

Univerzita Karlova

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Biologie se zaměřením na vzdělávání a Geografie se zaměřením na vzdělávání



Hana Klečková

Monitoring a výstrahy na hydrologické sucho ve světě

Monitoring and warnings of hydrological drought in the world

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D.

Praha 2022

Zadání bakalářské práce

Název práce

Monitoring a výstrahy na hydrologické sucho ve světě

Monitoring and warnings of hydrological drought in the world

Cíle práce

Bakalářská práce si stanovuje následující cíle:

1. typologie sucha se zaměřením na hydrologické, pohled český a v různých regionech světa
2. výskyt hydrologického sucha v česku a ve světě, stručný přehled, zaměření na současnost
3. Existují ve světě výstražné systémy na hydrologické sucho?

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Práce představuje rešerši o monitoringu a výstrahy na hydrologické sucho, jeho příčinách a dopadech. Pomocí dostupné literatury je charakterizováno sucho se zaměřením na hydrologické sucho v Česku a v různých regionech světa. Jaké výstražné systémy na hydrologické sucho se ve světě používají.

Datum zadání: 31. 10. 2021

Jméno studenta: Hana Klečková

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 30. 6. 2022

.....
Hana Klečková

Poděkování

Rád bych tímto poděkovala vedoucímu práce RNDr. Miroslavu Šobrovi, PhD. za věnovaný čas, trpělivost při vedení mé práce a cenné rady při psaní práce. Poděkování patří také mé rodině, příteli a přátelům za podporu při psaní práce.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá definicí hydrologického sucha a definicí sucha obecně. Úvodem jsou nastíněny hlavní charakteristiky meteorologického, hydrologického, agronomického a socioekonomického sucha a jejich rozdíly. V práci je následně poukázáno na příčiny a dopady sucha v různých regionech světa z ekonomického, environmentálního i sociálního hlediska. Práce také shrnuje nedávná hydrologická sucha v Česku, kterými byly poslední významné suché roky 2015 a 2018. Práce se věnuje i suchu ve vybraných regionech světa, ve kterých popisuje sucho především v nejpostiženějších oblastech každého kontinentu. Velká část je věnovaná monitoringu a výstražným systémům hydrologického sucha v Česku a ve světě. Jsou zde vysvětleny různé používané modely pro monitoring sucha, mezi které patří HBV, VIC, LISFLOOD, Bilan, RAPID a mHM model, využívající různé indexy – TSDI, DSCI, ODIB nebo CDI index.

Klíčová slova: hydrologické sucho, monitoring sucha, výstražné služby

Abstract

This bachelor thesis analyzes the definition of hydrological drought and the definition of general drought. The introduction defines the main characteristics of meteorological, hydrological, agronomic and socio-economic droughts and their differences. Furthermore, it points out the causes and impacts of drought in different regions of the world from an economic, environmental and social view. The thesis also summarizes the recent hydrological drought in Czechia, which were the significant dry years 2015 and 2018. Additionally, the thesis deals with drought in selected regions in the world and describes the most affected areas with drought and water scarcity. Large part is devoted to monitoring and warning systems of hydrological drought in the Czech Republic and in the world. Finally, the thesis explains the differences between each hydrological model including HBV, VIC, LISFLOOD, Bilan, RAPID and mHM and describes different indexes like TSDI, DSCI, ODIB or CDI index.

Keywords: hydrological drought, monitoring of drought, warning services

Obsah

1	Úvod.....	9
1.1	Cíle práce	9
2	Sucho a jeho definice	10
2.1	Typy sucha	11
2.1.1	Meteorologické sucho.....	11
2.1.2	Agronomické sucho	11
2.1.3	Hydrologické sucho	12
2.1.4	Socioekonomické sucho	12
2.2	Příčiny sucha	13
2.3	Dopady sucha	13
2.3.1	Ekonomické dopady sucha	13
2.3.2	Enviromentální dopady sucha.....	14
2.3.3	Sociální dopady sucha	14
3	Sucho v Česku.....	16
3.1	Historie sucha v Česku.....	16
3.2	Sucho v roce 2015.....	17
3.3	Sucho v roce 2018.....	19
3.4	Současnost.....	21
3.4.1	Rok 2021.....	21
3.4.2	První polovina roku 2022	22
4	Sucho ve světě.....	24
4.1	USA.....	25
4.2	Etiopie	26
4.3	Poloostrov Zadní Indie.....	27
4.4	Argentina.....	28
4.5	Austrálie	29

5	Charakteristika hydrologických modelů a indexů sucha	30
5.1	Hydrologické modely.....	30
5.1.1	Variable Ifiltration Capacity model (VIC)	30
5.1.2	HBV model.....	31
5.1.3	RAPID river routing model	31
5.1.4	LISFLOOD model.....	31
5.1.5	Bilan model.....	32
5.1.6	Mesohydrological Model (mHM).....	32
5.2	Indexy sucha.....	33
5.2.1	TSDI	33
5.2.2	DSCI	34
5.2.3	Objective Drought Indicator Blends.....	34
5.2.4	CDI	35
6	Výstražné systémy před hydrologickým suchem.....	36
6.1	Severní Amerika.....	36
6.2	Jižní Amerika	38
6.3	Afrika	39
6.4	Asie	40
6.4.1	Thajsko, Vietnam, Laos.....	40
6.4.2	Indie	41
6.4.3	Čína.....	42
6.5	Evropa	43
6.5.1	Česko	43
6.5.2	Slovensko.....	44
6.5.3	Německo.....	45
6.5.4	Španělsko.....	46
7	Diskuse.....	48

8	Závěr	51
9	Použitá literatura a zdroje.....	52
9.1	Seznam použité literatury.....	52
9.2	Internetové zdroje.....	54
10	Seznam obrázků	58

1 Úvod

Sucho je opakující se přírodní jev, který má pozvolný začátek, plošný rozsah, a hlavně dlouhodobé trvání. Sucho různými způsoby může ovlivňovat různé části hydrologického cyklu. Na rozdíl od jiných přírodních nebezpečí, jako jsou hurikány, záplavy a tornáda, se sucha vyvíjejí postupně po dlouhou dobu. Postupná povaha sucha nám může bránit v rozpoznání skutečných dopadů sucha, což často snižuje naléhavost, která by jinak vyvolala včasnou a komplexní reakci. Monitorovat a předpovídat sucho je důležité k včasnému rozpoznání všech rizik spojené se suchem. Včasné rozpoznání nám umožní lépe reagovat na dané situace a minimalizovat tak rizika ekonomických, sociálních a environmentálních dopadů sucha (NIDIS 2022a).

V první části se práce věnuje definici sucha obecně, jaké je rozdělení sucha a jaké jsou jeho příčiny a jeho dopady. Ve druhé části se práce věnuje vývoji sledování sucha v Česku a blíže popisuje nedávné suché roky 2015 a 2018, a dále se zabývá současným vývojem sucha v Česku. V další kapitole je popisována problematika sucha ve světě, jaké části světa byly za poslední dobu nejvíce postižené suchem a kapitola obsahuje i některá nedávná hydrologická sucha ve vybraných regionech. Ve třetí části se práce věnuje hlavně monitoringu sucha a výstražným systémům na hydrologické sucho v různých regionech světa. Poslední kapitoly jsou věnované diskuzi nad rozdílnými definicemi sucha a mezi rozdílnými přístupy k monitoringu sucha a prevenci před suchem.

1.1 Cíle práce

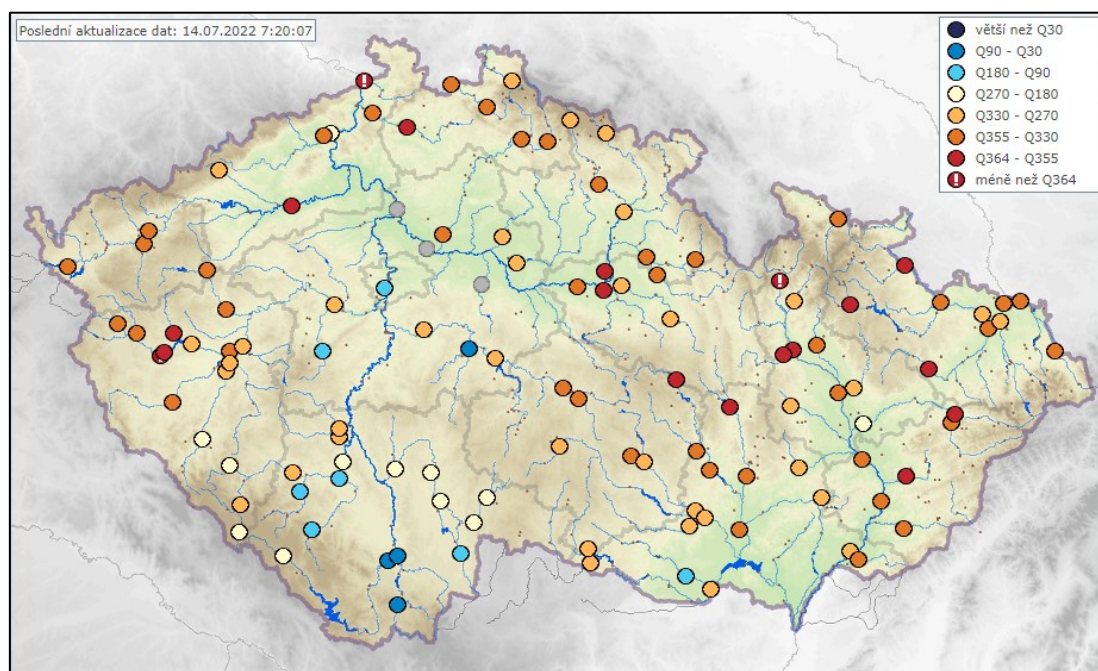
Bakalářská práce si stanovuje následující cíle:

- I. Typologie sucha se zaměřením na hydrologické, český pohled na sucho a sucho v různých regionech světa;
- II. Výskyt hydrologického sucha v Česku a ve světě, stručný přehled, zaměření na současnost;
- III. Existují ve světě výstražné systémy na hydrologické sucho?

2 Sucho a jeho definice

Všeobecná definice sucha je velmi problematická, protože příčiny a dopady sucha se na každém místě mohou lišit (Bachmair et al. 2016). Mnohdy závisí, jaké cíle si studie nastaví a podle toho je vhodné volit nejlepší definici. Obecně se ale dá říci, že sucho představuje aktuální pokles dostupnosti vodních zdrojů. Sucho je přírodní jev, který je v posledních letech velmi podrobně zkoumán, protože se jeho výskyt nejen u nás značně zvýšil. Pro sucho je nejcharakterističtější jeho pozvolný začátek, plošný rozsah, a hlavně dlouhodobé trvání. Sucho různými způsoby může ovlivňovat různé části hydrologického cyklu, přírodní ekosystémy a lidskou společnost. Jaké dopady mohou mít další sucha je velmi obtížně předpovědět. Monitorování sucha a včasné varování mohou značně snížit zranitelnost společnosti, např. monitorováním se lépe odhaduje potenciálně se blížící sucho a tím je více času se na sucho připravit, nebo plánování reakcí na sucho a vyhýbáním se potenciálním krizovým situacím lze zmírnit dopady daného sucha (Trnka 2010).

Hydrologické sucho se v Česku vyhodnocuje pomocí denních průtoků a hladinou podzemní vody. Sucho v pozemních vodách nastává, pokud klesne průtok pod kritickou mez, jsou to hodnoty od Q_{330d} až Q_{365d} . Hodnota Q_{355d} je nejčastější hranicí pro hydrologické sucho a je to hodnota 355denního průtoku. V podstatě se jedná o průtok, který nastává 355. den v roce v řadě průtoků za celý rok v dlouhodobém průměru (obr. 1). V podzemních vodách nastává sucho, pokud klesne hladina pod 85 % měsíčního kvantilu dlouhodobého průměru (ČHMÚ 2022b).



Obrázek 1: Mapa s aktuální hydrologickou situací v ČR (ČHMÚ 2022c)

2.1 Typy sucha

Díky občas zcela odlišným definicím sucha nejsou přesně stanovené typy sucha (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Vědecká obec však často klasifikuje sucho na základě povahy nedostatku vody, a to do čtyř základních typů – meteorologické, agronomické, hydrologické a socioekonomické (Wilhite, Glantz 1985). Občas se ještě používá tzv. ekologické sucho, které se zabývá tím, jak sucho ovlivňuje různé ekologické systémy. Tyto typy však na sebe nenavazují z hlediska intenzity sucha, resp. nemají vymezené přesné hranice, ale naopak se vzájemně překrývají anebo působí zcela samostatně.

2.1.1 Meteorologické sucho

Meteorologické sucho je často definováno nedostatkem atmosférických srážek v aktuálním období oproti dlouhodobému srážkovému průměru. Základním předpokladem identifikace možného meteorologického sucha je analýza hodnot vybraných klimatických prvků – hlavně evapotranspirace dosažené v aktuálním období a v dlouhodobém průměru (ČHMÚ 2022a). Definice meteorologického sucha se stanovuje pomocí meteorologických indexů v závislosti na meteorologických veličinách (např. množství srážek, délka slunečního svitu, rychlost větru apod.). Nejpoužívanější meteorologické indexy jsou např. Standardní srážkový index (SPI), Palmerův index intenzity sucha (PDSI), standardizovaný srážkový evapotranspirační index (SPEI), který zohledňuje bilanci mezi srážkovým úhrnem a evapotranspirací a je v Česku často využíván (HAMR 2019). Naopak ve světě je velmi často používán SPI index, který jen na základě dlouhodobých dat může fungovat na libovolném místě. SPI index je definovaná hodnota normovaného srážkového úhrnu za dané období. Jeho hlavní nevýhodou je, že vstupní data jsou pouze srážky (WMO 2012). S více vstupními daty pracuje výpočet PDSI indexu, který vychází z vodní bilance daného území a zahrnuje úhrn srážek, aktuální obsah vody v půdě a potencionální evapotranspiraci. PDSI index vychází i z hodnot povrchového odtoku, ale pouze v okamžiku, kdy je půda nasycená na maximální hodnotu retenční kapacity a zároveň je pokryt výdej vody evapotranspirací. Díky více vstupním datům je PDSI index vhodnějším indikátorem dlouhodobého sucha (Brázdil, Trnka a kol. 2015).

2.1.2 Agronomické sucho

Agronomické sucho vzniká hlavně v důsledku meteorologického sucha. Je způsobeno nedostatkem vody v kořenové vrstvě půdy, což zapříčiňuje nedostatek půdní vláhy pro rostliny a jejich kořenové systémy. Tento typ sucha je tedy způsoben nejen meteorologickými faktory, ale také přírodními podmínkami, různými požadavky pěstovaných rostlin nebo odlišnými

způsoby hospodaření (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Podle NDMC (2022) by měla být definice agronomického sucha schopna také zohlednit proměnlivou potřebu půdní vláhy plodin v různých fázích jejich vývoje, od vzniku až po dospělost plodin. A právě díky velkému množství faktorů je téměř nemožné vytvořit jednotnou definici agronomického sucha. Rožnovský a kol. (2012) vyčleňují také navíc sucho půdní a fyziologické, které je dáno nedostatkem vody z hlediska potřeb jednotlivých druhů rostlin.

2.1.3 Hydrologické sucho

Hydrologické sucho nastává postupně po delším přetrvávání sucha meteorologického a agronomického. Díky dlouhodobému deficitu atmosférických srážek, mezi které počítáme i sněhové, a vysoké evapotranspiraci klesá hladina podzemní vody. Pokles způsobuje snížení průtoků ve vodních tocích a následný pokles hladiny vodních nádrží a jezer. Hydrologické sucho se vyvíjí postupně, protože sucho v podzemních vodách velmi ovlivňuje sucho v povrchových vodách a většina našich toků je při suchu doplňována ze zásob podzemních vod, které ale kvůli dlouhodobému deficitu srážek klesají. Tyto zásoby v podzemních vodách jsou velmi důležité a mohou značně ovlivnit vznik, konec i průběh hydrologického sucha (Vlnas a kol. 2010). Hydrologické sucho můžeme také rozdělit na povrchové a podzemní. Povrchové hydrologické sucho se v Česku hodnotí na základě aktuální hodnoty SRI (Standardized Runoff index) který funguje na principu numerických apraxiích a pracuje s retrospektivními daty a kumulativní pravděpodobnostní odtokové hodnoty se standardizovanou odchylkou (HAMR 2019). Díky tomu se hydrologické sucho podzemních vod může objevovat i dlouho po skončení sucha meteorologického.

2.1.4 Socioekonomické sucho

Sucho socioekonomické může nastat v jakékoliv fázi výše uvedených a je jejich výsledkem. Zabývá se dopadem meteorologického, agronomického a hydrologického sucha na lidskou společnost. Jedná se o situaci, kdy nastává nedostatek pitné či užitkové vody, to následně začne negativně ovlivňovat společnost a hospodářství (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Socioekonomické sucho je specifické tím že jeho výskyt závisí na nabídce a poptávce po vodě, několik odvětví hospodářství je na vodě závislé například hydroenergetika. Například v Uruguayi v letech 1988–89 bylo tak výrazné sucho, že bylo potřeba snížit výrobu energie z vodních elektráren, protože elektrárny byly při výrobě energie závislé na vodním proudění. Snížení výroby elektřiny z vodních elektráren vyžadovalo, aby vláda přešla na dražší importovanou ropu a zavedla přísná opatření na úsporu energie, aby splnila energetické potřeby země.

2.2 Příčiny sucha

Sucho je nejčastěji nahodilým jevem, který se vyskytuje nepravidelně v období podprůměrných hodnot účinných srážek od několika týdnů až po několik let (ČHMÚ 2022a). Sucho je zapříčeno velkým množstvím faktorů. Hlavní příčinou bývá nedostatek srážek, který je v dlouhodobém srovnání vyšší v aktuálním období. U srážek je také důležité množství, intenzita a časoprostorové rozložení. Pokud půda není nasycená a nastanou intenzivní srážky, půda je schopná pojmout velké množství vody za velmi krátkou dobu. Dalším důležitým faktorem je evapotranspirace. Evapotranspirace se dělí na výpar ze všech povrchů (evaporace) kromě výparu z vegetace (transpirace) za určité období (Duffková 2003). Míru intenzity evapotranspirace ovlivňuje teplota vzduchu, rychlost větru, oblačnost, délka slunečního svitu a vlhkost vzduchu. Důležitá je i vodní kapacita půdy a celková retenční schopnost půdy (Tallaksen, Van Lanen 2004). Když evapotranspirace převažuje nad množstvím spadlých srážek, pak může nastat meteorologické sucho a při dlouhodobém deficitu srážek pak většinou nastávají další typy sucha (viz kap. 2.1).

2.3 Dopady sucha

Dopady sucha se nejdříve projeví v oblasti zemědělství, kde díky nedostatku vody zemědělci mají menší výnosy (Trnka 2010). Voda je pro život velmi důležitá a ovlivňuje celkovou biologickou zdatnost rostlin a živočichů. Lidská společnost je dostupností vody také velmi ovlivněna, hlavně v rozvojových zemích, kde v mnoha případech není ani přístup k pitné vodě, ale jen k užitkové, která díky suchu není tak kvalitní (Hladný 2009). Dopady sucha můžeme rozdělit na fyzickogeografické a socioekonomické. Vlnas a kol. (2015) dopady rozdělili na dopady způsobené hydrologickým suchem a agronomickým suchem. Podle Trnky (2010) můžeme dopady sucha rozdělit do tří skupin: ekonomické, sociální a enviromentální, ale tento typ rozdělení patří spíše do socioekonomického pohledu. Všechny skupiny se navzájem prolínají a doplňují.

2.3.1 Ekonomické dopady sucha

Jako první můžeme dopady sucha pozorovat v primárním sektoru (zemědělství, rybářství a lesnictví), které je ovlivněné agronomickým suchem. Pokud by sucho trvalo delší časový úsek, může negativně ovlivňovat i sekundární či terciální sektor (Trnka 2010). Nedostatkem vody rostliny nemohou investovat tolik energie do růstu a trpí tzv. stresem ze sucha, které výrazně snižuje výnosy zemědělců. Stresem ze sucha trpí také dřeviny, kdy se zhoršuje hlavně jejich fyziologický stav a jsou poté náchylnější k napadení škůdci.

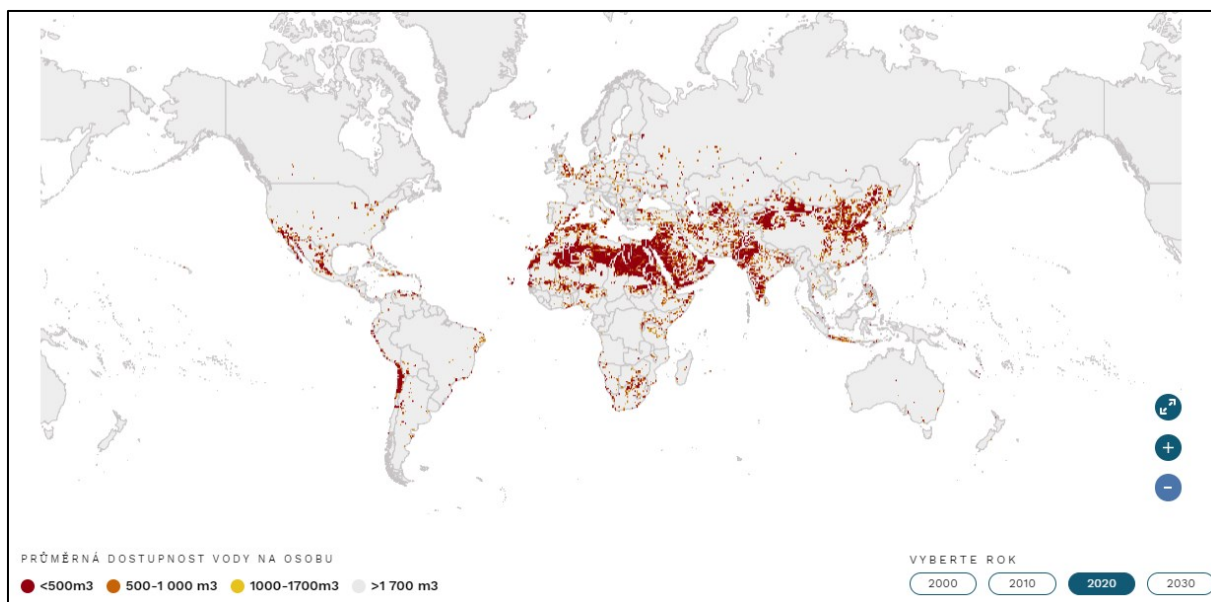
Trpí tím především v lesnictví a lesním hospodářství (Spiecker 2000). Dřevo napadené škůdci není tak kvalitní, především má větší náchylnost k odumření nebo snížení rychlosti růstu, a to velmi výrazně snižuje celkové výnosy z těžby. Sucho v podzemních vodách velmi ovlivňuje sucho v povrchových vodách, protože většina našich toků je při suchu doplňována ze zásob podzemních vod. Nedostatek vody ve vodních tocích ovlivňuje hospodaření s vodními a má negativní dopad jak na lidskou společnost, tak i na přírodní ekosystémy (Brázdil, Trnka a kol. 2015).

