

**UNIVERZITA KARLOVA**

**Přírodovědecká fakulta**

**Katedra fyzické geografie a geoekologie**

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



**Václav Kavalír**

**HYDROLOGICKÉ EXTRÉMY A ZMĚNY KVALITY VODY  
NA HORNÍM TOKU ŘEKY ÚPY**

*HYDROLOGICAL EXTREMES AND THE CHANGE IN THE WATER QUALITY  
OF THE UPPER ÚPA RIVER*

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.

Černčice, Dolní Břežany, Praha 2024



**Prohlášení:**

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

V Dolních Břežanech dne 28. 4. 2024

.....

Václav Kavalír

### **Poděkování:**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat mé školitelce RNDr. Miladě Matouškové, Ph.D. za cenné rady, ochotu, trpělivost, odborné vedení této diplomové práce a za výpomoc v terénu. Za pomoc s odběry a hydrometrováním bych také rád poděkoval Adamovi Bartůškovi a Miroslavovi Jonášovi. Rovněž bych na tomto místě rád poděkoval Povodí Labe s.p. a ČHMÚ za poskytnutí dat, bez kterých by tuto práci nebylo možné vytvořit, a správě KRNAP za umožnění přístupu do klidové zóny národního parku. Dále bych rád poděkoval Petře Kalinové za jazykovou korekturu práce. Mé poděkování patří také přátelům, rodině a mé přítelkyni za trpělivost a neutuchající podporu jak při tvorbě této práce, tak v průběhu celého studia.

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce se zabývá změnou S-O režimu na horním toku řeky Úpy a chováním parametrů kvality vody při zvolených hydrologických událostech. Rešeršní část práce zpracovává základní poznatky o faktorech, které mají vliv na kvalitu vody ve vodním toku, zdroje znečištění, vliv hydrologických extrémů na stav kvality vody společně s chováním jednotlivých parametrů v těchto situacích. K vyhodnocení bylo užito základních statistických metod, analýzy časových řad, Mann-Kendallova testu, korelačních koeficientů a terénního průzkumu. Zjištěné výsledky naznačují, že v oblasti dochází k oteplení, s čímž je spojený například posun jarního tání a maximálních průtoků, a obecně snížení doby trvání sněhové pokrývky. Celkový stav kvality vody v toku se výrazně zlepšil v návaznosti na několik faktorů, jako je výstavba nových ČOV, snížená acidifikace atd. Hydrologické extrémy mají vliv na vybrané parametry hodnocení kvality vody, jako jsou třeba bazické ionty, některé kovy, specifická konduktivita, množství organických látek v toku (vyjma parametru BSK<sub>5</sub>) a další. Naopak nebyl zjištěn vliv na fosfor, sírany či dusičnany. V případě organických látek, hliníku či železa je jejich podstatným zdrojem rašeliniště a podmáčené lokality v pramenné oblasti toku. Zřetelný je také vliv těchto lokalit na parametry jako je pH, specifická konduktivita a bazické ionty, jejichž koncentrace je výrazně nižší, a naopak jsou zde naměřeny vyšší hodnoty železa a hliníku.

**Klíčová slova:** Hydrologické extrémy, kvalita vody, trendy, S-O režim, horní Úpa

## **Abstract**

The presented master's thesis addresses the alteration of the rainfall-runoff regime in the upper reaches of the Úpa River and the behavior of water quality parameters during selected hydrological events. The literature review section of this thesis elaborates on fundamental knowledge about factors influencing water quality in watercourses, sources of pollution, the impact of hydrological extremes on water quality conditions, along with the behavior of individual parameters in these situations. Basic statistical methods, time series analysis, Mann-Kendall test, correlation coefficients and field survey were used for the evaluation. The results suggest there is a warming trend in the area, associated with, for example, a shift in spring melt, peak flows and a general reduction in the duration of snow cover. The overall water quality status of the river has improved significantly following several factors such as the construction of new WWTPs, reduced acidification, etc. Hydrological extremes have an impact on selected water quality assessment parameters such as basic ions, some metals, electrical conductivity, amount of organic matter in the stream (except for the parameter BOD<sub>5</sub>), etc. On the other hand, no effect was found for phosphorus, sulphate or nitrate. In the case of organic matter, aluminium or iron, their significant source is the peatland and wetlands in the source area of the stream. There is also a clear influence of these sites on parameters such as pH, electrical conductivity and basic ions, the concentration of which is significantly lower, while higher values of iron and aluminium are measured.

**Key Words:** Hydrological extremes, surface water quality, trends, rainfall-runoff régime, upper Úpa river

## **Zadání diplomové práce**

### **Název diplomové práce**

Hydrologické extrémy a změna kvality vody na horním toku řeky Úpy

Hydrological extremes and the change in the water quality of the upper Úpa river

### **Cíle práce**

Cílem této diplomové práce je studium výskytu hydrologických extrémů, jejich vlivu na kvalitu vody vodních toků a analýza změn S-O režimu. Základem je analýza dostupných dlouhodobých časových hydrologických a klimatických řad.

### **Použité pracovní metody, zájmové území a datové zdroje**

V teoretické části se práce bude věnovat shrnutím poznatků hlavně o změnách v kvalitě vody a jak jej ovlivňuje klima či charakteristiky povodí a také tomu, jak se jednotlivé parametry hodnocení kvality vody chovají při hydrologických extrémech. Dále bude provedena fyzickogeografická charakteristika povodí horní Úpy a uvedení do použitých metod (Mann-Kendallův test, odběrová metodika atd.). V praktické části budou vyhodnocena data z Povodí Labe s.p. o kvalitě vody společně s daty průtoků a klimatických proměnných od ČHMÚ. Zjišťovány budou změny a trendy v kvalitě vody a vliv hydrologických extrémů. Proveden bude také terénní průzkum v zájmové lokalitě společně se sběrem dat (odběry, měření průtoků) na hlavním toku řeky Úpy a některých jejích přítocích. Na základě získaných dat společně s analyzovanými daty z Povodí Labe s.p. a ČHMÚ bude vyhodnocena celková kvalita vody.

**Klíčová slova:** Hydrologické extrémy, kvalita vody, trendy, S-O režim, horní Úpa

Datum zadání: 08. 11. 2021

Jméno studenta: Bc. Václav Kavalír

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

# Obsah

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Seznam zkratek.....</b>                                                          | <b>10</b> |
| <b>1. Úvod a cíle práce.....</b>                                                    | <b>13</b> |
| <b>2. Faktory ovlivňující kvalitu vody ve vodních tocích.....</b>                   | <b>15</b> |
| 2.1. FG charakteristiky povodí a toku.....                                          | 15        |
| 2.1.1. Samočistící schopnost vodního toku.....                                      | 16        |
| 2.2. Rašeliniště.....                                                               | 17        |
| 2.2.1. Typické vlastnosti rašelinišť.....                                           | 17        |
| 2.2.2. Vliv rašeliniště na kvalitu povrchové vody.....                              | 18        |
| 2.2.3. Chování při S-O událostech.....                                              | 18        |
| 2.2.4. Vliv člověka.....                                                            | 19        |
| <b>3. Klimatická změna.....</b>                                                     | <b>20</b> |
| <b>4. Vliv hydrologických extrémů na kvalitu vody.....</b>                          | <b>21</b> |
| 4.1. Chování jednotlivých ukazatelů kvality vody.....                               | 23        |
| 4.1.1. Obecné ukazatele.....                                                        | 23        |
| 4.1.2. Živiny.....                                                                  | 25        |
| 4.1.3. Organické látky.....                                                         | 26        |
| 4.1.4. Kovy a bazické ionty.....                                                    | 27        |
| <b>5. Metodika a zdroje.....</b>                                                    | <b>29</b> |
| 5.1. Metodické nástroje.....                                                        | 29        |
| 5.1.1. Mann-Kendallův test.....                                                     | 29        |
| 5.1.2. Korelace a korelační matice.....                                             | 30        |
| 5.1.3. Lineární regrese.....                                                        | 31        |
| 5.1.4. Doplnující statistické metody.....                                           | 31        |
| 5.1.5. Hranice detekovatelnosti a frekvence stanovování parametrů kvality vody..... | 32        |
| 5.1.6. Výběr podrobněji hodnocených událostí.....                                   | 34        |
| 5.1.7. Odběrová metodika a vlastní sběr dat v terénu.....                           | 36        |
| 5.1.8. Hodnocení jakosti.....                                                       | 37        |
| 5.2. Zdroje dat.....                                                                | 38        |
| <b>6. Fyzickogeografická charakteristika.....</b>                                   | <b>42</b> |
| 6.1. Vymezení zájmového území.....                                                  | 42        |
| 6.2. Geologická charakteristika.....                                                | 43        |
| 6.3. Geomorfologická charakteristika.....                                           | 45        |

|                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.3.1. Tvary a formy reliéfu.....                                           | 46        |
| 6.4. Pedogeografická charakteristika .....                                  | 48        |
| 6.5. Biogeografická charakteristika.....                                    | 51        |
| 6.5.1. Flóra.....                                                           | 52        |
| 6.5.2. Fauna .....                                                          | 54        |
| 6.6. Základní klimatologická charakteristika .....                          | 55        |
| 6.7. Základní hydrologická charakteristika .....                            | 57        |
| 6.7.1. Charakteristika toku Úpy .....                                       | 59        |
| 6.7.2. Kvalita vody .....                                                   | 61        |
| 6.7.3. Hydrologické extrémy .....                                           | 61        |
| 6.7.4. Rašeliniště .....                                                    | 63        |
| 6.8. Ochrana krajiny.....                                                   | 64        |
| <b>7. Výsledky .....</b>                                                    | <b>65</b> |
| 7.1. Analýza klimatu a srážko-odtokových poměrů.....                        | 65        |
| 7.1.1. Teplota vzduchu.....                                                 | 65        |
| 7.1.2. Srážky .....                                                         | 68        |
| 7.1.3. Sníh.....                                                            | 72        |
| 7.1.4. Odtokové poměry .....                                                | 74        |
| 7.1.4.1. Denní průtoky ( $Q_d$ ) .....                                      | 74        |
| 7.1.4.2. Měsíční průtoky ( $Q_m$ ) .....                                    | 75        |
| 7.1.4.3. Roční průtoky ( $Q_r$ ) .....                                      | 77        |
| 7.2. Dlouhodobý časový a sezónní vývoj parametrů kvality vody.....          | 79        |
| 7.3. Korelace parametrů s průtoky .....                                     | 91        |
| 7.4. Vzájemná korelace parametrů .....                                      | 94        |
| 7.5. Chování parametrů při hydrologických extrémech – vybrané situace ..... | 96        |
| 7.5.1. Situace 26.2.1997.....                                               | 96        |
| 7.5.2. Situace 12.1.1993.....                                               | 97        |
| 7.5.3. Situace 27.03.2012.....                                              | 99        |
| 7.5.4. Situace 16.08.2006.....                                              | 100       |
| 7.5.5. Situace 25.08.2020.....                                              | 101       |
| 7.5.6. Situace 15.02.2010.....                                              | 103       |
| 7.5.7. Situace 17.9.2018.....                                               | 104       |
| 7.5.8. Situace 23.9.2019.....                                               | 105       |
| 7.5.9. Společné znaky vybraných událostí.....                               | 106       |
| 7.6. Vlastní měření .....                                                   | 108       |



|                                                    |            |
|----------------------------------------------------|------------|
| <b>8. Diskuse a shrnutí výsledků .....</b>         | <b>114</b> |
| <b>9. Závěr .....</b>                              | <b>123</b> |
| <b>10. Seznam zdrojů a literatury .....</b>        | <b>125</b> |
| 10.1. Internetové zdroje.....                      | 140        |
| <b>11. Seznam grafických prvků a tabulek .....</b> | <b>141</b> |
| 11.1. Seznam obrázků .....                         | 141        |
| 11.2. Seznam grafů.....                            | 142        |
| 11.3. Seznam tabulek .....                         | 144        |
| <b>12. Seznam příloh .....</b>                     | <b>145</b> |

## Seznam zkratek

|                               |                                                                  |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| $\alpha$                      | Hladina spolehlivosti Mann-Kendallova testu                      |
| Al                            | Hliník                                                           |
| AOPK                          | Agentura ochrany přírody a krajiny                               |
| As                            | Arsen                                                            |
| Ba                            | Baryum                                                           |
| BSK <sub>(5)</sub>            | Biochemická spotřeba kyslíku (za 5 dní) – anglická zkratka - BOD |
| Ca <sub>(2<sup>+</sup>)</sub> | Vápník (vápenatý kationt)                                        |
| Cd                            | Kadmium                                                          |
| Cl <sup>-</sup>               | Aniont chlóru                                                    |
| CENIA                         | Česká informační agentura životního prostředí                    |
| CO <sub>2</sub>               | Oxid uhličitý                                                    |
| Cr                            | Chrómový                                                         |
| Cu                            | Měď                                                              |
| ČGS                           | Česká geologická společnost                                      |
| ČHMÚ                          | Český hydrometeorologický ústav                                  |
| ČOV                           | Čistička odpadních vod – anglická zkratka - WWTP                 |
| ČR                            | Česká republika                                                  |
| ČSN                           | Česká státní norma                                               |
| ČÚZK                          | Český úřad zeměměřický a katastrální                             |
| DIBAVOD                       | Digitální báze vodohospodářských dat                             |

|                         |                                                                                                                                            |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DMR                     | Digitální model reliéfu                                                                                                                    |
| DOC                     | Rozpuštěný organický uhlík (Dissolved Organic Carbon)                                                                                      |
| EU                      | Evropská unie                                                                                                                              |
| Fe                      | Železo                                                                                                                                     |
| FKB                     | Fekální koliformní bakterie                                                                                                                |
| FSC                     | Forest Stewardship Council                                                                                                                 |
| Hg                      | Rtuť                                                                                                                                       |
| HSM                     | Horní Staré Město                                                                                                                          |
| CHOPAV                  | Chráněná oblast přirozené akumulace vod                                                                                                    |
| CHSK <sub>(Mn/Cr)</sub> | Chemická spotřeba kyslíku<br>(Manganistanem draselným/Dichromanem draselným)                                                               |
| IMGW-PIB                | Ústav meteorologie a vodního hospodářství – Národní výzkumný ústav (Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej Państwowy Instytut Badawczy) |
| K                       | Draslík                                                                                                                                    |
| KRNAP                   | Krkonošský národní park                                                                                                                    |
| LGÚ PřF UK              | Laboratoř geologického ústavu Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy                                                                    |
| Mg                      | Hořčík                                                                                                                                     |
| MK                      | Mann-Kendall                                                                                                                               |
| Mn                      | Mangan                                                                                                                                     |
| Na                      | Sodík                                                                                                                                      |
| N <sub>celk</sub>       | Celkový dusík                                                                                                                              |

|                          |                                                |
|--------------------------|------------------------------------------------|
| $\text{NH}_4^+$          | Amoniakální dusík                              |
| Ni                       | Nikl                                           |
| $\text{NO}_3^-$          | Dusičnanový dusík                              |
| Pb                       | Olovo                                          |
| $\text{P}_{\text{celk}}$ | Celkový fosfor                                 |
| PL                       | Polsko                                         |
| PP                       | Přírodní památka                               |
| $Q_{(m \text{ či } a)}$  | Průtok (měsíční či dlouhodobý)                 |
| S-O                      | Srážko-odtokový                                |
| $\text{SO}_4^{(2-)}$     | Sírany (síranový aniont)                       |
| TAČR                     | Technologická agentura České republiky         |
| TOC                      | Celkový organický uhlík (Total Organic Carbon) |
| UNESCO                   | Organizace OSN pro vzdělání, vědu a kulturu    |
| ÚSES                     | Územní systém ekologické stability             |
| Zn                       | Zinek                                          |

## 1. Úvod a cíle práce

V posledních letech u nás přibývá S-O událostí (dlouhá období sucha s nízkými Q či naopak extrémní srážkové úhrny s Q vysokými), kde tyto události mají specifický vliv na jakost vody ve vodních tocích, kterému se stále snažíme porozumět. Změnou v S-O režimu je ovlivněna řada parametrů hodnocení kvality vody, protože jsou závislé na průtoku a množství srážek (Rostami, He, Hassan 2018; Bartůšek 2022). Reakce jednotlivých ukazatelů je však závislá u každého na jiných faktorech (jeho zdroji, cestě do toku, reaktivnosti atd.), k tomu cestou do toku i v něm dochází k mnoha biochemickým a hydrologickým procesům, a navíc je těžké rozlišit efekt působení klimatické změny a lidských aktivit (Šajnarová 2021; Fovet et al. 2022). Predikovaná změna klimatu a s ní spojený nárůst teploty vzduchu i vody v budoucnosti povede ke snížení obsahu rozpuštěného kyslíku, úbytku anorganických forem dusíku ve vodě atd. (Mičaník et al. 2011). Klimatická změna se ale také projevuje ve zvýšení počtu extrémů S-O událostí. Obecně největší vliv na kvalitu vody mají rozsáhlé a intenzivní deště po delším období sucha (Rostami, He, Hassan 2018), kdy dochází k nejvyšší mobilizaci kontaminantů ve formě plošných zdrojů z povodí (Wright et al. 2013). Všechny tyto vlivy povedou ke snížení kvality vody a snížení její využitelnosti pro člověka (Mičaník et al. 2011).

Většina českých vodních toků si zachovávala relativně dobrou kvalitu vod až do konce 2. světové války. Následně nastal prudký rozvoj těžkého průmyslu, kdy během několika následujících let velká část toků na našem území obsahovala nebezpečné látky a zhoršil se jejich kvalitativní stav (Langhammer 2013). V průběhu 70. a 80. let minulého století se k tomu přidaly problémy spojené s velkoplošným odvodňováním a masivní chemizací zemědělství, což problémy s kvalitou vody ještě umocnilo (Just et al. 2005). Od 90. let však dochází k dlouhodobému zlepšení jakosti vody. Započaly se stavět ČOV, používají se efektivnější technologie, došlo k výstavbě kanalizací a zároveň s tím došlo ke zrušení řady průmyslových podniků a ke snížení užívání průmyslových hnojiv. V současné době je u nás hlavním problémem kvality vody nárůst koncentrací živin a klimatická změna, která jednak snižuje celkový odtok a průtok, což vede ke zvýšení koncentrací některých látek v tocích a také vede ke zvýšení teploty vody v toku, na čemž je závislá hlavně koncentrace rozpuštěného kyslíku, který je klíčový pro vodní organismy (Brázdil et al. 2015). V posledních letech se u nás setkáváme právě se suchými a teplými roky, které mají dopad jak na kvantitu, tak kvalitu vodních toků (Čermák 2022).

Cílem předložené diplomové práce je zhotovení analýzy S-O režimu, zhodnocení změny kvality vody a chování kvality vody při extrémních hydrometeorologických situacích na horním toku Úpy od jejího pramene po profil v Horním Starém Městě u Trutnova. K dosažení cílů jsou použity základní statistické metody a analýzy, analyzovány jsou časové řady pomocí Mann-Kendallova testu, je užito korelačních koeficientů a matic, součástí práce je také terénní průzkum v zájmové lokalitě k nalezení vhodných profilů, kde jsou provedeny odběry a změřen průtok. Zájmové území a vybrané profily na horním toku Úpy jsou vybrány z důvodů znalosti lokality autorem a v návaznosti na projekt TAČR SS05010124 „Hodnocení vlivu změn krajinného pokryvu na lokální hydrologii a klima v Krkonošském národním parku s využitím dálkového průzkumu Země a hydrologického modelování“ (dále jen projekt TAČR), v jehož rámci byla diplomová práce řešena.

Práce se v první části zaměřuje na rešerši faktorů ovlivňujících kvalitu vody ve vodních tocích s podrobněji rozebranými rašeliništi a klimatickou změnou, následně je rešerše zaměřena na vliv hydrologických extrémů na kvalitu vody. V další části jsou diskutovány metody a zdroje společně s fyzickogeografickou charakteristikou zájmového území. Poté jsou představeny výsledky výzkumu a následně jsou shrnuty a diskutovány.

## 2. Faktory ovlivňující kvalitu vody ve vodních tocích

### 2.1. FG charakteristiky povodí a toku

Složení povrchových vod, obsah iontů, organických látek atd., je z části podmíněno různými fyzickogeografickými podmínkami v povodí a samotném toku. Vzniká tak tzv. pozadíové znečištění, tedy znečištění nezávislé na aktivitě člověka (Langhammer 2009). Protože se každé povodí chová jinak, má jinou fyzickogeografickou charakteristiku a vliv člověka na svém území, je nutné provádět hodnocení vlivu přírodního prostředí na úrovni samotného povodí (Ryberg, Chanut 2022). Přesto, že vliv přírodního prostředí na kvalitu vody je patrný, antropogenní impakt je více zřetelný (Botter, Burlando, Fatichi 2019) a fyzickogeografické vlastnosti povodí vysvětlí vždy pouze část variace kvality vody v toku (Varanka, Hjort, Luoto 2015). To, že jakost vody je primárně podmíněna charakteristikami povodí, ale vliv člověka jej značně modifikuje, potvrzují například Hryzáková, Matoušková (2008). I proto se roli charakteristik povodí a klimatu na kvalitu vody věnuje menší počet studií než vlivům spojenými s antropogenními aktivitami (Mishra, Alnahit, Campbell 2021). Ze studií, které se věnují vlivu přírodního prostředí na jakost jsou významné třeba Lintern et al. (2018) nebo Alnahit, Mishra, Khan (2020). Podle Langhammera (2009) a Pittera (2015) je složení povrchových vod a změny v její jakosti ovlivňovány geologií, geomorfologií povodí, hydrologicko-klimatickými poměry, půdně-biologickými poměry či příronem podzemních vod do toku.

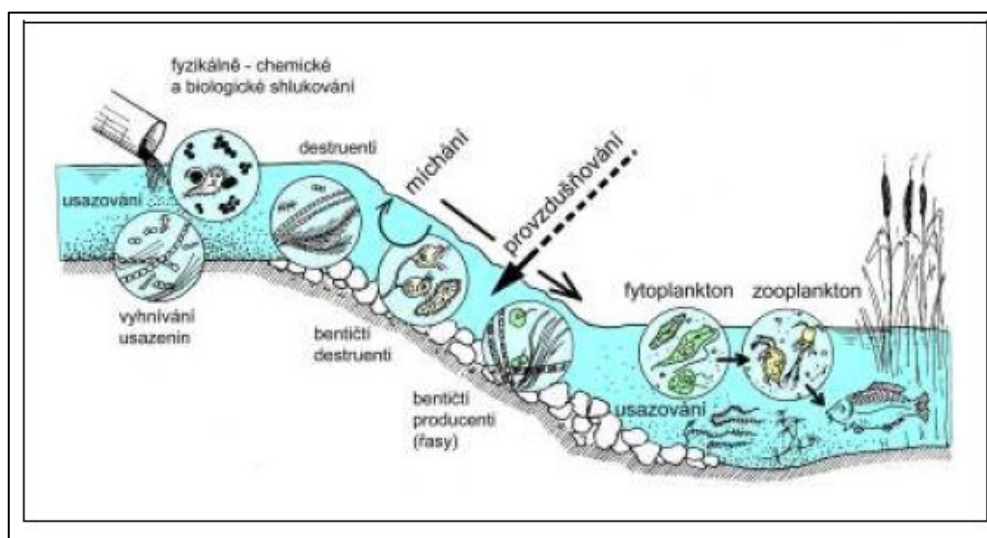
Přírodní charakteristiky povodí mohou ovlivnit kvalitu vody také proto, že mohou působit jako zdroj, tedy množství materiálu, které je v povodí vůbec přítomno. Působit však můžou jako mobilizátor pro uvolnění prvků uložených nebo zachycených v povodí. V poslední řadě jako přenašeč, kdy některé látky se do vodního prostředí mohou dostat skrze vegetaci (Granger et al. 2010). Výsledná koncentrace jednotlivých látek a jejich forem ve vodním prostředí je ale ovlivňována také přírodními procesy, jako je samočištění, reakce s jinými látkami, sedimentace nebo akumulace v živých organismech (Langhammer 2009).

Geologie výrazně předurčuje složení vody zejména ve vysokohorských oblastech s minimem vegetace a půdního pokryvu, kde je intenzivní kontakt srážkové vody a podloží. S klesající nadmořskou výškou a přibývajícím vegetací a půdním krytem vliv geologie ztrácí na významnosti (Kopáček, Hejzlar, Rulík 2020). Výjimkou můžou být krasové oblasti, kde stoupá koncentrace vápenatých iontů (Botter, Burlando, Fatichi 2019). To, že horské toky a

jejich kvalita je více podmíněna přírodními podmínkami, bylo ověřeno také ve studii od Magalhães et al. (2022). Přírodně podmíněným parametrem je například pH, zejména v pramenných oblastech rašeliníšť (Alnahit, Mishra, Khan 2020), ale třeba Varanka, Hjort, Luoto (2015) zjistili, že významně koreluje rovněž se sklonem svahu, což bylo přičteno době kontaktu vody s povrchem.

### 2.1.1. Samočisticí schopnost vodního toku

Samočisticí schopnost toku je schopností některých látek se ve vodě rozložit na jednodušší až anorganické látky (Nesměrák 2006). Just et al. (2005, s. 96) definují samočištění jako „soubor přirozených procesů, přispívajících ke zlepšování kvality vody“. Míra samočisticí schopnosti toku poukazuje na jeho celkový ekologický stav (Langhammer 2009). Intenzita samočisticí procesů je závislá na mnoha faktorech jako rychlost proudění (Kopáček, Hejzlar, Rulík 2020), jeho turbulence (Nesměrák 2006), obsah kyslíku, množství a počet druhů mikroorganismů (Tlapák, Šálek, Legát 1992), teplota vody, kde s nižší teplotou jsou zpomalovány samočisticí a biologické procesy (Just et al. 2005; Nesměrák 2006), dále závisí na slunečním záření, vegetaci (Langhammer 2009), době zdržení a intenzitě kontaktu znečištěné vody s biologicky aktivním povrchem koryta (Just et al. 2005; Kopáček, Hejzlar, Rulík 2020). Lidské aktivity ve formě technických úprav koryt toto znemožňují či zkracují dobu kontaktu (Just et al. 2005). V neposlední řadě závisí na formě a míře znečištění vody (Langhammer 2009). Samočisticí schopnost je povětšinou schopna eliminovat přirozené znečištění (Rosypalová 2016), avšak na většině českých toků je potlačena v důsledku intenzivního využívání krajiny (Langhammer 2009). Na samočištění se podílí procesy fyzikální, chemické i biologické, viz obr. 1 (Pitter 2015).



Obr. 1: Procesy a organismy podílející se na samočisticích procesech ve vodním toku (Zdroj: Just et al. 2005)



## 2.2. Rašeliniště

Friedl et al. (1991) definuje rašeliniště jako ekosystém suchozemského typu s trvale nebo dlouhodobě zamokřeným stanovištěm, produkující velké množství biomasy formou rašeliny, kdy rašeliniště je nutné vnímat jako komplex rostlinného pokryvu a rašelinného ložiska trvale napájeného vodou. Dle zákona č. 114/1992 Sb. (1992) patří rašeliniště mezi významné krajinné prvky přispívající k udržení její stability. Kyselost rašelinišť a jejich specifické mikroklima zabraňuje růstu konkurenčně schopných druhů, a tak jsou rašeliniště oblastmi výskytu vzácných druhů a reliktních. Tyto druhy jsou velmi specializované zejména na specifické pH. Rašeliniště je typické převahou primární produkce nad dekompozicí biomasy, která je z části ztlumená kyselostí rašeliniště (Dodds, Whiles 2020). Dominují zde redukční procesy, způsobené trvalým přemokřením v kořenové vrstvě spojené s nedostatkem kyslíku. Typická jsou rašeliniště pro boreální klima, v oblasti střední Evropy se vyskytují málo formou ostrovního charakteru (Nousek 2020). Významné oblasti rašelinišť na našem území (14) jsou chráněny Ramsarskou úmluvou. V současnosti je na území ČR přibližně 7 750 ha rašelinišť (Navrátilová et al. 2019), kde téměř polovina z nich je lokalizována do jižních Čech (Skuhřavý 2000).

### 2.2.1. Typické vlastnosti rašelinišť

Typickými vlastnostmi rašelinišť je trvalé přemokření, přítomnost rašeliníku, velké množství organické hmoty, která je pomalu rozkládána, a typicky nízký obsah živin (Rybka 1996). Chovají se jako zásobníky uhlíku a jsou tak důležitou složkou v globálním koloběhu tohoto prvku i přesto, že zaujímají asi jen 3 % rozlohy světové pevniny, obsahují asi  $\frac{1}{3}$  světových zásob veškerého půdního uhlíku (Kang et al. 2018). Přítomnost humusových koloidů dodává rašelinné vodě rezavý, hnědý až červenohnědý nádech (Janský, Kopp 2006). Rašeliniště je také typické svým nízkým pH, často okolo hodnot 3-4,5 pro vrchoviště, ale i méně. Slatiniště mají pH většinou o něco vyšší okolo hodnoty 5 (Bachtíková 2011; Laslop 2016). Typický je také nedostatek minerálních látek (Janský, Kopp 2006). Jeho pH ovlivňuje řada faktorů jako je klima, výška hladiny podzemní vody, biologická aktivita, vliv člověka atd. Například odvodněná horská vrchoviště mají nižší pH (Doležal 2020). Doležal et al. (2020) při zkoumání vyzorovali, že vegetační pokryv rašeliniště má významný efekt na jeho hydrologický režim a vlastnosti vody. Bylo zjištěno, že rašeliniště bez vegetačního krytu vykazuje vyšší teplotu vody z něj odtékající, nižší pH než zatravněné rašeliniště, a zároveň má vyšší konduktivitu, což potvrzuje také Flynn et al. (2022).

### **2.2.2. Vliv rašeliniště na kvalitu povrchové vody**

Vodní toky odvodňující rašeliniště mají typicky jiné vlastnosti než ostatní toky. Přítomnost rašelinišť má důležitý vliv na biogeochemismus vody ve vodních tocích (Fraindová et al. 2022b). Obecně je vliv rašelinišť na kvalitu vody v pramenných oblastech hodnocen negativně (Vlček et al. 2012). Jde hlavně o ukazatele organického znečištění a zvýšené množství těchto látek ve vodním toku, které plyne z množství organické hmoty v samotném rašeliništi. Zvýšenými hodnotami ukazatelů TOC, DOC či CHSK to potvrzují práce od Kocuma et al. (2016), Navrátilové (2020) či Fraindové et al. (2022a). Typické je také nižší pH těchto vodních toků (Pitter 2015; Kocum et al. 2016). Nízká je i jejich celková mineralizace, naopak vyšší jsou typicky koncentrace kovů jako je mangan, železo či hliník (Nieminen et al. 2020; Puczko, Jekatierynczuk-Rudczyk 2020; Fraindová et al. 2022b), fosforu (Karjalainen et al. 2016) a huminových látek (Kocum et al. 2016). Dle Gupta et al. (2021) rašeliniště pozitivně ovlivňuje kolísání teploty vodního toku. Doležal (2020) zjistil, že v období sucha se pH vodního toku v rašelinném povodí zvyšuje, protože se do něj dostává méně vody z rašeliniště nebo žádná. Rašeliniště také snižuje koncentrace dusíkatých sloučenin v tocích, protože v něm dochází k denitrifikaci, kdy se dusičnany a dusitany mění na méně nebezpečný oxid dusný či plynný dusík (Pitter 2015).

### **2.2.3. Chování při S-O událostech**

Rašeliniště je schopné se chovat jako zásobník tepla, kdy v zimě přebytečné teplo uvolňuje pomaleji než okolí a je schopné tak regulovat teplotní rozdíly vzduchu. V dobrém stavu je částečně schopno plnit protipovodňovou funkci (Nousek 2020). Podle Vlčka et al. (2012) nelze již rašeliniště považovat dle dříve přijímané tzv. „houbové teorie“ za houby, podle které se rašeliniště chová jako houba, která je schopna pojmout velké množství vody, které následně pomalu uvolňuje v suchém období a nadlepšuje tak průtoky. Vlček et al. (2012) uvádějí, že dotace povrchových toků z vrchovišť je téměř zanedbatelná, kdy v zimě rašeliniště téměř vůbec nekomunikuje hydraulicky s povrchovými toky, a i v letním období přispívá maximálně 10 % na celkovém odtoku. Komunikace rašeliniště s povrchovými toky byla zjištěna pouze v případě extrémních srážkových událostí, kdy bylo rašeliniště plně nasyceno. To bylo prokázáno také ve studiích Kocum et al. (2016) či Čurda, Janský, Kocum (2011), kteří ukazují, že vliv rašeliniště při S-O události začíná být pozorován až od srážek přesahující 15 mm během období sucha a 20 mm během maximálního nasycení.

Jelikož rašeliniště obsahuje také velké množství síry, která prostředí okyseluje, zvyšuje se její koncentrace v suchých letech a narůstá riziko acidifikace rašeliniště, protože dochází k oxidaci hlubších vrstev rašeliny. Zároveň s tím dochází k mobilizaci těžkých kovů, mění se celková skladba rašeliniště a biochemické cykly prvků (Stirling, Fitzpatrick, Mosley 2020). Zvýšené uvolňování kovů při acidifikaci během sucha pozorovali třeba Lucassen, Smolders, Roelofs (2002) nebo Simpson et al. (2010).

#### **2.2.4. Vliv člověka**

Člověkem jsou tyto vzácné ekosystémy ohrožovány hlavně těžbou samotné rašeliny, odvodňováním, které často souvisí s plánovaným zánikem samotného rašeliniště, a slatiniště jsou navíc ohroženy eutrofizací (Nousek 2020). Při odvodnění rašeliniště dojde k provzdušnění hlubších vrstev rašeliny a nastartování aerobních procesů v těchto vrstvách, uvolnění živin, přeměně vegetace a rašeliniště ztratí funkci zadržování uhlíku, a dokonce se může stát naopak jeho producentem do atmosféry či vodního toku (Bjarnadottir et al. 2021). Zároveň ale Bjarnadottir et al. (2021) tvrdí, že zpětné zalesnění odvodněného rašeliniště mu může navrátit jeho původní funkci, což potvrzuje i Nieminen et al. (2020) s tím, že zpočátku došlo ke zhoršení kvality vody v rašeliništi, k nárustu koncentrací těžkých kovů či živin a ke zlepšení došlo až po delším časovém intervalu. Provzdušnění hlubších vrstev rašeliny může také vést k oxidaci redukovaných forem síry a nárustu koncentrací síranů ve vodním toku jej odvodňující a ke zvýšení acidity rašeliniště (Saarinen et al. 2013). Vyšší koncentrace síranů jsou typické pro rašeliniště, které byly zasaženy vysokými emisemi z elektráren (Bachtíková 2011).

Rašeliniště také skladují značné množství (těžkých) kovů z atmosférické depozice způsobené antropogenními emisemi. Takovými kovy jsou třeba olovo či arsen. Tyto kovy se vážou na DOC, se kterým jsou následovně vyplavovány do povrchových toků (Broder, Biester 2015). Při vzpamatování z acidifikace se zrychluje dekompozice, což vede k větší produkci DOC, a to následně vede i k vyšším koncentracím těchto kovů ve vodním prostředí (Kang et al. 2018).

### 3. Klimatická změna

Klimatická změna ve spojitosti s lidskými aktivitami má významný vliv na změnu kvality vody (Yuan et al. 2023). Člověk svými aktivitami mění fundamentální základy počasí jako jsou teplota, srážky, vítr, tlak vzduchu atd., a všechny tyto proměnné mají vliv na kvalitu vody (Wright et al. 2013). Vlivem klimatické změny tak dochází ke změnám v mobilizaci, distribuci, mobilitě a ředění polutantů v hydrologickém systému (Alsaadawi, Özkoc 2022). Množství publikovaných výzkumných prací na dopad klimatické změny na kvalitu vody v posledních letech rychle přibývá (Bartlett, Dedekorkut-Howes 2022). Van Vliet, Zwolsman (2008, s. 1) uvádí, že „klimatická změna pravděpodobně povede ke zvýšení frekvence a intenzity nízkých průtoků ovlivňujících jak kvalitu vody, tak její kvantitu.“ Kromě snížení celkového odtoku a průtoků, také klimatická změna vede ke zvýšení teploty vody v tocích, na čemž je závislé třeba množství rozpuštěného kyslíku (Cílek, Kopp, Šámalová 2006). Vyšší teplota vody také zvyšuje šanci přežití patogenů znamenající vyšší dostupnost živin s jejich zvýšenou mobilitou, navyšuje rychlost nitrifikace, denitrifikace či mineralizace (Coffey et al. 2019).

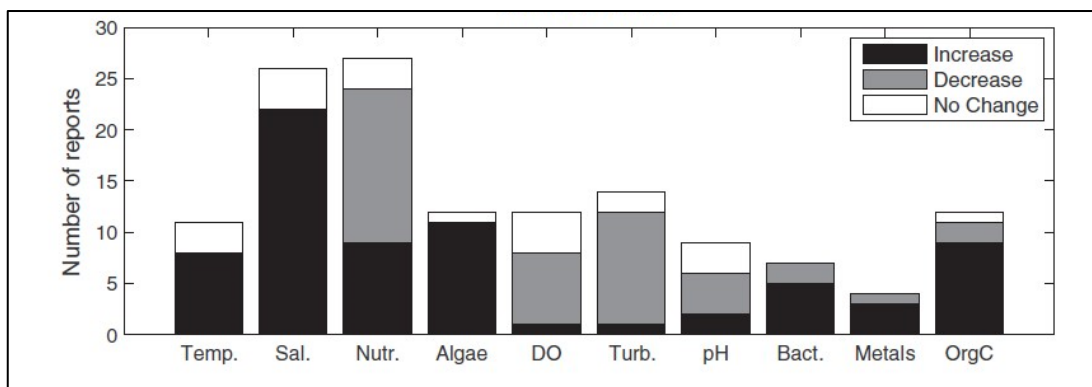
Zároveň klimatická změna povede také ke zvýšení počtu a intenzity extrémů v časovém a prostorovém chodu srážek či teplot, třeba sucha ve formě teplých letních období beze srážek či naopak intenzivních srážek v tomto období a s tím spojených bleskových povodní (Bartlett, Dedekorkut-Howes 2022). Intenzivní srážky po delším období sucha mobilizují významné množství kontaminantů hlavně z plošných zdrojů (Wright et al. 2013) a živin skrze větší erozi půdy (Alsaadawi, Özkoc 2022). Efekt klimatické změny na kvalitu vody ovšem bude rozdílný napříč povodími a regiony (Rostami, He, Hassan 2018; Coffey et al. 2019) v návaznosti na jejich podmínky, fyzickogeografické parametry, land use, rozdílné lidské aktivity atd. (Johnson et al. 2022). Obecně jsou ale nejvíce citlivé a zranitelné horské pramenné oblasti, které nejsou obvykle v dosahu antropogenních vlivů (Han et al. 2023). Yuan et al. (2023) při zkoumání zjistili, že v určitých oblastech, se změnou srážek a teplot, může klimatická změna vést paradoxně ke zlepšení stavu jakosti vod, kdy například nárůst srážek může vést k ředění polutantů.

Se zvýšením teploty vody se očekává, že na většině profilů poklesne koncentrace dusičnanové, a hlavně amoniakální formy dusíku díky zrychlení procesu nitrifikace (Whitehead et al. 2009; Vaighan, Talebbeydokhti, Bavani 2017) a fosforečnanů (Vaighan, Talebbeydokhti, Bavani 2017). Lze tak obecně s klimatickou změnou očekávat úbytek anorganických forem dusíku ve vodním prostředí (Mičaník et al. 2011). Podle výzkumu Liu et al. (2022) ale bude pokles forem dusíku sledován pouze v omezené části roku, kdy v období intenzivního hnojení budou koncentrace naopak narůstat a podobný trend vysledovali také Tu (2009) a Jin et al. (2012). Rankinen et al. (2015) tvrdí, že tím jak klimatická změna povede ke zvýšení zimních průtoků, spojených s větším množstvím dní nad nulou a vyšším táním sněhu, se zvýší koncentrace fosforu v tocích v této části roku. Fosfor má obvykle jinak v zimě minimální koncentrace v průběhu roku (Pitter 2015).

Hassanjabbar, Nezaratian, Wu (2022) pozorovali zlepšení celkových koncentrací rozpuštěného kyslíku v klimatických modelech, což ovšem neznamená, že klimatická změna nebude mít negativní dopady na kvalitu vody, protože tento ukazatel může vykazovat lepší hodnoty v zimě, ale v létě může dosahovat kritických hodnot. S vyšší teplotou a nižšími průtoky v letním období bude narůstat míra organického znečištění (koncentrace hlavně BSK), což navíc povede k další zvýšené spotřebě kyslíku (Langhammer 2009; Whitehead et al. 2009). Studie od Gödeke et al. (2020) také zjistila, že v acidifikovaných oblastech může klimatická změna vést k nárůstu koncentrací hliníku ve vodních tocích.

#### **4. Vliv hydrologických extrémů na kvalitu vody**

Hydrologické extrémy mají ke každému parametru hodnocení kvality vody specifický vztah, proto určitý extrém může vést ke zlepšení jednoho parametru, ale ke zhoršení druhého. Reakce jednotlivých ukazatelů kvality vody závisí na mnoha vlastnostech jednotlivých parametrů a látek. Na cestě do toku a v něm samotném navíc dochází k mnoha biochemickým a hydrologickým procesům, a navíc je těžké odlišit efekt a vliv klimatické změny či lidských aktivit od samotného průtoku na jejich koncentrace (Fovet et al. 2022). Každý parametr reaguje odlišně také na změnu srážek či teploty, a často je i sezónně závislý (Penna et al. 2015), přičemž tyto ukazatele jsou na těchto proměnných a na S-O režimu více či méně závislé (Fučík et al. 2017; Rostami, He, Hassan 2018). Výsledné změny parametrů se tak liší povodí od povodí, kdy v jednom může daný parametr s rostoucím průtokem zvyšovat své koncentrace, ale ve druhém za stejného stavu své koncentrace snižovat či neměnit, viz. obr. 2 (Mosley 2015).



Obr. 2: Počet studií prezentujících vliv sucha na jednotlivé parametry hodnocení kvality vody (Zdroj: Mosley 2015)

Změny v kvalitě vody jsou nejpatrnější na malých vodních tocích, kde náhlé srážkové události významně mění jak průtok, tak vlastnosti vody a do toku přináší velké množství iontů, organického materiálu a dalších látek (Moss 2010). Největší vliv na kvalitu vody budou dle publikovaných studií mít extrémní srážkové události, které povedou k nárůstu koncentrací polutantů (Coffey et al. 2019). Tyto hydrologické extrémy nemusí mít vliv na kvalitu vody v dané oblasti pouze v čas dané události, ale v určité formě mohou přetrvávat měsíce až roky (Puczko, Jekatierynczuk-Rudczyk 2020; Zou et al. 2023).

Povodně a vyšší vodní stavy mají na kvalitu vody většinou výrazně větší negativní dopad než období sucha (Hrdinka et al. 2012; Zou et al. 2023). Puczko, Jekatierynczuk-Rudczyk (2020) uvádí, že nejvýraznější změny v kvalitě vody jsou pozorovány přibližně den po výskytu významných srážek. Hrdinka et al. (2012) uvádí, že na příkladu povodně z roku 2006 na Lužnici došlo k signifikantnímu nárůstu koncentrace kovů (až o 1760 %), organické hmoty (až o 1410 %) či dusičnanů a fekálních bakterií. Při vyšších průtocích je většinou negativním dopadem na kvalitu vodních toků zvýšené množství živin ve vodě, které jsou do prostředí transportovány plošnými splachy (Abraham, Sivan 2021).

„Sucho je narušením přirozeného klimatu a hydrologického režimu, které může ovlivnit určující faktory kvality vody v mnoha směrech. Nízké průtoky a vodní stavy během hydrologického sucha prodlužují dobu zdržení a snižují rychlost proplachování vodního útvaru. Snížené průtoky a vyšší teploty v průběhu sucha mohou měnit rychlost procesů jako je respirace, fotosyntéza atd. (Worrall, Burt 2008 in Mosley 2015, s. 204).“ V posledních desítkách let je publikováno zvýšené množství studií, které se zaměřují na změnu kvality vody během suchých period (Mosley 2015). Hydrologické sucho tak neznamená pouze nedostatek vody, ale hlavně zhoršení její kvality (Čermák 2022). Hydrologické sucho ale nemusí nutně znamenat zhoršení kvality vody, jak bylo prokázáno ve výzkumech například

Wilbers et al. (2009), Nosrati (2011) či Janského, Kocuma (2007), kde zlepšení autoři přičítají částečně tomu, že se do toku nedostává tolik organické hmoty z rašeliniště v povodí v suchém období. Obecně tak sucho a následná zotavovací perioda mají významný vliv na kvalitu vody vodního tělesa, kde tento vliv variuje podle toho, jaké jsou charakteristiky toku a jeho povodí (Sprague 2005; Mosley 2015).

Při nižších vodních stavech v průběhu suchých období jsou polutanty méně ředěny a roste tak jejich koncentrace, což se projevuje nejen zvýšenými koncentracemi samotných polutantů, ale i vyššími hodnotami ukazatelů jako je třeba BSK (Puczko, Jekatierynczuk-Rudczyk 2020) a celkové zhoršení kvality vody (Vlnas et al. 2015). Vlivem nižší schopnosti ředit polutanty jsou zaznamenávány vyšší hodnoty konduktivity, hlavních iontů, fosforu, chloridů či sulfidů nebo některých stopových kovů (Hrdinka et al. 2012; Mosley 2015; Puczko, Jekatierynczuk-Rudczyk 2020).

## **4.1. Chování jednotlivých ukazatelů kvality vody**

### **4.1.1. Obecné ukazatele**

Teplota je klíčovým parametrem hodnocení kvality vody. Svojí změnou ovlivňuje celou řadu dalších ukazatelů kvality vody, a to jak fyzikálních, tak chemických i biologických (Matoušek 2006; Boháčová 2016). Její důležitá role spočívá v regulaci intenzity mnoha biochemických procesů probíhajících ve vodních tocích (Langhammer 2009). Při teplotách blízkých 0°C dochází k výraznému zpomalení, až zastavení těchto procesů (Pitter 2015). Výrazně má vliv i na samočisticí schopnost toku (Langhammer 2009).

Při vyšších vodních stavech typicky klesá teplota vody daného toku, ale je třeba si uvědomit, jaká je sezóna, kdy v zimě tomu může být naopak (Navrátilová 2020; Bartůšek 2022). Menší množství vody v toku v letním období vede naopak k nárůstu teploty vody, kdy dochází až k vysychání toku a intenzivnějšímu prohřátí celého vodního sloupce (Dedková 2021), ale pokud jsou nižší vodní stavy zaznamenávány v zimě, může to vést k nižším teplotám, kdy vodní sloupec snadněji prochladne (Meier et al. 2003). Pokles teploty při vyšším vodním stavu sledovala třeba Dedková (2021) či Abraham, Sivan (2021). Wolff, van Vliet (2021) pozorovali, že na Rýnu a Máze v suchém létě 2018 byla teplota vody v řekách o téměř 2°C vyšší oproti průměru let 2014-2017. Nárůstu průměrné teploty vody v suchém období odpovídaly také výsledky studií od Puczko, Jekatierynczuk-Rudczyk (2020), či Ziellński, Górnjak, Piekarski (2009). Srážky samotné mohou vodní tok

ochlazovat, tento efekt však je nepatrný u velkých toků, ale hraje významnou roli u malých toků hlavně v období sucha (Paul et al. 2019). Typicky je ale teplota vody parametr, který je více závislý na jiných proměnných než je průtok, jako je teplota vzduchu a roční období (Bartůšek 2022).

Hodnota pH je velmi důležitým činitelem v ovlivňování kvality vody (Jena et al. 2023). Při vyšších vodních stavech značná část studií v povodích s výskytem rašelinišť sleduje negativní závislost pH na vodnosti (Abraham, Sivan 2021; Fraindová et al. 2022a; Bartůšek 2022) tj. s vyššími průtoky hodnota pH klesá a tok se tak stává kyseljším. To je vysvětlováno tím, že se snižuje reakce vody a jsou do ní vyplaveny látky přirozeně zvyšující kyselost (oxidy, huminové látky atd.), kdežto při nízkých vodních stavech hodnoty pH stoupají v reakci na to, že je odčerpáváno CO<sub>2</sub> organismy (van Vliet, Zwolsman 2008; Bartůšek 2022). Pokles pH může být také způsoben přítomností rašelinišť v povodí, kde voda z nich odtékající má nízké pH (Fraindová et al. 2022a). Při extrémních srážkových událostech jsou z rašeliny vymyty DOC a sírany, což vede k rapidnímu, ale krátkodobému poklesu pH toku, což ovšem nejsou schopny zachytit klasické měsíční monitoringy kvality vody (Mičaník et al. 2011).

U konduktivity se většina autorů shodne, že její hodnota se snižuje s narůstajícím průtokem (Šajnarová 2021; Fraindová et al. 2022b). Hlavním důvodem je, že srážková voda či odtékající voda při srážkové události není tolik obohacena o rozpuštěné látky než voda, která se v toku již nachází, a měla tak delší čas interagovat s okolím (Cano-Paoli, Chiogna, Bellin 2019). Konduktivita obecně klesá při zvýšené vodnosti, ale na původní hodnotu se dostává velmi pomalu (Langhammer 2009). Při interpretaci výsledných hodnot specifické konduktivity je ovšem nutné být obezřetní, protože může být ovlivňována množstvím geochemických procesů ve vodním toku, které nejsou vždy spojeny s každodenním děním v řece (Cano-Paoli, Chiogna, Bellin 2019), a jde také o teplotně závislou veličinu (Pitter 2015).

Změny koncentrací rozpuštěného kyslíku jsou vysvětlovány v literatuře z velké části jinými faktory (teplota, salinita atd.) než je průtok a výsledky těchto studií jsou často sobě odporující (Bartůšek 2022). I přesto Dedková (2021) v rámci své práce zjistila významnou pozitivní korelaci mezi průtokem a koncentrací rozpuštěného kyslíku na Romži a podobné závěry mají Mishra, Alnahit, Campbell (2021) či Abraham, Sivan (2021). Hrdinka et al. (2012) uvádějí, že jde o důsledek vyšší rychlosti proudění a větší aerace.



V suchém období jde také o důsledek stoupající biologické aktivity, kdy se urychlují procesy, při kterých je kyslík spotřebováván, a zároveň roste i teplota vody, čímž koncentrace rozpuštěného kyslíku klesají ještě více (Hrdinka et al. 2012; Dettinger, Udall, Georgakakos 2015). To navíc znamená, že bez dostupného kyslíku znečišťující látky zůstávají ve vodě déle, protože nemohou být řádně rozloženy (Dettinger, Udall, Georgakakos 2015). Naopak opačné závěry byly zjištěny ve výzkumech Prokše (2010) či Puczka, Jekatierynczuk-Rudczyk (2020). Sprague (2005) nebo van Vliet, Zwolsman (2008) zjistili, že koncentrace rozpuštěného kyslíku mohou za suchých období přes den stoupat, což je výsledek zvýšené primární produkce ve formě fotosyntézy. Mosley (2015) ale uvádí, že ve chvíli, kdy dojde k rozvoji řas a ty začnou odumírat, spotřeba kyslíku vzroste vlivem dekompozice jejich těl a ke konci období sucha bude kyslíku opět nedostatek. Další možností, kdy nemusí klesat koncentrace rozpuštěného kyslíku jsou vodní toky s mělkými koryty, která jsou dobře provzdušněná (Hrdinka et al. 2012).

#### 4.1.2. Živiny

Koncentrace živin ve vodě při suchu jsou nízké v důsledku redukce přísunu do recipientu z povodí (Zieliński, Górniak, Piekarski 2009; Mosley et al. 2012), a následně extrémně vysoké při prvním výraznější srážkové události vlivem plošného splachu (Mosley 2015). Van Vliet, Zwolsman (2008) na Máze či Hrdinka et al. (2012) na Lužnici ale pozorovali za sucha naopak zvýšené koncentrace živin, hlavně amonné formy dusíku a orthofosforečnanů, které jsou vázány na bodové zdroje (hlavně odpadní vody), což znamená konstantní přísun za sucha, který je nedostatečně ředěn.

