho dalekosáhlé dopady a působení na společnost, hospodářství a životní prostředí je obtížné, i když ne nemožné kvantifikovat. Význam sucha by neměl být oddělen od jeho společenského kontextu. Zatímco sucho může probíhat v jedné sezóně nebo v průběhu několika let, jeho dopady na společnost mohou zůstat po spoustu dalších let. Důsledky sucha závisejí do značné míry na zranitelnosti společnosti v daném okamžiku, následné sucha ve stejné oblasti pravděpodobně budou mít jiné účinky, i když budou stejně dlouho trvat, budou stejně intenzivní a budou mít stejné geografické určení (Wilhite et Glantz, 1985).

Sucho by nemělo být zaměňováno s ariditou, která je trvalým klimatickým rysem určité oblasti, nebo s nedostatkem vody (Wilhite, 1993). Pokud dostupné vodní zdroje nejsou dostatečné k uspokojení dlouhodobých průměrných požadavků, jedná se o nedostatek vody (Vizina et al, 2016).

#### **4.2. Typy sucha**

Sucho je rozděleno do různých typů v souvislosti s různými hydrologickými cykly, množstvím srážek, vlhkostí půdy a dle stavu podzemních vod. Mezi parametry nezbytné pro charakterizaci sucha patří: závažnost, délka trvání a intenzita (Tallaksen et Van Lanen, 2004).

Hydrologický cyklus je složitá síť kontinuálních toků. Slunce dodává energii, která způsobuje odpařování a mísí vodní páru v atmosféře a tím pohání hydrologický cyklus proti gravitaci (Dingman, 2008).

Thorntwaitova klasifikace podnebí (1947) uvádí tyto hlavní typy sucha: stálé sucho nejsušších klimatických pásem, sezónní sucho v některých klimatických pásmech a oblastech monzunového podnebí a sucho nahodilé, které se vyskytuje v důsledku nepravidelných a proměnlivých četností a intenzit výskytu srážek (Rožnovský et al, 2012).

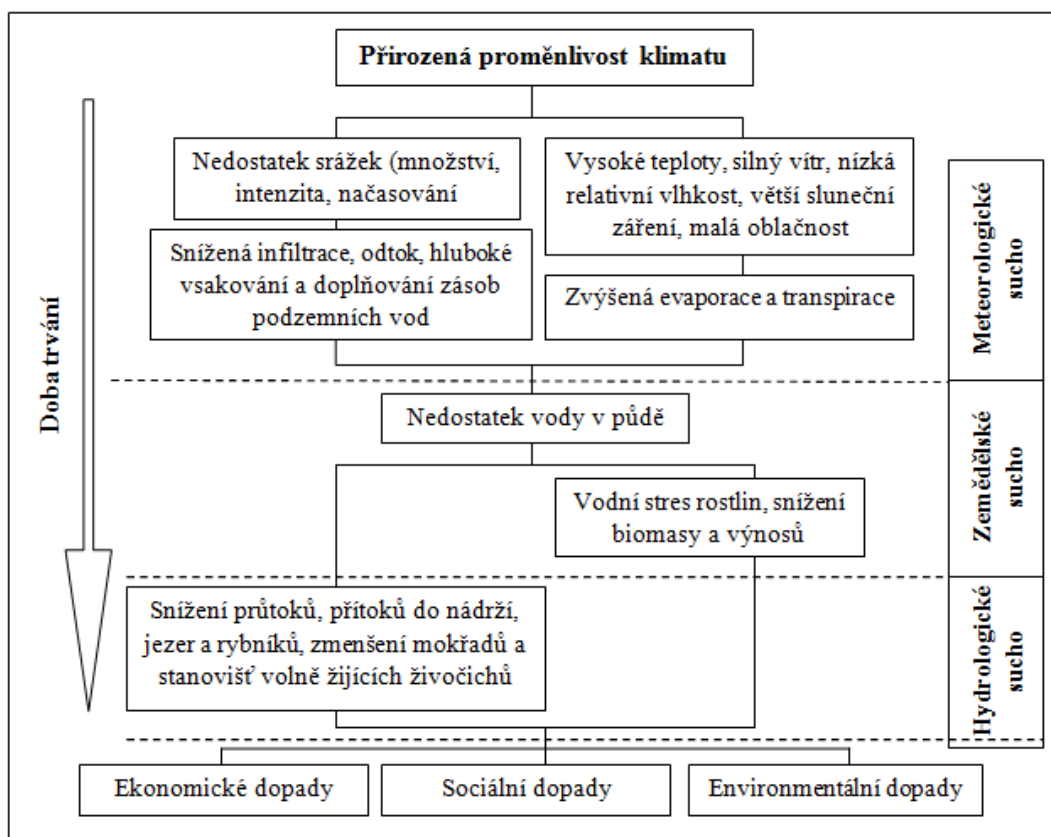
Americká meteorologická společnost (AMS, 1997) definuje sucho do čtyř kategorií: meteorologické nebo klimatologické, zemědělské, hydrologické



a socioekonomické (Heim, 2002). Tyto sucha se vzájemně prolínají a způsobují dopady na společnost, ekonomiku a na životní prostředí (obrázek 1).

Všechny druhy sucha pocházejí z nedostatku srážek (Wilhite et Glantz, 1985). Pokud tento nedostatek srážek trvá delší dobu, jedná se o meteorologické sucho, které je definováno z hlediska přírodních charakteristik. Jiné druhy sucha, tj. zemědělské, hydrologické a socioekonomické, kladou větší důraz na lidské nebo sociální aspekty, interakci mezi přírodními charakteristikami událostí a lidskými činnostmi, na kterých závisí, aby zajistily odpovídající dodávky vody, splnily společenský stav a environmentální požadavky (Wilhite, 2005).

Mishra et Singh (2010) uvádí, že dosud bylo provedeno málo výzkumů o výskytu a šíření sucha v podzemních vodách. Je důležité a užitečné, aby se mezi tyto základní typy sucha zavedlo i sucho podzemních vod, které nebylo zavedeno do klasifikace sucha. Sucho podzemní vody je podle Mishra et Singh (2010) popsáno následovně: stejně jako ostatní typy sucha, je sucho podzemní vody způsobené nedostatkem srážek, případně v kombinaci s vysokou evapotranspirací. Nedostatek srážek způsobuje nedostatečnou vlhkost půdy, což zapříčiní nízkou hladinu podzemních vod. Následek nedostatku srážek se šíří přes hydrologický systém, který způsobuje sucho v různých segmentech hydrologického systému.



Obr. 1 – Prolínání jednotlivých typů sucha jejich dopady (Wilhite, 2000)

#### 4.2.1 Meteorologické sucho

Podle D. A. Wilhite (2000) je meteorologické sucho (klimatické) definováno jako úbytek množství srážek oproti normálu za určité (dlouhé) časové období. Rozděluje se na dlouhodobé meteorologické sucho, které trvá například několik měsíců nebo let, a krátkodobé meteorologické sucho v délce trvání několika týdnů.

Meteorologické sucho začíná s nedostatkem srážek, který je neobvykle extrémní a prodlužuje se vzhledem k obvyklým klimatickým podmínkám. Většinou je meteorologické sucho spojené s neobvykle vysokými teplotami, nízkou vlhkostí a silným slunečním zářením, které vede ke zvýšené evapotranspiraci (Dingman, 2008).

Meteorologické sucho signalizují indikátory, které jsou založené na meteorologických hodnotách. Určení meteorologického sucha předchází nástupu dalších specifických druhů sucha (Brázdil et al., 2015).

Sucho v povrchových vrstvách (kořenová zóna), které se vyskytuje v kritické době v průběhu vegetačního období, může mít za následek zemědělské sucho, které značně snižuje výnosy plodin. Vysoké teploty, nízkou relativní vlhkost vzduchu a výsušné větry lze přidat k dopadu nedostatku srážek (Heim, 2002).

Vlhkost je množství vodní páry přítomné ve vzduchu, může být vyjádřena jako absolutní, specifická nebo relativní vlhkost. Relativní vlhkost vzduchu může být vyjádřena částečným tlakem par a vzduchu, hustotou páry a vzduchu nebo skutečnou hmotností páry a vzduchu (Grasley et al., 2016).

#### **4.2.2 Zemědělské sucho**

Zemědělské sucho se obvykle vyznačuje obdobím s klesající půdní vlhkostí a následnému úbytku produkce plodin. Pokles vlhkosti půdy závisí na několika faktorech, které ovlivňují meteorologické a hydrologické sucho, spolu s rozdíly mezi aktuální a potenciální evapotranspirací. Požadavky rostlin na vodu závisejí na převládajících povětrnostních podmínkách, biologických charakteristikách konkrétní rostliny a stádiu růstu a na fyzikálních a biologických vlastnostech půdy (Mishra et Singh, 2010).

Zemědělské sucho je prodloužené období neobvykle nízké vlhkosti půdy, které ovlivňuje přirozený růst rostlin (Dingman, 2008).

Projevuje se nedostatkem vody pro růst rostlin a trvá několik týdnů až 6–9 měsíců. Suchými epizodami v tomto časovém rozsahu jsou ovlivňovány i lesní porosty (Brázdil et al., 2015). Vlastní nedostatek vody pro danou rostlinu se označuje jako sucho fyziologické. Nedostatek vody v tomto suchu je ovlivněný předchozím nebo stále trvajícím výskytem meteorologického sucha (Rožnovský et al., 2012).

Definice zemědělského sucha je velmi diskutovaným tématem, je potřeba mít podrobné znalosti z hydrologie, z fyziologie rostlin, zemědělské ekonomiky a další (Sobišek, 1993).

### **4.2.3 Socioekonomické sucho**

Socioekonomické sucho se spojuje s nabídkou a poptávkou určitého ekonomického prospěchu s prvky meteorologického, zemědělského a hydrologického sucha. Vztah mezi různými typy such je komplexní. Například průtok je hlavní proměnnou pro analýzu při popisování sucha pro mnoho vodárenských aktivit, jako je generování vodní energie, rekreace a zavlažování zemědělství, kde růst a výnosy plodin jsou do značné míry závislé na dostupnosti vody v toku. Následkem toho bylo sucho definováno Světovou meteorologickou společností (WMO) obecně jako prodloužená nepřítomnost nebo deficit srážek, které vedou k nedostatku vody pro některé činnosti. Období neobvykle suchého počasí, které způsobuje vážnou hydrologickou nerovnováhu (Heim, 2002).

O výskytu socioekonomického sucha můžeme hovořit tehdy, kdy sucho začíná negativně ovlivňovat širokou společnost, mimo zemědělství, lesnictví a vodní hospodářství (Brázdil et al., 2015).

### **4.2.4 Hydrologické sucho**

Hydrologické sucho je široký termín související s negativními anomáliemi v povrchové a podzemní vodě. Hydrologické sucho je definováno jako pokles dostupné vody ve všech jejích formách (Ma et al., 2015). Vyznačuje se nedostatkem vody ve vodních tocích, nádržích nebo ve zvodnělých vrstvách. Dopady hydrologického sucha, stejně jako dopady sucha podzemní vody nebo socioekonomického sucha, jsou zjevné až po delším čase. (Brázdil et al., 2015). Vztahuje se především k nedostatku vody v hydrologickém systému, které se projevuje abnormálně nízkými průtoky v řekách, nízkými hladinami jezer, nádrží a podzemních vod a v extrémních případech může vést až k vysychání toků (Tallaksen et Van Lanen, 2004).

Hydrologické sucho se projevuje nedostatkem povrchových a podzemních vodních zdrojů a vzniká následkem nedostatku srážek. Vznik hydrologického sucha je ovlivněn i antropogenní činností, proto je důležité pohlížet na hydrologické sucho jako na přírodní jev, který je prohlouben působením lidské činnosti (Soukalová et Muzikář, 2015).

Sucho hydrologické se často vyskytuje v době, kdy už sucho meteorologické skončilo. Když nastane sucho meteorologické, nemusí se toto sucho však vůbec projevit (Rožnovský, 2014). Lze ho klasifikovat z hlediska příčin vzniku jako: sucho, které je způsobené deficitem srážek v kapalném stavu, sucho, které v období smíšených srážek (déšť a sníh), sucho přechodného období, kdy jde o střídání vlhkých a suchých období, tato příčina se nevyskytuje se v České republice, sucho v období zmrzlého sněhu, sucho v období tání, smíšené sucho (Vlnas et al., 2015).

Pokles průtoků obvykle vznikne v situaci, kdy je potenciální evapotranspirace vyšší než průměrná srážka na povodí. Jestliže nastane v krátké době více takových období, nebo pokud je období poklesu průtoků delší, pak je odtok dotován pouze ze zásob podzemní vody, čímž dochází k výraznému poklesu zásob podzemní vody (Vlnas et al., 2015).

Hydrologické sucho může pokrýt rozsáhlé oblasti a může trvat měsíce až roky. Toto sucho může mít ničivé dopady na ekologický i ekonomický systém (Tallaksen et Van Lanen, 2004).

#### **4.2.5 Sucho v podzemních vodách**

Podzemní voda je velmi důležitou složkou hydrologického cyklu. Podzemní a povrchové vody se vzájemně ovlivňují v důsledku morfologických, geologických a klimatických podmínek (Soukalová et Muzikář, 2015).

Hydrologické sucho se nachází jak v povrchových vodách, tak ve vodách podzemních. Podzemní voda je obvykle posledním vodním zdrojem v rámci hydrologického cyklu, který reaguje na situaci sucha, pokud povrchové vody nejsou převážně zásobovány podzemními vodami. V hlubokých podzemních vodách způsobuje sucho pouze velké meteorologické sucho. Zpoždění mezi meteorologickým suchem a suchem podzemních vod může trvat měsíce nebo dokonce roky, zatímco zpoždění mezi meteorologickým suchem a suchem, které se projevuje ve vodních tocích, trvá několik dnů až měsíců (Tallaksen et Van Lanen, 2004).

