

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

Vliv klimatických změn na podzemní vody  
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Mgr. Marta Martínková, Ph.D  
Bakalant: Martin Ševic

2022

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martin Ševic

Environmentální vědy  
Aplikovaná ekologie

Název práce

**Vliv klimatických změn na podzemní vody**

Název anglicky

**The Impact of Climate Change on Groundwater**

---

### Cíle práce

Hlavním cílem práce je vyhodnotit současný stav poznání vlivu klimatických změn na podzemní vody s vlastní krátkou analýzou. Dílčí cíle práce jsou následující: na základě rešerše současné odborné literatury popsat principy dotace podzemních vod a možné způsoby ovlivnění podzemních vod klimatickými změnami, seznámit se s možnostmi matematického modelování, vyhodnotit situaci v ČR a posoudit výhody a nevýhody mitigačních opatření relevantních pro ČR. Součástí analýzy je porovnání vydatnosti pramenů a výšky hladin v mělkých a hlubokých vrtech v ČR.

### Metodika

Bakalářská práce bude vypracována formou rešerše vědecké literatury a internetových zdrojů s vlastní krátkou analýzou. Minimální počet použitých zdrojů je 80. Diskuzní část práce se zaměří na shrnutí problematiky vlivu klimatické změny na podzemní vody a na vyhodnocení situace v ČR včetně relevantních opatření. Výsledné zhodnocení shrne celou problematiku a navrhne možná opatření pro udržení vody v krajině.

**Doporučený rozsah práce**

Minimální počet stran je 40.

**Klíčová slova**

podzemní voda, klimatická změna, dotace podzemních vod, infiltrace

---

**Doporučené zdroje informací**

DESSLER, A E. *Introduction to modern climate change*. New York, NY: Cambridge University Press, 2012. ISBN 978-0-521-17315-5.

TODD, D K. – MAYS, L W. *Groundwater hydrology*. Hoboken, NJ: Wiley, 2005. ISBN 0471059374.

Treidel, H. , Martin-Bordes J.L.: *Climate Change Effects on Groundwater Resources*, CRP Press, 2012, ISBN: 978-0-203-12076-7

---

**Předběžný termín obhajoby**

2021/22 LS – FZP

**Vedoucí práce**

Mgr. Marta Martínková, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

---

Elektronicky schváleno dne 9. 3. 2022

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

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 12. 3. 2022

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 29. 03. 2022

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: *Vliv klimatických změn na hladinu podzemní vody* vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

Ve Slaném dne 31.3.2022

Podpis autora........

## Poděkování

Rád bych poděkoval mé vedoucí Mgr. Martě Martínkové, Ph.D. za ochotu, podporu, trpělivost a odborné vedení při psaní mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat za poskytnutí dat a ochotu Ing. Radku Vlnasovi a Mgr. Anně Lamačové, Ph.D. z Českého hydrometeorologického ústavu. Rád bych také poděkoval mé přítelkyni, která mě vždy podpořila.

## Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá vlivem klimatických změn na podzemní vody. V první části popisuje zdroje podzemních vod, jejich dělení a specifika, dále její pohyb, proudění a výskyt. Zaobírá se možnostmi průzkumu podzemních vod, jejich hodnocením a ochranou. Charakterizuje hydrogeologické prostředí v průběhu času, hydrologické poměry a výskyt a způsob využívání podzemních vod v České republice.

V druhé části je práce zaměřena na klima, skleníkový efekt, emise v atmosféře a jejich vliv na klimatické změny, dále jejich budoucí vývoj a dopady ve světě i v České republice. Zmiňuje programy a dohody zaměřené na snížení dopadu klimatických změn na životní prostředí a snižování emisí. Popisuje způsoby simulací a modelování klimatických změn. Popisuje způsoby snížení dopadu klimatických změn v České republice a možnosti adaptace.

Třetí část zahrnuje poznámky autora k diskuzi, shrnutí a závěr.

## Klíčová slova

podzemní voda, klimatická změna, dotace podzemních vod, infiltrace

## Abstract

This bachelor's thesis is focused on the impact of climate change on ground water. In the first part, the Thesis describes sources of ground water, its division and specifics. It focuses on water flow, movement and incidence. Later, it is concerned with ground water exploration options, its evaluation and protection. The first part also characterizes hydrogeological environment over time, hydrological condition and occurrence and ways of utilization of ground water in the Czech Republic.

The second part is concerned with climate, greenhouse effect, emissions in atmosphere and its impact on climate change. Furthermore, it focuses on future development and impact in the world and the Czech Republic. It mentions programs and agreements aimed at reduction of the impact of climate change on the environment and emission reduction. It describes modeling and simulation of climate change. Moreover, it describes methods of reduction of the impact of climate change in the Czech Republic and prospects of its adoption.

Finally, the third part includes author's notes for thesis discussion, summary and conclusion.

## Keywords

ground water, climate change, ground water dotation, infiltration,

## Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce .....	2
3	Podzemní voda.....	3
3.1	Zdroje podzemní vody .....	5
3.1.1	Infiltrace vody do podzemních vod.....	5
3.1.2	Průtok podzemních vod .....	6
3.1.3	Odtok podzemních vod .....	6
3.2	Proudění podzemní vody v horninovém prostředí .....	7
3.2.1	Vývěry a prameny podzemní vody .....	10
3.3	Metody průzkumu hydrogeologického prostředí .....	11
3.3.1	Regionální hydrogeologie .....	12
3.4	Kvalita podzemní vody .....	14
4	Situace v ČR .....	15
4.1	Geologický a hydrogeologický vývoj ČR.....	15
4.1.1	Český masiv .....	16
4.1.2	Západní Karpaty.....	17
4.1.3	Termální a minerální vody v ČR.....	17
4.2	Povodí v ČR.....	18
4.3	Výskyt podzemních vod v ČR .....	19
4.4	Legislativa a podzemní vody .....	20
4.5	Kvalita podzemních vod v ČR.....	21
5	Klima.....	22
5.1	Klimatické změny .....	22
5.1.1	Skleníkový efekt .....	23
5.1.2	Klimatické změny ve světě .....	24
5.2	Klimatické konference a dohody .....	27
5.2.1	COP (Conference of Parties).....	27
5.2.2	COP3-Kjótský protokol .....	27
5.2.3	COP16-Zelený klimatická fond .....	27
5.2.4	COP21-Pařížská dohoda .....	27
5.2.5	COP22-Marákeš.....	28
5.2.6	COP26-Glasgow .....	28
5.3	Návrhy na adaptační opatření ve světě.....	28
5.4	Klima a jeho změny v ČR.....	30

6	Modelování klimatu a jeho změn.....	32
6.1	Globální modely klimatu .....	33
6.1.1	Emisní scénáře .....	33
6.2	Regionální modely klimatu.....	34
6.3	Modelování z hydrologického hlediska .....	34
7	Možnosti snížení dopadu klimatických změn v ČR.....	35
7.1	Možnosti adaptace na místní úrovni v ČR.....	37
7.2	Změny v zemědělství .....	37
7.3	Úprava krajiny kolem toků .....	37
7.4	Možnosti snižování spotřeby .....	38
7.5	Revitalizace řek a možností rozlivů .....	38
7.6	Infiltrace do půdy a do podzemních vod.....	38
7.7	Efektivní využití vodních nádrží.....	38
7.8	Hospodaření s vodou.....	39
7.9	Adaptace obcí – Rakovník .....	39
7.10	Úpravy v legislativě vedoucí k jednoduššímu a udržitelnějšímu využití podzemní vody	40
7.11	Hladiny podzemních vod v ČR.....	40
8	Změny v hladinách podzemní vody v ČR.....	40
9	Diskuze .....	43
10	Závěr .....	45
11	Přehled literatury a použitých zdrojů .....	46
11.1	Odborné publikace .....	46
11.2	Legislativní zdroje .....	48
11.3	Internetové zdroje .....	48
11.4	Ostatní zdroje .....	52
11.5	Seznam obrázků .....	53
11.6	Seznam grafů .....	54



# 1 Úvod

V posledních desetiletích jsou vidět zřetelné změny v klimatu, které výrazně ovlivňují prostředí, ve kterém žijeme. Teplota se zvyšuje, pitné vody ubývá, naopak přibývá extrémních výkyvů počasí, jako jsou sucha nebo přivalové deště (BIRKLEN 2015). V České republice jsou tyto změny zřetelné skrze častější extrémní výkyvy počasí, jako jsou povodně a suchá období, či množství tropických dní. Tyto změny výrazně ovlivňují životní podmínky po celém světě a to nejen lidí, ale i zvířat a rostlin. Nejedná se pouze o podnebné pásy, ale také o lokální specifické podmínky pro život (mokřady, ledovce..), které mohou umožňovat život druhům, které jsou příliš citlivé na to, aby přežily jinde. S tím souvisí především množství a přísun vody. Voda je jedním z hlavních předpokladů pro život a její množství, kvalita, časové rozložení srážek, jejich intenzita a možnost setrvání v místě dopadu je společně s teplotou určující pro danou lokalitu a život v ní.

Klima je samo o sobě přirozeně proměnlivé, v posledních desetiletích dochází ale stále k extrémnějším výkyvům, což má za následek rychlejší změny jak na globální, tak lokální úrovni (snižují se hladiny podzemních vod, voda v krajině se obtížněji zadržuje, zvyšuje se teplota, dochází k vysychání a tím i k proměně fauny a flóry v dané lokalitě, delší období sucha a dešťů brání usazení se těm druhům, které potřebují mírný, ale průběžný přísun vody apod.) Především podzemní voda, která slouží jako největší zdroj pitné vody, je velmi citlivá na okolní podmínky a jejich změna může rapidně zhoršit její množství a kvalitu. V některých oblastech bývá podzemní voda jediným sladkovodním zdrojem a také často dotuje vody povrchové a podpovrchové, snížení hladiny podzemních vod by tedy mělo za následek obrovskou změnu životního prostředí na planetě.

Další vývoj klimatu je obtížné předpovídat, protože je ovlivněn mnoha různými aspekty, které nelze všechny stoprocentně zahrnout do výpočtů, přesto ale vzniká celá řada modelů a simulací budoucího vývoje klimatu a jeho dopadů. Protože se teplota Země zřetelně zvyšuje oproti předchozím obdobím, věnuje se této problematice ve světě velká pozornost.

Jedním z nejdůležitějších činitelů ovlivňujících zvyšování teploty je bezesporu koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře. Ten se do ní ve zvýšené míře dostává především kvůli expanzi průmyslu a dopravy začínající od dob průmyslové revoluce. Společně s metanem, oxidem dusným a vodní párou tvoří tzv. skleníkové plyny, které dostaly název po skleníkovém efektu, který podporují a který má vliv na klima a tím pádem také na stav a kvalitu vody ve světě.

Důsledky klimatických změn – oteplování a horší dostupnost pitné vody, zejména z podzemních zdrojů - začínají být patrné na celém světě a ovlivňují životy miliard lidí, proto je třeba nejen eliminovat činnosti podporující tyto změny, ale také hledat možnosti pro zlepšení nadcházejícího stavu a možnou adaptaci na něj, aby dopady na okolní prostředí a podzemní vody nebyly tak výrazné.

Vlivem klimatických změn na podzemní vody se zabývá tato bakalářská práce.

## 2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je zpracování rešerše na téma problematiky vlivu klimatických změn na stav podzemních vod. Zaměřuje se na popsání dosavadních poznatků o problematice oteplování klimatu, emisích a poznání příčin klimatických změn a jejich dopadů na podzemní vody. Popíše způsoby modelování klimatických změn, výhody a možné nepřesnosti u simulací modelů. Nakonec se zhodnotí důsledky změny klimatu na podzemní vody a shrne se možnost adaptace a mitigace.

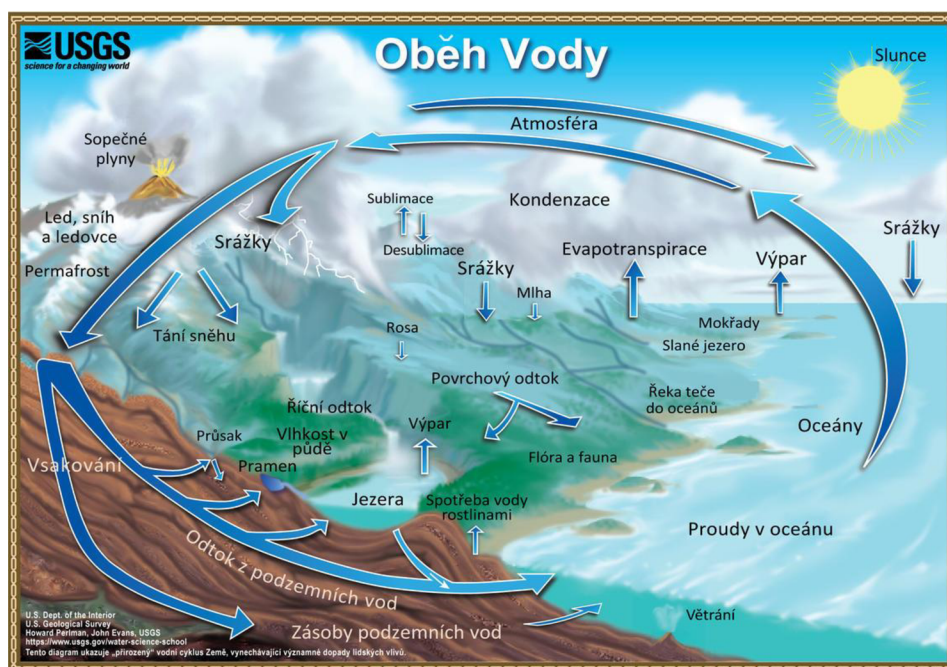
Tato bakalářská práce by měla také odpovědět na otázku, zda a jak výrazně jsou podzemní vody v ČR ovlivněny klimatickými změnami a jaké způsoby mohou případné dopady zmírnit.

### 3 Podzemní voda

Přítomnost vody je jednou ze základních životních podmínek života na Zemi. Je obsažena v lidském těle, rostlinách a dalších organismech, které by bez vody nemohly existovat. Díky dostatku vody fungují životní mechanismy, které jsou důležité pro celkový chod těla, ať už se jedná o přenos a rozpouštění živin, odvod škodlivých látek nebo řízení tělesné teploty (HYNIE 1961).

Země je z více než 70% pokrytá vodou. Z celkového objemu vody na Zemi je pouze cca 2,77% tvořeno vodou sladkovodní, zbytek (97,23%) je voda slaná, nacházející se v oceánech a mořích (PAVELKOVÁ 2013; PUNČOCHÁŘ 2007).

Voda se přirozeně vyskytuje na Zemi ve skupenství plynném (vodní pára), kapalném (voda) a pevném (led). Vytváří tzv. hydrologický cyklus neboli koloběh vody, je v neustálém pohybu a je závislý na sluneční energii.



Obrázek 1: Oběh vody na planetě (USGS 2017).

Voda se z oceánů, moří a povrchových toků (řek, jezer, mokřadů) odpařuje a jako vodní pára se dostává do atmosféry. Tam se díky proudům vzduchu přemísťuje, nižší teplota v atmosféře způsobí její kondenzaci a poté spadne ve formě dešťových či sněhových srážek zpátky na zemský povrch. Tam se voda buď znovu vypaří, steče do povrchového toku, odkud je rychle odvedena zpět do moře nebo se vsákne do půdy, kde je částečně pojata vegetací a částečně steče do podzemních vod (USGS 2017).

Podzemní voda (někdy nazývaná též spodní voda) je tedy nedílnou součástí tohoto koloběhu. Vyskytuje se v propustném geologickém prostředí pod zemským povrchem, na rozdíl od vody povrchové (oceány, moře, řeky, rybníky, potoky).

Podzemní vody tvoří největší zdroj sladké vody na Zemi (97%) kromě ledu, zbytek vody je uložen v řekách, jezerech a dalších povrchových zdrojích (PAVELKOVÁ 2013; PUNČOCHÁŘ 2007).

Podzemní vodu lze definovat více způsoby. Může být charakterizována jako voda pod zemským povrchem, někdy o ní lze mluvit jako o podzemní hydrosféře, která obsahuje kromě vody také páru a led (DIMAS 2008). Jinak definuje podzemní vodu (KRÁSNÝ 2012), a to tak, že podzemní voda se nachází pod zemským povrchem a vytváří zvodně, což jsou souvislé naakumulované objemy gravitačních vod v podzemním horninovém prostředí. Na povrch podzemní voda vyvěrá díky rozdílu v hydrostatickému tlaku skrze prameny nebo prosakováním do povrchových vod. K její hladině se dá obvykle dostat hlubšími výkopy – při stavbách studní a dalších pozemních i podzemních objektů.

Kromě podzemní vody je v půdě obsažena voda půdní neboli půdní vláhá, která spolu s podzemní vodou spadá do vod podpovrchových. Tato voda se nalézá v nenasycené zóně a nevytváří souvislou hladinu. Je blíže k zemskému povrchu a je využívána kořeny rostlin. Obor, který se půdní vodou zabývá, je pojmenován hydroopedologie (POKORNÁ 2020; PYTL a kol. 2012).

Půdní vláhu lze dělit na vodu (RUDA 2014):

- Vsakující (do půdy proniká účinkem gravitace)
- Kapilární (poutá se kapilárními silami k pevným tělesům)
- Adsorpční/adhezní (drží se povrchu částecek hornin díky adsorpčním silám, pochází z vodních par nebo protékajících/infiltrujících se vod)
- Vodní páru (vzniká výparem při vyšších teplotách)
- Půdní led (vzniká při teplotách pod 0°C z vodní páry obsažené v půdě) (NETOPIL 1984)

Povrchová voda je z části tvořena podzemní vodou a částečně pak z úhrnů dešťových či sněhových srážek dle místních klimatických podmínek (URBAN, 2015). Během suchých a nepříznivých období jsou povrchové toky dotovány převážně vodou podzemní (může tvořit téměř 90% toku) a její kvalita má přímý vliv na kvalitu povrchových toků a faunu a flóru v okolí.

Obor zabývající se podzemní vodou, jejími zdroji, vlastnostmi a pohybem se nazývá hydrogeologie. Čerpá z dalších vědních oborů, jako např. z geologie, biologie, fyziky, hydrologie, hydrauliky, chemie, klimatologie či geomorfologie. Hydrogeologie se uplatňuje v mnoha různých odvětvích a je důležitá mimo jiné také ve stavebnictví (výkopy) nebo v důlní činnosti (tunely, doły, štoly) (KRÁSNÝ 2012).

Podzemní voda proudí v podzemním hydrogeologicky propustném prostředí horizontálně, v závislosti na typu podloží může docházet k naakumulování podzemních vod, infiltraci či k vzlínání směrem k povrchu. V těchto místech pak dle vlastností geologického podloží mohou vyvěrat prameny nebo vznikat podmáčená území (mokřady a bažiny). V aridních (suchých) oblastech bývají velké zásoby podzemní vody, ale z důvodu malých srážek se pomalu doplňují. V pobřežních lokalitách může hladina podzemí vody klesnout až pod úroveň hladiny moře, což

zapříčiní doplňování hladiny podzemní vody vodou mořskou a tím pádem dochází k zasolování půdy.

### 3.1 Zdroje podzemní vody

Původ podzemních vody lze rozdělit na přírodní, indukovaný a umělý. Přírodní dotace podzemních vod jsou zapříčiněny klimatickými poměry, indukované jsou částečně ovlivněny lidskou činností (např. zatopení lomů a pískoven vyvolané propustným prostředím jejich okolí) a umělé jsou ty, které jsou způsobeny člověkem (meliorace, změny průtoků pozemních vod odčerpáváním, řízené infiltrace do půdy, havárie vodovodních a kanalizačních inženýrských sítí aj..) (MALÁ 2014; SMERDON 2017).

Ty se dostávají do podzemí záměrně nebo samovolně. Mezi samovolné zdroje patří např. zavlažování polí nebo úniky vod při haváriích městských sítí (může dojít ke znečištění podzemní vody). V současnosti jsou zdroje podzemní vody vytvářeny také záměrně z vody povrchové, která se po úpravě infiltruje do půdy, kde dojde k jejímu pročištění a následně může být odčerpána a použita na vodu pitnou.

#### 3.1.1 Infiltrace vody do podzemních vod

Infiltrací neboli vsakováním podzemních vod je myšlen pohyb vody z povrchu Země směrem dolů do půdy a následně přes propustné horninové prostředí k hladině podzemní vody.

Velikost infiltrace značí celkový vsak do půdy za jednotku času a závisí na úhrnu srážek, vlhkosti půdy a na jejím prostředí.

Voda se tedy nejprve infiltruje do nenasyčené zóny a poté do nasycené, kde dochází ke vzniku zvodní. Zvodeň označuje zónu nasycení s naakumulovaným objemem podzemní vody. Její rychlost, směr a možnosti akumulace závisí na vlastnostech hydrogeologického prostředí, klimatických podmínkách a jejich trvání, georeliéfu oblasti a intenzitě čerpání podzemních vod.

Vsakem dešťových vod skrze půdu dochází k přímé infiltraci, zatímco vsakem z povrchových toků k infiltraci nepřímé.



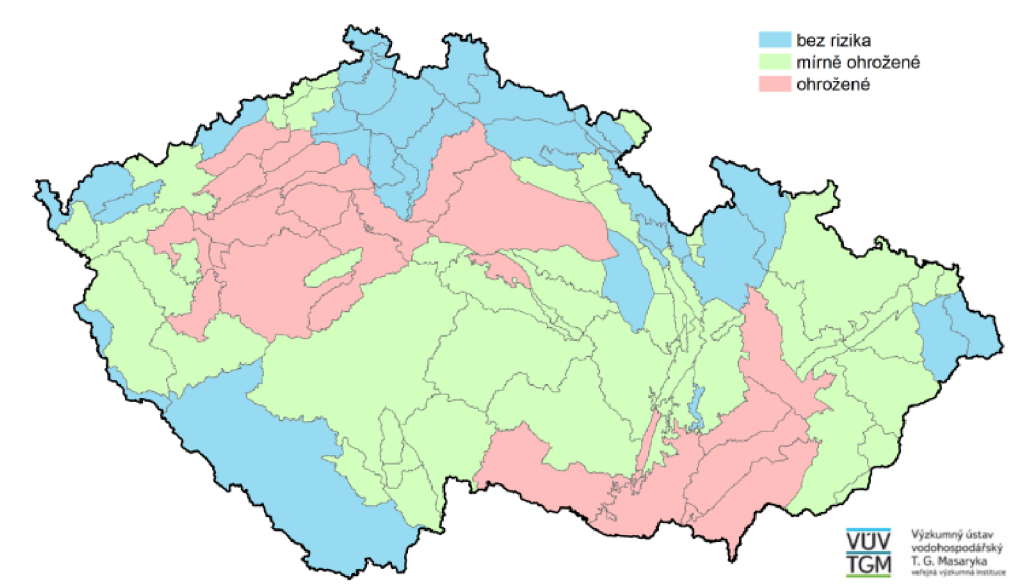
Obrázek 2: Popis zón v hydrogeologické prostředí (LANGHAMMER 2007).