Koncentrace dusíku reaguje na hydrologické extrémy většinou podle toho, v jaké formě je přítomen. Amoniakální dusík, který odráží většinou bodové zdroje znečištění, vykazuje pokles koncentrací s vyššími průtoky, protože u něj dochází k ředění (Mičaník et al. 2011; Wild 2021). Ovšem Puczko, Jekatierynczuk-Rudczyk (2020) na tocích v hustě urbanizované oblasti města Białystok, Dedková (2021) na Romži, či Fraindová et al. (2022a) na horním toku Blanice nezjistili žádné změny v koncentracích nebo zcela opačné chování. Naopak dusičnany, jako ukazatel plošného zdroje hlavně ze zemědělské činnosti, s narůstajícím průtokem své koncentrace většinou zvyšují tím, jak jsou splachovány do recipientu. To potvrzují ve svých studiích Dedková (2021), Wild (2021) nebo Fraindová et al. (2022b). Naopak Whitehead et al. (2009), kteří vyhodnocovali studie provedené na vodních tocích na britských ostrovech, či Puczko, Jekatierynczuk-Rudczyk (2020)

pozorovali pokles koncentrací při vyšších průtocích a vyšší koncentrace v období sucha. Dusičnany jsou navíc spotřebovávány rostlinami pro svůj růst ve vegetačním období, což komplikuje hodnocení jejich koncentrace v závislosti na S-O režimu (Bartůšek 2022). Jednotlivé formy dusíku tak vykazují různorodé chování a změnu koncentrací při změnách průtoku. Na koncentrace dusíku tak má často vliv jiný faktor než je průtok, třeba zdroj znečištění, pokles atmosférické depozice, roční období apod. (Eshleman, Sabo, Kline 2023).

Ani chování koncentrací fosforu v závislosti na průtoku není v literatuře jednotné. Ač velká část autorů tvrdí, že s rostoucím průtokem stoupají koncentrace fosforu (Botter, Burlando, Fatichi 2019; Puczko, Jekatierynczuk-Rudczyk 2020; Fraindová et al. 2022a), tak opačné závěry zjistili třeba Navrátilová (2020), Dedková (2021), či Bartůšek (2022). Podle Langhammera (2009) je toto podmíněno formou znečištění, kde bodový zdroj je nařazen, a tak koncentrace klesají. Rostoucí koncentrace fosforu jsou pozorovány hlavně při bleskových povodních, a ne při dlouhotrvajících srážkách menší intenzity (Puczko, Jekatierynczuk-Rudczyk 2020; Bartůšek 2022), kdy jsou fosforečnany splachovány ze zemědělských ploch ve hnojivech navázaných na půdní částice (Rostami, He, Hassan 2020). Mičaník et al. (2011) uvádí, že až 90 % ročního odnosu fosforu pochází pouze z 10 % plochy povodí (hlavně zemědělsky využívané) a je emitováno během 1 % času (během významných odtokových událostí). Zdroj původu tak významně ovlivňuje koncentrace fosforu ve vodním prostředí, kdy bodové zdroje v suchých periodách navyšují celkové koncentrace a při vyšších stavech jsou ředěny, naopak plošné zdroje při vyšších vodních stavech je navyšují.

#### **4.1.3. Organické látky**

Organický uhlík, hodnocený ukazateli TOC či DOC<sup>1</sup>, obecně vykazuje pozitivní korelaci s průtokem (Botter, Burlando, Fatichi 2019; Bejčková 2022; Fraindová et al. 2022a) s výraznější korelací u DOC (Šajnarová 2021), ovšem opět nalezneme studie, které toto tvrzení nepotvrzují, například Jennings et al. (2020) na řece Glenamong v Irsku. Organický uhlík se totiž často váže na půdní částice, které jsou mobilizovány právě při vyšších průtocích (Botter, Burlando, Fatichi 2019) a intenzivních srážkových úhrnech (Vlachová 2015; Puczko, Jekatierynczuk-Rudczyk 2020). Některé studie uvádějí, že klidně  $\frac{1}{3}$  až  $\frac{2}{3}$  celkového ročního odnosu DOC může nastat v průběhu jedné intenzivní srážkové

---

<sup>1</sup> DOC je přefiltrovaný vzorek TOC. Celkový organický uhlík (TOC) navíc obsahuje ještě nerozpustnou formu uhlíku.

události (Clark et al. 2007). Vyšší srážkové úhrny ale mohou zároveň plnit funkci ředění (Špundová 2014). Bejčková (2022) pozorovala časové zpoždění maxima koncentrace DOC za maximem průtoku a také vyšší průměrné koncentrace DOC během srážkových epizod, kterým předcházelo delší období sucha. Juhls et al. (2020) zase vyzorovali, že koncentrace DOC jsou závislé na ročním období, kdy nejnižší koncentrace jsou koncem zimy, a nejvyšší poté s následujícím jarním táním, a také v létě vlivem vysokých teplot a intenzivních srážkových epizod. Mičaník et al. (2011) pak uvádí, že případný zvýšený odnos DOC do vodního toku je závislý na aktuální a předchozí srážkové situaci.

Koncentrace BSK<sub>5</sub> jsou značně závislé na průtoku, protože odrážejí hlavně bodové zdroje komunálního znečištění – splaškové vody a uplatňuje se tak efekt ředění, to ovšem nemusí zcela platit na horních tocích. Vyšší průtok tak znamená nižší koncentrace BSK<sub>5</sub> (Navrátilová 2020; Wild 2021). Tomu ale odporují závěry Mander, Kull, Kuusemets (2000) či Jang et al. (2021), kteří zjistili rostoucí koncentrace BSK<sub>5</sub> s průtokem, a Mičaník et al. (2011) nezjistil žádnou signifikantní závislost BSK<sub>5</sub> na průtoku. Jang et al. (2021), Fraindová et al. (2022a) či Fraindová et al. (2022b) ve svých výzkumech prokázali vyšší koncentrace CHSK<sub>Mn</sub> s rostoucím průtokem. Navrátilová (2020) zjistila, že hodnoty CHSK<sub>Mn</sub> rostou s vyšším průtokem v oblastech s rašeliništi, protože dochází k jejich promytí a vyplavení organických látek do toku. Fraindová et al. (2022b) během výzkumu prokázali rostoucí koncentrace huminů s vyššími vodními stavy. Kočárková (2016) nezjistila závislost jejich koncentrace na průtoku, ale zjistila závislost na přítomnosti rašelinišť v povodí.

#### **4.1.4. Kovy a bazické ionty**

Burt et al. (2015) na malé říčce Bicknoller Combe v JZ Anglii, Puczko, Jekatierynczuk-Rudczyk (2020) na tocích v urbanizované oblasti města Białystok či Navrátilová (2020) na horních tocích Krušných hor vyzorovali, že koncentrace bazických iontů stoupá za suchého období. Při vyšších průtocích se projevuje ředící schopnost toku a jejich koncentrace klesají. Významnou roli na celkové koncentraci hraje také pH, kdy s jeho snížením se tyto ionty jednodušeji uvolňují do prostředí a následně do vodního toku (Navrátilová 2020). Horní části toků jsou obecně méně mineralizované a obsahují menší množství iontů (Pitter 2015).

Těžké a toxické kovy<sup>2</sup> se chovají různorodě. Van Vliet, Zwolsman (2008) zaznamenali nárůst koncentrací barya či niklu při současném poklesu chrómu, kadmia či olova. To, jestli koncentrace těchto kovů stoupá či klesá za suchých či vodných období autoři vysvětlují distribučním koeficientem jednotlivých kovů (tabulka 1), tedy tím, v jaké formě je daný kov transportován do toku, a kolik vody je třeba na jeho rozpuštění. V čím více rozpustné formě je kov přítomen, tím je jeho koncentrace ve vodním prostředí vyšší (van Vliet, Zwolsman 2008; Park et al. 2011) a většinou je daný kov i více toxický (Pitter 2015). Kovy jako hliník, železo, olovo či kobalt se vyskytují hlavně v nerozpustné formě navázané na nerozpuštěné látky a koncentrace těchto kovů tak narůstají s vyššími vodními stavy. Naopak kovy jako arsen či lithium se vyskytují hlavně v rozpustné formě a jejich koncentrace jsou typicky vyšší v suchém období (Park et al. 2011). Dedková (2021), Šajnarová (2021) a Fraindová et al. (2022a) pozorovali pozitivní závislost rostoucích koncentrací železa ve vodě na průtoku. Mičaník et al. (2011), Jakovljević (2020) a Fraindová et al. (2022a) také zjistili vyšší koncentrace hliníku v průběhu extrémní srážkové události. Broder, Biester (2015) potvrdili, že olovo či arsen silně korelují s koncentrací DOC u výtoku z rašeliniště a jsou společně s ním vyplavovány při extrémních srážkových událostech a jejich koncentrace se tak zvyšují s rostoucím průtokem.

Tabulka 1: Distribuční koeficient vybraných kovů ve vodním prostředí

| Kov     | Distribuční koeficient (l/g) | Rozpuštěné množství kovu při koncentraci 10 mg/l (%) |
|---------|------------------------------|------------------------------------------------------|
| Selen   | 0.59                         | 99.4                                                 |
| Baryum  | 1.35                         | 98.7                                                 |
| Nikl    | 8                            | 92.6                                                 |
| Arsen   | 10                           | 90.9                                                 |
| Měď     | 50                           | 66.7                                                 |
| Zinek   | 110                          | 47.6                                                 |
| Kadmium | 130                          | 43.5                                                 |
| Rtuť    | 170                          | 37.0                                                 |
| Chróm   | 290                          | 25.6                                                 |
| Olovo   | 640                          | 13.5                                                 |

Zdroj: van Vliet, Zwolsman 2008

<sup>2</sup> Těžkými kovy označujeme takové skupiny kovů a polokovů, jejichž hustota přesahuje 5 g/cm<sup>3</sup>. Výraz „těžké kovy“ je v literatuře hojně využíván jako synonymum pro kovy toxické, což ovšem může být zavádějící, protože například beryllium je kov toxický, ale nespĺňuje požadavky hustoty na kov těžký. Mezi toxické kovy, které se běžně vyskytují ve vodě patří Hg, Cd, Pb, As, Se, Cr, Ni, Be či Ag (Pitter 2015).

## 5. Metodika a zdroje

### 5.1. Metodické nástroje

#### 5.1.1. Mann-Kendallův test

Mann-Kendallův neparametrický test (Mann 1945; Kendall 1975) slouží k detekci časových trendů v datovém souboru, a to jak k detekci ročních, sezónních i dlouhodobých trendů. Test má dva základní parametry. Prvním je p-hodnota, též míra signifikance, která udává sílu testu. Druhým je MK statistika, sdělující velikosti a směr trendu, zda je klesající či stoupající. V případě, že je hodnota MK statistiky kladná je trend rostoucí, u záporné hodnoty je trend klesající. Velkou výhodou tohoto testu je jeho schopnost nebýt ovlivňován chybějícími či duplicitními daty, a tak je schopen pracovat i s nekompletními řadami, což je případ několika parametrů kvality vody v této práci. Test nepracuje s absolutními hodnotami v datovém souboru, ale s jejich relativními rozdíly. Nulovou hypotézou ( $H_0$ ) tohoto testu je, že data v časové řadě jsou nezávislá a v souboru rovnoměrně distribuovaná. Hypotézou alternativní ( $H_A$ ) je výskyt monotónního trendu (Gilbert 1987). Z dat je nejprve nutné spočítat statistiku S, která se spočte jako:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i); \text{ kde } \text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 \text{ pokud } x_j - x_i > 0 \\ 0 \text{ pokud } x_j - x_i = 0 \\ -1 \text{ pokud } x_j - x_i < 0 \end{cases}$$

Kde počet pozorování je označen  $n$  a  $\text{sgn}(X_j - X_i)$  nabývá třech možných hodnot: (-1), 0 a 1 v závislosti na tom, jaký je rozdíl j-té a i-té hodnoty. Všechny hodnoty v datovém souboru jsou porovnány se všemi ostatními hodnotami, je jim přiřazena jedna ze tří hodnot a tyto hodnoty jsou následně sečteny a výsledkem je statistika S. Při vyšším počtu dat (zpravidla nad 40 pozorování) a při výskytu duplicit se dále spočítává variance S a testová statistika  $Z_s$  podle rovnic (Gilbert 1987):

$$\text{var}(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5) \right]$$
$$Z_s = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} \text{ pokud } S > 0 \\ 0 \text{ pokud } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} \text{ pokud } S < 0 \end{cases}$$

Kde  $n$  je opět celkový počet pozorování,  $m$  je počet duplicitních hodnot a  $t_i$  jsou jednotlivé duplicitní hodnoty.

Mann-Kendallův test je hojně využíván pro analýzu dat v hydrologii pro trendy průtoků či koncentrací sledovaných látek ve vodních tocích a v klimatologii pro změnu a hodnocení vývoje klimatických faktorů jako je teplota vzduchu či srážky. Ve svých pracích ho využili třeba Navrátilová (2020), Bartůšek (2022) nebo Fraindová et al. (2022b).

### 5.1.2. Korelace a korelační matice

Korelační koeficienty vyjadřují závislost mezi dvěma proměnnými. Nabývají hodnot v rozmezí (-1) až 1, přičemž číslo blíže 1 či (-1) značí vysokou korelaci a čísla blízká 0 značí slabou až žádnou korelaci (Wilks 2006). V této práci je primárně užit Spearmanův koeficient pořadové korelace (Spearman 1904). Pro závislost hodnot jednotlivých parametrů kvality vody na průtoky byl Spearmanův koeficient doplněn také o dva další – Pearsonův koeficient součinné korelace (Pearson 1895) a Kendallův koeficient pořadové korelace, též Kendallovo Tau (Kendall 1938). U koeficientů se obvykle také uvádí, na jaké hladině je signifikantní.

Spearmanův a Kendallův koeficient jsou neparametrické metody pořadové korelace počítané dle rovnic (Wilks 2006):

$$\text{Spearman: } \rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$
$$\text{Kendalovo } \tau = \frac{N_C - N_D}{\frac{n(n-1)}{2}}$$

Kde  $n$  je počet pozorování,  $d$  je rozdíl pořadí v dané dvojici,  $N_C$  je počet konkordantních (suhlasných) dvojic,  $N_D$  je počet diskordantních (nesuhlasných) dvojic.

Výhodou obou koeficientů oproti Pearsonovi je jejich robustnost vůči odlehlým pozorováním, nevyžadují normální rozdělení dat ani jejich linearitu (Wilks 2006). Jelikož parametry kvality vody obvykle nemývají normální rozdělení, je pro ně nejčastěji využíván Spearmanův koeficient (Rostami, He, Hassan 2018). Pearsonův koeficient součinné korelace je metodou parametrickou (Wilks 2006). Jde o podíl *kovariance* dvou proměnných  $x$  a  $y$  a *součinu* jejich *směrodatných odchylek* dle rovnice:

$$\frac{cov(XY)}{\sigma_x \sigma_y}$$

Korelační matice, nebo též korelační mapy, je způsob, kdy jsou jednotlivé parametry umístěné do čtvercové matice, ve které je zobrazena jejich vzájemná korelace reprezentována barevnými odstíny podle jejich hodnoty a typu korelace (pozitivní/negativní).

### 5.1.3. Lineární regrese

Lineární regrese je velmi jednoduchou a účinnou metodou k vyjádření vztahu mezi jednou závislou proměnnou  $y$  a nezávislou proměnnou  $x$ . Nezávislá hodnota  $x$  je též označována jako prediktor. Rovnice lineární regrese je vyjádření přímky s nejmenším počtem reziduí, tedy metodou nejmenších čtverců (Wilks 2006), a to podle rovnice:

$$\hat{y}_i = a + bx_i$$

Kde  $\hat{y}_i$  je odhadovanou hodnotou závislé proměnné,  $a$  a  $b$  jsou parametry a  $x_i$  je hodnota závislé proměnné (Wilks 2006). V této práci byla lineární regrese využita k doplnění chybějících dat o průtocích.

Lineární regrese bylo využito pro doplnění výpadků dat ČHMÚ pro denní průměrné průtoky na profil Horní Staré Město, kde se nachází profil kvality vody. Regrese proběhla s daty pro profil v Horním Maršově a byly tak doplněny výpadky 15. 08. – 3. 12. 2010 a 13. 03. – 17. 07. 2016 podle rovnice  $y = 1,4431x + 0,2986$ . Metoda byla také užita pro výpadky údajů o srážkách ve stanici Horní Maršov, kde regrese proběhla s údaji ze stanice Pec pod Sněžkou. Chybějící data teploty vzduchu byla doplněna homogenizovanou řadou pro stanici Pec pod Sněžkou.

### 5.1.4. Doplnující statistické metody

Provedením základní analýzy dat kvality vody byly vypočteny základní charakteristiky – aritmetický průměr, medián, maximum, minimum, 1. a 3. kvantil, směrodatná odchylka, rozptyl. Tyto základní charakteristiky jsou zobrazeny krabicovými grafy, tzv. boxploty, a jsou součástí přílohy 1, která obsahuje vypočtené veškeré základní charakteristiky pro všechny parametry společně s těmito grafy a grafy závislosti hodnoty parametru na průtoku. Pro zobrazení potřebných údajů byly rovněž využity scatterploty (XY grafy), sloupcové či bodové grafy, všechny vytvořeny v prostředí Microsoft Excel 365. U hodnocení variability

průtoků bylo také využito základních koeficientů jako je decilová odchylka, čáry překročení denních průtoků, variační koeficient (Cv) či koeficient Kr.

Sněhové srážky jako takové nejsou zaznamenávány, je zaznamenává pouze výška sněhu v zájmovém území. Pro analýzu sněhových srážek proto tak bylo nezbytné využít alternativní řešení. Z dat klasických srážek byla vybrána ta, pro které v daný den byla průměrná teplota vzduchu pod 0°C. Tato varianta má své nedostatky, protože využívá denní průměrnou teplotu a denní srážky, a nelze tak zaznamenat variaci v průběhu dne a zároveň se mohou sněhové srážky vyskytovat i při teplotě nad 0°C, ale je prakticky nejjednodušší, vzhledem k tomu, že analýza sněhové pokrývky je pouze doplňujícím výsledkem této práce.

### 5.1.5. Hranice detekovatelnosti a frekvence stanovování parametrů kvality vody

Surová data kvality vody obsahují řadu problémů, které bylo před jejich analýzou nutné vyřešit. Jde zejména o parametry, které jsou měřeny přístroji mající hranici, pod níž nejsou schopné koncentraci daného parametru detekovat, a tudíž je uváděna při daném měření pouze informace, že hodnota byla pod touto hranicí. Tento nedostatek byl vyřešen tak, že bylo brána hodnota, která byla onou mezí stanovitelnosti. Seznam parametrů a hodnoty hranice detekovatelnosti společně s počtem měření pod touto hranicí uvádí tabulka 3. Tento problém tím tak není vyřešen úplně, protože nahrazení jednou hodnotou neumožňuje znát pravou hodnotu daného parametru a ovlivňuje tak statistické výsledky analýz. Dalším problémem je, že se zlepšením přesnosti přístrojů docházelo ke snížení hodnoty této meze v průběhu času, u jiných naopak ale došlo k navýšení této hodnoty. U 3 parametrů byla mez stanovitelnosti změněna pouze pro jedno konkrétní měření. Přehled změn v mezích stanovitelnosti jednotlivých parametrů nabízí tabulka 2.

Tabulka 2: Změny mezi stanovitelnosti hodnocených parametrů kvality vody v průběhu období 1981-2020

| Parametr | Datum změny       | Původní mez | Nová mez   | Poznámka                    |
|----------|-------------------|-------------|------------|-----------------------------|
| Cl       | 26.2.1997         | <1,0 mg/l   | <2,0 mg/l  | Pouze toto měření           |
| Mn       | Od roku 1993      | <0,01 mg/l  | <0,02 mg/l | -                           |
| Zn       | Od léta roku 2019 | <10,0 µg/l  | <5,0 µg/l  | -                           |
| Pb       | Od roku 2002      | <1,0 µg/l   | <0,5 µg/l  | -                           |
| As       | 19.11.1996        | <1,0 µg/l   | <0,5 µg/l  | Pouze toto měření           |
| Hg       | Od roku 2003      | <0,1 µg/l   | <0,05 µg/l | 3.9.2002 byla mez <1,0 µg/l |
| Cd       | Od roku 2003      | <0,1 µg/l   | <0,05 µg/l | -                           |
| Cr       | Od roku 1997      | <0,5 µg/l   | <1,0 µg/l  | -                           |

Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023



Tabulka 3: Přehled parametrů pod mezí stanovitelnosti

| Parametr                  | Mez stanovitelnosti   | Celkový počet měření<br>(pod mezí stanovitelnosti) | Procentuální podíl měření<br>pod mezí stanovitelnosti (%) |
|---------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| TOC                       | 0,5 mg/l              | 135 (1)                                            | 0,74                                                      |
| DOC                       | 0,5 mg/l              | 135 (4)                                            | 2,96                                                      |
| <b>Nerozpuštěné látky</b> | <b>2 mg/l</b>         | <b>328 (64)</b>                                    | <b>19,51</b>                                              |
| NH <sub>4</sub>           | 0,01 mg/l             | 328 (60)                                           | 18,29                                                     |
| NO <sub>2</sub>           | 0,001 mg/l            | 328 (2)                                            | 0,61                                                      |
| PO <sub>4</sub>           | 0,01 mg/l             | 213 (15)                                           | 7,04                                                      |
| P <sub>celk.</sub>        | 0,01 mg/l             | 187 (3)                                            | 1,60                                                      |
| Cl                        | 1 mg/l či 2 mg/l      | 213 (9)                                            | 4,23                                                      |
| Fe                        | 0,05 mg/l             | 201 (70)                                           | 34,83                                                     |
| Mn                        | 0,01 mg/l             | 201 (94)                                           | 46,77                                                     |
| Zn                        | 10 µg/l či 5 µg/l     | 246 (124)                                          | 50,41                                                     |
| Ni                        | 1 µg/l                | 131 (68)                                           | 51,91                                                     |
| Pb                        | 1 µg/l či 0,5 µg/l    | 121 (75)                                           | 61,98                                                     |
| As                        | 1 µg/l či 0,5 µg/l    | 130 (21)                                           | 16,15                                                     |
| Hg                        | 0,1 µg/l či 0,05 µg/l | 131 (117)                                          | 89,31                                                     |
| Cd                        | 0,1 µg/l či 0,05 µg/l | 131 (27)                                           | 20,61                                                     |
| Cr                        | 0,5 µg/l či 1 µg/l    | 130 (103)                                          | 79,23                                                     |
| Al                        | 50 µg/l               | 120 (35)                                           | 29,17                                                     |
| Ba                        | 5 µg/l                | 120 (1)                                            | 0,83                                                      |

Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023

Data mají také neřešitelné problémy týkající se frekvence odběrů. Do roku 2004 bylo prováděno 3-5 měření všech parametrů a byla časově více nahodilá. Od tohoto roku došlo ke změně, kdy některé parametry jako například koncentrace těžkých kovů, konduktivita, TOC, dusičnany atd. byly hodnoceny pravidelně 5x do roka – v březnu, květnu, červenci či srpnu, září a listopadu. Jiné parametry jako třeba pH, rozpuštěný kyslík či BSK<sub>5</sub> začaly od roku 2004 být vyhodnocovány každý měsíc, v některých případech i vícekrát v rámci 1 měsíce. Naopak v některých měsících, zejména v prosinci, nebyly odběry provedeny za celé sledované období vůbec, nebo pouze několikrát, a to až od roku 2004 se změnou četnosti měření, a proto je složité hodnotit sezónní trend některých parametrů hlavně v zimním období. Několik ukazatelů započalo být hodnoceno až v pozdějším období, a proto obsahují kratší časové řady pro celkové vyhodnocení, jde například o TOC, DOC, N<sub>celk.</sub>, P<sub>celk.</sub> a většinu kovů (tabulka 4).

Tabulka 4: Přehled frekvence hodnocení a počátku monitoringu jednotlivých ukazatelů kvality vody  
Zkratky: SI = saprobní index; FKB = fekální koliformní bakterie

| Parametr                | Rok počátku monitoringu | Frekvence ročního hodnocení po roce 2004 | Malý vzorek hodnot v zimních měsících |
|-------------------------|-------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|
| T <sub>vody</sub>       | 1981                    | 12x                                      | NE                                    |
| Specifická konduktivita | 1981                    | 5x                                       | ANO                                   |
| Rozp. O <sub>2</sub>    | 1981                    | 12x                                      | NE                                    |
| BSK <sub>5</sub>        | 1981                    | 12x                                      | NE                                    |
| CHSK <sub>Mn</sub>      | 1981                    | 12x                                      | NE                                    |
| TOC                     | 1992                    | 5x                                       | ANO                                   |
| DOC                     | 1992                    | 5x                                       | ANO                                   |
| pH                      | 1981                    | 12x                                      | NE                                    |
| Rozpuštěné látky        | 1981                    | 5x                                       | ANO                                   |
| Nerozpuštěné látky      | 1981                    | 12x                                      | NE                                    |
| NH <sub>4</sub>         | 1981                    | 12x                                      | NE                                    |
| NO <sub>3</sub>         | 1981                    | 5x                                       | ANO                                   |
| NO <sub>2</sub>         | 1981                    | 12x                                      | NE                                    |
| Celkový dusík           | 1995                    | 5x                                       | ANO                                   |
| PO <sub>4</sub>         | 1981                    | 5x                                       | ANO                                   |
| Celkový fosfor          | 1985                    | 5x                                       | ANO                                   |
| Cl                      | 1981                    | 5x                                       | ANO                                   |
| SO <sub>4</sub>         | 1981                    | 5x                                       | ANO                                   |
| Ca                      | 1981                    | 12x                                      | NE                                    |
| Mg                      | 1981                    | 12x                                      | NE                                    |
| Fe                      | 1981                    | 5x                                       | ANO                                   |
| Mn                      | 1981                    | 5x                                       | ANO                                   |
| Zn                      | 1995                    | 12x                                      | NE                                    |
| Ni                      | 1995                    | 5x                                       | ANO                                   |
| Pb                      | 1997                    | 5x                                       | ANO                                   |
| As                      | 1995                    | 5x                                       | ANO                                   |
| Cu                      | 1995                    | 12x                                      | NE                                    |
| Hg                      | 1995                    | 5x                                       | ANO                                   |
| Cd                      | 1995                    | 5x                                       | ANO                                   |
| Cr                      | 1995                    | 5x                                       | ANO                                   |
| Al                      | 1997                    | 5x                                       | ANO                                   |
| Ba                      | 1997                    | 5x                                       | ANO                                   |
| Na                      | 1985                    | 5x                                       | ANO                                   |
| K                       | 1985                    | 5x                                       | ANO                                   |
| SI bentosu              | 1998                    | 1x                                       | -                                     |
| FKB                     | 1981                    | 5x                                       | ANO                                   |

Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2003

### 5.1.6. Výběr podrobněji hodnocených událostí

Při výběru situací, které jsou dále podrobněji rozebrány z hlediska vzniku a vývoje situace parametrů teploty vzduchu a srážek a s následným zhodnocením chování parametrů kvality vody při dané situaci, v části výsledků – „Vybrané situace při hydrologických extrémech“, bylo z celkem 330 provedených měření kvality vody zvoleno 8 modelových situací, které postihují vysoké a nízké průtoky, a také situace, které mohou být svým chováním odlišné od běžného stavu. Pro vysoké vodní stavy byla zvolena prahová hodnota průtoky Q<sub>10</sub> s hodnotou 13,5 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Tuto hodnotu přesahuje 9 měření dat kvality vody (tabulka 5). Protože je chování parametrů kvality vody pro tyto situace povětšinou podobné, tak byly jako modelové zvoleny 2 nejvyšší odtokové události za sledované období (tabulka 6). Pro nízké průtoky byla zvolena prahová hodnota Q<sub>355</sub> (0,933 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>), pro kterou máme

10 měření. Jako modelové byly vybrány 2 události s nejnižším vodním stavem. Pro výběr zbylých 4 událostí bylo nutné provést detailnější analýzu (dlouhodobější pohled na vývoj srážek, teplot, sněhové situace) U všech typů událostí byla modelová situace vybrána tak, aby reprezentovala obvyklé chování většiny parametrů kvality vody. Grafy znázorňující průběh průtoku, srážek a teplot vzduchu pro vybrané případy zobrazují v případě suchých období vývoj těchto proměnných 1 měsíc před zvolenou událostí. U situací s vyšším průtokem jde o 8-11 dní na základě dané situace. U obou typů událostí je v grafech zobrazen ještě 2denní doběh dané události.

Tabulka 5: Přehled prahových hodnot a dalších kritérií pro výběr modelových situací

| Typ události     | Prahová hodnota průtoku ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) | Další upřesňující kritéria hodnocení                                                           | Počet situací splňující požadovaná kritéria |
|------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Vysoký průtok    | 13,50 ( $Q_{10}$ )                                           | -                                                                                              | 9                                           |
| Nízký průtok     | 0,93 ( $Q_{355}$ )                                           | -                                                                                              | 10                                          |
| Zimní sucho      | 1,00 aspoň 5 dní před událostí                               | Teplota vzduchu okolo či pod bodem mrazu                                                       | 3                                           |
| Jarní tání       | 7,00                                                         | Situace z března až května                                                                     | 29                                          |
| Letní srážky     | 4,00                                                         | Situace z června až srpna                                                                      | 4                                           |
| Dlouhodobé sucho | 1,50 ( $Q_{300}$ )                                           | 14 dní před událostí průměrná denní $T_{\text{vzduchu}}$ nad $14^\circ\text{C}$ a žádné srážky | 12                                          |

Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a

Tabulka 6: Seznam podrobněji rozebraných hydrologických událostí

| Datum hodnocené události | Průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) na profilu HSM | Popis události                                         |
|--------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 12.1.1993                | 16,20                                                      | 2. nejvyšší Q s daty kvality vody                      |
| 26.2.1997                | 17,80                                                      | Nejvyšší Q s daty kvality vody                         |
| 16.8.2006                | 5,82                                                       | Sestupná větev povodňové vlny po dlouhodobých srážkách |
| 15.2.2010                | 0,95                                                       | Nízký průtok v zimním období                           |
| 27.3.2012                | 11,3                                                       | Tání sněhu vlivem nárůstu teploty vzduchu              |
| 17.9.2018                | 0,59                                                       | Nejnižší Q s daty kvality vody                         |
| 23.9.2019                | 0,83                                                       | 2. nejnižší Q s daty kvality vody                      |
| 25.8.2020                | 0,90                                                       | Dlouhodobé letní sucho                                 |

Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a

První specifickou situací bylo období zimního sucha s typickými nízkými vodními stavy. Požadavky pro výběr konkrétní události byla dlouhodobější teplota vzduchu pod či okolo bodu mrazu a dlouhodobější nízký průtok (okolo  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) před danou situací. Jako modelová byla zvolena situace ze dne 15.2.2010.

Další snahou bylo zachytit situaci při jarním tání sněhu. Takových situací bylo v průběhu vyhodnocovaného období pozorováno několik v rozmezí března až května daných roků. Některé situace byly vyloučeny, protože při nich bylo hodnoceno méně parametrů kvality vody. Ze všech situací je ideální situace dne 27.3.2012. Tato situace totiž nastala pouhým dlouhodobějším nárůstem teploty vzduchu v oblasti bez intervence srážek, tudíž v odtoku a vzorcích vody není přítomna srážková voda, ale dominantně voda z tající sněhové pokrývky.

Protože nelze zachytit krátké letní přívalové srážky, práce se pokusila zhodnotit naopak letní srážkovou epizodu z dlouhodobějších srážkových událostí. V průběhu vyhodnocovaného 40letého období se jako nejvhodnější k podrobnější analýze ukázala situace z 16.8.2006, která se nachází na sestupné větvi povodňové vlny, vzniknuvší z dlouhodobých intenzivních srážek, které ve svém srážkovém maximu dne 7.8.2006 dosahovaly 126 mm/den. Letní zvýšené vodní stavy byly monitoringem zachyceny v nízkém počtu měření.

Poslední specifickou událostí byla událost dlouhodobého sucha. Hlavními podmínkami pro výběr konkrétní události byla vysoká průměrná denní teplota v dlouhodobějším časovém horizontu podpořená nedostatkem srážek v tomto období a nižším vodním stavem. Ideální situací nakonec byla z 25.8.2020, kdy se dlouhodobě průměrná denní teplota pohybovala okolo 15°C, 2 měsíce zpět před událostí bylo zaznamenáno velmi málo srážek a celé léto se průtok pohyboval okolo  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

#### **5.1.7. Odběrová metodika a vlastní sběr dat v terénu**

Po vytipování profilů, které budou vhodné k odběrům, aby doplňovaly informace o kvalitě vody v povodí, bylo nutné najít vhodný úsek, kde lze změřit průtok. Tento úsek by neměl obsahovat překážky v korytě, měl by být rovný, což je ovšem v (pod)horské oblasti nejvyššího českého pohoří nemožné, a proto se vyhledával úsek, který by se těmto kritériím co nejvíce blížil. V případě, že byl v oblasti limnigraf, tak bylo využito dat z limnigrafické stanice a byl pouze odebrán vzorek vody a naměřeny základní fyzikální parametry pomocí přenosné multimetrické sondy (HQ40-D Hach Lange). Sonda vyhodnocovala pH, specifickou konduktivitu, rozpuštěný kyslík a teplotu vody v době měření.

Odběry vzorků pak proběhly v místě do 100 ml lahvíček, většinou z břehu. Lahvičky poté byly přesunuty do chladicího boxu a transportovány k vyhodnocení do LGÚ PřF UK. Zde byly zjištěny koncentrace iontů fluoru, chlóru, siřičitanů, orthofosforečnanů a dusičnanů společně s koncentrací kovů (Al, Fe, Mn, Zn, Ca, Na a K) a  $P_{\text{celk}}$ . Současně s měřením parametrů kvality vody bylo nutné změřit na některých lokalitách průtok. K tomu bylo využito přístroje flowtracker, který využívá Dopplerova principu ke stanovení hodnoty průtoku.

Některé parametry nelze vyhodnocovat, jelikož jejich naměřené hodnoty byly pod hranicí detekovatelnosti na všech profilech, konkrétně šlo o fluor a orthofosforečnany. Na profilu *Úpa – Obří důl* nebyly změřeny údaje multimetrickou sondou – teplota vody, specifická konduktivita, rozpuštěný kyslík a pH. Na profilech *Úpa pod výtokem z rašeliniště* a *Úpa pod výtokem z ČOV* nebylo možné hydrometrovat. Hodnoty všech naměřených parametrů a doplňující údaje u měření průtoku (míra nejistoty, hloubka koryta, průtočný profil atd.) jsou uvedeny v příloze 21.

#### **5.1.8. Hodnocení jakosti**

Pro doplnění byla jednotlivá měření daných parametrů (u kterých to lze) zařazena do jakostních tříd podle normy ČSN 75 7221 z roku 2017. Jde pouze o orientační doplňující údaj o stavu kvality vody a o tom, jaké parametry z hlediska kvality vody představují problém v dané oblasti. Jednotlivá měření byla zařazena do jedné z následujících tříd jakosti (ČSN 75 7221, 2017):

- I. jakostní třída – neznečištěná voda
- II. jakostní třída – mírně znečištěná voda
- III. jakostní třída – znečištěná voda
- IV. jakostní třída – silně znečištěná voda
- V. jakostní třída – velmi silně znečištěná voda

## 5.2. Zdroje dat

K tvorbě mapových dokumentů, které jsou obsažené v práci či jsou součástí příloh této práce, bylo užito základě dat ArcČR 500 a databáze DIBAVOD pro vodní útvary. Dále na základě jevu, který mapa zobrazuje, bylo užito také dat ČÚZK pro DMR, ČHMÚ, AOPK, CENIA, Copernicus Land Cover a geologických a půdních map ČGS. Jednotlivé konkrétní zdroje pro dané mapové dokumenty jsou uvedeny u nich. Mapy byly vytvořeny v programu ArcGIS Pro verze 2.8 až 3.1. V tomto prostředí také proběhla základní analýza hydrologických charakteristik, jako byla tvorba rozvinutého podélného profilu toku či výpočet Gravelliova koeficientu, délky toku, charakteristiky povodí atd.

Pro analýzu klimatických a odtokových poměrů v povodí byla užita denní data průměrných teplot vzduchu, maximálních a minimálních teplot vzduchu, srážek, počtu dní se sněhovou pokrývkou (tabulka 7) a průměrných průtoků dostupných od ČHMÚ a dat, která byla od ČHMÚ poskytnuta pro projekt TAČR. Dále bylo využito dat ze stanice Sněžka, která patří pod polskou správu. Lokalizace stanic v rámci povodí je znázorněna na mapě, která je součástí přílohy 10 (Stanice Trutnov a Sněžka leží mimo zájmové povodí, proto nejsou v mapě znázorněny). Užito bylo dat pro období hydrologických let 1981-2020. Analýza klimatu a S-O režimu proběhla v prostředí Microsoft Excel 365.

Tabulka 7: Přehled meteorologických stanic a z nich využitých dat

| ID stanice     | Název stanice   | Období měření | Využití dat                                                  | Chybějící data                                                |
|----------------|-----------------|---------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| H1PECS01       | Pec pod Sněžkou | 1981-2020     | Srážky, $\emptyset$ , max. a min. denní $T_{\text{vzduchu}}$ | Min. a max. denní $T_{\text{vzduchu}}$ 1981-1987              |
| Polská stanice | Sněžka          | 1981-2020     | Srážky, $\emptyset$ denní $T_{\text{vzduchu}}$               | -                                                             |
| H1TRUT01       | Trutnov         | 2014-2020     | $\emptyset$ denní $T_{\text{vzduchu}}$                       | -                                                             |
| H1HMAR01       | Horní Maršov    | 1981-2020     | Srážky, $\emptyset$ denní $T_{\text{vzduchu}}$ , TSP         | 1.1.-31.5. 1987;<br>1.2.-30.6.1988;<br>1.1.-31.1.1992 pro TSP |

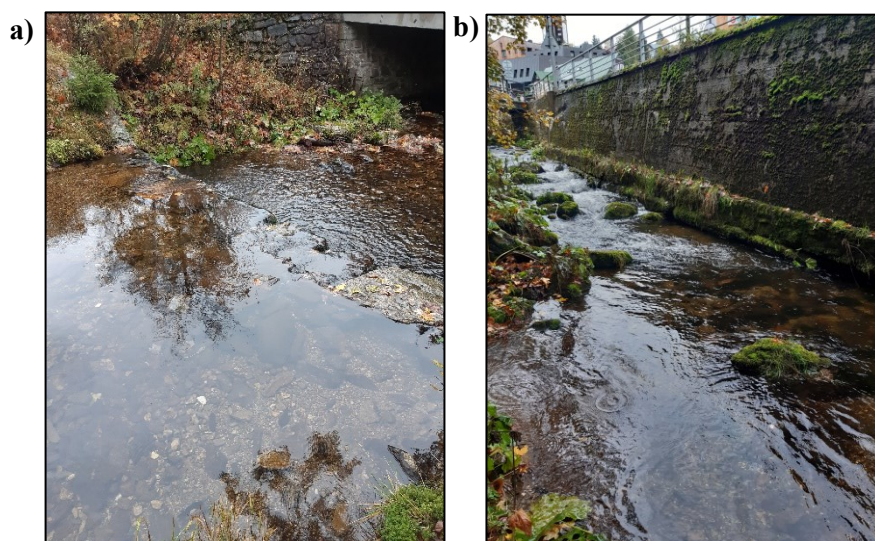
Zdroj: ČHMÚ 2023f

Pzn.: TSP = Trvání sněhové pokrývky;  $\emptyset$  = průměrná

Data kvality vody byla poskytnuta státním podnikem Povodí Labe. Povodí poskytlo data o všech měřených parametrech kvality vody pro profil ev. č. 106 v Horním Starém Městě na Úpě (53,4 říční km) pro období 1981-2020. Tento profil zároveň je závěrovým profilem zájmové oblasti. Vyhodnocení těchto dat proběhlo kromě prostředí Microsoft Excel 365 také v programu IBM SPSS Statistics 25.

Pro získání vlastních odběrových vzorků bylo nutné provést terénní průzkum a vlastní odběry, které proběhly 27.-29. 10. 2023 (nízké vodní stavy) a 16. 03. 2024 při epizodě jarního tání (vysoké vodní stavy – cca 4-5 vyšší než při podzimní kampani). V tomto období byla také pořízena fotodokumentace odběrových míst. Při terénním průzkumu bylo použito mapového portálu [mapy.cz](https://mapy.cz) a základní mapy ČR v měřítku 1 : 10 000. Odběrových míst bylo celkem 8 (viz mapa v příloze 21 a detailní umístění v tabulce 8), konkrétně šlo o místa:

1. *Modrý potok* (dále jen **KR-MOD**) – profil se nachází nad jezem v blízkosti mostu (obr. 3a) u záchranného bodu „TK 150“ ve vesnické památkové zóně Modrý důl, nebylo zde prováděno hydrometrování (tok má vlastní limnigrafickou stanicí), měření fyzikálních a chemických parametrů in situ
2. *Zelený potok* (dále jen **KR-ZEL**) – profil nalezneme asi 30 metrů před soutokem s Úpou v blízkosti mostu silnice II/296 a mostu místní komunikace (obr. 3b), koryto je po celém svém pravém břehu opevněno vysokou kamennou zdí, provedeno hydrometrování a měření fyzikálních a chemických parametrů in situ

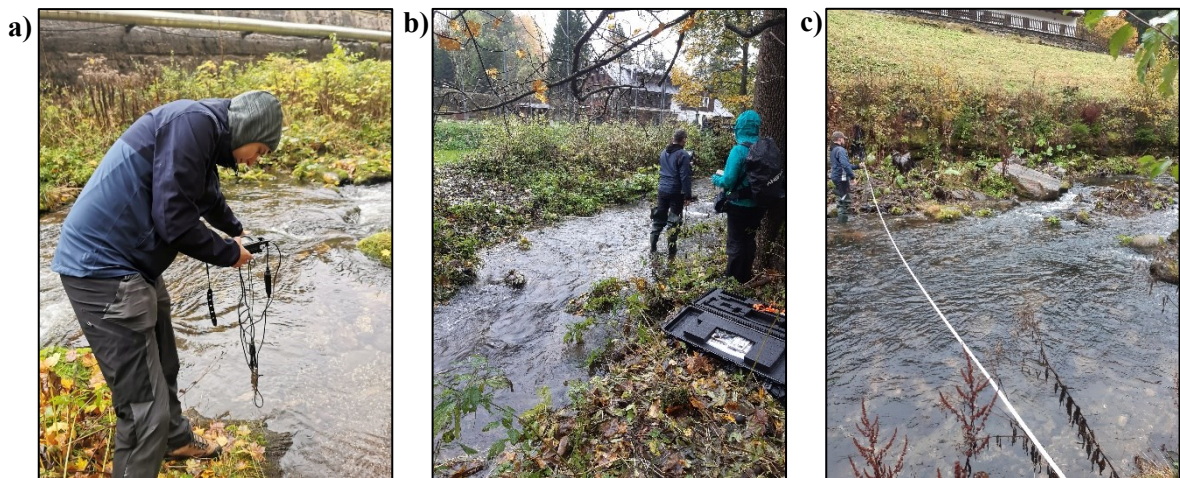


Obr. 3: Odběrové lokality: (a) – Modrý potok; (b) – Zelený potok (Zdroj dílo autora, 2023)

3. *Úpa pod soutokem se Zeleným potokem* (dále jen **KR-UPA**) – profil je přímo v blízkosti profilu Zeleného potoka (obr. 4a), několik metrů za jejich soutokem, pod výpustí z ČOV, provedeno měření fyzikálních a chemických parametrů in situ



4. *Lysečinský potok* (dále jen **KR-LYS**) – profil v obci Dolní Lysečiny (obr. 4b) je přibližně 50 metrů proti proudu od mostu místní komunikace přes potok vedoucí k č.p. 11, provedeno hydrometrování i měření fyzikálních a chemických parametrů in situ
5. *Malá Úpa* (dále jen **KR-MAL**) – profil najdeme v části obce Malá Úpa – Spálený Mlýn u parkoviště P4 – Spálený Mlýn (obr. 4c) mezi soutokem toku s Jelením potokem a potokem, dříve známým jako Pladech Bach, provedeno měření fyzikálních a chemických parametrů in situ a hydrometrování



Obr. 4: Odběrové lokality: (a) – Úpa pod soutokem se Zeleným potokem; (b) – Lysečinský potok; (c) – Malá Úpa (Zdroj: (a) – Milada Matoušková, 2023; (b,c) – dílo autora, 2023)

6. *Úpa – Horní Maršov* (dále jen **KR-HMA**) – profil je přímo u zdejší limnigrafické stanice (obr. 5) u obecního úřadu, provedeno pouze měření fyzikálních a chemických parametrů in situ



Obr. 5: Odběrová lokalita Úpa – Horní Maršov, místo limnigrafické stanice ČHMÚ (Zdroj: dílo autora, 2023)



7. *Úpa v Obřím dole* (dále jen **KR-OBR**) – profil nalezneme u zdejšího limnigrafu, provedeno stanovení chemických parametrů in situ, nebylo prováděno měření multimetrickou sondou v první podzimní kampani
8. *Úpa pod výtokem z rašeliniště* (dále jen **KR-RAS**) – profil se nachází nad kamenným mostkem přímo pod výtokem toku z rašeliniště (obr. 6) těsně před Úpskou hranou a Horním Úpským vodopádem v klidovém území KRNAP, provedeno měření fyzikálních a chemických parametrů in situ, vzorky odebrány pouze při podzimní kampani, charakter profilu neumožnil hydrometrování



Obr. 6: Odběrová lokalita Úpa pod výtokem z rašeliniště (Zdroj: Adam Bartůšek, 2023)

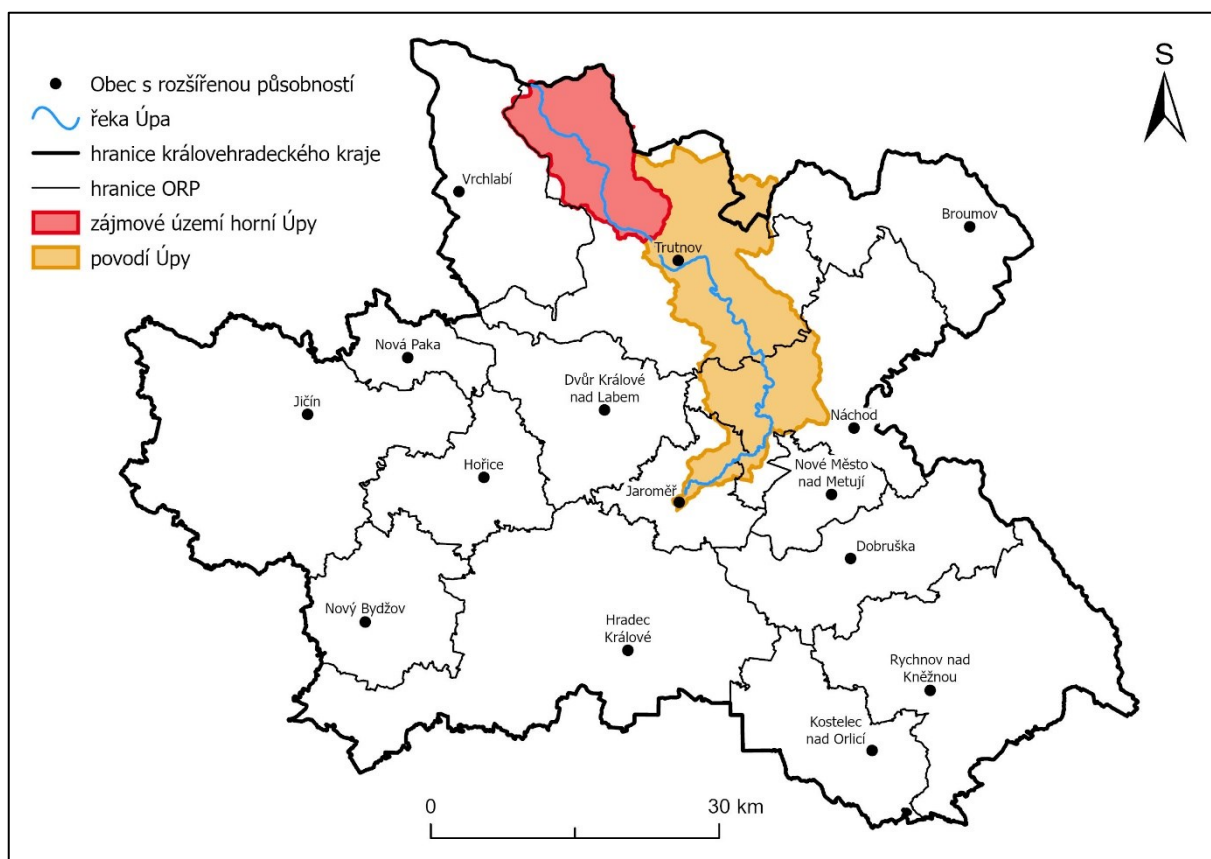
Tabulka 8: Seznam a informace o odběrových lokalitách

| Označení | Vodní tok (umístění)    | Zeměpisná šířka | Zeměpisná délka | Nadmořská výška (m n.m.) | Stanovení průtoku |
|----------|-------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-------------------|
| KR-MOD   | Modrý potok             | 50,712°N        | 15,714°E        | 1 000                    | Data ČHMÚ         |
| KR-ZEL   | Zelený potok            | 50,695°N        | 15,740°E        | 764                      | Hydrometrování    |
| KR-UPA   | Úpa – Pec pod Sněžkou   | 50,695°N        | 15,740°E        | 763                      | Nestanoveno       |
| KR-LYS   | Lysečinský potok        | 50,674°N        | 15,830°E        | 625                      | Hydrometrování    |
| KR-MAL   | Malá Úpa                | 50,707°N        | 15,804°E        | 772                      | Hydrometrování    |
| KR-HMA   | Úpa – Horní Maršov      | 50,660°N        | 15,820°E        | 572                      | Data ČHMÚ         |
| KR-OBR   | Úpa – Obří důl          | 50,722°N        | 15,727°E        | 936                      | Data ČHMÚ         |
| KR-RAS   | Úpa – Úpské rašeliniště | 50,736°N        | 15,716°E        | 1 385                    | Nestanoveno       |

## 6. Fyzickogeografická charakteristika

### 6.1. Vymezení zájmového území

Řeka Úpa a její přítoky jsou situovány v S-SV Čechách, přesněji v Královehradeckém kraji s výjimkou přeshraniční oblasti na vrcholu Studniční hory a Úpského rašeliniště, a poté pramenné oblasti levostranného přítoku Úpy, řeky Ličné, která pramení v Polsku a přijímá zde skrze Petříkovičský potok asi 4 km dlouhý polský potok Szčko odvodňující tzv. Okrzeszynský výběžek. Pramení v nadmořské výšce přibližně 1432 m n. m. na Úpském rašeliništi, přibližně 2 km severně od vrcholu Studniční hory, a je tak tokem s pramenem v nejvyšší nadmořské výšce v Česku (nepočítaje její přítok, Rudný potok, pramenící na svahu Sněžky). Vlévá se následně do Labe v Jaroměři na rozmezí Jakubského a Pražského předměstí v nadmořské výšce 250 metrů. Její povodí odvádí vodu z východní části Krkonoš, velké části Trutnovska, Náchodska a malé části Polska. Délka toku je 78,7 km, plocha povodí činí 513 km<sup>2</sup> a průměrný průtok u ústí je 6,99 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> (Štefáček 2008).



Obr. 7: Vymezení zájmového území v rámci královehradeckého kraje

Tato práce se bude zabývat horním úsekem řeky, konkrétně od jejího pramene po profil Horní Staré Město při soutoku s Babským potokem, přibližně na 25,3 říčním km (obr. 7). Přibližně polovina délky toků se nachází na území KRNAPu. Plocha povodí tohoto úseku činí 157,874 km<sup>2</sup> a průměrný průtok na hlásném profilu v Horním Starém Městě těsně před závěrovým profilem je 3,79 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> (ČHMÚ 2023d).

## 6.2. Geologická charakteristika

Zájmové území spadá do krkonošsko-jizerského krystalinika, s převahou kyselých a bázemi chudých hornin (Roleček 2023), zasahujícího i do sousedního Polska a částečně ve své jižní části i do podkrkonošské pánve, kterou od krystalinika částečně odděluje Janský zlom, a kde najdeme nejmladší horniny v zájmové oblasti (nepočítáme-li kvartérní sedimenty), konkrétně sedimentační horniny karbonského a permského stáří, nejčastěji jde o různé typy slepenců, jílovců a pískovců, hlavně v okolí Mladých Buků (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002). Ve své JV části velmi nepatrně povodí Úpy zasahuje i do vnitrosudetské pánve. Celá zájmová lokalita tak náleží tedy oblasti Českého masívu, konkrétně do Lugika.

