

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroekologie a rostlinné produkce**



**Disponibilní zdroje vody pro závlahový systém  
v souvislosti se změnou klimatu**

**Bakalářská práce**

**Eliška Macků**

**Ochrana krajiny a využívání přírodních zdrojů**

**Vedoucí práce doc. Dr. Mgr. Vera Potopová**

© 2021 ČZU v Praze



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Disponibilní zdroje vody pro závlahový systém v souvislosti se změnou klimatu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 3.5.2021

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala mé vedoucí doc. Dr. Mgr. Vere Potopové za podporu, vedení práce, trpělivost, cenné rady a připomínky při tvorbě mé bakalářské práce. Také bych chtěla poděkovat své rodině za podporu po celou dobu mého studia.

# Disponibilní zdroje vody pro závlahový systém v souvislosti se změnou klimatu

## Souhrn

Disponibilní zdroje vody pro závlahový systém v zemědělské produkci jsou, z pohledu klimatické změny, velice aktuální téma s rozdílnými úhly pohledu. Tato bakalářská práce se zaměřuje především na efektivní využití závlahového systému aby byla zachována hydrologická bilance.

V první části práce je popsána problematika vlivu klimatické změny na disponibilní zdroje vody pro závlahy. Poukazuje především na stále stoupající teplotu vzduchu, tím zvyšující se evapotranspiraci a zmenšování vodních zásob. V návaznosti na to je popsán koloběh vody České republiky a metody, které lze použít pro jeho posílení. Dále jsou zdůrazněny vodní, hydrologická a vodohospodářská bilance, které jsou zásadní pro odhad kvantitativního stavu vod České republiky a na jejichž základě lze porovnat hodnoty odběrů pro závlahy a stavů vod tak, aby bylo zavlažování efektivní.

Druhá část se zaměřuje na vodní útvary povrchových vod, zavlažování a závlahové charakteristiky. Vodní útvary povrchových vod představují hlavní disponibilní zdroj vody pro závlahy. Kapitola zavlažování obsahuje popis důležitosti zavlažování ve světě, vlivu zavlažování na klima apod. Aplikace závlahy má schopnost např. mírnit trend regionálního oteplování, snížit latentní teplený tok, snížit průměrné teploty povrchového vzduchu aj. V souvislosti s tím hrají důležitou roli závlahové charakteristiky jako je vláhová bilance, evapotranspirace a prvky bilanční rovnice. Ty jsou důležité pro určení závlahového množství, které je možno vypočítat právě na základě bilanční rovnice a stanovit tak potřebu vody na krytí vláhového deficitu.

Závěrečná část je věnována zavlažování zemědělské půdy z útvarů povrchových vod a odběrům vody pro závlahy z vodních nádrží. Je nastíněna problematika správného využití vodní nádrže aby plnila svůj účel a požadované odběry pro závlahu byly vůbec možné.

**Klíčová slova:** závlaha, změna klimatu, efektivnost, zemědělská produkce

# **The available water resources for the irrigation system in the context of climate change**

## **Summary**

The available water resources for the irrigation system for agricultural production are from climate change point of view very current topic with different perspectives. This bachelor thesis is focused mainly on the effective use of the irrigation system to maintain the hydrological balance.

The first part describes the issue of the impact climate change has on available water resources for irrigation. It points out the consistently rising air temperature, which leads to a rise in evapotranspiration and an overall reduction of water supply. Following this, the water cycle of the Czech Republic and methods that can be used to strengthen it are described. Furthermore, water balance, hydrological and water-resources balances are determined, which are essential for estimating the quantitative status of the waters in the Czech Republic, based on which it is possible to compare the values of irrigation water diversion and water levels so that irrigation is effective.

The second part is focused on surface water bodies, irrigation, and irrigation characteristics. Surface water bodies represent the main water source for irrigation. The irrigation chapter contains a description of the importance of irrigation in the world, the impact on the climate, etc. The use of irrigation can, for example, moderate the trend of regional warming, reduce latent heat flux, reduce average surface air temperatures, etc. In connection with this, irrigation characteristics such as moisture balance, evapotranspiration and elements of the balance equation play an important role. These are important for determining the amount of irrigation, which can be calculated based on the balance equation and thus determine the amount of water needed to cover the moisture deficit.

The final part is dedicated to irrigation of agricultural land using surface water bodies, and water diversion for irrigation using water reservoirs. The issue concerning the correct use of the water reservoir so that it fulfills its purpose is outlined.

**Keywords:** irrigation, climate change, effectiveness, agricultural production

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Změny klimatu</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Koloběh vody</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Vodní bilance</b>	<b>13</b>
<b>5.1</b>	<b>Hydrologická bilance</b>	<b>13</b>
5.1.1	Modelace vlivu klimatické změny hydrologickou bilancí	14
5.1.2	Vliv změny klimatu na hydrologickou bilanci v povodí sítě GEOMON	15
5.1.3	Model tvorby odtoku vycházející z izotopové analýzy $\delta^{18}\text{O}$	16
5.1.4	Budoucí vývoj hydrologické bilance v povodí sítě GEOMON	16
5.1.5	Model Bilan	17
5.1.6	Kvantitativní stav vod	18
<b>5.2</b>	<b>Vodohospodářská bilance</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>Vodní útvary</b>	<b>23</b>
<b>6.1</b>	<b>Vymezení útvarů povrchových vod</b>	<b>24</b>
<b>6.2</b>	<b>Charakterizace typů útvarů povrchových vod</b>	<b>24</b>
<b>6.3</b>	<b>Vodní útvary tekoucích povrchových vod – řeky</b>	<b>26</b>
<b>6.4</b>	<b>Vodní útvary stojatých vod – jezera</b>	<b>26</b>
<b>7</b>	<b>Zavlažování</b>	<b>27</b>
<b>7.1</b>	<b>Nedostatek vody</b>	<b>27</b>
<b>7.2</b>	<b>Poptávka po vodě</b>	<b>27</b>
<b>7.3</b>	<b>Vliv zavlažování na složené klimatické extrémny</b>	<b>28</b>
<b>7.4</b>	<b>Městský tepelný ostrov – propojení městských teplotních extrémů a sucha</b>	<b>29</b>
<b>7.5</b>	<b>Metody výzkumu</b>	<b>29</b>
<b>7.6</b>	<b>Metody zavlažování</b>	<b>30</b>
<b>8</b>	<b>Závlahové charakteristiky</b>	<b>31</b>
<b>8.1</b>	<b>Vláhová bilance</b>	<b>31</b>
<b>8.2</b>	<b>Evapotranspirace</b>	<b>31</b>
<b>8.3</b>	<b>Stanovení potřeb závlahového množství podle bilanční rovnice</b>	<b>32</b>
<b>8.4</b>	<b>Vláhový deficit</b>	<b>35</b>
<b>9</b>	<b>Zavlažování zemědělské půdy z útvarů povrchových vod</b>	<b>36</b>
<b>9.1</b>	<b>Vodní nádrže</b>	<b>36</b>
<b>9.2</b>	<b>Požadavky na odběry z vodních nádrží</b>	<b>36</b>
<b>10</b>	<b>Závěr</b>	<b>39</b>

<b>11 Literatura .....</b>	<b>41</b>
<b>12 Samostatné přílohy.....</b>	<b>I</b>



# 1 Úvod

Toto téma jsem si vybrala z důvodu stále se zužujících zásob vody a rychlého nástupu sucha. Zaujalo mě, že se téma věnuje aktuální problematice, která se řeší na celosvětové úrovni a zároveň se dotýká každého z nás.

S šířícím se suchem a tím se zvyšujícími nároky na vodu se celosvětová situace ohledně vodních zásob zhoršuje a výhledově bude vody nedostatek. Při pohledu na „modrou“ planetu by toto tvrzení mohlo komukoliv připadat absurdní, ale nesmí být opomenuto, že z celkového objemu vody na Zemi jsou pouhá 3 % sladké vody a z těchto 3 % jsou 2/3 odebírány pro zemědělství. V mnoha oblastech světa jsou již dnes pozorována určitá omezení v odběru vody. Z pohledu České republiky je toto téma o to aktuálnější, protože veškerá voda odtéká do okolních států a republika se tak stává závislou pouze na atmosférických srážkách. Je tedy nasnadě vodu zachytávat a učit se s ní hospodařit již od tzv. „první kapky“.

Především bych se chtěla zaměřit na odběry vody pro závlahy, které jsou prováděny z útvarů povrchových vod. Jedna z možností zajištění dostatečných disponibilních zdrojů vody pro závlahy je budování nových nádrží, nebo rekonstrukce starých. S tím velice úzce souvisí vodní bilance povodí, která se dělí na hydrologickou bilanci porovnávající přírůstky a úbytky vody a vodohospodářskou bilanci jejímž hlavním úkolem je evidovat a porovnávat disponibilní zdroje vody s prováděnými odběry.

Role zavlažování ve světě a v České republice se stává důležitější právě z důvodu probíhající klimatické změny, která sebou nese větší nároky na potřebu závlahové vody. Do budoucna se dá očekávat, že současná situace bude závažnější a nebude-li nasnadě se naučit zacházet s každou kapkou vody, lze očekávat díky klimatické změně svět hladu, tvořený chudými obyvateli světa.

## **2 Cíl práce**

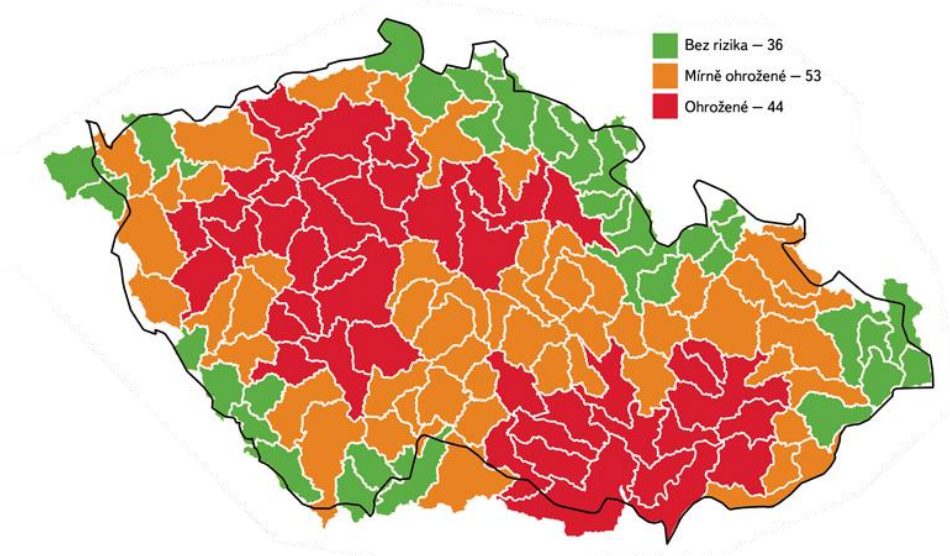
Cíl bakalářské práce je zaměřen především na problematiku efektivního využití dostupné vody při zachování hydrologické bilance povodí. Společnost, včetně zemědělských výrobců, potřebuje kompletní informace o kvantitativním stavu vod, požadavcích na odběry ve vodních nádržích apod. Pro tvorbu bakalářské práce byla použita kompilační metoda.

### 3 Změny klimatu

Již od počátků vývoje Země docházelo ke klimatickým změnám trvajícím tisíce až miliony let. Do počátku 19. století probíhal vývoj klima samovolně na základě klimatotvorných procesů (Bárek 2006).

V současnosti dochází k zintenzivnění globálního hydrologického cyklu, to znamená častější výskyt intenzivních srážek v deštivých oblastech a delší a intenzivnější sucha v suchých oblastech (Stejskal 2015). Hlavním klimatotvorným faktorem je v současné době člověk. Podíl antropogenní činnosti na změně klimatu nelze přesně kvantifikovat, protože se klimatický systém skládá z několika složek – atmosféry, hydrosféry, biosféry, litosféry a pedosféry, mezi kterými se odehrává nespočetné množství vazeb a toků. Přesto lze za pomoci klimatických modelů zahrnujících maximum v současnosti dostupných znalostí o veškerých vzájemných vazbách, a v závislosti na scénáři dalšího vývoje, alespoň odhadnout nárůst globální teploty do konce 21. století v rozpětí od +1,0 do +6,4 °C (Žalud 2009). Dle odhadu krátkodobého vývoje klimatu (2010-2039) pro ČR bylo pomocí modelu ALADIN-CLIMATE/CZ zjištěno, že se průměrná teplota vzduchu zvýší o 1 - 1,5 °C (MŽP 2015). To znamená značný nárůst evapotranspirace a snížení stávajícího množství vody v půdě. Větší výpar nepříznivě ovlivní zdroje povrchových vod (Obr.1) (MZe 2020).

Bylo zjištěno, že mezi hlavní antropogenní činitele patří emise skleníkových plynů (N<sub>2</sub>O, metan, freony aj.), aerosoly a další znečišťující příměsi (průmyslová výroba, zemědělství, těžba surovin), zásahy do hydrologického režimu (zavlažovací systémy, změny vodních toků, stavby přehrad) či změny vlastností povrchu (odlesňování, zábor apod.) (Lieblová & Matěja 2016). Dle klimatologů trend variability počasí pokračuje a zvětšuje se. Růst průměrných teplot a pokles průměrných srážek zvyšuje celosvětové nároky na vodu a např. ve velké části Evropy je více vody v zemědělství spotřebováno, než je obnoveno z přirozených zdrojů. Hlavní odběr vody v zemědělství je pro závlahy, např. na jihu Evropy je pro tento systém odebíráno více jak 70 % vodních zdrojů (Bláha 2011). Co se týče závlahových systémů na území České republiky, ty byly běžně využívány již před rokem 1990 a to pro plodiny, které bez závlahy pěstovat nelze (Bátková et al. 2019).



Obr. 1 Ohroženost (mezi-)povodí suchem (zdroj: Strnad et al. 2017)

Do budoucna se v oblasti hospodaření a zemědělské produkce předpokládá především snížení disponibilních zdrojů vod pro oblasti se zvýšeným potenciálním výparem, změny podmínek přezimování plodin, zvýšení rizika jarních mrazů, introdukce nových rostlinných a živočišných druhů apod. (Bárek 2006).

## 4 Koloběh vody

Česká republika je svou polohou a kopcovitostí nazývána „střechou Evropy“. Žádná řeka do ČR nevtéká, naopak z území ČR odtékají čtyři velké řeky do okolních států: Labe, Morava, Odra a Nisa (Střeščík et al. 2018). Dopady dlouhodobého sucha na krajinu a vodní zdroje jsou rok od roku výraznější. Koloběh vody České republiky je zcela závislý na atmosférických srážkách (Rulík & Tůma 2019) a každá změna v koloběhu má velký dopad na celkovou vodní bilanci krajiny. V posledních desetiletích se srážky na území země projevují velkými rozdíly v dynamice a intenzitě, které jsou charakterizovány častějšími výskyty sucha a povodní (Střeščík et al. 2018). Například v letech 1997, 2002, 2006 a 2010 byly z důvodu vysokého úhrnu srážek a rychlého tání sněhové pokrývky vyvolány plošné a lokální povodně. Zatímco v letech 2000, 2003, 2012, 2015 a 2017 bylo zaznamenáno mimořádné sucho téměř na celém území ČR (Rožnovský et al. 2018).

Z celkového srážkového úhrnu se v průměru 70 % vrací zpět ve formě výparu a transpirace rostlin. Člověk negativně ovlivňuje koloběh vody, což má za následek vysoké ztráty vody z celého území. Důvody negativního vlivu jsou např.:

- těžké a utužené půdy způsobené špatnou zemědělskou praxí,
- rozšiřování zastavěného území

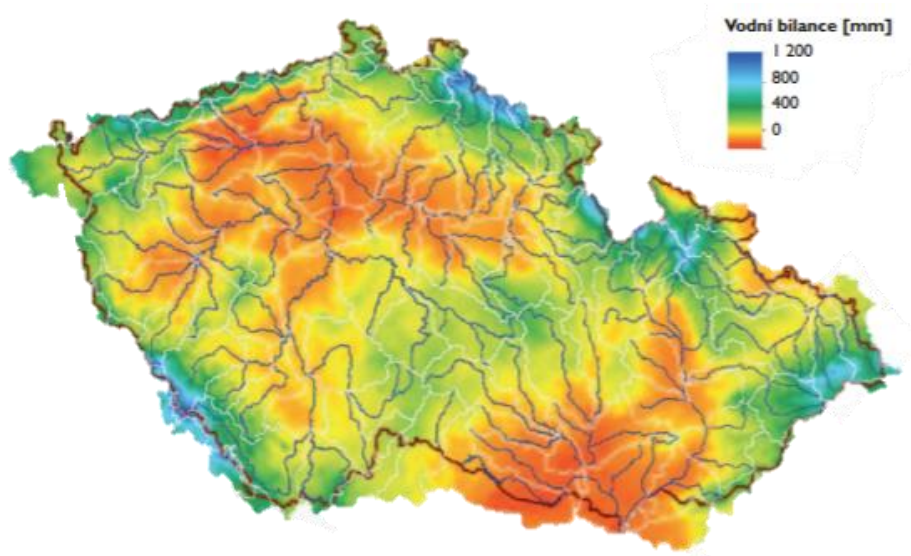
tyto povrchy nejsou schopny vodní vláhu udržet, umožnit infiltraci povrchové vody do podzemní, brání povrchovému odtoku a způsobují erozní činnosti, což má za následek zhoršené doplňování podzemních vod a negativně ovlivněný malý vodní cyklus a mikroklima v krajině. Právě mimoprodukční funkce půdy je schopna zmírnit následky sucha a přívalové povodně (Rulík & Tůma 2018). V případě špatného hospodaření se srážkovými vodami bude docházet k ohrožení dostupných zdrojů vody, zvýšení frekvence hydrologických jevů a nároků na odběry vody pro závlahy (Hanel et al. 2011). Srážky a výpar jsou důležitým prvkem pro poptávku po závlahové vodě. Závlahy zmírňují trendy regionálního oteplování zvyšují oblačnost a mohou být řešením nedostatku srážek a šířícího se sucha. Proto je na místě posílit koloběh vody, jinak bude zavlažování odčerpávat i nadále se zhoršující dostupnost vody (Cook et al. 2015), což by mohlo vést ke střetu zájmů mezi odběrateli (Hanel et al. 2011).

