

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



**Fakulta životního
prostředí**

**KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ
A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ**

**HODNOCENÍ SUCHA POMOCÍ INDEXŮ
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Vedoucí práce: Ing. Tereza Vrbová

Bakalant: Eliška Paterová

Praha 2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Eliška Paterová

Územní technická a správní služba

Název práce

Hodnocení sucha pomocí indexů

Název anglicky

Evaluation of drought through indices

Cíle práce

Cílem práce je sepsání literární rešerše o hodnocení sucha se zaměřením na sucho hydrologické. Práce se zabývá metodami hodnocení sucha pomocí vybraných indexů a zjištěním, které indexy sucha se využívají v České republice a které v zahraničí.

Metodika

1. Vysvětlíte pojem sucho a s tím související hydrologické sucho.
2. Popište metody hodnocení sucha
3. Zaměřte se na hodnocení sucha pomocí indexů
4. Zjistěte, které indexy sucha se využívají v České republice a které v zahraničí

Doporučený rozsah práce

Standardní bakalářská práce cca 40stran

Klíčová slova

indikátory sucha, hydrologické extrémy, deficit srážek, vodohospodářská bilance, klimatické změny

Doporučené zdroje informací

- Brázdil, R., Trnka, M. 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 s. ISBN 978-80-87902-11-0.
- DINGMAN, S L. *Physical hydrology*. Long Grove, Ill.: Waveland, 2008. ISBN 978-1-57766-561-8.
- Van Loon, A. F., 2015: Hydrological drought explained. WILEY INTERDISCIPLINARY REVIEWS-WATER 2 (4), pp. 359-392. DOI: 10.1002/wat2.1085.

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Tereza Vrbová

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 9. 3. 2017

doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 17. 3. 2017

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 05. 04. 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci *Hodnocení sucha pomocí indexů* vypracovala samostatně, pod vedením paní Ing. Terezy Vrbové. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala. Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze:

Podpis autora:

Poděkování

Děkuji všem, kteří se jakýmkoli způsobem podíleli na vzniku této práce. Především bych ráda poděkovala vedoucí své bakalářské práce Ing. Tereze Vrbové za její odborné vedení, konzultace, vstřícnost, trpělivost a v neposlední řadě nápady a připomínky při vypracování bakalářské práce.

Dále bych ráda poděkovala zaměstnancům Ministerstva zemědělství za poskytnuté informace k problematice sucha během absolvování stáže.

V neposlední řadě také děkuji své rodině a přátelům za podporu při psaní této práce.

V Praze:

Podpis autora:

Abstrakt

Cílem této práce je nastínit současné problematiky sucha, definovat a dále klasifikovat sucho meteorologické, agronomické, hydrologické a v neposlední řadě sucho socioekonomické. Práce popisuje nejen významné termíny, které se využívají během hodnocení hydrologického sucha, ale také metody hodnocení sucha dle indexů, které jsou pro hodnocení sucha stěžejní. Mezi vybrané indexy patří Standardizovaný srážkový index (*SPI*), Palmerův index závažnosti sucha (*PDSI*), Metoda efektivních srážek (*EP*), Velikost sucha (*DMPI*) a také Langův dešťový faktor (*LDF*). Dále je zhodnocena změna klimatických podmínek, škody a jejich následky, které byly suchem v posledních desetiletích zapříčiněny. Práce také pojednává o opatření sucha v České republice a následně o indikátorech, které jsou využívány jak v České republice, tak v zahraničí.

Klíčová slova: indikátory sucha, hydrologické extrémny, deficit srážek, vodohospodářská bilance, klimatické změny.

Abstract

The aim of this thesis is to outline the current problems of drought, further define classify drought meteorological, agronomical, hydrological and socioeconomic drought. Thesis describes not only significant terms which are used during the evaluation of hydrological drought but also according to the methods of evaluation of drought indices which are crucial for the evaluation of drought. Among the selected indices includes SPI, PDSI, EP, DMPI, LFD. It is also evaluated the change of climatic conditions, damages and their consequences which were in the last decades caused by drought. Thesis discusses measures of drought in Czech republic and also indicators which are used in Czech republic as well as abroad.

Key words: drought indicators, hydrological extremes, rainfall deficit, water management balance, climate change.

Obsah

1. Úvod	10
2. Cíle práce	12
3. Metodika	13
4. Sucho	14
4.1 Definice sucha	14
4.2 Klasifikace sucha.....	15
4.2.1 Meteorologické sucho	15
4.2.2 Agronomické sucho	15
4.2.3 Hydrologické sucho	16
4.2.4 Socioekonomické sucho.....	17
4.3 Termíny používané při hodnocení hydrologického sucha	17
4.3.1 Hydrologická bilance	18
4.3.2 Evapotranspirace	19
4.3.3 Odtok.....	19
4.3.4 Srážky atmosférické	20
4.3.5 Výpar	20
4.3.6 Infiltrace	21
4.3.7 Půdní vláha.....	21
4.3.8 Minimální průtok	22
4.3.9 Teplota.....	22
4.4 Metody hodnocení sucha	22
4.4.1 Indexy sucha.....	24
4.4.2 Standardizovaný srážkový index.....	25
4.4.3 Palmerův index závažnosti sucha.....	26
4.4.4 Metoda efektivních srážek	28
4.4.5 Velikost sucha	31
4.4.6 Langův dešťový faktor	31
4.5 Schopnost předvídat sucho	31
4.6 Příčiny sucha.....	32
4.6.1 Změna klimatu	33
4.7 Následky sucha	35
4.7.1 Stoupající trend škod způsobený vlivem sucha	36
4.7.2 Ekonomické dopady.....	36
4.7.3 Environmentální dopady	37
4.7.4 Sociální dopady	38
4.7.5 Podzemní vody.....	38

4.7.6	Následky sucha v roce 2003.....	40
4.8	Opatření proti suchu v České republice.....	41
4.9	Indikátory sucha v měřítku České republiky.....	47
4.10	Indikátory sucha v zahraničním měřítku.....	49
4.10.1	Indikátory sucha v Číně.....	49
4.10.2	Indikátory sucha v USA.....	50
4.10.3	Indikátory sucha v Evropě.....	52
5.	Diskuse	53
6.	Závěr	55
7.	Seznam literatury	57
7.1	Odborné publikace.....	57
8.	Přílohy	64
8.1	Seznam tabulek, obrázků.....	64
9.	Datový nosič – CD/DVD	65

1. Úvod

Jelikož neexistuje přesná definice sucha, lze obecně říci, že sucho je opakující se stav, který začíná při dlouhodobém nedostatku dešťových srážek oproti průměru ve vybrané oblasti. Nedostatek dešťových srážek vede k nedostatku vody, který omezuje nejen společnost, ale i naši přírodu. (Wilhite et Glantz, 1985)

Sucho je přírodní nebezpečí ovlivňující v mnoha ohledech ekosystémy i společnost. Mnohé z těchto dopadů jsou spojeny právě se suchem hydrologickým. Je proto velmi důležité pochopit vývoj a obnovu hydrologického sucha. (Van Loon, 2015)

Sucho se objevuje kromě deštných pralesů s různou pravidelností všude na světě. Přestože se jedná o nepříjemný projev přírody, který trápí nejen člověka samotného, ale i živočichy a rostliny, jedná se o zcela přirozený projev klimatu.

O suchu se v současné době dozvídáme čím dál častěji z různých sdělovacích prostředků, neboť je předmětem každodenního zájmu. Sucha se vyskytují prakticky po celém světě, z tohoto důvodu není snadné se účinně bránit jejich vlivům, protože se objevují velice nenápadně a pomalu.

Pravděpodobně nejvíce ohroženou oblastí v naší zemi, potažmo v celé střední Evropě, je vodní hospodářství. V České republice prozatím není připravena krizová legislativa na řešení déletrvajícího sucha, které by se v budoucnu vlivem klimatických změn mohlo vyskytovat na našem území mnohem častěji spolu s vlnami veder. V roce 2007 byl vypracován plán hlavních povodí České republiky, ve kterém jsou ustanovena adaptační opatření, která by měla zvládat potenciální nedostatek vody a sucho i v dalších letech, kdy je předpokládán čtenější výskyt suchých období na území České republiky. Veškerá povodí na našem území se v minulosti s problémem suchých období již setkala, tudíž je patrné, že se budou setkávat i nadále. Nedostatkem vody se od roku 2005 zabývá Rada Evropské unie. Rada usiluje o to, aby všechny členské státy Evropské unie vypracovaly plány ke snížení zranitelnosti vzhledem k prosazování udržitelného užívání vody a k dopadům globálních změn klimatu. (Punčochář et al., 2015)

Hydrologické extrémů jsou dnes stále častější a způsobují nám i budoucím generacím četné škody, poněvadž se pomalu ale jistě začínají projevovat i na našem

území. Příkladem může být extrémně teplé a suché léto, které v České republice nastalo předminulý rok. Vlny veder zasáhly mnoho oblastí v zahraničí, například v roce 1976 Francii, v roce 1987 Řecko či v roce 1995 Chicago a způsobily mnoho úmrtí. Evropu a zejména Francii zasáhla v roce 2003 vlna veder, která si podle odhadů vyžádala prakticky 20 000 obětí. Vlny veder jsou proto přírodní katastrofou s velice vážným smrtelným rizikem. (Punčochář et al., 2015)

2. Cíle práce

Cílem práce je sepsání práce rešeršního charakteru o hodnocení sucha se zaměřením na sucho hydrologické. Práce se zabývá metodami hodnocení sucha pomocí vybraných indexů a zjištěním, které indexy sucha se využívají v České republice a které v zahraničí.

3. Metodika

Práce je psána formou literární rešerše, pro jejíž sepsání byly získány informace ze zahraničních a českých zdrojů. Byly tedy použity zprávy z vědeckých konferencí, které publikují vědecky ověřené závěry z výzkumů. Tato tvrzení jsou pro práci významná, jelikož jsou vědecky doložená. Rovněž byly použity odborné články z elektronických databází Web of Knowledge a Scopus, katalogy knihoven a další informační zdroje dostupné na internetu.

Téma práce je velice aktuální a z hlediska času i variabilní, proto bylo čerpáno z článků, které poskytují aktuální informace k dané problematice. Relevantní výsledky práce s literárními zdroji jsou racionálně uspořádány a poznatky, které jsou uvedeny v citovaných pracích, jsou vyhodnoceny z hlediska tématu vybrané práce.

4. Sucho

4.1 Definice sucha

Sucho je neurčitý, ovšem v meteorologii, hydrologii a klimatologii velice používaný pojem vyjadřující nedostatek vody v půdě, atmosféře, rostlinách, povrchových a podzemních vodách. Jednotná kritéria pro kvantitativní vymezení sucha neexistují, a to zejména s ohledem na (rozmanitá hlediska jednotlivých oborů) meteorologická, zemědělská, hydrologická a bioklimatologická s celou řadou dalších faktorů. Mezi nejvýznamnější náleží škody způsobené suchem v různých oblastech národního hospodářství. Definice sucha proto není jednotná. Dle příčin a dopadů ho lze charakterizovat z mnoha pohledů. Podle Českého hydrometeorologického ústavu se liší sucho klimatické, půdní a hydrologické. Zprvu nastupuje sucho klimatické, jedná se o období se srážkovým deficitem. Dále následuje půdní sucho, kdy v půdě není voda, někdy ho také nazýváme jako sucho agronomické. V třetí fázi se nedostatek vody projevuje na vodních tocích zmenšenými průtoky, což představuje sucho hydrologické. Posléze se s určitým zpožděním objeví sucho u podzemních vod. (Černý et al., 2015)

Sucho je označení pro nedostatek vody v krajině. Sucho je vyvoláno deficitem atmosférických srážek především v důsledku častého výskytu suchých období, je ovlivňováno mnoha dalšími faktory, z velké části i faktory antropogenními. Pan Thornthwaite rozlišoval tři hlavní druhy sucha: sucho stálé, které způsobuje ariditu klimatu (tedy teplé až velmi teplé a suché až velmi suché klima); sezónní sucho, které nastává periodicky v období sucha; nahodilé sucho, tvořící epizody sucha, které se vyskytují nepravidelně. Sucho je nejvíce meteorologicky podmíněné přírodní ohrožení a to zejména v rozvojových zemích. (Sobíšek, 1993)

Sucho má jednoznačně prvotní příčiny v atmosférických procesech, neboť během sucha převládá nedostatek srážek a vysoký výpar. Zatímco u hydrologického sucha jsou dalšími hraničními faktory zásoba vody ve sněhové pokrývce, či možnost doplňování vody ze zásob podzemních vod, případně zlepšování průtoků pomocí rybníků, předhradních nádrží a podobně. (Tremml, 2010)

Jednou z hlavních překážek při průzkumu sucha je, že většina hydrologů má na sucho odlišný názor. Při vymezení sucha je nutné rozlišovat funkční a konceptuální definice. Funkční definice kladou důraz na popis průběhu sucha

a na identifikaci počátku a konce sucha, zatímco konceptuální definice jsou založeny na relativním vyjádření sucha. Záznamy z funkčních definic se mohou dále využívat například k analýze zabývající se frekvencí sucha. (Mishra et Singh, 2010)

4.2 Klasifikace sucha

Sucho dělíme na několik typů: meteorologické, agronomické, hydrologické a socioekonomické.

4.2.1 Meteorologické sucho

Při hodnocení nahlížíme především k četnosti výskytu a množství srážek, také k teplotě vzduchu, která souvisí s evapotranspirací (výpar z půdy společně s výparem, který produkují rostliny), zřídka i k relativní vlhkosti vzduchu, k rychlosti větru, ke slunečnímu záření a mnoha dalším veličinám, které zesilují tento výpar. Meteorologické sucho bývá definováno na základě odchylek úhrnu srážek od dlouhodobých průměrů. Velká řada definic stanovuje suché období jako řadu dnů s úhrnem srážek menším, než určitá limitní hodnota. Definice jsou vždy aplikované k určité oblasti, která je zcela závislá na místním klimatu. (Němec et Kopp, 2009)

Dle Wilhite a Glantze (1985) je meteorologické sucho v dané oblasti zpravidla formulováno jako srážková odchylka od normálu během delší časové periody.

