

**UNIVERZITA KARLOVA**

**Přírodovědecká fakulta**

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Tělesná výchova a sport se zaměřením na vzdělání – Geografie se zaměřením  
na vzdělání



**Pavel Husarik**

**REAKCE POVRCHOVÝCH A PODZEMNÍCH VOD NA HYDROLOGICKÉ SUCHO  
V LETECH 2015–2018 NA HORNÍ LUŽNICI**

Reaction of surface water and groundwater to the hydrological drought in 2015–2018 in the  
upper Lužnice River

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Alois Burian

Praha 2023

**Prohlášení:**

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

podpis

V Praze dne 31. 7. 2023

.....

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Mgr. Aloisovi Burianovi za mnoho rad a připomínek, které mi byly věnovány během konzultací. Děkuji za veškerý čas a poskytnutá data, která mi pomohla při řešení položených otázek a zpracování práce. Děkuji taktéž snoubence, rodině a přátelům, kteří mi byli oporou v průběhu psaní práce.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce je zaměřena na přiblížení sucha, jakožto extrémního a komplexního jevu. Přehledně shrnuty jsou jeho typy, příčiny a dopady na krajinu a společnost. Dále je uvedena reakce povrchových a podzemních vod na suché období. V teoretickém závěru je také konkrétně rozebráno období hydrologického sucha na území České republiky mezi roky 2015 až 2018. V praktické části jsou vyhodnoceny charakteristiky měsíčních a ročních odtoků, zhodnocena je reakce povrchových a podzemních vod pomocí dat. Použita byla data jak pro povrchové, tak pro podzemní vody a úhrnů srážek pozorovací sítě ČHMÚ. Využita byla i data průměrných úhrnů srážek. Zhodnocení časových řad bylo provedeno z hlediska srážko-odtokového režimu – čár překročení, rozložení měsíčních průtoků. Výsledky poukázaly na to, že nejmenších průměrných průtoků bylo dosaženo v roce 2018. V tomto roce byla také nejnižší průměrná hladina podzemní vody. Oproti tomu nejvíc suchých dní bylo v zájmovém období zaznamenáno v roce 2015.

**Klíčová slova:** povrchové vody, podzemní vody, hydrologické sucho, horní Lužnice

## **Abstract**

The Bachelor's thesis focuses on the examination of drought as an extreme and complex phenomenon. It provides a clear overview of its types, causes, and impacts on the landscape and society. Furthermore, it discusses the response of surface and groundwater to dry periods. The theoretical conclusion specifically analyzes the period of hydrological drought in the Czech Republic between 2015 and 2018. In the practical part, the characteristics of monthly and annual discharges are evaluated, and the response of surface and groundwater is assessed using data. Data from both surface and groundwater, as well as precipitation totals from the ČHMÚ (Czech Hydrometeorological Institute) observation network, were utilized. Average precipitation totals were also taken into account. The evaluation of time series was performed in terms of precipitation-runoff regime, including exceedance lines and monthly flow distributions. The results indicated that the lowest average flows were recorded in 2018, which also saw the lowest average groundwater level. Conversely, the highest number of dry days occurred in the studied period in 2015.

**Keywords:** surface water, groundwater, hydrological drought, the upper Lužnice river

# Obsah

1. Úvod.....	7
1.1 Cíle práce.....	8
2. Charakteristika Lužnice .....	9
2.1 Horní Lužnice .....	10
2.2 Fyzickogeografická charakteristika.....	11
2.2.1 Geologické poměry .....	11
2.2.2 Geomorfologické poměry.....	13
2.2.3 Klimatické poměry .....	14
2.2.4 Hydrologické poměry.....	16
2.2.5 Pedologické poměry.....	17
3 Sucho .....	19
3.1 Typy sucha .....	20
3.1.1 Meteorologické sucho.....	20
3.1.2 Agronomické sucho .....	21
3.1.3 Hydrologické sucho .....	21
3.1.4 Socioekonomické sucho.....	22
3.2 Příčiny hydrologického sucha .....	23
3.3 Dopady hydrologického sucha.....	24
3.4 Sucho v zájmovém období mezi roky 2015–2018 .....	25
3.4.1 Suché období 2015–2018 .....	25
3.4.2 Rok 2015.....	27
3.4.3 Rok 2018.....	28
4. Podpovrchová voda .....	30
4.1 Interakce podzemních a povrchových vod.....	32
5. Metodika práce a datové zdroje.....	35
5.1 Datové zdroje .....	35
5.2 Použité metody.....	35
6. Výsledky .....	36
6.1 Odtoková charakteristika .....	36
6.1.1 Průměrné roční průtoky v období 1980–2020 .....	37
6.1.2 Průměrné měsíční průtoky v období 2015–2018 .....	39
6.1.3 Počet suchých dnů 1980–2020 .....	44
6.1.4 Čára překročení denních průtoků .....	44
6.2 Průměrné roční a měsíční hladiny podzemní vody .....	47

<b>6.3 Reakce povrchových a podzemních vod na hydrologické sucho v letech 2015–2018.....</b>	<b>52</b>
<b>6.3.1 Počet hydrologicky suchých dnů v období 2015–2018 .....</b>	<b>52</b>
<b>6.3.2 Trend hladiny podzemní vody.....</b>	<b>54</b>
<b>6.3.3 Reakce povodí na atmosférické srážky.....</b>	<b>57</b>
<b>7. Diskuze .....</b>	<b>73</b>
<b>8. Závěr.....</b>	<b>77</b>
<b>9. Seznam použité literatury a zdrojů.....</b>	<b>78</b>
<b>9.1 Seznam použitých digitálních zdrojů.....</b>	<b>81</b>
<b>9.2 Mapové podklady .....</b>	<b>84</b>
<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>85</b>
<b>Seznam grafů .....</b>	<b>85</b>

# 1. Úvod

Voda, jakožto nejdůležitější přírodní složka, ovlivňuje celý svět. Bez vody nelze existovat, a proto by se otázka sucha neměla opomíjet. Sucho je a bude stále více aktuálním tématem. Bude ovlivňovat naši a také budoucí generace. Nedostatečné množství vody narušuje rovnováhu v ekosystému, což může vést k úbytku a vymírání druhů a zhoršení biodiverzity. Sucho jako negativní projev nedostatku vody, jenž vzniká dlouhodobě nedostatečným úhrnem atmosférických srážek, na sebe přitáhl zvýšenou pozornost hydrologů, kteří zkoumají tento extrémní jev, stejně jako tomu je u povodní. Vyjma hydrologů sucho pocítili ve velké míře i zemědělci, vodohospodáři či veškerá společnost. Pokud není dostatek srážek, dochází k nedostatku vody pro zavlažování polí a chování zvířat, což má za následek snížení výnosů a také hladomor. Atmosférické srážky jsou v České republice zásadním činitelem pro vodní zdroje.

Sucho lze vidět často ve spojitosti se změnou klimatu, na které se ve velké míře podílí i lidé. Projevy sucha jsou patrné jak v lokálním měřítku, tak i v globálním. Sucho může mít také ekonomické důsledky. Pokud je oblast postižena dlouhotrvajícím suchem, může to mít negativní dopad na ekonomiku. V období hydrologického sucha bývají hodnoty odtoku v extrémních minimech a podzemní vody jsou nuceny regulovat a zmírňovat následky, které by mohly nastat. Celkově lze říci, že sucho je problém, protože má negativní dopad na životní prostředí, zemědělství a ekonomiku. Je důležité klást důraz na manipulaci s vodou, aby se minimalizovaly dopady sucha.

Předložená práce se suchem a jeho typy zabývá. Dále jsou rozebrány příčiny a dopady hydrologického sucha. Nastíněna je obecná charakteristika řeky Lužnice a podrobně přiblížena její horní část toku. Rovněž je přiblížena fyzickogeografická charakteristika této řeky. Také je nastíněna charakteristika odtoků, např. měsíční a roční průtoky z vybraných profilů. Dále je posouzena reakce povrchové a podzemní vody v období hydrologického sucha v období 2015-2018. Za dopomoci zaznamenaných dat ČHMÚ z profilů Kazdovna, Pilař a dat hladiny podzemní vody na mělkých vrtech Hamr, Holičky, Majdalena, Suchdol nad Lužnicí a Tušů, byla zodpovězena otázka, jak na sebe v zájmovém období reagovaly podzemní a povrchové vody. Také, kdy byla zaznamenána maxima a minima průtoků či hladiny podzemních vod a jak toto období ovlivňovaly atmosférické srážky, pomocí nichž lze odpovědět na jednotlivé výkyvy v této problematice.

## 1.1 Cíle práce

- Podrobněji přiblížit tok Lužnice a její fyzickogeografickou charakteristiku pomocí dostupné literatury,
- Definovat sucho a hydrologické sucho, jaké jsou příčiny jeho vzniku a dopady v krajině či společnosti,
- Přiblížit vývoj ročních a měsíčních průtoků na vybraných profilech horní Lužnice,
- Vyhodnotit stav podzemních vod ve vybraném období,
- Porovnat vývoj hydrologicky suchých dní na profilech pozorovací sítě ČHMÚ s vývojem hladin podzemní vody ve vybraných vrtech,
- Posoudit, jak reagovala povrchová a podzemní voda v období hydrologického sucha v letech 2015–2018 a jak tuto reakci ovlivňovaly atmosférické srážky.



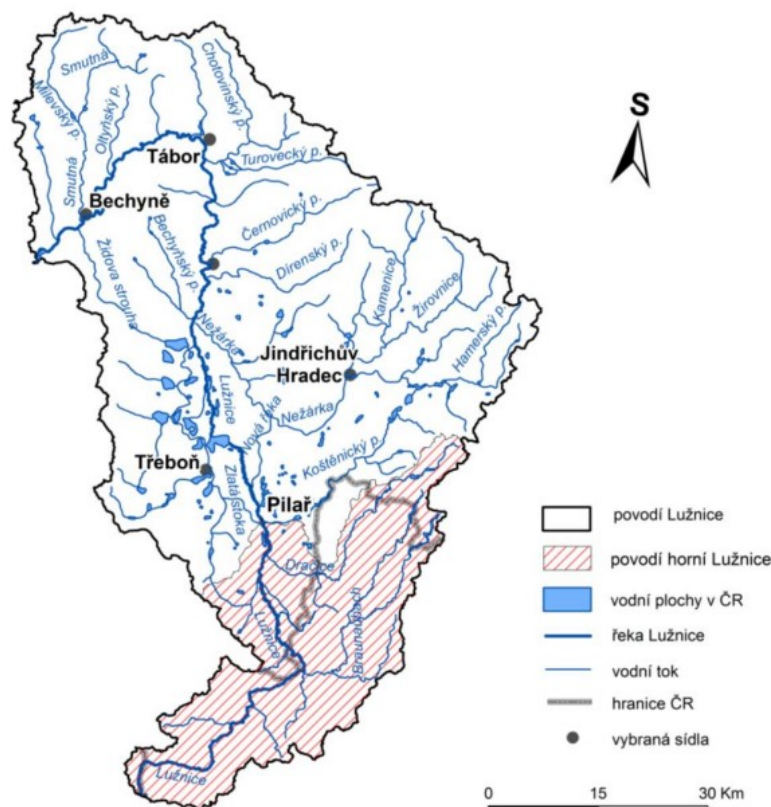
## 2. Charakteristika Lužnice

V této části je popsána charakteristika toku Lužnice a její fyzickogeografická část. Tato část práce byla již dříve popsána i v jiných pracích jako je například Svoboda (2011), Hastíková (2012), Fialová (2015), Korejs (2018) či Junková (2019).

Řeka Lužnice je pravostranným přítokem Vltavy, v absolutní řádovosti toků je řekou III.řádu navazující na Vltavu a Labe. Na Lužnici leží mnoho jihočeských měst, např. Soběslav, Veselí nad Lužnicí, Planá nad Lužnicí či Tábor. Délka řeky je 208 kilometrů a plocha povodí je 4234,65 km<sup>2</sup> s průměrnou hodnotou ročního průtoku 24,3 m<sup>3</sup>/s. Od pramene k ústí délka činí 75 kilometrů a naměřená hodnota křivolakosti vychází na celkových 2,77. Tato hodnota je nadprůměrná, z důvodu zachovalé meandrující říční nivy a geologické výstavby, při které byl změněn směr toku u města Tábor (Chábera 1998, Svoboda 2011).

Povodí horní Lužnice se rozkládá na území dvou států. Řeka pramení v rakouských Novohradských horách pod názvem Lainsitz, v blízkosti města Gmünd na hoře Eichelberg (1054 m) v nadmořské výšce 920 m. n. m. a zhruba po 2 kilometrech se dostává do České republiky (Bílek 1999). Chábera (1985) tvrdí, že řeka pramení ve výšce 990 m. n. m. Na území jižních Čech teče jen krátce a následně vede zpět do Rakouska. Protéká oblastí s názvem Vitorazsko v nejsevernější části Dolního Rakouska, kde je tok v délce okolo 33 kilometrů. Krátký úsek následně se stává státní hranicí nedaleko obce České Valenice, po malé odbočce do Rakouska se zpět a nastalo vrací řeka do České republiky u obce Krabonoš (Chábera 1998).

Na území Česka řeka musí zdolat nejdříve zalesněnou a kopcovitou oblast s horským charakterem. Následně po této přírodní překážce protéká do Třeboňské pánve, kde už se jedná spíše o rovinatou krajinu s velkým podílem rybníků. Lužnice dokonce napájí největší český rybník Rožmberk. Tento úsek řeky tvoří výraznou část toku a celého povodí (Bílek 1999). V dolním úseku řeka teče v Táborské pahorkatině. Ve výšce 348 m.n.m v blízkosti obce Neznašov jako pravostranný přítok se vlévá Lužnice do Vltavy (Bílek 1999). Řeka byla pojmenována podle staročeského názvu Ložnice, které se vyvinulo na dnešní Lužnice odvozené od „lužní řeka, řeka protékají luhy“ (Švorc 2006).



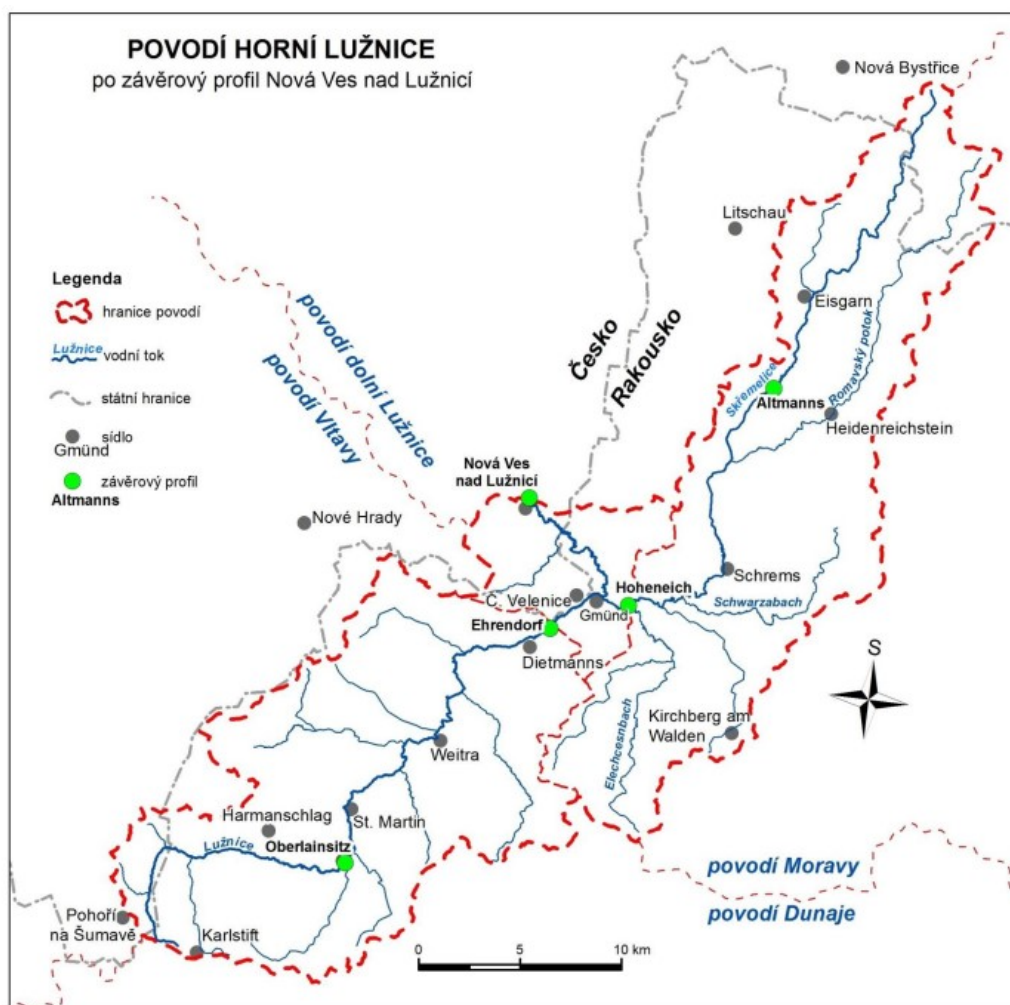
Obrázek 1: Povodí Lužnice (zdroj: Svoboda 2011)

## 2.1 Horní Lužnice

Horní Lužnice má asymetrický tvar, jelikož většina jejích přítoků je pravostranných např. Kuckuckbach, Braunaubach (Skřemelice), Pffafenbach, Grünbach, Halámecký potok či Dračice. Existují i levostranné, kterých je ale výrazně méně (např. Lembach, Rybná), což lze vidět na obrázku č. 2. Horní Lužnice pramení na území Rakouska, tudíž přes 70 % toku leží právě mimo české území. Po zdolání hranic se rozkládá v Jihočeském kraji (přesněji v jeho jihovýchodní části), z většiny v okrese Jindřichův Hradec a pouze částí zasahuje do okresu České Budějovice (Svoboda 2011). Skřemelice s délkou toku 37,3 km a její povodí se rozkládá 292,6 km<sup>2</sup> a Dračice, která je sice delší – 49 km, ale s menší plochou povodí 154,2 km<sup>2</sup> jsou největší přítoky horní Lužnice (Svoboda, Šobr, Janský, Vlasák 2015).

Svoboda, Šobr, Janský, Vlasák (2015) dále zmiňují, že v oblasti povodí se lze setkat s velkým množstvím vodních ploch v podobě rybníčních soustav a pískoven, vyskytujících se na místech, kde se dříve probíhala těžba štěrkopísků. V povodí se nachází velký počet i fluviální jezera, které se nachází v nivě horní Lužnice, jenž je minimálně zasažena činností člověka.

Povodí horní Lužnice je řídko obydleno, podobně jako celý Jindřichohradecký okres. Na východní straně sahá povodí až k oblasti České Vrchoviny. Jedná se o Českou Kanadu, oblast pahorkatin a vrchovin, která je hojně pokryta lesy. V okolí řeky se nacházejí převážně lesy, vyskytují se zde ale i pastviny. V této oblasti se částečně vyskytuje dřevozpracující průmyslová výroba, jinak se jedná spíše o zemědělské oblasti u starších usedlostí. Do roku 1989 zmiňované území tvořící státní hranice bylo zakázaným pásmem (Svoboda 2011).



Obrázek 2: Povodí horní Lužnice na rakouském území po Novou Ves nad Lužnicí (zdroj: Musil 2015)

## 2.2 Fyzickogeografická charakteristika

### 2.2.1 Geologické poměry

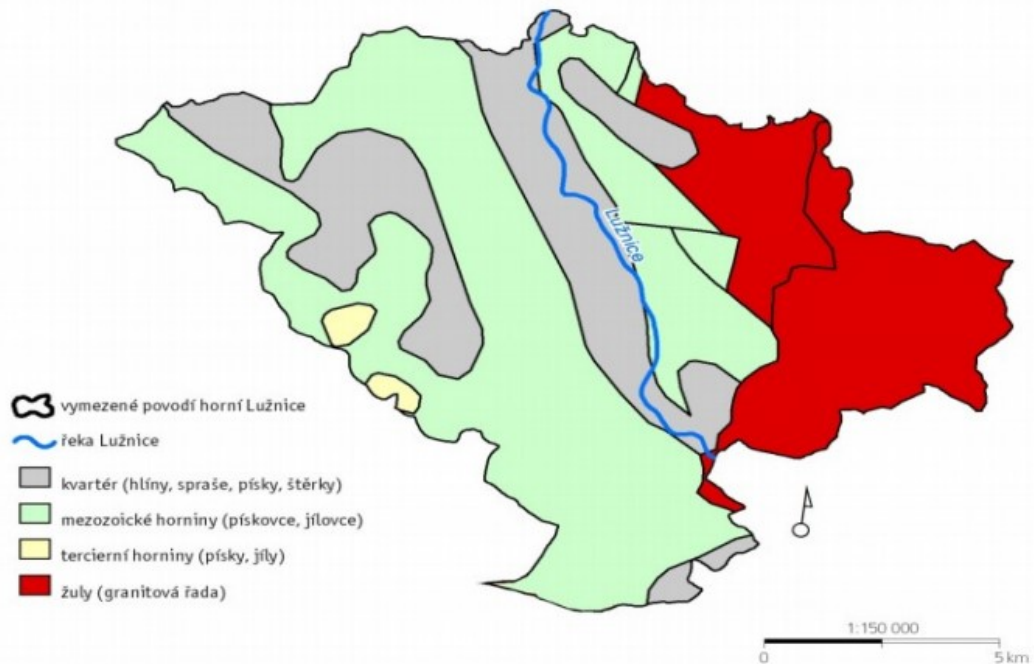
V Českém masivu, který vznikl jako v důsledku hercynského vrásnění během prvohor, se nachází veškeré povodí Lužnice. Tento horotvorný proces byl způsoben srážkou superkontinentů Gondwany a Eurameriky (Chábera 1985). Oblast celého povodí lze zařadit do geologicky nazývané Moldanubické zóny a je zde z velké části pokryto území moldanubickým krystalinikem (Chábera 1985). Pro Moldanubikum jsou typické horniny

s vysokým stupněm metamorfózy. Následně se můžeme setkat i s granitoidními vyvřelými horninami, jedná se o pararuly, granulity, migmatity a ortoluly. Časem byly horniny postupně přeměňovány a zvrásňovány. Naposledy tomu tak bylo v prvohorním variském vrásnění v období paleozoika v prvohorách, příčinou proniknutí tělesa žilných a hlubinných vyvřelin (Albrecht 2003, Chlupáč a kol. 2011, Krásný 2012).

Na území jižních Čech se nachází významné plutony, setkáváme se zde se středočeským a moldanubickým plutonem vyskytujícím se především v severní části povodí. Granitoidní moldanubický pluton je území, ve kterém pramení řeka Lužnice a je složen ze svorových pararul a rul (Albrecht a kol. 2003). Na konci druhohor v reakci na rozsáhlé tektonické pohyby vznikly dvě velkoplošné sníženiny. Jedná se o Třeboňskou pánev, ve které se nachází povodí Lužnice a ukládaly se zde slabě zpevněné a nezpevněné terciární, kvartérní a křídové sedimenty. Mocnost dosahuje hodnoty až 400 km u terciárních a křídových sedimentů (Albrecht a kol. 2003, Krásný a kol. 2012). Mísař (1983) uvádí, že se jedná o velmi rozmanitou a pestrou krajinu z geologického pohledu. Jihočeské pánevní oblasti sedimentů, do kterých se k Třeboňské pánvi řadí i Českobudějovická, která sice není součástí povodí, ale rozkládá se na více než 1350 km<sup>2</sup>.

Největší území, přesněji okolí města Gmünd a část Českobudějovické pánve, vyplňuje senonské (svrchnokřídové) klikovské souvrství, které je i geologicky nejstarší a má i největší mocnost. Nachází se zde velký počet sedimentů od barevných pískovců přes jíly, slepence až po prachovce a písky, které mohou být v různém stupni zpevnění a mohou se lišit i zrnitostí.

Dále se už v oblasti Třeboňské pánve vyskytují oligocenní a miocenní sedimenty, jedná se však pouze o malý počet v jihozápadní části území (Krásný 2012). Období pliocénu rovněž poznamenalo oblast přemístěnými vltaviny a sedimenty a zasaženo bylo převážně ledenické souvrství. Mydlovarské souvrství je tvořeno lignity, křemeliny a jíly. Je označováno jako nejvýznamnější, jelikož se z celkové rozlohy jedná přibližně čtvrtinu celého povrchu pánve. V této oblasti se však mocnost pohybuje pouze okolo 60 km. Třeboňská pánev a její velmi významná část jsou kvartérní fluviální sedimenty. Už z názvu vyplývá, že se jedná o sedimenty uložené v okolí vodního toku, konkrétně o pleistocenní štěrky a štěrkopísky, ukládající se společně s povodňovými hlínami z holocénu do terasovitých stupňů uloženin. Mocnost těchto sedimentů se pohybuje okolo 40 metrů. V povodí Lužnice lze narazit i na váté písky nebo rašeliniště (Albrecht a kol. 2003, Chábera 1998, Krásný 2012, Mísař 1983).



Obrázek 3: Geologické poměry v povodí horní Lužnice (zdroj: Hastíková, 2012).

## 2.2.2 Geomorfologické poměry

Tvar současného reliéfu celého povodí je výsledkem dlouhodobé práce jednotlivých geomorfologických činitelů. Pomocí endogenních a exogenních sil se utvářel současný reliéf, který je tvořen rozdílnými geomorfologickými oblastmi, např. si můžeme všimnout odlišných znaků geomorfologického vývoje a rozmanitostí reliéfu. Povodí Lužnice je velmi pestré z geomorfologického pohledu, narážíme na oblast s velkou rozmanitostí reliéfu. Podle regionálního členění povrchu České republiky, řadíme oblast povodí Lužnice k prvohornímu útvaru Česká vysočina. (Albrecht a kol. 2003, Balatka, Kalvoda 2006). Balatka (1958) zmiňuje, že doba přesného vzniku a následného vývoje není podrobněji vyřešena. Českou vysočinu lze rozdělit na několik jednotlivých provincií, a to mezi Českomoravskou a Šumavskou subprovincií (Albrecht a kol. 2003, Balatka, Kalvoda 2006).

Českomoravská soustava zabírá větší část povodí, opět je rozdělena i do menších celků – Středočeské pahorkatiny, Českomoravské vrchoviny a Jihočeské pánve. Středočeská pahorkatina obklopuje sever území a do povodí Lužnice zasahuje pouze její část, která se nazývá Táborská pahorkatina. Vyznačuje se hluboce zasazenými údolí řek s výraznější vertikální členitostí. Táborská pahorkatina je rozdělena na další dva menší geomorfologické celky, východní část je pokryta Soběslavskou pahorkatinou a v západní části narážíme na pahorkatinu Píseckou. Východní část Českomoravské soustavy pokrývá stejnojmenná

Českomoravská vysočina, ze které do oblasti povodí zasahují Javořická vrchovina a Křemešnická vrchovina (Albrecht a kol. 2003, Chábera 1998). Oblast Jihočeské pánve již podle názvu je situována z jihu povodí. Dle přechozí kapitoly je značně rozsáhlá a významná oblast Třeboňské pánve, sníženina rozkládající se do délky přes 60 km a její šířka se pohybuje mezi 16-24 kilometry. Oblast je mírně zvlněná pouze v rozvodích a na okrajích. Je velice podmíněna tektonicky, jelikož je položena na senonských, neogenních a permských sedimentech a moldanubických horninách. Třeboňskou pánev lze také rozdělit do menších geomorfologických podcelků – Kardašořečická pahorkatina, Lomnická pánev a Lišovský práh (Balatka, Kalvoda 2006).

V Šumavské soustavě, dělicí se na dvě geomorfologické oblasti, je pro povodí Lužnice důležitá Šumavská hornatina, jelikož se zde nachází pramen Lužnice. Je rozdělena do více celků. Na celek Novohradských hor, jenž se rozděluje na velkou oblast Pohořské hornatiny (Kamenec 1072 m.n.m) a na malou oblast Jedlické vrchoviny (Skalka 801 m. n. m.) a na druhý celek, rozkládající se v podhůří Novohradských hor, jenž je výrazně méně členitý. Také proto se z Novohradských hor přechází v této oblasti do celku Novohradského podhůří. Rozdělit se dá i tato oblast, která se následně rozkládá do 5 menších podcelků – Hornodvořišská sníženina, Kaplická brázda, Klopanovská vrchovina, Stropnická pahorkatina a Soběnovská vrchovina (Albrecht a kol. 2003, Balatka, Kalvoda 2006, Chábera 1998).

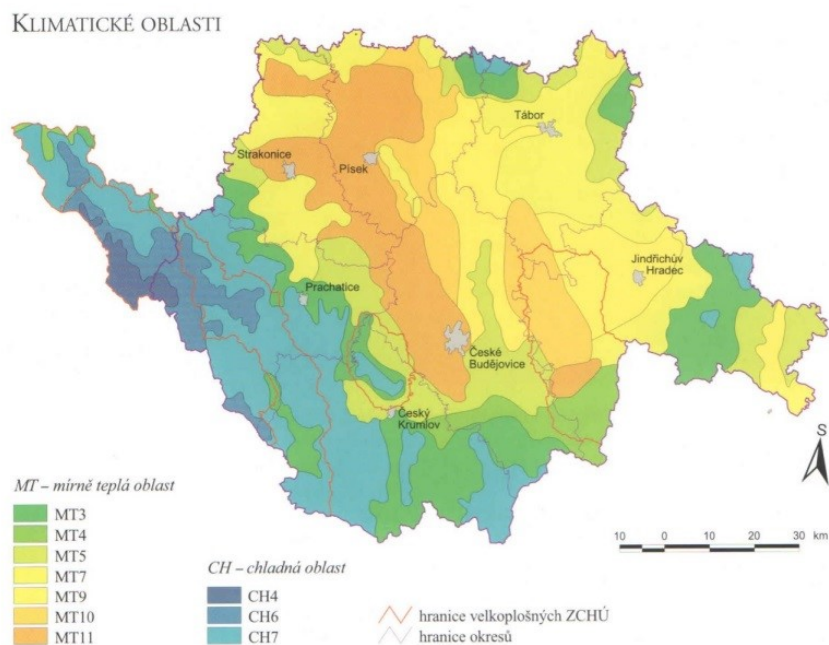
Odlíšnosti v podnebí a různé pohyby zemské kůry se podílely na vývoji reliéfu. Jednotlivé fyzickogeografické podmínky podmiňovaly dlouhodobý a složitý geomorfologický vývoj, pomocí něhož vznikl současný vzhled reliéfu. Zarovnané povrchy jsou pro sledování vývoje vúdčími horizonty (Chábera a kol. 1985, Chábera 1998). Například tato oblast byla zaplavena mořem a můžeme se zde setkat s mořskými sedimenty z období Křídý (Chlupáč a kol. 2011).

### **2.2.3 Klimatické poměry**

Povodí Lužnice řadíme do mírného klimatického pásu, vyznačující se pravidelně se střídajícími čtyřmi ročními obdobími a středoevropským klimatem. Přesněji dle Quittovy klimatické klasifikace patří povodí do mírně teplé klimatické podskupiny a v některých vyšších nadmořských výškách se jedná až o chladné oblasti, ve kterých se můžeme setkat skoro se všemi typy od MT 3 do MT 11 až po CH7. Podobně jako ve zbytku České republiky se nachází na rozhraní oceánského a kontinentálního klimatu, přičemž vliv oceanity lehce převažuje. Rostoucí vliv kontinentality můžeme sledovat s přibývajícím nadmořskou výškou nebo při změně polohy směrem na východ. Západní proudění v oblasti podporuje i cyklonální

činnost, která je pro oblast charakteristická. V neposlední řadě se můžeme setkat s ovlivněním přímo u povrchu, v důsledku orografických překážek, nebo s frontálními systémy a jejich přechody (ČHMÚ 2017). Odlišují se pouze oblasti v nejvyšších nadmořských výškách od zbytku území, které spadá do mírně teplé a vlhké oblasti. V nejvyšších nadmořských výškách na vrcholcích Novohradských hor spadajících do klimatické podskupiny CH7 se jedná o mírně chladné nebo až dokonce chladné klima.