2.3.2 Enviromentální dopady sucha

Enviromentální dopady sucha ohrožují hlavně biodiverzitu. Díky změně stavu podzemní vody a nedostatku atmosférických srážek dochází ke změně vlastností stanovišť a může docházet k lesním požárům, větší erozi půdy, nepříznivým podmínkám pro život rostlin nebo vodních živočichů a celkově to způsobuje zmenšení biodiverzity (Trnka 2010; Tallaksen, Van Lanen 2004). Při hydrologickém suchu dochází ke klesání hladiny podzemní vody a následnému snížení průtoku vodního toku s možným přesahem do okolních povodí, kdy může dojít ke zhoršení kvality vody. Špatná kvalita vody negativně ovlivňuje vodní ekosystémy a další navázané ekosystémy. Sucho také velmi ovlivňuje půdu, kdy díky suchu urychluje její degradaci a způsobuje větrnou erozi a dehumifikaci (Brázdil, Trnka a kol. 2015).

2.3.3 Sociální dopady sucha

Ekonomické, enviromentální a sociální dopady sucha jsou navzájem provázány a úzce spolu souvisí. Lidskou společnost ovlivňují jak enviromentální dopady, tak dopady ekonomické. S nedostatkem vody je problém nejen v rozvojových zemích, ale i v rozvinutých zemích v důsledku vysokému růstu populace (obr. 2). V rozvojových zemích jsou sociální dopady velmi znatelné, jelikož zde není tak dobře vybudovaná infrastruktura a dostatečně pokročilé vodní hospodářství, proto dopady sucha ovlivňují lidské životy v mnohem vyšší míře (Hladný 2009). Například při nedostatku srážek klesají zemědělské výnosy, produkce a rostou ceny potravin to způsobuje, že v roce 2021 trpělo až 40 % Afričanů podvýživou (Šmolík, Bidovský, 2018, Ližanová 2022) Při suchu dochází ke zhoršení kvality vody v důsledku vyšších teplot, mění se její chemické složení, které může způsobit přemnožení různých prokaryotních organismů nebo řas (Brázdil, Trnka a kol. 2015).



Obrázek 2: Mapa průměrné dostupnosti vody na osobu ve světě za rok 2020 (Water Scarcity Clock 2022)

3 Sucho v Česku

Jeden z hydrometeorologických extrémů je právě sucho, pomalu se vyvíjející fenomén, jehož dopady a projevy se objevují se zpožděním. Sucho nás sužuje už odnepaměti. První zmínky o suchu se na našem území datují koncem 16. století. Postupem času se znalost o suchu prohlubovala hlavně díky opakujícím se suchým epizodám na našem území (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Vedle posledního významného suchého roku 2018 nastaly v Česku za posledních 20 let ještě další dvě významné suché epizody 2003, 2015. Díky rozvoji infrastruktury ve vodním hospodářství, například vodovodům či vodních nádrží, nezpůsobilo sucho žádné významné přerušení dodávek vody domácnostem. Byla však velmi ovlivněná hydroenergetika nebo některé zemědělské činnosti, a také docházelo k vysychání studní, ať už soukromým či obecním. Díky vodním nádržím s dostatečnými zásobami vody je možné zmírnit dopady hydrologického sucha, jako tomu bylo v roce 2018, kdy díky Vltavské kaskádě se nadlepšoval průtok v povodí Vltavy a Labe (Daňhelka a kol. 2019). V letech 2015 a 2018 bylo sucho velmi závažné s rozsáhlými dopady. Oba tyto suché roky byly způsobeny hlavně vysokou teplotou vzduchu, vysokou evapotranspirací a nedostatkem atmosférických srážek. Tento značný deficit vody v krajině vedl ke skutečnosti, že většina vodních toků v Česku byla pod hranicí hydrologického sucha Q_{355d} a některé dosáhly historického minima (Hanel, a kol. 2019).

3.1 Historie sucha v Česku

První zmínky sucha na území Čech se nachází v církevní literatuře koncem 16. a v první polovině 17. století, kdy je sucho považováno za projev boží vůle. První spisy zabývající se problematikou sucha publikoval Vít Jakeš Přerovský roku 1615. První vědecké poznatky o suchu se objevují až ve čtyřicátých letech 19. století, kdy F. X. J. Mašek publikuje své poznatky o častějším výskytu sušších období. Snaží se především popsat sucho fyzikálně, tj. objasnit výpar a dosažení stavu nasycení vodní parou. Mašek také vyzdvihuje význam lesního porostu a rybníků. První vědecká práce zabývající se přímo problematikou sucha u nás je od Dr. Františka Augustína *Sucho v Čechách v době 962–1893*. V této publikaci se pokusil na základě dlouhodobého měření deště v Praze charakterizovat sucha v letech 962–1893. Pravděpodobně tím chtěl vysvětlit a spojit do kontextu velmi suchý rok 1893.

Ve třicátých letech 20. století se také objevily suché epizody, konkrétně v období mezi lety 1932 až 1935. Tato relativně dlouhá epizoda sucha podnítila k dalšímu zkoumání samotného jevu sucha hned několika autory. Začal se jím zabývat Václav Novák a zkoumal, jakým způsobem se sucho vyvolá, resp. co je jeho příčinou, jak mu čelit a také jak pojem sucha

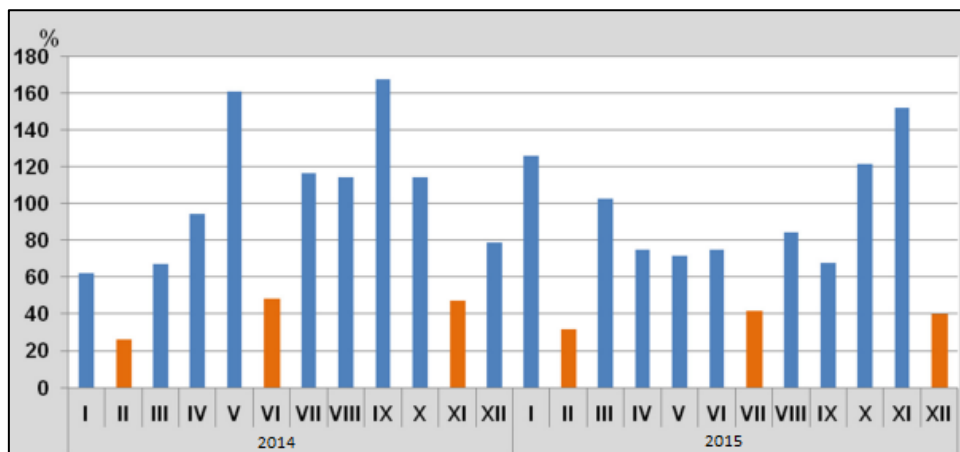
vymezit. Vladimír Krečmera se také věnoval hydrologickému suchu v letech 1932–1935, konkrétně v povodí řek Moravy, Dyje, Váhu a Odry. Dalším byl Čeněk Vorel, který se zabýval tímto obdobím hydrologického sucha z pohledu analýzy nízkých průtoků. Další suchá epizoda nastala v roce 1949 a trvala až do roku 1952. Takto dlouhé suché období zapříčinilo, že Státní ústav meteorologický v Praze vydal publikace o problematice sucha na území Československa.

V letech 1971 až 1974 nastala jedna z extrémnějších suchých epizod. Věnoval se jí hlavně Vilibald Kakos, který analyzoval hydrologické a meteorologické sucho v Čechách. Dalším významným autorem byl Sklenář, který se zabýval hydrologickými poměry na jižní Moravě v letech 1981–1990, ve kterých analyzoval suché epizody. Na začátku 21. století s rozvojem informačních technologií bylo možné novými způsoby analyzovat sucho pomocí různých indexů pro výpočet sucha. Díky nim je pak možné zpětně analyzovat všechny výše zmíněné suché roky naší historie (Brázdil, Trnka a kol. 2015).

3.2 Sucho v roce 2015

Sucho v roce 2015 zasáhlo nejen naše území, ale i západní a střední Evropu. Postupně se projeví všechny typy sucha se širokým spektrem dopadů. Srážkový deficit se v Česku začal projevovat už na podzim roku 2014 a od února 2015 pomalu pokračoval (obr. 3). To se projevilo hlavně v letních měsících, kdy byl nedostatek vody v krajině, který se projevil snížením hladin ve vodních dílech a nízkými průtoky ve vodních tocích, a voda chyběla dokonce i v půdě.

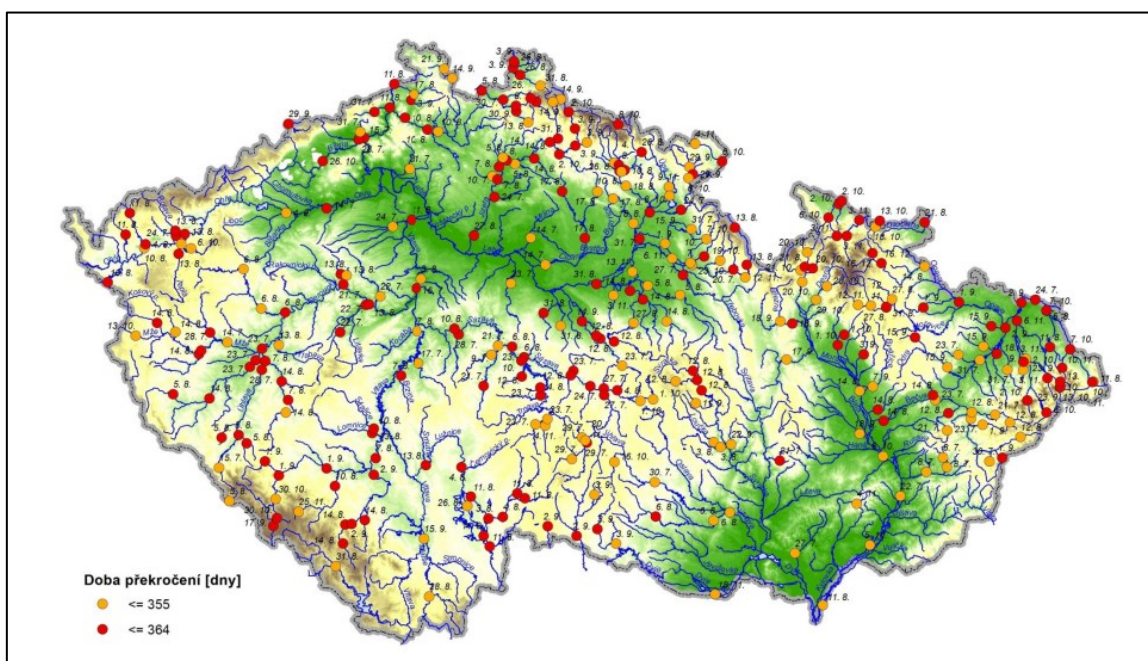
Roční úhrn srážek na území České republiky v roce 2015 byl 532 mm, což představuje 78 % normálu za období z let 1981–2010. Rok 2015 byl velmi teplotně nadnormální, průměrná roční teplota vzduchu v Česku byla 9,4 °C, což je o 1,5 °C více než normál průměrné roční teploty vzduchu mezi lety 1981-2010.



Obrázek 3: Průběh měsíčních úhrnů srážek na území ČR v % normálu 1981–2010 v období od ledna 2014 do prosince 2015.

Barevně jsou odlišené měsíce, kdy byl úhrn srážek silně podnormální nebo mimořádně podnormální (Daňhelka a kol. 2015)

Díky opakujícím se vlnám veder, které několikrát trvaly i několik dní, se sucho prohloubilo hlavně v letních měsících. V tomto roce bylo také zaznamenáno nejvíce tropických dní (maximální denní teplota přesáhne 30 °C) a tropických nocí (teplota neklesne pod 20 °C). Nejvíce tropických dní bylo zaznamenáno v srpnu na stanici Dobřichovice a to přesně 20 dní. Hydrologické sucho se projevilo v podstatě na celém území Česka, na většině vodních toků klesla hladina po dobu několika týdnů pod úroveň hydrologického sucha Q_{355d} (obr. 4). U některých menších toků došlo i k úplnému vyschnutí, například Úterský potok (Trpísty), Brzina (Hrachov) nebo Lomnický potok (Pila) (Daňhelka a kol. 2015).

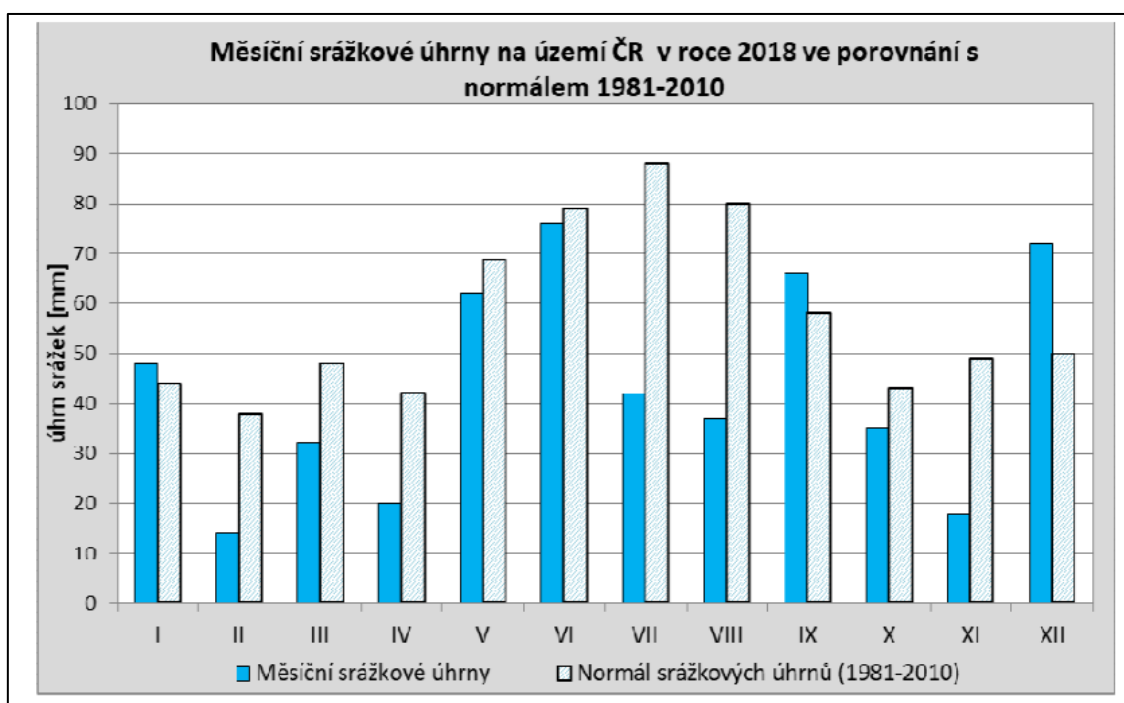


Obrázek 4: Přehled vodoměrných profilů, ve kterých byl změřen průtok 355denní a menší (Daňhelka a kol. 2015).

V lednu byla teplota vzduchu nadprůměrná, průměrná teplota na území Česka byla o 3 °C vyšší, než je normální průměrná teplota vzduchu. Díky tomu poslední sněhová pokrývka roztála již v lednu. Od začátku května docházelo k poklesům hladin vodních toků, protože se začalo výrazně oteplovat. Na přelomu června a července, kdy teplota vzduchu dosahovala až tropických hodnot to způsobilo, že u mnoha toků jsme mohli pozorovat pokles hladiny toků pod hranici Q_{355d} , toto teplé období trvalo až do poloviny srpna. Krátkodobě bylo hydrologické sucho zmírněno díky vydatným srážkám, poté ale došlo k nárůstu teploty a na většině toků se obnovilo hydrologické sucho, které například v Olši (Český Těšín), Blanice (Blanický Mlýn) a Jizera (Železný Brod) trvalo až do konce hydrologického roku (Daňhelka a kol. 2015, ČHMÚ 2022a).

3.3 Sucho v roce 2018

Rok 2018 byl z hlediska celkových srážek jeden z nejsušších od roku 1961, ještě méně srážek bylo naměřeno v roce 2003 (obr. 5). V roce 2018 byl roční úhrn srážek 522 mm, což je 76 % normálu pro Česko od roku 1981 do 2010. Rok 2018 byl také v letních měsících jeden z nejteplejších, průměrná roční teplota vzduchu v roce 2018 byla 9,6 °C, což je o 1,7 °C vyšší teplota vzduchu než normál (1981–2010). Roku 2015 ale stále zůstalo prvenství s nejvyšším počtem tropických dní, rekord překonal rok 2018 jen na 14 stanicích, např. stanice s nejvyšším počtem tropických dní byla stanice Doksany, konkrétně 51 tropických dní. Další stanice, na které bylo naměřeno více tropických dní, byla stanice Brno-Žabovřesky (45 tropických dní). Hydrologické sucho v roce 2018 bylo pozorováno téměř na celém území České republiky. Mohli jsme také pozorovat vyschnutí některých toků a na většině vodních toků klesly průtoky výrazně pod úroveň hydrologického sucha Q_{355d} i po několik týdnů. Na několika tocích byla dosažena stavová minima od začátku pozorování (Daňhelka a kol. 2019).

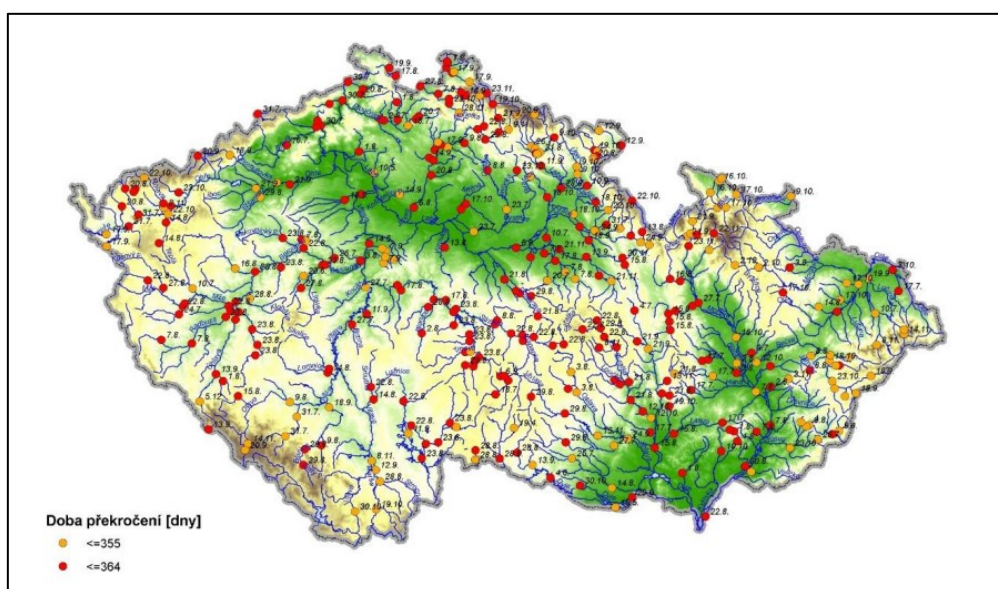


Obrázek 5: Měsíční srážkové úhrny na územní ČR v roce 2018 ve porovnání s normálem 1981–2010 (Crhová, Čekal a kol. 2019)

Díky za sebou se opakujícím epizodám sucha se rok 2018 stal jedním z nejničivějších, protože byl už pátým suchým rokem v řadě a byl jeden z nejteplejších a srážkově velmi chudý. Leden 2018 byl jeden z mála měsíců, který byl srážkově nadnormální. Všechny ostatní měsíce byly spíše srážkově podprůměrné. Už v březnu a dubnu se vodnosti toků postupně zmenšovaly,

na některých tocích byly pozorovány historicky nejmenší průtoky pro dané roční období (Crhová, Čekal a kol. 2019). Sněhové zásoby v horských oblastech díky nadprůměrným dubnovým teplotám velmi rychle roztály. Duben byl také velmi srážkově podprůměrný, kdy v dubnu 2018 spadlo pouze 51,6 % normálu srážek pro Česko za sledované období v letech 1981–2010. Květen a červen byly srážkově průměrnými měsíci, kdy měsíční srážkový úhrn byl 62 mm a 77,6 mm. Tento úhrn ale rozhodně nestačil na doplnění vody chybějící v hydrologickém cyklu. V červenci a srpnu sucho gradovalo, protože měsíční úhrn srážek byl pouhých 44,3 mm a 36,6 mm, tj. 48,1 % a 45,1 % měsíčních průměrných srážek normálu. Teploty vzduchu byly nadprůměrné s kladnou odchylkou od 1,9 °C do 3,4 °C (ČHMÚ 2022a). Na konci července byla téměř polovina stanic v Česku pod úrovní Q_{355d} . V srpnu se situace ještě více zhoršila díky přetrvávajícím nadprůměrným teplotám, vysoké evapotranspiraci, a především absencí důležitých atmosférických srážek. Na konci srpna se pod hranici hydrologického sucha nacházely až dvě třetiny stanic v České republice, z toho 35 % profilů mělo průtoky pod hodnotou Q_{364d} (obr. 6). V září se díky vydatným srážkám situace mírně zlepšila a pod hranici hydrologického sucha Q_{355d} bylo už jen 35 % až 50 % hlásných stanic. Říjen a listopad byly stále srážkově podprůměrné měsíce, které zapříčinily jen nepatrné změny v průtocích (obr. 6) (Crhová, Čekal a kol. 2019).