Geologická historie zájmové oblasti sahá až ke středním starohorám (proterozoiku), jelikož nejstarší horniny, které tu můžeme nalézt, jsou metamorfované krystalické břidlice (svory, ortoruly, amfibolity) z mladších starohor (KRNAP 2023), které se přeměnili z mořských sedimentů. Tento starý horninový komplex je nazýván velkoúpskou skupinou (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002). Základy samotného pohoří Krkonoš v této oblasti pak vznikaly během kaledonského vrásnění koncem siluru (Jeník 1961), ale zásadní roli při jejich formování sehrála až orogeneze hercynská nebo též variská (Bína, Demek 2012). Směr výzdvihu pohoří společně s převládajícím atmosférickým prouděním měl za následek vznik unikátních anemo-orografických systémů, například v oblasti Studniční hory (Pilous 2013). Další významné horotvorné pochody oblast zasáhly ve třetihorách, kdy se zde výrazně zvýšil spád vodních toků, což vedlo k výrazné erozní činnosti a vzniku hlubokých údolí. Říční síť byla následně dotvářena v kvartéru při zalednění oblasti (Friedl et al. 1991).

Povodí je tvořeno dvěma hlavními odlišnými stavebními jednotkami. První je starší proterozoické krystalinikum, které tvoří právě horniny, které mají v oblasti největší zastoupení, tedy svory či ortoruly, a druhou část tvoří mladší paleozoický žulový pluton, kdy koncem prvohor, konkrétně v karbonu (NATURA 2000, 2023), došlo k průniku magmatu do břidlic a vznikly tak krkonošské žuly (Pilous 2013). Při průniku těchto granitových intruzí

došlo k metamorfóze okolních hornin na krkonošské ortoruly a kvarcity (Chlupáč 2002). Tento pluton je též označován jako krkonoško-jizerský pluton a nalezneme ho západně od Sněžky a vytváří většinu hraničního hřbetu (Chlupáč 2002). Nalezneme ho i v podloží Úpského rašeliniště, kde je tvořen porfyrickou, středně zrnitou žulou až granodioritem či biotickou žulou (Hejda 2016).

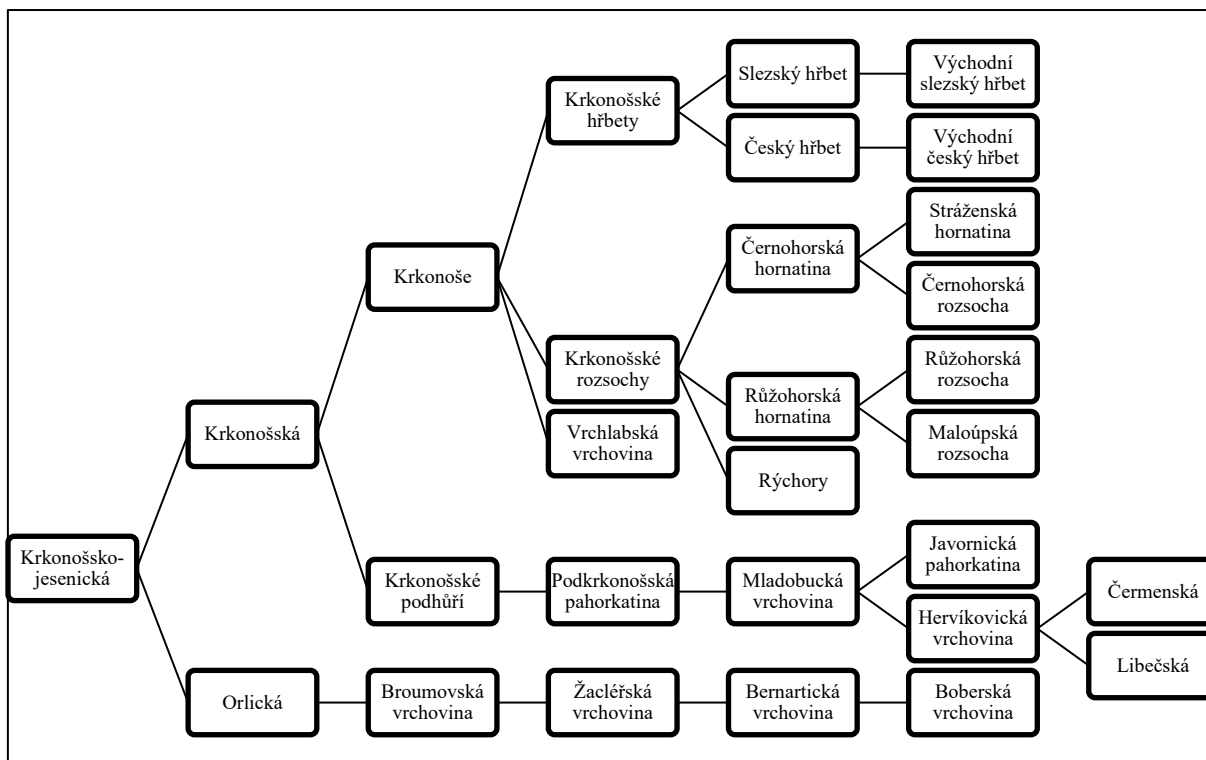
V místě kontaktu těchto dvou oblastí, tzv. kontaktním dvoře, dochází k metamorfóze a velké zastoupení zde mají právě kvarcity. Na tyto oblasti je navázána i část arктоalpínské tundry a obecně tento fakt vede ke geologické i geomorfologické pestrosti území. Geologickou pestrost kontaktního dvora dokazuje rudník v Obřím dole, kde na velmi malé ploše bylo identifikováno 43 různých minerálů (křišťál, wollastonit, růženín či scheelit). Tyto kontaktní horniny jsou také odolnější, což vedlo ke zpomalení zpětné eroze, a ta se tak nedostala až k pramenům řek, a zůstal zachován vyzdvižený zarovnaný povrch, tzv. etchplén, například na Studniční hoře, a obecně ke změně tras vodních toků (Pilous 2013).

Velmi roztroušeně se zde vyskytují vložky bohatších hornin, jako jsou erlany či krystalické vápence. Pás vápenců se táhne podél toku Malé Úpy až k soutoku s Úpou, další pak najdeme v ose Albeřického a Lysečinského potoka přes Horní Maršov (příloha 2). Zde jsou vápence mladší než ty podél Malé Úpy. Najdeme zde i několik drobných jeskyň a míst, kde se vápenec těžil. Ostrůvky těchto bohatších hornin nalezneme i v blízkosti Studniční hory a Sněžky. Zde se na ně vážou významná refugia bazofilních druhů rostlin a živočichů, a proto se těmto oblastem také říká „zahrádky“. Nejvýznamnější jsou Krakonošova zahrádka v Úpské jámě či Čertova zahrádka v Obřím dole (Roleček 2023). V Obřím dole nalezneme akumulace štěrku glacio-fluviální geneze, které společně s morény a periglaciálními sutěmi a říčními terasovými usazeninami patří mezi nejmladší části Krkonoš (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002).

Podkrkonošskou pánev tvoří v jižní části povodí permská souvrství (chotovické, vrchlabské, prosečenské a trutnovské) pískovců, aleuropelitů, jílovců či slepenců. Od Svobody nad Úpou je zde plně vyvinutá široká niva řeky Úpy. V okolí města docházelo v 16. století k povrchové těžbě zlata (Roleček 2023).

### 6.3. Geomorfologická charakteristika

Oblast, stejně jako celé území Čech, spadá do Hercynského systému, dále subsystému Hercynské pohoří, a provincie Česká vysočina. Dále je území notně členěno do následujících geomorfologických jednotek nižších řádů na obr. 8 (dle Balatky a Kalvody, 2006):



Obr. 8: Geomorfologické členění zájmové oblasti, jednotlivé sloupce zleva doprava znázorňují: subprovincie, oblasti, celky, podcelky, okrsky, podokrsky a části

Zájmová lokalita je vzhledem k přítomnosti nejvyššího českého pohoří velmi členitá. Nejvyšším bodem je vrchol Sněžky (1603 m n. m.), která má tvar tzv. karlingu, špičatého trojbokého útvaru, který vznikl v dobách ledových, kdy na suk tvrdých hornin působila jednak zpětná eroze vodních toků, ale také ledovcová eroze (KRNAP 2023). Nejnižší bodem je pak soutok řeky Úpy s Babským potokem (444 m n. m.) v Horním Starém Městě. Střední výška oblasti činí 885 m n. m. Obecně nadmořská výška klesá ze severu k jihu a mírně také ze západu k východu (příloha 3). Nejvyšší partií je hraniční hřbet Krkonoš, nejnižší pak údolí Úpy a jejich přítoků. Nalezneme zde malé množství rovinných ploch (do sklonu 2°). Tyto plochy ovšem kromě údolní nivy řeky Úpy, zejména v okolí Mladých Buků, kde dosahuje šířky až 700 metrů, najdeme také na vrcholové části hor ve formě tzv. etchplénů, konkrétně třeba na Studniční hoře, kde se nalézá Úpské rašeliniště nebo na vrcholu Černé hory. Nejvíce sklonité plochy, místy i se sklonem vyšším než 55° (označované tedy jako stěny či sruby), nalezneme při Úpské hraně, kde řeka Úpa opouští z rašeliniště vrcholovou část hor a několika kaskádami a vodopády míří do Obřího dolu

(příloha 4). Tomu odpovídají i spádové charakteristiky horní Úpy, kdy na prvních 6 km toku je spád 109,8 ‰ a na 1,3 km dlouhém úseku od pramene dokonce 325,4 ‰ (Balatka, Sládek 1962). Dané území tak má velmi vysoký průměrný sklon 15,96°. Z výše zmíněných faktů plyne i to, že území je tak velmi relativně výškově členité, a to až tak, že můžeme oblast styku Sněžky s Obřím dolem označit jako za velehornatinu (příloha 5), tedy relativní výškový rozdíl zde přesahuje 600 metrů. Na českém území nikde jinde takovýto relativní výškový rozdíl nenajdeme. Nejnižší relativní výškové rozdíly nalezneme v okolí Mladých Buků, kde již tok Úpy opustil Krkonoše a vytváří zde rovinatou nivu.

### 6.3.1. Tvary a formy reliéfu

V celém zájmovém území nalezneme zbytky třetihorního reliéfu přes kvartérní zalednění až po současnou modelaci člověkem (KRNAP 2023). Právě reliéf je významně poznamenán glaciální a periglaciální činností posledních dob ledových, přičemž údolí Úpy bylo zasaženo několika zaledněními ve své historii (Carr et al. 2002). Při největším zalednění se zde mohlo nacházet několik samostatných ledovců. Největším z nich byl ledovec v Obřím dole (Friedl et al. 1991). Další významné ledovce byly také v údolí Zeleného potoka či v Modrém dole. Dnešním pozůstatkem glaciální činnosti jsou kary, jako je právě ten v Obřím dole, morény či morénové valy a trogová údolí, která byla rozšířena a prohloubena a periglaciálními pochody ke konci zalednění došlo i ke zpříkření jejich stěn. Morénové valy na české straně pohoří jsou propustné, a proto zde na rozdíl od polské strany nenajdeme jezera glaciálního původu. (Demek et al. 1965). Morény jsou pozůstatkem risského a würmského zalednění (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002).

Glaciální genezi má i většina zdejších vodopádů, zejména pak v Obřím dole. Svou roli hraje i geologie, ale spíše okrajově na členění na dílčí stupně či kaskády. Horní Úpský vodopád, který je se svou výškou 129 metrů 2. nejvyšším vodopádem v Česku padá právě do ledovcového karu Obřího dolu z vrcholu etchplénu Studniční hory. Právě tato kombinace, hranice etchplénu s ledovcovým karem, mu umožnila dosáhnout této výšky. Dolní Úpský vodopád, který má pouze 45 metrů na výšku překonává již pouze nerovnosti trogového údolí Obřího dolu a jde spíše o soustavu kaskád. Jeho spodní část je tvořena žulovou plotnou, pod kterou je rozsáhlá tůň (Pilous 1989).

Velmi rozmanitě jsou zde zastoupeny periglaciální formy reliéfu. Jejich rozmanitost je připisována slabšímu zalednění oproti ostatním podobným pohořím (Vogezám, Schwarzwald) a jsou zde tak kryogenní terasy, soliflukční laloky, nivační deprese, nivační valy, kamenná moře či strukturní půdy (Friedl et al. 1991; Pilous 2013). Mezi nejdůležitější periglaciální formy reliéfu a nejnáchylnější na zničení patří právě strukturní půdy. Ty najdeme na vrcholu Studniční hory. Nalezneme zde velmi rozmanité formy od netříděných polygonů, přes tříděné sítě, kruhy, pruhy až po thufurové kopečky (Nyplová 2006). Důležitou roli zde sehrává sníh, který jakožto izolant, určuje charakter regulačních cyklů, důležitých právě pro aktivitu strukturních půd (Křížek, Treml, Engel 2006). Kamenná moře najdeme na úbočích Sněžky či Studniční hory, kde se také vyskytují soliflukční laloky či je pozorována aktivita jehlicovitého ledu (Treml, Engel, Křížek 2003).

Fluviální činnost má i vzhledem k nízkým průtokům pramenných toků výrazný vliv na formování reliéfu a jeho mikroforem. Asi nejvýraznější a nejvíce zkoumaná je eroze v dejekčním (náplavovém) kuželu při soutoku Úpy a Rudného potoka v Obřím dole, kde tento kužel je příčinou recentního divočení řeky Úpy pod soutokem (Pilous 1999). Jde o jedno z mála míst, kde je divočení horského toku v Česku zachováno (Tichavský, Šilhán, Půlpánová 2019). Výrazný vliv na zachování tohoto fenoménu má ovšem člověk, který zde ukládal hlušinu z důlní činnosti ze štol Jindřich a Helena (Pilous 1985). Morfologicky významné povodně, které mění kužel a charakter divočení toku Úpy se zde objevují poměrně pravidelně, mezi ty nejvýznamnější z posledního období patří ta z července 1997, srpna 2006 nebo června 2019 (Pilous et al. 2014). V okolí Horního Maršova jsou vyvinuté dvě říční terasy pleistocenního stáří v relativní výšce 15-20 metrů nad současným řečištěm (Schneider 1908 in Balatka, Sládek 1962). Toky v oblasti jsou mimořádně bohaté na evorzní tvary, dokonce s atypickým skupinovým výskytem v tvrdých krystalických horninách v tocích s nízkým průtokem. Výskyt těchto tvarů zde je způsoben pravděpodobně díky velkému sklonu. Tyto tvary nalezneme na Úpě před soutokem s Malou Úpou, Rudným, Javořím, Jelením či Černoorském potoce (Pilous 2021).

Mezi další významné geomorfologické činitele zde patří mury, tedy hlinito-kamenité proudy, které patří mezi svahové procesy, vznikající při extrémních úhrnech srážek na svazích. Podstatná část z nich je situována v Obřím dole (Pilous 2013; Tichavský, Šilhán, Půlpánová 2019). Trvale zde působí také soliflukce, nivální eroze a laviny. Nivální erozi můžeme pozorovat například na nejznámějším sněhovém poli, Mapě republiky na jižním svahu Studniční hory (Rybář et al. 1989). Lavinové svahy nalezneme v místech

nejvýraznějších glaciálních procesů, tedy především na karových stěnách. Umístění lavinových svahů ovšem není podmíněnou pouze orografií, ale také převládajícím směrem atmosférického proudění. Tzv. anemo-orografické systémy se dříve výrazně podílely na poloze a velikosti karů a v současnosti hrají roli v tom, kde bude vysoká akumulace sněhu, a tím i větší riziko vzniku laviny (Pilous 2013). V okolí Albeřického potoka ve vápencích nalezneme i krasové útvary jako ponory či vyvěračky a drobné jeskyně (Roleček 2023).

#### **6.4. Pedogeografická charakteristika**

Na pedogenezi v oblasti má vliv mnoho faktorů: geologie podloží a z něj plynoucí matečná hornina, biogeografické faktory, nadmořská výška a s tím spojené množství srážek, ale i sklonitostní poměry. Obecně jsou zdejší půdy kyselé (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002), ve vyšších polohách často silně skeletovité až kamenité (Hejda 2016). Ve vrcholových částech povodí jsou podmínky pedogeneze mimořádně nepříznivé s extrémním půdním chemismem a nízkým obsahem živin například v okolí Úpského rašeliniště (Pašťálková, Podrázský, Vacek 2001). Půdy zde jsou na mnoha lokalitách ohroženy vodní erozí a může zde docházet k sesuvům, typické pro území jsou mury. Ve zdejších lesních půdách jsou vysoké zásoby uhlíku, místy i přes 100 tun/ha (Hrnčiarová et al. 2009).

Nejrozšířenější půdním typem v povodí jsou asi se 30 % rozlohy území kryptopodzoly, těsně před podzoly, které zaujímají 29,5 % rozlohy (příloha 6). Jejich hlavním procesem vzniku je intenzivní vnitropůdní zvětrávání jako tomu je u kambizemí, ze kterých často vznikají. Váží se na svahový reliéf, který je v oblasti vysoce zastoupen a najdeme je tak ve střední části povodí na přechodu mezi podzoly ve vyšších nadmořských výškách a kambizeměmi v nižších. Jejich souvislý výskyt je od Pece pod Sněžkou a Horní Malé Úpy po Horní Maršov a ostrůvkovitě je nalezneme i v jižní části povodí. Tyto půdy jsou vázány na chladnější a vlhčí klima, typické pro Krkonoše (Tomášek 2007).



Druhým nejčastějším typem je podzol, který se vyskytuje ve vyšších nadmořských výškách než kryptopodzol v oblasti velmi členitého reliéfu. Pro vývoj podzolů jsou zde ideální podmínky – nízká průměrná roční teplota, vysoký úhrn srážek, podloží zvětralin žul, svorů a rul, nadmořská výška a pokrývají je většinou jehličnaté lesy. Je pro ně zde typický morový typ humusu (Tomášek 2007). V oblasti se na ně dominantně vážou soliflukční procesy (Válek 1964). Hlavním půdotvorným činitelem je zde podzolizace. Vyskytuje se zde v modálním, arenickém a litickém subtypu.

Posledním půdním typem, který zaujímá značnou část povodí jsou s asi 19 % zastoupením kambizemě. Ty jsou typické pro oblasti vrchovin a pahorkatin na úpatí Krkonoš a jejich podhůří. Hlavním půdotvorným činitelem je zde vnitropůdní zvětrávání (Tomášek 2007). Kambizemě nalezneme v jižní části povodí od Horního Maršova. Zdejší kambizemě jsou velmi kyselé s náznaky podzolizace na svahovinách kyselých intruzív a rul (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002).

Další půdní typy už pokrývají výrazně menší plochy v povodí. Velmi malé zastoupení, ale za to velmi důležité mají v oblasti organozemě. Ty nalezneme na Černoorském a Úpském rašeliništi a v menší míře v okolí Liščí hory a Zadní Planiny a váží se na ně vzácná společenstva (Portych 2005). V Úpském rašeliništi je průměrná mocnost rašeliny kolem 0,5 metru (Očadlík, Fuksa 1968) a maximální 1,7 metru (Svobodová 2002). Mocnost Černoorského rašeliniště je až 2 metry a je starší, odhaduje se přibližné stáří 6 000 let (Friedl et al. 1991).

Zejména na úbočí Studniční hory a Sněžky (od pramenné oblasti Zeleného potoka po Rudný) nalezneme rankery často již s mírou podzolizace. Jde o půdy na úpatích a sklonitých svazích, jsou velmi balvanité. Nachází se zde většinou jen slabá vrstva zvětralin, na které může probíhat pedogeneze. Při této malé mocnosti se zde z vegetace uchycují převážně mechy a lišejníky (Válek 1964). Rankery jsou pak ještě v malé míře při soutoku Malé Úpy s Úpou. V ještě extrémnějším prostředí, zejména pak na jižním a východním svahu Sněžky, nalezneme pevnou horninu bez známek pedogeneze či litozemě. Na těchto svazích je eroze tak silná, že není téměř možný vývoj půdy. V linii Alberického a Lysečinského potoka přes Horní Maršov až po soutok Úpy s Černoorským potokem se vyskytují drobné ostrůvky rendzin. Ty vznikají na rozpadů karbonátových hornin a jsou zde vázány na svahoviny vápenců (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002, Portych 2005).

V okolí přítoků Úpy, malých vodních toků a jejich pramenišť najdeme gleje. Typické jsou pro oblasti zamokřených úpadů. V oblasti často navazují na organozemě a tvoří tak přechodnou zónu a mají histický subtyp. Pseudogleje najdeme u levostranných přítoků Úpy v jižní části povodí, jde tedy o toky tekoucí z Rýchor (Kalná, Zlatý potok, Babský potok). Podél toku Úpy se pak tedy vytváří, zejména v jižní části povodí od Svobody nad Úpou, široká údolní niva, na kterou jsou vázány fluvizemě. Kompletní zastoupení jednotlivých půdních typů je uvedeno v tabulce 9.

Tabulka 9: Půdní typy zájmového území

| <b>Půdní typ</b>         | <b>Rozloha (km<sup>2</sup>)</b> | <b>Procentuální zastoupení (%)</b> |
|--------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Fluvizem                 | 13,4                            | 8,5                                |
| Glej                     | 3,5                             | 2,2                                |
| Kambizem                 | 30,0                            | 19,0                               |
| Kryptopodzol             | 47,5                            | 30,2                               |
| Organozem                | 1,1                             | 0,7                                |
| Pevná hornina či litozem | 3,5                             | 2,2                                |
| Podzol                   | 46,7                            | 29,7                               |
| Pseudoglej               | 6,1                             | 3,9                                |
| Ranker                   | 4,9                             | 3,1                                |
| Rendzina                 | 0,6                             | 0,4                                |
| Stagnoglej               | 0,2                             | 0,1                                |

Zdroj: vypočteno z dat ČGS – Půdní mapy 1 : 50 000, 2022

V oblasti dominantně převažují jehličnaté lesy tvořící přes 58 % pokryvu povodí. Tyto lesy najdeme na úpatí Krkonoš, jsou vázány převážně na podzoly, ale najdeme je i v nižších nadmořských výškách, například u závěrového profilu, který je již jen 450 m n. m. Navazují na ně lesy smíšené jižně od Horního Maršova (příloha 7). Do vyšších nadmořských výšek na ně pak navazují lesní keře a oblasti s řídkou vegetací. Listnaté lesy zaujímají pouze malou plochu (0,6 % plochy povodí) mezi Zlatým a Sovím potokem. V oblasti je několik malých či středně velkých sídel, které jsou zejména podél toku Úpy (Pec pod Sněžkou, Horní Maršov, Svoboda nad Úpou, Mladé Buky) a Janské Lázně, ale roztroušenou zástavbu nalezneme v malé míře prakticky podél celého toku Úpy. Kategorie sportovních a rekreačních areálů neodpovídá realitě. Je do ní započítán pouze areál Černé Hory, ale zcela chybí areály Mladé Buky či v Peci pod Sněžkou. Kompletní zastoupení jednotlivých tříd land cover je uvedeno v tabulce 10.

Tabulka 10: Land cover zájmového území

| <i>Typ land coveru</i>       | <i>Rozloha (km<sup>2</sup>)</i> | <i>Procentuální zastoupení (%)</i> |
|------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Zástavba                     | 5,0                             | 3,2                                |
| Sportovní a rekreační areály | 1,7                             | 1,1                                |
| Pastviny                     | 20,3                            | 12,9                               |
| Orná půda                    | 10,9                            | 6,9                                |
| Listnaté lesy                | 1,0                             | 0,6                                |
| Jehličnaté lesy              | 91,8                            | 58,2                               |
| Smíšené lesy                 | 11,6                            | 7,3                                |
| Přirozené louky              | 0,5                             | 0,3                                |
| Vřesoviště a slatiny         | 5,5                             | 3,5                                |
| Lesní keře                   | 8,0                             | 5,1                                |
| Odkrytá hornina              | 0,3                             | 0,2                                |
| Oblasti s řídkou vegetací    | 1,0                             | 0,6                                |
| Rašeliniště                  | 0,1                             | 0,1                                |

Zdroj: vytvořeno z dat Copernicus – Corine Land Cover 2018, 2022

## 6.5. Biogeografická charakteristika

Zkoumané území spadá podle individuálního biogeografického členění krajiny, určeného pro návrh ÚSES, do provincie středoevropských listnatých lesů, podprovincie hercynské a tří bioregionů: krkonošského, podkrkonošského na jihu povodí a malou částí svého území také broumovského. Tyto regiony jsou téměř totožné s odpovídajícími geomorfologickými celky (Krkonoše, Krkonošské podhůří a Broumovská vrchovina) (Culek et al. 2013). Hranice krkonošského s podkrkonošským, respektive broumovským bioregionem je výrazná jak geologicky, tak biotou. Hlavním rozdílem je absence vyšších vegetačních stupňů v podkrkonošském bioregionu (Portych 2005, Culek et al. 2013). Broumovský bioregion má oproti podkrkonošskému mnohem pestřejší vegetaci (Culek et al. 2013). Tyto bioregiony byly vymezeny Culkem (1996) v publikaci Biogeografické členění České republiky.

Vlivem specifické biogeografické polohy Krkonošského pohoří uprostřed středoevropské krajiny se zde nachází významná vývojová křižovatka, kdy v dobách ledových docházelo ke střetu severské a alpské bioty. Proto zde najdeme nejjižnější stanoviště některých severských druhů, a naopak nejsevernější stanoviště některých alpských druhů (hořec tolitovitý, podbělice alpská atd.) a velké množství endemitů či glaciálních reliktních (NATURA 2000, 2023). Po roce 1990 došlo k významnému nárůstu plochy lesů a luk, protože došlo k extenzifikaci zemědělsky využívaných ploch (Janík et al. 2020). V oblasti se vyskytuje bukový (v Podkrušnohoří) až alpský vegetační stupeň (stupně dle Zlatníka 1976) v nejvyšších vrcholových partiích Krkonoš, s převahou jedlobukového a smrkjedlobukového stupně (Culek et al. 2013). Flóra i fauna je zde ovlivněna lidskou činností (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002). Celé území je výrazně fragmentováno silniční infrastrukturou a výstavbou rekreačních areálů, což znemožňuje či

zhoršuje podmínky pro migraci mnoha druhům. Nefragmentovanou částí jsou vysoko položené partie pohoří, vrcholy Luční či Studniční hory a hraničního hřebenu (Janík et al. 2020). Je zde jedna lokalita soustavy chráněných území Natura 2000 – Krkonoše.

### 6.5.1. Flóra

Podle fytogeografického členění spadá jižní část povodí, odpovídající přibližně geomorfologickému celku Krkonošské podhůří, do obvodu Českomoravského mezofytika. To je zde zastoupeno dvěma okresy – Trutnovským Podkrkonoším a velmi nepatrně také Žacléřskem. Většina území spadá do obvodu Českého oreofytika (příloha 8). To je zde zastoupeno třemi okresy. Okresem Rýchory zaujímající stejnojmennou horopisnou jednotku, okresem Krkonoše lesní, který zaujímá největší část území od Svobody nad Úpou přes Horní Maršov k Malé Úpě a až k vrcholovým partiím hraničního hřebene, a okresem Krkonoše subalpínském, který nalezneme na hranici povodí od vrchu Zadní Planina, přes Studniční horu, Sněžku až ke Svorové hoře.

Potenciální přirozenou vegetaci by na jižním okraji povodí tvořila ve velmi malé části biková bučina a ve většině povodí od Mladých Buků po Horní Maršov přes celé Rýchory bučina s kyčelnicí devítilistou. Směrem do vyšších nadmořských výšek na ni navazuje smrková bučina, na kterou navazuje úzký pás třtinové smrčiny přecházející ve vrcholových partiích v komplex společenstev kosodřevin a eventuelně v komplex horských vrchovišť. Na východním svahu Černé hory by potenciální přirozenou vegetaci tvořili papratkové smrčiny (CENIA 2022) (příloha 9).

Jehličnaté lesy v zájmovém území tvoří necelých 60 % rozlohy. Dominantní dřevinou v oblasti je smrk ztepilý, v menší míře zde najdeme i ostatní jehličnaté dřeviny a ve vrcholové části pohoří pak borovici kleč či zástupce keřů jako je vrba laponská (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002). V 70.-80. letech minulého století byly zdejší lesy silně poškozeny imisemi a v současnosti jsou silně postiženy hmyzími kalamitami, zejména pak tedy kůrovcem. V zájmové oblasti nalezneme poměrně nedávno zalesněné holiny a mladé výsadky (Culek et al. 2013), ale ve vyšších oblastech hor nalezneme i klimaxová stádia smrčiny (Friedl et al. 1991). Do 1 000 m n. m. zde dříve byly hojně zastoupeny bučiny, dnes jde ovšem spíše o enklávní zbytky (Rybář et al. 1989). Horní hranice lesa se nalézá okolo 1 200–1 300 m n. m. (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002).

Ve vyšších nadmořských výškách už nalezneme pouze alpinské louky, subarktická rašeliniště a klečové porosty (Friedl et al. 1991). Právě tato výšková rozmanitost, ale i rozmanitost geologická a přítomnost anemo-orografických systémů jsou důvodem, proč se zde nachází široké spektrum druhů oproti okolí. Květnatá tundra v závětrí anemo-orografických systémů patří mezi botanicky nejbohatší místa Krkonoš a tyto místa se tak nazývají také Krakonošovy zahrádky. Jde především o lokalitu Obřího dolu. V tomto karu se vyskytuje prvosěnka nejmenší, koníklec jarní, lepnice alpská, pyšník tmavý, kýchavice bílá Lobelova, teplomilný neoendemit jeřáb sudetský, pouze na několika desítkách metrů čtverečných se tu nalézá svízel sudetský (Friedl et al. 1991, Culek et al. 2013, NATURA 2000, 2023). Naopak na hřbetech a vrcholech hor se vyskytuje brusinka obecná, sedmikvítek evropský nebo borůvka černá. V oblasti rašelinišť pak nalezneme klikvu drobnoplodou, suchopýr pochvatý či glaciální relikty jako všivec krkonošský, jehož další nejbližší stanoviště je na poloostrově Kola, nebo rašeliník Lidbergův (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002). V okolí pramenišť a vodních toků můžeme najít kroupenáče vytrvalého, škardu bahenní, devětsil Kablíkové, zdrojovku potoční či bodlák lopuchovitý. (Friedl et al. 1991, Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002). Na okraje lomů v okolí Albeřic se váže hořeček mnohotvarý český (NATURA 2000, 2023). Mezi další významné krkonošské endemity patří jeřáb sudetský či zvonek krkonošský. Mezi glaciální relikty se pak řadí kontryhel mlhový, lomikámen sněžný (Friedl et al. 1991, NATURA 2000, 2023). Běžně se v této lokalitě vyskytují druhy jako kyčelnice devítilistá, jaterník podléška, ostřice Davallova, tužebník obecný atd. (Hrnčiarová et al. 2009). Podhůří vrcholové části povodí, které je výrazně chudší na flóru, zde ale obsahuje některé horské druhy, které se sem dostaly z vyšších poloh, jde o např.: chrpu parukářku, řeřišničník Hallerův či zvonek širokolistý (Culek et al. 2013). Tato oblast, stejně jako většina území Česka, je pod tlakem invazivních druhů. Nejrozšířenějším z nich je bolševník, který lze nalézt až po vrcholky Krkonoš (Rybář et al. 1989).

### 6.5.2. Fauna

Fauna tohoto povodí je rovněž bohatá a vzácná, ale antropogenním vlivem došlo k vyhubení dříve běžných kočkovitých šelem, jako byli medvědi, divoké kočky či rys ostrovid (Friedl et al. 1991). Vyhubeni byli rovněž vlci, kteří se do oblasti ale navracejí. Z běžných druhů savců se zde vyskytuje ježek východní, srnec obecný, rejsek horský, hraboš mokřadní či vzácněji zde nalezneme myšici temnopasou a bělozubku šedou. Oblast je také stanovištěm několika druhů netopýrů, jako jsou například netopýr pobřežní či severní (Culek et al. 2013).

Do oblasti zasahuje ptačí oblast Krkonoše. V této oblasti se vyskytují čáp černý, datel černý, chřástal polní, lejsek malý, linduška horská, slavík modráček tundrový či sýc rousný (NATURA 2000, 2023). Narazit můžeme také na tetřeva hlušce, tetřívka obecného, ořešníka kropenatého, skorce vodního, ledňáčka říčního, kosa horského či čečetku zimní. Na hřebenech lze potkat kulíka hnědého nebo pěvušku podhorní. Ojediněle zde hnízdí sokol stěhovavý. V oblasti Rýchor ve východní části povodí je možno potkat sluku lesní či budníčka zeleného. V okolí rašelinišť lze pozorovat hýla rudého (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002, Culek et al. 2013).

Z obojživelníků a plazů se zde vyskytují čolek horský, skokan hnědý, ještěrka živorodá, zmiže obecná, užovka obojková a v oblasti pramenišť a čistých lesních toků mlok skvrnitý. Veškeré tekoucí vody náleží do pstruhového pásma (Culek et al. 2013).

Asi nejznámějším bezobratlým druhem, který se v oblasti vyskytuje, je nechvalně proslulý lýkožrout smrkový (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002). Mezi dalšími běžnými bezobratlými druhy můžeme nalézt čmeláka drobného, šídlo horské, slíďáka vrchovištního, s. tmavého, okáče rudopásného, o. horského či křížáka lesního (Hrnčiarová et al. 2009), mnoho druhů tesaříků, kovaříků, střevlíků, ploštěnek či pošvatek (Friedl et al. 1991). V okolí pramenišť a ve vodních tocích se běžně vyskytují jepice krkonošská, j. horská, kamomil říční, blešivec potoční. Na vrcholech hor a v okolí rašelinišť nalezneme skálovku lapenskou, čmeláka sorojského, lesklici horskou, šídelko horské, šídlo rašelinné či můru sivou (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002, Culek et al. 2013). Ze zástupců motýlů můžeme jmenovat třeba babočky, modráska bahenního, m. očkovaného, huňatce alpského nebo h. žlutopásého. Z řad měkkýšů se zde vyskytují mnohozubka evropská, slimáčník horský nebo vřetenovka krkonošská (Culek et al. 2013).

## 6.6. Základní klimatologická charakteristika

Zájmová oblast leží svou malou částí na jihu v kategorii Dfb (boreální, celoročně vlhké, s mírným létem), velkou částí svého území ovšem spadá již do kategorie Dfc (boreální, celoročně vlhké s krátkým a chladným létem) a vrcholové partie Krkonoš se řadí do kategorie Dfd (s velmi chladnou zimou) nebo ET (polární klima tundry) podle Köppenovy klasifikace (Tolasz et al. 2007, Hejda 2016). Dle podrobnější Quittovi klasifikace (1971) povodí leží v rajonech MT2, CH7, CH6 a CH4, jejichž charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 11. V rajonu MT2 leží pouze jižní část povodí v okolí Mladých Buků, v rajonu CH7 se nachází oblast kolem Svobody nad Úpou, Janských Lázní po Horní Maršov. Většinu území pak zaujímá rajon CH6 (příloha 10) a CH4 se pak vyskytuje ve vrcholových oblastech Rýchor a okolí Pece pod Sněžkou od Černé hory, přes Studniční a Sněžku po Svorovou horu. Langův dešťový faktor v celém území dosahuje vysokých hodnot a převyšuje hodnotu 100 (Tolasz et al. 2007, Hrnčiarová et al. 2009).

Tabulka 11: Charakteristika klimatických oblastí podle Quitta (1971)

| <i>Klimatická oblast</i>                   | <i>chladná</i>  |                 |                 | <i>mírně teplá</i> |
|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|
| Rajon                                      | CH 7            | CH 6            | CH 2            | MT 2               |
| Počet letních dnů                          | 10–30           | 10–30           | 0–20            | 20–30              |
| Počet dnů s průměrnou teplotou 10°C a více | 120–140         | 120–140         | 80–120          | 140–160            |
| Počet mrazových dnů                        | 140–160         | 140–160         | 160–180         | 110–130            |
| Počet ledových dnů                         | 50–60           | 60–70           | 60–70           | 40–50              |
| Průměrná teplota v lednu                   | (-3°C) – (-4°C) | (-4°C) – (-5°C) | (-6°C) – (-7°C) | (-3°C) – (-4°C)    |
| Průměrná teplota v červenci                | 15°C–16°C       | 14°C–15°C       | 12°C–14°C       | 16°C–17°C          |
| Průměrná teplota v dubnu                   | 4°C–6°C         | 2°C–4°C         | 2°C–4°C         | 6°C–7°C            |
| Průměrná teplota v říjnu                   | 6°C–7°C         | 5°C–6°C         | 4°C–5°C         | 6°C–7°C            |
| Prům. počet dnů se srážkami 1 mm a více    | 120–130         | 140–160         | 120–140         | 120–130            |
| Srážkový úhrn ve vegetačním období         | 500–600 mm      | 600–700 mm      | 600–700 mm      | 450–500 mm         |
| Srážkový úhrn v zimním období              | 350–400 mm      | 400–500 mm      | 400–500 mm      | 250–300 mm         |
| Počet dnů se sněhovou pokrývkou            | 100–120         | 120–140         | 140–160         | 80–100             |
| Počet zamračených dnů                      | 150–160         | 150–160         | 130–150         | 150–160            |
| Počet jasných dnů                          | 40–50           | 40–50           | 30–40           | 40–50              |

Zdroj: Tolasz et al., 2007

V celé oblasti panuje poměrně chladné a srážkově bohaté klima v porovnání s okolím, což je zapříčiněno členitostí krajiny. Klima je zde formováno zejména nadmořskou výškou, ale i zdejšími specifickými vlivy jako je třeba rozdílné klima na jednotlivých svazích hor a existence anemo-orografických systémů (Janková 2006). Vzhledem ke své extrémnosti je zde klima i významným geomorfologickým činitelem, například ve formě mrazového zvětrávání (Nyplová 2006). Výrazný vliv má převládající vlhké a studené západní proudění od Atlantického oceánu a oblast tak má výrazný oceánický charakter klimatu a je tak vlhčí, chladnější a drsnější než například na Šumavě či v Tatrách. Podmínky vrcholové části korespondují s klimatem horských oblastí střední Skandinávie (KRNAP 2023, NATURA 2000, 2023), z čehož například plyne podobnost Úpského rašeliniště s těmi skandinávskými (Hejda 2016). Oblast má vysoké hodnoty průměrné roční relativní vlhkosti vzduchu, která se pohybuje okolo 80 %, ve vrcholové části pohoří až kolem 85 % (Hrnčiarová et al. 2009). V horských oblastech je častý výskyt podzimních a zimních teplotních inverzí, což se odráží i na výrazně vyšším počtu hodin slunečního svitu například na Sněžce oproti horským střediskům jako je Pec pod Sněžkou. Dochází zde ke vzniku orografické oblačnosti (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002). Vzhledem k tomu, že vrcholy Krkonoš společně s Jizerskými horami představují první překážku pro atmosférické proudění, rychlost větru zde zejména ve vrcholových částech i několikrát do roku, hlavně v zimním období, dosahuje rychlosti vichřice a v ojedinělých případech i orkánu (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002, Hejda 2016).

Přes svou fyzicky geografickou významnost trpí východní a jižní část oblasti nedostatečným monitoringem hydrometeorologické situace. V oblasti najdeme pouze dvě srážkoměrné stanice na Pomezních Boudách a v Horním Maršově a jednu automatickou meteorologickou v Peci pod Sněžkou. Stanice se také nachází na polské straně vrcholu Sněžky. Sousední povodí Labe a jeho pramenná oblast obsahuje stanice, které jsou v blízkosti hranice našeho povodí a dají se rovněž k vyhodnocení zdejších poměrů využít, zejména pak Luční bouda. Ucelený seznam stanic v povodí poskytuje tabulka 12 níže.



Tabulka 12: Přehled stanic v zájmovém území

| Číselné označení | Název stanice   | Poloha              | Nadmořská výška (m n.m.) | Časové období měření | Výpadky měření      | Sledované parametry   | Poznámka          |
|------------------|-----------------|---------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|
| 1                | Pomezní boudy   | 50,75 N;<br>15,82 E | 1 050                    | 1997-2021            | -                   | srážky                | -                 |
| 2                | Horní Maršov    | 50,65 N;<br>15,82 E | 565                      | 1961-2021            | -                   | srážky, sníh          | -                 |
| 3                | Pec pod Sněžkou | 50,69 N;<br>15,73 E | 816                      | 1961-2021            | 1972-1988 pro sníh  | srážky, sníh, teplota | -                 |
| 4                | Sněžka          | 50,74 N;<br>15,74 E | 1 602                    | 1961-2021            | 1962, 1965 pro sníh | srážky, sníh, teplota | Na polské straně  |
| 5                | Luční bouda     | 50,74 N;<br>15,70 E | 1 413                    | 1964-2021            | 1970-2009 pro sníh  | srážky, sníh, teplota | Za hranicí povodí |

Zdroj: ČHMÚ, 2023f

## 6.7. Základní hydrologická charakteristika

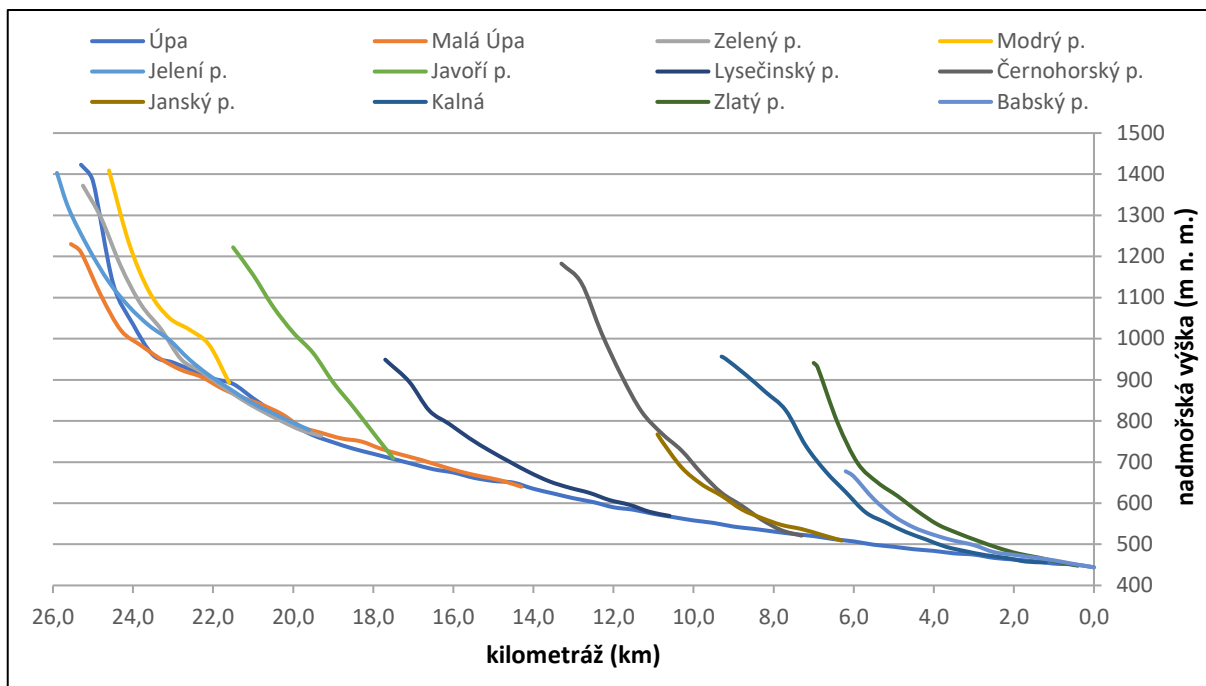
Plocha povodí zájmového území je 157,874 km<sup>2</sup>. Charakteristika povodí ( $\alpha$ ) je vějířovitá, uspořádání říční sítě je stromovité až pravoúhlé, v jižní části území od Svobody nad Úpou silně asymetrické, kde prakticky nepřijímá žádné přítoky z pravého břehu. To potvrzuje také koeficient souměrnosti plochy povodí ( $K_S$ ) s hodnotou 0,279. Obecně tok Úpy přijímá delší a vodnější toky zleva (Malá Úpa, Lysečinský potok, Kalná atd.). Mezi nejdůležitější pravostranné přítoky patří potoky Zelený, Černohorský a Janský. Hustota říční sítě (příloha 11) je vzhledem k morfologické rozmanitosti oblasti extrémně vysoká (1,73 km/km<sup>2</sup>), nejvyšších hodnot dosahuje v povodí Zeleného potoka (2,49 km/km<sup>2</sup>) a pramenné části Malé Úpy, (2,29 km/km<sup>2</sup>), a i v povodí Kalné, odvodňující část Rýchor, kde dosahuje nejnižší hodnoty ze všech významných přítoků, vykazuje vysokou hodnotu 1,22 km/km<sup>2</sup>. Míra křivolakosti toku Úpy vzhledem k tomu, že se nacházíme v její pramenné oblasti tvořené odolnými horninami, je poměrně nízká (1,216). Povodí hraničí s povodími Labe na své západní a jižní straně a s povodím řeky Bobr na severu a východě, náležící do úmoří Baltského moře. Z hodnot Gravellova koeficientu ( $K_G$ ) a koeficientu protáhlosti povodí ( $R_E$ ) lze stanovit jeho přibližný tvar, respektive, jak moc se blíží kruhu (tedy ideální souměrnosti). Ze zjištěných hodnot vidíme, že povodí je mírně protáhlé. Samotný tok Úpy je tokem 2. řádu dle absolutní (Gravellovy) řádovosti (příloha 12), její přítoky pak toky 3. řádu, kde většina z nich je tokem 2.-3. řádu dle Strahlera, samotná Úpa se velmi rychle stává tokem 5. řádu (příloha 13). Všechny charakteristiky jsou uvedeny v tabulce 13 a výškopisné poměry doplňuje rozvinutý podélný profil (graf 1), ze kterého je patrný vysoký sklon pramenných oblastí toků ve vrcholové části pohoří.

Odtokový součinitel celého povodí Úpy je velmi vysoký (nad 0,6) (Hrnčiarová et al. 2009) a specifický odtok celého povodí činí  $13,63 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$  (Hermann, Burda 2016), což je extrémně vysoká hodnota. Povrchový, ale i podpovrchový odtok je zde výrazně regulován vegetací a retenční schopností půd (KRNAP 2023), která je poměrně vysoká (Hrnčiarová et al. 2009). Vliv na odtok zde má v zimě umělé zasněžování, ke kterému jsou využívány například Černohorský, Zelený či Vlčí potok. Odběry mají vliv hlavně při souběhu dlouhodobého mrazu a nízkých průtoků, méně pak při období střídajících se mrazů s oblevami, kdy jsou toky zásobeny z tajícího sněhu (Tremel 2021). Odtokové poměry jsou dále podrobněji rozebrány v samostatné kapitole v části výsledků práce.

Důležitou roli na odtoku hrají také zásoby podzemních vod. Krkonoše sice nejsou významnou oblastí akumulace podzemních vod a nenajdeme tu CHOPAV, ovšem kolektory se zde nachází, a to v přípovrchové zóně v území krystalinika. Pohyb podzemních vod je zde určen hlavně morfologií terénu, puklinový systém zde hraje roli pouze v oblasti krystalických vápenců v okolí Albeřic. Dominují zde tak podpovrchové vody s mělkým oběhem závislé na stavu povrchových toků (Portych 2005). Průměrný specifický odtok podzemní vody za hydrogeologický rajon je zde nejvyšší v Česku –  $9,8 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$  (Hrnčiarová et al. 2009).

Tabulka 13: Charakteristiky povodí

| Charakteristika                                | Hodnota                 |
|------------------------------------------------|-------------------------|
| Gravelliův koeficient ( $K_G$ )                | 1,440                   |
| Koeficient protáhlosti povodí ( $R_E$ )        | 0,696                   |
| Charakteristika povodí ( $\alpha$ )            | 0,380                   |
| Koeficient souměrnosti plochy povodí ( $K_S$ ) | 0,279                   |
| Převýšení ( $\Delta h$ )                       | 1159 m                  |
| Sklon povodí ( $I$ )                           | 7,341 %                 |
| Koeficient reliéfu ( $R_h$ )                   | 5,688 %                 |
| Hustota říční sítě ( $R$ )                     | $1,726 \text{ km/km}^2$ |
| Míra křivolakosti ( $K$ )                      | 1,216                   |



Graf 1: Rozvinutý podélný profil toku Úpy (Zdroj: vytvořeno na základě dat ČÚZK, 2022)

### 6.7.1. Charakteristika toku Úpy

Pramen se nachází nad horní hranicí lesa na etchplénu 2 km severně od Studniční hory v Úpském rašeliništi v nadmořské výšce 1 432 m n. m. (Štefáček 2008). Rašeliniště je rovněž zdrojovou oblastí Bílého Labe a polského toku Łomnica, patřícího do úmoří Baltského moře. Po vrcholu etchplénu protéká asi 1 metr širokou rýhou v humolitech (Pilous 1989). Poté přepadá přes Úpskou hranu do Úpské rokle a jámy prostřednictvím Horního a Dolního Úpského vodopádu. V tomto úseku, asi 1,3 km od pramene, tak má řeka extrémní spád 325,4 ‰ (Balatka, Sládek 1962). Mezi oběma vodopády tok přijímá své první přítoky – zleva Úpičku a zprava Sněžnou strouhu. Následně se do ní zleva vlévá Rudný potok, pramenící na úbočí Sněžky. Ačkoliv Úpa divočila v oblasti Obřího dolu pravděpodobně v průběhu celého holocénu, tak extrémně vysoké srážkové úhrny a množství mobilního materiálu z navážek hlušiny důlní činnosti, které Rudný potok do Úpy přivádí, jsou příčinou recentního divočení. Při vyústění potoka do Úpy tak vzniká dejekční kužel, navíc je zde přeplavován materiál z mnoha murových a lavinových drah při vyšších vodních stavech. Výrazné změny morfologie dna jsou evidovány u povodní v roce 1997, 2001 nebo 2013. Divočící charakter si tok zachovává asi na 600 metrů dlouhém úseku při sklonu přibližně 6°. Tok zde má 1 hlavní a 3 vedlejší ramena. Vzniká zde atypicky údolní niva, která má v maximu šířku 140 metrů (Tichavský, Šilhán, Půlpánová 2019). V Obřím dole nalezneme první hydrologickou stanici na toku Úpy.

Následně tok protéká dolní částí Obřího dolu, kde má tok stále velký spád a velmi balvanité koryto (Štefáček 2008) s typickým hnědým rašelinným zabarvením. Zde jsou patrné první lidské zásahy do morfologie toku ve formě několika mostů, kamenného opevnění břehů a menších stupňů v korytě. Tok protéká jehličnatým lesem a nalezneme zde mnoho popadaných stromů a mrtvého dřeva. Před vstupem toku do intravilánu Pece pod Sněžkou je tok přehrazen a vzniká tu tůň ve tvaru rovnoramenného trojúhelníku o straně asi 35 metrů a na toku se objevují výraznější a vyšší jezové struktury v okolí stanice lanové dráhy na Sněžku. U Relaxparku v Peci pod Sněžkou je vytvořena na toku malá přehrada v Bukovém údolí, pod kterou za ČOV tok přijímá zprava Zelený potok a mění svůj směr toku z jihu na východ asi 5 km dlouhým údolím ve tvaru V. Koryto je od stanice lanovky až po závěrový profil téměř v celém úseku opevněno rovinaninou, kamennou dlažbou, betonem či svislými opěrnými zdmi, má obdélníkový či lichoběžníkový průřez koryta a nachází se zde množství jezů, jelikož se v celé délce nachází nějaká forma zástavby a od Pece pod Sněžkou po Mladé Buky vede tok souběžně se silnicí II/296. Tok zde tak má velmi omezené možnosti boční migrace.