Cílem vodohospodářů a limnologů je najít způsob, jak na území České republiky udržet co největší množství spadáných atmosférických srážek a tím zmírnit dopady sucha a povodní, které souvisí s klimatickou změnou (Rulík & Tůma 2018). Mezi tyto způsoby patří např. zadržení vody v nádržích a jejich následné využití, či převody vody mezi povodími z místa, kde je jí dostatek do místa, kde je jí nedostatek, nebo převedení povodňového odtoku do místa, kde je neškodný (např. nádrž), tím vzniknou další disponibilní zdroje, které mohou být využity např. právě pro závlahový systém. Je třeba dávat pozor na možnost nepříznivého ovlivnění bilance povodí, ze kterého je voda odváděna. Oba způsoby byly používány již od pradávna a to např.

při zřizování rybničních soustav v jižních a východních Čechách. Proto je třeba lokality vhodné pro zřízení výše jmenovaných způsobů chránit před znehodnocením (Hanel et al. 2011).

## 5 Vodní bilance

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a změně některých zákonů (vodní zákon) § 22 definuje vodní bilanci (Obr. 2) jako „bilanci sestávající se z hydrologické bilance a vodohospodářské bilance.“ Cílem hydrologické bilance je porovnání přírůstků a úbytků vody a změn vodních zásob povodí/území nebo vodního útvaru za určité časové rozmezí. Cílem vodohospodářské bilance je porovnat požadavky na odběry povrchové a podzemní vody a vypouštění odpadních vod s využitelnou vodní kapacitou zdrojů z hlediska množství a jakosti vod a jejich ekologického stavu.



Obr. 2 Mapa vodní bilance České republiky za období 1981-2010 (rozdíl ročního úhrnu srážek a potenciální evapotranspirace) (zdroj: MZe 2020)

### 5.1 Hydrologická bilance

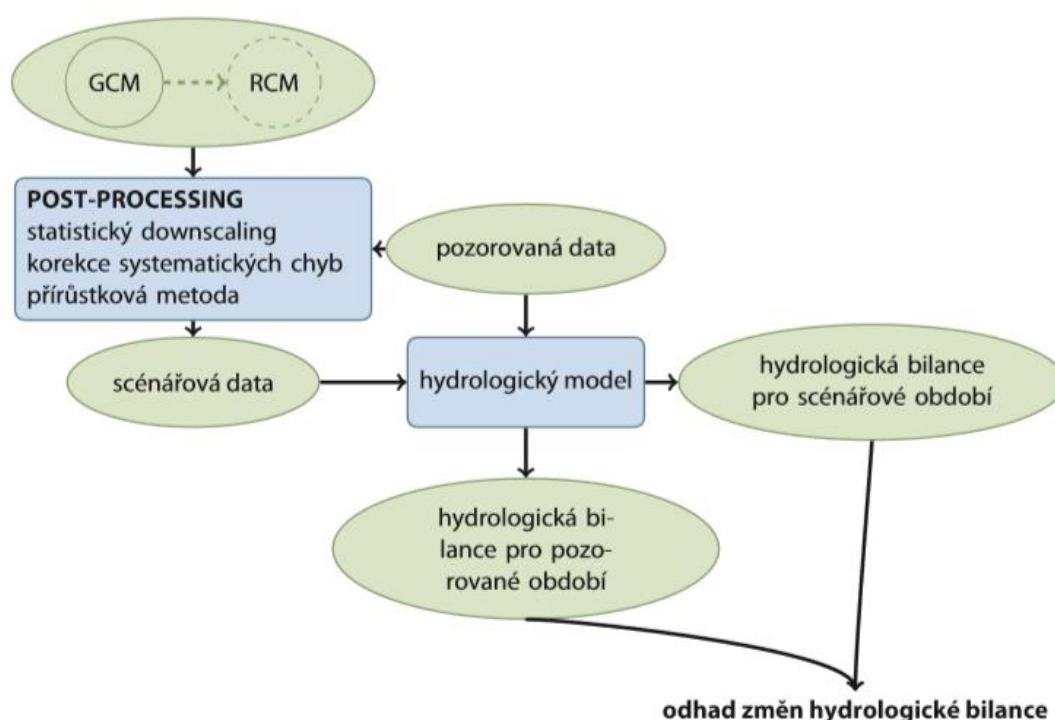
Hydrologickou bilancí je vyjádřeno porovnání mezi přírůstky (srážky, přítok, zásoby) a úbytky (výpar, odtok, úbytek vodních zásob) hydrologického systému stanové pro určitá území, povodí či vodní útvary (Vizina et al. 2017). Hydrologickou bilancí jsou hodnoceny změny zásob v povrchové a podzemní vodě, k jejichž změnám dochází na základě změny v čase a prostoru působením přirozených činitelů. Změnami zásob jsou vytvářeny podklady pro hodnocení změn zásob vody, které jsou způsobeny užíváním vody anebo jiným antropogenním využitím (ČHMÚ 2019).

Hlavním určujícím faktorem je teplota vzduchu (Vizina et al. 2017). Teplota vzduchu má za následek nárůst potenciální evapotranspirace a územního výparu (pokud je v povodí přítomna voda), což vede k úbytku vody v povodí. Na území České republiky jsou změny v teplotě vzduchu pozorovány zejména v létě na jihu a jihovýchodě, dále v zimě a na jaře na západě republiky.

Dalším významným faktorem jsou srážky – ty dle intenzity a rozložení dokáží kompenzovat úbytek vody způsobený již zmiňovanou potenciální evapotranspirací a územním výparem. Srážky s malou intenzitou úhrnu jsou rychle odpařovány a neúčastní se tak doplnění vody v povodí. Kompenzace srážek v rámci jednoho roku činí až 10 %. Výraznější úhrny se vyskytují na podzim na jihu Čech, naopak pokles lze pozorovat v oblasti středních Čech v povodí Rakovnického potoka, Blšanky, Srpiny a dalších. Jedná se o povodí negativně ovlivněna klimatickou změnou a chudá na srážky, což vede k pasivní hydrologické bilanci a k velkým ztrátám vody z povodí (Hanel et al. 2011).

### 5.1.1 Modelace vlivu klimatické změny hydrologickou bilancí

Pro znázornění vlivu klimatické změny na hydrologickou bilanci by bylo logické použít výstupy klimatických modelů (GCM, RCM), které poskytují informace v řádech měsíců a dnů (Hanel et al. 2011) s výhledem na několik desítek let, často do roku 2100 (Horáček & Kašpárek 2011). Tyto modely ale nejsou schopny podrobnějších časových měřítek, než jsou měsíce a dny, jelikož nedokáží simulovat realistický průběh meteorologických veličin v krátkém časovém úseku a dopouštějí se systematických chyb. Lze tedy dle Hanela et al. (2011) použít dva přístupy k eliminaci těchto chyb a to: přírůstkovou metodu (delta change method) a korekci systematických chyb (bias correction) (Obr.3).



Obr. 3 Schéma procesu modelování dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci (zdroj: Hanel et al. 2011)

#### Přírůstková metoda

Přírůstkovou metodou jsou pozorovaná data transformována tak, aby změny mezi pozorovanými a transformovanými daty odpovídaly změnám v klimatickém modelu (Obr. 3). V České republice jsou data zpracovávána ve formě tzv. přírůstkových faktorů, tj. relativních



změn srážek (popř. relativní vlhkosti vzduchu) a absolutních změn teploty pro jednotlivé měsíce roku pro jednotlivé výpočetní buňky klimatického modelu. Přírůstkové faktory je třeba interpolovat na plochu povodí. Interpolované přírůstkové faktory následně slouží pro úpravu pozorovaných časových řad relativní vlhkosti vzduchu ve formě srážek a teploty (vstupních veličin hydrologického modelu) (Horáček & Kašpárek 2011).

### Korekce systematických chyb

Jak již bylo zmíněno, surové výstupy klimatického modelu použít nelze (Horáček & Kašpárek 2011). Tento přístup spočívá v transformaci simulovaných dat takovým způsobem, kdy je zaručeno, že vybrané charakteristiky simulovaných veličin pro současné klima budou co nejvíce přiblíženy charakteristikám pozorovaných veličin (Hanel et al. 2011). Posouzení změn hydrologické bilance v souvislosti se změnou klimatu by mělo být provedeno v několika variantách, z důvodu eliminace nejistot spojených s odhadem budoucího vývoje klimatu (Horáček & Kašpárek 2011).

### 5.1.2 Vliv změny klimatu na hydrologickou bilanci v povodí sítě GEOMON

Dle Fottové et al. (2011), která sleduje dlouhodobé změny průtoků v povodích sítě GEOMON (Obr. 4), nepřineslo měření průtokových řad jednoznačnou odpověď, zda dochází ke změnám v hydrologickém režimu v důsledku pozorovaných změn klimatu. Kromě dvou povodí (Uhlířská, Lysina) nedochází k žádným výrazným změnám v poklesu či nárůstu průtoků v průběhu určitého měsíce či ročního období. To znamená, že doposud nebyl v odtokových řadách povodí GEOMON zaznamenán nárůst teploty, který by měl za následek posunutí jarních maxim do dřívějšího období.



Obr. 4 Mapa povodí sítě GEOMON (JEZ – Jezeří, LYS – Lysina, PLB – Pluhův bor, LIT – Litavka, LES – Lesní potok, LIZ – Liz, ANE – Anenský potok, SAL – Salačova Lhota, LKV – Loukov, POM – Polomka, UDL – U dvou louček, CER – Červík, UHL – Uhlířská, MOD – Modrý potok) (zdroj: Fottová et al. 2011)

Další výchytky v podobě poklesů byly zaznamenány v průběhu vegetační sezóny (květen–říjen), v podzimních a zimních měsících. Opět v povodí Uhlířská (červen a srpen), Lysina (červenec) a nově U dvou Louček (červen), Polomka (červenec), Salačova Lhota (září, listopad–leden), Spálenec (prosinec).

Jsou používány modely, které mohou pomoci lépe pochopit a stanovit obtížně měřitelné veličiny s procesy probíhajícími v povodí. Mezi tyto veličiny řadíme např. evapotranspiraci, doplňování zásob podzemních vod a další.

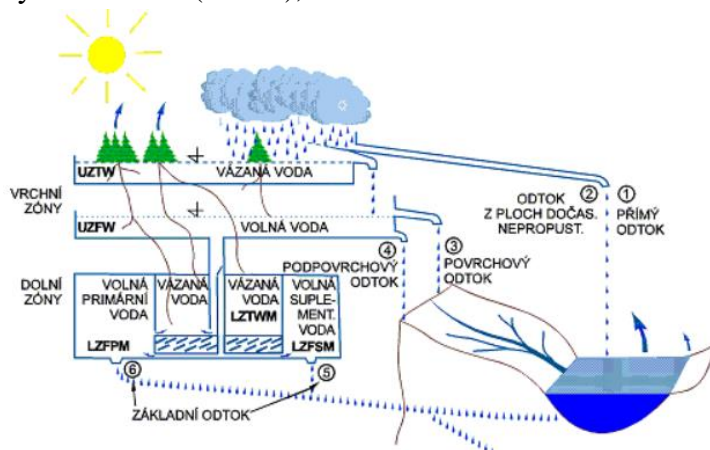
### 5.1.3 Model tvorby odtoku vycházející z izotopové analýzy $\delta^{18}\text{O}$

Pro lepší popis pohybu srážkové vody uvnitř povodí, od zasáknutí do půdy až po vstup do kolektoru podzemní vody, respektive po odtok uzávěrovým profilem, v různých ročních obdobích je v síti GEOMON použit model tvorby odtoku vycházející z izotopové analýzy  $\delta^{18}\text{O}$ . Tímto modelem lze odhadnout i průměrnou dobu zdržení srážkové vody v povodí nebo podíl povrchového či podpovrchového toku na celkovém odtoku v povodí. Metodika izotopové analýzy  $\delta^{18}\text{O}$  ve vodě je založena na principu srážkové a podzemní vody. Srážková voda má během roku rozdílné izotopové složení kyslíku  $\delta^{18}\text{O}$ , z důvodu měnící se teploty vzduchu a rozdílných geografických podmínkách. Naproti tomu má podzemní voda izotopové složení konstantní, odpovídající průměrné celoroční infiltraci v oblasti napájení.

Dle výsledků z povodí Červík bylo zjištěno, že se v letním období (květen–říjen) infiltruje jen 18-40 % infiltrace během zimního období (listopad–duben), zbytek se odpařuje. Srážky setrvávají v povodí po dobu 16 až 34 měsíců podle zaplnění kolektoru podzemní vody. Srážková voda tvoří v průměru 4-20 % odtoku z povodí, zbytek je tvořen podzemní vodou a dále se drží v nenasycené půdní vrstvě 3-6 týdnů, záleží na intenzitě srážek a nasycení půdní vrstvy. Rozdíly v průměrných ročních odtocích jsou způsobeny různým zaplněním kolektoru podzemní vody.

### 5.1.4 Budoucí vývoj hydrologické bilance v povodí síť GEOMON

Budoucí vývoj hydrologické bilance v povodí síť GEOMON byl hodnocen za pomoci hydrologických modelů. Pro účely hodnocení budoucí klimatické změny na hydrologický režim v časovém horizontě 2025 a 2050 respektive 2050 a 2085 byly v projektu dle Fottové et al. (2011) použity modely SAC-SMA (Obr. 5), BROOK90 a SWIM.



Obr. 5 Schéma srážko-odtokového modelu SAC-SMA (Sacramento Soil Moisture Accounting Model) (zdroj: Fottová et al. 2011)



Dle výsledků simulací bude docházet k významnému poklesu odtoků v letních a zimních měsících. Pokles se významně projeví v případě některých pramenných povodí v nižších i vyšších nadmořských výškách. V případě nižších nadmořských výšek pak z důvodu přirozeně menších srážkových úhrnů a vyšší teploty v porovnání s povodími v horských oblastech. U povodí Anenský potok, Loukov, Lesní potok, Polomka a Salačova Lhota se bude tento jev projevovat v období od července do října v hodnotě poklesu průtoků o 70 %. Očekává se velký výskyt extrémních hydrologických situací, kdy bude docházet k pravidelnému vysychání toku následované povodňovými průtoky. V případě vyšších (Lysina, Pluhův bor) a výše položených povodí lze v letních měsících očekávat, že až 75 % měsíčních odtoků z povodí bude nižších než průměrný odtok za období 2071-2100, výrazný posun dubnových a květnových maxim (U dvou louček, Červík) na březen, popřípadě duben a zkrácení délky období se sněhovou pokrývkou.

Co se týče evapotranspirace téměř u všech povodí sítě GEOMON je očekáván její nárůst s ročním průměrem o 20 %. Výjimkou je Anenský potok, kde z důvodu nedostatku dostupné vody v letních měsících, dojde k poklesu až o 10 %. Nárůst evapotranspirace v jarních měsících značí dřívější začátek vegetační sezóny (Fottová et al. 2011).

### 5.1.5 Model Bilan

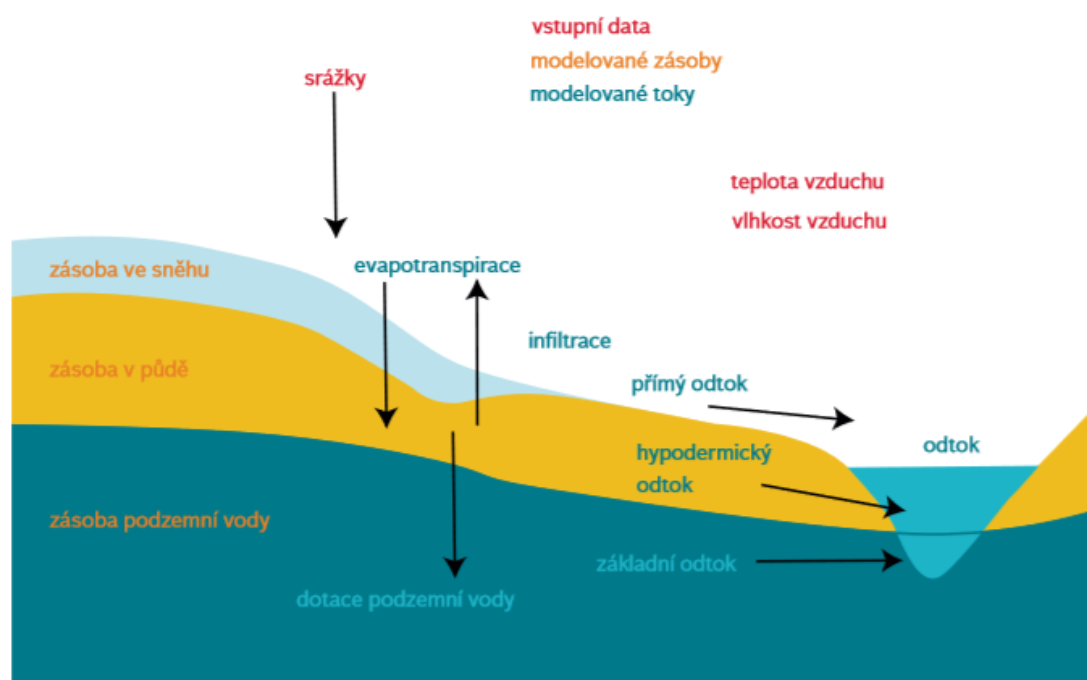
Model je ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka vyvíjen a používán od 90. let 20. století. Jeho účelem je vyjádření základních bilančních vztahů na povrchu povodí a v zóně vod podzemních (Vizina et al. 2017). V českých i evropských povodích slouží k simulaci (Vizina et al. 2015) chronologické hydrologické bilance (Vizina et al. 2017) v časovém období dnů či měsíců (Beran 2016).