K výskytu takto extrémních hodnot pod hranicí hydrologického sucha přispěla hlavně kumulace srážkového deficitu již od roku 2014, která způsobila pozvolné zmenšování zásob podzemních vod. Zásoby podzemních vod jsou pro většinu našich toků důležitým zdrojem vody při delším období absence výskytu atmosférických srážek (Daňhelka a kol. 2019).

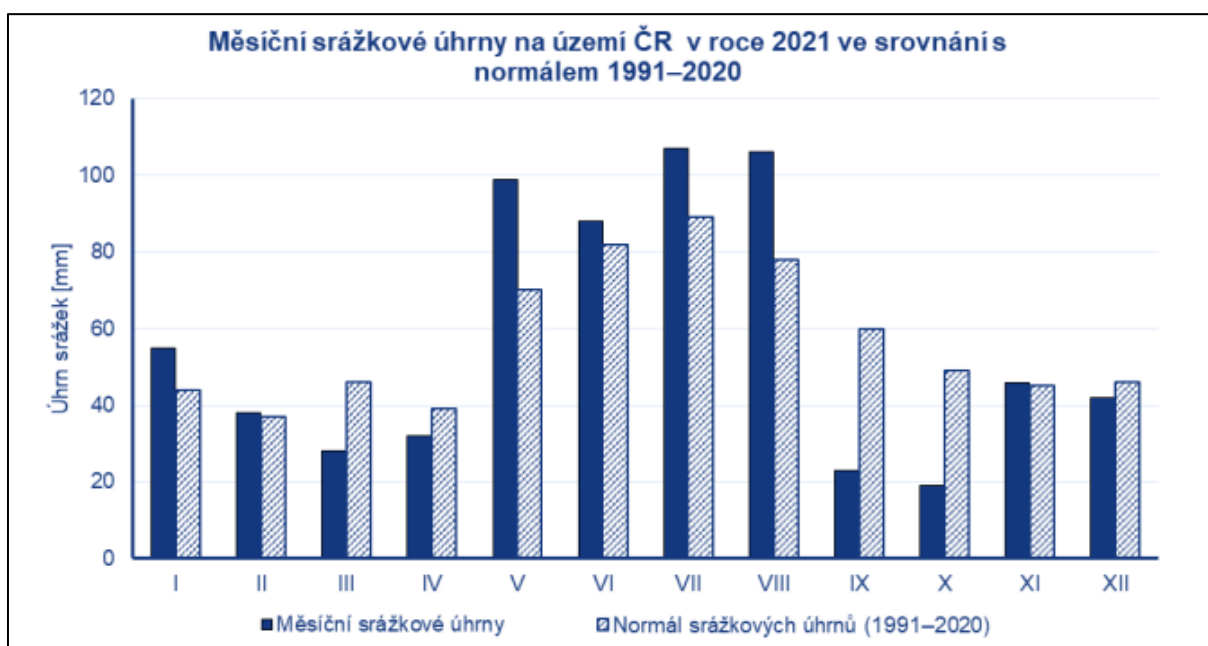


Obrázek 6: Přehled vodoměrných profilů, ve kterých byl změřen průtok 355denní a menší, případně 364denní a menší (Daňhelka a kol. 2019).

3.4 Současnost

3.4.1 Rok 2021

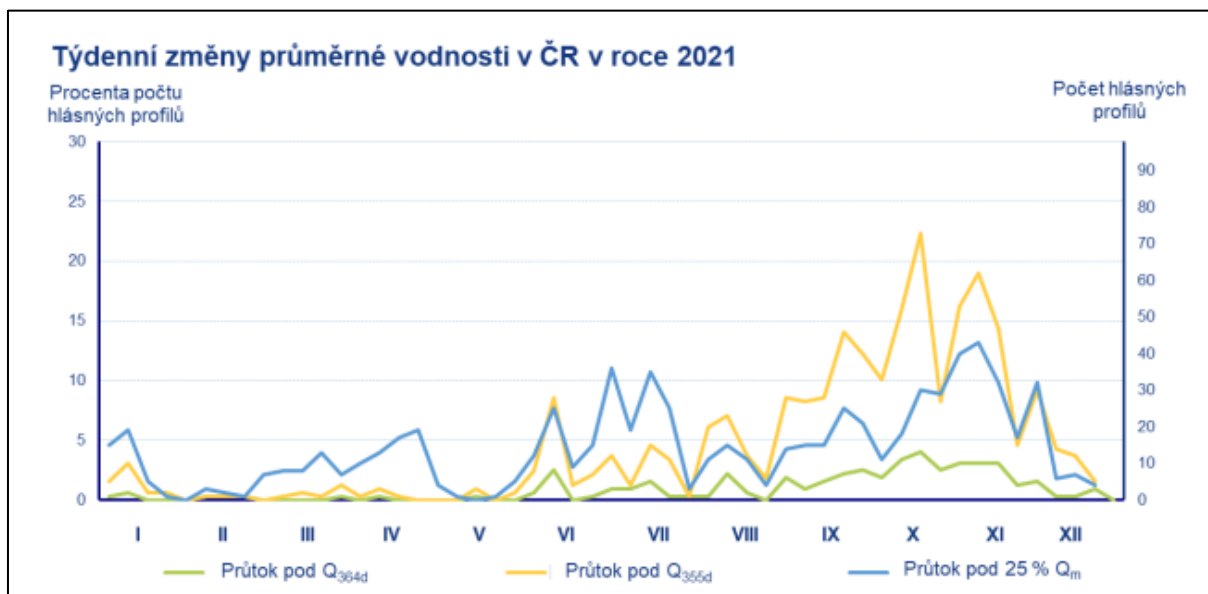
Rok 2021 byl teplotně normální s průměrnou roční teplotou vzduchu 8 °C, přesto se jednalo o jeden z nejchladnějších roků v posledních deseti letech (dle průměrné roční teploty). Srážkově byl rok 2021 na území České republiky normální, průměrný roční úhrn byl 694 mm. Největší srážkové úhrny byly v lednu, v květnu a v srpnu, kdy v lednu spadlo 56,6 mm, což je 130,4 % normálu za období 1981–2020. V květnu a v srpnu byl průměrný úhrn srážek 102,4 mm a 116,1 mm, to představuje 146,7 % a 143 % normálu. Nejméně srážek spadlo v září a v říjnu, konkrétně 25,7 mm a 21,4 mm, což je silně pod normálem (obr. 7, ČHMÚ 2022a).



Obrázek 7: Měsíční srážkové úhrny na území ČR v roce 2021 ve srovnání se srážkovým normálem z let 1991–2020 (Čekal a kol. 2022).

Díky chladnějšímu počasí a příznivé meteorologické situaci byl rok 2021 z hlediska hydrologického sucha oproti minulým letům mimořádný. Sice bylo během roku zaznamenáno několik měsíců, kdy měsíční hodnoty průtoků byly podprůměrné, ale oproti minulým létům byla velmi zřídka překročena hranice 50 % Q_m . Od ledna do května bylo zaznamenáno minimum profilů s indikací hydrologického sucha Q_{355d} a Q_{364d} . Během letních měsíců bylo zaznamenáno nejvíce hlásných stanic (9 %) s indikací hydrologického sucha Q_{355d} , což je oproti minulým rokům velmi málo. Na podzim, kdy bylo méně srážek, se podíl profilů s průtoky pod úrovní Q_{355d} zvýšil a dosahoval hodnot od 10 % do 20 % (z toho 1 % až 4 % byly profily

s průtokem menším, než je hodnota Q_{364d}) (obr. 8). Nejvíce bylo zasaženo povodí Moravy, kdy až 33 % profilů zaznamenalo nízké průtoky během podzimu. Počátkem prosince se pohyboval podíl profilů pod hladinou hydrologického sucha kolem 10 % a v druhé polovině prosince, díky oblevám a vydatným srážkám, se pod hranicí hydrologického sucha už téměř nevyskytovaly (Čekal a kol. 2022).



Obrázek 8: Týdenní změny průměrné vodnosti v hlásných profilech na území ČR v roce 2021 (Čekal a kol. 2022).

3.4.2 První polovina roku 2022

Leden byl teplotně nadnormální a srážkově byl normální, kdy v průměru spadlo 44 mm a to je 101,6 % normálu pro Českou republiku za období 1981–2020. Počet profilů s průtokem nižším než 25 % z průměrného průtoku pro leden dosahoval do 8 % ze všech profilů. Počet profilů pod hranicí hydrologického sucha se pohyboval do 10 profilů.

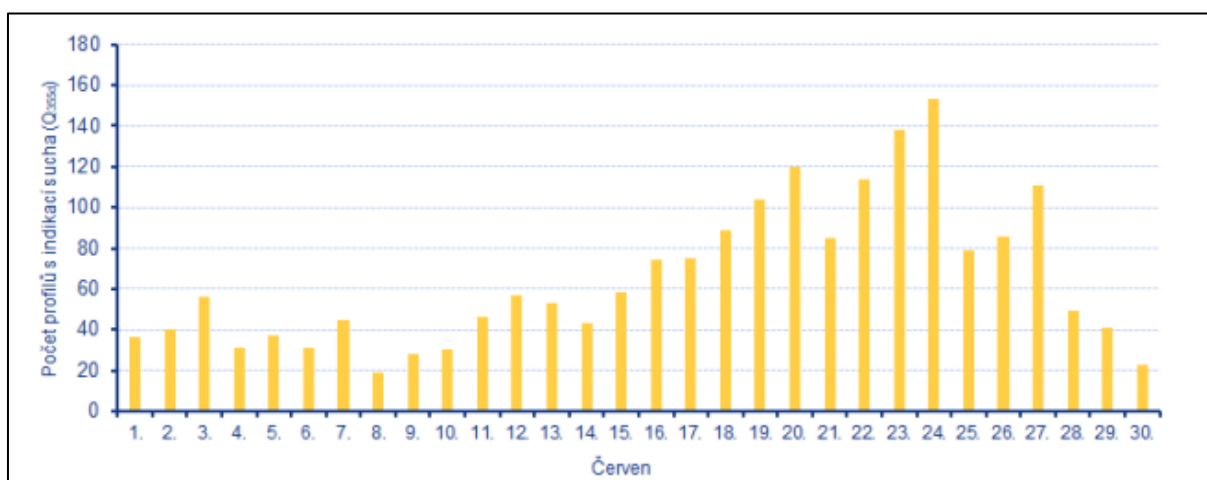
Únor byl teplotně a srážkově nadnormální, měsíční úhrn pro Česko byl 48,4 mm, což je 125,4 % normálu. Nejvíce profilů pod hranicí 25 % průměrného měsíčního průtoku bylo v povodí Moravy a Dyje, konkrétně čtvrtina všech profilů. Profily pod hranicí hydrologického sucha se v únoru téměř nevyskytovaly.

Březen byl srážkově podnormální, kdy na území Česka spadlo v průměru 16,9 mm a to je 35,1 % normálu. Teplotně byl březen normální, průměrná teplota vzduchu byla 2,9 °C, což je jen o 0,1 °C nižší než hodnota normálu ČR za období 1981–2020. V první polovině března se pod hranicí hydrologického sucha nacházelo až 8 profilů, zatímco na konci měsíce se toto číslo zvýšilo až na 17 profilů.

Duben byl teplotně chladnější o 1,8 °C oproti normálu. Dubnová průměrná teplota byla 6,1 °C. V dubnu byl vyšší úhrn srážek, napršelo 106,7 % normálu, v průměru napadlo 45,9 mm na území Česka. Na začátku dubna bylo s indikací Q_{355d} až 18 profilů, díky srážkám poklesl jejich počet na 8 profilů. Na konci měsíce počet profilů s indikací hydrologického sucha opět vzrostl až na 16 profilů.

V květnu byla teplota vzduchu lehce nadnormální, průměrná teplota vzduchu byla 14,7 °C, a to je o 0,1 °C více než normál. Srážkově by květen normální v průměru spadlo na území ČR 52,5 mm to představuje 75,2 % normálu. V květnu bylo v povodí Moravy a Dyje nejvíce profilů s indikací hydrologického sucha, což představovalo až 49 % profilů.

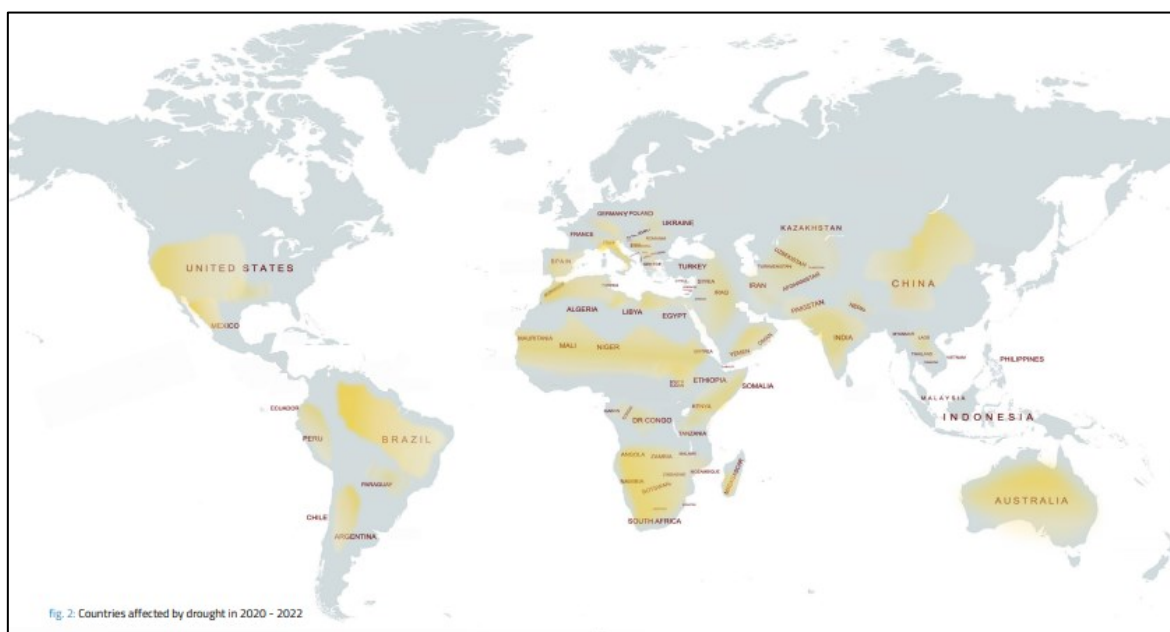
Červen byl silně nadnormální, průměrná měsíční teplota vzduchu byla 18,5 °C, a to je 2,7 °C vyšší než normál 1981–2010. Srážky byly rovnoměrně rozloženy po celém území ČR, srážkově byl červen na území ČR nadnormální. V průměru spadlo 106,5 mm, to představuje 132,6 % normálu. Profilů s indikací hydrologického sucha bylo začátkem měsíce kolem jedné pětiny všech profilů, hlavně v povodí Odry, dolního Labe, Ohře a Vltavy. Na konci měsíce bylo sucho zaznamenáno u jedné třetiny všech profilů a v povodí dolního Labe a Ohře téměř 75 % profilů (obr. 9, ČHMÚ 2022a).



Obrázek 9: Vývoj počtu hlásných profilů s indikací hydrologického sucha (Q_{355d}) v červnu 2022 (ČHMÚ 2022a).

4 Sucho ve světě

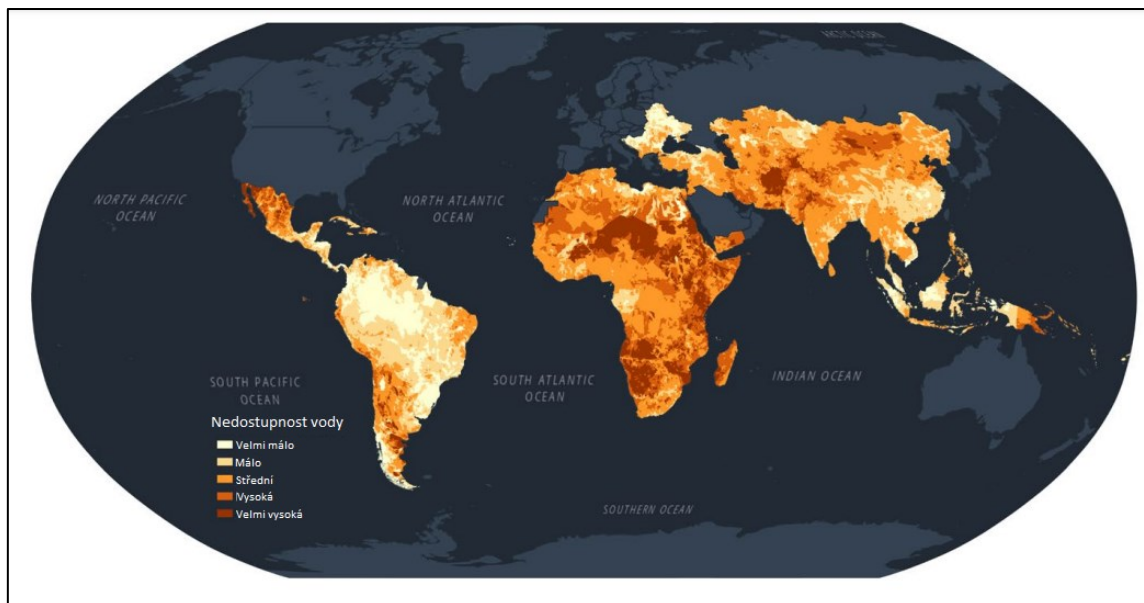
Sucho přímo ovlivnilo až 1,5 miliard lidí za poslední dvě dekády, což je mnohem více než jakákoliv jiná pomalu se vyvíjející přírodní katastrofa. Toto číslo může výrazně stoupnout díky globální změně klimatu, zhoršování životního prostředí, špatnému nakládání s vodními zdroji a díky masovému přesunu obyvatelstva z důvodu nedostatku vody. Od roku 2000 se počet a délka trvání suchých epizod zvýšila o 29 %. Sucho reprezentuje až 15 % všech přírodních katastrof, ale má největší podíl na obětech na životě – přibližně 650 000 mezi lety 1970–2019. v roce 2022 bylo až 2,3 milionů lidí vystaveno nedostatku vody a 160 milionů dětí vystaveny silnému nebo dlouhodobému suchu. Nejvíce zemí postižených suchem v letech 2020–2022 jsou státy z Afriky, západní a jižní Asie, Austrálie, Jižní Amerika, Severní Amerika a jižní Evropa (obr. 10, Drought in Numbers, 2022).



Obrázek 10: Mapa oblastí zasažené suchem podle UNCCD za roky 2020–2022 (Drought in Numbers, 2022).

Na celém světě žije až 1,42 miliardy lidí, z toho 450 milionů dětí, v oblastech s vysokou nebo extrémně vysokou nedostupností vody (obr. 11). Desítky let zneužívání vodních zdrojů, špatného hospodaření s vodou, nadměrného čerpání podzemní vody a kontaminace vody prohloubily vodní stres. Zároveň poptávka po vodě roste v důsledku rychlého růstu populace, urbanizace a rostoucí potřeby vody v řadě odvětví, zejména v zemědělství, průmyslu a energetice. Klimatické změny také zvyšují nedostatek vody prostřednictvím měnících se vzorců srážek a rostoucí průměrné teploty vzduchu. Nedostatek vody a změna klimatu jsou také hnací silou konfliktů a migrace, protože komunity i celé populace soutěží o zmenšující se vodní zdroje. Rodiny mohou být nuceny opustit své domovy při hledání spolehlivých

dodávek vody a příležitostí k obživě, často se stěhují do příměstských oblastí a měst, čímž vyvíjejí ještě větší tlak na již tak napjaté služby (UNICEF 2021).



Obrázek 11: Oblasti ohrožené nedostupností vody za rok 2021. Mapa zobrazuje pouze oblasti, které jsou součástí programu „Monitoring vodních zásob“ spravovaným WHO/UNICEF (UNICEF 2021)

4.1 USA

Ve Spojených státech amerických bylo pozorováno zatím třináct velkých epizod sucha. Zasáhly je v období od roku 1900 do roku 2015, kdy v letech 2012, 2014 a 2015 byla sucha pro Spojené státy americké jedny z nejrozsáhlejších. Naopak jedna z nejdelších epizod sucha bylo období od července 1928 až do května 1942, tzv. *The 1930s Dust Bowl*. Další dlouhá epizoda sucha se v USA vyskytovala od července 1949 až do září 1957. Tato epizoda sucha byla více intenzivní a déle trvající než předchozí dlouhá epizoda. Sucho v 50. letech 20. století bylo také jedno z velmi rozsáhlých, a navíc s nejdelším nejnižším meziměsíčním srážkovým úhrnem. Poslední epizoda sucha trvala od června 1998 až do prosince 2014, všechny tyto epizody sucha zasáhly přes 60 % regionů ve Spojených státech (NIDIS 2022b).