Nejteplejší oblasti okolo Třeboňské pánve jsou typické pro podskupinu MT 10-11 (Atlas podnebí Česka 2007). Jak už tedy vyplývá, největší vliv má na oblast nadmořská výška tvořící hlavní faktor teplotních anomálií v oblasti. Klima dále ovlivňuje reliéf, antropogenní vlivy nebo půdní či vegetační podmínky. Rozdílnost je velmi dobře vidět u naměřených teplot, kdy průměrné roční teploty v oblasti dosahují rozmezí mezi 6 až 8 °C, přičemž v nejteplejší oblasti Třeboňské pánve průměr dosahuje horních hranic 7,5 až 8 °C. Průměr ale snižují teploty z oblastí vrcholů Českomoravské vysočiny, a hlavně Novohradských hor, kde hodnoty dosahují pouze 5 °C (Atlas podnebí Česka 2007, Krásný 2012). Výjimkou mohou být centra větších měst, vzhledem k vlivu silné zástavby a produkci odpadního tepla (Albrecht a kol. 2003). Extrémní hodnoty nastávají v měsících lednu a červenci. V lednu je průměrná teplota pod bodem mrazu od -4 do -2 °C, v červenci jsou tyto hodnoty v průměru od 16 do 18 °C, což znamená dvacetistupňový rozdíl mezi extrémními hodnotami (Atlas podnebí Česka 2007).



Obrázek 4: Klimatické oblasti v Jihočeském kraji a na Šumavě (zdroj: Albrecht a kol. 2003).

Po teplotě se zaměříme na vybraný region z pohledu srážek. Z tohoto pohledu je region mírně vlhký až vlhký. V průměru se zde pohybuje úhrn srážek mezi hodnotami 550-750 mm. V oblasti nejvíce podmiňuje srážky nadmořská výška, podle které lze usoudit, že v horním toku položeném ve vyšší nadmořské výšce, převážně v Novohradských horách, můžeme naměřit větší hodnoty úhrnu srážek. Zatímco přesný opak lze pozorovat v dolním toku, nejvíce v severní části Třeboňské pánve a Táborské Pahorkatiny. Maximální hodnoty naměřené ve vyšších oblastech Novohradských hor dosahují skoro 1000 mm ročně, ale jedná se pouze o lokální jevy, které nezasahují větší oblasti (ČHMÚ 2017). Nižší úhrn srážek můžeme v rámci ročního chodu přiřadit k létu. Oblast povodí, hlavně Třeboňská pánev je typická pro inverze doprovázené bezvětřím a hustou mlhou. Tato situace nastává především v období chladnějších měsíců. Průměrná hodnota rychlosti větru zde dosahuje pouze 2 m/s (Albrecht 2003, Havlová 1998).

#### **2.2.4 Hydrologické poměry**

Jak již bylo zmíněno, Lužnice je v absolutní řádovosti říční sítě tokem III. řádu. Délka a plocha povodí se liší dle autorů Albrechta a kol. (2003) a Chábery a kol. (1985). Autoři tvrdí, že délka vodní toku je 199 km a plocha povodí je 4226 km<sup>2</sup>, což potvrdil i program ArcGIS. Rozdíl byl v ploše povodí, která činí 4233 km<sup>2</sup>. Tyto hodnoty však mohou být nepřesné, jelikož může docházet ke zkreslení pomocí generalizace dat (Junková 2019). Vlnas a kol. (2010) zmiňují, že délka řeky je 208 km, což je o 9 km delší než u předchozích autorů či programu ArcGis, avšak plocha povodí se už k počítačovému programu přibližuje. Plocha odvodněné oblasti je 4234 km<sup>2</sup>, což je pouze o 1 km<sup>2</sup>, než činí výsledek z ArGis.

Pokud bychom se zaměřili pouze na povodí horní Lužnice, přes 70 % celého toku se nachází na území Rakouska a plocha povodí zaujímá pouze 942,5 km<sup>2</sup> (Svoboda 2011). Vzdálenost od pramene k ústí vzdušnou čarou, tj. absolutní vzdálenost, je 75 kilometrů a naměřená hodnota křivolakosti u celého toku vychází na celkových 2,77, v případě horní Lužnice se jedná o hodnotu 2. V Česku je tato hodnota oproti ostatním tokům nadprůměrná (Svoboda 2011). Od pramene k ústí řeka klesne a vytvoří výškový rozdíl 573 m, výpočtem vychází průměrný sklon 2,8 % (Chábera a kol. 1985, Chábera 1998).

Průměrný roční průtok je 24,3 m<sup>3</sup>/s (PVL, 2017). Informace o průtoku se mohou ale lišit podle místa měření. Nejvyšší průtok je v horním toku, kde se dostává až na dvojnásobek, naopak v dolním toku je to většinou okolo poloviny průměru (Krásný a kol. 2012). ČHMÚ udává hodnotu i 23,6 m<sup>3</sup>/s, která ale odpovídá jen pro normálové období 1931–1980.



Charakteristiky	1. úsek Lužnice	2. úsek Lužnice	3. úsek Lužnice
	od pramene až po odbočení Zlaté skoky	po profil Klenovice	po Bechyni (11km před ústím)
Plocha povodí [km <sup>2</sup> ]	918	3143	4046
Říční kilometr	117,7	59,6	10,6
Koeficient tvaru povodí	0,23	0,19	0,11
Tvar povodí	Vějířovitý	Široce rozvětvený	Protáhlý
Křivolakost toku	2,05	1,9	2,8
Hustota říční sítě [km/km <sup>2</sup> ]	cca 0,8	cca 0,5	cca 0,5
Podíl luk a lesů na ploše povodí[%]	64	52	49
Nadmořská výška profilu	440,3	396,8	353,7

Obrázek 5: Vybrané charakteristika a porovnání z toku Lužnice (zdroj: Svoboda 2011 dle Havlová 1998).

### 2.2.5 Pedologické poměry

Pro půdní pokryv a obsažené složky v půdě platí, že jsou nedílnou součástí činitelů tvořících odtokový proces. Při vývoji půd jsou podmiňujícími faktory klimatické poměry, horninové podloží a výšková členitost (Albrecht a kol. 2003). Půdní vlhkost a zvrstvení půd je výrazným činitelem určující odtok (Dub 1963). Podzemní a povrchové toky jsou utvářeny pedologickými poměry společně s geomorfologickými a geologickými. Nejvíce se podílí jednotlivé vybrané půdní znaky, které jsou zásadním ovlivněním pro vytváření vodního režimu, tedy půdní texturu odpovídající zrnitosti, strukturu nebo vlhkost. Společně s půdním podložím se jedná o rozhodující činitele. Činitelé působící v krajině mají vliv na infiltraci, propustnost, retenci a perkolační rychlost vody v krajině. V neposlední řadě a výraznou mírou se v krajině setkáváme s antropogenními faktory, které nám mohou negativně zasahovat do půdy (Dub 1963).

Povodí Lužnice je zastoupené téměř všemi půdními druhy, proto můžeme o oblasti mluvit jako o heterogenní. Povodí je ovlivněno rozdílnými klimatickými, geomorfologickými a geologickými podmínkami, proto můžeme sledovat půdní rozdílnost mezi oblastí celého povodí. Lze ale zahlédnout odlišnosti i v menších geomorfologických celcích (ČGS 2017). Mezi nejrozšířenější půdní skupiny v celém povodí se řadí půdy hydromorfní, semihydromorfní a kambizemě (Albrecht a kol. 2003). Vznik pomocí nezpevněných předkvartérních sedimentů utvářel oblast Třeboňské pánve. Je ukázkovou oblastí, ve které se můžeme setkat s velkým množstvím druhů půd (Krásný 2012).

V rámci České republiky lze tuto oblast zařadit mezi největší oblasti s pokrytím hydromorfních a semihydromorfních půd. Gleje jsou nejrozšířenějším zástupcem nejen v oblasti Třeboňské pánve, ale mohou se vyskytovat i na okrajích vodních toků. Vznikají v oblastech s nepropustným podložím a jsou typické vysokou hladinou podzemní vody, která v extrémních případech sahá až na povrch. Pseudogleje jsou v oblasti rovněž hojně zastoupeny. Organozemě, vyskytující se zpravidla jako rašelinné půdy, se vytváření v zamokřených oblastech typicky položených v depresních částech reliéfu a vznikají postupně akumulací rostlinné biomasy. Fluvizemě se vyznačují výraznou vrstevnatostí, jsou typické pro okolí vodních toků a vznikající sedimentací během povodní (Albrecht a kol. 2003, AOPK 2017). Kambizemě můžeme často nalézt ve vyšších polohách v oblastech pahorkatin a vrchovin, ale setkat se s kambizeměmi lze i v nížinné Třeboňské pánvi, což je, v rámci České republiky a jejího území, velmi specifické. Podzoly lze nelézt ve vyšších oblastech, konkrétně oblast Novohradských hor a Českomoravské vrchoviny (Albrecht a kol. 2003, AOPK 2017).

### 3 Sucho

V následující kapitole je představeno sucho, jako jeden z extrémních hydrologických jevů a zároveň jako přírodní fenomén, který způsobuje nedostatek vody a jejího objemu v půdě, v podzemí či ve vodních tocích. Uvedena bude také přesná definice sucha, jeho typy a následně příčiny s dopady. V poslední podkapitole jsou představeny suché roky 2015 a 2018.

Velmi rozšířený pojem je sucho, které oproti běžnému stavu, lze definovat jako deficit vody ve vymezeném území. Pro každý regionu se příčiny způsobující sucho mohou odlišovat, proto není možné zformulovat všeobecnou definici vystihující tento jev. Sucho společně s povodněmi je považováno v hydrologii jako extrémní hydrologický jev, vyskytující se po celém světě a zasahující do životů obrovského množství lidí (Van Loon 2015). Vliv na každého člověka je ale očividný, jelikož sucho je na zemském povrchu součástí přirozeného hydrologického cyklu (Bachmair et al. 2016). Tento jev nastává při situaci, kdy na sebe působí aktuální přírodní procesy. Sucho je také ovlivněno činností člověka a geografickými podmínkami. Narozdíl od povodní, sucho nastupuje pomaleji a trvá mnohem déle. Často lze zjistit jeho důsledky až několik let po jeho skončení (Stahl 2001). Pro zkoumání sucha, je potřeba pokusit se porozumět vzájemné souvislosti uvnitř hydrologického cyklu, které se odehrává mezi suchozemskou a atmosférickou složkou. Pozorovat lze srážky, akumulaci sněhové pokrývky, evapotranspiraci nebo se jedná dále také o řeky, jezera, podzemní vodu a další. V neposlední řadě zasahuje do cirkulace vody na Zemi člověk, který v poslední době cirkulaci výrazně ovlivňuje (Van Loon 2015).

Burian (2019) uvádí, že autoři, zabývající se problematikou sucha, se mohou ve svých definicích výrazně lišit, ovšem pokud chceme mezi nimi najít jeden společný znak, tak to bude vždy vodní deficit. Wilhite a Glantz (1985) uvádí, že našli přes 150 definic sucha, podle kterých na sucho nahlížet vždy trochu jiným pohledem. Jakožto jeden z problémů přesné definice sucha může být velký počet studijních oborů, které využívají pojem sucho. Lze se s ním setkat v hydrologii, meteorologii či v ekonomii nebo dokonce v zemědělství (Dracup, Lee, Paulson 1980).

Nation Drought Mitigation Centre (dále jen NDMC) je nejznámější celosvětovou institucí, zkoumající sucho a jeho projevy. NDMC popisuje sucho, jakožto úplně běžný přírodní jev, opakujícího se projevu klimatu, jenž úzce souvisí s jeho kolísáním. V závislosti na oblasti se podle klimatu může sucho lišit, vykytovat se však může ve všech klimatických pásích. Vznik sucha může být odůvodněn dlouhodobějším deficitem srážek společně

s dalšími faktory, např. intenzita evapotranspirace či slunečního záření (NDMC 2012). NDMC (2019) uvádí, že využívání vody lidmi má za následek nedostatek vody v přírodě, i přestože lidé nejsou schopni ovládat tento přírodní extrémní jev.

Červený a kol. (1984) tvrdí, že sucho nastává, pokud je oproti dlouhodobému průměru zaznamenán nižší úhrn srážek. Toto období může trvat po dobu několika týdnů, ale i několik let. Nebo také uvádí, že pokud není dosažen předem stanovený limit srážek, může se v daném období hovořit jako o suchu. Červený a kol. (1984) dodává, že tyto situace jsou ale výchozí pro oblast klimatických podmínek střední Evropy, proto jak již bylo zmíněno, se ve světě nachází mnoho zahraničních autorů, kteří odlišují jednotlivé regiony pomocí přírodních rozdílů. Sucho je často spojováno i s pojmem aridita, můžeme se setkat i s případy, kdy tyto pojmy jsou zaměněny. Aridita je dlouhodobý charakter klimatu, zatímco sucho je zpravidla jev přechodný (Talaksen 2004). Gibbs (1975) uvádí o suchu, že nastává, pokud není dostatečné množství vody, které by pokrylo nároky na její využití pro lidi, rostliny a živočichy. Podle Vlnas a kol. (2010) nastane sucho v tu chvíli, kdy v dané oblasti a během vymezeného času dojde k nedostatku vody pro naplnění požadavků. Němec, Kopp a kol. (2009) definují sucho, jakožto deficit vody ve vodním zdroji, který je obvykle využíván pro potřeby jednotlivých uživatelů např. obyčejný člověk a nezbytná zásoba pitné vody, zemědělec či průmyslový podnik.

### **3.1 Typy sucha**

Na tento komplexní a klimatický opakující jev lze nahlídnout hned z několika různých pohledů. Za pomoci zdrojů bylo rozpoznáno přes 150 různých typů sucha, které podle jeho měření a jejich základních přístupů kategorizovali, a tím velký krok provedli Wilhite a Glantz (1985). Výsledkem této práce bylo sucho hydrologické, meteorologické, socioekonomické a půdní (agronomické). Rozhodovat musela rozdílnost, která se odrážela v různých regionech či potřebách. Dle Brázdila, Trnky a kol. (2015) je sucho rozděleno totožně, jen dodávají, že je v závislosti na časovém měřítku.

#### **3.1.1 Meteorologické sucho**

Výskyt sucha je podmíněn především meteorologicky v návaznosti na kombinaci nejrůznějších faktorů nebo procesy v zemské atmosféře, které mohou vyvolávat přírodní či antropogenní vlivy (Hisdal 2003). Atmosférické činitele a jejich záporné působení jsou příčinou prostorových a časových změn v úhrnu srážek, vlhkosti, rychlosti větru a podobně. Vznik atmosférického sucha může být podmíněn přesně těmito okolnostmi (Rožnovský 2014).

Meteorologické sucho nastává vždy jako první. Vznik je podmíněn nepříznivým stavem atmosféry. Jedná se o deficit srážkových poměrů, než je běžný průměr (ČHMÚ 2019). Van Loon (2015) tento jev popisuje jako odchylku atmosférických srážek, která se liší od dlouhodobého průměru ve vymezeném časovém období. Ostatní typy sucha přicházejí se zpožděním. Množství vody v krajině ovlivňují meteorologické veličiny, které jsou základními činiteli pro meteorologické sucho. Mohou ovlivnit srážky a jejich množství v prostorovém a časovém rozložení a mají také vliv na evapotranspiraci. Tu podmiňují například veličiny typu slunečního záření, vlhkost a teplota vzduchu nebo rychlost větru (Němec, Kopp a kol. 2009).

Další faktory mohou tento typ sucha také ovlivnit. Mezi nejvíce ovlivňující patří teplota, dále má vliv evapotranspirace nebo relativní vlhkost vzduchu. Mezi ukazatele hodnotící meteorologické sucho patří například standardizovaný srážkový evapotranspirační index (SPEI), standardní srážkový index (SPI) nebo Palmerův index intenzity sucha (PDSI) (Peña-Gallardo a kol. 2019, Palmer 1965).

### **3.1.2 Agronomické sucho**

Doba agronomického sucha neboli půdního sucha se pohybuje od 6 týdnů a může se protáhnout až po dobu 9 měsíců (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Pokud množství srážek není dostatečné na zabezpečení všech zemědělských kultur, nastává tak agronomické sucho (Němec, Kopp a kol. 2009). Půdní sucho je ovlivněno více podmiňujícími faktory, hlavním faktorem je meteorologické sucho, ale mohou to být i rozdílné potřeby zemědělských plodin či rozdílný typ hospodaření (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Mnohdy se lze setkat i s případy, kdy například Rožnovský a kol. (2012) vymezují, podle odlišných druhů rostlin a deficitu vody pro jejich vlastní potřeby, sucho fyziologické a půdní. Pro růst rostlin je hlavním determinantem dostatek vláhy a vody. Jestliže nedochází k zajištění těchto potřeb, dochází ke ztrátám v celkové úrodě, a především k vadnutí rostlin. Nejvíce je zemědělství zranitelné na jaře, kdy je zavlažování rostlin nejpodstatnější. Na jaře se mohou podepsat na deficitu vody i vysoké teploty, které mohou dopomoci k vyššímu výparu. Se ztrátou v rostlinné sféře souvisí menší objem potravy pro hospodářská zvířata, kdy například v případě krav může docházet k úbytku dojivosti či ztrátě váhy. Proto se lze setkat i s úhynem nebo nuceným porážkám zvířete (Novický a kol. 2008).

### **3.1.3 Hydrologické sucho**

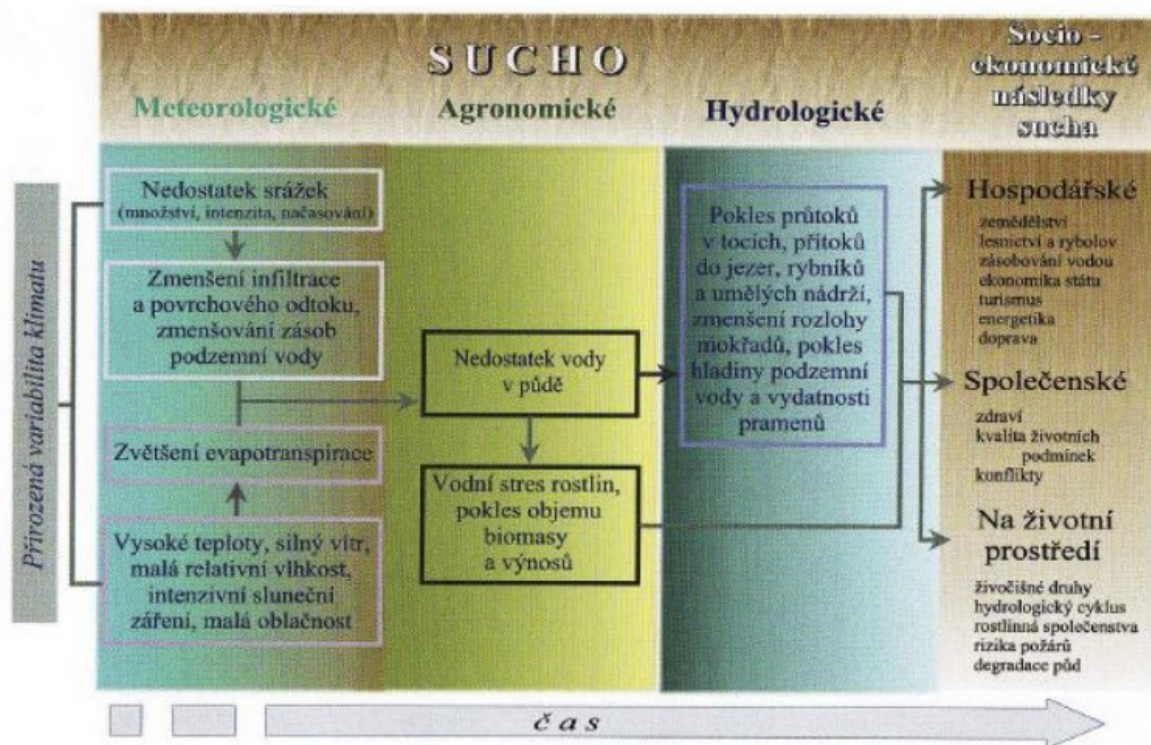
Sucho hydrologické nastává po dlouhodobě nepříznivých meteorologických podmínkách. Ztrátou podzemních a povrchových vod charakterizujeme pojem hydrologické sucho

(Van Loon 2015, Hasan a kol. 2019). Průtok povrchové vody odpovídá dostatečným zásobám, je-li tedy dostatek vody uvnitř říčního koryta. Hydrologické sucho nastává ve chvíli, kdy není vyrovnána nebo překročena stanovená kritická hodnota. Hydrologické sucho vzniká za podmínky, že hydrologický systém trpí deficitem vody (Van Loon 2015). Proto pokud v přírodě nastane deficit vody, promítá se to poklesem podzemních a povrchových vod, např. pokles vody v jezerech a vodních nádržích nebo nízkým průtokem vodních toků (Nalbantis, Tsakiris 2009, Van Loon 2015).

K hydrologickému suchu může dojít i chybou člověka, tzv. antropogenně, a to, jestliže jsou přečerpávány zásoby vody. Podle Tallaksen a kol. (2004) se od sebe odlišují podzemní a povrchové vody, přičemž u podzemních vod se deficit vody prokáže v řádu měsíců až roků. U vod povrchových si úbytku vody lze všimnout po několika dnech nebo týdnech.

### **3.1.4 Socioekonomické sucho**

Jako další z typů sucha nastává socioekonomické sucho, které vyplývá z důsledků předchozích typů působících na hospodářské aktivity společnosti a společnost jako takovou (Němec, Kopp a kol. 2009). S podobnou definicí se lze setkat u Brázdila, Trnky a kol. (2015) kteří uvádějí, že s tímto typem se lze setkat ve všech fázích. Výskyt socioekonomického sucha je spojen s potřebami lidské společnosti a hospodářství, především když nastává nedostatek vody, zejména pitné či užitkové. NDMC (2012) zmiňuje, že se může projevit i v podobě požárů v krajině nebo omezením provozu vodních elektráren. Pro fungování a rozvoj společnosti je voda nezbytnou součástí, lidé jsou nuceni se zásobovat pitnou vodou. Kvalita vody se v období sucha snižuje v důsledku klesajících zásob. Jeden ze znaků socioekonomického sucha může být nevyrovnaný rozdíl mezi nabídkou a poptávkou vody (NDMC 2012).



Obrázek 6: Typy sucha (zdroj: Němec, Hladný 2006).

### 3.2 Příčiny hydrologického sucha

Hydrologické sucho je jev, který má velký dopad na ekosystémy a společnost (Van Loon 2015). Hydrologické sucho vzniká působením souvisejících jevů dohromady, také z tohoto důvodu bereme sucho jako jev velmi komplexní. Základními činiteli bývají mořské proudy a globální cirkulace atmosféry, které jsou doplněny místními a sezónními jevy. Ty můžeme pozorovat, pokud se opozdí například letní monzun nebo tlakové výše ovlivněny jejich dráhou nebo neobvyklou polohou.

Tlakové výše mohou ovlivňovat v oblastech zvýšenou teplotu nebo evapotranspiraci či vysoký deficit srážek (Tallaksen, Van Lanen 2004). Bakke a kol. (2020) uvádějí, že tlakové výše přináší do oblastí suchý a teplý vzduch, který napomáhá k tvorbě hydrologického sucha. Podle Van Loona (2015) může uvadání rostlin a nedostatek půdní vláhly při dlouhotrvajícím suchu snížit evapotranspiraci, čímž se může následně omezit vyčerpání vlhkosti v půdě. Naproti tomu to může vést k nižšímu úhrnu srážek v dané oblasti, která by měla za následek udržení sucha. Nízké množství půdní vláhly se záporně projevuje na zásobách podzemní vody a jejím doplňování, čímž následně klesá její hladina.

K poklesu hladiny podzemní vody může často docházet později, někdy se dokonce vůbec nemusí neprojevit reakce na atmosférické podmínky a jejich změnu. Nízká hladina podzemní vody se může projevit na průtoku ve zvodnělých vrstvách, kde dosahuje nižších

hodnot. Příčinou také mohou být dlouhodobě trvající mrazy, se kterými se lze setkat v oblastech povodí s dominancí sněhové pokrývky (Van Loon 2015). Dále se lze setkat i s klimatogenními činiteli, které ovlivňují oblast, podobně jako předchozí body (např. vzdálenost od oceánu nebo nadmořská výška). V neposlední řadě mohou mít vliv i hydrogeologické poměry, pokryv vegetace a člověk čili antropogenní vlivy (Estrela a kol. 2001, Fleigh 2004, Tallaksen a kol. 2004).

Stahl a kol. (2010) zmiňují, že antropogenní vliv stále narůstá a podílí se na suchu společně s přírodními faktory. Lidé mají větší požadavky na odběr vody a její spotřebu, což je zapříčiněno zvyšující se životní úroveň společnosti (Brázdil, Trnka a kol. 2015). Nadměrná spotřeba vody v zemědělství, průmyslu a domácnostech může být důležitým faktorem pro vznik sucha. Výstavby vodní přehradní nádrže či upravení vodních toků patří mezi zásadní ovlivnění lidskou společností. Van Loon a kol. (2016) dodávají, že přehrady mohou ovlivnit odtok řeky a jejího povodí jak pozitivně, tak i negativně.

### **3.3 Dopady hydrologického sucha**

Nedostatek vody má velký společenský dopad projevující se mezi lidmi i v ekosystému přírody. Život bez vody neexistuje, voda je nezbytná pro člověka i celý svět. Pro lidstvo s neustále rostoucí populací, která v roce 2023 překročila hranici osmi miliard, je sucho velkou hrozbou, jelikož vodu využívá v průmyslu a zavlažování. Proto pokud nastane období sucha, rapidně se zvyšuje poptávka vody s následným omezením jejího výdeje. Proto by měl být prodej vody v tomto období řízený (Burian 2019).

Sucho a jeho dopady můžeme sledovat v lokálním, ale i celosvětovém měřítku. Narozdíl od druhého extrémního jevu povodní, je nástup sucha velmi pomalý, dohru však můžeme počítat v období několika let. Je zajímavé sledovat i řešení nedostatku vody v rozdílných státech. Každý stát se nachází na jiné úrovni, proto ve vyspělých státech se setkáváme s řešením, které je pro jiné státy nerealizovatelné. Jedná se o výstavbu přírodních kanálů, pomocí kterých se do míst postižených suchem přivádí voda. V rozvojových a často chudých státech se s podobnými stavbami setkáváme jen málokdy, jelikož jejich výstavba zde není umožněna (Hladný 2009, Šachová 2013).

Postup sucha probíhá v krajině postupně a pomalu, nelze tedy mluvit o přímých obětech jako u povodní. Ve vyspělých státech se jen zřídka setkáváme s mediální pozorností zaměřenou na sucho, i přestože největší počet obětí v rozvojových státech umírá na nedostatek vody (Hladný 2009). Například v Asii v roce 2018 zasáhlo sucho až 12 milionů lidí, převážně z Thajska, kde se jednalo o skoro 10 milionů a v Tádžikistánu 2 milióny. Sucho



se nejvíce podepisuje v Africe, kde největší problémy dělá v oblasti afrického rohu. V roce 2008 mezi lednem a říjnem bylo suchem zasaženo v Somálsku až přes 3 milióny lidí. V Eritreii a Etiopii tomu byl víc než dvojnásobek, vyčísleno bylo 7,7 milionů obyvatel (Vos a kol. 2009). Finanční řešení ztrát spojených se suchem je velmi nákladné, ve Spojených státech amerických je dopad mnohem nákladnější než ostatní přírodní katastrofy (Tallaksen a kol. 2004).

Dopady sucha podle mnoha publikací bývají rozděleny na tři skupiny. Setkáváme se s enviromentálními, ekonomickými a sociálními a ve stejné pořadí se i začínají projevovat. Enviromentální projevy se vyskytují v zemědělství, toto odvětví se často uvádí i jako nejzranitelnější část celého hospodářství, jelikož zde sucho snižuje produktivitu i kvalitu plodin společně s návazností na výnosy (Trnka 2010). Nejde však jen pouze o zemědělství, zásah pocítují i přírodní ekosystémy nebo lesnictví, kde může docházet ke zhoršení stavu a odolnosti dřeva či menší produkci. Na enviromentální dopady se vždy následně nabalují problémy ekonomické a sociální, které u jednotlivých států jsou závislé na jejich vyspělosti (Brázdil, Trnka a kol. 2015).

### **3.4 Sucho v zájmovém období mezi roky 2015–2018**

Dále je zaměřeno a podrobněji popsáno suché období v letech 2015 až 2018. Také na všeobecné znaky a hodnoty, které byly naměřené a vyhodnocené během tohoto období a jaký to mělo dopad na řeku Lužnici.

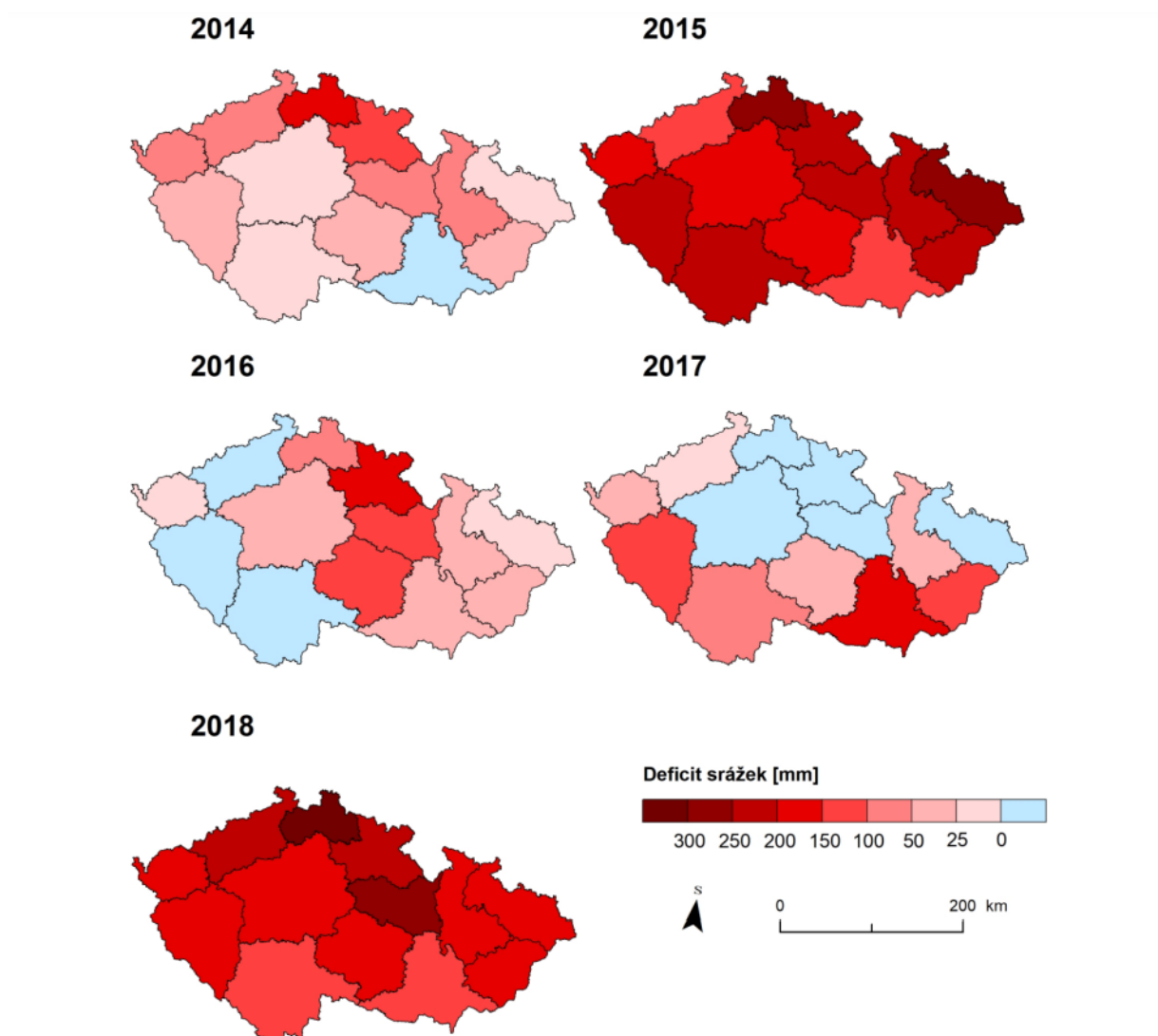
#### **3.4.1 Suché období 2015–2018**

Suché období mezi roky 2015-2018, jakožto zkoumaná časová řada, není ale zcela přesná, jelikož sucho se vyskytuje již od roku 2014 s počátky v červenci léta 2013 (Čekal 2018). V tomto roce dochází pomocí povodní k náhlému poklesu zásob vody. Následná zima v roce 2014 byla ovlivněna deficitem srážek a nedostatečným množstvím sněhové pokrývky, které nedokázali na jaře zásoby podzemních vod doplnit. Proto již na jaře 2014 docházelo u vodních toků k průtokovým minimům a vyskytovaly se rekordně nízké naměřené hodnoty. Mírné zimy i v dalších letech sice měly pár měsíců bohatých na úhrn srážek, ale to zdaleka nestačilo na doplnění deficitu zásob podzemních vod. Jednalo se většinou o oblasti s nižší či střední nadmořskou výškou, ve kterých se nezvládla vytvořit dostatečně velká akumulace sněhové pokrývky. Proto se urychlila doba tání oproti době od druhé poloviny února až do začátku března. Všechno mělo vyústění, že u podzemních vod docházelo ke dřívějšímu vrcholnému stavu (Čekal 2018).