Jak již bylo výše zmíněno hlavní veličina, která ovlivňuje hydrologickou bilanci je teplota vzduchu. Jejím výpočtem je modelována potenciální evapotranspirace, územní výpar, infiltrace do zóny aerace, průsak touto zónou, zásoba vody ve sněhu, zásoba vody v půdě a podzemních vodách. Odtok z povodí/území se skládá ze tří složek: přímého odtoku, hypodermického odtoku a základního odtoku.

Vstupy do modelu tvoří: měsíční úhrny srážek [mm], měsíční průměrné teploty [°C], průměrná vlhkost vzduchu [%], pozorované odtokové výšky [mm], užívání vody [mm/měsíc], potenciální evapotranspirace [mm] (Obr. 6) (Vizina et al. 2017).

Další možné využití modelu je modelace dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci, kdy je porovnáván současný stav hydrologické bilance s výhledovým – model je nakalibrován pro současné podmínky a následně jsou parametry modelu využity pro modelování budoucích stavů. Tím lze do budoucna řešit efektivní využití dostupné vody při zachování hydrologické bilance. Vstupy jsou upravená vstupní data (např. zvýšení teploty vzduchu o 1 °C), nebo data z regionálních klimatických modelů. Pro odhad dostupnosti disponibilních zdrojů vod pro závlahy je možné pomocí modelu Bilan modelovat dopady při změnách užívání vod, které spočívají v transformaci odběrů povrchových a podzemních vod. Transformace jsou prováděny pomocí připočtení či odečtení v jednotlivých měsících, nebo pomocí násobku jednotlivého odběru. Modelem mohou být modelovány i nevidované odběry či jejich odhad. Dále je možno posoudit vhodnost daného útvaru pro odběr a to skrze výpočet

nedostatkových objemů, které lze nastavit na libovolnou limitní hodnotu jako konstantní, nebo variabilní v jednotlivých pozorovaných měsících (Vizina et al. 2015).



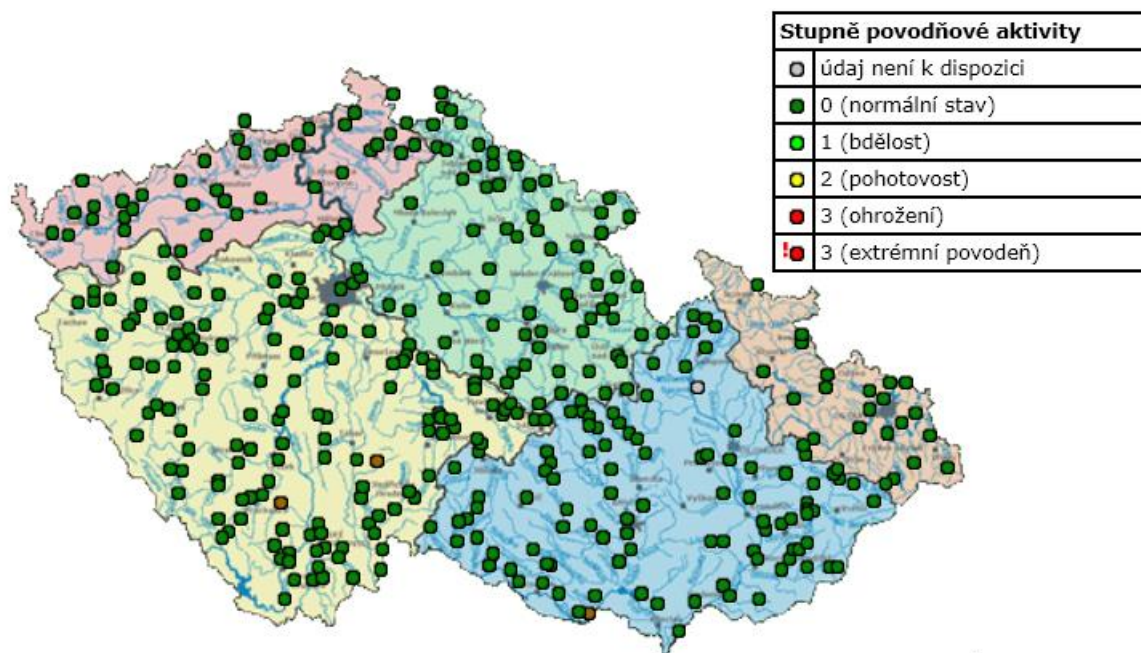
Obr. 6 Schéma modelu Bilan (zdroj: Vizina et al. 2017)

### 5.1.6 Kvantitativní stav vod

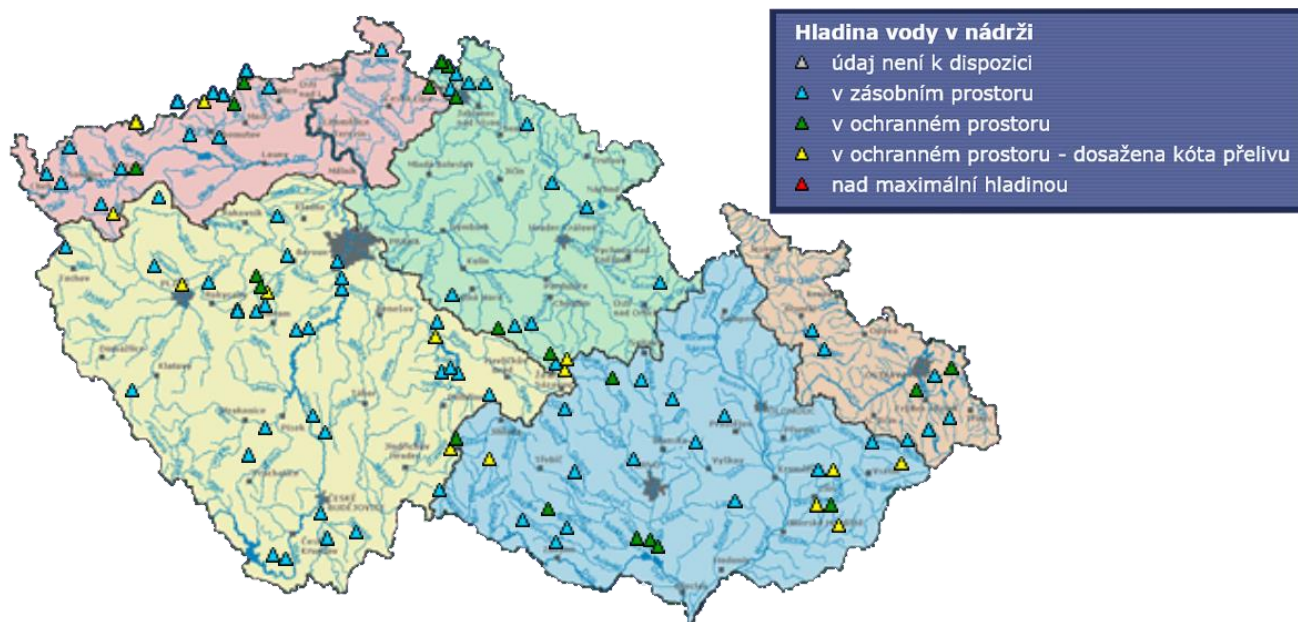
Pojem kvantitativní stav vod má dvojitý význam. A to jako stav množstevní, nebo jako stav, který je určován u podzemních vod.

Tak jako je u povrchových vod určován chemický a ekologický stav, tak je u podzemních vod určován chemický a kvantitativní stav. Rámcová směrnice rozumí „kvantitativním stavem“ vyjádření stupně ovlivnění útvaru podzemní vody přímými, nebo nepřímými odběry. Stanovuje se protože tento stav podzemních vod, resp. útvarů podzemních vod může mít velký vliv na ekologickou kvalitu povrchových vod spojených s příslušným útvarem podzemních vod (EC 2000).

V případě množstevního vyjádření stavu vod je v České republice vedena evidence množství povrchových vod dle vyhlášky č. 252/2013 Sb., dle které se množství povrchových vod eviduje v údajích o naměřeném průtoku vody a údajích o přirozeném průtoku vody ve vodních tocích ve vybraných vodoměrných stanicích a ve vložených profilech ve vodních tocích podle výstupů hydrologické bilance množství vody podle vyhlášky o obsahu vodní bilance č. 431/2001 Sb. a údajích o polohovém určení místa profilů sledování množství povrchových vod. Údaje zpracovává a ukládá do informačního systému Český hydrometeorologický ústav (Obr. 7, 8) (Beran et al. 2019).



Obr. 7 Stav a průtoky ve vodních tocích k 19.4. 2021 (zdroj: Vodohospodářský informační portál 2021)



Obr. 8 Stav hladiny vodních nádrží k 19.4.2021 (zdroj: Vodohospodářský informační portál 2021)

Aplikace „Stavy a průtoky na vodních tocích“ prezentuje vybrané profily vodoměrných stanic ve státní monitorovací síti provozované Českým hydrometeorologickým ústavem a

vložené profily státních podniků Povodí. V těchto stanicích je měřen dosažený vodní stav (cm) a z něho odvozený průtok vody ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). Tyto údaje jsou pravidelně sledovány a průběžně zveřejňovány (Obr. 7).

Aplikace „Stavy a průtoky na nádržích“ prezentuje informace o veličinách měřených na nádržích spravovaných státními podniky Povodí. V současnosti je na většině nádrží pravidelně zaznamenávána úroveň hladiny (z ní je odvozován objem zadržené vody v nádrži), teplota vzduchu a srážkový úhrn. Dále jsou v aplikaci u některých nádrží uváděny měřené, případně bilančně odvozené, hodnoty přítoku do nádrže a odtoku z nádrže (Obr. 8) (Vodohospodářský informační portál 2021a).

## 5.2 Vodohospodářská bilance

Vodohospodářská bilance je činnost dle zákona ukládána správcům povodí tj. pěti státním podnikům podle jejich území působnosti, kteří zajišťují správu přibližně 93,4% délky všech vodních toků v České republice (Obr. 9) (Chyba 2010).

- Povodí Labe, státní podnik
- Povodí Vltavy, státní podnik
- Povodí Ohře, státní podnik
- Povodí Odry, státní podnik
- Povodí Moravy, státní podnik

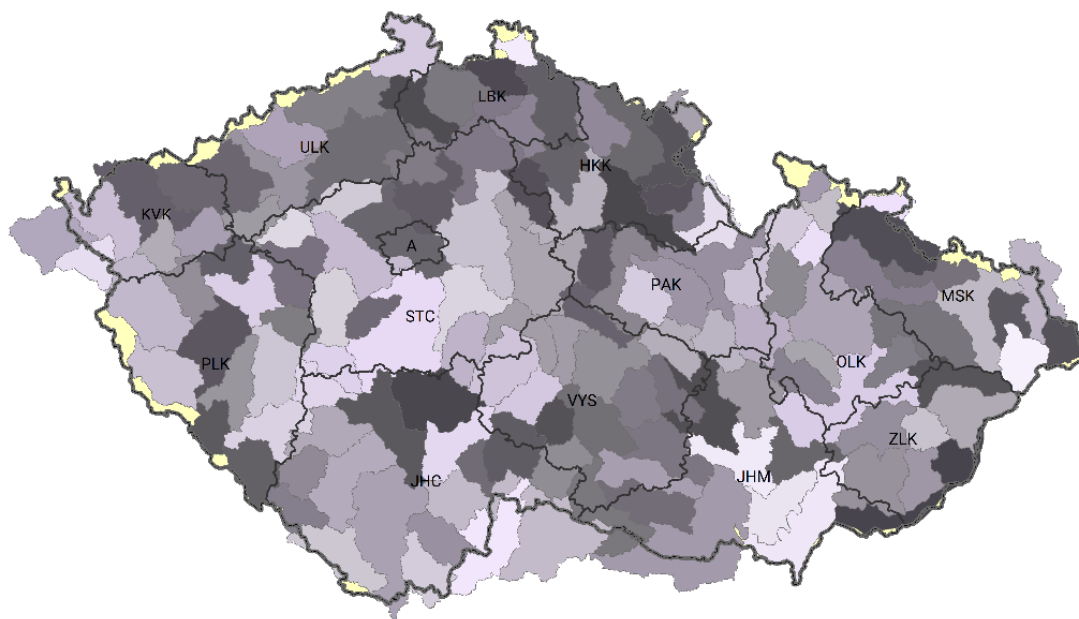


Obr. 9 Rozdělení České republiky dle správců povodí (zdroj: Mze 2021)

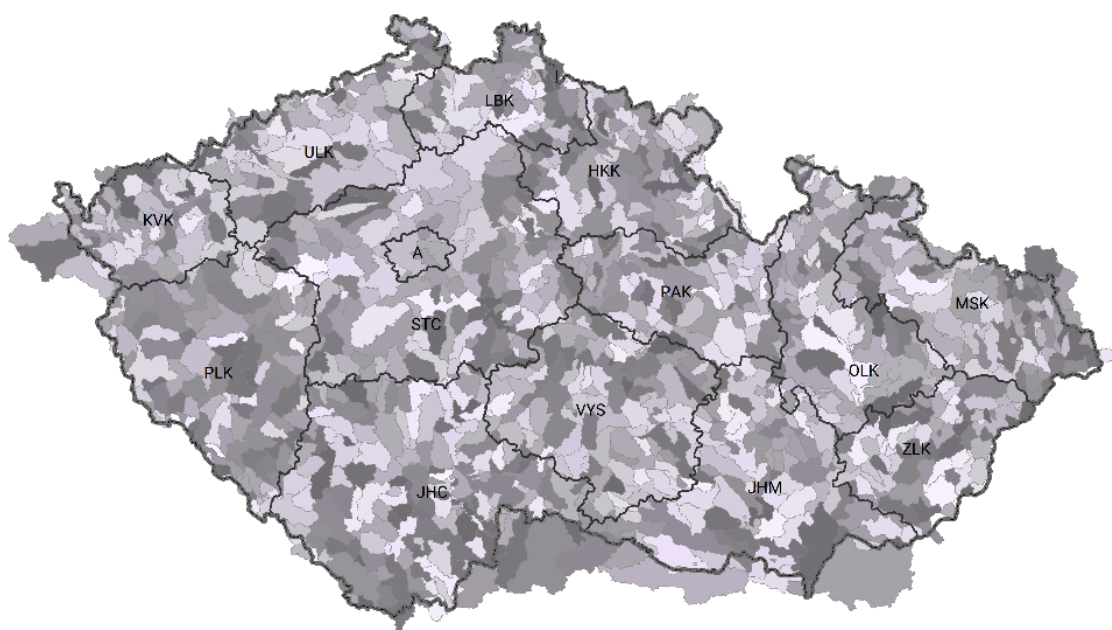
Z pohledu vodohospodářské bilance lze dále Českou republiku rozdělit na další a drobnější jednotky než jsou území dle správců povodí a to na mezipovodí (Obr. 10) a útvary povrchových vod (Obr. 11).



Česká republika je rozdělena na 133 jednotek mezipovodí (Obr.10) (Strnad 2017).

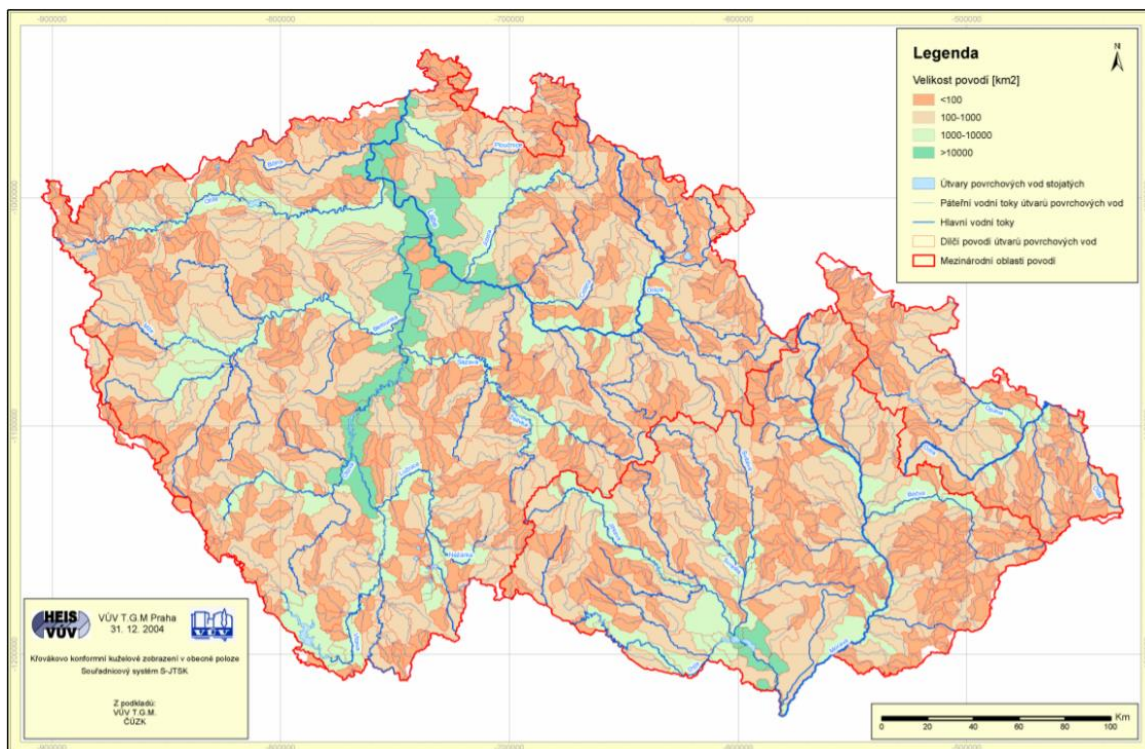


**Obr. 10 Rozdělení České republiky na mezipovodí (TAČR 2021)**



**Obr. 11 Rozdělení České republiky na útvary povrchových vod (TAČR 2021)**

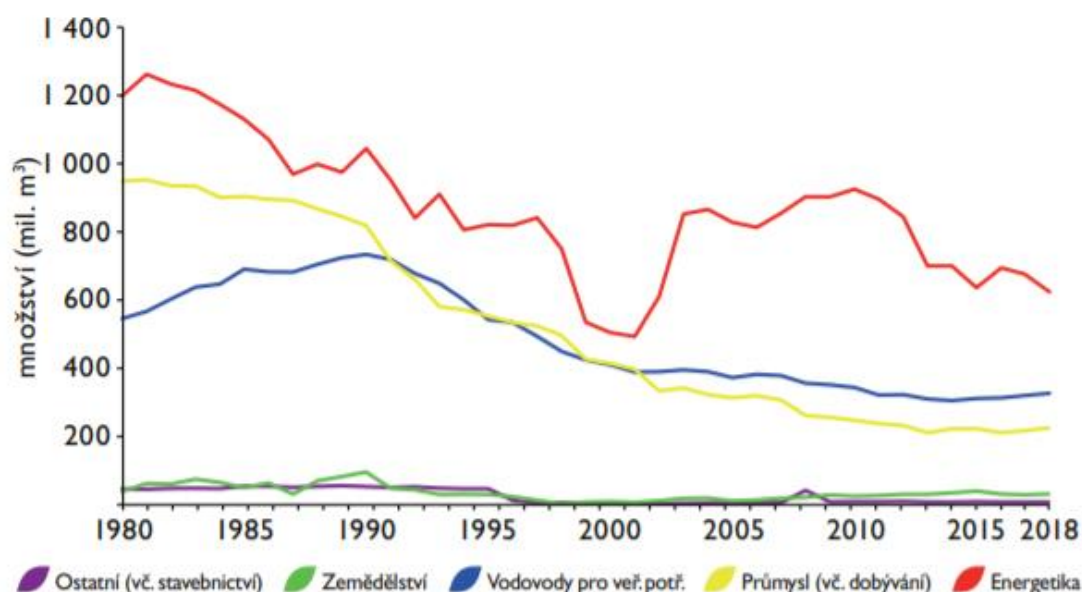
Podle dělení vodních útvarů na „horní“ a „průtočné“ bylo v roce 2005 vymezeno 1141 základních útvarů povrchových vod tekoucích, které jsou využívány pro potřeby vodohospodářské správy, monitoringu a reportingu. Vymezení útvarů povrchových vod (Obr. 11) je zásadní pro plnění cílů Rámcové směrnice o vodní politice ES (Langhammer et al. 2010) a lze je členit podle velikosti (Obr. 12) (VÚV 2005).