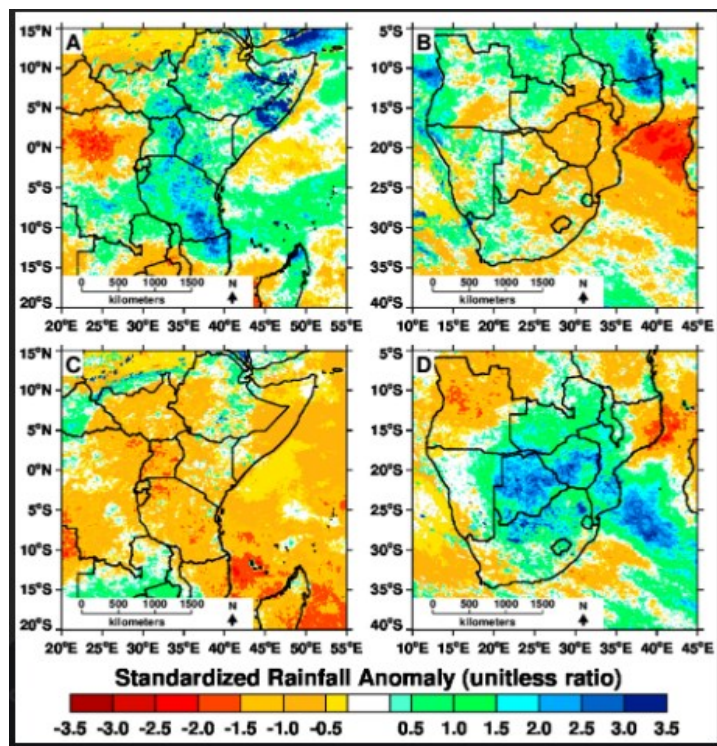
Významné hydrologické sucho, které se objevilo na západě Spojených států amerických, bylo v roce 2014/15 způsobené vyšší průměrnou teplotou, vysokou evapotranspirací a poklesem srážek. Tato epizoda byla zapříčiněna dřívějším jarním odtokem, který poté snížil odtok v letních měsících, a proto poté chyběla voda z tání zimních srážek hlavně v Kalifornii (Mote 2016). Poslední epizoda byla nejteplejší. Zvýšená frekvence sucha na západě Spojených států během let 1998–2014 a rostoucí teplotní trend za poslední tři desetiletí vytvářejí (a budou nadále vytvářet) významné hydrologické problémy a problémy se zásobováním vodou pro obyvatele a průmysl na západě Spojených států. Z těchto důvodů

zřídili Národní integrovaný informační systém o suchu (NIDIS) jako multiagenturní systém pod vedením NOAA. NIDIS byl vyvinut, aby umožnil společnosti proaktivně reagovat na krátkodobá a trvalá sucha prostřednictvím vylepšeného monitorování, predikce, hodnocení rizik a komunikace. Tato pozornost věnovaná suchu na státní a národní úrovni může vést k tomu, aby společnost a průmysl mohly být připraveny, vydržet a zotavit se z dopadů sucha (Richard, Heim 2017). V Kalifornii byl Leden, únor a březen 2022 byly nejsušším roky za posledních 100 let s pouhými 152,4 mm srážek pozorovaných v Sierra Nevadě. Kalifornie vstoupila do letních měsíců s podprůměrnými zásobami vody. Jezero Shasta, je kriticky nízkých úrovních. Všechny 58 okresů Kalifornie je pod výstrahou před suchem. Kalifornčané museli snížit spotřebu vody o 15 % do roku 2020 aby pomohli ochránit zásoby vody v krajině (California drought action 2022).

4.2 Etiopie

Sucho se v Etiopii vyskytuje v intervalu opakování 3–10 let, a přestože je zde sucho časté, stále chybí pevně stanovená opatření na zmírnění těchto jevů. V případě, že se zásoby potravin výrazně snížily v důsledku dlouhodobého sucha, jsou poskytovány pouze krátkodobé reakce ve formě potravinové pomoci. O problému sucha v Etiopii se lze dohledat přibližně 24 článků, ale většina se zabývá spíše problematikou meteorologického sucha a hodnocení jeho dopadů. Hydrologickým suchem se zabývali v povodí Wabi Shebele a na jezeře Tana v povodí modrého Nilu (Abera, Gebeyehu 2022).

V roce 2015 zasáhlo Etiopii velké sucho způsobené globální změnou klimatu a El Niño – Jižní oscilací, protože Jižní Afrika a východní Afrika jsou jím ovlivňovány. Tyto dva regiony zažívají velmi silné, ale opačné efekty; během událostí El Niño je jižní Afrika typicky teplá a suchá a východní Afrika je typicky chladná a deštivá, v případě La Niña opačně (obr. 12). Jižní oscilace je v jižní a východní Africe hlavním faktorem v dynamice vegetace. Vegetace v semiaridním a aridním prostředí má omezenou dostupnost vody a je náchylná na meziroční proměnlivost srážek, zejména pokud jsou srážky podprůměrné. Normalized difference vegetation index (NDVI) je užitečným ukazatelem dešťových srážek spojených s Jižní oscilací a také poskytuje pohled na dopady nedostatku srážek na zemědělství (Anyamba, Glennie, Small 2018).



Obrázek 12: Sezónní úhrn srážek za pomoci SPAI při vyvrcholení El Niño (A) ve východní Africe od listopadu 2015 do ledna 2016 a (B) v jižní Africe od prosince 2015 do února 2016. Srážkové anomálie během vrcholných podmínek La Niña (C) východní Africe od listopadu 2016 do ledna 2017 a (D) jižní Africe od prosince 2016 do února 2017 (Anyamba, Glennie, Small 2018).

Na území Etiopie spadne v období dešťů od února do září až 90 % všech srážek za celý rok, ale v roce 2015 v období dešťů spadlo až o 50 % méně srážek. Dlouhodobý průměr za období 1981–2016 v období dešťů je 656,9 mm, za celý rok 2015 spadlo 500 mm srážek. Tento nedostatek zapříčinil až 75 % ztrát v zemědělské produkci, což způsobilo, že až 22 milionů obyvatel potřebovalo potravinou pomoc a 1,7 milionů lidí trpělo podvýživou (Philip a kol. 2017). Nyní etiopská vláda plánuje přeměnu průmyslu od zemědělského sektoru k celkové průmyslové transformaci. Voda je ústřední součástí rozvoje veškeré infrastruktury. Hlavní plán přeměny průmyslu velkých povodí v Etiopii se však soustředil pouze na potenciální hodnocení zavlažování a vodní energie. Bohužel ale neexistuje žádná analýza trendů sucha, ani budoucí hydrologické předpovědi sucha. Hydrologické sucho ovlivňuje zavlažování, zásobování vodou, vodní energii a další odvětví související s vodou. Podle Abera a Gebeyehu (2022) je v Etiopii tedy důležité studovat historické hydrologické charakteristiky sucha, jako je frekvence, velikost, trvání, závažnost a budoucí pravděpodobnost pohybu a distribuce vody v povodí, aby nevznikla větší poptávka, než je nabídka.

4.3 Poloostrov Zadní Indie

Sucho, které v regionu začalo už v roce 2019, trvá už více než 15 měsíců. Indikátory sucha naznačují anomálie typické pro těžké až extrémní události. Vodní hladiny v oblasti

dolního toku řeky Mekong klesly až pod jejich dlouhodobý měsíční průměr. V polovině roku se ukázalo, že vodní stavy během období dešťů od června do července 2021 patřily k nejnižším v historii. Hladina vody v thajské stanici Chiang Sean klesla na 2,1 metru oproti průměrné hodnotě za posledních 57 let, která činí 3,02 metru. Vodní stavy klesly pod úroveň předchozích rekordů nejnižších výšek vodní hladiny zaznamenaných během velkého sucha v roce 1992.

Obyvatelé jižního Vietnamu, níže po proudu řeky Mekong, trpěli v loňském roce také závažnými suchy. Téměř 138 800 regionálních domácností mělo nedostatek vody pro každodenní spotřebu. S vysycháním sladkovodních nádrží si místní začínají kupovat vodu pro každodenní použití, což je situace, která byla před několika lety nepředstavitelná.

V Laosu v roce 2019 byla výška hladiny Mekongu pouhý jeden metr, tedy asi o sedm metrů níže, než je jeho typická výška v tomto ročním období (Echo Flash 2020). Toto sucho bylo způsobené, obdobně jako v Etiopii, globální změnou klimatu a jevem El Niño. Hlavní příčinou byly nadměrné teploty a velmi nízké úhrny srážek v období dešťů (květen až červenec). Díky suchu na Mekongu v roce 2019 až 2021 Thajsko, Laos i Vietnam společně monitorují sucho v povodí Mekongu a mají připravené plány pro nadcházející suché epizody například výstavbu kaskády vodních elektráren, přehrad a nádrží na dolním toku Mekongu (Mekong River Commission 2019b).

4.4 Argentina

Nejzávažnější a dlouhotrvající období hydrologického sucha ve středozápadní Argentině začalo v roce 2010 a pokračovalo až do roku 2021. Toto hydrologické sucho pocházelo z podprůměrných sněhových srážek ve vysokých nadmořských výškách v Andách, které byly způsobené přesunem obvyklých bouřkových útvarů směrem na jih. Takto dlouhotrvající sucho způsobilo, že se šířilo i dalšími složkami hydrologického cyklu a projevilo se nejen poklesem hladin vodních útvarů, jako jsou laguny a jezera, nádrže a přehrady, ale také podpořilo zmenšování ledovců a zvyšující se tlak na zdroje podzemní vody. Místní vodohospodáři zvažovali různé přístupy, jak čelit podmínkám hydrologického sucha. Nicméně rozsáhlé dopady spojené se závažností tohoto sucha byly evidentní v hlavních socioekonomických sektorech, především snížením objemu vody pro zavlažování, které postihlo hlavně zemědělství a hospodářská zvířata. Výroba vodní energie byla omezena nebo dokonce přerušena kvůli nízkým hladinám přehrad pod provozními požadavky, což ovlivnilo také cestovní ruch a rekreační aktivity (Rivera et al. 2021).

4.5 Austrálie

Od roku 1860 došlo k devíti velkým australským suchům. Hlavní období sucha v letech 1895–1903, 1958–68 a velká sucha v letech 1982–83 byla nejzávažnější z hlediska nedostatku srážek a jejich dopadů na primární sektor. Díky zlepšení meteorologické služby a sledování sucha jsou v Austrálii schopni předpovídat sucha prostřednictvím místního výzkumu a díky spolupráci s World Climate Programme mohou zmírnit jejich nepříznivé dopady. Povaha sucha a způsob, jakým by se s ním komunita měla vypořádat, jsou však složité otázky zahrnující významné proměnné v oblastech, jako je hydrologie, zemědělství, ekonomie a sociologie, stejně jako v politické realitě dneška (Australian Bureau of Statistics 2012).

V posledních letech došlo nad pevninskou Austrálií k mnoha suchům, zejména ke dvěma vážným dlouhotrvajícím suchům, jedno od roku 2006 do roku 2009 a druhé od roku 2018 do roku 2020, což vedlo k vážnému nedostatku vody. Pomocí indexu TSDI z experimentu Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) analyzovali dvě závažná dlouhotrvající sucha z pohledu postižené oblasti, prostorového vývoje, frekvence, závažnosti a faktorů ovlivňujících sucho. Výsledky ukazují, že značné postižení oblastí suchem v letech 2006–2009 se pohybovalo v rozmezí 57–95 % plochy a v letech 2018–2020 se postižení suchem pohybovalo v podobném rozmezí 45–95 % plochy.

Sucho v letech 2006–2009 začalo v jihovýchodní Austrálii a postupně se rozšířilo do centrální části. Nejvíce zasažená oblast suchem byl stát Victoria, kde sucho přetrvávalo po celý rok, Severní teritorium mělo nejvyšší závažnost sucha podle indexu TSDI s hodnotou 44,26 a stát Victoria se umístila na druhém místě podle TSDI s hodnotou indexu 35,5.

Sucho v letech 2018–2020 vzniklo spíše v jihozápadní části Severního teritoria a severního Nového Jižního Walesu a postupně se rozšířilo do Západní Austrálie a celého Nového Jižního Walesu. Pro sucho 2018–2020 dominovalo Severnímu teritoriu také sucho všechny měsíce. Index TSDI vyhodnotil sucho v Severním teritoriu a Západní Austrálii s hodnotou 52,19; resp. 31,44.

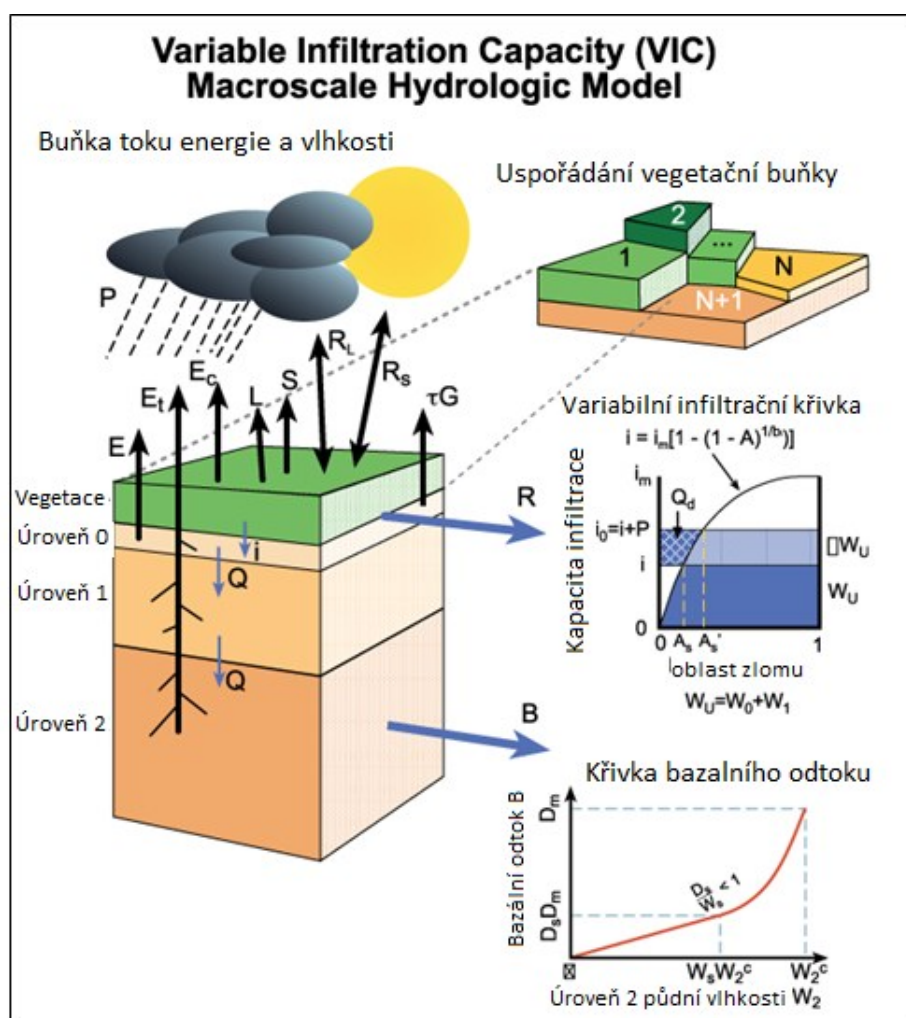
K celkovému hodnocení sucha byly navíc vypočteny korelační koeficienty mezi oběma suchy a indicko-tichomořskou variabilitou klimatu, včetně El Niño–jižní oscilace a dipólu Indického oceánu (IOD). Porovnáním korelačních koeficientů sucha 2018–2020 se suchem 2006–2009 zjistíme, že dopad El Niño na hydrologické sucho se stává slabším, zatímco IOD je silnější, a role Jižní oscilace na sucho je různorodá se zcela odlišnými prostorovými vzory. Výsledky analýzy potvrdily, že obě hydrologická sucha souvisejí s indicko-tichomořskou variabilitou klimatu, ale s mírně odlišnými hnacími mechanismy (Wang et al. 2021).

5 Charakteristika hydrologických modelů a indexů sucha

5.1 Hydrologické modely

5.1.1 Variable Infiltration Capacity model (VIC)

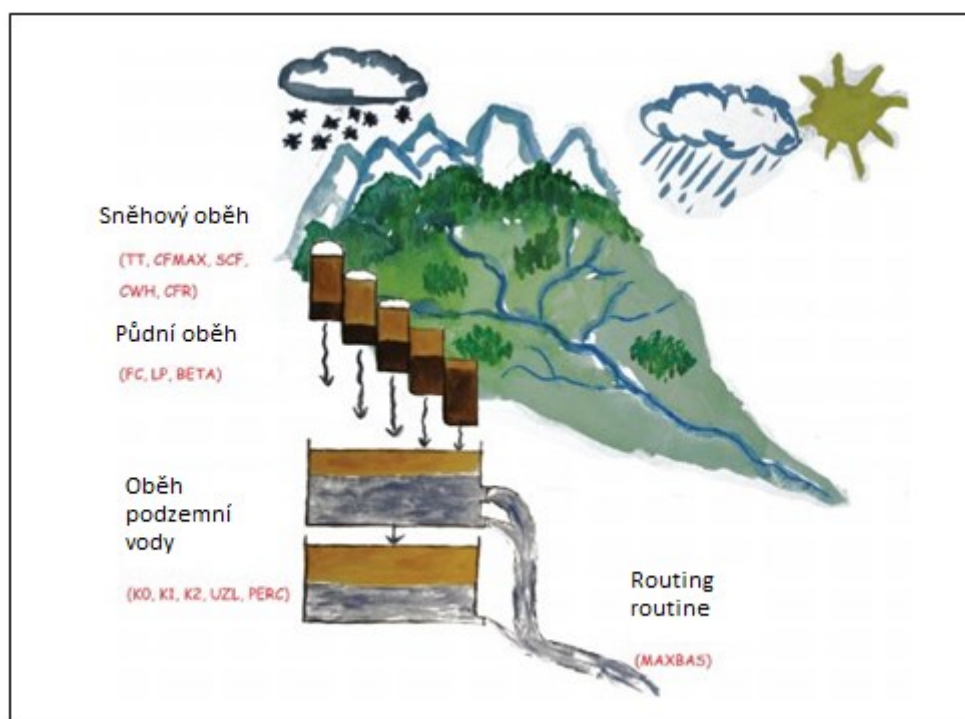
U modelu VIC je povrch země modelován jako mřížka čtverců 1x1 km. Heterogenita dílčí síť (např. nadmořská výška, krajinný pokryv) je řešena prostřednictvím statistických rozdělení. Do modelu vstupují časové řady dílčích denních meteorologických faktorů (např. srážky, teplota vzduchu, rychlost větru, radiace atd.). Vodní a energetické bilance na povrchu Země jsou simulovány na denní bázi. Voda se do modelu vkládá pouze jako atmosférické srážky, protože se počítá s tím, že jakmile se voda dostane do povrchového či podpovrchového odtoku, tak v něm i zůstane, neboli zanedbává interaktivitu mezi vodním tokem a jeho okolím. Pro zjednodušení neuvažují model, že se voda může vrátit do půdy (obr. 13, VIC 2021).



Obrázek 13: Schéma modelu VIC (VIC 2021).

5.1.2 HBV model

Model HBV lze nejlépe klasifikovat jako semi-distributed koncepční model. Používá dílčí povodí jako primární hydrologickou jednotku a v jeho rámci se hodnotí rozložení nadmořské výšky, využití půdy, lesní plochy, otevřené plochy, jezerní plochy (obr. 14). Model HBV se skládá ze tří hlavních složek: hodnoty akumulace sněhu a tání sněhu, půdní vlhkosti a zásob vody v povodí. Model má řadu volných parametrů, jejichž hodnoty jsou použity pro jeho kalibraci. Do modelu se dají ještě přidat parametry popisující charakteristiky povodí a jeho klimatu. (Bergström 1992)



Obrázek 14: Schéma modelu HBV (Seibert, Vis 2012)

5.1.3 RAPID river routing model

Model dokáže vypočítat průtok a objem všude v říční síti. Pokud jsou na říční síti přítomny velké, uměle vytvořené infrastruktury, model RAPID umožňuje nahradit chybně měřené hodnoty průtoku hydrologickou stanicí simulací nového průtoku v rámci simulací říčního toku a optimalizace parametrů. Pokud jsou k dispozici informace o odběrech vody, může model RAPID odpovídající průtoky ze svých výpočtů také odebrat nebo přidat.