Rozdílem oproti běžnému suchu trvajícím po dobu jednoho roku, byl jev odlišný svým vývojem. Jednalo se o akumulaci srážkového deficitu, která přetrvávala dlouhodobě. Nejdříve se projevuje sucho meteorologické a následně přichází sucho půdní a hydrologické. Čekal (2018) uvádí, že mezi roky 2015-2018 se naráz vyskytly všechny typy sucha, jelikož od roku 2015 trvalo sucho nepřetržitě až do roku 2018.

Pro území České republiky ve sledovaném období byl deficit srážek hlavní příčinou sucha, oproti průměrnému ročnímu úhrnu se jednalo pouze o 68 %, tedy pouze 350 mm (Čekal 2018, ČHMÚ 2018). Nejhůře na tom ve sledovaném období byl kraj Liberecký, přičemž v Jihomoravském kraji byly naměřeny nejnižší deficity (Junková 2019).

Junková (2019) uvádí, že v roce 2014 se v Jihomoravském kraji dokonce oproti dlouhodobému normálu (mezi roky 1981-2010) zvýšila hodnota o 32 mm. Nejvíce zasáhnutý Liberecký kraj měl oproti normálu deficit 157 mm. Krizový rok 2015 nejvíce zastihnul opět Liberecký kraj s Moravskoslezským krajem. V následujícím roce 2016 na tom byly nejhůře východní Čechy, kde byl deficit srážek 139 mm. V Jihočeském kraji však příbytek srážek činil 25 mm. Bohatší na srážky byl rok 2017, avšak v roce 2018 byl ve všech krajích, v popředí s Libereckým a Pardubickým krajem, deficit srážek. Pokud si tedy suché období shrneme, zásadní jsou tedy roky 2015 a 2018, ve kterých se vyskytovaly až extrémní hodnoty a podle ČHMÚ (2018) byly v těchto letech celkově naměřeny nejnižší úhrny srážek. Všechno lze vidět na obrázku č. 7 (Junková 2019).



Obrázek 7: Deficit srážek na území jednotlivých krajů České republiky pro hydrologické roky 2014, 2015, 2016, 2017 a 2018 (zdroj: Junková 2019).

### 3.4.2 Rok 2015

V roce 2015 bylo celé území České republiky značně zasaženo suchem, nejvíce v letních měsících. Zasaženo nebylo pouze území naší republiky, ale i střední a západní Evropa. Široké spektrum dopadů ovlivňuje fakt, že v roce 2015 se projevily všechny typy sucha (Daňhelka a kol. 2015). V historii to za sebou zanechalo dopady, které významně zasáhly hydrologické i meteorologické hledisko. Naměřen byl roční úhrn srážek 532 mm odpovídající pouze 78 % z naměřeného normálu mezi roky 1981-2010. Na území Čech se jednalo o 541 mm, ale na Moravě šlo o pouhých 513 mm, což bylo nejméně od roku 1961 (Burian 2021). Společně s rokem 2018 lze tvrdit, že šlo o vrcholy celého suchého období (Daňhelka a kol. 2019a).

Sucho ale v roce 2015 mělo svoji předehtu již v předchozím roce, kdy se projevovala absence srážek, která následně proběhla mírně i v únoru a na jaře 2015. V létě za dopomoci opakujících se veder se dostala už i tak vysušená krajina do zhoršeného stavu. V této době se nad Evropou objevovaly a obnovovaly tlakové výše velkého rozměru. Z tohoto důvodu od moří a oceánu nemohl proudit vlhký vzduch ani do oblasti střední Evropy. Zvětšený výpar, příčinou malé oblačnosti a nízké relativní vlhkosti vzduchu, se podílel na zvětšování deficitu vody v krajině (Burian 2021, Daňhelka a kol 2015).

I přestože v srpnu roku 2015 převážně přšelo, lze ho označit jako vrchol sucha, protože srážky nedokázaly pokrýt postupující sucho. V září a začátkem října byl deficit srážek v České republice okolo 180 mm. Navázat na meteorologickou situaci musí samozřejmě i hydrologická. V roce 2015 bylo zasaženo hydrologickými projevy sucha veškeré území České republiky. U velkého procenta řek klesla hladina vodních toků pod úroveň Q355 (úroveň hydrologického sucha), nebo byly zaznamenány i případy vyschnutého koryta (Burian 2021). U podzemních vod v polovině srpna sucho vykazovalo 56 % pramenů a dokonce až 59 % mělkých vrtů. Toto období se protáhlo až do října, teprve v listopadu se situace začala zlepšovat. V případě Lužnice a jejího povodí šlo o celkově největší deficit povrchových vod (ČHMÚ 2015, Hydrologická bilance množství a jakosti vod ČR 2015, Hydrologická ročenka 2015).

### **3.4.3 Rok 2018**

Rok 2018, jakožto pátý suchý v řadě, byl pro celé období vrcholem sucha. Po roce 2003 to byl druhý nejsušší od roku 1961 z pohledu celkových srážek a léto 2018 bylo dokonce nejteplejším shodně s rokem 2003 (Daňhelka a kol. 2019b). Na sucho vyskytující se již od roku 2014 a zima mezi roky 2017-2018, která měla podstatný vliv pro nadcházející suchý rok. Zprvu krajina musela čerpat vodu z naakumulované sněhové pokrývky, jelikož v nižších a středních oblastech nadmořské výšky se vůbec nevytvořila sněhová pokrývka. Navíc začátkem února se začal projevovat i deficit srážek, na který postupně navazoval velmi brzký pokles podzemních a povrchových vod, který byl výrazně ovlivněn obdobím 2015–2017 (Daňhelka a kol. 2019b). Daňhelka a kol. (2019b) uvádí, že v období od 15. února do 4. března nezasáhl území České republiky žádný frontální systém, který by přinesl srážky, jelikož nad naším územím se vyskytovala mohutná tlaková výše se středem nad severní Evropou. Během jara se přidali i nadprůměrné teploty, proto se u velkého počtu vodních toků mohli setkat s historicky nejnižšími hodnotami průtoku.

V létě teplo nadále pokračovalo, meteorologové zaznamenali nadprůměrný počet tropických dní a úbytek srážek, což způsobilo zvětšený výpar. Průtok na Lužnici klesl až během července k nejnižším hodnotám, jelikož v červnu byly ještě zaznamenány dny s výraznějším úhrnem srážek (Daňhelka a kol. 2019b). Burian (2021) tvrdí, že v rozmezí dnů od 24. července do 9. srpna 2018 nejsilnější vlna veder způsobila na hodnotách z konce srpna deficit srážek okolo 160 mm. Přes 75 % vrtů zaznamenalo výkazy extrémního sucha odpovídající nejnižším hodnotám naměřených stavů od roku 1961. Hydrologické sucho znamenalo pro většinu vodních toků, že hodnoty průtoků byly pod normálovým stavem Q355 v několika povodích. Nejvíce zasaženou oblastí byla řeka Sázava a její sousední povodí. Vyskytla se zde i vyschlá koryta řek a ovlivněna z těchto důvodů byla i kvalita vody u menších toků (Burian 2021). Povodí zkoumaného území Lužnice nebylo zasaženo takovou mírou jako například Sázava. Nejméně byla suchem poznamenána Odra s jejím povodím (Daňhelka a kol. 2019a, ČHMÚ 2018, Hydrologická bilance množství a jakosti vod ČR 2018, Hydrologická ročenka 2018). „*Rok 2018 se projevil všemi druhy sucha. Z hlediska průtoků a stavu podzemních vod, byl rok 2018 celkově sušší než 2015.*“ (Daňhelka a kol. 2019a, str. 86).

## 4. Podpovrchová voda

Jedná se o část hydrosféry, která se vyskytuje pod zemským povrchem a je označována jako podpovrchové vody. Působí jako činitel v horninovém a půdním prostředí a je součástí oběhu vody v krajině, kde tvoří vlastní subsystém (Dub 1963).

Podpovrchové vody dva hlavní typy. První z nich je zóna aerace, která není obecně nezahrnuta jakožto podzemní voda, jelikož se s ní lze setkat v blízkosti zemského povrchu. Označována je i jako zóna provzdušnění, neboť v jejím horninotvorném prostředí se nachází převážně voda v různých skupenstvích, která se nazývá jako půdní vláhá a vyskytuje se zde společně se vzduchem.

Zóna saturace je druhým typem podpovrchových vod a je označována jako podzemní voda. Nachází se v zóně úplného nasycení (Ruda 2013). Krásný (2012) uvádí, že podzemní voda se narodila od půdní vláhý vyskytuje jenom v kapalném skupenství. Mezi podzemní vodu lze zahrnout, kromě zóny nasycení, i vodu v drenážních systémech či studních. Podzemní voda proudí nebo se usazuje ve vhodných oblastech, z nichž opouští horninotvorné prostředí, drenáží následně dodává vodu do vodního toku. Vlastnosti horninotvorného prostředí, půdy, klimatu atd. ovlivňují druh, výskyt a množství podzemních vod (Kříž 1983).

Podzemní voda je považována za zdroj udržující život na Zemi, ovlivňuje miliardy lidí a hraje hlavní roli v ekosystémech a v zemědělství (zavlažování), jelikož je na světě největší zásobárnou sladké vody (EguBlogs 2022). EguBlogs (2022) cit. autora Dr. Rosario Sanchez Flores, jenž konstatuje že podzemní voda je mocný zdroj bohatství, který ovlivňuje její geografická poloha ve světě, je méně citlivá na klimatické změny a má vyšší akumulaci schopnost než voda povrchová.

Vznik podzemní vody lze definovat dvěma způsoby. První druh podzemní vody vzniká z důvodu pronikání (infiltrace) atmosférických srážek do půdy (Dub 1963). Podle Wintera (2013) záleží také na objemu účinných srážek, které se dokážou stát podzemní vodou tím, že se infiltrují do půdy. Ovlivňovat to může nemalý počet faktorů, mezi které lze uvést hustotu vegetačního krytu, propustnost půdy nebo četnost s intenzitou srážek. Z tohoto tvrzení vyplývá, že místa s půdou, která snadno propouští vodu, nachází se velký úhrn srážek a je nízké procento vegetačního krytu, jsou ideálním prostředím pro účinné doplnění podzemních vod. Kříž (1983) uvádí, že se může podílet také kondenzace par v atmosféře. Z důvodu relativně mělké cirkulace v zemské kůře, hovoříme o tomto druhu jako o vodě vadózní.

Vody juvenilní, které jsou hlubinného původu, jsou označovány jako druhý způsob tvorby podzemních vod. Vznik je zapříčiněn spojením molekul kyslíku a vodíku, které poté kondenzují a následně se promíchávají s infiltrační vodou (Dub 1963).

Půdní voda je označována pojmem půdní vláh, která se nachází v zóně aerace (provzdušnění). Je dostupná pro veškeré půdní organismy, jelikož se nachází v půdním profilu. Ruda (2013) uvádí, že se vyskytuje se ve všech skupenstvích, a proto ji lze hydrologicky roztrdit na různé podtypy a složky vody. V půdách, které mají vyšší teplotu, se nachází první z nich. Jedná se o vodní páru, která vzniká výparem a její pohyb v pórech je způsoben změnou napětí. Opačný stav, kdy teplota v půdě je 0 °C a nižší, se definuje jako půdní led. Voda, která se ze zemského povrchu dostává do hlubších vrstev půdy a je způsobena zemskou gravitací, je označována jako vsakující se voda. Pukliny do 0,25 mm a průliny do 1 mm vyplňuje voda kapilární, tu k sobě vážou kapilární síly a tvoří se nad hladinou podzemní vody (Ruda 2013). Toto pásmo se označuje jako kapilární a voda se zde pohybuje vertikálně v návaznosti na vodu podzemní. Gravitační síla ovlivňuje i vodu adsorbční (adhézní), jelikož na jednotlivá zrna se váže voda obalovanými vrstvami, které jsou vždy velmi jemné (Dub 1963, Kříž 1983).



Obrázek 8: Rozložení druhů podpovrchových vod v horninách. Zdroj: Ruda 2013 (online) dle Netopil 1972

## 4.1 Interakce podzemních a povrchových vod

Vztah mezi podzemní a povrchovou vodou je velmi výrazný. Společně tvoří součást oběhu vody a závisí na nich význačná řada jevů, např. napájení podzemní vody povrchovými vodami, drenážní účinky vodního toku, odtok podzemních vod atd. (Kalbus 2006).

Jak již bylo zmíněno, podpovrchová voda, vznikající převážně z atmosférických srážek, je doplňována především proto, aby mohla probíhat infiltrace přes nesaturovanou zónu. Také může být doplňována kondenzací plynů v atmosféře (Kříž 1983).

Odtok probíhá také u podzemní vody, přičemž odtéká v podobě pramenů nebo příronem do vodního toku. Také může odtékat do vodní nádrže povrchové vody, čímž se stává jedním z důvodů vodnosti povrchového vodního toku. Kadlecová a kol. (2007) uvádějí, že záměna povrchové a podzemní vody je po většinu času ukrytá. V závislosti na hloubku a výšku vody se systémy podzemních vod mohou lišit, přičemž se některé útvary mohou také překrývat.

K největší záměně vody s povrchovým vodním tokem dochází při mělkých a hlubinných zvodních, přičemž mělké zvodně jsou mnohem výraznější, jelikož u hlubinných se déle zdržuje voda. Tato voda je drénována povrchovým vodním tokem, což probíhá v různých částech vodního toku a nemusí korelovat s mělkějšími zvodněmi (Kalbus 2006).

Může také docházet ke zhoršení kvality povrchových vod, dojde-li k drenáži znečištěných podzemních vod (Muzikář 2014). Naopak napájení znečištěných povrchových vod způsobuje znečištění těch podzemních. V poslední době se hodnotí také stavy těchto vod, přičemž dobrý stav splňuje vhodné požadavky na využívání vody lidmi, jak pro své potřeby, tak pro zemědělství. Kromě tohoto využití je cílem také zachování minimálních průtoků v povrchových tocích.

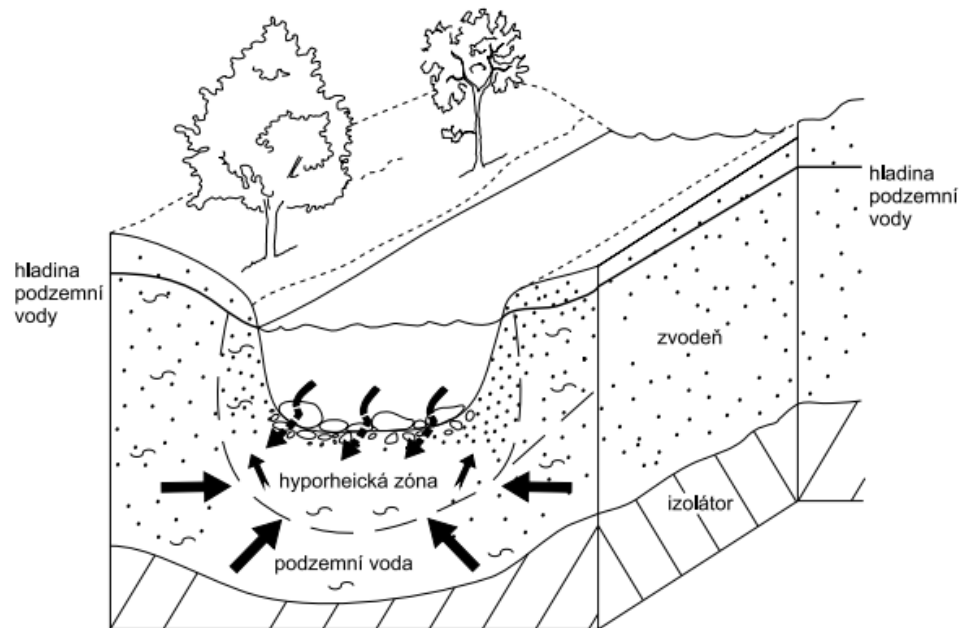
V tomto tématu interakce podzemních a povrchových vod se dostáváme k několika problémům. Jedná se o důkaz hydraulické spojitosti, snižování propustnosti koryta povrchového toku (tzv. kolmatace), kontakt povrchové a podzemní vody a vyhodnocení interakce těchto dvou typů vod. Muzikář (2014) uvádí, že propustnost zvodně, dna a svahu koryta povrchových toků ovlivňuje stupeň hydraulické spojitosti.

Stupeň hydraulické spojitosti také ovlivňuje kolmatace koryta. Toto snižování propustnosti je zapříčiněno usazováním splavenin, které vznikly důsledkem eroze, a to buď v povodí povrchového toku, nebo v jeho korytě. Koryto často znečišťují odumřelé části rostlin a jiné organické materiály. Důsledkem toho mohou být malé průtoky, při kterých může být přerušena, již zmíněná, hydraulická spojitost povrchové a podzemní vody. Podle Muzikáře



(2014, dle Hálka 1972) vzniká tzv. „kolmatační kolaps“, který byl prokázán při průzkumu v povodí Dyje roku 1947.

„Voda v povrchovém toku neproudí pouze v korytě, nýbrž proudí v průlinách koryta a říčních sedimentech, které společně vytváří přechodnou zónu na styku útvaru povrchové a podzemní vody.“ (Muzikář 2014, str. 19). Autor uvádí, že tato zóna se nazývá „hyporheická zóna“ a probíhá v ní přímý kontakt s říční vodou. Tato zóna je vyobrazena na následujícím obrázku č. 9.



Obrázek 9: Schéma hyporheické zóny (Muzikář 2014 dle Sophocleouse M. 2002)

Sophocleouse (2002) uvádí, že vzájemné působení povrchových a podzemních vod lze považovat za klasický přírodní jev, který nastává z důvodu příznivých klimatických, hydrologických a geologických podmínek. Podle Muzikáře (2014) je základem pro zhodnocení interakce povrchové a podzemní vody zjištění, zda poloha koryta vytváří správné podmínky pro hydraulickou spojitost. Stěžejní je také stupeň kolmatace koryta. Důležité, pro prokázání tohoto stupně, je denní měření hladin podzemní vody v monitorovacích vrtech a hladin vodního toku. Je třeba brát v úvahu vzestupný a sestupný pohyb hladiny a změny stupně kolmatace.

Woessner (2000) uvádí, že zvýšená hladina je typická pro nivu. Niva může vodou zásobovat řeku, z toho důvodu, že nad hladinou podzemní vody je půda téměř nasycena kapilární vodou. Směr, kterým proudí podzemní voda v nivě, je řízen několika faktory. Jedná se např. o vztah mezi hladinou vody v toku a sklonem podzemní vody a o geometrii a pozici

koryta toku v nivě. Dle Šilara (1996) lze odhadnout směr proudění podzemní vody, která je ve směru sklonu hladiny. Voda proudí rychleji, pokud je větší sklon.

Dle Muzikáře (2014) lze pro zhodnocení interakce povrchové a podzemní vody dále zapojit terénní šetření, přičemž se zjišťuje např. zamokření svahů koryt, výskyt pramenů, vodní páry v místech infiltrace a zelených rostlin na dně. Dále také výskyt sraženin oxidu manganu a železa a přítomnost mokřadních rostlin (např. blatouchů).

Reakce podzemní vody je v hydraulické spojitosti s povrchovým tokem rozdílná, čemuž musí být podřízeny odběry vzorků. Pro tyto odběry jsou uzpůsobeny monitorovací vrty, z jejichž odebraných vzorků se provádí chemické rozbory (Muzikář 2014).

## **5. Metodika práce a datové zdroje**

### **5.1 Datové zdroje**

V bakalářské práci jsou využita data z portálu ČHMÚ, která znázorňují jednotlivé hodnoty denních průtoků a výšky hladiny podzemních vod. Tato data jsou vlastnoručně zpracována, vyhodnocena a znázorněna pomocí grafů. Pro hodnotu průtoků jsou použita data ze stanic Kazdovna a Pilař, které jsou položeny na toku horní Lužnice. Společně s nimi jsou využita data z mělkých vrtů (Hamr, Holičky, Majdalena, Suchdol nad Lužnicí a Tušť), které se nacházejí v blízkosti toku. Pomocí nichž mohla být porovnána výška hladiny podzemních vod mezi roky 2013-2020. K posouzení reakce povrchových a podzemních vod byla využita také data z meteorologické stanice Suchdol nad Lužnicí, následně vyhodnocena pomocí sloupcových grafů průměrných denních hodnot v jednotlivých měsících v období 2015-2018.

### **5.2 Použité metody**

Pro vyhodnocení jednotlivých výsledků byly nejdříve vypočteny odtokové charakteristiky z vybraného povodí. Získaná data průměrných denních průtoků a hladiny podzemní vody z mělkých vrtů byla následně zpracována v programu MS Excel a byla roztríděna pro další vyhodnocení. Převedená data byla většinou upravena do měsíčních nebo ročních průměrů a graficky znázorněna. Následně pomocí všech získaných a převedených dat bylo umožněno posoudit variabilitu odtoku a hladiny podzemní vody během celého zájmového období. V neposlední řadě došlo k vyhodnocení hydrologického sucha v MS Excel vypracováním počtu suchých dní během jednotlivých let.

Využita byla metoda prahové hodnoty, která je nejpoužívanější metodou k vyhodnocení hydrologického sucha. Pro tuto metodu je nutné si zvolit prahovou hodnotu  $Q_x$ . Pro bakalářskou práci byla zvolena nejčastější metoda, která je využívána v České republice  $Q_{355}$ . Tuto metodu lze vypočítat pro každý den, měsíc nebo rok, pro účely práce byla zvolena dlouhodobá hodnota získána pomocí ČHMÚ. Dny v roce, které nedosáhnou zmíněné prahové hodnoty, lze vyhodnotit jako dny suché.

Podrobnější analýza pro vybrané hydrologické roky 2015–2018 byla vyhodnocena v programu MS Excel a výstupem jsou grafy přibližující cíle bakalářské práce.

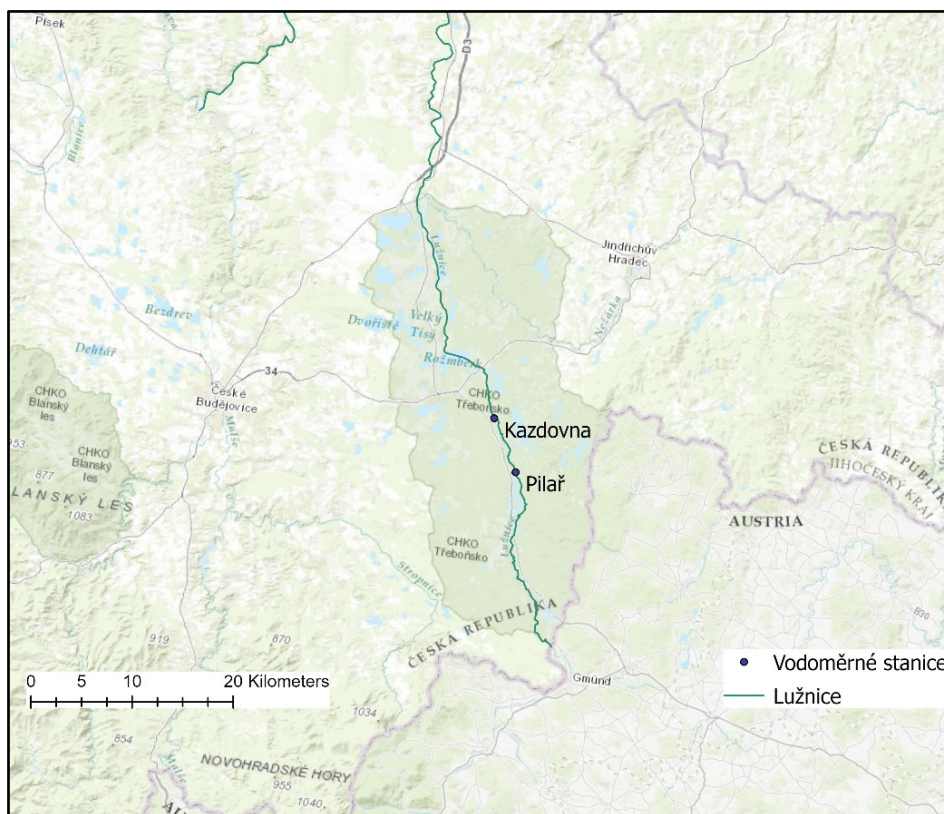
## 6. Výsledky

V následující kapitole je popsána reakce povrchových a podzemních vod, pomocí zaznamenaných průměrných denních průtoků vody z vodoměrných profilů Kazdovna a Pilař pomocí dat z ČHMÚ. Společně s nimi bude využita průměrná denní hladina podzemní vody z mělkých vrtů Hamr, Holičky, Majdalena, Suchdol nad Lužnicí a Tušů, data jsou opět získána z ČHMÚ. V neposlední řadě jsou využita i data z meteorologické stanice Suchdol nad Lužnicí, které mohou být odpovědí na rozdíly mezi reakcí povrchové a podzemní vody. Ke znázornění dat jsou využity grafy, pomocí nichž budou znázorněny jednotlivé charakteristiky průtoků

a trend pohybu hladiny podzemní vody či úhrny srážek za jednotlivá období.

### 6.1 Odtoková charakteristika

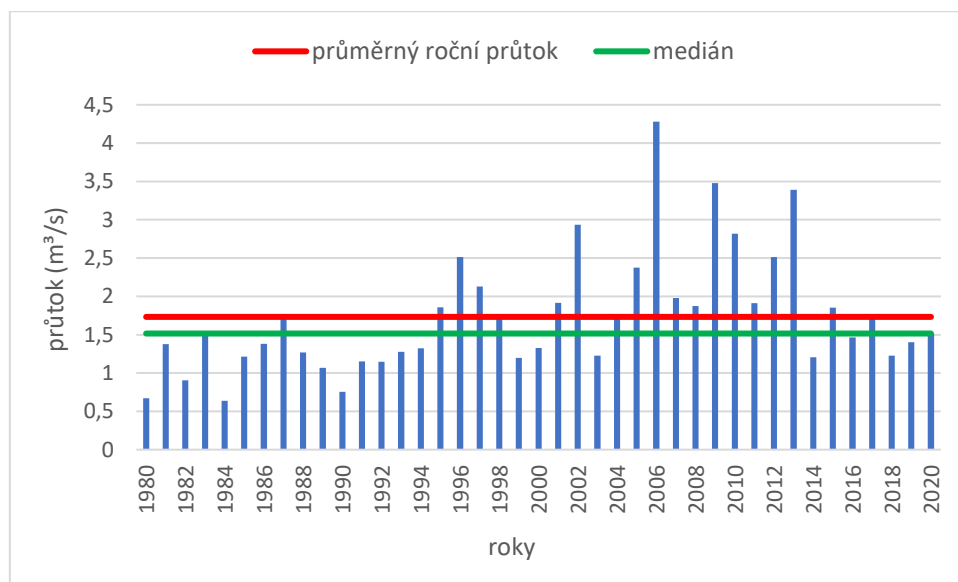
Pro odtokovou charakteristiku jsou podrobněji využita a rozebrána data z měrných stanic Kazdovna a Pilař (ČHMÚ) viz obrázek č. 10. Pro některé porovnání je nutné využít data již od roku 1980 až do roku 2020, které dokáží přiblížit rozdílnost se zájmovým obdobím od roku 2015 do roku 2018. Velká většina grafů odpovídá poslednímu zmíněnému období nebo se podrobněji věnuje suchým rokům 2015 a 2018.



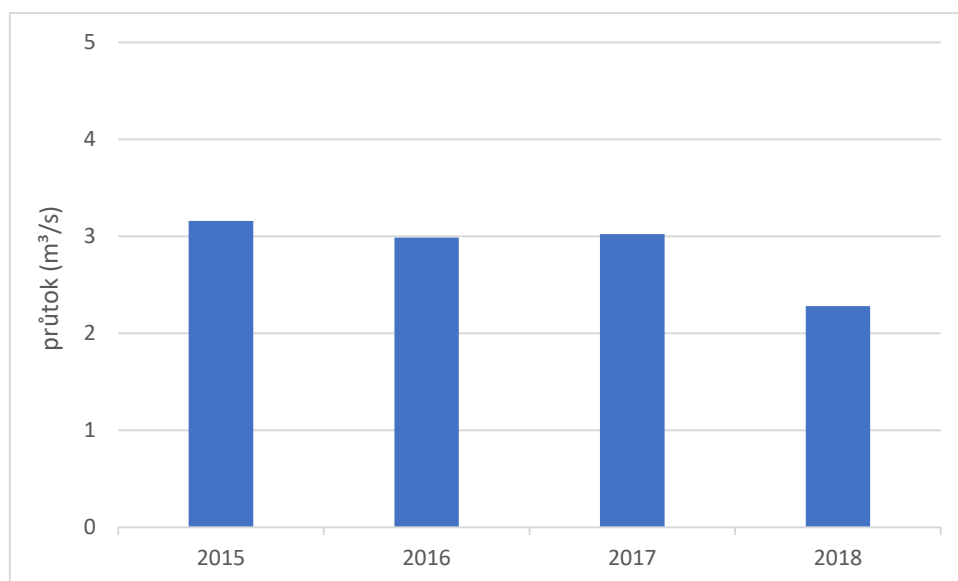
Obrázek 10: Poloha vodoměrných stanic Kazdovna a Pilař na řece Lužnice. Zdroj: ArcČR 500, ČHMÚ, vlastní zpracování.

### 6.1.1 Průměrné roční průtoky v období 1980–2020

Na grafu č. 1 je vidět, že na měrné stanici Kazdovna, v období mezi roky 2009-2013 mimo rok 2011, dosahoval průtok hodnot nad 2,5 m<sup>3</sup>/s. S výjimkou roků 1996, 2002 a 2006, kdy byl dokonce naměřen maximální naměřený průměrný průtok – 4,28 m<sup>3</sup>/s. Toto období je tedy řazeno k nejvýše naměřeným průměrným hodnotám od 1980–2020. Roky 2009 a 2013 (povodně v červnu) jsou s hodnotami průtoků okolo 3,4 m<sup>3</sup>/s dokonce druhé a třetí nejvyšší v posledních 40 letech. Suché období zde proběhlo již o rok dříve než v zájmovém období bakalářské práce, tedy od roku 2014 do roku 2018. Vykazované hodnoty jsou výrazně nižší oproti předešlým roků 2012 a 2013. Toto období nejvíce poznamenalo průtok vody na Kazdovně v roce 2014, kdy byl naměřen průměrný průtok jen lehce nad 1,2 m<sup>3</sup>/s (graf č. 1). Následující roky 2015 až 2018 jsou podrobněji znázorněny v grafu č. 2. Hodnota průměrného průtoků se v období 2015-2017 zvýšila oproti roku 2014, nejvýše byla v roce 2015 – 1,85 m<sup>3</sup>/s. Avšak v posledním a nejsušším roce 2018 opět klesla na hodnotu těsně nad 1,2 m<sup>3</sup>/s. Průměrný roční průtok mezi roky 1980 až 2020 byl 1,73 m<sup>3</sup>/s, tento průměr nebyl dosažen od roku 1980 do roku 1994 ani jednou s výjimkou roku 1987. Dosažen nebyl též mezi roky 1998–2000, v roce 2014 a v letech 2018–2020. Medián, který ukazuje střední hodnotu průměrného ročního průtoků vyšel 1,52 m<sup>3</sup>/s.