Obr. 12 Rozdělení útvarů povrchových vod dle velikosti povodí (zdroj: VÚV 2005)

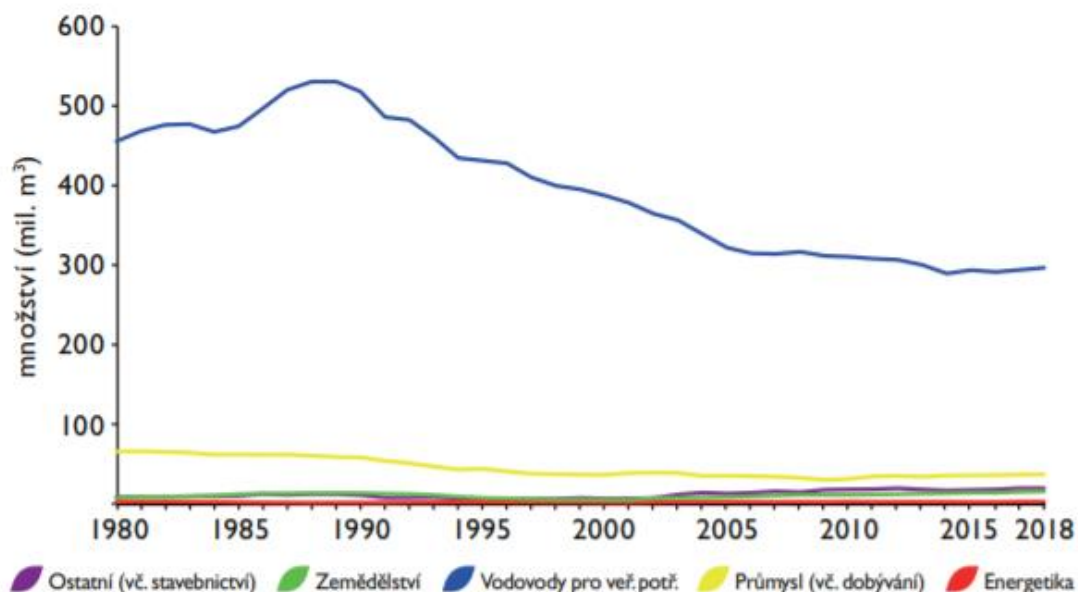
Vodohospodářská bilance je sestavována každý rok a jsou v ní porovnávány disponibilní zdroje podzemní a povrchové vody s prováděnými odběry a vypouštěním odpadních vod. Je hodnocena jakost, kvalita a kvantita podzemních a povrchových vod.

Jako podklady slouží údaje o množství a kvalitě vod v jejich přirozeném prostředí (poskytované ČHMÚ) spolu s hlášením o odběrech povrchových a podzemních vod i vypouštění odpadních vod. Tato hlášení jsou poskytována všemi fyzickými a právnickými osobami nakládající s vodami v množství větším než 500 m<sup>3</sup>/měsíc, nebo 6000 m<sup>3</sup>/rok. Mezi nejvýznamnější zdroje vody pro zemědělství patří vody povrchové (Obr. 13).



Obr. 13 Odběry povrchových vod pro období 1980-2018 (zdroj: MZe 2020)

Co se týká podzemních vod, ty jsou dle vodního zákona (§29 odst. 1) citovány takto: „zdroje podzemních vod jsou přednostně vyhrazeny pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou...“ (Obr. 14). Závlahy jako zdroj vody využívají útvary povrchových vod, které jsou zmíněny v kapitole 6 Vodní útvary.



Obr. 14 Odběry podzemních vod pro období 1980-2018 (zdroj: MZe 2020)

Z vodohospodářského hlediska je nejdůležitější to, zda je odebírané množství přiměřené zdrojům vody, popřípadě zda existují rezervy, nebo je odebíráno takové množství, které by mohlo mít za následek trvalé poškození životního prostředí. Proto jsou ve vodohospodářské praxi používány statistiky označované jako „bilanční stavy“, které uvádějí do poměru odebírané množství s n-denními průtoky. Pro názornou ukázkou lze říci, že bilanční statistiky mají stupnici 1-6, z čehož je 1-2 považováno za vyhovující a naproti tomu 3-6 poukazuje na závadný stav (Chyba 2010). Cílem vodohospodářské bilance jako samotné tedy není řešení nedostatku vody, ale lze z nedostatku vody vycházet a významně tomuto problému předcházet (Vyskoč et al. 2017).

## 6 Vodní útvary

Voda je základní složkou života na Zemi. Balancuje kolísání klimatu, cyklus uhlíku atd. Její přítomnost způsobuje nárůst lesů, travních porostů apod. V případě nadbytku, nebo nedostatku způsobuje přírodní katastrofy. Identifikace vodních útvarů jsou nepostradatelné pro veškeré formy života, procesy vědeckého a technického výzkumu a sociální řešení problémů. Identifikace může být užitečná především z ohledu odhadu dostupnosti vody, vymezení zatopených oblastí, detekce změn, zavlažování zemědělské půdy atd. (Acharya 2016).

Vodní útvary představují nástroj, který umožňuje popis stavu vodního prostředí a jeho srovnání s environmentálními cíli Rámcové směrnice (dále jen RS) (Langhammer et al. 2009; Langhammer et al. 2010).

Dle přílohy II. RS se prostřednictvím pojmu „Stav povrchových vod“ obecně vyjadřuje stav útvary povrchové vody, u něž se určuje buď stav ekologický, nebo chemický, záleží na tom, který je horší. Účelem RS je zabránit dalšímu zhoršování vodních a suchozemských

ekosystémů a mokřadů. To znamená stanovení rámce pro ochranu (Starý 2005) a zajištění kvalitních zásob (Fuksa et al. 2004) vnitrozemských povrchových a podzemních vod (Starý 2005), což podpoří trvale udržitelné užívání vod a zmírní účinek sucha a bleskových povodní (Fuksa et al. 2004).

## 6.1 Vymezení útvarů povrchových vod

Dle přílohy II. RS o vodní politice se „útvarem povrchové vody“ rozumí „samostatný a významný prvek povrchové vody, jako jsou jezero, nádrž, tok, řeka nebo kanál, část toku, řeky nebo kanálu, brakické vody nebo úsek pobřežních vod“ (EC 2000). Čtyři kategorie z útvarů povrchových vod lze zařadit do „přírodních vod“ a to řeku, jezero, brakickou vodu a pobřežní vodu. Další zařazení jsou – vodní útvar umělý nebo silně ovlivněný. V České republice se mohou vyskytovat vodní útvary povrchových vod kategorie : „řeka“ a „jezero“, nebo útvary identifikované jako vodní útvary povrchových vod umělé nebo silně ovlivněné (Tab. 1) (Fuksa et al. 2004).

Tabulka 1 Kategorie útvarů povrchových vod (zdroj: Tušil et al. 2018)

Kategorie útvarů povrchových vod	Počet útvarů povrchových vod	Procento útvarů povrchových vod (%)
„řeka“	1 044	93,1
řeka – přirozený	951	84,8
řeka – silně ovlivněný	89	7,9
řeka umělý	4	0,4
„jezero“	77	6,9
jezero – silně ovlivněný	73	6,5
jezero – umělý	4	0,4
celkem – útvarů	1 121	100

## 6.2 Charakterizace typů útvarů povrchových vod

Pro každou kategorii povrchových vod musí být odpovídající útvary v oblasti povodí rozděleny na typy dle dvou systémů A a B.

V systému A dle Přílohy II. RS jsou útvary povrchových vod nejprve rozděleny do příslušných ekoregionů (Langhammer et al. 2009), ve kterém leží uzávěrový profil hlavního toku útvaru (Fuksa et al., 2004) a poté jsou děleny dle níže uvedených charakteristik (Tab. 2). Základem systému A jsou pevně dané parametry, které mají přímo vymezeny jednotné kategorie mezi které patří:



**Tabulka 2 Kategorie a parametry podle systému A (zdroj: Langhammer et al. 2009)**

<b>Parametr</b>	<b>Kategorie</b>
<b>Ekoregion</b>	Eastern plains
	Central plains
	The Carpathiens
	Ventral highlands
	Hungarian lowlands
<b>Nadmořská výška</b>	vysočina: > 800 m
	střední výška: 200 až 800 m
	nížina: < 200 m
<b>Plocha povodí</b>	malá: 10 až 100 km <sup>2</sup>
	střední: > 100 až 1 000 km <sup>2</sup>
	velká: > 1000 až 10 000 km <sup>2</sup>
	velmi velká: > 10 000 km <sup>2</sup>
<b>Geologický typ</b>	vápnitý
	křemitý
	organický

System B dle Přílohy II. RS je založen na kombinaci závazných a volitelných charakteristik. Dělí útvary na typy s použitím závazných popisných charakteristik (nadmořská výška, zeměpisná šířka, zeměpisná délka, geologie, velikost povodí) a charakteristik, které jsou klíčové pro určení specifických referenčních biologických poměrů (Tab. 3) (Langhammer et al. 2009).

**Tabulka 3 Závazné a volitelné charakteristiky podle systému B (zdroj: Langhammer et al. 2009)**

<b>Závazné faktory</b>	<b>Volitelné faktory</b>
<b>Nadmořská výška</b>	Vzdálenost od pramene
<b>Zeměpisná výška</b>	Energie vodního toku (funkce průtoků a sklonu)
<b>Geologie</b>	Průměrná šířka hladiny vody
<b>Velikost</b>	Průměrná hloubka vody
	Průměrný sklon hladiny vody
	Uspořádání a tvar hlavního říčního koryta
	Kategorie dle velikosti průtoků
	Tvar údolí
	Transport pevných látek
	Kyselinová neutralizační kapacita
	Průměrné složení substrátu
	Chloridy
	Rozpětí teplot vzduchu
	Průměrná teplota vzduchu
	Srážky

### 6.3 Vodní útvary tekoucích povrchových vod – řeky

Vodní útvary tekoucích povrchových vod – řeky jsou dle RS charakterizovány jako „útvary vnitrozemské povrchové vody tekoucí převážně po zemském povrchu...“ nezávisle na velikosti či původu. Dle hydrologického základu se jedná o „všechny vody v příslušné ploše dané hydrologickým povodím respektive mezipovodím“.

Jejich vymezení vychází z členění hydrografické sítě toků na řády podle Strahlera tedy hierarchického systému, který číselně stoupá od pramene po ústí do moře (Fuksa et al. 2004). Základní jednotkou pro vymezení jsou povodí 4. řádu, která jsou označována jako „horní“ jelikož v sobě zahrnují povodí 1-3. řádu a dále se již nedělí (Langhammer et al. 2010).

Základ vodního útvaru tvoří páteřní tok daného povodí a oblast jeho koncového profilu, kde jsou sčítány všechny vlivy povodí a kde se nachází veškeré měrné objekty k vyhodnocení „stavu“ vodního útvaru. Jsou sledovány geografické, klimatické a geologické podmínky pro nalezení srovnatelných společenstev organismů, stejných fyzikálních podmínek, nebo stejné koncentrace chemických látek (Fuksa et al. 2004). V případě toků vyšších řádů tj. 5-8, jsou tyto toky považovány za samostatné neboli „průtočné“ vodní útvary včetně jejich mezipovodí (Starý 2005). „Průtočné“ vodní útvary se dále dělí např. kvůli změně řádu toku, nebo přerušení primárně geograficky vymezeného vodního útvaru tekoucích vod a to nádržemi či rybníky (Langhammer et al. 2010).

### 6.4 Vodní útvary stojatých vod – jezera

Dle RS je jezero „útvary stojaté vnitrozemské povrchové vody“ (Fuksa et al. 2004) např. přirozené jezero, vodní nádrž na toku, rybník a umělé jezero (Borovec et al. 2014). Přírodní jezera jsou v České republice vzácná a malá či antropogenního původu čili je není třeba vymezovat jako samostatné vodní útvary (Fuksa et al. 2004). To znamená, že všechny české útvary kategorie jezero jsou buď silně ovlivněné (původně patřily k řekám, ale na základě vzniklých hydromorfologických modifikací se z nich staly nádrže či rybníky), nebo umělé (většinou zatopené vytěžené prostory na místech, kde se předtím žádný vodní útvar nevyskytoval (Prchalová et al. 2017). Silně ovlivněné vodní útvary se nadále člení na nádrže (55 útvarů) a rybníky (18 útvarů). Umělé vodní útvary v České republice představují revitalizované důlní a těžební jámy (Borovec et al. 2014).

Pro vymezení vodního útvaru „jezero“ je základní podmínka to, že se vodní útvar musí nacházet na toku řádu 4-8 podle Strahlera a přerušovat tak dříve vymezenou síť vodních útvarů tekoucích vod – řeky. Základní kritéria pro vymezení samostatného vodního útvaru povrchové vody stojaté je doba zdržení a plocha nádrže. Minimální plocha nádrže je  $> 0,5 \text{ km}^2$ . Doba zdržení se liší dle obecné charakteristiky „jezera“, např. pro přehradní nádrže tato doba činí 5 dnů a je závislá na podmínkách pro tvorbu vertikální stratifikace a existence typických společenstev stojatých vod v sezónním cyklu (Fuksa et al. 2004). V České republice se nachází pouze (Starý 2005) pár významných jezer přirozeného původu (např. Černé a Čertovo) (Fuksa et al. 2004), a ta vzhledem k typu, rozloze a lokalizaci v chráněných oblastech, není třeba vymezovat za samostatné vodní útvary a jsou součástí vodních útvarů tekoucích vod (Starý 2005).

## 7 Zavlažování

Zavlažování je nezbytnou činností pro globální produkci potravin a regionální ekonomiku (Thiery et al. 2017), je zodpovědné za 40 % světových dodávek potravin (Cody 2018). Zavlažování je nejvýznamnějším antropogenním využíváním vody (Cook et al. 2015) a ovlivňuje mnoho složek půdy – moduluje rozpočet suchozemské vody (Shah et al. 2019), ovlivňuje místní hydrologické a energetické cykly (de Vrese et al. 2016) i povětrnostní a klimatické podmínky (Chen et al. 2018; Cook et al. 2015), zejména horké extrémy (Thiery et al. 2020). Zavlažování je velmi důležitým faktorem s obrovským vlivem a mělo by být dokonce zavedeno do modelů předpovědi počasí pro snížení celkových středních zkreslení v simulovaných denních srážkách (Pei et al. 2016).

### 7.1 Nedostatek vody

Prizpůsobení se nedostatku vody, který by mohl být vyvolán budoucí změnou klimatu, bude nezbytné pro životaschopnost zemědělských ekonomik na celém světě (Bigelow & Zhang 2018). Toto téma je řešeno i na politické úrovni, např. pokud jde o práva na vodu (Cody 2018), ale situace není vždy jasná, protože lidské vnímání klimatických změn je ovlivněno různými osobními a environmentálními faktory (Niles & Mueller 2016). Mohou nastat některé další problémy, např. proměnlivá slanost zavlažovací vody (Connor et al. 2012). Rozvojové organizace navrhly výrazné zvýšení investic do zavlažování pro snížení chudoby v Africe (You et al. 2011). Tyto investice mohou lidem zpřístupnit potraviny a snížit výkyvy ve výrobě potravin (Hong & Furuya 2017). Zdá se, že drobné zavlažovací farmaření, jako klimaticky inteligentní zemědělská praxe, je vhodné pro regiony s obdobím sucha v polovině sezóny (Mango et al. 2018).

### 7.2 Poptávka po vodě

Poptávka po zavlažovací vodě v posledních desetiletích roste (Drastig et al. 2016) především v souvislosti s antropogenní změnou klimatu (Döll 2002). Teplota bude pravděpodobně dominantním faktorem určujícím poptávku po zavlažovací vodě, která se nezvýší stejným tempem nárůstu teploty protože adaptační opatření sníží poptávku po vodě (Wang et al. 2016). Potřeba vody pro zavlažování plodin se pravděpodobně zvýší se značnými regionálními rozdíly a požadavky na zavlažování se mohou zvýšit do takové míry, že v některých regionech bude obtížné dodržovat zavedenou regionální zemědělskou praxi. (Riediger et al. 2016).