Díky infiltraci dochází k výrazným změnám v hydrogeologickém prostředí. U infiltrace se jemné částice z půd přesouvají vlivem prosakující vody do větších hloubek a spodních vod a vyplňují póry a pukliny v podloží, naopak v případě drenážních zón se částičky vyplavují z puklin a podloží vzhůru a dostávají se na povrch, příp. do povrchových vod. Tím dochází k tzv. podzemní erozi, kdy jsou zrnka hornin odplavována směrem k povrchu a jsou rozměňována nebo rozpuštěna.

### 3.1.2 Průtok podzemních vod

Pro výpočet průtoku podzemních vod je potřeba vzít v úvahu pórovitost hornin, kterými voda protéká. Ta se počítá jako objem pórů/dutin v hornině k celkovému objemu horniny. Protože ne všechny horniny v horninovém prostředí umožňují proudění vody, používá se pro zjištění průtoku podzemní vody tzv. efektivní pórovitost, která udává objem pórů, které jsou schopny proudění podzemní vodě zajistit.

Průtok je základní parametr pro zjištění celkového odtoku podzemní vody z území (TOSS 2005).



Obrázek 3: Zranitelnost oblastí v ČR vůči suchu určená z průměrného základního odtoku mezi lety 1981 – 2012 (MZE 2017).

### 3.1.3 Odtok podzemních vod

Pokud jsou pro odtok charakteristické pouze prameny, např. (v krasovém a v puklinovo-krasovém prostředí), tak lze celkový odtok spočítat součtem vydatností pramenů. Obvykle se ale vyskytuje v kombinaci s výrony do povrchových vod. Ty mohou tvořit významný zdroj pro povrchové toky. V obdobích delšího sucha mohou být povrchové toky doplňovány téměř výhradně podzemními zdroji, jejich výpočet je pak náročnější.

Podzemní odtok se dá odhadnout z průměrných hodnot dlouhodobého měření celkového odtoku vodního toku za pomoci stanic umístěných na různých místech toku a porovnávajících průtoky v jednotlivých místech toku (větší množství stanic zajišťuje přesnější výsledky). Další možností je vytvoření hydrogramu celkového odtoku během roku s vymezením podzemního odtoku, který umožní v následujících letech

odhadnout míru podzemního odtoku. Dá se také namodelovat simulacemi. Velikost podzemního zdroje vody se usuzuje odečtem složky podzemní vody z celkového povrchového odtoku.

Vyhodnocení regionálních hydraulických parametrů prostředí nemusí plně odpovídat skutečnosti, data ovlivňuje např. výběr místa vrtů. Vrty by měly být náhodně umístěné, ale mnohdy se upřednostňují vrty s předpokladem pro lepší jímání podzemní vody. Oproti tomu neúspěšné zkoušky/vrty nejsou často zahrnuty do zpracování výsledků.

Pro detailnější výpočty je zapotřebí vědět co nejvíce informací o vlastnostech konkrétní lokality a jejím hydrogeologickém podloží, což je náročnější než u vod povrchových. Nepřesnosti v získávání dat mohou být způsobeny rozmístěním vodoměrných měřících stanic v místech, která nezahrnují všechny důležité lokality s významným odtokem (měly by být umístěny na důležitých předělech mezi různými hydrogeologickými lokalitami). Dalším problémem také bývá, že stanice sledují převážně dominantní průtoky, nikoliv ty malé, které významně doplňují povrchové toky.

Na základě poznatků a výsledků předešlých zkoušek lze vytipovat místa s podobnými hodnotami, jaké měly výsledky zkoušek ve stejném území s obdobnými podmínkami.

Do výpočtu odtoku podzemních vod je také nutno vzít v potaz lidskou činnost (čerpání vody, zavlažování, zadržování vody v krajině). Narušením či propojením kolektorů může docházet ke zvyšování či snižování celkového odtoku.

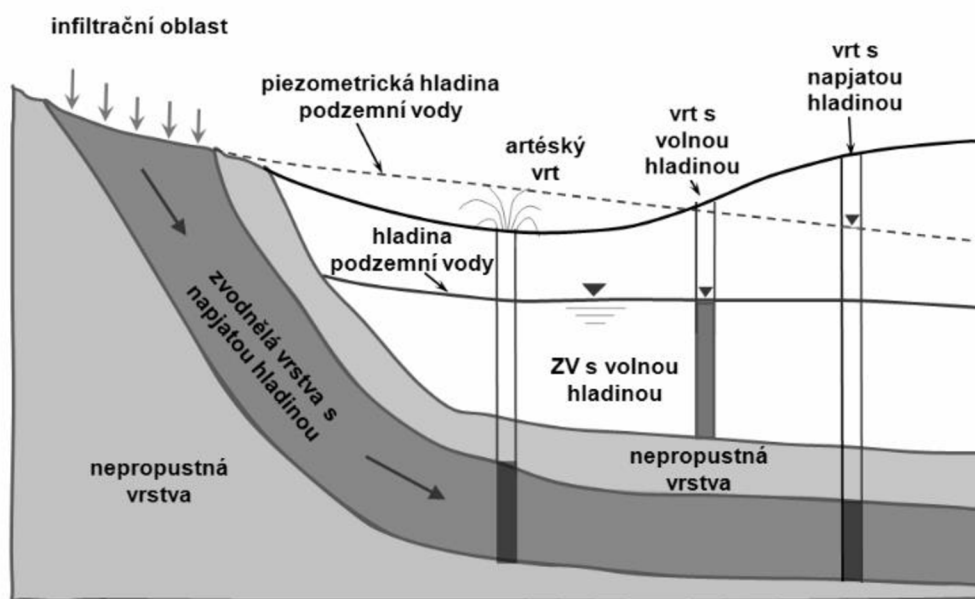
### 3.2 Proudění podzemní vody v horninovém prostředí

Díky puklinám probíhá v tvrdých horninách proudění podzemní vody. Intenzita proudění podzemních vod a tím i jejich ovlivnění okolními horninami závisí na klimatických podmínkách, nadmořské výšce a geomorfologii podloží, celkové geometrii, sklonu, hustotě, drsnosti jejich povrchů atd. Čím víc jsou pukliny otevřené, rozsáhlé a hojnější, tím je větší hydraulická vodivost (popisuje schopnost prostředí vést vodu) (PIVOŇKA 2013) a nižší anizotropie (odlišnosti v různých směrech proudění) např. v granoitech nebo kvarcitech jsou vhodné podmínky pro vytváření puklin a jejich propojených systémů.

Geologické procesy ovlivnily prostorové uspořádání hydrogeologického prostředí, které je tvořeno propustnými tělesy (kolektory), částečně propustnými tělesy (poloizátory) a nepropustnými tělesy (izolátory).

Mezi propustné horniny patří písky, štěrky, pórovité vyvřelé či rozrušené horniny a sedimenty. Polopropustné jsou například spraše, hlinité písky, slepence nebo pískovce a horniny, které vodu nepropouští a fungují jako překážky v jejím pohybu, tvoří buď celistvé prostředí (žuly, čediče) nebo obsahují hodně jílu, který brání průniku vody. (PYTL a kol. 2012)

V takovém prostředí může být sice hladina podzemní vody několik metrů pod úrovní terénu, ale vlivem místního napětí hladiny podzemí vody může dojít k jejímu lokálnímu navýšení.



Obrázek 4: Typy zvodněných vrstev (PECH 2010).

Pro písčité hlíny s velkými zrny je charakteristické vytváření preferenčních cest kvůli propojení velkých pórů. Proudění vody v preferenčních cestách se nazývá preferenční proudění a jeho rychlost se nejvíce blíží reálné rychlosti proudění v nenasycené zóně. V přírodních podmínkách se však tato rychlost měří hůře oproti podmínkám laboratorním.

Propustné/pórovité prostředí díky *efektivní (účinné) pórovitosti* umožňuje pohyb či akumulaci podzemní vody.

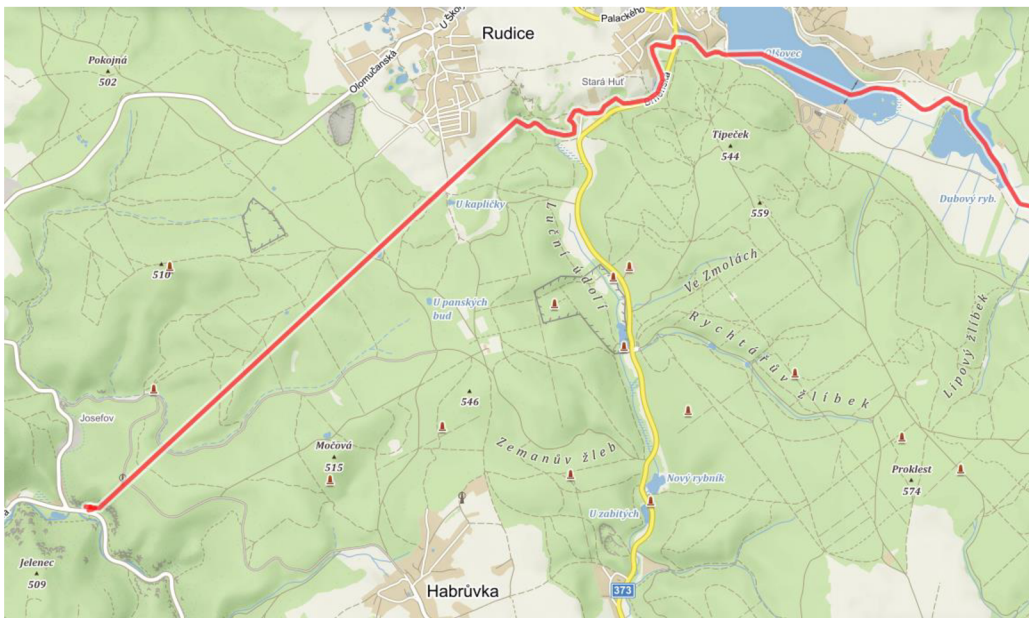
Pórovitost se dělí na *průlinovou, puklinovou a krasovou*. Průlinovou je označována pórovitost v prostředí málo zpevněném (např. prostředí s málo zpevněnými klastickými sedimenty – usazené sedimenty úlomků hornin), voda se zde pohybuje filtračním prouděním. Např. v prostředí jemnozrnných písků se rychlost vody pohybuje nejvýše v cm/dm denně, (RUDA 2014) v dobře propustném prostředí, jako např. ve štěrčích a pískách se rychlost vody pohybuje v řádu jednotek metrů za den. Větší rychlosti může podzemní voda dosáhnout v puklinovém prostředí nebo v krasových kanálech, kde může být srovnatelná s rychlostí v povrchových tocích. Oproti tomu v nepropustných horninách nebo ve velkých hloubkách může dojít k výrazné stagnaci (NETOPIL 1984).

Podzemní vody se také nejvíce mineralizují právě v prostředích s průlinovou pórovitostí díky menší rychlosti, protože mají více času pro rozložení minerálních látek. (RUDA 2014) Zvodně v tomto prostředí mívají souvislou hladinu.

Puklinovou pórovitostí je charakterizována pórovitost v krystalinickém prostředí (tvořeném převážně z magmatů a metamorfovaných hornin) – voda proudí gravitačně a částečně nebo úplně vyplňuje pukliny ve vyvěřelinách, metamorfovaných horninách a ve velmi zpevněných sedimentech. Proudí rychleji, a kvůli tomu se voda nestihne příliš pročistit či mineralizovat. (RUDA 2014)



V lépe rozpustných horninách (sole, karbonáty, sádrovce, zkrasovělé vápence) vlivem gravitačního proudění vody může docházet ke zvětšování puklin a kanálek a tím ke vzniku pórovitosti *krasové*. Zde mohou vznikat rozsáhlé puklinové složité systémy propojené navzájem kavernami (dutinami). Voda do tohoto prostředí často vtéká skrze ponory a pukliny, někdy sem může z povrchu směřovat třeba i celý potok (RUDA 2014) (např. Jedovnický potok (HES 2018)).



Obrázek 5: Jedovnický potok – Vývěry Jedovnického potoka a Rudické propadání (MAPY.CZ).

Tzv. *dvojnou pórovostí* nazýváme přechodný typ z pórovitosti průlinové na puklinovou. Horniny obsahující všechny tři typy pórovitosti se označují jako prostředí „*s trojnou pórovostí*“.

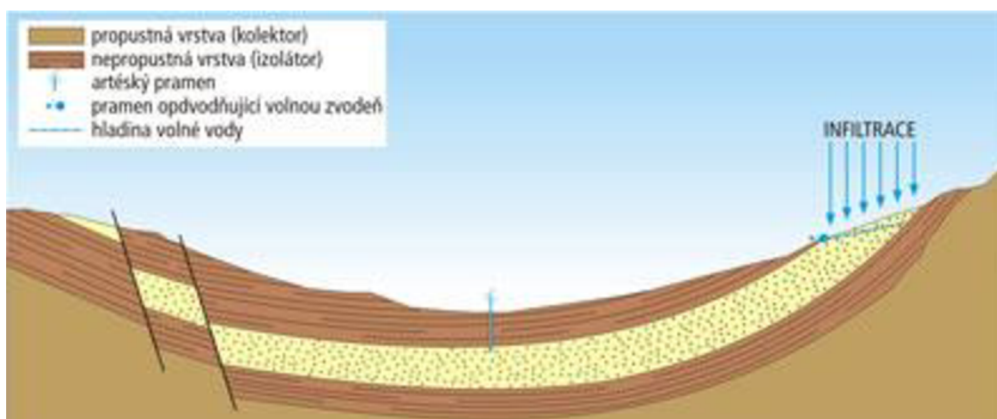
V málo zpevněném či nezpevněném prostředí je určujícím prvkem prostorových změn (průlinového pórovitého prostředí) a charakteru proudění podzemních vod složení sedimentů. Čím víc se prostředí zpevňuje, tím více je proudění závislostí vlastností puklinové pórovitosti.

Díky těmto znalostem je možné sledovat proudění a charakter podzemních vod, plánovat umístění vrtů či možnosti sanačních prací a hodnotit možnosti využití podzemních vod a její kontaminace. Také charakter území může ovlivňovat propustnost prostředí, kdy se v oblastech s drenážní vrstvou pukliny spíše vymývají a naopak v infiltračních oblastech se mohou jemnými zrníčky ucpávat. V průběhu geologického času může docházet ke zmenšování průlinových puklin (např. vlivem vrásnění hornin či zahlinění), což může vést až k úplné ztrátě průlinové pórovitosti. Stejně tak v puklinovém prostředí může docházet ke zhoršování propustnosti např. kvůli zvětrávání.

Jak bylo řečeno v úvodu, podzemní vodu lze definovat jako vodu nacházející se v nasycené zóně pod zemským povrchem a vytvářející zvodně. Ta vzniká naakumulováním objemu gravitačních podzemních vod v horninovém prostředí, kde její výška závisí na výšce nepropustné překážky v podloží.

Zvodně mají buď volnou, nebo napjatou hladinu. Volná hladina v tomto případě znamená, že na hladině podzemní vody je atmosférický tlak, díky gravitaci podzemní voda nasýtila póry ve spodní části kolektoru, v tzv. saturačním pásmu (v nasycené zóně). Nad tímto pásmem (nad hladinou podzemní vody) je pásmo provzdušnění. V případě vrtu v tomto místě je hladina podzemní vody ustálená. (TODD 2005)

Oproti tomu zvodeň s napjatou hladinou je charakterizována vyšším hydrostatickým tlakem a póry vyplněnými vodou v celém kolektoru. Jedním z činitelů změny v hydrostatickém tlaku podzemních vod je navýšení množství vody v nadzemním toku, např. v důsledku povodní, to má vliv na tlak podzemních vod a může docházet buď ke zvýšení hladiny podzemních vod, nebo ke zvýšení hydrostatického tlaku v závislosti na propustnosti prostředí. U velkého tlaku v nepropustném prostředí dochází k proražení nepropustné vrstvy a voda se dostane a stabilizuje do tzv. výstupné/tlačné výšky, která je buď v úrovni pod okolním terénem (tzv. negativní výstupní výška) nebo nad ním (pozitivní výstup. výška) (RUDA 2014). V případě velkého tlaku může docházet k samovolnému vytékání z vrtu nad úroveň terénu – tzv. artézský pramen (TAYLOR 2013).



Obrázek 6: Popis hydrogeologického prostředí – zvodně (GRMELA 2004).

Pokud zvodeň bude odčerpána, může tlakem horních vrstev podloží dojít k zhutnění prostředí zvodně a následně se nebude moci zvodeň doplnit do původní nasycenosti vodou. Dojde k trvalé degradaci zvodně (TAYLOR 1997).

Hydrogeologické proudění v kolektoru je obdobné jako proudění povrchových toků, lze tedy říci, že hydrogeologické povodí (podpovrchová voda) se podobá povodí hydrologickému (povrchová voda) (MŽP, 2010).

### 3.2.1 Vývěry a prameny podzemní vody

V zónách s vyšším tlakem a přebytkem vody, kde okolní prostředí není schopno dané množství naakumulovat, dochází k průniku podzemní vody na povrch. To může být buď viditelné, nebo skryté podle toho, jestli vytéká na souši či přímo do dna nadzemních toků (řek/jezer/rybníků).

Vývěry tvoří rozptýlené nesoustředěné výtoky, které vyvěrají na zemský povrch, zamokřují půdu a vytváří vhodné prostředí pro vlhkomilnou faunu a flóru. Často také dochází ke vzniku mokřadů. Oproti tomu soustředěný výtok podzemí vody se nazývá

prameništěm/pramenem a jeho vydatnost se udává buď v l/s nebo v m<sup>3</sup>/s. Prameny se dělí dle (RUDA 2014):

- vytrvalosti výtoku na stálé a občasně
- svažitosti terénu
- geologického složení prostředí na vrstevnaté (umístěné u hranice mezi zvodní a nepropustným prostředím), puklinové (u hornin s puklinami, např. pískovce, lávy..), vzduté (nepropustná překážka vzdouvá vodu na povrch) a suťové (situované ve zvětralinách, často ve svahu nebo u paty kopce)
- směru proudění na sestupné a vzestupné (v případě průtokem propustnými horninami a vytékáním v nižších polohách nebo nepropustným prostředím a přetékáním na povrch) (BOKR 2014)
- vydatnosti na vyrovnané, průměrně vyrovnané či nevyrovnané
- teploty na studené a teplé (nad 20°C), které se dále dělí na vlažné (20-37°C), teplé (37-50°C) a vřídla (50°C a víc).
- mineralizace na prosté (méně než 1g/l), slabě mineralizované (1-5g/l), středně mineralizované (5-15g/l) a silně mineralizované (nad 15g/l) (BOKR 2014)

Složení hornin může výrazně ovlivňovat složení podzemní vody. Ve vyšších nadmořských výškách jsou podzemní vody mineralizované výrazně méně než v nížinách. Důvodem je malá či žádná vrstva půdy či zeleně při horských vrcholech, které by způsobily zadržení dešťové vody a výrazněji ji ovlivnily. Podzemní voda např. v Českém masivu obsahuje především vápník, sírany a hydrogenukarbonáty, méně pak v některých oblastech železo nebo mangan. Lokálně se na kvalitě podílí i lidská činnost projevující se znečištěním podzemních vod dusičnany, draslíkem, chloridy či sírany.

Prostředí s větším výskytem krystalických vápenců způsobuje větší mineralizaci vody a zvýšení jejího pH.

Vlivem působení břidlicového prostředí se v podzemní vodě zvyšuje množství síranů, minerálů, a její kyselost.

Voda protékající skrze horniny bazické, jako je např. amfibolit, serpentinit nebo gabra, z důvodu vyšší reaktivity hornin obsahuje větší množství hořčíku a má větší pH. (u nás se vyskytují v jižních Čechách nebo v oblasti kolem Mariánských Lázní).

Ke zvýšení množství radonu v podzemní vodě může dojít při působení hornin s radioaktivními anomáliemi, jako u migmatitů, ortorul či durbachit. Patří sem vody s radioaktivitou min. 1.346,8 Bq/l (becquerel/litr), (např. v oblasti Jáchymova obsahují podzemní vody až 10kBq/l) (HRUŠKOVÁ 2013).

Voda nacházející se ve štolách po těžbě rud bývá obvykle znečištěná odpadem po těžbě, bývají velmi kyselé, mineralizované s velkým obsahem síranů (NOVÁKOVÁ 2012).

### 3.3 Metody průzkumu hydrogeologického prostředí

Pro proudění podzemních vod je rozhodující schopnost prostředí propouštět a akumulovat vodu. Tyto vlastnosti se určují na základě laboratorních a přítokových zkoušek.

Z důvodu nehomogenity, izotropie (nezávislosti na směru) a proměnlivosti podloží je hydrogeologické prostředí obtížné definovat jednou hodnotou, která by obsahovala více informací o dané lokalitě. Jako zjednodušený parametr určený ke srovnávání je Index transmisivity  $Y$ , který se určuje čerpacími zkouškami. Transmisivita je schopnost prostředí propouštět podzemní vody.

Transmisivita se zjišťuje přítokovými zkouškami z hydrogeologických vrtů. V závislosti na měřítku se ale výsledky mohou výrazně měnit. Hydrogeologické prostředí s vyšší transmisivitou (tzv. pozitivně anomální zóny) se často vyskytují v oblastech kolem terénních depresí (prohlubní, údolí a níže položených míst).

Hodnotí se na základě většího množství naměřených/získaných údajů za použití statistických metod. Výsledky mohou být ovlivněny jak délkou trvání měření, velikostí zkoumaného úseku nebo hloubkou vrtů. Hloubka vrtů pohybující se v desítkách metrů obvykle výsledky příliš neovlivní, stejně tak jako velikost vrtů, pohybujících se od 0,2 – 0,4m.

Nehomogenitu je možné definovat jako odlišnost v hydrogeologickém prostředí, která zapříčiňuje změny proudění vody. Tu mohou zapříčinit např. průliny (póry), pukliny, zlomy apod. Zkoumá se laboratorním měřením propustnosti, mapováním hydrogeologického prostředí, studiem v terénu či dálkovým průzkumem, zkouškami ve vrtech a měřením proudění povrchových vod, karotáží (měření ve vrtu) atd. (ČGS 2020; URBAN 2015)

Na objemově a plošně malých vzorcích, kde se zkoumají malé pukliny či intergranulární pórovitost se provádí laboratorní zkoušky.

Karotáže (geofyzikální měření) ve vrtech mohou obsáhnout větší plochu a díky tomu charakterizovat větší nehomogenity v hydrogeologickém prostředí. Takzvaná hydrokarotáž (měření hydrogeologických parametrů) dokáže přesněji určit místa, kde dochází ke ztrátám či přítokům vody.