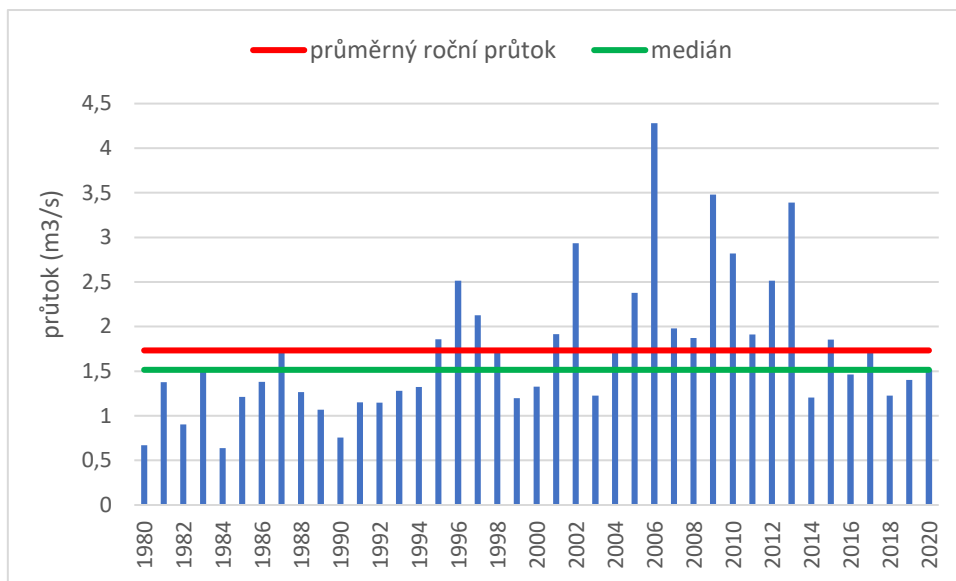
Graf 1: Průměrný roční průtok vody na stanici Kazdovna 1980-2020. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.



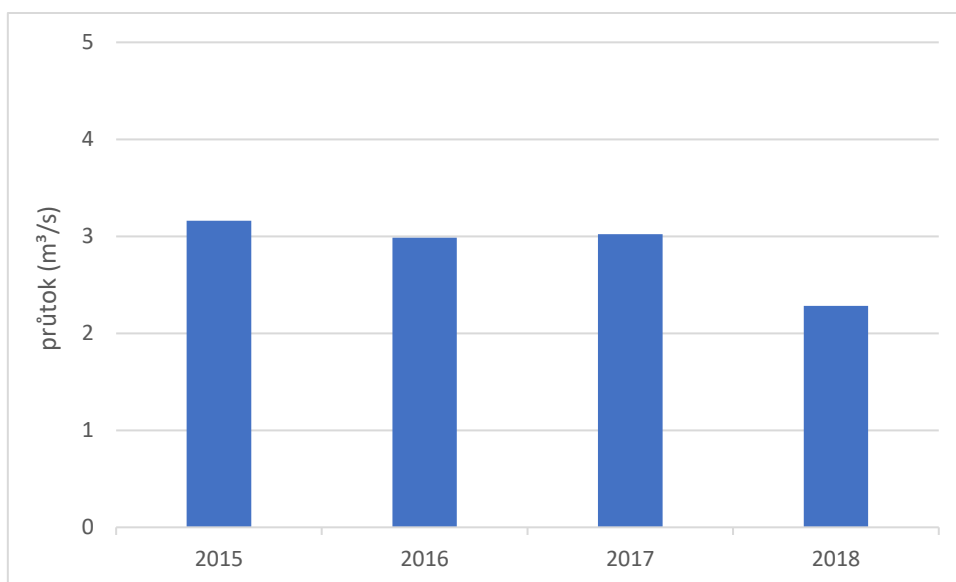
Graf 2: Průměrný roční průtok vody na stanici Kazdovna 2015-2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Na stanici Pilař, v období mezi lety 1980-2020, byla dosažena maxima průměrného ročního průtoku při povodních v roce 2002 - 13,86 m<sup>3</sup>/s a v roce 2013, kdy však hodnota byla nižší - 11,26 m<sup>3</sup>/s. Nejsušším rokem v celém období byl rok 1990, nízkých průtoků však dosahovala řeka následně i v roce 1994, také v suchém období od roku 1998–2000 a v zájmovém období 2015–2018, jak lze vyčíst z grafu č. 3. Z grafu č. 4 lze vyčíst, že mezi sledovanými roky 2015–2018 byl nejvyšší naměřený průměrný průtok v roce 2015 - 3,15 m<sup>3</sup>/s.

Podobně tomu bylo i v letech 2016 a 2017, během nichž se průměrný průtok pohyboval o trochu níže okolo hranice 3 m<sup>3</sup>/s. Minimální průměrný roční průtok nastal v roce 2018, kdy byla naměřena hodnota pouze 2,28 m<sup>3</sup>/s. Tato hodnota je od roku 1980 třetí nejnižší. Průměrný roční průtok - 5,07 m<sup>3</sup>/s byl v období 1980–2020 pouze ve 14 letech. Ostatní roky měly průměrnou hodnotu nižší a velká část z nichž nedosáhla ani na medián (4,24 m<sup>3</sup>/s).



Graf 3: Průměrný roční průtok vody na stanici Pilař 1980-2020. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.



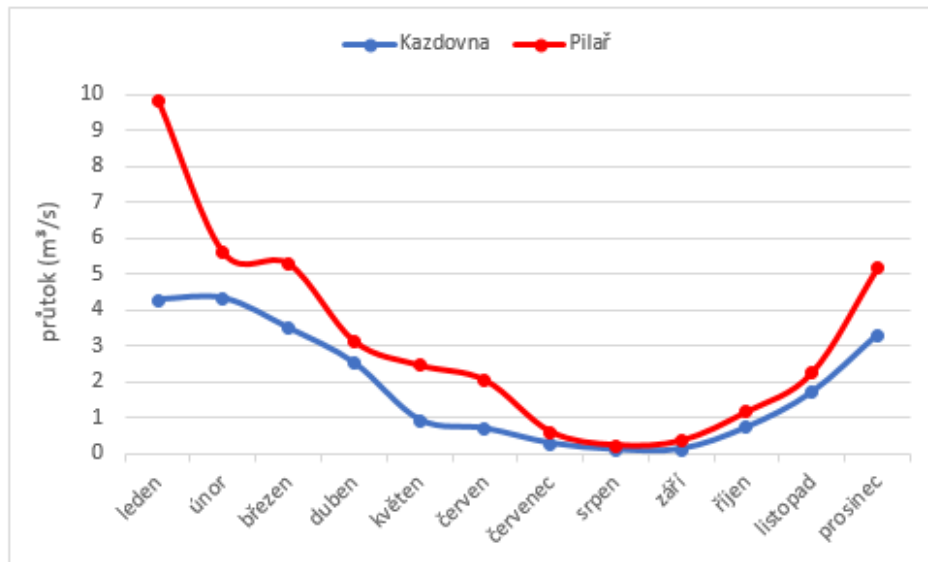
Graf 4: Průměrný roční průtok vody Pilař na stanici 2015-2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Pro období od roku 2015 do roku 2018 lze využít i podrobnější měsíční průměrné průtoky, které jsou znázorněny na grafech č. 5, 6, 7, 8.

### 6.1.2 Průměrné měsíční průtoky v období 2015–2018

V roce 2015 dosahoval průměrný průtok na Kazdovně nejvyšších hodnot ze začátku roku, nejvyšší průměrný průtok byl dosažen v únoru - 4,31 m<sup>3</sup>/s. Podobně tomu bylo i u stanice Pilař, která naměřila své maximum již v lednu - 9,84 m<sup>3</sup>/s (maximum stanice Pilař 2015–2018). Na obou stanicích následně průměrné měsíční průtoky během jara klesaly z důvodu absence srážek. Kazdovna zaznamenala největší pokles mezi dubnem a květnem, průměrný měsíční průtok v tomto období klesl z 2,5 m<sup>3</sup>/s až na hodnotu 0,92 m<sup>3</sup>/s. Stanice

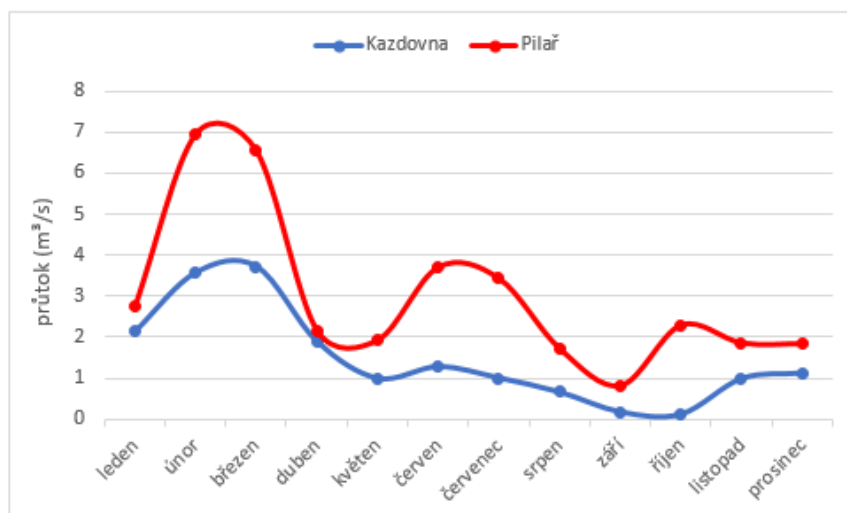
Pilař zaznamenala nejvyšší pokles již z ledna na únor. Nízké letní hodnoty průtoku shodně dosáhly minima v srpnu. Kazdovna vykazovala průměrný průtok během srpna pouze 0,10 m<sup>3</sup>/s, následně i v září byla hodnota pouze 0,12 m<sup>3</sup>/s. Na Pilaři byla v srpnu naměřeno jen 0,22 m<sup>3</sup>/s a v září 0,34 m<sup>3</sup>/s. Od října průtok na obou stanicích výrazně stoupal, na Pilaři se dostal dokonce zpět přes 5 m<sup>3</sup>/s, jak lze vidět na obrázku č. 5.



Graf 5: Průměrný měsíční průtok vody na stanicích Kazdovna a Pilař v roce 2015. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

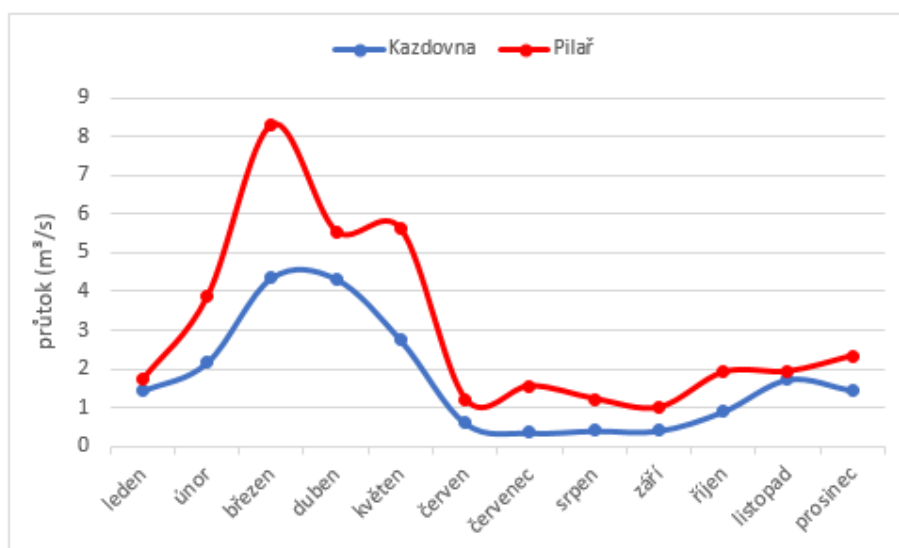
V lednu roku 2016 byly náměry výrazně nižší hodnoty průměrného průtoku na obou stanicích oproti předcházejícímu roku. Následně shodně během února a března se vystoupaly na svá maxima pro zmíněný rok. Na Kazdovně byl v březnu naměřen průtok 3,71 m<sup>3</sup>/s, Pilař zaznamenal maximum již v únoru - 6,94 m<sup>3</sup>/s. Výrazný pokles průtoku byl shodně zaznamenán v dubnu, na Pilaři průtok klesl dokonce o 4,38 m<sup>3</sup>/s, na Kazdovně byl pokles skoro o 2 m<sup>3</sup>/s. Vodnatější byl na Pilaři výrazně červen a červenec, Kazdovna měla mírný nárůst v červnu. Nízké hodnoty zaznamenaly stanice společně v září, kdy na Pilaři byl naměřen průtok 0,82 m<sup>3</sup>/s, Kazdovna dosáhla svého minima až v říjnu - 0,12 m<sup>3</sup>/s. Nízké průtoky byly zaznamenány i během listopadu a prosince oproti roku 2015, což lze vyčíst z grafu č. 6.





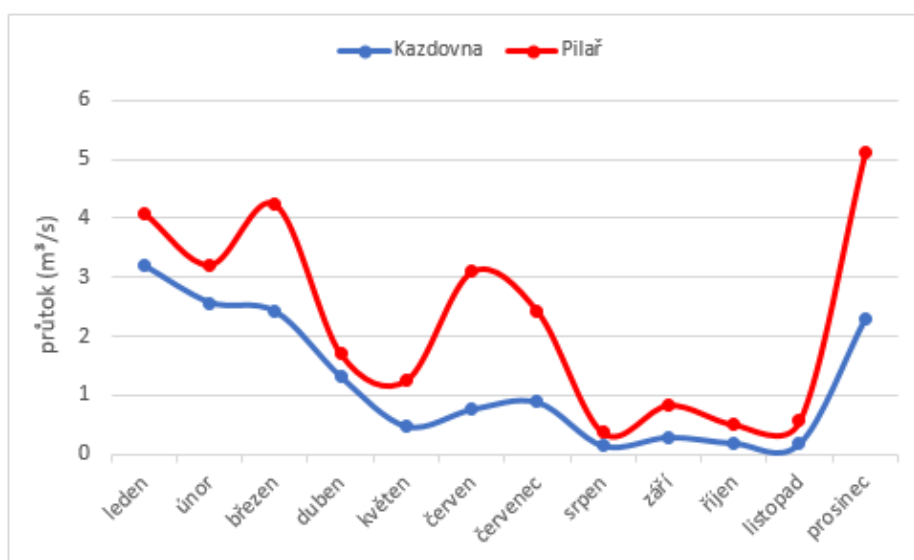
Graf 6: Průměrný měsíční průtok vody na stanicích Kazdovna a Pilař v roce 2016. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Na grafu č. 7 je znázorněn rok 2017, podobně jako v předchozím roce, se průměrný průtok nejprve zvýšil u obou stanic. Maxima dosáhly shodně v březnu, kdy se průtok na profilu Pilař vyšplhal na hodnotu 8,31 m<sup>3</sup>/s a Kazdovně byla naměřena hodnota 4,35 m<sup>3</sup>/s. V tomto měsíci byly naměřeny druhé nejvyšší hodnoty průměrného měsíčního průtoku pro období od roku 2015 do roku 2018 v pořadí po lednu 2015. Na Kazdovně průtok klesal do až do léta, kdy se v období od července do září pohyboval mezi 0,36 až 0,43 m<sup>3</sup>/s. Oproti tomu na Pilaři lze vidět mírný nárůst průtoku v květnu, minimum nastalo v září - 1 m<sup>3</sup>/s. Stejně jako v předchozím roce byly naměřeny nízké hodnoty na konci roku.



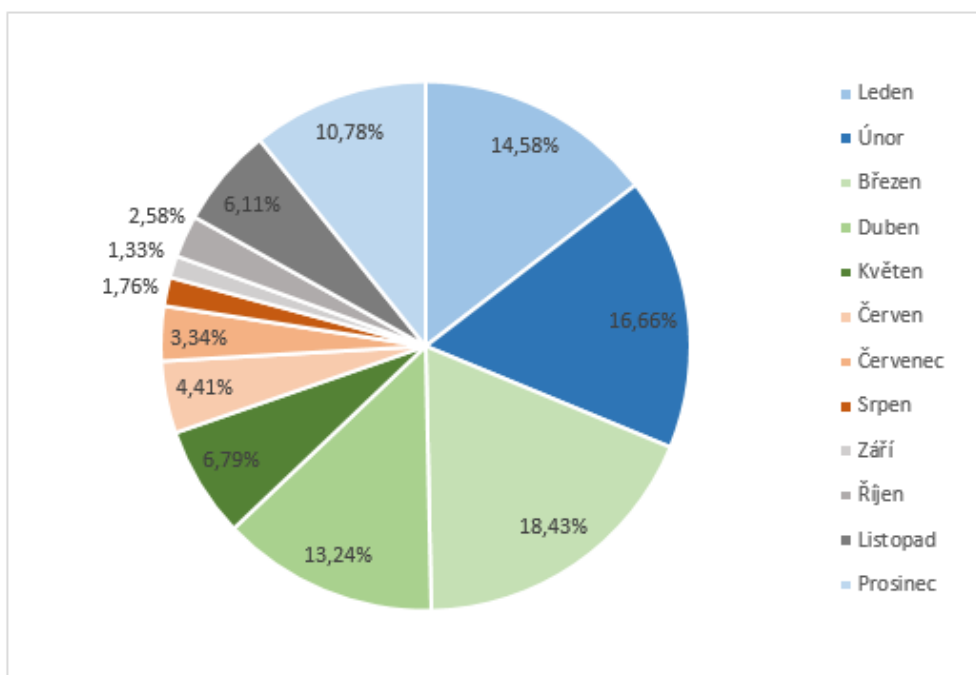
Graf 7: Průměrný měsíční průtok vody na stanicích Kazdovna a Pilař v roce 2017. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Poslední rok 2018 byl ze všech let nejsušší. Maximum zaznamenala stanice Pilař až v prosinci, kdy výrazně průtok stoupl o více než 4 m<sup>3</sup>/s. Na Kazdovně tomu bylo podobně mezi listopadem a prosincem, avšak maximum bylo nastalo již v lednu - 3,18 m<sup>3</sup>/s. Od ledna na stanici Kazdovna nejprve průtok klesal až do května, kdy spadnul až na hodnotu 0,48 m<sup>3</sup>/s, což je v porovnání s ostatními zmíněnými roky nejméně v tomto měsíci. Trochu vodnatějšími byli červen a červenec, následně však hodnoty klesly na minimum, které bylo dosaženo v srpnu - 0,15 m<sup>3</sup>/s, nízký průtok přetrvával až do zmíněného listopadu. Na stanici Pilař byl zaznamenán vyšší průtok během března, června a červenci podobně jako v roce 2016, od srpna až do listopadu však nedosahoval ani 1 m<sup>3</sup>/s, minimum bylo naměřeno v srpnu - 0,37 m<sup>3</sup>/s viz graf č.8.



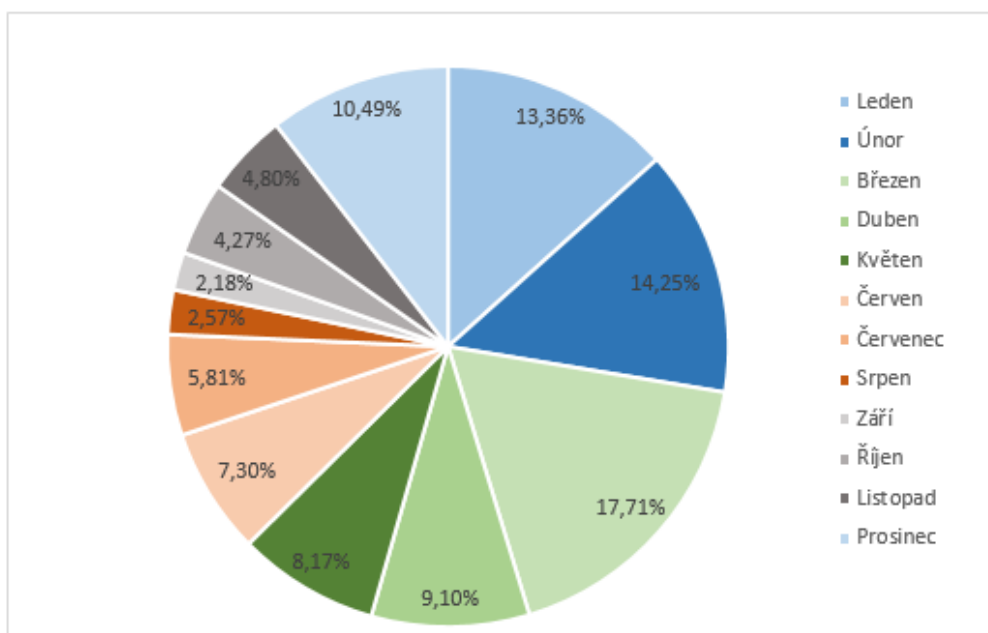
Graf 8: Průměrný měsíční průtok vody na stanicích Kazdovna a Pilař v roce 2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Mezi roky 2015–2018, podle denních průtoků, byly vypočteny měsíční průměrné průtoky na profilu Kazdovna, jejich podíl je na celkovém ročním objemu lze vidět na grafu č. 9. Maximum průtoku bylo dosaženo v březnu, což bylo způsobeno táním sněhu. Vysoké hodnoty zaznamenal únor a duben, kdy mohl být důvod podobný.



Graf 9: Podíl jednotlivých měsíců na ročním objemu odtoku pro profil Kazdovna 2015–2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

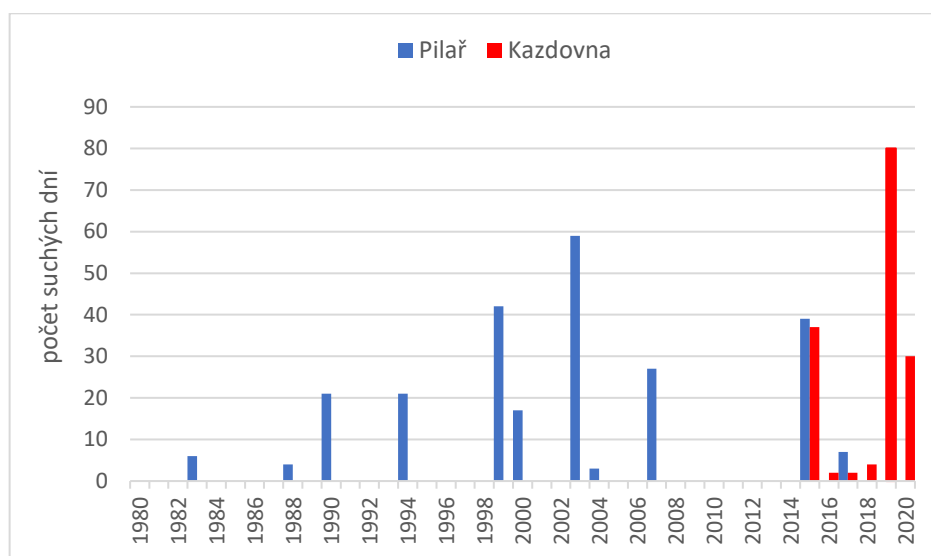
Naměřené hodnoty z profilu Pilař ukazují, že jednotlivé měsíce se podílely na ročním objemu, podobně jako v případě Kazdovny. Shodně nejvyšší podíl měl březen z důvodu tání sněhu, vysoké hodnoty byly naměřeny hlavně v zimě a na jaře viz graf č. 10.



Graf 10: Podíl jednotlivých měsíců na ročním objemu odtoku pro profil Pilař 2015–2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

### 6.1.3 Počet suchých dnů 1980–2020

Na Lužnici, konkrétně na profilech Kazdovna a Pilař, byly v období 1980–2020 zaznamenány velmi nízké hodnoty průtoků. Suché dny jsou následkem nedosažení prahové hodnoty  $Q_{355d}$ . Dlouhodobý průměr  $Q_{355d}$  od roku 1980 do roku 2023 je určen podle dat ČHMÚ pro stanici Kazdovna  $0,097 \text{ m}^3/\text{s}$  a v případě stanice Pilař  $0,250 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pro námi již zmíněné období je patrné, že hodnota  $Q_{355d}$  nebyla dosažena mezi roky 1980–2014 pouze v případě stanice Pilař, v letech 1983, 1988, 1990, 1994, 1999, 2000, 2003 (maximum - 59 suchých dnů), 2004, 2007 viz graf č. 11.



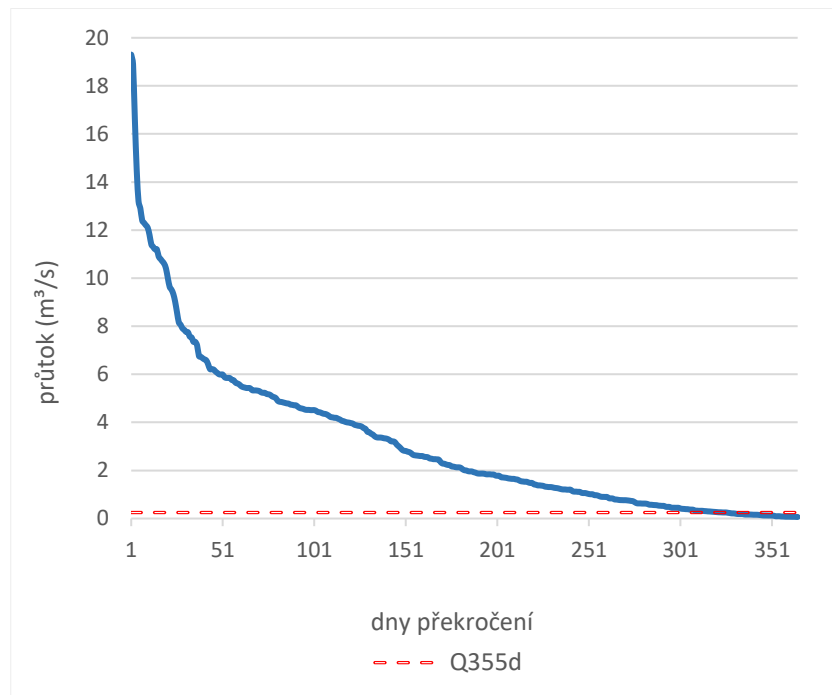
Graf 11: Počet suchých dnů na stanici Kazdovna a Pilař v období 1980–2020. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

V grafu č. 11 si lze ještě povšimnout nedosažení prahové hodnoty na Kazdovně, převážně v případě roku 2019 (80krát) a v roce 2020 (30krát). K nedosažení prahové hodnoty v těchto letech došlo z důvodu převodu vody na odbočení Nové řeky z Lužnice, která se následně vlévá do Nežárky a vlévá se zpět do Lužnice. Převody vody do Nové řeky, a tím způsobené suché dny, nastaly v období srpen až září 2019 a během období prosinec až leden na přelomu let 2019–2020 (Brejcha 2019 a 2020).

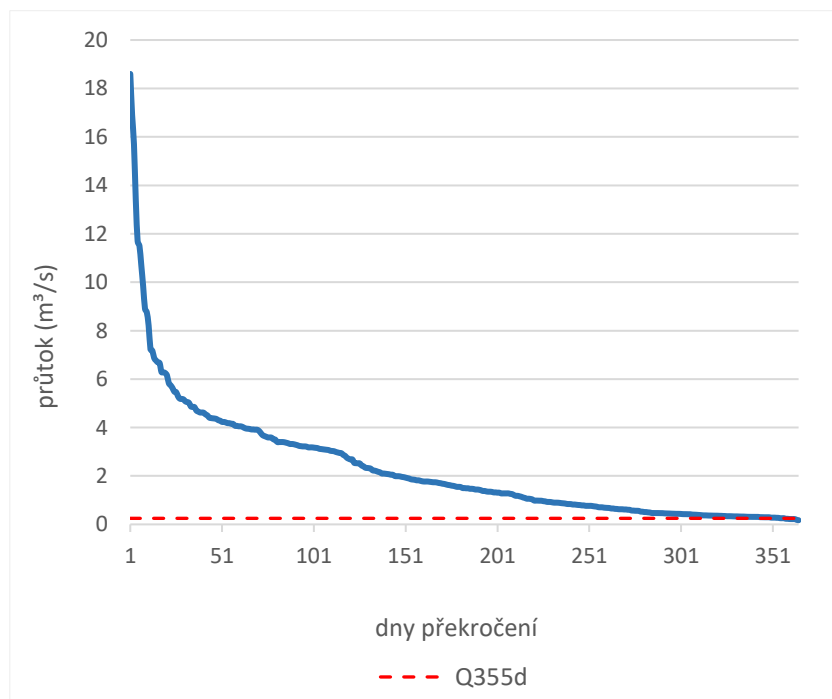
### 6.1.4 Čára překročení denních průtoků

Čára překročení průměrných denních průtoků je další z využitých charakteristik pro možnost znázornění dosažení prahové hodnoty  $Q_{355d}$  za jednotlivé roky. Počet hodnot pod prahovou hodnotou  $Q_{355d}$  odpovídá počtu suchých dnů v daném roce, proto není důvod znázornit roky 2016 a 2017 na stanici Pilař. Z grafu č. 12 lze vypožorovat, že na stanici Pilař v roce 2015

odpovídá protnutí křivky 39 suchým dnům. Graf č. 13 odpovídá roku 2018, kdy se pod prahovou hodnotou nachází pouze 7 dní.



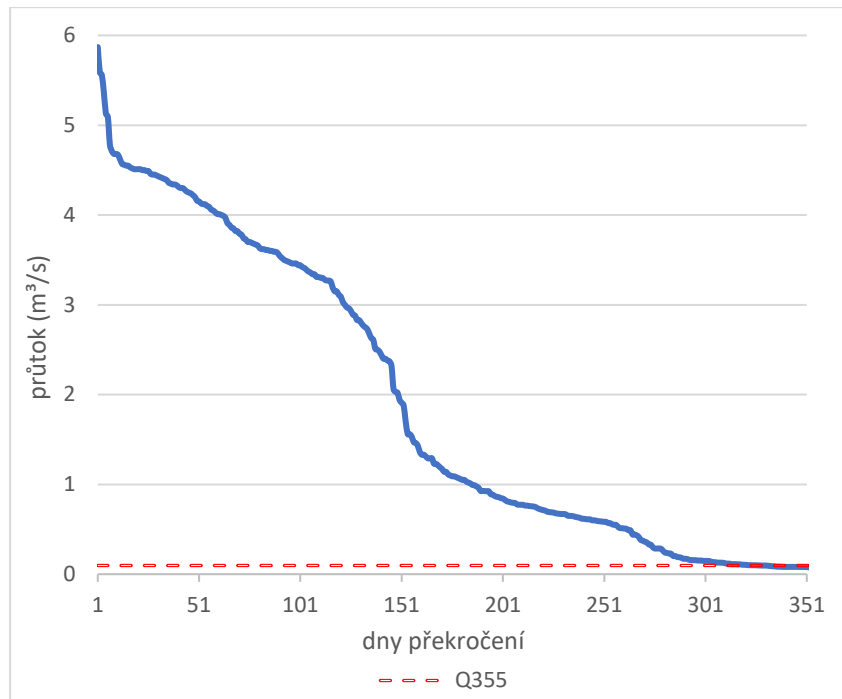
Graf 12: Překročení prahové hodnoty  $Q_{355d}$  denních průtoků v roce 2015 na stanici Pilař. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.



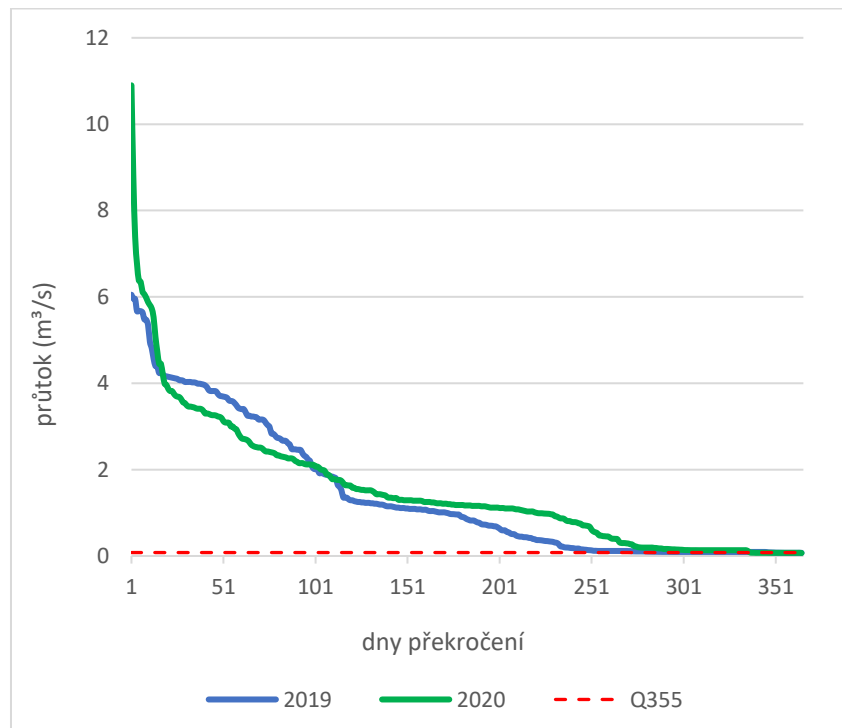
Graf 13: Překročení prahové hodnoty  $Q_{355d}$  denních průtoků v roce 2018 na stanici Pilař. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Rok 2015 je na stanici Kazdovna znázorněn pomocí grafu č. 14. Zde je vidět, že střet křivky s prahovou hodnotou odpovídá 37 dnům sucha, které jsou uvedeny v grafu č. 11. Pro

představu rozdílnosti pomocí tohoto typu jsou znázorněny i roky 2019 a 2020 na Kazdovně (graf č. 15). Zde je velmi dobře vidět, že v roce 2020 je křivka protnutá v místě, které odpovídá 30 dnům sucha. Oproti tomu v roce 2019 je tato prahová hodnota  $Q_{355d}$  až v místě, které odpovídá 80 dnům sucha, což bylo zmíněno v grafu č. 11.



