

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V
PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ



**VYHODNOCENÍ VLIVU SRÁŽEK NA
HLADINU PODZEMNÍ VODY VE VYBRANÝCH
LOKALITÁCH ČESKÉHO RÁJE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Petr Bašta

Autor práce: Martin Polák

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Martin Polák

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Vyhodnocení vlivu srážek na hladinu podzemní vody ve vybraných lokalitách Českého ráje

Název anglicky

Evaluation of the effect of precipitation on the groundwater level in the area of Bohemian Paradise

Cíle práce

Hlavním cílem práce bude analýza vlivu srážkových úhrnů a případných suchých period na vývoj hladiny podzemní vody ve vybraných lokalitách Českého ráje. Analýza bude provedena pro období posledního normálu na základě dostupných datových sad ČHMÚ. Dílčím cílem bude vypracování rešerše odborných zdrojů zabývajících se problematikou sucha a podzemních vod v kontextu klimatické změny.

Metodika

První část práce bude řešena formou rešerše zabývajících se charakterizováním samotné problematiky sucha, postupného nárůstu či poklesu hladiny podzemní vody a možnými opatřeními proti suchu.

Další bod práce se bude týkat rozboru přírodních poměrů zájmové lokality, a to zejména geologickými, hydrologickými a morfologickými.

V rámci praktické části práce budou zpracována a prezentována data vývoje hladiny podzemní vody ve vybraných pozorovacích vrtech (Trutnov, Loukov, Klášter, Bousov) a srážkových úhrnů v příslušných srážko-měrných stanicích z období posledního normálu. Student vyhodnotí základní popisnou statistiku vstupních dat a míru vlivu srážkových úhrnů na vývoj hladiny podzemní vody pomocí lineární regrese. Výsledky budou prezentovány např. pomocí regresních grafů poukazujících na rostoucí či klesající trend hladiny podzemní vody za analyzované časové období a případnou souvislost s hydrometeorologickými podmínkami. Pro porovnání a regresní analýzu bude zvolena rozumná míra agregace vstupních dat a několik variant časového posunu (Lag) mezi příčinnou srážkou a reakcí hladiny podzemní vody (minimálně 3 měsíce). Zhodnocení výsledků bude provedeno formou diskuze.

Doporučený rozsah práce

max. 40 normostran textu

Klíčová slova

hladina podzemní vody, srážky, sucho, pozorovací vrt, klimatická změna

Doporučené zdroje informací

- BRÁZDIL, R. – TRNKA, M. *Historie počasí a podnebí v Českých zemích. Svazek XI, Sucho v Českých zemích : minulost, současnost, budoucnost.* Brno: Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., 2015. ISBN 978-80-87902-11-0.
- PYTL, V. – BRONCOVÁ, D. *Podzemní vody České republiky.* Praha: Milpo media, 2012. ISBN 978-80-87040-24-9.
- TOURKOVÁ, J. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. TECHNICKÁ FAKULTA. *Hydrogeologie.* Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03101-2.

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FZP

Vedoucí práce

Ing. Petr Bašta

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 30. 03. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Vyhodnocení vlivu srážek na hladinu podzemní vody ve vybraných lokalitách Českého ráje 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.

V..... dne.....

Martin Polák

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Baštovi, za odborné vedení, za rady a za pomoc při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat Českému hydrometeorologickému úřadu za ochotné poskytnutí historických dat. V poslední řadě bych chtěl poděkovat mojí sestře Ing. Lucii Polákové, která byla vždy připravená a ochotná pomoci.

Abstrakt

Bakalářská práce „Vyhodnocení vlivu srážek na hladinu podzemní vody v oblasti Českého ráje“, popisuje a analyzuje problematiku vlivu suchých období a srážkových úhrnů na hladinu podzemních vod v oblasti Českého ráje v období 1990-2019. Zvyšující se průměrná teplota vzduchu na planetě Zemi, je jedna z hlavních příčin sucha a klimatických změn obecně. V této práci je předmětem charakterizace problematiky sucha, postupného poklesu či nárůstu hladiny podzemní vody a možná opatření proti suchu. Dále také rozbor geologických, morfologických a hydrologických přírodních poměrů v Českém ráji a v neposlední řadě vyhodnocení dat ze srážkových stanic a podzemních vrtů s poukázáním na vyvíjející se trend hladin podzemních vod. Této tématice je důležité se věnovat zejména pro odhalení případné příčiny klimatických změn a sucha s důsledkem ubývání podzemní vody na území Českého ráje. Ve zkoumaných lokalitách vykazovaly hladiny podzemní vody jen mírnou až zanedbatelnou závislost na úhrny srážek až na některé výjimky, kdy byla závislost vyšší. Závislosti suchých period se neprokázaly.

Klíčová slova: hladina podzemní vody, srážky, sucho, pozorovací vrt, klimatická změna

Abstract

The bachelors thesis „Evaluation of the effect of precipitation on the groundwater level in the area of Bohemian Paradise“, describing and analyse the issue of influence of dry periods and total precipitation on groundwater levels in Bohemian Paradise area in 1990-2019. Raising average temperature on planet Earth is one of the main causes of dry periods and climate changes in general. The main cases in this thesis are to characterise dry periods, gradual decrease or increase of groundwater levels and possible measures against low levels of groundwater. Furthermore, also analysis of geological, morphological and hydrological natural ratios in Bohemian Paradise. And last but not least by evaluating of underground water and precipitation levels data with pointing about the developing trends of groundwater levels. Its important to pursue this topic in particular to uncover possible causes of climate changes and dry periods with the consequence of groundwater waning. In the study sites, groundwater levels showed only a moderate to negligible dependence on precipitation, with some exceptions where the dependence was higher. Dry period dependencies were not demonstrated.

Key words: groundwater levels, precipitation, drought, observation borehole, climate change

Obsah

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Úvod..... | 1 |
| 2 | Cíle práce..... | 2 |
| 3 | Literární rešerše | 3 |
| 3.1 | Voda na Zemi | 3 |
| 3.1.1 | Funkce vody | 3 |
| 3.1.2 | Klasifikace vody..... | 4 |
| 3.1.3 | Oběh vody v přírodě | 4 |
| 3.1.4 | Voda v České republice | 5 |
| 3.2 | Podzemní voda..... | 7 |
| 3.3 | Změna klimatu a hydrologické extrémý..... | 9 |
| 3.4 | Sucho..... | 11 |
| 3.4.1 | Meteorologické sucho | 11 |
| 3.4.2 | Hydrologické sucho | 12 |
| 3.4.3 | Půdní sucho..... | 13 |
| 3.4.4 | Dopady sucha na zdroje podzemní vody | 13 |
| 3.4.5 | Opatření proti suchu | 14 |
| 3.5 | Povodně | 16 |
| 3.6 | Přivalové a dlouhotrvající deště..... | 16 |
| 3.7 | Vrty pro pozorování podzemní vody..... | 17 |
| 3.8 | Popis zájmového území | 20 |
| 3.8.1 | Geomorfologie CHKO Český ráj..... | 22 |
| 3.8.2 | Geologie CHKO Český ráj..... | 23 |
| 3.8.3 | Hydrologie na území CHKO Český ráj..... | 23 |
| 3.8.4 | Klimatické podmínky na území CHKO Český ráj..... | 23 |
| 4 | Metodika | 24 |
| 4.1 | Data použita k vyhodnocení daných otázek | 24 |
| 4.2 | Popisná statistika datových souborů srážek a hladin podzemní vody v daných lokalitách..... | 25 |
| 4.3 | Použití Pearsonova korelačního koeficientu pro zhodnocení stavu srážek a hladin podzemních vod..... | 25 |
| 4.4 | Vytvoření grafů pro porovnání vývoje hladiny podzemní vody ve sledovaných vrtech bez vzájemného zpoždění..... | 26 |
| 4.5 | Vytvoření grafů pro porovnání průměrných úhrnů srážek ve zkoumaných lokalitách bez vzájemného zpoždění | 26 |
| 4.6 | Výpočet indexu sucha | 26 |
| 5 | Výsledky | 28 |

| | | |
|-----|---|----|
| 5.1 | Popisná statistika | 28 |
| 5.2 | Grafy pro porovnání vývoje hladin podzemní vody mezi sebou..... | 29 |
| 5.3 | Grafy pro porovnání čtvrtletních úhrnů srážek mezi sebou | 31 |
| 5.4 | Vztah srážek k hladinám podzemní vody..... | 32 |
| 5.5 | P-T index..... | 33 |
| 6 | Diskuse | 35 |
| 7 | Závěr..... | 37 |
| 8 | Přehled použité literatury | 39 |
| 9 | Seznam obrázků | 45 |
| 10 | Seznam tabulek..... | 46 |
| 11 | Seznam příloh | 47 |

1 Úvod

V posledních letech je sucho především spojováno se změnou klimatu. Projevy tohoto jevu jsou zjevné jak z globálního, tak z lokálního hlediska. Podzemní vody toho nejsou výjimkou, a proto je třeba se zaměřit na celkový hydrologický cyklus ve smyslu změn, které klimatická změna přináší. Ať už to jsou hydrologické extrémny v podobě suchých období nebo záplav. Na tyto negativní vlivy má dopad i člověk, který si v mnoha případech ani neuvědomuje, že k takovým změnám přispívá. Proto je třeba tuto problematiku zkoumat, aby se dalo případně předejít scénářům, které by mohly být v budoucnu velmi závažné jak pro populace lidí, tak pro populace rostlin a živočichů. K tématu této práce mě motivovala myšlenka, kdy jsem chtěl zjistit, jaké jsou stavy podzemních vod a jaké faktory hydrologického, geologického a klimatického rázu působí na území, které mi je domovem. Očekávaným přínosem této práce je zjištění charakteru vlivů působících na hladinu podzemní vody a jejich konkrétních hodnot v lokalitě CHKO Český ráj.

Práce vypovídá o problematice vody obecně, změnách klimatu, hydrologické situaci na území České republiky a v neposlední řadě také o vlivech klimatických změn na území České republiky.

V praktické části je zahrnut popis zájmového území, kterým je Český ráj. Zejména je zde zahrnut popis hydrologické, hydrogeologické a geologické a morfologické situace v zájmovém území.

2 Cíle práce

Hlavním cílem této bakalářské práce je analýza vlivu srážkových úhrnů a případných period suchého období na hladinu podzemní vody v lokalitách Českého ráje. Těmito lokalitami jsou Turnov, Klášter Hradiště nad Jizerou a Dolní Bousov. Analýza je provedena pro období mezi roky 1990-2019 za pomoci dat poskytnutých od Českého hydrometeorologického úřadu.

Dílčím cílem této práce je vypracování rešerše zabývající se charakterizováním problematik, které jsou s tématem hladiny podzemní vody a suchých období spjatá. Klimatická změna nebo například oběh vody v přírodě jsou jedny z těchto témat.

3 Literární rešerše

3.1 Voda na Zemi

Voda na Zemi je jedna z nejdůležitějších složek pro život jako takový. Bez vody by nemohl být život, jak ho známe. Na naší planetě voda pokrývá zhruba 70 % povrchu. Život ve vodě vznikl, a proto není tajemstvím, že vše živé potřebuje vodu k životu (EEA, 2018).

3.1.1 Funkce vody

Funkce vody, užitečné pro člověka, jsou ve formě biologické, zdravotní, hospodářské, kulturní a estetické, rekreační, energetické a transportní, politické a vojensko-strategické a v poslední řadě krajinnotvorné a environmentální (Slavík, 2014).

Biologická funkce zprostředkovává veškeré biologické procesy u živých organismů. Pitná voda je z biologického hlediska pro lidi a suchozemská zvířata nenahraditelnou potravinou (Slavík & Neruda, 2014).

Zdravotní funkce vody slouží k zajišťování osobní i veřejné hygieny člověka. Minerální vody poté nabízí příjem potřebných minerálních látek pro uchování nebo zlepšení zdravotního stavu člověka a živočichů (Slavík & Neruda, 2014).

Estetická a kulturní funkce vody se ukazuje být užitečná ve směru tvorby a ochrany krajiny, přírody a životního prostředí. Voda je nezbytnou součástí pro revitalizační a rekultivační procesy v krajině (Slavík & Neruda, 2014).

Ve smyslu hospodářské funkce vody je voda nezbytnou surovinou pro rozvoj národních produktů, pro podnikatelské činnosti skoro ve všech odvětvích průmyslu, zemědělství a služeb (Slavík & Neruda, 2014).

Rekreační funkce vody umožňuje lidem provozovat různé aktivity, prospěšné pro fyzické i mentální zdraví člověka ve formě vodních sportů, odpočinku, zábavy a celkově k doplnění životní energie (Slavík & Neruda, 2014).

Energetická a transportní funkce vody využívá především kinetické energie vodních toků, kde voda umožňuje vyrábět elektrickou energii. K transportní funkci vody slouží především plochy jezer a moří k vodní plavbě a přemísťování hmot (Slavík & Neruda, 2014).

Krajinotvorná a environmentální funkce vody představuje vodu v pozici nenahraditelného přírodního bohatství. Vodní útvary se řadí mezi krajinotvorné prvky významného rázu přímo vytvářející předpoklad pro existenci ekosystémů, vázaných na vodní prostředí a jeho vývoj. Všechny prvky biosféry jsou výrazně ovlivněné vodou v krajině. Voda také působí jako termoregulační systém v krajině (Slavík & Neruda, 2014).

Politická a vojensko-strategická funkce vody se týká zejména hranic povodí řek, které však historicky ani politicky nerespektují vytvořené hranice států. Vodní bohatství států ovlivňuje jejich vodohospodářskou a vojensko-strategickou politiku. Historicky probíhaly mezi mnoha zeměmi lokální i rozsáhlé konflikty zejména v oblastech s omezenou bilancí využitelných vodních zdrojů. Vodní politika toků na hranicích států je složkou mezinárodní politiky. V České republice funguje Komise pro hraniční vodní toky se sousedními státy (Slavík & Neruda, 2014).