Následně tok prudce mění směr svého toku na jih po soutoku s největším přítokem v zájmovém území – Malou Úpou zleva s průměrným ročním průtokem  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Kestřánek et al. 1984). Tok zde má charakter horské říčky se širokým korytem a kamenitým dnem (Štefáček 2008). Na jih teče Úpa asi 1,5 km, kde se pod lesním hrádkem Aichelburg opět stáčí k západu a přitéká do Temného dolu a Horního Maršova. Zde po soutoku s Lysečinským potokem opět teče na jih. Před soutokem s tímto potokem, na okraji Horního Maršova, nalezneme další hlásný profil s historií měření od roku 1907 (Kestřánek et al. 1984). Tok zde již nemá takový spád, řeka zde začíná zpomalovat, údolí se rozšiřuje a nejbližší okolí řeky již má rovinnatý charakter a vzniká zde niva. Řeka teče dále směrem na jih do Svobody nad Úpou, za kterou se naposledy stáčí, tentokrát na JV a vtéká do intravilánu Mladých Buků. Zde také dosahuje největší šířky niva, přibližně 700 m. Závěrový profil je na soutok s Babským potokem na okraji Horního Starého Města. Těsně před tímto soutokem je lokalizován poslední profil evidující jak jakostní, tak průtoková data.

### 6.7.2. Kvalita vody

Tok Úpy je jakostně hodnocen na velké části svého toku (zejména pak od Trutnova po soutok s Labem) poměrně špatně a kvalita vody zde kolísá na jednotlivých úsecích mezi II. – IV. jakostní třídou. Výjimkou je pak nejhořejší část toku Úpy, v našem zájmovém území, kde je tok hodnocen převážně v I. jakostní třídě, stejně jako její hlavní přítoky v této oblasti. Výjimkou jsou ukazatele BSK<sub>5</sub>, P<sub>celk</sub> a občasně CHSK<sub>Cr</sub> či TOC, které se pohybují na hraně I-II. jakostní třídy (ČHMÚ 2023c). Vysoké koncentrace TOC jsou specifickým horního toku Úpy. Ty jsou nejvyšší právě v pramenné oblasti rašelinných mokřadů a podmáčených smrčín způsobené charakterem podloží, rašeliništěm a podmáčenými smrčínami. Tyto koncentrace se ještě navyšují při povodňových událostech, kdy právě dochází k vyplavení huminů. Strnadová, Hladíková, Andrle (2012) ve svém výzkumu z roku 2011 zjistili, že přítoky, které Úpa přijímá v Peci pod Sněžkou (Zelený a Vlčí potok) koncentrace TOC ještě navyšují o dalších 14 % a snižují se až po soutoku s Malou Úpou o asi 6 %. Obecně lze konstatovat, že směrem od pramene Úpy stoupají hodnoty konduktivity, velmi pomalu také pH, které je poměrně nízké v horské oblasti (Hrnčiarová et al. 2009) vzhledem k imisní zátěži spojené s obdobím posledních dvou dekad minulého století, což vedlo k okyselení půd i vodních toků (KNRAP 2023). Naopak klesající trend mají hodnoty TOC, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> či CHSK<sub>Mn</sub>. Stabilní koncentrace vykazují hodnoty NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Strnadová, Hladíková, Andrle 2012). Specifické hydrologické poměry pak lze pozorovat ještě na Alberčickém potoce, přítoku Lysečinského potoka, kde díky zkrasovatělému podloží lze evidovat například zvýšené koncentrace Ca<sub>2</sub><sup>+</sup> (Rybář et al. 1989).

### 6.7.3. Hydrologické extrémy

Nejvyšší vodní stavy bývají většinou zaznamenávány ve spojitosti s letními přívalovými srážkami nebo dlouhodobými srážkami. Největší přístroji zdokumentovaná povodeň povodí zasáhla v létě roku 1948, která dosáhla průtoku 125 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> na profilu Horní Maršov, což je hodnota mezi Q<sub>20</sub>–Q<sub>50</sub>. V tento rok zasáhla povodeň oblast i v zimě při lednové oblevě, tehdy byl průtok okolo hodnoty Q<sub>20</sub>. Další významná povodeň byla zaznamenána v létě roku 1937 s průtokem 109 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, odpovídající Q<sub>20</sub>. Stejně hodnoty dosáhla i největší novodobá povodeň z léta roku 1997 (Povodí Labe 2023). Dalšími novodobými povodněmi jsou například ty z letních měsíců let 2006 či 2013.

Největší povodeň, ovšem nezdokumentována měřicími přístroji, zasáhla povodí koncem července 1897 a jde údajně o nejhorší povodeň v Krkonoších (Bartoš 1997). Na horním toku řeky Úpy a na jejich přítocích byly tehdy překročeny hodnoty  $Q_{100}$ . Během 29.-30.7 1897 činil úhrn srážek v Obřím dole 342 mm a na vrcholu Sněžky 239 mm. Na profilu v Horním Maršově je odhadována kulminace na hodnotě přes  $400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Švec 1973). V tabulce 14 jsou uvedeny hodnoty stupňů povodňové aktivity a N-letých průtoků pro hlásné profily Horní Maršov a Horní Staré Město.

Tabulka 14: Stupně povodňové aktivity a N-leté průtoky na hlásných profilech Horní Maršov a Horní Staré Město

| Stupeň povodňové aktivity | Výška (cm)<br>profil Horní<br>Maršov | Výška (cm)<br>profil Horní<br>Staré Město | Průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )<br>profil Horní<br>Maršov | Průtok ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )<br>Horní Staré<br>Město |
|---------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| <b>Bdělost</b>            | 110                                  | 90                                        | 30,1                                                                  | 33,7                                                                |
| <b>Pohotovost</b>         | 130                                  | 110                                       | 40,0                                                                  | 46,3                                                                |
| <b>Ohrožení</b>           | 160                                  | 140                                       | 54,3                                                                  | 65,8                                                                |
| <b>N-leté průtoky</b>     |                                      |                                           |                                                                       |                                                                     |
| <b>Q1</b>                 |                                      |                                           | 26,7                                                                  | 33,7                                                                |
| <b>Q2</b>                 |                                      |                                           | 40,7                                                                  | 50,1                                                                |
| <b>Q5</b>                 |                                      |                                           | 63,6                                                                  | 76,2                                                                |
| <b>Q10</b>                |                                      |                                           | 84,0                                                                  | 98,9                                                                |
| <b>Q20</b>                |                                      |                                           | 107,0                                                                 | 124,0                                                               |
| <b>Q50</b>                |                                      |                                           | 141,0                                                                 | 161,0                                                               |
| <b>Q100</b>               |                                      |                                           | 171,0                                                                 | 192,0                                                               |

Zdroj: ČHMÚ, 2023d; 2023e; Povodí Labe, 2023

Toku Úpy se však nevyhnula ani sucha. Na základě dostupných dat o denních průtocích lze stanovit 3 hlavní období, kdy jsou zaznamenávána sucha, respektive malé vodnosti. Prvním je konec hydrologického roku, tedy přelom října a listopadu, kdy jsou průtoky v horských oblastech typicky nejnižší. Druhým jsou letní sucha typická pro konec srpna a začátek září, kdy vrcholí období vysokých teplot vzduchu a jsou nízké srážkové úhrny. Posledním je únor či březen, kdy jsou nízké stavy způsobeny nízkou teplotou a menším množstvím srážek.

Pro profil v Horním Maršově je hodnota  $Q_{355}$ , která je běžně využívána pro výběr suchých období,  $0,521 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Povodí Labe 2023). Nejnižší přístrojově zaznamenané průtoky jsou z roku konce listopadu 1948, kdy v rozmezí 26.-30.11. byl naměřen průtok  $0,26 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , tedy hluboko pod hladinou  $Q_{355}$ . Nejnižší vodní stavy pro období, které je v této práci hodnoceno (1981-2020), je z října a listopadu 1983, kdy mezi 28. říjnem a 25. listopadem pouze jediný den byl zaznamenán průtok těsně nad hodnotou  $Q_{355}$  a minimální průtok za toto období měl hodnotu  $0,28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Toto suché období bylo způsobeno

hlavně absencí srážek, kdy od 22. října do 14. listopadu srážkoměr v Horním Maršově nezaznamenal jediný milimetr srážek. Dalšími významnými suchými obdobími zde jsou přelom září a listopadu 1992, září 1999 či konec července 2006. Posledními, ale velmi významnými, obdobími sucha jsou roky 2018 a 2019. V roce 2018 byly pro oblast zaznamenány nejnižší srážkové roční úhrny za celé sledované období. Mezi srpnem až začátkem prosince 2018 bylo v oblasti zaznamenáno pouhých 162 mm srážek. V tomto období se průtoky pohybovaly na hranici hodnoty  $Q_{355}$  (průměrný průtok za tyto 4 měsíce činí  $0,61 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  s  $Q_{\min} 0,397 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  z 18. září) a jen velmi zřídka vystoupaly výše při ojedinělých srážkových událostech. Celkem 68 dní v tomto období byl průměrný denní průtok pod hranicí  $Q_{355}$  a pouhých 5 dní překročil hranici  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

#### 6.7.4. Rašeliniště

Významnou roli jak ve formování odtoku, tak v kvalitě vody a hodnotách jejich ukazatelů hrají oblasti rašelinišť, kde pramení samotná Úpa, a pak také Černoohorský potok, který se do Úpy vlévá zprava před Svobodou nad Úpou. Úpské rašeliniště, které nalezneme na etchplénu Studniční hory, tvoří asi 15 jezírek, maximální hloubka těchto jezírek nepřekračuje 2 metry (Pošta 2004). I přes své umístění mimo dosah přímého lidského vlivu bylo nutné provést v roce 1996–1997 úpravu poté, co došlo k výraznému zvýšení pH rašeliniště vlivem výstavby turistického chodníku z dolomitického vápence, který vedl přes rašeliniště. Tento chodník byl nahrazen zvýšeným povalovým chodníkem (Jirišně 2000). Rašeliniště se nachází nad horní hranicí lesa. Rašeliniště je odvodňováno Úpou a také Bílým Labem do povodí Labe. Konduktivita jezírek v Úpském rašeliništi je relativně nízká, kolem  $10 \text{ } \mu\text{S/cm}$ , zvýšené koncentrace vykazují ionty  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  i  $\text{Cl}^-$ . Obecně zde koncentrace záporně nabitých iontů výrazně převyšují koncentrace kationtů (Pošta 2005). Tyto parametry jsou vzhledem k mělkosti jezírek a jejich pravidelné cirkulaci fyzikálně podobné v celém vodním sloupci. Černoohorské rašeliniště na vrcholu Černé hory má vyšší mocnost, až 2,5 metru, ale najdeme tu pouze 1 typické jezírko (Pošta 2004). Toto rašeliniště se nachází v oblasti horní hranice lesa a není tak exponováno povětrnostním a jiným vlivům jako Úpské. Voda je z něj odváděna Černoohorským potokem do Úpy.

## 6.8. Ochrana krajiny

Velká část území vyjma okolí Pece pod Sněžkou a jižní části povodí patří pod KRNAP, vyhlášeného v roce 1963 a navazujícího tak na polský Karkonoski park narodowy, který byl vyhlášen o 4 roky dříve (Friedl et al. 1991). První předpisy, které stanovovali nějakou formu ochrany, zejména květeny, byly ale přijmuty již v roce 1903 (Bašta 2013), a první rezervace byla vyhlášena o rok později hrabětem Janem Harrachem na „Strmé stráni“ (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002). Od roku 1952 pak na území KRNAPu existovalo, jako předchůdci národního parku, 8 SPR (státních přírodních rezervací). V 80. letech minulého století byly Krkonoše silně poškozeny jednak imisemi, což se projevilo na zdravotním stavu lesů nebo vymizením rybích osádek acidifikací vodních toků (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002), a pak také rostoucím turismem (Bašta 2013). Tento národní park má za úkol chránit společenstva subalpínského stupně s rašeliništi a společenstva ledovcových karů, horské lesy, louky, endemity a glaciální relikty (Culek et al. 2013). V našem zájmovém území se v první zóně nachází vrchol Černé hory s Černohorským rašeliništěm, které je největším vrchovištním rašeliništěm v Krkonoších (66 ha) a nachází se zde zakrslý smrkový prales se vzácnou květenou (Válek 1964), okolí vrcholu Dvorský les v Rýchorech, kde je chráněn zbytek bukového pralesa, svahové slatiny a pestrá květena (Friedl et al. 1991) a celá SZ část povodí Úpy (od Liščí hory přes Studniční hory a Sněžku po Svorovou horu a Růžovou horu i s Obřím dolem). Velmi přibližně je s první zónou ochrany v překryvu nadregionálním biocentrem ÚSES. Do druhé zóny patří přechodná část okolo míst z první zóny směrem dolů do údolí a do třetí zóny náleží zbytek a většina KRNAPu. Poté je zde ještě čtvrtá zóna (kulturní krajiny), kterou najdeme u Pomezních Boud v Horní Malé Úpě (příloha 14). V hřebenových partiích a na vrcholu Černé hory jsou vyhlášena navíc tzv. klidová území (KRNAP 2023). Součástí ochrany ovšem nejsou pouze přírodní fenomény, ale také například pozůstatky pohraničního opevnění z 30. let minulého století (Bašta 2013). Pohoří je také součástí stejnojmenné ptačí oblasti a soustavy NATURA 2000 (KRNAP 2023). Je také biosférickou rezervací UNESCO Krkonoše-Karkonosze. Úpské rašeliniště je součástí Ramsarské úmluvy o ochraně mokřadů (Faltysová, Mackovčín, Sedláček 2002). Zdejší lesy mají certifikát FSC (Bašta 2013).



## 7. Výsledky

V této části práce jsou prezentovány výsledky práce. V první části je shrnuta analýza klimatu oblasti a změn S-O režimu. Dále je diskutována změna parametrů kvality vody na závěrovém profilu v Horním Starém Městě za období 1980-2020. Probrána je vzájemná korelace parametrů kvality vody mezi sebou a s průtoky. Následně jsou podrobněji meteorologicky, hydrologicky a z hlediska kvality vody rozebrány situace při některých typech extrémů (vysoké průtoky, tání sněhu, rain on snow, dlouhodobé sucho atd.). Na závěr jsou prezentovány výsledky z vlastního měření v terénu na 8 profilech v horní části povodí Úpy.

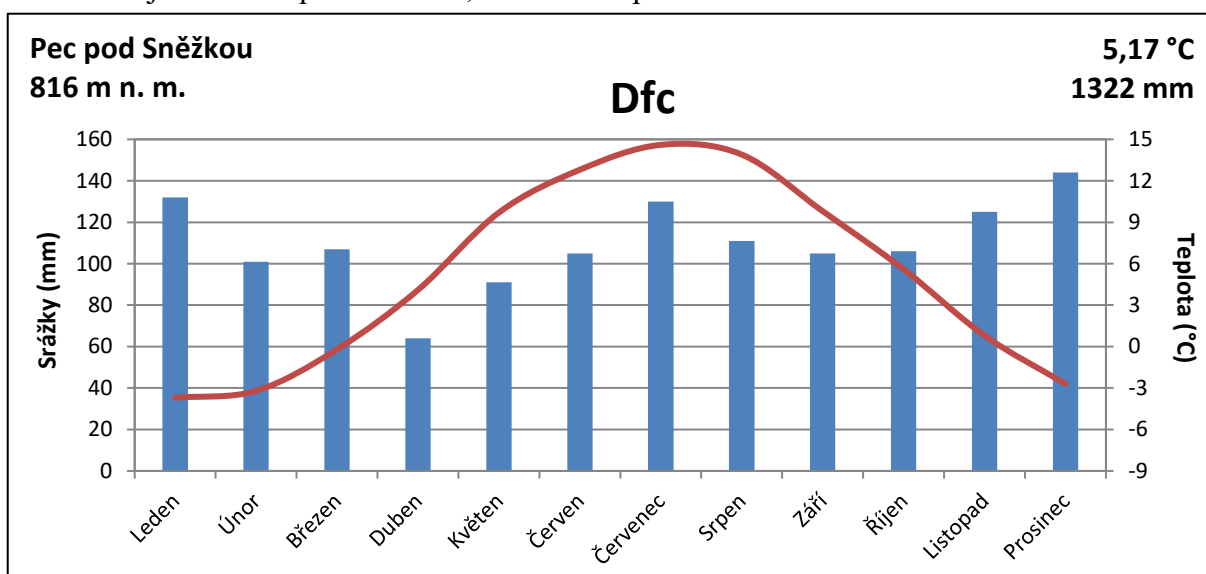
### 7.1. Analýza klimatu a srážko-odtokových poměrů

Tato část práce shrnuje základní klimatické a hydrologické charakteristiky většinou pro námi sledované období 1981-2020, není-li uvedeno jinak. Prezentovány jsou výsledky pro následující proměnné: teplota vzduchu, srážky, sníh a odtokové poměry. Některé grafické a tabulkové výstupy k této kapitole jsou součástí přílohy 15. Jedná se kupříkladu o tabulku vodnosti jednotlivých let, křivku pravděpodobnosti překročení  $Q_r$ , sezónní rozložení průtoků jednotlivých hydrologických let či sezonalitu srážkových a průtokových maxim/minim atd.

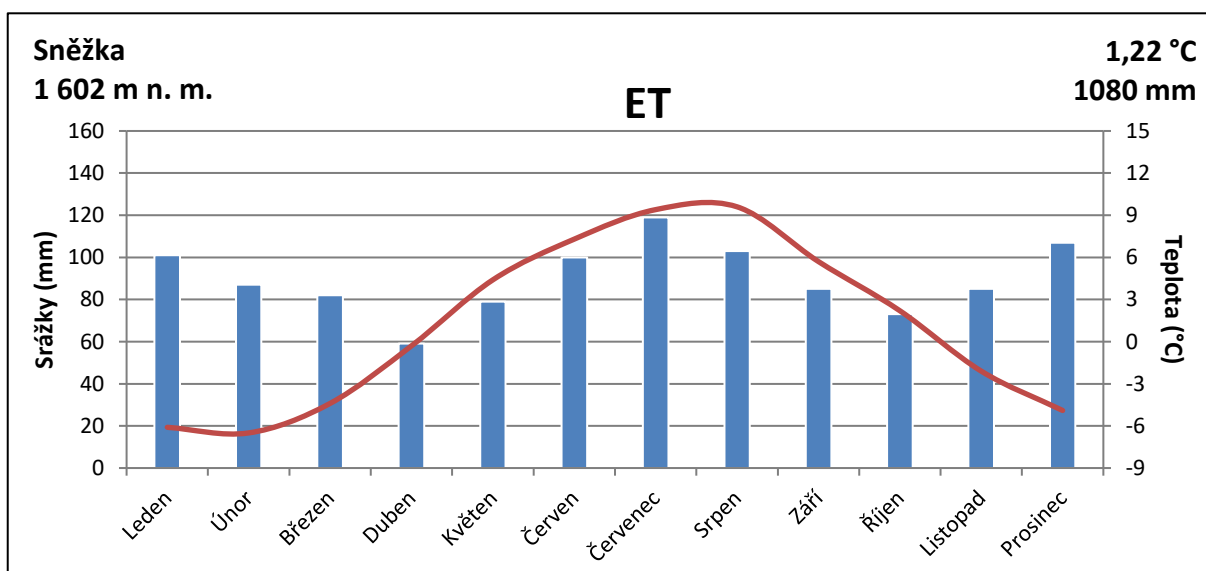
#### 7.1.1. Teplota vzduchu

Pro analýzu teplotních poměrů vzduchu bylo užito hlavně průměrných denních a měsíčních teplot vzduchu ze stanice Pec pod Sněžkou (816 m n. m.). Jde o jedinou stanici měřící teplotu vzduchu mimo vrcholové partie přímo v zájmovém území. Další stanice měřící teplotu vzduchu v povodí nalezneme na polské straně vrcholu Sněžky (1 603 m n. m.) a těsně za hranicí povodí u Luční boudy (1 413 m n. m.). Hlavní roli v oblasti hraje právě nadmořská výška, v menší míře pak také konfigurace terénu, což je patrné například u rozdílných teplot na závětrné a návětrné straně hor. Na vrcholu Sněžky je průměrná roční teplota vzduchu pro sledované období 1981-2020 na hodnotě 1,22°C s patrným nárůstem, zejména v posledních letech, kdy mezi roky 2014-2020 pouze dva roky (2016, 2017) nebyla zaznamenána nižší průměrná roční teplota než 2°C. Směrem dolů do údolí s nižší nadmořskou výškou teplota vzduchu stoupá. V Peci pod Sněžkou je pro stejné období průměrná roční teplota již 5,17°C a ve stanici Trutnov (437 m n. m.), která se nachází přibližně 4,3 km daleko směrem na jih od závěrového profilu v Horním Starém Městě, má

hodnotu 7,4°C. Ovšem tato hodnota vychází pouze z období let 2014-2020, protože stanice do roku 2014 teplotu vzduchu nezaznamenávala. Průměrná hodnota je tak nejspíše nadhodnocena, protože toto krátké období obsahuje několik nadprůměrně teplých let. Roční chod teploty vzduchu ve stanici Pec pod Sněžkou je zobrazen pomocí klimagramu na obr. 9 a na obr. 10 pro stanici Sněžka. Je vidět, že nejchladnějším měsícem je ve stanici Pec pod Sněžkou leden, ale pro stanici Sněžka vlivem nadmořské výšky je toto minimum posunuté do února a podobně tomu je v případě nejteplejšího měsíce, kdy na Sněžce jím není červenec jako v Peci pod Sněžkou, ale měsíc srpen.

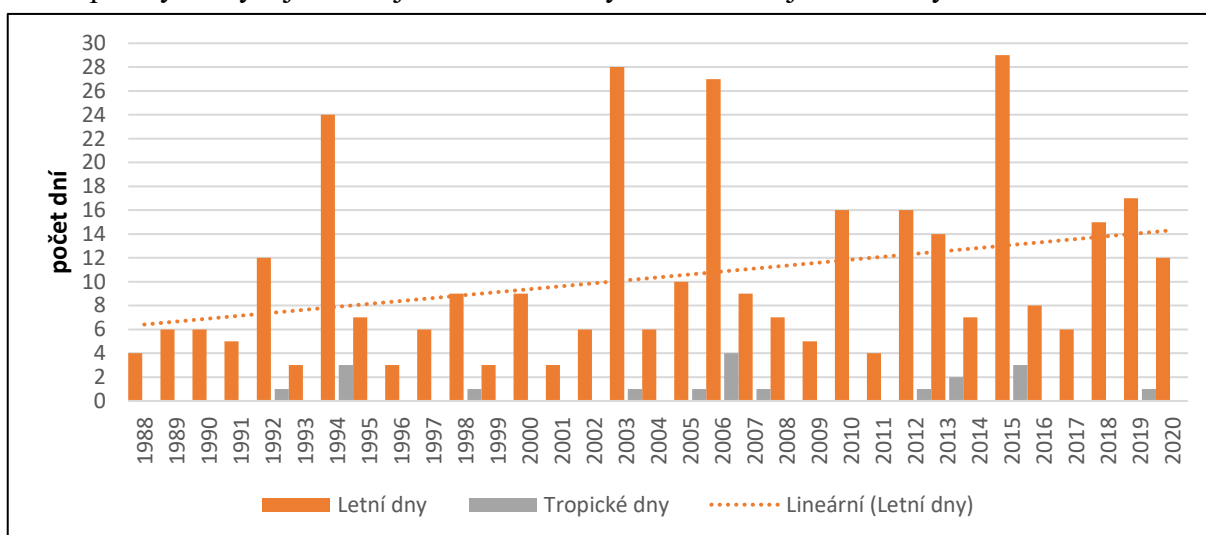


Obr. 9: Klimagram ze stanice Pec pod Sněžkou vytvořený z dat 1981-2020  
(Zdroj: vytvořeno z dat ČHMÚ, 2023b)



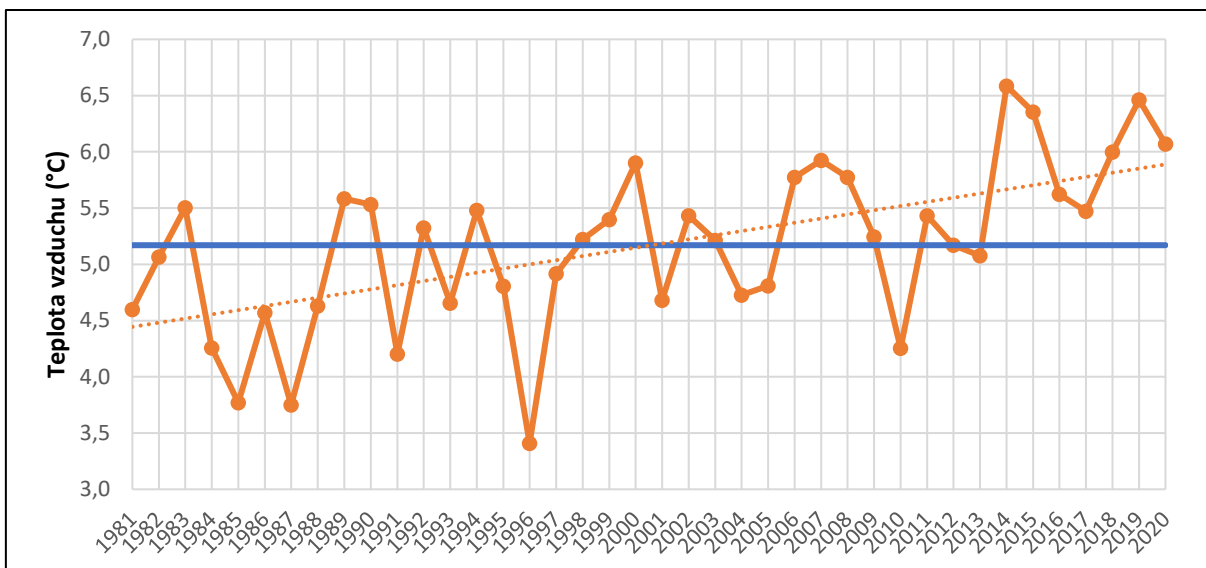
Obr. 10: Klimagram ze stanice Sněžka (PL) vytvořený z dat 1981-2020  
(Zdroj: vytvořeno z dat IMGW-PIB, poskytnutých v rámci projektu TAČR, 2023)

Velmi často v oblasti nastávají tzv. mrazové dny. V tyto dny teplota vzduchu klesne pod 0°C. V Peci pod Sněžkou jich nastává pro období 1988-2020 průměrně 151 za rok. Za totožné období ve stejné stanici počet ledových dnů (46,45 dne za rok), kdy teplota za celý den nepřekročí 0°C, výrazně převyšuje počet dnů letních (10,36 dne za rok), kdy teplota vzduchu překročí 25°C. Počet letních dní v průběhu let narůstá a je i statisticky signifikantní na 5% hladině spolehlivosti, což je potvrzeno MK testem s hodnotou **2,37**. Nejvíce letních dní bylo zaznamenáno v roce 2015 – 29 dní a 2003 – 28 dní (graf 2). Tropické dny, kdy teplota vzduchu překročí 30°C, jsou zde ojedinělé a případně jsou spíše v jižní části povodí v oblasti nižší nadmořské výšky. V Peci pod Sněžkou bylo mezi lety 1988-2020 zaznamenáno pouze 18 tropických dní. Pro období 1981-1987 jsou k dispozici pouze průměrné denní hodnoty teploty vzduchu, proto jsou výsledky uváděny od roku 1988, ale i přes tyto chybějící data je možné z dat vyvodit vcelku jasné závěry.



Graf 2: Vývoj počtu letních a tropických dnů ve stanici Pec pod Sněžkou za období 1988-2020  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023b)

I v této oblasti je patrný nárůst teploty vzduchu vlivem globálního oteplování. Za sledované 40leté období se průměrná roční teplota ve stanici Pec pod Sněžkou zvýšila téměř o 1,5°C, což dokresluje graf 3, ze kterého jsou patrné hlavně teplotně nadprůměrné roky posledních let od roku 2013. Tento nárůst je potvrzen také MK testem s hodnotou **3,46** a signifikancí na 1% hladině spolehlivosti. Statisticky významný nárůst průměrné teploty vzduchu zjistil MK test hlavně pro měsíce duben, červen, srpen či listopad (tabulka 15). Nárůst teplot vzduchu je pozorován skrze celý rok, nejvýznamnější je pak v období léta, což může napomáhat letním obdobím sucha. Zároveň i nárůst v dubnu bude patrně vést k rychlejšímu a dřívějšímu odtávání sněhové pokrývky. Jediný zaznamenaný pokles je statisticky nevýznamný.



Graf 3: Průměrné roční teploty vzduchu na stanici Pec pod Sněžkou za období 1981–2020 (modrou čarou je znázorněn průměr za celé období, přerušovanou oranžovou pak lineární trend vývoje průměrných ročních teplot)  
(Zdroj: vytvořeno z dat ČHMÚ, 2023b)

Tabulka 15: Výsledky MK testu pro průměrné teploty vzduchu jednotlivých měsíců ve stanici Pec pod Sněžkou za období 1981–2020. Tučně jsou zvýrazněny statisticky významné na hladině spolehlivosti  $\alpha=0,05$ ; \* jsou označeny hodnoty významné na hladině spolehlivosti  $\alpha=0,01$

| Sledované období | MK statistika | p-hodnota                               |
|------------------|---------------|-----------------------------------------|
| Leden            | 0,29          | 0,77                                    |
| Únor             | 1,83          | 0,07                                    |
| Březen           | 0,36          | 0,72                                    |
| Duben            | <b>3,37*</b>  | <b><math>7,6 \times 10^{-4}</math></b>  |
| Květen           | -0,22         | 0,82                                    |
| Červen           | <b>3,41*</b>  | <b><math>6,4 \times 10^{-4}</math></b>  |
| Červenec         | 1,60          | 0,11                                    |
| Srpen            | <b>2,24</b>   | <b>0,03</b>                             |
| Září             | 0,52          | 0,60                                    |
| Říjen            | 0,64          | 0,52                                    |
| Listopad         | <b>2,99*</b>  | <b><math>2,75 \times 10^{-3}</math></b> |
| Prosinec         | 1,92          | 0,05                                    |
| Roční            | <b>3,46*</b>  | <b><math>5,4 \times 10^{-4}</math></b>  |

Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023b

### 7.1.2. Srážky

Pro analýzu srážek byla užita hlavně data ze stanice Horní Maršov, protože data z této stanice jsou bez výpadků, a navíc se zde nachází i limnigraf zaznamenávající průtoky na Úpě, což je ideální situace pro analýzu S-O režimu. Data z této stanice jsou doplněna o data ze stanic Pec pod Sněžkou a Sněžka. Všechny výsledky jsou uváděny pro stanici Horní Maršov, není-li uvedeno jinak.

Množství srážek v zájmovém území velmi rychle narůstá v S-SZ směru do nitra pohoří (příloha 16). Mírný srážkový stín nalezneme na východní straně za Rýchory, v oblasti směrem k Žacléři. Průměrné roční úhrny se v zájmovém území pohybují od hodnot okolo 900 mm v JV části povodí až po 1 400 mm v horských údolích a vrcholových částech pohoří v SZ části oblasti. Pro srovnání v Peci pod Sněžkou je průměrný roční úhrn za sledované období 1981-2020 1 322 mm, kdežto na vrcholu Sněžky okolo 1 080 mm, což napovídá, že v horských údolích je úhrn nejspíše vyšší oproti vrcholové části pohoří, to ovšem může být také způsobeno velkou chybovostí měření v této nadmořské výšce vlivem větru a měřeními v zimním období, které nejsou zcela přesné. Směrem k závěrovému profilu srážkové úhrny již jasně klesají, v Horním Maršově je za toto období průměrný roční úhrn 1 037 mm.

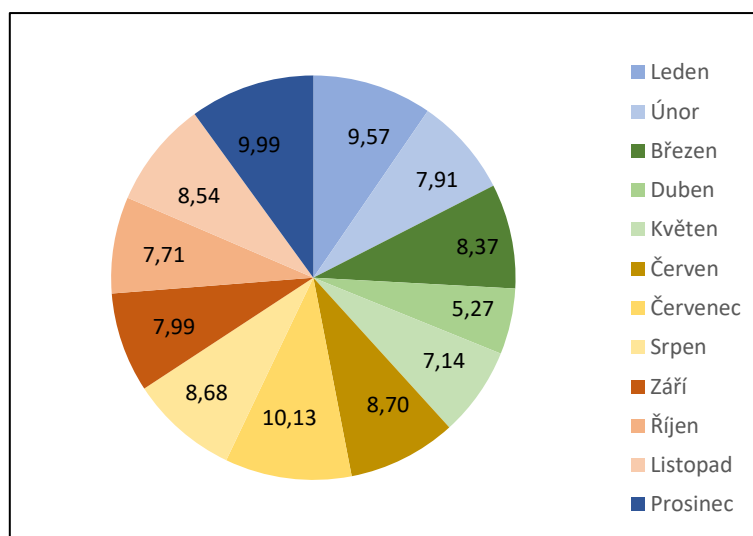
Tabulka 16 obsahuje krátký výčet některých let s nižšími či vyššími srážkovými úhrny za jednotlivé hydrologické roky. Důležité je zmínit, že údaje v tabulce znázorňují pouze procentuální podíl daného ročního období na celkovém ročním úhrnu srážek, nejde o absolutní čísla. Velmi často je zřejmé, že pokud v daný hydrologický rok a dané období evidujeme vyšší (nižší) úhrny, tak je zvýšený (nižší) i průtok (například nízké průtoky a srážky hydrologického léta 2008 a 2019, či naopak vysoké v létě 1997 a 2006), viz tabulka 21 v kapitole odtokové poměry. Není tomu ovšem vždy, protože analyzujeme pouze roční období, nikoliv jednotlivé měsíce a nebereme v úvahu další podstatné faktory jako nasycenost povodí atd. Detailnější náhled do rozložení srážek v jednotlivých měsících daného hydrologického roku obsahuje graf v příloze 15. Z grafu jsou vidět kupříkladu srážkově chudá léta 2018 a 2019 oproti předešlému období. Zřejmá jsou také častější srážkově chudší jara (2011, 2012, 2016, 2020). Ačkoliv rozložení srážek do měsíců napříč hydrologickými roky variuje, tak graf potvrzuje celkové rovnoměrné rozložení srážek v roce napříč celým obdobím.

Tabulka 16 – Příklad hydrologických let s nízkými a vysokými srážkovými úhrny za jednotlivá roční období let 1981-2020 pro stanici Horní Maršov

|              | Jaro                   | Léto                   | Podzim                 | Zima                      |
|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|
| Nízké úhrny  | 2002, 2012, 2016, 2020 | 1983, 1994, 2008, 2018 | 1995, 2000, 2004, 2012 | 1991-92, 1996, 2009, 2014 |
| Vysoké úhrny | 1982, 1985, 1992, 2000 | 1991, 1997, 2006, 2012 | 1984, 1986, 1998, 2016 | 1983, 1987, 1995, 2012    |

Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023b

Ve vegetačním období jsou zpravidla mírně vyšší celkové srážkové úhrny ve vyšších nadmořských výškách, což je patrné na stanici Sněžka z obr. 11. V nižších nadmořských výškách ale obecně lze konstatovat, že rozložení srážkových úhrnů do jednotlivých měsíců je celkem rovnoměrné (graf 4). Jednoznačně nejméně srážek průměrně je zaznamenáváno v dubnu, v průměru 5,27 % ročního úhrnu srážek, kdežto na všechny ostatní měsíce připadá 7-10 %. Pro duben je zaznamenán i jediný statisticky signifikantní pokles průměrných měsíčních srážek pomocí MK testu ( $-2,25$ ;  $\alpha=5$  %), viz. tabulka 17. Duben je společně s únorem měsícem, kdy jsou nejčastěji zaznamenány srážková měsíční minima v průběhu roku. Naopak srážkově nejbohatší měsíce jsou poměrně rovnoměrně rozloženy do celého roku, nejvíce jich připadá na zimní měsíce – prosinec a leden. Na základě srovnávací analýzy ale lze vyzorovat mírné změny v rozložení srážkových maxim a minim mezi obdobími hydrologických let 1981-2000 a 2001-2020. U srážkových minim byla v období 1981-2000 patrná dominance dubna a února, občasně se minimum vyskytlo v prosinci, v říjnu či v některém z letních měsíců. V rozmezí 2001-2020 přetrvávají minima v dubnu a únoru, ale ubylo minim v letním období, hlavně na úkor listopadu, který v předešlém období nezaznamenal minimum žádné, a zvýšení podílu je také u října (viz příloha 15). V listopadu, ale i říjnu se v oblasti mohou již vyskytovat srážky sněhové, tudíž tento fakt může vést k poklesu celkových sněhových úhrnů. Maxima srážek jsou v období 1981-2000 vyjma dubna a května rozložena do všech měsíců, nejvíce do ledna a března. V letech 2001-2020 došlo k významné změně rozložení srážkových maxim, kdy březnová maxima zcela vymizela a mnoho maxim je pozorováno pro prosinec.



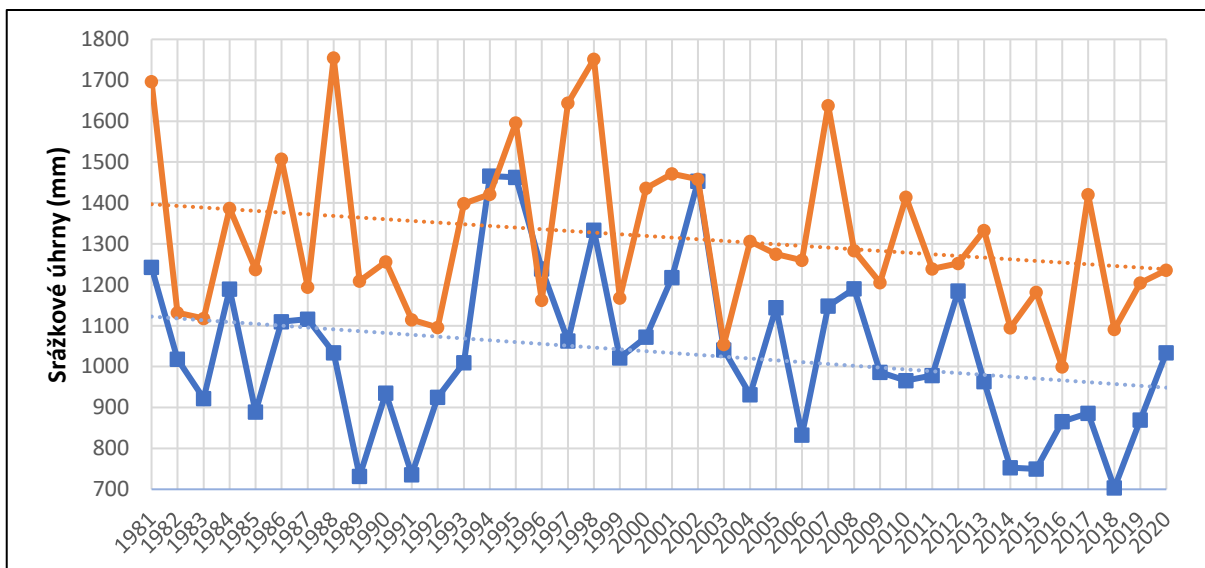
Graf 4: Měsíční rozložení srážkových úhrnů v procentech pro období 1981-2020 ve stanici Horní Maršov  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a)

Tabulka 17: Výsledky MK testu pro srážkové úhrny jednotlivých měsíců ve stanici Horní Maršov za období 1981-2020. Tučně jsou zvýrazněny statisticky významné na hladině spolehlivosti  $\alpha=0,05$

| Sledované období | MK statistika | p-hodnota   |
|------------------|---------------|-------------|
| Leden            | -1,07         | 0,28        |
| Únor             | -0,50         | 0,62        |
| Březen           | -0,73         | 0,46        |
| Duben            | <b>-2,25</b>  | <b>0,02</b> |
| Květen           | -0,10         | 0,92        |
| Červen           | -0,13         | 0,90        |
| Červenec         | 0,13          | 0,90        |
| Srpen            | -0,03         | 0,97        |
| Září             | -0,29         | 0,77        |
| Říjen            | 0,31          | 0,75        |
| Listopad         | -0,97         | 0,33        |
| Prosinec         | -0,06         | 0,95        |
| Roční            | -1,83         | 0,07        |

Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023b

Je zřejmý trend poklesu srážkových úhrnů v období posledních 40 let pro stanici Horní Maršov i Pec pod Sněžkou (graf 5) i přesto, že není statisticky signifikantní na hladině významnosti 5 %, a to o více než 150 mm pro obě stanice. Od roku 2014 pouze rok 2017 dosahoval nadprůměrných srážkových hodnot ve stanici Pec pod Sněžkou a ve stanici Horní Maršov těchto hodnot nedosáhl ani rok 2017. Rok 2016 (s pouhými 999 mm) a 2018 patřily k nejsušším v historii měření ve stanici Pec pod Sněžkou. Ve stanici Horní Maršov byl nejsušší rok 2018 se 703 mm a roky 2014 a 2015 byl zaznamenán úhrn okolo 750 mm. Na rozdíl od stanice v Peci pod Sněžkou jsou zde výraznější minima i v letech 1989 a 1991, 732 a 735 mm. Naopak nejvyšší zaznamenané úhrny byly naměřeny v letech 1994, 1995 a 2002 v Horní Maršově s hodnotami nad 1 450 mm, v Peci pod Sněžkou jsou srážkově nejbohatší roky 1997 a 1988 s úhrny nad 1 750 mm. Z toho je patrné, že i přes svoji geografickou blízkost hraje konfigurace terénu v oblasti zřejmě svoji roli v distribuci srážek dané oblasti. Nejintenzivnější srážkové úhrny jsou spjaty s bouřkovou činností. Pro stanice Horní Maršov, Pec pod Sněžkou i Sněžku jsou 3 nejvyšší srážkové úhrny zaznamenány v červnu, červenci či srpnu (tabulka 18). Nejvyšší srážkový úhrn zaznamenal 6. července 1997 srážkoměr v Peci pod Sněžkou - 133,3 mm. Za celý červenec 1997 stanice naměřila srážkové úhrny 533 mm. U extrémních srážek nad 20 mm/den bylo zjištěno, že jejich podíl na celkovém ročním úhrnu je v průběhu období let 1981-2020 téměř neměnný a pohybuje se okolo 30 % celkového ročního úhrnu, v maximech jako v letech 1984, 1997, 2002, 2003, 2007 či 2012 dosahují až 45 %. Mírně ubývá počtu dní v roce s těmito extrémními úhrny, od roku 2013 jich nebylo více než 9 za rok (viz graf v příloze 15).



Graf 5: Roční úhrny srážek na stanici Pec pod Sněžkou (oranžová) a Horní Maršov (modrá) za období 1981–2020 (plnou čarou je průměrný úhrn za toto období a přerušovanou modrou čarou je zázorněn lineární trend vývoje úhrnů srážek)  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023b)

Tabulka 18: Nejvyšší zaznamenané srážkové úhrny v povodí za období 1981-2020

| Stanice         | Datum zaznamenání úhrnu | Srážkový úhrn (mm) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|
| Horní Maršov    | 1.6.2013                | 130,3              |
|                 | 6.7.1997                | 85,0               |
|                 | 12.6.1996               | 83,5               |
| Pec pod Sněžkou | 6.7.1997                | 133,3              |
|                 | 7.8.2006                | 125,6              |
|                 | 19.7.1997               | 117,3              |
| Sněžka          | 31.8.2002               | 118,3              |
|                 | 18.7.1997               | 107,7              |
|                 | 19.7.1981               | 95,1               |

Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023b

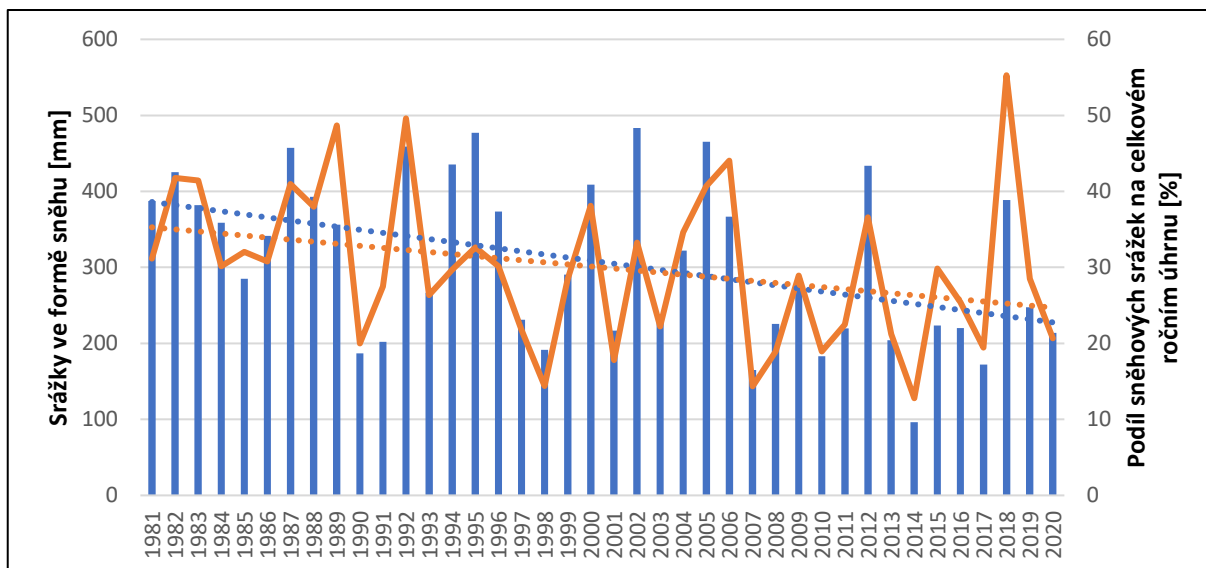
### 7.1.3. Sníh

Pro charakteristiku množství srážek ve formě sněhu bylo užito dat ze stanice Pec pod Sněžkou, protože tato stanice měří i teplotu vzduchu, což je nezbytný předpoklad k provedení analýzy sněhu, protože samotné sněhové srážky nejsou měřeny, a jsou tak odvozeny ze srážkových dat tak, že všechny srážky při teplotě pod 0°C jsou brány za sněhové. Data ohledně délky trvání sněhové pokrývky jsou dostupná, nevycházejí tedy z kombinace dat srážek a teplot. Při charakterizování délky trvání sněhové pokrývky a její výšce bylo ale využito dat ze stanice Horní Maršov. Tato data jsou sice nekompletní, chybí údaje za období 1. 1.-31. 5. 1987, 1. 2.-30. 6. 1988 a 1. 1.-31. 1. 1992, ale ve stanici Pec pod Sněžkou chybí data od roku 1981-1988 proto bylo využito dat z této stanice při analýze doby trvání sněhové pokrývky. I bez těchto 3 období ale lze usuzovat poměrně jasné závěry o délce trvání sněhové pokrývky.



Významnou roli jak na odtoku, tak na formě srážek v oblasti hraje sněhová pokrývka. Ve vyšších nadmořských výškách, například na vrcholu Sněžky, mohou pevné srážky tvořit i přes 50 % ročního úhrnu. První sníh se může v oblasti vrcholů Krkonoš vyskytovat již v říjnu, ojediněle již v září a nejpozději v květnu, zřídka v červnu, zpravidla je zde souvislá sněhová pokrývka od listopadu do dubna, ale doba jejího trvání se v posledních letech snižuje. Za posledních 40 let délka trvání sněhové pokrývky v Horním Maršově klesla o více než 35 dní. Na této stanici je minimem zima v roce 2007, kdy zde sníh ležel pouze 38 dní, naopak maximem je zima 1996 se 165 dny. Od zimy roku 2007 přesáhla doba trvání sněhové pokrývky 100 dní pouze v období zim 2010-2013 a v zimě roku 2018. S poklesem trvání sněhové pokrývky klesá i celkový počet sněhových srážek a průměrná vrstva sněhu, která maxima dosahuje zpravidla v únoru či březnu. Například v zimě hydrologického roku 2014 a 2016 nedosahoval sníh na stanici v Horním Maršově výšky 30 cm jediný den. Největší akumulace sněhu budou pravděpodobně na závětrných stranách anemo-orografických systémů, jako je třeba východní svah Studniční hory a sněhová pokrývka zde vydrží nejdéle, viz. například Mapa republiky mizící často začátkem léta.

Celkové množství sněhových srážek v oblasti klesá s ohledem na nárůst teploty, tudíž srážky přechází do své kapalné formy. Z grafu 6 je patrné, že za sledované období 1981-2020 ve stanici Pec pod Sněžkou kleslo množství srážek ve formě sněhu o více než 150 mm a patrný je i pokles podílu sněhových srážek na celkovém ročním úhrnu o přibližně 10 %. Signifikantní pokles nám potvrzuje MK test, který pro rok uvádí hodnotu  $(-2,57; \alpha=5 \%)$  (tabulka 19). Hlavní statisticky signifikantní pokles na 5% hladině spolehlivosti je pro měsíc duben  $(-1,99)$ , což zřejmě plyne z toho, že v tomto období už jsou teploty vzduchu vyšší a navíc pro duben vyšel signifikantní pokles i u úhrnu srážek obecně. Hlavní příspěvek k ročnímu úhrnu sněhových srážek mají měsíce leden a prosinec, dohromady téměř 50 %, proto oteplení v těchto měsících či jakákoliv obleva v tomto období má důsledky na sněhovou pokrývku v celé zbytku zimní sezóny, navíc s dřívějším nástupem hlavního jarního tání. Mezi obdobími 1981-2000 a 2001-2020 došlo ke změně měsíce, kdy sněhové srážky tvoří maximální podíl na celkovém srážkovém úhrnu, konkrétně z prosince na leden.



Graf 6: Vývoj množství srážek ve formě sněhu (modře) a podílu těchto srážek na celkovém ročním úhrnu (oranžově) ve stanici Pec pod Sněžkou za období 1981-2020 (prerušovanou čarou vyznačen lineární trend)  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023b)

Tabulka 19: Výsledky MK testu pro sněhové srážky jednotlivých měsíců ve stanici Pec pod Sněžkou za období 1981-2020. Tučně jsou zvýrazněny statisticky významné na hladině spolehlivosti  $\alpha=0,05$ ; \* velmi malý vzorek měření

| Období   | MK statistika | p-hodnota   |
|----------|---------------|-------------|
| Leden    | -0,17         | 0,86        |
| Únor     | -0,94         | 0,35        |
| Březen   | -1,00         | 0,32        |
| Duben    | <b>-1,99</b>  | <b>0,05</b> |
| Říjen    | 0,36*         | 0,72        |
| Listopad | -1,67         | 0,10        |
| Prosinec | -1,40         | 0,16        |
| Rok      | <b>-2,57</b>  | <b>0,01</b> |

Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023b

#### 7.1.4. Odtokové poměry

Všechny hodnoty odtoku v této podkapitole jsou vztaženy k hlásnému profilu v Horním Maršově, přibližně v polovině toku Úpy zájmovým povodím. Další profily zde jsou v Horním Starém Městě a Obřím dole pro Úpu a na Modrém potoce v Modrém dole.

##### 7.1.4.1. Denní průtoky ( $Q_d$ )

Na základě hodnocení variability denních průtoků bylo zjištěno, že období hydrologických let 1981-2000 je variabilnější než následné období 2001-2020 (tabulka 20). Mezi nejvariabilnější roky dle decilové odchylky a variačního koeficientu ( $C_v$ ) řadíme roky 1987 a 2002. Dle variačního koeficientu (a čáry překročení m-denních průtoků) je velmi variabilní i rok 1997, kde toto sice nepotvrzuje decilová odchylka, což je zřejmě způsobeno počtem dní, kdy byly překročeny vysoké, či naopak nepřekročeny nízké vodní stavy, což má

vliv na hodnocení decilovou odchylkou, která pro svůj výpočet využívá hodnot  $Q_{30}$  a  $Q_{330}$ . Naopak nejméně variabilní jsou roky 2014, 2016 či 2020. Právě tyto roky posledního hodnoceného desetiletí vykazují výrazně nižší variabilitu a celkově nižší maximální vodní stavy. Na čarách překročení denních průtoků lze také vyzorovat variabilitu průtoků v daném roce, ale také dobu trvání nízkých vodních stavů (příloha 17). Kupříkladu rok 2003 je charakteristický svojí nízkou maximální hodnotou průtoků a nízkou variabilitou, naproti tomu rok 2011 si přes relativně nízkou variabilitu zachovává vysoké minimální hodnoty průtoků, což ze samotných koeficientů není možné vyčíst, k tomu napomáhá právě čára překročení denních průtoků.