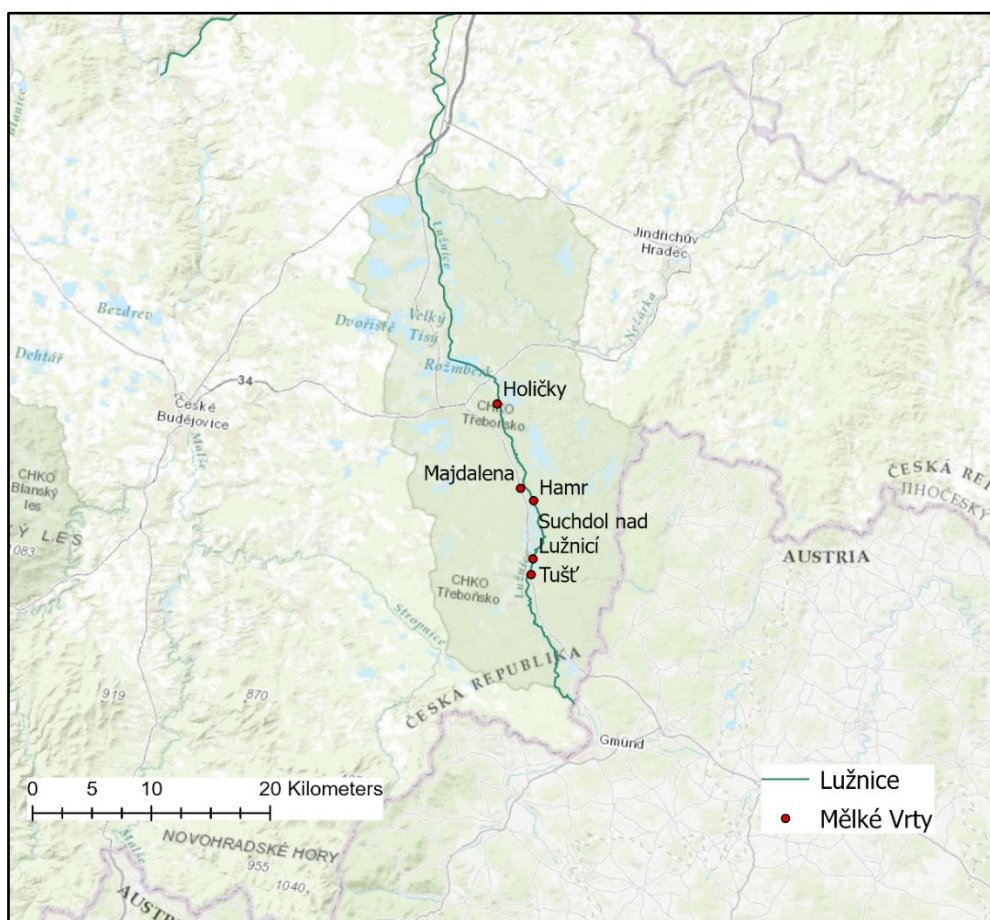
Graf 14: Překročení prahové hodnoty  $Q_{355d}$  denních průtoků v roce 2015 na stanici Kazdovna. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.



Graf 15: Překročení prahové hodnoty  $Q_{355d}$  denních průtoků v letech 2019 a 2020 na stanici Kazdovna. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

## 6.2 Průměrné roční a měsíční hladiny podzemní vody

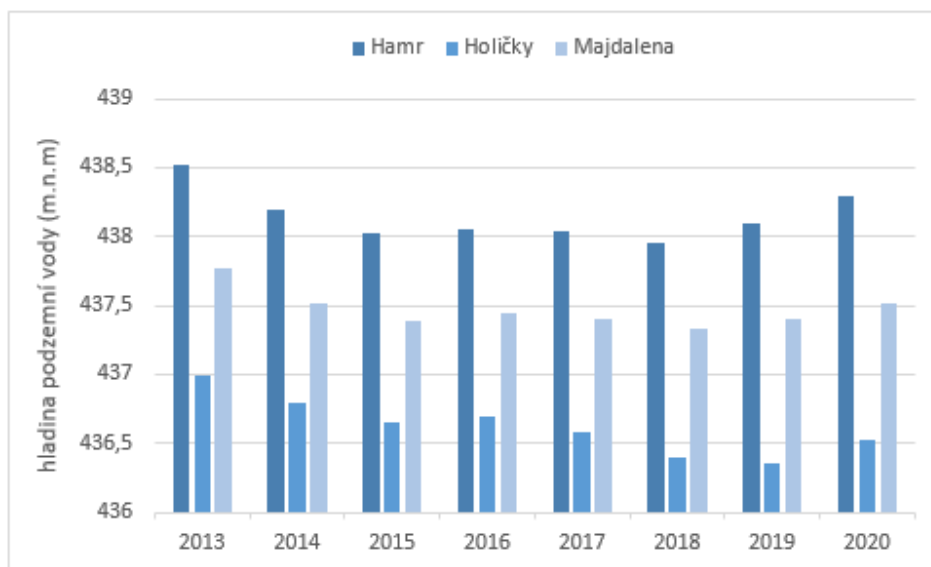
V následující části jsou podrobněji popsány vybrané mělké vrty nacházející se v zájmovém území horní Lužnice. Jak je možné vidět na obrázku č. 11, vybráno bylo pět mělkých vrtů. Podle směru toku v pořadí Tušť, Suchdol nad Lužnicí, Hamr, Majdalena a Holičky. Podrobněji jsou rozebrány Hamr, Majdalena a Holičky, které jsou v následující části práce využity k vyhodnocení interakce povrchových a podzemních vod. U těchto vrtů je blíže přiblíženo i období od roku 2015 do roku 2018, jelikož jsou situovány v blízkosti představených vodoměrných stanic Kazdovna a Pilař. Vrty Suchdol nad Lužnicí a Tušť jsou představeny v závěru této kapitoly s daleko menším důrazem.



Obrázek 11: Poloha mělkých vrtů Hamr, Holičky, Majdalena, Suchdol nad Lužnicí a Tušť na řece Lužnice. Zdroj: ArcČR 500, ČHMÚ, vlastní zpracování.

Na grafu č. 16 jsou zobrazeny výsledné hodnoty z mělkých vrtů Hamr, Holičky a Majdalena mezi roky 2013–2020. Všechny tři vrty dosáhly svého maxima v roce 2013, kdy jih České republiky a povodí Lužnice zasáhly povodně, a to především v červnu. Průměrná roční hladina podzemní vody se ve vrtu Hamr dostala až do výšky 438,5 m. n. m, Holičky zaznamenaly hodnotu 437 m. n. m. a na Majdaleně bylo naměřeno 437,8 m. n. m. Vrt Hamr

vykazoval minima mezi roky 2015–2019, nejnižší naměřená hodnota byla v roce 2018. Oproti těmto zmíněným rokům hladina podzemní vody byla o půl metru níže než v roce 2013. Nejnižší hodnota byla naměřena v roce 2018 - 437,95 m. n. m. Vrt Holičky naměřil výrazně nižší hodnoty až v letech 2018, 2019 (minimum - 436,35 m. n. m) a v roce 2020. Majdalena byla velmi podobná nedalekému vrtu Hamr, proto lze vidět podobně vyobrazené hodnoty s minimem v roce 2018, které bylo o 0,45 metru níže než v roce 2013.



Graf 16: Průměrná výška hladiny podzemní vody na mělkých vrtech Hamr, Holičky a Majdalena 2013–2020. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

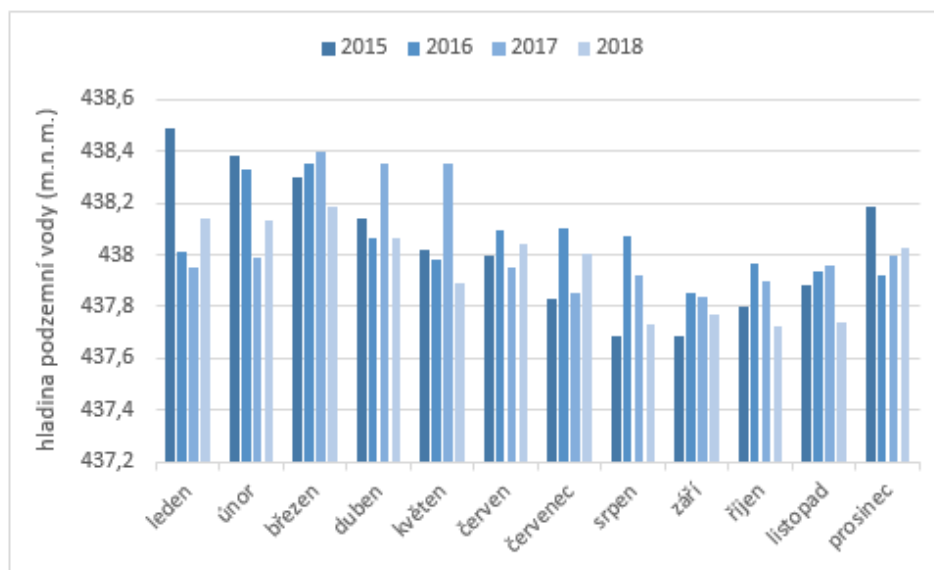
Podrobnější charakteristika období 2015–2018 je provedena nejprve na vrtu Hamr, následovat bude vrt Majdalena, který je položen poměrně nedaleko a posledním bude vrt Holičky. Znárodněna bude průměrná měsíční výška podzemní vody u jednotlivých vrtů, kterou využijeme pro zkoumání interakce s povrchovou vodou.

Dle grafu č. 17 na mělkém vrtu Hamr byla nejvyšší naměřená hladina podzemní vody naměřena v lednu roku 2015. Dosahovala téměř do 438,5 m. n. m. V tomto roce se však jednalo i o největší rozkolísanost mezi maximem a minimem, jelikož v srpnu byla naměřena i nejnižší hodnota za celé období 2015-2018, a to 437,68 m. n. m. Rozdíl tedy činil skoro 0,8 metru během 8 měsíců. Nízká hladina pokračovala i v září, následně se zvýšila a v prosinci se jednalo opět o nejvyšší naměřenou hodnotu během čtyř let.

V roce 2016 byla hladina nejvýše v únoru a březnu, kdy se pohybovala nad hranicí 438,3 m. n. m. Nejnižší byla v září, avšak oproti ostatním rokům se jednalo o maximum mezi roky 2015-2018. Rok 2017 měl svá maxima shodně s předchozími vrty na jaře, absolutního maxima dosáhl v březnu - 438,4 m. n. m. V roce 2018 byla hladina vody poměrně vyrovnaná,



až na období od srpna do listopadu, kdy klesla. Minimum bylo naměřeno v říjnu na hodnotě 437,73 m. n. m.

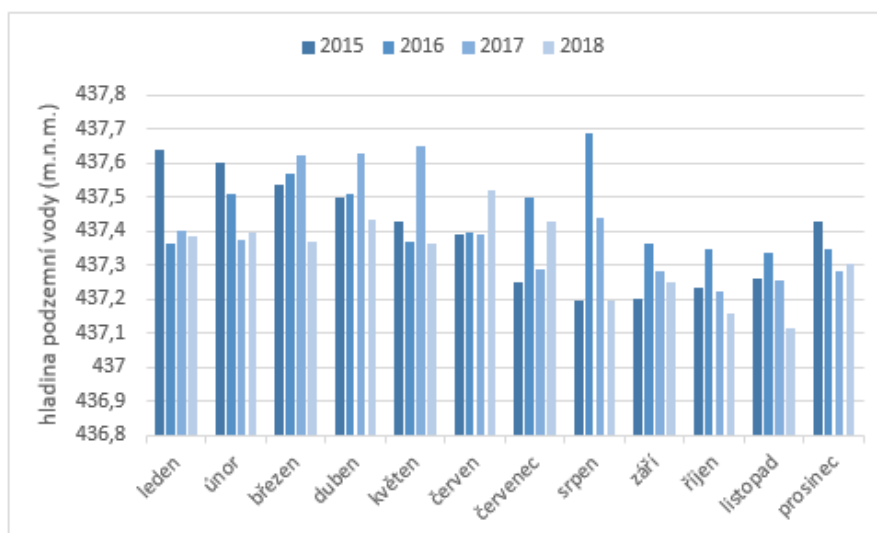


Graf 17: Průměrná měsíční hladina podzemní vody mělký vrt Hamr v letech 2015-2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Průměrné měsíční hodnoty pro vrt Majdalena jsou znázorněny v následujícím grafu č. 18. V roce 2015 dosahovaly svého maxima v lednu 437,63 m. n. m., kdy se oproti ostatním rokům držela hladina podzemní vody v lednu výrazně výše. Nejvyšší hodnoty v celém období zaznamenal i únor a prosinec. Minimum bylo naměřeno v srpnu - 437,19 m. n. m. V červenci a září byla také hladina nejnižší ze všech let v období 2015-2018.

Rok 2016 byl výrazný hlavně v červenci. Hladina podzemní vody dosahovala 437,69 m. n. m., což bylo oproti ostatním rokům výrazně více. Nejvyšší hladina podzemní vody byla zaznamenána ale i v červenci, září, říjnu či listopadu mezi roky 2015–2018. Ačkoliv v listopadu byla naměřena nejvyšší hodnota ze všech zobrazených let, jednalo se i tak v roce 2016 o minimum, a to 437,33 m. n. m. V roce 2017 byla hladina podzemní vody nejvyšší na jaře, přičemž byla naměřena maxima i pro všechny roky 2015-2018. Úplné maximum nastalo v květnu - 437,65 m. n. m. Podzemní voda byla v tomto roce nejnižší v říjnu 437,22 m. n. m.

Rok 2018, jakožto nejsušší rok, zaznamenal ve většině měsíců nejnižší hodnoty ze všech znázorněných let. Absolutní minimum nastalo v listopadu, kdy byla hladina podzemní vody 437,11 m. n. m. Avšak v červnu byla hladina podzemní vody na vrtu Majdalena naopak nejvyšší v období od roku 2015 až do roku 2018 – 437,52 m. n. m.



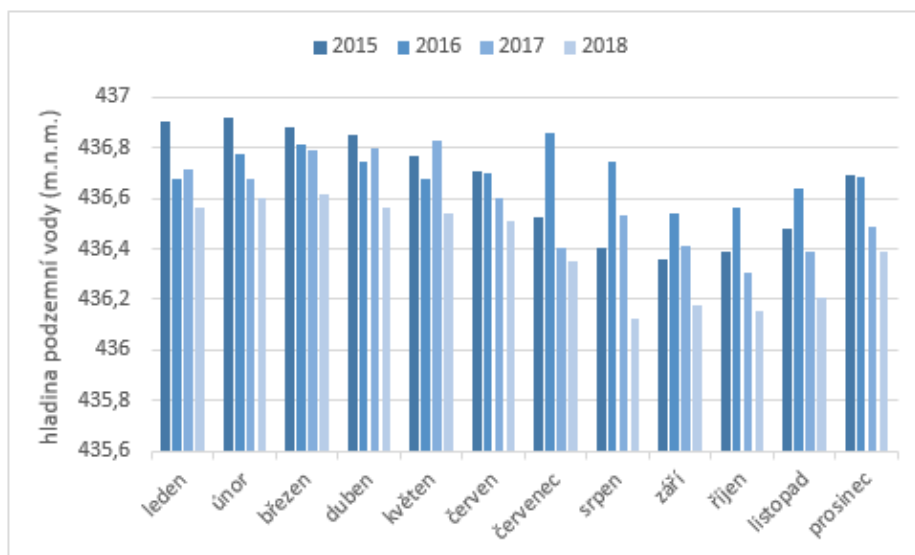
Graf 18: Průměrná měsíční hladina podzemní vody mělký vrt Majdalena v letech 2015-2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Holičky jsou podrobněji znázorněny na grafu č. 19. V roce 2015 byla nejvyšší hladina podzemní vody naměřena v únoru - 436,91 m. n. m. Hladina vody se zpočátku roku držela vysoko i v porovnání s ostatními roky, kdy od ledna do března jsou hodnoty nejvyšší z celého zkoumaného období. Hladina podzemní vody klesala výrazněji v létě a nízké hodnoty byly zaznamenány oproti začátku roku i v říjnu a listopadu. Minimum nastalo v září, kdy hladina podzemní vody klesla na 436,36 m. n. m.

Rok 2016 byl poměrně konstantní, výkyv hodnot hladiny podzemních vod nebyl oproti ostatním rokům tak extrémní, ale lze vidět rozdíl v červenci a v srpnu, přičemž hladina oproti ostatním rokům výrazně vzrostla. Dokonce i v červenci bylo zaznamenáno maximum 436,86 m. n. m. Ve zbytku roku patřila hladina vody k maximům pro období 2015–2018.

V roce 2017 byla maximální hodnota naměřena v květnu - 436,83 m. n. m. a jednalo se tak o nejvyšší květnovou hodnotu v období všech čtyř let. Minimum nastalo v říjnu, kdy hladina klesla na 436,30 m. n. m.

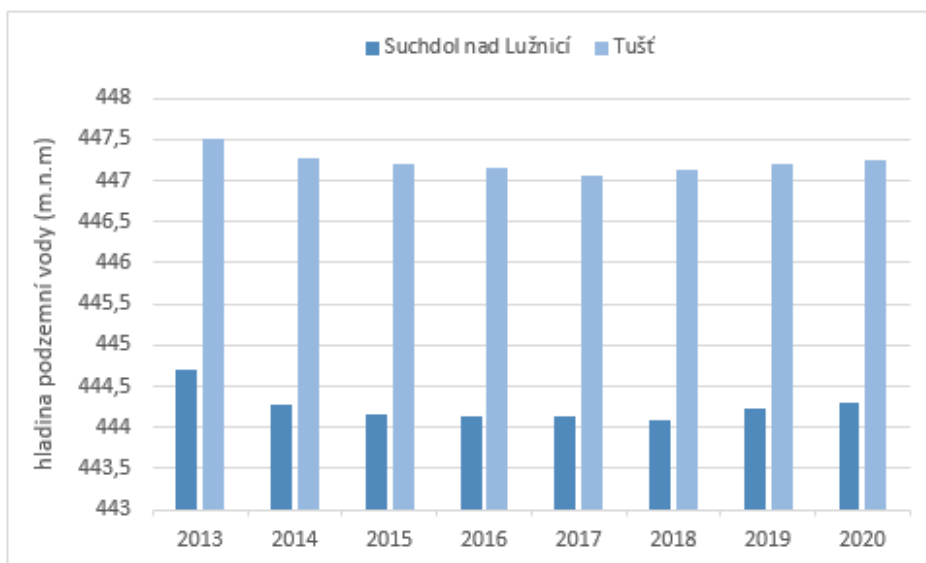
Po celý rok 2018 byla hladina vody nejnižší ze všech předešlých let 2015–2017. Významný ukazatel pro tento rok je minimum ze srpna - 436,13 m. n. m. Nízká hladina podzemní vody byla zaznamenána následně i v září, v říjnu a v listopadu.



Graf 19: Průměrná měsíční hladina podzemní vody mělký vrt Holičky v letech 2015-2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Mělké vrtý Suchdol nad Lužnicí a Tušť jsou rozebrány méně podrobněji, z důvodu větší vzdálenosti od stanic Kazdovna a Pilař. Znázorněna je pouze roční průměrná hladina vody viz graf č. 20. Příkladem suchého období v letech 2015-2018 je hladina podzemní vody na vrtu Suchdol nad Lužnicí. Minimum bylo v roce 2018, ale nižší hladinu podzemní vody lze pozorovat již od roku 2015. Rozdíl mezi maximem a minimem průměrné výšky hladiny podzemní vody činil 0,6 metru, což je nejvíce ze všech sledovaných vrtů.

Tušť je jediným z použitých vrtů v této práci, která nezaznamenala své minimum hladiny podzemní vody v roce 2018, ale již v předcházejícím roce 2017. Od roku 2013 hladina vody postupně klesala až do roku 2017, kdy se její průměrná hodnota zastavila na 447,05 m. n. m. a následně se opět úměrně zvyšovala až do roku 2020. Rozdíl mezi maximem z roku 2013 a minimem byl 0,45 metru.



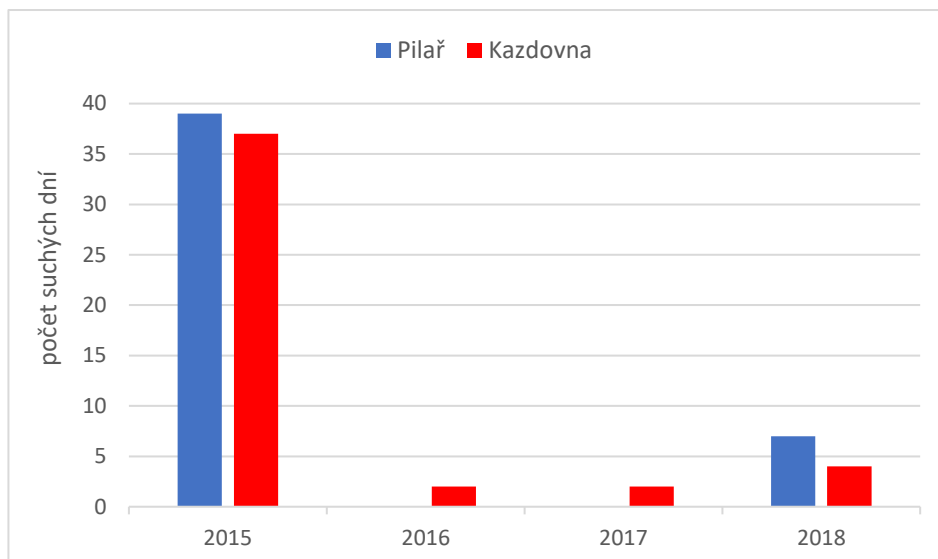
Graf 20: Průměrná výška hladiny podzemní vody na mělkých vrtech Suchdol nad Lužnicí a Tušř v letech 2013–2020. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

### 6.3 Reakce povrchových a podzemních vod na hydrologické sucho v letech 2015–2018

V následující části, bude porovnána reakce povrchových a podzemních vod na suché období 2015 až 2018. Využit bude počet suchých dnů v jednotlivých letech, trend pohybu hladiny podzemní vody a následná korelace společně s úhrnem atmosférických srážek.

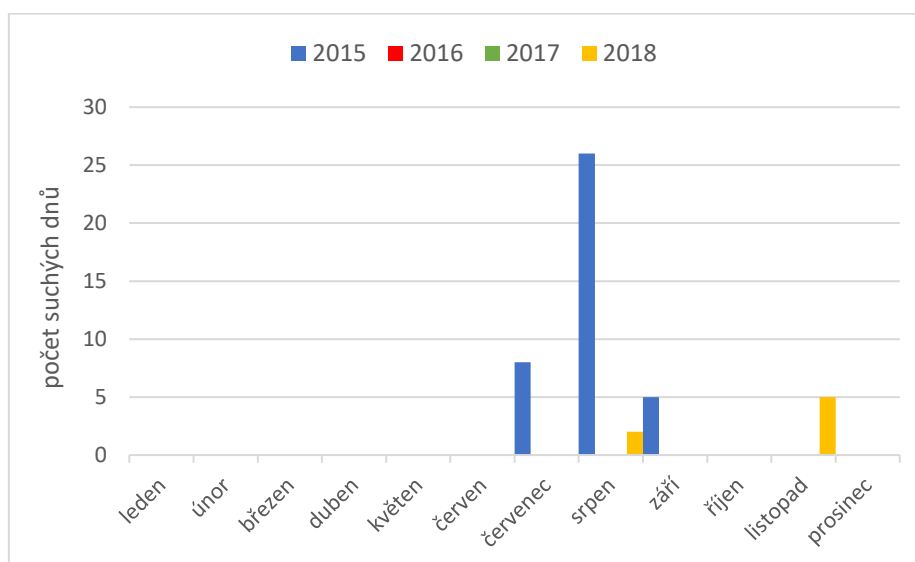
#### 6.3.1 Počet hydrologicky suchých dnů v období 2015–2018

V období hydrologického sucha mezi roky 2015 až 2018 je patrné, že nejvyšší počet suchých dní nastal v roce 2015, kdy nebyla hodnota  $Q_{355d}$  průtoků dosažena na stanici Pilař 39krát a na stanici Kazdovna 37krát (graf č. 21). V letech 2016 a 2017 se průtok pod zmíněnou hranici dostal pouze na stanici Kazdovna shodně ve dvou případech. V roce 2018, který byl průměrnými průtoky nejsušším mezi roky 2015–2018 viz graf č. 2 a č. 4, nebylo naměřeno takové množství suchých dní jako v případě roku 2015. Z toho vyplývá, že průměrně rok 2018 zaznamenal nižší hodnoty průtoků než v případě roku 2015. Prahová hodnota  $Q_{355d}$  nebyla ale dosažena pouze v sedmi dnech na stanici Pilař a ve čtyřech dnech v případě Kazdovny během celého roku 2018. Z těchto výsledků vychází, že hydrologické sucho v létě 2015 bylo intenzivnější, ale také o kratší.

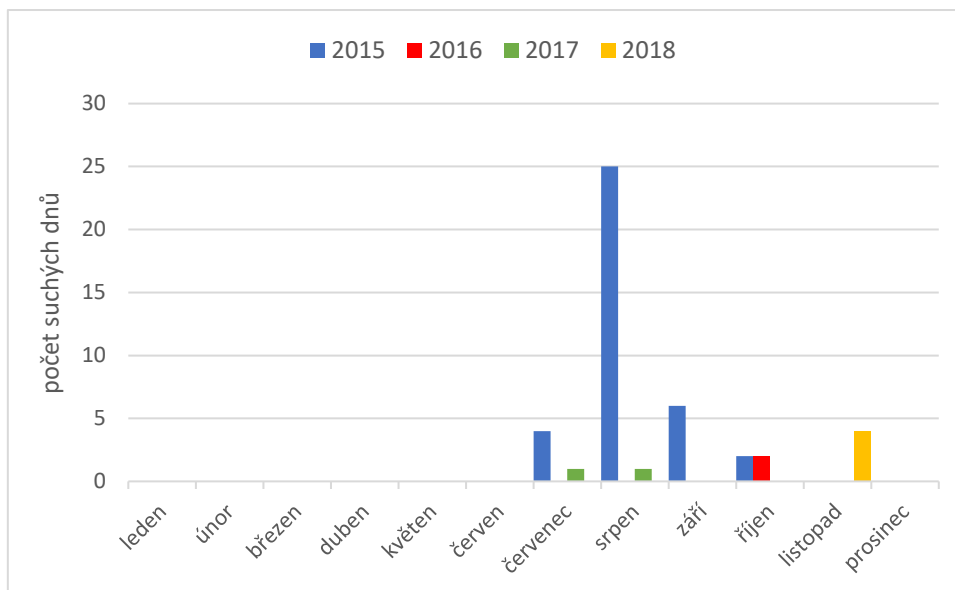


Graf 21: Počet suchých dnů na stanici Kazdovna a Pilař mezi roky 2015–2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Na následujících grafech č. 22 a č. 23 je znázorněn počet suchých dní za jednotlivé měsíce mezi roky 2015 až 2018. V případě stanice Pilař jde pouze o roky 2015 a 2018. V roce 2015 byly suché dny zaznamenány především srpnu, kdy nebyla prahová hodnota  $Q_{355d}$  dosažena ve 26 z celkových 31 dní. Toto období však mělo svůj počátek na konci července a pokračovalo ještě pěti dny během září. V roce 2018 nebyla prahová hodnota dosažena 7krát během srpna a listopadu. Profil Kazdovna také zaznamenal velký počet suchých dní během léta roku 2015, nedosažení prahové hodnoty nastalo ve stejném období (konec července až začátek září) jako tomu bylo v případě profilu Pilař.



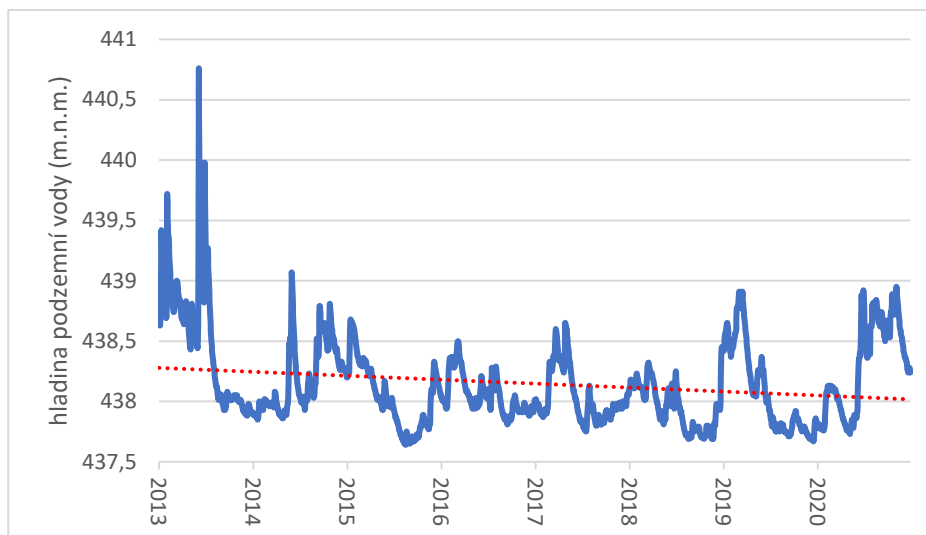
Graf 22: Počet suchých dnů za jednotlivé měsíce na stanici Pilař mezi roky 2015–2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.



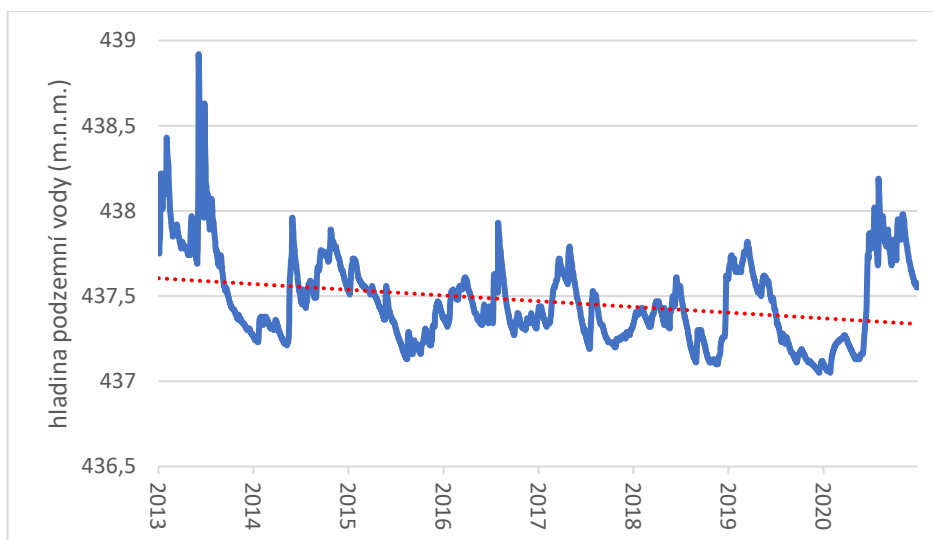
Graf 23: Počet suchých dnů za jednotlivé měsíce na stanici Kazdovna mezi roky 2015–2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

### 6.3.2 Trend hladiny podzemní vody

V následujících grafech bude rozebrán trend hladiny pro jednotlivé mělké vrty v období mezi roky 2013 až 2020, do kterého zasahuje i zájmové období. Grafy jsou vytvořeny pomocí průměrných denních hodnot hladiny podzemní vody. První je graf č. 24, jenž znázorňuje vrt Hamr, kde je vidět klesající trend hladiny podzemní vody. V roce 2013 si lze povšimnout maxima, které nastalo z důvodu povodní v červnu. Zvýšená hladina podzemní vody je vidět na přelomu roků 2014 a 2015, kdy průtok na limnigrafických stanicích dosahoval v lednu 2015 dokonce maximum v zájmovém období. V grafu je znázorněna i perioda suchých dnů, které nastaly od konce července až do začátku září 2015, v tomto období byla hladina podzemní vody nejnižší během všech let. Roky 2017 a 2018 nezaznamenaly žádné extrémní hodnoty a až v roce 2018 je zaznamenáno suché období, které probíhalo od srpna (2 dny sucha) až do listopadu (5 dnů sucha), všechny suché dny jsou znázorněny v grafu č. 21 a č. 22. Ke konci roku 2019 a ze začátku roku 2020 lze také vidět nižší hladinu podzemní vody, v tomto období však na stanici Pilař nebyl zaznamenán žádný suchý den. Zvýšená hladina vody se vyskytovala během jara 2019 a v druhé polovině roku 2020. Na grafu č. 25 je znázorněn vrt Majdalena, o kterém lze konstatovat, že jeho křivka se podobá vrtu Hamr, proto je možné určit trend jako klesající.