3.1.2 Klasifikace vody

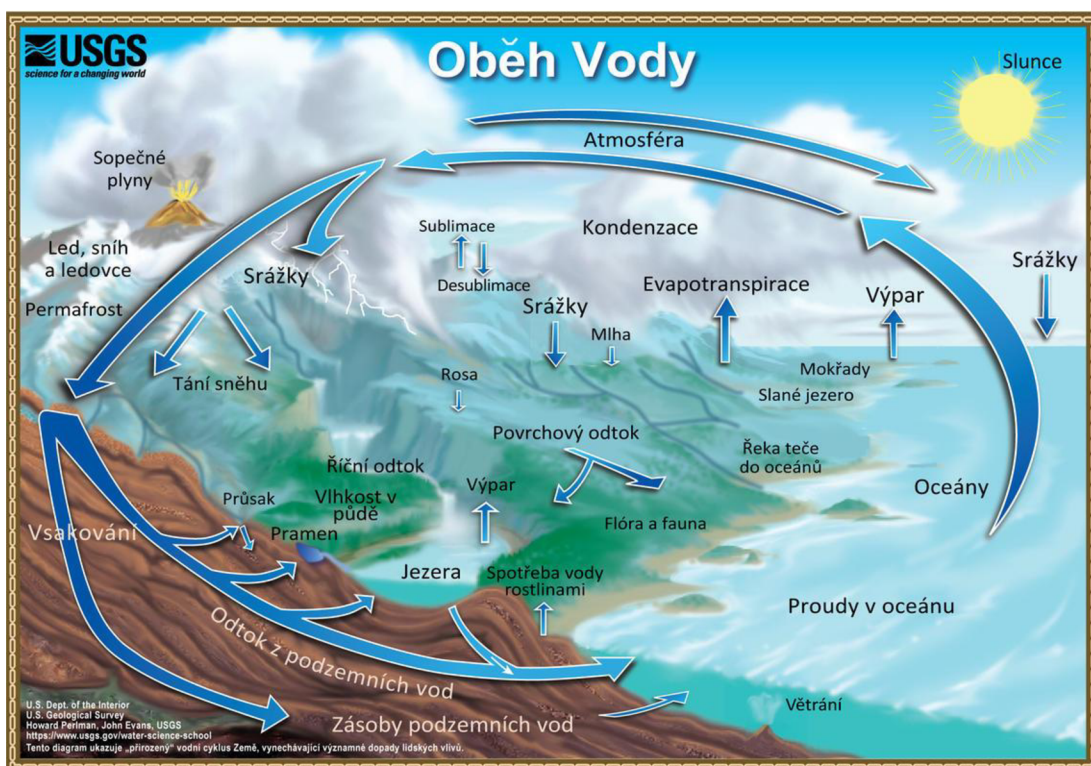
Vodu dělíme hned do několika kategorií (Voda, Učebnice chemie):

- Podle skupenství (pevné, kapalné, plynné)
- Podle mikrobiologie (pitná, odpadní, povrchová, podpovrchová)
- Podle přírodní medicíny (mrtvá, živá)
- Podle vlastností (tvrdá, měkká, minerální, destilovaná, mořská, sladká, napájející)

3.1.3 Oběh vody v přírodě

Všechny procesy života na Zemi jsou závislé na oběhu vody v přírodě. Působením tepla se voda vypařuje z oceánů, moří a pevnin do podoby vodních par, které jsou následně unášeny vzdušnými proudy ve vyšších vrstvách atmosféry, kde dochází ke kondenzaci těchto par a ta poté jako srážková voda ve formě deště dopadá na povrch země a na hladinu oceánů. Poté se voda partikulárně vsakuje, a tím vznikají zásoby podzemní vody. Zbytek vody ze srážek se zachytává na vegetaci a pomocí gravitace stéká. Zároveň tvoří malé stružky, které odvádějí vodu do potoků a následně se tyto potoky vlévají do řek. Tyto povrchové toky ale i částečně podzemní vody se poté vlévají do moří, a tak je koloběh uzavřen. Jedná se tak o tzv. velký koloběh vody, který popisuje oběh vody mezi oceány a pevninou. Malý oběh vody potom popisuje

průběh lokálního rázu nad hladinami oceánů a moří. Některá místa na pevnině, které mají rozsáhlé plochy vegetací mají svůj samostatný oběh vody, který je podpořen vysokým výparem vody z vegetačních ploch a tím vzniká lokální cirkulace. Z celkového objemu vody na Zemi se však na koloběhu vody v přírodě podílí pouze zhruba 0,4 %. Jeden ze zákonů hydrosféry totiž vypovídá o tom, že celkový výpar na zemském povrchu se rovná množství látek, které na něj dopadly, a tím dochází k zachování kvantitativních poměrů (Netopil, 1965).



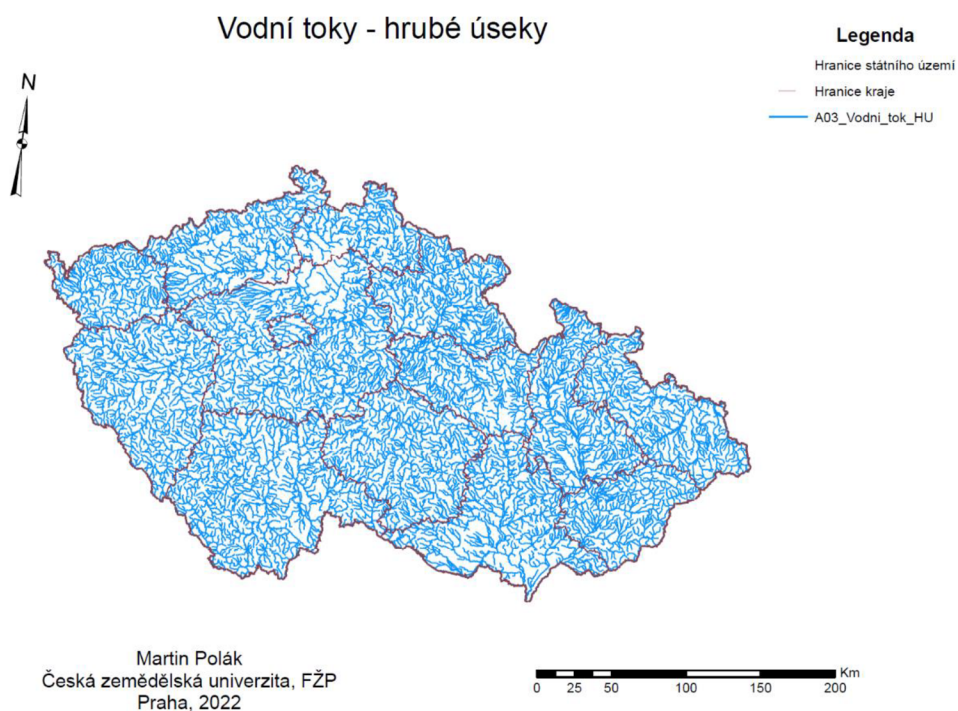
Obr. č. 1) Oběh vody na Zemi (Water Science School, 2017)

3.1.4 Voda v České republice

Česká republika se nachází na rozvodnici tří moří – Baltského, Severního a Černého. Všechny významnější toky na území naší republiky odvádějí vodu do sousedních zemí. To má za důsledek to, že vodní zdroje v ČR jsou zcela závislé na atmosférických srážkách (MZe, 2020). Přehled charakteristiky vodního hospodářství v České republice najdeme v Tabulce 1.

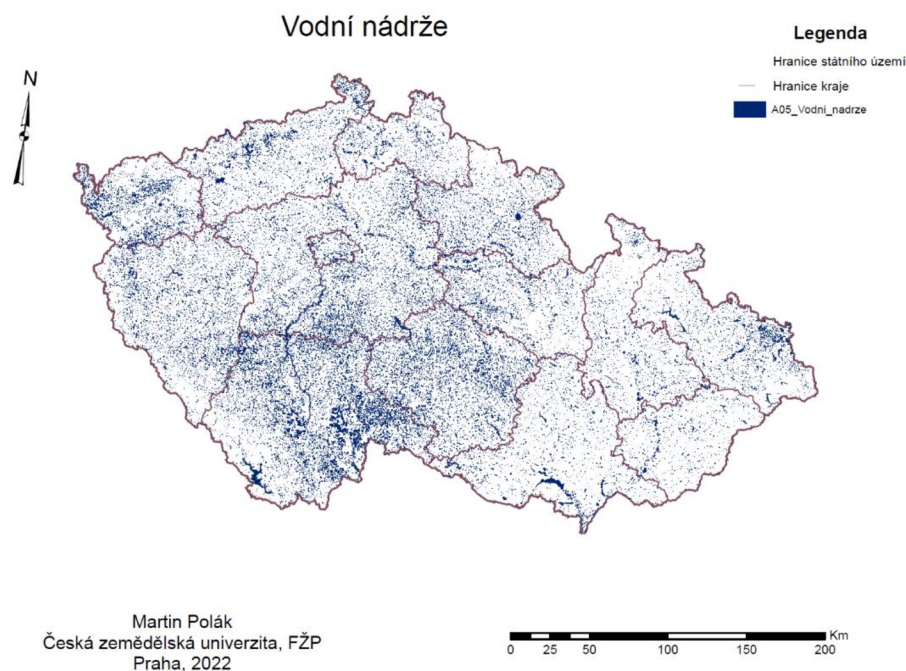
Tab. č. 1) Základní charakteristiky vodního hospodářství ČR (MZe, 2020)

| | | |
|-------------------------|----------------------|------------|
| Délka vodních toků (km) | významné | 16 371 |
| | drobné | 82 830 |
| | celkem | 99 201 |
| Vodní nádrže (ks) | významné | 165 |
| | malé (rybníky apod.) | cca 25 000 |



Obr. č. 2) Vodní toky ČR, zdroj: (DIBAVOD, 2022)

Na obrázcích 2 a 3 jsou vyznačeny vodní toky a vodní nádrže na území České republiky.



Obr. č. 3) Vodní nádrže ČR, zdroj: (DIBAVOD, 2022)

ČR je rozdělena mezi třemi mezinárodními povodími. Těmi jsou Dunaj, Odra a Labe. V povodích je zajištěna mezinárodní spolupráce v čele s komisemi pro ochranu těchto povodí. Na funkci těchto komisí se z české strany účastní Ministerstvo zemědělství, Ministerstvo životního prostředí a zástupci kompetentních odborných institucí (HEIS VÚV, 2004).

3.2 Podzemní voda

Podzemní vody mají pro život člověka ohromný význam. Rostliny jsou přímo závislé na vodě obsažené v půdě. Podpovrchová voda je také ve velké míře zásobárnou pitné vody (Kemel, 1994).

Voda, která je přítomná pod zemským povrchem, se ve všech skupenstvích a podobách nazývá vodou podpovrchovou. Analogicky se všechna tato voda může nazývat podzemní, či podpovrchová. Tento typ vody nejvíce vzniká díky důsledku půdní infiltrace, kdy je srážková voda vsakována do půdního prostředí. Podzemní voda však může vzniknout i díky kondenzaci vodní páry v půdě (Kemel, 1994).

Půdní voda je segment do půdy infiltrované srážkové vody, která je v půdním prostoru vázána silami, a to má za následek to, že podléhá vlivu zemské gravitace jen

v malá míře, a tak neprosakuje hlouběji do nižších půdních profilů. Ve srovnání s půdní vodou je voda podzemní (tzv. gravitační) vytvořena z vody srážkové, která se infiltruje do půdy širšími nekapilárními póry (nad 0,2 mm) anebo se vsakuje do hloubky vlivem zemské tíže pomocí kanálků a půdních trhlinek, které jsou vytvořeny dešťovou vodou, zetlenými kořínky apod. Obvykle tvoří jednu souvislou hladinu (Kemel, 1994).

Podpovrchové vody, vytvořené jak infiltrací, tak kondenzací mají společný znak ve formě zdroje, který se vyskytuje v obou případech mimo zemské kůry. Proto se označují jako vody vadózní (exogenní). Odlišné jsou také vody juvenilní, které tvoří zanedbatelně malou část podpovrchových vod. Tyto podzemní vody jsou tvořeny pomocí kondenzace par, které unikají z chladnoucího magmatu. Pokud tyto vody pronikají až na zemský povrch jako přirozené prameny (gejzíry, horská zřídla), tak už jsou většinou promíchány s vodou vadózní (Zachar et al., 1987).

Hladina podzemní vody může být určena pomocí instalace vrtů, které penetrují saturované zóny do takové hloubky, kde dokáží zadržet stojatou vodu. Změřená data poté mohou být odkazována na hladinu moře, a tak změřena nadmořská výška dané naměřené hladiny, a následně jsou profilována pro indikaci konfigurace hladiny podzemní vody v dané oblasti měření z více takových vrtů (Winter et al., 1998).

Hodnota stavu hladiny podzemních vod se také zjišťuje měřením její svislé vzdálenosti od bodu, který je pevně stanovený a je na povrchu (horní okraj vrtu nebo studny).

K měření hladiny se používá:

- kovová tyčka délky 30-10 cm, připojená na pásmo;
- Rangova (frankfurtská) píšťala – kovová trubka opatřená na obvodu miskovými žlábkami vzdálenými od sebe 1 cm a připevněná na pásmo. Při ponoření do vody vzduch uniká z píšťaly a vydá různé tóny;
- světelná olovnice – trubice s plováčky a kontakty na spodní části trubice a se svítílkou v horní části trubice. Plováčky sepnou při dotyku s vodou kontakty a rozsvítí baterku. Trubice je zavěšena na pásmu;

- elektrická hrotová měřidla – využívají vodivosti vody k uzavření proudového obvodu;
- limnimetr – pohyb plováku o průměru 4 cm se přenáší lankem na počítadlo;
- limnigrafické přístroje (Metra 500) – plovák o průměru 9 cm;
- hladinoměry – tlakové, ultrazvukové atd (Chmelová & Frajer, 2013).

Zásoby podzemní vody na planetě Zemi jsou odhadovány zhruba na 10 000 000 km³. To je asi 200x více, než je každoroční objem obnovitelných vodních zdrojů ze srážkové vody (Struckmeier et al., 2005).

Podzemní voda je svými vlastnostmi v přirozeném stavu nejbliže nárokům na zdravotně nezávadnou a biologicky významnou vodu. Vodu, která nevyhovuje účelům použití kvůli jejím fyzikálním vlastnostem, můžeme upravit. Tyto úpravy jsou však omezeny podmínkami jak technologickými, tak ekonomickými (Kliner et al., 1978).