4.2.2 Agronomické sucho

Pokud dostupné množství srážek není způsobilé pokrýt potřeby zemědělských kultur v určitém čase, nastává tedy sucho zemědělské. Na biologických charakteristikách jednotlivých druhů, na fenologické fázi (vegetační fáze vývoje rostlin od klíčení po zralost), na fyzikálních a na biologických vlastnostech půdy zcela závisí vodní požadavek rostlin. Vliv na intenzitu agronomického sucha má také úroveň zemědělské techniky, která se v dané oblasti používá. Agronomické sucho nastává zanedlouho po nástupu meteorologického sucha, ovšem ještě před suchem hydrologickým. Prvním hospodářským sektorem, na které většinou dolehnou následky sucha, je převážně zemědělství. (Němec et Kopp, 2009)

Agronomické sucho nastane, když půda strádá nedostatkem vláhy. Tím vzniká suché půdní prostředí, ve kterém rostliny nejsou dostatečně vyživeny a nemohou dále růst. Důsledkem je špatná a nízká sklizeň, v horším případě uhynutí rostlin. (Jůva, 1959)

4.2.3 Hydrologické sucho

Hydrologické sucho je dané pro toky povrchové, určitým počtem za sebou plynoucích dnů, týdnů, měsíců či roků, za přítomnosti minimálních průtoků vzhledem k dlouhodobým měsíčním nebo ročním normálům. Sucho hydrologické se zpravidla vyskytuje na konci déletrvajícího období sucha, během kterého nepadaly smíšené srážky ani kapky. (Sobíšek, 1993)

Sucho hydrologické je vázáno s dopady bezsrážkových období pro vody povrchové a podzemní. Přestože má každé sucho původ v nedostatku srážek, hydrologie se zabývá spíše jeho dopady na tvorbu odtoku. Hydrologické sucho se vyvíjí postupně. Odtok ve vodních tocích je doplňován odtokem ze zásob podzemní vody. Zásoby podzemní vody ubývají pomalu, i když během tohoto cyklu nedochází k infiltraci. Hydrologické sucho se může projevit či pokračovat i v zimním období. V tomto případě se jedná o důsledek akumulace srážek ve sněhové pokrývce a nízkých teplot. (Vlnas et al., 2010)

Jedná se o období, kdy je obsah vody v nádržích, jezerech, tocích i v půdě výrazně pod průměrem. Toto období je často zapříčiněno poklesem doplňování podzemní a povrchové vody vlivem nedostatku srážek. Obvykle může být i důsledkem dlouhotrvajícího meteorologického sucha, které se jeví ve formě vysoušení nádrží, jezer, vodních toků či poklesem hladiny podzemní vody. Můžeme ho definovat také jako význačný pokles dostupnosti vody ve všech formách v pozemské fázi hydrologického cyklu. (Novický, 2011)

Hydrologické sucho začíná, když klesají zásoby povrchové a podpovrchové vody. Krátkodobé deště tedy nestihnou doplnit ztracené zásoby vody, které během sucha vznikly. Čímž dochází k vysychání pramenů, studní a rezervoárů. Hydrologické sucho se zpravidla projevuje několik měsíců po agronomickém suchu. (Mishra et Singh, 2010)

4.2.4 Socioekonomické sucho

Socioekonomické sucho nastává ve chvíli, kdy je narušen chod některého hospodářského odvětví a dále také nedostatkem vody, který se začne projevovat na obyvatelstvu. Skupina socioekonomických definicí sucha se věnuje dopadu souhrnných následků meteorologického, agronomického a hydrologického sucha na společnost a jeho hospodářské činnosti. Mnoho zdrojů závislých na podnebí jsou pro chod státu a udržitelný rozvoj nezbytné. Mezi tyto zdroje řadíme vodu, vodní energii, zvířata, obilí, půdu a další. (Němec et Kopp, 2009) Na obrázku 1 lze vidět vzájemný vztah všech výše zmiňovaných typů sucha.

Obr. 1: Vzájemný vztah mezi čtyřmi základními typy sucha (NDMC, 2005).



4.3 Termíny používané při hodnocení hydrologického sucha

Během hodnocení hydrologického sucha je možné se setkat s termíny týkající se hydrologické bilance. Hydrologická bilance je vztahem mezi evapotranspirací, odtokem a atmosférickými srážkami. Dále je kapitola věnována těmto termínům: výpar vody z povrchu, vsak neboli infiltrace, vlhkost půdy, minimální průtok a teplota.

4.3.1 Hydrologická bilance

Evapotranspirace s odtokem a srážkami vytvářejí základní části vodní bilance. Evapotranspirace spolu s odtokem tvoří ztrátovou složku vodní bilance území. (Brázdil et al., 2015)

Dle zákona č. 254/ 2001 Sb., o vodách (vodní zákon) je řízení vodní bilance jednou ze základních činností v oblasti hodnocení a zjišťování stavu povrchových a podzemních vod. Dle vodního zákona se vodní bilance skládá z hydrologické bilance a vodohospodářské bilance. Zatímco hydrologická bilance porovnává změny vodních zásob v území za daný časový interval, úbytky a přírůstky vody, vodohospodářská bilance porovnává vypouštění odpadních vod s využitelnou kapacitou vodních zdrojů z hlediska množství a jakosti vody a také jejich ekologického stavu. Vodohospodářská bilance dále porovnává požadavky na odběry podzemní a povrchové vody. Způsob sestavení a obsah vodní bilance později upravila vyhláška Ministerstva zemědělství (MZe) č. 431/2001 Sb. Na základě pověření Ministerstva životního prostředí (MŽP) sestavuje hydrologickou bilanci s uvedenou vyhláškou Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). Správci povodí pak sestavují vodohospodářskou bilanci za oblasti povodí. (Vlnas et al., 2004)

Hydrologickou bilanci povodí lze vyjádřit pomocí rovnice:

$$P + G_{in} = Q + ET + G_{out}.$$

Veškeré veličiny, které se vyskytují v rovnici, jsou určeny pomocí dlouhodobých průměrných hodnot. Veličina P formuluje srážku, hodnota Q vyjadřuje odtok z povodí, veličina ET je evapotranspirace a veličiny G_{in} a G_{out} představují množství vody přitékající či odtékající z povodí jako podzemní voda.

Bilanční rovnici je možné vyjádřit také samostatně pouze pro podzemní vodu:

$$R_1 + R_{sw} + G_{in} = CR + Q_{GW} + G_{out}.$$

Veličina R_I je infiltrace vody do podzemní vody (perkolace), hodnota R_{SW} představuje doplnění z povrchové vody, veličina CR představuje přesun vody z podzemní vody do kapilární třásně a Q_{GW} formuluje příspěvek podzemní vody do říčního toku.

Sloučením těchto dvou rovnic a záměnou součtu veličin R_I , R_{SW} a (CR) veličinou R , která vyjadřuje celkové doplnění vody do toku podzemní vody lze dosáhnout následujícího bilančního vztahu:

$$P - Q - ET = R_1 + R_{SW} - CR - Q_{GW} = R - Q_{GW}.$$

(Dingman, 2008)

4.3.2 Evapotranspirace

Evapotranspirace neboli celkový výpar, je celkové označení pro evaporaci (vypařování) a transpiraci (hlavní mechanismus výdeje vody rostlinou). Evapotranspirace ovlivňuje ráz krajiny. Jedná se o výdejovou složku ve vodní bilanci půdy. Je nutné vycházet z výpočtů potenciální evapotranspirace – v nejteplejších oblastech přesahuje jen z malé části 700 mm, v nejchladnějších oblastech nedosahuje ani 400 mm. Tento pokles je prokazatelný nadmořskou výškou. Skutečná evapotranspirace v teplých oblastech dosahuje 400 až 450 mm, ve středních výškách je největší, neboť dosahuje až 500 mm a v nejvyšších polohách má mnohdy méně než 350 mm. (Rožnovský et al., 2012)

Potenciální evapotranspirace je celkové množství vody, které se při nasycení půdy vodou nebo při sněhové pokrývce může vypařit z půdy a vegetačního krytu. Potenciální evapotranspirace v přírodních podmínkách obvykle převyšuje evapotranspiraci aktuální. Tento pojem zavedl Thornthwaite (1948), jenž využíval potenciální evapotranspiraci k vyjádření humidity klimatu. (Sobíšek, 1993)

4.3.3 Odtok

Dle Sobíška (1993) je odtok pohyb vody vlivem zemské tíže po povrchu - povrchový odtok, ale i pod povrchem terénu – podpovrchový odtok. Odtok je definován také jako množství vody, které odtéká z nádrže či povodí za jednotku

času, případně za den, měsíc či rok. V hydrologii a meteorologii je odtok brán spíše jako významný člen hydrologické bilance. Jestliže odtok aplikujeme na plochu povodí, získáme odtokovou výšku. Podíl úhrnu srážek a odtokové výšky v daném povodí označujeme jako koeficient odtoku, či také jako průtok.

4.3.4 Srážky atmosférické

Atmosférické srážky jsou částice, které vznikly následkem kondenzace vodní páry v ovzduší. Vyskytují se v atmosféře, na povrchu země nebo na předmětech v atmosféře v pevné či kapalně fázi. Srážky atmosférické dělíme na dvě skupiny. První skupinou jsou atmosférické srážky padající, někdy uváděné též jako vertikální. Jsou to déšť, mrholení, mrznoucí déšť, mrznoucí mrholení, sníh, sněhová zrna, sněhové krupky, kroupy, zmrzlý déšť a ledové jehličky. Druhou skupinou jsou atmosférické srážky usazené, uváděné také jako horizontální. K těmto srážkám patří jíní, rosa, ledovka a námraza. Pokud jsou atmosférické srážky unášené větrem, užíváme pro ně termín srážky hnané větrem. Pokud atmosférické srážky padají z oblaků, přičemž nedosahují povrchu země, označujeme je jako virga neboli srážkové pruhy. (Sobišek, 1993)

Atmosférické srážky jsou klíčovým ukazatelem charakteru podnebí. Pokud zabezpečují vláhu, jsou jedním ze základních podmínek života. (Brušková, 2007)

4.3.5 Výpar

Výpar je často nazýván také jako evaporace. Evaporace je meteorologický prvek, udávající množství vody, která se vypaří do ovzduší z volné vodní hladiny, z rostlin či z povrchu půdy za určitou dobu. Společně s odtokem a atmosférickými srážkami se podílí na hydrologické bilanci krajiny. Výpar je také důležitou složkou tepelné bilance zemského povrchu a přilehlých vrstev ovzduší. V meteorologii rozlišujeme nejčastěji výpar skutečný a výpar potencionální, případně výpar fyziologický a fyzikální. Výpar vyjadřujeme výškou vodního sloupce v milimetrech, podobně jako atmosférické srážky. (Sobišek, 1993)

4.3.6 Infiltrace

Infiltrace neboli vsak, je pohyb vody ze zemského povrchu do horninového či půdního prostředí (Sobíšek, 1993).

Vsak byl popsán Hortonem (1933) jako proces, během kterého je voda pohlcena půdou nebo se vsákne. Horton vymezil infiltraci jako proces pohybu či pronikání vody skrz půdu.

Infiltrace je v mnoha případech popisována také jako proces, kterým voda překonává rozhraní půdního vzduchu v půdě. (Amerman, 1983)

4.3.7 Půdní vláha

Půdní vláha, kterou nazýváme také jako půdní voda, je neurčité označení pro vodu z atmosférických srážek. (Sobíšek, 1993)

Půdní vláhu lze dle prostředí výskytu a způsobu pohybu rozdělit do několika druhů: vodní pára, adsorpční voda, kapilární voda, vsakující voda a půdní led. Vodní pára se nachází ve vzduchu průlin a puklin v hornině a pohybuje se dle jejího aktuálního napětí. Vzniká výparem v prostředí, které je o vyšší teplotě a při ochlazení se může zpětně koncentrovat. Adsorpční voda neboli voda adhezní se tvoří z vodní páry, ale také z infiltrující a filtrující vody. Adsorpční voda se může při teplotě nižší než 0 °C změnit v led. Množství adhezní vody v hornině je s ohledem na nároky vegetace velice proměnlivé. V hloubce je její množství stálější, výrazně se snižuje pouze v obdobích dlouhotrvajícího nedostatku srážek. Kapilární voda označována také jako voda zavěšená, se trvale nachází v jemnozrnných sypkých horninách nad hladinou podzemní vody. Při vsakování srážek se může vyskytnout i ve svrchní vrstvě půdy. Ve svrchní vrstvě půdy ovšem mizí výparem a transpirací, tudíž zde není její množství stálé. Vsakující voda prostupuje ze zemského povrchu do hlubší vrstvy půdy trhlinami, prasklinami a volnými prostory. Z povrchové vrstvy prostupuje účinkem gravitace do hloubky, kde se část zadržuje na povrchu horninových částic jako voda adsorpční a kapilární. Na hloubce pronikání závisí množství vody, které dopadne na zemský povrch a na její spotřebě směrem k jiným druhům půdní vody. Půdní led vzniká pouze při poklesu teploty půdy pod 0 °C. Zpočátku se tvoří jako jinovatka z vodní páry půdního vzduchu, později je zdrojem vzniku větších krystalů. Tlak, který vznikne v povrchové vrstvě, může narušit i zcela pevné povrchy. (De Blij et al., 2004)

4.3.8 Minimální průtok

Dle Smakhtina (1999) se minimální průtok vyjadřuje jako aktuální průtok v řece, který začíná během suchého období v daném roce.

Mezinárodní hydrologický slovník definuje minimální průtok jako průtok vody v toku v průběhu dlouhotrvajícího suchého období. (WMO, 1974)

4.3.9 Teplota

Teplota je jednou ze základních fyzikálních veličin a je mírou střední kinetické energie termodynamického pohybu molekul. Jednotkou teploty v soustavě SI je Kelvin (*K*). Vedlejší jednotkou je stupeň Celsia ($^{\circ}\text{C}$), který se využívá v meteorologické praxi. (Sobíšek, 1993)

V bioklimatologii se používá jako termín teplota absolutní, která je určena dle přibližné absolutní stupnice a vyjadřuje se v kelvinech (*K*). Dále se v bioklimatologii používá termín teplota aktivní, což je teplota vzduchu, která převyšuje biologické minimum teploty, jenž je potřebné pro vývin růstové fáze zemědělské plodiny. Mnohdy se používá jejich suma za celé období fáze či vegetační doby. Suma průměrných denních teplot vzduchu všech dnů, ve kterých je tato teplota převyšována, je nazývána biologickým minimem dané plodiny a je podstatnou bioklimatologickou charakteristikou k posuzování vybrané oblasti pro pěstování dané plodiny a jejího vývoje během vegetace. Také se používá teplota aktivující, která přispívá ke vzniku nebo průběhu určitého fyzikálního či biologického děje. Dále označujeme teplotu: rosného bodu, pocitovou, efektivní, ekvivalentní, fenofázovou, fyziologickou, kožní, krajní, kritickou a mnoho dalších. (Krečmer et al., 1980)

4.4 Metody hodnocení sucha

Pro uvedené druhy sucha – meteorologické, agronomické, hydrologické a socioekonomické jsou používány různé indexy a indikátory sucha. Práce je zaměřena především na indexy sucha hydrologického. Indikátor je popisován jako obecný ukazatel a index je ukazatel hodnotový. (Mishra et Singh, 2010)

Indikátor sucha je způsob, kterým na jedné nebo více proměnných, jako je například vysrážení, popíšeme dostupnost vody v půdě či v hydrologických systémech. (Wilhite et Glantz, 1985)

Index sucha je číselná stupnice, kterou vědci používají k popisu závažnosti sucha. Indexy sucha jsou jedním z mnoha indikátorů sucha (Wilhite et Glantz, 1985). Komplexní index sucha je poměr evapotranspirace ke srážkám. (Krečmer et al., 1980)

Indexy sucha se používají jako hlavní proměnné pro vyhodnocování vlivu sucha a definování parametrů sucha zahrnující intenzitu, průběh a prostorový rozsah a dobu trvání. Roky a případně také měsíce jsou časovým měřítkem těchto zmiňovaných proměnných. Indexy byly vymyšleny z důvodu kvantifikace sucha. (Mishra et Singh, 2010)