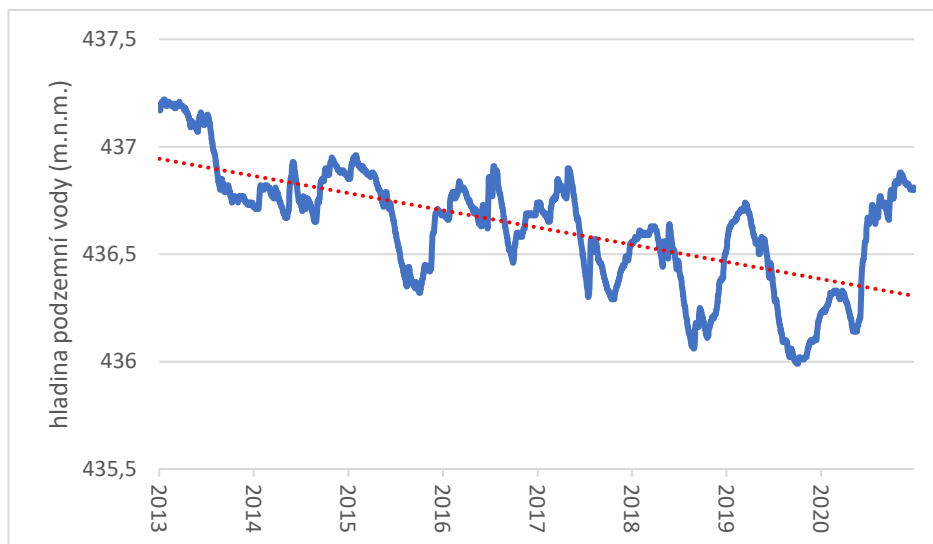


Graf 24: Trend hladiny podzemní vody v mělkém vrtu Hamr v letech 2013–2020. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.



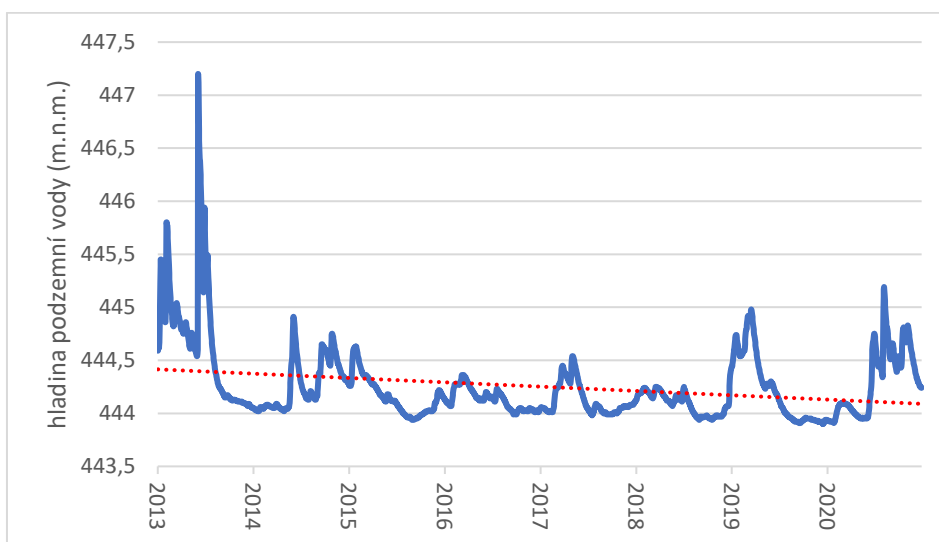
Graf 25: Trend hladiny podzemní vody v mělkém vrtu Majdalena v letech 2013–2020. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Graf č. 26 znázorňuje vrt Holičky, na kterém je velmi dobře vidět odlišnost od předchozích grafů č. 24 a č. 25. Zde je trend poklesu daleko výraznější. Vrt Holičky se nacházejí blíže stanici Kazdovna, a proto je možné porovnat jednotlivé období s grafy č. 12 a č. 14. Nízký stav hladiny podzemní vody byl zaznamenán v létě 2015 stejně jako u vrtů Hamr a Majdalena. V říjnu 2016, jenž zaznamenal 2 dny sucha, nebyla hladina podzemní vody tak nízko, jako tomu bylo u jiných let. Suché dny zaznamenaly i roky 2017 a 2018, pokles hladiny opět koreluje se suchými dny. Minimum na konci roku 2019 bylo způsobeno odbočením toku do Nové řeky.



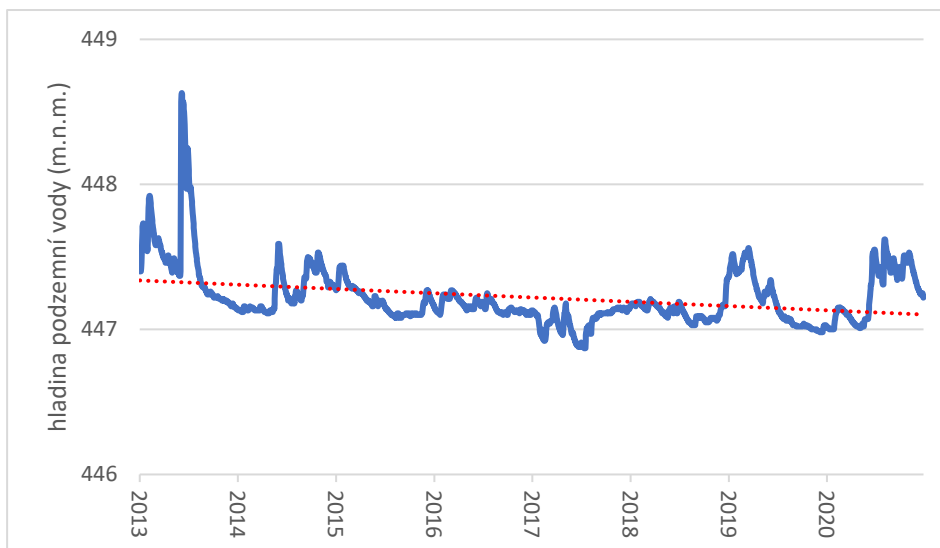
Graf 26: Trend hladiny podzemní vody v mělkém vrtu Holičky v letech 2013–2020. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Trend hladiny podzemní vody je znázorněn i pro mělké vrty Suchdol nad Lužnicí (graf č. 27) a Tušů (graf č. 28). I zde je možné si povšimnout jisté podobnosti v trendu poklesu s vrty Hamr a Majdalena, přičemž nejvyšší naměřené hodnoty odpovídají povodním z roku 2013. Dále je znázorněno suché léto 2015 a srpen, listopad 2018. Odlišností je na vrtu Tušů minimum z roku 2017.



Graf 27: Trend hladiny podzemní vody v mělkém vrtu Suchdol nad Lužnicí v letech 2013–2020. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.





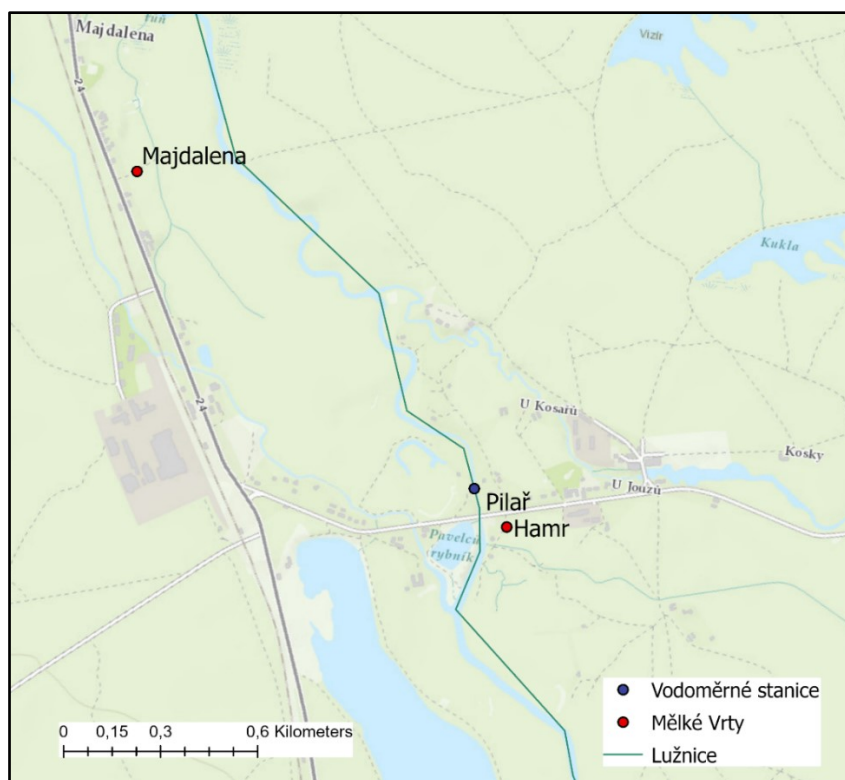
Graf 28: Trend hladiny podzemní vody v mělkém vrtu Tušův v letech 2013–2020. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

U všech zmíněných vrtů lze hovořit o trendu poklesu hladiny podzemní vody, jenž výrazně ovlivňuje období mezi 2015–2018. V závěrečném roce 2020 byl u všech mělkých vrtů překročen. Maxima zaznamenaly stanice v červnu 2013 během povodní, vrt Holičky toto nezaznamenal v takové míře, jelikož se nachází dále od ostatních vrtů, viz obrázek č. 11.

### 6.3.3 Reakce povodí na atmosférické srážky

V následující kapitole je vyhodnocena reakce povrchových a podzemních vod. Cílem kapitoly je přiblížení reakce povrchových a podzemních vod, zhodnocení jejich stavu v jednotlivých obdobích a vyvodit výsledky pomocí grafů. Využita jsou data úhrnu srážek z meteorologické stanice Suchdol nad Lužnicí, která je položena v podobné nadmořské výšce jako vodoměrné stanice Pilař a Kazdovna či mělké vrty. Data jsou shodně znázorněna v grafech, pomocí nichž lze odůvodnit, pokles či vzestup hodnot průměrných průtoků a výšky hladiny podzemních vod či výkyvy během jednotlivých měsíců v letech 2015–2018.

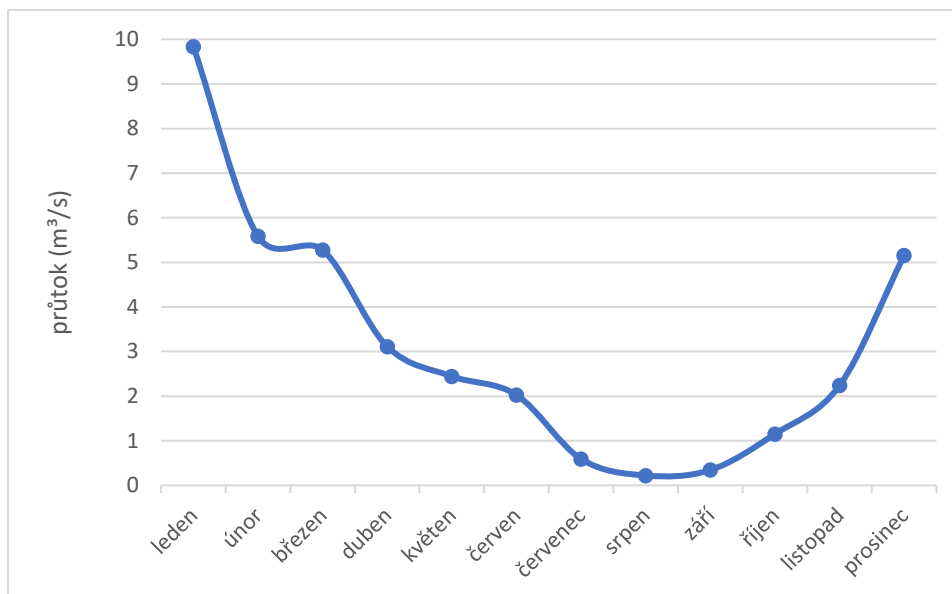
Z obrázku č. 12 je patrná poloha vodoměrné stanice Pilař a jejího okolí. Na obrázku je patrné, že se v blízkosti profilu Pilař nacházejí dva mělké vrty. Blíže je položen vrt Hamr, který leží přibližně do 200 metrů od profilu, vzdálenost Majdaleny je přes 1 km.



Obrázek 12: Poloha vodoměrné stanice Pilař s mělkými vrtý Hamr a Majdalena na řece Lužnice. Zdroj: ArcČR 500, ČHMÚ, vlastní zpracování.

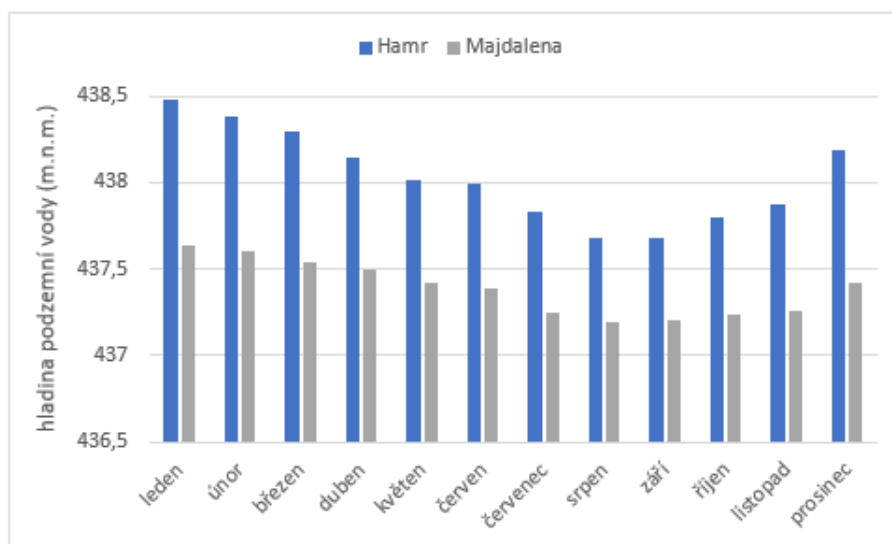
Nejvyšší průtok na profilu Pilař během roků 2015–2018 byl naměřen hned v lednu roku 2015 - 9,84 m<sup>3</sup>/s. Stejně tomu bylo i u vrtu Hamr, který zaznamenal shodně svoje maximum v lednu 2015 - 438,48 m. n. m. Oproti tomu Majdalena dosáhla svého maxima až v srpnu roku 2016 - 437,69 m. n. m., což bude přibliženo v následujících odstavcích.

V roce 2015 hodnoty na profilu Pilař a mělkých vrtech Hamr a Majdalena totožně v lednu dosáhly svého maxima. V lednu na profilu Pilař byla naměřena hodnota průměrného měsíčního průtoku - 9,84 m<sup>3</sup>/s, oproti tomu v srpnu byl naměřen průtok pouze 0,22 m<sup>3</sup>/s, viz graf č. 29. Stejný průběh nastal i na vrtech Hamr a Majdalena, výška hladiny podzemních vod a její hodnoty korelují společně s průtokem. U vrtu Hamr, který jak již bylo zmíněno, je položen blíže profilu Pilař, lze vyčíst větší rozptyl hodnot, kdy rozdíl mezi lednovým maximem (438,48 m. n. m.) a srpnovým minimem (437,68 m. n. m) činil 0,8 metru. Majdalena se stejným průběhem měla pouze menší rozptyl v hodnotách výšky podzemních vod, rozdíl mezi lednem a srpnem byl 0,44 metru, jak lze vidět na grafu č. 30.



Graf 29: Průměrný měsíční průtok na profilu Pilař v roce 2015. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

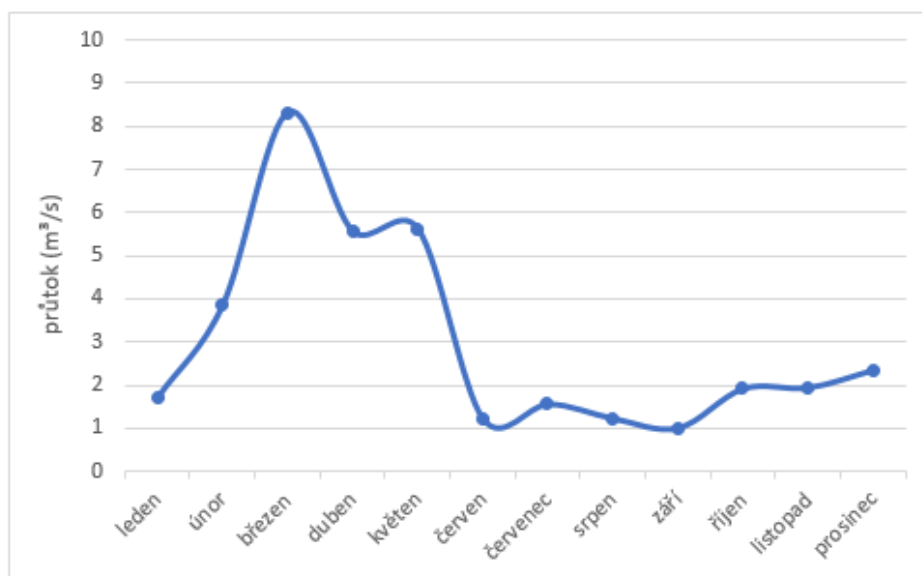
V závěru roku 2015 hodnoty průtoku a hladiny podzemní vody každý měsíc od září do prosince stoupaly. Rok 2015 lze označit jako období, ve kterém interakce podzemních a povrchových vod probíhala po celý rok shodně a nelze zaznamenat žádné větší výkyvy v naměřených hodnotách.



Graf 30: Průměrná měsíční výška hladiny podzemních vod v roce 2015 na mělkých vrtech Hamr a Majdalena. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

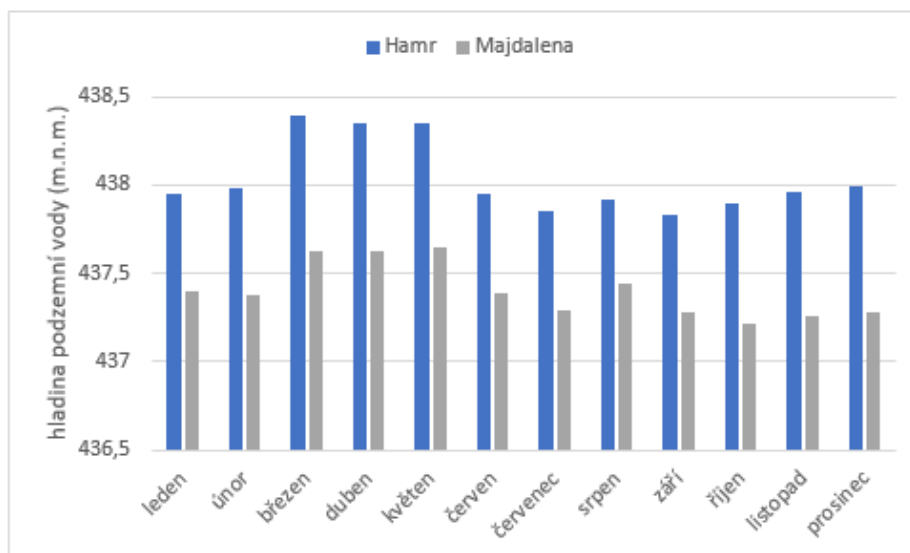
Podobný průběh nastal i v roce 2016, kdy sice lednové hodnoty nebyly tak vysoké jako v roce 2015, ale o naměřených hodnotách průtoku a podzemních vod v celém roce lze říct, že na sebe společně reagovaly.

Zajímavější byl rok 2017, který svého maxima dosáhl na jaře, průtok byl nejvyšší v březnu, kdy byla naměřena maximální hodnota 8,32 m<sup>3</sup>/s. Nadprůměrnými měsíci v tomto roce byly i duben a květen. V těchto měsících se naměřené průměrné hodnoty pohybovaly okolo 5,5 m<sup>3</sup>/s. Naopak nejnižší hodnoty byly zaznamenány v září (1 m<sup>3</sup>/s) a od září průměrné hodnoty průtoku pomalu rostly k prosincové hodnotě 2,34 m<sup>3</sup>/s, viz graf č. 31.



Graf 31: Průměrný měsíční průtok na profilu Pilař v roce 2017. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Dle grafu č. 32 vrt Hamr odpovídal průtoku na Pilaři, přičemž jeho hodnoty se nesnížily o tolik, jako v případě průtoku, ale vývoj byl podobný. Maximum bylo shodně s průtokem profilu Pilař v březnu - 438,40 m. n. m. a minimum v září - 437,83 m. n. m., rozdíl tedy činil 0,57 metru. Na podzim již vrt Hamr zaznamenal, podobně jako profil Pilař, nárůst svých hodnot, které stoupaly až do prosince. Na Majdaleně však ve všech třech měsících (březen, duben, květen) byly naměřeny podobné hodnoty, přičemž maximum, které odpovídalo i pro zbytek roku, nastalo až během května - 437,65 m. n. m.



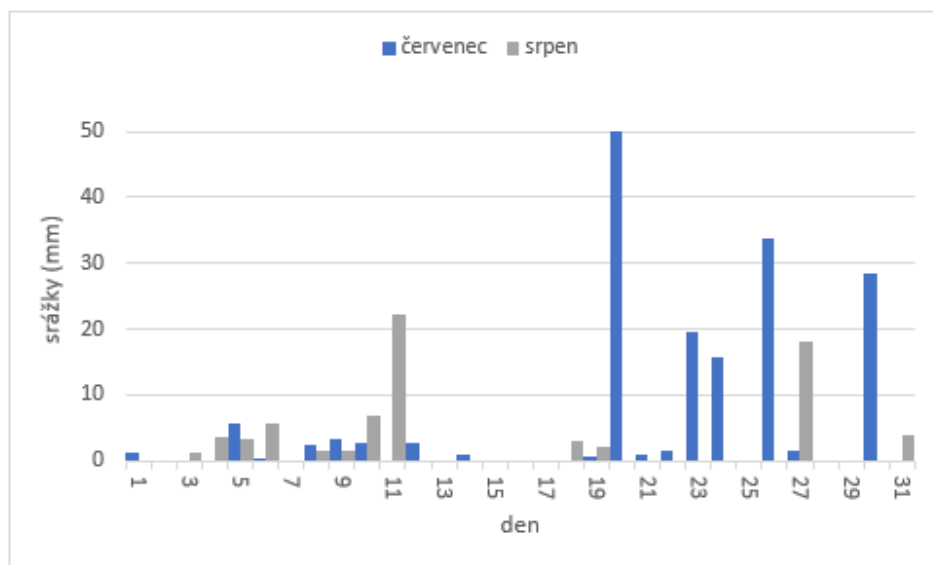
Graf 32: Průměrná měsíční výška hladiny podzemních vod v roce 2017 na mělkých vrtech Hamr a Majdalena. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

U mělkých vrtů si lze povšimnout, že ačkoliv průtok na profilu Pilař v srpnu klesl (viz graf č. 31), hodnoty hladiny podzemní vody v srpnu byly vyšší než v červenci, jak lze vidět na grafu č. 32. Vysokou hladinu podzemní vody lze odůvodnit pomocí jiného činitele, a to srážek, což lze získat pomocí dat ČHMÚ z meteorologické stanice Suchdol nad Lužnicí, která je položena v blízkosti zkoumaného okolí.

Na grafu č. 33 lze vidět denní úhrny srážek za měsíce červenec a srpen 2017. V druhé půlce července (resp. od 20. července) je zřetelný větší úhrn srážek oproti předchozím dnům zpočátku měsíce. Celkově v období od 20. července do 31. července bylo zaznamenáno pět dní s úhrnem srážek přes 10 mm. Tři dny ze zmíněných pěti byla dokonce překročena hranice 25 mm za den, z čehož první den byla naměřena hodnota až 50,1 mm. Toto období mělo určitý vliv na mírné zvýšení průtoku na profilu Pilař v červenci, kdy byla hodnota vyšší, než v červnu viz graf č. 31.

Začátek srpna byl oproti zbytku měsíce také více deštivý, sice se nejednalo o tak vysoké hodnoty jako v červenci, ale od 3. do 11. srpna (výjimka 7.srpna) zapršelo každý den. Nejvyšší hodnota byla zaznamenána 11. srpna - 22,3 mm.

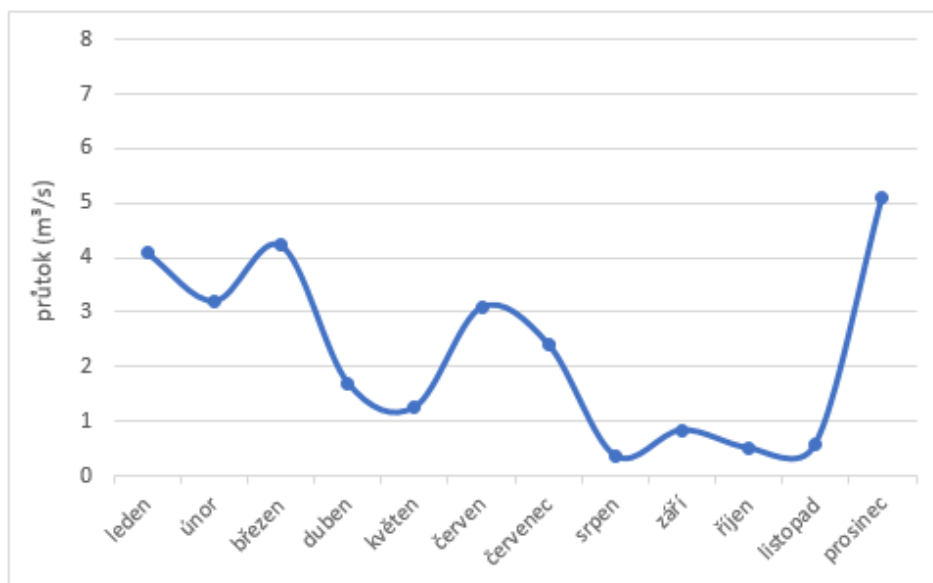
Pokud tedy tyto období spojíme, tak od 19. července do 11. srpna byl zaznamenán úhrn srážek 198,8 mm. Jelikož déšť lze jako první vnímat na průtoku, jeho vliv na zvýšení hladiny podzemních vod lze zaznamenat až za delší dobu, např. 14 dní. Tím pádem velký vliv na výkyv mezi povrchovými a podzemními vody v srpnu 2017 měly srážky, které byly zaznamenány na konci července a zpočátku srpna, proto lze vidět zvýšenou hladinu podzemní vody na vrtech Hamr a Majdalena v grafu č. 33.



Graf 33: Denní úhrn srážek na stanici Suchdol nad Lužnicí za měsíce červenec a srpen 2017. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

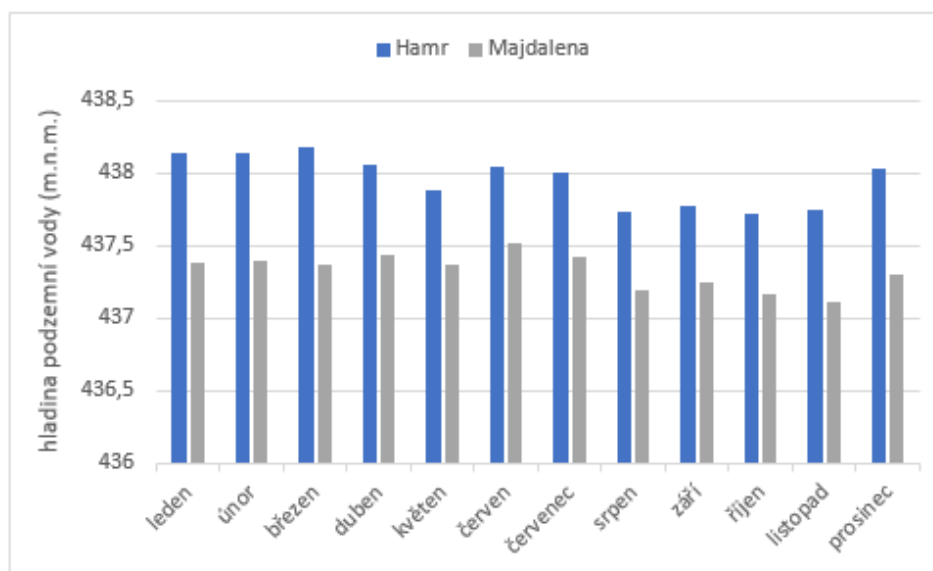
V roce 2018 průtok na Pilaři přesáhl hranici 5 m<sup>3</sup>/s pouze v prosinci (5,11 m<sup>3</sup>/s), v předešlých měsících, jak již bylo zmíněno, dosahoval výrazně menších hodnot než v letech 2015, 2016 a 2017. V roce 2018 byly výjimkou měsíce červen a červenec, jelikož na rozdíl od ostatních měsíců dosahovaly nadprůměrných hodnot v období 2015–2018. Tyto měsíce budou rozebrány v následujících odstavcích.

Profil Pilař zaznamenal nízké průměrné měsíční průtoky v dubnu a květnu, pro květen byla naměřena hodnota - 1,27 m<sup>3</sup>/s, oproti tomu v červnu se průtok zvýšil - 3,09 m<sup>3</sup>/s, v červenci sice trochu klesl, i přesto byl průtok poměrně na vysoké hodnotě 2,41 m<sup>3</sup>/s. Následně však průtok v srpnu klesl na minimum, viz graf č. 34.



Graf 34: Průměrný měsíční průtok na profilu Pilař v roce 2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Na grafu č. 35 mělkých vrtů Hamr a Majdalena lze vidět, že v roce 2018 klesla hladina podzemní vody shodně s průtokem v květnu a stoupala v červnu, držela se v červenci a následně opět klesla v srpnu. Nízké hodnoty povrchové a podzemní vody byly naměřeny i v období říjnu a listopadu.

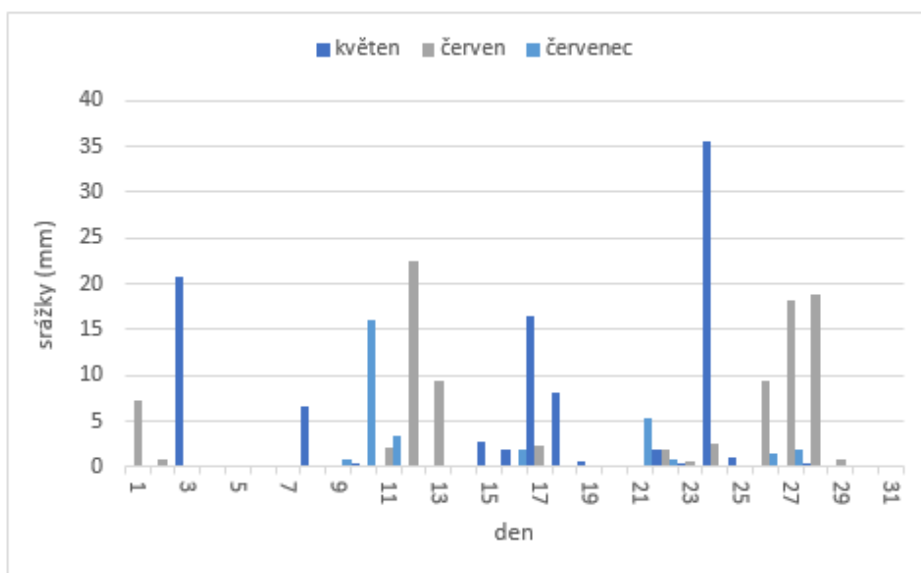


Graf 35: Průměrná měsíční výška hladiny podzemních vod v roce 2018 na mělkých vrtech Hamr a Majdalena. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Na vysoké hodnoty průtoku a hladiny podzemní vody z června a července měl vliv úhrn srážky, který lze vyčíst z grafu č. 36. V období od 15. do 25. května byly zaznamenány pouze dva dny bez srážek, 24. května bylo dokonce zaznamenáno maximum za období od

května až do července (35,5 mm). Toto období se mohlo projevit na hladině podzemní vody v červnu. Přelom května a června byl sice poměrně suchý, ale od 11. do 13. června byly zaznamenány srážky s červnovým maximem 12. června, které dosáhlo hodnoty 22,5 mm. Deštivých dnů bylo poměrně dost, především na konci června od 27. a 28. června, kdy byly naměřeny úhrny mezi 18 až 19 mm. Toto období výrazně ovlivnilo průtok v červnu a hladina podzemní vody toto období zaznamenala až v červenci.