3.3 Změna klimatu a hydrologické extrémny

Dopady a nutnost reagovat na změny klimatu představují jedno z hlavních témat současné environmentální politiky. Změny v klimatickém systému jsou přítomné už od vzniku naší planety, vědecké poznatky a studia však poukazují na to, že pravděpodobně se tyto změny v současné době odehrávají rychleji, než tomu bylo v minulosti. Hlavním důvodem pro tyto změny a důsledky těchto změn je bez pochyby činnost lidstva. Nárůst emisí skleníkových plynů je sice jedním z nejvíce probíraných témat jakožto příčina těchto změn, ale není to jediný faktor, co zapříčiňuje tento problém. Jde zejména i o činnosti člověka, které dělají klimatický systém více náchylný, než tomu bylo v minulosti. (ČHMÚ, 2022).

Během dalších desítek let se předpokládá, že miliardě lidem a zvláště těm, kteří žijí v rozvojových zemích, hrozí nedostatek vody a potravin a s tím spjaté nebezpečí zvýšeného rizika újmu na zdraví a životech těchto lidí. To všechno je následek změny klimatu. Proto je třeba podnikat kroky, které umožní lidstvu přizpůsobit se těmto změnám, ke kterým už dochází a které se budou časem jen horšit (UNFCCC, 2007).

Změnu klimatu na naší planetě mohou vyvolat jak přírodní jevy, tak i člověk. Faktory přírodního charakteru se dělí do několika skupin: astronomické, meteorologické a geofyzikální.

Astronomické faktory mezi sebe řadí svítivost (neboli sluneční radiaci). Poté také pohyb a postavení Země kolem Slunce, rychlost otáčení Země kolem slunce a své osy a sklon zemské osy (Astapenko & Kopáček, 1987). Mnozí klimatologové interpretují příčiny globálních změn, navozených astronomickými faktory odlišně. Většina z nich se ale shoduje na tom, že jednu z klíčových rolí pro tyto změny hrála právě aktivita slunce (Fligge & Solanki, 1998).

Meteorologické faktory obsahují základní vlastnosti hydrosféry a atmosféry. Velký význam pro utváření klimatu na Zemi mají obsahy různých chemických příměsí, jako je voda a oxid uhličitý. Pokud má množství těchto příměsí kolísavou tendenci, zapříčiňuje to i výkyvy klimatu.

Geofyzikální soubor faktorů souvisí s vlastnostmi Země, jako jsou její rozměry, hmotnost, charakteristika zemského povrchu, interní zdroj tepla a se zemským gravitačním a magnetickým polem. Historicky mohly tyto vlivy geofyzikálních faktorů významně měnit klimatickou situaci na Zemi. Dobrým příkladem je určitě pohyb litosférických desek a celých pevnin. V dnešní době se může tento faktor považovat po dlouhé období jako stabilní (Astapenko & Kopáček, 1987).

Politicky i sociálně velmi probíraným faktorem změny klimatu je bez pochyby globální oteplování. Už od roku 1850 se vedou záznamy o teplotách na Zemi a za poslední tři desetiletí teplota stabilně stoupá. Průměrná teplota v současnosti je o 0,85°C vyšší, než jaká byla ke konci 19. století (EC, 2015). Podle světových klimatologů a odborníků za toto může hlavně činnost člověka. Vědci se také shodují na tom, že pokud průměrná teplota na Zemi vzroste o 2°C v porovnání s průměrnou teplotou v období předindustriálním, může to znamenat vážné riziko, že bude docházet k nebezpečným, či dokonce ke katastrofálním změnám v životním prostředí (EC, 2015). V období posledního desetiletí 20. a začátku 21. století bylo dosavadně nejteplejší období od začátku zaznamenávání teplot v globálním měřítku (NOAA, 2007). Data a jejich průběh vyhodnocení světovou meteorologickou organizací z podkladů ve formě historických záznamů, ledovců nebo letokruhů, jsou nyní

odchýlena od dlouhodobého normálu. Tato data nám ukázala největší teplotní vychýlení od dlouhodobého normálu (Kakos & Vrabec, 2006).

Důsledky oteplování planety jsou odrazem mnoha predikcí, jak by se příroda mohla zachovat vůči těmto změnám. Je ale zapotřebí zdůraznit, že je tuto situaci potřeba brát vážně, vzhledem k uchování životního standardu lidstva.

3.4 Sucho

Sucho je komplexní jev a neexistuje pro něj žádná vymezená mezinárodně uznávaná definice. Nejjednodušší definice sucha zní asi takto: Je to deficit vody v porovnání s normálními podmínkami (Sheffield & Wood, 2011). Při použití takovéto definice však ale vznikají otázky. Co jsou to normální podmínky? Uvažujeme s vodou ve všech součástech hydrologického okruhu, nebo jen v určitých částech? Jak velký musí deficit být, jak dlouho musí trvat, aby se tomuto stavu dalo říkat sucho? Musí tato definice poukazovat pouze na přírodní procesy, nebo sehraje roli také ovlivňování člověkem? Co je třeba považovat za normální situaci silně závisí na tom, k čemu je tato voda využívána. Například určité minimální hladiny vody v řekách jsou potřebné pro plavbu a ekosystémy, zatímco v případě správy nádrží jsou odchylky od sezónních hladin přítoku příčinou dopadů závažných problémů. Ve výzkumech se obecně zaměřuje na atmosférickou a suchozemskou složku sucha, koloběh vody a vazby mezi nimi tj. srážky, evapotranspirace, akumulace sněhu, půdní vlhkost, hladiny podzemních vod, jezer a mokřadů a také proudění vody (Van Loon, 2015).

Sucho můžeme také brát jako nedostatek vody, který nastává, pokud půdní vlhkost nestačí pokrýt nároky potenciálního výparu. Rozlišujeme tři druhy sucha:

- sucho způsobeno proměnlivostí srážek;
- sezónní sucho, které se vyskytuje ve formě výrazných opakujících se období suchého počasí;
- sucho, které je stálé a vyskytuje se ve spojení s aridním podnebím (Critchfield, 1983).

3.4.1 Meteorologické sucho

Uvádí se jako počáteční stav sucha, které vzniká nepříznivými atmosférickými projevy. Tím se má na mysli zejména dlouhodobější snížené úhrny

atmosférických srážek. Přispívá k zesilování nepříznivého stavu meteorologického sucha mohou ale také i jiné faktory jako například teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, pohyb vzdušných mas (vítr) a evapotranspirace (Van Loon, 2015).

Meteorologické sucho vypovídá o stavu, kde je vzájemná bilance srážek a výparu záporná. To se může projevovat na základě stupně sucha ve srovnání s normální nebo průměrnou výší a délkou trvání suchého období. Intenzita a délka trvání jsou poté hlavní charakteristikou tohoto typu (Trnka, 2010). Tento typ sucha lze také stanovit jako počet dnů s nedostatečným srážkovým úhrnem oproti dlouhodobému průměru. Ukazatele, které hodnotí meteorologické sucho jsou například standardní srážkový index (SPI), standardizovaný srážkový evapotranspirační index (SPEI) anebo Palmerův index intenzity sucha (PDSI) (Pena-Gallardo et al., 2019, Palmer, 1965).

Souhrn dalších definic vzniku meteorologického sucha (Novický, 2011):

- Nesmí být naměřen denní úhrn srážek větší než 1 mm v rozmezí 15 po sobě jdoucích dní
- Úhrn srážek za jeden kalendářní rok poklesne na hodnotu 75 % hodnoty dlouhodobého normálu
- Srážkový úhrn nenabude ani jedné třetiny normálního stavu za posledních 21 dní
- Ve srovnání s dlouhodobým průměrem klesne roční úhrn srážek o více než 1,3násobek směrodatné odchylky
- Dlouhodobý roční úhrn srážek dosáhne 60 % průměru a méně ve dvou a více po sobě jdoucích letech na nejméně polovinu plochy dané oblasti

3.4.2 Hydrologické sucho

Hydrologické sucho odkazuje na nedostatek vody v hydrologickém systému, projevuje se abnormálně nízkými hladinami řek, jezer, nádrží a podzemní vody (Tallaksen & Van Lanen, 2004). Je to část většího jevu sucha, který se jeví jako opakující se přírodní nebezpečí (Wilhite & Glantz, 1985).

Hydrologické sucho je vyústěním sucha meteorologického. Důvody výskytu hydrologického sucha jsou složité, protože je závislé nejen na atmosféře, ale také na hydrologických procesech, které dodávají vláhu do atmosféry a způsobují její ukládání

a odtok do vodních toků. (Mishra & Singh, 2010). Eventuálně může být hydrologické sucho vyvoláno teplotními anomáliemi, jako jsou dlouhotrvající mrazy v zimním období na území povodí s převahou sněhu, nebo nízké teploty v letním období v oblastech povodí s převahou ledovců (Van Loon et al., 2014).

Dělit hydrologické sucho můžeme také podle příčin společného působení teplot v různých ročních obdobích a srážek v povodí na (VÚV, 2015):

- sucho v období smíšených srážek;
- sucho zapříčiněné nedostatkem srážek v podobě deště;
- sucho v přechodných období, kdy jsou střídavá vlhká a suchá období (není v ČR);
- sucho v období, kdy je zmrzlý sníh;
- sucho v období, kdy taje sníh;
- smíšené sucho

3.4.3 Půdní sucho

Půdní vlhkost patří na špici těch nejdůležitějších faktorů, které ovlivňují vývoj rostlin. Také je ale závislé na mnoho dalších faktorech, jako jsou výpar, rozložení srážek atd. Půdní sucho můžeme tedy definovat jako deficit vody v kořenové vrstvě půdního profilu, kde má za příčinu poškození vodního režimu volně rostoucích, ale i zemědělských rostlin. Tyto rostliny ovšem na půdní sucho reagují odlišně. Důvodem je, že jednotlivé druhy rostlin mají rozdílnou náročnost na půdní vlhkost. Sucho klimatické, které má za příčinu nedostatek vody ve vrchních patrech půdního horizontu, předchází právě suchu půdnímu. Na území České republiky se vlhkost půdy měří na stanicích a je doplňována modelovými hodnotami (ČHMÚ, 2017).

3.4.4 Dopady sucha na zdroje podzemní vody

Zásoby podzemní vody představují významnou složku životního prostředí, která stabilizuje odtoky vody z území. Z podzemních vod jsou v obdobích s nízkým srážkovým úhrnem podporovány povrchové toky. Účinek podzemních vod pro vyrovnání odtoků z území je v České republice mnohem významnější než všechny existující nádrže. V podzemní vodě je sucho důsledkem nedostatku efektivních srážek a tím způsobené zvýšené vyčerpávání zásob podzemních vod (Castany, 1978). Projev

sucha se vyznačuje vysokým poklesem průměrného dostupného množství vody za výrazného snížení průměrných hladin podzemní vody (EC, 2008).

Podzemní vody jsou ve vzájemném působení s povrchovými vodami, s nimiž se vzájemně ovlivňují v důsledku klimatických, morfologických a geologických podmínek. V minulosti se u povrchových vod zkoumalo hlavně využívání energie, povodňové stavy oproti minimálním průtokům, kterým se věnovala malá pozornost (Kněžek, 2013). U podzemních vod ovšem převládalo jen hodnocení jejich vodárenské využitelnosti. Stav podzemních i povrchových vod, který můžeme nazývat jako dobrý, musí splňovat kvalitativní i kvantitativní požadavky na jejich využívání, ale i na potřeby biologických společenstev, vázaných právě na tyto vody.

3.4.5 Opatření proti suchu

Zájem o téma strategických cílů a opatření k řešení dlouhodobého sucha zajistila v nedávné době až Rámcová směrnice o vodách. Díky schválení této směrnice dochází k zásadním změnám v tématu dlouhodobě udržitelnému, integrovanému přístupu v hospodaření s vodními zdroji, a to i s důrazem na ochranu vodních ekosystémů (MŽP, 2010).

Naplňování strategických cílů však vyžaduje implementaci mnoha opatření, které můžeme rozčlenit do pěti základních skupin. Tyto opatření pokrývají klíčová témata ochrany zásob vody před nedostatkem při následcích sucha. Těchto pět skupin jsou:

- Opatření v podobě platformy podávající informace o suchu a nedostatku vody: v těchto opatřeních jsou důležité body plnění v podobě revizí a doplňování stávající monitorovací sítě s ohledem na sledování sucha. Body zájmu v tomto tématu jsou dále propojení a rozvoj monitoringu sucha, vznik varovných systémů pro sucho, realizace programů zabývajících se hospodařením s omezenými vodními zdroji a nakonec předpověď vývoje stavu vodních zdrojů.
- Posilování a rozvíjení vodních zdrojů: tento bod je jeden z hlavních bodů opatření pro ochranu vodních zdrojů. Obsahuje body jako jsou podpora rozvoje vodárenské infrastruktury, využití moderních technologií ve vodárenství, chránění zdrojů podzemních vod, propojení vodovodních uskupení do vodárenských soustav, stavění víceúčelových přehradních

nádrží, uplatňování nových technologií pro účel umělé a břehové infiltrace pro zvyšování zdrojů podzemních vod, převody vody mezi povodími, rozvoj a modernizování závlah v zemědělství, zvyšování zapojování vodohospodářských soustav a obnovy a výstavby nových závlahových nádrží a zdrojů požární vody v lesním ekosystému.

- Nástroj péče v podobě zemědělství starající se o stav půdy a množství a jakost vody: zde jsou vypsány body jako zvyšování ochrany půdy před erozními účinky, aktualizace bonitace půd s účelem zlepšit ochranu půdy, optimalizování monitoringů stavu zemědělské půdy, zachování nebo zvyšování organické hmoty v půdě, sledování kvality povrchových a podzemních vod v kontextu s využíváním hnojiv a pesticidů, změny zemědělské politiky v sektoru podpory pěstování energetických plodin, podpora zásad precizního zemědělství, rozvíjení ekologického zemědělství a provádění složitých a celkových pozemkových úprav.
- Zesilování retenčních a akumulačních schopností krajiny: v tomto bodě najdeme body jako provádění opatření na lesní půdě, obnovy přirozených funkcí vodních toků a niv, obnovu přirozených vodních prvků krajiny a regulaci odtoku vody z melioračních odvodňovacích zařízení.
- Podpora principů zodpovědného hospodaření s vodou ve všech sektorech: tato opatření mají podobu snižování spotřeby vody v energetice a průmyslu, lepší hospodaření se srážkovými vodami, opakované využívání čištěných odpadních vod a územní plánování.