V mnoha částech světa je podzemní voda stále častěji využívána jako zdroj zásobování domácností, průmyslu a zemědělstvím. Z tohoto důvodu je důležitá

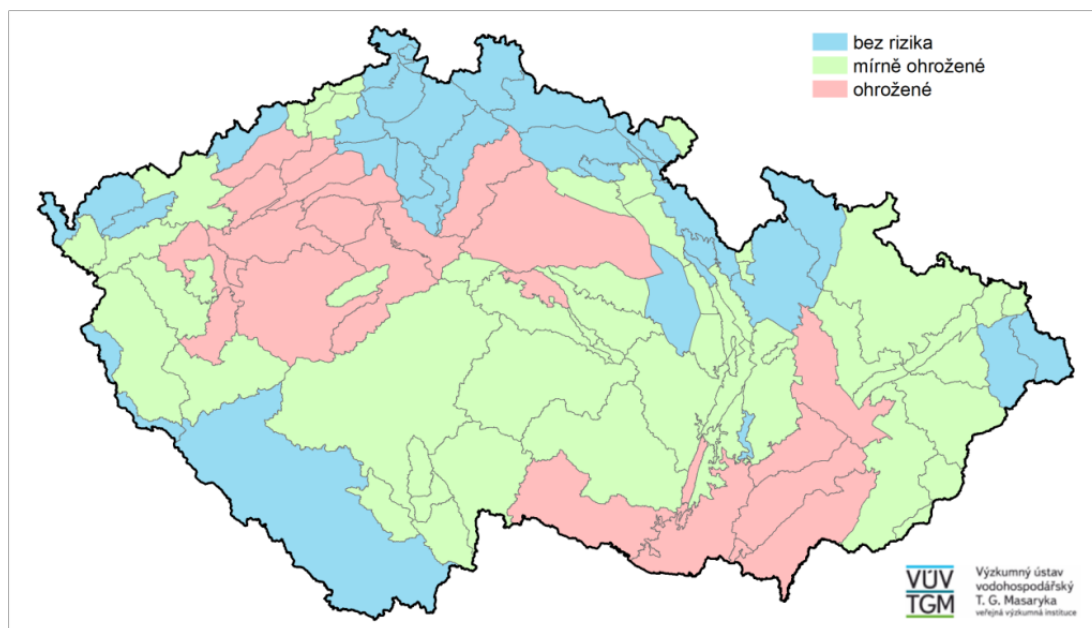
reakce systémů podzemních vod na události sucha a jejich předzvěst (Van Lanen et Peters, 2000).

V minulosti byla problematika povrchových a podzemních vod řešena zvláště. U povrchových vod se hodnotily především povodňové stavy a využívání vodní energie, zatímco minimálním průtokům se věnovala velmi malá pozornost (Kněžek, 2013). U podzemních vod byla pozornost zaměřena na hodnocení jejich využitelnosti pro vodárenské účely. V důsledku implementace Rámcové směrnice Evropské unie (EU) o vodách (ES 2000) do českého zákona o vodách (z. č. 254/2001 Sb.) se v posledních letech začaly hodnotit i stavy povrchových a podzemních vod (Soukalová et Muzikář, 2015).

Minimální průtoky ve vodních tocích jsou ve vegetační zóně vždy spojeny s deficitem srážek a s postupně zmenšujícími se zásobami vody v povodí. V případě výskytu většího srážkového úhrnu se průtoky krátkodobě zvyšují a následně klesají zpět na úroveň před zvýšeným úhrnem srážek.  $Q_{355d}$  (355denní průtok) je jeden ze základních indikátorů k určení minimálního průtoky. Pokud hodnota průtoků klesne pod tuto hranici, jedná se o období s minimálními průtoky, které vede ke vzniku hydrologického sucha. Hodnota  $Q_{355d}$  je průtok, který je dosažen nebo překročen průměrně 355 dní v roce (Daňhelka et al., 2015).

Jako podklad pro využívání podzemních vod slouží základní odtok. Základní odtok je podzemní voda, která prosakuje do povrchových toků. Je to primární zdroj průtoky během suchých období (WQMCG, 2000).

Oblasti, kde se vyskytuje nižší úhrn srážek spolu s vysokým výparem, jsou z hlediska zranitelnosti podzemních vod v období sucha nejvíce ohrožené. (MZE, 2017). Z mapy zranitelnosti hydrogeologických rajónů (obrázek 2) lze vyčíst, že nejvíce zranitelnou oblastí je jižní Morava, západní Čechy a sever střeďočeského kraj. Naopak nejméně zranitelné jsou horské oblasti podél hranic.



Obr. 2 – Zranitelnost hydrogeologických rajonů vůči suchu dle průměrného základního odtoku v letech 1981- 2010 (VÚV, 2014).

## 5. Metody stanovení sucha

Sucho lze hodnotit z prostorového a časového hlediska, a také se určuje jeho intenzita, tedy síla. Z prostorového hlediska se sucho může vyskytovat na ploše rozsahu pouze několika stovek km<sup>2</sup>. Sucho, které se někdy označuje jako kontinentální, se může rozšířit na velkou oblast o několika tisíce km<sup>2</sup>, v ojedinělých případech dokonce miliony km<sup>2</sup>. Potenciálně může sucho zasáhnout i celý světadíl. Sucho hodnoceno z hlediska časových vlastností je především začátek, délka trvání a konec. Na charakteru sucha se kromě času a průběhu sucha podílejí další faktory, jako je vysoká teplota a rychlost větru, nízká relativní vlhkost vzduchu a další. Tyto faktory mohou také významně zvýšit intenzitu sucha (Rožnovský et Litschmann, 2002).

Existuje celá řada objektivních metod pro stanovení začátku, konce a intenzity sucha. Faktory, jako jsou srážky, teplota, půdní vláhota, evapotranspirace, odtok, zásoba sněhu, zásoba vody v řekách a v nádržích, vstupují do výpočtu indexů sucha. Vzájemné srovnávání suchých období poté umožňují výsledné indexy sucha (Rožnovský et Litschmann, 2002).

Při hodnocení sucha rozlišujeme indikátory a indexy sucha. Indikátory sucha mohou být definovány jako proměnné pro zjišťování a charakterizaci podmínek sucha. Popisují velikost, trvání, závažnost a prostorový rozsah sucha. Typické ukazatele jsou založeny na meteorologických a hydrologických proměnných, jako jsou srážky, průtoky, vlhkost půdy a hladiny podzemních vod. Když se několik indikátorů spojí do jednoho ukazatele v kvantitativním měřítku, výsledek se nazývá index sucha (Karamouz et al., 2011).

Meteorologické ukazatele sucha jsou spojeny s klimatologickými proměnnými, jako jsou srážky, teplota a evapotranspirace. Srážky jsou často používaným a užitečným ukazatelem; můžou přímo měřit dodávky vody, ovlivňují hydrologické ukazatele a můžou odrážet dopady sucha v různých časových obdobích. Meteorologické ukazatele, jako jsou srážky, však mohou představovat analytické problémy kvůli časové a prostorové variabilitě, nedostatku dat a nedostatku pozorovacích stanic (Mishra et Singh, 2010).



Indikátory hydrologického sucha se týkají proměnných vodního systému, jako jsou průtoky, hladiny podzemních vod, akumulční nádrže, vlhkost půdy a sněhová pokrývka (Mishra et Singh, 2010).

## 5.1 Indexy sucha

V posledních desetiletích bylo odvozeno mnoho indexů sucha. Obvykle je index sucha hlavní proměnnou pro posouzení dopadu sucha a definování různých parametrů sucha, které zahrnují intenzitu, trvání, závažnost a prostorový rozsah. Je třeba poznamenat, že meteorologické a hydrologické proměnné sucha, jako jsou srážky, průtoky, půdní vlhkost, hladiny nádrží a výška podzemních vod, by měly být schopny kvantifikovat sucho v různých časových pásmech, pro které je důležitá dlouhá časová řada. Nejčastěji používanou časovou mírou pro analýzu sucha je rok, po němž následuje měsíc. Ačkoli roční časový rozsah je dlouhý, může být také použit k abstraktní informaci o regionálním chování sucha. Měsíční časový rozsah se zdá být vhodnější pro sledování dopadů sucha v situacích souvisejících se zemědělstvím, dodávkami vody a odběrem podzemních vod (Panu et Sharma, 2002).

Ve srovnání s jinými přírodními katastrofami jsou ve znalosti sucha stále velké mezery (Mishra et Singh, 2010). Nejvíce výzkumů v oblasti sucha je zaměřeno na nalezení nejlepšího indexu sucha, ale hydrologické sucho má velmi odlišné příčiny, které nemohou být zachyceny jediným indexem (Wanders et Wada, 2015). Kromě dešťového deficitu může být také hydrologické sucho způsobené nízkými teplotami a akumulací sněhu (Van Lanen et al., 2004).

Časové řady indexů sucha poskytují rámec pro vyhodnocení parametrů sucha. Byla vyvinuta řada různých indexů k vyčíslení sucha, z nichž každá má své vlastní silné a slabé stránky. Na základě studií prakticky všechny indexy sucha používají srážky buď jednotlivě, nebo v kombinaci s jinými meteorologickými prvky, v závislosti na typu požadavků, které také navrhla Světová meteorologická organizace (WMO). Například kombinace hydrometeorologických proměnných zahrnuje: teplotu a srážku, srážku a vlhkost, a pouze srážku (Mishra et Singh, 2010).

Obvykle jsou indexy sucha kategorizovány podle typu dopadu, ke kterému se vztahují. Nejběžněji používané jsou meteorologické a hydrologické indexy sucha (Niemeyer, 2008).

Meteorologické indexy zahrnují například Palmerův index intenzity sucha (Palmer Drought Severity Index - PDSI) (Palmer, 1965) a Standardizovaný index srážek (Standardized Precipitation Index - SPI) (McKee et al., 1993). PDSI je jedním z nejpoužívanějších indexů ve Spojených státech, přestože SPI má výhodu ve schopnosti odrážet krátkodobé i dlouhodobé dopady sucha (Hayes et al., 1999).

Hydrologické indexy zahrnují Index zásobování povrchovou vodou (Surface Water Supply Index - SWSI) (Shafer et Dezman, 1982) a Palmerův index hydrologického sucha (Palmer Hydrological Drought Index - PHDI) (Karl, 1986). Tyto indexy poukazují na to, že hydrologické sucho se zpravidla pomalu rozvíjí a přetrvává déle, než sucho meteorologické (Mishra et Singh, 2010).

### **5.1.1 Standardizovaný index srážek (SPI)**

Standardizovaný index srážek (SPI) je pro libovolné místo vypočítán na základě záznamu o dlouhodobých srážkách za určité období. Tento ukazatel je nejběžněji používaným ukazatelem pro zjišťování a charakterizaci meteorologického sucha (EDO, 2016).

SPI byl vyvinut společností McKee et al. v roce 1993 k monitorování a stanovení suchých období. Kvantifikuje deficit srážek pro více časových intervalů, například pro 3, 6, 9 a 12 měsíců předcházejícího období ve srovnání s těmito měsíci historicky. Tyto různé časové lhůty jsou navrženy tak, aby odrážely dopady deficitu srážek na různé vodní zdroje. Například podmínky půdní vlhkosti reagují na srážkové anomálie v poměrně krátkém měřítku, zatímco zásoby podzemních vod, průtoky a vodní nádrže odrážejí dlouhodobější anomálie srážek. SPI se spoléhá na dlouhodobý záznam o srážení, obvykle nejméně 30 let pro požadovanou oblast (Wilhite, 2005).

Výhoda SPI spočívá v tom, že jeho výpočet má za následek normalizované hodnoty, a může být vypočítán pro různé časové škály. Nevýhody SPI spočívají v tom, že jsou brány v úvahu pouze srážky, zatímco ostatní meteorologické ukazatele, jako například výpar nebo teplota vzduchu, mohou být také důležité (Sheffield et Wood, 2011).

### **5.1.2 Palmerův index intenzity sucha (PDSI)**

Palmerův index intenzity sucha (PDSI) je index, který odráží jak srážky, tak i evapotranspiraci, a který se používá standardizovaným způsobem, to umožňuje porovnání mezi různými místy a měsíci. Byl vyvinut pro Spojené státy americké (USA) jako nástroj pro odhad škod zemědělského sucha (Van Loon, 2015).

Výpočet PDSI vychází z vodní bilance daného území, v němž je zahrnut srážkový úhrn za sledované období, obvykle za jeden měsíc, aktuální množství vody v půdě a potenciální evapotranspirace. Povrchový odtok je do výpočtu zahrnut až ve chvíli, kdy je nasycena svrchní část ornice i spodní vrstva do maximální retenční kapacity, protože až po nasycení orniční vrstvy dochází teprve k perkolaci do spodní kořenové vrstvy, a současně je pokryt výdej vody evapotranspirací za daný měsíc (Brázdil et al., 2015).

PDSI je založen na Palmerově modelu sucha (Palmer, 1965). Je jedním z nejběžněji používaných ukazatelů sucha ve Spojených státech amerických (USA). Jedním z důvodů jeho popularity je, že jeho vývoj v roce 1965 předcházela ostatním indexům a vyústil v jeho široké využívání. PDSI je odvozen z modelu vodní bilance, která využívá historické záznamy o srážkách, teplotě a místní kapacitě vody v půdě (Wilhite, 2005).

I přes svou celosvětovou aplikaci má PDSI významné nedostatky, například to, že postup výpočtu je složitý a netransparentní, používá potenciální metodu odpařování založenou na absolutní teplotě, která může mít v některých oblastech velký dopad, zásobu vody ve sněhové pokrývce tento index nezohledňuje, takže výsledky mohou být nepřesné. Index PDSI je kalibrován pro Spojené státy americké (USA), proto je nutná rekalibrace pro použití v jiných oblastech (Van Loon, 2015).

### **5.1.3 Index zásobování povrchovou vodou (SWSI)**

Index zásobování povrchovou vodou (SWSI) byl vyvinut Shaferem a Dezmánem (1982), aby řešil omezení Palmerových indexů a zahrnoval údaje o zásobování vodou, jako je akumulace a tání sněhu. Index je založen na čtyřech složkách: sních, proudění, srážky a akumulací nádrže. Měsíční údaje pro každou složku jsou analyzovány podle pravděpodobnosti výskytu, kombinovány do

celkového indexu a váženy podle jejich relativních přínosů k povrchové vodě v povodí (Wilhite, 2005).

SWSI je zaměřen přímo na oblasti, kde hlavním zdrojem vody v povodí je tání sněhu. Integruje historická data s aktuálními údaji vodních nádrží, průtoku a srážkách při vysoké nadmořské výšce do jediného indexového čísla (Wilhite et Glanz, 1985). SWSI měl být doplňkem PDSI, protože se vztahuje hlavně na oblasti závislé na zásobování horskou vodou (Wilhite, 2005).

Faktory, ze kterých vychází jednotlivé indexy, jsou zmíněny v tabulce 1.

Index	Faktory, ze kterých vychází	Časová jednotka
SPI	s	3, 6, 12, 24, 48 měsíců
PDSI	s, t, et, pv, o	měsíc (2 týdny)
SWSI	s, t, et, pv, o, sn	měsíc

s – srážky, t – teplota, et – evapotranspirace, pv – půdní vlhkost, o – odtok, sn – zásoby sněhu.

Tab. 1 – Přehled indexů SPI, PDSI, SWSI (Blinka, 2009).