Nadměrné zavlažování vede k problémům s odvodněním, takže je třeba provést strategie sníženého zavlažování na ochranu vodních zdrojů (Mondaca-Duarte et al. 2020). Například středomořská oblast by mohla ušetřit 35 % vody zavedením účinnějších zavlažovacích a dodávacích systémů (Fader et al. 2016). Bylo zjištěno, že snížení zavlažovací vody o 25 % nemá negativní vliv na schopnost půdy a následně na rostlinnou výrobu (Abd-Elmabod et al. 2019). Modely ukazují, že zmírnění klimatických změn by mohlo mít pozitivní vliv na nižší poptávku po vodě ve srovnání s nenarušenou změnou klimatu (Fischer et al. 2007).

Evapotranspirace je specifická pro každý typ plodiny a může být použita pro odhad poptávky po zavlažovací vodě u plodin za optimálních podmínek růstu (Seidel et al. 2019).

Zavlažovací účinky se liší podle druhů plodin a s fázemi růstu plodin, které by měly být zváženy v modelových studiích (Chen et al. 2018). Stres ze sucha vede ke snížení výšky rostlin, indexům listové plochy a výnosům palice, ale časné stresové účinky sucha lze kompenzovat vhodným zásobením vody v pozdějších fázích pěstování (Seidel et al. 2017).

### 7.3 Vliv zavlažování na složené klimatické extrémny

Umělé dodávky vody mají za následek vyšší výnosy plodin, ale také změny v různých proměnných klimatického systému. Zvýšený latentní tepelný tok, snížená teplota, rychlost větru a výška planetární hraniční vrstvy jsou často pozorovány v zavlažovaných oblastech (Sridhar 2013). V důsledku zvýšení obsahu vodní páry v atmosféře se mění globální radiální tlak (Boucher et al. 2004). Zvýšení planetárního albeda v důsledku zvýšeného indexu zavlažování a listové plochy je také spojeno se sníženými teplotami (Lobell et al. 2006). Zavlažování obecně způsobuje významné ochlazení průměrných teplot povrchového vzduchu snížením toků dlouhovělné radiace směrem nahoru, zvýšením odrazu krátkovělné vlny a zvýšením oblačnosti a srážek (Cook et al. 2015). Teplota vzduchu a půdy se výrazně snižuje v zavlažovaných oblastech (Bonfils & Lobell 2007; Selman & Misra 2017) a množství srážek je mírně sníženo nad zavlažovanými oblastmi, ale je zvýšeno v oblastech po větru zavlažovaných oblastí (Pei et al. 2016). Zavlažování také mění rozpočet pozemní vody (Shah et al. 2019) nebo emise metanu, CO<sub>2</sub> a N<sub>2</sub>O (Maris et al. 2016).

Ačkoli má zavlažování zanedbatelný vliv na globální průměrné teploty v blízkosti povrchu (Sacks et al. 2008), existují určité regionální rozdíly v míře zavlažováním vyvolaného chlazení, které se týkají tří základních faktorů: rozdílů v rozsahu zavlažované oblasti, rozdílů v půdní vlhkosti, a přirozená reakce mraků na zavlažování (Lobell et al. 2009). Změny v rozpočtech povrchové energie a vody vedou k modifikovaným rozsáhlým atmosférickým cirkulacím (Pei et al. 2016). Například různé monzunové cirkulace a transport vlhkosti vedou ke statisticky významnému poklesu letních monzunových dešťů souvisejících s rozsáhlým zavlažováním v Indii (Mathur & AchutaRao 2019). Půdní vlhkost a evapotranspirace se nad Indií během léta výrazně zvyšují kvůli zavlažování, které také vyvolává severovýchodní vítr – je to opak převládajícího směru letního monzunního větru. Letní monzun je oslaben, ale existuje vysoká prostorová a časová heterogenita tohoto efektu (Chou et al. 2018). Bylo zjištěno, že přibližně 40 % současných srážek v některých vyprahlých oblastech východní Afriky souvisí se zemědělstvím založeným na zavlažování v Asii a že zavlažování v jižní Asii také ovlivňuje klima v jihovýchodní Asii a Číně (de Vrese et al. 2016).

Vliv zavlažování na roční střední teploty je omezený, ale má velký dopad na teplotní extrémny, s obzvláště silným ochlazením během nejteplejšího dne v roce. Účinky načasování zavlažování a jeho vliv na pevnost spojení země a atmosféry vedou k asymetrickým teplotním reakcím (Thiery et al. 2017). Při teplých extrémech v intenzivně zavlažovaných oblastech je zavlažováním vyvolaný silný chladicí účinek. Zatímco globální oteplování zvyšuje pravděpodobnost horkých extrémů téměř globálně, zavlažování může regionálně zrušit nebo dokonce zvrátit účinky jiných nucených opatření dohromady (Thiery et al. 2020). Bylo potvrzeno, že tepelný stres plodin je výrazně snížen zavlažováním v důsledku povrchového chlazení (Siebert et al. 2017).

## 7.4 Městský tepelný ostrov – propojení městských teplotních extrémů a sucha

Dopad zavlažování na klima je důležitý nejen v globálním a regionálním měřítku, ale měl by být zvažován i v městském klimatu, kde je vyvoláván tepelný stres – tento efekt je známý jako "Městský tepelný ostrov" (Wang et al. 2019). Teplota v městském prostředí je vyšší než teplota v okolí měst. Pro tento efekt existují odůvodnění – budovy vyzařují infračervené záření (Yang et al. 2018) a odpařování je nižší kvůli nižšímu množství dostupné vody (Gao & Santamouris 2019). Oba procesy způsobují zvýšení teploty vzduchu a vyšší tepelný stres. V některých oblastech Indie byl popsán efekt "Městský chladný ostrov" – je to situace, kdy jsou města chladnější než jejich okolí, protože města jsou zavlažovaná a okolí má nedostatek vegetace a dostupné vody. Když je okolí měst zavlažováno, je tento účinek pozorován pouze během dne a opačný účinek (Městský tepelný ostrov) je pozorován během noci (Kumar et al. 2017).

Zavlažování je potenciálním řešením pro zmírnění extrémů městských teplot a sucha, protože mění rozpočet povrchových vod, upravuje povrchový latentní tepelný tok (Gao & Santamouris 2019) a ovlivňuje variabilitu půdní vlhkosti a srážek (Yang et al. 2019). Zavlažování zvyšuje (snižuje) povrchově latentní (citelné) tepelné toky zvýšením evapotranspirace nad zavlažovacími oblastmi, mění prostorové rozložení srážek, se zvýšenými srážkami nad horskými oblastmi po větru a sníženými srážkami v zavlažovaných oblastech (Yang et al. 2019). Zavlažování snižuje teplotu vzduchu v městském prostředí – denní průměrná teplota vzduchu může být snížena až o 2,3 °C, ale chladicí účinek zavlažování je nelineární (Broadbent et al. 2018a). Zavlažování vyžaduje optimální plán pro úsporu vody a energie (Gao & Santamouris 2019).

V městském prostředí může být dešťová voda shromažďována a znovu použita pro zavlažování, což vede k nižším teplotám povrchu a vzduchu a lepšímu tepelnému komfortu člověka. Teplota vzduchu je až o 1,8 °C nižší v blízkosti zavlažovaných oblastí a chladicí účinek je pozorován až 50 metrů po větru od vodních zdrojů (Broadbent et al. 2018b). Dalším způsobem, jak zmírnit efekt Městského tepelného ostrova, je použití chladných nebo zelených střech – mohou snížit množství tepla absorbované budovami, které vedou ke snížení teploty vzduchu (Vahmani & Jones 2017). To má za následek, že zlepšuje tepelné podmínky uvnitř budov (Yang et al. 2018). "Zelená střecha" je střecha, kam se přináší půda na které se pěstuje vegetace. Výška vegetace, hloubka půdy, index plochy listů a úroveň zavlažování jsou klíčovými faktory pro chladicí efekt. Kromě ovlivňování mikroklimatu má tento koncept také výhodu úspory energie v budovách – méně energie je spotřebováno v zimě k vytápění v a létě k ochlazení (Gomes et al. 2019). Účinky zelených střech jsou studovány modelovacími metodami a jsou porovnávány s jinými typy střech – bylo zjištěno, že zelená střecha musí být pro svou správnou funkci zavlažována a že udržitelné zavlažování může být účinné v podnebí s vysokými ročními (nebo letními) srážkami (Heusinger et al. 2018).

## 7.5 Metody výzkumu

Zavlažování a jeho vlivy mohou být studovány mnoha metodami. Přímá pozorování se často používají pro srovnání naměřených teplot a srážek v různých oblastech nebo ročních

obdobích a pro hodnocení prostorových časových změn (např. Fowler & Helvey 1974) nebo hodnocení výnosů plodin (Kresovic et al. 2014). Modely a simulace se běžně používají pro studium vlivu různých parametrů na komplexní systémy (de Vrese & Hagemann 2018). Například účinek zavlažování na hydrologii (Sorooshian et al. 2014), vliv změny klimatu, klimatické variability a obchod s vodou potřebnou na zavlažovací operace (King et al. 2019), vliv vln veder na vegetaci (Boeck et al. 2016), požadavky na zavlažovací vodu (Döll & Siebert 2002) nebo koeficienty plodin mohou být studovány různými typy modelů. Výsledky těchto analýz lze využít například pro plánování a řízení udržitelného využívání vody v různých regionech (Mahmoud & Gan 2019) nebo pro přijetí politických reakcí na snížení dopadů změny klimatu (Wang et al. 2016). Vliv zavlažování na zdraví vegetace a teplotu povrchu země (Ambika & Mishra 2019) nebo prostorové a časové rozložení evapotranspirace (Mahmoud & Gan 2019) lze studovat metodami dálkového průzkumu.

## 7.6 Metody zavlažování

Zavlažování může být provedeno mnoha metodami. Pro aplikaci jsou vhodné dva hlavní typy zavlažování – centralizované a decentralizované (Smith 2018). V minulosti bylo nejčastějším typem zavlažování tzv. zavlažování brázdou a to v malých zemědělských podnicích veřejných zavlažovacích programů zřízených v rozvojových zemích (Araujo et al. 2019). V současné době mezi běžné metody zavlažování patří – zavlažování postřikem, mikro-zavlažování, nízkotlaké zavlažování trubkami a kanály (Zou et al. 2013). Vzhledem k nutnosti zvýšené zavlažovací účinnosti (Grafton et al. 2018) byly vyvinuty některé moderní metody zavlažování – regulované zavlažování deficitu s podtypy růstového stupně deficitu zavlažování, částečné zavlažování kořenových zón a zavlažování pod povrchem (Chai et al. 2016), zavlažování s proměnlivou rychlostí (Bhatti et al. 2020; El-Naggar et al. 2020) nebo zavlažování poháněné fotovoltaickým systémem čerpání vody (Olsson et al. 2014). Přibližně 70 % celosvětové spotřeby vody se používá na zavlažování zemědělských plodin (Wisser et al. 2008) a harmonizace požadavků na vodu s omezenými vodními zdroji je hlavním politickým dilematem (Grafton et al. 2018). Zavlažování šetřící vodu má přínos jak pro přizpůsobování se zmírňování změny klimatu, tak i pro udržitelný hospodářský rozvoj (Zou et al. 2013).

## 8 Závlahové charakteristiky

Prostřednictvím závlahových charakteristik lze provést analýzu potřeb vody na krytí vláhového deficitu a potřeb závlahové vody pro zemědělskou produkci v souvislosti s trvajícím a zintenzivňujícím se změnou klimatu.

### 8.1 Vláhová bilance

Vláhová bilance je definována jako rozdíl mezi atmosférickými srážkami, které představují základní přírůstek vody v krajině a oběhu vody a celkovým výparem (evaporací, evapotranspirací), který společně s odtokem (povrchovým, podzemním, podpovrchovým či hypodermickým) tvoří základní výdejovou složku bilance oběhu vody v přírodě.

Výpočet vláhové bilance je následovný:

$$VLBI = SRA - ETP$$

kde: VLBI vláhová bilance [mm]  
SRA srážky [mm]  
ETP evapotranspirace [mm]

Požadavek jednotlivých plodin na závlahovou vodu lze vypočítat metodou retrospektivní vláhové bilance s ohledem na možnou klimatickou změnu (Kohut et al. 2000).

### 8.2 Evapotranspirace

Evapotranspirace je důležitý proces ve vodním cyklu, složen z fyzikálního výparu půdy (evaporace) a dýchání rostlin (transpirace). Stanovení potenciální evapotranspirace je ve spojení se závlahami jeden ze základních kroků. A to nejen při bilancování zásob vláhy v půdě, ale i pro přípravu podkladů pro závlahové stavby a následném přímém řízení závlah. Je používána pro výpočet vláhové bilance na území České republiky (Litschmann & Klementová 2005).

Bylo zjištěno, že největší hodnoty evapotranspirace lze pozorovat v zimě, kdy se mohou pohybovat až okolo hodnoty 20 % z důvodu větších počtů dní s kladnými teplotami vzduchu. Zatímco nejmenší a nejméně významné hodnoty lze pozorovat na podzim, kdy zvyšování teploty vzduchu není pozorováno. V ročním průměru lze říci, že růst potenciální evapotranspirace dosahuje hodnot 5-10 %, čili stejných hodnot, jako v jarním a letním období (Hanel et al. 2011).

Pro účely výpočtu evapotranspirace jednotlivých plodin je dle Allen et al. (1998) používán plodinový koeficient  $ET_c$ :

$$ET_c = K_c ET_o$$

kde:  $K_c$  koeficient zahrnující charakteristiky plodin a průměrné účinky odpařování z půdy  
 $ET_o$  referenční evapotranspirace, potřeba evapotranspirace prostředím

### 8.3 Stanovení potřeb závlahového množství podle bilanční rovnice

Jedním ze způsobů, jak může být stanoveno závlahové množství a potřeby vody, je dle normy ČSN 75 0434 bilanční rovnice. Před samotnou aplikací bilanční rovnice musí být definován ztrátový součinitel  $k_z$ , celková vláhová spotřeba  $V_c$ , součinitel využitelnosti srážek  $\alpha$ , dlouhodobý průměr srážek za vegetační období  $S_v$ , využitelná zásoba vody v půdě na začátku vegetačního období  $W_z$ , využitelné množství vzlínající vody  $W_k$  a redukční činitele  $r_1$ ,  $r_2$  a  $r_3$ .

#### Ztrátový součinitel $k_z$

V přímé souvislosti se závlahovým množstvím nelze opomenout ztrátový součinitel  $k_z$ , který se určuje tabulkově podle druhu závlahy (Tab. 4).

Tabulka 4 Ztrátový součinitel  $k_z$  (zdroj: ČSN 75 0434)

Způsob závlahy	$k_z$
postřik	1,15 až 1,25
podmok	1,25 až 1,45
přeron	1,45 až 1,65
výtopa	1,65 až 2,50
mikrozávlahy	1,05 až 1,15

#### Celková vláhová spotřeba $V_c$

Jedná se o celkové množství vody, které souvisí s evapotranspirací a je potřeba na zajištění předpokládaného vývoje a vzrůstu zemědělské plodiny v určitých klimatických podmínkách.

#### Součinitel využitelnosti srážek $\alpha$

Součinitel využitelnosti srážek  $\alpha$  je stanovován na základě půdních poměrů, sklonitosti terénu, intenzity srážek, teplot atd. V tabulce 5 se součinitel navrhuje podle druhu půdy za předpokladu dobrého vsaku na rovinném území.

Tabulka 5 Součinitel využitelnosti srážek  $\alpha$  (zdroj: ČSN 75 0434)

Druh půdy	$\alpha$
hlinité	0,75
jílovité	0,70 a méně
písčité	0,6
velmi těžké	0,5

Ve větších nadmořských výškách je součinitel  $\alpha$  redukován součinitelem  $r_2$  viz Tab. 6.

Tabulka 6 Redukční součinitele  $r_1$  a  $r_2$  (zdroj: ČSN 75 0434)

Nadmořská výška	$r_1$	$r_2$
m		
200 a méně	1	1
300	0,88	0,88
400	0,81	0,82
500	0,78	0,78
600	0,75	0,7
700	0,73	0,64



### Dlouhodobý průměr srážek za vegetační období $S_v$

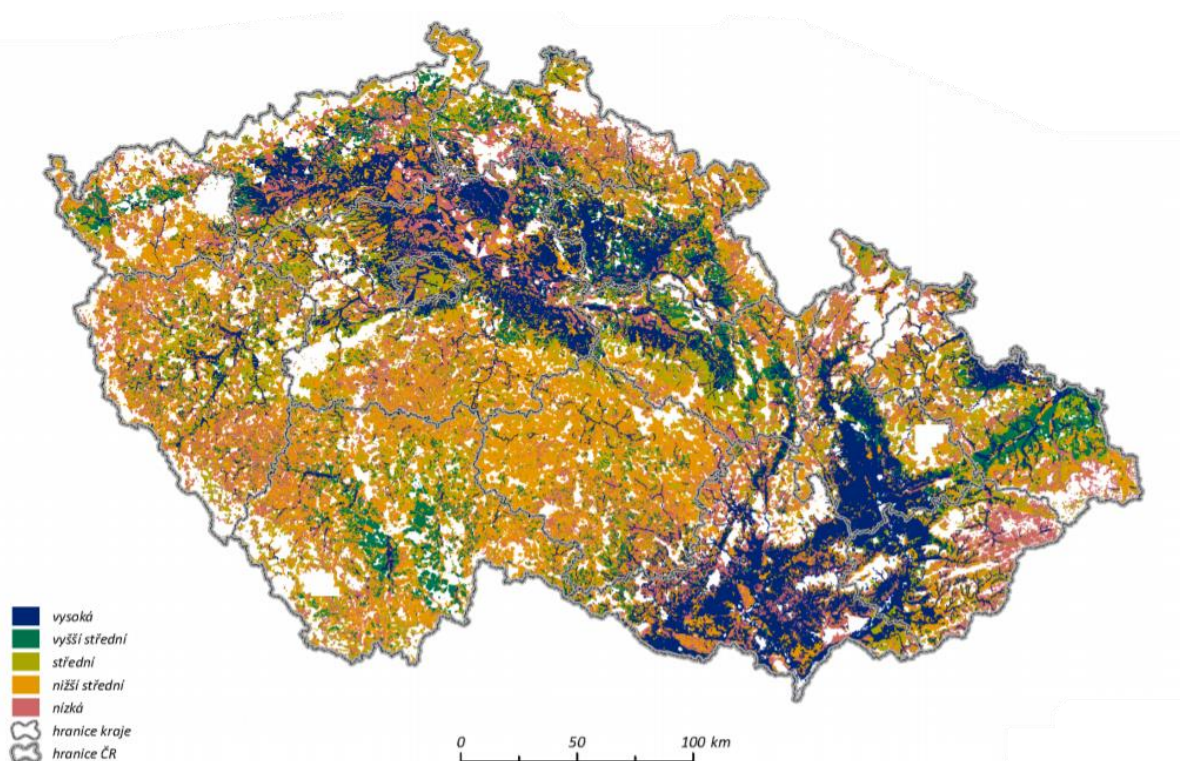
Dlouhodobý průměr srážek  $S_v$  je určen za vegetační období dané rostliny z průměrných měsíčních srážek nejméně za třicetileté souvislé období. Tato data lze získat u odborné hydrometeorologické instituce ČHMÚ.