Hydrodynamické přítokové zkoušky (prováděné ve vrtu nebo šachtě pro měření přítoku) jsou závislé na hydrogeologických vlastnostech daného prostředí a přesném umístění měřících prvků, na čase, po který se zkouška provádí a na intenzitě čerpání.

Přítokové zkoušky se používají pro měření celého otevřeného vrtu, nezaměřují se na detailnější nehomogenitu v určitých místech. Těmi se zabývají právě laboratorní zkoušky a karotáže (KRÁSNÝ 2012).

### 3.3.1 Regionální hydrogeologie

Regionální hydrogeologie se zabývá hydrogeologickým prostředím, prouděním, kvalitou a bilancí podzemních vod v určité lokalitě. Vychází ze souhrnu lokálních studií zaměřených na menší plochy. Průzkumné metody lokálních studií zahrnují vrtné práce, mapování, sledování hydraulických změn během určitých období a modelování toku podzemních vod a přenosu látek v nich. Závěry takovýchto studií mohou být použity při řešení otázek týkajících se využívání podzemní vody nebo pro územní plánování v dané lokalitě. Při průzkumu území se používá hydrogeologické hodnocení, které se dělí na základní tři fáze:

- 1) prvotní výzkumné období identifikuje prostředí z hlediska geologie, hydrologie a klimatu a na základě toho získává základní informace o zdrojích podzemních vod.
- 2) popisné a vyhodnocovací období rozšiřuje dosavadní poznatky o proudění podzemních vod, její kvality a zdrojů
- 3) řízené využívání podzemní vody a zavedení udržitelného stavu pro větší hydrogeologické území s jasnou strategií pro ochranu využití podzemních a povrchových vod

Území, které má podobné hydrogeologické podmínky, vyskytuje se zde obdobný oběh vody a druh zvodní, se nazývá Hydrogeologický region. Hydrogeologické regiony neboli rajóny se dělí na svrchní, základní a hlubinné. Svrchní část obsahuje kvartérní a neogenní sedimenty, základní především křídové sedimenty a hlubinná bazální křídový kolektor. Ve svrchním hydrodynamickém prostředí jsou směry toku povrchového i podpovrchového velmi podobné, oproti zvodněným oblastem v nížinách, kde mohou být výrazně jiné. (PYTL a kol. 2012)

Během hydrogeologického hodnocení regionu se sbírají data, ze kterých se určují minimální a maximální hraniční hodnoty pro vlastnosti podzemních vod v této lokalitě. Data lze třídit dle různých hledisek dané oblasti z hlediska geomorfologie, hydrogeologie, horninového prostředí apod. Ty jsou založeny především na přítokových zkouškách, vrtných pracích, geologickém průzkumu atd. Hojně se čerpá z databáze geografického informačního systému GIS a data se pak porovnávají pomocí statistických metod a analýz. Takto je možné sledovat hydrogeologické prostředí a vliv jeho okolí na něj.



Obrázek 7: -Hydrologická rajonizace ČR 2005 (KEPRTOVA 2014).

### 3.4 Kvalita podzemní vody

Protože jsou podzemní vody primárně využívány k zásobování pitnou vodou a mají přímý vliv na kvalitu nadzemních toků, je důležité dbát na její nezávadnost.

Kvalitu podzemní vody ovlivňují chemické faktory (složení vody, tvrdost, mineralizace, reakce mezi prvky), mikrobiologické (výskyt mikroorganismů) a fyzikální faktory (hustota, teplota, absorbance = pohlcování světla o určité vlnové délce, radioaktivita způsobena přirozenými radioizotopy). Složení podzemní vody závisí také na rychlosti a hloubce proudění, složení podloží a klimatickém podnebí.

Podzemní voda je primární zdroj pitné vody pro  $\frac{3}{4}$  populace v Evropě (v suchých/aridních oblastech bývá podzemní voda jediným zdrojem pitné vody). Hojně se využívá v zemědělství a v průmyslu.

Podzemní voda je v ČR užívána pro pitné účely z 44% a její podíl se neustále navyšuje. Kvalita podzemní vody je v různých oblastech České republiky odlišná.

Na mnoha lokalitách v ČR jsou podzemní vody kontaminovány chemikáliemi používanými v zemědělství, převážně pesticidy (OVESNÁ 2017).

Nejen velká města, ale i velké množství menších měst a vsí jsou závislé především na podzemních vodách. Její úprava probíhá buď skrze aeraci (provzdušnění), zbavení přebytku manganu a železa a dezinfekce, nebo odkyselením či pouze dezinfikováním chlornanem sodným.

Vlivem růstu průmyslu, zastavování v dříve volné krajině, používání pesticidů v zemědělské činnosti, umístování skládek a ukládání toxického odpadu dochází ke kontaminaci podzemní vody.

Kvalita podzemní vody při znečištění se v časovém horizontu a míry zasažení mění rychle, tudíž se špatně vyhodnocuje. Kontrola a ochrana podzemních vod je náročnější kvůli složitější dosažitelnosti oproti vodám na povrchu. Znečištění podzemních vod bývá zapříčiněno především odpadními vodami z průmyslu, provozů v zemědělství a z domácností, nebo skrze používání pesticidů, dusičnanů či toxických látek, chemikálií ze skládek prosakujících do podloží, těžbou surovin, velkoplošným zemědělstvím, kyselými dešti nebo sanací znečištěných území. Podzemní voda přesto není oproti vodě povrchové tolik náchylná ke znečištění a její množství není ovlivněno klimatickými změnami tolik jako vody povrchové. Protože se ale podzemní voda pohybuje podzemním prostředím pomalu, dlouhodobě na ni působí znečišťující vlivy způsobené lidskou činností (především v okolí průmyslových zón a přístavišť). Také při velkém čerpání podzemní vody nebo stavbou inženýrských sítí či těžby uhlí, plynu a uranu může dojít ke snížení kvality podzemní vody, poklesu hladiny, snížení odtoku vody, snížení intenzity vyvěrání pramenů či k jeho úplnému zániku.

Kvůli znečištění životního prostředí a ochraně kvality podzemní vody vznikla opatření na monitorování, prevenci a ochranu podzemních vod, např. stanovení ochranných pásem zdrojů podzemních vod, bezpečné ukládání kontaminovaného odpadu, efektivní způsoby sanace nebo revitalizace po skončení důlní činnosti (KRÁSNÝ 2012).

Ke znečištění samozřejmě dochází i v přírodních podmínkách, např. rašeliniště tvoří málo propustný samostatný systém. Vody v rašeliništích mají kyselé pH a obsahují huminové látky (ty vznikají rozložením organických látek). Při silných deštích tak může dojít ke znečištění povrchových toků, pokud se do nich voda z rašelinišť dostane.

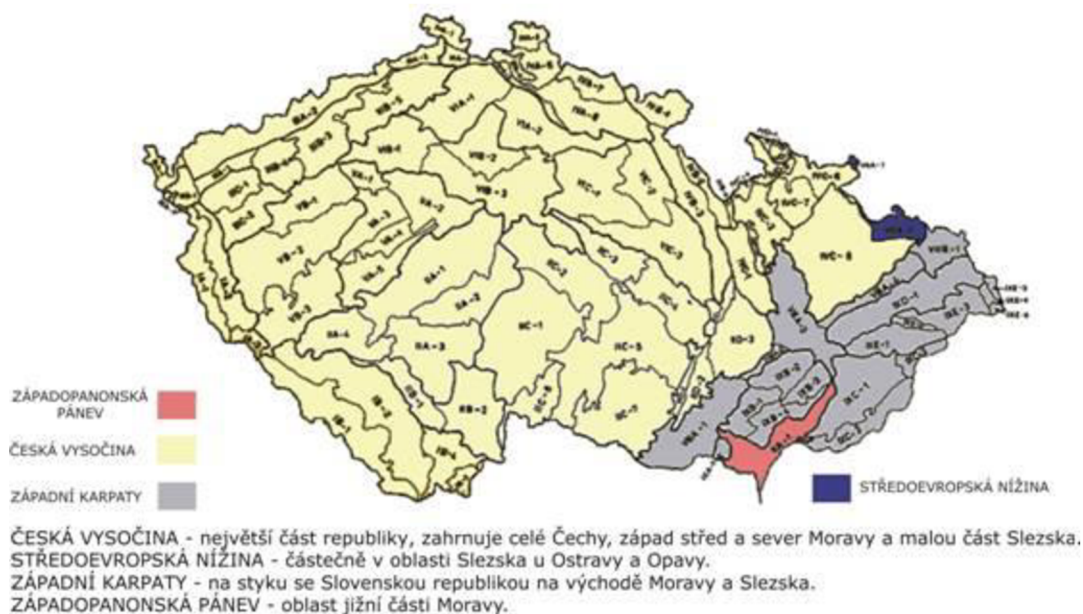
## 4 Situace v ČR

### 4.1 Geologický a hydrogeologický vývoj ČR

V České republice je reliéf území proměnlivý, v hraničních oblastech je charakterizován horskými pásmy, střed je v nižším položení a je tvořen spíše vrchovinami a pahorkatinami, v nížinách se častěji rozprostírají širší a mělká údolí. Nejvýznamnějšími oblastmi z hlediska geomorfologie jsou dvě geologické jednotky: Český masiv a Západní Karpaty.

Do Českého masivu patří větší část Čech, západní a severozápadní Morava a západní Slezsko (má plochu 66 600 km<sup>2</sup>, zabírá cca 84% plochy území ČR).

Západní Karpaty se rozkládají ve východní části Moravy a Čech (v ČR má plochu 12 300 km<sup>2</sup>, což je cca 16% plochy území ČR) přesahuje především na Slovensko a do Rakouska).



Obrázek 8: Geomorfologické členění území ČR (VŠB 2021).

Hranice mezi oběma typy geologických jednotek prochází přibližně v místech mezi městy Ostrava a Znojmo.

Tyto dvě geologické jednotky se od sebe výrazně odlišují vývojem, typem a stářím hornin, tektonickými projevy, orogenezí (pohyb a kolize litosférických desek), geologickým složením a v neposlední řadě hydrogeologickým prostředím (KRÁSNÝ 2012).

#### 4.1.1 Český masiv

Podoba dnešního Českého masivu vznikla přibližně před 380-300 miliony let při hercynském (variském) vrásnění, kdy došlo ke srážce dvou litosférických desek – Laurussie na severu a Gondwany na jihu. Vznikly tak tzv. Variscidy (Hercinidy) – soustava pohoří, postupně erodována a deformována zlomy v důsledku pohybu zemských desek. Toto horstvo lze nalézt od Irska, přes střední Evropu až do Jižní Evropy a na sever Afriky. Zde docházelo znovu také k pozdějším pohybům – alpinské orogenezi a vrásnění, až vznikla tzv. alpinská horstva – Alpy, Karpaty, Balkán..

Český masiv je výrazně starší než okolní geologické jednotky ve střední Evropě. Při variské orogenezi probíhala výrazná vulkanická činnost a docházelo k metamorfóze hornin. Vznikala pohoří, která byla následně vystavená erozi, došlo k odkrytí vyvřelin a metamorfovaných hornin, snižovala se horstva a následně se ukládaly uloženiny v nižších polohách. Postupným vyrovnáváním oblasti docházelo ke vzniku paroviny. Většina území byla od konce paleozoika až do paleogénu převážně souší, kterou obklopovalo moře. Také zde docházelo k výrazným změnám klimatu, od tropického podnebí po poušť, především zde tedy převažovala suchá a horká období. To mělo také za následek vznik solných ložisek a mineralizovaných vod, tzv. Solanek, především na území dnešního Německa a Polska (KRÁSNÝ 2012).

Hydrogeologický masiv je tvořen převážně z krystalinických hornin (metamorfovaných či vyvřelých sedimentů). Vyskytuje se zde velké množství různorodých typů hornin, od krystalinických (svory, ruly, granulity) po silně zpevněné sedimenty (křemence, pískovce, břidlice, vápence...), především horniny s puklinovou pórovitostí oproti pórovitosti intergranulární (mezi póry, zrny). Nadmořská výška základny masivu se pohybuje od 200 do 1200m. n. m. a v závislosti na ní se mění také teplota a množství srážek (čím se postupuje výš, tím je nižší teplota a více srážek). Dle hloubky uložení hornin a jejich propustnosti pro podzemní vody dělíme Český masiv na tři zóny.

První zóna se nazývá svrchní neboli zvětralinová, dosahuje až do hloubky několika desítek metrů a je tvořena jílovitou půdou především s intergranulární pórovitostí. Ve druhé zóně, tzv. puklinové, která může sahát do hloubek až kolem sta metrů, se vyskytují různě rozpukané horniny, jejichž propustnost klesá s hloubkou uložení. Poslední zóna se nazývá spodní nebo také masivní. Vyskytují se zde rozsáhlejší systémy puklin, umožňující proudění podzemních vod. Na rozdíl od předchozí zóny není propustnost téměř závislá na hloubce. V těchto zónách jsou také vhodné podmínky pro vznik termálních nebo mineralizovaných vod.

První dvě zóny spoluvytváří tzv. přípovrchový kolektor, ve kterém probíhá nejvíce proudění podzemních vod. Podílí se velkou měrou na odtoku vody a také je do této oblasti nejčastěji zasahováno jímacími zařízeními, jako jsou jímky či studny. Přípovrchovým kolektorem se zvětralinami a částečně rozpojenými puklinami je také možné charakterizovat Český masiv.

Infiltrace přípovrchového kolektoru je pro hydrogeologický masiv typická.



Hydrogeologický průzkum českého masivu je náročný kvůli nesourodému prostředí, proměnlivému směru a rychlosti proudění a nedostatečným informacím o proudění podzemních vod v malých puklinách. Ty mohou mít na celek velký vliv.

#### 4.1.2 Západní Karpaty

Vývoj Západních Karpat se od vývoje Českého masivu výrazně odlišuje díky působení alpinské orogeneze v této oblasti. Alpínská orogeneze působila převážně v oblastech Himalájí, přední Asie, Balkánu, Karpat až po Pyreneje. Během ní došlo k výraznému zvrátnění sedimentárních uloženin. Také zde probíhalo více hydrogeologických cyklů, kdy se střídala období sedimentace a infiltrace.

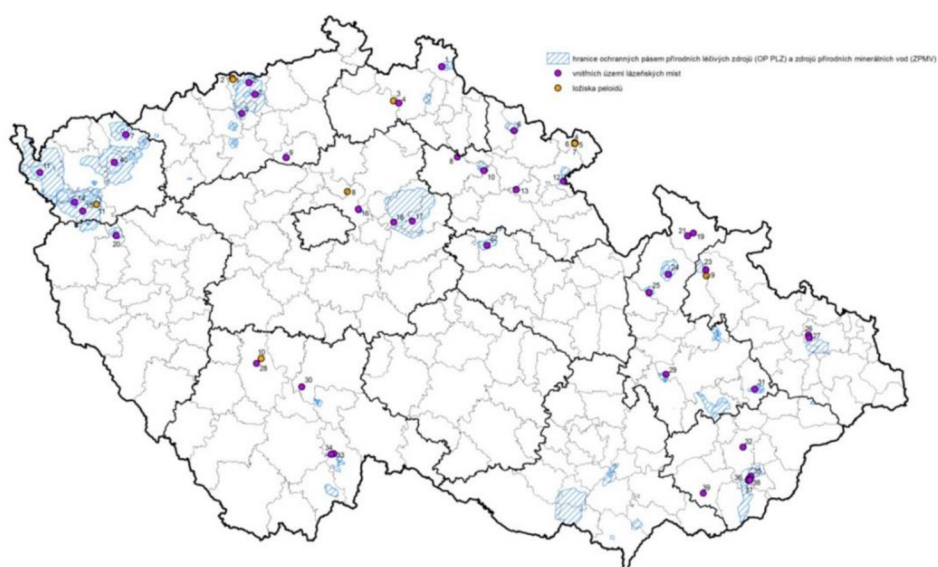
##### 4.1.2.1 Hydrogeologické rozdíly Českého masivu a Západních Karpat

Kvůli větší nadmořské výšce Západních Karpat jsou zde odlišné klimatické podmínky a díky větší hornatosti krajiny se zde může projevovat větší dynamika odtoku povrchových a podzemních vod a tím i možnost infiltrace. Západní Karpaty mají příkrovovou stavbu, je pro ně charakteristická karbonátová sedimentace (spíše mimo území ČR – na Slovensku jsou hojně využívány karbonátové kolektory z vodohospodářského hlediska). Oproti tomu v Českém masivu jsou spíše pro vodohospodářské účely využívány pánevní oblasti (HUBÁČEK 2012).

#### 4.1.3 Termální a minerální vody v ČR

Termální a minerální vody se na českém území vyskytují na téměř 350 lokalitách, pro 47 z nich bylo od roku 1959 do 1995 vyhlášeno ochranné pásmo. Mezi nejvýznamnější lokality patří Karlovy Vary, Františkovy a Mariánské Lázně, Poděbrady a Teplice v Čechách. Dle míry mineralizace se dělí na prosté (méně než 1g/l), slabě mineralizované (1,1 až 4,5g/l), středně mineralizované (5,0 až 14,9 g/l) a silně mineralizované (nad 15g/l).

Přirodní léčivé zdroje a zdroje přírodních minerálních vod v ČR



Zdroj: Ministerstvo zdravotnictví - Český inspektorát lázní a zřídel, podklad pro ÚAP, květen 2010

Obrázek 9: Přirodní léčivé zdroje v ČR (ZELENY KOMPAS 2021).

## 4.2 Povodí v ČR

Česká republika, jinak také střecha Evropy, je státem, ze kterého všechny řeky odtékají za hranice a území je závislé pouze na atmosférických srážkách. Z důvodu udržitelnosti je tedy důležité využívání podzemní vody dobře plánovat a hospodařit s ní.

Povodím se nazývá oblast, ze které všechny toky stékají do jednoho. Plošně se udává v km<sup>2</sup> nebo v m<sup>2</sup> (URBAN, 2015).

Na území České republiky se nacházejí tři úmoří – Černé moře (řeka Morava), Severního moře (řeka Labe) a Baltského moře (řeka Odra).



Obrázek 10: Povodí v ČR (TZB 2013)

Největší povodí je povodí Labe, které zaujímá téměř 65% českého území s 51 392 km<sup>2</sup>. Mezi jeho přítoky patří např. Vltava, Jizera, Orlice, Bílina, Loučná, Cidlina, Ohře, Ploučnice, Kamenice, Úpa, Metuje, Doubrava nebo Chrudimka.

Vltava je nejdelší řekou v České republice s 430km a vtékají se do ní například řeky Sázava, Berounka, Lužnice nebo Otava.

Druhou nejdelší řekou na českém území je Labe s 369 km a na třetím místě je řeka Morava s 258 km, mezi jejíž hlavní přítoky patří řeky Dyje, Desná, Bečva, Olšava, Dřevnice, Moravská Sázava či Oskava.

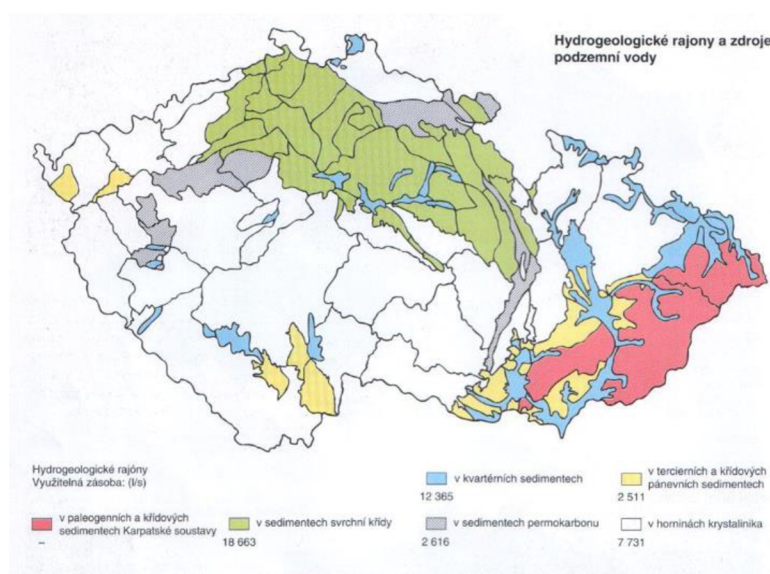
V České republice se celkový dlouhodobý průměrný odtok pohybuje okolo 480 m<sup>3</sup>/s což odpovídá přibližně 29% dlouhodobých srážek spadlých na českém území. Průměrné roční srážkové úhrny se pohybují od 450mm v nížinách po 1600mm v horských oblastech, průměrně okolo 670mm. Záleží mimo jiné na poloze a vystavení daného místa vůči směru postupujících srážek. Rozdíly tedy budou na návětrných stranách či v místech zvaných dešťové stíny. Tak se nazývají místa s nižším úhrnem srážek, byť ve stejné nadmořské výšce, ale na závětrné straně hornaté oblasti.

Na jaře, v čase oblev, může tající sníh, tzv. jarní odtok, tvořit významnou složku odtoku celkového, především v nížinách (až 45%). Význam jarního odtoku v objemu

podzemních vod není zcela prostudován. Odtok vody je dále částečně ovlivněn jezy, více vodními nádržemi a intenzivním čerpáním podzemních a povrchových vod.

### 4.3 Výskyt podzemních vod v ČR

Výskyt podzemních vod, jejich množství a proudění je závislé na geologických a klimatických podmínkách. Jak již bylo zmíněno, v České republice se vyskytují dvě geologická území – Český masiv a Karpatská soustava s rozdílnými hydrogeologickými poměry. Ty jsou na území ČR výrazně lépe prozkoumány než v zahraničí díky velkému rozvoji poznání v oblasti hydrogeologie v 50-80. letech minulého století.