Velmi suchý začátek července narušilo období od 9. do 11. července, kdy všechny tři dny byly zaznamenány srážky. 10. července byl úhrn srážek nejvyšší za celý měsíc-16,1 mm. V druhé polovině července bylo zaznamenáno pět dní se srážkami, těch nebylo ale dostatek, i proto si lze povšimnout výraznějšího poklesu hladiny podzemní vody mezi červencem a srpnem.



Graf č. 36: Denní úhrny srážek na stanici Suchdol nad Lužnicí v květnu, červnu a červenci 2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

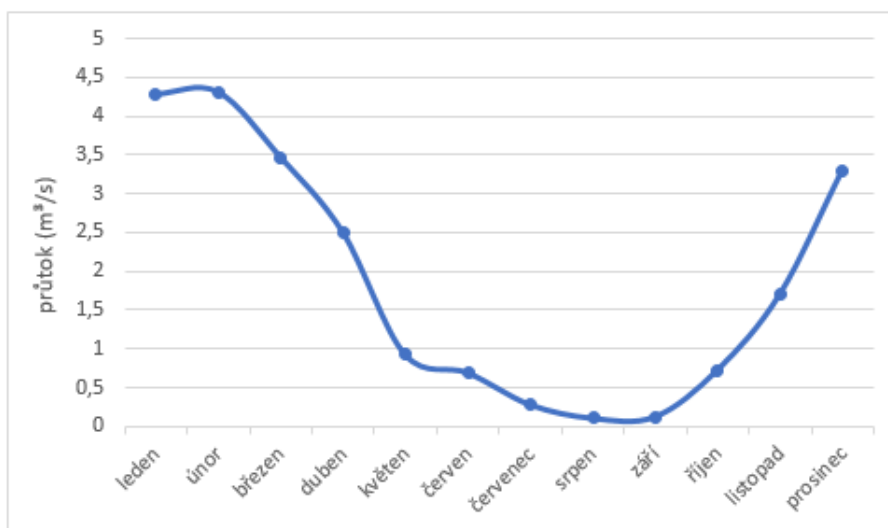
Druhým zkoumaným územím je oblast vodoměrné stanice Kazdovna viz obrázek č. 13. Lze vypořadovat, že v oblasti se nachází soustava rybníků. V blízkosti profilu Kazdovna je položen mělký vrt Holičky, pomocí něhož lze porovnat interakci.



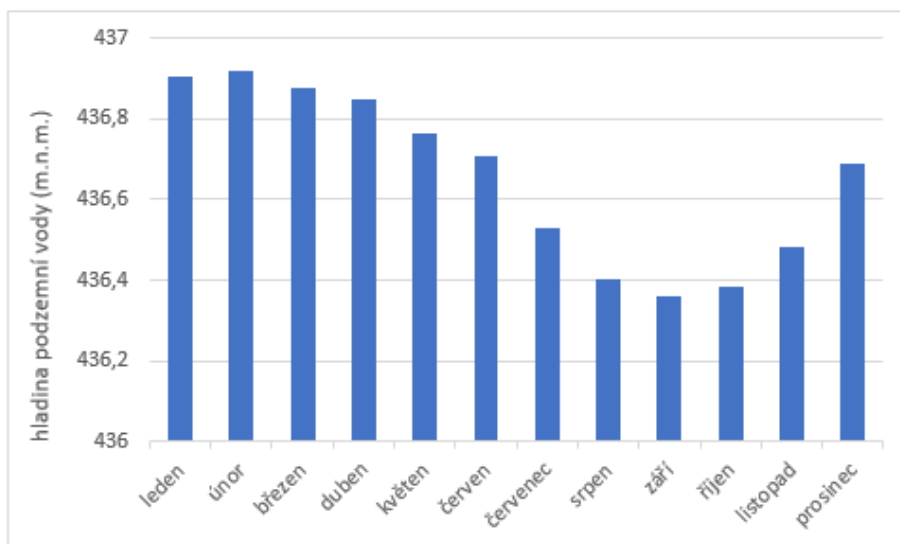


Obrázek 13: Poloha vodoměrné stanice Kazdovna a mělkého vrtu Kazdovna na řece Lužnice. Zdroj: ArcČR 500, ČHMÚ, vlastní zpracování.

V úvodu roku 2015 byla hladina i průtok na vysokých hodnotách, které v celém pozorovaném období odpovídaly maximu. Postupně však tyto hodnoty klesaly, přičemž průtok klesal výrazně rychleji. Ve všech 12 měsících však lze dokázat, že povodí na sebe reagovalo, viz grafy č. 37 a 38. Shodně tomu bylo v případě u profilu Pilař a vrtů Hamr a Majdalena. Průtok i hladina podzemní vody byla na minimum v období od srpna až do září.

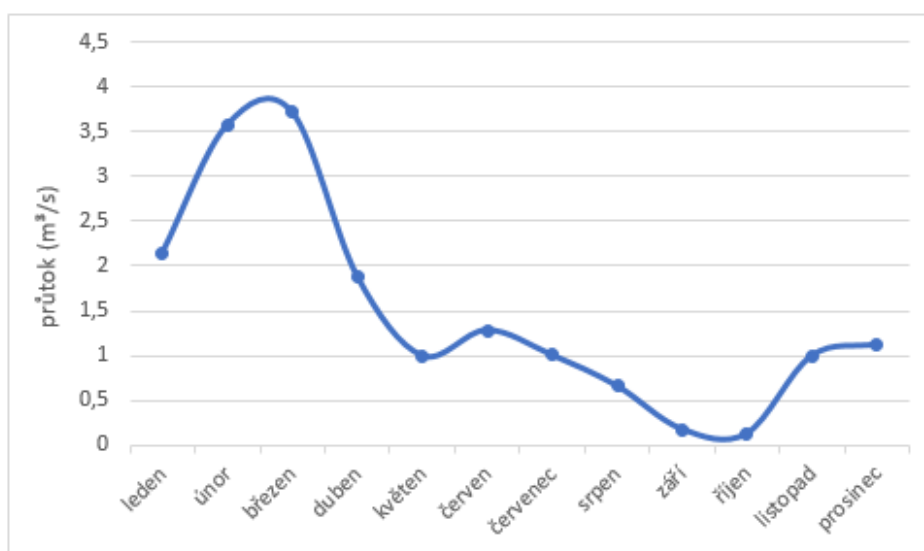


Graf 37: Průměrný měsíční průtok na profilu Kazdovna v roce 2015. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

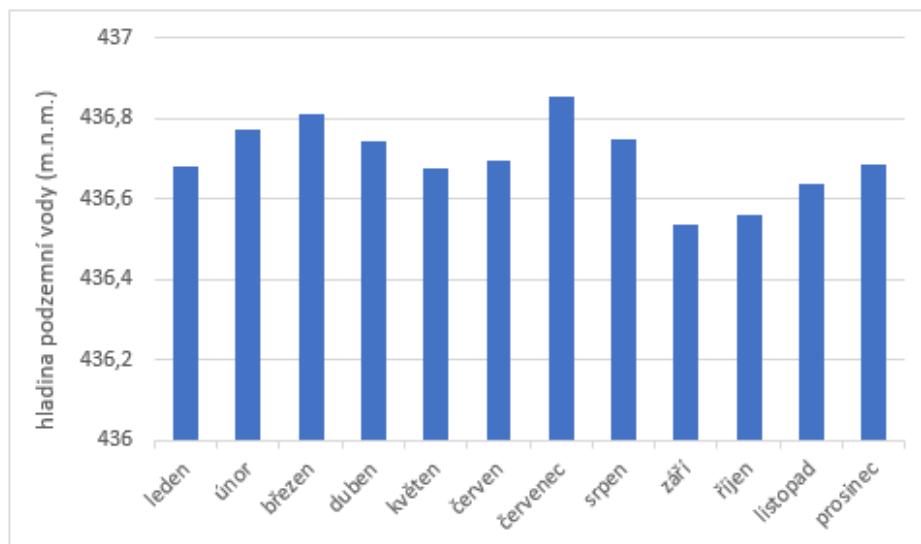


Graf 38: Průměrná měsíční výška hladiny podzemních vod v roce 2015 na mělkém vrtě Holičky. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

První polovina roku 2016 byla podobná jako v předchozím roce, výjimkou byly pouze nižší hodnoty v lednu. Zajímavější bylo období července a srpna, kdy byl relativně nízký průtok, který v tomto období klesl z 1 m<sup>3</sup>/s až k hodnotě 0,6 m<sup>3</sup>/s, přičemž oproti tomu hladina podzemních vod stoupala v těchto měsících. V červenci dosáhla dokonce i maxima, což lze vidět na grafech č. 39 a č. 40. V září se však hladina podzemní vody dostala na svoje minimum, které ale bylo oproti ostatním rokům nadprůměrné.

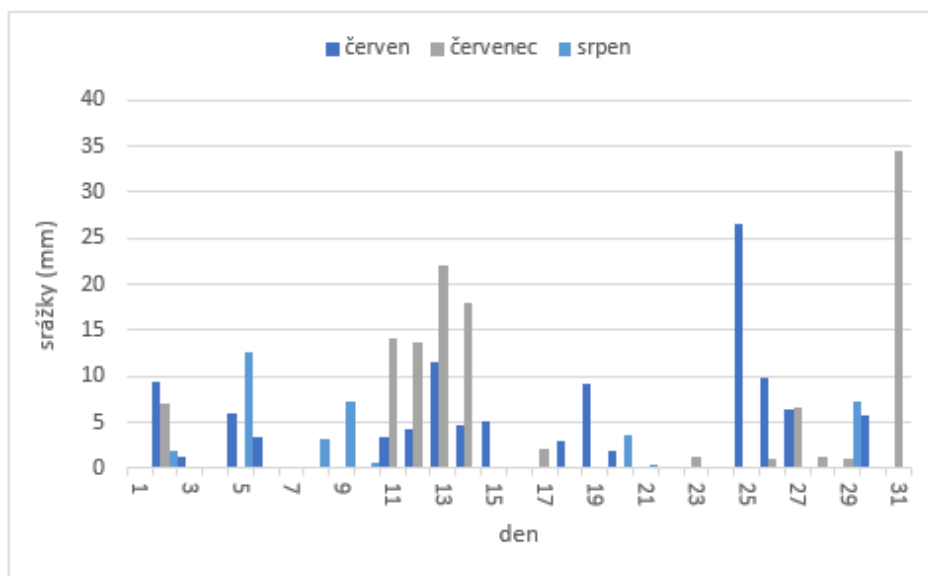


Graf 39: Průměrný měsíční průtok na profilu Kazdovna v roce 2016. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.



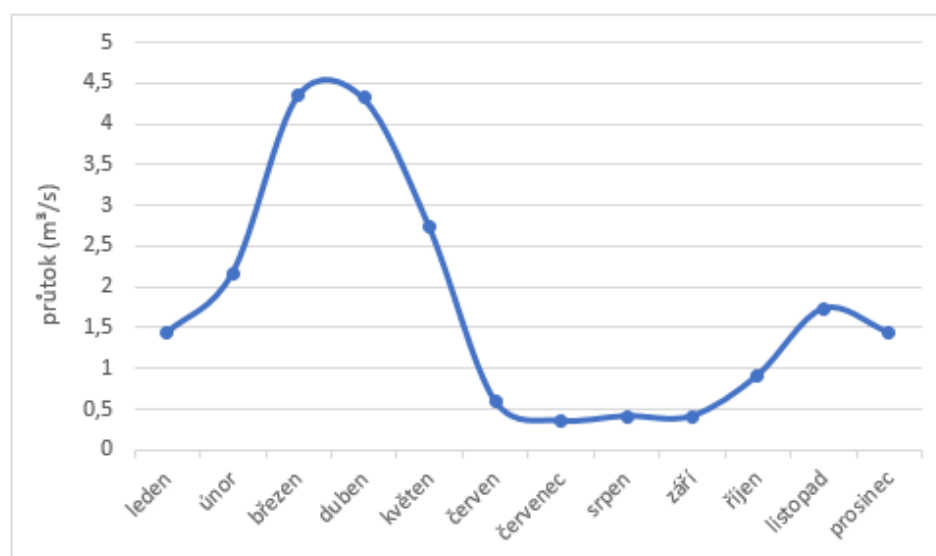
Graf 40: Průměrná měsíční výška hladiny podzemních vod v roce 2016 na mělkém vrtě Holičky. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Hladina podzemních vod byla ovlivněna úhrnem srážek, který nastal během června, července a srpna. Z grafu č. 41 vyplývá, že již v červnu, ve více než v polovině dnů, zaznamenala stanice Suchdol nad Lužnicí úhrn srážek. Nejvýraznější bylo období od 25. června do 27. června, kdy bylo zaznamenáno přes 40 mm srážek. 25. června dokonce bylo zaznamenáno maximum - 26,5 mm. Červenec zaznamenal pět výraznějších dnů s větším úhrnem srážek, mezi dny 11.7. až 14.7. se pohyboval úhrn srážek od 13,7 mm do 22 mm. Poslední a nejvýraznější den byl 31. červenec, během něhož bylo naměřeno 34,4 mm. V srpnu od 1.8. do 10.8. bylo během deseti dní zaznamenáno pět dní, v nichž se vyskytly srážky. Tyto srážky již nebyly tak mohutné a srpnové maximum bylo jen 12,7 mm, navíc přelo pouze v 8 dnech za celý měsíc. I proto můžeme sledovat výraznější pokles hladiny podzemní vody v září.

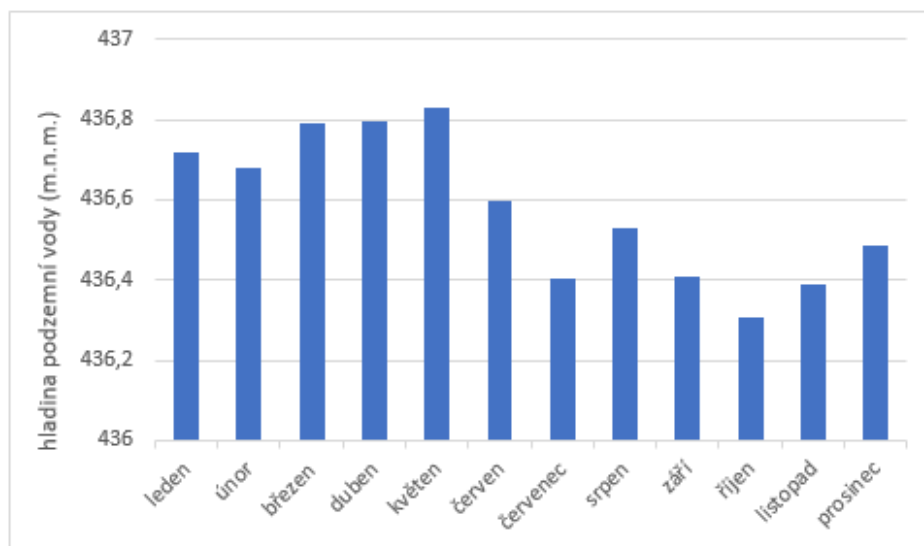


Graf 41: Denní úhrn srážek na stanici Suchdol nad Lužnicí za měsíce červen, červenec a srpen 2016. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Z grafů č. 42 a č. 43 lze vypočítat, že v roce 2017 se během března, dubna a května zvyšovala hladina podzemní vody, v květnu dosáhla svého maxima pro tento rok 436,83 m. n. m. Podobně tomu bylo i u průtoku, který se zvýšil na jaře během března a dubna, oproti tomu však výrazně klesl již během května, kdy z dubnové hodnoty průtoku 4,32 m<sup>3</sup>/s byla v květnu naměřena pouze hodnota 2,73 m<sup>3</sup>/s. Od června do září se průtok držel na nízkých hodnotách od 0,3 do 0,6 m<sup>3</sup>/s a společně s ním klesla postupně i hladina podzemních vod, lze si povšimnout zvýšené hladiny v srpnu. Květen a srpen bude rozebrán v následujících odstavcích.

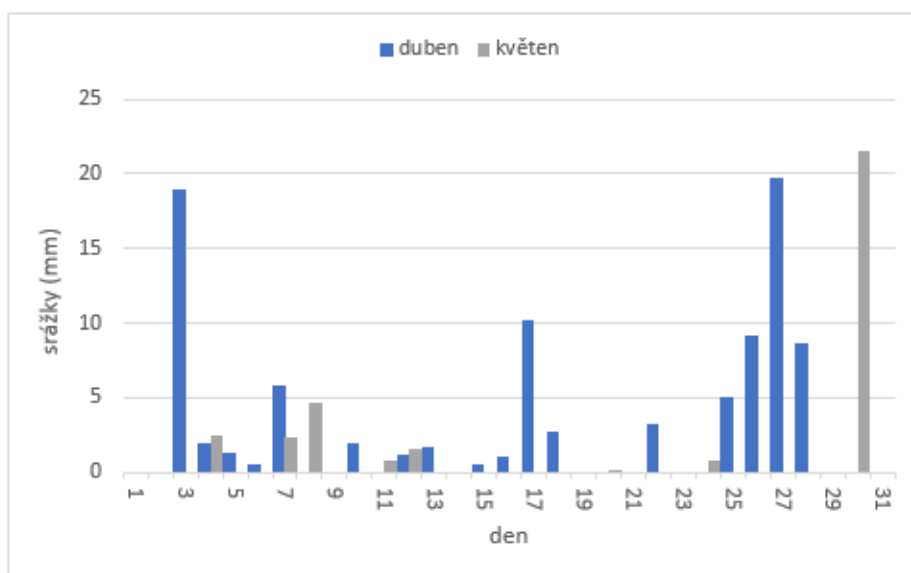


Graf 42: Průměrný měsíční průtok na profilu Kazdovna v roce 2017. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.



Graf 43: Průměrná měsíční výška hladiny podzemních vod v roce 2017 na mělkém vrtě Holičky. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

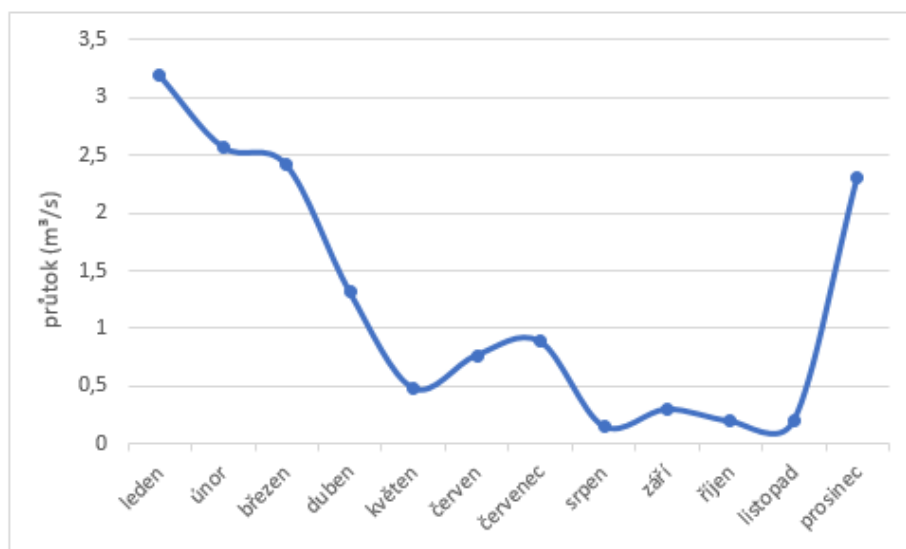
Nejprve je rozebrán květen, ve kterém, jak již bylo zmíněno, byla nejvyšší hladina podzemní vody. Jak vyplývá z grafu č. 44, poslední týden v dubnu, poměrně vydatný na srážky, ovlivnil zvýšený průtok v dubnu a vyšší hladinu podzemních vod v květnu. Průtok v květnu nedosahoval vysokých hodnot, jelikož od 29. dubna do 31. května byl zaznamenán úhrn srážek pouze v osmi případech, z nichž pouze na konci měsíce (resp. 30. května) překročil hranici 55 mm za den. I proto průměrná hodnota průtoku z dubna během května a následně i června klesala.



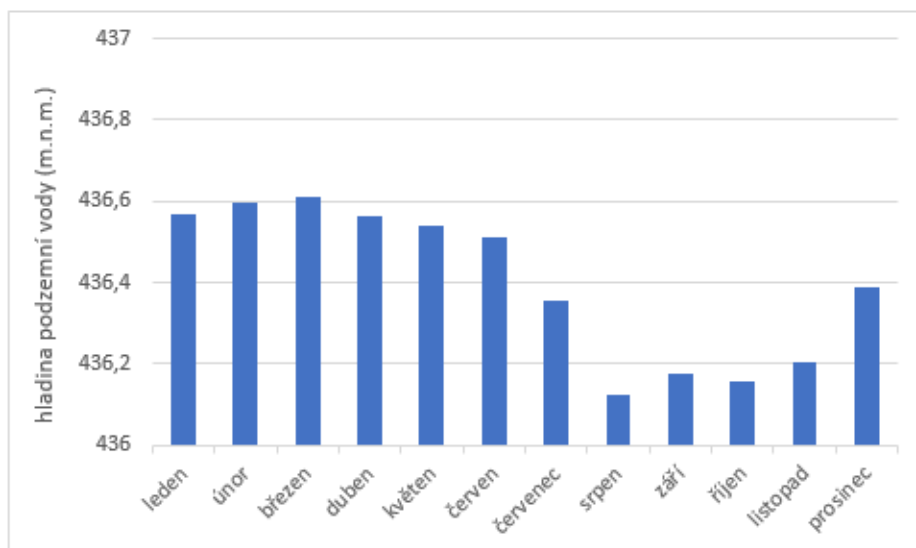
Graf 44: Denní úhrn srážek na stanici Suchdol nad Lužnicí za měsíce duben a květen 2017. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Srpen a jeho zvýšená hladina podzemní vody, vzrostla shodně jako v případě vrtů Hamr a Majdalena viz graf č. 33. Kdy byl zvýšený úhrn srážek od 20. července až dokonce měsíce s třemi hodnotami přes 25 mm. Přičemž profil Kazdova nezaznamenal nijak zvýšený průtok. Deštivý byl i začátek srpna v období od 3. do 11. srpna. Zvýšení hladiny podzemní vody nastalo během srpna, z důvodu srážek na přelomu měsíců červenec a srpen.

V posledním zkoumaném roce 2018 byl průměrný roční průtok nejnižší, rovněž tomu tak bylo i u hladiny podzemních vod viz grafy č. 45 a č. 46. Průtok během období leden až květen klesal, v květnu byla naměřena hodnota pouze 0,48 m<sup>3</sup>/s, oproti tomu hladina podzemní vody byla stále vzhledem k celému roku poměrně vysoko 436,54 m. n. m. Velmi suché období nastalo od srpna do října, kdy průtok společně s hladinou podzemních vod zaznamenal svá minima v roce 2018, ale i v celém zkoumaném období od roku 2015. Lze ale konstatovat, že data z hodnot průtoku a podzemních vod spolu po většinu roku korelují.

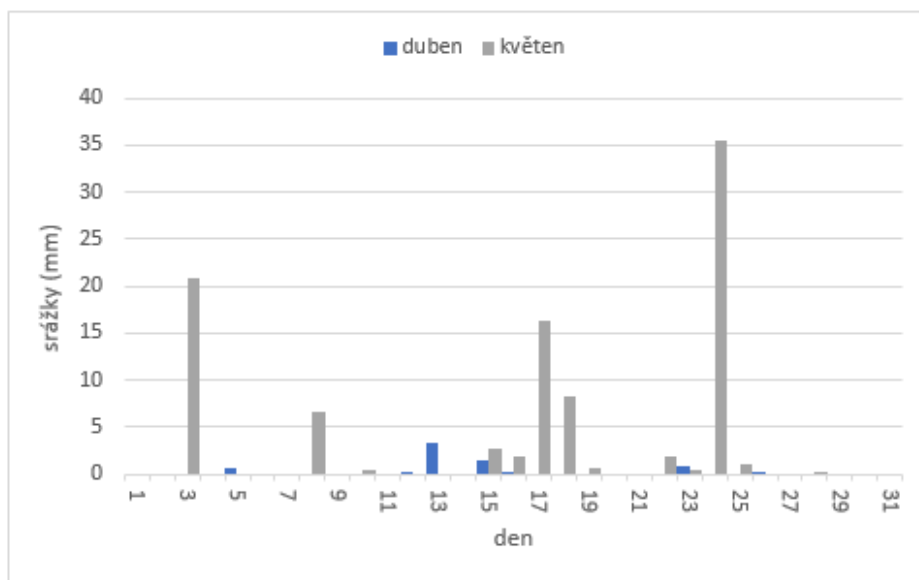


Graf 45: Průměrný měsíční průtok na profilu Kazdovna v roce 2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.



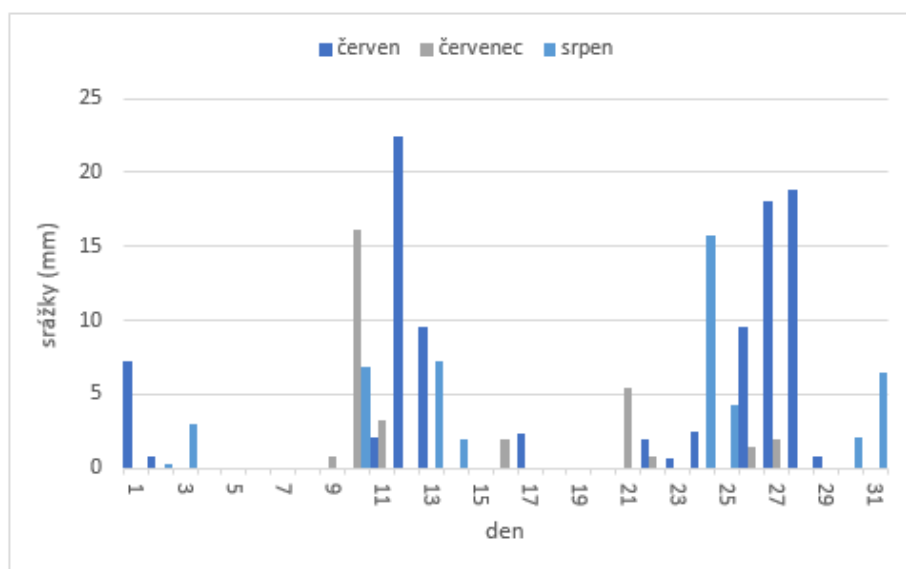
Graf 46: Průměrná měsíční výška hladiny podzemních vod v roce 2018 na mělkém vrtě Holičky. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Zvýšená hladina podzemní vody v květnu z grafu č. 47, byla nejspíše zapříčiněna přívalovými dešti v květnu, jelikož duben byl na srážky chudý, což je znázorněno v grafu č. 48. Hned 3. května byl naměřen úhrn srážek 20,8 mm, 17. května - 16,4 mm a 25. května dokonce 35 mm.



Graf 47: Denní úhrn srážek na stanici Suchdol nad Lužnicí za měsíce duben a květen 2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Zvýšená hladina podzemní vody v během června byla z důvodu zvýšeného množství přivalových srážek, ovlivněna mohla být i 24. květnem, kdy během jednoho dne byla naměřena hodnota srážek 35,5 mm. Během 11 a 13. června byl zaznamenán úhrn srážek 32 mm a následně poté od 26. června do 29. června - 47,2 mm srážek, z nichž 36,9 napadlo během 48 hodin (27. a 28. června). Tyto vydatné srážky ovlivnili výšku hladiny podzemní vody během července. Výška hladiny podzemní vody byla během července průměrně vyšší o 23 cm než v srpnu. Deficit srážek, který nastal během července, a hlavně jeho druhé poloviny ovlivnil nízkou hodnotu hladiny podzemní vody v srpnu. V srpnu byl zaznamenán úhrn srážek od 1. do 23. srpna pouze ve 4 dnech, kdy ani jednou nebylo naměřeno více než 7,5 mm. Závěr srpna už byl na srážky vydatnější, ale zvýšená hladina podzemní vody nastala až během září.



Graf 48: Denní úhrn srážek na stanici Suchdol nad Lužnicí za měsíce červen, červenec a srpen 2018. Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Deficit atmosférických srážek, nebo jejich zvýšený úhrn během krátké časové doby v jednotlivých měsících, byl zásadním činitelem v reakci povrchových a podzemních vod mezi roky 2015 až 2018. Jednotlivé výkyvy mezi průtok a výškou hladiny podzemních vod vyplývají z grafů zmíněných v této kapitole, nejčastěji lze konstatovat, že srážky ovlivňují průtok dříve než v případě podzemní vody. Zvýšení hladiny podzemní vody nastává s časovou odmlkou, výjimkou mohou být přivalové lijáky, které mohou podzemní vodu ovlivnit daleko dříve. V některých obdobích lze prokázat, že v obou zmíněných oblastech data z průtoků a hladiny podzemní vody korelují. Proto tedy zvýšené či nízké hodnoty jsou viditelné ve stejném čase během jednotlivých měsíců a roků.



## 7. Diskuze

Předložená bakalářská práce je zaměřena na reakci povrchových a podzemních vod v povodí horní Lužnice. Vybráno bylo suché období mezi roky 2015–2018. Využita byla data průměrných denních průtoků, hladiny podzemní vody a úhrnů atmosférických srážek pozorovací sítě ČHMÚ. Data byla následně vyhodnocena v programu MS Excel.

Problematikou hydrologického sucha se zabývali na toku Lužnice autoři již dříve, pro zvolené zájmové období byla vypracována například práce Junkové (2019). Na toku horní Lužnice pracoval i Korejs (2016, 2018), který se zabýval vlivem podzemní vody a její interakcí s vodou povrchovou v říční nivě v období hydrologického sucha. Fialová (2015) zmiňuje taktéž interakci v říční nivě, ale během extrémních hydrologických situací. Hastíková (2012) rozebrala naopak vývoj fluviálních jezer v zachovalé říční nivě horní Lužnice. Svoboda a kol. (2015) uvádějí, že říční niva horní Lužnice je oblast, kterou člověk ovlivnil minimálně. Krásný a kol. (2012) popisují říční nivu jako hlavní činitel pro celý hydrologický režim řeky. Hydrologický režim horní Lužnice a jeho jednotlivé charakteristiky jsou zmíněny v práci Svobody (2011) a vliv říční nivy na zmíněné téma je uvedeno v článku časopisu Geografie, který vypracovali Svoboda, Šobr, Janský, Vlasák (2015). Extremitu odtoku horní Lužnice přiblížil Musil (2015).

Hydrologickým suchem se v odlišných oblastech Česka popisuje ve své práci Burian (2019), který se zaměřil na povodí Loděnice ve Středočeském kraji. Dále Vlach (2019), který zkoumal hydrologické sucho v pramenných oblastech Krušných hor či Maroušková (2016) přibližující projevy a dopady hydrologického sucha na Rakovnický potok. Vítková (2021) analyzuje hydrologické sucho a srážkoodtoková data v povodí Bouřlivce a Loučenského potoka. Junková (2021) pro tuto oblast analyzuje možnosti snížení ztrát vody.

Hydrologické sucho je diskutovaným tématem také v zahraničí. Pokud se podíváme napříč autory, tématem se zabývají například i v Číně, kde se řešila otázka intenzity hydrologického sucha způsobena vlivem člověka na řece Jang-c'-t'iang (Zhang a kol. 2018). Prognózu a analýzu tohoto problému rozebírá na Kypru Myronidis a kol. (2018). Kubiak-wójcicka a Bąk (2018) odpovídají na otázky hydrologického a meteorologického sucha v povodí Visly v Polsku. Bakke a kol. (2020) přibližují hydrologické sucho 2018 v severní Evropě. Další zasaženou oblastí bylo Německo, kde podle článku v Karlsruhe Institute of Technology (2018) sucho zasáhlo 90 % celého území.