#### 5.1.4 Z – index

Krátkodobá sucha jsou vypočtena podle Palmerova Z - Indexu. Z - index odpovídá aktuálním měsíčním stavům sucha, nezáleží na hodnotách předcházejících měsíců. Vzhledem k tomu, že Z- index není ovlivněn vlhkostí v předchozím měsíci, mohou se jeho hodnoty lišit od měsíce k měsíci. To může být výhoda kvůli krátkodobému vlhkému období, které se vyskytuje během dlouhodobého sucha. Z - index odpovídá meteorologickému suchu a krátkodobému zemědělskému suchu (WWI, 2018).

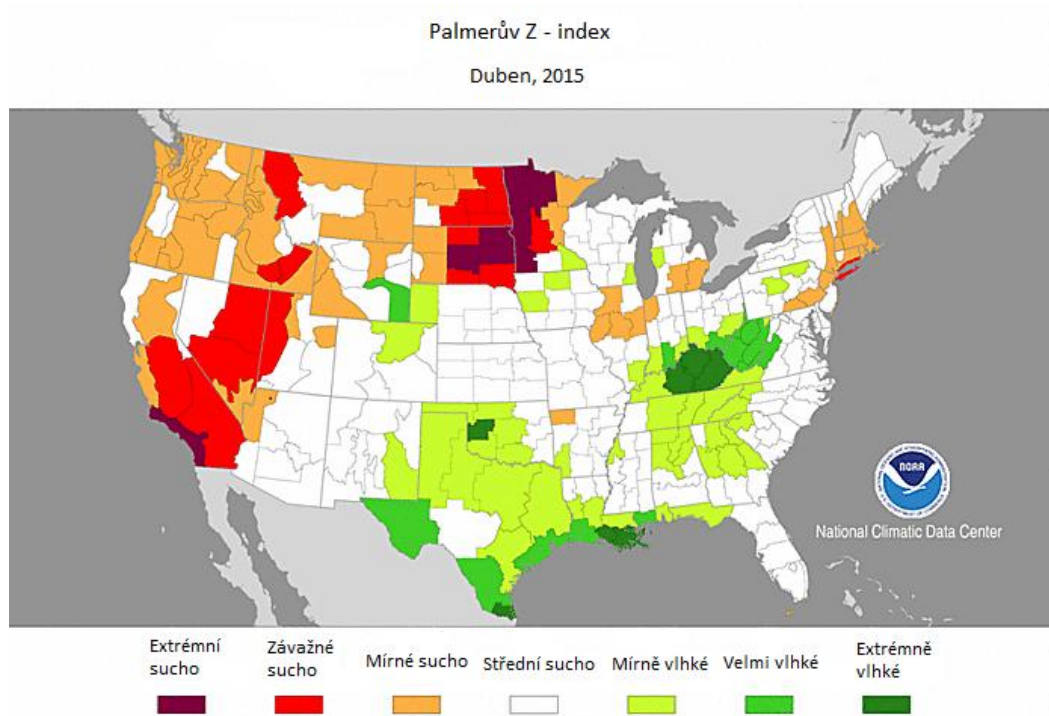
### 5.1.5 Palmerův index hydrologického sucha (PHDI)

Palmerův index hydrologického sucha (PHDI) analyzuje srážky a teplotu v modelu vodní bilance PDSI; porovnává meteorologické a hydrologické sucho v prostoru a čase (Heim, 2002). Zahrnuje odhad vlhkosti půdy na základě bilanční rovnice a její porovnávání s dlouhodobou normální hodnotou vlhkosti pro zvolené časové období nebo s prahovou hodnotou stanovenou empiricky (Brázdil et al., 2015).

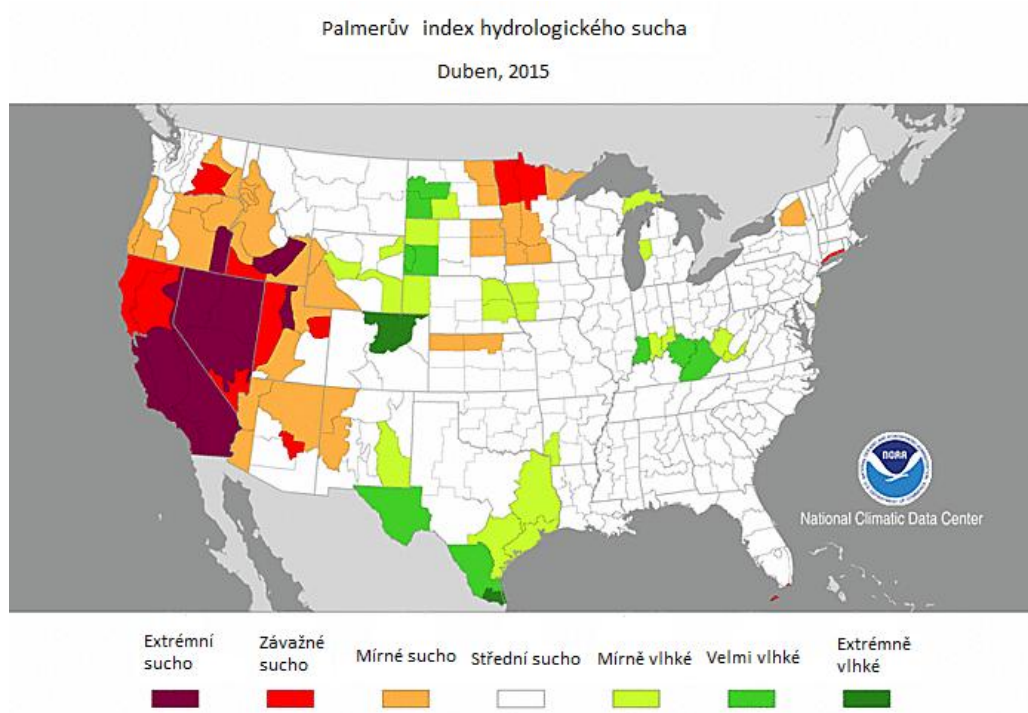
PHDI používá modifikaci PDSI k posouzení dlouhodobějších anomálií vlhkosti, které ovlivňují proudění a zásobování podzemní vody. Primární rozdíl mezi PDSI a PHDI je ve výpočtu ukončení sucha pomocí poměru přijaté vlhkosti k vlhkosti potřebné k definitivnímu konci sucha (Wilhite, 2005).

Při hodnocení dlouhodobých hydrologických podmínek se může PHDI ukázat jako užitečnější než PDSI, protože má delší reakce na změny vlhkostních podmínek, které mohou lépe odrážet změny dostupnosti podzemních vod a nádrží a které jsou charakteristické pro dlouhodobé dopady sucha (Guttman, 1991).

Na obrázku 3 a na obrázku 4 je vyobrazen rozdíl v hodnocení Z – indexem a Palmerovým indexem hydrologického sucha (PHDI).



Obr. 3 – Hodnocení sucha pomocí Palmerova Z – indexu (NCDC, 2015)



Obr. 4 – Hodnocení sucha pomocí Palmerova indexu hydrologického sucha (NCDC, 2015)

## 6. Sucho ve světě a v ČR

Události spojené s hydrologickým suchem jsou závažné přírodní katastrofy. Škody těchto událostí jsou srovnatelné s rozsáhlými povodněmi nebo zemětřesením. Kvůli jejich dlouhodobému trvání a velkému prostorovému rozsahu mají sucha významné hospodářské, sociální a environmentální dopady (Sheffield et Wood, 2011). Speciálně ve zranitelných regionech, jako je Asie a Afrika, je celkový počet lidí postižených suchem velmi vysoký. Výsledkem sucha v takových zemích je hladomor a ztráty na životech. Ve Spojených státech amerických (USA) ekonomické ztráty způsobené suchem dosahují v průměru 6 až 8 miliard amerických dolarů (USD) ročně. V Evropské unii (EU) se ekonomické ztráty odhadují na více než 100 miliard euro v letech 1976-2006 (Van Loon et Van Lanen, 2012).

Česká republika leží v mírném klimatickém pásu, takže srážky se v České republice v průběhu roku vyskytují relativně vyrovnaně. Sucho a nedostatek vody se tedy neprojevuje příliš často, a ne s tak závažnými dopady jako v zemích, které jsou zranitelné vůči suchu (Afrika, Asie). Přesto se však z historického i z novodobého pozorování zjistilo, že události spojené se suchem se v Česku vyskytují a způsobují značné škody (MZE, 2017).

Mezinárodní databáze katastrof (EM-DAT, 2013) uvádí, že katastrofy způsobené suchem zapříčinily úmrtí více než 11 milionů lidí a postihlo více než 2 miliardy lidí v letech 1900 - 2011. V celosvětovém měřítku Dai et al. (2004) poskytli důkazy, že sucho se stále rozšiřuje kvůli globálnímu oteplování, které vede k vyšším teplotám a zvyšuje tak podmínky sucha.

### 6.1 Sucho v České republice

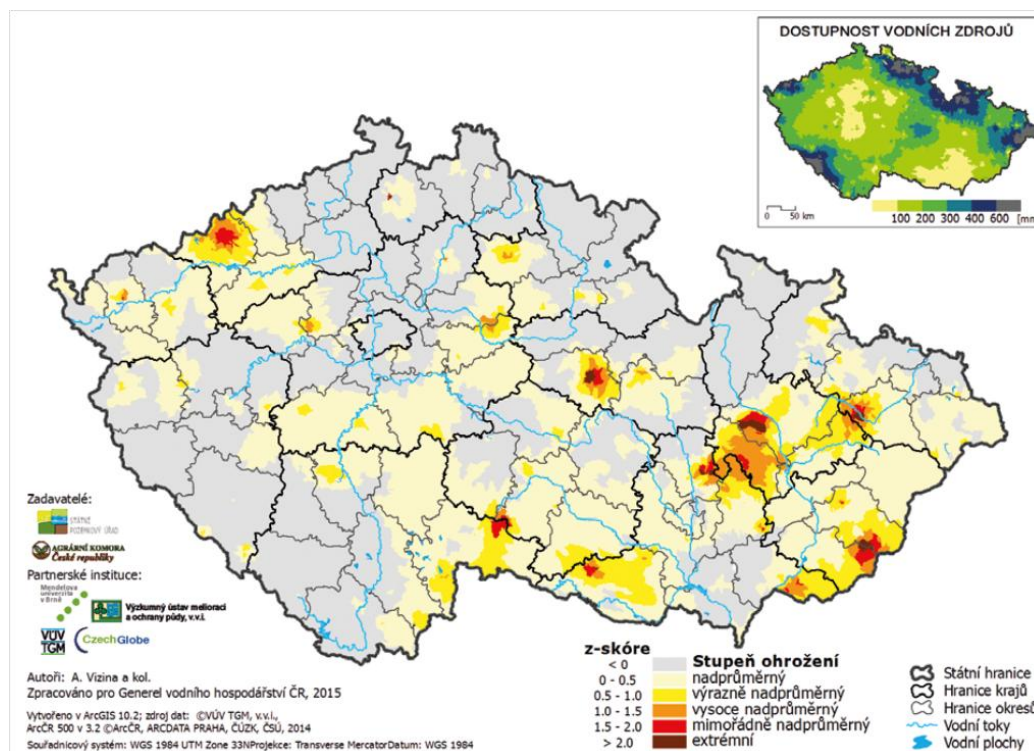
To, že se v České republice vyskytují roky s povodněmi i se suchem, způsobuje proměnlivost podnebí (Rožnovský et Kohut, 2004). V posledních letech jsou tyto výskyty sucha častější, poukazují na to sucha v letech 2000, 2003, 2012 a 2007, i když poslední zmíněné sucho postihlo především území jižní Moravy. Sucho se na našem území projevuje většinou jako nahodilý jev, vyskytuje se nepravidelně během deficitů srážek s trváním od několika dní po několik měsíců (Rožnovský, 2014).

Rozdíly nejvyšších a nejnižších absolutních hodnot teplot vyvolávají na území České republiky výskyty extrémních stavů, tedy povodně a sucho. Sucho se v posledních letech na území ČR vyskytuje stále častěji, je to dáno nejen nedostatkem srážek, ale i retenční schopností krajiny, která je výsledkem složitých vazeb, kde hlavně na zemědělských plochách dochází k degradaci půdy, jako je například zhutňování půdy těžkými zemědělskými stroji (Rožnovský, 2014).

Během let 2012 – 2016 se na území České republiky vyskytlo celkem 16 agrometeorologických extrémů, jako jsou například povodně, mrazy, holomrazy a sucho. Všechny tyto extrémy měly negativní dopad na zemědělství a životní prostředí. Sucho se z těchto 16 extrémů vyskytlo devětkrát. V Česku je nejvíce suchem ohroženou oblastí Jižní Morava. Podmínky sucha se v letním období v této oblasti mohou brzy blížit těm, které se v současné době vyskytují ve Středomoří. Rychlost suchých period v současné době v České republice je 2-3x větší, než se očekávalo před 15 lety (Žalud, 2017).

Mezi oblasti nejvíce ohrožené hydrologickým suchem patří střední a jižní Morava, kraj Vysočina, jih středních Čech, a Chomutovsko (obrázek 5). Příkladem hydrologického sucha na povodí může být například Rakovnický potok, Blšanka, Jevišovka nebo Rokytná. (Vlnas et al., 2015)





Obr. 5 – Oblasti nejvíce ohrožené hydrologickým suchem (Punčochář et al, 2015)

### 6.1.1 Dopady hydrologického sucha

Viditelným dopadem je snížení množství vody v tocích a nádržích. Hydrologické sucho s sebou nese ale spoustu dalších významných dopadů. Protože menší objem vody v korytě zapříčiní horší ředění vody, vzniká dopad na kvalitu vody. Zhoršená kvalita vody dále ovlivňuje použití vody pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou, což je jeden z nejvýznamnějších dopadů, a je nutné v takovém případě zabezpečit dodávky vody jiným způsobem a to představuje podstatné ekonomické výdaje (Vlnas et al., 2015).