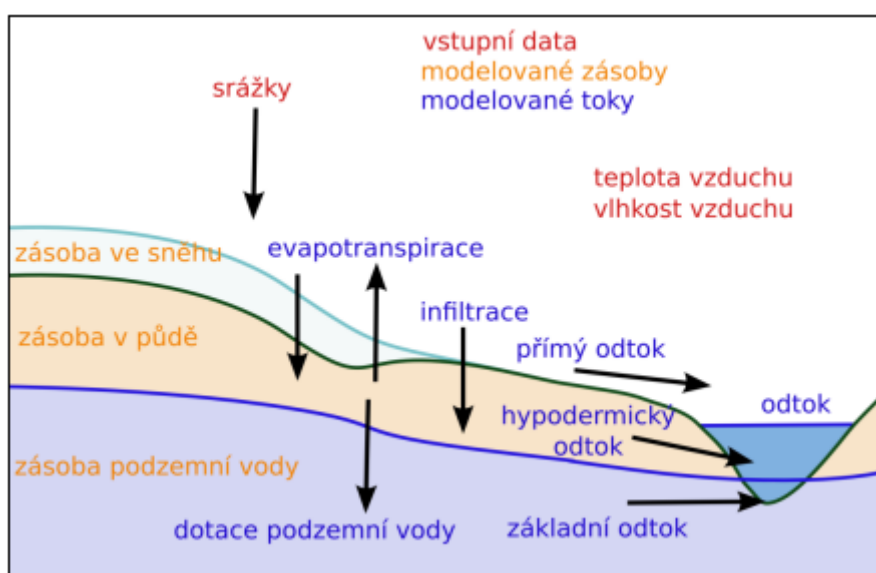
5.1.4 LISFLOOD model

Model využívá mřížkové buňky, od pouhých 100 metrů (pro středně velká povodí) do 5 000 metrů, pro modelování všech povodí v měřítku celé Evropy. Model se dá také využít pro modelování v celosvětovém měřítku. LISFLOOD dokáže simulovat jak dlouhodobou

vodní bilanci s využitím denních hodnot, tak i v hodinovém kroku. Který se využívá hlavně při povodňové události. Základními daty pro model LISFLOOD jsou 3 vrstvy – půdní vlhkost, hodnota hladiny podzemní vody a průtok se změnou odtoku v toku. Do modelu lze také přidat nespočet dalších dat.

5.1.5 Bilan model

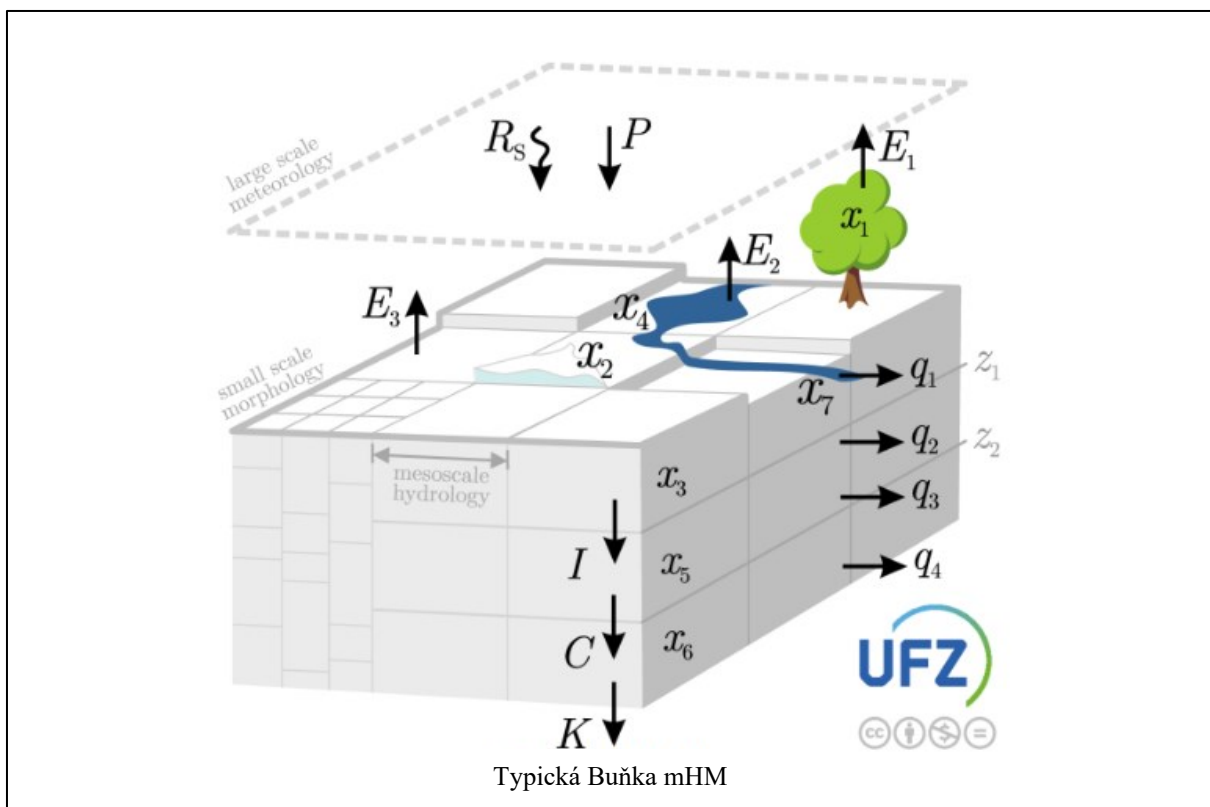
Bilan model funguje na základě denních či měsíčních dat a počítá hydrologickou bilanci povodí či určitého území. Vstupními daty jsou denní a měsíční srážkové úhrny v mm, průměrné teploty, průměrné vlhkosti vzduchu, potenciační evapotranspirace v mm, pozorované odtokové výšky v mm a využití vody (obr. 15, HAMR 2019).



Obrázek 15: Schéma toku v modelu hydrologické bilance Bilan (HAMR 2019)

5.1.6 Mesohydrological Model (mHM)

Tento model je založen na numerických aproximálních výpočtech dominantních hydrologických procesů, které jsou používány i v jiných hydrologických modelech, např. v modelu HBV nebo VIC. Pro správné fungování mHM modelu je potřeba 28 parametrů a je řízen na denní bázi. Model mHM rozlišuje tři úrovně dat pro lepší reprezentaci prostorové variability. Úroveň 0 má jako hlavní charakteristiku půdu a krajinný pokryv, který je určen k popisu hlavního rysu terénu. Úroveň 1 je používána k charakteristice hydrologických procesů a geologické stavby, zatímco úroveň 2 je vhodná k popisu meteorologických veličin. Všechny tyto úrovně se pomocí rovnice a průměru všech tří úrovní spojí do jedné buňky (obr. 16, mHM 2022).



Obrázek 16: Schéma modlu mHM (mHM 2022)

5.2 Indexy sucha

5.2.1 TSDI

Total storage deficit index (TSDI) je tvořen z měsíčního Total storage deficit (TSD) získaného z měsíčního průměru, minima a maxima změny vodních zásob za celý měsíc v porovnání za dané referenční období. Výsledná hodnota TSD nabývá hodnot od -100 do 100. Obecně platí, že sucho postupně vymizí, pokud podmínky pro sucho nejsou předpokládány v následujících měsících. TSDI byl tedy stanoven s ohledem na předchozí stav sucha a současný stav celkového deficitu zásob. Pro výpočet TSDI indexu se používá rovnice:

$$TSDI_i = p \times TSDI_{i-1} + q \times TSD_i \quad (1)$$

Parametry p a q se určují podle kumulativního grafu TSD během období sucha a pro jejich výpočet existuje následující rovnice:

$$p = 1 - \frac{m}{m+b} \quad q = \frac{C}{m+b} \quad (2)$$

V rovnici 2 parametr m označuje sklon a b průsečík, oboje se získá z kumulativní křivky TSD (Cao, Nan, Cheng 2015).

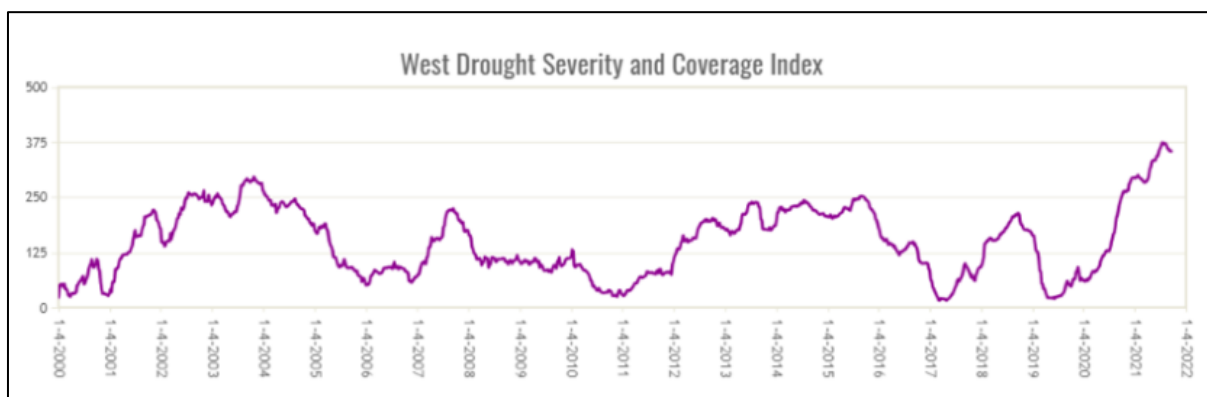
5.2.2 DSCI

Drought Severity and Coverage Index (DSCI) je vážený součet podílu každé oblasti v každé úrovni sucha, který shrnuje rozsah a závažnost sucha s jedním číslem pro každý týden na stupnici od 0 (bez sucha) do 500 (všechny oblasti v nejhorší kategorii sucha) (obr. 17). Vypočítat lze dvěma různými způsoby: pomocí kumulativních dat z monitoru sucha pro Severní Ameriku (viz kap. 6.1) se přidají procenta pro D0 až D4 pro daný týden, aby se získal DSCI pro daný týden:

$$D0 + D1 + D2 + D3 + D4 = \text{DSCI} \quad (3)$$

Nebo se použijí kategorická data z monitoru sucha a vypočítá se vážený součet procent pro D0 až D4 (U.S. Drought Monitor 2022):

$$1(D0) + 2(D1) + 3(D2) + 4(D3) + 5(D4) = \text{DSCI} \quad (4)$$



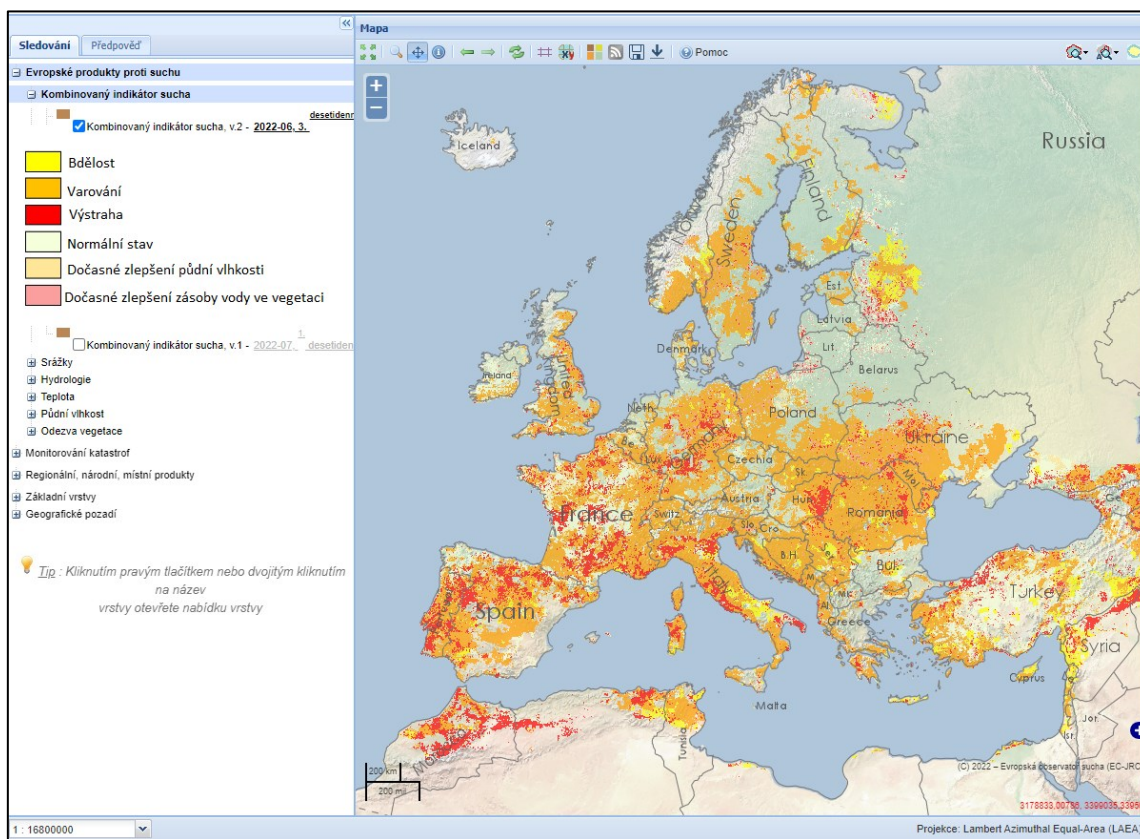
Obrázek 17: graf DSCI za období 04. 01. 2000 až 04. 01. 2022 pro západní část Severní Ameriky (U.S. Drought Monitor 2022)

5.2.3 Objective Drought Indicator Blends

Jedná se o indikátor, do kterého se zahrnuje modelová předpověď krátkodobého sucha a dlouhodobého sucha pro danou lokalitu. Pro výpočet krátkodobého sucha se používají následující indexy s různou vahou: Palmer Z-Index (35 %), 3měsíční srážky (25 %), měsíční srážky (20 %), CPC model půdní vlhkosti (13 %) a modifikovaný Palmer index sucha (7 %). Pro výpočty dlouhodobého sucha se používají indexy s různou vahou, ale oproti výpočtu krátkodobého sucha jsou lehce odlišné: Palmerův index hydrologického sucha (25 %), 12měsíční srážky (20 %), 24měsíční srážky (20 %), 6měsíční srážky (15 %), 60měsíční srážky (10 %) a CPC model půdní vlhkosti (10 %). Výsledná hodnota je v percentilu a podle velikosti určíme hodnotu dlouhodobého či krátkodobého sucha (U.S. Drought Monitor 2022).

5.2.4 CDI

The Combined Drought Indicator (CDI) je odvozen od následujících tří hlavních ukazatelů sucha, které jsou provozně implementovány v rámci Evropské observatoře pro sucho (EDO): Standardizovaný index srážek (SPI), Anomálie půdní vlhkosti (SMA), Anomálie FAPAR. Dohromady pak vytváří mapu sucha (obr. 18). Indikátor pro SPI měří anomálie srážek v daném místě na základě srovnání pozorovaných celkových množství srážek za sledované období akumulace (např. 1, 3, 12, 48 měsíců) s dlouhodobým historickým záznamem srážek za toto období. Indikátor pro SMA je odvozen od anomálií odhadovaného denního obsahu vlhkosti v půdě (neboli půdní vody) reprezentovaného jako standardizovaný index půdní vlhkosti (SMI), který je vytvářen hydrologickým modelem LISFLOOD. Indikátor pro anomálie FAPAR se vypočítá jako odchylky biofyzikální proměnné, složené pro 10denní intervaly, od dlouhodobých průměrných hodnot. Satelitně měřený FAPAR představuje podíl dopadajícího slunečního záření, které je absorbováno suchozemskou vegetací pro fotosyntézu, a je účinný pro detekci a hodnocení dopadů sucha na vegetaci (EDO 2022).



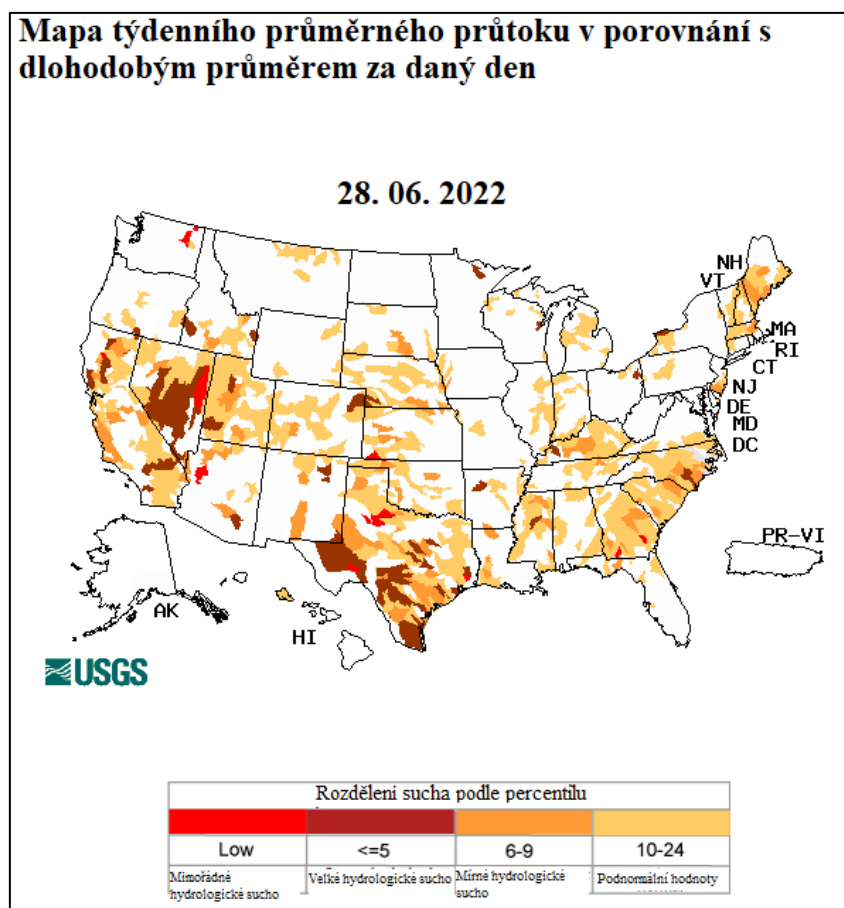
Obrázek 18: Mapa sucha pomocí CDI indexu v Evropě za období 10 dní (20. 06. 2022 až 30. 06. 2022) (EDO 2022)

6 Výstražné systémy před hydrologickým suchem

Včasné rozpoznání rizik sucha závisí na naší schopnosti monitorovat a předpovídat různé fyzické ukazatele klimatologického sucha a také relevantní ekonomické, sociální a environmentální dopady. To může pomoci vládám a komunitám činit proaktivní rozhodnutí s cílem minimalizovat ekonomické, sociální a ekosystémové ztráty spojené se suchem (NIDIS 2022a).

6.1 Severní Amerika

Pro území Severní Ameriky existují dva výstražné systémy před suchem. První je v rámci projektu sledování sucha pro celou Severní Ameriku, druhý pak disponuje vlastní předpovědí a sleduje hlavně hydrologické sucho. V rámci Ministerstva vnitra se sucho sleduje ve spolupráci s Princetonskou univerzitou, která se zaměřovala především na vývoj sucha ve východní části USA, zatímco Washingtonská univerzita se zaměřovala na předpověď sucha pro západní část USA. K předpovědi byl použit hydrologický model VIC a porovnávání 7denního průměru s dlouhodobým průměrem daného dne. Výsledná předpověď vychází až týden dopředu (obr. 19, USGS WaterWatch 2022).

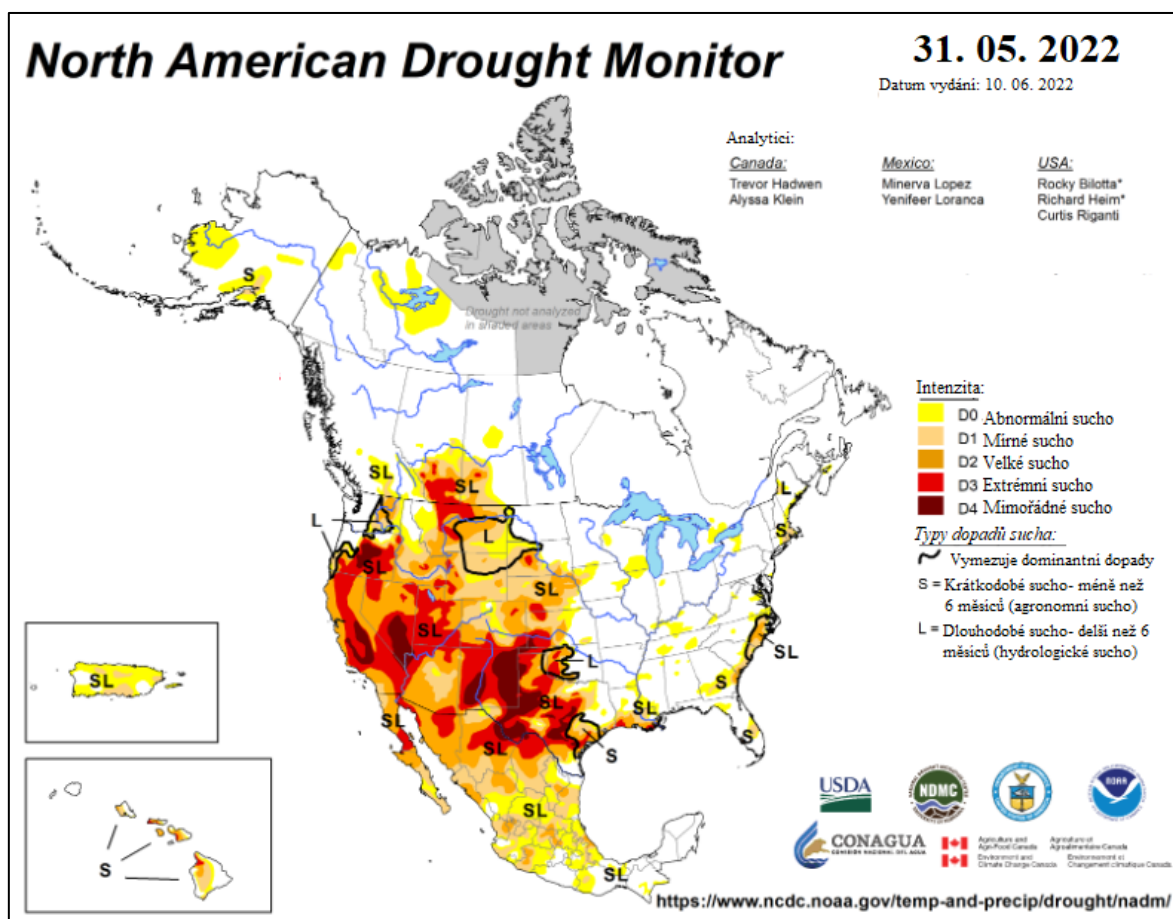


Obrázek 19: Mapa hydrologického sucha na území Spojených států Amerických z 28. 06. 2022 (USGS WaterWatch 2022)

K monitoringu sucha pro celou Severní Ameriky se používají tabulka s pěti kategoriemi: PDSI (Palmer drought severity index); CPC model půdní vlhkosti (Climate Prediction Center Model Soil Moisture); týdenní průtok (porovnáním s dlouhodobým průměrem); SPI a Objective Drought Indicator Blends (viz. kapitola 5.2.3, obr. 20). Podle výsledků v jednotlivých kategoriích se určuje intenzita sucha. Pro sjednocení všech těchto kategorií mají Drought Severity and Coverage Index, který funguje na principu součtu všech kategorií. Výsledkem je hodnota celkového sucha, která se pohybuje v rozmezí 0 až 500 (obr. 21, U.S. Drought Monitor 2022).