Tabulka 20: Vyhodnocení variability denních průtoků v jednotlivých hydrologických rocích a obdobích

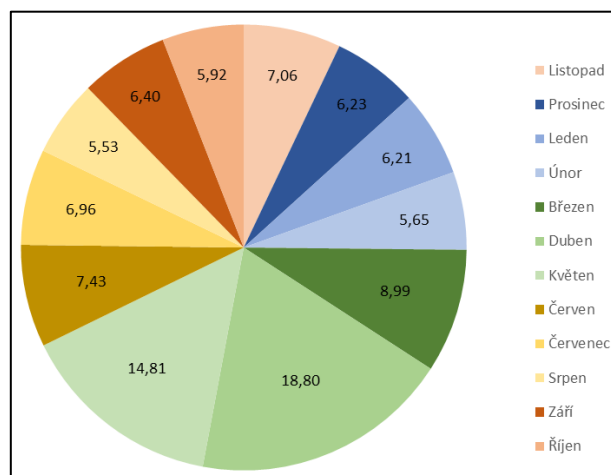
| Hodnocené období (rok)         | Decilová odchylka | Variační koeficient ( $C_v$ ) |
|--------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| <b>Celé období (1981-2020)</b> | 0,48              | 0,90                          |
| <b>1981-2000</b>               | 0,51              | 0,96                          |
| <b>2001-2020</b>               | 0,45              | 0,85                          |
| <b>1987</b>                    | 0,77              | 1,45                          |
| <b>1997</b>                    | 0,38              | 1,45                          |
| <b>2002</b>                    | 0,94              | 1,53                          |
| <b>2014</b>                    | 0,17              | 0,49                          |
| <b>2016</b>                    | 0,27              | 0,56                          |
| <b>2020</b>                    | 0,27              | 0,55                          |

Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a

#### 7.1.4.2. Měsíční průtoky ( $Q_m$ )

Na základě analýzy odtoku v období 1981–2020 je patrný sezónní trend odtoku. Maximálních hodnot dosahuje v jarních měsících při tání sněhu, kdy jsou povětšinou zaznamenávány i  $Q_{max}$  (nejčastěji v dubnu), a minimálních hodnot koncem léta až začátkem podzimu, zejména v září nebo koncem zimy v únoru, kdy jsou nízké teploty vzduchu znemožňující tání sněhu a nižší srážkové úhrny. Při srovnání období 1981-2000 a 2001-2020 je ovšem patrný posun v těchto maximech a minimech. Nejpatrnější je posun květnových odtokových maxim, které v období 1981-2000 tvořily 30 % všech maxim, ale v následujícím období tato maxima téměř vymizela s tím, jak dříve taje sněhová pokrývka a přesunula se ještě více do dubna. U minim došlo k méně patrným změnám, hlavně přibýlo odtokových minim v září či lednu a ubylo jich v srpnu a říjnu. Odtok v průběhu léta, podzimu a zimy je téměř totožný (mezi 18-20 %), odtok na jaře tvoří 43 % celkového ročního odtoku (graf 7). Jednoznačně zde vystupuje odtokové maximum v dubnu a zvýšený odtok v květnu. Ostatní měsíce mají vyrovnané odtoky. Odtokový režim je tedy dešťovo-sněhový. Z hlediska let bylo odtokově bohaté letní období 1997, 2006 či 2013, kdy oblast zasáhly letní povodně. Právě jediná odtoková maxima připadající na léto v této oblasti pochází z července 1997 a

června 2013. Tabulka 21 nabízí výčet roků s nižšími či vyššími odtoky za jednotlivá roční období hydrologických roků. Údaje v tabulce ukazují pouze procentuální podíl daného období na celkovém ročním odtoku, nikoliv absolutní čísla.



Graf 7: Rozložení odtoku do jednotlivých měsíců za období 1981-2020 na profilu Horní Maršov  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a)

Tabulka 21: Příklad hydrologických let s nízkými a vysokými odtoky za jednotlivá roční období let 1981-2020 pro profil Horní Maršov

|               | Jaro                   | Léto                   | Podzim                 | Zima                   |
|---------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Nízké odtoky  | 1997, 2001, 2011, 2014 | 1990, 2008, 2018, 2019 | 1983, 1992, 2019       | 1992, 2005, 2006, 2010 |
| Vysoké odtoky | 1992, 1994, 2019       | 1997, 2006, 2009, 2013 | 1996, 1998, 2001, 2010 | 1990, 2008, 2015, 2016 |

Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a

Statisticky signifikantní je dle MK testu pokles průměrného měsíčního odtoku hlavně v květnu ( $\alpha=1\%$ ) a červnu ( $\alpha=5\%$ ), kdy zejména v květnu jde o důsledek posunu tání do dřívějších měsíců (tabulka 23). S tím úzce souvisí i výsledky MK testu pro minimální a maximální průtoky. U minimálních  $Q_m$  je statisticky signifikantní pokles právě v květnu ( $\alpha=5\%$ ), ze stejného důvodu jako u průměrných  $Q_m$ , a velmi blízko signifikanci je i červen. Naopak březen vykazuje sice těsně nesignifikantní, ale jasně patrný nárůst hodnot minimálních  $Q_m$  právě posunem tání do dřívějších měsíců, a s tím jsou spojené vyšší minimální  $Q_m$ . U maximálních  $Q_m$  byl zjištěn signifikantní pokles pro květen, srpen a listopad (vše pro  $\alpha=5\%$ ). Dle variačního koeficientu ( $C_v$ ) a koeficientu  $K_r$  je zřejmé, že variabilita měsíčních průtoků poklesla mezi obdobími 1981-2000 a 2001-2020 (tabulka 22). Hodnoty koeficient  $K_r$  potvrzují, že odtok je v oblasti mírně nevyrovnaný.

Tabulka 22: Výsledky variačních koeficientů měsíčních průtoků za jednotlivá období

| Hodnocené období | Koeficient $K_r$ | Variační koeficient ( $C_v$ ) |
|------------------|------------------|-------------------------------|
| 1981-2000        | 4,40             | 0,52                          |
| 2001-2020        | 4,00             | 0,43                          |
| 1981-2020        | 4,22             | 0,47                          |

Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a

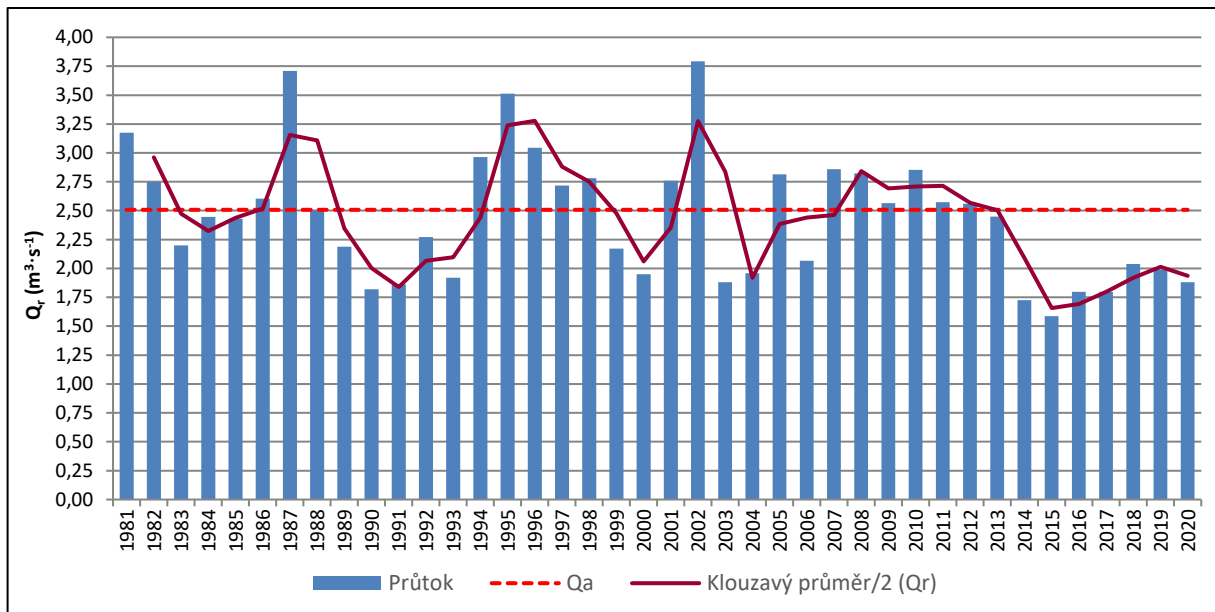
Tabulka 23: Výsledky MK testu pro průměrné, minimální a maximální průtoky jednotlivých měsíců na hlásném profilu Horní Maršov za období 1981-2020. Tučně jsou zvýrazněny statisticky významné na hladině spolehlivosti  $\alpha=0,05$ ; \* jsou označeny hodnoty významné na hladině spolehlivosti  $\alpha=0,01$

|          | Průměrné průtoky |                                      | Minimální průtoky |             | Maximální průtoky |             |
|----------|------------------|--------------------------------------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|
|          | MK statistika    | p-hodnota                            | MK statistika     | p-hodnota   | MK statistika     | p-hodnota   |
| Leden    | -1,15            | 0,25                                 | -1,32             | 0,19        | -0,49             | 0,62        |
| Únor     | 0,73             | 0,46                                 | 0,92              | 0,36        | 0,96              | 0,34        |
| Březen   | 0,64             | 0,52                                 | 1,91              | 0,06        | 0,66              | 0,51        |
| Duben    | -0,62            | 0,54                                 | 0,10              | 0,92        | -1,47             | 0,14        |
| Květen   | <b>-2,88*</b>    | <b><math>4 \times 10^{-3}</math></b> | <b>-2,07</b>      | <b>0,04</b> | <b>-2,19</b>      | <b>0,03</b> |
| Červen   | <b>-2,32</b>     | <b>0,02</b>                          | -1,93             | 0,05        | -0,98             | 0,33        |
| Červenec | -1,04            | 0,30                                 | -0,63             | 0,53        | -0,63             | 0,53        |
| Srpen    | -1,88            | 0,06                                 | -0,80             | 0,42        | <b>-2,32</b>      | <b>0,02</b> |
| Září     | -1,43            | 0,15                                 | -1,10             | 0,27        | -0,56             | 0,58        |
| Říjen    | 0,27             | 0,79                                 | -0,20             | 0,84        | 1,21              | 0,23        |
| Listopad | -0,94            | 0,34                                 | -0,20             | 0,84        | <b>-2,21</b>      | <b>0,03</b> |
| Prosinec | -0,90            | 0,37                                 | 0,19              | 0,85        | -1,33             | 0,18        |
| Rok      | <b>-2,09</b>     | <b>0,04</b>                          | 0,75              | 0,46        | -1,64             | 0,10        |

Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a

### 7.1.4.3. Roční průtoky ( $Q_r$ )

Průměrný roční odtok v období 1981–2020 na profilu Horní Maršov má hodnotu  $2,507 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Roční průměrný odtok v jednotlivých letech je znázorněn na grafu 8. Z klimatologické části byl patrný trend poklesu množství srážek v oblasti, zejména v posledním desetiletí, a tomu i odpovídají naměřené průtoky v tomto období a pokles potvrzuje i MK test (**-2,09**;  $\alpha=5\%$ ) pro průměrné roční průtoky (tabulka 23). Od roku 2014 do roku 2020 zaznamenáváme dle míry roční vodnosti pouze málo vodné či mimořádně málo vodné roky (2014-2017) a pouze rok 2018 těsně překročil hranici průměrného ročního odtoku  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . V tomto období byl také naměřen nejméně vodný rok 2015 s hodnotou průměrného ročního průtoky pouhých  $1,590 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Posledním vodným rokem v tomto období byl rok 2011 a mimořádně vodný dokonce až rok 2002 s nejvyšším zaznamenaným průměrným průtokem  $3,790 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Obecně tak lze konstatovat, že hodnoty ročních průměrných průtoků mají klesající tendenci. Několik posledních mimořádně málo vodných let může vést k prohloubení dopadů sucha na celou oblast, na hladinu podzemní vody atd. Malá kvantita vody v posledních letech může v důsledku vést i ke snížení její kvality.

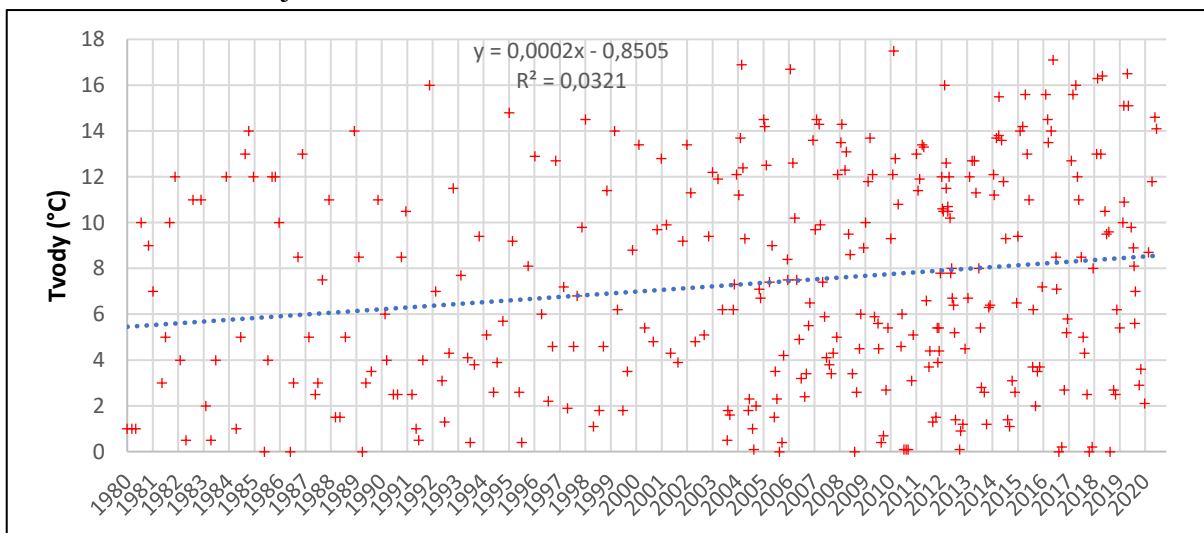


Graf 8: Průměrné roční průtoky mezi lety 1981-2020 na profilu Horní Maršov  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023b)

## 7.2. Dlouhodobý časový a sezónní vývoj parametrů kvality vody

K hodnocení dlouhodobého a sezónního vývoje kvality vody byla využita data z profilu na řece Úpě v profilu Horní Staré Město, protože jde o jediný profil v zájmovém území s dlouhodobým měřením, a to od roku 1981 (ostatní profily zaznamenávají data od roku 2008 a navíc nepravidelně). Při sezónním hodnocení je třeba brát na vědomí malý počet (či zcela chybějící) měření v zimních měsících, zejména v prosinci. Při malém počtu měření mohou nastat výrazné odchylky vlivem rozdílných podmínek při měření, data tak nejsou zcela reprezentativní. Hodnoty MK testu jsou v této podkapitole vždy uváděny na 5% hladině spolehlivosti. Pro přehlednost jsou v práci přiloženy pouze některé grafy dlouhodobého vývoje daného parametru či jeho sezónnosti. Ostatní jsou součástí přílohy 18.

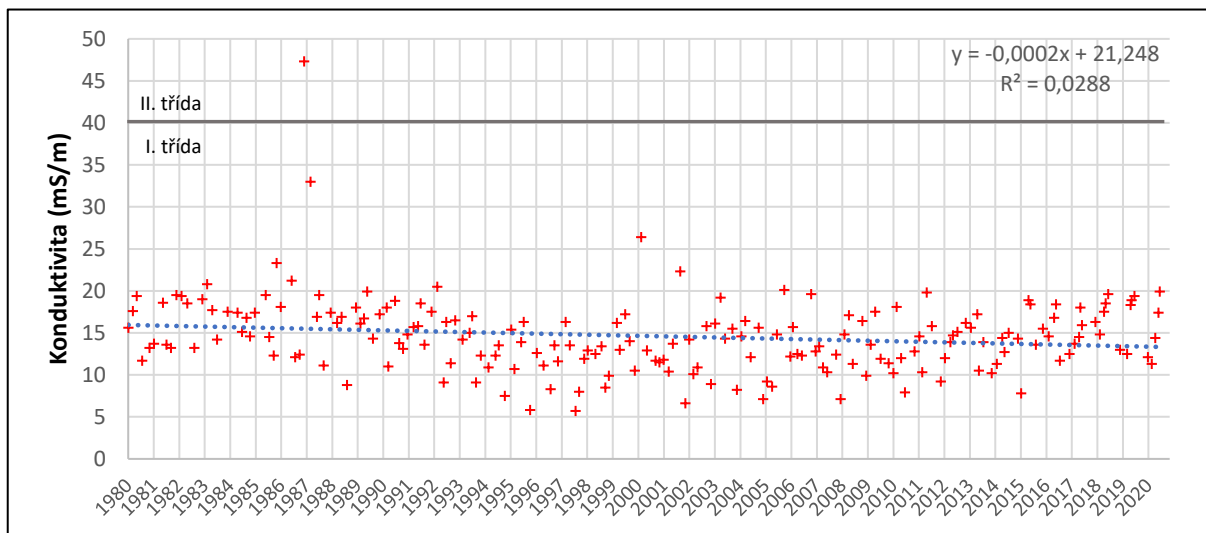
Teplota vody za dané období vyznačuje jasný statisticky signifikantní nárůst (*hodnota MK testu 3,28*). V dané období průměrná teplota vody ve vodním toku vzrostla o přibližně 3°C (graf 9). Zatímco v první dekádě sledovaného období maximální naměřené teplota vody lehce přesáhla 14°C, v posledních letech pravidelně překračuje 16°C, někdy i 17°C. Minimální hodnota je 0°C v období zámrazu vodního toku v zimním období.



Graf 9: Dlouhodobý vývoj teploty vody za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)

Nejnižší teplota vody bývá zaznamenávána v lednu či únoru, kdy průměrná teplota vody pro tyto měsíce je 1,72°C pro leden, respektive 1,65°C pro únor. Nejvyšších hodnot dosahuje v červenci (průměrná hodnota 13,65°C) a srpnu (průměrná hodnota 13,32°C). Teplota vody vykazuje jasný sezónní trend s prudším nárůstem mezi dubnem a květnem, kdy končívá tání sněhu a voda v toku tak již není tímto efektem ochlazována. Podzimní pokles je plynulejší.

Specifická konduktivita vyznačuje pokles, ten ovšem není podle MK testu statisticky signifikantní na 5% hladině spolehlivosti (*hodnota MK testu -1,94*), byť jen velmi těsně vlivem odlehých hodnot. Celkově hodnota konduktivity za dané období mírně poklesla o asi 1,5-2 mS/m. Pravidelně se pohybuje v rozmezí 5-20 mS/m, sporadicky překročí 20 mS/m (graf 10). Z těchto hodnot se vymyká pouze odlehlé pozorování ze srpna a listopadu 1987, kdy byly naměřeny hodnoty 47,3 a 33,0 mS/m.



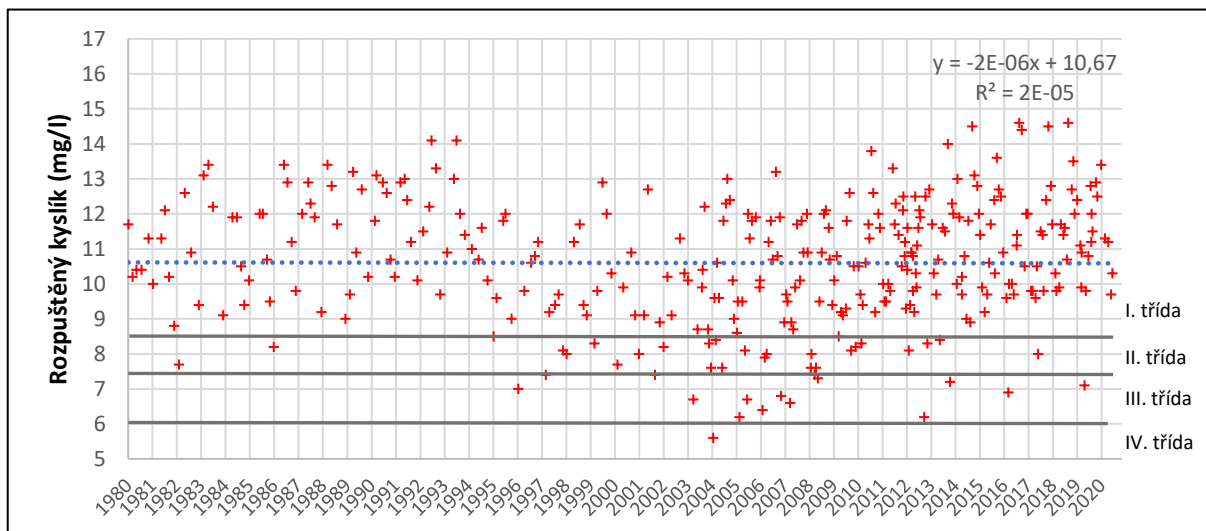
Graf 10: Dlouhodobý vývoj konduktivity za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)

V rámci sezónního vývoje je patrný pokles konduktivity do minimálních průměrných hodnot (květen 11 mS/m) v jarních měsících, což patrně souvisí s jarním táním, zvýšeným průtokem, a tím naředěním a snížením hodnot tohoto parametru. Naopak v létě následuje nárůst hodnot, protože v tomto období jsou průtoky nízké a snižuje se tak schopnost toku ředit svůj obsah. Konduktivita tak v létě, konkrétně srpnu (18,4 mS/m) vykazuje nejvyšší průměrné hodnoty. Směrem k podzimu hodnoty konduktivity klesají k průměrným hodnotám. Nelze dobře zhodnotit zimní období na základě malého počtu měření.

Hodnoty rozpuštěného kyslíku ve vodě jako jeden z mála parametrů nevykazují žádné signifikantní změny a pohybují se okolo průměrné hodnoty (10,64 mg/l) jak na začátku sledovaného období, tak k jeho konci. Pravidelně oscilují mezi 7-14 mg/l, v posledních 10 letech sledovaného období několikrát překročily 14 mg/l, naopak hlavně v desetiletí 2001-2010 pravidelně klesaly pod 7 mg/l, někdy až k 6 mg/l (graf 11). Maximální naměřenou hodnotu je 16,6 mg/l z března 2006, naopak minimální hodnota 5,6 mg/l byla zaznamenána v červenci 2004.



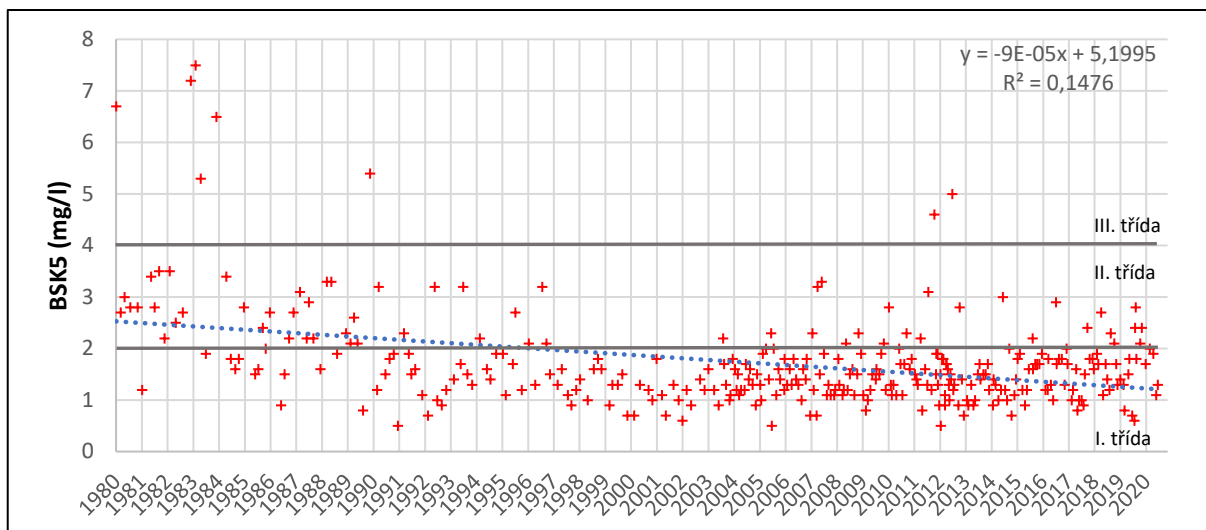
Sezónní trend rozpuštěného kyslíku je prakticky invertním k trendu teploty vody. Maxima dosahuje v zimních měsících, kdy není kyslík spotřebováván organismy, a navíc ve studené vodě se může rozpustit více kyslíku, naopak minimálních hodnot dosahuje v letních měsících, kdy je organismy spotřebováván a v teplejší vodě se hůře rozpouští.



Graf 11: Dlouhodobý vývoj koncentrací rozpuštěného  $O_2$  za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)

$BSK_5$  má signifikantní poklesový trend (*hodnota MK testu -4,13*), což naznačuje zlepšení stavu kvality vody a snížení organického znečištění. Nejvyšší hodnoty tento parametr vykazoval v počátcích měření, kdy dosahoval až hodnot nad 7 mg/l, ale postupně v čase jeho hodnota klesala a v posledních několika letech nepřekročila hodnotu 3 mg/l (graf 12). Průměrná hodnota parametru za celé období je 1,73 mg/l. V letech 1981-1990 však byla průměrná hodnota ještě 2,9 mg/l, kdežto v posledním desetiletí vybraného období 1,6 mg/l.

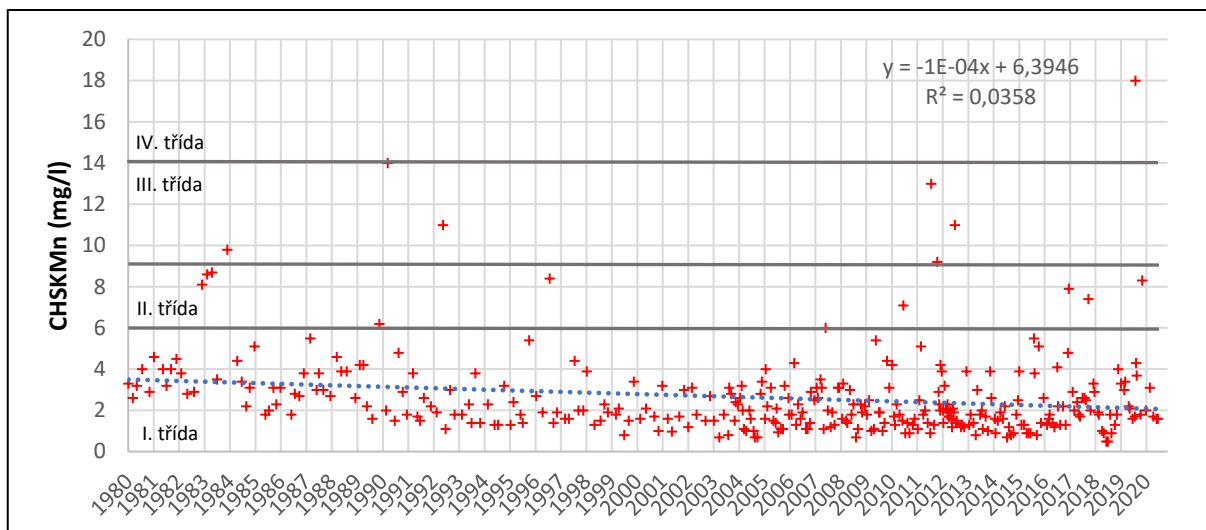
Charakteristika  $BSK_5$  není patrně příliš závislá na sezónnosti. Jde o ukazatel znečištění organickými látkami, zejména z odpadních vod, které jsou do vodního prostředí dodávány v celém roce v pravidelné míře. Navíc zimní měsíce nebylo měření provedeno v dostatečně reprezentativním počtu.



Graf 12: Dlouhodobý vývoj koncentrací BSK<sub>5</sub> za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)

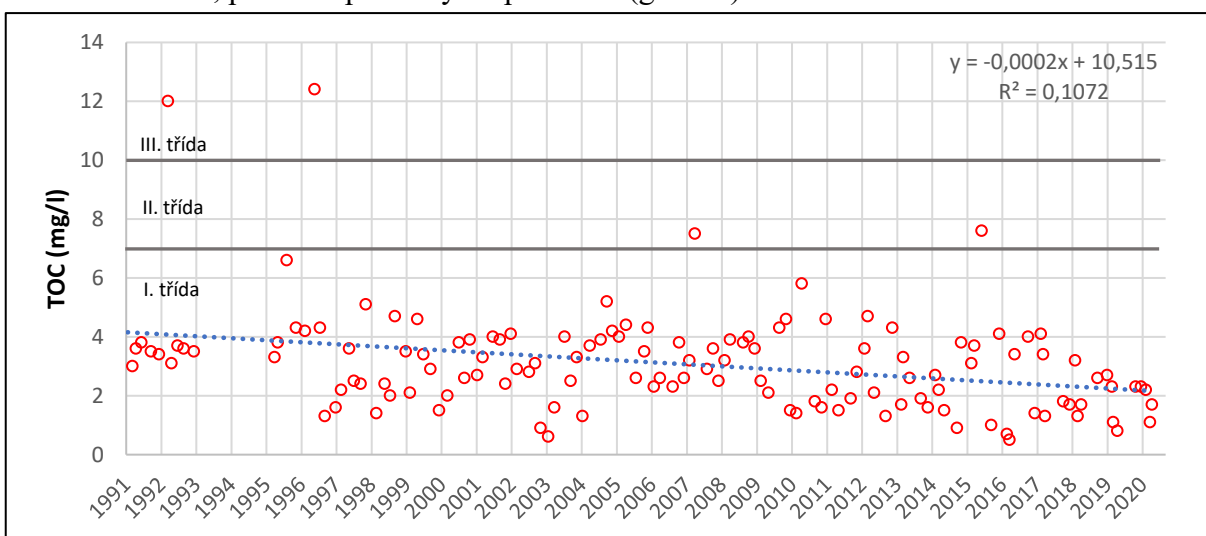
Rovněž CHSK<sub>Mn</sub> potvrzuje zlepšení kvality vody a snížení znečištění ve vodním toku signifikantním trendem poklesu (hodnota MK testu **-4,62**). Stejně jako u ukazatele BSK<sub>5</sub> v prvních části sledovaného období byly průměrné hodnoty parametru CHSK<sub>Mn</sub> vyšší, než je tomu v části druhé (graf 13). Rozdílem oproti BSK<sub>5</sub> je, že vysoké a odlehlé hodnoty byly zaznamenány i v posledních letech (maximum 18 mg/l v listopadu 2019) a jsou častější. To je nejspíše způsobeno tím, že ukazatel CHSK<sub>Mn</sub> kromě samotného organického znečištění lidského původu z odpadních vod lépe reaguje i na organické látky z rašelinišť v povodí, tedy původu přírodního.

CHSK<sub>Mn</sub> stejně jako BSK<sub>5</sub> nevykazuje výrazný sezónní trend, ale vzhledem k tomu, že se zde zapojují na kolísání hodnot parametru i rašeliniště a okolní podmáčené plochy, je možné jistý trend zaznamenat. Maximum pro listopad (3,81 mg/l) ovšem může být způsobeno již zmíněnou maximální hodnotou zaznamenanou v listopadu 2019 a dalšími dvěma vysokými hodnotami v listopadu 1990 a 2012. Z 5 nejvyšších naměřených hodnot, 3 z nich jsou naměřeny v listopadu a 1 hned začátkem prosince. Tato měření jsou navíc charakteristická zvýšeným průtokem, který bude zřejmě hlavním činitelem těchto zvýšených hodnot společně s nasycením povodí. Dále vidíme lokální maximum v období tání sněhu (duben, květen), kdy rovněž jsou zvýšené průtoky a voda z rašelinišť a podmáčených lesních oblastí se zřejmě dostává více do toku. Naopak minima jsou v letních měsících, kdy je komunikace toku s rašeliništi a okolními lesními plochami minimální vzhledem ke snížené hladině.



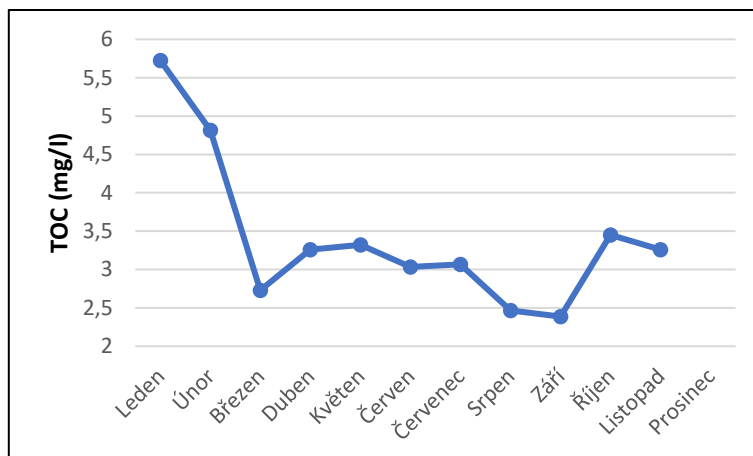
Graf 13: Dlouhodobý vývoj koncentrací CHSK<sub>Mn</sub> za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)

TOC a DOC vykazují podobně signifikantní pokles koncentrací (hodnota MK testu pro TOC **-3,83**, pro DOC **-3,26**). Tyto dva parametry stejně jako CHSK<sub>Mn</sub> a BSK<sub>5</sub> poukazují na pokles organického znečištění v oblasti. Průměrná koncentrace TOC za sledované období poklesla na polovinu z přibližně 4 mg/l na 2 mg/l. DOC, jehož hodnoty jsou logicky vždy nižší než TOC, pokleslo podobným způsobem (graf 14).



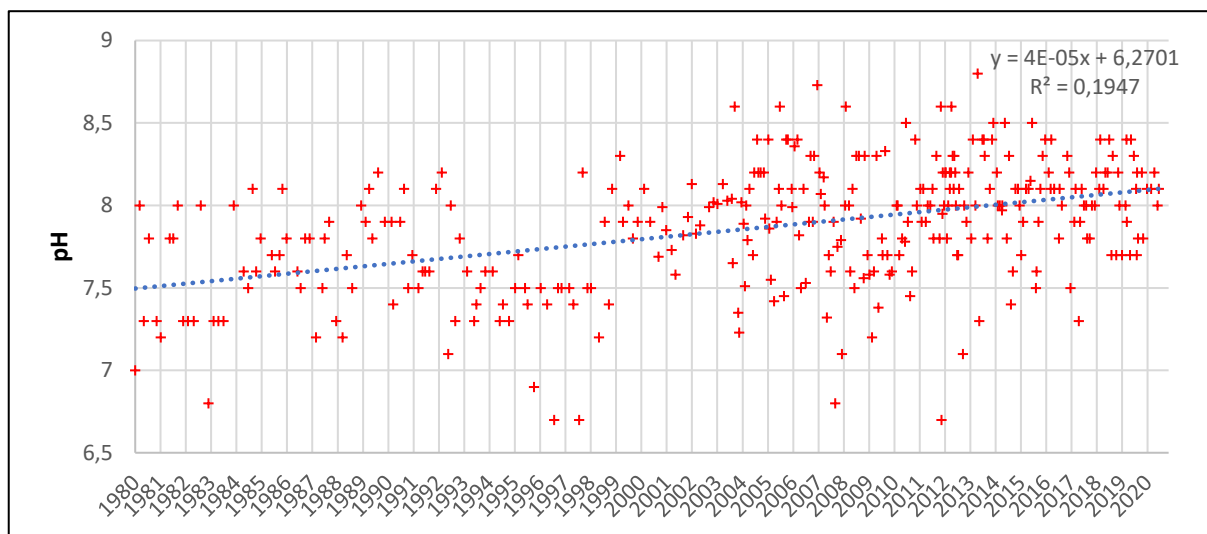
Graf 14: Dlouhodobý vývoj koncentrací TOC za období hydro. let 1991-2020 na profilu HSM  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)

Pro sezónní hodnocení vidíme, že nejnižších hodnot ukazatel TOC dosahuje koncem léta (graf 15), kdy je odtok z rašelinišť a lesů obecně nejmenší. Naopak mírně vyšší jsou v jarních měsících, kdy se rašeliniště patrně více zapojují do odtokového procesu. Vidíme výrazné maximum pro zimní období, ovšem vzorek měření v tuto část roku je malý, a proto je nutné brát tyto hodnoty pouze za orientační.



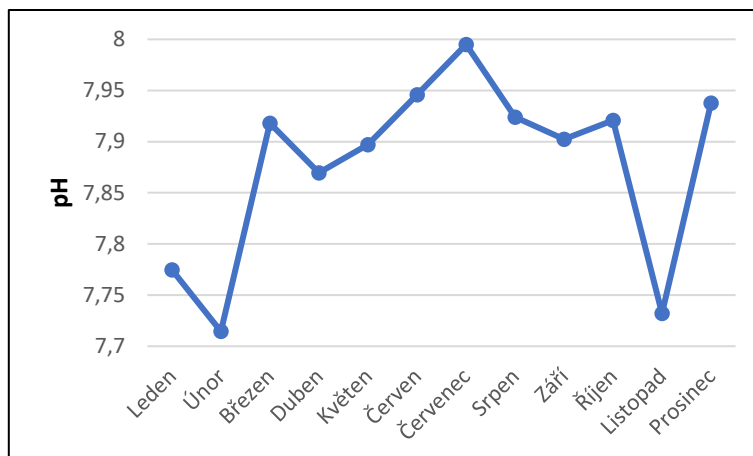
Graf 15: Sezónní trend průměrných měsíčních koncentrací TOC za období hydro. let 1991-2020 na profilu HSM  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)

Hodnoty pH vykazují velmi silný statisticky signifikantní nárůst (*hodnota MK testu 8,34*). Nárůst hodnot pH bude pravděpodobně způsoben sníženou acidifikací oblasti, která oblast zasáhla. Průměrná hodnota pH se za sledované období zvýšila o více než 0,5 hodnoty pH. Celkově pH osciluje v daném období mezi hodnotami 6,7 – 8,8 (graf 16) a od roku 2012 nekleslo pod hodnotu 7.



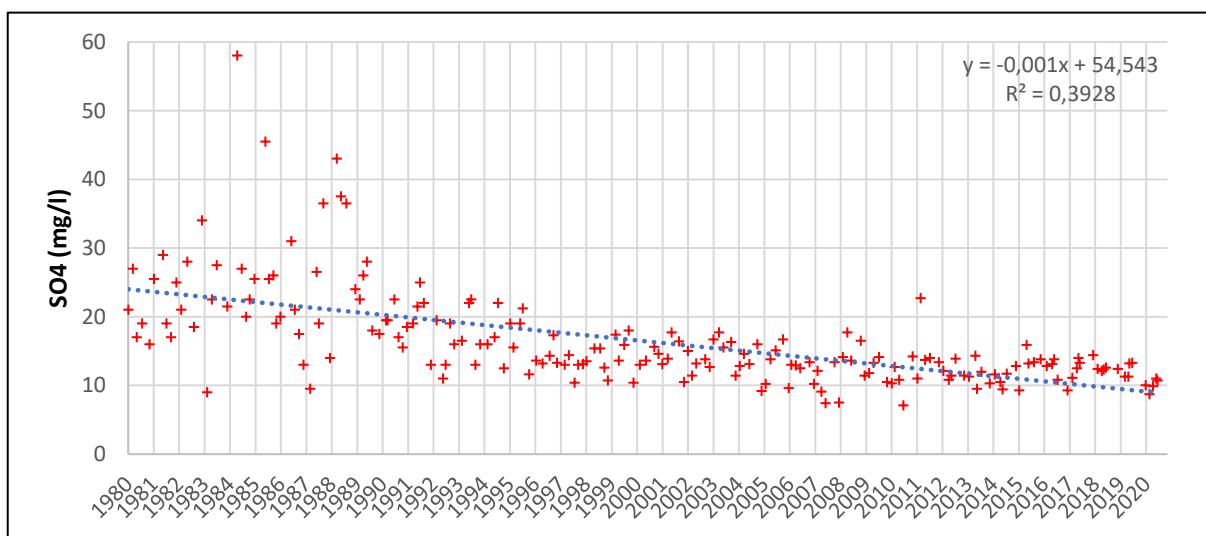
Graf 16: Dlouhodobý vývoj hodnot pH za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)

Nepatrně vyšších hodnot pH dosahuje v létě, kdy se blíží průměrně hodnotě 8 v červenci. Naopak minimálních hodnot dosahuje v zimě, kdy se blíží k hodnotě 7,7 (graf 17). Zvýšená hodnota v prosinci bude způsobena tím, že do roku 2003 neprobíhalo v prosinci měření (i lednových měření bylo méně) a hodnota pH vzrostla přibližně o 0,25 v mezidobí od roku 2003 do roku 2020.



Graf 17: Sezónní trend průměrných měsíčních hodnot pH za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)

Výrazný signifikantní pokles koncentrací je zaznamenán u koncentrací  $\text{SO}_4$  (*hodnota MK testu -10,55*). Tento zjevný pokles bude patrně důsledkem snížení emisí síry do ovzduší, s čímž souvisí i snížení acidifikace. Nejvyšší hodnoty tohoto parametru byly zaznamenány v prvních letech vybraného období s maximem 58 mg/l (graf 18). V prvních letech se hodnoty parametru běžně pohybovaly mezi 15-30 mg/l, s postupem času oscilují mezi 8-16 mg/l, tedy v přibližně o polovinu nižších hodnotách.

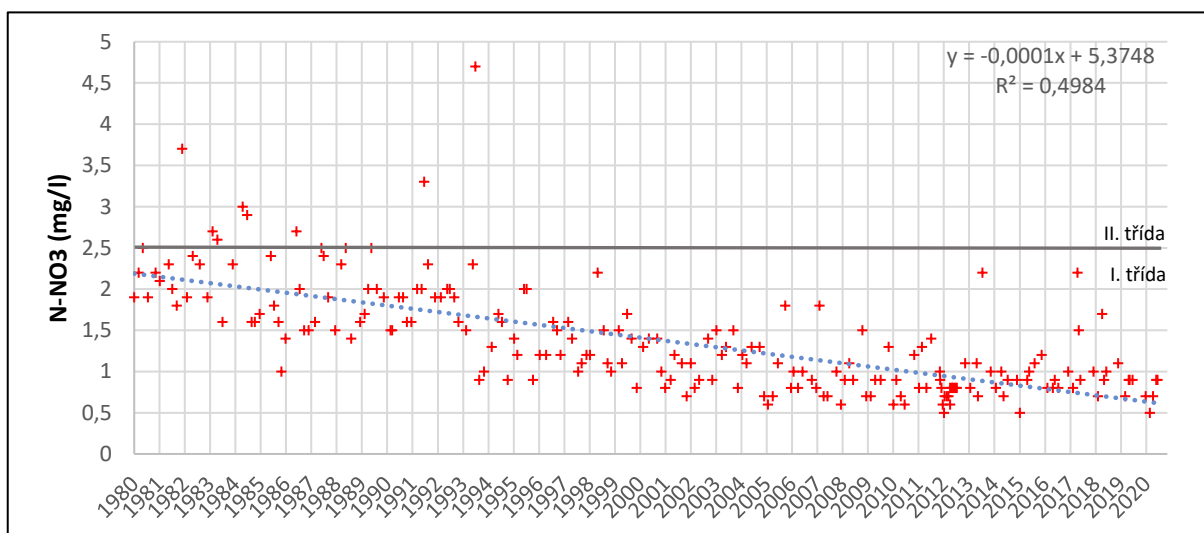


Graf 18: Dlouhodobý vývoj koncentrací  $\text{SO}_4$  za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)

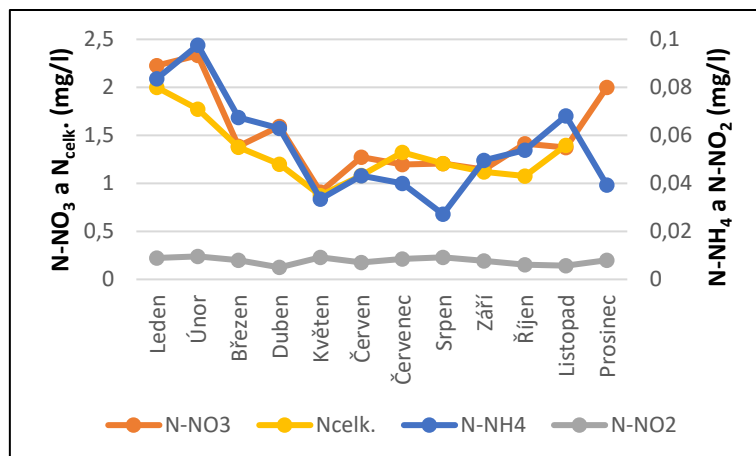
Lokálních sezónních maxim dosahuje  $\text{SO}_4$  v dubnu, zřejmě vlivem táním sněhu a vyššího uvolňování  $\text{SO}_4$  do toku z podmáčených lokalit a menšího maxima v říjnu. Minimum následuje v květnu, kdy už sníh většinou odtál a rašeliniště se nejspíše tolik nepodílí na odtoku a přes léto se dále drží nízké hodnoty  $\text{SO}_4$  v toku.

Formy dusíku vykazují další ze statisticky velmi výrazně signifikantních poklesů a tedy zlepšení těchto parametrů v daném období. Nejvýraznější je evidován u dusičnanů (*hodnota MK testu -11,79*), následován amoniakálním dusíkem (*hodnota MK testu -9,96*). Signifikantní je i poklesu dusitanů (*hodnota MK testu -4,41*) a celkového dusíku –  $N_{\text{celk}}$  (*hodnota MK testu -4,72*). Hodnoty dusičnanů se do 90. let minulého století pohybovaly běžně mezi 1,5-3 mg/l, kdežto v posledním sledovaném desetiletí už mezi 0,5-1,5 mg/l (graf 19). U amoniakálního dusíku, který se běžně vyskytuje v nižších koncentracích je pokles taky zřejmý a nastává podobně jako u dusitanů v 90. letech. Pokles obou forem dusíku může mít spojitost s vybudováním ČOV v Peci pod Sněžkou a Horním Maršově v roce 1988. V reakci na to podobně poklesly i koncentrace celkového dusíku.

Koncentrace amoniakálního dusíku a dusitanů jsou tak nízké, že u nich nemá smysl hledat nějaký sezónní trend. Naopak u dusičnanů a celkového dusíku lze vyzorovat, že nejvyšších koncentrací dosahují v zimě, kdy není dusík spotřebováván, a naopak nejmenší koncentrace jsou koncem jara a počátkem léta, což je způsobeno nejspíše tím, že jsou dusičnany hojně využity rostlinami k výstavbě biomasy. V grafu 20 je vidět, že koncentrace celkového dusíku jsou v některých měsících nižší než dusičnanů, což je z logiky věci nemožné. Tento nedostatek je způsoben tím, že měření celkového dusíku je prováděno až od hydrologického roku 1995, kdy už koncentrace dusičnanů výrazně poklesly. Dusičnany jsou měřeny od začátku sledovaného období, tj. hydrologického roku 1981, kdy jejich koncentrace byly výrazně vyšší.



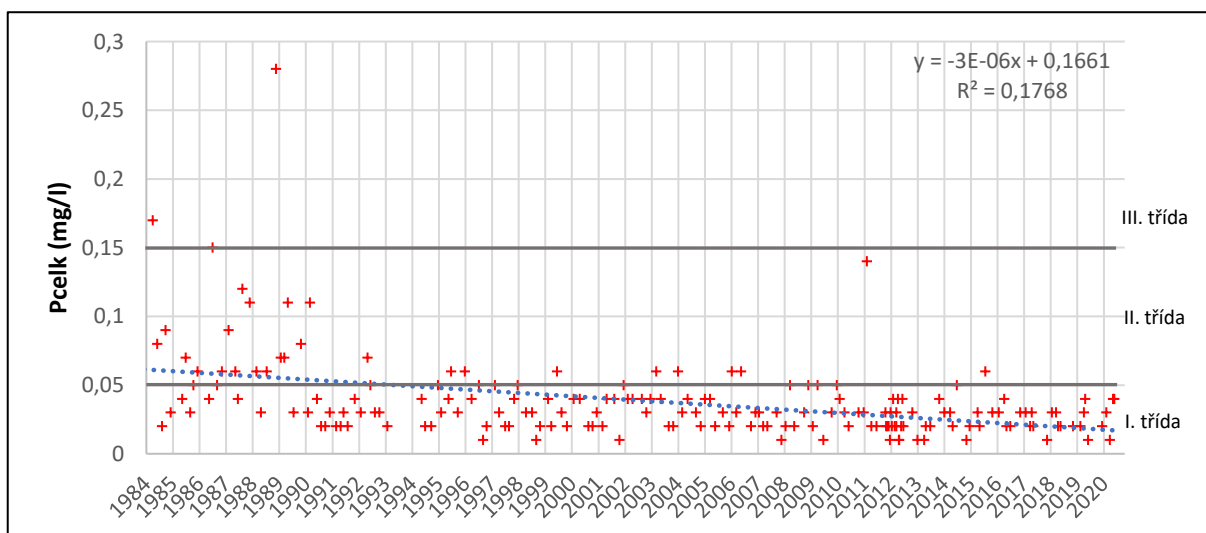
Graf 19: Dlouhodobý vývoj koncentrací dusičnanů za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)



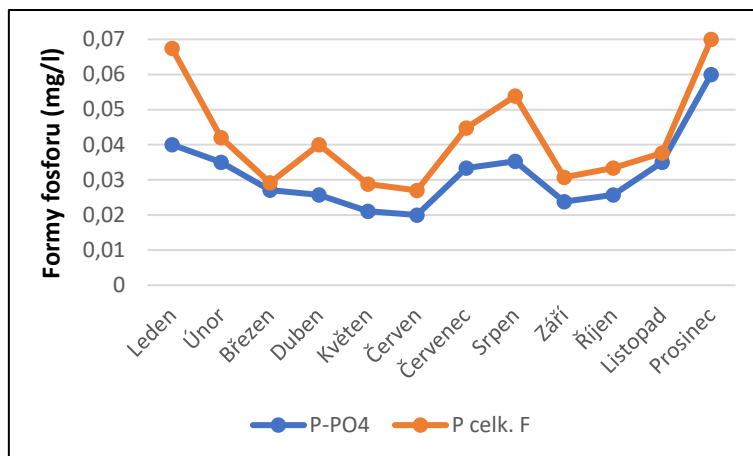
Graf 20: Sezónní trend průměrných měsíčních koncentrací forem dusíku za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM  
Pzn.: celkový dusík hodnocen od hydrologického roku 1995  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)

Další statisticky signifikantně výrazný pokles evidujeme u parametru celkového fosforu (*hodnota MK testu -6,05*). Koncentrace fosforu se vyskytují ve velmi malých koncentracích. Maximální zaznamenaná hodnota byla 0,28 mg/l ze srpna 1989 (graf 21). Od roku 1994 pouze jedno měření (červenec 2011) dosáhlo vyšší hodnoty než 0,06 mg/l a 3x bylo měření dokonce pod hranicí detekovatelnosti hodnotícího přístroje.

V sezónním trendu je patrný nárůst koncentrací celkového fosforu a i orthofosforečnanů v letním období, zřejmě vlivem bodových zdrojů při malé vodnosti. Zimní maxima v grafu 22 jsou výsledkem malého počtu měření v zimě, tudíž se zde projeví vysoké hodnoty z předchozího období z přelomu 90.let, viz. graf 21.