Pro kvantifikaci sucha bylo vypracováno již mnoho metod. Jednodušší metody berou v potaz pouze množství spadlých srážek (Efektivní srážky, Standardizovaný index srážek atd.), kdežto složitější metody berou v úvahu proměnlivý vliv teploty na výpar. Další bilanční metody počítají s evapotranspirací přímo dané plodiny například obiloviny. V České republice se používají indexy, jako např. Langův dešťový faktor, Minářův index vláhové jistoty, Končekův index zavlažení a mnoho dalších. Tyto indexy byly původně v první řadě myšleny pouze jako klimatické ukazatele k rozlišení jednotlivých oblastí. Až v druhé řadě byly zamýšleny k hodnocení průběhu povětrnosti na jednom stanovišti a k vyjádření závažnosti sucha. (Litschmann et Rožnovský, 2001)

K určení závažnosti ohrožení regionů epizodami agronomického a meteorologického sucha v České republice se využívají různé metody. Pro hodnocení agronomického sucha v České republice se nejvíce využívají Palmerův index závažnosti sucha (*Palmer Drought Severity Index - PDSI*) či Palmerův Z-index, umožňující zohlednění variability půdních podmínek a výpočet vodní bilance, což dovoluje lépe rozlišit riziko výskytu suchých období mezi jednotlivými regiony (Brázdil et al., 2015). Dále se jedná například o Standardizovaný srážkový index (*Standard Precipitation Index - SPI*), Index meteorologicky možného sucha (*IMMS*) a další. Největším problémem v uskutečnění těchto indexů je nedostatek vstupních meteorologických informací o půdně vlhkostním režimu z našich klimatologických stanic. (Potop et al., 2008)

Účelem indexů je stanovení nejvýznamnějších charakteristik sucha, jako je počátek, konec, závažnost neboli intenzita, popis a mapování případů a četnost výskytu a plošného rozsahu sucha. Indexy tvoří vztah mezi pozorovanými hodnotami sledované veličiny a normálovými hodnotami (dlouhodobý průměr). Obvykle je index bezrozměrný, a proto se nejedná o fyzikální veličinu. Ve většině případů se jedná o kombinaci různých parametrů neboli typů dat. Jelikož nyní používané indexy stále častěji selhávají v detekci sucha, vytvářejí se proto nové zdroje dat, nové metodologie a nové aplikace, které vyžadují odpovídající indexy či se vyvíjejí vlastní nové indexy. Data a přístrojová vybavení musí obsahovat reprezentující srážkoměrné stanice, reprezentující měření hladiny podzemní vody a vydatnosti pramenů, laboratorní měření vlhkosti půdy, stanice *remote sensing data* pro monitoring sněhové pokrývky a mnoho dalších. Indexy musí být snadno srozumitelné, musí být citlivé na značnou škálu podmínek sucha, musí obsahovat fyzikální základ a v neposlední řadě by měly být založené na lehce dostupných datech. (Novický, 2011)

4.4.1 Indexy sucha

Sucho je hodnoceno z časového a prostorového hlediska a dále také dle jeho intenzity. Hodnocení sucha má mnoho kategorií. První z těchto kategorií je plošný rozsah sucha. Plošný rozsah sucha pojednává o suchu, které se může vyskytovat na ploše o rozsahu pouze několika stovek kilometrů čtverečních. Toto sucho většinou nebývá silné a jeho délka trvání bývá obvykle krátká. Sucho, které je někdy označované také jako kontinentální se může rozšířit na kolosální oblast pokrývající stovky tisíc kilometrů čtverečních, či dokonce ve velmi extrémních případech miliony kilometrů čtverečních. Případně může být zasažen suchem i celý kontinent. Nejdůležitějšími vlastnostmi sucha jsou zvláště začátek, konec a délka trvání. Vyjma času se na průběhu a charakteru sucha účastní také další faktory, jako jsou například nízká relativní vlhkost vzduchu udávající míru nasycení vodních par, vysoká teplota a rychlost vzduchu. Jedná se o faktory, které mohou mít podstatný vliv na zvýšení intenzity sucha. Pro určení začátku, konce a intenzity sucha je mnoho objektivních metod. Ve výpočtech indexů sucha se objevují mnohdy různé faktory, jako jsou srážky, půdní vláha, evapotranspirace, teplota, odtok, zásoby sněhu a vody

v řekách a nádržích a další. Výsledné indexy sucha poté slouží k vzájemnému porovnání suchých období. (Rožnovský et Litschmann, 2002)

Metoda hodnocení sucha by měla splňovat několik daných kritérií: Do hodnocení sucha by mělo být zařazeno dostatečné množství odpovídajících meteorologických prvků neboli fyzikálních veličin. Výpočty by měly být jednoduché. Výsledek výpočtů hodnocení sucha by měl být dobře objasněný i laické veřejnosti. Výsledná hodnota by měla mít odpovídající fyzikální jednotky. (Keyantash et Dracup, 2002)

4.4.2 Standardizovaný srážkový index

(Standardised Precipitation Index – SPI)

Standardizovaný srážkový index (*Standardised Precipitation Index – SPI*) je používán jako indikátor meteorologického sucha a je formulován jako normovaná hodnota úhrnu srážek za dané období.

SPI má normální rozdělení $N(0,1)$ – s nulovým průměrem a jednotkovou směrodatnou odchylkou.

Standardizovaný srážkový index určíme prostřednictvím vztahu:

$$SPI = F^{-1}[G(PREC)].$$

Kde je veličina G definována jako kumulativní distribuční funkce srážkových úhrnů (distribuční funkce bývá obvykle aproximována gama rozdělením) a veličina F^{-1} je inverzní funkcí normálního rozdělení $N(0,1)$. Distribuční funkce G je několik desítek let pozorována v dané lokalitě. SPI je přímo úměrný srážkovému deficitu. Jeho hodnotu jsme schopni vyjádřit prostřednictvím pravděpodobnosti výskytu, popřípadě v podobě bezrozměrného indexu. Standardizovaný srážkový deficit nejčastěji s pravděpodobností 95 % získává hodnoty v rozmezí ± 1.96 , kde záporné hodnoty daného indexu popisují období podprůměrných srážek (tab. 1). (Brázdil et al., 2015)

Při výpočtu Standardizovaného srážkového indexu je základním krokem objevení funkce, která nám popisuje rozložení měsíčních (více měsíčních) srážkových úhrnů. Obvykle se ale předpokládá, že jí je právě gama rozdělení. (Brázdil et al., 2015)

Dle Lloyda-Hughese et Saunders (2002) je ve většině oblastí Evropy pro studium sucha vhodné právě gama rozdělení. Po odvození parametrů gama rozdělení následuje vypočítání kumulované pravděpodobnosti srážkového úhrnu v určitém měsíci. Poté je transformována na hodnotu, která odpovídá rozdělení dle normálu. Hodnota, kterou takto vypočítáme, se nazývá hodnotou SPI pro daný měsíc. Prostřednictvím hodnoty SPI, je možné monitorovat výskyt krátkodobého sucha (s trváním v řádu týdnů), střednědobého (od 3 měsíců) a dlouhodobého (12 měsíců a déle). (Brázdil et Kirchner, 2007)

4.4.3 Palmerův index závažnosti sucha

(The Palmer Drought Severity Index – PDSI)

Palmerovy indexy závažnosti sucha byly objeveny v druhé polovině 60. let 20. století. Tyto indexy byly vyhlášeny nejlepším možným řešením, které kombinuje vliv srážek a teploty pro sledování sucha. Postupem času se začaly využívat v mnoha oborech, například v hydrologii, meteorologii, ekonomii, lesním hospodářství a zemědělství. V těchto oborech jsou Palmerovy indexy závažnosti sucha využívány dodnes. (Alley, 1984)

Palmerův index závažnosti sucha (*PDSI*) je jedním z nejrozšířenějších indexů sucha. Pro jeho stanovení jsou zapotřebí srážky, odtok, evapotranspirace a mnoho dalších. Dle potřebných dat lze vyvozovat, že tento index vytváří rovnici bilance vody pro danou oblast. (Huang et al., 2011)

PDSI představuje zcela jiný přístup k hodnocení sucha, čímž je celosvětově vysoce aplikován ke kvantifikaci sucha. Na základě klimatologické analýzy vybrané lokality uvedl Palmer (1965) pojem „klimatologického optima pro dané podmínky“. Pojem umožňuje odvodit bezrozměrnou hodnotu indexu a porovnávat ji s údaji z jiných období či stanic. (Brázdil et al., 2015)

Výpočet Palmerova indexu vychází z vodní bilance zájmového území. Vodní bilance zahrnuje úhrn srážek za sledované období (obvykle 1 měsíc), výdejovou evapotranspirační složku, kterou vypočítáme pomocí Thornthwaitovy metody a současný obsah vody v půdě. Palmer se domníval, že půdní profil je možné redukovat na dvě vrstvy. Na svrchní vrstvu neboli ornici a spodní vrstvu kořenovou. Dokud se orniční vrstva plně nenasytí vodou, nedojde k perkolaci neboli protiproudové extrakci vrstvy spodní. Povrchový odtok je zahrnut do výpočtu

PDSI až ve chvíli, když jsou obě zmiňované půdní vrstvy nasyceny na hodnotu maximální retenční kapacity (schopnost zadržet vodu, která se vyskytuje v daném území) a také je současně pokryt výdej vody evapotranspirací v náležitém měsíci. (Brázdil et Kirchner, 2007)

Thornthwaitova metoda je rozšířená po celém světě a sahá až do konce 40. let 20. století. Výhodou Thornthwaitovy metody je především vstup minima meteorologických informací a také poskytnutí přibližného hodnocení vodní bilance krajiny. Metoda určuje potenciální evaporace (výpar) v měsíčním kroku, pokud je průměrná měsíční teplota kladná. Vycházíme ze skutečnosti, že celkový výpar je podmíněn podnebí, rázu a porostu krajiny a zásobám podzemní vody. (Thompson et al., 1981)

Palmerův index závažnosti sucha bere v potaz klimatické charakteristiky vybrané oblasti i její základní pedologické hydrolimity. (Litschmann et Rožnovský, 2001)

Pedologické hydrolimity jsou definovány jako určitá půdní vlhkost, která je dosažena za přesně definovaných podmínek. Nejčastěji se s nimi můžeme setkat například v zemědělství (Kutílek, 1978). To znamená, že stejná hodnota PDSI v různých oblastech by měla mít i zhruba stejné ekonomické dopady na danou oblast. (Litschmann et Rožnovský, 2001)

PDSI je rozšířen obzvláště ve Spojených státech amerických. V České republice nebyl doposud důkladněji ověřen. Jako hlavní důvod může být i fakt, že se suchá období v České republice nevyskytovala v příliš vysoké míře. Dalším důvodem může být i skutečnost, že jeho určení je náročnější na výpočetní operace, což u nás mohlo být do nedávna velice obtížné vzhledem k vývoji výpočetní techniky. Do té doby se hledaly jiné alternativy, jak aprobovat suchá období. (Litschmann et al., 2002)

Tabulka 1: Kategorie sucha podle Standardizovaného srážkového indexu (SPI), Palmerova indexu sucha (PDSI) a Palmerova Z-indexu (Brázdil et Kirchner, 2007).

SPI	Z-index	PDSI	Kategorie sucha
≥ 2.00	≥ 3.50	≥ 4.00	extrémní vlhko
1.99 – 1.50	3.49 – 2.50	3.99 – 3.00	intenzivní vlhko
1.49 – 1.00	2.49 – 1.00	2.99 – 2.00	mírné vlhko
0.99 až – 0.99	0.99 až – 1.24	1.99 až – 1.99	normálně
– 1.00 až – 1.49	– 1.25 až – 1.99	– 2.00 až – 2.99	mírné sucho
– 1.50 až – 1.99	– 2.00 až – 2.74	– 3.00 až – 3.99	intenzivní sucho
$\leq - 2.00$	$\leq - 2.75$	$\leq - 4.00$	extrémní sucho

4.4.4 Metoda efektivních srážek

(Effective Precipitation - EP)

Jedná se o poměrně novou metodu, při které záleží na kumulaci předchozích srážek k vybranému datu, kdy se kumulují vážené srážky z již uplynulého roku. Tuto metodu navrhli Byun et Wilhite (1999). Efektivní srážka reprezentuje denní úbytek vodních zdrojů. K určení efektivní srážky, jsou zapotřebí pouze denní průměry srážek na stanici. (Rožnovský et Litschmann, 2002)

Metoda EP je následkem kumulace předchozích srážek k předem vybranému datu, kdy se kumulují vážené srážky z uplynulého roku. Pro předcházející n -tý den roku (kdy má n hodnotu od 0 do 364, zatímco 0 je vybrané datum a 364 je datum před rokem) je velikost srážky dána podílem velikosti srážky pro předcházející n -tý den roku s jejím stářím ($n+1$). Tímto získáme charakteristiku srážek (kumulovanou hodnotu vážené srážky), kterou nazýváme efektivní srážka neboli EP (*Effective Precipitation*). Z tohoto souhrnu jsou později odvozeny další veličiny. Veličina MEP, která je průměrnou hodnotou efektivních srážek pro jednotlivé kalendářní dny v roce. A také odchylka EP od MEP, která se nazývá DEP (*Deviation of EP from MEP*). (Tremel, 2010)

Nedostatek či nadbytek vodních zdrojů k určitému místu a datu vyjadřuje DEP. Z DEP pro jednotlivé dny poté vychází také další indexy. Pokud standardizujeme DEP,

dostaneme index SEP (*Standardized value of DEP*). Tento index poskytuje srovnání intenzity sucha mezi různými místy. Období srážkového deficitu se vyznačuje negativními hodnotami DEP a SEP, neboť jsou hodnoty efektivních srážek pod úrovní normálu. Suché období lze definovat jako období několika po sobě jdoucích dní s negativní hodnotou SEP (DEP). Délku suchého období nazýváme CNS (*Consecutive days of negative SEP*). (Rožnovský et Litschmann, 2002)

Z metody efektivních srážek vychází celá řada dalších indexů, díky nimž můžeme stanovit intenzitu a délku sucha, akumulovaný srážkový deficit (odchylku od normálu), srážku nutnou pro návrat k normálu a také Standardizovaný index intenzity sucha, který nám umožňuje porovnání různých míst. Ke kvantifikaci intenzity sucha využívají i další indexy, které navrhovali Byun et Wilhite (1999). Jedná se o indexy EDI (*Effective drought index*), ANES (*Accumulation of consecutive negative SEP*), APD (*Accumulated precipitation deficit*), PRN vycházející z DEP (*Precipitation needed from a return to normal condition*) a mnoho dalších. (Rožnovský et Litschmann, 2003)

EP neboli efektivní srážka představuje denní úbytek vodních zdrojů. K určení efektivní srážky vyžadujeme pouze denní průměry srážek na stanici. Časově závislá redukční funkce vyjadřuje úbytek vodních zásob v čase. Z této funkce odhadujeme aktuální vodní deficit. Standardizovaný index intenzity sucha přispívá ke srovnání různých míst s odlišnými klimatickými poměry. (Rožnovský et Litschmann, 2004)

Tabulka 2: Indexy odvozené z efektivních srážek EP
(Novický, 2011; Rožnovský et Litschmann, 2004).