Kategorie	Popis	Možné dopady	Rozsahy				
			Palmerův index závažnosti sucha (PDSI)	CPC model vlhkosti půdy (percentily)	Týdenní Odtok USGS (percentily)	Standardizovaný index srážek (SPI)	Objective Drought Indicator Blends (Percentiles)
D0	Abnormálně suché	Jít do sucha: - krátkodobé sucho zpomalující výsadbu, růst plodin nebo pastvin Vylézt ze sucha: - nějaký přetrvávající nedostatek vody - pastviny nebo plodiny, které nebyly zcela obnoveny	-1,0 až -1,9	21 až 30	21 až 30	-0,5 až -0,7	21 až 30
D1	Mírné sucho	- Nějaké škody na úrodě, pastvinách - Potoky, nádrže nebo studny jsou nízké, určitý nedostatek vody se vyvíjí nebo hrozí - Je požadováno dobrovolné omezení používání vody	-2,0 až -2,9	11 až 20	11 až 20	-0,8 až -1,2	11 až 20
D2	Velké sucho	- Pravděpodobné ztráty na úrodě nebo pastvě - Běžný nedostatek vody - Zavedena vodní omezení	-3,0 až -3,9	6 až 10	6 až 10	-1,3 až -1,5	6 až 10
D3	Extrémní sucho	- Velké ztráty na úrodě/pastvě - Rozsáhlý nedostatek vody nebo omezení	-4,0 až -4,9	3 až 5	3 až 5	-1,6 až -1,9	3 až 5
D4	Mimořádné sucho	- Vyjimečné a rozsáhlé ztráty na úrodě/pastvě - Nedostatek vody v nádržích, potocích a studnách, což vede k ohrožení vody	-5,0 nebo méně	0 až 2	0 až 2	-2,0 nebo méně	0 až 2

Obrázek 20: Tabulka, která se používá na určení sucha v U.S. Drought monitor (U.S. Drought monitor 2022)



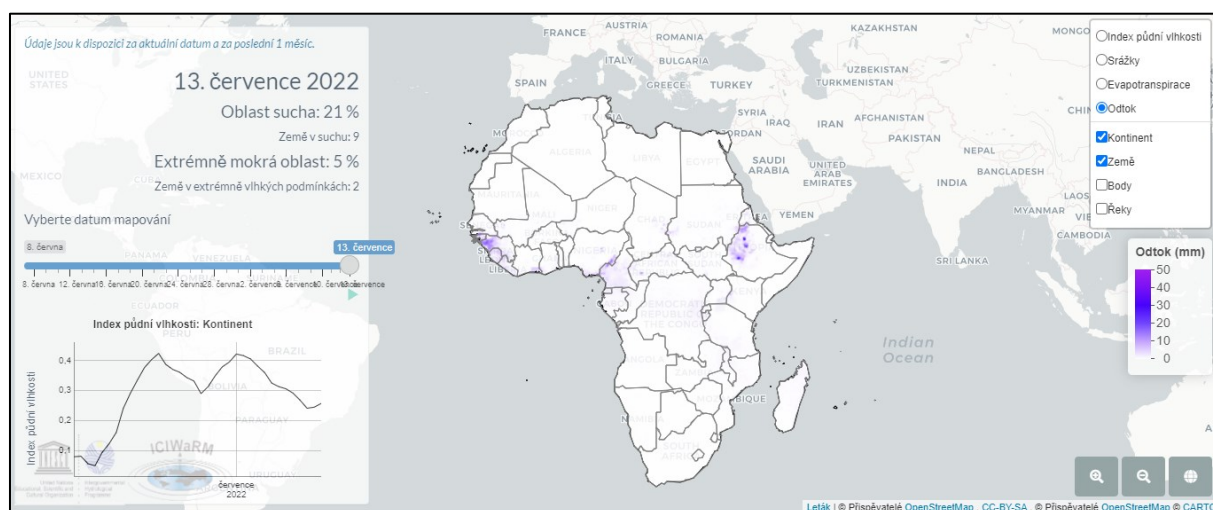
Obrázek 21: Mapové znázornění sucha v severní Americe ze dne 31. 05. 2022 (U.S. Drought Monitor 2022).

6.2 Jižní Amerika

Cílem latinskoamerického monitoringu sucha je poskytnout nástroj pro hodnocení aktuálního a očekávaného sucha a povodní v regionu. Monitoring vznikl ve spolupráci mezi Princetonskou univerzitou a Mezinárodním centrem pro integrované řízení vodních zdrojů (ICIWaRM) a používá stejné nastavení jako severoamerický monitoring sucha a monitoring sucha v Africe. Portál monitoringu obsahuje aktuální meteorologické informace (srážky, teplota, radiace a rychlost větru), dále indikátory sucha (SPI, půdní vlhkost, NDVI a odtok) Mapa monitoringu pro Jižní Ameriku prochází údržbou a je momentálně nedostupná (ke dni 29. 6. 2022). Jelikož ji ale spravuje stejná univerzita, lze předpokládat, že bude monitorovací systém podobný tomu africkému.

6.3 Afrika

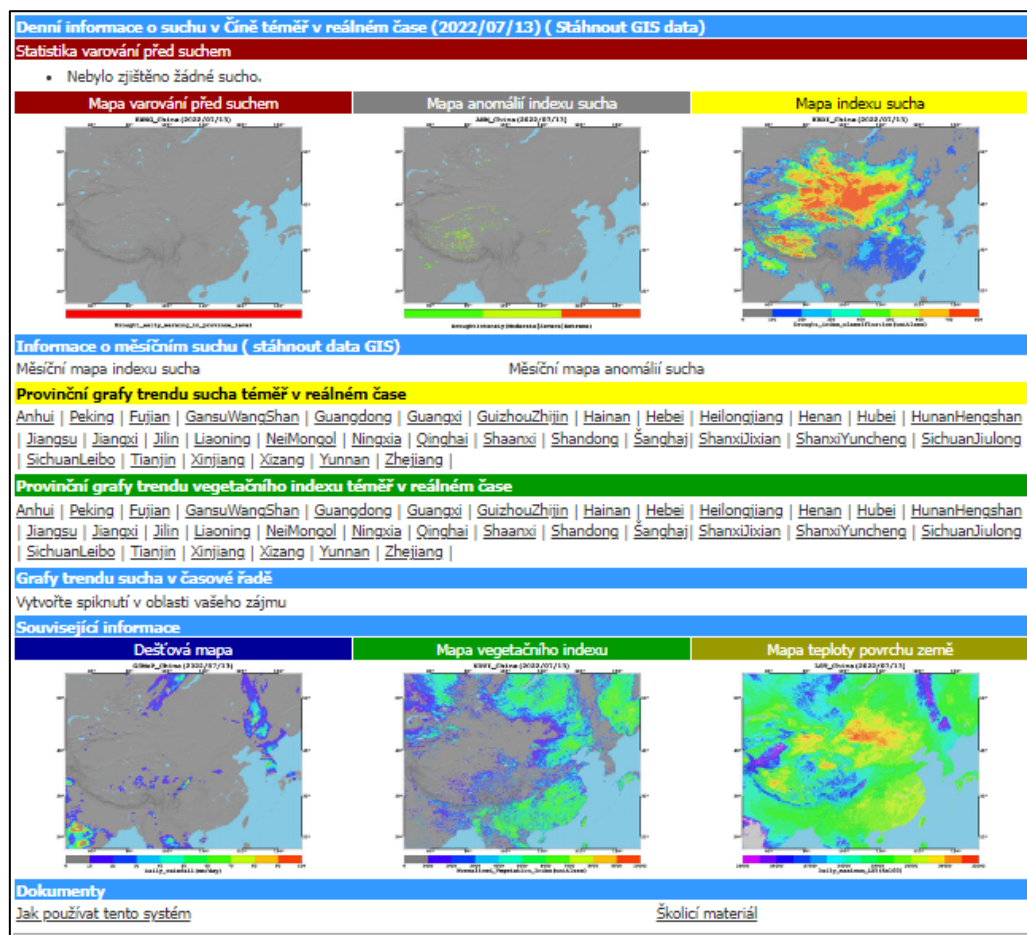
Předpověď sucha pro celou Afriku byla vyvinuta Princeton Climate Institute (PCI) ve spolupráci s univerzitou v Southamptonu a Princetonskou univerzitou, s finanční podporou mezivládního hydrologického programu UNESCO (IHP) a Mezinárodního centra pro integrované řízení vodních zdrojů (ICIWaRM). Portál obsahuje informace o aktuálních meteorologických informacích (srážky, teplota, radiace a rychlost větru), dále indikátory sucha (SPI, půdní vlhkost, NDVI a odtok), stejně jako v případě Latinské Ameriky. Informace se každý den aktualizují a je možnost se podívat až měsíc zpátky. Jsou také k dispozici 7denní předpovědi, které jsou simulovány na základě průměrných hodnot předchozích 7 dní spolu s 5percentil a 95percentil hodnot k dlouhodobému průměru (obr. 22). Hydrologické sucho se hodnotí pomocí hodnoty průtoku a porovnává se s dlouhodobým průměrem s využitím RAPID river routing modelu, který funguje na základě dat povrchového odtoku a podzemní vody. Dalším indikátorem hydrologického sucha je odtok modelovaný HBV modelem. Na stránkách je také možnost si prohlédnout hydrologickou situaci ve vybraných státech, např. Jihoafrická republika, Namibie, Malawi, Mosambik a Zimbabwe.



Obrázek 22: Mapové znázornění hydrologického sucha v Africe ze dne 28. 06. 2022 (Flood and Drought Monitors 2022)

6.4 Asie

Předpověď sucha pro celou Asii vytváří japonská univerzita v Tokiu pomocí dálkového průzkumu Země a indexu sucha KBDI (Keetch-Byram Drought Index), do kterého se zadávají meteorologické parametry (srážky, maximální teplota), a dále počítá s půdní vlhkostí a NDVI indexem. Výsledný index velmi dobře předpovídá požáry (obr. 23). Tento index má výhodu v tom, že není potřeba velké množství vstupních dat, ale není vhodný na predikci nebo monitoring hydrologického sucha (AgriMetSoft 2020, Takeuchi Wataru 2022)

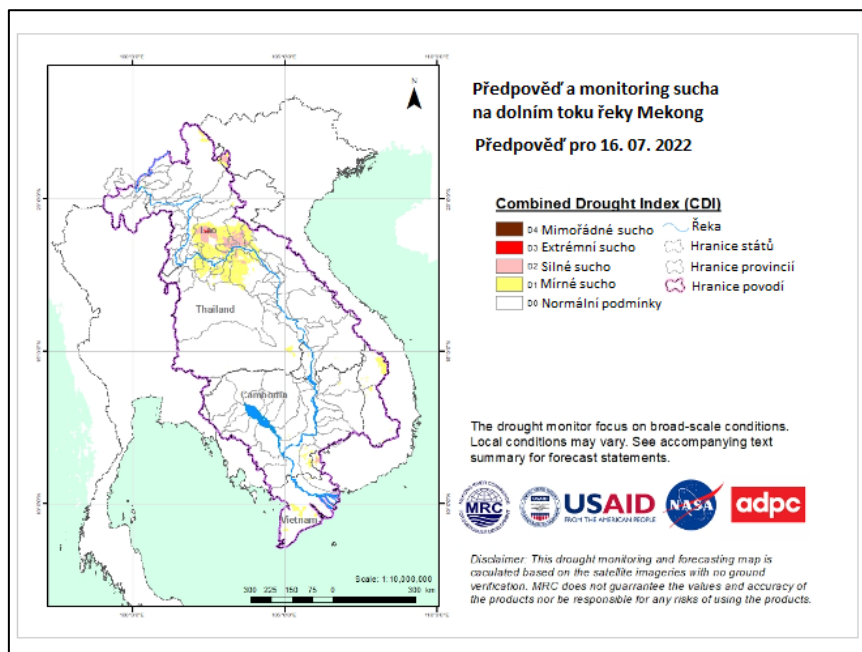


Obrázek 23: Denní a měsíční monitoring a předpověď sucha v Číně z Tokijské univerzity (Takeuchi Wataru 2022)

6.4.1 Thajsko, Vietnam, Laos

Tyto státy monitorují suchu v povodí Mekongu. Předběžná verze byla zveřejněna v roce 2018, momentálně lze na stránkách (droughtforecast.mrcmekong.org) zobrazit předpověď sucha pomocí indikátoru sucha CDI, který kombinuje SPI (standardizovaný srážkový index), SMA (Soil Moisture Anomaly) a SRI (Standardized Runoff index). Všechna data, která jsou použita k výpočtu intenzity sucha, jsou z dálkového průzkumu a pomocí pozemních stanic se neověřují. Mapové výstupy jsou přístupné jen pro CDI (obr. 24). Samostatně pak lze sledovat

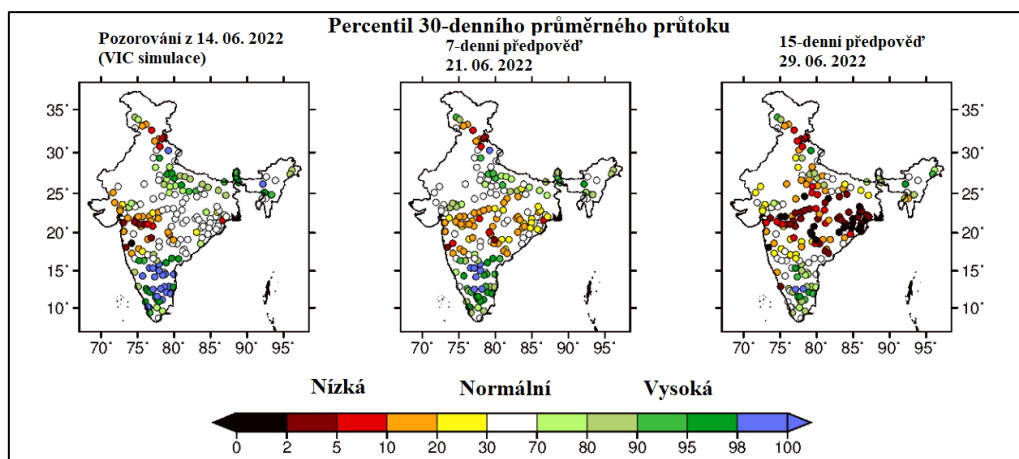
i pro indikátory SPI a SMA. K předpovědi hydrologického sucha se používá SRI, mapa pro SRI je teď momentálně nedostupná (ke dni 29. 6. 2022). V povodí Mekongu se předpovídá a monitoruje sucho na týdenní a měsíční bázi (Mekong River Commission 2019a).



Obrázek 24: Mapové znázornění sucha v povodí Mekongu za týden 26. (Mekong River Commission 2019)

6.4.2 Indie

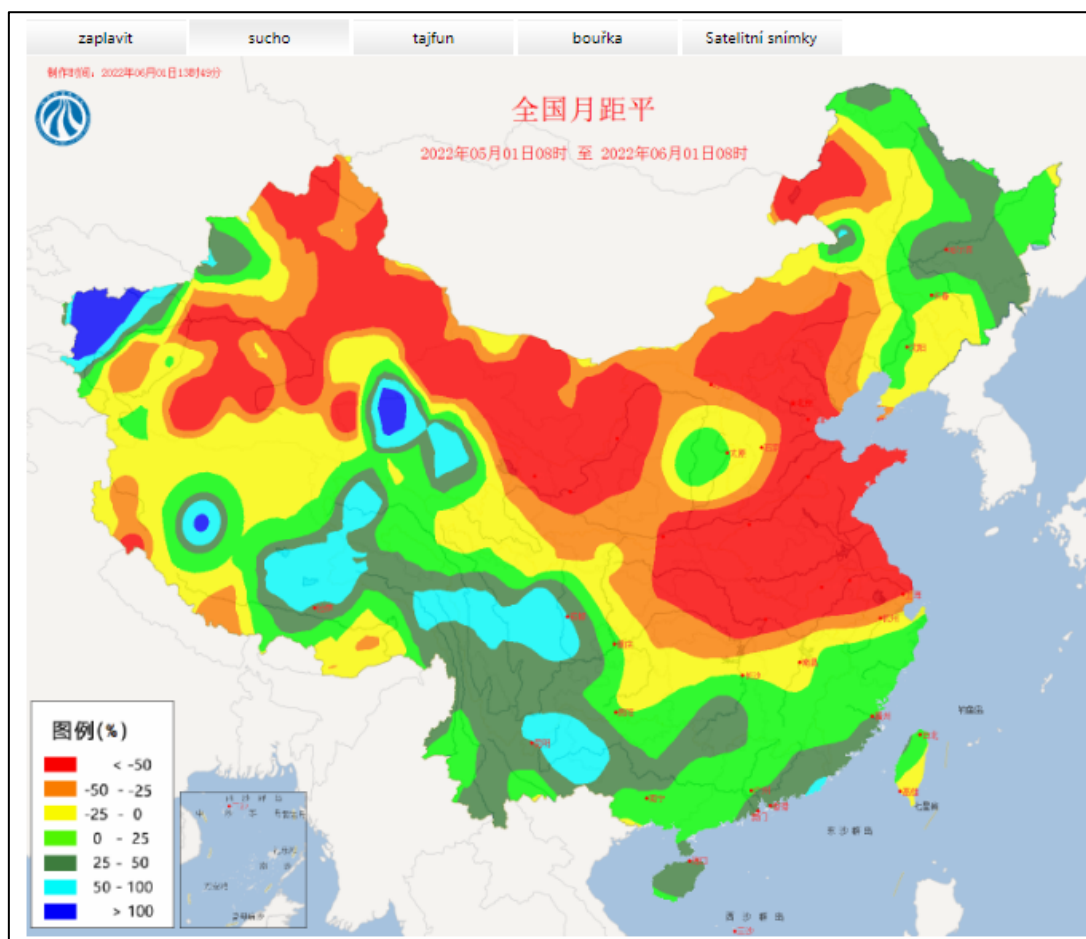
V Indii se potýkají se suchem už řadu let, proto byl vyvinut předpovědní a monitorovací systém na všechny druhy sucha. Hydrologické sucho se vyhodnocuje podle SRI za pomoci modelu VIC (Variable Infiltration Capacity), který v téměř reálném čase dokáže odhadnout závažnost plošného rozsahu agronomického a hydrologického sucha (obr. 25). Ze studie Shah, Mishra (2015) vyplývá, že sucho z experimentálního monitoru sucha (VIC) bylo přesnější oproti satelitnímu indexu závažnosti sucha.



Obrázek 25: Předpověď hydrologického sucha na 7 a 15denní na území Indie pomocí model VIC ze dne 14. 06. 2022 (India Drought Monitor 2022)

6.4.3 Čína

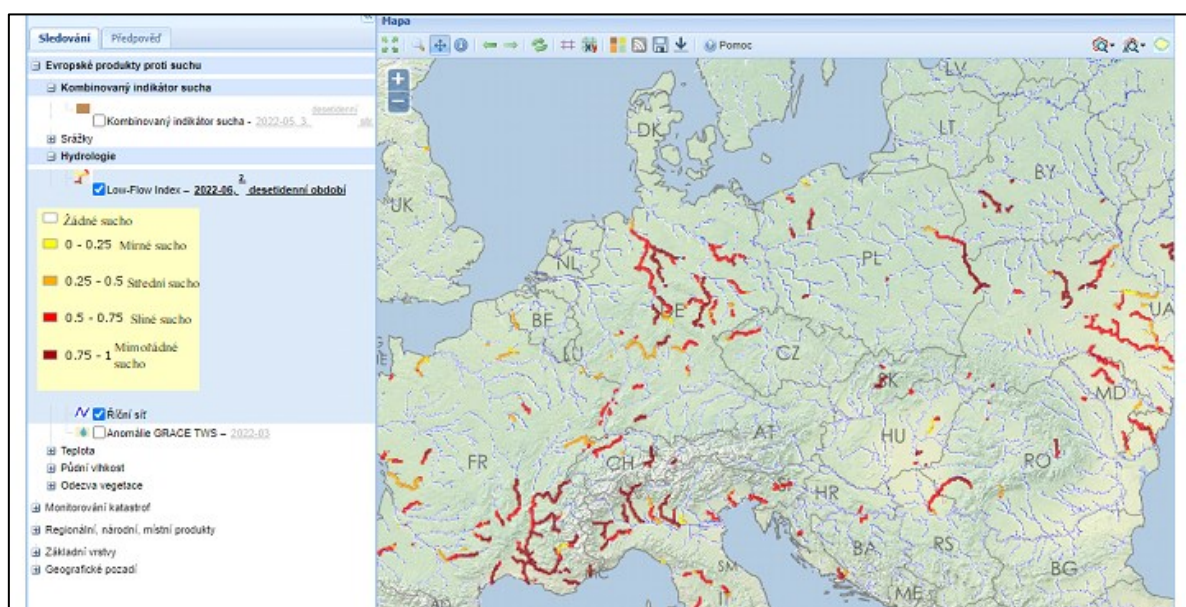
V Číně mají vlastní sledování hydrologického sucha, které je veřejné pouze pro občany Číny, a proto k němu není přístup ze zahraniční a nelze přesně určit, podle jakých indexů sucho měří (obr. 26). Veřejné mají pouze schematicky připravené pohotovostní plány pro každé povodí. Zároveň má vlastní pohotovostní plány každá provincie, protože každé území má jinou správu pravomoce a prostředky na ochranu před suchem. Hlavním nástrojem pro sběr dat, pro monitoring sucha je dálkový průzkum Země, hydrologické stanice a meteorologické stanice (Quánguó shuǐ yǔqíng xìn 2022).