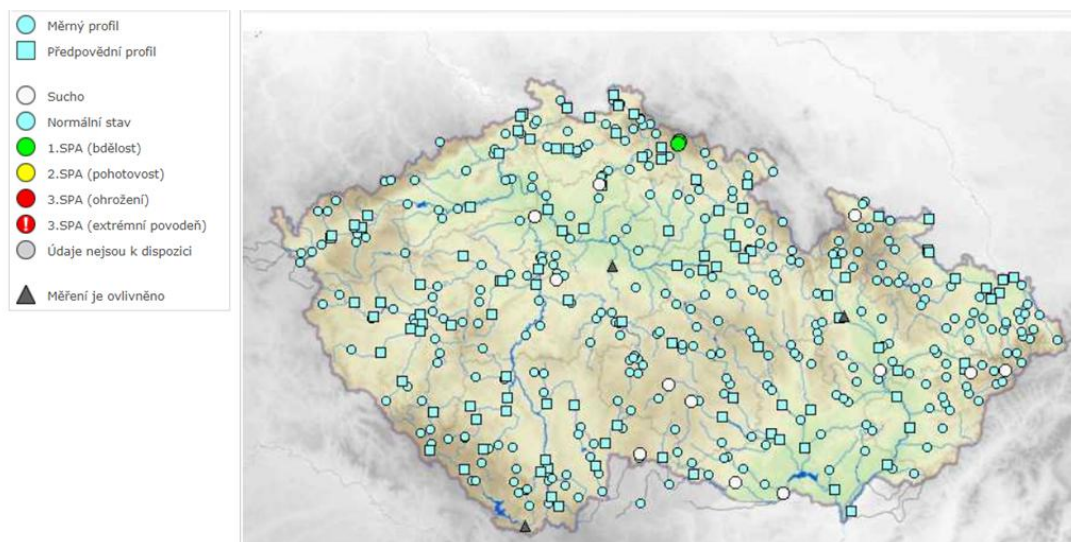
Zhoršená kvalita vody ovlivňuje také odběry vody pro energetiku, zemědělství a průmysl. V oblasti energetiky může nastat omezení nebo zastavení provozu vodních elektráren, které nemohou kvůli nedostatečným průtokům fungovat, problémy mohou mít i tepelné či jaderné elektrárny s chlazením. V oblasti zemědělství může v důsledku nedostatku vody k zavlažování dojít ke snížení produkce plodin. V některých extrémních případech může dojít i ke snížení produkce živočišných produktů (Vlnas et al., 2015).

Dochází ke zhoršení podmínek pro ekosystémy, které jsou přizpůsobeny na určité prostředí, nedostatek vody může zapříčinit redukcí či úplné vyhynutí některých druhů rostlin či živočichů. Kvůli chemismu vody, ke kterému dochází, se snižuje množství rozpuštěného kyslíku, zvyšuje se koncentrace škodlivých látek a teplota vody, tím se zvětšuje množství řas a vodních rostlin. Kvůli suché vegetaci dochází v období sucha ke zvýšenému nebezpečí vzniku požárů a hydrologické sucho může představovat problém v podobě dovážení vody ze vzdálených zdrojů k hašení (Vlnas et al., 2015).

Hydrologické sucho omezuje také lodní dopravu, v případě nízkých průtoků je nutno tento typ dopravy zastavit. Nedostatek vody také omezuje v případech, kde není potřeba vody nutnou záležitostí, jako je zavlažování okrasných rostlin, kropení ulic, praní a mytí strojů. V důsledku snížení kvality vody není voda vhodná ke koupání, což způsobuje také dopady na rekreaci (Vlnas et al., 2015).

### **6.1.2 Český hydrometeorologický ústav**

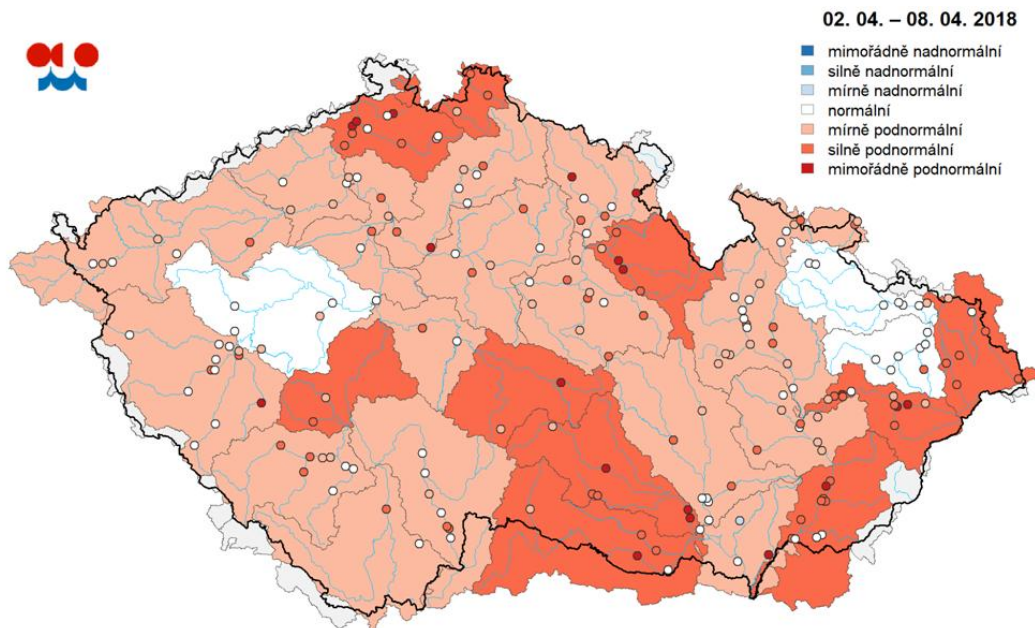
Důležitou roli v oblasti sucha v České republice zastává Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). ČHMÚ podává aktuální informace o stavu sucha půdního, klimatického i hydrologického. V sekci hydrologického sucha jsou na mapách podrobně zobrazeny aktuální stavy průtoků (obrázek 6), hodnocení vodnosti, hodnocení mělkých (obrázek 7) a hlubokých vrtů, hodnocení nasycení půdy a množství vody ve sněhové pokrývce. ČHMÚ pravidelně publikuje týdenní a měsíční zprávy, v nichž popisuje stav sucha v rámci hydrometeorologické situace za uplynulý týden nebo měsíc. Od roku 2004 jsou k dispozici také hydrologické ročenky, v nichž jsou podány ucelené informace o hydrologických měřeních a hodnocení hydrologických poměrů v České republice v daném roce.



Obr. 6 – Stavby a průtoky na tocích 13. dubna 2018 (ČHMÚ, 2018)

Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) zajišťuje informace o oběhu podzemní vody. K tomuto účelu slouží celoplošná pozorovací síť, která vznikla postupně v letech 1957 až 1969. Na počátku 90. let byla provedena poslední významná změna pozorovací sítě, a to doplnění pozorovaných objektů. V současné době je v ČR přibližně 2000 objektů podzemních vod. Objekty pozorovací sítě jsou rozděleny na pozorovací síť pramenů, pozorovací síť mělkých zvodní (obrázek 7) a pozorovací síť hlubokých zvodní (Soukalová et Muzikář, 2015).

Zjištěné údaje jsou důležité například při projektování staveb a jiných rozsáhlých podzemních děl, při rozhodování o ochraně a využívání vodních zdrojů, pro ochranu životního prostředí, a slouží jako výchozí podklad pro hydrologickou a vodohospodářskou bilanci a zjišťování stavu podzemních vod (Soukalová et Muzikář, 2015).



Obr. 7 - Stav hladiny podzemní vody v mělkých vrtech v 1. dubnovém týdnu 2018  
(ČHMÚ, 2018).

## 6.2 Konkrétní události sucha v letech

Kvůli suchu v roce 1874 došlo k zahájení pozorování a hodnocení vodních zdrojů, toto sucho bylo také podnětem pro plánování a výstavbu prvních moderních nádrží. Ve 20. století bylo sucho zaznamenáno v letech 1904, 1911, 1921, 1947, 1976. V současné době bylo sucho zaznamenáno v roce 2000, 2003, 2007, 2012 a v roce 2015, které se lokálně vyskytovalo až do roku 2017. Tato suchá období vedla k zahájení činností zaměřené na přípravu opatření pro zvýšení připravenosti a prevence sociálních a environmentálních dopadů (MZE, 2017).

Následující kapitoly jsou zaměřeny na události týkající se sucha v letech novodobé historie. Jednotlivé roky jsou popsány z meteorologického i z hydrologického hlediska.

### **6.2.1 Sucho v r. 2000**

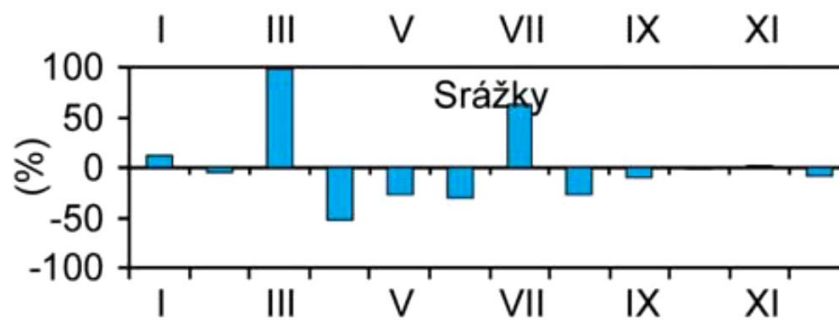
Březen tohoto roku byl srážkově nadprůměrný, poté následovalo suché období v délce tří měsíců (duben – červen), kdy byl srážkový úhrn podprůměrný. V červenci byly srážky nadprůměrné a tak došlo k přerušení sucha, ovšem v srpnu došlo k deficitu srážek a následovalo opět suché období (obrázek 8). Příčinou tohoto suchého období nebyl jen srážkový deficit, ale i nadprůměrné teploty, které s výjimkou července a září, převládaly od dubna až do konce roku. Kvůli této periodě bez srážek došlo k rozsáhlému vysychání půd, poklesu zásob vody pro rostliny k hranici bodu trvalého vadnutí na polovině rozlohy ČR (Brázdil et al. 2015).

V roce 2000 se hydrologické sucho vyskytovalo pouze několik dnů. Hranice limitního průtoku  $Q_{330}$  byla těsně překročena jen v obdobích s deficitem srážek (Brázdil et al. 2015).

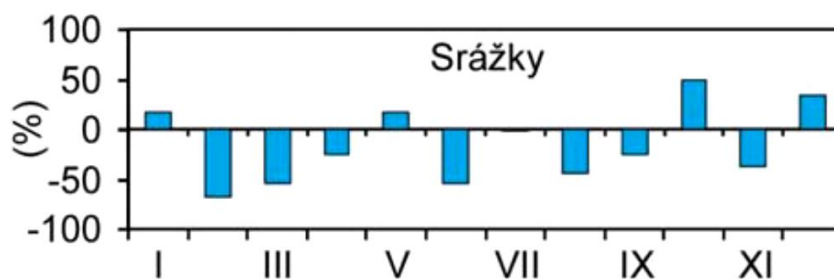
### **6.2.2 Sucho v r. 2003**

Sucho v roce 2003 bylo výraznější než v roce 2000. Na mnoha územích Evropy šlo o nejhorší sucho od roku 1980. Suché období trvalo od února do září, k nejvýraznějšímu poklesu srážek došlo v únoru a v březnu, což podnítilo déletrvajícím sucho. V květnu bylo sucho přerušeno mírně nadprůměrným úhrnem srážek, ale poté sucho dále pokračovalo teplotně nadprůměrným a srážkově podprůměrným červnem (obrázek 9) (Brázdil et al. 2015).

Toto meteorologické sucho způsobilo hydrologické sucho, které bylo jedno z nejvýraznějších v novodobé historii. Nízké průtoky trvaly od května do října. Nejvíce se sucho projevilo na řece Moravě v Olomouci, kde od půlky července do začátku října chybělo přes 13,7 milionů  $m^3$  vody. V Bechyni na řece Lužnici bylo toto suché období největší po roce 1950. Nejvýrazněji se toto hydrologické sucho projevilo na vodních tocích v jižních Čechách, východních Čechách a na řece Moravě a jejich přítocích (Brázdil et al. 2015).



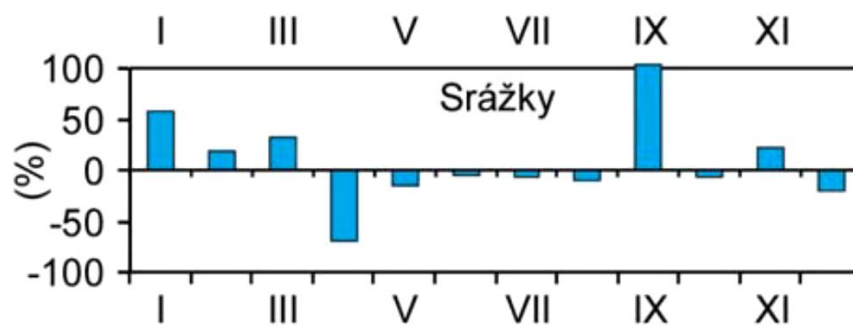
Obr. 8 – Úhrn srážek v jednotlivých měsících v % v roce 2000 (Brázdil et al., 2015)



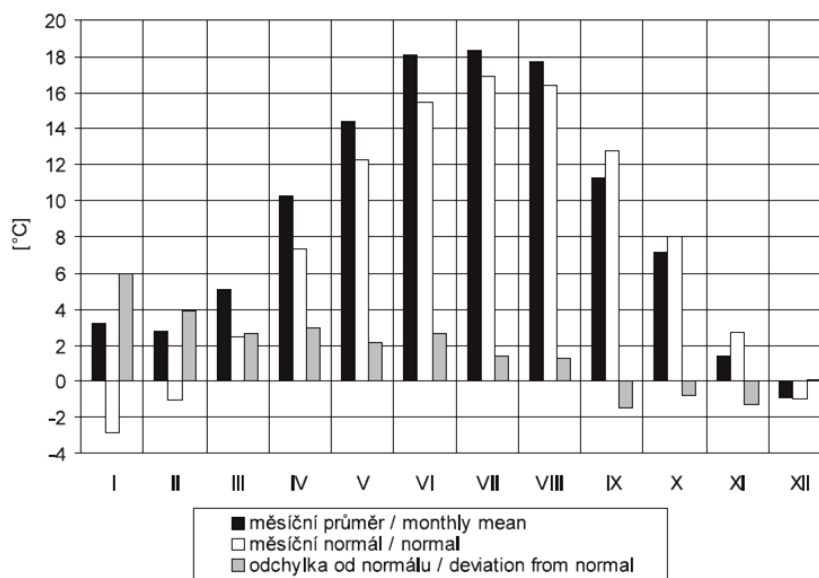
Obr. 9 - Úhrn srážek v jednotlivých měsících v % v roce 2003 (Brázdil et al., 2015).

### 6.2.3 Sucho v r. 2007

Sucho se v roce 2007 projevilo především na jižní Moravě. Příčinou tohoto sucha bylo dvanáctiměsíční období se zvýšenými průměrnými teplotami vzduchu o 1 – 4 °C, které trvaly již od září roku 2006 do srpna 2007. Srážky v tomto období byly velmi proměnlivé, duben byl srážkově velmi podprůměrný, v květnu a v červnu byl výskyt srážek nerovnoměrný, avšak v letních měsících nastaly intenzivní až přívalové deště, což snížilo množství vody zadržené půdou. Nerovnoměrný a proměnlivý výskyt srážek (obrázek 10) spolu s vysokými teplotami v červnu, červenci a v srpnu (obrázek 11) způsobily, že se vláhový deficit prohluboval a sucho trvalo do konce srpna. Sucho bylo ukončeno výrazně nadprůměrným úhrnem srážek v září (Rožnovský, 2014).