<p>Index ANES (<i>Accumulation of consecutive negative SEP</i>)</p>	<p>Index ANES je využíván ke kvantifikaci intenzity sucha, vyjadřuje dobře délku sucha, neboť jeho absolutní hodnota je téměř vždy menší než 2. Jde o součet všech záporných po sobě jdoucích negativních hodnot SEP.</p>
<p>Index DEP (<i>Deviation of EP from MEP</i>)</p>	<p>Index DEP stanovuje rozdíl mezi EP a MEP. Sděluje nadbytek či nedostatek vodních zdrojů k určitému místu a datu. Z Indexu DEP vychází další indexy, např. SEP.</p>
<p>Index SEP (<i>Standardized value of DEP</i>)</p>	<p>Index SEP je získáván standardizací DEP. Vyjadřuje srovnání intenzity sucha mezi různými místy. Období vodního deficitu označují negativní hodnoty DEP i SEP. (Hodnoty efektivních srážek jsou pod normálem). Suché období definujeme jako období několika po sobě jdoucích dní s negativní hodnotou SEP (DEP). Délku suchého období můžeme označovat také jako CNS (<i>Consecutive days of negative SEP</i>).</p>
<p>Index MEP</p>	<p>Index MEP je vyjadřován jako průměrná hodnota EP pro jednotlivé kalendářní dny v roce, která je vypočítána z 30letého průměru. MEP tvoří klimatologickou charakteristiku vodních zdrojů. Tento index má velice vysokou variabilitu, je možné ho vyjádřit jako dlouhodobý normál hodnot efektivních srážek pro daný den v roce.</p>
<p>Index PRN (<i>Precipitation needed for a return to normal condition</i>)</p>	<p>Index PRN vzniká z DEP. Denní srážku nutnou pro návrat k normálu a deficit srážek akumulovaný během posledních 365 dní můžeme vypočítat z negativní hodnoty DEP.</p>

4.4.5 Velikost sucha

(Drought Magnitude - DMPI)

Index sucha udává relativní velikost sucha. Jelikož index SPI nehodnotí vliv předchozího trvání stavu, ale udává vždy pouze stav za konkrétní vyhodnocovaný časový interval, je tedy možné tuto informaci získat sečtením hodnot indexu v období sucha. Tato získaná hodnota je označována DM (*Drought Magnitude*) a reprezentuje období postupu při stanovení nedostatkových objemů na povrchových tocích. Velkým nedostatkem je ovšem fakt, že není možné určit frekvenci výskytu hodnoty DM. (Beneš et al., 2013)

4.4.6 Langův dešťový faktor (LDF)

Langův dešťový faktor je jeden z nejstarších indikátorů vůbec. LDF hodnotí epizodu sucha jako periodu nevyrovnanosti vodní bilance území, ale také jako období nedostatku srážek. Jedná se o podíl průměrné roční teploty vzduchu a průměrného ročního úhrnu srážek. (Brázdil et Kirchner, 2007)

LDF sděluje podmínky přirozeného zavlažení krajiny díky vztahu mezi teplotou vzduchu a atmosférickými srážkami. Langův dešťový faktor byl úspěšně použit při výpočtení dat vegetačního období k charakteristice klimatického sucha v jednotlivých letech. (Sobíšek, 1993)

4.5 Schopnost předvídat sucho

Je velice těžké sucho předvídat, vzhledem k neúspěšné dlouhodobé předpovědi srážek na více než 10 dní dopředu. K tomuto nepříznivému jevu dochází v České republice náhodně v důsledku nerovnoměrného a často měnícího se zastoupení odlišných typů povětrnostních situací s početnějším výskytem tlakových výší či přinejmenším hřebenů vysokého tlaku vzduchu. Tyto systémy se v oblastech vyššího tlaku vzduchu rozpadají (s menším množstvím spadlých srážek) nebo také zabraňují postupu frontálních systémů z Atlantického oceánu. Tyto jevy se projevují v největší míře převážně v nížinách a pahorkatinách, ačkoli v okolí hor mnohdy v dobách sucha více zaprší. Bylo zjištěno, že dochází ke statisticky významné kumulaci několika suchých let za sebou, tudíž, nastane-li suchý rok,

dá se s jistou mírou pravděpodobnosti předpovídat, že i příští rok bude srážkově zcela podnormální. K předpovědi sucha je klíčový monitoring celého hydrologického cyklu včetně množství vody v půdě, v povrchových a podzemních vodních útvarech. Dále je nutné stanovit hlavní indikátory sucha a sestavit varovný systém. Na stanovení společného indikátoru sucha pro celou Evropu i pro globální hydrologickou situaci je v současné době vynakládáno velké úsilí ze strany Evropské unie. Nejedná se ovšem o lehký úkol vzhledem k charakteru úkazu, který je nezbytné přesně popsat s omezeným počtem vstupních veličin. (Němec et Kopp, 2009)

Kvůli složitosti a rizikům sucha, kterými jsou například přírodní rizika a společenská zranitelnost, je velice náročné sucho definovat, rozpoznat i předvídat. Dopady sucha jsou různorodé a pokrývají celou šíři socioekonomických a environmentálních systémů. (Blauhut et al., 2016)

4.6 Příčiny sucha

Dnešní doba a styl, kterým současná společnost žije, přináší pro svět velká přírodní rizika. Mezi tato přírodní rizika řadíme obzvláště sucho a povodně. Dopady sucha a povodní jsou v posledních letech značně velké. Jedná se především o změnu podnebí neboli klimatu. (Rožnovský et Litschmann, 2004)

Příčiny sucha jsou různého charakteru. Než začneme příčiny odstraňovat, je nutné je nejdříve zjistit a posoudit. Příčiny sucha lze klasifikovat na dva druhy: místní (lokální) a oblastní (zonální). Lokální příčiny sucha souvisejí s místními orografickými, hydrologickými, hydrogeologickými a hospodářskými poměry. Zonální příčiny sucha vyplývají z krajových klimatických a meteorologických poměrů. V mírném podnebném pásmu dochází zpravidla k výskytu sucha kombinací obou uvedených druhů. Lze konstatovat, že výraznější sucho je způsobeno oblastními příčinami postihující celé pevniny (poušť Gobi a poušť Sahara) či rozsáhlé území. (Jůva, 1959)

4.6.1 Změna klimatu

Jedním z nejvíce probíraných globálních ekologických problémů dnešní doby je právě změna klimatu způsobená především zvyšováním oxidu uhličitého v atmosféře (Peláková et Boersema, 2006). V posledních desetiletích dochází k pomalému zvyšování teplot v průběhu celého roku, poklesu letních, růstu zimních a stagnaci ročních srážek. (Hanel et al., 2012)

Dle údajů, které zveřejnily instituty zabývající se centrální evidencí přírodních pohrom, se výskyt suchých period v první polovině 21. století zvýšil, zvláště pokud jde o události malé a střední velikosti. Dokládá to porovnání statistik dle databáze EM-DAT (dle anglického *Emergency Event Database – Brusel*) v desetiletích, a to 1987 – 1996 a 1997 – 2006. K těmto informacím bývá často vznášena velká kritika, která mnohdy pramení z obtížnosti jednotné definice sucha a z nehomogenity časových řad jeho výskytů. Nejméně bývá pochybováno o změnách ve frekvenci velkých pohrom, které jsou středem pozornosti odborné i mediální sféry a také široké veřejnosti. Například když u sucha porovnáme předcházející fázi frekvenčního režimu, dochází až k třetinovému nárůstu. U malých a středních odtokových extrémů jde o tak významný nárůst (150 – 200 %), že jej nelze považovat za chybu, která je způsobená nepřesností evidence. Původem těchto chyb může být i frekvenční analýza. Na základě frekvenční analýzy jsou případy tříděny dle jejich velikosti. Proto jsou tedy malé a střední odtokové extrémy uváděny jako jedna společná kategorie. Situace s touto problematikou v České republice je zatím stále ve stádiu výzkumu a prozatímních odhadů, zda a do jaké míry bude zesilovat frekvence a intenzita odtokových událostí. (Němec et Kopp, 2009)

Klimatická změna v současné době velice významně ovlivňuje hydrologický režim prostřednictvím snížených a zvýšených průtoků. Tato změna má za následek změny v intenzitě i četnosti výskytu extrémních událostí (sucha a povodní). Snížení průměrných průtoků v českých povodích odhadují predikce zhruba o 15 – 20 % v druhé polovině 21. století. Ke zvýšení deficitů by dle Českého hydrometeorologického ústavu mohlo dojít zejména v podzimních a letních měsících. (Němec et Kopp, 2009)

Mezi nejvýznamnější negativní dopady lze zařadit extrémní záplavy, se kterými souvisí znečištění vodních zdrojů následkem zvýšeného výskytu přívalových srážek a následných úniků odpadní vody z kanalizačních systémů. Dalšími negativními

dopady na změnu klimatu mohou být i zvýšený nárůst řas ve vodních útvech, vyšší koncentrace kontaminujících prvků a nerozpustných látek, s čímž souvisí samozřejmě i větší ekonomické náklady na úpravu vody pro dodávky pitné vody. Zvyšující se koncentrace oxidu uhličitého a teplota spolu s případnými změnami v distribuci srážek bude mít značný dopad na růst a zdravotní stav lesních ekosystémů, ekonomickou a biologickou životaschopnost dřevin. Prognózaný posun areálu smrku ztepilého (*Picea abies*), který je ekonomicky významnou dřevinou, může mít v důsledku vyšších teplot v prostoru střední Evropy směrem do vyšších nadmořských výšek a zeměpisných šířek dle odhadů za následek snížení lesních pozemků v průměru o 28 % do roku 2100. (Hanewinkel et al., 2013)

Z hlediska dopadů změny klimatu na lidské zdraví se vyjma následků extrémních událostí očekává, že změna klimatu významně ovlivní i rozvoj infekčních onemocnění následkem zvýšení míry reprodukce přenašečů. Demografickými faktory je významně ovlivňována i citlivost populace. Vzhledem k současnému trendu stárnutí populace by se v budoucnu tento trend mohl projevit například zvýšeným podílem osob ohrožených vlnami veder (Semenza et Menne, 2009). Jelikož na území České republiky postupně narůstají průměrné teploty, dochází v posledních dvou desetiletích k expanzi populace klíštěte obecného (*Ixodes ricinus*) do vyšších nadmořských výšek a zároveň i k hojnějšímu výskytu ve svém původním areálu. (Materna et al., 2008)

Tabulka 3: Pravděpodobné změny srážkové činnosti (Brázdil et Kirchner, 2007).

Typická změna srážek	Oblast
Více srážek	Severní Evropa, Arktida (zima), Kanada, Severovýchod USA, severní Asie (zima), Tibet, tropická a východní Afrika, sever Pacifiku a indického oceánu, rovníkový Pacifik, Antarktida, severní, jižní, jihovýchodní a východní Asie (léto), střední Evropa (zima).
Méně srážek	Středomoří, severní Afrika, Střední Amerika, jihozápad USA, jižní Austrálie (zima a jaro), jihozápad Austrálie (zima), střední Evropa (léto), střední Asie (léto), jižní Kanada (léto).
Nárůst extrémních srážek (povodní)	Severní Evropa, jižní a východní Asie, Austrálie.
Nárůst rizika sucha	Austrálie, Středomoří, střední Evropa (léto), Střední Amerika.
Pokles délky období se sněhovou pokrývkou	Většina Evropy a Severní Ameriky.

4.7 Následky sucha

Dopady sucha jsou aktuální v rozvinutých i rozvojových zemích. Tento jev v mnoha případech odráží přetrvávající neudržitelnost rozvoje i růstu populace. V budoucnu bude zmírnění dopadů sucha vyžadovat celou řadu vhodných opatření či programů ke zmírnění rizik, bude nutné zavést systémy včasného varování a vyvinutější monitorování. Následky sucha, které je nezbytné řešit, lze zařadit do několika skupin: ekonomické, environmentální a sociální. (Trnka, 2015)

4.7.1 Stoupající trend škod způsobený vlivem sucha

Drastické události, které souvisí s výskytem sucha v posledních letech, nám důrazně připomněly, že prevence proti škodlivým účinkům musí být systematicky rozvíjenou a trvalou činností. Již předcházející generace vodohospodářů se snažily o realizaci tohoto přístupu, snahy bohužel nebyly příliš úspěšné. Problémy nastaly především v prosazení plynulého dotování rozvoje preventivních opatření proti suchu, obzvláště v relativně dlouhých obdobích mezi následnými odtokovými extrémy. A zatímco objem kapitálu instalovaného na jednotce plochy území v impaktních zónách sucha v průměru s časem prudce vzrůstal, finance, které byly uvolňované na jeho ochranu, byly zpravidla nepoměrné a v mnoha případech zcela neodpovídaly skutečným potřebám vodohospodářů. Jednou z dalších příčin zranitelnosti životního prostředí byly například stavy jako invaze hospodářských aktivit do blízkosti toků, změny ve využití území, zvýšení cen majetku a podobně. Extrémní sucho je schopné za současných podmínek postihnout větší počet obyvatel a způsobit větší škody, než v minulosti. Největší sklon k projevu sucha mají oblasti s nízkým srážkovým úhrnem, nebo také oblasti s vysokou průměrnou teplotou vzduchu eventuálně spojením obou faktorů. Nejcitlivější oblastí v České republice je jižní Morava, kde činí průměrná roční teplota 9 °C. Na jižní Moravu se přenáší méně frontálních systémů z Atlantiku než do Čech. Během suchého období se na jižní Moravě vyskytuje nejnižší relativní vlhkost vzduchu udávající míru nasycení vodních par a nejdelší trvání slunečního svitu. V době sucha převažuje zesílené teplé jihovýchodní proudění. Následující rizikovou oblastí je Žatecko a Lounsko. Zde se pohybují průměrné srážkové úhrny jen kolem 450 mm za rok. (Němec et Kopp, 2009)

4.7.2 Ekonomické dopady

Změna klimatu podstatně ovlivňuje i ekonomický sektor. Dochází k ekonomickým ztrátám vlivem horších podmínek během zakládání nových porostů, zvýšení nákladů za vodu dodávanou pro závlahy (pouze tehdy, je-li k dispozici voda a infrastruktura závlah), snížení výnosů, zhoršení kvality produkce a mnoho dalších. Sucho působí negativně nejen na velikost produkce, ale i na její bezpečnost a kvalitu (Brázdil et al., 2015). Klimatická změna přináší i ekonomická rizika, která vyplývají ze snížené dostupnosti pěstovaných plodin, surovin a následného ovlivnění cen potravin a exportu. (Pretel et al., 2011)

4.7.3 Environmentální dopady

Dopady na životní prostředí a krajinu ohrožují biodiverzitu na všech úrovních, způsobují změnu kvality vody, vzduchu a vlastností stanovišť. Tyto dopady jsou příčinou vzniku lesních požárů, půdní eroze a degradace půdy. (Trnka, 2015)