### Využitelná zásoba vody v půdě $W_z$

Využitelná zásoba vody v půdě je představována potenciální zásobou vláh dostupné pro určité plodiny (Obr. 15). Závlahové dávky jsou odlišeny podle hloubky, do které je rostlina schopna kořenit a ze které si dokáže vytáhnout vodu. Rozdíl lze tedy zaznamenat rostlinu od rostliny (VÚMOP 2013). Pro stanovení využitelné zásoby v půdě po zimě je dle ČSN 75 0434 použita následující rovnice, předpokládající, že na začátku vegetace je zásoba vody v půdě na průměrné úrovni, což se rovná polovině maximálního obsahu lehce přístupné vody:

$$W_z = 50 \cdot (\Theta_{PK} - \Theta_{min}) \cdot h_u \quad [m^3/ha]$$

- kde:  $\Theta_{PK}$  polní vodní kapacita [% objemu]  
 $\Theta_{min}$  minimální zásoba půdní vláh, potřebná v kritickém období pro optimální vývoj směrodatné plodiny, která odpovídá bodu snížené dostupnosti (bod vadnutí) [% objemu]  
 $h_u$  maximální účinná hloubka navlažení, popřípadě zakořenění [m]



Obr. 15 Využitelná zásoba vody v půdě (zdroj: VÚMOP 2013)

Využitelná zásoba vody v půdě je určována sklonem terénu a převažujícím druhem půdy, viz Tab. 7.

**Tabulka 7 Redukční součinitel  $r_3$  využitelné zásoby vody ze zimního období podle sklonu terénu (zdroj: ČSN 75 0434)**

Druh půdy	$r_3$ při sklonu terénu v %		
	do 2	2 až 5	5 až 10
lehká	1	0,93	0,86
středně těžká	1	0,87	0,74
těžká	1	0,72	0,44

### Využitelné množství vzlínající vody $W_k$

Dle ČSN 75 0434 je využitelné množství vzlínající vody citováno jako „Využitelné množství vody  $W_k$  v mm za měsíc nebo za vegetační období, která vzlíná z hladiny podzemní vody, závisí především na převažující úrovni volné hladiny podzemní vody v první zvodni, na druhu půdy, na směrodatné plodině a intenzitě evapotranspirace, tj. na ročním období. Má-li první zvođen napjatou nebo polonapjatou hladinu, lze počítat se vzlínající podzemní vodou pouze na základě hydrogeologického posudku.“

### Bilanční rovnice

Pro stanovení celkového závlahového množství  $M_z$  (Tab. 8) je zavedena bilanční rovnice:

$$M_z = k_z \cdot (r_1 \cdot V_c - r_2 \cdot \alpha \cdot S_v - r_3 \cdot W_z - W_k) \quad [\text{m}^3/\text{ha}]$$

- kde:
- $k_z$  ztrátový součinitel vyjadřující průměrný podíl všech ztrát závlahové vody, s výjimkou ztrát v přivaděči
  - $V_c$  celková vláhová potřeba zavlažované plodiny za vegetační období  $[\text{m}^3/\text{ha}]$
  - $\alpha$  součinitel využitelnosti srážek
  - $S_v$  dlouhodobý průměr srážek za vegetační období plodiny  $[\text{m}^3/\text{ha}]$
  - $W_z$  využitelná zásoba vody v půdě na začátku vegetačního období  $[\text{m}^3/\text{ha}]$
  - $W_k$  využitelné množství vzlínající podzemní vody  $[\text{m}^3/\text{ha}]$
  - $r_1$  redukční součinitel pro úpravu  $V_c$  v závislosti na nadmořské výšce
  - $r_2$  redukční součinitel pro úpravu  $\alpha$  v závislosti na nadmořské výšce
  - $r_3$  redukční součinitel pro úpravu  $W_z$  v závislosti na druhu půdy a sklonu terénu

### Závlahová dávka $M_d$

Ve stanovení závlahové dávky hrají důležitou roli půdní poměry, doba závlahového cyklu  $T$  a pěstované rostliny. Jsou voleny jednotně pro všechny plodiny osevního postupu. Doporučená velikost  $M_d$  se pohybuje v rozmezí  $200 \text{ m}^3/\text{ha}$  až  $500 \text{ m}^3/\text{ha}$ , u polních plodin  $250 \text{ m}^3/\text{ha}$  až  $400 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

### Celková potřeba vody $O_z$

Celková potřeba vody je určena dle součtu součinů závlahových množství  $M_{zi}$  a výměry daných plodin  $F_i$  a to vztahem:

$$O_z = \sum_i M_{zi} \cdot F_i \quad [\text{m}^3]$$

**Tabulka 8 Příklady hodnot závlahového množství pro vybrané plodiny při závlaze postřikem na rovině v průměrném roce [mm](zdroj ČSN 75 0434)**

Plodiny	Polabí	Jižní Morava
Pšenice ozimá a žito	30-70	50-90
Jarní pšenice, ječmen	40-70	40-80
Kukuřice na zrno	90-150	100-150
Cukrovka	120-170	140-200
Brambory rané	70-100	80-110
Brambory pozdní	80-130	100-150
Jabloně	200	250
Meruňky	100	150
Broskve pozdní	200	270
Jahody	150	180
Chmelnice	80	80
Vinice (stolní odrůdy)	70	90

## 8.4 Vláhový deficit

V návaznosti na bilanční rovnici a s využitím týž veličin lze dle metodického pokynu Ministerstva zemědělství 15194/2002-6000 stanovit i vláhový deficit pro lepší představu vody potřebné pro závlahu. Vláhový deficit si stanovuje každý provozovatel závlahového zařízení sám, a to vedením evidence struktury jednotlivých zemědělských plodin, které budou uživateli závlah v příslušném roce zavlažovány. Vláhový deficit je stanovován buď pro příslušné vegetační období nebo pro jednotlivý měsíc pro každého uživatele. Ke stanovení se užívá následující vzorec:

$$V_d = \sum_{i=1}^n F_i \cdot k_{zi} (r_1 V_{ci} - r_2 \alpha S_{vi} - r_3 W_{zi}) \quad [m^3]$$

- kde:
- $F_i$  plocha i-té plodiny osevní struktury uživatele závlah [ha]
  - $V_{ci}$  celková vláhová potřeba i-té plodiny osevní struktury uživatele závlahy zjištěná podle přílohy „B“ ČSN za vegetační období, event. měsíc (což je částí celkové vláhové potřeby za vegetační období i-té plodiny zjištěné podle procentické potřeby v příslušném měsíci vegetačního období) [ $m^3/ha$ ]
  - $k_{zi}$  ztrátový součinitel
  - $r_1$  redukční součinitel
  - $S_{vi}$  skutečný úhrn srážek za vegetační období, event. měsíc i-té plodiny osevní struktury uživatele závlahy [ $m^3/ha$ ]
  - $r_2$  redukční součinitel
  - $\alpha$  součinitel využitelnosti srážek
  - $W_{zi}$  zásoba vody v půdě na začátku vegetačního období nebo měsíce i-té plodiny osevní struktury uživatele závlahy [ $m^3/ha$ ]
  - $r_3$  redukční součinitel pro úpravu vztahu  $W_{zi}$

## 9 Zavlažování zemědělské půdy z útvarů povrchových vod

### 9.1 Vodní nádrže

Odběr vody pro závlahy je prováděn především z útvarů povrchových vod, přesněji z nádrží. Vodní nádrž musí být vhodně vystavěna s podporou opatření zachycení vody v půdě, bez které je její funkce problematická. Malé vodní nádrže musí být dotovány především vodou, která se prvně zachytí v půdě a je v nich postupným a pomalým podpovrchovým odtokem akumulována. Vodní nádrže jsou závislé na infiltraci srážkové vody nebo na povrchovém odtoku. V případě nedostatečné infiltrace srážkové vody může docházet v zemědělství k odnosu velkého množství ornice povrchovým odtokem, což má za následek zanesení vodní nádrže. Další problém, který může vzniknout je, že pokud je nádrž závislá čistě na povrchovém odtoku, může během léta dojít k jejímu vyschnutí a tím přestane plnit své funkce. Budování závlahových systémů, které čerpají vodu z vodních nádrží by mělo vycházet z ekonomického posouzení investic, reálných propočtů dostupnosti závlahové vody v kritických obdobích a posouzení možných rizik v souvislosti s intenzivním zavlažováním např. zasolení, vyplavování živin, zhoršení půdní struktury apod. (Žalud et al. 2020).

### 9.2 Požadavky na odběry z vodních nádrží

Pro účely požadavků na odběry z vodních nádrží je Ministerstvem zemědělství zřízena veřejná evidence vodních nádrží dle § 22 vodního zákona. Jsou zde evidovány nádrže jejichž povolený objem vzduché nebo akumulované vody přesahuje 1 000 000 m<sup>3</sup>, nádrže ke kterým mají právo hospodařit Lesy ČR, nádrže jejichž povolený objem vzduché nebo akumulované vody nepřesahuje 1 000 000 m<sup>3</sup> a ke kterým mají právo hospodařit správci povodí a ostatní vodní nádrže, jejichž hráz je zařazena do I. až III. kategorie z hlediska technickobezpečnostního dohledu (Vodohospodářský informační portál 2021b).

Aby mohla být vodní nádrž využívána jako zdroj vody, jsou důležité následující charakteristiky:

- Zásobní objem – množství vody, které je možné využít jako zdroj vody pro uspokojení potřeb,
- Okamžitý objem – zásoba vody, která se během roku podle potřeb a předpovědi počasí mění,
- Čára zatopených ploch/čára objemů – průběh závislosti plochy hladiny/objemu vody v nádrži na výšce hladiny v nádrži,
- Přítok a odtok do nádrže – pro dlouhodobé možnosti využití zásob vody ve vodní nádrži,
- Minimální zůstatkový průtok – průtok, který je nutno ponechat ve vodním toku v daném profilu nebo úseku pro udržení jeho ekologických funkcí a umožnění obecného nakládání s povrchovými vodami.

Požadavky na odběry vody je třeba kvantifikovat na užívání vodních zdrojů. Údaje o skutečných odběrech vody pro potřeby vodní bilance v měsíčním kroku a o hodnotách povoleného množství obsahuje evidence odběrů povrchových a podzemních vod vedena podle

vyhlášky 431/2001 Sb. V souvislosti s možnou změnou odebraného množství vody nemusí být skutečné odběry dostatečně reprezentovány. Tento problém nastává např. v důsledku sucha kdy dojde k omezení odběrů v důsledku nedostatku vody ve vodních zdrojích, zvýšení nároků na odběry vody pro závlahy v důsledku nedostatku vody v půdě (Beran 2019).

Z tabulky 9 vyplývá, že využívání povolených odběrů pro závlahy nedosahuje ani 50 %, což je ještě méně, než bylo zjištěno u celkových odběrů. To se může zdát jako značná rezerva pro případ sucha. Realita je však jiná, v případě sucha by nemusely být povolené objemy pokryty a to především v oblasti povodí Dyje, Rakovnicka a Lounska.

**Tabulka 9 Porovnání skutečných a povolených odběrů pro závlahy v % povolených objemů (zdroj: Punčochář et al. 2015)**

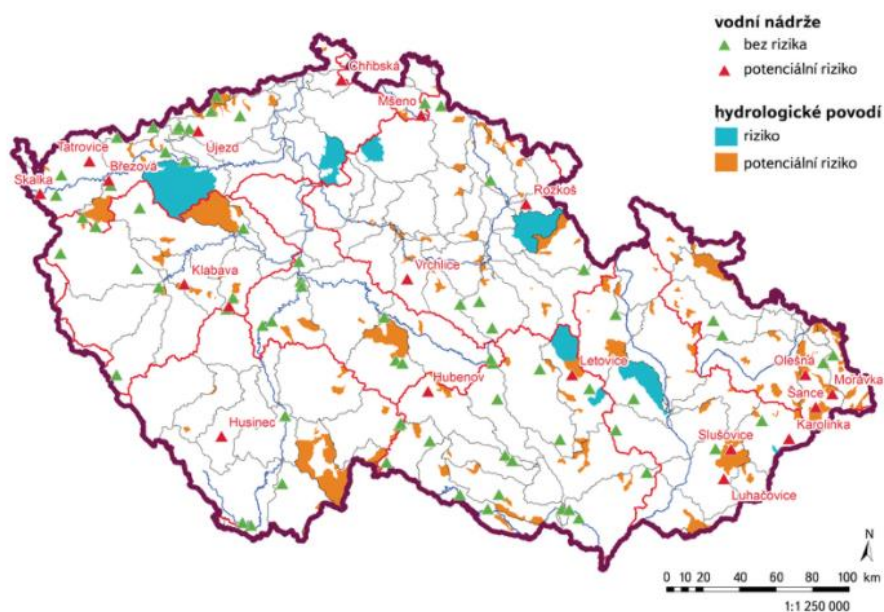
S.p. Povodí	Povolený odběr (tis. m <sup>3</sup> /rok)	Skutečně odebraný objem v % povoleného
Labe	16 151,9	43,0
Moravy	37 871,0	40,4
Vltavy	2 433,2	40,8
Ohře	2 633,8	11,5
Odry	179,7	38,4

Dle informace z roku 2016 existuje v České republice cca 160 tis. ha zavlažovatelných ploch, z toho je cca 70 tis. ha zavlažováno. Mezi nejvíce zavlažované plochy republiky patří jižní Morava, kde je zavlažováno např. z:

- kanálu Krhovice – Hevlín /KKH/ + kanál N-2 – je v majetku státu s právem hospodařit Povodí Moravy, s.p., provozuje společnost Závlahy Dyjákovice s. r. o. (odběr vody z Dyje – jez Krhovice),
- kanálu Brod – Bulhary – Valtice /B-B-V 1/, 1. stavba – v majetku státu s právem hospodařit Povodí Moravy, s.p., provozován společností Závlaha Dolní Dunajovice, s.r.o., a Landmann s.r.o. (odběr z horní nádrže vodního díla Nové Mlýny),
- kanálu Brod – Bulhary – Valtice, 8. a 9. stavba /B-B-V 8 a 9/ – v majetku státu s právem hospodařit Státnímu pozemkovému úřadu, provozován společností VIA AQUA s. r. o. (odběry vody ze Zámecké Dyje),
- kanálu K 7 /K 7/ – v majetku a provozování Povodí Moravy, s.p. (odběr vody z dolní nádrže vodního díla Nové Mlýny),
- soustavy Podivín – Lužice (kanál K 1 a K 2) – v majetku státu s právem hospodařit Státnímu pozemkovému úřadu a provozování společností VIA AQUA s. r. o. (voda odebíraná z Dyje) (Punčochář et al. 2015).

V uplynulých letech byly celkové hodnoty odběrů určeny v rozmezí mezi 10–40 mil. m<sup>3</sup>.rok<sup>-1</sup>. V následujících letech budou hodnoty v souvislosti se současnými trendy stoupat a v roce 2030 se předpokládá hodnota odběrů v rozmezí 65–75 mil. m<sup>3</sup>.rok<sup>-1</sup>. Odběry vody pro závlahy budou v souvislosti se změnou klimatu závislé především na posunu agroklimatických oblastí, které lze očekávat okolo roku 2050, a změně ve struktuře pěstovaných plodin v jednotlivých regionech (Ansorge & Dlabal 2017).

V souvislosti se současnou změnou klimatu je třeba poukázat na to, že již dnes existují oblasti, které vyžadují posílení existujících zdrojů vody, nebo opatření ke snížení spotřeby vody. Na vodní nádrže a povodí potenciálně ohrožených a ohrožených nedostatkem vody poukazuje Obr. 16 (Žalud et al. 2020).



**Obr. 16** Přehled povodí a vodních nádrží potenciálně ohrožených a ohrožených nedostatkem vody (zdroj: Vyskoč et al. 2017)



## 10 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo poukázat na problematiku efektivního využití dostupné vody pro závlahy při zachování hydrologické bilance povodí a podat kompletní informace o kvantitativním stavu vod, požadavcích na odběry apod. Bakalářská práce je zaměřena na problematiku projektové činnosti „Vodní systémy a vodní hospodářství v ČR v podmínkách změny klimatu“ (TAČR, SS02030027).

V první části byla nastíněna problematika působení změny klimatu na podnebí, zásoby vody, zintenzivňování globálního hydrologického cyklu apod.