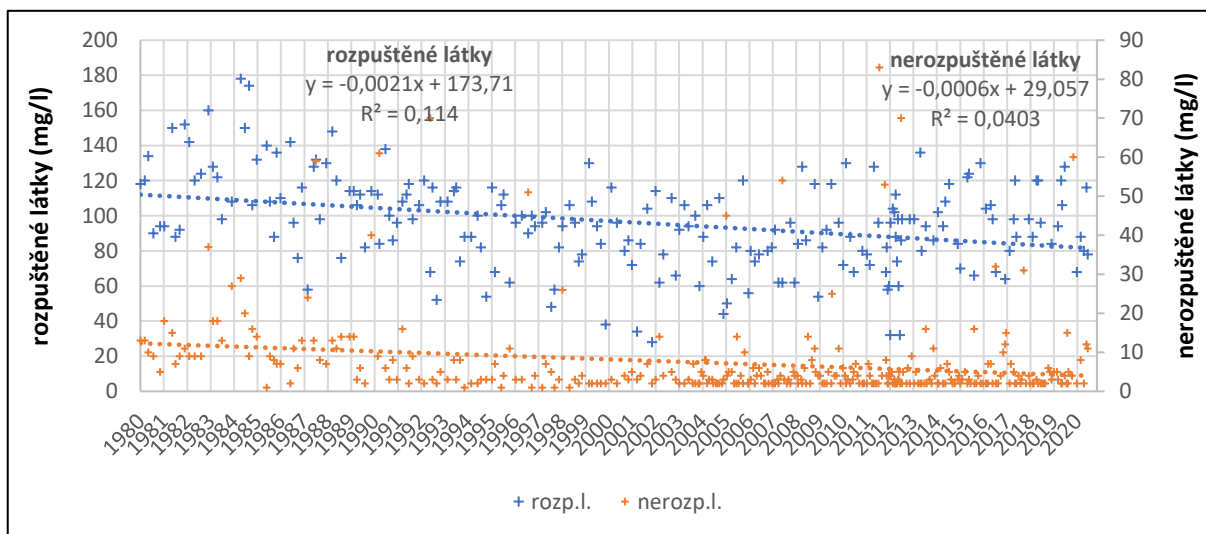


Graf 21: Dlouhodobý vývoj koncentrací celkového fosforu za období hydro. let 1985-2020 na profilu HSM  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)



Graf 22: Sezónní trend průměrných měsíčních koncentrací celkového fosforu a orthofosforečnanů za období hydro. let 1985-2020 na profilu HSM (Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)

Dalším ze statisticky signifikantních poklesů jsou koncentrace rozpuštěných (*hodnota MK testu -4,49*) i nerozpuštěných látek (*hodnota MK testu -5,31*). Koncentrace nerozpuštěných látek se v poslední době velmi často pohybují pod hranicí detekovatelnosti (2 mg/l), výjimečně ale jejich koncentrace přesáhnou stále 20 či i 40 mg/l (graf 23). Jde o situace, kdy je zvýšený průtok, a více nerozpuštěných látek se dostává do toku. Rozpuštěné látky se chovají spíše opačně.

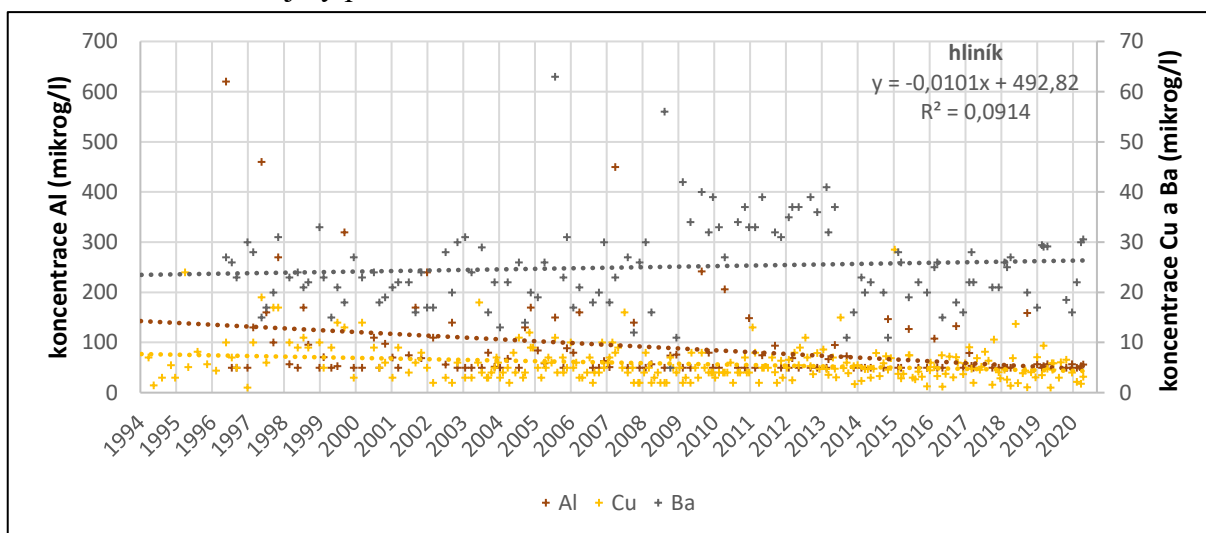


Graf 23: Dlouhodobý vývoj koncentrací rozpuštěných a nerozpuštěných látek za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM (Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)

Sezónní trend u nerozpuštěných látek je takový, že mírně vyšší jsou hodnoty v zimním období, minimum je pak v letním období a v období tání sněhu (duben, květen). Rozpuštěné látky mají typicky minimum také v dubnu a květnu, tedy když taje sníh a jsou zaznamenávány vyšší průměrné průtoky. Naopak nejvyšší koncentrace jsou kromě zimy i v letním období. Údaje pro zimní měsíce jsou ovšem opět pouze orientační vzhledem k nedostatku dostupných měření pro tyto měsíce.



Velká část kovů, které jsou hodnoceny, vykazuje statisticky signifikantní pokles jejich koncentrací, tedy zlepšení stavu kvality vody. Fe, Zn, Pb a Cd vykazují nejsilnější poklesy (*hodnota MK testu přes -6,00*). Slabší, ale stále signifikantní pokles sledujeme také u Ni, Cu, Al a Hg (viz tabulka 20). Jediný statisticky signifikantní nárůst vykazuje Mn (*hodnota MK testu 2,11*). Žádné statisticky signifikantní změny pak nebyly zjištěny u As, Cr a Ba. Při hodnocení vývoje těchto kovů hraje významnou roli počet měření pod hranicí detekovatelnosti, které tvoří velkou část měření u Fe, Mn, Zn, Ni, Pb, Hg a Cr. Tato měření jsou evidována povětšinou v druhé polovině sledovaného období, což poukazuje na zlepšení stavu vodního útvaru a jeho zatížení kovy. Většina kovů je navíc sledována až od let 1994/95, Al, Pb a Ba třeba až od roku 1997. V grafu 24 je tak zobrazen pouze vývoj koncentrací těch kovů, které nemají větší výpadky v měření a nenachází se často pod hranicí detekovatelnosti. Z grafu je zřejmý pokles koncentrací Al, který je často vázán na nerozpuštěné látky a může tak souviset tento pokles s tímto jevem. Vývoj koncentrací Fe také zaznamenal zřejmý pokles.



Graf 24: Dlouhodobý vývoj koncentrací vybraných kovů za období hydro. let 1994-2020 na profilu HSM

Pzn.: Hliník a baryum hodnoceny až od roku 1997

(Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023)

Signifikantní pokles evidujeme rovněž u koncentrací chlóru (*hodnota MK testu -1,99*), vápníku (*hodnota MK testu -2,74*), hořčíku (*hodnota MK testu -2,28*), draslíku (*hodnota MK testu -4,36*). Naopak nárůst byl zjištěn u sodíku (*hodnota MK testu 2,36*). Koncentrace vápníku klesají výrazně v období jarního tání sněhu, tedy dochází k ředění a maximální koncentrace má v létě, kdy k ředění dochází vlivem nízkých průtoků nejméně. Podobné trendy evidujeme i pro ostatní v tomto odstavci zmíněné prvky. Nejméně patrný je tento trend u draslíku, který se ale také vyskytuje v nejnižších koncentracích z daných prvků.

U saprobního indexu bentosu nevidujeme žádnou statisticky signifikantní změnu (*hodnota MK testu 0,70*). Index navíc má jinou frekvenci odběrů než chemické parametry. Poprvé byl stanoven v roce 1998 a od té doby bylo provedeno pouze 19 měření, proto se těžko usuzuje nad nějakými dlouhodobými trendy. Na základě těchto pár pozorování hodnota indexu nepatrně roste, což by mohlo značit vyšší počet a rozmanitost bezobratlých ve vodním toku.

Statisticky velmi signifikantní je v poslední řadě i pokles fekálních koliformních bakterií (*hodnota MK testu -11,46*), což bude téměř jistě důsledek výstavby ČOV. Po roce 1993 koncentrace poklesly oproti koncentracím z předchozího období velmi výrazně. Do roku 1993 byla maximální naměřená hodnota koncentrace parametru 450 000 KTJ/100 ml a běžně se pohybovala okolo 5 000 KTJ/100 ml. Po tomto roce pouze jednou koncentrace překročily tuto hodnotu (únor 1997) a typicky se pohybují do 2 000.

Sezónně jsou koncentrace fekálních koliformních bakterií velmi proměnlivé. Vzhledem k tomu, že v současnosti jsou koncentrace velmi nízké oproti prvním měřením, tak graf v příloze 18 spíše bude vypovídat o koncentracích v první části námi sledovaného období, kdy ještě v oblasti nebyla postavena ČOV, která by tyto bakterie eliminovala. Vyšší koncentrace vidíme v letním a brze podzimním období, kdy zřejmě vlivem nižších průtoků docházelo k menšímu ředění těchto bakterií, naopak nejnižší koncentrace evidujeme v květnu, kdy typicky jsou průtoky vlivem tání sněhu vyšší, hlavně v 80. letech, kdy ještě nedošlo k takovému posunu nástupu tání do dřívějších měsíců.

Celkově tak můžeme celkem jasně usuzovat, že stav kvality vody se v průběhu sledovaného období na profilu Horní Staré Město významně zlepšil. U většiny parametrů evidujeme signifikantní klesající trendy jejich koncentrací. Výrazně se zlepšil stav z hlediska koncentrací kovů, ukazatelů organického znečištění, živin (dusíku a fosforu), siřičitanů a fekálních koliformních bakterií. Signifikantní nárůst pozorujeme u hodnoty pH. Negativní nárůst je sledován pro teplotu vody. Žádné statisticky signifikantní změny nebyly zjištěny pro saprobní index bentosu, některé kovy (baryum, arsen, chróm) a rozpuštěný kyslík. V tabulce 24 jsou uvedeny výsledné hodnoty MK testu pro všechny hodnocené parametry.

Tabulka 24: Výsledky MK testu pro dlouhodobý vývoj parametrů kvality vody za období 1981-2020 na profilu HSM. Tučně jsou zvýrazněny statisticky významné na hladině spolehlivosti  $\alpha=0,05$ ; \* jsou označeny hodnoty významné na hladině spolehlivosti  $\alpha=0,01$

| Parametr                    | MK statistika   | p-hodnota                                |
|-----------------------------|-----------------|------------------------------------------|
| <b>Teplota vody</b>         | <b>3,288*</b>   | <b><math>1,01 \times 10^{-3}</math></b>  |
| Spec. konduktivita          | -1,945          | 0,052                                    |
| Rozpuštěný kyslík           | 1,319           | 0,187                                    |
| BSK <sub>5</sub>            | <b>-4,127*</b>  | <b><math>3,67 \times 10^{-5}</math></b>  |
| CHSK <sub>Mn</sub>          | <b>-4,620*</b>  | <b><math>3,84 \times 10^{-6}</math></b>  |
| CHSK <sub>Cr</sub>          | <b>-5,326*</b>  | <b><math>1,00 \times 10^{-7}</math></b>  |
| TOC                         | <b>-3,835*</b>  | <b><math>1,3 \times 10^{-4}</math></b>   |
| DOC                         | <b>-3,257*</b>  | <b><math>1,13 \times 10^{-3}</math></b>  |
| pH                          | <b>8,342*</b>   | <b><math>7,30 \times 10^{-17}</math></b> |
| Rozpuštěné látky            | <b>-4,494*</b>  | <b><math>6,98 \times 10^{-6}</math></b>  |
| Nerozpuštěné látky          | <b>-5,314*</b>  | <b><math>1,07 \times 10^{-7}</math></b>  |
| N-NH <sub>4</sub>           | <b>-9,957*</b>  | <b><math>2,36 \times 10^{-23}</math></b> |
| N-NO <sub>3</sub>           | <b>-11,785*</b> | <b><math>4,66 \times 10^{-32}</math></b> |
| N-NO <sub>2</sub>           | <b>-4,411*</b>  | <b><math>1,03 \times 10^{-5}</math></b>  |
| Celkový dusík               | <b>-4,724*</b>  | <b><math>2,31 \times 10^{-6}</math></b>  |
| P-PO <sub>4</sub>           | <b>-4,179*</b>  | <b><math>2,93 \times 10^{-5}</math></b>  |
| Celkový fosfor              | <b>-6,054*</b>  | <b><math>1,41 \times 10^{-9}</math></b>  |
| Cl                          | -1,993          | 0,046                                    |
| SO <sub>4</sub>             | <b>-10,553*</b> | <b><math>4,89 \times 10^{-26}</math></b> |
| Ca                          | <b>-2,738*</b>  | <b><math>6,18 \times 10^{-3}</math></b>  |
| Mg                          | <b>-2,281</b>   | <b>0,023</b>                             |
| Fe                          | <b>-6,124*</b>  | <b><math>9,14 \times 10^{-10}</math></b> |
| Mn                          | 2,111           | 0,035                                    |
| Zn                          | <b>-7,309*</b>  | <b><math>2,69 \times 10^{-13}</math></b> |
| Ni                          | <b>-2,626*</b>  | <b><math>8,65 \times 10^{-3}</math></b>  |
| Pb                          | <b>-7,083*</b>  | <b><math>1,41 \times 10^{-12}</math></b> |
| As                          | -0,364          | 0,716                                    |
| Cu                          | <b>-3,091*</b>  | <b><math>2 \times 10^{-3}</math></b>     |
| Hg                          | <b>-4,833*</b>  | <b><math>1,35 \times 10^{-6}</math></b>  |
| Cd                          | <b>-6,325*</b>  | <b><math>2,54 \times 10^{-10}</math></b> |
| Cr                          | 0,048           | 0,962                                    |
| Al                          | <b>-2,929*</b>  | <b><math>3,4 \times 10^{-3}</math></b>   |
| Ba                          | 1,020           | 0,308                                    |
| Na                          | 2,363           | 0,018                                    |
| K                           | <b>-4,359*</b>  | <b><math>1,30 \times 10^{-5}</math></b>  |
| Saprobni index bentosu      | 0,701           | 0,484                                    |
| Fekální koliformní bakterie | <b>-11,463*</b> | <b><math>2,03 \times 10^{-30}</math></b> |

Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023

### 7.3. Korelace parametrů s průtoky

Některé parametry kvality vody vykazují obecně silnou vazbu na hodnotu průtoku v korytě toku, jiné jsou zase povětšinou označovány za nezávislé na průtoku a jejich koncentrace ovlivňují jiné faktory jako kupříkladu zdroje znečištění, vegetační sezóna atd. Tato část práce prezentuje výsledky korelace mezi průtokem a parametry kvality vody, kde stejně jako u předchozí kapitoly byla stanovena i hladina spolehlivosti na hladinách 0,05 a 0,01. Bylo využito 3 korelačních koeficientů pro stanovení závislosti – Spearmanova korelačního koeficientu, Pearsonova koeficientu a Kendallova tau( $\tau$ ). Výsledky korelace pro všechny korelační koeficienty a hodnocené parametry zobrazuje tabulka 25.

Velmi silné negativní korelace, tedy že s rostoucí průtokem klesá hodnota parametru, vykazuje *specifická konduktivita*, a to pro všechny 3 korelační koeficienty, což naznačuje, že při vyšším vodním stavu dochází k většímu efektu ředění, čímž klesá hodnota parametru. Stejný výsledek, tedy silnou negativní a statisticky signifikantní na hladině spolehlivosti 0,01, mají parametry *vápníku a hořčíku*, které se asi významně podílí i na hodnotě specifické konduktivity samotné. Právě specifická konduktivita s Mg a Ca vykazují nejsilnější korelace ze všech sledovaných parametrů, následované až s Al, který má ale korelaci pozitivní. Stejný výsledek a patrně i důvod, jako u konduktivity a Ca s Mg, pozorujeme u parametru *rozpuštěných látek*. Statisticky signifikantní na hladině spolehlivosti 0,01 pro všechny 3 korelační koeficienty jsou také parametry *teploty vody, pH, barya*. U parametru *dusitanů* nevychází statisticky signifikantní Pearsonův koeficient, u *sodíku* poté Pearsonův korelační koeficient je signifikantní pouze na hladině 0,05. Slabší negativní korelace, tedy pouze na nižší hladině spolehlivosti, a zároveň pouze u Spearmanova koeficientu a Kendallova tau, vykazují hodnoty *draslíku a chlóru*.

Pozitivní korelace vykazuje velká část parametrů organického znečištění, konkrétně *TOC, DOC a CHSK<sub>Mn</sub>*, které pro všechny 3 koeficienty mají statisticky signifikantní hodnoty na hladině spolehlivosti 0,01. Naopak parametr *BSK<sub>5</sub>* nemá ani pro jeden parametr významnější korelaci. Nejvyšší pozitivní korelace má *hliník* (0,35-0,65), který může být vázán na *nerozpuštěné látky*, které mají také statisticky signifikantní korelaci pro všechny koeficienty. Řada pozitivních korelací, které jsou statisticky významné, je pozorována u kovů (*železo, mangan, zinek, olovo, kadmium, částečně nikl*), patrně v jejich návaznosti na nerozpuštěné látky ve vodním toku. Slabší kladnou korelaci s průtokem má také *amoniakální dusík*.

Naopak žádné významné korelace, či téměř nulové korelace, byly zjištěny vyjma již zmíněného *BSK<sub>5</sub>* u *dusičnanů* či *forem fosforu*, kde hraje roli patrně jiný faktor na jejich koncentraci ve vodním prostředí. Také *SO<sub>4</sub>, fekální koliformní bakterie* mají nízké hodnoty korelačních koeficientů okolo nuly. *Saprobní index bentosu* má sice výrazněji vyšší hodnoty koeficientů než dusičnany či fosfor (od -0,22 do -0,32), ovšem ty jsou vzhledem k malému množství pozorování statisticky nevýznamné. Nízké hodnoty korelačních koeficientů a s tím spojené statisticky nevýznamné korelace pak sledujeme také u některých kovů – *měď, rtuť, chróm*.

Tabulka 25: Korelace parametrů kvality vody s hodnotou průtoku (světle oranžově/modře statisticky signifikantní korelace na hladině spolehlivosti  $\alpha=0,05$ ; tmavě oranžově/modře na hladině  $\alpha=0,01$ )

Pzn.: Pro saprobní index bentosu je nižší frekvence odběrů

| Parametr kvality vody       | Spearman | Pearson | Kendalovo $\tau$ |
|-----------------------------|----------|---------|------------------|
| Teplota vody                | -0,231   | -0,243  | -0,163           |
| Specifická konduktivita     | -0,647   | -0,426  | -0,479           |
| Rozpuštěný kyslík           | 0,171    | 0,029   | 0,116            |
| BSK <sub>5</sub>            | 0,105    | 0,035   | 0,074            |
| CHSK <sub>Mn</sub>          | 0,459    | 0,460   | 0,326            |
| TOC                         | 0,372    | 0,594   | 0,259            |
| DOC                         | 0,372    | 0,571   | 0,263            |
| pH                          | -0,310   | -0,334  | -0,222           |
| Rozpuštěné látky            | -0,488   | -0,398  | -0,337           |
| Nerozpuštěné látky          | 0,210    | 0,335   | 0,152            |
| NH <sub>4</sub>             | 0,136    | 0,184   | 0,095            |
| NO <sub>3</sub>             | -0,037   | -0,004  | -0,027           |
| NO <sub>2</sub>             | -0,191   | -0,073  | -0,134           |
| Celkový dusík               | -0,133   | -0,095  | -0,097           |
| PO <sub>4</sub>             | -0,087   | 0,001   | -0,064           |
| Celkový fosfor              | -0,041   | 0,109   | -0,032           |
| Cl                          | -0,145   | -0,097  | -0,100           |
| SO <sub>4</sub>             | -0,049   | -0,005  | -0,037           |
| Ca                          | -0,633   | -0,540  | -0,472           |
| Mg                          | -0,613   | -0,336  | -0,459           |
| Fe                          | 0,301    | 0,290   | 0,226            |
| Mn                          | 0,175    | 0,393   | 0,136            |
| Zn                          | 0,284    | 0,323   | 0,213            |
| Ni                          | 0,238    | 0,111   | 0,187            |
| Pb                          | 0,214    | 0,354   | 0,161            |
| As                          | -0,221   | -0,109  | -0,156           |
| Cu                          | 0,077    | 0,069   | 0,052            |
| Hg                          | 0,157    | 0,068   | 0,126            |
| Cd                          | 0,229    | 0,319   | 0,172            |
| Cr                          | 0,060    | 0,132   | 0,049            |
| Al                          | 0,487    | 0,651   | 0,354            |
| Ba                          | -0,396   | -0,260  | -0,275           |
| Na                          | -0,384   | -0,157  | -0,291           |
| K                           | -0,183   | 0,037   | -0,134           |
| Saprobní index bentosu      | -0,315   | -0,254  | -0,218           |
| Fekální koliformní bakterie | 0,134    | 0,006   | 0,091            |

Zdroj: vytvořeno na základě dat Povodí Labe s.p., 2023

#### 7.4. Vzájemná korelace parametrů

V této části jsou prezentovány výsledky korelace mezi jednotlivými parametry. Kromě samotné hodnoty korelace byla také stanovena hladina spolehlivosti na hladině 0,05 a 0,01. Kompletní přehled korelací mezi parametry pak uvádí příloha 19. Níže jsou diskutovány pouze vybrané statisticky významné a podstatné korelace. Pokud byla korelace zmíněná u jednoho parametru, nemusí již dále být diskutována u druhého parametru.

Silnou negativní korelaci vykazuje *teplota vody* s rozpuštěným kyslíkem a formami dusíku (dusitany a amoniakálním dusíkem). Naopak vysokou pozitivní korelaci má se saprobním indexem bentosu. Důvodem pozitivní korelace mezi indexem a teplotou vody bude zřejmě fakt, že s rostoucí teplotou vody roste aktivita a množství bentosu ve vodě. *Specifická konduktivita* vykazuje pozitivní korelaci s látkami, které jsou ve vodě v rozpuštěné formě (Ca, Mg, Cl, některé kovy). Negativní je sledována u Al a parametrů TOC/DOC. U *rozpuštěného kyslíku* není žádná korelace s vyšší hodnotou vyjma teploty vody, mírně vyšší a statisticky signifikantní korelaci má ještě s parametry amoniakálního dusíku, dusičnanů, chlóru a SO<sub>4</sub>.

Parametr *BSK<sub>5</sub>* vykazuje kladné korelace s *CHSK<sub>Mn</sub>*, nerozpuštěnými látkami, formami dusíku, fosforu a Fe. Ukazatel *CHSK<sub>Mn</sub>* má pozitivní korelace s nerozpuštěnými látkami, Fe a Al (přes 0,5), mírně nižší hodnoty, ale statisticky signifikantní pozitivní korelace má ještě s TOC/DOC. Naopak negativní jsou pozorovány s Ca, Mg a také pH. *TOC* má předpokládanou velmi silnou pozitivní korelaci s DOC (0,923), protože oba parametry popisují organický uhlík. Mírné, ale statisticky signifikantní a kladné vykazují TOC mimo *CHSK<sub>Mn</sub>* s nerozpuštěnými látkami a s mnoha kovy (Fe, Mn atd.), patrně protože tyto kovy se váží na vyplavovaný organický uhlík. Negativní korelace sledujeme u pH, rozpuštěných látek, Ca a Mg. Velmi podobné výsledky má i ukazatel *DOC*.

*pH* vykazuje negativní korelaci s parametry organického znečištění, formami dusíku, SO<sub>4</sub> a některými kovy (Fe, Al, Zn, Cd). *Rozpuštěné látky* mají negativní korelaci s parametry TOC/DOC a Al, který se právě váže na organické látky. Pozitivní korelaci u rozpuštěných látek je možno logicky pozorovat s látkami, které se ve vodním prostředí rozpouštějí – formy dusíku, fosforu, chlór, SO<sub>4</sub>, Na, K, Mg či Ca. *Nerozpuštěné látky* mají negativní korelaci pouze s pH. Naopak pozitivní statisticky signifikantní korelaci mají s parametry hodnocení organického znečištění, formami dusíku či fosforu a vybranými kovy (Fe, Al, Ni, Pb, Cd).

Všechny formy dusíku a celkový dusík mají velmi podobné výsledky. Negativní korelace vykazují s teplotou vody a pH. Amoniakální dusík má silnou zápornou korelaci se saprobním indexem bentosu, z čehož plyne, že se zvyšujícím se množstvím amoniakálního dusíku klesá druhová rozmanitost v toku. Veškeré parametry hodnotící dusík mají statisticky významné pozitivní korelace se specifickou konduktivitou, BSK<sub>5</sub>, rozpuštěnými látkami, formami fosforu, chlórem, SO<sub>4</sub>, Ca, Mg a K. Zároveň mají silné vztahy jednotlivé formy dusíku mezi sebou. S rozpuštěným kyslíkem pozorujeme korelaci pouze pro dusičnany a amonnou formu dusíku. Fosfor nemá žádnou významnou negativní korelaci, pouze celkový fosfor s pH vody. Na druhé straně pozitivní korelaci vykazuje s rozpuštěnými i nerozpuštěnými látkami, formami dusíku, chlórem, SO<sub>4</sub> a na 5% hladině spolehlivosti i s některými kovy (As, Pb).

Chlór má pozitivní významné korelace s Ca, Mg, K, Na a také Ba. Negativní korelace se vyskytla s některými kovy (Zn, Ni, Pb, Cd a Al). Parametr SO<sub>4</sub> rovněž má zápornou korelaci s Al. Významné pozitivní korelace jsou zřejmé s Ca, Mg a K. Vápník a hořčík mají podobné výsledky korelace s ostatními parametry, například silnou negativní korelaci s Al nebo naopak pozitivní s Ba, Na a K. Jediným výraznějším rozdílem je absence korelace Mg s Mn. Kovy, které byly analyzovány, mají v řadě pozorování podobné výsledky korelace. Velká část jich má negativní korelaci se specifickou konduktivitou, výjimkou je například As. Záporné korelace jsou patrné také s parametrem pH pro Fe, Al, Cd, Pb a Zn a pro chlór se Zn, Ni, Pb, Cd a Al. Hliník má negativní poměrně výrazné korelace také navíc s Ca, Mg a Na, opačné korelace a často vysoké vyšly naopak u Ba. Na straně druhé, velká část kovů (vyjma As, Hg a Cr) má pozitivní korelaci s TOC/DOC. Pokud jde korelace mezi jednotlivými kovy, tak korelaci s ostatními kovy vykazuje Pb, Fe, Cd a Al, ale všechny tyto kovy nemají korelaci s As, Hg, Cr a Ba (vyjma Al). Tyto kovy naopak nemají korelaci s dalšími kovy. Cr poté ani s jinými parametry nemá významnější korelace, pouze nepatrné s Ni a dusitany.

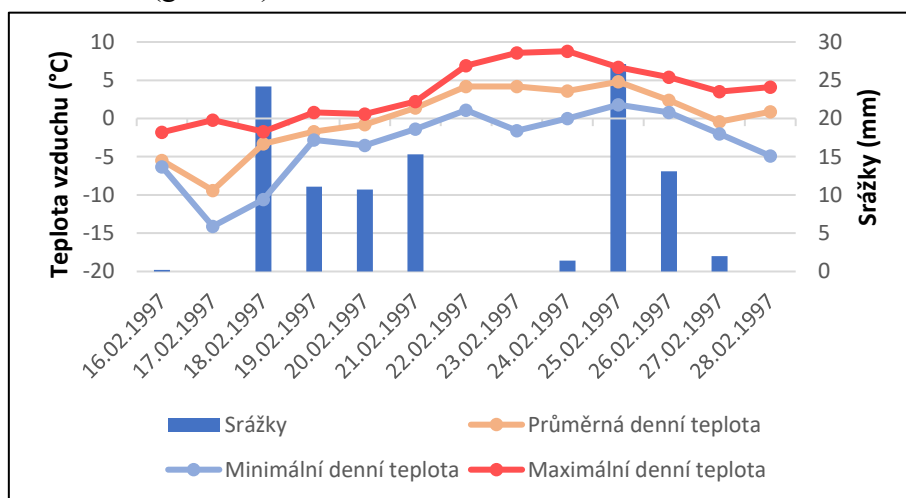
Saprobní index bentosu vzhledem k malému počtu vzorků nemá statisticky významné korelace. Na 5% hladině spolehlivosti vykazuje pozitivní korelaci s teplotou vody a negativní pak s amonnou formou dusíku, obě korelace jsou diskutovány výše. Fekální koliformní bakterie mají zápornou korelaci, a to s parametrem pH. Naopak statisticky významných pozitivních korelací má tento parametr celou řadu, jednak se všemi parametry hodnotící organické znečištění, dále s rozpuštěnými i nerozpuštěnými látkami, formami fosforu a dusíku, chlórem, SO<sub>4</sub>, draslíkem a vybranými kovy – Fe, Pb, Zn, Al a Cd.

## 7.5. Chování parametrů při hydrologických extrémech – vybrané situace

V této kapitole je probíráno chování jednotlivých ukazatelů kvality vody při vybraných hydrologických situacích na stanici Horní Staré Město. Celkem bylo vybráno 8 situací, které jsou podrobněji analyzovány. Uváděná teplotní a srážková data jsou pro stanici Pec pod Sněžkou, průtoková pak pro stanici Horní Staré Město. Konkrétní hodnoty všech parametrů jsou součástí tabulky v příloze 20.

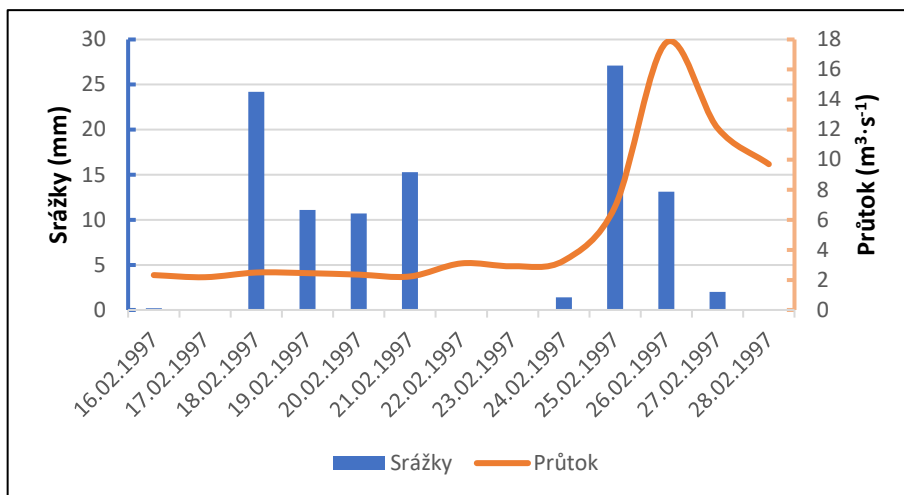
### 7.5.1. Situace 26.2.1997

Situace z konce února 1997 je spojena s nejvyšší hodnotou naměřeného průtoku –  $17,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Tento průtok sice není ani zdaleka nejvyšší zaznamenanou hodnotou, kterou je průtok ze 7. července téhož roku ( $77,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), ale i přesto patří k významně nadprůměrným, z hlediska všech průtoků ve sledovaném období. Vyšší hodnotu mělo pouze 1,1 % naměřených průtoků. Z hydrometeorologického pohledu za vznikem této situace stála intenzivní srážková činnost spojená se zvýšením teploty vzduchu, díky čemuž byly srážky patrně převážně dešťového charakteru a dopadaly na sněhovou pokrývku v oblasti (pravděpodobně rain on snow event), což vedlo k tání sněhu. V období od 18.-26. února spadlo téměř 103 mm srážek, s maximálním denním úhrnem 25.2 – 27,1 mm (graf 25). Podstatnější roli hrály zřejmě ale až srážky 21-22.2, kdy se průměrná denní teplota dostala nad bod mrazu a společně s nejvyšším denním úhrnem 25.2 byla zaznamenána i nejvyšší průměrná denní teplota vzduchu –  $4,8^\circ\text{C}$ , ovšem maximální teplota dosáhla až  $8,8^\circ\text{C}$  o den dříve. Patrný nárůst průtoku nastává ze 24. na 25. února (ze  $3,2$  na  $6,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), a následně na onoho 26. února (graf. 26).



Graf 25: Průběh teplot vzduchu a srážek pro událost z 26.2.1997  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a)



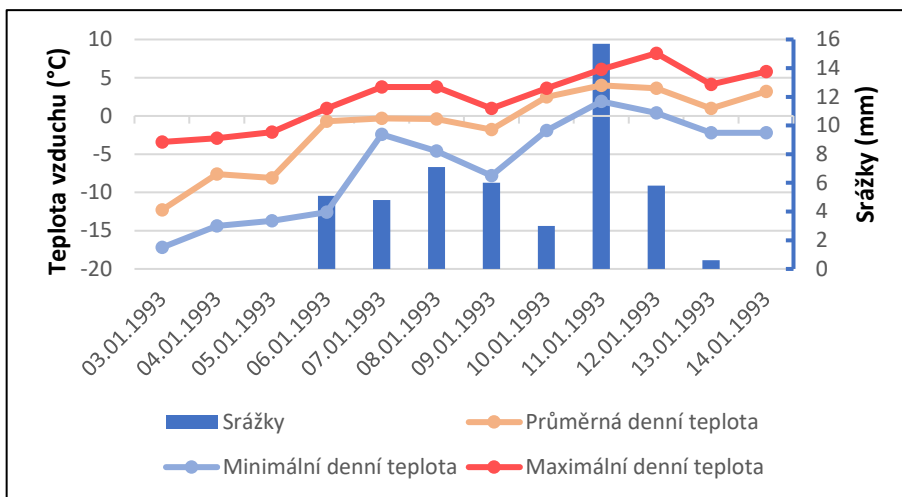


Graf 26: Průběh srážek a průtoku při události z 26.2.1997  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a; 2023b)

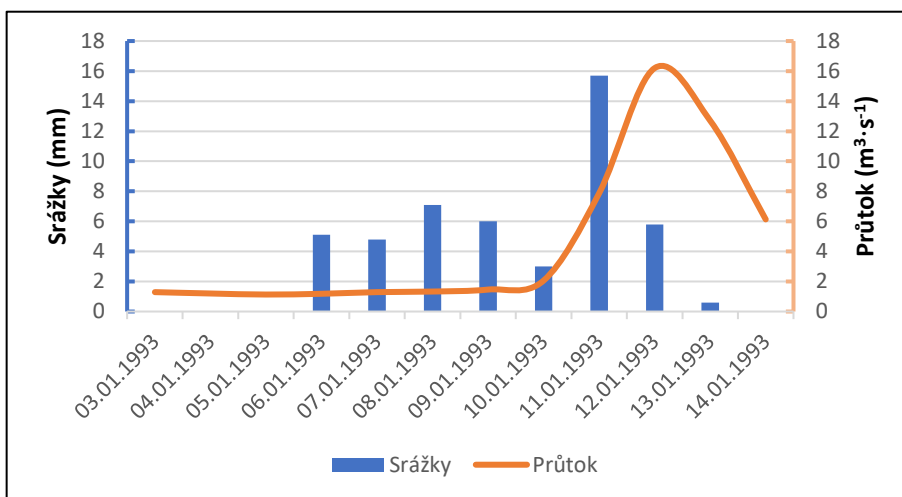
V průběhu této události byly zaznamenány nízké hodnoty ukazatelů specifické konduktivity, rozpuštěných látek jako ukazatele tak i jednotlivých prvků (Ca, Mg, Cl, Na) a některých kovů (Pb, Cr). Vůbec nejnižší naměřená hodnota za celé 40leté období byla naměřena pro parametr pH (6,7). Naopak vysoké hodnoty byly naměřeny u parametrů organického znečištění (BSK<sub>5</sub>, CHSK<sub>Mn</sub>, TOC, DOC), kde hodnota TOC byla nejvyšší naměřená za pozorované období (12,4 mg/l). DOC dosahovalo taky výrazně nadprůměrné hodnoty – 8,3 mg/l. Zvýšené byly dále koncentrace parametrů forem dusíku, fosforu, a většiny sledovaných kovů (Fe, Mn, Zn, Ni, As, Cu, Cd, Al, Ba), kde Fe (1200 µg/l), Mn (130 µg/l), Cd (0,5 µg/l) a Zn (43 µg/l) dosahovaly výrazně vyšších hodnot oproti obvyklým hodnotám a naměřená hodnota Al byla dokonce nejvyšší v námi zvoleném období (620 µg/l). Teplota vody v tento den měla hodnotu 2,2°C.

### 7.5.2. Situace 12.1.1993

Tato událost je druhou nejvyšší průtokovou situací s daty kvality vody. Byl při ní zaznamenán průtok 16,2 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, což ji řadí do percentilu 98,4 %. Situace měla obdobný charakter vzniku i průběhu jako předešlá z února 1997, ale s nižším úhrnem srážek, kdy od 6-12.1 napadlo 47,5 mm srážek, s maximem 11.1 – 15,7 mm. Stejně jako u předchozí situace se průměrná teplota vzduchu nad bod mrazu dostala až v druhé části této srážkové epizody, konkrétně 10. ledna. Maximální naměřená teplota vzduchu byla zaznamenána 12. ledna, tedy v den měření parametrů kvality vody, 8,2 °C (graf 27). Průtok začal výrazněji narůstat také až s nárůstem teploty vzduchu nad bod mrazu, tedy z 10. na 11. ledna, z 2,1 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> na 7,9 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, a následně 12. ledna dosáhl až zmíněných 16,2 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> (graf 28).



Graf 27: Průběh teplot vzduchu a srážek pro událost 12.1.1993  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a)

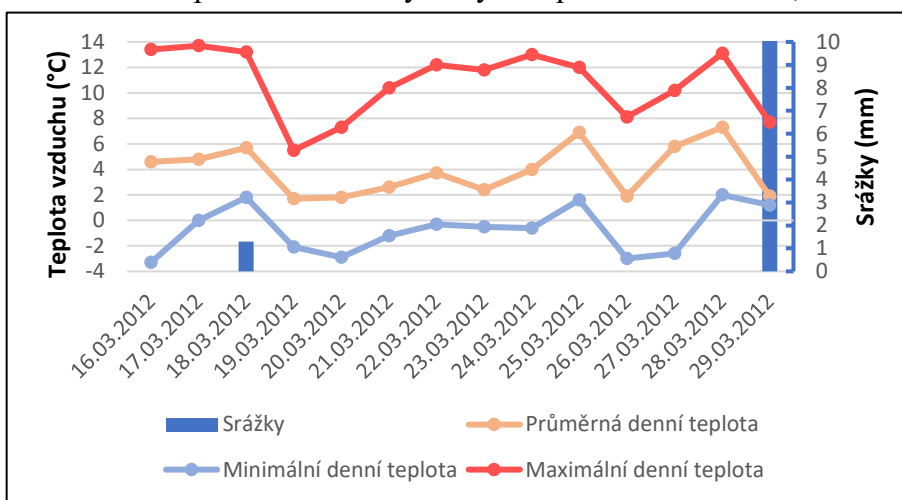


Graf 28: Průběh srážek a průtoku při události 12.1.1993  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a; 2023b)

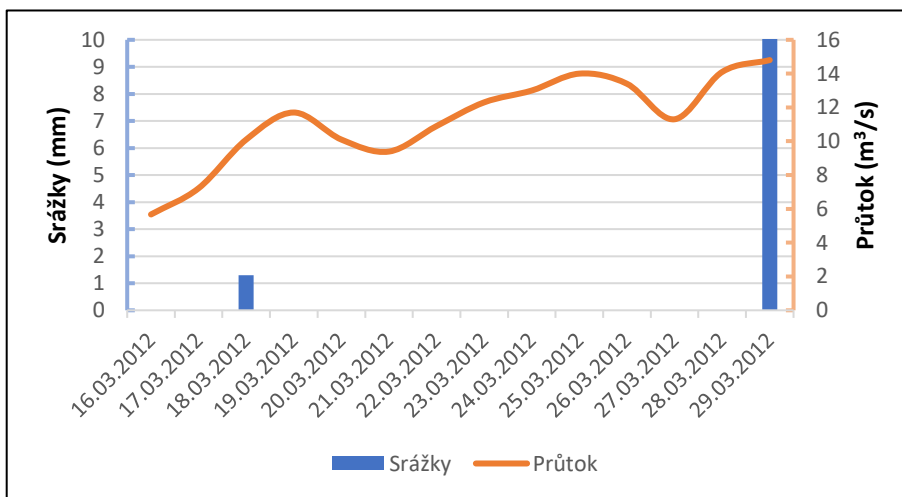
Hodnoty parametrů kvality vody jsou pro tuto událost povětšinou velmi podobné předešlé události z února 1997. Nízké hodnoty opět vykazuje specifická konduktivita, rozpuštěné látky či Ca, mírně nižší jsou zaznamenány také chlór. Významně nízká (oproti mediánové hodnotě) je také pH – 7,1. Vysokých hodnot dosahují parametry vyhodnocující organické znečištění (BSK<sub>5</sub>, CHSK<sub>Mn</sub>). Celkový organický uhlík (TOC) dosahuje významně vysoké hodnoty – 12 mg/l. DOC poté má nejvyšší zaznamenané měření v hodnoceném období – 10 mg/l. Výrazně vyšší byly také hodnoty rozpuštěného kyslíku, nerozpuštěných látek (70 mg/l), forem dusíku, zejména amoniakálního dusíku (0,42 mg/l), forem fosforu, Mg, K, Na. Jednu z nejvyšších hodnot v průběhu měření vykazovalo Fe (1 000 mg/l) a Mn zaznamenal vůbec nejvyšší hodnotu (210 mg/l). Pro tuto situaci nebyly změřeny údaje pro celkový dusík a většinu kovů. Teplota vody při odběrech měla 3,1°C.

### 7.5.3. Situace 27.03.2012

Tato událost je specifická tím, že jde o nástup tání sněhové pokrývky vlivem nárůstu teploty vzduchu bez zapojení srážek. Průměrná denní teplota je nad 0°C a pod tuto hranici neklesá (graf 29). Maximální teplota vzduchu byla naměřena 17. března – 13,7°C. Srážky byly pouze sporadické 18. března (1,3 mm). Je tedy jasné, že tato epizoda tání byla iniciována nárůstem teploty vzduchu. Průtok kontinuálně na drobné výjimky, kdy mírně poklesl, narůstal z 5,7 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> z 16. března na 14,8 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> 29. března s tím, jak postupně odtávala sněhová pokrývka. V den měření parametrů kvality vody měl průtok hodnotu 11,3 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> (graf 30).



Graf 29: Průběh teplot vzduchu a srážek při události 27.3.2012  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a; 2023b)

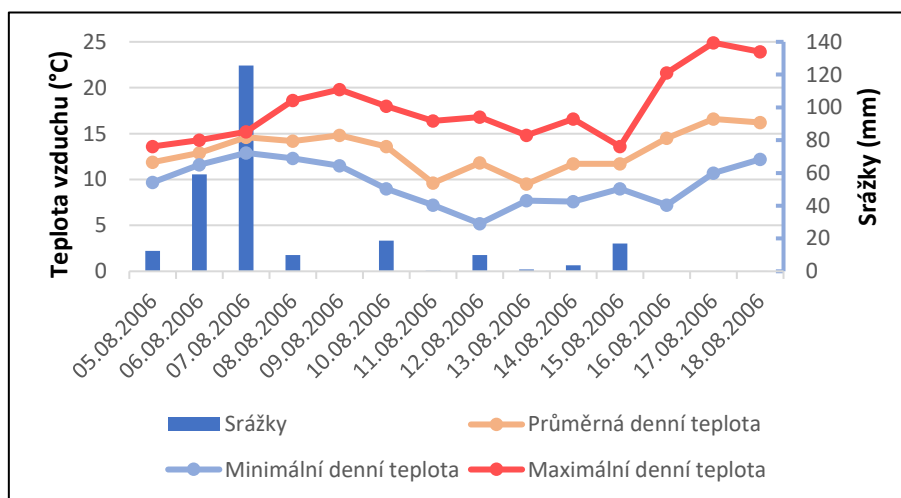


Graf 30: Průběh srážek a průtoku při události 27.3.2012  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a; 2023b)

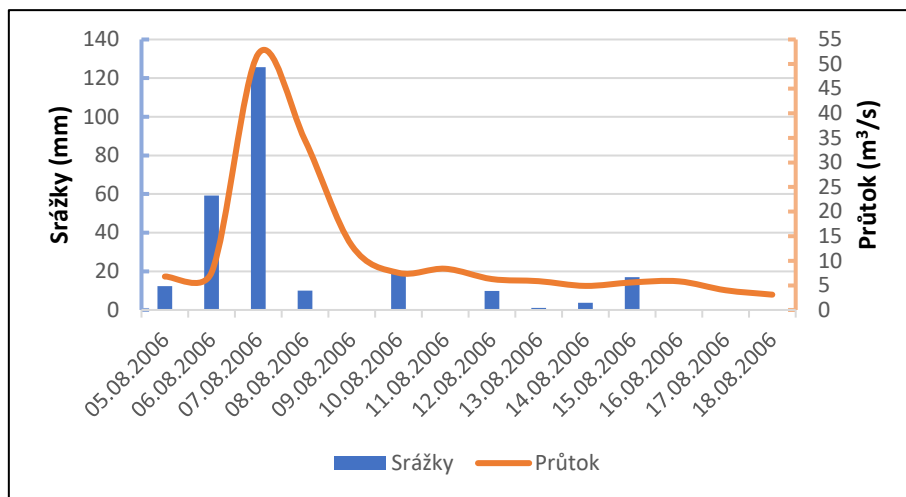
Jak je zmíněno výše, tato událost se mírně liší svým způsobem vzniku oproti předchozím událostem, protože je způsobená pouhou změnou teploty vzduchu, tudíž velká část průtoku je tvořena vodou z tajícího sněhu bez intervence vody srážkové. To se odráží i na částečně odlišné reakci parametrů kvality vody při této události oproti předchozím. Podobnost je v nízkých hodnotách u parametrů specifické konduktivity, pH, které dosáhlo stejně jako u události z února 1997 nejnižší zaznamenané hodnoty (6,7), a některé nižší hodnoty vybraných prvků jako jsou Cl, Ca či Mg. Naopak vůči předchozím situacím sledujeme odlišné výsledky (nízké hodnoty) pro TOC (1,9 mg/l), DOC, většiny formy dusíku vyjma amoniakálního, fosforu, Fe, As či Pb. Vysoké hodnoty byly naměřeny u ukazatelů rozpuštěného kyslíku, většiny vyhodnocovaných kovů (Zn, Ni, Hg, Ba...) a draslíku. Obecně tato situace obsahuje menší množství extrémních hodnot ukazatelů kvality vody (významnější pouze pro pH a Pb – pod hranici detekovatelnosti). Teplota vody při této události dosáhla 3,9°C.

#### 7.5.4. Situace 16.08.2006

Tato událost se nachází na sestupné větvi povodňové vlny, která dosáhla maxima 7. srpna, kdy byl zaznamenán extrémní srážkový úhrn, za jediný den napadlo 126 mm srážek a den předtím 59 mm. Průtok pak vystoupal týž den na 52 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. V den měření už byl průtok pouze na hodnotě 5,82 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup> (graf 31). Celá událost započala 3. srpna, kdy byly zaznamenány první srážky a následně, vyjma 9. srpna, byly srážky zaznamenány každý den až do 15. srpna. Celkově za těchto 13 dní napadlo 292 mm srážek (graf 32). Hlavní srážková epizoda proběhla od 3.-8.8., kdy napršelo 245 mm.



Graf 31: Průběh teplot vzduchu a srážek při události 16.8.2006  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a; 2023b)

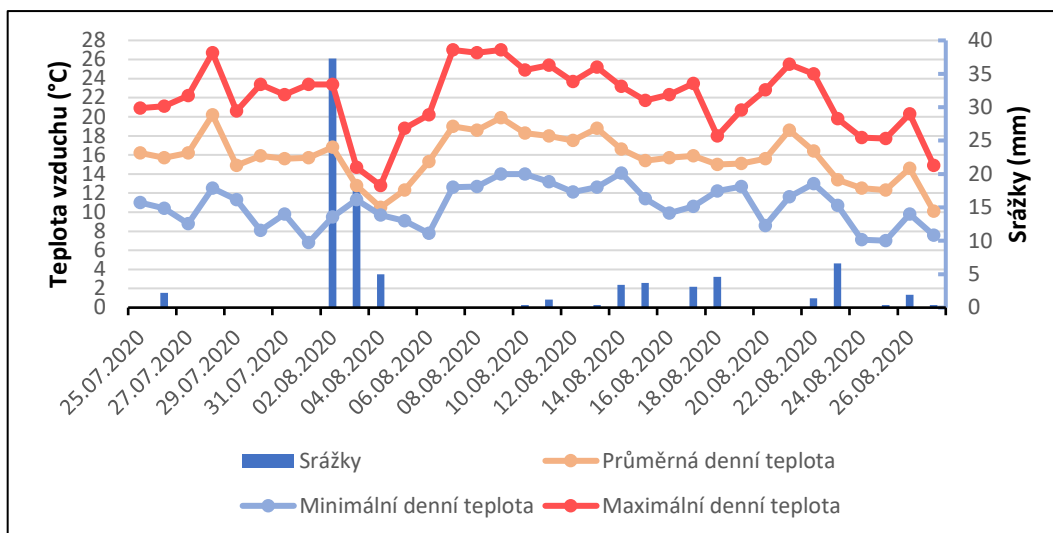


Graf 32: Průběh srážek a průtoku při události 16.8.2006  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a; 2023b)

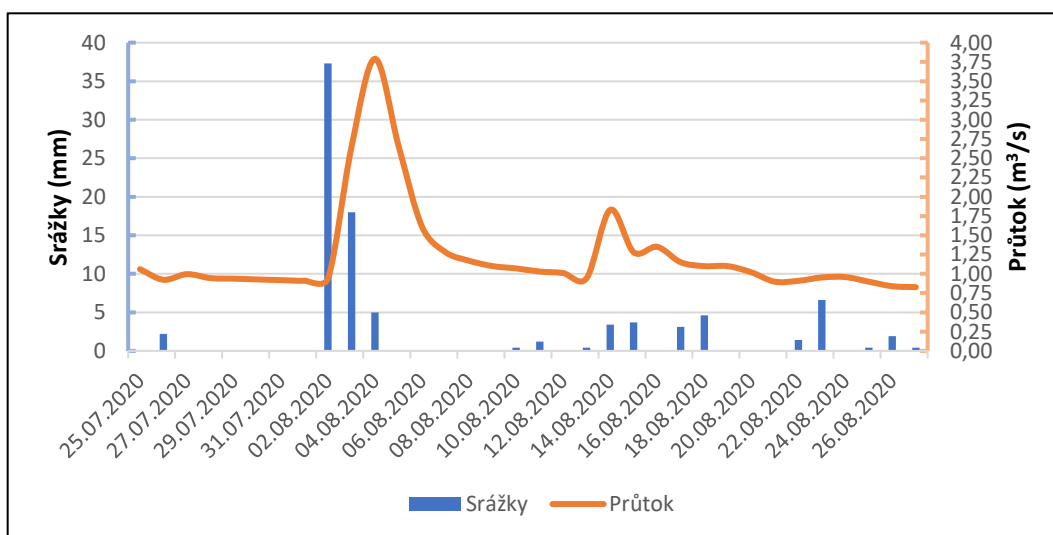
Při této události nebyly měřeny všechny parametry kvality vody, ale pouze některé. Chybí informace o specifické konduktivitě, TOC, DOC, rozpuštěných látkách, celkovém dusíku, dusičnanech, forem fosforu, většiny sledovaných kovů (vyjma Zn a Cu), K, Na, Cl a SO<sub>4</sub>. Vysoce nízké hodnoty dosáhl rozpuštěný kyslík (7,9 mg/l). Za zvolené období při této události byly naměřeny vůbec nejnižší hodnoty pro amoniakální dusík (0,01 mg/l) a dusitany (0,001 mg/l). Na straně druhé vyšších hodnot dosáhly parametry Cu a hlavně pH, které dosáhlo jedné z nejvyšších hodnot v průběhu měření – 8,4. Zaznamenaná teplota vody při této události měla hodnotu 12,6°C.

#### 7.5.5. Situace 25.08.2020

Situace ze srpna 2020 je situací dlouhodobého sucha s nedostatkem srážek v kombinaci s vysokými teplotami vzduchu. Od začátku července do 25. srpna napršelo jen 112,7 mm, a z toho 55 mm v průběhu 2. a 3. srpna při jediné výraznější srážkové události (graf 33), kdy tyto dny na to reagoval i průtok, který s denním zpožděním přesáhl  $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Průměrná denní teplota za dané období má hodnotu 14,9 °C, s maximálními denními teplotami vzduchu až 27°C. Důsledkem zmíněných faktů je pak výsledný průtok naměřený v den odběrů a měření kvality vody,  $0,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (graf 34).