Především v zemědělství jsou dopady sucha závažné. Vysoký výskyt kritického zemědělského a meteorologického sucha byl zaznamenán na jižní Moravě, v severozápadních Čechách, obecně na jihovýchodě republiky a v nížinách podél řeky Labe. Krátkodobé meteorologické sucho a střednědobé sucho (ovlivňující zemědělskou produkci) bylo přítomno na území České republiky ve studovaném čtyřicetiletí zhruba každých 3 - 5 let. Zatímco dlouhodobé sucho se může vyskytovat na našem území každých devět let. Zranitelné budou zejména letní plodiny, které jsou závislé na obsahu vody v půdě, té nebude dostatek vzhledem k vysokým teplotám vzduchu a také zvýšené evapotranspiraci. Základem odhadu dopadů klimatu na zemědělství je v krátkodobém (2021 - 2050), ale i v dlouhodobém (2071 - 2100) časovém úseku zvýšení průměrné roční teploty vzduchu na území České republiky o zhruba 1.4 - 1.9 °C, resp. o 2.7 - 4.7 °C, kdy se oteplení v létě zdá o něco málo vyšší než v ostatních ročních obdobích. Vysoká nejistota se týká především odhadů srážek. I přesto je možné očekávat spíše mírné zvýšení úhrnů s pravděpodobným poklesem jejich množství v letním období. Konec 21. století v odhadech vypadá nejméně v důsledku nejistot v emisích radiačně - aktivních plynů. (Brázdil et al., 2015)

Následky sucha se projevují i nedostatkem vody. Nedostatek vody se jeví negativně v průmyslové produkci (důsledek deficitu technologické vody), turistickém ruchu, produkci elektrické energie (nedostatek vody pro výrobu vodních elektráren nebo nedostatek vody pro chlazení). Deficit vody můžeme zaregistrovat i v životě obyvatel, především jako nedostatek pitné vody a zemědělských produktů. Jedním z nejdůležitějších dopadů hydrologického sucha je zhoršená možnost (případně nemožnost) zásobování obyvatelstva pitnou vodou, vzhledem k jejímu nedostatku a znečištění či nevyhovující kvalitě. V těchto případech je nutné zajistit dodávky pitné vody jiným způsobem, což zapříčiňuje také vysoké ekonomické náklady. Nedostatek vody v průmyslu a energetice má za následek snížení dodávek vody, nemožnost odběrů vody (nemožnost odběrů vody potřebné jakosti, čímž je ideální teplota, neznečištěná voda a další). Vzhledem k nedostatku vody,

nebo její nevyhovující kvalitě, je ohrožena také činnost podniků včetně poškození užitých technologií. V oblasti energetiky se mohou objevit problémy s chlazením jaderných a tepelných elektráren. Hlavním dopadem je ovšem omezení zastavení či omezení provozu vodních elektráren, které při malých průtocích nefungují. Malé průtoky mají vliv i na plavbu, proto je nutné plavbu zastavit nebo alespoň omezit. Lodní doprava je vyrobena na plavbu za přesně definovaných minimálních průtoků. Důležité je také omezení či úplné zastavení zavlažování v zemědělství a čerpání vody pro účely, kde potřeba vody není zcela akutní (kropení ulic a prašných prostředí, mytí strojů, praní, zavlažování městských okrasných ploch a další). Podstatně zhoršené jsou i podmínky pro rybolov. Vzhledem k suché vegetaci stoupá v období sucha i nebezpečí požárů. Nedostatek vody v nádržích a přírodních tocích může znamenat problém při hašení požárů, neboť se voda musí brát ze vzdálenějších zdrojů. (Brázdil et al., 2015)

4.7.4 Sociální dopady

Dle Trnky (2015) zahrnují dopady na společnost zvláště ochranu zdraví, veřejnou bezpečnost a možné konflikty mezi uživateli a vlastníky vodních zdrojů. Vyskytuje se zde také jistá nespravedlnost při rozdělení dopadů a ztrát, jakožto i programů, které pomáhají při živelných pohromách.

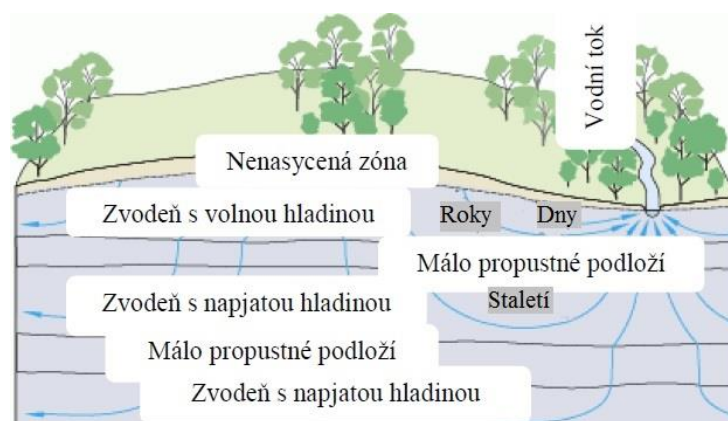
4.7.5 Podzemní vody

Projevy sucha se zpravidla akumulují postupně a obvykle nenápadně během poměrně dlouhého období (týdny či měsíce). Mezi dopady sucha se řadí i snížení hladiny podzemní vody, které může přetrvávat dlouho po skončení epizody. (Brázdil et Kirchner, 2007)

30 % světových zásob pitné vody tvoří právě voda podzemní. Podzemní voda je z geologického hlediska nazývána jako zvodeň neboli zvodnělá vrstva. Na Zemi se vyskytují dva základní typy zvodnělých vrstev, zvodeň s napjatou hladinou a s volnou hladinou (obr. 2). Tyto typy jsou rozdílné v tom, zda je nebo není daná zvodnělá vrstva ze shora ohraničena nepropustnou hydrogeologickou vrstvou (neboli izolátorem). Na hladině zvodnělé vrstvy s volnou hladinou působí tlak

atmosférický, kdežto u zvodnělé vrstvy s napjatou hladinou působí tlak větší než je tlak atmosférický. (Pech, 2010; Dingman, 2008)

Obr. 2: Typy zvodnělých vrstev v půdním profilu (Šercl, 2013).



Klíčovým faktorem pro velikost doplňování zásob podzemní vody jsou atmosférické srážky, které jsou zmenšené o výpar. Sezónní periodicitu hladin podzemní vody je výrazná a také obecně známá. V České republice se vyskytují jarní až letní maximální hladiny a podzimní minimální hladiny. Jarní maximální hladiny jsou důsledkem intenzivního doplňování zásob podzemní vody dopadem tání sněhové pokrývky a vysoké infiltrace srážek během minimální evapotranspirace. Po přítomnosti ročních maximálních hladin zpravidla v březnu až květnu, ojediněle v červnu, začíná sestupný trend hladiny až do výskytu roční minimální hladiny většinou v září až v listopadu, ojediněle v červenci až v srpnu, nebo také v prosinci až v únoru následujícího roku. V průběhu letního období nebo na začátku podzimu je doplňování zásob podzemní vody značně omezené. Sestupný trend bývá příležitostně krátkodobě přerušeno mírným vzestupem hladiny po hojných srážkách. Nicméně mírný vzestup hladiny rychle odezní a nastává opět sestupný trend hladiny. (Beneš et al., 2013)

Podzemní voda zastupuje podstatný zdroj vody pro většinu jezer a řek. Využití podzemní vody je úzce spjato s člověkem a jeho potřebami důležitými k životu na Zemi. Pokud ovšem převažuje v říčním toku voda, která je získána ze základního odtoku podzemní vody, má říční tok relativně malou časovou proměnlivost průtoků.

Proto jsou takto vymezené říční toky schopny umožnit spolehlivé zdroje vody pro různé účely. (Dingman, 2008)

4.7.6 Následky sucha v roce 2003

Počátek 21. století je silně poznamenán suchem, které vypuklo v roce 2003. Sucho zasáhlo většinu území Evropy, mělo závažné dopady především na lidské zdraví a to ve zvýšeném počtu předčasných úmrtí. V červnu roku 2003 zasáhla Evropu výrazná vlna veder, která trvala až do poloviny srpna. Vlna veder postihla evropský kontinent od severního Španělska až po Českou republiku. Extrémní výkyvy počasí byly způsobeny anticyklónou, která byla pevně zakotvená nad západní částí evropského kontinentu, odklonila dráhy tlakových níží přicházejících od západu a přinášející vláhu z oceánu. Ve státech střední Evropy byly tehdy naměřeny denní teploty vzduchu v rozmezí 35 °C až 40 °C. Deficit vodní bilance se během zmiňované vlny veder vyšplhal až k hodnotě 380 mm v jižní Evropě, na většině území Francie, Německa, západních Čech, Maďarska a jižního Rumunska byla hodnota přes 200 mm. Extrémní vedra si vyžádala přes 30 000 obětí. Nejvíce ohroženi byli starší a oslabení lidé, kteří bojovali s úmornými vedry. Pro Evropu to byl nejhorší výsledek bilance přírodních katastrof za posledních padesát let. Na zemědělské úrodě byly velké ztráty způsobeny navíc dlouhotrvající zimou a jarními mrazy. Další ztráty byly vlivem vysokých teplot vzduchu způsobeny předčasným dozráváním úrody. Tento jev nastal následkem urychleného procesu transpirace (dýchání rostlin) a vzrostla spotřeba vody rostlinstvem. Byla zcela vyčerpána půdní vláha a došlo k celkové neúrodě. Špatné výnosy se zanedlouho projevíly nedostatkem krmiv pro dobytek, který například ve Francii dosáhl až 60 % a v Německu 30 % běžné potřeby. Produkce obilovin náhle klesla o 23 miliónů tun v porovnání s rokem 2002. Vyprahlé lesní plochy byly velmi náchylné na požáry. Požáry zdevastovaly téměř 650 000 ha lesní plochy, z toho nejvíce v Portugalsku a ve Španělsku. Dále se požáry objevily i v Itálii, Francii, Rakousku, Finsku, Dánsku i Irsku. K výrazným ztrátám došlo také v energetice. Postupně se začal projevovat nedostatek vody v tocích pro chlazení tepelných a atomových elektráren. Další problémy byly způsobeny i příliš vysokou teplotou vody pro chlazení. Ve stejném období také výrazně vzrostla spotřeba elektrické energie pro chlazení a klimatizace. V Alpách se projevíly vysoké teploty o dva metry hlubším táním permafrostu (věčně zmrzlé půdy) než tomu bývalo

v minulých letech. Situace vedla ke značnému zhoršení stability svahů, čímž se zvýšil výskyt maloplošných sesuvů. V Nizozemsku byla překročena maxima teploty vzduchu, která byla naměřena v roce 1706. Hladina vody v Rýnu tak zažila své historické minimum. Kvůli těmto jevům došlo ke zvýšení zpětného průsaku brakické vody (směs sladké a slané vody) do vnitrozemí. Podzemní vody měly náhle nízkou hladinu, což zapříčinilo přístup vzduchu k dřevěným pilířům v základech historických hrází i staveb a následně byla ohrožena stabilita konstrukcí. Také byl razantně urychlen proces oxidace rašelinných vrstev v podloží a urychlil se i proces sedání zemského povrchu ve zmiňovaných oblastech. Celkové finanční dopady sucha i lesních požárů v roce 2003 dosáhly dle *COPA COGECA* (sdružení nevládních zemědělských organizací) 13 miliard Euro. Lze očekávat, že s rostoucí teplotou vzduchu, která je způsobená klimatickou změnou, bude v budoucnu docházet k podobným extrémním situacím. (Němec et Kopp, 2009)

4.8 Opatření proti suchu v České republice

Určitým podnětem k zahájení činností k omezení následků sucha byla přítomnost sucha na jaře v roce 2014. Ministři životního prostředí (*MŽP*) a zemědělství (*MZe*) založili „*Meziresortní komisi VODA – SUCHO*“. Tato komise vypracovala souhrn aktivit k zabezpečení potřebných údajů k přípravě dlouhodobé a propracované koncepce na zmírnění následků sucha. Dokument, který nese název „*Příprava realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody*“ byl schválen usnesením vlády č. 620 z 29. července 2015, tedy právě v době, kdy vrcholilo letní sucho, které přineslo značné problémy především zemědělcům. (Punčochář et al., 2015)

Ministerstvo zemědělství pracuje na strategii, jak následně postupovat s opatřeními k omezení důsledků sucha, zejména v nejsušších regionech České republiky. Je nutné vyhodnotit současnou vodohospodářskou bilanci a vzít v úvahu možnosti pokrytí zvýšených požadavků na odběry vody a odhadnout, zda je nezbytné vybudovat další akumulace pro pokrytí těchto potřeb. Současně je nutné připravit i návrh legislativy, který by reagoval na omezující opatření pro odběry za určitého stupně sucha. Základem pro zpracování strategie jsou údaje z databází s. p. povodí (správa a péče povodí) a práce z výzkumných ústavů. Zároveň je nutné obstarat informace o představě obnovy nebo rozvoje závlahových systémů

od zemědělců a také jejich současný postoj k využívání závlah v budoucím období. (Punčochář et al., 2015)

Centrem výzkumu globální změny AV ČR (Akademie věd ČR) a Mendelovou univerzitou v Brně bylo před suchem v roce 2015 zahájeno zpracování „*Generelu vodního hospodářství krajiny České republiky*“. Generel vodního hospodářství krajiny České republiky obsahuje historický výskyt sucha, ale i nedostatek vodních zdrojů na území ČR. Tento dokument zahrnuje celkový pohled na potřebu objemů vody k zajištění půdního nasycení vláhou, půdní vlhkost a identifikaci území ohrožených suchem, což můžeme vidět na obr. 3. Dopady sucha zvyšuje ve vysoké míře zhoršená kvalita zemědělské půdy, neboť klesá její schopnost retence půdní vláhy. (Punčochář et al., 2015)

Generel vodního hospodářství krajiny ČR definuje krátkodobé – 1 rok, střednědobé – do 10 – 15 let a dlouhodobé cíle – více než 20 let. Krátkodobé cíle byly vytvořeny jako podklad pro tvorbu koncepce vodního hospodářství České republiky ve změně, která probíhala do 31. 7. 2015. V rámci generelu bylo nutné definovat základní problémy se zaměřením na hydrologické extrémy (sucho a povodně) a zvláště dopady těchto hydrologických extrémů na ekosystémové služby s důrazem na služby regulační (zdroje vody a ochrana půdy) a služby, které směřují k poskytování statků (produkční služby). Analyzovat současný stav akumulace dostupných poznatků v oblasti změny klimatu (scénáře) a dopadů vodohospodářské soustavy (povodí Moravy a Dyje), půdní klima (vlhkostní a teplotní režim), pěstování plodin (výnosy), půdní vlastnosti (eroze, utužení půdy), ohrožení suchem (satelitní a pozemní monitoring), dopady na klimatologickou vodní bilanci (výpar versus srážky). A v neposlední řadě analyzovat současný stav požadavků na vodu pro zemědělství a změnu výrobních oblastí. Dále posoudit vývoj ekosystémů bez realizace účinných adaptačních a ochranných opatření. Provést multikriteriální analýzu především zvláště ohrožených regionů. Definovat tři pilotní území v nejvíce ohrožených oblastech a následně učinit první návrh adaptačních a ochranných opatření. Zahájit objektivními daty podloženou a věcnou debatu o vymezení a definici LFA (*Less Favoured Areas* – méně příznivé oblasti). Vypracovat variantní řešení pro zvýšení odolnosti krajiny během výskytu hydrometeorologických extrémů s důrazem na decentralizovanou síť středních a malých nádrží v kombinaci

s organizačními a agronomickými opatřeními či výstavbou velkých investičních celků. (Trnka et al., 2015)