Tyto opatření se také dají rozdělit podle času působení a podle jejich účelů. Během přijímání těchto opatření je za potřebí zvážit různé aspekty, které zvyšují ochranu před suchem a vybírat a posuzovat dopady, které může daný aspekt způsobovat. Proto tu vznikají nástroje pro řešení těchto problematik. Ty se volí podle následujících pohledů:

- Preventivní a strategické nástroje, které jsou za potřebí přijmout v nejbližší době, protože působí nepřetržitě a odvracejí vznik negativních dopadů sucha a nedostatku vody

- Operativní nástroje jsou přijímány až když suché období nastane. Je jim ale potřeba přichystat podmínky pro legislativní a řídicí procesy tak, aby tato opatření šla zavést neprodleně v případě potřeby (MZe, 2017).

3.5 Povodně

Povodně jsou, stejně jako v minulé podkapitole probírané sucho přírodním fenoménem. Tento jev a jeho nepravidelný výskyt a rozsah s sebou nese negativní vnímání různých rizik, s tímto jevem spojených. Realizace protipovodňových krizových opatření je pak jednou z nejsložitějších situací, se kterými se musí obce a obyvatelstvo ohrožené tímto jevem vypořádat. V České republice se povodně staví do čela vůbec těch největších přírodních katastrof, která mohou mít za následek nejen rozsáhlé škody materiální, ale taktéž ztráty na životech obyvatel ohrožených území. Ekologické škody a poničení kulturních krajín je také jeden z hlavních dopadů při povodňovém stavu. Za doprovodný jev povodní lze také označit dlouhodobě znečištěné povrchové, ale i podzemní zdroje vody, které se tímto mohou kontaminovat, což může mít za následek zdravotní komplikace pro zvířata, ale i pro člověka.

Dělení povodní je podle mezinárodního hlediska rozděleno na základní dva druhy, a to na říční a mořské. Česká legislativa a konkrétně zákon o vodách dělí povodně na povodně způsobené přírodními jevy ať už to je pomocí tání sněhu, působením lesů anebo dešťovými srážkami a na povodně zvláštní, které jsou způsobené jinými vlivy, například protržením vodního díla (Kozák, 2007).

3.6 Přívalové a dlouhotrvající deště

Během přívalových nebo dlouhotrvajících dešťů, kdy jsou úhrny srážek vyšší, než případná evapotranspirace se zvyšuje zásoba podzemních vod do té doby, dokud nenastane překročení její maximální kapacity. Pokud je tento stav dosažen, tak dochází k takzvané perkolaci z půdy, která je schopna rychlého dosažení vodního toku v podobě hypodermického odtoku, nebo může dotovat zásoby podzemních vod. K povrchovému odtoku dochází nejvíce za přítomnosti intenzivních, dlouhotrvajících dešťů (Horáček et al., 2009).

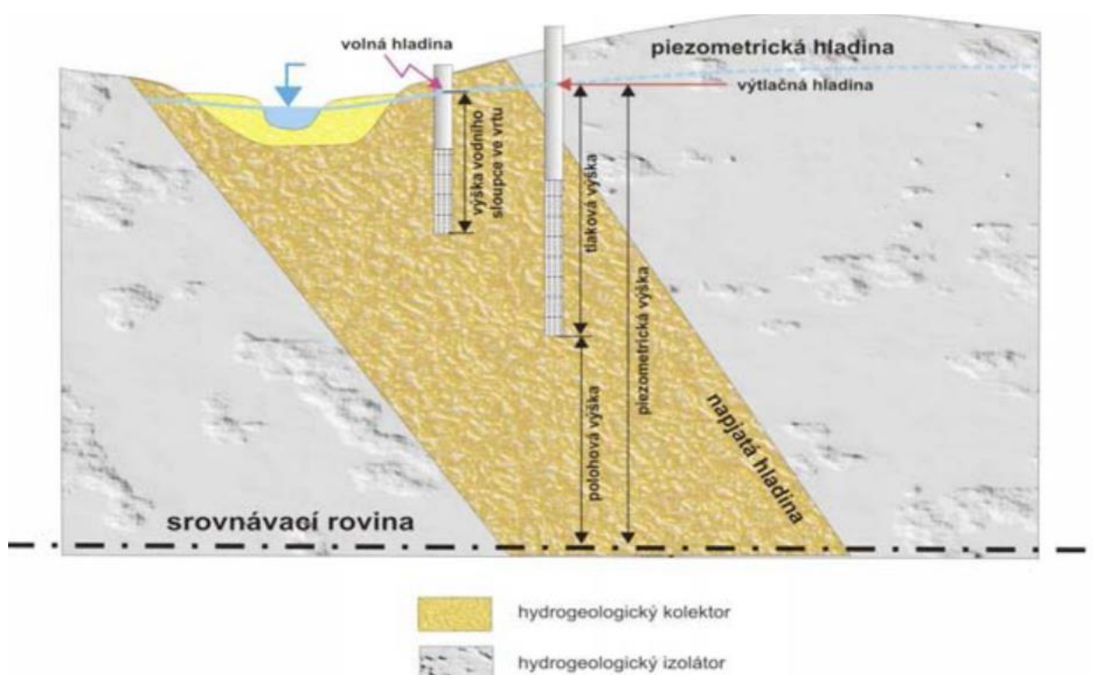
3.7 Vrtý pro pozorování podzemní vody

Vrtý, určené pro pozorování podzemních vod, jsou určeny ke sledování hydrogeologických údajů. Konkrétně se jejich pomocí měří hladina podzemní vody. Průběh i kolísání hladiny záleží na prostorové geometrii a na směru hydraulického gradientu. Výšková úroveň hladiny podzemních vod není časově stálá, ale proměnlivá. Kolísavá tendence je závislá na několika faktorech, kterými jsou například srážky, kolísání hladiny ve vodních tocích, umělých zásazích hydraulického charakteru a podobně. To jsou důvody, proč je dlouhodobé pozorování hladiny podzemní vody tolik důležité. Údaje, které nám poskytují pozorovací vrtý, jsou důležité k celkovému přehledu o funkčnosti vrtů jímacích. Rozdíl hladin, která se zvětšuje v obou vrtech, může poukazovat na možné problémy s vystrojením jímacího vrtu. Při shodných trendech změn hladiny podzemní vody je možné tyto změny přiřknout změně klimatických podmínek. Pozorovací vrtý jsou tak důležité pro schopnost, která nás upozorňuje na měnící se zásoby podzemní vody (KVHEM, 2006).

Svislá vzdálenost hladiny podzemní vody od terénu je hloubka hladiny podzemní vody. Když se jedná o napjatou hladinu podzemní vody, tak ta se nazývá piezometrickou výškou. Piezometrická hladina, která vystoupá ve vrtu nad terén je kladná. Jedná se o vodu artéskou. Hladina pod terénem je záporná. K měření piezometrické úrovně, tedy vzdálenosti hladiny od odměrného bodu, se využívá hned řada přístrojů. Tyto přístroje mohou být např. Rangova píšťala, manometr ale mohou to být i elektrické hladinoměry a datalogery (MŽP, 2010).



Obr. č. 4) Hydrogeologický vrt s kladnou úrovní piezometrické hladiny, která způsobuje přirozený přeliv (MŽP, 2010)



Obr. č. 5) Pojmy při měření hladiny podzemní vody (MŽP, 2010)

Český hydrometeorologický ústav provozuje jako jediný na našem území celoplošnou pozorovací síť podzemních vod. V roce 2021 bylo sledováno 1792 objektů. Vrty a prameny jsou využívány pro týdenní a měsíční hodnocení stavu podzemních vod.

Ve svrchní části geologické vrstvy v nejmladších útvech (čtvrtohorních) měří úroveň hladiny mělké vrty. Reprezentují je převážně říční sedimenty a sedimenty, vzniklé zvětráváním mateční horniny. Hodnoty hladiny v hlubokých vrtech představují úroveň podzemních vod v podložních strukturách s vyloučením vlivu pokryvných útvarů s volnou nebo napjatou hladinou a zpravidla reagují na srážkově vlidná období se značným zpožděním – často to je i víceletý chod. Pramenní vývěry představují přirozený odtok podzemních vod z různých struktur a to jak mělkých tak i hlubších, proto některé prameny reagují na srážkově příznivá období s větším zpožděním (ČHMÚ, 2022).

Systematické pozorování podzemních vod bylo zahájeno na trase kanálu Dunaj — Odra — Labe na přelomu 30. a 40. let minulého století. Některé z těchto objektů byly zařazeny do státní pozorovací sítě a stále se na nich pozoruje. Pozorovací síť ČHMÚ vznikala postupně v letech 1957–1969, až na výjimku v podobě pozorovacích sítí hlubších zvodní, které jsou obvykle monitorovány až od roku 1991. V nadcházejícím období byla síť postupně doplňována a upravována. Koncepce pozorovací sítě byla vyjádřena již v počátku, kdy objekty byly rozděleny na:

- pozorovací síť pramenů, které sledovali jejich vydatnost a teplotu vody, prameny byly vybírány na základě jednotné metodiky celoplošného průzkumu;
- pozorovací síť mělkých zvodní, která byla umístěna do poríčních zón a přilehlých terasových stupňů, vytvořenou podle projektů z počátku 60. let;
- pozorovací síť hlubokých zvodní, která byla tvořena z vrtů regionálního hydrogeologického průzkumu z 60. až 90. let minulého století (ČHMÚ, 2022).

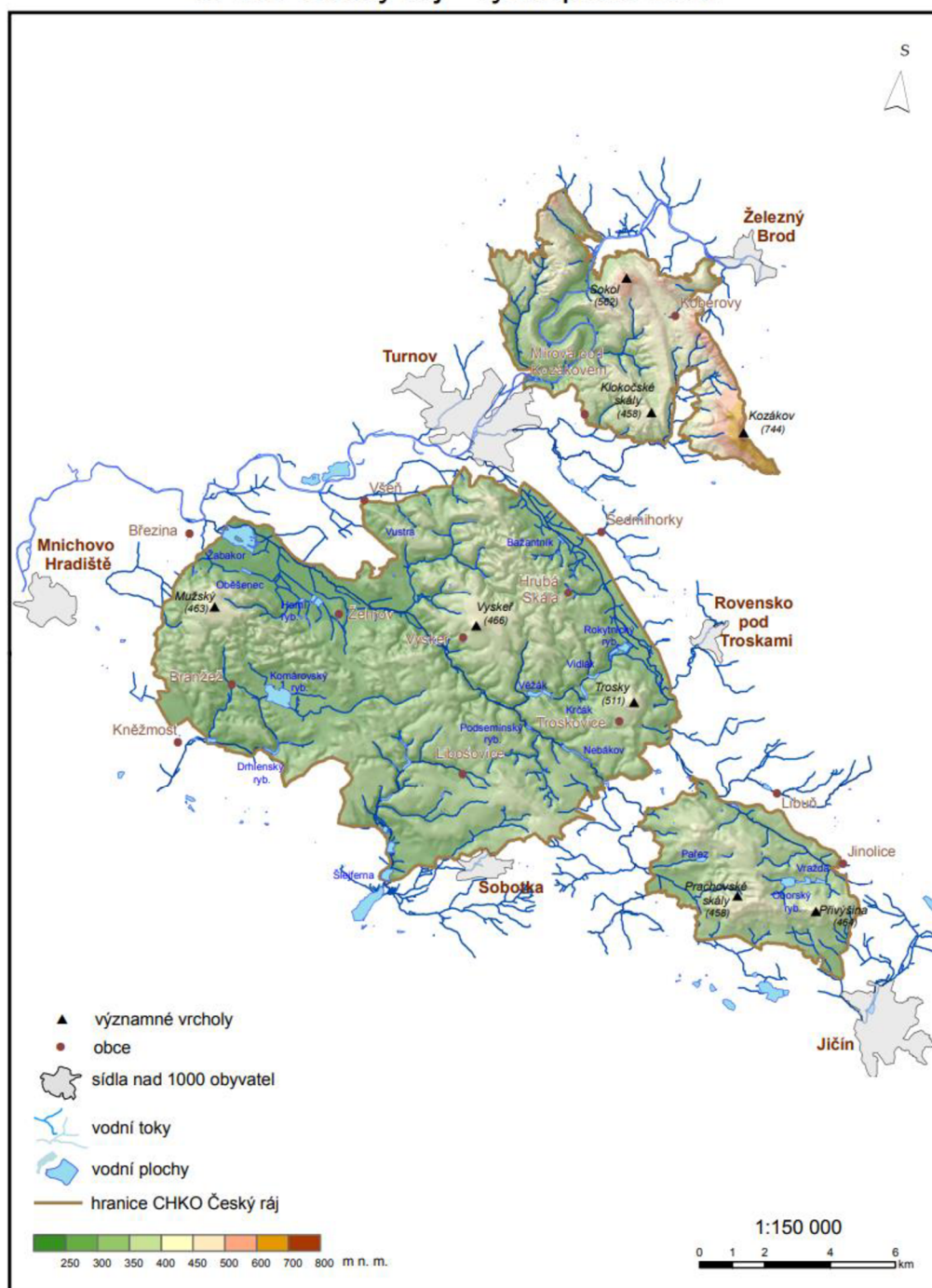
Zpracovaná data jsou využita při rozhodování o ochraně vodních zdrojů, stejně jako pro ochranu životního a přírodního prostředí. Jsou také výchozím podkladem pro hydrologickou a vodohospodářskou bilanci a zjišťování stavu podzemních vod.

Dalším zpracováním dat lze určit množství podzemních vod, které je k dispozici a tvoří součást průtoku v povrchovém toku, tedy tzv. základní odtok. Tyto výpočty se dělají pro desítky jednotlivých povodí a poté jsou převáděny na hydrogeologické oblasti. Jsou velmi významné při zvažování možností využití podzemních vod (Brázdil et al., 2015).