V úvodu bakalářské práce je přiblíženo povodí Lužnice a její fyzickogeografická charakteristika. Představeno je i sucho, jakožto velmi komplexní a extrémní jev, který bude

ovlivňovat nás i budoucí generaci stále intenzivněji. Stručně jsou vystihnuty jednotlivé druhy sucha a nastíněny příčiny s dopady sucha hydrologického. Společně s tím jsou blíže představeny i pomyslné vrcholy zájmového období, tedy roky 2015 a 2018. Dále jsou představena data a využití metody, z nichž nejdůležitější pro praktickou část byla metoda prahové hodnoty a zvolená hodnota  $Q_{355}$ . Ve výsledcích jsou vyhodnoceny průměrné průtoky a výška hladiny podzemní vody v období 2015–2018. Pomocí zvolené metody je přiblížen počet suchých dní v jednotlivých letech. Pomocí lineární křivky je vyhodnocen trend poklesu hladiny podzemní vody mezi roky zájmového období. Na rozdíly mezi povrchovou a podzemní vodou v rámci jednotlivých měsíců je odpovězeno pomocí dat úhrnu atmosférických srážek.

K vyhodnocení byla využita data z limnigrafických stanic Pilař a Kazdovna. Stanice Pilař byla již využita v předchozích pracích (Svoboda 2011, Fialová 2015, Korejs 2018, Junková 2019). K většině prací byla ale přiložena stanice Bechyně, která se nachází před soutokem Lužnice s Vltavou. Pro určení počtu suchých dní byla použita hodnota  $Q_{355}$  pro stanici Pilař -  $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$  a v případě Kazdovny tato hodnota odpovídala -  $0,097 \text{ m}^3/\text{s}$ . ČHMÚ stanovuje v každém referenčním období odlišnou hodnotu  $Q_{355}$ , rozhodující je stanovená hodnota v zájmovém období společně s datem vypracování práce. Od roku 1965 do roku 2013 se pracovalo rovněž s hodnotou  $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ , čehož si lze povšimnout v pracích Svobody (2011) a Fialové (2015). Lze se ale ve zmíněných pracích setkat i s odlišností v hodnotě. Například Korejs (2018) a Junková (2019) měli zvolenou hodnotu  $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ . Z tohoto důvodu je možné zaznamenat odlišnost ve výsledcích, např. v případě suchých dnů. Ve výsledcích bakalářské práce je proto vyhodnoceno méně suchých dnů než v případě Korejse (2018) a Junkové (2019), jelikož prahová hodnota odpovídala nižší hodnotě. V práci Junkové (2019) je poukázáno i na výpočet Svobody (2011), který stanovil hodnotu od roku 1965 do roku 2010 na  $0,83 \text{ m}^3/\text{s}$ , toto rozpětí hodnotí jako velké, jelikož v roce 2018 by bylo zaznamenáno přes 100 suchých dnů. Zároveň ale také uvádí, že pokud by byla prahová hodnota  $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ , byly by v roce 2018 zaznamenány pouze 2 dny sucha, což by odpovídalo výsledkům za září 2018, ale chybělo by 5 suchých dnů zaznamenaných během listopadu.

V případě Pilaře byly suché dny zaznamenány pouze v letech 2015 (39 dnů) a v roce 2018 (7 dnů), oproti Junkové (2019) a Korejsovi (2018), kteří zmiňují, že v roce 2015 byl počet 50 dnů a v roce 2018 celkově 14 dnů. Všechno odpovídá odlišné hodnotě  $Q_{355}$ . Kazdovna zaznamenala v zájmovém období alespoň jeden suchý den v každém roce, nejvíce v roce 2015 (37 dnů). Pro limnigrafickou stanici Kazdovna bylo zajímavějším obdobím roky 2019 a 2020, kdy byl tok řeky Lužnice odbočen před Kazdovnou do Nové řeky, a proto byl

zaznamenán během srpna, září, prosince 2019 a ledna 2020 velmi nízký průtok a tím pádem velký počet suchých dnů.

V případě hladiny podzemní vody lze konstatovat, že ve všech mělkých vrtech využitých pro tuto bakalářskou práci, byl trend poklesu zjevný v letech 2015–2018. Hladina podzemní vody přesáhla ve většině případů tento trend pouze v roce 2013, kdy zasáhly oblast povodí Lužnice povodně, výrazný pokles podzemní vody je viditelný již od roku 2014. U většiny vrtů se následně dostávala výška hladiny podzemní vody až v letech 2019 a 2020. Korejs (2018) využívá ve své diplomové práci odlišné vrty (pozorovací síť Katedry fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty UK) z povodí a v práci jsou znázorněny kratší časové řady. Nicméně lze konstatovat, že výsledky vzestupu a poklesu hladiny podzemní vody v oblasti povodí společně korelují, i přestože v jeho případě byly vrty umístěny ve vyšší nadmořské výšce. Odpovídají poklesu v létě 2015, hlavně tedy v srpnu a v září nebo například vzestupu hladiny mezi červencem a srpnem 2017 či v roce 2018.

Všechny rozdíly mezi povrchovou a podzemní vodou jsou vzápětí přiblíženy pomocí srážek. Jelikož úhrn atmosférických srážek se na průtoku projevuje dříve, na stavu podzemní vody může být prokázán až po několika dnech, týdnech či měsících. V poslední části výsledků je velmi dobře vidět shodný pokles podzemní vody a průtoků v případě limnigrafické stanice Pilař a mělkých vrtů Hamr a Majdalena, podobně tomu bylo i v roce 2016. V roce 2017 je popsáno období z konce července, které vysokým úhrnem srážek ovlivnilo průtok, na hladině podzemních vod se to promítlo však až během srpna. V tuto dobu už průtok klesal k minimu. A v posledním roce 2018, až na menší výjimky, lze říci, že průměrné hodnoty povrchových a podzemních vod korelují. Stejná charakteristika je provedena i pro stanici Pilař a mělký vrt Holičky, kde byl rok 2015 podobný jako v případě Pilaře, Hamru a Majdaleny. V roce 2016 je odůvodněno období června a července, srpna a září. Úhrn atmosférických srážek se podílel na vysokých průměrných hodnotách za červenec a srpen, následně však absence srážek během srpna znamenala výrazný pokles v období září. V případě roku 2017 je přiblížené období duben až květen a v roce 2018 duben až srpen pomocí srážek.

V bakalářské práci byla rozebrána a přiblížena reakce povrchových a podzemních vod na horní Lužnici v období hydrologického sucha 2015–2018. V dalších letech lze očekávat, že prací s podobnou tematikou bude přibývat, jelikož sucho bude ovlivňovat lidstvo čím dál více. V letošním roce 2023 byly zaznamenány teplotní rekordy na některých místech České republiky. V zahraničí, například v oblasti Pádské nížiny na severu Itálie, se zemědělci na jaře obávali sucha zapříčiněného předchozím rokem a vzápětí na to se dostavily ničující povodně.

Středomoří sužují požáry v rámci jednotlivých ostrovů. Sucho bude nadále aktuálním tématem.

## 8. Závěr

Sucho je jedním z extrémních jevů, které lidstvu, vegetaci a celé krajině hrozí stále ve větší míře. Tento globální problém má vážné dopady na životní prostředí, zemědělství nebo ekonomiku. Také může ovlivňovat lidské zdraví, např. nedostatek vody může vést k dehydrataci nebo nedostatku hygienických podmínek. Lidská činnost, jako je nadměrná těžba podzemní vody a odlesňování, přispívá k častějším suchům po celém světě. Proto je důležité pracovat na omezení globálního oteplování a udržitelnému využívání vodních zdrojů.

Předložená bakalářská práce se soustředí zejména na výskyt hydrologického sucha v období mezi roky 2015 až 2018 na řece Lužnici, potažmo její horní části. U této řeky byla popsána její základní a fyzickogeografická charakteristika. Bylo zjištěno, že definice pro pojem sucho mohou být různé, ale jedna z nich může znít jako deficit vody v daném území. Sucho nastává při situaci, kdy na sebe působí přírodní procesy, ale také je ovlivněno lidskou činností. Existují různé typy sucha, jako je sucho meteorologické, hydrologické, agronomické či socioekonomické. Práce byla podrobněji věnována suchu hydrologickému, u kterého byly zjištěny jeho příčiny a dopady. Práce se dále zaměřovala na interakci podzemních a povrchových vod, přičemž bylo zjištěno, že tento vztah je velmi výrazný a společně tvoří součást oběhu vody a závisí na něm význačná řada jevů.

Z výsledků vyšlo najevo, že na stanicích Pilař a Kazdovna byly zaznamenány nejnižší průměrné průtoky v roce 2018. Pomocí metody prahové hodnoty byla určena hodnota  $Q_{355}$ , která je nejpoužívanější k vyhodnocení hydrologického sucha. Tato metoda odhalila, že sice rok 2018 byl průměrně nejsušší, ale v roce 2015 bylo zaznamenáno nejvíce suchých dnů. Tedy dnů, které nepřekročili prahovou hodnotu  $Q_{355}$ . Dále bylo zjištěno, že po roce 2013, kdy zájmovou oblast zasáhly povodně, byl na všech mělkých vrtech zaznamenán trend poklesu hladiny podzemních vod. Tento trend byl ovlivněn hlavně obdobím mezi roky 2015–2018, následně se u všech vrtů v roce 2020 dostala hladina podzemní vody zpět přes křivku trendu. Jednotlivé výkyvy mezi průměrnými průtoky a hladinou podzemních vod lze odůvodnit pomocí úhrnu atmosférických srážek, které byly získány pomocí dat ze stanice Suchdol nad Lužnicí.

## 9. Seznam použité literatury a zdrojů

ALBRECHT, J. a kol. (2003): Českobudějovicko. In: Mackovič P. a Sedláček M. (eds.): Chráněná území ČR, svazek VIII. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, Praha, 808 s.

ATLAS PODNEBÍ ČESKA. ČHMÚ. 2007, Praha, 255 s.

BACHMAIR, S., STAHL, K., COLLINS, K., HANNAFORD, J., ACREMAN, M., SVOBODA, M., KNUTSON, C., SMITH, K. H., WALL, N., FUCHS, B., CROSSMAN, N. D. (2016): Drought indicators revisited: the need for a wider consideration of environment and society. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(4), s. 516–536.

BAKKE, S. J., IONITA, M., TALLAKSEN, L., M. (2020): The 2018 northern European hydrological drought and its drivers in a historical perspective. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24, s. 5621–5653.

BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. *Kartografie Praha*, Praha, 79 s.

BALATKA B., SLÁDEK J. (1958): Vývoj výzkumu říčních teras v českých zemích. - *Knihovna ÚÚG*, sv. 32, Geofond v NČSAV, Praha, 288 s.

BRÁZDIL, R., TRNKA, M. a kol. (2015): Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost. Centrum výzkumu globální změny Akademie věd České republiky, V.V.I., Brno, 402 s.

BURIAN, A. (2019): Hydrologické sucho v povodí Loděnice. Bakalářská práce, Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 82 s.

BURIAN, A. (2021): Hydrologické sucho v kontextu změny klimatu: Případová studie v povodí Blšanky a Loděnice. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta UK, Praha, 18 s.

ČERVENÝ, J. a kol. (1984): Podnebí a vodní režim ČSSR. SZN, Praha, 414 s.

DRACUP, J. A., LEE, K. S., PAULSON JR, E. G. (1980): On the definition of drought. *Water resources research*, 16, 2, 297–302.

DUB, O. (1963): *Hydrológia, hydrografia, hydrometria*. Slovenské vyd. tech. lit., Bratislava, 526 s.

ESTRELA, T. a kol. (2001): Extreme hydrological events: floods and droughts. Environmental issue report. Sustainable water use in Europe, Part 3. European Environment Agency, 84 s.

- FIALOVÁ, P. (2015): Interakce podzemní a povrchové vody za extrémních hydrologických situací v nivě horní Lužnice. Diplomová práce, PřF UK, Praha.
- FLEIGH, A. (2004): Hydrological Drought – A comparative study using daily discharge series from around the world. Diplomová práce. Institut für Hydrologie der Albert-LudwigsUniversität, Freiburg, 144 s.
- GIBBS, W. J. (1975): Drought – its definition, delineation and effects. In: Special Environmental Report No. 5. World Meteorological Organization, Geneva, 11–39 s.
- HASAN, H., H., RAZALI, S., F., M., MUHAMMAD, N., S., AHMAD, A. (2019): Research Trends of Hydrological Drought: A Systematic Review, *Water*, 11(2252), 19 s.
- HASTÍKOVÁ, P. (2012): Vývoj vybraných fluviálních jezer v nivě Lužnice. Diplomová práce, Katedra fyzické geografie a geologie PřF UK, Praha, 17 s.
- HAVLOVÁ, J. (ed.) (1998): Ekologická studie Lužnice. Hydroprojekt, Praha, 423 s.
- HISDAL, H., TALLAKSEN L. M. (2003): Estimation of regional meteorological and hydrological drought characteristics. *Journal of Hydrology*, 281, 3, s. 230-247.
- HLADNÝ, J. (2009): Jaké následky přineslo sucho v roce 2003? In Němec, J., Kopp, J. (Eds.): *Vodstvo a podnebí v České republice*. Ministerstvo zemědělství České republiky, Consult Praha, s. 81.
- HLADNÝ, J. (2009): Druhy sucha. In Němec, J., Kopp, J. a kol: *Vodstvo a podnebí v České republice*. Ministerstvo zemědělství České republiky, Consult Praha, s. 66.
- CHÁBERA, S., a kol. (1985): *Neživá příroda. Jihočeské vlastivěda. Jihočeské nakladatelství České Budějovice, České Budějovice*, 270 s.
- CHÁBERA, S. (1998): *Fyzický zeměpis jižních Čech. Jihočeská univerzita, České Budějovice*, 139 s.
- CHLUPÁČ, I. a kol. (2011): *Geologická minulost České republiky*. Academia, Praha
- JUNKOVÁ, A. (2019): Hydrologické sucho na Lužnici v roce 2018. Bakalářská práce, Přírodovědecká fakulta, UK, Praha.
- JUNKOVÁ, A. (2021): Ztráty vody v povodí Loučenského potoka a Bouřlivce a možnosti jejich snížení v období hydrologického sucha. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta UK, Praha.
- KADLECOVÁ, R. (2007): Oceňování velikosti zdrojů podzemních vod. *Sborník geologických věd. Hydrogeologie, inženýrská geologie*, Praha, 24, 77 s.

- KALBUS, E. a kol. (2006): Measuring methods for groundwater, surface water and their interactions: a review. *Hydrology and Earth systems Sciences Discussions*, s. 1809–1850.
- KOREJS, T. (2016): Vliv podzemní vody na hydrologické sucho v nivě Lužnice. 2016. Bakalářská práce, Přírodovědecká fakulta UK, Praha.
- KOREJS, T. (2018): Interakce podzemní a povrchové vody v době hydrologického sucha v nivě horní Lužnice. Diplomová práce, Přírodovědecká fakulta UK, Praha.
- KRÁSNÝ, J. (2012): Podzemní vody České republiky: regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod. Česká geologická služba, Praha, 1143 s.
- KŘÍŽ, H. (1983): Hydrologie podzemních vod. Academia, Praha, 292 s.
- MAROUŠKOVÁ, K. (2016): Projevy a dopady hydrologického sucha v povodí Rakovnického potoka. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta UK, Praha
- MÍSAŘ, Z., a kol. (1983): Geologie ČSSR I. Český masiv. SPN, Praha, 333 s.
- MUSIL, J. (2015): Extremita odtoku v povodí horní Lužnice. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecká fakulta UK, Praha.
- NALBANTIS, I., TSAKIRIS, G. (2009): Assesment of hydrological drought revisited. *Water Resources Manegment*, 23, 881–897.
- NĚMEC, J., KOPP, J. a kol. (2009): Vodstvo a podnebí v České republice v souvislosti se změnou klimatu. Ministerstvo zemědělství České republiky, Consult Praha.
- NOVICKÝ, O. a kol. (2008): Časová a plošná variabilita hydrologického sucha v podmínkách klimatické změny na území České republiky. Zpráva za rok 2008. VÚV T.G.M., Praha, 59 s.
- PALMER, W. C. (1965): Meteorological drought. Research Paper No. 45. US Weather Bureau, Washington DC.
- PEÑA–GALLARDO, M., et al. (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.
- STAHL, K. (2001): Hydrological drought – A Study Across Europe. Dissertation Thesis. Albert–Ludwig Universität, Freiburg, 122 s.
- SVOBODA, P. (2011): Hydrologický režim horní Lužnice. Diplomová práce, Přf UK, Praha.
- SVOBODA, P., ŠOBR, M., JANSKÝ, B., VLASÁK, T. (2015): Vliv říční nivy na hydrologický režim horní Lužnice, *Geografie*, 120, č. 3, s. 354–371.



ŠACHOVÁ, B. (2010): Hydrologické sucho v kontextu klimatické změny ve světě a v českém povodí Labe. Bakalářská práce. Přírodovědecká fakulta UK, Praha.

ŠILAR, J. (1996): Hydrologie v životním prostředí. FŽP UJEP, Ústí nad Labem, 136 s.

ŠVORC, L., ŠVORCOVÁ, V. (2006): České řeky a říčky. Knihovna Jana Drdy v Příbrami, Příbram 265 s.

TALLAKSEN, L. M., VAN LANEN, H. A. J. a kol. (2004): Hydrological drought. Processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Developments in water science, Elsevier, 579-580 s.

VAN LOON, A. F. (2015): Hydrological drought explained. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 2(4), s. 359–392.

VAN LOON, A. F., GLEESON, T., CLARK, J., VAN DIJK, A. I., STAHL, K., HANNAFORD, J., DI BALDASSARRE, G., TEULING, A. J., TALLAKSEN, L. M., UIJLENHOET, R., HANNAH, D. M. (2016): Drought in the Anthropocene. Nature Geoscience, 9(2), s. 89–91.

VLACH, V. (2019): Hydrologické sucho v pramenných oblastech Krušných hor. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta UK, Praha.

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

VOS, F. a kol. (2010): Annual Disaster Statistical Review 2009. The numbers and trends. CRED, Brussels, 46 ss

VÍTKOVÁ, P. (2021): Analýza hydrologického sucha a trendy srážkoodtokových dat v povodí Bouřlivce a Loučenského potoka. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta UK, Praha.

WILHITE, D. A., GLANTZ, M. H. (1985): Understanding the drought phenomenon: The role of definition. Water international, 10, 3, 11–120.

WOESSNER, W. (2000): Stream and Fluvial Plain Ground Water Interactions: Rescaling Hydrogeologic Thought. Ground Water, 38, 3, s. 423-429.

## **9.1 Seznam použitých digitálních zdrojů**

AOPK (2018) - Agentura ochrany přírody a krajiny. [www.aopk.cz](http://www.aopk.cz) (cit. 8. 3. 2023)

BAKKE, J., IONITA, M., TALLAKSEN, M. (2020): The 2018 northern European hydrological drought and its drivers in a historical perspective. Hydrology and Earth System Sciences, 24.1, 5621-5653, <https://hess.copernicus.org/articles/24/5621/2020/> (cit. 8. 3. 2023)

- BÍLEK, M. (1999): Řeka Lužnice. [http:// www.pf.jcu.cz/others/okoli/prir/luznice.htm](http://www.pf.jcu.cz/others/okoli/prir/luznice.htm) (cit. 8. 3. 2023)
- BREJCHA, I. (2019): Zpráva o hodnocení množství povrchových vod v dílčím povodí horní Vltavy za rok 2019. [https://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodohospodarska-bilance/bilance2019/A\\_text\\_HV\\_POV\\_2019.pdf](https://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodohospodarska-bilance/bilance2019/A_text_HV_POV_2019.pdf) (cit. 8. 3. 2023)
- BREJCHA, I. (2020): Zpráva o hodnocení množství povrchových vod v dílčím povodí horní Vltavy za rok 2020. [https://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodohospodarska-bilance/bilance2020/A\\_text\\_HV\\_POV\\_2020.pdf](https://www.pvl.cz/files/download/vodohospodarske-informace/vodohospodarska-bilance/bilance2020/A_text_HV_POV_2020.pdf) (cit. 8. 3. 2023)
- ČEKAL, R. (2018): Vývoj sucha od roku 2014 a jeho vyhodnocení na září 2018. [http://portal.chmi.cz/files/docs/tiskove\\_zpravy/2018/Hodnoceni\\_sucha\\_2014\\_2018\\_MS\\_JD\\_RC.pdf](http://portal.chmi.cz/files/docs/tiskove_zpravy/2018/Hodnoceni_sucha_2014_2018_MS_JD_RC.pdf) (cit. 8. 3. 2023)
- ČHMÚ (2023): Hydrologické ročenky České republiky. <http://voda.chmi.cz/roc/index.html> (cit. 8. 3. 2023)
- ČHMÚ (2023) – Český hydrometeorologický ústav Hydrologická bilance množství a jakosti vody ČR. <http://voda.chmi.cz/opzv/bilance/bilance.htm> (cit. 8. 3. 2023)
- ČHMÚ (2019) – Český hydrometeorologický ústav Sucho. <http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/sucho#> (cit. 8. 3. 2023)
- ČHMÚ (2017) - Český hydrometeorologický ústav. [www.chmi.cz](http://www.chmi.cz) (cit. 8. 3. 2023)
- ČGS (2017) - České geologická služba. [www.geology.cz](http://www.geology.cz) (cit. 8. 3. 2023)
- DAHŇELKA, J. a kol. (2015): Vyhodnocení sucha na území České republiky v roce 2018. [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/zpravy/Sucho\\_2015-predbezna\\_zprava\\_CHMU.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/SUCHO/zpravy/Sucho_2015-predbezna_zprava_CHMU.pdf) (cit. 8. 3. 2023)
- (a) DAŇHELKA, J. a kol. (2019): Předběžná zpráva o suchu 2018. [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove\\_zpravy/2019/Predbezna\\_zprava\\_o\\_suchu\\_2018.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2019/Predbezna_zprava_o_suchu_2018.pdf) (cit. 8. 3. 2023)
- (b) DAŇHELKA, J. a kol. (2019): Sucho na území České republiky v roce 2018. [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove\\_zpravy/2019/Sucho\\_2018.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2019/Sucho_2018.pdf) (cit. 8. 3. 2023)
- EGUBLOGS (2022): Groundwater: a sensitive but powerful tool. <https://blogs.egu.eu/network/water-underground/2022/11/08/groundwater-a-sensitive-but-powerful-tool/> (cit. 7. 5. 2023)

KIT (2018): Drought affected about 90 % of German territory in 2018. Karlsruhe Institute of Technology, <https://phys.org/news/2018-09-drought-affected-german-territory.html> (cit. 8. 3. 2023)

KUBIAK-WÓJCICKA, K., BAŁK, B. (2018): Monitoring of meteorological and hydrological droughts in the Vistula basin (Poland). *Environmental Monitoring and Assessment*, 2018, 190, 1-16, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-018-7058-8> (cit. 24. 7. 2023)

MYRONIDIS, D. a kol. (2018): Streamflow and hydrological drought trend analysis and forecasting in Cyprus. *Water resources management*, 32, 1759-1776, <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-018-1902-z> (cit. 24. 7. 2023)

MUZIKAŘ, R. (2014): Interakce podzemní a povrchové vody. *Vodní hospodářství*, 64, 8, s. 18–22. <http://www.watermanagement.cz/e-VH/2014/eVH-2014-08.pdf#page=20> (cit. 8. 3. 2023)

NDMC (National Drought Mitigation Center) (2012): Droughts Basic. Types of drought. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska–Lincoln, U.S.A., <http://www.drought.unl.edu/DroughtBasics/TypesofDrought.aspx> (cit. 8.3. 2023)

NDMC (2019): Drought in-depth. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln, <https://drought.unl.edu/Education/DroughtIn-depth.aspx> (cit. 8.3. 2023)

ROŽNOVSKÝ, J. a kol. (2012): Sucho na území ČR a jeho dopady, [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/katastrofy/26zasedani/Roznovsky\\_sucho\\_230412.pdf](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/katastrofy/26zasedani/Roznovsky_sucho_230412.pdf) (cit. 3.8.2023)

ROŽNOVSKÝ, J. (2014): Sucho na území České republiky. Academia, SSČ AV ČR., <http://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/sucho-na-uzemi-ceske-republiky.pdf> (cit. 8.3. 2023)

RUDA, A. (2013): Podpovrchová voda, [http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pdf/ps14/fyz\\_geogr/web/pages/11-podpovrchova-voda.html](http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pdf/ps14/fyz_geogr/web/pages/11-podpovrchova-voda.html) (cit. 8.3. 2023)

SOPHOCLEOUS, M. (2002): Interactions between ground and surface water: the state of the science. *Hydrogeol J*, Official Journal of the International Association of Hydrogeologists, Springer Heidelberg, 10, 1, s. 52–67, [https://blogs.egu.eu/network/water-underground/files/2018/06/Sophocleous\\_GW-SW-HJ-Journal-2002-KGS-Analysis-for-distribution.pdf](https://blogs.egu.eu/network/water-underground/files/2018/06/Sophocleous_GW-SW-HJ-Journal-2002-KGS-Analysis-for-distribution.pdf) (cit. 8. 3. 2023)

TRNKA, P. (2010): Možné důsledky dlouhotrvajícího sucha v naší krajině a ve světě. Ústav aplikované a krajinné ekologie AF MENDELU v Brně, [http://user.mendelu.cz/xvlcek1/rrc/sucho/TRNKA\\_1.pdf](http://user.mendelu.cz/xvlcek1/rrc/sucho/TRNKA_1.pdf) (cit. 8. 3. 2023)

ZHANG, D. a kol (2018): Intensification of hydrological drought due to human activity in the middle reaches of the Yangtze River, China. *Science of the Total Environment*, 637, 1432-1442, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718317625> (cit. 24.7. 2023)

WINTER, T.C., HARWEY, J. W., FRANKE, O. L., ALLEY, W. M. (2013): Groundwater and surface water a single resource. USGS, 1139, <https://pubs.usgs.gov/circ/circ1139/> (cit. 14. 7. 2023)

## **9.2 Mapové podklady**

ARCDATA PRAHA (2023): ArcČR 500 - digitální geografická databáze, verze 4.2, <https://www.arcdata.cz/cs-cz/produkty/data/arccr> (cit. 14. 7. 2023)

## **Seznam obrázků**

Obrázek 1: Povodí Lužnice

Obrázek 2: Povodí horní Lužnice na rakouském území po Novou Ves nad Lužnicí

Obrázek 3: Geologické poměry v povodí horní Lužnice

Obrázek 4: Klimatické oblasti v Jihočeském kraji a na Šumavě

Obrázek 5: Vybrané charakteristika a porovnání z toku Lužnice

Obrázek 6: Typy sucha

Obrázek 7: Deficit srážek na území jednotlivých krajů České republiky pro hydrologické roky 2014, 2015, 2016, 2017 a 2018.

Obrázek 8: Rozložení druhů podpovrchových vod v horninách.

Obrázek 9: Schéma hyporheické zóny

Obrázek 10: Poloha vodoměrných stanic Kazdovna a Pilař na řece Lužnice. Zdroj:

Obrázek 11: Poloha mělkých vrtů Hamr, Holičky, Majdalena, Suchdol nad Lužnicí a Tušť na řece Lužnice.

Obrázek 12: Poloha vodoměrné stanice Pilař s mělkými vrty Hamr a Majdalena na řece Lužnice.

Obrázek 13: Poloha vodoměrné stanice Kazdovna a mělkého vrtu Kazdovna na řece Lužnice.

## **Seznam grafů**

Graf 1: Průměrný roční průtok vody na stanici Kazdovna 1980-2020.

Graf 2: Průměrný roční průtok vody na stanici Kazdovna 2015-2018.

Graf 3: Průměrný roční průtok vody na stanici Pilař 1980-2020.

Graf 4: Průměrný roční průtok vody Pilař na stanici 2015-2018.

Graf 5: Průměrný měsíční průtok vody na stanicích Kazdovna a Pilař v roce 2015.

Graf 6: Průměrný měsíční průtok vody na stanicích Kazdovna a Pilař v roce 2016.

Graf 7: Průměrný měsíční průtok vody na stanicích Kazdovna a Pilař v roce 2017.

Graf 8: Průměrný měsíční průtok vody na stanicích Kazdovna a Pilař v roce 2018.

Graf 9: Podíl jednotlivých měsíců na ročním objemu odtoku pro profil Kazdovna 2015–2018.

Graf 10: Podíl jednotlivých měsíců na ročním objemu odtoku pro profil Pilař 2015–2018.

Graf 11: Počet suchých dnů na stanici Kazdovna a Pilař v období 1980–2020.

Graf 12: Překročení prahové hodnoty Q355d denních průtoků v roce 2015 na stanici Pilař.

Graf 13: Překročení prahové hodnoty Q355d denních průtoků v roce 2018 na stanici Pilař.

Graf 14: Překročení prahové hodnoty Q355d denních průtoků v roce 2015 na stanici Kazdovna.

Graf 15: Překročení prahové hodnoty Q355d denních průtoků v letech 2019 a 2020 na stanici Kazdovna.

Graf 16: Průměrná výška hladiny podzemní vody na mělkých vrtech Hamr, Holičky a Majdalena 2013–2020.

Graf 17: Průměrná měsíční hladina podzemní vody mělký vrt Hamr v letech 2015–2018.

Graf 18: Průměrná měsíční hladina podzemní vody mělký vrt Majdalena v letech 2015–2018.

Graf 19: Průměrná měsíční hladina podzemní vody mělký vrt Holičky v letech 2015–2018.

Graf 20: Průměrná výška hladiny podzemní vody na mělkých vrtech Suchdol nad Lužnicí a Tušů v letech 2013–2020.

Graf 21: Počet suchých dnů na stanici Kazdovna a Pilař mezi roky 2015–2018.

Graf 22: Počet suchých dnů za jednotlivé měsíce na stanici Pilař mezi roky 2015–2018.

Graf 23: Počet suchých dnů za jednotlivé měsíce na stanici Kazdovna mezi roky 2015–2018.

Graf 24: Trend hladiny podzemní vody v mělkém vrtu Hamr v letech 2013–2020.

Graf 25: Trend hladiny podzemní vody v mělkém vrtu Majdalena v letech 2013–2020.

Graf 26: Trend hladiny podzemní vody v mělkém vrtu Holičky v letech 2013–2020.

Graf 27: Trend hladiny podzemní vody v mělkém vrtu Suchdol nad Lužnicí v letech 2013–2020.

Graf 28: Trend hladiny podzemní vody v mělkém vrtu Tušů v letech 2013–2020.

Graf 29: Průměrný měsíční průtok na profilu Pilař v roce 2015.

Graf 30: Průměrná měsíční výška hladiny podzemních vod v roce 2015 na mělkých vrtech Hamr a Majdalena.

Graf 31: Průměrný měsíční průtok na profilu Pilař v roce 2017.

Graf 32: Průměrná měsíční výška hladiny podzemních vod v roce 2017 na mělkých vrtech Hamr a Majdalena.

Graf 33: Denní úhrn srážek na stanici Suchdol nad Lužnicí za měsíce červenec a srpen 2017.

Graf 34: Průměrný měsíční průtok na profilu Pilař v roce 2018.

Graf 35: Průměrná měsíční výška hladiny podzemních vod v roce 2018 na mělkých vrtech Hamr a Majdalena.

Graf 36: Denní úhrny srážek na stanici Suchdol nad Lužnicí v květnu, červnu a červenci 2018.

Graf 37: Průměrný měsíční průtok na profilu Kazdovna v roce 2015.

Graf 38: Průměrná měsíční výška hladiny podzemních vod v roce 2015 na mělkém vrtě Holičky.

Graf 39: Průměrný měsíční průtok na profilu Kazdovna v roce 2016.

Graf 40: Průměrná měsíční výška hladiny podzemních vod v roce 2016 na mělkém vrtě Holičky.

Graf 41: Denní úhrn srážek na stanici Suchdol nad Lužnicí za měsíce červen, červenec a srpen 2016.

Graf 42: Průměrný měsíční průtok na profilu Kazdovna v roce 2017.

Graf 43: Průměrná měsíční výška hladiny podzemních vod v roce 2017 na mělkém vrtě Holičky.

Graf 44: Denní úhrn srážek na stanici Suchdol nad Lužnicí za měsíce duben a květen 2017.

Graf 45: Průměrný měsíční průtok na profilu Kazdovna v roce 2018.

Graf 46: Průměrná měsíční výška hladiny podzemních vod v roce 2018 na mělkém vrtě Holičky.

Graf 47: Denní úhrn srážek na stanici Suchdol nad Lužnicí za měsíce duben a květen 2018.

Graf 48: Denní úhrn srážek na stanici Suchdol nad Lužnicí za měsíce červen, červenec a srpen 2018.