Druhá část se zaměřila na popis vodní bilance s důrazem na hydrologickou bilanci v souvislosti s klimatickou změnou. Konkrétně na povodí sítě GEOMON, kde byl výsledek pozorování vlivu klimatické změny na hydrologickou bilanci nejednoznačný, i když se již dnes potýkáme s nedostatkem vody. Bylo zjištěno, že do budoucna s vzrůstající teplotou lze očekávat významné změny v poklesech odtoků v letních a zimních měsících, které je a bude možné simulovat za pomoci Modelu Bilan. Modelem lze do budoucna řešit efektivní využití dostupné vody při zachování hydrologické bilance ve spojitosti s monitorováním kvantitativního stavu vod pomocí aplikací „Stavy a průtoky ve vodních tocích“ a „Stavy a průtoky ve vodních nádržích“. Tyto aplikace mohou být použity pro stanovení kvantitativního stavu vod v souvislosti se zemědělskou produkcí.

Třetí část práce se zabývá vodními útvary. Především vodními útvary povrchových vod, které slouží jako primární zdroj pro závlahy. Bylo provedeno jejich stručné vymezení, charakterizace dle RS a rozdělení dle typu „řeka“ a „jezero“.

V závěrečné části bylo shrnuto zavlažování. Na začátku byla popsána jeho důležitost ve světě, vliv zavlažování na složené klimatické extrémy, růst poptávky po vodě, nebezpečí nadměrného zavlažování, ochrana vodních zdrojů pro závlahy, „Městský tepelný ostrov“, metody výzkumu a zavlažování. Dále byla provedena analýza potřeb závlahové vody spolu s popisem hlavních závlahových charakteristik (evapotranspirace, vláhový deficit apod.). Z analýzy vyplynulo, že informace a postupy pro stanovení potřeb vody pro závlahy jsou v teoretické rovině známé a pro budoucnost je potřeba je více promítnout do každodenní praxe. V závěru této části bylo popsáno zavlažování zemědělské půdy z vodních útvarů. Byla nastíněna problematika požadavků na odběry z vodních nádrží, charakteristiky nutné pro možnost nádrží využívat jako zdroj vody, porovnány skutečné a povolené odběry pro závlahy a byla vložena mapa vyobrazující vodní nádrže již dnes ohrožené nedostatkem vody.

V souvislosti se závlahami je v současné době realizován projekt „Potenciál a rizika závlah na území ČR v měnícím se klimatu“, jehož příjemce je České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební a řešitelem za ČZU FŽP je doc. Ing. Martin Hanel, Ph.D.. Předpokládá se, že projekt bude dokončen 03/2024.

Podrobný rozbor metod zavlažování by mohl spolu s možnostmi recyklování vody a adaptačními a mitigačními opatřeními sloužit kupříkladu k vytvoření diplomové práce.

Z mnou zpracované rešerše vyplývá, že je celá tato problematika stále aktuálnější a je třeba se do budoucna připravit na nadále se ztenčující zásoby vody.





## 11 Literatura

- Abd-Elmabod S. K., Mansour H., Hussein A. A. E., Zhang Z., Anaya-Romero M. A., Rosa D., Jordán A. 2019. Influence of Irrigation Water Quantity on the Land Capability Classification. *Plant Archives* **19(2)**:2253–2261
- Acharya T. D., Lee D. H., Yang I. T., Lee J. K. 2016. Identification of Water Bodies in a Landsat 8 OLI Image Using a J48 Decision Tree. *Sensors* **16(7)**: 1075, doi: 10.3390/s16071075
- Allen, R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, 300 pp.
- Ambika A. K., Mishra V. (2019) Observational Evidence of Irrigation Influence on Vegetation Health and Land Surface Temperature in India. *Geophysical Research Letters* **46**:13441–13451, doi: 10.1029/2019GL084367
- Ansorge L., Dlabal J. 2017. Odhad vývoje budoucích odběrů vody v ČR. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. **59(3)**:17–22, doi: 10.46555/VTEI.2017.03.003
- Araujo D. F., Costa R. N., Mateos L. (2019) Pros and cons of furrow irrigation on smallholdings in northeast Brazil. *Agricultural Water Management* **221**:25–33, doi: 10.1016/j.agwat.2019.04.029
- Bárek, V. 2006. Klimatická zmena a závlahy. TU vo Zvolene pre Slovenskú bioklimatologickú spoločnosť pri SAV, Nitra. ISBN 80-228-1717-2
- Bát'ková, K., Matula, S., David, V. 2019. Zemědělské sucho – je závlaha jediné správné a možné řešení? *Vodní hospodářství* **69**:11-14.
- Beran, A., Hanel, M., Nesládková M. 2016. Změny hydrologické bilance způsobené vlivem klimatických změn na území Karlovarského kraje. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* **58(5)**:20-25. doi: 10.46555/VTEI.2016.07.002
- Beran, A., Kašpárek, L., Vizina, A., Vyskoč, P., Svejkovský, V., Pail, T., Poledníček, P., Nesládková, M. 2019. Metodika pro navrhování adaptačních opatření k eliminaci dopadů nedostatku vody. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, Praha.
- Bhatti S., Heeren D. M., Barker J. B., Neale C. M. U., Woldt W. E., Maguire M. S., Rudnick D. R. (2020) Site-specific irrigation management in a sub-humid climate using a spatial evapotranspiration model with satellite and airborne imagery. *Agricultural Water Management* **230**:105950, doi: 10.1016/j.agwat.2019.105950
- Bigelow D. P., Zhan H. (2018) Supplemental irrigation water rights and climate change adaptation. *Ecological Economics* **154**:156–167, doi: 10.1016/j.ecolecon.2018.07.015
- Bláha, L. 2011. Znaky adaptability k podmínkám stresu u zemědělských plodin. Pages 726-735 in Salaš P., et al. editors. *Rostliny v podmínkách měnícího se klimatu*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Lednice.

- Boeck H. J., Bassin S., Verlinden M., Zeiter M., Hiltbrunner E. (2016) Simulated heat waves affected alpine grassland only in combination with drought. *New Phytologist* **209**:531–541, doi: 10.1111/nph.13601
- Bonfils C., Lobell D. (2007) Empirical evidence for a recent slowdown in irrigation-induced cooling. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **104(34)**:13582–13587, doi: 10.1073/pnas.0700144104
- Borovec, J., et al. 2014. Metodika pro hodnocení ekologického potenciálu silně ovlivněných a umělých vodních útvarů–kategorie jezero, certifikovaná metodika. Biologické centrum AV ČR, vvi pro MŽP, Praha.
- Boucher O., Myhre G., Myhre A. (2004) Direct human influence of irrigation on atmospheric water vapour and climate. *Climate Dynamics* **22**:597–603, doi: 10.1007/s00382-004-0402-4
- Broadbent A. M., Coutts A. M., Tapper N. J., Demuzere M. (2018a) The cooling effect of irrigation on urban microclimate during heatwave conditions. *Urban Climate* **23**:309–329, doi: 10.1016/j.uclim.2017.05.002
- Broadbent A. M., Coutts A. M., Tapper N. J., Demuzere M., Beringer J. (2018b) The microscale cooling effects of water sensitive urban design and irrigation in a suburban environment. *Theoretical and Applied Climatology* **133**:1–23, doi: 10.1007/s00704-017-2241-3
- Chai Q, Gan Y., Zhao C, Xu H., Waskom R. M., Niu Y, Siddique K. H. M. (2016) Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **36**:3, doi: 10.1007/s13593-015-0338-6
- Chen F., Xu X., Barlage M., Rasmussen R., Shen S., Miao S., Zhou G. (2018) Memory of irrigation effects on hydroclimate and its modeling challenge. *Environmental Research Letters* **13**:064009, doi: 10.1088/1748-9326/aab9df
- ČHMÚ, 2019. Hydrologická bilance množství a jakosti vody České republiky 2019. ČHMÚ. Available from: [http://voda.chmi.cz/opzv/bilance/zprava\\_bilance\\_19.pdf](http://voda.chmi.cz/opzv/bilance/zprava_bilance_19.pdf) (accessed March 2021)
- ČHMÚ. 2020. Územní srážky v roce 2020. Available from: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#> (accessed March 2021)
- Chou C., Ryu D., Lo M., Wey H., Malano H. M. (2018) Irrigation-Induced Land–Atmosphere Feedbacks and Their Impacts on Indian Summer Monsoon. *Journal of Climate* **31**:8785–8801, doi: 10.1175/JCLI-D-17-0762.1
- Chyba, J. 2010. Vodohospodářská bilance a zemědělská výroba. Pages 69-72 in Rožnovský J., Litschmann T., et al. editors. *Voda v krajině. Povodí Moravy, s.p. Brno. ISBN 978-80-86690-79-7*
- Cody K. C. (2018) Upstream with a shovel or downstream with a water right? Irrigation in a changing climate. *Environmental Science and Policy* **80**:62–73, doi: 10.1016/j.envsci.2017.11.010

- Connor J. d., Schwabe K., King D., Knapp K. (2012) Irrigated agriculture and climate change: The influence of water supply variability and salinity on adaptation. *Ecological Economics* **77**:149–157, doi: 10.1016/j.ecolecon.2012.02.021
- Cook B. I., Shukla S. P., Puma M. J., Nazarenko L. S. (2015) Irrigation as an historical climate forcing. *Climate Dynamics* **44**:1715–1730, doi: 10.1007/s00382-014-2204-7
- ČSN 75 0434. 2016. Meliorace – Potřeba vody pro doplňkovou závlahu. Český normalizační institut, Praha.
- de Vrese P., Hagemann S. (2018) Uncertainties in modelling the climate impact of irrigation. *Climate Dynamics* **51**:2023–2038, doi: 10.1007/s00382-017-3996-z
- de Vrese P., Hagemann S., Claussen M. (2016) Asian irrigation, African rain: Remote impacts of irrigation. *Geophysical Research Letter* **43**:3737–3745, doi: 10.1002/2016GL068146
- Döll P. (2002) Impact of Climate Change and Variability on Irrigation Requirements: A Global Perspective. *Climatic Change* **54**:269–293, doi: 10.1023/A:1016124032231
- Döll P., Siebert S. (2002) Global modelling of irrigation water requirements. *Water Resources Research* **38**(4):1037, doi: 10.1029/2001WR000355
- Drastig K., Prochnow A., Libra J., Koch H., Rolinski S. (2016) Irrigation water demand of selected agricultural crops in Germany between 1902 and 2010. *Science of the Total Environment* **569–570**:1299–1314, doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.206
- EC. 2005. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. Aktualizovaný pracovní překlad s anglickým originálem. MŽP, Odbor ochrany vod, Praha. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32000L0060> (accessed February 2021)
- El-Naggar A. G., Hedley C. B., Horne D., Roudier P., Clothier B. E. (2020) Soil sensing technology improves application of irrigation water. *Agricultural Water Management* **228**:105901, doi: 10.1016/j.agwat.2019.105901
- Fader M., Shi S., Bloh W., Bondeau A., Cramer W. (2016) Mediterranean irrigation under climate change: more efficient irrigation needed to compensate for increases in irrigation water requirements. *Hydrology and Earth System Science* **20**:953–973, doi: 10.5194/hess-20-953-2016
- Fischer G., Tubiello F. N., van Velthuisen H., Wiberg D. A. (2007) Climate change impacts on irrigation water requirements: Effects of mitigation, 1990–2080. *Technological Forecasting & Social Change* **74**:1083–1107, doi: 10.1016/j.techfore.2006.05.021
- Fottová, D. et al., 2011. Hodnocení vlivu klimatických změn na hydrologickou bilanci a návrh praktických opatření ke zmírnění jejich dopadů. Česká geologická služba, Ústav pro hydrodynamiku AV ČR.
- Fowler W. B., Helvey J. D. (1974) Effect of Large-Scale Irrigation on Climate in the Columbia Basin. *Science* **184**(4133):121–127, doi: 10.1126/science.184.4133.121

- Fuksa, J. K., Prechalová, H., Rosendorf, P., Vyskoč, P. 2004. Vodní útvary v ČR. Výchozí vymezení vodních útvarů povrchových a podzemních vod a typologie vodních útvarů povrchových vod. Verze 2.
- Gao K., Santamouris M. (2019) The use of water irrigation to mitigate ambient overheating in the built environment: Recent progress. *Building and Environment* **164**:106346, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106346
- Generel vodního hospodářství krajiny České republiky – Bilanční hodnocení zdrojů a potřeb vody s ohledem na závlahové potřeby. Available from: <https://www.spucr.cz/voda-sucho/generel-vodniho-hospodarstvi-krajiny-ceske-republiky> (accessed April 2021)
- Gomes M. G., Silva C. M., Valadas A. S., Silva M. (2019) Impact of Vegetation, Substrate, and Irrigation on the Energy Performance of Green Roofs in a Mediterranean Climate. *Water* **11**:2016, doi: 10.3390/w11102016
- Grafton R. Q., Williams J., Perry C. J., Molle F., Ringler C., Steduto P., Udall B., Wheeler S. A., Wang Y., Garrick D., Allen R. G. (2018) The paradox of irrigation efficiency. *Science* **361(6404)**:748–750, doi: 10.1126/science.aat9314
- Hanel, M., Kašpárek, L., Mrkvičková, M., Horáček, S., Vizina, A., Novický, O., Fridrichová, R. 2011. Odhad dopadů klimatické změny na hydrologickou bilanci v ČR a možná adaptační opatření. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha. ISBN: 978-80-87402-22-1.
- Heusinger J., Sailor D. J., Weber S. (2018) Modeling the reduction of urban excess heat by green roofs with respect to different irrigation scenarios. *Building and Environment* **131**:174–183, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.01.003
- Hong S., Furuya J. (2017) Irrigation as a Climate Change Mitigation Option in Cambodia. *International Journal of Innovation, Management and Technology* **8(3)**:166–171, doi: 10.18178/ijimt.2017.8.3.722
- Horáček, S., Kašpárek, L., 2011. Možnosti zmírnění současných důsledků klimatické změny zlepšením akumulací schopností v povodí Rakovnického potoka. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha. ISBN: 978-80-87402-14-6
- King D. A., Meyer W. S., Connor J. D. (2019) Interactive land use strategic assessment: An assessment tool for irrigation profitability under climate uncertainty. *Agricultural Water Management* **224**:105751, doi: 10.1016/j.agwat.2019.105751
- Kohut, M., Rožnovský, J., Chuchma, F. 2010. Dlouhodobá zásoba využitelné půdní vody a její variabilita na území České republiky. Pages 35-46 in Rožnovský J., Litschmann T., et al. editors. *Voda v krajině*. Český hydrometeorologický ústav, Brno.
- Kohut, M., Rožnovský, J., Chuchma, F. 2010. Dlouhodobá zásoba využitelné půdní vody a její variabilita na území České republiky. Pages 35-46 in Rožnovský J., Litschmann T., et al. editors. *Voda v krajině*. Český hydrometeorologický ústav, Brno.
- Kresovic B., Matovic G., Gregoric E., Djuricin S., Bodroza D. (2014) Irrigation as a climate change impact mitigation measure: An agronomic and economic assessment of maize

- production in Serbia. *Agricultural Water Management* **139**:7–16, doi 10.1016/j.agwat.2014.03.006
- Kumar R., Mishra V., Buzan J., Kumar R., Shindell D., Huber M. (2017) Dominant control of agriculture and irrigation on urban heat island in India. *Scientific Reports* **7**:14054, doi: 10.1038/s41598-017-14213-2
- Langhammer, J., Hartvich, F., Mattas, D., Zbořil, A. 2009. Vymezení typů útvarů povrchových vod. *PřF UK Praha, Praha*.
- Langhammer, J., Hartvich, F., Zbořil, A. 2010. Metodika vymezení útvarů povrchových vod. *PřF UK Praha, Praha*.
- Lieblová, D., Matěja Z. 2016. Klimatické změny a hrozba nedostatku vody v České republice. Pages 71-78 in Stejskal, J., Křupka J. editors. *Veřejná správa 2016*. Univerzita Pardubice. Pardubice.
- Litschmann, T., Klementová, E. 2005. Srovnání výpočetních metod potenciální evapotranspirace. Pages 47-58 in Rožnovský, J., Litschmann, T. editors. *Evaporace a Evapotranspirace*. Český hydrometeorologický ústav, Brno.
- Lobell D. B., Bala, G., Duffy P. B. 2006. Biogeophysical impacts of cropland management changes on climate. *Geophysical Research Letter* **33**:L06708, doi: 10.1029/2005GL025492
- Lobell D., Bala G., Mirin A., Phillips T., Maxwell R., Rotman D. 2009. Regional Differences in the Influence of Irrigation on Climate. *Journal of Climate* **22**:2248–2255, doi: 10.1175/2008JCLI2703.1
- Mahmoud S. H., Gan T. Y. 2019. Irrigation water management in arid regions of Middle East: Assessing spatio-temporal variation of actual evapotranspiration through remote sensing techniques and meteorological data. *Agricultural Water Management* **212**:35–47, doi: 10.1016/j.agwat.2018.08.040
- Mango N., Makate C., Tamene L., Mponela P., Ndengu G. 2018. Adoption of Small-Scale Irrigation Farming as a Climate-Smart Agriculture Practice and Its Influence on Household Income in the Chinyanja Triangle, Southern Africa. *Land* **7**(2), 49, doi: 10.3390/land7020049
- Maris S. C., Teira-Esmatges M. R., Català M. M. 2016. Influence of irrigation frequency on greenhouse gases emission from a paddy soil. *Paddy and Water Environment* **14**:199–210, doi: 10.1007/s10333-015-0490-2
- Mathur R., AchutaRao K. 2019. A modelling exploration of the sensitivity of the India's climate to irrigation. *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-019-05090-8
- Metelka L., Tolasz R. 2009. Klimatické změny: fakta bez mýtů. Univerzita Karlova v Praze, Centrum pro otázky životního prostředí. Praha
- Ministerstvo zemědělství. 2001. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky, 2001, částka 98*. Česká

republika. Available from: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254> (accessed March 2021)

Ministerstvo zemědělství. 2002. Metodický pokyn o postupu při stanovení nezaplatněného množství vody odebírané k vyrovnání vláhového deficitu zemědělských plodin.