Obr. 10 - Úhrn srážek v jednotlivých měsících v % v roce 2007 (Brázdil et al., 2015).



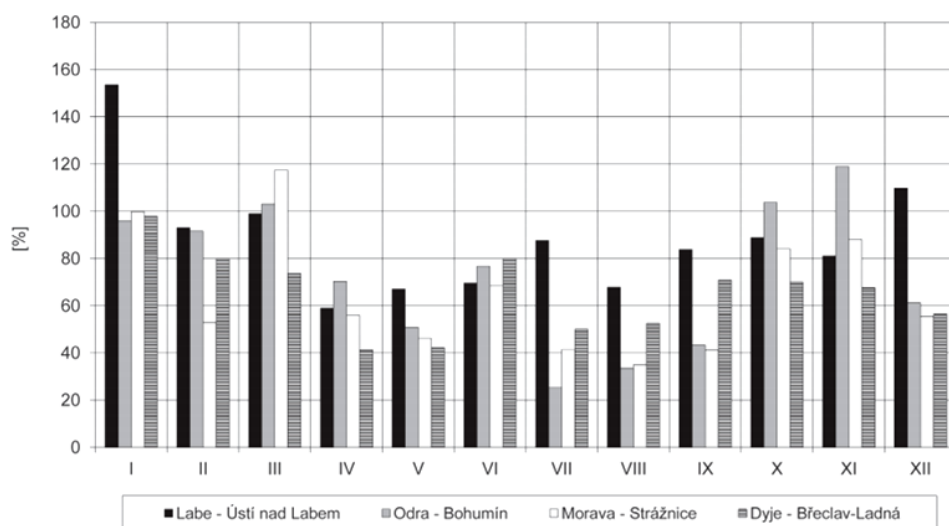
Obr. 11 - Průměrné teploty v roce 2007 (ČHMÚ, 2017)

#### 6.2.4 Sucho v r. 2012

Toto extrémní sucho se vyskytovalo především ve východní části České republiky, mezi nejvíce postižená místa patřila jižní a střední Morava. Výrazně tomu napomohla situace již ve druhé polovině roku 2011, kdy se začaly vyskytovat podprůměrné úhrny srážek, které trvaly až do května roku 2012. Podzim roku 2011 byl převážně suchý na celém území Česka, ale největší intenzita sucha se projevila převážně ve střední a východní Moravě. V zimních měsících se sucho projevilo

prakticky jen na jižní Moravě. V březnu, dubnu a v květnu povětrnostní podmínky ještě více přispívaly k suchu. V období od srpna 2011 do května 2012 byly na 9% území Čech srážkové úhrny 50 - 80 % vzhledem k dlouhodobému průměru 1961 – 2000. Zatímco v oblasti Moravy byly tyto úhrny na 64% (Zahradníček et al., 2014).

Kvůli výskytu příznivých podmínek pro sucho, jako byly několikaměsíční podnormální srážkové úhrny a nedostatečná akumulace podzemních vod, se hydrologické sucho projevilo nejvíce na jižní Moravě snížením vodních stavů (obrázek 12). Hydrologické sucho v roce 2012 lze srovnat se suchem z roku 2003 (Malý, 2014).



Obr. 12 - Průměrné měsíční průtoky v roce 2012 v procentech dlouhodobých průměrných měsíčních průtoků (ČHMÚ, 2017).

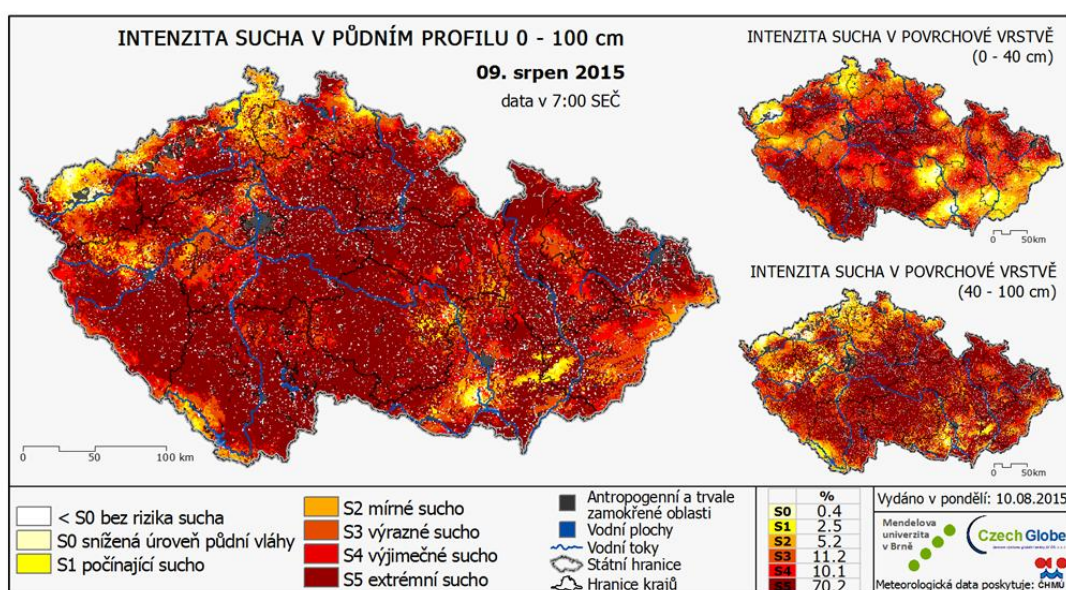
### 6.2.5 Sucho v r. 2015

Sucho v roce 2015 postihlo celé územní ČR. Toto sucho se postupně projevilo ve všech jeho formách. V únoru se začal projevovat srážkový deficit. I přes to, že se v dubnu a květnu srážky vyskytovaly poměrně často, jejich úhrny byly nízké (Daňhelka et al., 2015). Na začátku letních měsíců už byla krajina poměrně vysušená a tuto situaci zhoršovaly nadprůměrné teploty s výrazným úbytkem srážek



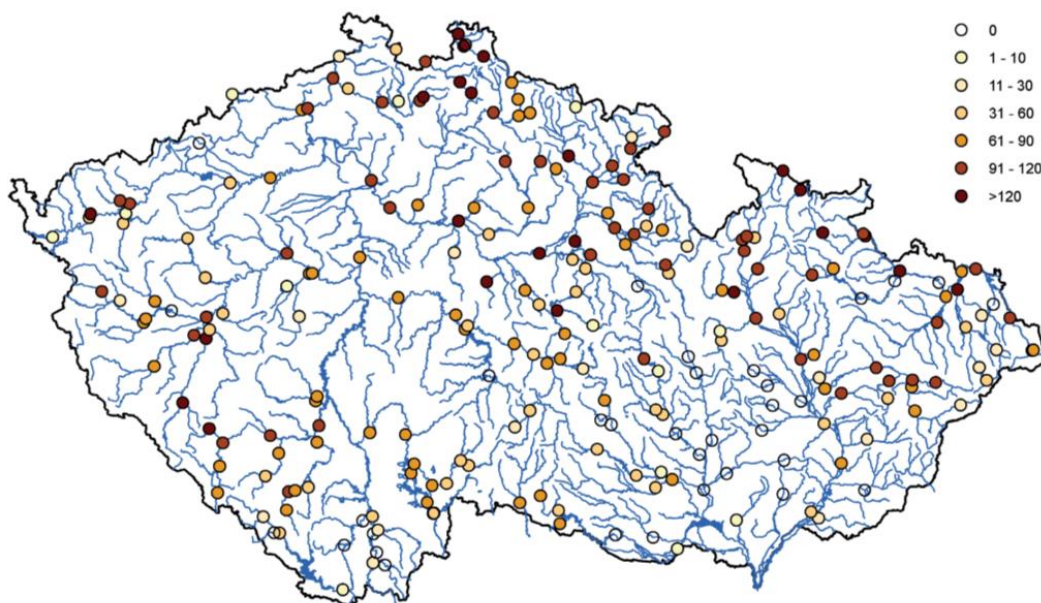
vyskytující se v červnu, červenci a v srpnu. Teploty v zimním období byly o 1,5 - 3,5 °C vyšší než dlouhodobý průměr. Toto sucho přerušovaly jen krátkodobé úhrny srážek v polovině srpna a v polovině října (Rožnovský, 2016).

Popis intenzity sucha v prvním srpnovém týdnu popisuje obrázek 13. Míra intenzity sucha je aktuální stav porovnán s obvyklými podmínkami ve stejné době v průběhu let 1961 – 2010. Intenzita sucha byla v létě tohoto roku extrémně vysoká. Příčinou byl nedostatek srážek a vysoké teploty, v důsledku těchto příčin klesal obsah dostupné půdní vláh.



Obr. 13 – Intenzita sucha v půdním profilu k 9. srpnu 2015 (Intersucho, 2018)

Hydrologické sucho se projevilo na většině vodních toků, po několik týdnů se vyskytovaly hladiny pod úrovní  $Q_{355d}$ , v některých regionech došlo i k úplnému vyschnutí toků (obrázek 14). Toto hydrologické sucho způsobil nejen nedostatek srážek, ale i mimořádně vysoké teploty spolu s vysokým výparem z krajiny, hladin vodních toků a vodních ploch (Daňhelka et al., 2015).



Obr. 14 - Počet dní s průtokem  $Q_{355d}$  a menším v roce 2015 (ČHMÚ, 2017)

Z důvodu dobře vybudované infrastruktury vodního hospodářství jako jsou vodní nádrže a vodovody nedošlo v roce 2015 ke krizovým dopadům sucha v podobě nutnosti přerušit dodávky vody domácnostem. Přesto však dochází k významným negativním dopadům, jako je zvýšené nebezpečí vzniků požárů, dopady na některé sektory hospodářství, například na zemědělské činnosti nebo hydroenergetiku (Daňhelka et al., 2015).

V minulých epizodách sucha bylo zaznamenáno nebezpečí vzniku požárů hlavně v jarních měsících. V roce 2015, kvůli kombinaci sucha meteorologického a půdního s velmi vysokými teplotami, docházelo k mimořádně příznivým podmínkám pro vznik požárů v letním období. Dle dat Hasičského záchranného sboru ČR museli hasiči zasahovat u největšího počtu požárů za posledních 20 let. V červenci byl dvojnásobný počet požárů, v srpnu čtyřnásobný (Daňhelka et al., 2015).

V podmínkách ČR je obvykle sucho doprovázeno dalšími meteorologickými faktory, které zvyšují jeho intenzitu a působí na vegetaci. Kvůli vyšším teplotám se prodlužuje vegetační období a dříve nastupují fenologické fáze rostlin (Rožnovský, 2016). V tomto suchém období se jednalo především o vysoké teploty, nízkou relativní vlhkost vzduchu a vysoké teploty půdy. V jarním období nedocházelo

k výrazným projevům půdního sucha. Deficit srážek nebyl tolik vysoký, aby působil nepříznivě na vegetaci. V letních měsících bylo již zaznamenáno výrazné snížení vláh a vysoké teploty, tyto faktory působily rozdílně podle vývojové fáze. Negativně postihly některé druhy, jako jsou například brambory, chmel, kukuřice a krmiva pro dobytek. Naopak pozitivní vliv měly tyto faktory na řepku a vinnou révu. Nejméně se toto sucho projevilo v severních Čechách, byl zde téměř nulový vliv na vegetaci. Největší dopady sucha se projevily ve středu a na jihu Čech a v jihovýchodní části Moravy. (Daňhelka et al., 2015).

### 6.3 Sucho ve světě

Sucho je opakující se fenomén s vážnými ekonomickými a sociálními následky, především, ale ne výhradně, v rozvojových zemích. V těchto zemích je zemědělství a zásobování vodou prováděno především prostřednictvím dešťové vody, proto nedostatek srážek a výskyt sucha může vést k rozsáhlým katastrofám (Oesting et Stein, 2017).

V Evropě sucho ovlivňuje nejen oblast středomoří, ale většinu oblastí. Dlouhodobá sucha opakovaně zasáhla například západní a střední Evropu, Britské ostrovy, Skandinávii, východní Evropu a Rusko (Hoerling et al., 2012).

Situace související se suchem se v mnoha evropských částech světa stále zhoršuje. Pro výpočet relativních změn frekvencí povodní a sucha v Evropě byl použit globální hydrologický model WaterGAP (Water – Global Assessment and Prognosis), který zkoumá současnou i budoucí dostupnost vody a využití a kvalitu vody. Výsledky hodnocení poukázaly na kritické oblasti, u kterých lze očekávat v rámci globálního oteplování významné změny v rizicích povodní nebo sucha. Regiony nejvíce náchylné k nárůstu povodňových frekvencí jsou severní až severovýchodní Evropa, zatímco jižní a jihovýchodní Evropa vykazuje výrazné zvýšení frekvencí sucha. Zvýšení průměrných úhrnů srážek a jejich variabilita se očekává u severních regionů, to naznačuje vyšší rizika povodní. Méně srážek, delší suchá období a zvýšené odpařování může zvýšit četnost výskytu sucha v jižních oblastech (Voss et al., 2002).

Evropa byla za posledních 40 let postižena vážnými událostmi sucha. Například v roce 1976 postihlo sucho Velkou Británii, Německo a další státy severní

a západní Evropy. V roce 1989, 1991 a v roce 2003 zasáhlo téměř celou Evropu. Sucho v roce 2005 na Pyrenejském poloostrově bylo nejzávažnější za posledních 60 let, způsobilo snížení celkových výnosů obilovin v EU o 10 % (Feyen et Dankers, 2009).

Podle studie Mezivládního panelu pro změny klimatu (IPCC) se produkce rýže, kukuřice a pšenice v posledních desetiletích snížila v mnoha částech Asie kvůli rostoucí spotřebě vody, která se projevila v důsledku zvýšených teplot a snížením počtu deštivých dnů (Bates et al., 2008). V letech 1999 - 2000 bylo až 60 milionů lidí ve střední a jihozápadní Asii postiženo přetrvávajícím víceletým suchem, nejzávažnější dopady se projevily v Íránu, Afghánistánu, západním Pákistánu, Uzbekistánu a Turkmenistánu (Mishra et Singh, 2010).