Během střednědobých cílů stanovených od 10 do 15 let je nezbytné vytvořit finanční zajištění a legislativní rámec pro realizaci adaptačních opatření ve vybraných územích s důrazem na primární roli zemědělce jako aktivního subjektu (např. technické podpory versus dotace či systém daňových úlev). Dále je nezbytná realizace opatření na pilotních farmách a průběžné vyhodnocení jejich účinností. Návrh a podpora výstavby soustavy malých a středních vodních nádrží s protipovodňovou a protierozní funkcí a také zdroj vody pro období agronomického sucha. Prosazovat moderní postupy v oblasti zpracování půdy s důrazem na zvýšení její produkční schopnosti v rámci sezóny, současně také zlepšení mimoprodukčních funkcí. Podporovat rozvoj efektivně využitelných závlah. Uskutečnit komplexní systém pojištění rizik, který je zaměřený na zvýšení odolnosti sektoru zemědělství. Navrhnout dotační tituly, které zajistí udržitelnost navržených a uplatněných opatření v čase. Opatření musí splňovat motivační charakter pro změnu přístupu správce krajiny (vodohospodář, zemědělec, lesník). Vyvinout legislativní rámec a finanční zajištění efektivního systému kontroly, což zajišťuje zpětnou vazbu. Více rozvinout systém regionálních skupin, které jsou zaměřené na vzdělání, demonstraci, asistenci a omezení. (Trnka et al., 2015)

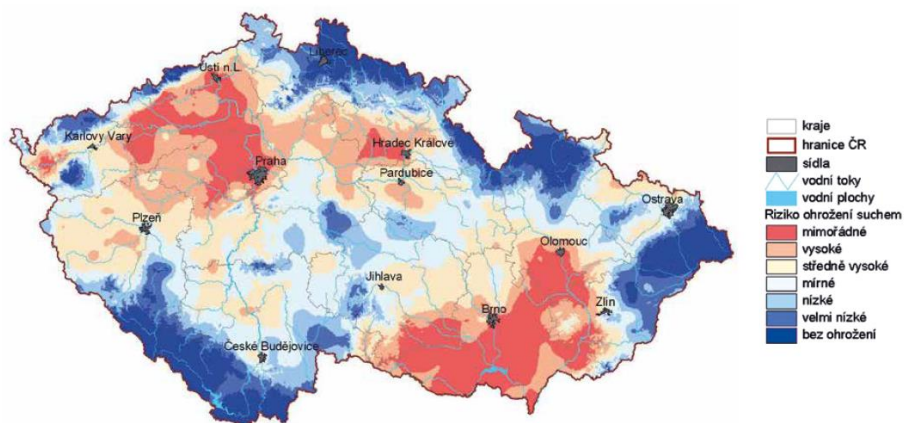
V průběhu dlouhodobých cílů, které jsou stanovené na více než dvacet let je cílem zabezpečit pro Českou republiku zásobování vodou výsledkem souhrnů existujících monitorovaných a prognostických nástrojů. Jsou jimi např. srážky, vodní bilance, sucho, erozní modely, modely potřeby vody, optimalizace zadržení a distribuce vody důsledkem již realizovaných technických, agrotechnických či legislativních změn a v neposlední řadě minimalizace zranitelnosti krajiny vůči extrémům. Dále minimalizace zranitelnosti zájmových skupin jako jsou vodohospodáři, farmáři nebo lesníci, řízení ekosystémů, kterými jsou např. vodní plochy, agrosystémy, lesy vůči dopadům hydrometeorologických extrémů a to především sucha a povodní. (Trnka et al., 2015)

Obr. 3: Oblasti ohrožené hydrologickým suchem (Vizina et al., 2015).

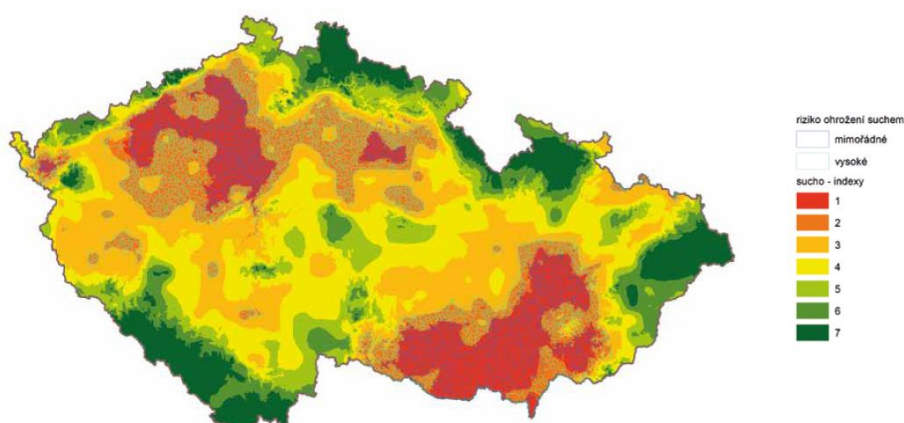


Na obrázcích 4 a 5 se nachází lokality s historicky nejčastějším výskytem sucha v České republice. Tyto lokality byly určeny na základě vyhodnocení dlouholetých údajů Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Na obrázcích je provedeno i určení na úrovni katastrů.

Obr. 4: Mapa zemědělského sucha vyhodnocena na základě situace v období 1691 – 2000 (ČHMÚ, 2015).

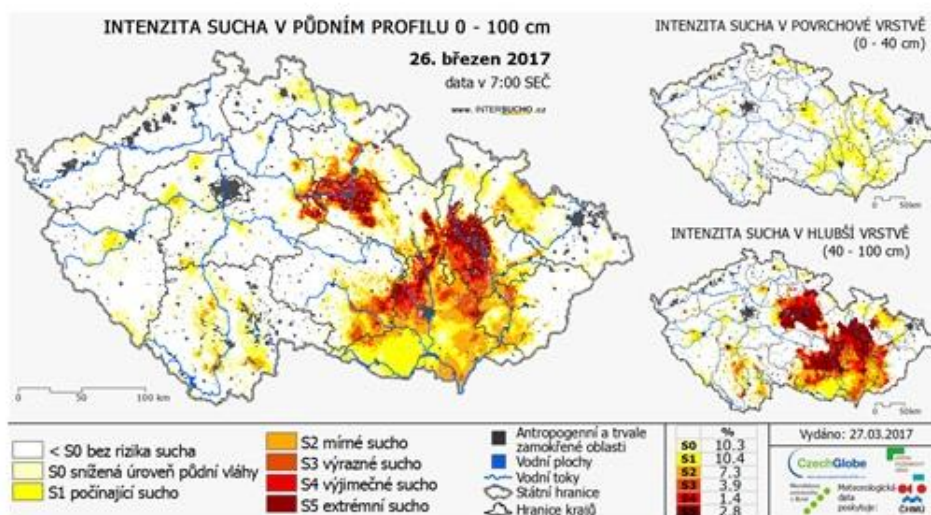


Obr. 5: Regiony a katastry ohrožené výskytem sucha z vyhodnocení situace z období 1961 – 2000 (ČHMÚ, 2015).

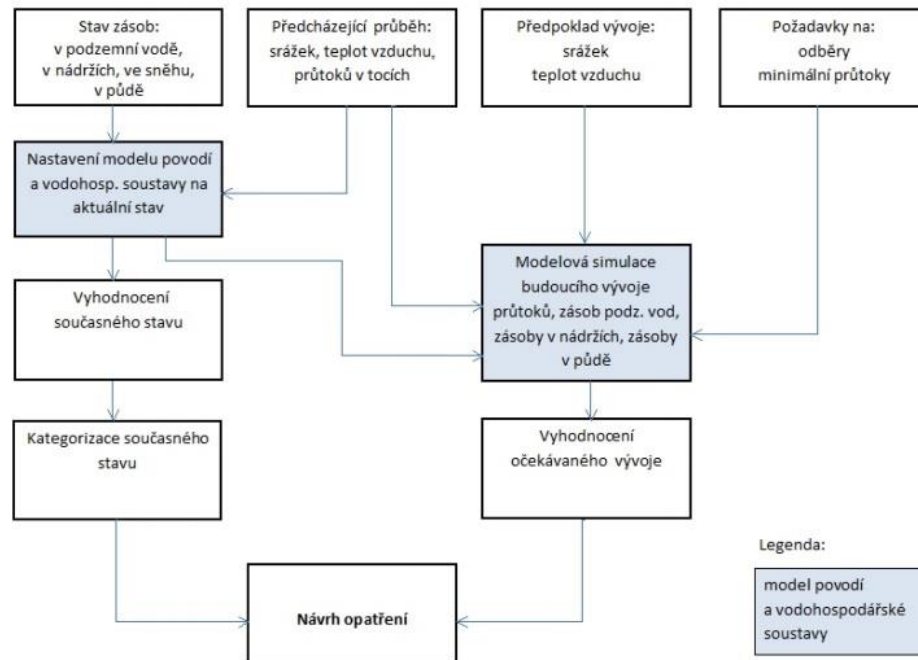


Z mapy intenzity sucha (obr. 6) lze vyčíst, že epizoda sucha nadále trvá v menší míře v Královéhradeckém kraji a Pardubickém kraji. Naopak v Jihomoravském kraji epizoda sucha mírně opadla, ovšem nadále pokračuje v Olomouckém kraji a v některých regionech Vysočiny, dále Zlínského, Moravskoslezského a Jihočeského kraje. Současná situace je na většině území dobrá. (ČHMÚ, 2017) Dále (obr. 7) vidíme schéma návrhu monitoringu sucha, jak lze suchu předcházet.

Obr. 6: Aktuální intenzita sucha v půdním profilu 0 – 100 cm v České republice (Intersucho, 2017).



Obr. 7: Schéma návrhu monitoringu sucha, jak suchu předcházet
(VÚV TGM, v.v.i., 2013).



4.9 Indikátory sucha v měřítku České republiky

Kapitola je zaměřena na indikátory sucha, které se používají na území České republiky. Účelem indikátorů je umožnit popis a mapování případů sucha ve vybraném území. Indikátory reprezentují vztah pozorovanými hodnotami s jejich dlouhodobým normálem.

Studie zabývající se suchem v českých zemích v letech 1090 – 2010 našeho letopočtu byla založena na výpočtu Standardizovaného srážkového evaporačního indexu pro období 1 měsíce (*SPEI-1*), Z-indexu a Palmerova indexu závažnosti sucha (*PDSI*). Během výzkumu byly použity různé dokumentární zdroje, které byly vyhodnocovány jednou měsíčně. Údaje o suchu před rokem 1500 jsou velice vzácné, avšak analýza se soustřeďuje zejména na suchá období po roce 1500. Index *PDSI* jako indikátor dlouhodobého sucha popsal ve vybraných územích dvě důležitá období sucha: 1863 – 1874 a 2004 – 2012. První sledované období bylo spojeno především s nedostatkem srážek, kdežto druhé období bylo spojováno s nedávným zvýšením teploty bez významných změn srážek. (Brázdil et al., 2015)

Následující výzkum představil metodiku pro analýzu sucha v určité oblasti, která umožňuje uživateli definovat suché oblasti vysokým prostorovým rozlišením. Studie je vhodná pro četnost a dobu trvání sucha mezi jednotlivými stanicemi ve zkoumané oblasti. Metodologie je založena na indexu SPI, PDSI a Palmerově Z-indexu. Obvykle se zjišťují klimatologické parametry a provádí se výpočet indexů pro každou lokalitu zvlášť, avšak tato studie byla založena na všech dostupných parametrech z meteorologických stanic ve studované oblasti. Tento postup byl použit v případové studii zahrnující celou Českou republiku s použitím 233 meteorologických stanic s měsíčními záznamy s průměrnými teplotami a srážkami za období od roku 1961 do roku 2000. Analýza časového vývoje ukázala, že na většině sledovaných stanic bylo sucho výraznější. Dále bylo zjištěno podstatné zvýšení teploty, zejména v roce 1990. (Trnka et al., 2008)

V dalším výzkumu byl použit Langův dešťový faktor, neboť hodnocení vláhových poměrů nevyjadřuje výskyt srážek zcela přesně. LDF byl v tomto výzkumu sestavený z měsíčních a ročních průměrných teplot vzduchu a srážkových úhrnů na celkem 267 stanicích v České republice v období od roku 1961 do roku 2010. Hodnoty faktoru byly na jednotlivých stanicích různé. Nejnižší hodnoty byly naměřeny na jižní Moravě a v Polabí. Naměřené hodnoty vykazují v průměru za celou Českou republiku během necelých padesáti let slabý pokles, avšak slabý pokles je překryt mnohem silnějším kolísáním hodnot z roku na rok. Největší pokles hodnot byl pozorován v severních horských oblastech České republiky. LDF, který byl spočítán pouze pro letní období, ukazuje výraznější rozdíly mezi nížinami (jihomoravskými) a horskými oblastmi. Během výzkumu byl pozorován velmi silný pokles na celé severní Moravě, obzvláště na horách, zatímco slabý pokles byl pozorován na ostatním území České republiky. (Střeščík et al., 2015)

4.10 Indikátory sucha v zahraničním měřítku

Kapitola je zaměřena na indikátory sucha v Čínské lidové republice, Spojených státech amerických a v Evropě.