Graf 33: Průběh teplot vzduchu a srážek při události 25.8.2020  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a; 2023b)

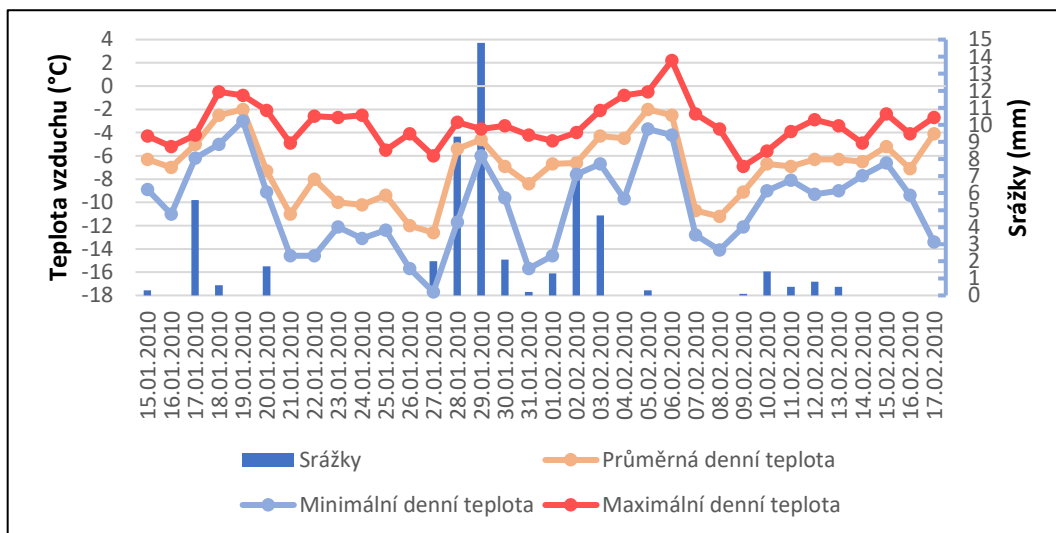


Graf 34: Průběh srážek a průtoku při události 25.8.2020  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a; 2023b)

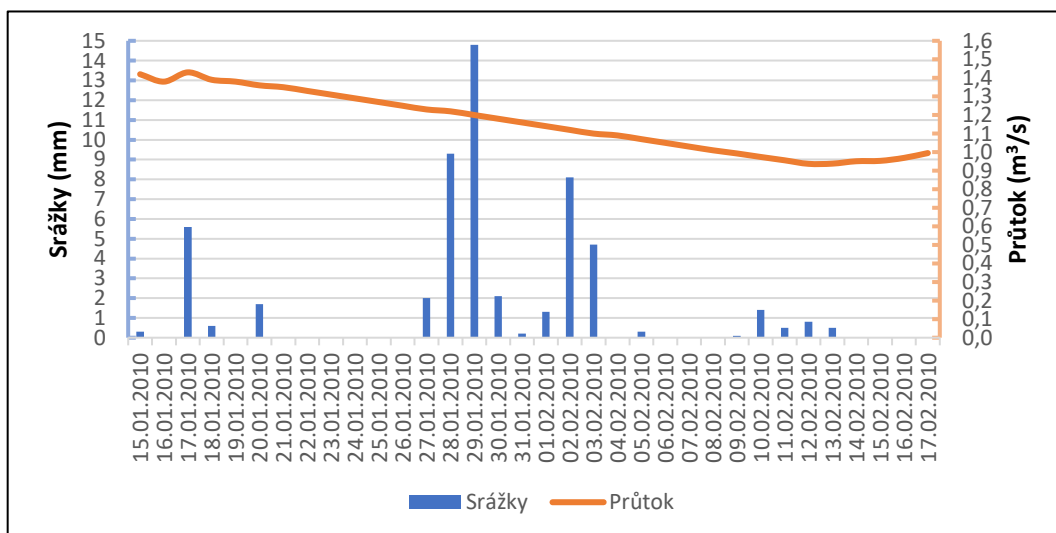
Při této události jsou zaznamenány nízké hodnoty všech ukazatelů organického znečištění či amoniakálního a celkového dusíku. Hlavním specifikem jsou hlavně nízké hodnoty většiny kovů (vyjma As a Ba). Velká část z těchto kovů dosahuje koncentrací, které jsou pod hranicí detekovatelnosti. Vyšších hodnot oproti běžným hodnotám dosáhly například specifická konduktivita (17,4 mS/m), rozpuštěné i nerozpuštěné látky, formy fosforu (0,04 mg/l) či prvky vyskytující se ve vodě formou iontů (Cl, Ca, Mg, Na). Jde o situaci s jednou z nejvyšších naměřených teplot vody, konkrétně 14,6°C.

### 7.5.6. Situace 15.02.2010

Situace je typickým příkladem nízkých zimních vodních stavů. Průtok tento den měl hodnotu  $0,95 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (graf 35). Od začátku roku až do poloviny března se průtoky na toku pohybovaly okolo hodnoty  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Ani srážkové úhrny nebyly vysoké, od začátku roku do 15. února činily 82 mm, z toho v 15ti únorových dnech pouze 15 mm. Průměrné denní teploty od 1. ledna nepřekročily  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  a klesaly až k  $-12,5 \text{ }^\circ\text{C}$  (graf 36). Maximální teplota vzduchu překročila  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  pouze jediný den, 6. února.



Graf 35: Průběh teplot vzduchu a srážek při události 15.2.2010  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a; 2023b)

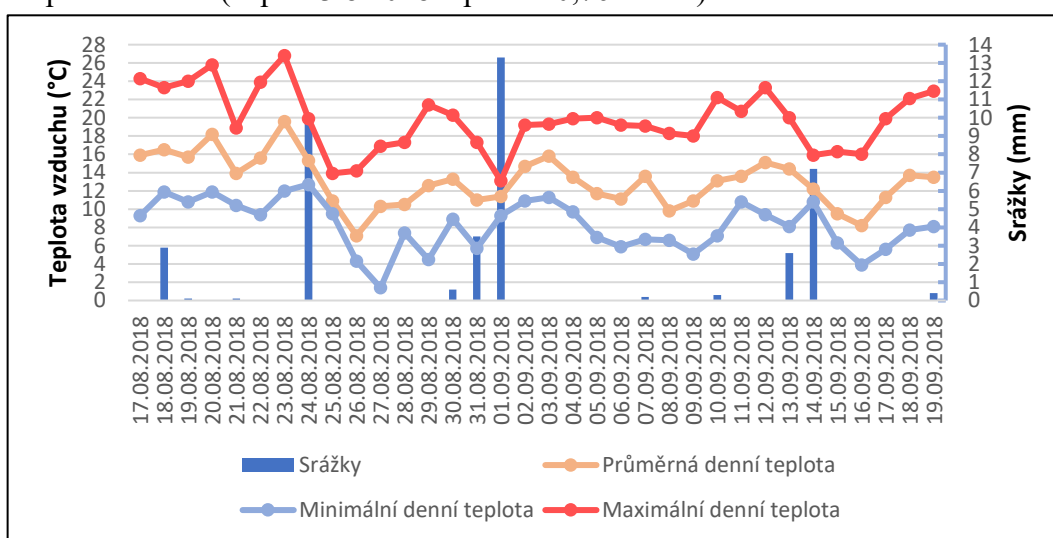


Graf 36: Průběh srážek a průtoku při události 15.2.2010  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a; 2023b)

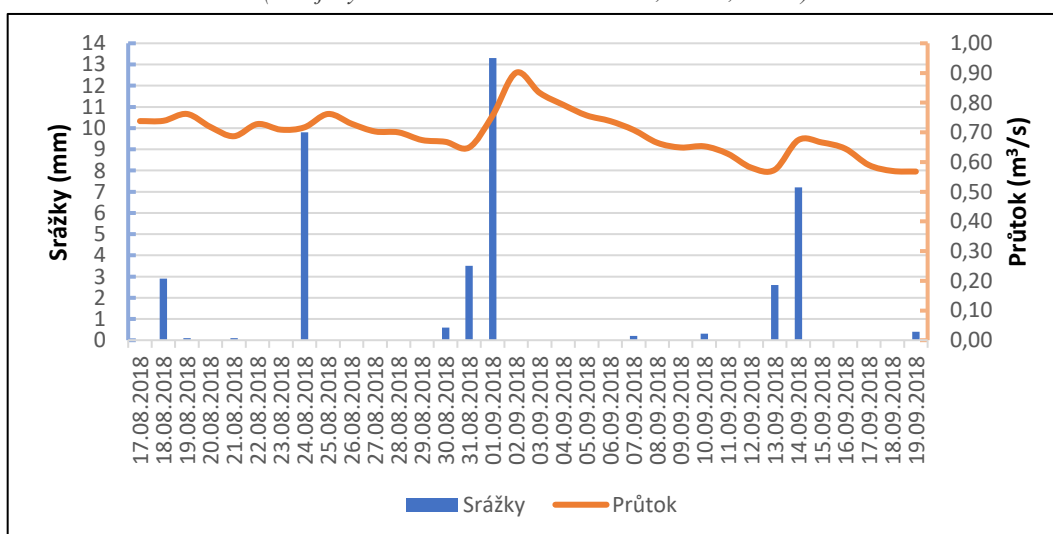
Při této události bylo zaznamenáno pouze 11 parametrů. Významněji nižších hodnot dosáhl rozpuštěný kyslík ( $8,1 \text{ mg/l}$ ),  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  ( $1,4 \text{ mg/l}$ ), Zn a Cu. Vysoké hodnoty, které jsou daleko od běžných hodnot pro daný parametr, dosáhly pouze koncentrace Mg ( $5,2 \text{ mg/l}$ ). Teplota vody při odběru byla jedna z nejnižších v průběhu odběrů,  $0,7 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 7.5.7. Situace 17.9.2018

Tato situace je s hodnotou průtoku  $0,59 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  nejnižším průtokem, pro který máme hodnoty většiny parametrů (graf 38). Pouze 6 měření za celé sledované období dosáhlo nižší hodnoty průtoku a všechny jsou ze stejného roku, 5 z nich dokonce ze stejného měsíce. Už z toho je patrné, že půjde o dlouhodobější období sucha. Nadprůměrné hodnoty teploty vzduchu byly zaznamenány skrze celý srpen i část září (graf 37). Od srpna do konce listopadu tohoto roku průměrný denní průtok přesáhl hodnotu  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  pouze po 13 dní. Za toto období byly zaznamenány i velmi nízké srážkové úhrny necelých 170 mm. Když vezmeme průměrné denní průtoky za září a uděláme z nich průměrnou hodnotu pro měsíc září dostaneme  $0,72 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . I další minimální průtoky, pro které máme data kvality vody, byly naměřeny v této epizodě sucha (např. 13.8.2018 – průtok  $0,76 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ).



Graf 37: Průběh teplot vzduchu a srážek při události 17.9.2018  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a; 2023b)



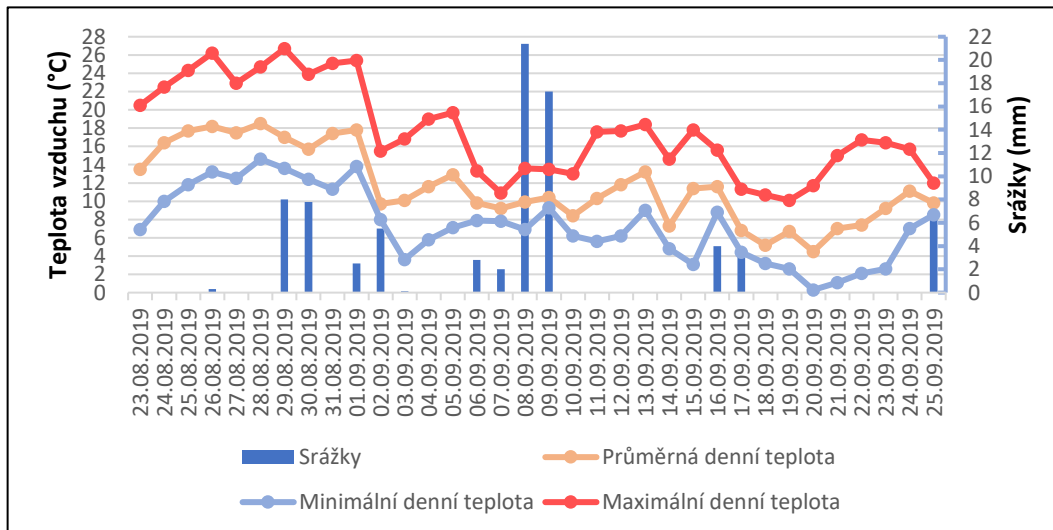
Graf 38: Průběh srážek a průtoku při události 17.9.2018  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a; 2023b)



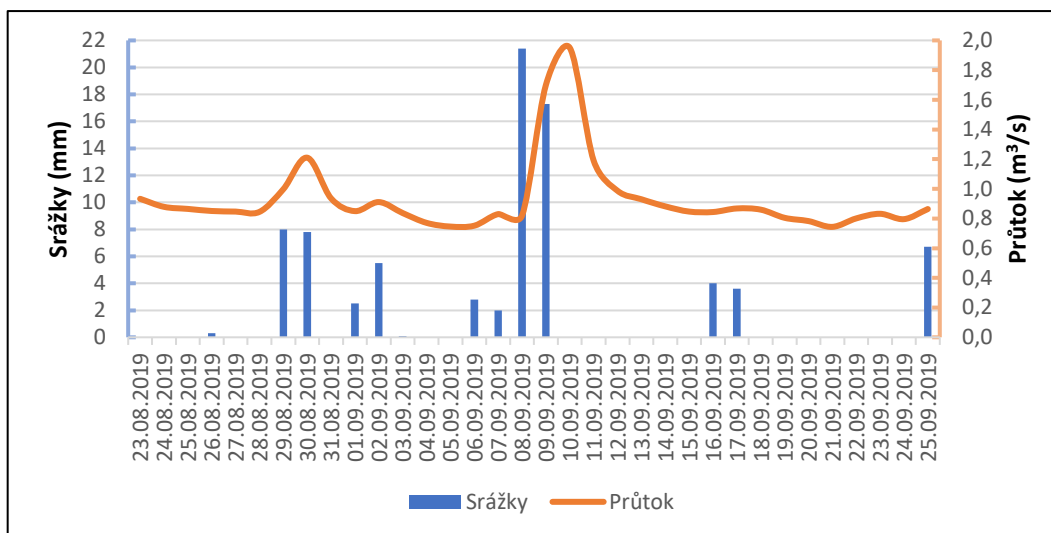
Při této události zaznamenáváme nejnižší naměřenou hodnotu pro parametr  $CHSK_{Mn}$  – 0,5 mg/l. Na druhé straně jiný parametr organického znečištění,  $BSK_5$ , vykazuje hodnotu okolo průměru (1,7 mg/l). DOC a TOC vyšly podprůměrně 1,7 mg/l. Jedny z nejnižších hodnot byly zjištěny také pro nerozpuštěné látky (2 mg/l) a většinu kovů (vyjma Ba a As, které naopak vykazují mírně vyšší hodnoty). Velká část těchto kovů je pod hranicí detekovatelnosti, vyjma Cu a Cd. Parametry, které zaznamenávají vyšší hodnoty oproti svým obvyklým, jsou například specifická konduktivita (19,6 mS/m), pH (8,2), látky vyskytující se v iontové formě (Cl, Ca, Mg, Na, K), ovšem žádný z těchto parametrů nedosahuje hodnot, které by byly významně vysoké. Voda měla teplotu při události 10,5°C.

### 7.5.8. Situace 23.9.2019

Tato situace je podobná předchozí události, nastala pouze o rok později a s nižšími teplotami vzduchu. Průtok byl zde mírně vyšší hodnoty – 0,83  $m^3 \cdot s^{-1}$  (pouze 0,09 % zaznamenaných průtoků vykazovalo nižší hodnoty). Od druhé poloviny srpna tohoto roku průtok překročil hodnotu 1  $m^3 \cdot s^{-1}$  jen ojedinele (graf 39). Srážkově šlo o chudé období, kdy od 1. srpna bylo zaznamenáno 147 mm srážek a od začátku září 59 mm, ovšem z toho 39 mm v průběhu dvou dní (8.-9.9) (graf 40), na což reagoval i průtok svým zvýšením na 1,95  $m^3 \cdot s^{-1}$ .



Graf 39: Průběh teplot vzduchu a srážek při události 23.9.2019  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a; 2023b)



Graf 40: Průběh srážek a průtoku při události 23.9.2019  
(Zdroj: vytvořeno na základě dat ČHMÚ, 2023a; 2023b)

Tato událost má několik významných, zejména nízkých, hodnot. Hodně nízkých hodnot dosahují parametry organického znečištění BSK<sub>5</sub> (0,7 mg/l), TOC (0,8 mg/l) a DOC, které dosahuje při této události nejnižší zaznamenané hodnoty pod hranicí detekovatelnosti, která je 0,5 mg/l. Nízké jsou i hodnoty forem dusíku (1 mg/l pro N<sub>celk</sub>), formy fosforu dosahují také nejnižších hodnot, které byly v datové řadě naměřeny. Orthofosforečnany vykazují hodnotu 0,01 mg/l, stejnou hodnotu má i celkový fosfor. Významně nízké, pod hranicí detekovatelnosti, jsou koncentrace většiny kovů, stejně jako u předchozích událostí s výjimkou Ba a As, a v tomto případě také Al. Významněji vyšší jsou hodnoty specifické konduktivity, pH, rozpuštěných látek (128 mg/l), s čímž koresponduje i zvýšená koncentrace Cl, Mg, Ca či Na. Při odběru měla voda teplotu 9,8°C.

### 7.5.9. Společné znaky vybraných událostí

Podíváme-li se na všechny vybrané situace dohromady, pak zjistíme, že nalezneme mnoho podobností a patrných trendů v chování jednotlivých parametrů kvality vody hlavně ve vztahu k průtoku. Obecně lze konstatovat, že hodnoty specifické konduktivity s rostoucím průtokem klesají, a naopak, že stoupají s nižším vodním stavem. S hodnotou konduktivity úzce zřejmě souvisí parametr rozpuštěných látek, který má podobný trend, ovšem s jednou výjimkou, a tou je situace z 25.8.2020, kdy není zaznamenána výrazně nižší hodnota tohoto parametru, i když průtok je nízký. Zcela opačně oproti specifické konduktivitě se chovají při sledovaných situacích hodnocené kovy, kdy jejich koncentrace klesá s nižšími vodními stavy, a naopak je vyšší za významnějších vodních stavů. S tím souvisí patrně i zvýšené koncentrace nerozpuštěných látek při vyšších průtocích.

Podobný trend, jako mají kovy, vykazují na základě námi zvolených situací také parametry organického znečištění –  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  a  $\text{BSK}_5$ . Koncentrace forem dusíku vykazuje pokles současně s poklesem průtoku, a naopak vzestup s nárůstem průtoku. To ovšem neplatilo při situaci, kdy došlo k nárůstu průtoku táním, které vzniklo nárůstem teploty vzduchu (situace z 27.3.2012). Při této konkrétní situaci byl naopak sledován pokles v hodnotách forem dusíku ve vodním toku. Velmi podobná „anomálie“ nastala také pro parametr TOC, kdy rovněž při této situaci byla zaznamenána nízká hodnota parametru, i když při ostatních vyšších vodních stavech byly hodnoty parametru relativně vysoké, ne-li dokonce nejvyšší zaznamenané za celé sledované období 1981-2020, což by mohlo naznačovat, že při tání sněhu se do toku neuvolňuje tolik organických látek. Parametry vyskytující se ve vodním prostředí ve své iontové formě (Ca, Mg, Na) jsou ve zvolených situacích typické poklesem svých hodnot s rostoucím průtokem a na druhé straně jejich nárůstem s nízkým průtokem. Výjimku tvoří pouze Na a Mg ze situace 12.1.1993, druhý nejvyšší průtok, pro který máme data o kvalitě vody k dispozici. Specifický je svým chováním draslík, který se oproti hořčíku, vápníku či sodíku chová ve většině situací zcela opačně.

Na základě těchto situací (ale i veškerých dostupných dat o kvalitě vody na profilu Horní Staré Město) lze usuzovat, že parametr pozorující fekální koliformní bakterie klesá s časem, nikoliv že by byl významněji závislý na průtoku. Také parametr pH vykazoval často nízké hodnoty současně s vysokým průtokem, ale šlo o situace podzimní až jarní. Naopak při letní situaci s vyšším vodním stavem bylo pH naopak vysoké, tudíž zde bude mít patrně vliv na jeho variabilitu také i jiný faktor, například vegetační sezóna. Vysokou variabilitu napříč situacemi, a tedy zřejmě malou závislost na průtoku, pozorujeme u parametru rozpuštěného kyslíku, který určitě závisí na teplotě.

## 7.6. Vlastní měření

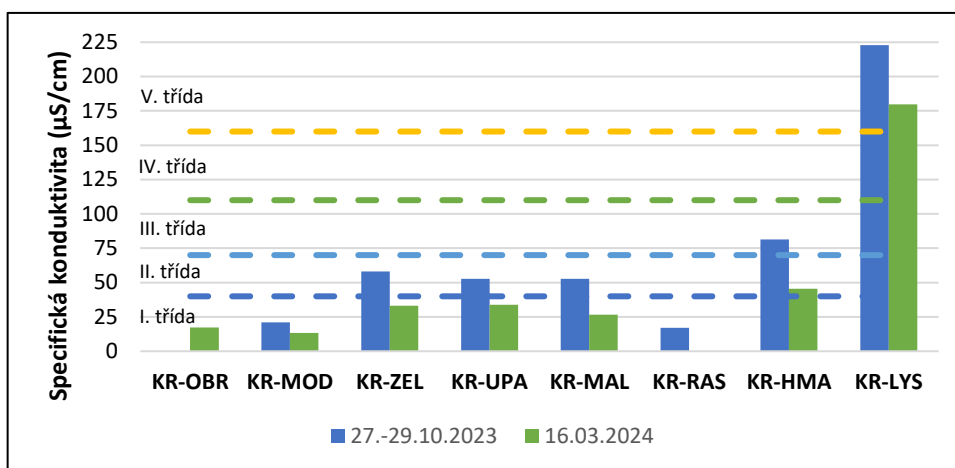
Vzorky pro zhodnocení kvality vody společně se stanovením průtoků, při kterých byly zjištěny koncentrace jednotlivých ukazatelů, byly odebrány 27.-29. 10. 2023. Bylo odebráno celkem 8 vzorků na následujících lokalitách: Modrý potok; Zelený potok před soutokem s Úpou; Úpa po soutoku se Zeleným potokem; Lysečinský potok; Malá Úpa; Úpa v Horním Maršově, Úpa v Obřím dole a Úpa pod výtokem z rašeliniště. Následně byla provedena ještě druhá epizoda odběru v období jarního tání, konkrétně 16. 03. 2024 na stejných profilech vyjma Úpy pod výtokem z rašeliniště, protože v oblasti se stále nacházela sněhová pokrývka. Kde to bylo nutné a proveditelné proběhlo měření průtoků pomocí přístroje Flowtracker. Hodnoty průtoků na jaře jsou na všech profilech 3,5-6,5x vyšší než na podzim. Hodnoty teploty vody na sledovaných profilech při odběrech jsou uvedeny v tabulce 26.

Tabulka 26: Teplota vody na odběrových lokalitách při odběrových kampaních

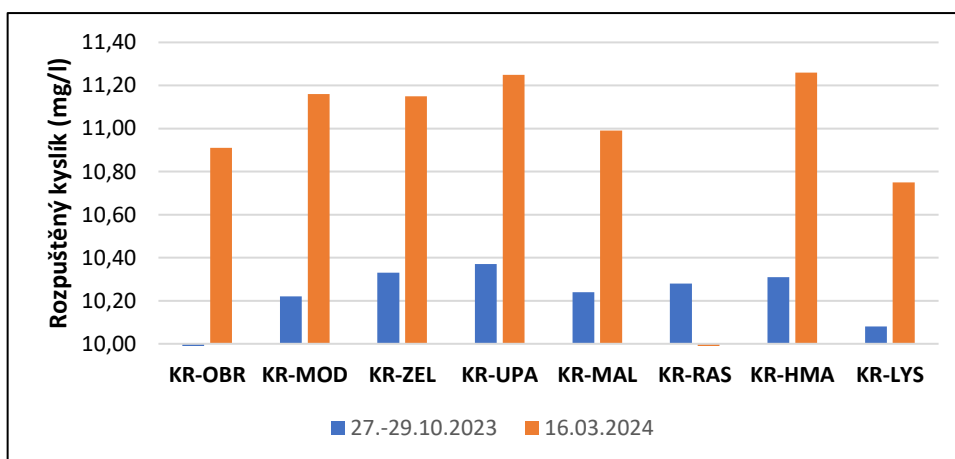
| Profil | Teplota vody podzimní kampaň 27.-29.10-2023 (°C) | Teplota vody jarní kampaň 16.03.2024 (°C) |
|--------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| KR-MOD | 7,1                                              | 4,2                                       |
| KR-OBR | neměřeno                                         | 4,2                                       |
| KR-MAL | 7,6                                              | 5,6                                       |
| KR-UPA | 7,7                                              | 5,0                                       |
| KR-ZEL | 7,6                                              | 4,7                                       |
| KR-RAS | 5,6                                              | neměřeno                                  |
| KR-LYS | 8,5                                              | 7,3                                       |
| KR-HMA | 8,2                                              | 6,0                                       |

Hodnoty *specifické konduktivity* se v oblasti pohybují ve velkém rozmezí hodnot. Nejnižších hodnot nabývá v pramenné oblasti na profilu KR-RAS (17,07  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), podobně nízké hodnoty pozorujeme také na profilu KR-MOD (graf 41). Obecně lze konstatovat, že hodnota konduktivity směrem po proudu toku narůstá. Všem pozorování se vymyká profil KR-LYS s hodnotou 223  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respektive 180  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Důvodem této vysoké hodnoty bude, že tok odvodňuje krasovou oblast. Lysečinský potok tak významnou měrou bude patrně po soutoku s Úpou navyšovat hodnotu parametru, což ovšem nevidíme, protože profil KR-HMA se nachází těsně před soutokem s tímto potokem. Na všech profilech je hodnota parametru vyšší při podzimním nižším průtoku.

Parametr *rozpuštěného kyslíku* se na profilech pohybuje v úzkém rozmezí 10,08-10,37 mg/l při podzimní kampani a 10,75-11,26 mg/l při jarní kampani (graf 42). Protože rozpuštěný kyslík je teplotně závislou veličinou, tak rozdíl v hodnotách parametru mezi odběrovými kampaněmi bude způsoben hlavně touto skutečností. Teplota vody při podzimní kampani byla přibližně o 2,5°C vyšší. Nejvyšší hodnoty dosahuje na profilu KR-UPA, který je přímo za ČOV, což může ukazovat na vyšší prokysličení při procesu čištění. Nejnižší a jediná významněji nižší hodnota u obou kampaní byla zaznamenána na profilu KR-LYS, zde by mohl být vliv podzemní vody.

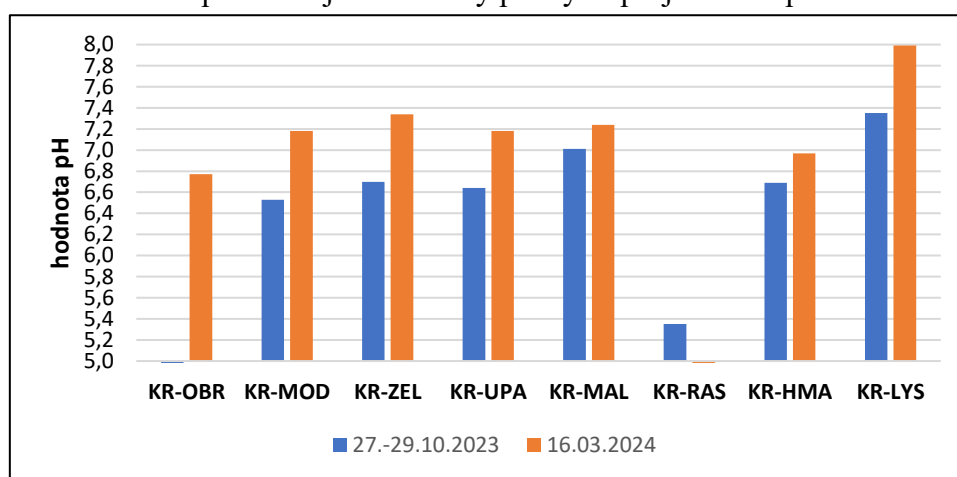


Graf 41: Hodnoty parametru specifické konduktivity na odběrových profilech se zvýrazněním hranic jakostních tříd parametru



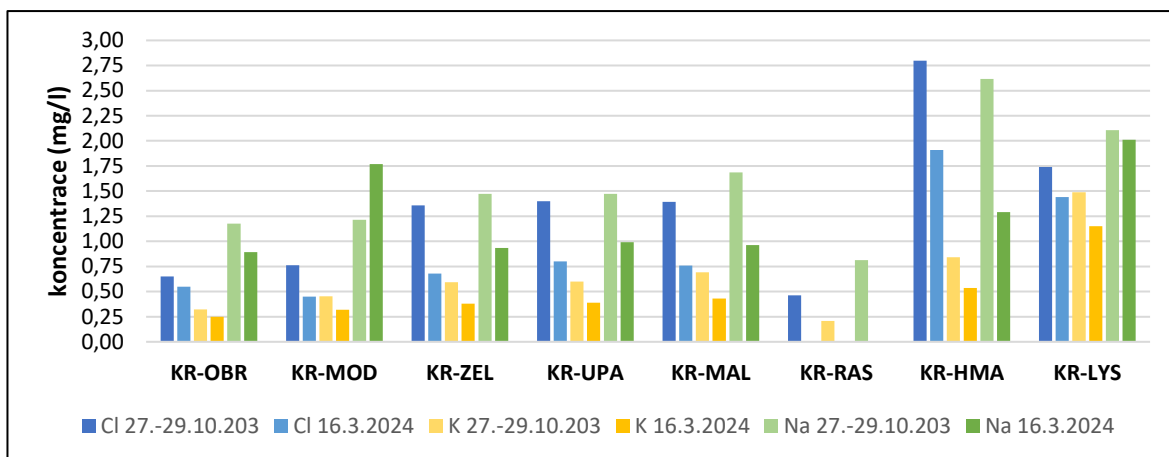
Graf 42: Hodnoty parametru rozpuštěného kyslíku na odběrových profilech

Hodnoty *pH* jsou velmi rozdílné mezi profily. Profily KR-MOD, KR-ZEL, KR-UPA a KR-MAL, KR-HMA vykazují podobné hodnoty mezi 6,5-7,0 pro podzimní období a 6,9-7,4 pro jarní kampaň (graf 43). Od těchto hodnot se výrazněji odlišují 2 profily. Na profilu KR-LYS bylo zjištěno *pH* 7,35 a 7,99, což jako u konduktivity bude zřejmě důsledek krasového podloží. Pro rašeliniště (KR-RAS) byla naměřena hodnota *pH* mezi 5,2-5,5, což poukazuje na kyselost v pramenné oblasti a nízké *pH*, které je pro oblasti rašelinišť typické. Vzhledem k charakteru koryta toku hodnota *pH* oscillovala mezi těmito hodnotami. Na všech profilech jsou hodnoty *pH* vyšší při jarní kampani.

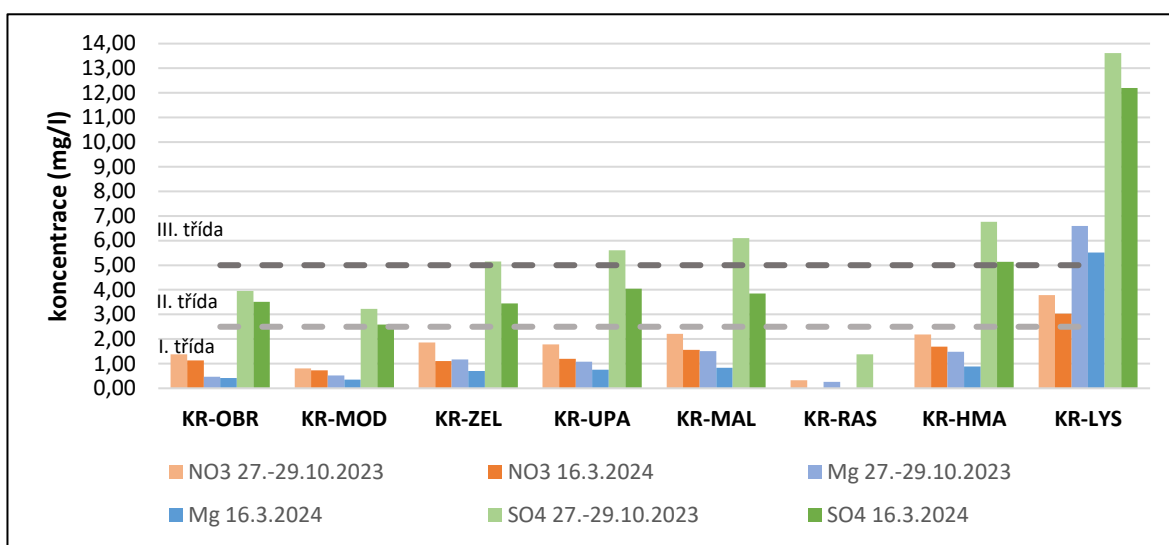


Graf 43: Hodnoty parametru *pH* na odběrových profilech

Hodnoty *chlóru* narůstají směrem po proudu řeky Úpy (graf 44), kdy nejvyšší hodnoty dosahují na profilu KR-HMA a nejnižší v pramenné oblasti (KR-RAS). Podobný trend sledujeme i u *hořčíku*, zde jsou ovšem vyšší koncentrace sledovány také na přítocích, konkrétně na profilu KR-MAL a výrazně vyšší u profilu KR-LYS, kde jsou více než 4x větší oproti KR-HMA. Totožně jako hořčík se u všech profilů chová i *draslík*, a téměř stejně i *sířany*. *Dusičnany* se chovají velmi podobně jako bazické ionty zmíněné výše. Nejnižších hodnot dosahují ve vyšších nadmořských výškách, v pramenných oblastech a postupně směrem níže po toku jejich koncentrace narůstají, přičemž opět profily KR-MAL a hlavně KR-LYS evidují vyšší hodnoty (graf 45). Koncentrace *sodíku* povětšinou také rostou směrem po proudu řeky, ovšem jeho vyšší koncentrace jsou v jarní kampani zaznamenány vůči ostatním lokalitám na profilu KR-MOD, který se nachází blíže pramenné oblasti. Tato odběrová lokalita je jedinou, kde byly na jaře hodnoty *sodíku* vyšší než na podzim (velmi podobné jsou hodnoty ještě na profilu KR-LYS). Jinak pro všechny zmíněné parametry v tomto odstavci na všech profilech jsou hodnoty ukazatelů nižší při jarní kampani oproti podzimní, což bude patrně důsledek rozdílného průtoku a ředění koncentrací v jarním období.



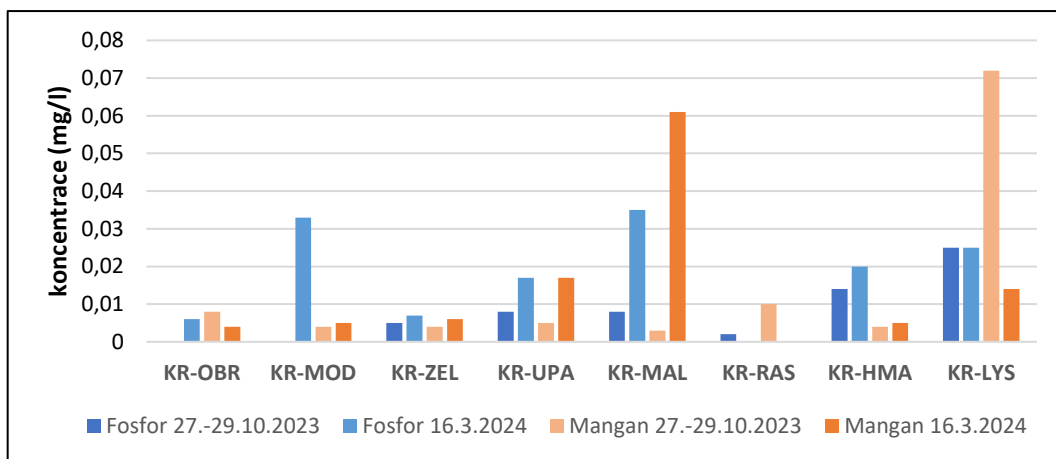
Graf 44: Naměřené hodnoty parametrů Cl, K a Na podle odběrových lokalit



Graf 45: Naměřené hodnoty parametrů NO<sub>3</sub>, Mg a SO<sub>4</sub> podle odběrových lokalit (světlá čára je hranice mezi I. a II. jakostní třídou, tmavá mezi II. a III. třídou pro parametr NO<sub>3</sub>)

Parametr *fosforu* dosahuje nízkých hodnot na všech profilech, na dvou (KR-OBR a KR-MOD) dokonce při podzimní kampani nulových hodnot. Profil KR-LYS opět dosahuje výrazně vyšší hodnoty parametru oproti ostatním profilům v období podzimu, ovšem na jaře je situace odlišná (graf 46). Vyšší koncentrace, než na Lysečinském potoce, jsou pozorovány na profilech KR-MAL a KR-MOD, obdobně jako tomu bylo u sodíku. Na sledovaných profilech jsou jarní koncentrace fosforu vyšší, pouze na profilu KR-LYS totožné.

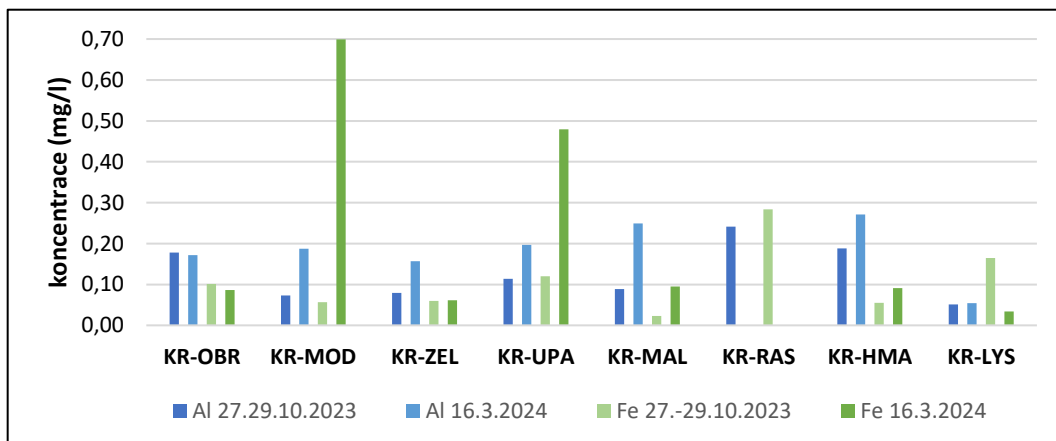
*Mangan* z hodnocených kovů dosahuje nejnižších koncentrací, řádově v mikrogramech na většině profilů. Ze zvolených profilů se výraznější koncentrace nalézají pouze na profilu KR-LYS při podzimní kampani a na profilu KR-MAL na jaře. Koncentrace manganu jsou na podzim oproti jaru vyšší na profilu KR-OBR a KR-LYS, na ostatních profilech jsou vyšší jarní hodnoty.



Graf 46: Naměřené hodnoty parametrů fosforu a manganu na odběrových lokalitách  
Pzn.: Fosfor pro KR-RAS na jaře nestanoven, pro KR-OBR a KR-MOD na podzim hodnota 0

Hliník nejvyšších hodnot dosahuje u profilu pod výtokem z rašeliniště (KR-RAS) a postupně jeho hodnoty klesají, nízké hodnoty mají i přítoky. U profilu nejnižší po toku (KR-HMA) ovšem byla zjištěno zvýšení hodnoty parametru, není ovšem zřejmé, čím to bylo způsobeno. Může být z některého z přítoků mezi profily KR-UPA a KR-HMA, na kterých jsme průzkum neprováděli, například z Javořího potoka, který pramení na vrcholu Černé hory v Černohorském rašeliništi. Vyšší koncentrace hliníku jsou na většině profilů v jarní kampani, na profilech KR-LYS a KR-OBR jsou pro obě kampaně hodnoty téměř stejné.

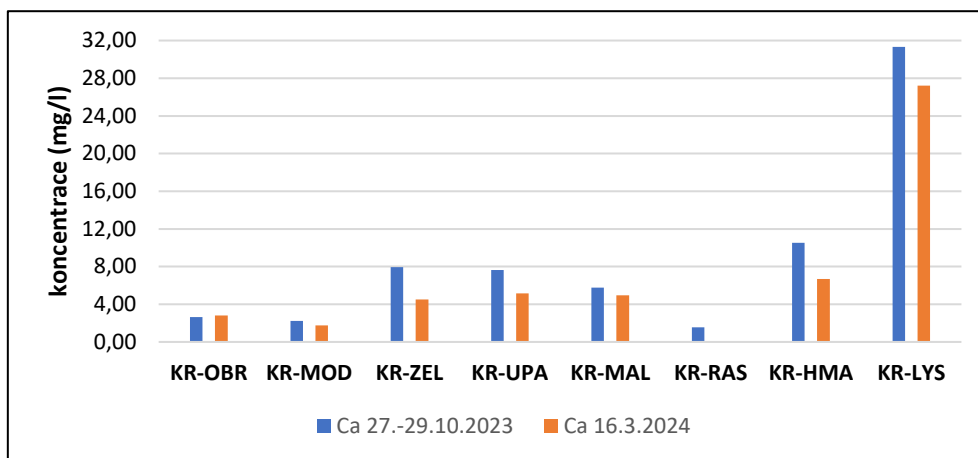
Parametr železa dosahuje nejvyšší hodnoty v oblasti rašeliniště (KR-RAS) (profil hodnocen pouze na podzim) a jeho koncentrace v průběhu toku spíše klesá. Navyšuje se pouze na profilu KR-UPA, což může být způsobeno okolními přítoky z vrcholových oblastí. Na většině přítoků je množství železa v toku nižší než v samotné řece Úpě, výjimku tvoří Lysečinský potok (KR-LYS) v podzimní kampani a Modrý potok (KR-MOD) na jaře. Parametr má výrazně vyšší hodnoty na jaře u profilů KR-MOD, KR-MAL a KR-UPA, naproti tomu u lokalit KR-OBR, KR-LYS je situace opačná (graf 47).



Graf 47: Naměřené hodnoty hliníku a železa na odběrových lokalitách



Koncentrace vápníku v toku řeky Úpy jednoznačně narůstají směrem po proudu toku (graf 48), od profilu KR-RAS po profil v Horním Maršově (KR-HMA). Významně se vymyká svými hodnotami profil KR-LYS (31,3 mg/l), což je důsledek přítomnosti rozpuštěného vápníku ve vodním prostředí Lysečinského potoka z krasu. Na všech sledovaných profilech vyjma KR-OBR je hodnota naměřeného vápníku vyšší při podzimní kampani.



Graf 48: Naměřené hodnoty vápníku na odběrových lokalitách

Celkově lze konstatovat, že od charakteru všech profilů se odlišuje profil KR-LYS, který je ovlivněný geologickým podložím oblasti v povodí Lysečinského potoka. Průtok potoka je oproti ostatním přítokům také nižší, což může umocňovat vyšší koncentrace parametrů, které ovlivňuje přítomnost krasu. U většiny parametrů (pH, specifická konduktivita) významně odlišných hodnot dosahuje také profil KR-RAS pod výtokem z Úpského rašeliniště, které tak má zřejmý vliv na kvalitu vody v toku a hodnoty parametrů jako je pH či hliník a železo, ovšem pro tento profil byla provedena pouze podzimní kampaň při nižších vodních stavech.

## 8. Diskuse a shrnutí výsledků

V zájmové lokalitě povodí horní Úpy bylo provedeno zhodnocení S-O režimu na základě dostupných dat, byla zjištěna a analyzována změna kvality vody za 40leté období, dále byly podrobněji analyzovány situace, kdy nastala nějaká hydrologicky extrémní situace a sledovali jsme, jak reagují parametry kvality vody právě při těchto situacích. Pro doplnění byl na několika lokalitách (na samotné řece Úpě a na některých jejích přítocích) proveden orientační odběr vzorků vody, který byl analyzován v laboratoři a vyhodnocen. Současně s odběrem bylo uskutečněno i měření průtoku v daném místě odběru.

V povodí horní Úpy se tématem kvality vody zabývali ve svých studiích Gajdoš (2016), Vlachová (2015) či Portych (2005). Žádný z autorů ovšem neanalyzoval vliv hydrologických extrémů na stav kvality vody, pouze Portych (2005) na celém toku Úpy hodnotil závislost koncentrací některých parametrů na průtoku. Gajdoš (2016) se na Úpě zabýval hmotnostní bilancí vybraných ukazatelů kvality vody jak na řece Úpě, tak na jejích přítocích v horní části povodí po soutok s Malou Úpou v rozmezí let 2014-2015. Autor zjistil, že koncentrace TOC či  $CHSK_{Mn}$  jsou na nízké úrovni, vyjma 1 měření, které bylo v deštivém období, s mírně vyšším průtokem v oblasti. Při tomto pozorování byly i vyšší koncentrace amoniakálního dusíku. Výsledky tak naznačují, že tyto parametry reagují svým zvýšením na srážkové události, čímž potvrzuje i naše výsledky. Vlachová (2015) vyhodnocovala čistě kvalitu vody v horní části toku řeky Úpy a jejích přítoků po soutok s Malou Úpou společně s hodnocením vlivu ČOV v Peci pod Sněžkou od května do listopadu 2015. Naše studie potvrzuje výsledky Vlachové (2015) v tom, že s rostoucím průtokem stoupá koncentrace TOC. Také potvrzuje, že koncentrace síranů a dusičnanů nijak výrazněji nereagují na hodnoty průtoku. Portych (2005) se věnoval hodnocení kvality vody na všech sledovaných profilech řeky Úpy Povodím Labe s.p v období 1986-2004. Autor na profilu HSM potvrdil zlepšení většiny parametrů hodnocení kvality vody, stejně jako tato studie. Pro profil HSM autor zjistil, že koncentrace amoniakálního dusíku stoupají s rostoucím průtokem, i když ne tak výrazně jako v této práci, shoda panuje na stagnaci koncentrací celkového fosforu, a tedy jeho zřejmou nezávislost na hodnotě průtoku. Protichůdné výsledky autor zjistil pro chování  $BSK_5$  a také nepozoroval závislost  $CHSK$  na průtoku.

Z výsledků je patrný nárůst hodnot *teploty vody* ve sledovaném období, což je z velké části spojeno s nárůstem teploty vzduchu v oblasti, to potvrzuje ve své studii například Mičaník et al. (2011) či Ptak (2018). Nárůst teploty vody je téměř dvojnásobně rychlý oproti vzrůstu teploty vzduchu, proto je možné očekávat ještě výraznější vzestup průměrné roční teploty vody v oblasti. Jelikož teplota vodního prostředí ovlivňuje i hodnoty jiných parametrů hodnocení kvality vody, je tak její nárůst důležitou součástí vyhodnocování změn v kvalitě vody (Bartlett, Dedekorkut-Howes 2022).

Parametr *konduktivity* vykazuje za sledované období nepatrný pokles, většina hodnot osciluje v okolí průměrné hodnoty 14,6 mS/m s minimy v období jarního tání sněhu a vyšších vodních stavů, a maximy naopak v letním období sucha s nízkými průtoky, a významně tak negativně koreluje s průtokem. Toto chování konduktivity je prokázáno v mnoha dalších studiích, kupříkladu stejné změny pozorovali Šajnarová (2021) či Fraindová et al. (2022a). Su, Langhammer, Jarsjö (2017) doplňují, že zvýšená konduktivita může být pozorována u povodí, které jsou zasažena kůrovcem. U zvolených extrémních situací se hodnota parametru chová dle očekávání, jedinou výjimkou je nízký vodní stav v zimním období, kdy nebyla zaznamenána vyšší hodnota konduktivity jako u letních nízkých průtoků. Vlachová (2015) prokázala, že za ČOV v Peci pod Sněžkou stoupá hodnota konduktivity. Odběrová lokalita autorky byla přibližně 200 metrů níže po toku od lokality, kde vzorky byly odebrány v rámci této práce. Na tomto úseku řeka nepřijímá žádný přítok a nachází se v jejím okolí pouze několik rekreačních objektů. Na základě našeho výzkumu tak autorčino tvrzení můžeme potvrdit. Chuman et al. (2013) a Pfeiffer et al. (2021) vyzorovali, že hodnota specifické konduktivity klesá s nadmořskou výškou, což v porovnání s námi zjištěnými výsledky je pravda jen částečně. Je třeba také vzít v úvahu, že v pramenné oblasti se nacházejí rašeliniště či podmáčené plochy, a že vliv mohou mít i jiné faktory jako třeba geologie, což je případ Lysečinského potoka, který má výrazně vyšší hodnotu konduktivity než ostatní, protože protéká krasovou oblastí.

Parametry organického znečištění ( $BSK_5$ ,  $CHSK_{Mn}$ ) zaznamenaly významný pokles v koncentracích v průběhu sledovaného období, což značí odstranění bodových zdrojů organického znečištění. Zřejmě hlavním důvodem zlepšení bude výstavba ČOV v Peci pod Sněžkou. Totožné výsledky jsou zjišťovány vodními toky napříč republikou, například na horním toku Labe (Boháčová 2016). Hodnoty  $CHSK_{Mn}$  stále občasně vykazují vyšší hodnoty patrně proto, že na rozdíl od  $BSK_5$  tento parametr reaguje na organické látky, které

jsou přírodního původu, tedy z rašelinných pramenných oblastí, ostatních podmáčených ploch a lesů v povodí. Nevykazují významnější sezónní trend. Rozdílná je závislost obou parametrů na průtoku.  $BSK_5$  nevykazuje významnější korelaci, kdežto  $CHSK_{Mn}$  má významnou pozitivní korelaci, což patrně plyne právě z toho, že se při vyšších průtocích do vodního prostředí dostává organická hmota z pramenných oblastí. To potvrzuje kupříkladu Navrátilová (2020) a také Fraindová et al. (2022a; 2022b). U parametru  $BSK_5$ , kde nebyl zjištěn žádný významný vztah vzhledem k průtoku, ale Navrátilová (2020) pozorovala inverzní vztah, kdy s rostoucím průtokem klesaly koncentrace  $BSK_5$ . U extrémních situací, které byly vyhodnocovány, bylo chování  $BSK_5$  a  $CHSK_{Mn}$  velmi podobné, jejich pokles byl u situací s nižšími vodními stavy a nárůst s vyššími.

Parametry organického uhlíku (*TOC*, *DOC*) zaznamenaly podobný pokles jako parametry organického znečištění, a velmi podobný je i sezónní trend těchto ukazatelů. Oba parametry také, stejně jako  $CHSK_{Mn}$ , mají pozitivní korelace s hodnotami průtoku, což bude z velké části důsledek vyplavování organických látek z povodí. Špringerová (2019) či Navrátilová (2020) potvrzují, že vyšší koncentrace *TOC/DOC* jsou právě v povodích s rašeliništi. Vyšší koncentrace organického uhlíku ve vodním prostředí při vyšších vodních stavech zjistil Bartůšek (2022). Botter, Burlando, Faticchi (2019) vysvětlují vyšší koncentrace *TOC* či *DOC* při vyšších průtocích tím, že tyto ukazatele jsou vázány na půdní částice, které se při těchto stavech mobilizují. Ačkoliv většina publikovaných studií potvrzuje pozitivní závislost těchto parametrů na průtoku, tak Jennings et al. (2020) žádný vztah nepozorují a Mičaník et al. (2011) zjistili zvýšené koncentrace *DOC* v povodí Flájského potoka s rašeliništi v letním období, kdy se na výši vodního stavu podílel hlavně odtok bazální. V hodnocených situacích oba parametry zaznamenávaly nízké hodnoty při letních obdobích sucha, při zimním nízkém vodním stavu byla hodnota okolo průměru. Zajímavé je chování při vysokých průtocích, kdy při klasickém tání spojeném se srážkami v kapalném stavu byly hodnoty parametrů jedny z nejvyšších, ale při tání, které bylo způsobeno pouze nárůstem teploty vzduchu, tedy na průtoku se významně podílí pouze tající sníh, byl naopak zaznamenán pokles hodnot *TOC*.