3.8 Popis zájmového území

Území CHKO Český ráj (dále jen Český ráj) je svou rozlohou přítomen ve třech různých krajích a to jsou: Středočeský kraj, Královehradecký kraj a Liberecký kraj. Celková rozloha tohoto území je 181 km² (AOPK ČR, 2022). Český ráj je vzdálen přibližně 70 km severo-východně od okraje hlavního města Prahy. Nejvyšším vrcholem Českého ráje je Kozákov (744 m n.m.) a naopak nejnižším bodem je rybník Žabakor (236 m n.m.) (Šoltysová, 2012). Tato oblast byla vyhlášena jako CHKO v roce 1955, což ji činí nejstarší CHKO na území ČR.

CHKO Český ráj - výškopis a reliéf



autor: Ladislav Matouš © AOPK ČR, S CHKO Český ráj, 2008
podkladová data: © ČUZK, © AOPK ČR

Obr. č. 6) Mapa CHKO Český ráj (AOPK ČR, 2022)

3.8.2 Geologie CHKO Český ráj

CHKO Český ráj je znám především svými skalními městy, které mají základ v podobě kvádrových pískovců, které vznikaly zpevňováním písku naplaveného do druhohorního moře. V období třetihor v této oblasti probíhala sopečná činnost, díky které se horniny zpevňovali a postupným zvětráváním a odnosem sedimentů se tedy tvořily nynější kopce. V čase třetihor se na toto území také nanášely říční štěrkopíský. Ze čtvrtohor jsou zde také uloženy říčních sedimentů, relikty spraší navátých v dobách ledových, suťových plášťů a smíšených svahovin. V dnešní době převládá zvětrávání a odnos. Nové horniny tak vznikají jen za pomoci rašelinišť, slatinišť anebo srážením vápenců ze silně zmineralizovaných pramenů (AOPK ČR, 2022).

3.8.3 Hydrologie na území CHKO Český ráj

Český ráj se nachází v povodí Labe, v dílčím povodí Jizery a malou částí území Prachovských skal i v dílčím povodí Cidliny. Jizera protéká v severní části tohoto území. Její spád má 2 promile a tím tvoří erozní bázi přílehlého členitého území. Jizera se člení mezi nejvodnatější toky v povodí Labe. Jarní tání sněhu zapříčiňuje i několik povodňových průtoků během roku. Jako další významnější toky na tomto území můžeme zařadit Žehrovku a Libuňku a mnoho dalších menších vodních ploch a toků. Co se týče podzemních vod, tak centrální část CHKO Český ráj se řadí do regionu mělkých podzemních vod. Důvod tohoto zařazení je, že zde probíhá celoroční doplňování zásob. Průměrný specifický odtok je hodnocen na méně než 1 litr za sekundu na kilometr čtverečný (AOPK ČR, 2022).

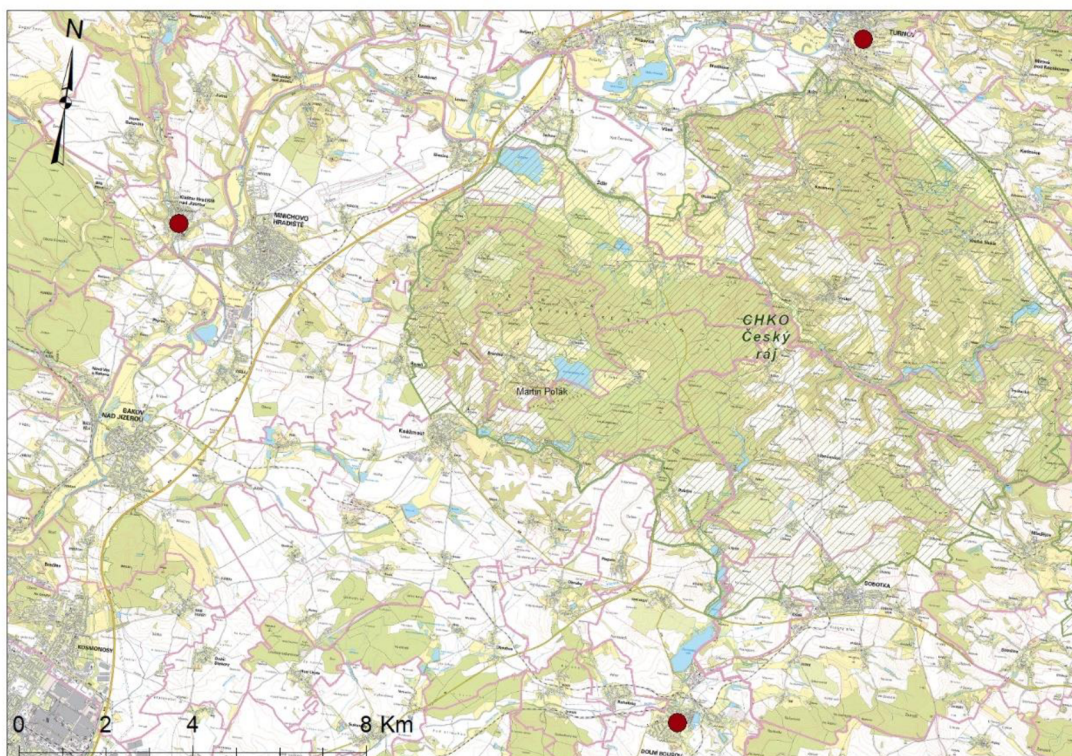
3.8.4 Klimatické podmínky na území CHKO Český ráj

Tato oblast se nachází ve dvou klimatických zónách, a to v mírně teplé a chladné. Z největší části je to mírně teplá oblast s dlouhým, teplým a mírně suchým létem, krátkými přechodnými obdobími s mírně teplým jarem a mírně teplým podzimem, krátkou zimou mírně teplou a velmi suchou s výrazně krátkým trváním pokryvu sněhem. Chladnou oblast poté nalezneme pouze na Kozákově a charakterizuje se krátkým až velmi krátkým létem, mírně chladným, vlhkým až velmi vlhkým s dlouhým a chladným přechodným obdobím. Jaro a podzim jsou mírně chladné. Zima je velmi dlouhá, mírně chladná, s dlouhým trváním sněhové pokrývky. Průměrná roční teplota je 7–8 stupňů celsia a průměrný roční úhrn srážek je 550–650 mm (AOPK ČR, 2022).

4 Metodika

4.1 Data použita k vyhodnocení daných otázek

Ve zkoumané oblasti byly vybrány tři lokality, které byly vyhodnoceny jako významné pro poskytnutí potřebných dat pro výpočty. Tyto lokality vrtů a meteorologických stanic se nachází v Dolním Bousově, Klášteře Hradiště nad Jizerou / Jivíně a Turnově a jsou vyobrazeny na obr. 3.



Obr. č. 8) Vyobrazení lokalit na mapě (Český úřad zeměměřický a katastrální, 2022)

Pro získání těchto dat byla kontaktována vládní agentura Český hydrometeorologický ústav, která poskytla data z vrtů VP0631 (Turnov), VP0653 (Klášter Hradiště nad Jizerou) a VP0660 (Dolní Bousov). U srážkových dat byl problém v podobě nedostatečně obsáhlých dat v případě Klášteře Hradiště nad Jizerou. Proto tedy byla vybrána data z velmi blízko nacházející se meteorologické stanice v obci Jivina, která už byla dostatečně obsáhlá a odpovídající pro další operace s nimi. Se srážkovými daty ze zbývajících dvou lokací následně nevznikly tyto problémy. Soubor s hodnotami teplot byl použit jen z jedné lokality, a to z Turnova. Pro výpočty s teplotami totiž postačuje jen tato lokalita, a to i z důvodu poměrně malé rozlohy zkoumaného území, kde není teplotní rozptyl významný. Data byla v nevyhovujícím formátu, a tak byly použity programy pro úpravu a zpracování dat jako RStudio – R

version 4.1.2, Microsoft Office 365 Excel (dále jen RStudio a MS Excel). V aplikaci MS Excel byla tato data uspořádána do tabulek ve formě, která se hodila pro další zpracování a exportována do formátu .txt, který následně sloužil pro kompatibilitu s programem RStudio. Původně tyto soubory dat obsahovaly data z vrtů v denních a týdenních intervalech. V RStudiosu tedy byla data z vrtů agregována do měsíčních hodnot.

4.2 Popisná statistika datových souborů srážek a hladin podzemní vody v daných lokalitách

Ze zpracovaných dat v podobě matic s měsíčními průměry srážek a hladin podzemní vody na lokalitách Turnov, Klášter Hradiště nad Jizerou / Jivina a Dolní Bousov byla vypočítána základní popisná statistika. V případě srážkových dat byly použity statistické ukazatele v podobě střední hodnoty, chyby střední hodnoty, medián, modus, směrodatná odchylka, rozdíl maximální a minimální hodnoty, maximální hodnota, minimální hodnota a celkový součet. V jednotlivých datových sadách pro hodnoty srážek i hladin podzemní vody tedy byla použita aplikace MS Excel pro výpočet této popisné statistiky a konkrétně byla analýza vypracována za pomoci zabudované funkce Analýzy dat. Tyto soubory dat obsahovaly data měsíčních průměrů ve zkoumaném období 1990-2019. V případě dat, obsahujících hodnoty hladiny podzemní vody se z důvodu výpovědní hodnoty výsledků použily statistické ukazatele v podobě střední hodnoty, chyby střední hodnoty, medián, modus, směrodatná odchylka, rozptyl výběru, rozdíl maximální a minimální hodnoty, maximální hodnota a minimální hodnota v souboru dat. Vynechání nebo nahrazení některých statistických ukazatelů mezi srážkami a hladinami podzemní vody je dané tím, že tyto nahrazené ukazatele nemají výpovědní hodnotu pro ten druhý soubor analyzovaných dat.

4.3 Použití Pearsonova korelačního koeficientu pro zhodnocení stavu srážek a hladin podzemních vod

Korelace je proces, při kterém dochází k hledání souvislosti mezi dvěma nezávislými veličinami. Pearsonův korelační koeficient tedy číselně vyjadřuje těsnost korelace. Hodnota tohoto indexu vyjde v intervalu od -1 do 1, kde -1 představuje nejmenší těsnost korelace, a naopak hodnoty blíží se k 1 korelaci nejvíce těsnou. Pro soubor vzájemně přiřazených proměnných hodnot X a Y v celkovém počtu N lze korelační koeficient vypočítat takto (Pohanka, 2010):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N XY - \frac{\sum_{i=1}^N X \sum_{i=1}^N Y}{N}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^N X^2 - \frac{(\sum_{i=1}^N X)^2}{N}\right)\left(\sum_{i=1}^N Y^2 - \frac{(\sum_{i=1}^N Y)^2}{N}\right)}}$$

Obr. č. 9) Vzorec pro výpočet Pearsonova korelačního koeficientu (Pohanka, 2010)

Pro naše data byla ale použita funkce v aplikaci MS Excel ve tvaru (=PEARSON(X;Y)) a to pro různá vzájemná zpoždění hladiny podzemní vody vůči srážkám v daných lokalitách. V případě této práce byly použity intervaly zpoždění čtvrtroční, půlroční a roční. To z důvodu postupného vsakování vody do půdy, kdy je důležité posoudit délku časového zpoždění infiltrace vody. Pro tyto intervaly následně byly vyhodnoceny korelace tímto způsobem.

4.4 Vytvoření grafů pro porovnání vývoje hladiny podzemní vody ve sledovaných vrtech bez vzájemného zpoždění

S datovými sadami v podobě hodnot hladiny podzemní vody na pozorovacích lokalitách byly vypracovány tabulky s daty ve čtvrtletních intervalech pro lepší interpretaci a názornost výsledků, ze kterých byly vytvořeny grafy pro výsledné porovnání vývoje hladiny podzemní vody ze všech třech lokalit. Vše bylo provedeno v aplikaci MS Excel.

4.5 Vytvoření grafů pro porovnání průměrných úhrnů srážek ve zkoumaných lokalitách bez vzájemného zpoždění

S daty v podobě měsíčních průměrů úhrnů srážek v daných lokalitách byly zpracovány tabulky s daty ve čtvrtletních intervalech pro lepší ztvárnění a názornost výsledků stejně, jako u grafů týkajících se hladiny podzemní vody. Tyto grafy slouží k vzájemnému porovnání průměrného měsíčního úhrnu ve všech třech lokalitách. Vše bylo provedeno v aplikaci MS Excel.

4.6 Výpočet indexu sucha

Tento index s označením P-T dává do souvislosti v případě této práce měsíční srážkové úhrny a měsíční průměrné teploty. Opět byla použita data v podobě hladiny

podzemní vody ze tří vrtů VP0631 (Turnov), VP0653 (Klášter Hradiště nad Jizerou) a VP0660 (Dolní Bousov). Soubor hodnot průměrných měsíčních teplot byl použit z meteorologické stanice v Turnově. V programu MS Excel se tento index vypočítal jako $(=P/T)$, kde P je měsíční úhrn srážek a T je průměrná teplota v tom samém měsíci. Tento index lze však použít jen pro období, kdy je teplota $T > 0$ °C. Proto tedy bylo vybráno období v každém roku, kde byla tato podmínka splněna a pro každý rok to byly měsíce březen-listopad. Výsledné hodnoty poté poukazují na suchá období a kritériem pro určení výsledku z tohoto indexu je, že čím nižší je hodnota indexu, tím je tepleji a je i menší průměr srážek. Proto bylo zapotřebí také určit mezní hodnoty míry ohrožení suchem. Podle těchto mezních hodnot jsme určili, kolik měsíců v období let 1990-2019 se nacházelo v různých rizikových intervalech tohoto indexu. Pro určení míry rizika ohrožení suchem byla použita funkce $(=PERCENTIL.EXL(\text{matice}; k))$, kde matice představuje soubor hodnot P-T indexu pro každý měsíc a k představuje percentil. Pro různá rizika byly použity různé percentily. Pro zvýšené riziko 25 %, pro vysoké riziko 15 % a pro extrémní riziko 5 % (VÚV, 2011).