4.10.1 Indikátory sucha v Číně

Mnoho částí světa bylo postiženo v několika posledních desetiletích častým a závažným suchem. Například vědci v Číně vytvořili studii, která je zaměřena na události sucha v Číně od roku 1982 až do roku 2012. Tato studie hodnotí vliv sucha na produktivitu vegetace za pomoci družicových dat. Studie využívala především Palmerův indexem závažnosti sucha (*PDSI*), kterým vědci hodnotili výskyt, prostorový rozsah, četnost a závažnost období sucha. Dále byl zkoumán dopad sucha na čínský suchozemský ekosystém pomocí Normalizovaného diferenčního vegetačního indexu (*NDVI*). Během zkoumaného období bylo zjištěno, že sucho v této oblasti nebylo natolik významné, jak vědci původně očekávali. Nicméně i přesto zde byla zjištěna vyšší suchá období než ve většině regionů v severní části Číny od konce roku 1990. Což znamená, že tyto regiony zasáhlo sucho častěji vzhledem k podstatně teplejšímu a suššímu podnebí. Negativní účinky na produktivitu dané vegetace byly částečně kompenzovány zvýšením růstu rostlin v důsledku faktorů, kterými jsou například nižší oblačnost, globální oteplování a antropogenní činnost (zalesňování a zlepšení zemědělských postupů). (Zhang et al., 2016)

Sucho je opakující se jev vyskytující se prakticky ve všech klimatických pásmech světa. Avšak i přesto se může jeho charakteristika v různých klimatických oblastech lišit. V další studii, která byla zaměřená na provincii Jilin v Čínské lidové republice, byly zkoumány údaje srážek z 28 srážkových stanic od roku 1958 do roku 2011. Údaje byly shromážděny pro výpočet Standardizovaného srážkového indexu (*SPI*), aby mohly být určeny vlastnosti sucha v dané provincii. Vybrané analýzy ukazují výrazné rozdíly měsíčního sucha ve zkoumaném regionu. Ve zkoumané oblasti je výskyt sucha ovlivněn především různými klimatickými faktory. Ovšem různé klimatické faktory mají různě velký stupeň vlivu v ostatních regionech. Trvalý vliv střednědobých a dlouhodobých klimatických jevů může vést v některých regionech ke změnám. (Zhanq et al., 2016)

Vzhledem ke zhoršení klimatu již v mnoha oblastech světa bylo nutné prozkoumat a vyhodnotit charakteristiky sucha v říčních systémech v oblasti severozápadní Číny, kde se nachází Hexi koridor (dlouhé úzké údolí v provincii Gansu). Změna klimatu v provincii Gansu vedla k prostorovým a časovým změnám teploty a srážek, které mohou vyústit až k hydrologickému suchu a nedostatku vody. Z toho důvodu bylo v této oblasti nutné prozkoumat a vyhodnotit charakteristiky sucha v říčních systémech. Hydrologické sucho v Hexi koridoru bylo identifikováno pomocí odtokového indexu sucha (*Streamflow drought index - SDI*) a průměrného ročního Standardizovaného srážkového indexu (*SPI 12*) od roku 1960 do roku 2013. Vývoj sucha byl získán pomocí Mann-Kendall testu, který statisticky posuzuje, zda je trend regulované veličiny v čase monotónní směrem nahoru či dolů a metodou vlnkové transformace, která přispívá k získání časově - frekvenčního popisu signálu. Výsledky výzkumu ukázaly, že průměrná roční hodnota SDI a SPI 12 v Hexi koridoru vykazovala rostoucí trend v průběhu sledovaného období. Studijní období bylo rozděleno do dvou segmentů, tedy před rokem 1990 a po roce 1990. Výzkum ukazuje, že se sucho vyskytovalo především v severní části, odkud se po roce 1990 posunulo do části východní. Výsledky analýzy poukázaly na to, že Shiyang povodí bude první oblastí, která si projde dalším suchým obdobím. Hlavními důvody suchých období v Hexi koridoru byly zvýšené západní větry, zvýšení srážek a v neposlední řadě ledovcový odtok. Nerovnoměrné prostorové variace srážek, teploty a odtok z ledovce vedly k rozdílu hydrologického sucha mezi pánví Shule, Heihe a povodí Shiyang. (Gao et Zhang, 2016)

4.10.2 Indikátory sucha v USA

Sucho bylo opakujícím se jevem také v Mexiku, které se nachází v Severní Americe. K posouzení a sledování vzniklo několik studií zaměřených na meteorologické sucho za použití Standardizovaného srážkového indexu (*SPI*). Hlavním cílem studie bylo zhodnocení indexu SPI v Mexiku v období od roku 1998 do roku 2013 s využitím družice satelitu 3B42, která je nazývána Mise k měření tropických srážek (*TRMM – Tropical Rainfall Measuring Mission*). Družice TRMM sbírá údaje vztahující se k tropickým srážkám a jiným atmosférickým jevům, které se používají v předpovědi počasí, zemědělských předpovědích a klimatologických studiích. Výsledky naznačují, že Mexiko zažilo nejsušší období mezi roky 2011 a 2012.

Bylo zjištěno, že Standardizovaný srážkový index je časově variabilní v různých klimatických oblastech. Vědci došli k závěru, že TRMM může sledovat meteorologické sucho od roku 1997 i navzdory tomu, že má relativně krátkou délku trvání dat. (De Jesus et al., 2016)

Dle portálu Space Daily (1998) je družice TRMM součástí programu Národního úřadu pro letectví a kosmonautiku (*National Aeronautics and Space Administration – NASA*), který je nazýván Věda o Zemi (*Earth Science Enterprise – ESE*). TRMM poskytuje informace veřejnosti prostřednictvím internetu během 24 – 48 hodin po jejich získání. Pomocí TRMM jsou vědci schopni analyzovat rozlišení oblačnosti, detekovat koncentrace ryb v oceánech, analyzovat produktivitu plodin, sledovat povrchové teploty, vizualizovat koncentraci ozonu v horních vrstvách atmosféry a mnoho dalšího.

Ve spojených státech byl představen trend prostorového rozlišení Palmerova indexu závažnosti sucha (*PDSI*) a potenciální evapotranspirace (*PET*) ve vybraných územích od roku 1979 až do roku 2013. Cílem studie bylo získat znalosti o současných trendech sucha a jeho klimatickém působení na základě analýzy prostorového seskupení. Výzkum byl zaměřen na čtyři oblasti, ve kterých se zvyšuje současný trend sucha – Středozápad USA, Louisiana, jihovýchod USA, západ USA a na další čtyři oblasti, ve kterých se současný trend sucha naopak snižuje – Nová Anglie, Pacific Northwest, Velké prerie a řeka Ohio. Hodnoty byly získány díky testu Mann-Kendall. V rámci těchto oblastí byly provedeny výzkumy potenciálních klimatických kontrol sucha. Jak vědci očekávali, ve zkoumaných oblastech došlo k velkým shodám. Současné trendy PET se shodovaly s trendy v mnoha zkoumaných regionech. V oblastech, kde došlo v poslední době k období sucha, byla průměrná teplota vzduchu obecně druhou nejdůležitější proměnnou k určování současného trendu sucha, ihned po srážkách. Výsledky studie ukazují poslední období sucha, která mají dopad na současné a nastávající následky klimatických změn. (Ficklin et al., 2015)

4.10.3 Indikátory sucha v Evropě

Ve střední Evropě je očekávána zvýšená závažnost a frekvence sucha důsledkem změny klimatu. Tento jev bude mít velký vliv na mnoho klíčových oblastí (zemědělství, lesnictví, výroba energie a cestovní ruch), také na vodní zdroje, biodiverzitu a krajinu jako takovou. Další studie je založena na mnoha indexech sucha, včetně Standardizovaného srážkového indexu (*SPI*), Palmerova indexu závažnosti sucha (*PDSI*), Palmerova *Z*-indexu a Standardizovaného srážkového a evapotranspiračního indexu (*SPET*). Časová řada indexů sucha byla vypočtena pro 411 klimatologických stanic po celém Rakousku (s výjimkou Alp), v České republice a na Slovensku. Až 45 % z hodnocených stanic bylo výrazně sušších v období od roku 1961 do roku 2014 s výjimkou oblastí na západě a na severu. Hlavním cílem tohoto výzkumu bylo zvýšení odpařovací schopnosti vznikající vysokými teplotami a globálním slunečním zářením s omezenými změnami srážkového úhrnu. Pozorované oblasti byly nejsušší v nižších nadmořských výškách v období od dubna do září. Naopak většina stanic nad 1000 metrů nadmořské výšky vykazovala významné vlhko jak v letním, tak v zimním období od října do března. (Trnka, 2016)

V následující studii byl během posledních desetiletí zaznamenán nárůst počtu extrémních přírodních událostí na celém světě. Sucho v jihovýchodní Evropě je jednou z extrémních událostí, které by mohly mít značně negativní dopad na sociálně - ekonomický sektor. Sucho v Bulharsku bylo studováno mnoha vědci, kteří shromáždili údaje z 20 meteorologických stanic umístěných v Jižním Bulharsku. Pro tuto studii byly využity především indexy *SPI* a *PDSI*. Studie byla realizována v rámci činností zaměřených na centrum řízení sucha v jihovýchodní Evropě. (Alexandrov, 2011)

5. Diskuse

Extrémní sucha se na Zemi vyskytují pravidelně již několik desetiletí. Dle klimatických scénářů lze epizody sucha předvídat i v budoucnu. Suchá období budou stále větší hrozbou pro naši planetu a přírodní zdroje pitné vody se budou i nadále ztrácet.

Vlivem nestálosti srážko - odtokového režimu se do budoucna očekává významný pokles povrchové i podzemní vody. Tento pokles je zapříčiněn probíhajícími změnami klimatu. Sucho se projevuje na stavu podzemních vod vždy s určitým zpožděním. Dle Českého hydrometeorologického ústavu zasáhlo sucho již mělké i hluboké zdroje podzemních vod, proto je nyní jejich hladina na některých místech níže než obvykle. Je nezbytné, aby si obyvatelé České republiky uvědomili, že pokud se nezmění jejich postoj k úbytku vody ve vrtech a studnách, budou zásoby vody nenávratně ohroženy. Domnívám se, že následky úbytku vody mohou vést k závažným krizovým situacím jako například nedostatek vody pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou či nedostatek vody pro zemědělskou výrobu. Pokud budou vyčerpány veškeré zdroje vody, nastane pro naši zemi závažný problém. Již nyní si lze povšimnout, že nedostatek kvalitní pitné vody je v některých oblastech na Zemi zásadním problémem, neboť jakkoli kontaminovaná voda způsobuje různá infekční onemocnění (například meningitida, dětská obrna, salmonela).

Výsledkem práce bylo popsat opatření proti suchu v České republice. Porovnání indexů používaných na našem území a naopak v Číně, Americe a v Evropě. Iniciativou pro zahájení činností k omezení následků sucha v České republice bylo sucho v roce 2014. Ministerstvo životního prostředí a ministerstvo zemědělství založilo „*Meziresortní komisi VODA – SUCHO*“, která vytvořila souhrn aktivit na zmírnění následků sucha. Dále před suchem v roce 2015 bylo zahájeno zpracování „*Generelu vodního hospodářství a krajiny České republiky*“. Dokument obsahuje celkový pohled na potřebu objemu vody, který je nutný k zajištění půdního nasycení vláhou, identifikaci území, která jsou ohrožena suchem a další. Informace o používaných metodách hodnocení sucha byly získány studiem vědeckých článků z dostupných elektronických databází Web of Knowledge, Scopus a z české i zahraniční odborné literatury. Ze shromážděných poznatků vyplývá, že se v České republice využívá nejčastěji Palmerův index závažnosti sucha (*PDSI*),

dále Standardizovaný srážkový index (*SPI*), Palmerův Z-index a v neposlední řadě Langův dešťový faktor (*LDF*). Výsledky studií ukázaly, že i vědci v Číně využívají nejvíce indexy PDSI, dále odtokový index sucha (*SDI*) a *SPI*. Dle výzkumů je i v Americe nejčastěji využíván Palmerův index závažnosti sucha a poté Standardizovaný srážkový index. Na závěr je možno konstatovat, že i v Evropě je obvykle využíván Palmerův index závažnosti sucha a Standardizovaný srážkový index.

Přínosem této práce bylo zjištění, že mezi nejčastěji využívané metody hodnocení sucha ve světě patří v první řadě Palmerův index závažnosti sucha a Standardizovaný srážkový index. PDSI je často celosvětově aplikován, neboť představuje zcela jiný přístup k hodnocení sucha. Výpočet této metody vychází z vodní bilance sledovaného území. Avšak *SPI* je vyjádřen jako normovaná hodnota úhrnu srážek za dané období. (Brázdil et al., 2015; Brázdil et Kirchner, 2007)

Tabulka 4: Vyhodnocení nejvyužívanějších metod ve zkoumaných oblastech (Autor, 2017).

Kategorie	Česká republika	Čína	Evropa	USA
Nejvyužívanější metoda hodnocení sucha	PDSI	PDSI	PDSI	PDSI
Další využívané metody hodnocení sucha	SPI, Palmerův Z- index, LDF	SPI, SDI	SPI, Palmerův Z-index	SPI, PET

6. Závěr

Práce se zabývala hodnocením sucha pomocí indexů. Sucho hodnotíme dle jeho intenzity a prostorového i časového hlediska. Pro vymezení sucha se používají indexy neboli hodnotové ukazatele, metody či indikátory. Monitoring sucha odhaduje intenzitu sucha a jeho dopady na krajinu, kde je cílovou oblastí především vodní hospodářství, zemědělství a lesnictví. Pro monitoring sucha se využívají například satelitní výstupy, prognóza sucha a stanovení půdní vlhkosti. Dále jsou pro výpočty sucha využívány nejen srážky, ale také evapotranspirace, infiltrace a mnoho dalších.

Nedílnou součástí práce byl i stručný popis nejpoužívanějších metod hodnocení sucha: Standardizovaný srážkový index (*SPI*), Palmerův index závažnosti sucha (*PDSI*), Metoda efektivních srážek (*EP*), Velikost sucha (*DMPI*) a Langův dešťový faktor (*LDF*). *SPI* je využíván jako indikátor pro sucho meteorologické. Prostřednictvím této metody můžeme monitorovat výskyt krátkodobého sucha (v řádu týdnů), střednědobého sucha (od 3 měsíců) a dlouhodobého sucha (12 měsíců a déle). *PDSI* je jedním z nejrozšířenějších indexů sucha, především ve Spojených státech Amerických. *PDSI* je považován za nejlepší možné řešení monitoringu sucha, které kombinuje vliv srážek a teploty. *EP* je poměrně nová metoda hodnocení sucha, při které záleží na kumulaci předchozích srážek k vybranému datu, kdy kumulují vážené srážky z roku již uplynulého. Z této metody vychází celá řada dalších indexů, kterými stanovujeme například délku a intenzitu sucha. *DMPI* udává relativní velikost sucha. *LDF* je jedním z nejstarších indikátorů. Tento indikátor hodnotí epizodu sucha jako periodu nevyrovnanosti vodní bilance území a také jako období nedostatku srážek. *LDF* byl použit k výpočtu dat vegetačního období k charakteristice klimatického sucha v jednotlivých letech.

Velká část světa bojuje se suchem. Například v České republice na základě negativních zkušeností se suchem v posledních letech vznikají programy na úrovni Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zemědělství, jejichž cílem je minimalizovat vliv sucha a to jak na zásoby podzemní, tak povrchové vody. Do budoucna je nutno vytvořit takové podmínky, které budou především zpomalovat odtok vody z krajiny a v krajině ji zadržovat. Zásoby povrchové vody v krajině mají samozřejmě vliv i na zásoby vody podzemní. Pokud se podaří udržet vodu v krajině delší dobu, nastává větší příležitost ke vsaku do podzemních vod a tím ke zvyšování

jejich přirozené obnovy. Zároveň je nutno vytvořit taková opatření, která zajistí snížení spotřeby vody. Zásoby podzemní vody jsou totiž stále více čerpány vlivem zvýšené spotřeby, a to jak z důvodu nárůstu množství obyvatel, tak z důvodu zvyšování jejich životního standardu. Podzemní vody jsou nejdůležitějším zdrojem pitné vody pro obyvatelstvo. Je proto nutné co nejdříve zastavit zvyšování deficitu mezi jejich spotřebou a přirozenou obnovou.