Častá a závažná sucha v severní Číně v letech 1997 a 1999 - 2002 způsobila v mnoha oblastech velké ekonomické a společenské ztráty. V roce 2000 bylo více než 40 milionů hektarů zemědělských oblastí postižených suchem. Od konce 70. let se zvýšilo riziko vzniku sucha, kvůli důsledkům globálního oteplování, které způsobuje vyšší teploty a tím i zvýšený výskyt sucha. Například v letech 1972 - 1997 byly ve Žluté řece zaznamenány epizody sucha. Od počátku 90. let se staly epizody sucha ještě delší a častější. Závažné sucho v roce 1997 v severní Číně vyústilo v období 226 dní bez průtoku ve Žluté řece (Zou et al., 2005).

Indie je jedna z nejvíce náchylných zemí k suchu na světě. Během posledních 50 let se suchá období v Indii vyskytují nejméně jednou za tři roky (Mishra et Singh, 2010).

Sucho v Austrálii je stále se opakujícím tématem. Poslední závažné sucho, v roce 2005, postihlo většinu jižní a východní Austrálie a je považováno za jedno z nejhorších v regionu. Na mnoha řekách, během tohoto období, byly zaznamenány rekordně nízké průtoky (Murphy et Timbal, 2007). Z pozorování vyplývá, že sucho mělo vážné dopady na vodní ekosystémy. Populace mnoha vodních taxonů se ve velké míře snížila a v některých tocích došlo i k lokálním extinkcím (Mishra et Singh, 2010).

Zemědělství a ekonomika subsaharské Afriky jsou vysoce citlivé na klimatickou variabilitu. Sucho představuje jeden z nejdůležitějších přírodních faktorů, které přispívají k podvýživě a hladomoru v mnoha částech subsaharské

oblasti (Shiferaw et al. 2014). Sucha a povodně v subsaharské Africe představují 80 % ztrát na životech a 70 % ekonomických ztrát. V posledních pěti desetiletích se sucho stalo hlavním problémem Afriky a způsobilo degradaci životního prostředí, chudobu, nezaměstnanost a nucenou migraci (Scheffran et al., 2012).

I když sucho představuje celosvětově pouze 8 % přírodních katastrof, představuje největší přírodní riziko právě v Africe. Ze všech přírodních katastrof, ke kterým v Africe v letech 1960 – 2006 došlo, představuje sucho 25 % výskytu všech katastrof. Regiony s velmi variabilními srážkami v Africe zahrnují Sahelskou oblast, Africký roh a jižní Afriku. V těchto oblastech dochází k častým a dlouhodobým suchým obdobím, které vedou k hladomoru a spolu s nedostatečnými socioekonomickými poměry se zvyšuje zranitelnost společnosti a ekonomiky (Hansen et al., 2004).

#### **6.4 Konkrétní události spojené se suchem ve světě**

V letech 2012 - 2014 byl stát Kalifornie v USA vystaven jednomu z nejtěžších víceletých období sucha, které vedlo k extrémně nízkým zásobám a hladinám podzemních vod a omezením využívání vody pro zavlažování a domácí použití. V roce 2014 způsobilo zimní sucho ve Skandinávii silné požáry. V roce 2013 bylo potřeba pomoci v případě sucha v Namibii a Angole, Brazílii, střední Evropě a na Novém Zélandu. V roce 2012 vyvolalo sucho ve střední a jižní USA a v Rusku nárůst cen potravin. Na jaře roku 2011 čelila západní Evropa silnému nedostatku vody. Ve stejném roce vyvolalo dlouhodobé sucho hlad, masovou migraci a ztráty na životech v Africkém rohu. V letech 2010 a 2011 došlo v Rusku k suchu a horké vlně, což vedlo k rozsáhlým lesním požárům. V roce 2010 byly velké části Číny postiženy suchem, které brzdily výrobu potravin, a ve stejném roce se Skandinávie potýkala s nedostatkem pitné vody a s problémy s vodními elektrárnami. V roce 2008 se Iberský poloostrov musel vypořádat s dopady víceletého sucha, které snížilo úroveň podzemních vod a hladiny nádrží na minimum. Austrálie se potýkala se závažným suchem v roce 2005. Tyto události naznačují opakující se celosvětovou povahu sucha (Van Loon, 2015).

Dle mezinárodní databáze katastrof (EM – DAT) byly v letech 1900 - 2010 celosvětově postiženy suchem 2 miliardy lidí, a kvůli dopadům sucha zemřelo více než 10 milionů lidí.

#### **6.4.1 Víceleté sucho v Kalifornii**

Od roku 2012 do roku 2014 se stát Kalifornie v USA potýkal se závažným dlouhodobým suchem. V řekách Sacramento a San Joaquin byly od roku 2000 hladiny pod normálem a během let 2012 - 2014 hladiny těchto řek ještě více klesly. Ze záznamů teplot a množství úhrnu srážek z roku 1895 do roku 2014 je patrné, že období let 2012 – 2014 bylo nejteplejší a nejsušší. Sucho se projevilo například i v jezeře Folsom (obrázek 15 a 16), které se nachází 40 kilometrů severovýchodně od řeky Sacramento. Dne 20. července 2011 bylo toto jezero na 97 % celkové kapacity, 16. ledna 2014 pouze na 17 % celkové kapacity. (Mann et Gleick, 2015).



Obr. 15 – Jezero Folsom v červnu 2011(NASA, 2014)



Obr. 16 – Jezero Folsom v lednu 2014 (NASA, 2014)

Přestože deficit srážek je předpokladem pro deficit vlhkosti, zvýšené teploty mohou výrazně zesílit odpařování, čímž se zvýší celková intenzita a dopad sucha. Teplota je důležitá zvláště v Kalifornii, kde jsou akumulace vody a distribuční systémy závislé na zimní, či jarní sněhové pokrývce, protože nadměrná poptávka po vodě je řešena odběrem z podzemních vod. Dopady deficitu vlhkosti půdy spojené s vyššími teplotami mohou být rizikové, vzniká zvýšené riziko požárů, snižuje se produkce vodních elektráren a vzniká poškození biotopů zranitelných druhů. Kalifornie má historicky mnohem větší pravděpodobnost výskytu sucha, pokud se srážkový deficit vyskytne zároveň s teplými podmínkami. Tyto kombinace se v posledních desetiletích zvýšily, což vedlo ke zvýšení počtu let s nízkými srážkami, které způsobují sucho (Diffenbaugh et al., 2015).

Suché roky v Kalifornii vedly k nedostatku vody, kritickému snížení průtoků, masivnímu přečerpání podzemních vod, zvýšenému riziku požárů, snížení výroby elektřiny z vodních zdrojů, úbytek zemědělských výnosů, a tím ke snížení počtu zemědělců v důsledku nevydělečnosti činnosti (Diffenbaugh et al., 2015).

#### 6.4.2 Australské sucho v roce 2005

I přes to, že Austrálie je kontinent proslulý dlouhodobými suchými obdobími a největší variabilitou klimatu země, vyskytují se zde sucha, která způsobují vážné dopady.

Suchu v roce 2005 předcházela suchá epizoda z let 2002 – 2003, kdy se jednalo o jedno z nejsušších období v Austrálii. Australské sucho v roce 2002 - 2003 bylo pravděpodobně jedním z nejhorších období sucha v australské meteorologické historii, toto sucho trvalo od března 2002 do ledna 2003. Podle analýzy záznamů o srážkách za toto jedenáctiměsíční období se na 90 % území vyskytovaly srážky pod hranicí dlouhodobého průměru. Dopad rozsáhlých deficitů srážek byl podpořen zvýšeným odpařováním v reakci na velmi vysoké denní teploty. Během sucha v roce 2002 - 2003 Austrálie zaznamenala rozsáhlé požáry, závažné prашné bouře a zemědělské dopady, které vedly k poklesu hrubého domácího produktu o více než 1 % (Nicholls, 2004).

Roku 2003 byl výskyt srážek pouze průměrný, nikoli nadprůměrný, který byl potřebný pro doplnění zásob vody, protože hladiny řek i nádrží byly stále pod normálem. Teplotně byl tento rok nadprůměrný, z měření z let 1961 – 1990 teplota průměrně vzrostla o 0,61°C (Nicholls, 2004).

Rok 2004 byl teplotně i srážkově velmi podobný roku 2003. Zásoby vody zůstaly na nízké až extrémně nízké úrovni, což vedlo k omezením pro obyvatele ve městech. Například ve městech Melbourne, Canberra a Sydney byl omezen přívod vody k zavlažování. (Watkins, 2005).

Po třech podprůměrných obdobích pro zemědělství se očekávalo, že v roce 2005 se zemědělství zotaví z dlouhodobého sucha. Prvních 5 měsíců, kdy jsou srážky velmi důležité pro růst rostlin, byly mimořádně suché na většině území Austrálie. V období od ledna do května spadlo v průměru pouze 167 mm srážek, což je nejméně od roku 1965. Obzvláště těžce zasaženy byly hlavní zemědělské oblasti jako je Queensland a Nový Jižní Wales. Sucho dále prohlubovaly i maximální zaznamenané teploty, za toto pětíměsíční období byly teploty o 1,75 ° C nad normálem (Watkins, 2005).

Dopady dlouhodobého sucha spolu se závažnými a suchými podmínkami na počátku roku 2005 se nejvíce odrazily v zemědělství a na vodních zdrojích.



Australský úřad pro zemědělství a ekonomiku (ABARE) vydal zprávu o sklizni na začátku června 2005, v níž varoval, že se očekává snížení produkce přibližně o 8 %. Zásoby vody pro domácí využití a pro zavlažovací účely se nacházely pod hranicí normálu. V červnu dosahovaly zásoby vody v Sydney objemu 38,4 %, v Melbourne 52 %, v Brisbane na 39,4 % a v hlavním městě Canberra 46 %. V některých městech kvůli nedostatku vody došlo i ovlivnění života obyvatelů. Například ve městě Goulburn, kde žije 23 tisíc obyvatel, měli občané k dispozici jen zhruba 10% využitelné vody a domácnosti byly požádány, aby používaly méně než 150 litrů denně. V přehradě Rockland klesla hladina na 6 % celkové kapacity. Přehrada Wyangala na řece Lachlan dosahovala pouze 8 % svojí kapacity (Watkins, 2005).

### **6.4.3 Sucho ve státech Sahelu**

Sucho vede k rozsáhlým společenským a environmentálním dopadům a může vést k postupné degradaci půdy a desertifikaci, jak se stalo po ničivém suchu v Sahelu na konci 60. a počátku 70. let (Zeng, 2003). Sahel je rozsáhlý souvislý pás na území nejhudších afrických zemích, který se rozkládá jižně od Sahary (obrázek 17) (Trnka, 2015).

Desertifikace je definována jako šíření pouští v suchých oblastech. Je to výsledek klimatické změny a lidské činnosti (Trnka, 2015).

Podmínky sucha v Sahelu západní Afriky od počátku 70. let jsou doloženy analýzou srážek, vegetačního pokryvu a dalšími zemědělskými údaji. Bylo identifikováno a prozkoumáno několik možných příčin, včetně interakce mezi půdou a atmosférou, tropického Atlantiku a celosvětových teplotních vlivů a atmosférických vln. Lze říci, že snižující se úhrny srážek a ničivé sucha v oblasti Sahelu v posledních třech desetiletích 20. století, jsou nepochybně největšími nedávnými klimatickými změnami, které uznává Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC) (Dai et al., 2004).

K antropogenním činnostem, které přispívají k suchu v Sahelu, patří: růst počtu obyvatel, který přesahuje růst produkce potravin, chudoba – sahelská oblast zahrnuje tři ze čtyř nejhudších zemí světa, nadměrné využívání půdy pro pastvu, odlesňování a špatné zavlažovací postupy (Trnka, 2015).

Sucho mělo ničivý dopad na tuto ekologicky zranitelnou oblast a bylo velkým podnětem pro zavedení Úmluvy Organizace spojených národů (OSN) o boji proti desertifikaci a suchu (Zeng, 2003).

Úmluva OSN o boji proti desertifikaci a suchu byla sjednána v Paříži v r. 1994. Cílem úmluvy je boj s desertifikací a odstraňování následků sucha, má pomoci ke zlepšení obnovy, ochrany a udržitelného využívání půdy a vodních zdrojů v zemích, které jsou postižené velkým suchem. Toho se snaží docílit prostřednictvím opatření na všech úrovních a s mezinárodní spoluprací. V současnosti má úmluva 193 smluvních stran, mezi které patří i Česká republika, ta je členem od r. 2000 (MŽP, 2018).



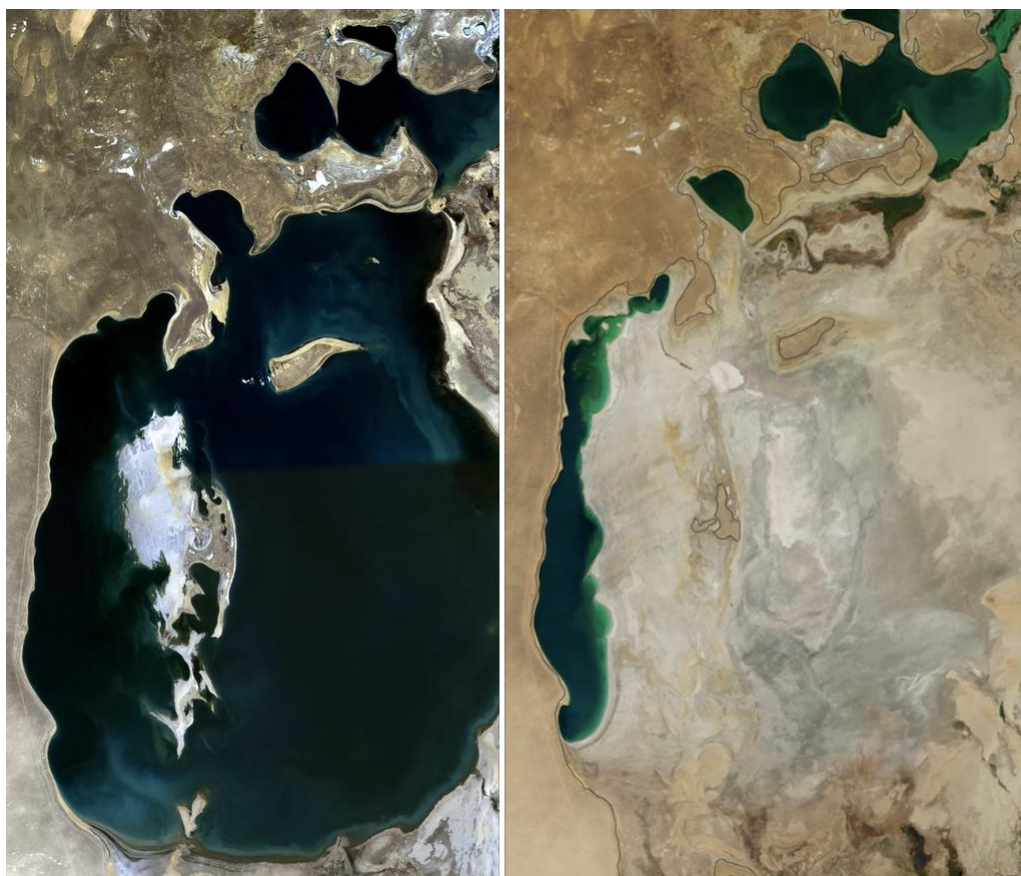
Obr. 17 – Sahelská oblast (Trnka, 2015).