5 Výsledky

5.1 Popisná statistika

V popisné statistice byly pro zkoumané lokality postupně spočteny hodnoty pro srážková data v podobě střední hodnoty, chyby střední hodnoty, medián, modus, směrodatná odchylka, rozdíl max-min, minimum, maximum a celkový srážkový úhrn za analyzované období. Všechny tyto údaje jsou uváděny v milimetrech podle dat srážkových. Jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tabulka č. 2) Popisná statistika srážek na daných územích

| Srážky (mm) | Turnov | Klášteř Hradiště nad Jizerou / Jivina | Dolní Bousov |
|--------------------|-----------|---------------------------------------|--------------|
| Stř. hodnota | 56,599 | 56,609 | 49,989 |
| Chyba stř. hodnoty | 1,745 | 1,785 | 1,589 |
| Medián | 50,600 | 51,300 | 42,450 |
| Modus | 34,500 | 40,300 | 12,800 |
| Směr. odchylka | 32,967 | 33,861 | 30,151 |
| Rozdíl max-min | 194,800 | 220,200 | 204,900 |
| Minimum | 1,300 | 2,700 | 0,900 |
| Maximum | 196,100 | 222,900 | 205,800 |
| Součet | 20205,700 | 20379,100 | 17996,100 |

Pro popisnou statistiku dat hladin podzemní vody byly jako relevantní použita analytická data v podobě střední hodnoty, chyby střední hodnoty, medián, modus, směrodatná odchylka, rozptyl výběru, rozdíl max-min, minimum a maximum. Všechny tyto hodnoty jsou uvedeny v metrech nad mořem podle dat hladin podzemní vody. Jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v tabulce š. 3.

Tabulka č. 3) Popisná statistika hladiny podzemní vody na daných územích

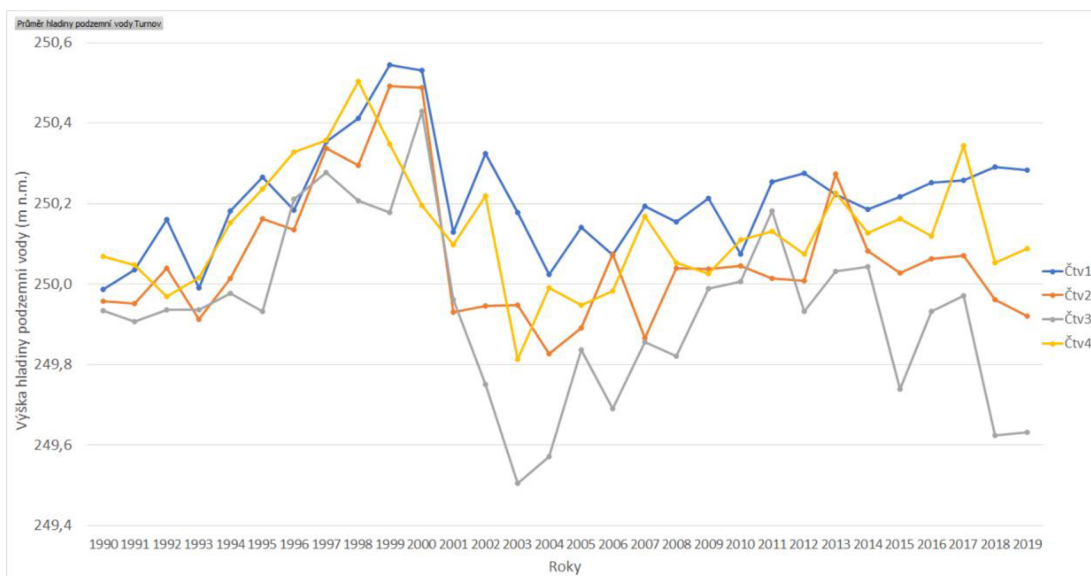
| Hladina podzemní vody (m n.m.) | Turnov | Klášteř Hradiště nad Jizerou / Jivina | Dolní Bousov |
|--------------------------------|---------|---------------------------------------|--------------|
| Stř. hodnota | 250,085 | 218,736 | 233,956 |
| Chyba stř. hodnoty | 0,011 | 0,012 | 0,013 |
| Medián | 250,098 | 218,680 | 233,971 |
| Modus | 249,960 | 218,698 | 233,950 |
| Směr. odchylka | 0,217 | 0,219 | 0,246 |
| Rozptyl výběru | 0,047 | 0,048 | 0,060 |
| Rozdíl max-min | 1,194 | 1,547 | 1,339 |
| Minimum | 249,433 | 218,128 | 233,104 |
| Maximum | 250,626 | 219,675 | 234,443 |

5.2 Grafy pro porovnání vývoje hladin podzemní vody mezi sebou

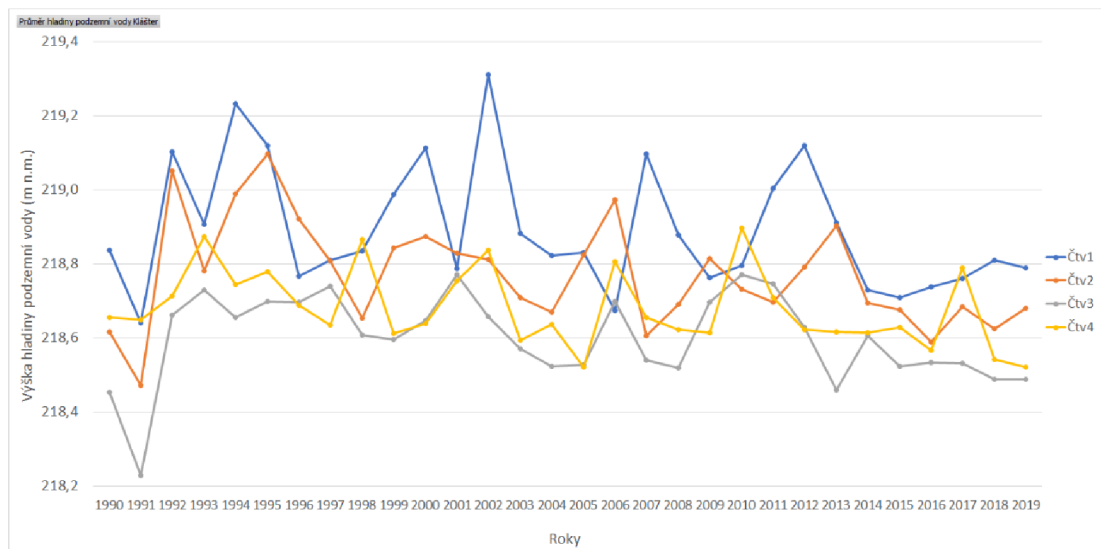
Pro vzájemné porovnání hladin podzemní vody ve zkoumaných objektech byly pro prezentaci výsledků použity grafy, které poukazují na vývoje hladin v daných vrtech VP0631 (Turnov), VP0653 (Klášter Hradiště nad Jizerou) a VP0660 (Dolní Bousov).



Obr. č. 10) Graf čtvrtletních průměrů hladiny podzemní vody Dolní Bousov (VP0660)



Obr. č. 11) Graf čtvrtletních průměrů hladiny podzemní vody Turnov (VP0631)

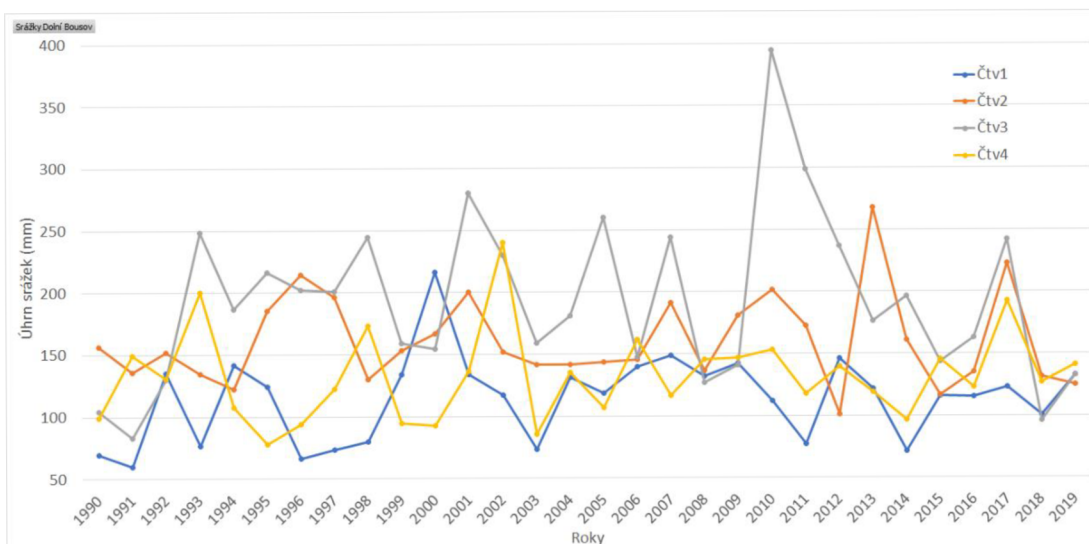


Obr. č. 12) Graf čtvrtletních průměrů hladiny podzemní vody Klášter (VP0653)

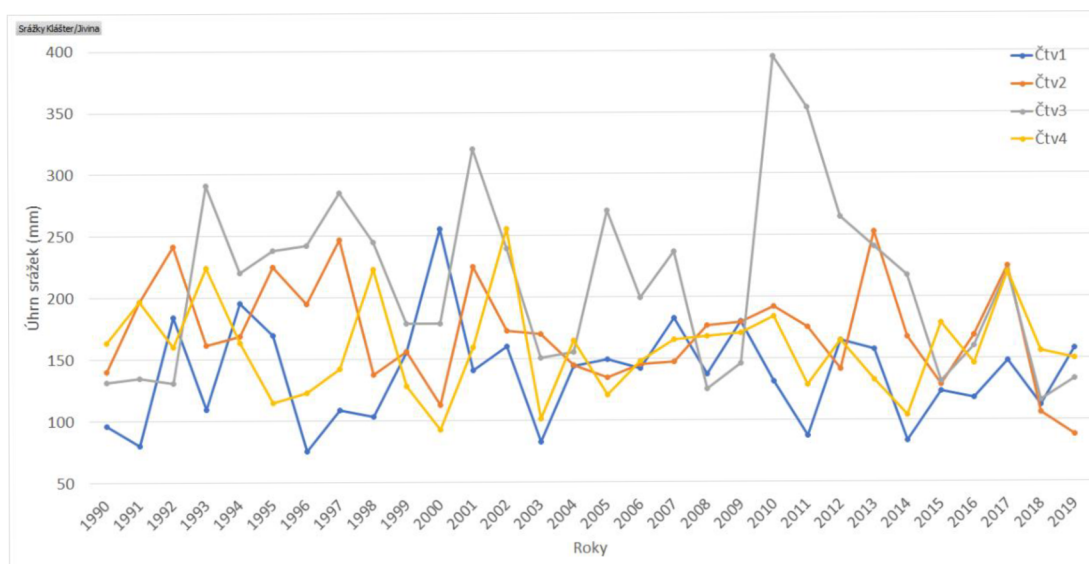
Tyto grafy ukazují průměrné čtvrtletní hodnoty pro všechny roky v pozorovaném období 1990–2019. Z grafů je zřetelný údaj v podobě výšky hladiny podzemní vody ve většině prvních čtvrtletích ze všech roků u třech lokalit, kdy je tato hodnota z celého roku absolutně nejvyšší. Naopak relativně nejnižší hladiny podzemní vody u všech lokací se nacházejí během třetího čtvrtletí po většiny roků. Hodnoty ve druhých a čtvrtých čtvrtletích všech let mají velmi podobný průběh s mírně vyšší hladinou ve druhých čtvrtletích. U vrtu (VP0631) v Turnově můžeme pozorovat patrný postupný nárůst hladiny mezi léty 1993 až 1999, který je však ale následován velmi výrazným poklesem hladiny v letech 2000–2003, s mírným nárůstem v roce 2002, kdy se vyskytl na území České republiky povodně. Ty však ale sever Čech nezasáhli v takovém měřítku, jako jiné regiony v České republice (Bouček, 2005). Konkrétní hodnoty hladin jsou potom důležité jen u konkrétního vrtu. Při vzájemném porovnávání hladin podzemní vody z více vrtů je více vypovídající údaj průběhu hladiny vody než samotné hodnoty hladiny, protože každý vrt se nachází v jiné nadmořské výšce.

5.3 Grafy pro porovnání čtvrtletních úhrnů srážek mezi sebou

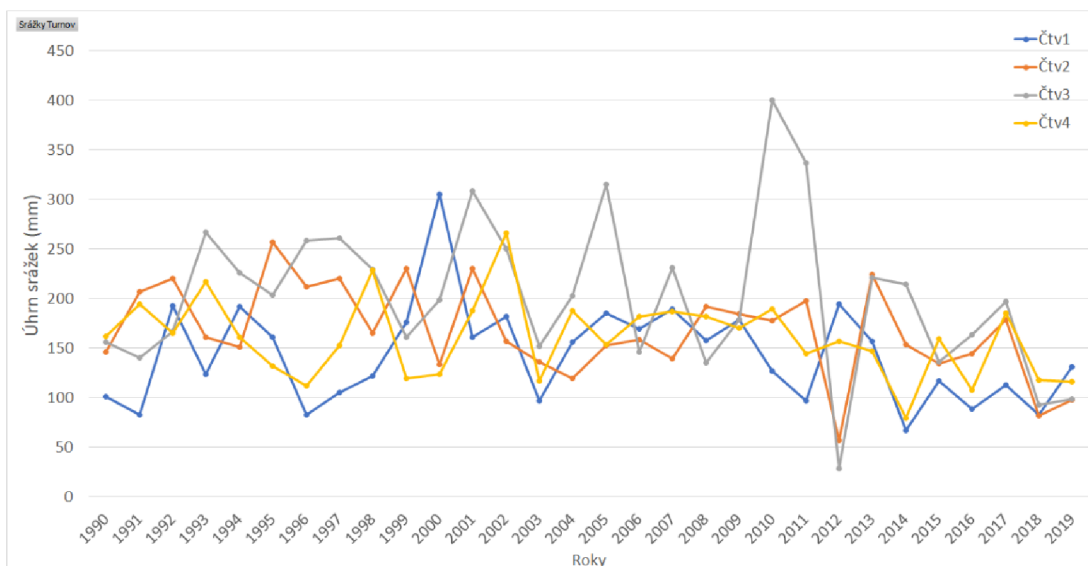
Pro vzájemné porovnání úhrnů srážek ve zkoumaných lokalitách byly použity jako výsledky grafy, které poukazují na vývoje srážkových úhrnů v Turnově, Klášteře Hradišti nad Jizerou a Dolním Bousově.