Obrázek 11: Hydrogeologické regiony v ČR (SMOLOVÁ 2016)

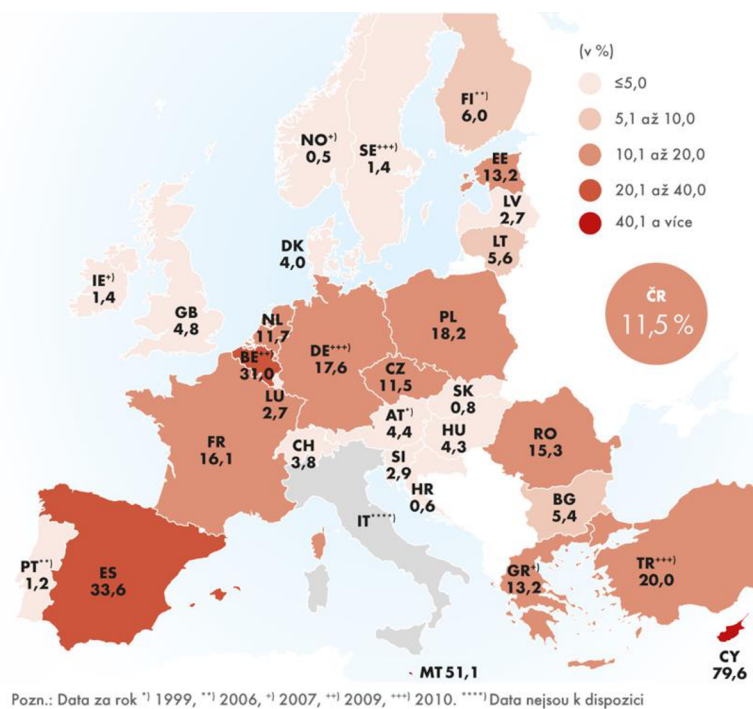
V minulosti se pro pitné účely používala voda z povrchových toků nebo podzemní voda, ke které se dostávalo skrze kopané studny hloubek několika metrů. Splaškové vody se vypouštěly přímo do přírodního prostředí, ve městech k tomuto účelu sloužily příkopy podél komunikací. Vlivem tohoto a špatné hygieny docházelo k častým epidemiím. Později docházelo ke snaze zadržet vodu v přírodě stavbami rybníků v jižních Čechách a v okolí Pardubic. Kolem roku 1700 došlo ke zpracování plánů na výstavbu průplavů.

Teprve na konci 19. stol. se pro získání vod začaly využívat podzemní vrty. V polovině 20. století došlo k rozvoji instalací vodovodů do domácností. V této době se také začalo systematicky přistupovat k otázce podpovrchových vod a jejího uplatnění v hospodářství, průmyslu a zemědělství. Jedním z průkopníků byl Ota Hynie, významný československý geolog, který se jako jeden z prvních problematikou vědecky zabýval a publikoval např. geologickou mapu předválečného Československa nebo dvousvazkové dílo Hydrogeologie ČSSR. Mezi další významné osobnosti patřili např. Karel Zima, Jan Šilar, Vladimír Homola nebo Ján Jetel (KRÁSNÝ 2012).

Dnes je na veřejný vodovod napojeno přes 94,7% populace v ČR a je průběžně kontrolována její kvalita (EAGRI 2014).

Zásoby podzemní vody jsou v České republice rozmístěny nerovnoměrně. Velké množství podzemní vody je naakumulováno v oblasti České tabule, především v sedimentech svrchní křídly. Další lokality s významnou akumulací podzemní vody patří do oblastí Jizerské, Úpsko-metujské a Loučenské tabule a do Ralské pahorkatiny.

Využitelnost vodních zdrojů se pro jednotlivé státy určuje např. *indexem intenzity využití vody* = celk. roční odběr/celk. dostupné zásoby. Index vyšší než 20% je znepokojivý, v případě, že je vyšší než 40% je stav dokonce kritický. Česká republika má index intenzity využití vody 11,5%.



Obrázek 12: Index intenzity využití vody (Evropa 2012) (VESELÁ 2015).

#### 4.4 Legislativa a podzemní vody

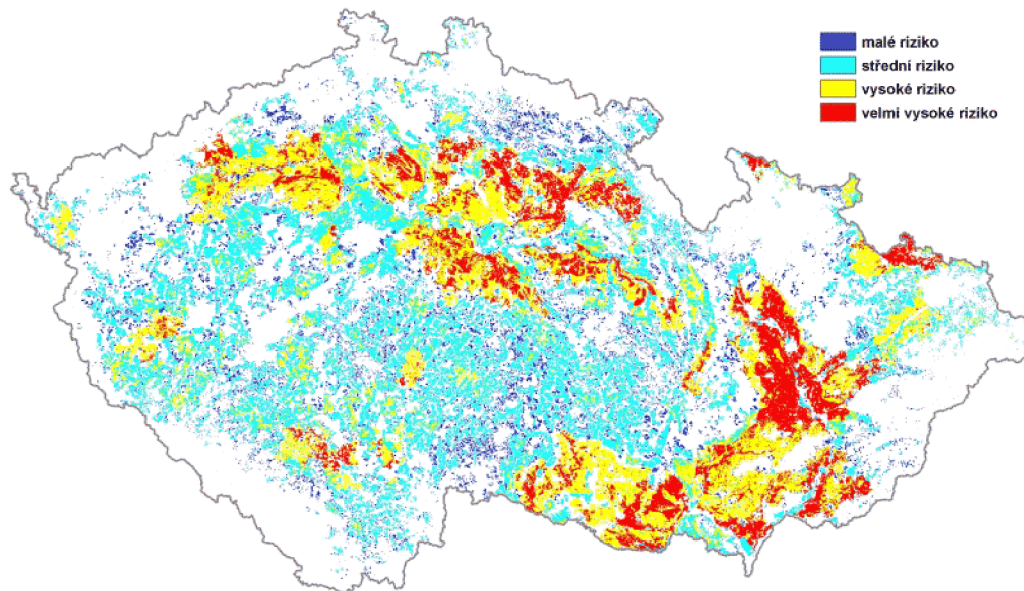
Hydrogeologickému prostředí a hospodaření s vodou se v České republice věnují následující zákony: Vodní zákon (č. 254/2001), lázeňský (č. 164/2001), geologický (č. 62/1988) a horní (44/1988). Vodní zákon se zabývá ochranou podzemních a povrchových vod a jejich využitím. Také bere v potaz evropská ustanovení o vodní legislativě. Byly vypracovány plány hlavních povodí a plány oblastí povodí, které se každých 6 let aktualizují. Vypracovávají se protipovodňové plány. Lázeňský zákon se zase zaměřuje na léčivé a minerální podzemní vody. Geologický zákon se zabývá průzkumem hydrogeologického prostředí, zpracováním údajů, vyhledáváním nových zdrojů a mapováním stávajících. Ochranu nerostného bohatství řeší tzv. horní zákon, který se zaměřuje na vody v důlních prostorech a zahrnuje vody povrchové, srážkové či podzemní (KRÁSNÝ 2012).

Dříve nebyl na podzemní vodu brán příliš zřetel, hodnotila se pouze využitelnost v rámci vodárenských účelů, ale díky snaze o zařazení Rámcové směrnice o vodách z roku 2000 se více zkoumá také stav podzemních vod. (MALÁ 2014) Dnes je podzemní voda brána jako dědictví, se kterým je třeba efektivně a udržitelně hospodařit a je důležité ho ochraňovat před znečištěním či před úbytkem.

#### 4.5 Kvalita podzemních vod v ČR

V ČR je pitná voda tvořena téměř z 50% vodou podzemní, a její podíl se neustále navyšuje. Kvalita podzemní vody je v různých oblastech České republiky odlišná.

Na mnoha lokalitách v ČR jsou podzemní vody kontaminovány chemikáliemi používanými v zemědělství, převážně pesticidy. (OVESNÁ 2017)



Obrázek 13: Mapa rizika kontaminace podzemní a povrchové vody (Obrázek 14).

## 5 Klima

Počasí je popisováno jako aktuální stav ovzduší v daném místě, definuje se především teplotou, vlhkostí, povětrností či množstvím srážek a neustále se mění. Oproti tomu klima je výrazně stabilnější stav, málo proměnlivý a definovaný pro delší období.

### 5.1 Klimatické změny

Od počátku vývoje Země po současnost dochází neustále ke změnám klimatu. Týkají se všech složek vrstev Země – atmosféry, pedosféry, biosféry, kryosféry a hydrosféry. Příčiny těchto jevů byly čistě přirozeného charakteru:

- tektonické a sopečné jevy
- změny intenzity záření slunečního záření
- změny probíhající v atmosféře a na povrchu Země

Intenzita záření ze Slunce na Zemi je proměnlivá a je způsobena astronomickými vlivy, především výstředností oběžné dráhy. Díky tomu je množství slunečního záření dopadající na planetu Zemi proměnlivé a projevuje se změnami v proudění v atmosféře a hydrosféře (DESSLER 2014).

Bilance energetických zisků a výdajů závisí především na intenzitě krátkovlnného záření vyzařovaného Sluncem, jeho průchodu do atmosféry, dopadu a odrazu či pohlcení a možnosti jeho opětovného průchodu zpět do vesmíru. Tzv. skleníkový efekt patří tedy mezi hlavní faktory oteplování Země. Dalším faktorem je množství aerosolů v atmosféře, které může částečně zabraňovat průchodu slunečnímu záření.

Množství slunečního záření se v určitých intervalech také přirozeně mění, např. kvůli poloze magnetických pólů Země, které se přesouvají ročně až o několik desítek kilometrů, nebo kvůli excentrické oběžné dráze.

Některé vlivy na klimatické změny mají svůj původ ve vesmíru, některé v přirozených jevech na Zemi a v poslední době je čím dál víc zřetelný vliv antropogenní. Od druhé poloviny 20. století se však výrazně navýšily koncentrace skleníkových plynů v atmosféře díky lidské činnosti. Antropogenní činnost a především její produkce skleníkových plynů do atmosféry velmi výrazně ovlivňuje prostředí všude na Zemi.

Kvůli zvyšující se teplotě a stále většímu množství lidí na Zemi dochází k ohrožení vodních zdrojů na planetě. Nedají se s jistotou určit místa do budoucna zasažená nedostatkem vody či jejím nadbytkem, ale změny v dnes již suchých oblastech, kde je pitné a užitkové vody nedostatek, tento stav pravděpodobně zhorší, např. lokace v subtropickém pásmu mezi 30-40° severní a jižní šířky (Kalifornie, Chile). Např. Lima, desetimilionové hlavní město Peru je zcela závislé na vodě z tajících ledovců v Andách. V některých oblastech se sněhovými srážkami se očekává postupná přeměna na dešťové srážky a tím pádem větší odtoky a vlhkost půdy. V oblastech s větším výskytem dešťových srážek zase kvůli vyšším teplotám může docházet k častějším povodním. Nedostatek pitné vody způsobí v budoucnu velké přesuny obyvatel a nenávratné ekonomické škody. Díky vyšším teplotám může docházet k většímu výparu z povrchu Země a tím k vysoušení půdy a změnám druhů rostlinstev.

### 5.1.1 Skleníkový efekt

Největším zdrojem energie pro planetu Zemi je Slunce, bez kterého by se na Zemi nezrodil život. Slunce je hvězda v naší sluneční soustavě, je od Země vzdálená okolo 150 000 000 km a vysílá krátkovlnné paprsky formou elektromagnetického záření. To prochází zemskou atmosférou a je pohlcováno nebo odraženo nazpět. Po průchodu a odrazu se ale krátkovlnné záření mění na dlouhovlnné – infračervené tepelné, které není schopno tak jednoduše prostupovat atmosférou zpět do vesmíru, protože mu v tom zabraňují skleníkové plyny (pohlcují ho). Atmosféra propouští záření určitých vlnových délek a vlnové délky většiny odraženého záření od pevnin a oceánů mají již změněnou vlnovou délku a nedokážou projít skrz atmosféru zpět. Tak zůstávají a tím pomalu dochází k oteplování zemského povrchu. Tento jev se označuje jako tzv. skleníkový efekt, fungující na podobném principu. Atmosféra je složena z plynů dusíku, vodní páry, oxidu uhličitého a dusného, argonu, metanu, neonu a dalších prvků. Oxid uhličitý, oxid dusný, metan a vodní pára se nazývají skleníkovými plyny, protože k tomuto efektu přispívají tím, že jsou schopny pohlcovat část záření, které by bylo jinak se svou vlnovou délkou schopno opustit planetu. Čím více se jich v atmosféře vyskytuje, tím více záření zadržují a podporují tak oteplování planety (BARROS 2006).

Jako zdroj skleníkových plynů jsou označeny především činnosti se spalováním fosilních paliv, masivní odlesňování, intenzivní zemědělství, chov dobytka a nakládání s odpady.

Zvyšování objemu vodní páry je spíše přirozeným jevem odpařování a srážení vody v závislosti na teplotě.

V posledních 100-150 letech výrazně stoupají hodnoty dusíku a oxidů uhličitého a dusného v atmosféře. Výskyt a koncentrace emisí v atmosféře je důsledkem ekonomického, technologického a sociálního rozvoje. Koncentrace oxidu uhličitého se od druhé poloviny 19. století (během průmyslové revoluce) zvýšila téměř o třetinu, koncentrace metanu o 150 % a oxidu dusného cca o šestinu. Tyto plyny zůstávají v atmosféře od 15 let (metan) přes 120 let (o. dusný) po 150 let (o. uhličitý). Protože se tyto plyny rozkládají po dlouhou dobu, dochází v atmosféře k jejich akumulaci. To znamená, že i kdyby se nyní produkce těchto plynů ze dne na den zcela omezila, i tak by trvalo sto až dvě stě let, než by se hodnoty vrátily do přirozeného stavu.

Je důležité si uvědomit, že skleníkový efekt umožňuje život na Zemi tak, jak je znám. Bez skleníkových plynů a tohoto jevu by byla průměrná teplota na planetě nižší o 33°C a v takovém prostředí by většina dnešních organismů nepřežila (BUŠTA 2012).

Oxid uhličitý vzniká přirozeně při biologických procesech, z hlediska antropogenní činnosti se uvolňuje při spalování fosilního uhlovodíku, z fermentačních procesů nebo z chemického průmyslu. Vliv má také masivní kácení a těžba dřeva, protože část oxidu je zachycována právě rostlinami na souši a v oceánech (fytoplankton).

Změna klimatu v sobě zahrnuje nejen změny teplot, ale také srážek, vlhkosti vzduchu, směry a síly větrů. Teplota se od druhé poloviny 20. století zvýšila o 0,6°C, dochází k tání ledovců v oblastech pólů a tím ke zvyšování hladiny oceánů. Tím jsou ohroženy miliony obyvatel žijící v nízko položených oblastech. Následkem může být úplné

zmizení některých menších ostrovů např. západním Pacifiku či Karibiku, problémy nastanou v pobřežních oblastech (Nizozemí) a delt povrchových toků v Africe a Asii. (TRNKKA a kol. 2018).

Bude docházet k přirozenému zvyšování množství rostlin, které zvýšené koncentrace oxidu uhličitého dokážou skrze fotosyntézu zachytit a přeměnit a kterým budou vyhovovat změny teplot. Ekosystémy, které jsou závislé na specifických podmínkách, jako například mokřady, budou ustupovat.

Z důvodů zvyšování teploty na planetě a proměnlivosti srážek je možné očekávat výraznější dopady i délky suchých období s malými srážkovými úhrny. Takové podmínky mají vliv na pěstování plodin, výrobu energie, hospodářský vývoj či kvalitu a délku života. Nároky na množství a kvalitu vody se neustále navyšují, především díky nárůstu populace, zemědělství a průmyslu. Největší dopady bude mít sucho především v aridních oblastech, kde jsou už tak extrémní podmínky pro život, ale změny lze pozorovat po celém světě (ZAHRADNÍKOVÁ 2018).

### 5.1.2 Klimatické změny ve světě

Studie varují, že by mohlo díky oteplování dojít k roztátí všeho ledu na severní polární oblasti do roku 2040, což by časem kontaminovalo Arktický oceán a následně počasí a i podzemní vody. Roztátí ledu a příznivější podmínky by odkryly nerostné a suroviny (ropa, plyn, uhlí, drahé kameny, železo... atd), začalo by se zde těžit a těžbou by se narušil koloběh podzemní vody. Grónsko obsahuje 10% celkové pitné vody. Tání ledovců přispěje k ještě větším extrémům (záplav, such, bouřek, horšího zemědělství a zdraví organismů. Celý svět najednou upře zrak na severní polární oblasti jak z hlediska těžby nerostných surovin, tak z hlediska negativních dopadů (ECOSPRINTER 2013; LAMARCHE-GAGNON a kol. 2019). Tání ledovců může oslabit „tryskové proudění“, tím se dostane chladný polární vzduch více na jih. Tento proces může zapříčinit chladnější zimní období v USA (FRANCIS a kol. 2017).

Spotřeba vody je na světě 4x vyšší než v roce 1950. Kvalita vody se zhoršuje příčinou zemědělství, znečištěním z průmyslu a salinizací díky stoupaní mořské hladiny. Dnes více jak 1.1 bilionu lidí nemá přístup k pitné vodě. Jsou větší sucha a naopak na pobřeží jsou větší nárazové přehánky a záplavy. Přes 70% vody, co lidstvo spotřebuje, skončí v zemědělském průmyslu. Do budoucna bude problém se naučit hospodařit s vodou vzhledem k nárůstu obyvatel a většího vyřízení zemědělství. Lze předpokládat, že kolem roku 2030 bude 47% populace ohroženo nedostatkem pitné vody. (V dnešních dnech průměrný Američan spotřebuje 600l vody za den (včetně zalévání úrody), průměrný Evropan 100-200l na rozdíl od obyvatel rozvojových zemí, u kterých je to méně jak 25l na den (ECOSPRINTER 2012).

Organizace Climate Central provádí neziskový výzkum založený na vědeckých podkladech ohledně změny hladiny moře, požárů, období sucha a dalších příbuzných témat převážně v USA a Karibiku. Vytvořila také interaktivní mapu, která simuluje zvyšování hladiny moří a oceánů za různých scénářů (KULP 2016).





Obrázek 14:- Srovnání zatopení oblasti Bangkoku v roce 2050. Nalevo simulace od rozšířeného programu NASA-STRM DEM a napravo simulace od Climate Central-CostalDEM (CLIMATE CENTRAL).

Přibližně 2/3 Nizozemska leží pod hladinou moře. Nejnižší bod se nachází 6.7m pod hladinou moře, k zatopení oblasti nedochází kvůli chytré infrastruktuře hrází, písčinych přelivů, kanálů, vodních pump. (PBS 2019)

Bez těchto opatření by Severní moře zaplavilo zmíněné 2/3 území, což znázorňuje obrázek č. 16 vlevo- 0m. Na obrázku-vpravo je zobrazena simulace zaplavení, při zvýšení hladiny o 3m.



Obrázek 15: Míra zatopení Holandska oceánem v případě narušení protipovodňové infrastruktury. Vlevo při stávající nadmořské výšce hladiny, vpravo při zvýšení hladiny o 3m (CLIMATE CENTRAL).

Na Floridě se předpokládá, že lidé, kteří bydlí 12km od pobřeží, přijdou do roku 2100 o svá obydlí (ECOSPRINTER 2015).

Zvyšování hladiny moře a zvýšení vlnění u pobřeží se dotkne například i amerického sportu Superbowlu. Například v Miami hrozí zaplavení Hard Rock Stadionu, který je domovem místního družstva Dolphins a rozprostírá se pouze 1.5 m n.m..(CCa 2020). Dle klimatického modelu v Miami je pravděpodobnost občasného zaplavování v roce 2070 a v roce 2090 hrozí 40% území pravidelné zaplavování. Statistický model vytvořený climate central nezahrnuje srážky, takže realita může být i vážnější (CCb 2020).



Obrázek 16: Možný stav zatopení stadionu Hard Rock v druhé polovině 21. století (CLIMATE CENTRAL).

Z hlediska hurikánů v Atlantském oceánu byl zejména rok 2020 v mnohých aspektech rekordní. Byl zaznamenán doposud nejvyšší počet hurikánů v Atlantiku s celkovým počtem 30 a došlo tak k překonání roku 2015 s výskytem 28 bouří (BRZEZINA 2021).

Zajímavostí je, že globální studie emisí uhlíku v pralesech a lesních porostech po celé planetě došly k závěru, že schopnost stromů ukládat oxid uhličitý se může snižovat v závislosti na přibývajícím množství  $\text{CO}_2$  v atmosféře. Nejvíce se k tomuto tvrzení přiklánějí studie provedené v Amazonském pralese, kde je rozdíl nejmarkantnější. Jejich výsledky mohou být ale ovlivněny i jinými aspekty, nejsou tedy zcela vypovídající. K oteplení přispívá kácení stromů, následný pokles odpařování a tím i snížená tvorba oblačnosti (COVEY a kol. 2021; WELCH 2021).

Pro zalesnění a snížení  $\text{CO}_2$  nejvíce vyhovují stromy, které mají v místě svůj přirozený biotop. Dále je to mladá a rychle rostoucí zeleň, která má lepší pohlcovací funkci  $\text{CO}_2$  než např. stromy dlouhodobě rostoucí (HEINRICH a kol. 2021). V Evropě z hlediska ceny, nákladů, rostoucí produkce  $\text{CO}_2$  a různé politiky v jednotlivých státech vychází nejlépe *Fagus sylvatica* (buk lesní) a *Pinus sylvestris* (borovice lesní). Přijatelně dopadl i *Picea abies* (smrk ztepilý) s minimálním nárůstem nákladů, *Quercus robur* (dub letní) či *Quercus petraea* (dub zimní). U dubů s extrémním znečištěním ovzduší roste ale výrazně i cena (YOUSEFPOUR a kol. 2018).

K ochlazení klimatu v důsledku výbuchů sopek došlo v historii již mnohokrát, např. roku 79 n.l. došlo k erupci Vesuvu, roku 1815 v Indonésii sopka Tambora ochladila globální teplotu o  $0.3\text{C}$ , roku 1883 se probudila sopka na ostrově Krakatau, roku 1902 vychrlil žhavé mračno vulkán Mt. Pelée a naposledy roku 1991 při výbuchu sopky Pinatubo nacházející se na Filipínách došlo k ochlazení planety na dobu dvou až tří let. Sopečná činnost vyprodukuje ročně 1% z celkového množství  $\text{CO}_2$  na Zemi.

Klimatická změna se projeví také v politických situacích jednotlivých států, kde vznikne tlak na přizpůsobení a adaptaci hospodářství na změny. Do popředí se dostane zájem o ekologii a snížení dopadů klimatických změn, vzniknou nové firmy a nová pracovní místa zabývající se touto tematikou (GILBERTO 2012).

## 5.2 Klimatické konference a dohody

Roku 1988 byla založena hlavní instituce pro mezinárodní spolupráci v problémech klimatu, čítá dnes 195 států, tzv. „Mezinárodní panel pro klimatickou změnu“

### 5.2.1 COP (Conference of Parties)

Roku 1992 byla schválena „Rámcová úmluva OSN o změně klimatu“ (nazývající se taktéž „Summit Země“). Od tohoto roku se začala existence klimatické změny brát celosvětově vážně. Úmluva začala platit od roku 1994 a dala podnět o rok později v Berlíně ke vzniku konference COP (Conference of Parties), na které se schází dodnes všech 197 smluvních stran, uzavírají se na ní důležitá rozhodnutí a probírají se aktuální témata ohrožující klima. V tomto roce také vznikla Agenda 21, zabývající se udržitelným rozvojem (UNFCCC 2021).