#### **6.4.4 Aralské jezero**

Aralské jezero je bezodtokové slané vysychající jezero, které vzniklo přitékajícími řekami Amudarja a Syrdarja. Nachází se ve Střední Asii mezi státem Kazachstán a Uzbekistán. Do počátku 60. let 20. století se Aralské jezero rozkládalo na ploše o rozloze asi 68 000 km<sup>2</sup> a patřilo mezi 4 největší jezera na světě. Oblast Aralského jezera se nachází v kontinentálním klimatu, celé území tedy trpí velkým výkyvem

denních teplot, v létě vysokými teplotami, které dosahují až 40°C, v zimním období velkými mrazy, v lednu se průměrná teplota pohybuje mezi -5 až -10°C, a nedostatkem a nepravidelností srážek, na dvou třetinách území se roční srážkový úhrn pohybuje mezi 100 a 250 mm srážek (Bičík et Šobr, 2016)

Do roku 1960 platila v Aralském moři rovnováha mezi přítoky a odpařováním vody z jezera. K porušení vodní rovnováhy začalo docházet roku 1960, kdy bývalý Sovětský svaz odčerpával vodu z řeky Amudarji a Syrdarji pro zavlažování bavlněných polí. Přítoky těchto řek sloužily jako hlavní zdroj pro zásobování Aralského jezera a udržovaly salinitu jezera na přijatelné úrovni. Z důvodu přerušení přítoku došlo k výraznému snížení hladiny v jezeře, k postupnému vysychání jezera (obrázek 18) a ke zvýšení salinity. Roku 1987 se Aralské jezero rozdělilo na dvě menší jezera - Malý Aral a Jižní Aral (Barth, 2006).



Obr. č. 18 - Postupné vysychání Aralského jezera v roce 1998 (vlevo) a v roce 2014 (vpravo) (NASA, 2014).

Zničení Aralského jezera a jeho ekosystému v důsledku pěstování monokultury bavlny představuje jednu z největších ekologických katastrof způsobených člověkem v historii. Kvůli působení nešetrných antropogenních činností došlo k degradaci životního prostředí jako je ztráta biodiverzity, změny klimatu, nedostatek vody, degradace půdy a změna ekosystému ztrátou biologické rozmanitosti (Gupta et Gupta, 2016).

Jedním z důsledků vysychání delt bylo výrazné snížení vegetativního krytí, což zničilo stanoviště pro volně žijící živočichy a stěhovavé ptáky. Spolu s poklesem kvality říční vody došlo k poklesu kvality vody Aralského jezera a úbytku druhů ryb až o jednu pětinu. Lesní ekosystémy, jako je jedinečný tugajský les, byly vyčerpány, neboť se půda vysušila nebo se půdy staly salinizovanými nebo podmáčenými v závislosti na místních půdních podmínkách (Glantz 1999).

Místní klima tohoto regionu bylo zaznamenáno jako teplejší, kratší letní a chladnější zimní období. Teplota měsíce ledna 1981 - 88 byla v oblasti Aralského moře nižší než v předchozím průměru o 3,0 - 3,5 ° C a ve stejném období v červnu byla teplejší o průměru o 1 až 4 ° C (Glantz 1999).

Tato ekologická katastrofa způsobuje také přímé ohrožení zdraví lidí. Pole s bavlnou byla pravidelně ošetřována postřikem s vysokým množstvím pesticidů. Všechny druhy pesticidů představují vysoké riziko pro lidské zdraví. Když dochází k prašným bouřím, které obsahují zbytky pesticidů, prach se transformuje po okolí do okolních vesnic, někdy i stovky kilometrů daleko, obyvatelé vdechují tyto činitele způsobující rakovinu, hepatitidu a respirační onemocnění (Weinthal 2002).

#### **6.4.5 Přehled katastrof způsobených suchem podle organizace UNICEF (2000)**

**Etiopie:** odhaduje se, že 8 milionů z 60 milionů lidí v Etiopii je v důsledku sucha bezprostředně ohroženo. UNICEF odhaduje, že 1,4 milionů rizikových osob jsou děti do pěti let. Podmínky sucha mají nejsilnější dopad v Etiopii, zejména v okolí měst Gode, Denan a Imi na jihovýchodě.

**Eritrea:** po několika letech sucha v kombinaci s hraniční válkou s Etiopií vznikl velký nedostatek potravin. Přibližně 1,3 milionů lidí je ohroženo.

**Somálsko:** kvůli sedmi po sobě jdoucím špatným sklizním v některých regionech se potravinová stabilita zhoršuje a postihuje až 1 milion lidí, z toho 300 tisíc dětí ve věku do 5 let. Sucho bylo zhoršeno náhlými přívalovými dešti a bleskovými povodněmi.

**Súdán:** odhaduje se, že 2,8 milionů lidí na jihu, bude v příštích měsících čelit potravinové nejistotě.

**Afghánistán:** rozsáhlé části na jihu jsou vážně postiženy, zemřelo zde 60 % až 80 % hospodářských zvířat. Téměř 10 % (cca 2,5 milionů) obyvatelstva je ohroženo a mnoho z nich bude potřebovat pomoc nejméně v příštích 12 měsících.

**Čína:** v severní provincii Shanxi téměř 3 miliony lidí nemá dostatek vody. Asi třetina pšeničných plodů v provincii zasáhla sucho a více než 60 % půdy postrádá vodu.

**Indie:** nízký úhrn srážek v posledních dvou letech způsobil závažné stavy sucha v 11 indických státech. Přibližně 15 % obyvatel (130 milionů lidí) ve více než 70 tisících vesnicích a 230 městských centrech je ohroženo. Vedle hospodářských ztrát způsobených nízkou zemědělskou výrobou, ztrátou živočišného bohatství, nedostatečnou výživou a primární zdravotní péčí, dopad sucha pravděpodobně zpomalí vývojový proces. Nejvíce postiženými státy jsou Gujarat, Rádžasthán a Andhra Pradesh. Někteří úředníci označili toto sucho jako nejhorší za 100 let.

**Írán:** íránská vláda informovala o tom, že je připravena přijmout mezinárodní pomoc, která pomůže vyrovnat se se ztrátami odhadovanými na 1,7 miliardy USD v důsledku sucha. Írán potřebuje zhruba 200 milionů USD na to, aby poskytl vodní tankery a jednotky na čištění vody pro oblasti zasažené suchem.

**Maroko:** přibližně 70 % orné půdy země bylo zasaženo suchem. Vláda zahájila pohotovostní plán ve výši 633 milionů USD na boj proti nejhoršímu suchu po desetiletí.

**Pákistán:** sucho zničilo zemědělské plodiny a hospodářská zvířata v poušti, kde žije 1 milion lidí, což vyvolalo obavy z mohutné humanitární krize. Vládní úředníci odhadují, že téměř 3 miliony lidí čelí možnému hladovění.

## 7. Diskuse

Aby bylo možné předcházet dopadům sucha je důležité jeho pochopení a nalezení nejvhodnějšího opatření. Dopady hydrologického sucha se liší především v závislosti na regionu. Zatímco v České republice se jedná o dopady mírnějšího charakteru, v aridních oblastech se jedná o velmi vážné dopady, jako jsou úmrtí.

Dopady sucha v posledních letech naznačují, že ztráty související se suchem se zvyšují. Vliv sucha se zvyšuje podle toho, jak se zvyšují požadavky společnosti na vodu. Ačkoliv dochází k výskytu sucha všude ve světě, nejzávažnější důsledky pro člověka se vyskytují v oblastech, kde je dostupnost vody i za normálních podmínek nízká. Sledování sucha je proto stále důležité (Van Loon, 2015). Nicméně podle Döll et al. (2009) je nejasné, do jaké míry zvyšuje spotřeba vody hydrologické sucho po celém světě. V posledních desetiletích se spotřeba vody více než zdvojnásobila především v důsledku velkého nárůstu poptávky po vodě pro zavlažování. Dá se tedy očekávat, že v mnoha částech světa bude mít významný antropogenní dopad na hydrologické sucho.

Podle Van Loon (2015) je hydrologické sucho složitý jev kvůli jeho dopadům na ekosystémy a společnost. Je důležité pomáhat objasnit tento jev. Je potřeba poskytnout široký přehled o problematice hydrologického sucha, aby bylo možné v budoucnu zabránit nebo zmírnit nepříznivé dopady sucha. To by mohlo být užitečné pro vědce z jiných oborů, kteří se zajímají o sucho, pro vodohospodáře, kteří musí zahrnout sucho do plánů řízení povodí, pro učitele a studenty na vysokých i středních školách.

Stejně tak Mishra et Singh (2010) uvádí, že sucho je složité přírodní nebezpečí a pro zlepšení chápání vztahů mezi parametry charakterizující sucho je nezbytné vypracování opatření ke snížení dopadů sucha. Opatření, která vedou ke zmírnění dopadů sucha a k zajištění udržitelného využívání vodních zdrojů jsou taková, která omezují poptávku po vodních zdrojích, upravují regulaci požadavků na vodní zdroje v problematických obdobích a v neposlední řadě opatření, která zvyšují množství a kvalitu vodních zdrojů. (Vlnas et. al, 2015).

Mishra et Singh (2011) ve své práci uvedl, že právě jedním z nedostatků při zmírňování dopadů sucha je neschopnost předpovědět podmínky sucha přesně na měsíce nebo roky dopředu. Hlavní výzkumnou úlohou je tedy vyvinout vhodné

techniky pro předpovědi začátku a konce sucha. Podle Wilhite (2000) došlo k výraznému zlepšení předpovědí, ale i přes toto zlepšení náklady způsobené katastrofami po celém světě jsou stále vysoké a rostou, což naznačuje i rostoucí zranitelnost společnosti vůči přírodním rizikům.

## 8. Závěr

Jak lze z práce vyčíst, dopady sucha způsobují vážné problémy a je velmi obtížné určit jejich začátek a konec, protože jsou málo nápadné. Dopady sucha se projevují ve všech sférách, ať už se jedná o ekonomiku, zemědělství, hospodářství, životní prostředí a dopady na společnost. Zatímco u povodní jsou škody vidět okamžitě, dopady sucha se projevují i za několik let po jeho výskytu. Sucho se neprojevuje pouze v aridních oblastech, jak by mohl někdo předpokládat, ale vyskytuje se na všech kontinentech a všude má negativní dopady.

Nejvíce postiženými oblastmi jsou africké země, kde sucho způsobuje nejvyšší úmrtnost, šíření nemocí, hladomor a s tím související migraci. Dlouhotrvající sucho, které postihlo Austrálii, zasáhlo téměř celou jižní část tohoto kontinentu a v některých městech byli lidé povinni využívat jen minimální množství vody. Vysychání Aralského jezera je dalším příkladem sucha, i když toto vysychání způsobila především antropogenní činnost, kdy kvůli pěstování bavlny byly přítoky do jezera odstaveny. Aralské jezero je považováno za jednu z největších ekologických katastrof, která způsobila negativní dopady na životní prostředí a také ohrožuje zdraví lidí.

Sucho v České republice se nejčastěji projevuje v zemědělství a ve snižování průtoků ve vodních tocích. Sucho lze také pozorovat v podzemní vodě, kde se vyskytuje jak v mělkých, tak i ve hlubokých vrtech. Největší dopady v České republice způsobilo sucho v roce 2015, kdy kvůli vysušené půdě docházelo k nadměrnému počtu požárů, vysychání některých toků a k úbytku produkce plodin.

Ke vzniku sucha přispívá i lidská činnost a to především v nešetrném hospodaření s vodou, proto je důležité informovat občany o problematice sucha. ČHMÚ v tomto ohledu zastupuje důležitou funkci tím, že podává aktuální informace o suchu prostřednictvím hlásné a předpovědní povodňové služby. Dalším zdrojem informací o suchu je také internetový portál Intersucho, který provádí monitoring sucha již od roku 2012.



## 9. Přehled literatury a zdrojů:

- Allen R. G., Pereira S. L., Raes D., Smith M., 1998: *Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements*. FAO, Řím, 15.
- Barth P., 2006: *Das Aralsee-Syndrom* (online) [cit. 2017. 02. 10], dostupné z: [http://www.peterbarth.de/wasser\\_aral.html](http://www.peterbarth.de/wasser_aral.html).
- Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S., Palutikof J.P., 2008: *Climate Change and Water*. Technical Paper of the IPCC. Geneva. 210.
- Bičík I., Šobr M., 2016: *Mrtvé srdce Střední Asie?* Geografické rozhledy 25: 5 – 7.
- Blinka P., 2009: Klimatologické hodnocení sucha na území Čech a Moravy v letech 1875-2002. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha. 139. Disertační práce.
- Brázdil R., Trnka M., Řezníčková L., et al., 2015: *Historie počasí a podnebí v českých zemích XI: Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost*. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v. v. i., Brno. 402.
- ČHMÚ, ©2017: Český hydrometeorologický ústav: Hydrologické ročenky (online) [cit. 2018. 03. 06.], dostupné z <http://voda.chmi.cz/roc/index.html>.
- ČHMÚ, ©2018: Český hydrometeorologický ústav (online) [cit. 2018. 04. 12.], dostupné z <http://hydro.chmi.cz/hpps/>.
- Dai A., Lamb J. P., Trenberth E. K. et al., 2004: *The recent Sahel drought is real*. Journal Climatol 24: 1323 – 1331.
- Daňhelka J., Bercha Š., Boháč M., Crhová L., et al., 2015: Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015. Český hydrometeorologický ústav. (online) [cit. 2018. 03. 15], dostupné z [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/zpravy/Sucho\\_2015\\_C\\_HMU\\_prosinec.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/zpravy/Sucho_2015_C_HMU_prosinec.pdf).
- Diffenbaugh N. S., Swain D. L., Touma D., 2015: *Anthropogenic warming has increased drought risk in California*. PNAS 112: 3931 – 3936.
- Dingman S. L., 2008: *Physical Hydrology*. Prentice Hall. 646.