Obr. č. 13) Graf s úhrny srážek v Dolním Bousově



Obr. č. 14) Graf s úhrny srážek v Klášteře / Jivíně



Obr. č. 15) Graf s úhrny srážek v Turnově

Stejně jako grafy průměrných hladin podzemní vody ukazují čtvrtletní hodnoty pro všechny roky v pozorovaném období 1990–2019. Už na první pohled je ze všech třech grafů zřetelný velmi podobný trend úhrnů v jednotlivých letech. Výraznou hodnotou, která se mezi všemi vyjímá je hodnota ze třetího čtvrtletí roku 2010, kdy ve všech třech lokalitách byl srážkový úhrn kolem 400 mm. Naopak za nejnižší můžeme považovat období prvních čtvrtletí v jednotlivých letech, kde jsou ve většině případů úhrny srážek nejnižší a v některých letech se tu hodnota dostává jen na hodnotu kolem 50 mm.

5.4 Vztah srážek k hladinám podzemní vody

Data poskytnutá Českým hydrometeorologickým úřadem umožnila za pomoci výpočtů Pearsonovým korelačním koeficientem přinést výsledky, pomocí kterých byly zhodnoceny vztahy srážek a hladin podzemní vody pro různá časová zpoždění.

Tabulka č. 4) Výsledky Pearsonova korelačního indexu

| Se čtvrtletním zpožděním | | |
|--------------------------|----------------|--------|
| Turnov | Klášteř/Jivina | Bousov |
| 0,224 | 0,114 | 0,240 |
| S půlročním zpožděním | | |
| Turnov | Klášteř/Jivina | Bousov |
| 0,317 | 0,464 | 0,386 |
| S ročním zpožděním | | |
| Turnov | Klášteř/Jivina | Bousov |
| -0,208 | -0,222 | -0,202 |

V tabulce č.4 je vidět vypočtený Pearsonův korelační index pro všechny tři lokality ve zmiňovaných třech časových odstupech mezi úhrnem srážek a hladinou podzemní vody. Výsledky indexu jsou rozděleny do tří typů podle zpoždění naměřené hodnoty podzemní vody vůči hodnotám měsíčních úhrnů srážek a do tří odlišných lokalit. Pro Turnov vyšla hodnota vypočítaná se čtvrtletním zpožděním 0,224, hodnota s půlročním zpožděním je 0,317 a hodnota s ročním zpožděním je -0,208. Pro Klášter Hradiště nad Jizerou spojený s daty z Jiviny platí hodnoty se čtvrtletním zpožděním 0,114, s půlročním zpožděním 0,464 a s ročním zpožděním -0,222. V případě Dolního Bousova je hodnota se čtvrtletním zpožděním 0,240, s půlročním zpožděním 0,386 a s ročním zpožděním -0,202. Hodnoty s půlročním zpožděním jsou nejvyšší, zatímco s ročním zpožděním jsou hodnoty záporné, což znamená, že se neprokazuje souvztažnost těchto dvou ukazatelů, jimiž jsou srážkové úhrny a hladiny podzemní vody. Hodnoty se čtvrtletním zpožděním jsou potom co se týče hodnot kladných nejbližší k nule. U všech vrtů se vyskytuje stejný trend korelačního indexu. Předpokladem tohoto měření bylo, že se prokáže závislost mezi srážkovými úhrny a hladinou podzemní vody. Tento výsledek se ovšem neprokázal pro žádný ze tří testovaných časových odstupů mezi srážkami a hladinou podzemní vody. Je zde ale jedna výjimka v podobě lokality Klášter/Jivina, kde hodnota korelačního koeficientu dosáhla 0,5. Tento výsledek by však stále musel být statisticky otestovaný, aby se dal považovat za prokazatelný.

5.5 P-T index

Pro vyobrazení výsledků v podobě počtu měsíců slouží tabulka, která poukazuje na to, kolik měsíců se v daném období (1990-2019) nacházelo v konkrétních mírách ohrožení suchem.

Tabulka č. 5) Počty měsíců v daných intervalech rizika ohrožení suchem

| Stanice | Roky | Charakteristika | <Q25% | <Q15% | <Q5% |
|----------------|-----------|----------------------------|-------|-------|-------|
| Klášter/Jivina | 1990-2019 | mezí hodnota indexu | 2,886 | 2,329 | 1,137 |
| | | počet zaznamenaných měsíců | 27 | 27 | 13 |
| Dolní Bousov | | mezí hodnota indexu | 2,611 | 1,934 | 1,164 |
| | | počet zaznamenaných měsíců | 27 | 27 | 13 |
| Turnov | | mezí hodnota indexu | 2,971 | 2,123 | 1,048 |
| | | počet zaznamenaných měsíců | 27 | 27 | 13 |

Pro každou stanici byl vypočítán index sucha P-T, při kterém byla použita data srážkových úhrnů a průměrných teplot z daných oblastí v měsíčních intervalech

(březen-listopad). Mezní hodnota indexu pro zvýšené riziko suchého období (<Q25%) byla vypočítána na hodnotu 2,886 pro stanici v Klášteře Hradišti nad Jizerou/ Jivině, 2,611 pro stanici v Dolním Bousově a 2,971 pro stanici v Turnově. Počet zaznamenaných měsíců v tomto období se zvýšeným rizikem sucha je pro všechny tři lokality totožný, a to 27 měsíců. Mezní hodnota indexu vysokého rizika suchého období (<Q15%) byla vypočtena na hodnotu 2,329 na stanici v Klášteře Hradišti nad Jizerou/ Jivině, 1,934 na stanici v Dolním Bousově a 2,123 na stanici v Turnově. Počet zaznamenaných měsíců v období vysokého rizika sucha byl opět totožný ve všech třech lokacích, a to s hodnotou 27. Mezní hodnota indexu extrémního rizika suchého období (<Q5%) byla vypočtena na hodnotu 1,137 v Klášteře Hradišti nad Jizerou/ Jivině, 1,164 na stanici v Dolním Bousově a 1,048 v Turnově. Počet zaznamenaných měsíců v období extrémního sucha byl znovu totožný ve všech třech lokacích, nyní se ale jedná o 13 měsíců v letech 1990-2019.

6 Diskuse

V lokalitě CHKO Český ráj byl trend hladiny podzemní vody ve vrtech VP0631 (Turnov), VP0653 (Klášteř Hradiště nad Jizerou) a VP0660 (Dolní Bousov) v některých letech velmi podobný. To může být zapříčiněno stejnými klimatickými i hydrologickými podmínkami v daných letech. Spojitost mezi úhrny srážek a hladinou podzemní vody je pozorovatelná zejména v intervalu půlročního zpoždění, kde výsledky sice nevykazují spojitost úplnou, ale je zřejmé, že zejména v lokalitě Klášteřa Hradiště nad Jizerou se úhrny srážek zapojují do bilance hladiny podzemní vody v pozitivním měřítku.

Z výsledků je také patrné, že hladina podzemní vody dosahuje nejvyšších hodnot v prvních čtvrtletích jednotlivých let. Příčina tohoto jevu může mít základy právě v půlročním zpoždění, kdy je z grafů zřejmé, že ve třetích čtvrtletích jsou úhrny srážek nejvyšší. O půl roku posunutý interval hladiny podzemní vody tzn. první čtvrtletí daných let, tedy dosahuje také nejvyšších hodnot. Ovšem tato interpretace jevu nemusí být správná.

Je zde totiž mnoho dalších faktorů, které nám zasahují do schopnosti půdy infiltrovat vodu. Z důvodu přivalových dešťů voda rychle odtéká povrchovým odtokem pryč z povodí a znemožňuje tak pozvolné infiltraci vody z toku za normálního stavu. Přivalové deště totiž mají intenzitu takovou, kdy půda nedokáže vsakovat velké množství vody za krátký čas, a tak po povrchu odtéká přímo z povodí nebo vodních ploch. Reliéf území CHKO Český ráj také hraje významnou roli při schopnosti infiltrace vody do půdy. Kopcovitý charakter oblasti přispívá totiž k rychlejšímu povrchovému odtoku vody. Voda se pak nemá čas vsáknout úplně a povrchovým prouděním vody vzniká eroze.

Dalším nyní ale pozitivním faktorem je také sněhová pokrývka, která se vytváří v zimním období, a právě v prvním čtvrtletí daného roku pomalu odtává a vsakuje se do půdy, kde doplňuje zásoby podzemní vody. V této oblasti však sněhová pokrývka nenabývá takového objemu, aby bylo množství vody z ní tolik významné. Tuto teorii doplňují výsledky pozitivního vztahu srážek a podzemní vody v určitých obdobích. Jedním z těchto výsledků je například období rekordních srážkových úhrnů ve třetím čtvrtletí roku 2010, kdy se hladiny podzemních vod ve všech třech vrtech v prvním čtvrtletí r. 2011 zvýšily přibližně o 0,2 m.

Peták (2021) ve své práci zkoumal změny zásoby podzemní vody v oblasti Praha-Ruzyně s intervaly hladin podzemních vod zpožděných o 1 až 12 týdnů. Tato práce nenalezla žádnou spojitost mezi úhrny srážek a hladinou podzemní vody v těchto intervalech. Proto byly pro tuto práci vybrány intervaly čtvrtletní, půlroční a roční.

Suchá období, která jsou jen nárazová, nemají výrazné důsledky na delší časové intervaly, kdy by se hladina podzemní vody vyskytovala pod průměrem. Nárazové malé poklesy hladin podzemní vody vztažené k suchému období sice můžeme pozorovat, ty ale zásadně neovlivňují celkové zásoby podzemní vody. Tento jev může být také porovnán s prací Petáka (2021), který uvádí referenční mezní hodnoty P-T indexu pro zvýšené riziko suchého období 0,94 oproti průměrné hodnotě spočtené pro účely této práce cca 2,8. O tolik vyšší referenční hodnota znamená větší poměr srážek oproti teplotám.

Z pohledu dané časové osy, pro kterou byla tato práce nastavena, se nemůže jednat o jednoznačné tvrzení, kdy by hladiny podzemní vody vykazovaly určitou závislost ke srážkám. Jsou zde období, která se zdají přímo ovlivněná srážkovými úhrny s půlročním zpožděním. S maximální korelační hodnotou 0,464 v případě vrtu VP0653 (Klášter Hradiště nad Jizerou) se však ale nemůže jednat o jasné tvrzení. Bylo by jej potřeba statisticky ověřit. V případě zpoždění čtvrtletních a ročních ale můžeme usoudit, že závislost srážek v těchto intervalech je minimální až nulová.

7 Závěr

Bakalářská práce se zabývá analýzou závislosti hladiny podzemní vody na srážkových úhrnech s různým vzájemným časovým odstupem vstupních veličin.

Vstupní data byla poskytnuta Českým hydrometeorologickým úřadem. V rámci této práce byly pro vstupní data vyhodnoceny charakteristiky popisné statistiky, data byla agregována do odpovídajících časových kroků a graficky prezentována pomocí grafů.

Následně byla vyhodnocena míra závislosti hladiny podzemní vody na srážkových úhrnech užitím Pearsonova korelačního koeficientu, a dále byl vyhodnocen P-T index míry sucha.

Míru závislosti hladiny podzemní vody na srážkových úhrnech je možné interpretovat na výsledku v lokalitě Klášter/Jivina, kde korelační koeficient dosáhl nejvyšší hodnoty ze všech vypočtených hodnot. Tento konkrétní výsledek má hodnotu 0,464 a tak vykazuje míru lehké korelace. Výsledek s takovou hodnotou však potřebuje být statisticky prokázán k definitivnímu prohlášení za průkazný.

Počáteční předpoklad této práce bral v úvahu větší roli suchých období v závislosti na hladině podzemní vody ve zkoumané lokalitě. Tento předpoklad měl být prokázán vzájemnou spojitostí mezi teplotou a úhrnem srážek v daných letech. Pomocí výpočtu P-T indexu se ale ukázalo, že míra sucha nemá zásadní vliv na hladiny podzemní vody. Mezní hodnoty totiž dosahují mnohem vyšších hodnot, než práce Petáka (2021).

Celkové naměřené výsledky ukazují, že ve sledované lokalitě nedochází k výraznému ovlivňování hladiny podzemní vody důsledkem úhrnů srážek s různým časovým odstupem vůči hladině podzemní vody, ale ani důsledkem teplých období. Některé z vypočtených hodnot však prokazují mírnou závislost, na kterou by se dalo navázat detailnějším průzkumem, podrobnějšími daty nebo změnou intervalů při počítání závislosti úhrnu srážek a hladiny podzemní vody.

Dílčím cílem práce v podobě rešeršní části bylo vysvětlit pojmy potřebné k porozumění tématu. Těmito tématy byly hladina podzemní vody, srážky, sucho, pozorovací vrt, klimatická změna atd. Také bylo představeno zájmové území a jeho

charakteristiky v podobě geomorfologických, geologických, hydrologických a klimatických vlastností.

Přínosem této práce je zhodnocení hydrologických, geologických, geomorfologických a klimatických poměrů v oblasti Českého ráje. I přes věnování malé pozornosti společností tomuto tématu je téma sucha a podzemní vody velmi důležité. Proto je také třeba se těmito tématy více zabývat jak v akademické sféře, tak ve sféře sociální. Původní předpoklad práce, že suchá a teplá období budou mít přímý vliv na hladinu podzemní vody se díky výsledkům v práci provedené analýzy ve zkoumané lokalitě nepotvrdil. Můžeme tedy tvrdit, že mezi vztahem srážek a hladiny podzemní vody je spousta dalších faktorů, které určitým způsobem tento vztah ovlivňují a je třeba je zkoumat.