### 5.2.2 COP3-Kjótský protokol

V Kjótu roku 1997 byly sjednány závazné cíle pro snížení emisí skleníkových plynů, tzv. Kjótský protokol. Závazkem bylo snížení emisí o 5,2% oproti hodnotám z roku 1990, podmínka se ovšem týkala jenom vyspělých států. Protokol vstoupil v platnost až roku 2005 dle sdělení č. 81/2005 Sb a uskutečnit se měl mezi roky 2008-2012. Celkově se zúčastnilo 147 signatářů, USA nikdy protokol nepřijala (UNFCCC 1998).

Roku 2012 na COP18 měla vzniknout nová dohoda nahrazující Kjótský protokol, avšak nestalo se tak a platnost Kjótského protokolu měla být prodloužena do roku 2020. To se však také nepodařilo, jelikož prodloužení nebylo schváleno.

Kjótský protokol se celkově nesetkal s ohlasem, jelikož státy po překročení hranice emisí mezi sebou obchodovaly a plánování snížení emisí o 5,2% vůči celkovému problému oteplování klima je zanedbatelné. Nehledě na to, že ostatní státy, které dohodu nepodepsaly, emise nijak neomezovaly (NONDEK 2009).

### 5.2.3 COP16-Zelený klimatický fond

V roce 2010 v Cancúmu (Mexiko) vznikl GFC – Green Climate Fund (Zelený klimatický fond), který sponzoruje využití technologií v boji proti klimatickým změnám. Fond začal poskytovat finanční prostředky na projekty od roku 2014 (DELPIXEL 2015).

### 5.2.4 COP21-Pařížská dohoda

V prosinci roku 2015 probíhala v Paříži mezinárodní klimatická konference zabývající se změnami klimatu a vlivem emisí skleníkových plynů na globální oteplování. Výsledkem pak byla tzv. Pařížská dohoda, zavazující ke snižování emisí. Dohoda počítá s postupným snižováním emisí až k bodu, kdy produkované emise budou v rovnováze s emisemi pohlcovanými v přírodě a zabránění zvýšení teploty do roku 2100 o více než 2°C. Dle IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Mezivládního panelu pro změnu klimatu) jsou 2°C pro zvyšování teploty hraniční a

při jejich překročení se očekávají výrazné a nevratné změny klimatu, například v podobě extrémních změn ekosystémů nebo v počasí na planetě. Navýšení hladiny moře o 0,5m by znamenalo zánik/výraznou změnu pro některé ostrovní státy či státy s nízkou nadmořskou výškou, takže panuje snaha o navýšení jen o 1,5°C, v případě, že by žádná opatření přijata nebyla, je reálná možnost zvýšení teploty do roku 2100 o 4°C.

Na konferenci byl také řešen tzv. „uhlíkový rozpočet“ dle stanoviska IPCC, podle kterého se nesmí do ovzduší vypustit více než 800miliard tun uhlíku, aby nedošlo ke zvýšení teploty nad únosnou mez (mezi obdobími od konce 19. století po dnes se vyprodukovalo již 500 miliard tun emisí a každým rokem se o 10 miliard zvyšuje).

Pařížská dohoda není pro jednotlivé státy právně závazná, je na dobrovolné bázi. Znění dohody se připravovalo průběžně po celý rok 2015, kdy se zúčastněné státy vyjadřovaly ohledně cílů a postupů dosažení požadovaného snížení emisí, a jejich připomínky byly následně zpracovány do textu dohody.

Dle vědeckých odhadů ale i v případě, že všechny země budou dodržovat své závazky, dojde ke zvýšení průměrné teploty o 2,7-3,5°C do roku 2100.

Systém vyhodnocování a monitorování nastavených cílů musí být pro všechny zúčastněné země stejný, aby bylo možné objektivně porovnávat průběh. Z finančního hlediska mají přispívat především rozvinuté země, které zároveň „přispěly“ více emisemi k znečištění ovzduší (DELPIXEL 2015). Čína se zavázala do roku 2030 snížit produkci emisí o 60% (2005) a investuje do obnovitelných zdrojů a EU slíbila snížit produkci emisí o 40% (1990).

Bohužel se v poslední době ukazuje, že mnoho zemí neplní předsevzaté cíle a vlády nezajišťují dostatečnou podporu – dle zprávy OSN do roku 2030 dojde ke snížení produkce emisí pouze o 1%, což je v porovnání s potřebnými 45% mizivé (WWF 2021).

#### 5.2.5 COP22-Marákeš

Roku 2016 v Marrákeši se probíralo poškození zvýšením hladiny moře hlavně na Fiji a na Marshallových ostrovech. Zvýšení hladiny zde poničilo jak kulturní tak sociální soužití obyvatel (ECOSPRINTER 2016).

#### 5.2.6 COP26-Glasgow

V listopadu roku 2021 proběhne v konferenci v Glasgow, kde se budou projednávat detailnější klimatické závazky vyplývající z Pařížské dohody (UNFCCC 2021).

### 5.3 Návrhy na adaptační opatření ve světě

Návrhy na zpomalení, zastavení nebo zvrácení postupujících klimatických změn se zabývá mnoho organizací po celém světě. Klimatické změny lze zkoumat z různých úhlů pohledu i z hlediska různých oborů. Adaptačními opatřeními změny klimatu a snížením teploty se zabývá mimo jiné také obor solární geoinženýrství, které je obecně

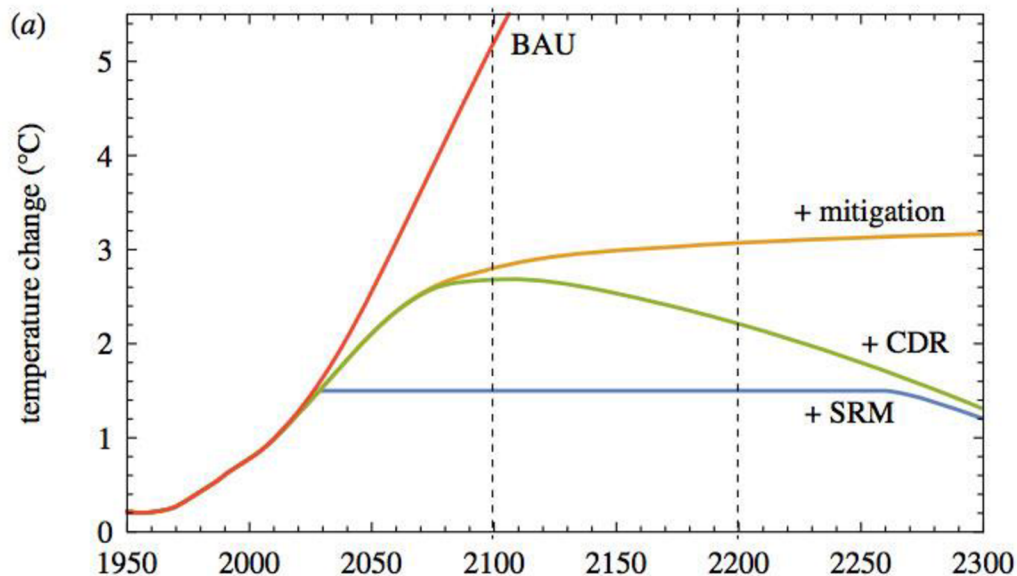
vnímáno spíše kontroverzně. Tento obor se zabývá fyzikálními změnami na Zemi, s jejichž pomocí může docílit výrazných změn v přirozeném fungování fyzikálních procesů na Zemi, např. změn v počasí či bránění dopadu slunečního světla do atmosféry/zemský povrch a tím se snaží snížit oteplování na planetě (SMITH 2018). Patří sem například rozprašování aerosolů (směs pevných a kapalných částic v plynu) nebo oxidu siřičitého do stratosféry. Jedná se o podobný efekt, jaký lze vypočítat při výbuchu sopky. Při něm totiž dochází k rozprašování popílku v podobě oxidu siřičitého do atmosféry a následnému roznesení vzdušnými proudy po celé planetě. Jelikož při reakci oxidu siřičitého s vlhkostí v atmosféře vznikne aerosol kyseliny sírové, která dobře odráží sluneční paprsky, může jedním z následků být celkové ochlazení planety. Výzkumy jsou však teprve v počátcích, neboť není stále známo, jaké by byly vedlejší účinky (např. změna barvy oblohy) a jaký by to mohlo mít dlouhodobý dopad na celkový život na Zemi. Bylo by také zapotřebí aerosoly rozprašovat velkokapacitními letadly, která nebyla doposud vyvinuta, a také by bylo nutné proces pravidelně opakovat (podle odhadů by muselo každý den vzlétnout 10 takových strojů). Nebezpečným hlediskem je také to, že pokud by se jednou začalo, je málo pravděpodobné, že by se skončilo. Naopak by se množství aerosolů muselo pravděpodobně časem navyšovat, protože při ukončení procesu by mohlo dojít k tak výraznému výkyvu teplot, na který by se živočichové ani rostliny nemuseli včas adaptovat. Mezi další nebezpečí patří také narůstající množství látek v atmosféře, které by mohly snížit počet a vydatnost srážek a nastala by větší sucha. Jelikož lidstvo prozatím nebylo schopno samo dostatečně zpomalit oteplování snížením emisí, v případě zavedení aerosolů by se zmenšila snaha o ekologické přístupy v technologiích a nevznikl by dostatečný tlak na změnu k lepšímu.

Existuje celá řada teorií zabývajících se omezením přístupu slunečního svitu na Zemi. Patří sem např. rozprašování slané vody na mořích, čímž se zvýší hustota mraků, kterými pak neprojde tolik slunečního záření. Nevýhodou by pak bylo možné narušení mořských proudů a následně celého klimatického systému.

Další teorií je produkce vzduchových mikrobublinek na povrchu moře, čímž by se vytvořila více odrazivá vrstva pro sluneční záření, nevýhodou je, že by do mořské vody neproniklo požadované množství pro tvorbu fotosyntézy a došlo by k ohrožení celkového života v moři.

Zabránění slunečního záření pomocí zrcadel na orbitální dráze Země je další teoretickou možností, nevýhodou je prozatím nedostačující technologie a velké finanční náklady. Mezi další hypotézy zvýšení odrazivosti slunečních paprsků patří např. výstavba budov a pěstování plodiny s vysokým albedem (odrazivostí). V případě plodin by muselo nejdříve dojít ke genetickým úpravám.

Graf níže představuje vliv různých scénářů na teplotu Země.



Graf 1- Modelace vlivu různých scénářů na změnu teploty klima (DUNNE 2018).

Křivka „BAU“ (červená) zobrazuje stav, při kterém nebudou aplikována žádná opatření. Křivka „mitigation“ (oranžová) předpokládá zavedení mitigačních opatření a střední emise. Křivka „CDR“ (zelená) počítá také se středními emisemi ale s výrazným snížením CO<sub>2</sub>. Křivka „SRM“ (modrá) navíc od CDR zahrnuje takové množství adaptačních opatření pomocí, kolik jen bude potřeba, aby teplota nepřekročila 1.5°C.

Z grafu je vidět, že i šetrnější CDR křivka dojde časem stejných hodnot jako SRM. Dále lze vyčíst, že samotná mitigační opatření, i když výrazně sníží vzestup teploty, stačit do budoucna nebudou (DUNNE 2018).

#### 5.4 Klima a jeho změny v ČR

Česká republika leží na severní polokouli v oblasti mírného pásu mezi 12°06' a 18°52' východní délky a 48°33' a 51°03' severní šířky.

V České republice probíhají zřetelné klimatické změny už několik desetiletí. Mezi nejdůležitější patří změna teploty, která se navýšila o 0,6-1,2°C oproti druhé polovině 20. století. Předpokládá se, že v následujících několika desetiletích dojde k dalšímu zvýšení teploty o 1,2-1,4°C. Další zvyšování teploty bude závislé na dnešním aktuálním přístupu společnosti k vypouštění skleníkových plynů do atmosféry. V případě pokračování současného stavu může dojít ke zvýšení až o 5°C v ČR, v případě snížení CO<sub>2</sub> vypouštěného do atmosféry by se teplota neměla navýšit víc než o 2,3°C na konci století.

Teplota v ČR je jedním z nejdůležitějších činitelů, které mají vliv na celkovou hydrologickou bilanci. Průměrné teploty vzduchu se pohybují od 4-9°C, především v závislosti na nadmořské výšce. V závislosti na teplotě, množství srážek, hydrogeologických a geologických podmínkách dochází k ovlivnění množství podzemních vod a jejich složení nebo např. k vyššímu zasolení půd či mineralizaci podzemních vod v oblastech s malým úhrnem srážek a vyšší teplotou.

Mění se také poměr vsakování a vypařování v různých oblastech, v zimním období je díky vyšším teplotám menší vrstva sněhové pokrývky a tím pádem dochází ke snižování stavů v jarních obdobích. Oproti dešťům se voda ze sněhu uvolňuje pomaleji a díky tomu má více času na vsak (ZAMOURIL 2020). Také změny v intenzitě dešťů mají velký význam pro doplňování podzemních vod, krátké srážky s nižší intenzitou se po dopadu na zem z velké části vypaří, nestihnou se tedy vsáknout a nedoplní tak množství podzemních vod.

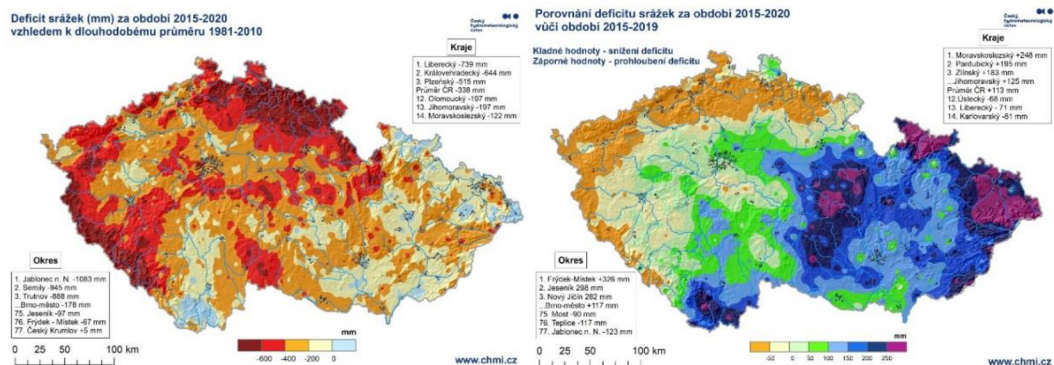
Vypařování vody lze rozdělit na dva druhy – vypařování z půdy (evaporace) a z povrchu rostlin (transpirace), celkový odpar je tedy definován jako evapotranspirace.

Kvůli změně klimatu se zvyšují teploty vzduchu a mění se struktura srážek, což je patrné hlavně v místech, která jsou již dnes postižena nedostatkem srážek. Ohledně množství srážek nedochází ani tak k výrazné změně průměrně spadlého množství vody, ale spíše ke změně charakteru srážek. Dochází k extrémním výkyvům – obdobím rychlých bouřkových a krátkých dešťů oproti obdobím, kdy neprší vůbec.

V letech 1997, 2002, 2006 a 2010 došlo v České republice k záplavám, naopak v letech 2000, 2003, 2007, 2012 a 2015 k delším suchým obdobím bez dešťů. V roce 2013 a 2014 z hlediska srážek spadlo obvyklé množství vody, ale přesto v tomto roce byly zaznamenány záplavy i delší suchá období (ČHMÚ 2013; DAŇHELKA 2019; NETOPIL 1984; 112 2015).

V posledních desetiletích jsou v České republice stále více zaznamenávány tzv. tropické dny a noci, jedná se o dny, kdy teplota ve dne vystoupí nad 30°C a v noci teplota neklesne pod 20°C. Oproti letům 1950-1960 je průměrný počet tropických dní v letech 2003-2015 dvojnásobný, navíc se začínají vyskytovat také ve vyšších nadmořských výškách, což nebývalo obvyklé. V roce 2015 bylo v Praze zaznamenáno 35 tropických dní, na jižní Moravě dokonce 40. Vlny veder navíc mohou tvořit několik po sobě jdoucích dní - takové teploty mohou negativně ovlivnit lidský organismus. Zároveň mají nedozírný dopad také na stávající vegetaci. Delší sucha mají za následek horší vsakovací vlastnosti půd, které pak ani během již zmiňovaných krátkých srážek nestihnou vsáknout potřebné množství vody. Také mírnější zimy neprodukují dostatek sněhu, který by táním v jarním období postupně zásoboval podzemní vody. To bude mít významný vliv na vegetaci, kde buď začnou převládat ty druhy, které se s těmito podmínkami lépe vyrovnají, nebo v případě většího sucha se vegetace výrazně zredukuje (např. v aridních oblastech). Při takových podmínkách se zemskému povrchu sníží schopnost infiltrace a zvětší se eroze, což povede k menšímu vsaku a tím k rychlejšímu povrchovému odtoku do řek, hrozbám neregulovaných povodní a zároveň intenzivnějšímu odpařování. Průtoky v tocích se sníží, malé toky, kde není v podloží dostatek podzemních vod, mohou zcela vymizet (SCHNEIDER 2011).

Z hlediska malého množství srážek by se období od 2015-2020 dalo srovnat s obdobími 1969-1974 nebo 1989-1994. Avšak v letech 2015-2020 panovaly extrémně vysoké teploty, doprovázené velkým výparem. Celková vláhová bilance dopadla hůř než v předešlých dvou periodách. (ZAHRADNÍČEK 2021)



Obrázek 17: Vlevo-Deficit srážek za období 2015-2020 vzhledem k dlouhodobému průměru 1981-2010. Vpravo-Porovnání deficitu srážek za období 2015-2020 vůči období 2015-2019 (CHMI 2021).

Rok 2020 byl z hlediska klimatických podmínek paradoxní. Standardem bývá, že chladný rok bývá vlhko a naopak teplý rok bývá sucho. Na území ČR v tomto roce panovaly klimatické rozdíly, na severozápadě byla sucha a na Moravě bylo deštivo, až místy hrozily stavy povodní. Pro Brno byl tento rok od roku 1803 8. nejvlhčí a 5. nejteplejší zároveň. Tyto změny by mohly naznačovat jednoletý výkyv nebo postupnou klimatickou změnu (MZE 2017; ZAHRADNÍČEKb 2021).

Podzemní voda bývá zasažena nedostatkem až jako poslední z hlediska celého cyklu (pokud výrazně nedotuje povrchové toky). Viditelné změny se mohou projevit i v řádu let oproti stavu povrchových toků, kde jsou změny zřetelné už v rámci několika měsíců (DAŇHELKA 2018).

Tyto znalosti jsou zapotřebí také pro budoucí hospodaření s vodou. Už nyní je třeba zvažovat povolování a zvyšování odběrů podzemních vod či výstavbu vodohospodářských staveb.

## 6 Modelování klimatu a jeho změn

Aby se mohl potenciální vliv antropogenních vlivů zohlednit v budoucím stavu prostředí a tím i ve vývoji dnešní společnosti, používají se programy pro modelování klimatických simulací a jejich důsledků na několik desítek let dopředu. Využívá se v něm fyzikálních zákonů a empirických vzorců, ale z důvodu velké proměnlivosti, nevypočitatelnosti a neúplné znalosti klimatu nelze s jistotou odvodit 100% závěry. Proto probíhají snahy o co největší specifikaci vstupních podmínek a údajů pro modelování klimatických změn.

Předpovědi změn klimatu v důsledku přírodních i antropogenních vlivů (především kvůli stále vyšší koncentraci skleníkových plynů v atmosféře a tím zvyšování teploty Země) vycházejí především z modelových simulací. Jak bylo řečeno, výsledky simulací jsou kvůli proměnlivým podmínkám a neznalosti všech vstupních údajů, které by zahrnuly celkovou problematiku klimatu, neúplné.



Během modelování se řeší vztah jednotlivých výpočetních buněk a jejich stavu (vlhkost, teplota, množství vody). Obvykle se vytváří regionální a globální modely klimatu (DESSLER 2012).

### 6.1 Globální modely klimatu

Globální model klimatu se snaží co nejvíce propojit modely nejdůležitějších činitelů ovlivňujících klima, mezi něž patří oceán, pevnina, atmosféra a kryosféra.

Simulace modelu atmosféry používá podobné způsoby modelování, jaké se využívají pro předpovědi počasí. Atmosféra je rozdělena na jednotlivé vrstvy od povrchu pevniny či oceánu až po troposféru. Model povrchu pevniny zahrnuje i projevy biosféry, charakterizuje hydrologickou bilanci a přenos tepla mezi pevninou a atmosférou. Tyto modely simulují koloběh vody, tj. srážky, jejich dopad na povrch planety, zachycení vody rostlinstvem, jejich odtok do povrchových toků (řek, rybníků, moří) či infiltrací do podzemních vod. (USGS 2017)

Každá ze simulací modelů jednotlivých činitelů probíhá samostatně s vlastními časovými i místními podmínkami a poté se spárují dohromady. Běžně používaný interval bývá jednou denně. Zde si navzájem předávají své vstupní podmínky a informace, kam patří třeba povětrnostní vlivy, proudění v povrchových tocích, intenzita a druh srážek, výměna tepla, množství slunečního záření a skleníkových plynů v atmosféře, množství sněhové pokrývky a ledu atd.) (HANEL a kol. 2011).

#### 6.1.1 Emisní scénáře

Protože není možné zcela předvídat důsledky lidské činnosti na životní podmínky na planetě, vytvářejí se tzv. emisní scénáře. Ty modelují možné proměny a alternativy změn klimatu v závislosti na vývoji společnosti a technologií, způsobu využívání energií nebo hospodaření s neobnovitelnými či neekologickými zdroji. Tyto scénáře ukazují možný vývoj klimatických změn v závislosti na provedených opatřeních.

Nejpoužívanější jsou scénáře SRES (Special report on emission scenarios – Nakicenovic a Swart, 2000. Scénáře SRES se dále dělí skupiny A1, A2, B1 a B2 a používají se pro hodnocení vývoje naší civilizace v závislosti na budoucích změnách klimatu.

Scénář A1 vyobrazuje vývoj lidské společnosti s dynamickým hospodářským růstem, efektivním využíváním zdrojů energie, nárůst počtu obyvatel zhruba do roku 2050, následné snižování a sociální vyrovnanost.

Scénář A2 zobrazuje budoucnost opřenou o nezávislost, odlišné životní podmínky, vývoj a nárůst obyvatel v různých oblastech světa. Obecně dochází k pomalejšímu růstu v oblasti technologií.

Scénář B1 se podobá scénáři A1, ale je zde kladena větší snaha o menší energetickou náročnost a úsporu.

Scénář B2 řeší udržitelnost ve vývoji a hospodaření v lokálním a regionálním měřítku. Počet obyvatel se zvyšuje, jsou zde rozdíly mezi jednotlivými státy a lokacemi (HANEL a kol. 2011).