- Döll P., Fiedler K., Zhang J., 2009: *Global-scale analysis of river flow alterations due to water withdrawals and reservoirs*. Hydrology and Earth System Sciences 13: 2413 – 2432.
- EDO, ©2016: European drought observatory: Drought Indicators (online) [cit. 2017. 11. 22], dostupné z <http://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1010>.
- EM-DAT, 2013: The international disaster database (online) [cit. 2017. 03. 23], dostupné z <http://www.emdat.be/disaster-list>.
- Feyen L., Dankers R., 2009: *Impact of global warming on streamflow drought in Europe*. Journal of Geophysical Research 114: 17.
- Glantz M. H., 1999: *Creeping environmental problems and sustainable development in the Aral Sea Basin*. Cambridge University Press, Cambridge. 94.
- Grasley Z. C., Lange D. A., D'Ambrosia M. D., Villalobos-Chapa S., 2016: *Relative Humidity in Concrete*. Concrete International 28: 51 - 57.
- Griffin D., Anchukaitis K. J., 2014: *How unusual is the 2012-2014 California drought?* Geophysical Research Letters 41: 9017 – 9023.
- Gupta Ar., Gupta Ak., 2016: *Environmental Challenges in Aral sea basin: impact on Human health*. International Research Journal of Social Science 6. 418 – 440.
- Guttman, N. B., 1991: *A sensitivity analysis of the Palmer Hydrologic Drought Index*. Journal of the American Water Resources Association 27: 797 – 807.
- Hansen J.W., Dilley M., Goddard L., Ebrahimian E., Ericksen P., 2004: *Climate Variability and the Millennium Development Goal Hunger Target*. (online) [cit. 2017. 03. 26], dostupné z <https://pdfs.semanticscholar.org/f91b/705306120ec14468ff1881b49278b08cff97.pdf>.
- Hayes M. J., Svoboda M. D., Wilhite D. A., Vanyarkho O.V., :1999. *Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index*. American Meteorological Society 80: 429-438.
- Heim J. R., 2002: *A review of twentieth - century drought indices used in the United states*. American Meteorological Society 83: 1149 – 1165.

- Hoerling M., Eischeid J., Perlwitz J., Quan X., Zhang T., Pegion P., 2012: *On the increased frequency of Mediterranean drought*. *Journal of Climate* 25: 2146 – 2161.
- Intersucho, © 2018 Ústav výzkumu globální změny AV ČR (online) [cit. 2016. 12. 12.] dostupné z <http://www.intersucho.cz/cz/>.
- Karamouz M., Ahmadi A. et Akhbari M., 2011: *Groundwater hydrology: engineering, planning, and management*. CRC Press, Boca Raton, 635.
- Kněžek M., 2013: *Jednota hydrologie*. Krátké úvahy o vodě 1: 32–39.
- Kogan F. N., 1997: *Global drought watch from space*. *American Meteorological Society* 78: 621–636.
- Kundzewicz ZW, Kaczmare Z., 2000: *Coping with hydrological extremes*. *Water International* 25: 66 – 75.
- Le Comte D., 1995: *Weather highlights around the world*. *Weatherwise* 48: 20 – 22.
- Lloyd - Hughes B., 2013: *The impracticality of a universal drought definition*. *Theoretical and Applied Climatology* 117: 607 – 611.
- Ma M., Ren L., Singh V. P., Yuan F., et al., 2015: *Hydrologic model-based Palmer indices for drought characterization in the Yellow River basin, China*. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 30: 1401 – 1420.
- Malý A., 2014: *Hydrologické projevy sucha 2012 na jižní Moravě*. In: Rožnovský J., Litschmann T., Středa T., Středová H. (eds.): *Extrémy oběhu vody v krajině*. Mikulov 8. – 9. 4. 2014.
- Mann M. E., Gleick P. H., 2015: *Climate change and California drought in the 21st century*. *PNAS* 112: 3858 – 3859.
- Mishra A. K., Singh V. P., 2010: *A review of drought concepts*. *Journal of Hydrology* 391: 202 – 216.
- Mishra A. K., Singh V. P., 2011: *Drought modeling - A review*. *Journal of hydrology* 403: 157 - 175.

- Murphy B.F., Timbal B., 2007: *A review of recent climate variability and climate change in Southeastern Australia*. International journal of climatology 28: 859 - 879.
- MZE ©2017: Ministerstvo zemědělství: *Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky* (online) [cit. 2018. 02. 19.], dostupné z [http://eagri.cz/public/web/file/545860/Koncepce\\_ochrany\\_pred\\_nasledky\\_sucha\\_pro\\_uzemi\\_CR.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/545860/Koncepce_ochrany_pred_nasledky_sucha_pro_uzemi_CR.pdf).
- MŽP ©2018: Ministerstvo životního prostředí: *Úmluva OSN o boji proti desertifikaci v zemích postižených velkým suchem nebo desertifikací, zvláště v Africe* (online) [cit. 2018. 03. 15.], dostupné z [http://www.env.cz/cz/umluva\\_osn\\_o\\_boji\\_proti\\_desertifikaci\\_afrika](http://www.env.cz/cz/umluva_osn_o_boji_proti_desertifikaci_afrika).
- NASA ©2014: National Aeronautics and Space Administration (online) [cit. 2018. 03. 15.], dostupné z <https://www.nasa.gov/centers/jpl/home/index.html>.
- Nicholls N., 2004: *The changing nature of Australian droughts*. Climatic Change 63: 323 - 336.
- Niemeyer S., 2008: *New drought indices*. Options Méditerranéennes 80: 267 – 274.
- NCDC, © 2015: National climatic data center. (online) [cit. 2017. 11. 06.], dostupné z <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/drought/201504>.
- Novický O., Kašpárek L., Hanslík E., Vlnas R., et al., 2010: *Časová a plošná variabilita hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území České republiky*. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, Praha. 168.
- Oesting M., Stein A., 2017: *Spatial modeling of drought events using max-stable processes*. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 32: 63 – 79.
- Panu U. S., Sharma T. C., 2002: *Challenges in drought research: some perspectives and future directions*. Hydrological Sciences Journal 47: 19 – 30.
- Pidwirny M., 2006: *Actual and Potential Evapotranspiration*. Fundamentals of Physical Geography (online) [cit. 2018. 3. 5.], dostupné z <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/8j.html>.

- Punčochář P., Rolečková E., Fousová E., 2015: *Sucho – vážná hrozba pro Českou republiku*. Odbor státní správy ve vodním hospodářství a správy povodí. Ministerstvo zemědělství. 23.
- Rožnovský J., 2016: *Výskyty sucha na území ČR a změny klimatu*. Zpravodaj lesa 19: 38 – 42.
- Rožnovský J., 2014: Sucho na území České republiky. *Živa* 1/2014 (online) [cit. 2017. 12. 16. ], dostupné z <http://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/sucho-na-uzemi-ceske-republiky.pdf>.
- Rožnovský J. et al., 2012: Sucho na území ČR a jeho dopady. Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno (online) [cit. 2018. 1. 5. ], dostupné z [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/katastrofy/26zasedani/Roznovsky\\_sucho\\_230412.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/katastrofy/26zasedani/Roznovsky_sucho_230412.pdf).
- Rožnovský J., Kohut M. 2004: *Drought 2003 and Potential Moisture Balance*. Contributions to Geophysics and Geodesy 34: 195 - 208.
- Rožnovský J., Litschmann T., 2002: *Metoda hodnocení sucha*. Česko-slovenská bioklimatologická konference, Lednice na Moravě 2. – 4. září 2002. 32 – 44.
- Sheffield J., Wood E. F., 2011: *Drought: Past Problems and Future Scenarios*. Earthscan, London and Washington DC, 233.
- Shiferaw B., Tesfaye K., Kassie M., Abate T., et al., 2014: *Managing vulnerability to drought and enhancing livelihood resilience in sub-Saharan Africa: Technological, institutional and policy options*. Weather and climate extremes 3: 67 - 79.
- Scheffran J., Marmer E., Sow P., 2012: *Migration as a contribution to resilience and innovation in climate adaptation: social networks and co-development in Northwest Africa*. Applied Geography 33: 119–127.
- Sobíšek B., 1993: *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*. Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha, 310.
- Soukalová E., Muzikář R. 2015: *Hydrologické sucho v podzemních vodách*. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace 57: 34 – 41.

- Tallaksen L. M., Van Lanen H. A. J., 2004: *Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. Elsevier. Amsterdam, 581.
- Trnka P., 2015: Možné důsledky déletrvajícího sucha v naší krajině a ve světě (online) [cit. 2018. 2. 20], dostupné z [http://user.mendelu.cz/xvlcek1/rrc/sucho/TRNKKA\\_3.pdf](http://user.mendelu.cz/xvlcek1/rrc/sucho/TRNKKA_3.pdf).
- UNICEF, 2000: Drought disaster, Country-by-country overview (online) [cit. 2018. 3. 28], dostupné z <https://www.unicef.org/drought/drought-countries.htm>.
- Van Lanen H. A. J., Peters E., 2000: *Definition, Effects and Assessment of Groundwater Droughts*. Advances in Natural and Technological Hazards Research 14: 49 - 61.
- Van Loon A. F., 2015: *Hydrological drought explained, Wiley interdisciplinary reviews*. Water 2: 359 - 392.
- Van Loon A. F., Van Lanen H. A. J., 2012: *A process-based typology of hydrological drought*. Hydrology and Earth System Science 16: 1915 - 1946.
- Vizina A., Hanel M., Vlnas R., 2016: Regionalizace území ČR dle výskytu hydrologického sucha. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (online) [cit. 2018. 2. 15.], dostupné z [http://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/a3\\_regionalizace\\_uzemi\\_cr.pdf](http://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/a3_regionalizace_uzemi_cr.pdf).
- Vlnas R., Beran A., Hanel M., et al., 2015: *Návrh koncepce řešení krizové situace výskytu sucha a nedostatku vody v České republice*. Praha, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. 49.
- VÚV TGM, v. v. i., © 2014: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka (online) [cit. 2017. 12. 10.] dostupné z <https://www.vuv.cz/index.php/cz>.
- Voss R., May W., Roeckner E., 2002: *Enhanced resolution modeling study on anthropogenic climate change: changes in extremes of the hydrological cycle*. International Journal of Climatology 22: 755 – 777.
- Wanders N., Wada Y., 2015: *Human and climate impacts on the 21st century hydrological drought*. Journal of Hydrology 526: 208 – 220.
- Watkins A. B., 2005: *The Australian drought in of 2005*. WMO Bulletin 54:156-162.

- Webster K. E., Kratz T. M., Bowser C. J., et al., 1996: *The influence of landscape position on lake chemical responses to drought in Northern Wisconsin*. *Limnology and Oceanography* 41: 977 – 984.
- Weinthal E., 2002: *State Making and Environmental Cooperation: linking Domestic and International Politics of Central Asia*. The MIT Press, Cambridge, 286.
- Wilhite D. A., Glantz M. H., 1985: *Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions*. *Water International* 10: 111 – 120.
- Wilhite D. A., 1993: *Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies*. Kluwer Academic Publishers. Boston, 293.
- Wilhite D. A., 2000: *Drought as a natural hazard: concepts and definitions*. In: Wilhite D. A. (ed.): *Drought: A Global Assessment*. Routledge, USA: 13 – 18.
- Wilhite D. A., 2005: *Drought and water crises: science, technology, and management issues*. Taylor & Francis, Boca Raton, 432.
- WQMG 2000: *Water Quality Model Code and Guidebook* (online) [cit. 2018. 2. 14], dostupné z <http://www.oregon.gov/deq/FilterDocs/WQModCodeGuide.pdf>
- WWI, 2018: *World Winds Inc.: Palmer Drought Severity Index and Palmer Z-Index* (online) [cit. 2018. 03. 21], dostupné z <http://www.worldwindsinc.com/palmer.htm>.
- Zahradníček P., Štěpánek P., Možný M., Trnka M., Hlavinka P., 2014: *Extrémně suchá epizoda srpen 2011 až květen 2012*. In: Rožnovský J., Litschmann T., Středa T., Středová H. (eds.): *Extrémy oběhu vody v krajině*. Mikulov 8. – 9. 4. 2014.
- Zeng N., 2003: *Drought in the Sahel*. *Science* 302: 999 – 1000.
- Zhang Q., Yongqin D. Ch., Zhang W., Tao J., 2011: *Flood, drought and typhoon disasters during the last half-century in the Guangdong province, China*. *Natural hazards* 57: 267 - 278.
- Zou X., Zhai P., Zhang Q., 2005: *Variations in droughts over China: 1951 – 2003*. *Geophysical Research Letters* 32: 4.
- Žalud Z., 2017: *Sucho. A / Věda a výzkum* 2: 14 – 23.

### **Seznam tabulek a obrázků:**

Tabulka 1: Přehled indexů SPI, PDSI, SWSI (Blinka, 2009).

Obrázek 1: Prolínání jednotlivých typů sucha jejich dopady (Wilhite, 2000)

Obrázek 2: Zranitelnost hydrogeologických rajonů vůči suchu dle průměrného základního odtoku v letech 1981- 2010 (VÚV, 2014)

Obrázek 3: Hodnocení sucha pomocí Palmerova Z – indexu (NCDC, 2015)

Obrázek 4: Hodnocení sucha pomocí Palmerova indexu hydrologického sucha (NCDC, 2015)

Obrázek 5: Oblasti nejvíce ohrožené hydrologickým suchem (Punčochář et al, 2015)

Obrázek 6: Stavby a průtoky na tocích 13. dubna 2018 (ČHMÚ, 2018)

Obrázek 7: Stav hladiny podzemní vody v mělkých vrtech v 1. dubnovém týdnu 2018 (ČHMÚ, 2018).

Obrázek 8: Úhrn srážek v jednotlivých měsících v % v roce 2000 (Brázdil et al., 2015)

Obrázek 9: Úhrn srážek v jednotlivých měsících v % v roce 2003 (Brázdil et al., 2015).

Obrázek 10: Úhrn srážek v jednotlivých měsících v % v roce 2007 (Brázdil et al., 2015).

Obrázek 11: Průměrné teploty v roce 2007 (ČHMÚ, 2017)

Obrázek 12: Průměrné měsíční průtoky v roce 2012 v procentech dlouhodobých průměrných měsíčních průtoků (ČHMÚ, 2017).

Obrázek 13: Intenzita sucha v půdním profilu k 9. srpnu 2015 (Intersucho, 2018)

Obrázek 14: Počet dní s průtokem  $Q_{355d}$  a menším v roce 2015. (ČHMÚ, 2017)

Obrázek 15: Jezero Folsom v červnu 2011 (NASA, 2014)

Obrázek 16: Jezero Folsom v v lednu 2014 (NASA, 2014)

Obrázek 17: Sahelská oblast (Trnka, 2015).

Obrázek 18: Postupné vysychání Aralského jezera v roce 1998 (vlevo) a v roce 2014 (vpravo) (NASA, 2014)