Upravuje v návaznosti na § 8, 9, 10 a 101 zákona č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). Česká republika. Available from:

[http://eagri.cz/public/web/file/34631/MP15194\\_02.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/34631/MP15194_02.pdf)

Ministerstvo zemědělství. 2013. Vyhláška č. 252 ze dne 2. srpna 2013, o rozsahu údajů v evidencích stavu povrchových a podzemních vod a o způsobu zpracování, ukládání a předávání těchto údajů do informačních systémů veřejné správy. In *Zákony pro lidi.cz*, 2013, částka 97. Česká republika. Available from:

<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-252#Sum> (accessed April 2021)

Ministerstvo zemědělství. 2020. Stručně o vodě v České republice. Ministerstvo zemědělství, Praha. Available from:

[http://eagri.cz/public/web/file/650470/Publikace\\_Strucne\\_o\\_vode\\_185x100mm\\_web.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/650470/Publikace_Strucne_o_vode_185x100mm_web.pdf)

Ministerstvo životního prostředí. 2015. Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR. Ministerstvo zemědělství, Praha. Available from:

[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena\\_klimatu\\_adaptacni\\_strategie/\\$FILE/OEOK-Adaptacni\\_strategie-20151029.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie/$FILE/OEOK-Adaptacni_strategie-20151029.pdf)

Mondaca-Duarte F. D., Mourik S., Balendonck J., Voogt W., Heinen M., Henten E. J. (2020) Irrigation, crop stress and drainage reduction under uncertainty: A scenario study. *Agricultural Water Management* **230**:105990, doi: 10.1016/j.agwat.2019.105990

Niles M. T., Mueller N. D. (2016) Farmer perceptions of climate change: Associations with observed temperature and precipitation trends, irrigation, and climate beliefs. *Global Environmental Change* **39**:133–142, doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.002

Olsson A., Campana P. E., Lind M., Yan J. (2014) Potential for carbon sequestration and mitigation of climate change by irrigation of grasslands. *Applied Energy* **136**:1145–1154, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.08.025

Pei L., Moore N., Zhong S., Kendall A. D., Gao Z., Hyndman D. W. (2016) Effects of Irrigation on Summer Precipitation over the United States. *Journal of Climate* **29**:3541–3558, doi 10.1175/JCLI-D-15-0337.1

Prchalová, H., Vyskoč, P., Semerádová, S. 2017. Typologie útvarů povrchových vod kategorie řeka v prvním a druhém cyklu plánů povodí a její důsledky pro hodnocení stavu útvarů. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, **59(2)**: 28-35, doi: 10.46555/VTEI.2017.01.005

Riediger J., Breckling B., Svoboda N., Schröder W. (2016) Modelling regional variability of irrigation requirements due to climate change in Northern Germany. *Science of the Total Environment* **541**:329–340, doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.09.043

Rožnovský, J., Chuchma, F., Fiala, R. 2018. Základní vláhová bilance, ukazatel sucha na území České republiky. *Acta Hydrologica Alovaca*, **19(2)**:171-178.

- Rulík, M., Tůma, A. 2019. Diskusní fórum Hospodaření s vodou v krajině. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, **61(3)**:45.
- Sacks W. J., Cook B. I., Buening N., Levis S., Helkowski J. H. (2008) Effects of global irrigation on the near surface climate. *Climate Dynamics* **33**:159–175, doi: 10.1007/s00382-008-0445-z
- Seidel S. J., Barfus K., Gaiser T., Nguyen T. H., Lazarovitch N. (2019) The influence of climate variability, soil and sowing date on simulation-based crop coefficient curves and irrigation water demand. *Agricultural Water Management* **221**:73–83, doi: 10.1016/j.agwat.2019.02.007
- Seidel S. J., Werisch S., Schütze N., Laber H. (2017) Impact of irrigation on plant growth and development of white cabbage. *Agricultural Water Management* **187**:99–111, doi: 10.1016/j.agwat.2017.03.011
- Selman C., Misra V. (2017) The impact of an extreme case of irrigation on the southeastern United States climate. *Climate Dynamics* **48**:1309–1327, doi: 10.1007/s00382-016-3144-1
- Shah H. L., Zhou T., Huang M., Mishra V. (2019) Strong Influence of Irrigation on Water Budget and Land Surface Temperature in Indian Subcontinental River Basins. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **124**:1449–1462, doi: 10.1029/2018JD029132
- Siebert S., Webber H., Zhao G., Ewert F. (2017) Heat stress is overestimated in climate impact studies for irrigated agriculture. *Environmental Research Letters* **12**:054023, doi: 10.1088/1748-9326/aa702f
- Smith S. M. (2018) From decentralized to centralized irrigation management. *Journal of Economic Behavior and Organization* **151**:62–87, doi: 10.1016/j.jebo.2018.04.003
- Sorooshian S., AghaKouchak A., Li J. (2014) Influence of irrigation on land hydrological processes over California. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **119**:13137–13152, doi: 10.1002/2014JD022232
- Sridhar V. (2013) Tracking the Influence of Irrigation on Land Surface Fluxes and Boundary Layer Climatology. *Journal of Contemporary Water Research & Education* **152**:79–93, doi: 10.1111/j.1936-704X.2013.03170.x
- Starý, M. 2005. Hydrologie, Modul 01. Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia. FAST VUT v Brně, Brno.
- Štěpánek, Jaroslav, Rožnovský, J., Štěpánek, P., Zahradníček, P. 2018. Hodnocení výskytu sucha v České republice Minářovou vláhovou jistotou za období 1961-2017. In Rožnovský J., Litschmann T., et al. editors. Hospodaření s vodou v krajině. Český hydrometeorologický ústav, Brno.
- Strnad, F., Moravec, V., Hanel, M., Vizina, A., Beran, A., Melišová, E. A Kozín, R. 2017. Regionalizace nedostatkových objemů v České republice. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 59(4):12–17. doi: 10.46555/VTEI.2017.05.002



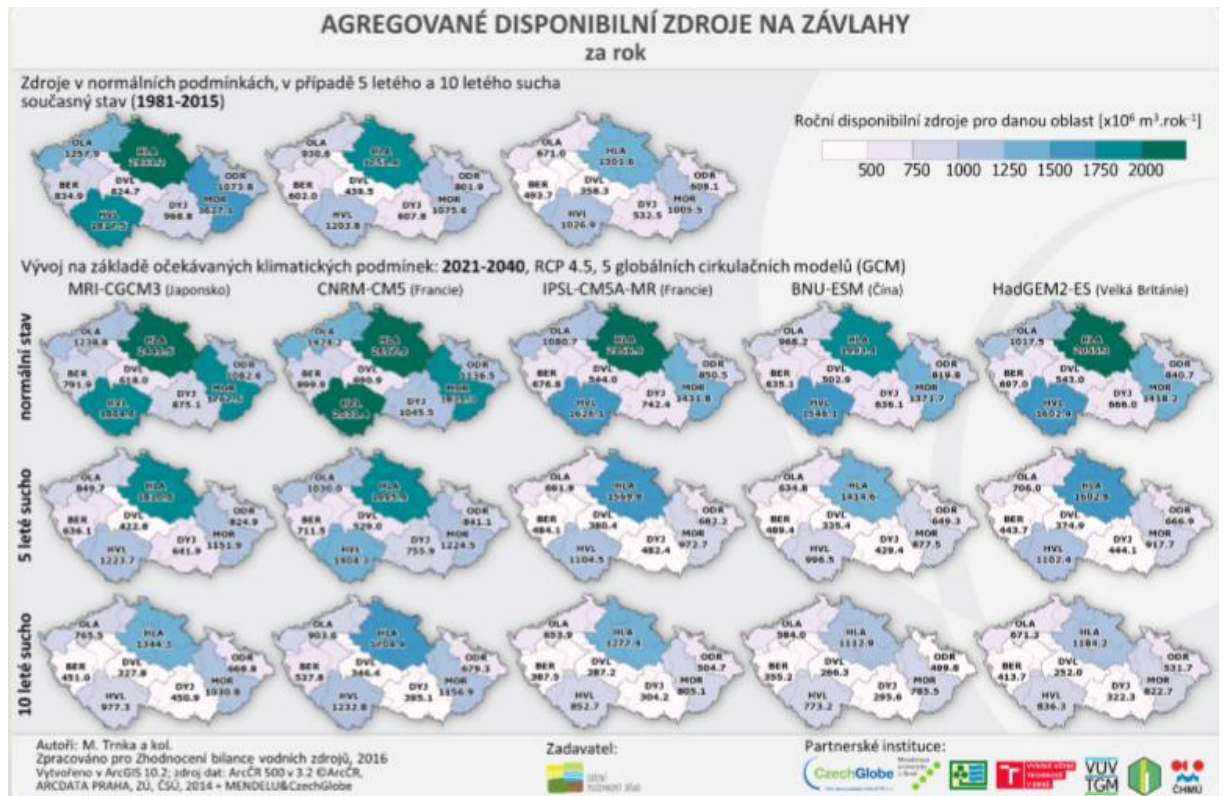
- Thiery W., Davin E. L., Lawrence D. M., Hirsch A. L., Hauser M., Seneviratne S. I. (2017) Present-day irrigation mitigates heat extremes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **122**:1403–1422, doi: 10.1002/2016JD025740
- Thiery W., Visser A. J., Fischer E. M., Hauser M., Hirsch A. L., Lawrence D. M., Lejeune Q., Davin E. L., Seneviratne S. I. (2020) Warming of hot extremes alleviated by expanding irrigation. *Nature Communications* **11**:290, doi: 10.1038/s41467-019-14075-4
- Tušil, P., Richter, P., Vyskoč, P., Filippi, R. A Durčák, M. 2018. Hodnocení stavu útvarů povrchových vod v České republice za období 2013–2015. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, **60(6)**:26–33. doi:10.46555/VTEI.2018.09.004
- Vahmani P., Jones A. D. (2017) Water conservation benefits of urban heat mitigation. *Nature Communications* **8**:1072, doi: 10.1038/s41467-017-01346-1
- Vizina, A., Horáček, S. A Hanel, M. 2015. Nové možnosti modelu BILAN. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, **57(4–5)**:7–10. doi:10.46555/VTEI.2015.06.001
- Vizina, A., Vlnas, R., Hanel, M., Kašpárek, L., Melišová, E., Beran, A., Kožín, R. A Strnad, F. 2017. Hydrologická bilance a disponibilní vodní zdroje v České republice v době hydrologického sucha. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, **60(4)**: 6–11. doi: 10.46555/VTEI.2017.05.001
- Vodohospodářský informační portál. 2021. Aktuální informace: Stavby a průtoky. Available from: <https://voda.gov.cz/portal/cz/> (accessed April 2021)
- Vodohospodářský informační portál. 2021. Vodní nádrže. Available from: [https://voda.gov.cz/portal/cz/aplikace/vt\\_nadrze\\_n.htm](https://voda.gov.cz/portal/cz/aplikace/vt_nadrze_n.htm) (accessed April 2021)
- VÚMOP, v.v.i., 2013. Nabídka mapových a datových produktů – Hydrologické charakteristiky, Praha. Available from: [https://www.vumop.cz/sites/default/files/20130529\\_katalogmap\\_hydrologicke\\_charakteristiky.pdf](https://www.vumop.cz/sites/default/files/20130529_katalogmap_hydrologicke_charakteristiky.pdf) (accessed March 2021)
- VÚV T. G. Masaryka. 2005. Zpráva České republiky (Zpráva 2005) dle článku 15 Směrnice 2000/60/ES Evropského parlamentu a Rady ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky, Praha. Available from: [http://eagri.cz/public/web/file/31832/CZ\\_ZPRAVAEK2005\\_1\\_.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/31832/CZ_ZPRAVAEK2005_1_.pdf) (accessed March 2021)
- Vyskoč, P., Prchalová, H., Dlabal, J. 2017. Vyhodnocení vlivu sucha a nedostatku vody na užívání vod. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace* **59(4)**:18–20. doi: 10.46555/VTEI.2017.05.003
- Wang C., Wang Z., Yang J. (2019) Urban water capacity: Irrigation for heat mitigation. *Computers, Environment and Urban Systems* **78**:101397, doi: 10.1016/j.compenvurbsys.2019.101397



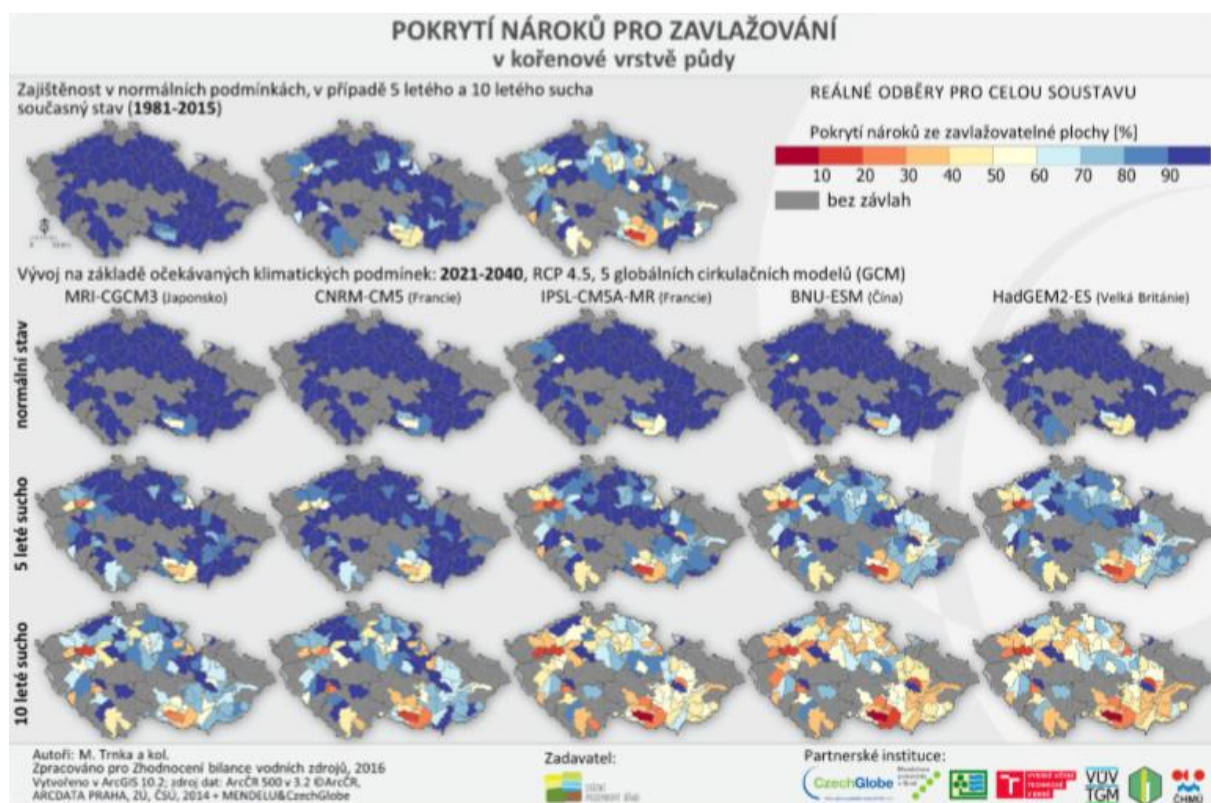
- Wang X., Zhang J., Ali M., Shahid S., He R., Xia X., Jiang Z. (2016) Impact of climate change on regional irrigation water demand in Baojixia irrigation district of China. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* **21**:233–247, doi: 10.1007/s11027-014-9594-z
- Wisser D., Frohling S., Douglas E. M., Fekete B. M., Vörösmarty C. J., Schumann A. H. (2008) Global irrigation water demand: Variability and uncertainties arising from agricultural and climate data sets. *Geophysical Research Letters* **35**:L24408, doi: 10.1029/2008GL035296
- Yang J., Kumar D. I. M., Pyrgou A., Chong A., Santamouris M., Kolokotsa D., Lee S. E. (2018) Green and cool roofs' urban heat island mitigation potential in tropical climate. *Solar Energy* **173**:597–609, doi: 10.1016/j.solener.2018.08.006
- Yang Y., Smith J., Yang L., Baeck M. L., Ni G. (2019) Regional Impacts of Urban Irrigation on Surface Heat Fluxes and Rainfall in Central Arizona. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **124**:6393–6410, doi: 10.1029/2018JD030213
- You L., Ringler C., Wood-Sichra U., Robertson R., Wood S., Zhu T., Nelson G., Guo Z., Sun y. (2011) What is the irrigation potential for Africa? A combined biophysical and socioeconomic approach. *Food Policy* **36**:770-782, doi: 10.1016/j.foodpol.2011.09.001
- Žalud Z. 2009. Změna klimatu a české zemědělství – dopady a adaptace. Mendelova univerzita v Brně, Brno.
- Žalud, Z., Trnka, M., Hlavinka, P. 2020. Zemědělské sucho v České republice - vývoj, dopady a adaptace. Agrární komora České republiky, Praha. ISBN 978-80-88351-02-3.
- Zou X., Li Y., Cremades R., Gao Q., Wan Y., Qin X. (2013) Cost-effectiveness analysis of water-saving irrigation technologies based on climate change response: A case study of China. *Agricultural Water Management* **129**:9–20, doi: 10.1016/j.agwat.2013.07.004



## 12 Samostatné přílohy



Příloha č. 1: Teoretické zdroje vody (v 1.000.000 m<sup>3</sup> za rok) pro agregovaná povodí pro období 1981-2015 a 2021-2040 (5 GCM modelů) a to pro běžný rok, 5 a 10 leté sucho. Je počítáno se zachováním pouze minimálních zůstatkových průtoků a teoretické akumulaci. Zdroj: Generel vodního hospodářství krajiny České republiky



Příloha č. 2: Procento pokrytí nároků existujících závlahových soustav (v %) při využívání vodních zdrojů v celé vodohospodářské soustavě pro období 1981-2015 a 2021-2040 (5 GCM modelů) a to pro běžný rok, 5 a 10 leté sucho.  
Zdroj: Generel vodního hospodářství krajiny České republiky