Obrázek 26: Mapa sucha v Číně ze dne 27. 06. 2022 (Quánguó shuǐ yǔqíng xìn 2022).

6.5 Evropa

V rámci Evropské unie vznikl EDO (European Drought Observatory) neboli Evropská Observatoř Sucha, která na svých stránkách informuje o suchu. Na svých stránkách mají interaktivní mapy, ve kterých si lze navolit různé indikátory sucha z různých zdrojů dat. Jeden z indikátorů je kombinovaný indikátor sucha (CDI), který spojuje SPI (standardizovaný srážkový index), SMA (Soil Moisture Anomaly) a FAPAR Anomaly pro detekci a hodnocení dopadů sucha na vegetaci. Indikátor SMA pomocí hydrologického modelu LISFLOOD a na základě standardizované půdní vlhkosti (SMI) předpoví její odchylky a anomálie. Při kombinaci všech těchto indikátorů nám vytváří souhrnnou situaci o suchu za posledních 10 dní. Hydrologické sucho se hodnotí podle indexu low-flow, který je simulací denních hodnot průtoků vytvořenou pomocí LISFLOOD modelu (obr. 27). Ten navíc simuluje i hlavní hydrologické procesy a díky tomu vyhodnotí intenzitu sucha na dané části toku. Mapové výstupy se vytvářejí na období deseti dní (EDO 2022).

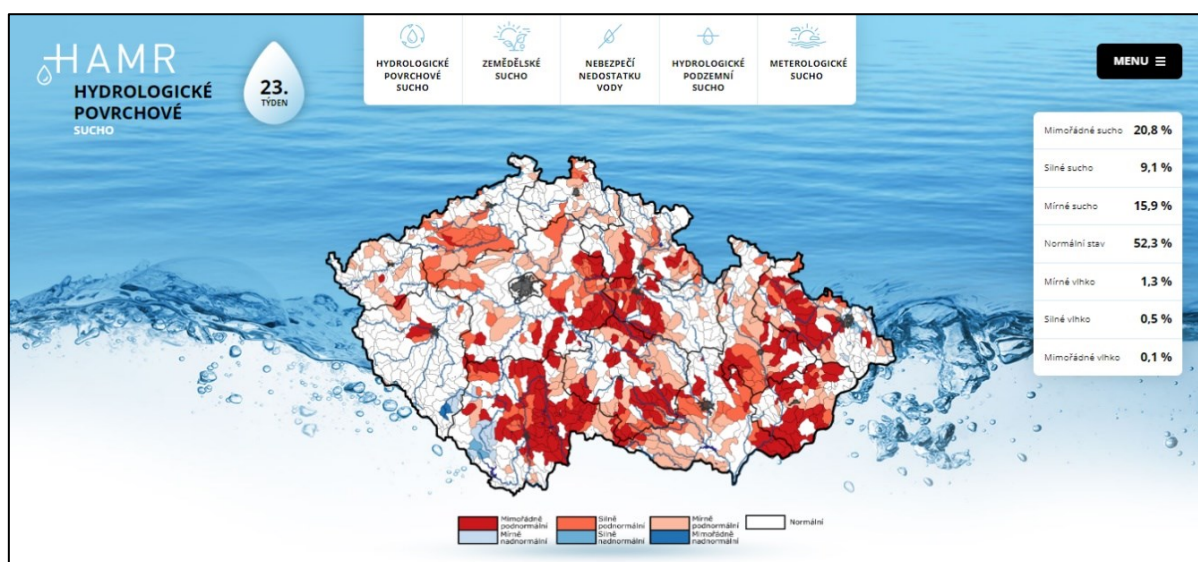


Obrázek 27: Mapové znázornění hydrologického sucha podle Low-Flow indexu v Evropě za 10 dní (10. 06. 2022–20. 06. 2022) (EDO 2022)

6.5.1 Česko

V Česku se suchem zabývá Český hydrometeorologický ústav od roku 2015. Ve spolupráci se správci povodí a s Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. M. zveřejňuje, zpracovává a hodnotí sucho na území ČR a tato data zveřejňuje Český hydrometeorologický ústav na webových stránkách HAMR (www.hamr.chmi.cz). Pro hydrologické sucho se v Česku používá hydrologický model Bilan.

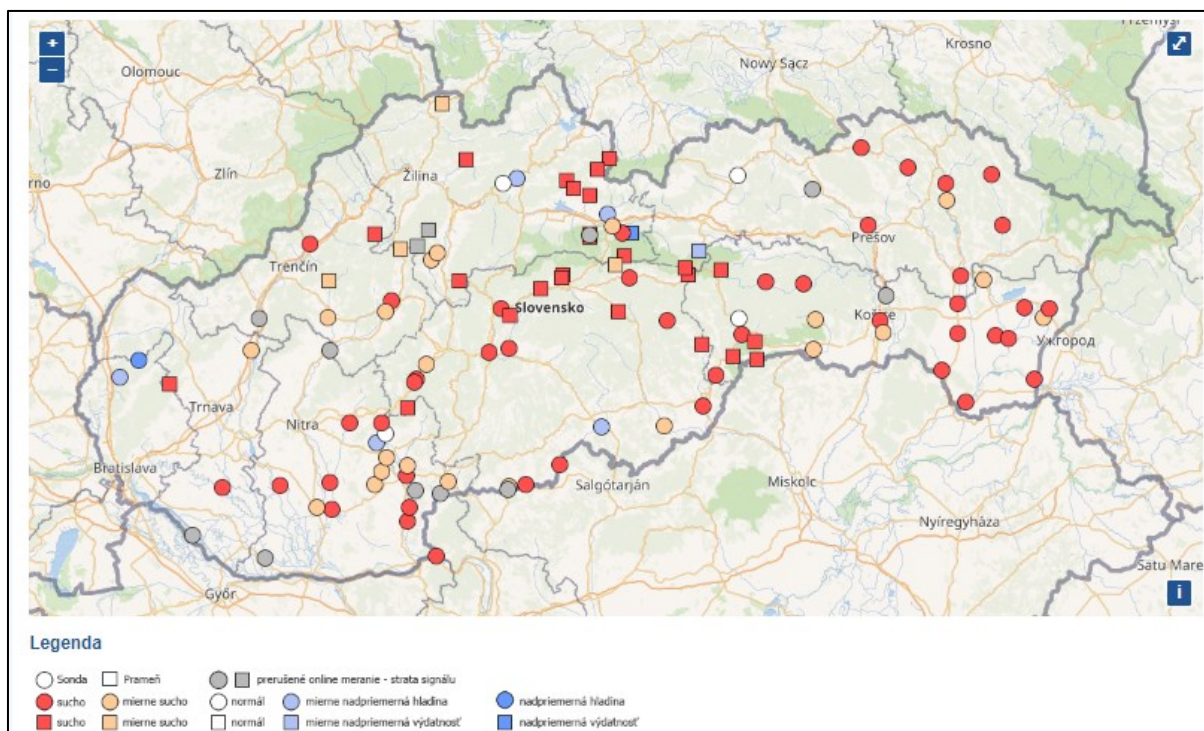
Hlavním kritériem pro vyhodnocení hydrologického sucha je nedostatkový objem, kdy je průtok hodnocen pomocí časových funkcí, které jsou v čase proměnné v závislosti na nárocích na vodu. Hlavním faktorem je hodnota prahu neboli horní kvantily průměrného ročního průtoku Q90% nebo průměrného denního průtoku Q355 nebo Q364. Aktuální výsledky pak publikují na stránkách HAMR, kde lze najít souhrnnou aktuální situaci či situaci z minulých týdnů jako mapový výstup se slovním popisem a video s vyhodnocením sucha za daný týden (obr. 28). Dále také zveřejňují předpověď hydrologického sucha pro celé území ČR s výhledem až na 8 týdnů dopředu (HAMR 2019).



Obrázek 28: Mapové znázornění hydrologického sucha na území ČR za týden 23. (HAMR 2019)

6.5.2 Slovensko

Na stránkách Slovenského hydrometeorologického ústavu vydávají výstrahy na hydrologické sucho v určitém povodí, na denní a měsíční bázi. Hydrologické sucho určují podle porovnání dlouhodobého průměru měsíčních nebo denních průtoků za referenční období v letech 1961–2000 s aktuálním stavem, rozdíl se vyjadřuje v procentech. Slovensko také zveřejňuje denní hladiny podzemní vody, které porovnávají s dlouhodobým průměrem (za roky 1981 až 2010) a na základě porovnání výšky vodní hladiny nebo vydatnosti pramene určují intenzitu sucha na daných stanicích. Výstupem jsou mapy s barevně rozlišenými body v závislosti na rozdílech průtoků nebo rozdílech výšky hladiny podzemní vody od dlouhodobého průměru z let 1981 až 2010 (obr. 29). Zatím toto hydrologické hodnocení sucha běží ve zkušebním provozu (SMHÚ 2022).

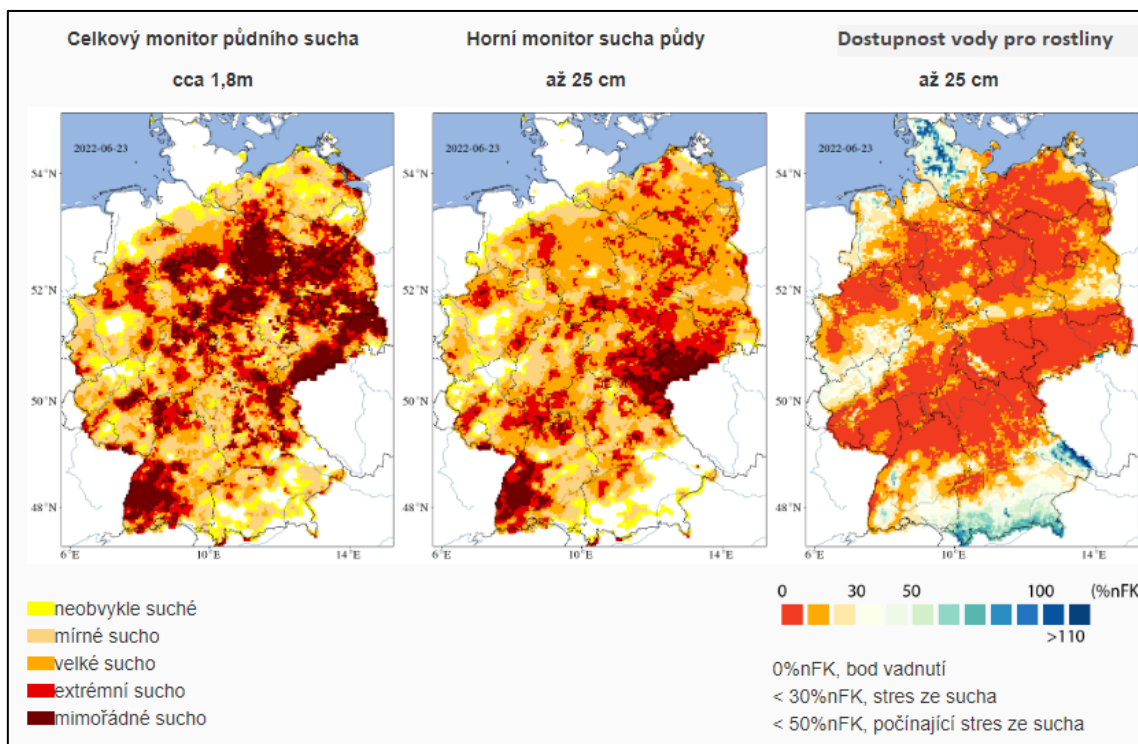


Obrázek 29: Operativní údaje pozorovacích objektů podzemních vod a hodnocení výskytu sucha ze dne 22. 06.2022 (SMHÚ 2022)

6.5.3 Německo

V Německu se hydrologickým suchem zabývá centrum výzkumu životního prostředí UFZ HELMHOLTZ a v rámci projektu HOKLIM se zabývají změnou hydrologického a zemědělského sucha a množstvím záplav způsobených globální změnou klimatu. Předpovídá sucho pomocí mHM modelu – meziměřítkový hydrologický model.

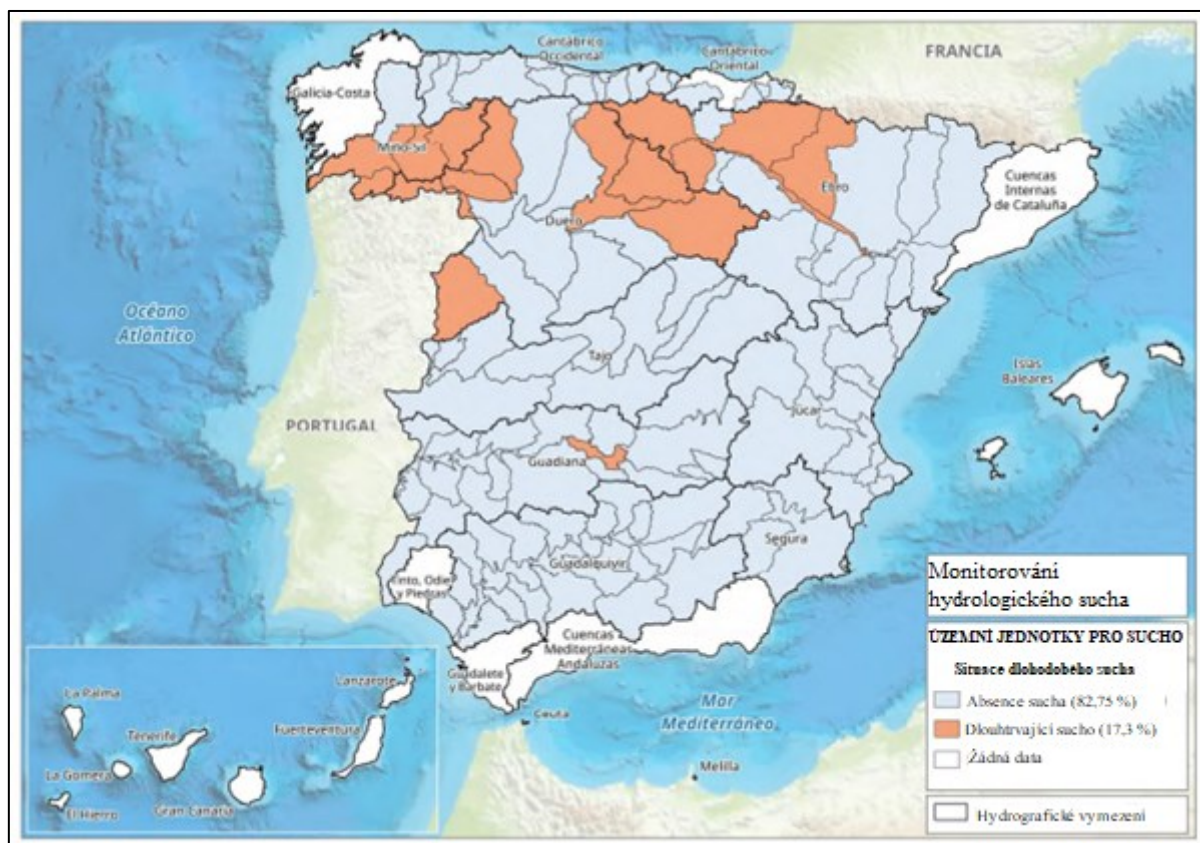
Data pro model jsou získávána pomocí dálkového průzkumu Země nebo hláskými stanicemi na daném území, proto mHM model rozlišuje tři úrovně dat pro lepší reprezentaci prostorové variability. Pomocí mHM modelu němečtí hydrologové monitorují hlavně půdní sucho, ale i sucho hydrologické, které se dá následně použít i na samotnou jeho předpověď (obr. 30). Informace o hydrologickém suchu ale již na stránkách UFZ nepublikují (mHM 2022).



Obrázek 30: Mapové znázornění půdního sucha v Německu ze dne 22. 06. 2022 (UFZ 2022)

6.5.4 Španělsko

Ve Španělsku se vydává každý měsíc zpráva o vývoji a situaci sucha, kdy pro každé povodí mají svůj vlastní souhrnný plán, tzv. PES – způsob chování při suchu a doporučená opatření pro situaci, kdy se sníží průtoky nebo nastane dlouhodobý deficit srážek na daném území. Intenzitu sucha určují podle hladiny pozemní vody a podle průtoků ve vodních tocích. Pro každé povodí jsou díky jejich odlišným charakteristikám nastavené trochu jiné parametry pro hodnocení sucha a také i odlišná opatření. Pro jednotlivá povodí dokonce mají mapové výstupy, které ukazují, ve které části povodí se sucho vyskytuje a jak je nebezpečné. Na základě porovnávání historických dat a současných dat srovnávají srážkové úhrny a průtoky jednotlivých povodí a na základě toho určují intenzitu sucha. Mapy s aktuálními výstrahami nejsou přístupné veřejnosti, pro veřejnost jsou k dispozici pouze souhrnné měsíční zprávy a aktuální opatření pro danou oblast (obr. 31, MITECO 2022).



Obrázek 31: Mapové znázornění hydrologického sucha ve Španělsku za měsíc duben 2022 (MITECO 2022)

7 Diskuse

V této kapitole jsou diskutovány rozdíly mezi českým a zahraničním pohledem na sucho, potažmo na hydrologické sucho, a dále rozdíly ve výstražných systémech napříč různými regiony. Sucho se v každém státě nebo dokonce i mezi regiony může lišit díky různým klimatickým podmínkám, různorodosti krajinného pokryvu a celkovému přístupu k vodním zdrojům.

Jelikož je sucho v poslední době velmi aktuální téma, u spousty států nebo regionů nebylo možné dohledat některé důležité informace. V Číně jsou přístupné pouze obecné informace o výstražných systémech sucha, žádné konkrétní indexy nebo informace o modelech nejsou veřejně přístupné v zahraničí mimo Čínu – vyžadují národní přihlášení pro občana Čínské lidové republiky. V Itálii hodnotí sucho pouze podle srážek, což je velmi nedostačující vzhledem ke značnému množství řek, především na severu Itálie, se sněhovo-dešťovým režimem. V současné době řeka Pád zažívá největší sucho za posledních 70 let díky nedostatku sněhové pokrývky v Alpách. V jihovýchodní Asii nemají jednotný monitoring pro hydrologické sucho a lze pouze dohledat informace k jednotlivým povodím, a navíc lze dohledat pouze aktuální informace o suchu s týdenním záznamem bez budoucích předpovědí.

Některé definice meteorologického sucha identifikují období sucha na základě počtu dní se srážkami nižšími, než je určitá specifikovaná prahová hodnota. Toto opatření je vhodné pouze pro regiony charakterizované celoročním srážkovým režimem, jako je tropický deštný prales, vlhké subtropické klima nebo vlhké klima střední šířky. Například místa jako Manaus (Brazílie), Louisiana (USA) a Londýn (Velká Británie). Jiné klimatické režimy jsou charakterizovány vzorem sezónních srážek, jako je např. centrální USA, severovýchodní Brazílie, západní Afrika a severní Austrálie. Období sucha, kde se nevyskytují srážky, jsou běžné v Nebrasce (USA), Ceará (Brazílie) a v Severozápadním teritoriu (Austrálie). Definice založená na počtu dnů se srážkami nižšími, než určitá stanovená prahová hodnota je pro tyto oblasti nepoužitelná. Jiné definice mohou srovnávat skutečné srážky k průměrnému množství srážek za měsíc, za sezónu nebo za rok, např. pomocí indexu SPI nebo PDSI (NDMC 2022). Meteorologické sucho se v Česku stanovuje pomocí SPEI indexu, který zohledňuje bilanci mezi evapotranspirací a srážkovým úhrnem (HAMR 2019).

V Česku se agronomické sucho hodnotí pomocí odchylky půdní vlhkosti od normálu za referenční období 1981-2010 pro daný týden (v nejbližší době se bude přecházet na nové referenční období a to 1991-2020) (HAMR 2019). Naopak v Africe agronomické sucho hodnotí

pomocí půdní vlhkost a pomocí NDVI indexu, který na základě odrazu světla ze snímku z dálkového průzkumu Země dokáže zjistit kvalitu vegetace (Flood and Drought Monitors 2022, GIS Geography 2022).

Pro hydrologické sucho je několik způsobů, jak ho hodnotit a opět záleží na klimatických podmínkách, na typu půdy, geologickém podloží a vodních režimu. Díky tomu je velké množství indexů pro hydrologické sucho a nejčastějšími jsou odtok v percentilu (Q_{355}), výška vodní hladiny, Palmer Hydrological Drought Severity Index (PHDSI), Standardized Runoff index (SRI). Některé regiony při určování hydrologického sucha odlišují, zda je hydrologické sucho (povrchové) nebo sucho v podzemní vodě (Bachmair et. al. 2016). V Česku také odlišujeme sucho v podzemních vodách a v povrchových vodách, a pokud je sucho přítomné jak v podzemních vodách, tak v těch povrchových, nazýváme ho hydrologickým suchem. Pro vyhodnocení povrchového sucha se používá index SRI a podzemní sucho se hodnotí podle hodnoty mělkých vrtů (ve srovnáním s normálem, HAMR 2019).