## 6.2 Regionální modely klimatu

Globální modely znázorňují možné změny klimatu pro velké oblasti na planetě a jejich vzájemné ovlivňování. Pro podrobnější pozorování se užívají modely regionální, zahrnující danou oblast detailněji a využívají informace z globálních modelů klimatu.

Používanou metodou bývá statický a dynamický downscaling. První metoda zjišťuje ovlivňování jednotlivých veličin v obou modelech a definuje jejich empirické vztahy. Je u ní možné přiřadit výsledky z globálního modelu k daným měřicím stanovištím a ke vztažení k veličinám, které se sice nemodelovaly, ale které by tím byly ovlivněné (např. koncentrace plynů v ovzduší), je však obtížné stanovit vstupní údaje kvůli nepředvídatelným změnám klimatu. Druhá metoda pracuje s regionálním modelováním v podrobnějším měřítku a ukazuje časový průběh změn v konkrétních lokalitách, je to ale obtížné (může sem patřit např. vytváření mraků) (HANEL a kol. 2011).

## 6.3 Modelování z hydrologického hlediska

Znalost hydrogeologického prostředí je nezbytnou podmínkou pro hledání koncepce využití, jeho vymodelování, definování cílů i zjišťování závěrů.

Výsledky globálních a regionálních modelů jsou využívány v celé řadě výzkumů v oblasti klimatických změn. Nejčastěji se využívá hodnocení simulací ve 24-hodinových nebo měsíčních intervalech. Tyto výsledky se však nedají kvůli chybovosti a nedostatkům rovnou použít pro modelování hydrologických změn, ale je třeba tyto nedostatky co nejvíce vyloučit. Proto se přistupuje k použití přírůstkové metody nebo k opravám systematických chyb (HANEL a kol. 2011). První metoda se uplatňuje např. u simulací CMIP5 a druhá u modelování projektu ENSEMBLES (HANEL 2014).

Oprava chyb zahrnuje vložení takových dat do modelu, aby modelované veličiny byly co nejpodobnější veličinám reálným. Přírůstková metoda pak tyto údaje správně implementuje do modelu tak, aby výsledné změny klimatu odpovídaly reálnému modelu, a předpovídá změny klimatu nejčastěji v rámci jednoho měsíce. Přírůstkové měsíční faktory řešených veličin jsou např. množství a intenzita srážek, teplota a vlhkost vzduchu (HANEL a kol. 2011).

U hydrologických simulací jsou nejvýznamnějšími nejistotami právě vstupní informace. Naopak chybovost v hydrologických simulacích či ve výběru emisních scénářů je ve srovnání s tímto výrazně menší.

Mezi způsoby pro porovnání výsledků různých simulací a kontroly vstupních údajů patří podle (Giorgi a Mearns, 2001) dvě hlediska (HANEL a kol. 2011) :

- 1) možnost modelovat probíhající klimatické změny
- 2) dle rozdílů ve výsledcích simulace oproti jiným simulacím pracujících s obdobnou situací

Odhady vstupních dat pro modelování se od sebe navzájem mohou lišit v různých údajích, např. v teplotách. Díky velkému množství prováděných simulací a zprůměrování jejich výsledků se extrémny vyrovnávají a teploty se ukotví na hodnotách průměrných. Modely srážkových úhrnů mívají zase sklon přeceňovat množství a

intenzitu srážek. Přestože odhadovaná maxima v jarních a podzimních obdobích celkem odpovídají skutečnosti, v zimním a letním období se chybovost zvyšuje s délkou trvání srážek.

Z modelových výsledků vyplývá, že množství srážek se navyšuje cca od října do května a během letního období se zase snižuje.

Mezi nejvýznamnější modely klimatických změn patří: IPCC AR4, CMIP, Hadley Centra PPE, Climateprediction.net, PRUDENCE, ENSEMBLES, CORDEX (HANEL a kol. 2011; HOLTOVÁ 2015)

MODFLOW je velmi rozšířený program v USA, který simuluje tok podzemní vody na území USA. V roce 2021 po skoro 40 letech působnosti vyšla šestá verze. Postupem času se zdokonaloval a začal mapovat transport rozpuštěných látek, krasové podzemní toky a pronikání slané vody.

MT3DMS je model simulující přenos tepla, disperzi, chemické reakce kontaminantů v nasyceném prostředí podzemních vod. Na rozdíl od MODFLOW dokáže zahrnout při výpočtu více proměnných.

SEAWAT je obecně použitelný program založený na MODFLOW nebo na MT3DMS. Simuluje proudění podzemní vody s proměnlivou hustotou, transportem různorodých látek a přenosem tepla. Je hojně využíván pro různé studie migrací mikroorganismů nebo pronikání slané vody do pobřežních zvodní (BEDEKAR a kol. 2019; HILL 1998; LANGEVIN a kol. 2017).

## 7 Možnosti snížení dopadu klimatických změn v ČR

Klimatickým změnám se dá z části předcházet (mitigace) nebo řešit až dopady změny klimatu (adaptace). Ideální je jít pouze cestou mitigační, ale to v praxi nelze, pro snížení změn je nutno se si zvolit obě cesty. Mitigací se nejčastěji myslí snížení produkce skleníkových plynů, které lze docílit různými způsoby jako například: snížením těžby, zalesňováním, regulací skleníkových plynů, využíváním přírodních zdrojů, využívání biomasy nebo dostatečným zateplením budov (IMF 2019; IPCC 2017).

Kvůli stále výraznějším změnám klimatu dochází ke změnám podmínek v prostředí, ve kterém žijeme. Zvyšují se teploty, do budoucna se očekává střídání sušších období s obdobími s velkými výskyty srážek nebo nebezpečím povodní. To vše začíná významně narušovat vývoj civilizace, pomalu se proměňuje okolní krajina, fauna a flóra, snižuje se množství podzemních vod a hrozí jejich nedostatek. Je zapotřebí zaměřit se na zmírnění dopadů obou těchto extrémních změn, ať už velkého sucha nebo vyšší intenzity srážek a s tím spojených záplav (HANEL a kol. 2011). Společně se snahou o zmírnění dopadů je důležité popsat a pochopit konkrétní změny týkající se lokálních částí světa a na nové podmínky se adaptovat.

Adaptace (přizpůsobení se změnám) je důležitá z hlediska vývoje. Nejenom lidé, ale i zvířata, rostliny a ostatní živé organismy se musí přizpůsobovat novým podmínkám. To je do určité fáze přirozené, ale po překročení určitého bodu dochází k ničivým dopadům na organismus, např. v případě rostlinstev nahrazují odolnější rostliny původní druhy, které svými vlastnostmi nebyly schopny změny přijmout, nebo dochází ke stěhování některých druhů zvěře.

Především je důležité průběžně sledovat hladinu a množství podzemních vod. Jejich snižování může mít dalekosáhlé důsledky nejen z hlediska zásob pitné vody, ale také vzhledem k tomu, že je to důležitá podmínka pro udržení fauny a flóry v mírném pásmu. Pro zmírnění dopadu klimatických změn je třeba omezit škodlivé vlivy způsobující tyto změny a zároveň se co nejlépe připravit na nadcházející období. Ochrana a dostupnost pitné vody by proto měla patřit k prioritám hospodaření s vodou (NOVICKÝ 2008). Podzemní voda je hlavním zdrojem pitné vody pro mnoho ostrovů (TREIDEL 2011).

Opatření týkající se snižování negativních dopadů klimatických změn se mohou provádět buď přímo v toku (např. v korytě řeky) nebo v okolním prostředí. Už v minulosti byla prováděna opatření, zadržující vodu v krajině, patří sem např. rybníční soustavy ve východních a jižních Čechách. Ty byly intenzivněji prováděny již za éry českého panovníka Karla IV.

Pro člověka může být těžké porozumět snaze o ochranu podzemních vod a její udržení v krajině, neboť v minulosti nezažila nedostatek vody, a pokud se již o nějaké změny jednalo, šlo spíše o negativní dopady přebytků vody - o záplavy (PUNČOCHÁŘ 2007)

V poslední době dochází k významnému přesunu od prostého zkoumání a modelování klimatických změn ke snaze aktivně zmírnit jejich dopad na životní prostředí. Zpracovávají se návrhy a projekty, jejichž cílem je trvale udržitelné hospodaření s vodou. Jedním z nich je mezinárodní dokument: *Rámcová směrnice o vodní politice*, jejíž prvky jsou použity také v české legislativě, konkrétně ve vodním zákoně. Patří mezi ně například projekt MŽP, na kterém se podílel Český hydrometeorologický ústav, Karlova univerzita, výzkumný ústav vodohospodářský Tomáše Garriguae Masaryka a další. Nazývá se: *Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření*. Také ministerstvo zemědělství (MZe) vydalo: *Výzkum adaptačních opatření pro eliminaci dopadu klimatické změny v regionech ČR*. Tyto projekty jsou využívány nejen pro efektivní a udržitelné využívání vody, ale také pro plánování opatření proti povodním, zmírnění dopadu suchých období či proti úbytku vody.

Již nyní se pro oblasti postižené suchem zkoumají možná řešení zabráňující negativním dopadům. Důležité je brát v úvahu budoucí vliv klimatických změn na dnes učiněná opatření, aby nedošlo k jejich nefunkčnosti nebo aby se na ně dalo plynule navázat opatřeními dalšími.

V modelování se tedy kromě simulací klimatu a jeho změn ještě provádí simulace možných kroků pro jeho zmírnění v dané oblasti. Jako vstupní údaje se často využívají výsledky z regionálních simulací a zpracovává se velké množství alternativních výstupů s obměnami vstupních údajů. Vzniká tak velké množství výsledků a variant

pro jednotlivá i komplexně použitá opatření. Jako nejlepší opatření jsou hodnocena ta, která vedou ke snížení negativních účinků v prostředí (HANEL a kol. 2011).

### 7.1 Možnosti adaptace na místní úrovni v ČR

V minulém století docházelo ve velkém k regulacím toků v České republice. Z tehdejšího úhlu pohledu se jednalo o „zjednodušení“ – lepší splavnost řek, výstavba vodních nádrží, odvodnění ploch či ochrana před povodněmi. Tato opatření jistě měla vliv na životní úroveň, kterou nyní máme, ale přesto tyto činnosti odpovídaly jiným podmínkám. Klima, které se tehdy příliš neřešilo, je dnes jedním z hlavních témat a zabránění negativním dopadům klimatických změn má dnes obrovskou váhu. Protože je problematika příliš komplexní a nelze určit jednoznačná a přímá řešení, je třeba se zasazovat o resilientní (pružně reagující) přístup k řešení vyvstávajících problémů (SBORNIK 2016).

Možnostmi snížení dopadů klimatických změn na životní prostředí a adaptačními opatřeními se zabývá čím dál více programů. Tyto programy jsou kromě veřejných zdrojů z velké části financovány také z fondů evropské unie.

Z hlediska aktivity je v tomto systému nejdůležitější aktivita obcí a měst. Existují metodické postupy pro tvorbu adaptačních strategií na této úrovni od seznámení s problematikou přes zapojení veřejnosti a odborníků po konkrétní problémy a řešení v lokalitě. Takovými metodickými postupy se zabývá např. příručka *Obce a změna klimatu - Na cestě k adaptaci* (HRON 2016).

### 7.2 Změny v zemědělství

Dnešní postupy zavedené v zemědělství mohou přispívat ke zhoršení kvality půdy a jejímu odplavování. V praxi je běžné užívání agrochemikálií, intenzivní hospodaření či preference nových plodin, což má za následek rychlý odtok z polí, protože se voda nestihne vsáknout. Problém je zde také na legislativní úrovni, jak z hlediska dotací na méně vhodné plodiny, tak výhod pro použití šetrnějších způsobů hospodaření s půdou (střídání plodin, podsev). Také tvary pozemků a jejich velikosti a umístění by měly podporovat rozmanitost v krajině a zabránit velkým jednodruhovým plochám (HANEL a kol. 2011).

### 7.3 Úprava krajiny kolem toků

Úpravy v krajině by měly vést k zadržení povrchové vody v území a zabránit jí v soustředěném odvodu co nejrychleji pryč. Krajina by měla být rozmanitá a rozvolněná v závislosti na přirozeném odtoku a typu fauny a flóry a měla by být schopna dobrého vsaku. Citlivé využívání půdy by zajistilo dobrou infiltraci nadzemní vody do půdy a podzemních vod a zabránilo erozím půdy. Dnes dobře známé dlouhé lány polí s jedním typem plodiny nebo jejich širokořádkové rozsévání, zejména některých typů plodin (kukuřice), tvoří podmínky pro rychlý odvod vody z území do řek, což má při dlouhotrvajících deštích za následek tvorbu bleskových povodní (je to z toho důvodu, že pod těmito rostlinami a na půdě bez větší vegetace se tvoří méně propustná vrstva (někdy až krusta), která velmi špatně infiltruje vodu). Oproti tomu, častější střídání a druhová rozmanitost plodin a různé terénní úpravy vedou k nižší erozi a lepší infiltraci půdy. U krátkodobých srážek jsou tyto úpravy velmi nápomocné, protože půda stihne infiltrovat většinu vody, i když v případě srážek silných a

dlouhodobých nejsou vůči povodním tak efektivní, neboť půda má omezenou vsakovací schopnost.

Je tedy třeba zajistit dostatečné množství vody v půdě, zvýšit infiltrační schopnosti půdy, zadržovací schopnost krajiny a také zpětně obnovit místa, odkud byla voda drenážně odvedena (mokřady apod.). Nesmí se ovšem zapomínat, že v místech s menšími srážkovými úhrny se může snížit celkový průtok povrchových toků právě z důvodu zadržení vody v krajině, i toto hledisko je třeba uvážit (VACEK a kol. 2006).

#### 7.4 Možnosti snižování spotřeby

Do této fáze patří zajištění dodávky vody bez větších ztrát v potrubí, kontrolování a rekonstruování nevyhovujících vodovodních řadů a zamezení případným únikům vody.

Ke snižování spotřeby vody pro koncové uživatele může významně vést úprava ceny či omezení přístupu a množství. Panuje také snaha o šetření vodou používáním efektivnějších technologií (vodoinstalační regulační systémy, myčky, pračky), využívání dešťové vody pro zavlažování. V zemědělské činnosti vede ke snížení spotřeby vody tzv. kapková závlaha (hadice s kapkovačem u každé rostliny) (HANEL a kol. 2011).

#### 7.5 Revitalizace řek a možností rozlivů

Pro zabránění škod v důsledku intenzivnějších srážek je důležité zajistit takové podmínky, aby voda rychle neodtékala do povrchových toků, ale byla zadržována co nejvíce okolním prostředím a dostala se průsakem do podzemních vod a zároveň při zvýšeném průtoku (během povodní/intenzivních dešťů) měla možnost rozliti do okolí a vsáknutí v místě. V podstatě se dá revitalizace přirovnat k úpravě říčních koryt tak, aby se zvýšila jejich délka, snížil se sklon a upřednostnil se přírodní ráz břehů oproti zpevněnému břehu. V oblastech určených pro rozlití by nemělo probíhat zastavování objekty, které povodněmi trpí a zároveň omezují rozliv a vsak. Díky takovým úpravám by se zmenšila rychlost povodně, voda by se více rozlila do okolí a zabránila tak ničivým škodám při krátkodobějších srážkách (HANEL a kol. 2011).

#### 7.6 Infiltrace do půdy a do podzemních vod

V prostoru určeném pro rozliv vody při zvýšeném stavu by neměly být velké nepropustné plochy – beton, asfalt, dlažba atd., mezi nejvhodnější patří zeleň nebo vsakovací rýhy. Také je možné technicky zesílit infiltraci v půdě a tím dosáhnout většího vsaku (HANEL a kol. 2011).

Do budoucna je třeba uchovat infiltrační plochy vhodné pro zasakování a zabránit rozmachu výstavby takového typu zastavěnosti, který infiltraci brání, např. velkých betonových nebo asfaltových ploch (PUNČOCHÁŘ 2007).

#### 7.7 Efektivní využití vodních nádrží

Vodní nádrže zachycují vodu z toků (také je tím regulují) a vytváří zásobárny vody pro pitné i zavlažovací účely. Je třeba zhodnotit schopnosti nádrží a celých vodohospodářských soustav pojmout dané množství vody a v případě nutnosti je vyvážit. Je možné tuto vodu převést v rámci povodí či vodárenských soustav do místa, kde je jí nedostatek a tím zefektivnit její přínos pro okolí. Děje se to skrze kanály, stoky a řeky (př. Nová řeka spojující Lužnici a Nežárku) či čerpáním vody z nižšího

do vyššího místa povodí. Nádrže se používají mimo zásobování vodou pro úpravu průtoků, jako ochrana před záplavami, k využití v energetice či k rekreaci a pro chov ryb. Suché nádrže tzv. poldry, slouží jako opatření proti povodním. Je třeba neustále analyzovat hydrologické změny a jejich vliv na kapacity a využití nádrží (HANEL a kol. 2011, VÚV TGM 2018).

#### 7.8 Hospodaření s vodou

V České republice se v porovnání s koncem minulého století výrazně snížila spotřeba pitné vody na osobu. Zatímco v 80. – 90. letech 20. století připadalo na jednoho člověka okolo 160l, dnes je to okolo 80-100l/os. V Evropě se průměrná spotřeba vody pohybuje okolo 120-150l/os, v jižních státech je to ale například 200l (UN 2019). Přesto je ale spotřeba stále vysoká, vezme-li se v potaz, že pro pitné účely je využito pouhých 4,3%.

Především ve městech, kde jsou velké nepropustné plochy (silnice, chodníky), putuje dešťová voda obvykle do kanálů – dešťové kanalizace nebo do povrchového toku a nemá možnost se v místě dostatečně rozlít a vsáknout. Proto je kladen důraz na vrácení dešťové vody do půdy namísto jejího odtoku. Upřednostňuje se sběr a využívání dešťové vody na zálivku zahrady, splachování s přepadem do vsakovací rýhy nebo recyklace vody, znovu-užívání vody přečištěné, např. pro zalévání zahrad (HANEL a kol. 2011).

Také využívání bazénů může mít lokálně dopad na kvalitu a množství podzemních vod. V České republice je na 400 tisíc bazénů pevných a zhruba stejný počet nafukovacích, které se využívají sezónně (NALEZENO 2017). Domácí bazény se staly, kvůli pohodlí a soukromí, v posledních letech velkým trendem, místo chození na veřejné plovárny. Spotřeba jen vody do bazénů se pohybuje okolo 13 300 000 000l vody a protože musí být hygienicky nezávadná, používá se především voda pitná, případně srážková či ze studny (BROŽKOVÁ 2018). V bazénech pak dojde k jejímu ošetření, obvykle chlorem, ale používají se i ekologičtější metody (např. bezchlorová chemie). Na konci sezóny se obvykle voda používá na zalévání zahrad, což není zcela vhodné kvůli obsahu chloru nebo nevhodnému pH vody vyhlášky č. 238/2011 Sb.

Využívání podzemních vod jako doplnění povrchového toku se používá pouze v extrémních případech a jen po krátkou dobu tak, aby se zásoby podzemní vody stihly doplňovat.

Voda se také používá pro ředění vod odpadních, v případě efektivnějšího čištění by se tak spotřeba vody snížila. Do budoucna se také velmi potenciálně vyvíjí tzv. řízené vícenásobné využití vody, kde by se vyčištěná odpadní voda používala pro zalévání (HANEL a kol. 2011).

#### 7.9 Adaptace obcí – Rakovník

Město Rakovník je jednou z obcí, která zpracovala svou adaptační strategii dle metodického postupu. Společně s ní ještě např. obec Kly, Hradec Králové či Žďár nad Sázavou.

V Rakovníku byla v roce 2015 zpracována adaptační strategie z hlediska konkrétních problémů města, jako je především ubývání povrchových i podzemních vod a byla navržena řešení.

Mezi navržená opatření patří:

- proti zrychlenému odtoku z oblasti – např. tvorba zasakovacích ploch v krajině i ve městě, obnova nivních luk a revitalizace potoků, preference smíšených lesů oproti jednodruhovým, využívání dešťových vod, atd.

- proti snižování hladiny podzemních vod – regulovaný odběr (HRON a kol. 2016)

#### 7.10 Úpravy v legislativě vedoucí k jednoduššímu a udržitelnějšímu využití podzemní vody

U větších odběratelů vody může být složité určit dostatečné potřebné množství vody a zamezit většímu odběru. Úpravou legislativy by bylo možné nadbytečnému odběru bránit.

Také postupy pro určení minimálního průtoku je třeba obměnit, protože leckdy nynější přístup neodpovídá reálným a potřebným hodnotám.

V extrémně suchých obdobích je třeba určit priority, co se týče využívání vody obyvatelstvem, zajištění minimálních průtoků, dopadů na faunu a flóru a ekonomickou a průmyslovou sféru. (HANEL a kol. 2011)

#### 7.11 Hladiny podzemních vod v ČR

V České republice se hladiny podzemních vod pozorují od roku 1933 - 1934. Veřejně přístupné jsou hodnoty od roku 1997 (HORNOVÁ 2019).

## 8 Změny v hladinách podzemní vody v ČR

Byla provedena rešerše vlivu klimatických změn na podzemní vody. Z hlediska stále se zvyšující teploty a častějších výskytů delších dešťových a suchých období a tím i pomalejšího doplňování podzemních zdrojů lze očekávat do budoucna zhoršující se dostupnost podzemních vod a jejich využití. Již nyní jsou v České republice pozorovatelné změny v počasí, kromě výše zmíněných také mírnější zimy a s nimi menší sněhové srážky, bleskové povodně či tropické dny v letních měsících. Porovnání stavu podzemních vod v České republice je shrnuto v grafech č. 2-5 viz níže.