8 Přehled použité literatury

1. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, 2022: Správa CHKO Český ráj, [online], [cit. 2022-03-23], Dostupné z: <https://ceskyraj.ochranaprirody.cz/>
2. Astapenko P. D., Kopáček J., 1987: Jaké bude počasí?, Lidové nakladatelství, Praha
3. Brázdil R., Trnka M. a kol, 2015: Historie Počasí a podnebí v českých zemích XI: Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost, Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, v.v.i., Brno, ISBN 978-80-87902-11-0, s. 402
4. Bouček Jan, Katastrofální povodeň v České republice v srpnu 2002, Ministerstvo životního prostředí, Praha, 2005, ISBN 80-7212-350-5, [cit. 2022-03-28] dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/B6D9A32B97767AC7C1256FC5003B9AFF/\\$file/POVODNOVA%20PUBLIKACE.PDF](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/B6D9A32B97767AC7C1256FC5003B9AFF/$file/POVODNOVA%20PUBLIKACE.PDF)
5. Castany G., 1978: Effets de la sécheresse sur les eaux souterraines. Vulnérabilité a la sécheresse des nappes. Bulletin du B. R. G. M., Section III, 3, 225–227.
6. Critchfield H. J., 1983: General Climatology, 4. edition, Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 453 s.
7. Český hydrometeorologický ústav, 2022: Monitoring sucha, [online], [cit. 2022.03.10.] dostupné z: <https://www.chmi.cz/aktualni-situace/sucho>
8. Český hydrometeorologický ústav, 2022, Změna klimatu, [online], [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/zmena-klimatu/zakladni-informace>
9. Český hydrometeorologický ústav, 2022: Pozorovací síť podzemních vod ČHMÚ, [online], [cit. 2022.03.18.] dostupné z: <https://www.chmi.cz/aktualni-situace/hydrologicka-situace/podzemni-vody/pozorovaci-sit>

10. Česká Zemědělská univerzita v Praze, 2006: Nové trendy ve vrtací technice, výstroji vrtů a přístrojích pro vzorkování půdy a podzemní vody, Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování, Praha: EKOTECHNIKA, ISBN 80-213-1492-3.
11. Český úřad zeměměřický a katastrální, 2022: Geoprohlížeč, [online], dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>
12. Evropská agentura pro životní prostředí, 2018: Voda je život, Kodaň, ISBN 978-92-9480-015-2
13. European Commission, 2022: Causes of climate change, [online], [cit. 2022-03-03]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/clima/climate-change/causes-climate-change_en?fbclid=IwAR3taapreTEsp5t-UR8PpJ_PMkt0gX7RjtM65ovHFxhdG7zQCF-8f6wXvDc
14. European Commission, 2008: Drought Management Plan Report, Including Agricultural Drought Indicators and Climate Change Aspects, Water Scarcity and Drought Expert Network, European Commission Technical Report, Luxembourg
15. Fligge M., Solanki S. K., 1998: Solar irradiance since 1874 revisited, Geophysical Research Letters: 341-344 s.
16. HEIS VÚV, Mezinárodní komise pro ochranu Labe, Odry a Dunaje, [online], [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: <http://www.heisvuv.cz/data/spusteni/projekty/ramcovasmernice/dokumenty/wfdcr.htm>
17. Horáček S., Rakovec O., Kašpárek L., Vizina A., 2009: Vývoj modelu hydrologické bilance–Bilan., Vodohospodářské technickoekonomické informace, 51, s. 2–5.
18. Kakos V., Vrabec M., 2006: Voda z atmosféry, Voda v České republice, Consult, Praha
19. Kemel M., 1994: Hydrologie, ČVUT, Praha, ISBN 80-01-00509-7, 222 s.
20. Kliner K., Kněžek M., Olmer M., 1978: Využití a ochrana podzemních vod, Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 295 s.

21. Kněžek M., 2013: Jednota hydrologie. In: Krátké úvahy o vodě, ČHMÚ, Praha, s. 32–39
22. Kozák T. J., 2007: Povodně v českých zemích, Professional Publisching
23. Ministerstvo zemědělství, 2020: Stručně o vodě v České republice, Praha, ISBN 978-80-7434-555-5
24. Ministerstvo životního prostředí, 2010: Základní principy hydrogeologie-metodická příručka, MŽP, Praha
25. Ministerstvo zemědělství, 2020: Koncepce na ochranu před následky sucha pro území České republiky, [online], [cit. 2022-03-15], Dostupné z: http://www.suchovkrajine.cz/sites/default/files/podklad/koncepce_sucho.pdf
26. Ministerstvo zemědělství, 2020: Stručně o vodě v České republice, [online], [cit. 2022-03-20], Dostupné z: https://eagri.cz/public/web/file/650470/Publikace_Strucne_o_vode_185x100mm_web.pdf
27. Mishra K., Singh V.P., 2010: A review of drought concepts. Journal of Hydrology, 391, 202–216 s.
28. Netopil R., 1965: Přehled hydrologie pevnin, Státní pedagogické nakladatelství, Praha
29. NOAA-National Weather Service, 2007: Climate chase, Silver Spring, Maryland
30. Novický O., 2011: Návrh koncepce řešení krizové situace vyvolané výskytem sucha a nedostatkem vody na území ČR, Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha
31. Palmer W. C., 1965: Meteorological drought, Research Paper No. 45. US Weather Bureau, Washington DC.
32. Pena–Gallardo, M., Vincente-Serrano S. M., Hannaford J., Lorenzo-Lacruz J., Svoboda M., Dominguez-Castro F., Maneta M., Tomas-

- Burguera M., El Knawy A., 2019: Complex influences of meteorological drought time– scales on hydrological droughts in natural basins of the contiguous Unites States. *Journal of Hydrology*, 568, s. 611–625.
33. Pavelková Chmelová R., Frajer J., 2013: *Základy fyzické geografie 1: Hydrologie*, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, ISBN 978-80-244-3844-3
34. Peták Michal, 2021: *Změny zásoby podzemní vody v oblasti Praha-Ruzyně v důsledku sucha a kontextu klimatické změny*. Praha, 2021. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování, obhájena dne 27. 5. 2021.
35. Pohanka M., 2010: *Základy statistiky laboratorních experimentů*, Univerzita obrany, Fakulta vojenského zdravotnictví, Centrum pokročilých studií, Hradec Králové
36. Sheffield J, Wood E. F., 2011: *Drought: Past Problems and Future Scenarios*, Earthscan , London and Washington DC
37. Slavík L. Neruda M., 2014: *Hospodaření s vodou v krajině*, Univerzita J. E. Purkyně v Ústí n. Labem, Fakulta životního prostředí, Ústí nad Labem, ISBN 978-80-7414-803-3
38. Struckmeier W., Rubin Y., Jones J. A. A., 2005: *Groudwater-reservoir for a thirsty planet?*, Report of the Earth Sciences for Society Foundation, The Year of Planet Earth Project, Leiden, The Netherlands
39. Šoltysová L., 2012: *Případová studie: Geopark Český ráj, MACHAR, Ochrana přírody a krajiny v České republice I. a II.díl. 1. vyd.*, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, ISBN 978-80-244-3041-6, s. 3-22.
40. Tallaksen L. M., Van Lanen H. A. J., 2004: *Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater*.

In: Developments in Water Science, vol. 48., Amsterdam, the Netherlands: Elsevier Science B.V.

41. Trnka P., 2010: Možné důsledky déletrvajícího sucha v naší krajině a ve světě, [online], [cit.2022.03.07.], dostupné z http://user.mendelu.cz/xvlcek1/rrc/sucho/TRNKA_1.pdf.
42. United Nations Framework Convention Climate Change, 2007: Climate change: Impacts, vulnerabilities and adaptation on developing countries [online], [cit. 2022.03.13.], dostupné z <https://unfccc.int/resource/docs/publications/impacts.pdf>
43. Van Loon A. F., 2015: Hydrological drought explained. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 2(4), s. 359–392
44. Van Loon A. F., Ploum S. W., Parajka J., Fleig A. K., Garnier E., Laaha G., Van Lanen H. A. J., 2014: Hydrological drought typology: temperature-related drought types and associated societal impacts, Hydrology and Earth System Sciences, Discuss ,11:10465–10514. doi:10.5194/hessd-11-10465-2014
45. Voda. Učebnice chemie [online]. [cit. 2022-03-11]. Dostupné z: <http://ucebnicechemie.wz.cz/index.php?sloucenina=voda>
46. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2015: Návrh koncepce řešení krizové situace výskytu sucha a nedostatku vody v České republice. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i., Praha.
47. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, 2011: Návrh koncepce řešení krizové situace vyvolané výskytem sucha a nedostatkem vody na území ČR. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, v.v.i., Praha
48. Water Science School, 2017: Oběh vody-The Natural Water Cycle, [online], [cit. 2022-03-20], Dostupné z: <https://www.usgs.gov/media/images/ob-h-vody-natural-water-cycle-czech-jpg>

49. Wilhite D. A., Glantz M. H., 1985: Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water Int*, 10:111–120 s.
50. Winter T. C., Harvey J. W., Franke O. L., Alley W. M., 1998: Ground water and surface water: a single resource, U.S. Geological Survey, Dacota, 79 s.
51. Zachar D., Jůva K., 1987: Využití a ochrana vod ČSSR: z hlediska zemědělství a lesního hospodářství, Academia, Praha, 568 s.

9 Seznam obrázků

Obr. č. 1) Oběh vody na Zemi, zdroj: Water Science School, 2017

Obr. č. 2) Vodní toky ČR, zdroj: DIBAVOD, 2022

Obr. č. 3) Vodní nádrže ČR, zdroj: DIBAVOD, 2022

Obr. č. 4) Hydrogeologický vrt s kladnou úrovní piezometrické hladiny, která způsobuje přirozený přeliv, zdroj: MŽP, 2010

Obr. č. 5) Pojmy při měření hladiny podzemní vody, zdroj: MŽP, 2010

Obr. č. 6) Mapa CHKO Český ráj, zdroj: AOPK ČR, 2022

Obr. č. 7) Mapa geomorfologického umístění CHKO Český ráj, zdroj: Český úřad zeměměřický a katastrální, 2022

Obr. č. 8) Vyobrazení lokalit na mapě, zdroj: Český úřad zeměměřický a katastrální, 2022

Obr. č. 9) vzorec pro výpočet Pearsonova korelačního koeficientu, zdroj: Pohanka M., 2010

Obr. č. 10) Graf průměrů hladiny podzemní vody Dolní Bousov (VP0660), zdroj: vypočtená data

Obr. č. 11) Graf průměrů hladiny podzemní vody Turnov (VP0660), zdroj: vypočtená data

Obr. č. 12) Graf průměrů hladiny podzemní vody Klášter Hradiště nad Jizerou (VP0660), zdroj: vypočtená data

Obr. č. 13) Graf s úhrny srážek v Dolním Bousově, zdroj: vypočtená data

Obr. č. 14) Graf s úhrny srážek v Klášteře Hradišti nad Jizerou / Jivině, zdroj: vypočtená data

Obr. č. 15) Graf s úhrny srážek v Turnově, zdroj: vypočtená data

10 Seznam tabulek

Tab. č. 1) Základní charakteristiky vodního hospodářství ČR, zdroj: Ministerstvo Zemědělství, 2020)

Tabulka č. 2) Popisná statistika srážek na daných územích

Tabulka č. 3) Popisná statistika hladiny podzemní vody na daných územích

Tabulka č. 4) Výsledky Pearsonova korelačního indexu

Tabulka č. 5) Počty měsíců v daných intervalech rizika ohrožení suchem

11 Seznam příloh

Příloha 1) Ukázka práce s programem RStudio – R version 4.1.2

The screenshot displays the RStudio environment. The top menu bar includes File, Edit, Code, View, Plots, Session, Build, Debug, Profile, Tools, and Help. The toolbar contains icons for file operations and a search bar labeled 'Go to file/function'. The workspace shows three open files: 'Untitled1', 'VPdBousov', and 'mesicniAgregace'. The 'mesicniAgregace' file is active, showing a data table with columns 'year', 'month', and 'V1'. The table contains 84 rows of data, with the visible portion showing rows 58 to 84. Below the table, a status bar indicates 'Showing 58 to 84 of 84 entries, 3 total columns'. The console window at the bottom shows the R version (4.1.2) and the execution of several R commands to load the 'data.table' package, read the 'VPdBousov.txt' file, and calculate the mean of 'HODNOTA' grouped by year and month.

| | year | month | V1 |
|----|------|-------|----------|
| 59 | 2017 | 11 | 234.2040 |
| 60 | 2017 | 12 | 234.2010 |
| 61 | 2018 | 1 | 234.2652 |
| 62 | 2018 | 2 | 234.0743 |
| 63 | 2018 | 3 | 234.0310 |
| 64 | 2018 | 4 | 234.0013 |
| 65 | 2018 | 5 | 233.8152 |
| 66 | 2018 | 6 | 233.6453 |
| 67 | 2018 | 7 | 233.4161 |
| 68 | 2018 | 8 | 233.1035 |
| 69 | 2018 | 9 | 233.2310 |
| 70 | 2018 | 10 | 233.2242 |
| 71 | 2018 | 11 | 233.4727 |
| 72 | 2018 | 12 | 233.6971 |
| 73 | 2019 | 1 | 234.0010 |
| 74 | 2019 | 2 | 233.9911 |
| 75 | 2019 | 3 | 234.0106 |
| 76 | 2019 | 4 | 233.7767 |
| 77 | 2019 | 5 | 233.7477 |
| 78 | 2019 | 6 | 233.6360 |
| 79 | 2019 | 7 | 233.2397 |
| 80 | 2019 | 8 | 233.2258 |
| 81 | 2019 | 9 | 233.2930 |
| 82 | 2019 | 10 | 233.5339 |
| 83 | 2019 | 11 | 233.7770 |
| 84 | 2019 | 12 | 233.8139 |

```
R version 4.1.2 (2021-11-01) -- "Bird Hippie"
Copyright (C) 2021 The R Foundation for Statistical Computing
Platform: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit)

R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.

R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R or R packages in publications.

Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for an HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

> library(data.table)
data.table 1.14.2 using 2 threads (see ?getDTthreads). Latest news: r-datatable.com
> VPdBousov <- read.delim("D:/školaD/BP/VPdBousov.txt")
> view(VPdBousov)
> setwd("D:/školaD/BP")
> x = read.table("VPdBousov.txt", header = T)
> setDT(x)
> mesicniAgregace = x[, mean(HODNOTA), by = .(year(DATUM), month(DATUM))]
> view(mesicniAgregace)
```