Každý stát, region nebo kontinent přistupuje k hodnocení sucha a k jeho monitoringu a výstražnému systému před suchem trochu jinak. Někteří hodnotí sucho komplexně, např. US. Drought Monitor nebo monitoring sucha pro Evropu (EDO), pomocí kombinací různých indexů pro sucho. Nevýhodou je, že podle těchto kombinovaných indexů sucha se nedá rozeznat, jaké sucho právě probíhá. Viditelná bývá pouze intenzita sucha, pokud není nějak blíže specifikovaná, jako je to v případě US. Drought Monitor, který každý týden vydává souhrnnou zprávu.

Afrika a Jižní Amerika mají monitoring velmi podobný, jelikož oba spravuje univerzita Princeton. Afrika má monitoring nejen pro vybrané státy, ale také souhrnný pro celý kontinent. Monitoring v Jižní Americe je bohužel dočasně v údržbě, ale dá se předpokládat, že bude velmi podobný tomu africkému, jelikož používají stejné indikátory sucha a stejné modely pro předpověď.

V Asii je asi největší rozdíl mezi jednotlivými státy. Tokijská univerzita pomocí dálkového průzkumu Země vyhodnocuje sucho v celé Asii pomocí KBDI indexu pro hodnocení meteorologického sucha a NDVI indexu, který je spíše vhodný k hodnocení agronomického sucha. Oba indexy společně velmi dobře předpovídají hrozbu požárů a následně univerzita vydává výstrahy před požáry. Thajsko, Vietnam a Laos monitoruje sucho pomocí CDI indexu a hydrologické sucho pomocí SRI indexu, zatímco Indie předpovídá hydrologické sucho také podle SRI indexu, ale největší rozdíl je v tom, že v Indii používají VIC model pro modelování předpovědi, zatímco v Thajsku, Vietnamu a v Laosu mají předpověď pro SRI index momentálně nedostupnou, dostupná je pouze pro CDI index.

Pomocí indexů pro monitoring hydrologického sucha lze vytvářet mapové výstupy. Například monitoring v Česku a na Slovensku si jsou velmi podobné a je to dané podobnými hydrologickými a klimatickými podmínkami a pravděpodobně i společnou historií. Oproti tomu Německo a Španělsko k monitorování hydrologického sucha přistupují zcela odlišně. Německo sice monitoring pro hydrologické sucho má, ale nikde ho nepublikuje, zatímco Španělsko mají připravené souhrnné plány, jak se zachovat při potenciálním hydrologickém suchu. Sice jsou veřejné pouze souhrnné měsíční zprávy. Zároveň ale mají připravená opatření pro zmírnění hydrologického sucha.

8 Závěr

V této práci byly formou rešerše české a zahraniční literatury shrnuty poznatky o monitoringu hydrologického sucha a jeho výstražných systémech. Jedním z cílů bylo vymezení sucha a rozdílnost v interpretování napříč jednotlivými regiony světa. Díky různorodým podmínkám hodnotí sucho jednotlivé regiony odlišně s využitím nespočtu rozdílných indikátorů sucha, a proto jsou pro každý region vhodné jiné indexy a liší se i dopady sucha na daný region.

Dále se práce věnovala současné situaci sucha v Česku a byla popsána různá hydrologická sucha ve vybraných regionech světa včetně nastínění jejich problematiky. Jelikož sucho tvoří 15 % přírodních katastrof, je velmi důležité se zabývat problematikou sucha a zmírňovat jeho dopady. Monitoring a výstražné systémy jsou jedním ze způsobů, kterými můžeme zmírnit dopady sucha jak na ekosystémy, tak i na lidskou společnost.

Dalším cílem bylo zjistit, zda se ve světě vyskytují výstražné systémy na hydrologické sucho. Jedním z hlavních výstražných systémů je právě monitoring sucha, který je esenciálním vstupem pro všechny další výstražné systémy, protože bez prvotního monitoringu sucha, bez informací o přírodních podmínkách předcházejících jeho vzniku a bez znalostí jeho možného vývoje, by nebylo možné před suchem varovat. Téměř každý stát dotčený suchem má výstražný systém týkající se povodňových situací, jehož součástí je i právě výstraha před suchem včetně jeho monitoringu. Za pomoci dat ze sledování hydrologických a meteorologických veličin si každý stát může nastavit svůj výstražný systém pomocí velkého množství indexů, kdy si v ideálním případě zvolí ten nejvíce se hodící index vzhledem ke klimatu a fyzicko-geografické povaze státu nebo regionu.

V současnosti jsou monitoring sucha a výstražné systémy především v regionech a zemích, kde se sucho nejčastěji vyskytovalo nejen historicky a suché epizody se zde neustále objevují až do současnosti, ale i v regionech, ve kterých se sucho objevilo teprve v posledních desetiletích a na základě klimatických modelů se předpokládá jeho zintenzivnění v následujících dekádách. Především z důvodu zvyšujícího se počtu regionů trpících suchem a počtu oblastí s nedostatkem vody, které plošně velmi rychle rostou, se monitoring sucha zpřesňuje lepší parametrizací modelů na základě nových pozorování a dat. S tím souvisí i vývoj výstrah před suchem a zdokonalování jeho předpovědí včetně možných řešení k předcházení sucha či ke zmírnění jeho následků. V budoucnu se dá předpokládat, že monitoring sucha s výstražnými systémy se bude rozšiřovat do dalších oblastí světa díky globální změně klimatu a zvyšujícímu se počtu suchých epizod v různých regionech světa.

9 Použitá literatura a zdroje

9.1 Seznam použité literatury

- ABERA, K., GEBEYEHU, A. (2022): Review of Hydrological Drought Analysis Status in Ethiopia, <https://www.intechopen.com/online-first/80924> in A. P. M. Eyvaz et al. (eds.), Drought - Impacts and Management
- ANYAMBA A., GLENNIE E., SMALL J. (2018): Teleconnections and Interannual Transitions as Observed in African Vegetation: 2015–2017. *Remote Sensing*, 10(7) 1038.
- BACHMAIR S., STAHL K., COLLINS K., HANNAFORD J., ACREMAN M., SVOBODA M., KNUTSON C., SMITH K. H., WALL N., FUCHS B., CROSSMAN, N. D. (2016): Drought indicators revisited: the need for a wider consideration of environment and society. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(4), 516–536.
- BERGSTROM, S. (1992): The HBV Model: Its Structure and Applications, Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI), Hydrology, Norrköping, 35
- BRÁZDIL, R., TRNKA, M., a kol. (2015): Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i, Brno,
- CAO Y., NAN Z., CHENG G. (2015): GRACE Gravity Satellite Observations of Terrestrial Water Storage Changes for Drought Characterization in the Arid Land of Northwestern China. *Remote Sensing* 7(1), 1021–1047.
- DUFFKOVÁ, R. (2003): Porovnání hodnot aktuální evapotranspirace travního porostu získaných třemi různými metodami. Praha: *Acta Hydrologica Slovaca*, 4(2), 323 s.
- HISDAL, H., STAHL, K., TALLAKSEN, L. M., DEMUTH, S. (2001): Have droughts in Europe become more severe or frequent? *International Journal of Climatology*, 21(3), 317–333.
- LIŽANOVÁ I. (2022): Potravinový deficit v rozvojových zemích: faktory vzniku, regionální diferenciaci, možná řešení. Bakalářská práce. PřF UK, Praha, 66.
- MOTE, P. W., RUPP, D. E., SIHAN, Li., SHARP, D. J., FRIEDERIKE, O., UHE, P. F., XIAO, Mu., LETTENMAIER, D. P., CULLEN, H., ALLEN, M. R. (2016): Perspectives on the causes of exceptionally low 2015 snowpack in the western United States. *Geophysical Research Letters*, 43(20), s. 10 980–10 988.

PALMER, W. C. (1965): Meteorological drought. Research Paper No. 45. U.S. Weather Bureau, 59.

PHILIP, S., KEW, S., VAN OLDENBORGH, G. J., OTTO, F., O'KEEFE, S., HAUSTEIN, K., KING, A., ZEGEYE, A., ESHETU, Z., HAILEMARIAM, Z., SINGH, R., JJEMBA, E., FUNK, C., CULLEN, H. (2017): Attribution Analysis of the Ethiopian Drought of 2015. *Journal of Climate*, 31(6), 2465–2486.

RIVERA JA., OTTA S., LAURO C., ZAZULIE N. (2021): A Decade of Hydrological Drought in Central-Western Argentina. *Front. Water* 3:640544.

SEIBERT J., VIS M. (2012). Teaching hydrological modeling with a user-friendly catchment-runoff-model software package. *Hydrology and Earth System Sciences*. 16(9,) 3315-3325.

SHAH, R. D., & MISHRA, V. (2015): Development of an Experimental Near-Real-Time Drought Monitor for India. *Journal of Hydrometeorology*, 16(1), 327–345.

SPIECKER, H. (2000): Growth of Norway spruce (*Picea abies*, L., Karst.) under changing environmental condition in Europe. In: Klimo, E., Hager, H., Kulhavý, J., eds.: Spruce monocultures in central Europe – problems and prospects. EFI Proceedings No. 33, 11-26.

SVOBODA M., HAYES M., WOOD D. (2012): Standardized Precipitation Index User Guide. World Meteorological Organization, WMO-No. 1090, Geneva.

TALLAKSEN, L. M., VAN LANEN, H. A. (2004): Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. *Developments in Water Science* 48. Elsevier Science B. V., Amsterdam, 579.

TRNKA, P. (2010): Možné důsledky dlouhotrvajícího sucha v naší krajině a ve světě. Ústav aplikované a krajinné ekologie AF MENDELU, Brno.

RICHARD, R., HEIM, JR. (2017): A Comparison of the Early Twenty-First Century Drought in the United States to the 1930s and 1950s Drought Episodes, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(12), 2579–2592.

VLNAS, R. a kol. (2010): Časová a plošná variabilita hydrologického sucha na území České republiky. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, V.V.I., Praha.

VLNAS, R., BERAN, A., HANEL, M., HRABÁNKOVÁ, A., HRDINKA, T., KAŠPÁREK, L., MARTÍNKOVÁ, M., PELÁKOVÁ, M., TREML, P., VIZINA, A., BAŠTA, P., JAČKA,

L., MÁČA, P., PAVLÁSEK, J., PECH, P. (2015): Návrh koncepce řešení krizové situace výskytu sucha a nedostatku vody v České republice. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 49.

WANG, W.; SHEN, Y.; WANG, F.; LI, W. (2021): Two Severe Prolonged Hydrological Droughts Analysis over Mainland Australia Using GRACE Satellite Data. Remote Sens, 13 (8).

WILHITE, D. A., GLANTZ, M. H. (1985): Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, Water International, 10 (3), 111–120.

9.2 Internetové zdroje

Agricultural and Meteorological Software-AgriMetSoft (2020): Which weather data are essential to calculate KBDI (Keetch-Byram Drought Index)?. Dostupné z:
[https://agrimetsoft.com/faq/Which%20weather%20data%20are%20essential%20to%20calculate%20KBDI%20\(Keetch-Byram%20Drought%20Index\)](https://agrimetsoft.com/faq/Which%20weather%20data%20are%20essential%20to%20calculate%20KBDI%20(Keetch-Byram%20Drought%20Index)) (cit. 29.06.2022)

Australian Bureau of Statistics (2012): Year Book Australia, 1988. Dostupné z:
<https://www.abs.gov.au/ausstats/abs@.nsf/lookup/1301.0feature%20article151988> (cit. 29.06.2022)

California drought action (2022): Weekly california drought action. Dostupné z:
<https://drought.ca.gov/media/2022/06/Weekly-CA-Drought-Update-06212022.pdf> (cit. 23.07.2022)

CRHOVÁ, L., ČEKAL, R. a kol. (2019): Roční zpráva o hydrometeorologické situaci v České republice 2018. Dostupné z:
https://www.chmi.cz/files/portal/docs/hydro/sucho/Zpravy/ROK_2018.pdf (cit. 29.06.2022)

ČEKAL, R. a kol. (2022): Roční zpráva o hydrometeorologické situaci v České republice 2021. Dostupné z:
https://www.chmi.cz/files/portal/docs/hydro/sucho/Zpravy/ROK_2021.pdf (cit. 29.06.2022)

ČHMÚ (2022a): Sucho. Dostupné z:<https://www.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#> (cit. 17. 05. 2022)

ČHMÚ (2022b): Hydrologické sucho. Dostupné z:
https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/Hydrologicke_sucho.html (cit. 27.

06. 2022)

ČHMÚ (2022c): Hlásná a předpovědní povodňová služba. Dostupné z:
<https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/vodnosti/vodnosti.html#priklad> (cit.
14.07.2022)

DAŇHELKA, J. a kol. (2015): Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2015.
Dostupné z:
https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/zpravy/Sucho_2015_kompletni_zprava.pdf (cit. 29.06.2022)

DAŇHELKA, J. a kol. (2019): Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2018.
Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2019/Sucho_2018.pdf (cit.
29.06.2022)

DROUGHT IN NUMBERS 2022 (2022): COP-15 Côte d'Ivoire. Dostupné z:
<https://www.unccd.int/news-stories/press-releases/world-crossroads-drought-management-29-generation-and-worsening-says-un> (cit. 28.06.2022)

EDO (2022): European Drought Observatory – JRC European Commission. Dostupné z:
<https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1000> (cit. 27. 06. 2022)

Echo Flash (2020). Dostupné z: <https://erccportal.jrc.ec.europa.eu/ECHO-Products/Echo-Flash#/echo-flash-items/18313> (cit. 28.06.2022)

Flood and Drought Monitors (2022): Hydrology Soton. Dostupné z:
<http://hydrology.soton.ac.uk/apps/> (cit. 28.06.2022)

GDACS (2022): Global Disaster Alert and Coordination System. Dostupné z:
<https://www.gdacs.org/Alerts/default.aspx> (cit. 17.07.2022)

HAMR (2019). Dostupné z: <https://hamr.chmi.cz/metodiky> (cit. 03. 05. 2022)

HANEL, M., a kol (2019): Vyhodnocení změn výskytu sucha v dlouhodobé perspektivě,
https://www.chmi.cz/files/portal/docs/ruzne/Sbornik_Sucho_komplet_web.pdf (cit.
29.06.2022)

Helmholtz-Centre for Environmental Research–UFZ (2022): Dostupné z:
https://www.ufz.de/export/data/2/207531_HOKLIM_Brosch%C3%BCre_final.pdf (cit.
21.06.2022)

- India Drought Monitor (2022): Streamflow Monitor. Dostupné z: https://sites.google.com/a/iitgn.ac.in/high_resolution_south_asia_drought_monitor/streamflow-monitor?authuser=0 (cit.27. 06. 2022)
- Mekong River Commission (2019a): Lower Mekong Basin. Dostupné z: <http://droughtforecast.mrcmekong.org/maps> (cit. 28.06.2022)
- Mekong River Commission (2019b): Mekong low flow and drought conditions 2019-2021. Dostupní z: <https://www.mrcmekong.org/assets/Publications/Mekong-low-flow-and-drought-conditions-2019-2021df.pdf> (cit. 23. 07. 2022)
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico–MITECO (2022): Planes de gestión de sequías cono barra herramientas Dostupné z: https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/planificacion-gestion-sequias/Copia_de_default.aspx (cit. 25. 06. 2022)
- NDMC (2022): Drought in-depth. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, <https://drought.unl.edu/Education/DroughtIn-depth.aspx> (cit.03. 05. 2022).
- NIDIS (2022a): Drought Early Warning. Dostupné z: <https://www.drought.gov/about/drought-early-warning#importance-of-dews> (cit.27. 06. 2022)
- NIDIS (2022b) : Historical drought National integrate drought information, system <https://www.drought.gov/what-is-drought/historical-drought> (cit. 12. 05. 2022)
- Quánguó shuǐ yǔqíng xìnxī. (Čínské národní webové stránky o vodě a dešti) (2022): Dostupné z: http://xxfb.mwr.cn/hh_gh.html (cit.29. 06. 2022)
- RAPID (2017): RAPID Hub. Dostupné z: <http://rapid-hub.org/>(cit. 21.07.2022)
- ROŽNOVSKÝ, J. a kol. (2012): Sucho na území ČR a jeho dopady, http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/katastrofy/26zasedani/Roznovsky_sucho_230412.pdf (cit. 29.06.2022)
- Slovenský hydrometeorologický ústav–SHMÚ (2022): Dostupné z: https://www.shmu.sk/sk/index.php?page=1&id=pzv_kvantita&s_id=132&dt=22.06.2022 (cit. 22. 06.2022)
- ŠMOLÍK, V., BIDOVSKEÝ, M. (2018): Afrika: stručná analýza problémů kontinentu. Politika a Společnost, Policy Brief, <https://www.politikaspolecnost.cz/wp->

content/uploads/2018/08/Anal%C3%BDza-AfrikaIPPS-1.pdf (cit. 29.06.2022)

The mesoscale hydrological Model–mHM (2022): Introduction to mHM. Dostupné z: [//mhm.pages.ufz.de/mhm/stable/](http://mhm.pages.ufz.de/mhm/stable/) (cit. 25. 06. 2022)

Tōkyōdaigakuseisangijutsukenkyūsho Takeuchi Wataru kenkyūshitsu | kankyō saigai rimōtosenshingu (Satellite-based drought monitoring and warning system Institute of Industrial Science, The University of Tokyo, Japan) (2022): Dostupné z: <http://wtlab.iis.u-tokyo.ac.jp/DMEWS/> (cit. 28.06.2022)

UNICEF (2021): Water security for all. Dostupné z: <https://www.unicef.org/media/95241/file/water-security-for-all.pdf> (cit. 20.07.2022)

U.S. Drought Monitor (2022): What is the USDM. Dostupné z: <https://droughtmonitor.unl.edu/About/WhatistheUSDM.aspx> (cit. 29.06.2022)

USGS WaterWatch (2022): Streamflow conditions. Dostupné z: <https://waterwatch.usgs.gov/?id=dryw> (cit. 25. 06. 2022)

VIC (2021): Model Overview. Dostupné z: <https://vic.readthedocs.io/en/master/Overview/ModelOverview/> (cit. 21.07.2022)

Water Scarcity Clock (2022): Dostupné z: <https://worldwater.io/> (cit. 15. 07. 2022)

10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Mapa s aktuální hydrologickou situací v ČR

Obrázek 2: Mapa průměrné dostupnosti vody na osobu ve světě za rok 2020

Obrázek 3: Průběh měsíčních úhrnů srážek na území ČR v % normálu 1981–2010 v období od ledna 2014 do prosince 2015.

Obrázek 4: Přehled vodoměrných profilů, ve kterých byl změřen průtok 355denní a menší

Obrázek 5: Měsíční srážkové úhrny na území ČR v roce 2018 ve porovnání s normálem 1981–2010

Obrázek 6: Přehled vodoměrných profilů, ve kterých byl změřen průtok 355denní a menší, případně 364denní a menší

Obrázek 7: Měsíční srážkové úhrny na území ČR v roce 2021 ve srovnání se srážkovým normálem z let 1991–2020

Obrázek 8: Týdenní změny průměrné vodnosti v hlásných profilech na území ČR v roce 2021

Obrázek 9: Vývoj počtu hlásných profilů s indikací hydrologického sucha (Q355d) v červnu 2022

Obrázek 10: Mapa oblastí zasaženy suchem podle UNCCD za roky 2020–2022

Obrázek 11: Oblasti ohrožené nedostupností vody za rok 2021 v rámci programu „Monitoring vodních zásob“ spravovaným WHO/UNICEF

Obrázek 12: Sezónní úhrn srážek za pomoci SPAI při vyvrcholení El Niño ve východní Africe od listopadu 2015 do ledna 2016 a jižní Africe od prosince 2015 do února 2016. Srážkové anomálie během vrcholných podmínek La Niña ve východní Africe od listopadu 2016 do ledna 2017 a jižní Africe od prosince 2016 do února 2017

Obrázek 13: Schéma modelu VIC

Obrázek 14: Schéma modelu HBV

Obrázek 15: Schéma toku v modelu hydrologické bilance Bilan

Obrázek 16: Schéma modlu mHM

Obrázek 17: graf DSCI za období 04. 01. 2000 až 04. 01. 2022 pro západní část Severní Ameriky

Obrázek 18: Mapa sucha pomocí CDI indexu v Evropě za období 10 dní (20.-30. 06. 2022)

Obrázek 19: Mapa hydrologického sucha na území Spojených států Amerických z 28. 06. 2022

Obrázek 20: Tabulka, která se používá na určení sucha v U.S. Drought monitor

Obrázek 21: Mapové znázornění sucha v severní Americe ze dne 31. 05. 2022

Obrázek 22: Mapové znázornění hydrologického sucha v Africe ze dne 28. 06. 2022

Obrázek 23: Denní a měsíční monitoring a předpověď sucha v Číně z Tokijské univerzity

Obrázek 24: Mapové znázornění sucha v povodí Mekongu za týden 26

Obrázek 25: Předpověď hydrologického sucha na 7 a 15denní na území Indie pomocí model VIC ze dne 14. 06. 2022

Obrázek 26: Mapa sucha v Číně ze dne 27. 06. 2022

Obrázek 27: Mapové znázornění hydrologického sucha podle Low-Flow indexu v Evropě za 10 dní (10. 06. 2022–20. 06. 2022)

Obrázek 28: Mapové znázornění hydrologického sucha na území ČR za týden 23

Obrázek 29: Operativní údaje pozorovacích objektů podzemních vod a hodnocení výskytu sucha ze dne 22. 06.2022

Obrázek 30: Mapové znázornění půdního sucha v Německu ze dne 22. 06. 2022

Obrázek 31: Mapové znázornění hydrologického sucha ve Španělsku za měsíc duben 2022