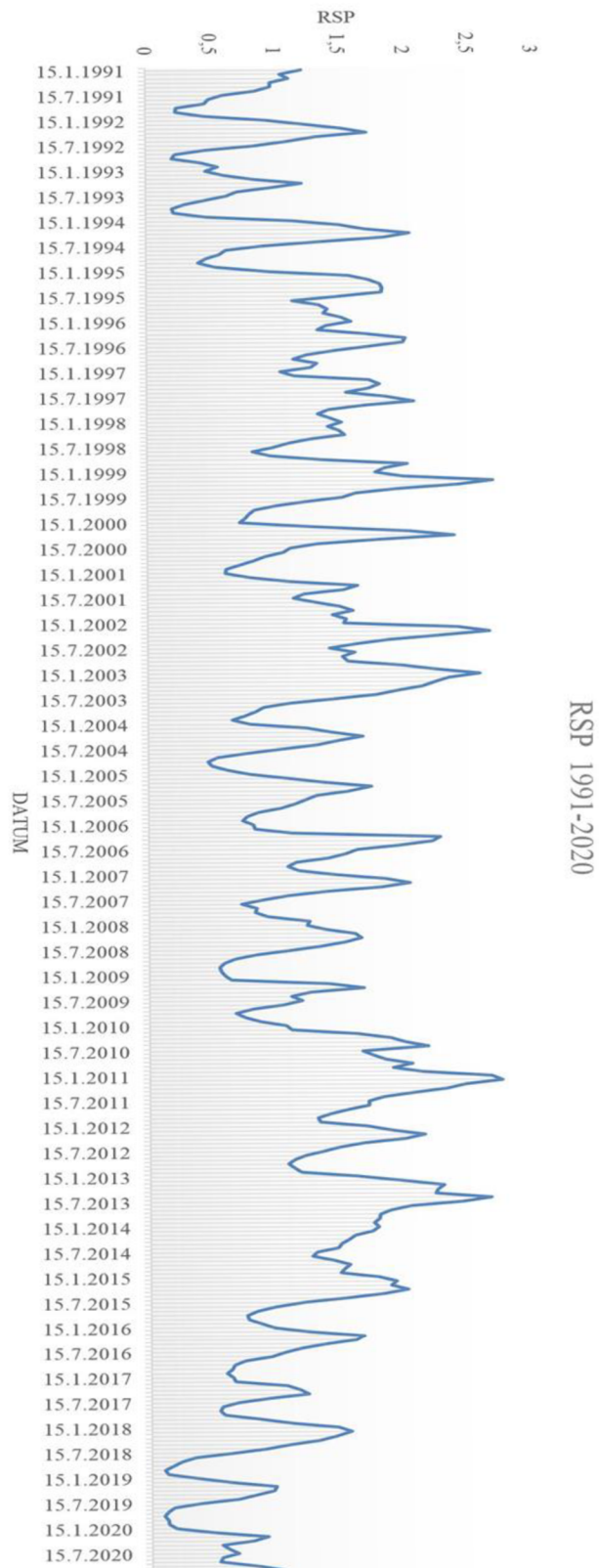
Hodnoty pro grafy byly čerpány z map z portálu [www.voda.chmi.cz](http://www.voda.chmi.cz), zbylé chybějící data poskytl Český hydrometeorologický ústav. Data musela být následně převedena do procentuálních dat, aby byly hodnoty porovnatelné mezi sebou (v každém roce je různý počet měření).

Následně byly vytvořeny 4 grafy: mělkých vrtů, hlubokých vrtů a vydatnosti pramenů (grafy č. 2-5). Grafy porovnávají jednotlivé roční průměry hladin vrtů a vydatnost pramenů v letech 1997-2019 s dlouhodobými průměry uplynulých let.

Z grafů lze vyčíst, období sucha a silných dešťů a následné dotace podzemních vod.

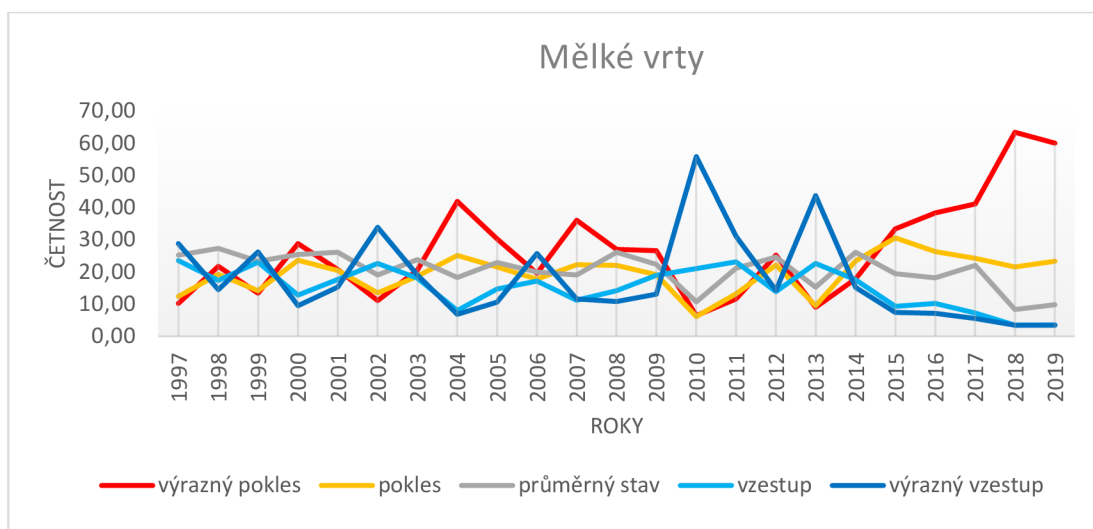


První graf zobrazuje roční směrodatnou proměnou (RSP) hladin hlubokých vrtů v jednotlivých měsících mezi lety 1991- 2020 od které byly odečteny dlouhodobé průměry z období let (1981- 2010). (na ose x uvedeny hodnoty po půl roce, kvůli přehlednosti).



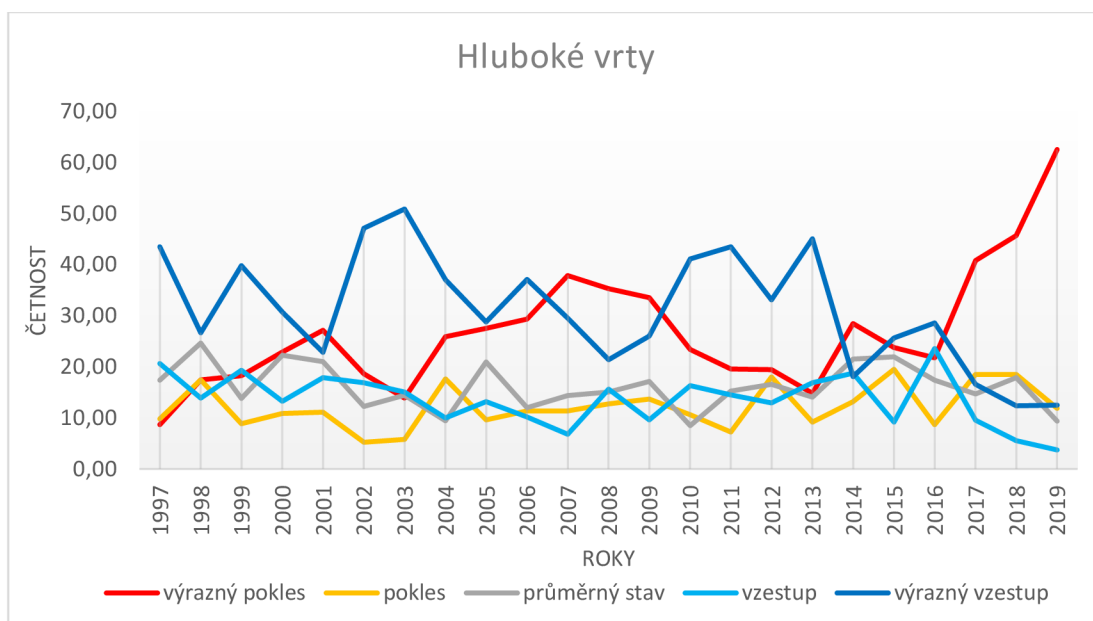
Graf 2- Porovnání průměrné výšky hladin v hlubokých vrtech -vlastní

Následující graf znázorňuje hladiny podzemních vod v mělkých vrtech v rozmezí let 1997 – 2019 v ČR. Byla použita data CHMI z měření vrtů a zanesena do grafu pro lepší přehlednost. Ze znázornění jsou zřetelné stále větší změny mezi jednotlivými obdobími v poklesech a vzestupech hladin podzemních vod. Zatímco v letech 1997 – 2000 je vidět malý rozdíl stavu hladin, časem se postupně zvyšují rozdíly mezi výrazným vzestupem a výrazným poklesem hladin. V posledních šesti letech je dokonce výrazný pokles u většiny sledovaných vrtů výrazně převyšující.



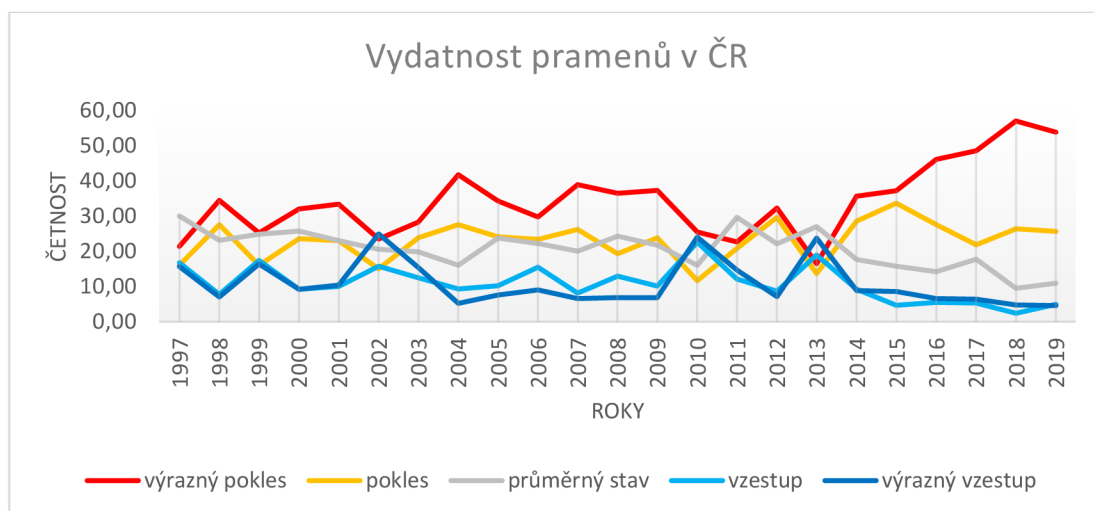
Graf 3- Porovnání výšky hladin v mělkých vrtech -vlastní

Další graf se zabývá pro změnu hladinami podzemních vod v hlubokých vrtech v letech 1997 – 2019 v ČR. Zde je až do první poloviny zřetelná vysoká četnost výrazných vzestupů hladin, která okolo roku 2008 sice klesne, ale až do roku 2013 se drží na vrcholu. Od tohoto roku však četnost těchto hladin ubývá a v čím dál více vrtech výrazně klesá hladiny podzemní vody. V roce 2019 je již naprosto dominantní.



Graf 4- Porovnání výšky hladin v hlubokých vrtech-vlastní

V posledním grafu jsou vyznačeny četnosti vydatností měřených pramenů v letech 1997 – 2019 v ČR. Zde je trvale větší počet pramenů s poklesem vydatnosti, avšak od roku 2015 se výrazně zvyšuje.



Graf 5- Porovnání vydatnosti pramenů -vlastní

Z porovnání grafů je patrný výrazný pokles hladin podzemních vod v posledních letech. Jsou zde také patrná období, kdy v České republice proběhly záplavy a kdy se hladiny podzemních vod navýšily oproti normálu – nejvíce patrné v letech 2002, 2006, 2010 a 2013 u mělkých vrtů a hlubokých vrtů a 2002, 2010 a 2013 u vydatností pramenů. Naopak nedostatek srážek se projevil v letech 2000, 2003-04, 2007, 2015 a dál u mělkých vrtů, 2007 a od roku 2016 a dál u hlubokých vrtů a ohledně vydatnosti pramenů, zde se projevilo hlavně období mezi lety 2004-2009 a poté od roku 2014 a dál.

## 9 Diskuze

Klimatické změny s sebou přináší zvyšující se teplotu v důsledku zvyšující se koncentrace skleníkových plynů v atmosféře, které zabraňují odrazu tepelného záření zpět do vesmíru – dochází k přehřívání a také k extrémním výkyvům počasí, jako jsou delší období sucha nebo přivalové deště a s nimi spojené povodně. Mezi důsledky těchto změn patří vysychání povrchových vod, pomalejší doplňování podzemních sladkovodních zdrojů, horší infiltrace vody v delších časových rozestupech sucha a období dešťů, dešťové srážky v zimních obdobích a s tím vším spojené změny na povrchu – úbytek vody, menší schopnost udržení vody na místě dopadu srážek, změna fauny a flory (nástup odolných druhů oproti původním), změny v krajině apod. Společně s antropogenními vlivy dochází k neudržení vody v krajině a jejímu odtékání (velké nepropustné zastavěné plochy, vyrovnání koryt řek, nevhodné hospodaření v zemědělství, plýtvání s vodou..). To vše má vliv na stav životního prostředí a podzemních vod ve světě i v ČR.

Problémem dnešní společnosti je, že vidí nastávající klimatickou změnu, ale nepocituje jí až v takové míře, aby s ní něco začala dělat ve velkém. Příští generace tak za pár desítek let pocítí výrazné změny, ale hrozí, že na nápravu příčin bude již pozdě a budou se řešit pouze následky.

V současnosti je velmi obtížné, spíše až nereálné snížit množství škodlivých látek, které se produkují, na nulu. Celý proces komplikuje potřeba zapojení všech zúčastněných přispěvatelů škodlivin, ne však všichni se chtějí nebo mohou zapojit, buď z plynoucí nevýhody pro ně, nezájmu nebo z nedostatečných financí či nízké míry vyspělosti lokálních technologií. Ideálním nástrojem by měla být jednotná legislativní opatření, která by zamezila vyšší produkci škodlivin a následně je i snižovala. Nedílnou součástí by bylo zavést fond na dotace do rozvojových zemí. Zamezilo by se tak zvýšení klimatické změny, nárůstu oteplování, výkyvům teplot, vyšším výparům, nárazovým sněhovým a dešťovým srážkám. Ustálením výkyvů by došlo i k pravidelnější dotaci podzemních vod.

Česká republika není prozatím ohrožena tolik jako jiné státy ve světě, např. Nizozemí, které je již dnes pod hladinou moře, Florida nebo některé tichomořské ostrovy. Přesto je z porovnání měření provedených v mělkých a hlubokých vrtech v ČR zřetelná tendence poklesu hladin podzemních vod a snížení vydatnosti pramenů, především v posledních letech.

Proto je důležité počítat s postupujícími změnami a aplikovat taková opatření, která pomohou snížit dopady klimatických změn i zde. Z hlediska vody se v České republice jedná především o udržení vody v krajině a zabránění jejímu odtoku. Mezi adaptační prostředky patří zejména úprava krajiny tak, aby zadržovala srážkovou vodu a bránila jí v rychlém odvodu, revitalizace vodních toků a možnosti rozlivu, změny v zemědělství tak, aby byla půdě ponechána její dobrá infiltrační schopnost, stejně tak možnosti vsakování na jinak nepropustných zastavěných plochách, efektivnější využívání nádrží a v neposlední řadě úsporné hospodaření s vodou.

Většina opatření na místní úrovni je především v kompetencích obcí, protože stát jako takový není schopen zavést potřebná pravidla, přesto existují programy, do kterých se mohou obce zapojit a prosadit některá opatření aspoň ve své lokalitě

## 10 Závěr

Tato práce se zabývala vlivem klimatických změn na podzemní vodu, možnostmi modelování budoucího stavu a návrhy snížení dopadů změn na množství podzemních vod v České republice.

Klimatické změny utváří životní podmínky na Zemi, v posledních letech však dochází stále k výraznějším změnám, jež jsou patrné už i v průběhu jedné generace. Pokud bude tento trend pokračovat podobným tempem, hrozí, že v následujících desetiletích dojde do bodu, kdy roztají ledovce v severních ledových oblastech, zvýší se hladina moří a oceánů. Změní se proudění vzduchu a mořských proudů bude docházet k extrémním výkyvům počasí a s ním spojených častějších tropických dní, období sucha a dešťů. V důsledku těchto změn bude docházet na lokální úrovni k vysychání povrchových toků a půd, kterým se sníží jejich infiltrační schopnosti a během dešťových období nestihnou pohltit dostatečné množství vody, aby se doplnily podzemní zásoby podzemních vod. Snížením hladin podzemních vod dojde k nedostatečnému zásobování nadzemních toků, snížení vlhkosti půdy, odsunu tradičních druhů fauny a flory a jejich nahrazování nepůvodními druhy, které jsou odolnější a v neposlední řadě ke ztíženému odběru vody pro potřeby lidstva. Pro to je přístup k pitné vodě naprosto zásadní a v případě jejího nedostatku hrozí kromě masových migrací také válečné konflikty a s nimi spojený strach, nouze a chudoba. Kvůli tání ledovců se také odkrývá přístup k nerostnému bohatství v polárních oblastech, které jsou dosud nedotčené a o které by mělo mnoho zemí zájem. To by v nastalé situaci mohlo ještě více rozdmýchat vyostřené vztahy a vést ke globálnímu konfliktu. Ačkoli se jedná pouze o hypotézu, je dobré ji vzít v potaz a snažit se takovým podmínkám předejít.

Ať už budou změny v budoucnu jakékoli, nejdůležitější prioritou je zajištění vhodných životních podmínek i pro další generace. Na ochranu životního prostředí by měl být na státní úrovni kladen větší důraz na vzájemnou diskuzi a pomoc ve specifických problémech daných zemí.

V České republice se dopady klimatických změn projevují především delšími suchými obdobími, mírnými zimami s dešťovými srážkami a tropickými dny během letních měsíců. Hladiny podzemních vod za poslední roky klesly, a i vydatnosti pramenů se snížily. Pro zpomalení klimatických změn je důležité se zaměřit na aplikaci mitigačních a adaptačních opatření týkajících se udržení vody v krajině.

## 11 Přehled literatury a použitých zdrojů

### 11.1 Odborné publikace

BIRKLEN P., FRÉLICH Z., ŠKARKOVÁ P., FABEROVÁ T., DRONGO VÁ K., RAUSOVÁ K., ZAPLETAL M., KOTRLA P., BRHELOVÁ E., KOLEKTIV AUTORŮ, 2015: *Komplexní studie dopadů, zranitelnosti a zdrojů rizik souvisejících se změnou klimatu v ČR*. Ekotoxa. Brno. 339s.

BRÁZDIL R., DOBROVOLNÝ P., ELLEDER, L., KAKOS V., KOTYZA O., KVĚTOŇ V., MACKOVÁ J., MÜLLER M., ŠTEKL, J., TOLASZ R., VALÁŠEK H., 2005: *Historické a současné povodně v České republice*. Masarykova univerzita a Český hydrometeorologický ústav, Brno, Praha. 370 s. ISBN: 80-210-3864-0.

DAŇHELKA J., A KOLEKTIV AUTORŮ, 2018: *Suché období 2014-2017, Český hydrometeorologický ústav, Praha. 92s. ISBN 978-80-87577-81-3*

DESSLER A. E., 2012: *Introduction to modern climate change*. New York. Cambridge University Press, New York. ISBN 978-0-521-17315-5.

DIMAS S., 2008: *Ground water protection in Europe*, European Communities, Luxembourg. 36 s. ISBN 978-92-79-09817-8.

GILBERTO C. G., 2012: *Five stylized scenario*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris. 20 s. ISBN 978-92-3-001038-6.

HANEL M., HORÁČEK S., DAŇHELKA J., TOMEK M., HÁNOVÁ K., VIZINA A., LEDVINKA O., TREML P., MELIŠOVÁ E., 2014: *Aktualizace odhadu hydrologických dopadů klimatické změny na povodích ČR*. VTEI roč. 56. S.1-4. ISSN 1805-6555.

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 řešení*. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha. 108 s. ISBN 978-80-87402-22-1.

HILL M. C., 1998: *Methods and guidelines for effective model calibration*. U.S. Geological Survey, Denver. 98 s.

HOLTOVÁ E., KALVOVÁ J., 2015: *Neurčitosti výstupů regionálních klimatických modelů*. Meteorologické zprávy. 68. 116-123.

HRON A., LUPAČ M., KOLEKTIV AUTORŮ, 2016: *Obce a změna klimatu*, Týmová iniciativa pro místní udržitelný rozvoj, o.p.s. Praha. ISBN 978-80-87549-06-3.

HYNIE O., 1961: *Hydrogeologie ČSSR. I, Prosté vody*. Nakladatelství Československé akademie věd. Praha. 562 s.

KRÁSNÝ J., 2012: *Podzemní vody České republiky*. Česká geologická služba. Praha. ISBN 978-80-7075-797-0

NETOPIL R., BRÁZDIL R., DEMEK J., PROŠEK P., 1984: *Fyzická geografie*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha. 273 s. ISBN 14-383-84.

NOVICKÝ O., VYSKOČ P., VIZINA A., KAŠPÁREK L., PICEK J., 2008: *Klimatická změna a vodní zdroje v povodí Vltavy*. VÚVTGM. Praha. 30s. ISBN 978-80-85900-79-8

PAVELKOVÁ CHMELOVÁ P., FRAJER J., 2013: *Základy fyzické geografie 1: Hydrologie*. UJEP, Olomouc. 142 s. ISBN 978-80-244-3843-6.

PYTL V., BRONCOVÁ D., PAVLÍK O., 2012: *Podzemní vody České republiky*. Milpo Media. Praha. ISBN: 978-80-87040-24-9.

PYTL V., BRONCOVÁ-KLICPEROVÁ D., 2012: *Podzemní vody České republiky, MILPO*

SBORNÍK, 2016: Klimatická změna v ČR: projevy, důsledky, adaptace, sborník abstraktů z výročního semináře. Česká meteorologická společnost. Praha. ISBN 978-80-87577-62-2.

SCHNEIDER H.S., ROOT L.T., MASTRANDREA D.M., 2011: *Encyclopedia of Climate and Weather*, Oxford University press, Oxford. 1488s. ISBN: 9780199765324.

TAYLOR J. CH., 1997: *Delineation of Ground-Water Basins and Recharge Areas for Municipal Water-Supply Springs in a Karst Aquifer System in the Elizabethtown Area, Northern Kentucky, U.S.* GEOLOGICAL SURVEY. Kentucky.

TODD, D. K., MAYS, L. W., 2005. *Groundwater hydrology*. Hoboken, NJ: Wiley, 2005. ISBN 0471059374

TREIDEL H., BORDES J., GURDAK J., 2011: *Climate Change Effects on Groundwater Resources*. CRP Press. Verlag. ISBN:978-0-203-12076-7.

VACEK V., KLUSÁK K., BEČVAŘÍK F., GEMRICH J., 2006: Změna klimatu Česká meteorologická společnost. Praha. 40s. ISBN 978-80-87577-62-2

112, 2015: *Odborný časopis požární ochrany, integrovaného záchranného systému a ochrany obyvatelstva*. MV - generální ředitelství HZS ČR, Praha. ISSN 1213-7057.

## 11.2 Legislativní zdroje

Sdělení č. 81/2005 Sb. .ministerstva zahraničních věcí o sjednání Kjótského protokolu k Rámcové úmluvě Organizace spojených národů o změně klimatu

Vyhláška č. 238/2011 Sb., o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch

## 11.3 Internetové zdroje

BEDEKAR V., MORWAY E. D., LANGEVIN C. D., TONKIN M., 2019: *MT3D-USGS: Groundwater Solute Transport Simulator for MODFLOW* (online) [cit.2021-02-19], dostupné z < <https://www.usgs.gov/software/mt3d-usgs-groundwater-solute-transport-simulator-modflow>>.