7. Seznam literatury

7.1 Odborné publikace

- Alexandrov V., Radeva S., Koleva E., 2011: *Utilization of standardised precipitation index, palmer drought severity index and reconnaissance drought index as drought indicators in south Bulgaria. 11 th international multidisciplinary scientific geoconference (SGEM 2011)*, 2. 969 - 976.
- Alley M. W., 1984: *The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions*. Journal Of Climate and Applied Meteorology, 23. 1100 - 1109.
- Amerman C. R., 1983: *Infiltration measurement, in Advances in infiltration, Proceedings of the Natinal Conference on Advances in Infiltration*, Chicago, Illinois. 1 - 385.
- Anonym, 1998: *TRMM Data live to the net*, Sterling Va (online) [cit. 2016. 12. 20], dostupné z <http://www.spacedaily.com/news/trms-98a.html>.
- Beneš J., Elleder L., Vlnas R., Havlíček V., Tremel P., Kašpárek L., Hanel M., Boháč M., Kourková H., Kukla P., Kulasová B., Poórová J., Blaškovičová L., Škoda P., Šimor W., Pechková J., Soukalová E., Muzikář R., Nietscheová J., Adámková M., Funfrlová P., Saňáková J., Šeda S., Vrbová K., Látal M., Novák J., Mrkvičková M., Balvín P. et al., 2013: *Sucho a jak mu čelit: sborník abstraktů, odborný seminář, 15. května 2013, Český svaz vědeckotechnických společností, Praha (online) [cit. 2016. 12. 20] dostupné z http://voda.chmi.cz/sucho_2013/Sucho_15_5_2013_sbornik.pdf*.
- Blauhut V., Stahl K., Stagge J. H., Tallaksen L. M., Stefano L. D., Vogt J., 2016: *Estimating drought risk across Europe from reported drought impacts, drought indices, and vulnerability factors*. Hydrology and Earth System Sciences, 7. 2779 - 2800.
- Brázdil R., Kirchner K., 2007: *Vybrané přírodní extrémny a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku: Selected natural extremes and their impacts in Moravia and Silesia*. Masarykova univerzita, Brno. 432.
- 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.

- Brazdil R., Trnka M., Miksovsky J., Reznickova L., Dobrovolny P., 2015: *Spring- summer droughts in the Czech Land in 1805-2012 and their forcings*. International Journal of Climatology, 7. 1405 – 1421.
- Brušková V., 2007: *Hodnotenie meteorologického sucha v povodí Horného toku Torysy*. Podzemná voda, XII/2. 7.
- Byun H. R., Wilhite D. A., 1996: *Daily quantification of drought severity and duration*. Journal of Climate. 1181 - 1201.
- Byun H. R., Wilhite D. A., 1999: *Objective Quantification of Drought Severity and Duration*. Journal of Climate. 2747 – 2756.
- Černý M., Čekal R., Kulasová B., Černá L., Pavlíková D., Černý M., Vejvodová J., Freisleben J., Halířová J., Kodeš V., Kohút L., Leontovyčová D., Stierand P., Svátková M., Šercl P., Brzáková J., Bercha Š., Kukla P., Lejska S., Kněžínek K., Jiráček J., 2015: *Hydrologická ročenka České republiky 2014*. Český hydrometeorologický ústav, Praha. 131.
- ČHMÚ, 2015: *Český hydrometeorologický ústav, Praha* (online) [cit. 2016. 12. 28.] dostupné z <http://portal.chmi.cz/>.
- De Blij H. J., Muller P., Williams R., 2004: *Physical geography*. New York: Oxford university Press. 702.
- Dingman S. L., 2008: *Physical Hydrology*. Prentice Hall. 646.
- De Jesus A., Brena-Naranjo J. A., Pedrozo-Acuna A., Yamanaka V. H. A., 2016: *The Use of TRMM 3B42 Product for Drought Monitoring in Mexico*. Water, 325. 1 - 18.
- Gao L., Zhang Y., 2016: *Spatio-temporal variation of hydrological drought under climate change during the period 1960 - 2013 in the Hexi Corridor, China*. Journal of Arid Land, 2. 157 - 171.
- Ficklin D. L., Maxwell J. T., Letsinger S. L., Gholizadeh H., 2015: *A climatic deconstruction of recent drought trends in the United States*. Environmental research letters, 10. 1 - 10.

- Hanel M., Vizina A., Máca P., Pavlásek J., 2012: *A multi-model assessment of climate change impact on hydrological regime in the Czech Republic*. Journal Hydrol. Hydromech, 60. 152 – 161.
- Hanewinkel M., Cullmann D. A., Schelhaas M. J., Nabuurs G. J., Zimmermann N. E., 2013: *Climate change may cause severe loss in the economic value of European forest land*. Nature Climate Change, 3. 203 - 207.
- Havlíček V., Kašpárek L., Treml P., Vlnas R., 2013: *Návrh systému monitoringu a hodnocení hydrologického sucha*. In: Sucho a jak mu čelit: sborník abstraktů, Praha. 10 – 14.
- Horton R. E., 1933: *The role of infiltration in the hydrologic cycle*. Eos, Transaction American Geophysical Union 14. 446 – 460.
- Huang S., Dahalb D., Youngc C., Chanderb G., Liud S., 2011: *Integration of Palmer Drought Severity Index and remote sensing data to simulate wetland water surface from 1910 to 2009 in Cottonwood Lake area, North Dakota*. Remote Sensing of Environment, 115. 3377 – 3389.
- Intersucho, 2017: *Ústav výzkumu globální změny AV ČR, Brno (online)* [cit. 2016. 28. 12.] dostupné z <http://www.intersucho.cz/cz/>.
- Jůva K., 1959: *Závlaha půdy*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha. 597.
- Keyantash J., Dracup J. A., 2002: *A review of twentieth-century drought indices used in the United States*. Bulletin of the Americal Meteorological Society, 83/8. 1149 – 1165.
- Krečmer V., Smolen F., Hensel J., Kešner B., 1980: *Bioklimatologický slovník terminologický a aplikativní*. Nakladatelství Academia, Praha. 242.
- Kutílek M., 1978: *Vodohospodářská pedologie*. SNTL Bratislava. 296.
- Litschmann T., Klementová E., Rožnovský J., 2002: *Vyhodnocení period sucha v časových řadách pražského Klementina a Hurbanova pomocí PDSI*. Česká bioklimatologická konference, Lednice na Moravě. 280 – 289.
- Litschmann T., Rožnovský J., 2003: *Mikroklima porostů*. Mezinárodní seminář, sborník abstraktů, 26. března 2003, Brno. Nakladatelství Českého hydrometeorologického ústavu, Praha. 29.

- Litschmann T., Rožnovský J., 2001: *Palmerův index závažnosti sucha a jeho aplikace pro lokalitu Žabčice. Sucho, hodnocení a predikce*. Pracovní seminář, 19. listopadu 2001 Brno. 1 – 9.
- Lloyd - Hughes B., Saunders A. M., 2002: *A drought climatology for Europe*. International Journal of Climatology, 22. 1571 - 1592.
- Materna, J., Daniel, M., Metelka, L., Harčarik, J. 2008: *The vertical distribution, density and the development of the tick Ixodes ricinus in mountain areas influenced by climate changes (The Krkonose Mts., Czech Republic)*. International Journal of Medical Microbioly, 298. 25 – 37.
- Mishra A. K., Singh V. P., 2010: *A review of drought concepts*. Journal of hydrology, 391. 202 – 216.
- NDMC, 2005: National drought mitigation center, at the University of Nebraska – Lincoln (online) [cit. 2016. 28. 12.] dostupné z <http://drought.unl.edu/Home.aspx>.
- Němec J., Kopp J., 2009: *Vodstvo a podnebí v České republice v souvislosti se změnou klimatu*. Pro Ministerstvo zemědělství ČR vydal Consult, Praha. 255.
- Novický O., 2011: *Návrh koncepce řešení krizové situace vyvolané výskytem sucha a nedostatkem vody na území ČR*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha. 84.
- Palmer W. C., 1965: *Meteorological drought*. Research Paper 45. U. S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington D. C. 58.
- Pech P., 2010: *Speciální případy hydrauliky podzemních vod*. Česká zemědělská univerzita, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha. 104.
- Peláková M., Boersema M., 2006: *Possibilities to reduce the climate change impact on the water regime in the Czech Republic by construction of new reservoirs*. Climate Change and Water Regime in the Czech Republic, Sborník prací Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka, v. v. i., Praha. 80.

- Potop V., Türkott L., Kožnarová V., 2008: Aplikace GIS - jako nástroj pro prostorové distribuce indikátoru sucha Si na území České republiky. (online) [cit. 2016. 11. 24], dostupné z <http://www.cbks.cz/sbornik08b/Potop.pdf>.
- Punčochář P., Rolečková E., Fousová E., 2015: Sucho – vážná hrozba pro Českou republiku. Odbor státní správy ve vodním hospodářství a správy povodí, Praha 2015. Ministerstvo zemědělství. 23.
- Pretel J., Metelka L., Novický O., Rožnovský J., Janouš D., 2011: Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. Technické shrnutí výsledků projektu 2007 - 2011. Český hydrometeorologický ústav, Praha. 67.
- Rožnovský J., Litschmann T., 2008: *Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině*. Sborník příspěvků z mezinárodní konference 9. – 11. září 2008, Mikulov. Český hydrometeorologický ústav, Praha. 10.
- Rožnovský J., Litschmann T., 2002: *Metoda hodnocení sucha*. Česko-slovenská bioklimatologická konference, Lednice na Moravě 2. – 4. září 2002. 32 – 44.
- Rožnovský J., Litschmann T., 2004: *Bioklimatologické hodnocení sucha v suchých obdobích na území ČR v letech 1876 – 2003*. Seminář „Extrémy počasí a podnebí“, Brno, 11. března 2004. 56 – 57.
- Rožnovský J. et al., 2012: *Sucho na území ČR a jeho dopady*. Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno (online) [cit. 2016. 11. 24], dostupné z http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/katastrofy/26zasedani/Roznovsky_sucho_230412.pdf.
- Semenza J. C., Menne B., 2009: *Climate change and infectious diseases in Europe*. The Lancet Infectious Diseases, 6. 365 – 375.
- Smakhtin V. U., 1999: *Low flow hydrology: A review*. Journal of Hydrology, 240. 147 - 186.
- Sobišek B., 1993: Meteorologický slovník výkladový & terminologický. Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha. 310.

- Střešník J., Rožnovský J., Štěpánek P., Zahradníček P., 2015: *Změna hodnot dešťového faktoru na síti stanic v ČR v období 1961-2010. Závlahy a jejich perspektiva*. Sborník příspěvků z vědecké konference, Praha: Český hydrometeorologický ústav. 475-487.

- Šercl P., 2013: *Oběh vody*. Český hydrometeorologický ústav (online) [cit. 2016. 11. 25] dostupné z <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleczeh.html>.

- Thompson N., Barrie I. A., Ayles M., 1981: *The Meteorological Office rainfall and evaporation calculation system: MORECS*. Hydrological Memorandum, 45. 71.

- Trnka M., Balek J., Stepanek P., Zahradnicek P., Mozny M., Eitzinger J., Zalud Z., Formayer H., Turna M., Nejedlik P., Semerádova D., Hlavinka P., Brazdil R., 2016: *Drought trends over part of Central Europe between 1961 and 2014*. Climate Research, 2-3. 143 - 160.

- Trnka M., Drbal K., Dumbrovský M., Novotný I., Žalud Z., Vizina A. et al., 2015: *Generel vodního hospodářství krajiny České republiky. Etapa I*. Ministerstvo zemědělství, Praha. 1 – 149.

- Trnka M., Dubrovský M., Semerádová D., Hayes M., Žalud Z., Wilhite D., 2008: *Developing a regional drought climatology for the Czech republic*. International Journal of Climatology, 6. 863 - 883.

- Trnka P., 2015: *Možné důsledky déletrvajících sucha v naší krajině a ve světě* (online) [cit. 2016. 11. 25] dostupné z http://user.mendelu.cz/xvlcek1/rrc/sucho/TRNKKA_3.pdf.

- Trembl P., 2010: *Nejvýznamnější období sucha v letech 1956-2009 na území České republiky*. VTEI: Vodohospodářské technicko - ekonomické informace, Praha, 52/II. 9.

- Van Loon A. F., 2015: *Hydrological drought explained*, Wiley Interdisciplinary Reviews. Water, 2/4. 359 - 392.

- Vlnas R., Pavlíková D., Chaloušová J., Novotná E., Rieder M., Freisleben J., Svobodová D., 2004: *Hydrologická bilance množství a jakosti vody České republiky*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, úsek hydrologie. 1 - 54.

- Vlnas R., 2010: Časová a plošná variabilita hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území České republiky. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. 5.
- VUV TGM, v. v. i., 2013: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha (online) [cit. 2016. 27. 12.] dostupné z <http://www.vuv.cz/index.php/cz/>.
- Vyhláška č. 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci.
- Wilhite D. A., Glantz M. H., 1985: *Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions*. Water International. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska – Lincoln, 2005 (online) [cit. 2016. 11. 18], dostupné z <http://drought.unl.edu/DroughtBasics/TypesofDrought.aspx>.
- WMO (World Meteorological Organization), 1974: International Glossary of Hydrology, WMO, Geneva.
- Zákon č. 254/ 2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (Vodní zákon).
- Zhang Q., Lu W., Chen S., Liang X., 2016: *Using multifractal and wavelet analyses to determine drought characteristics: a case study of Jilin province, China*. Theoretical and applied climatology, 3 - 4. 829 - 840.
- Zhang L., Xiao J., Zhou Y., Zheng Y., Li J., Xiao H., 2016: *Drought events and their effects on vegetation productivity in China*. Ecosphere, 7 (12). 1 - 20.

8. Přílohy

8.1 Seznam tabulek, obrázků

Tabulka 1: Kategorie sucha podle Standardizovaného srážkového indexu (*SPI*), Palmerova indexu sucha (*PDSI*) a Palmerova Z-indexu (Brázdil R., Kirchner K., 2007).

Tabulka 2: Indexy odvozené z efektivních srážek EP (Novický, 2011; Blinka, 2004).

Tabulka 3: Pravděpodobné změny srážkové činnosti (Brázdil R., Kirchner K., 2007).

Tabulka 4: Vyhodnocení nejvyužívanějších metod ve zkoumaných oblastech. (Autor, 2017)

Obrázek 1: Vzájemný vztah mezi čtyřmi základními typy sucha (NDMC, 2005).

Obrázek 2: Typy zvodnělých vrstev v půdním profilu (Šercl, 2013).

Obrázek 3: Oblasti ohrožené hydrologickým suchem (Vizina A., Hanel M., 2015).

Obrázek 4: Mapa zemědělského sucha vyhodnocena na základě situace v období 1691 – 2000 (ČHMÚ, 2015).

Obrázek 5: Regiony a katastry ohrožené výskytem sucha z vyhodnocení situace z období 1961 – 2000 (ČHMÚ, 2015).

Obrázek 6: Aktuální intenzita sucha v půdním profilu 0 – 100 cm v České republice (Intersucho, 2017).

Obrázek 7: Schéma návrhu monitoringu sucha, jak suchu předcházet (Výzkumný ústav, T. G. Masaryka, v. v. i., 2013).

9. Datový nosič – CD/DVD