BOKR P., 2014: *Prameny a jejich základní klasifikace* (online) [cit.2020-10-05], dostupné z < <http://www.gweb.cz/clanky/clanek-58/>>.

BROŽKOVÁ J., 2018: *Přichází čas bazénů. Poradíme, jak ušetřit za vodu* (online) [cit.2021-02-17], dostupné z < <https://www.bydlet.cz/452862-prichazi-cas-bazenu-poradime-jak-usetrit-za-vodu/>>.

BRZEZINA J., 2021: *Rekordní sezóna hurikánů v Atlantiku* (online) [cit.2021-02-15], dostupné z < <https://chmibrno.org/blog/infografika/2020-rekordni-sezona-hurikanu-v-atlantiku/>>.

BUŠTA K., WAGNER Z., 2012: *Oxid uhličitý a možnosti jeho využití* (online) [cit.2021-02-24], dostupné z < <https://oze.tzb-info.cz/8492-oxid-uhlicity-a-moznosti-jeho-vyuziti-i> >.

CCa., 2020: *2020 Super Bowl: Warming Trends and Flood Risk* (online) [cit.2020-10-14], dostupné z < <https://medialibrary.climatecentral.org/resources/2020-super-bowl-warming-trends-and-flood-risk>>.

CCb., 2020: *Future Flood Risk: Hard Rock Stadium* (online) [cit.2020-10-14], dostupné z < [https://www.climatecentral.org/pdfs/2020HardRock\\_Report.pdf](https://www.climatecentral.org/pdfs/2020HardRock_Report.pdf) >.

ČGS., 2020: *Karotáž* (online) [cit.2020-10-06], dostupné z < <http://www.geology.cz/extranet/vav/zemska-kura/geofyzika/karotaz>>.



COVEY K., SOPER F., PANGALA S., BERNARDINO A., PAGLIARO Z., BASSO L., CASSOL H., FEARNSIDE P., NAVARRETE D., NOVOA S., SAWAKUCHI H., LOVEJOY T., MARENGO J., PERES C.A., BAILLIE J., BERNASCONI P., CAMARGO J., FREITAS C., HOFFMAN B., NARDOTO G.B., NOBRE I., MAYORGA J., MESQUITA R., PAVAN S., PINTO F., ROCHA F., DE ASSIS M.R., THUAULT A., BAHL A.A., ELMORE A., 2021: *Carbon and Beyond: The Biogeochemistry of Climate in a Rapidly Changing Amazon*. (online) [cit.2021-03-18], dostupné z < <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2021.618401/full> >.

DAŇHELKA J., 2019: *900 let od první známé povodně na Vltavě* (online) [cit.2021-02-12], dostupné z < [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/ruzne/900\\_let\\_povodne\\_1118.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/ruzne/900_let_povodne_1118.pdf) >.

DELPIXEL., 2015: *Klimatická dohoda z Paříže* (online) [cit.2021-01-24], dostupné z < <https://euractiv.cz/section/energeticka-ucinnost/linksdossier/klimaticka-konference-v-parizi-2015-cop21-000137/> >.

DUNNE D., 2018: *Explainer: Six ideas to limit global warming with solar geoengineering* (online) [cit.2020-10-22], dostupné z < <https://www.carbonbrief.org/explainer-six-ideas-to-limit-global-warming-with-solar-geoengineering> >.

EAGRI, 2014: *Z historie plánování ve vodním hospodářství* (online) [cit.2020-11-08], dostupné z < <https://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/ochrana-vody/vodni-ramcova-smernice/planovani-v-oblasti-vod/historie-planovani/z-historie-planovani-ve-vodnim.html> >.

ECOSPRINTER., 2012: *Our way to water crisis* (online) [cit.2021-03-17], dostupné z < <https://www.ecosprinter.eu/blog/our-way-to-water-crisis/> >.

ECOSPRINTER., 2013: *Climate changes: focus on the Arctic region* (online) [cit.2021-03-17], dostupné z < <https://www.ecosprinter.eu/blog/climate-changes-focus-on-the-arctic-region/> >.

ECOSPRINTER., 2015: *Why Can't We Keep It Clean, Czech Republic?* (online) [cit.2021-03-12], dostupné z < <https://www.ecosprinter.eu/blog/why-cant-we-keep-it-clean-czech-republic/> >.

ECOSPRINTER., 2016 : *My thoughts on UN COP22, Marrakech* (online) [cit.2021-03-15], dostupné z < <https://www.ecosprinter.eu/blog/my-thoughts-on-un-cop22-marrakech/> >.

FRANCIS, J.A., VAVRUS, S.J., COHEN, J., 2017: *Amplified Arctic warming and mid-latitude weather: new perspectives on emerging connections* (online) [cit.2020-11-06], dostupné z < <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/wcc.474> >.

HEINRICH V.H.A., DALAGNOL R., CASSOL H.L.G., 2021: *Large carbon sink potential of secondary forests in the Brazilian Amazon to mitigate climate change*. (online) [cit.2021-03-22], dostupné z < <https://www.nature.com/articles/s41467-021-22050-1> >.

HES K., 2018: Česká Republika Vodstvo (online) [cit.2021-02-24], dostupné z <[https://stavarna.com/download2/2613\\_4157\\_cs\\_cr\\_vodstvo.pdf](https://stavarna.com/download2/2613_4157_cs_cr_vodstvo.pdf)>.

HORNOVÁ H., ČERNÁ I., 2019: *Sledování a vyhodnocení hladin podzemní vody v hydrogeologickém profilu Ladná* (online) [cit.2021-03-21], dostupné z <<http://www.cbks.cz/SbornikTreb2019/Hornova.pdf>>.

IMF, 2019: *Fiscal Monitor: How to Mitigate Climate Change* (online) [cit.2021-02-19], dostupné z <<https://www.imf.org/en/Publications/FM/Issues/2019/09/12/fiscal-monitor-october-2019>>.

IPCC, 2017: *Mezivládní panel pro změnu klimatu Čtvrtá hodnotící zpráva* (online) [cit.2021-02-19], dostupné z <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/ar4-sysr-spm\\_czech.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/ar4-sysr-spm_czech.pdf)>.

KULP S. A., STRAUSS B. H., 2016: *CoastalDEM v2.1: A high-accuracy and -resolution global coastal elevation model trained on ICESat-2 lidar* (online) [cit.2021-02-25], dostupné z <<http://www.climatecentral.org/coastaldem-v2.1>>.

LAMARCHE-GAGNON G., WADHAM J.L., SHERWOOD L. B., 2019: *Greenland melt drives continuous export of methane from the ice-sheet bed* (online) [cit.2021-03-11], dostupné z <<https://www.nature.com/articles/s41586-018-0800-0>>.

LANDEVIN C.D., HUGHES J.D., BANTA E.R., PROVOST A.M., NISWONGER R.G., 2017: *Modflow 6 Modular Hydrologic Model: U.S. Geological Survey Software* (online) [cit.2021-02-19], dostupné z <<https://www.usgs.gov/software/modflow-6-usgs-modular-hydrologic-model>>.

MZE, 2017: *Koncepce na ochranu před následky sucha pro území České republiky* (online) [cit.2021-03-07], dostupné z <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news\\_170724\\_sucho/\\$FILE/koncepce\\_sucho\\_material.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_170724_sucho/$FILE/koncepce_sucho_material.pdf)>

NALEZENO., ©2017: *Spotřeba vody v ČR: Bazénová mánie ale i rostoucí zájem o úsporná řešení* (online) [cit.2021-02-17], dostupné z <<https://www.nazeleno.cz/bydleni/spotreba-vody-v-cr-bazanova-manie-ale-i-rostouci-zajem-o-usporna-reseni>>.

NONDEK L., 2009: *Přichází čas pohřbit Kjótský protokol?* (online) [cit.2020-12-04], dostupné z <<https://www.cdk.cz/prichazi-cas-pohrbit-kjotsky-protokol>>.

NOVÁKOVÁ D.H., 2012: *Minerální vody ČR* (online) [cit.2020-11-08], dostupné z <[https://is.muni.cz/el/1431/podzim2012/G9981/um/Mineralni\\_vody\\_v\\_CR2012.pdf](https://is.muni.cz/el/1431/podzim2012/G9981/um/Mineralni_vody_v_CR2012.pdf)>.

OVESNÁ J., OSTRÝ V., 2017: *Rezidua pesticidů v GM plodinách - návrh výzkumných témat pro potřeby zajištění bezpečnosti potravin* (online) [cit.2020-11-08], dostupné z <[https://eagri.cz/public/web/file/566799/Studie\\_2\\_VVG\\_final.pdf](https://eagri.cz/public/web/file/566799/Studie_2_VVG_final.pdf)>.

PBS., 2019: *The Dutch Are Building a Barricade Against Climate Change* (online) [cit.2020-12-18], dostupné z <<https://www.pbs.org/wnet/peril-and-promise/2019/07/dutch-barricade-against-climate-change/>>.

POKORNÁ D., 2020 : *Hydrologie a pedologie* (online) [cit.2020-11-23], dostupné z <<https://web.vscht.cz/~pokornd/hp/1.p%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ka/Hydrologie.pdf>>.

PUNČOCHÁŘ P., 2007: *Změna klimatu a vodní zdroje ČR* (online) [cit. 2020-10-12], dostupné z < <https://www.casopisstavebnictvi.cz/zmena-klimatu-a-vodni-zdroje-cr.html> >.

RUDA A., 2014: *Klimatologie a hydrogeografie* (online) [cit. 2021-01-15], dostupné z < [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz\\_geogr/web/pages/11-podpovrchova-voda.html#prameny](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/11-podpovrchova-voda.html#prameny) >.

SMERDON B.D., 2017: *A synopsis of climate change effects on groundwater recharge* (online) [cit.2021-01-29], dostupné z <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169417306510>>.

TAYLOR R.G., SCANLON B., DÖLL P., 2013: *Ground water and climate change. Nature Climate Change* (online) [cit. 2021-03-30], dostupné z <[https://www.researchgate.net/publication/258807224\\_Ground\\_water\\_and\\_climate\\_change](https://www.researchgate.net/publication/258807224_Ground_water_and_climate_change)>.

TRNKA M., ŽALUD Z., HLAVINKA P., BARTOŠOVÁ L. a kol., 2018: *Očekávané dopady změn klimatu* (online) [cit.2020-09-05], dostupné z < [www.klimatickazmena.cz/](http://www.klimatickazmena.cz/)>.

UN, ©2019: *The Human Right to Water and Sanitation* (online) [cit.2021-02-17], dostupné z < [https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human\\_right\\_to\\_water\\_and\\_sanitation\\_media\\_brief.pdf](https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief.pdf)>

UNFCCC, 1998: *Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change* (online) [cit.], dostupné z < <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>>.

UNFCCC, 2021: *Conference of Parties* (online) [cit.2021-03-16], dostupné z <<https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop?page>>.

UNFCCC., 2021: *Greater Climate Ambition Urged as Initial NDC Synthesis Report Is Published* (online) [cit.2021-03-07], dostupné z <<https://unfccc.int/news/greater-climate-ambition-urged-as-initial-ndc-synthesis-report-is-published>>.

USGS, 2017: *Oběh vody* (online) [cit.2021-01-20], dostupné z < [https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/oobeh-vody-water-cycle-czech?qt-science\\_center\\_objects=0#overview](https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/oobeh-vody-water-cycle-czech?qt-science_center_objects=0#overview)>.

VÚV TGM., 2018: *Katalog přírodě blízkých opatření pro zadržení vody v krajině* (online) [cit.2021-01-16], dostupné z < [http://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/p1\\_katalog\\_opatreni\\_0.pdf](http://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/vystup/p1_katalog_opatreni_0.pdf) >.

WAKE SMITH W., WAGNER G., 2018: *Stratospheric aerosol injection tactics and costs in the first 15 years of deployment* (online) [cit.2020-10-22], dostupné z < <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aae98d/meta#erlaae98dt2fna> >.

WELCH C., 2021: *First study of all Amazon greenhouse gases suggests the damaged forest is now worsening climate change* (online) [cit.2021-03-18], dostupné z < <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/amazon-rainforest-now-appears-to-be-contributing-to-climate-change> >.

WWF., 2021: *UN Report shows most countries still failing to take climate action seriously* (online) [cit.2021-02-28], dostupné z < <https://wwf.panda.org/wwf/news/?1586966/UNFCCC-Synthesis-Report%E2%80%9C%20target> >.

YOUSEFPOUR R., AUGUSTYNCZIK A.L.D., REYER C.P.O., 2018: *Realizing Mitigation Efficiency of European Commercial Forests by Climate Smart Forestry...*, : (online) [cit.2021-03-22], dostupné z < <https://www.nature.com/articles/s41598-017-18778-w> >.

ZAHRADNÍČEKa P., 2021: *Deficit srážek a průměrné teploty za období 2015-2020* (online) [cit.2021-02-15], dostupné z < <https://chmibrno.org/blog/2021/02/03/deficit-srazek-a-prumerne-teploty-za-obdobi-2015-2020/> >.

ZAHRADNÍČEKb P., 2021: *Rok 2020 ve znamení několika klimatologických paradox* (online) [cit.2021-02-15], dostupné z < [https://chmibrno.org/blog/2021/01/24/rok-2020-ve-znameni-nekolika-klimatologickych-paradoxu/?fbclid=IwAR2jzMjCc68if5ouaFY\\_IW7m7X2OFnvYUARoit0J5DkAMpIIXx70pdixXg4](https://chmibrno.org/blog/2021/01/24/rok-2020-ve-znameni-nekolika-klimatologickych-paradoxu/?fbclid=IwAR2jzMjCc68if5ouaFY_IW7m7X2OFnvYUARoit0J5DkAMpIIXx70pdixXg4) >.

ZAMOŮŘIL J., 2020: *Dopady změny klimatu jsou u nás viditelné už v současnosti – teplo, sucho, ale i kůrovec* (online) [cit.2021-02-18], dostupné z < <https://www.czechsight.cz/dopady-zmeny-klimatu-jsou-u-nas-viditelne-uz-v-soucasnosti-teplo-sucho-ale-i-kurovec/> >.

#### 11.4 Ostatní zdroje

ČHMÚ, 2013: *Předběžné hydrometeorologické shrnutí průběhu povodně v červnu 2013*, ČHMÚ, Praha, 3. str

HRUŠKOVÁ L., 2013: *Prameny radioaktivních minerálních vod v oblasti Lázně Libverda - Świeradów-Zdrój*, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha. 68 s. (diplomová práce) „nepublikováno“. Dep. DSPACE.CUNI v Praze.

HUBÁČEK V., 2012: *Měření infiltrace půdy na vybrané lokalitě*, Mendelova univerzita v Brně, Brno (bakalářská práce) „nepublikováno“. Dep. IS.MUNI v Brně.

MALÁ K., 2014: *Klimatické změny: dopady a možné příčiny*, ČZU, Fakulta životního prostředí, Praha. 45 s. (bakalářská práce) „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

MŽP, 2010: *Základní principy hydrologie*, MŽP, Praha, 37 s.

PIVOŇKA J., 2013: *Metody měření rychlosti infiltrace vody do půdy*, Jihočeská univerzita České Budějovice. 57 s. (bakalářská práce) „nepublikováno“. Dep. Theses v Českých Budějovicích.

URBAN M., 2015: *Vliv metody měření průtoku a situování měrného profilu na určení specifického podzemního odtoku*, Masarykova univerzita „Přírodovědecká fakulta, Brno. 17 s. (bakalářská práce) „nepublikováno“. Dep. IS.MUNI v Brně.

ZAHRADNÍKOVÁ E., 2018: *Hydrologické sucho a jeho dopad na životní prostředí*, ČZU Praha (bakalářská práce) „nepublikováno“. Dep..

## 11.5 Seznam obrázků

Obrázek 1: Oběh vody na planetě (USGS 2017). .....	3
<a href="https://www.usgs.gov/media/images/ob-h-vody-water-cycle-diagram-czech">https://www.usgs.gov/media/images/ob-h-vody-water-cycle-diagram-czech</a>	
Obrázek 2: Popis zón v hydrogeologické prostředí (LANGHAMMER 2007). .....	5
<a href="https://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/hydro/pdf/Hydrologie_1_Langhammer_odtok_proces.pdf?fbclid=IwAR1GvWimhocRb150jj02xAyBgmki-eoOrlx3CAG_Ig85JhfTrW3niY-xHAQ">https://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/hydro/pdf/Hydrologie_1_Langhammer_odtok_proces.pdf?fbclid=IwAR1GvWimhocRb150jj02xAyBgmki-eoOrlx3CAG_Ig85JhfTrW3niY-xHAQ</a>	
Obrázek 3: Zranitelnost oblastí v ČR vůči suchu (MZE 2017). .....	6
<a href="https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_170724_sucho/\$FILE/koncepce_sucho_material.pdf">https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_170724_sucho/\$FILE/koncepce_sucho_material.pdf</a>	
Obrázek 4: Typy zvodněných vrstev (PECH 2010). .....	8
<a href="https://home.czu.cz/storage/52485_Spec-pripady-HPV.pdf">https://home.czu.cz/storage/52485_Spec-pripady-HPV.pdf</a>	
Obrázek 5: Jedovnický potok (MAPY.CZ). .....	9
<a href="http://www.mapy.cz">www.mapy.cz</a>	
Obrázek 6: Popis hydrogeologického prostředí – zvodně (GRMELA 2004). .....	10
<a href="http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?artesky_vrt">http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?artesky_vrt</a>	
Obrázek 7: Hydrologická rajonizace ČR 2005 (KEPRTOVA 2014). .....	13
<a href="https://docplayer.cz/10886816-Pece-o-zdroje-podzemni-vody-ve-statnich-podnicich-povodi.html?fbclid=IwAR1aSHjWLoqPizyMypu-liZ3-b2nDGBEhTO67B91gokgmL7ZVhY674Asgxi">https://docplayer.cz/10886816-Pece-o-zdroje-podzemni-vody-ve-statnich-podnicich-povodi.html?fbclid=IwAR1aSHjWLoqPizyMypu-liZ3-b2nDGBEhTO67B91gokgmL7ZVhY674Asgxi</a>	
Obrázek 8: Geomorfologické členění území ČR (VŠB 2021). .....	15
<a href="http://geologie.vsb.cz/CviceniInzenyrskaGeologie/KAPITOLY/3_GEOMORFOLOGICK%C3%89_MAPY/3_GEOMORFOLOGICKE_MAPY.htm">http://geologie.vsb.cz/CviceniInzenyrskaGeologie/KAPITOLY/3_GEOMORFOLOGICK%C3%89_MAPY/3_GEOMORFOLOGICKE_MAPY.htm</a>	

Obrázek 9: Přírodní léčivé zdroje v ČR (ZELENY KOMPAS 2021). .....	17
<a href="http://zelenykompas.cz/csCZ/statick%C3%BDobsah/informaceo%C5%BEivotn%C3%ADmprost%C5%99ed%C3%AD/voda.aspx">http://zelenykompas.cz/csCZ/statick%C3%BDobsah/informaceo%C5%BEivotn%C3%ADmprost%C5%99ed%C3%AD/voda.aspx</a>	
Obrázek 10: Povodí v ČR (TZB 2013) .....	18
<a href="https://voda.tzb-info.cz/112707-spravci-vodnich-toku">https://voda.tzb-info.cz/112707-spravci-vodnich-toku</a>	
Obrázek 11: Hydrogeologické regiony v ČR (SMOLOVÁ 2016) .....	19
<a href="https://geography.upol.cz/soubory/lide/smolova/GCR1/GCR1_hydro_IV_podpovrchove.pdf">https://geography.upol.cz/soubory/lide/smolova/GCR1/GCR1_hydro_IV_podpovrchove.pdf</a>	
Obrázek 12: Index intenzity využití vody (Evropa 2012) (VESELÁ 2015). .....	20
<a href="https://www.statistikaamy.cz/2015/06/vody-je-dost-zatim/">https://www.statistikaamy.cz/2015/06/vody-je-dost-zatim/</a>	
Obrázek 13: Mapa rizika kontaminace podzemní a povrchové vody (Obrázek 14). .....	21
<a href="http://hydro.chmi.cz/pasporty/rizikove_oblasti.php">http://hydro.chmi.cz/pasporty/rizikove_oblasti.php</a>	
Obrázek 14: Srovnání zatopení oblasti Bangkoku (CLIMATE CENTRAL). .....	25
<a href="https://go.climatecentral.org/coastaldem/?utm_source=exit_intent_coastaldem_sealevel">https://go.climatecentral.org/coastaldem/?utm_source=exit_intent_coastaldem_sealevel</a>	
Obrázek 15: Míra zatopení Holandska oceánem (CLIMATE CENTRAL). .....	25
<a href="https://coastal.climatecentral.org/map/7/4.7342/52.7345/?theme=water_level&amp;map_type=water_level_above_mhhw&amp;basemap=roadmap&amp;contiguous=true&amp;elevation_model=best_available&amp;refresh=true&amp;water_level=0.0&amp;water_unit=m">https://coastal.climatecentral.org/map/7/4.7342/52.7345/?theme=water_level&amp;map_type=water_level_above_mhhw&amp;basemap=roadmap&amp;contiguous=true&amp;elevation_model=best_available&amp;refresh=true&amp;water_level=0.0&amp;water_unit=m</a>	
Obrázek 16: Možný stav zatopení stadionu Hard Rock (CLIMATE CENTRAL). .....	26
<a href="https://www.climatecentral.org/pdfs/2020HardRock_Report.pdf">https://www.climatecentral.org/pdfs/2020HardRock_Report.pdf</a>	
Obrázek 17: Vlevo-Deficit srážek (CHMI 2021). .....	32
<a href="https://chmibrno.org/blog/2021/02/03/deficit-srazek-a-prumerne-teploty-za-obdobi-2015-2020/">https://chmibrno.org/blog/2021/02/03/deficit-srazek-a-prumerne-teploty-za-obdobi-2015-2020/</a>	

## 11.6 Seznam grafů

Graf 1: Modelace vlivu různých scénářů na změnu teploty klima (DUNNE 2018). .....	30
<a href="https://www.carbonbrief.org/explainer-six-ideas-to-limit-global-warming-with-solar-geoengineering">https://www.carbonbrief.org/explainer-six-ideas-to-limit-global-warming-with-solar-geoengineering</a>	
Graf 2- Porovnání průměrné výšky hladin v hlubokých vrtech -vlastní .....	42
Graf 3- Porovnání výšky hladin v mělkých vrtech -vlastní .....	42
Graf 4- Porovnání výšky hladin v hlubokých vrtech-vlastní .....	42
Graf 5- Porovnání vydatnosti pramenů -vlastní .....	43