Hodnota *pH* vykazuje za hodnocené časové rozmezí výrazný nárůst, což bude důsledek vzpamatování se z acidifikace, což potvrzuje Hruška, Majer, Fottová (2010) právě pro povodí Úpy. Vzestup *pH* ve svých studiích v českých pohoří pozorují také Fraindová et al. (2022a). Hruška, Majer, Fottová (2010) zjistili, že *pH* v Krkonoších klesá významně s rostoucí nadmořskou výškou, což potvrzuje Chuman et al. (2013) pro celé území republiky. Z výsledků této práce jsou zřejmé i změny v průběhu jedné sezóny, kdy nejvyšších hodnot *pH* dosahuje v letním období, naopak v zimě nejnižších. Parametr *pH* má mnoho významných negativních korelací s jinými parametry, konkrétně s ukazateli organického znečištění, dusíkem, některými kovy. S průtokem *pH* má dle výsledků negativní vztah, podobné výsledky zaznamenaly také Doležal (2020) či Prokš (2010), který ale dodává, že toto tvrzení v jeho studii platí u vysokých průtoků, ale ne u nízkých. Laslop (2016) nezaznamenal změnu *pH* spojenou se změnou vodního stavu. U analyzovaných extrémních událostí, kde docházelo k tání sněhové pokrývky, byla zaznamenána typicky nízká hodnota *pH*. Kočárková (2016) pak dodává, že právě průtok, zejména v období tání sněhu, a roční období jsou hlavními faktory měnící hodnotu *pH*. Kocum et al. (2016) tvrdí, že na *pH* vodního toku má také významný vliv rašeliniště a že s klesajícím *pH* stoupá koncentrace TOC. Podobné výsledky byly zjištěny i v této práci. Hodnocení vybraných situací nasvědčuje spíše závislosti parametru na období roku než na průtoku. Kafka (2014) uvádí, že může také docházet ke zvyšování hodnoty *pH* směrem od pramene vlivem tlumivého efektu přítoků. Tento efekt pozorujeme pouze částečně, kdy pramenná oblast má významně nízké *pH*, a to vlivem přítomnosti rašeliniště. Přítoky mají vyšší hodnoty *pH* a napomáhají tak zvýšení jeho hodnoty, ale třeba Lysečinský potok má významně vyšší hodnotu vlivem přítomnosti krasu.

Jednotlivé *formy dusíku*, i ukazatel *celkového dusíku*, vykazují významné zlepšení a pokles koncentrací v průběhu posledních 40 let. Zejména pokles amoniakální formy a dusitanů bude způsoben výstavbami ČOV v oblasti. Pokles množství dusíku ve vodním toku může být také důsledkem poklesu atmosférické depozice dusíku, jak tvrdí Eshleman, Sabo, Kline (2023). Sezonalita dusičnanů, a tedy i celkového dusíku, je odvinutá od vegetační sezóny, kdy nejvyšší koncentrace jsou v zimě a nejnižší koncem jara či počátkem léta, kdy je nejvyšší spotřeba dusíku k výstavbě těl rostlin, což potvrzují Janský, Pivokonský (2001), ale oproti tomu Hudcová (2007) na Kopaninském potoce zaznamenala nejvyšší koncentrace na jaře a nejnižší v průběhu podzimu. Jednotlivé formy dusíku mají podobný vztah k ostatním parametrům hodnocení kvality vody, jako například negativní korelaci

s teplotou vody či pH, naopak pozitivní vztah mají s konduktivitou, fosforem, BSK<sub>5</sub>, CHSK<sub>Mn</sub>, Ca či Mg. Amoniakální dusík zřejmě silně negativně ovlivňuje parametr saprobního indexu bentosu. Dusík a jeho formy se zdají být v zájmovém povodí jen velmi málo ovlivněny průtokem. Slabší kladnou korelaci s průtokem má pouze amoniakální dusík, což může být způsobeno tím, že při vyšších vodních stavech se dostává více této formy do vodního toku. Dedková (2021) také pozorovala nárůst koncentrací amoniakálního dusíku s rostoucím průtokem, ale k tomu i nárůst dusičnanů, který pozorovali Fraindová et al. (2022b) či Wild (2019; 2021) domnívající se, že jde o důsledek plošného splachu a znečištění. Naopak pokles koncentrací dusičnanů při vyšším průtoku pozorují Whitehead et al. (2009) či Puczko, Jekatierynczuk-Rudczyk (2020). Ze všeho výše zmíněného plyne, že chování dusíku je velmi různorodé a závislé na mnoha faktorech, které se mohou lišit povodí od povodí. U extrémních situací většinou je pozorován nárůst koncentrací forem dusíku s rostoucím průtokem a jejich pokles v období nízkých průtoků, výrazně reagují amoniakální dusík a dusitany, dusičnany spíše slaběji. Výjimku tvoří letní povodeň, kdy výrazně poklesla zejména koncentrace amoniakálního dusíku. Na základě odběrů v oblasti lze usuzovat, že nejvíce dusičnanů do řeky Úpy přináší okolní malé přítoky. Obecně mají ale pramenné oblasti typicky nízké koncentrace dusíku, protože zde scházejí antropogenní zdroje dusíku (Pfeiffer et al. 2021).

*Celkový fosfor a orthofosforečnany* stejně jako formy dusíku zaznamenávají patrný pokles ve svých koncentracích ve vyhodnocovaném období, pokles množství fosforu ve vodním toku zaznamenali také Fraindová et al. (2022a). V sezónním trendu je zřejmé maximum fosforu v letním období, na kterém se budou podílet patrně drobné rozptýlené zdroje znečištění a pastviny s chovem dobytka. V menší míře může jít také o důsledek hnojení a splachu hnojiv i přesto, že zemědělská plocha v povodí tvoří nepatrnou část. Oba parametry mají kladný vztah k rozpuštěným i nerozpuštěným látkám, BSK<sub>5</sub> a formám dusíku. Nebyl zjištěn žádný významný vztah vzhledem k hodnotám průtoku, což může být způsobeno tím, že povodí je velmi málo zemědělsky využíváno a nedochází tak k významnějším plošným splachům. U zvolených situací chování fosforu variuje, patrný je ale jeho pokles v období letního sucha, což zřejmě souvisí s tím, že není splachován do toku z okolí. Méně fosforu je v horní až pramenné části toku a jeho hodnoty stoupají směrem po proudu toku, což tvrdí také Pfeiffer et al. (2021).

V oblasti je pozorován podstatný dlouhodobý pokles koncentrace *síranů*, což bude patrně důsledek snížených emisí síry do ovzduší, která se významně podílela na acidifikaci v této lokalitě. Sezónní maxima síranů jsou zaznamenávána v dubnu, kdy nejspíše dochází k nejvyššímu uvolňování  $\text{SO}_4$  do řeky z rašeliniště a podmáčených lesních lokalit, které zřejmě sírany akumulují. Následně koncentrace klesají s letními minimy, kdy je komunikace toku s rašeliništěm a lesy nejnižší. Obsah síranů ve vodním prostředí dle zjištěných výsledků úzce pozitivně souvisí s ukazateli konduktivity, formami dusíky a bazickými ionty. Významnější inverzní vazbu má s pH. Mičaník et al. (2011) zjistili negativní spojení s DOC, v této studii však nebyla zjištěna žádná spojitost. Nebyla zjištěna závislost na hodnotě průtoku, což tvrdí také Wild (2021) na příkladu povodí Berounky a potvrzuje i hodnocení vybraných situací.

Prvky vyskytující se ve vodním prostředí v iontové formě (*chlór, vápník, hořčík, draslík*) mají výrazný pokles ve svých koncentracích za posledních 40 let. Z těchto prvků se odlišně chová *sodík*, kde je naopak statisticky signifikantní nárůst v jeho koncentraci. U všech těchto iontů je patrný sezónní trend, kdy minimum je pozorováno v jarním období, kdy stoupá průtok, a tím dochází k ředícímu efektu. Naopak maxima jsou v období roku, kdy jsou průtoky typicky nižší. Silně inverzně závislé na průtoku jsou hlavně vápník a hořčík, méně pak také sodík, podobné výsledky eviduje i Navrátilová (2020). Chlór a draslík mají patrně také inverzní vztah, ale není zcela průkazný. Ovšem Burt et al. (2015) a Pažourková (2016) zjistila velmi silnou pozitivní vazbu mezi průtokem a draslíkem, což je zjištěno také u vyhodnocení vybraných extrémních situací. Negativní korelace těchto parametrů byla zjištěna s hliníkem. Hruška, Majer, Fottová (2010) vyzorovali, že v KRNAPu koncentrace vápníku, hořčíku a síranů klesá s nadmořskou výškou. Stejně výsledky byly zjištěny i v této práci, opět s výjimkou Lysečinského potoka.

Drtivá většina vyhodnocovaných *kovů* vykazuje jasně zřetelný pokles jejich koncentrací. Jediný kov, který za hodnocené 40leté období zaznamenal významnější vzestup koncentrací, byl Mn, žádné změny pak nebyly evidovány u As či Ba. U velké části kovů jsou jejich minimální koncentrace sledovány koncem hydrologického roku, typicky tedy při nízkých vodních stavech. Maximální hodnoty má většina kovů v únoru, některé kovy mají sekundární maxima i v letních měsících. Kovy s vyšším distribučním koeficientem, vyjma Pb, mají maxima v období jarního tání sněhu. Velká část kovů má významné korelace s jinými parametry, asi nejdůležitějším je navázání hliníku na nerozpuštěné látky.

Většina kovů vykazuje inverzní vztah s hodnotami konduktivity. Jde o kovy, které se ve vodě vyskytují zejména v rozpustné formě. Fe, Al či Pb mají negativní korelace s hodnotou pH, což potvrzuje Hruška, Majer, Fottová (2010) či Chuman et al. (2013), oproti tomu většina kovů má pozitivní vztah s parametry TOC/DOC, kupříkladu železo dle Nieminena et al. (2020). Al se od ostatních kovů vyznačuje tím, že má poměrně silný inverzní vztah s Ca, Mg, Na a Ba. Se zvyšujícím se průtokem jsou zřejmé nárůsty koncentrací Fe, Mn, Zn, Ni, Pb, Cd a zejména Al, jehož nárůst bude zřejmě také kromě hodnoty průtoku, což pozoruje kupříkladu Jakovljević (2020) a Fraindová et al. (2022a), spojen rovněž s přítomností rašeliniště v povodí. Růst koncentrací Fe s průtokem odhalily také Dedková (2021) a Navrátilová (2020), která také zmiňuje, že nárůst koncentrací Fe může být způsoben také přítomností rašeliniště v povodí. Cu, Hg a Cr zřejmě nereagují na změny průtoku a jejich koncentraci ovlivňuje jiný faktor. Jediným kovem s výraznějším negativním vztahem k hodnotám průtoku je Ba, které má silnou vazbu na rozpuštěné látky, jejichž koncentrace vlivem ředění s vyšším vodním stavem také klesají. Van Vliet, Zwolsman (2008) dodávají, že to, jak se daný kov vzhledem k průtoku chová, je dáno distribučním koeficientem daného kovu.

Ukazatel *saprobniho indexu bentosu* má jinou frekvenci měření, což znemožňuje podrobněji vyhodnocovat trendy ať už dlouhodobé či sezónní. Lze konstatovat, že hodnota indexu nepatrně narůstá, což by nasvědčovalo zlepšení stavu kvality vody na profilu. Index samotný vykazuje pozitivní korelaci s teplotou vody, což bude důsledek toho, že s rostoucí teplotou stoupá i aktivita bentosu. Negativní je poté pozorována s amoniakálním dusíkem, což může znamenat, že při zvýšeném množství amoniakálního dusíku druhová rozmanitost ve vodním prostředí klesá.

Za hodnocené časové rozmezí je patrný výrazný pokles koncentrací ukazatele *fekálních koliformních bakterií*. Toto výrazné zlepšení je téměř jistě důsledkem výstavby ČOV v Peci pod Sněžkou v roce 1993, kdy došlo k výraznému zlomu v koncentracích parametru. Vyšší koncentrace ukazatele jsou zaznamenávány v létě a začátkem podzimu, tedy v období typicky nízkých průtoků, a tedy zřejmě nižšího ředění, nejnižší koncentrace jsou zaznamenány na jaře, tedy v období typicky vyšších průtoků. Nutné je ovšem si uvědomit, že do tohoto hodnocení promlouvají hlavně hodnoty před rokem 1993. Obecně ale nebyl zjištěn žádný vztah mezi koncentrací tohoto parametru s průtokem. Při vybraných situacích s nejvyššími průtoky byly i hodnoty parametru vysoce nadprůměrné,



což může znamenat, že s rostoucím průtokem stoupá hodnota ukazatele, podobný závěr zjistili i Hrdinka et al. (2012).

Celkový stav kvality vody v povodí dle zjištěných výsledků zaznamenal výrazné zlepšení, podobné výsledky lze pozorovat v celé České republice, kupříkladu na Berounce (Wild 2019). Boháčová (2016) říká, že Úpa se ve své horní části toku pohybuje v I. jakostní třídě, což jen potvrzuje dobrý stav kvality vody v této oblasti. Zlepšení pro Úpu bylo zaznamenáno pro parametry organického znečištění, forem dusíku a fosforu, rozpuštěných i nerozpuštěných látek, většiny kovů, Cl, Mg, Ca, Na a FKB. Z acidifikace se vzpamatovává pH a pokles acidifikace může mít spojitost i s poklesem koncentrace síranů. Zlepšení celkového stavu a mnoha parametrů bude vlivem výstavby ČOV v oblasti. V totožné oblasti jako my prováděla výzkum Vlachová (2015), která také zjistila, že výstavba ČOV v Peci pod Sněžkou vedla ke zlepšení kvality vody, ale zároveň dodává, že v oblasti za ČOV je kvalita vody horší vlivem přítoků, které ČOV nemají. Zhoršení bylo zaznamenáno pouze u sodíku a vlivem zvýšení teploty vzduchu také zvýšení teploty vody. Průtok a hydrologické extrémy mají patrně vliv na ukazatele jako jsou specifická konduktivita, TOC/DOC, CHSK<sub>Mn</sub>, rozpuštěné a nerozpuštěné látky, Ca, Mg a kovy vyskytující se ve vodě v rozpustné formě. Naopak parametry jako BSK<sub>5</sub>, dusičnany, fosfor, sírany, kovy jako Cu či Hg zřejmě výrazněji neovlivňuje. U CHSK<sub>Mn</sub>, TOC/DOC, síranů, Al a Fe bude zřejmě jedním z hlavních hybatelů hodnot také přítomnost rašeliniště, podmáčených a lesních ploch v povodí, které mají podstatný vliv na kvalitu vody ve vodním toku, což zjistili také Fraindová et al. (2022b). Vlček et al. (2012) ale upozorňují, že vliv rašelinišť může být zanedbatelný, zejména v zimním období, a že vodní toky výrazněji s rašeliništěm komunikují pouze v případě extrémních srážek. Formy dusíku a fosforu a jejich koncentrace budou pravděpodobně odrážet jejich zdroj, zda je plošný, rozptýlený či bodový.

Při vyhodnocování zjištěných výsledků a jejich interpretaci je nutné si uvědomit nedostatky zvolených metod, nekompletnosti dat a dalších vlivů, které je třeba brát v úvahu. Prvním problémem byly *výpadky průtokových dat* ve stanici Horní Staré Město, což bylo řešeno lineární regresí s daty z Horního Maršova. Průtoková data tak nemají přesnou hodnotu, pouze přibližnou dle lineární regrese. Zároveň naměřená hodnota průtoků, vztažená k hodnotám parametrů kvality vody je průměrná hodnota za celý den, tudíž přímo *nereprezentuje hodnotu přímo v čase odběrů vzorků*. Také nevíme, jestli v daný moment oblast nepostihla nějaká významnější krátkodobá odtoková událost, zda je zjištěný průtok

na sestupné či vzestupné větvi povodňové vlny atd. Při analýze teploty vzduchu bylo využito dat o maximální a minimální denní teplotě vzduchu, kupříkladu ke zjištění nárustu tropických či letních dní v oblasti. Tato data ovšem *nejsou dostupná od počátku vyhodnocování* (roku 1981), ale až od února 1988. V případě, že bychom k dispozici data měli, odhad je, že by trend nárustu počtu letních dní byl zřejmě ještě patrnější a rychlejší.

Data s hodnotami jednotlivých parametrů mají několik problémů, které je nezbytné brát na zřetel při práci s nimi a interpretaci výsledků. Jedním z hlavních problémů je *nekompletnost datových řad a nejednotnost měření v čase*. Mnoho parametrů, zejména z řad kovů, nebylo zjišťováno od roku 1981, ale až v pozdějším období (viz tabulka 4 v části metodika). Ke změnám v měření docházelo také v jeho frekvenci, kdy zejména po roce 2004 se u několika parametrů změnila frekvence jejich stanovování. Pro některé měsíce, hlavně prosinec, je pak malý vzorek měření, což pak má vliv na vyhodnocení trendu měsíčního vývoje daného parametru. Další faktor, který bylo nutné v průběhu úpravy dat odstranit bylo, když daný *parametr byl změřen pod mezí detekovatelnosti přístroje*. U vlastních odběrů nastal problém hlavně s lokalizací vhodných profilů k měření průtoku, protože se nacházíme v pramenné oblasti, kde se velmi *těžko hledá vhodný příčný profil* k užití flowtrackeru vzhledem k charakteru koryt, která jsou často plná balvanů a zpětných proudů. Z toho plyne *menší míra nepřesnosti při stanovování průtoku*.

Tato práce může najít své budoucí uplatnění například při úvaze revitalizace horního toku Úpy. Rovněž lze vytipovat složky, které zhoršují stav kvality vody, a následně hledat jejich hlavní původce, a ty následně odstranit, či zmírnit jejich vliv na vodní tok. Protože práce řeší i S-O režim a hydrologické extrémny, tak je také z výsledků možné uvažovat nad budoucími projevy a dopady klimatické změny, a jaký vliv budou mít se změnou spojené extrémny, jako jsou sucha či povodně. V poslední řadě lze práci okrajově také využít pro zjištění vlivu rašeliniště na kvalitu vody ve vodním toku, a jak se zapojují při jednotlivých průtokových situacích. Pro vliv jednotlivých srážkových událostí by ovšem bylo zapotřebí detailnější pozorování a častější měření jednotlivých ukazatelů, ideálně na hodinové či několikaminutové bázi. Své uplatnění práce má v rámci projektu TAČR, kde dopomáhá ve vyhodnocení klimatických a hydrologických změn v oblasti.

## 9. Závěr

Předložená diplomová práce měla za cíl zanalyzovat S-O režim v povodí, zjistit, jak se změnila kvalita vody a jednotlivé parametry za celé sledované období, a jak jednotlivé parametry reagují při vybraných událostech typu zvýšený průtok, dlouhodobé sucho apod., a jak obecně reagují tyto parametry na průtok. Celá práce pak byla doplněna o odběry na předem vybraných lokalitách, které dokreslují stav kvality vody zejména v pramenné části povodí, a také to, jaký vliv má daný přítok na celkový stav kvality vody v hlavním toku řeky Úpy, a jak se stav v průběhu toku řeky Úpy mění.

V zájmové lokalitě došlo ve zvoleném časovém horizontu k výrazné změně spojené se změnou v klimatu. V analyzovaném období 1981-2020 došlo k jasnému nárůstu průměrné roční teploty vzduchu o téměř  $1,5^{\circ}\text{C}$ , což má za následek pokles počtu dní se sněhovou pokrývkou, která při svém jarním tání tvoří podstatnou část ročního odtoku z oblasti. Významně také stoupá počet dní s vysokou denní maximální teplotou vzduchu (letní dny), což může umocňovat dopady hydrologického sucha. Nárůst teploty vzduchu také vede ke vzestupu teploty vody, což ovlivňuje některé další parametry kvality vody. Srážky jsou obecně rovnoměrně rozložené do celého roku, jediný měsíc s nižším než 7 % podílem na celkovém ročním srážkovém úhrnu je duben. Je to také jediný měsíc se statisticky signifikantním poklesem. V období 1981-2020 průměrné roční úhrny srážek klesly o více než 150 mm. Významný je pak hlavně pokles podílu srážek na celkovém úhrnu ve formě sněhu. Klesá jak jejich celkové množství, tak i právě jejich podíl, který za dané období zaznamenal téměř poloviční pokles. S tím souvisí i menší počet dní se sněhovou pokrývkou, a to o 1 celý kalendářní měsíc za rok v průběhu zmíněných 40 let. V reakci na to se mění i odtok. Hlavní část tvoří právě jarní odtok z tání sněhové pokrývky, s klesajícím množstvím sněhových srážek a zkrácením doby sněhové pokrývky dochází k mírnému posunu jarních odtokových maxim do dřívějších měsíců. Hlavní pokles průtoku je zaznamenán v květnu. Hlavně v období 2014-2020 byly zaznamenány roky s nízkým průměrným ročním průtokem, významně pod hranicí  $Q_a$ .

Z dlouhodobého hlediska došlo k výraznému zlepšení stavu kvality vody v oblasti, kdy zlepšení bylo zaznamenáno u velké části hodnocených parametrů. Zlepšení je možné přičítat mnoha faktorům, jako je výstavba nových ČOV a kanalizačních systémů, snížení celkové acidifikace spojené s poklesem atmosférické depozice síry a dusíku. Zřejmý je i vliv přítomnosti rašelinišť, podmáčených a lesních ploch v oblasti hlavně na parametry hodnotící organické znečištění a množství organických látek ve vodě. Lze předpokládat i vliv těchto lokalit na kvalitu vody v průběhu hydrologických extrémů.

Hydrologické extrémy, ať už suchá období, či vysoké vodní stavy, mají zřetelný vliv na hodnocení kvality vody u některých ukazatelů. Zřejmá je závislost specifické konduktivity a koncentrací většiny bazických iontů na hodnotě průtoku, kdy s vyššími vodními stavy jejich koncentrace klesají a naopak. Pověštinou zcela opačně se chovají hodnocené kovy, patrně spojené s hodnotou nerozpuštěných látek, na které jsou navázané.

Vlastní monitoring pak odhalil, že oproti okolí se svými vlastnosti, z hlediska hodnot parametrů kvality vody, výrazně odlišuje Lysečinský potok, který odvodňuje krasovou oblast v KRNAPu, což zapříčiňuje vyšší hodnoty vápníku, specifické konduktivity a dalších parametrů. Nižší pH, specifická konduktivita, a naopak vyšší hodnoty hliníku či železa jsou pozorovány pod výtokem z Úpského rašeliniště. Terénní průzkum tak doplnil informace o stavu kvality vody v celém povodí, i na menších přítocích, které jinak nejsou běžně sledovány.

Tato práce, společně se zvolenou metodikou hodnocení, může být v budoucnu podkladem pro hlubší průzkum kvality vody a zjištění vlivu hydrologických extrémů v povodích, jejichž pramenný zdroj je v oblasti s rašeliništi, nebo pro podrobnější výzkum v povodí Úpy, který se zaměří i na další faktory ovlivňující kvalitu vody v oblasti.

## 10. Seznam zdrojů a literatury

ABRAHAM, K. M., SIVAN, A. (2021): 60 Pre-and Post-Flood Water Quality of National Water Way 3, Near Industrial Effluent Discharge Zone, Kollam, Kerala. *Journal of Aquatic Biology & Fisheries* |, June, 9, 60–67.

ALNAHIT, A. O., MISHRA, A. K., KHAN, A. A. (2020): Quantifying climate, streamflow, and watershed control on water quality across Southeastern US watersheds. *Science of the Total Environment*, 739, 139945.

ALSAADAWI, S., ÖZKOC, S. H. (2022): Global climate change impacts on water quality, and quantity. Závěrečná zpráva. 8th international congress on innovative scientific approaches, 78-84.

BACHTÍKOVÁ, P. (2011): Vodní režim rašelinišť a jeho změny. Bakalářská práce. Ústav geologie PřF UK, Praha.

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

BALATKA, B., SLÁDEK, J. (1962): Říční terasy v českých zemích. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.

BARTLETT, J. A., DEDEKORKUT-HOWES, A. (2022): Adaptation strategies for climate change impacts on water quality: a systematic review of the literature. *Journal of Water and Climate Change*, 0, 00, 1–25.

BARTOŠ, M. (1997): Největší povodeň v Krkonoších 1897 – Na paměť 100. výročí největší krkonošské živelné katastrofy. Správa KRNP, Vrchlabí.

BARTŮŠEK, A. (2022): Změny vybraných parametrů geochemismu povrchových vod ve vazbě na srážko-odtokový režim. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.

BARTŮŠEK, A. (2023): Fotografie provedené při odběrech 27-29.10.2023.

BAŠTA, J. (2013): K historii Krkonošského národního parku. *Živa*, 4, 1-12.

BEJČKOVÁ, M. (2022): Změny koncentrací organických látek v kontextu hydrologických extrémů v pramenných oblastech. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.

BÍNA, J., DEMEK, J. (2012): Z nížin do hor: geomorfologické jednotky České republiky. Academia, Praha.

BJARNADOTTIR, B., ASLAN SUNGUR, G., SIGURDSSON, B. D., KJARTANSSON, B. T., OSKARSSON, H., ODDSDOTTIR, E. S., GUNNARSDOTTIR, G. E., BLACK, A. (2021): Carbon and water balance of an afforested shallow drained peatland in Iceland. *Forest Ecology and Management*, 482, 118861.

BOHÁČOVÁ, T. (2016): Vývoj kvality povrchových vod na území ČR. Bakalářská práce. Katedra zoologie a rybářství, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů ČZÚ, Praha.

BOTTER, M., BURLANDO, P., FATICHI, S. (2019): Anthropogenic and catchment characteristic signatures in the water quality of Swiss rivers: A quantitative assessment. *Hydrology and Earth System Sciences*, 4, 23, 1885–1904.

BRÁZDIL, R. et al. (2015): Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost. Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Brno.

BRODER, T., BIESTER, H. (2015): Hydrologic controls on DOC, As and Pb export from a polluted peatland—the importance of heavy rain events, antecedent moisture conditions and hydrological connectivity. *Biogeosciences*, 15, 12, 4651–4664.

BURT, T. P., WORRALL, F., HOWDEN, N. J. K., ANDERSON, M. G. (2015): Shifts in discharge-concentration relationships as a small catchment recover from severe drought. *Hydrological Processes*, 4, 29, 498–507.

CANO-PAOLI, K., CHIOGNA, G., BELLIN, A. (2019): Convenient use of electrical conductivity measurements to investigate hydrological processes in Alpine headwaters. *Science of the Total Environment*, 685, 37–49.

CARR, S., ENGEL, Z., KALVODA, J., PARKER, A. (2002): Sedimentary evidence for extensive glaciation of the Úpa Valley, Krkonoše Mountains, Czech Republic. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 46, 4, 523–537.

CÍLEK, V., KOPP, J., ŠAMALOVÁ, Z. (2006): Bez vody není života. In: Němec, J., Hladný, J. (ed.): *Voda v České republice*. Consult Praha a Ministerstvo zemědělství, Praha, 8–13.

CLARK, J. M., LANE, S. N., CHAPMAN, P. J., ADAMSON, J. K. (2007): Export of dissolved organic carbon from an upland peatland during storm events: Implications for flux estimates. *Journal of Hydrology*, 3–4, 347, 438–447.

COFFEY, R., PAUL, M. J., STAMP, J., HAMILTON, A., JOHNSON, T. (2019): A Review of Water Quality Responses to Air Temperature and Precipitation Changes 2: Nutrients, Algal Blooms, Sediment, Pathogens. *Journal of the American Water Resources Association*, 4, 55, 844–868.

- CULEK, M. (1996): Biogeografické členění České republiky. AOPK ČR, Praha.
- CULEK, M., GRULICH, V., LAŠTŮVKA, Z., DIVÍŠEK, J. (2013): Biogeografické regiony České republiky. Masarykova univerzita, Brno.
- ČERMÁK, D. (2022): Vliv klimatické změny na nízké průtoky v horských povodích. Diplomová práce. Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užitá geofyziky PřF UK, Praha.
- ČSN 75 7221 (2017): Kvalita vod – Klasifikace kvality povrchových vod. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha.
- ČURDA, J., JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2011): Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu povodní v povodí Vydry. Geografie-Sborník CGS, 3, 116, 335–353.
- DEDKOVÁ, V. (2021): Kvalita vody řeky Romže v závislosti na intenzitě průtoku. Diplomová práce. Ústav zoologie, rybářství, hydrobiologie a včelařství, Agronomická fakulta, MENDELU, Brno.
- DEMEK, J. et al. (1965): Geomorfologie českých zemí, ČSAV, Praha.
- DETTINGER, M., UDALL, B., GEORGAKAKOS, A. (2015): Western water and climate change. *Ecological Applications*, 8, 25, 2069–2093.
- DODDS, W. K., WHILES, M. R. (2020): *Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications of Limnology*, Third Edition. Academic Press, Londýn.
- DOLEŽAL, T. (2020): Hydrologická funkce horských vrchovišť a vlastnosti rašelinných vod v pramenné oblasti Vydry. Disertační práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- DOLEŽAL, T., VLČEK, L., KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2020): Hydrological regime and physico-chemical water properties of various types of peat bog sites: Case study of Mezilesní peat bog, Šumava mts. *Geografie-Sborník CGS*, 1, 125, 21–46.
- ESHLEMAN, K. N., SABO, R. D., KLINE, K. M. (2023): Surface Water Quality Is Improving due to Declining Atmospheric N Deposition. *Environmental Science & Technology*, 47, 12193-12200.
- FALTYSOVÁ, H., MACKOVČIN, P., SEDLÁČEK, M. (2002): Královéhradecko, Chráněná území ČR V. AOPK, Praha.
- FLYNN, R., MACKIN, F., MCVEIGH, C., RENOU-WILSON, F. (2022): Impacts of a mature forestry plantation on blanket peatland runoff regime and water quality. *Hydrological Processes*, 2, 36, 1–17.

FOVET, O., STROHMENGER, L., DUPAS, R., DURAND, P., FAUCHEUX, M., HAMON, Y., JEANNEAU, L., PETITJEAN, P., SALMON-MONVIOLA, J., RUIZ, L., GASCUEL-ODOUX, C. (2022): Climate change and water quality responses in agricultural catchments with high legacy storages of nutrients. IAHS Conference June 2022, Montpellier.

FRAINDOVÁ, K., MATOUŠKOVÁ, M., KLIMENT, Z., VLACH, V. (2022a): Changes and dynamics of headwaters chemistry on the boundary of nature protected areas: Example of upper Blanice River catchment, Czechia. *Geografie-Sbornik CGS*, 2, 127, 99–126.

FRAINDOVÁ, K., MATOUŠKOVÁ, M., KLIMENT, Z., VLČEK, L., VLACH, V., SPRINGEROVA, P. (2022b): Headwaters biogeochemistry focused on different rainfall-runoff conditions, and the role of waterlogged areas: a comparative study of Czech mountains. *Hydrological Sciences Journal*, 4, 67, 588–612.

FRIEDL, K., PETŘÍČKOVÁ, M., MARŠÁKOVÁ, M., POVOLNÝ, F., RIVOLOVÁ, L., VINŠ, A. (1991): *Chráněná území v České republice*. Informatorium, Praha.

FUČÍK, P., ZAJÍČEK, A., KAPLICKÁ, M., DUFFKOVÁ, R., PETERKOVÁ, J., MAXOVÁ, J., TAKÁCOVÁ, Š. (2017): Incorporating rainfall-runoff events into nitrate-nitrogen and phosphorus load assessments for small tile-drained catchments. *Water (Switzerland)*, 9, 9, 18–21.

GAJDOŠ, S. (2016): *Látkové bilance sledovaných ukazatelů horního toku Labe a Úpy*. Bakalářská práce. Ústav technologie vody a prostředí, Fakulta technologie ochrany prostředí, VŠCHT, Praha.

GILBERT, R. O. (1987): *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

GRANGER, S. J., BOL, R., ANTHONY, S., OWENS, P. N., WHITE, S. M., HAYGARTH, P. M. (2010): Towards a holistic classification of diffuse agricultural water pollution from intensively managed grasslands on heavy soils. Elsevier Inc.

GUPTA, D., KUMAR RANJAN, R., PARTHASARATHY, P., ANSARI, A. (2021): Spatial and seasonal variability in the water chemistry of Kabar Tal wetland (Ramsar site), Bihar, India: multivariate statistical techniques and GIS approach. *Water Science and Technology*, 9, 83, 2100–2117.

GÖDEKE, S. H., MALIK, O. A., LAI, D. T. C., BRETZLER, A., SCHIRMER, M., MANSOR, N. H. (2020): Water quality investigation in Brunei Darussalam: investigation of the influence of climate change. *Environmental Earth Sciences*, 18, 79.



HAN, F., LIU, T., HUANG, Y., ZAN, C., PAN, X., XU, Z. (2023): Response of water quality to climate warming and atmospheric deposition in an alpine lake of Tianshan Mountains, Central Asia. *Ecological Indicators*, January, 147, 109949.

HASSANJABBAR, A., NEZARATIAN, H., WU, P. (2022): Climate change impacts on the flow regime and water quality indicators using an artificial neural network (ANN): a case study in Saskatchewan, Canada. *Journal of Water and Climate Change*, 8, 13, 3046–3060.

HEJDA, T. (2016): Vývoj krajinného pokryvu a klimatická charakteristika oblasti Úpského rašeliníště. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.

HERMANN, Z., BURDA, J. (2016): Stanovení zásob podzemní vody – Hydrogeologický rajon 4221 – Podorlická křída v povodí Úpy a Metuje. Závěrečná zpráva, příloha č. 2/21. ČGS, Praha.

HRDINKA, T., NOVICKÝ, O., HANSLÍK, E., RIEDER, M. (2012): Possible impacts of floods and droughts on water quality. *Journal of Hydro-Environment Research*, 2, 6, 145–150.

HRNČIAROVÁ, T., MACKOVČIN, P., ZVARA, I., et al. (2009): Atlas krajiny České republiky. MŽP ČR, Praha.

HRUŠKA, J., MAJER, V., FOTTOVÁ, D. (2010): Vliv kyselá depozice na chemismus povrchových vod v Krkonoších. *Opera Corcontica*, 43, 95–110.

HRYZÁKOVÁ, K., MATOUŠKOVÁ, M. (2008): Srovnávací studie jakosti povrchových vod v povodí Rolavy, horní Blanice a Liběchovky. In: Matoušková, M. (ed.): Ekohydrologický monitoring vodních toků v kontextu evropské Rámcové směrnice o vodní politice 2000/60/ES. PřF UK, Praha, 171-186.

HUDCOVÁ, I. (2007): Vyhodnocení koncentrací dusičnanů ve vazbě na srážky a odtok vody na dílčích profilech Kopaninského toku. Diplomová práce. Katedra pozemkových úprav, Zemědělská fakulta Jihočeské Univerzity, České Budějovice.

CHLUPÁČ, I. (2002): Geologická minulost České republiky. Academia, Praha.

CHUMAN, T., HRUŠKA, J., OULEHLE, F., GÜRTLEROVÁ, P., MAJER, V. (2013): Does stream water chemistry reflect watershed characteristics? *Environmental Monitoring and Assessment*, 7, 185, 5683–5701.

JAKOVLJEVIĆ, D. (2020): Assessment of water quality during the floods in May 2014, Serbia. *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic SASA*, 3, 70, 215–226.

JANG, S., JI, H., CHOI, J., SUH, K., KIM, H. (2021): Investigation of correlation between surface runoff rate and stream water quality. *Water Science and Technology: Water Supply*, 4, 21, 1495–1505.

JANÍK, T., ZÝKA, V., SKOKANOVÁ, H., BOROVEC, R., DEMKOVÁ, K., HAVLÍČEK, M., CHUMANOVÁ, E., HOUŠKA, J., ROMPORTL, D. (2020): Vývoj krkonošské krajiny – od založení Krkonošského národního parku po současnost. *Opera Corcontica*, 57, 65-76.

JANKOVÁ, J. (2006): Problematika určení plošných odhadů srážek na příkladu povodí Úpy. *Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.*

JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2007): Retenční potenciál v pramenných oblastech toků. In: Langhammer, J. (ed.): *Povodně a změny v krajině. PřF UK a MŽP ČR, Praha*, 307-315.

JANSKÝ, B., KOPP, J. (2006): Jezera a mokřady. In: Němec, J., Hladný, J. (ed.): *Voda v České republice. Consult Praha a Ministerstvo zemědělství, Praha*, 36-39.

JANSKÝ, B., PIVOKONSKÝ, M. (2001): Vývoj jakosti povrchových vod v povodí Cidliny. *Geografie – Sborník české geografické společnosti*, 2, 106, 74-93.

JENA, P. K., RAHAMAN, S. M., MOHAPATRA, P. K. Das, BARIK, D. P., PATRA, D. S. (2023): Surface water quality assessment by Random Forest. *Water Practice and Technology*, 1, 18, 201–214.

JENÍK, J. (1961): *Alpínská vegetace Krkonoš, Králického Sněžníku a Hrubého Jeseníku. Teorie anemo-orografických systémů. ČSAV, Praha.*

JENNINGS, E., EYTO, E., DE MOORE, T., DILLANE, M., RYDER, E., ALLOTT, N., AONGHUSA, C. N., ROUEN, M., POOLE, R., PIERSON, D. C. (2020): From highs to lows: Changes in dissolved organic carbon in a peatland catchment and lake following extreme flow events. *Water (Switzerland)*, 10, 12, 1–19.

JIN, L., WHITEHEAD, P. G., FUTTER, M. N., LU, Z. (2012): Modelling the impacts of climate change on flow and nitrate in the River Thames: Assessing potential adaptation strategies. *Hydrology Research*, 6, 43, 902–916.

JIŘIŠTĚ, L. (2000): Management nelesných ekosystémů – Realizace plánu péče o Krkonošský národní park a jeho ochranné pásmo. *Opera Corcontica* 37, 563-570.

JOHNSON, T., BUTCHER, J., SANTELL, S., SCHWARTZ, S., JULIUS, S., LEDUC, S. (2022): A review of climate change effects on practices for mitigating water quality impacts. *Journal of Water and Climate Change*, 4, 13, 1684–1705.

- JUHLS, B., STEDMON, C. A., MORGENSTERN, A., MEYER, H., HÖLEMANN, J., HEIM, B., POVAZHNYI, V., OVERDUIN, P. P. (2020): Identifying Drivers of Seasonality in Lena River Biogeochemistry and Dissolved Organic Matter Fluxes. *Frontiers in Environmental Science*, May, 8, 1–15.
- JUST, T., MATOUŠEK, V., DUŠEK, M., FISCHER, D., KARLÍK, P. (2005): Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi. Český svaz ochránců přírody. Ekologické služby a MŽP ČR, Praha.
- KAFKA, Š. (2014): Základní chemické a hydrologické ukazatele horního toku Labe. Bakalářská práce. Ústav technologie vody a prostředí, Fakulta technologie ochrany prostředí, VŠCHT, Praha.
- KANG, H., KWON, M. J., KIM, S., LEE, S., JONES, T. G., JOHNCOCK, A. C., HARAGUCHI, A., FREEMAN, C. (2018): Biologically driven DOC release from peatlands during recovery from acidification. *Nature Communications*, 1, 9, 1–7.
- KARJALAINEN, S. M., HEIKKINEN, K., IHME, R., KLØVE, B. (2016): Long-term purification efficiency of a wetland constructed to treat runoff from peat extraction. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 51, 5, 393-402.
- KENDALL, M. G. (1938): A New Measure of Rank Correlation. *Biometrika*, 30, 81-93.
- KENDALL, M. G. (1975): *Rank Correlation Methods*. Griffin, Londýn.
- KESTŘÁNEK, J., VLČEK, V., ŠIMÁK, B., ZAJÍČEK, V. (1984): *Zeměpisný lexikon ČSR, Vodní toky a nádrže*. Academia, Praha.
- KOCUM, J., OULEHLE, F., JANSKÝ, B., BŮZEK, F., HRUŠKA, J., VLČEK, L. (2016): Geochemical evidence for peat bog contribution to the streamflow generation process: case study of the Vltava River headwaters, Czech Republic. *Hydrological Sciences Journal*, 14, 61, 2579–2589.
- KOČÁRKOVÁ, T. (2016): Změny biogeochemismus v pramenných oblastech. Aplikace v experimentálním povodí horní Rolavy. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- KOPÁČEK, J., HEJZLAR, J., RULÍK, M. (2020): *Voda na Zemi*. Nakladatelství Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- KRÁLOVÁ, H. (2001): *Řeky pro život. Revitalizace řek a péče o nivní biotopy*. Veronica, Brno.

KŘÍZEK, M., TREML, V., ENGEL, Z. (2006): Recentní aktivita strukturních půd ve Vysokých Sudetech. In: Létal, A., Smolová, I. (ed.): Geomorfologický slovník 5. Česká asociace geomorfologů, PřF UP, Olomouc, s. 37.

LANGHAMMER, J. (2009): Kvalita povrchových vod a jejich ochrana. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.

LASLOP, A. (2016): Ekologický stav vodního toku Svatava. Bakalářská práce. Katedra aplikované ekologie, Fakulta životního prostředí, ČZU, Praha.

LINTERN, A., WEBB, J. A., RYU, D., LIU, S., WATERS, D., LEAHY, P., BENDEMICH, U., WESTERN, A. W. (2018): What Are the Key Catchment Characteristics Affecting Spatial Differences in Riverine Water Quality? *Water Resources Research*, 10, 54, 7252–7272.

LIU, Y., CHEN, X., GAO, H., SHA, J., LI, X. (2022): The impacts of climate changes on watershed streamflow and total dissolved nitrogen in Danjiang Watershed, China. *Journal of Water and Climate Change*, 1, 14, 104–122.

LUCASSEN, E. C. H. E. T., SMOLDERS, A. J. P., ROELOFS, J. G. M. (2002): Potential sensitivity of mires to drought, acidification and mobilisation of heavy metals: The sediment S/(Ca+Mg) ratio as diagnostic tool. *Environmental Pollution*, 3, 120, 635–646.

MAGALHÃES, S. F. C. de, BARBOZA, C. A. de M., MAIA, M. B., MOLISANI, M. M. (2022): Influence of land cover, catchment morphometry and rainfall on water quality and material transport of headwaters and low-order streams of a tropical mountainous watershed. *Catena*, March 2021, 213.

MANDER, Ů., KULL, A., KUUSEMETS, V. (2000): Nutrient flows and land use change in a rural catchment: A modelling approach. *Landscape Ecology*, 3, 15, 187–199.

MANN, H. B. (1945): Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13, 3, 245–259.

MATOUŠEK, V. (2006): Teplotní režim povrchových vod. In: Němec, J., Hladný, J. (ed.): Voda v České republice. Consult Praha a Ministerstvo zemědělství, Praha, 100–101.

MATOUŠKOVÁ, M. (2023): Fotografie provedené při odběrech 27–29.10.2023.

MEIER, W., BONJOUR, C., WÜEST, A., REICHERT, P. (2003): Modeling the Effect of Water Diversion on the Temperature of Mountain Streams. *Journal of Environmental Engineering*, 129, 8.

MIČANÍK, T., ET AL. (2011): Výzkum a ochrana hydrosféry – výzkum vztahů a procesů ve vodní složce životního prostředí, orientovaný na vliv antropogenních tlaků, její trvalé užívání a ochrana, včetně legislativních nástrojů. Zpráva pro kontrolní den č. 3/2011. VÚV TGM, Praha.

MIČANÍK, T., HANSLIK, E., NĚMEJCOVÁ, D., BAUDIŠOVÁ, D. (2017): Klasifikace kvality povrchových vod. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace, 59, 6, 4-10.

MISHRA, A., ALNAHIT, A., CAMPBELL, B. (2021): Impact of land uses, drought, flood, wildfire, and cascading events on water quality and microbial communities: A review and analysis. *Journal of Hydrology*, October 2020, 596, 125707.

MOSLEY, L. M. (2015): Drought impacts on the water quality of freshwater systems; review and integration. *Earth-Science Reviews*, 140, 203–214.

MOSLEY, L. M., ZAMMIT, B., LEYDEN, E., HENEKER, T. M., HIPSEY, M. R., SKINNER, D., ALDRIDGE, K. T. (2012): The Impact of Extreme Low Flows on the Water Quality of the Lower Murray River and Lakes (South Australia). *Water Resources Management*, 13, 26, 3923–3946.

MOSS, B. (2010): Ecology of freshwaters – A view for the twenty-first century. Wiley-Blackwell, Oxford.

NAVRÁTILOVÁ, D. (2020): Změny geochemismu povrchových vod ve vybraných povodích Krušných hor. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.

NAVRÁTILOVÁ, J., HAVLÍČEK, M., NAVRÁTIL, J., FRAZIER, R. J. (2019): Land cover changes on temperate organic substrates over last 150 years: evidence from the Czech Republic. *Biologia*, 4, 74, 361–373.

NESMĚŘÁK, I. (2006): Vodovody a kanalizace. In: Němec, J., Hladný, J. (ed.): Voda v České republice. Consult Praha a Ministerstvo zemědělství, Praha, 51-58.

NIEMINEN, M., SARKKOLA, S., TOLVANEN, A., TERVAHAUTA, A., SAARIMAA, M., SALLANTAUS, T. (2020): Water quality management dilemma: Increased nutrient, carbon, and heavy metal exports from forestry-drained peatlands restored for use as wetland buffer areas. *Forest Ecology and Management*, July 2019, 465, 118089.

NOSRATI, K. (2011): The effects of hydrological drought on water quality. *Water Quality: Current Trends and Expected Climate Change Impacts*, Proceedings of symposium H04 during IUGG 201, 348, 51-56.

- NOUSEK, V. (2020): Návrh revitalizace rašeliniště Borkovická blata. Bakalářská práce. Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, fakulta stavební, ČVUT, Praha.
- NYPLOVÁ, P. (2006): Strukturní půdy východních Krkonoš. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- OČADLÍK, J., FUKSA, V. (1968): Topografie rašelinišť krkonošského národního parku. *Opera Corcontica*, 5, 53-81.
- PARK, J. H., INAM, E., ABDULLAH, M. H., AGUSTIYANI, D., DUAN, L., HOANG, T. T., KIM, K. W., KIM, S. D., NGUYEN, M. H., PEKTHONG, T., SAO, V., SARJIYA, A., SAVATHVONG, S., STHIANNOPKAO, S., KEITH SYERS, J., WIROJANAGUD, W. (2011): Implications of rainfall variability for seasonality and climate-induced risks concerning surface water quality in East Asia. *Journal of Hydrology*, 3–4, 400, 323–332.
- PAŠŤÁLKOVÁ, H., PODRÁZSKÝ, V., VACEK, S. (2001): Půdy klečového vegetačního stupně v Krkonoších. *Opera Corcontica*, 38, 207-217.
- PAUL, M. J., COFFEY, R., STAMP, J., JOHNSON, T. (2019): A Review of Water Quality Responses to Air Temperature and Precipitation Changes 1: Flow, Water Temperature, Saltwater Intrusion. *Journal of the American Water Resources Association*, 4, 55, 824–843.
- PAŽOURKOVÁ, E. (2016): Vliv změn klimatu a kyselá atmosférická depozice na ekologický průtok horského povodí v podmínkách střední Evropy. Bakalářská práce. Katedra hydrauliky a hydrologie, Fakulta stavební, ČVUT, Praha.
- PEARSON, K. (1895): Notes on Regression and Inheritance in the Case of Two Parents. *Proceedings of the Royal Society of London*, 58, 240-242.
- PENNA, D., VAN MEERVELD, H. J., OLIVIERO, O., ZUECCO, G., ASSENDELFT, R. S., DALLA FONTANA, G., BORGA, M. (2015): Seasonal changes in runoff generation in a small forested mountain catchment. *Hydrological Processes*, 8, 29, 2027–2042.
- PFEIFFER, M., KÜSTNER, G., ERDENESUKH, E., VON TÜMPLING, W., HOFMANN, J. (2021): Investigation of environmental and land use impacts in forested permafrost headwaters of the Selenga-Baikal river system, Mongolia - Effects on discharge, water quality and macroinvertebrate diversity. *International Soil and Water Conservation Research*, 4, 9, 605–619.
- PILOUS, V. (1985): Antropogenní montánní tvary reliéfu v Krkonošském národním parku – II. Část (důlní díla). *Opera Corcontica*, 22, 13-78.
- PILOUS, V. (1989): Geomorfologie vodopádů Labského a Obřího dolu v Krkonoších. *Opera Corcontica*, 26, 5-49.

- PILOUS, V. (1999): Tváře Krkonoš známé i neznámé: Není to jen „kamení“ II. Krkonoše-Jizerské hory, 8, 14-15.
- PILOUS, V. (2013): Neživá příroda Krkonoš. Živa, 4, 160-163.
- PILOUS, V. (2021): Nové nálezy evorzních tvarů v Krkonoších. Opera Corcontica, 58, 165-186.
- PILOUS, V., BARTOŠ, M., ANTOŠOVÁ, K., HNÍK, K., NOVOTNÝ, R., ZÁMIŠ, J. (2014): Největší povodně v Krkonoších. Správa KRNAP, Vrchlabí.
- PITTER, P. (2015): Hydrochemie. VŠCHT, Praha.
- PORTYCH, Z. (2005): Jakost povrchových vod v povodí Úpy. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- POŠTA, P. (2004): Organogenní jezera v České republice. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- POŠTA, P. (2005): Limnologická studie největšího jezera české části Úpského rašeliniště v Krkonoších. Opera Corcontica, 42, 55-68.
- PROKŠ, M. (2010): Odtokový režim v povodí Hamerského potoka se zaměřením na reakci pH vody ve vybraných povodňových epizodách. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- PTAK, M. (2018): Long-term temperature fluctuations in rivers of the fore-sudetic region in Poland. Geografie-Sborník CGS, 3, 123, 279–294.
- PUCZKO, K., JEKATIERYNCZUK-RUDCZYK, E. (2020): Extreme Hydro-Meteorological Events Influence to Water Quality of Small Rivers in Urban Area: A Case Study in Northeast Poland. Scientific Reports, 1, 10, 1–15.
- RANKINEN, K., GAO, G., GRANLUND, K., GRÖNROOS, J., VESIKKO, L. (2015): Comparison of impacts of human activities and climate change on water quantity and quality in Finnish agricultural catchments. Landscape Ecology, 3, 30, 415–428.
- ROSTAMI, S., HE, J., HASSAN, Q. K. (2018): Riverine water quality response to precipitation and its change. Environments - MDPI, 1, 5, 1–17.
- ROSTAMI, S., HE, J., HASSAN, Q. K. (2020): Water quality response to river flow regime at three major rivers in Alberta. Water Quality Research Journal, 1, 55, 79–92.

- ROSYPALOVÁ, H. (2016): Vliv antropogenní činnosti na ekologický stav Meredského potoka. Diplomová práce. Katedra aplikované ekologie, Fakulta životního prostředí, ČZU, Praha.
- RYBÁŘ, P., HADAČ, E., DOBEŠOVÁ, L., TUREK, J. (1989): Přírodou od Krkonoš po Vysočinu: regionální encyklopedie. Kruh, Hradec Králové.
- RYBERG, K. R., CHANAT, J. G. (2022): Climate extremes as drivers of surface-water-quality trends in the United States. *Science of the Total Environment*, 809, 152165.
- RYBKA, V. (1996). Mokřady střední Moravy. Sagittaria, Olomouc.
- SAARINEN, T., MOHÄMMÄDIGHÄVAM, S., MARTTILA, H., KLØVE, B. (2013): Impact of peatland forestry on runoff water quality in areas with sulphide-bearing sediments; how to prevent acid surges. *Forest Ecology and Management*, 293, 17–28.
- SCHNEIDER, K. (1908): Zur Orographia und Morphologie Böhmens. J. G. Chalvesche Hof- und Universitäts-Buchhandlung, Praha.
- SIMPSON, S. L., FITZPATRICK, R. W., SHAND, P., ANGEL, B. M., SPADARO, D. A., MOSLEY, L. (2010): Climate-driven mobilisation of acid and metals from acid sulfate soils. *Marine and Freshwater Research*, 1, 61, 129–138.
- SKUHRAVÝ, V. (2000): Rašeliniště v České republice. *Lesnická práce*, 79, 8, 362-364.
- SPEARMAN, C. (1904): The proof and measurement of association between two things. *American Journal of Psychology*, 15, 1, 72-101.
- SPRAGUE, L. A. (2005): Drought effects on water quality in the South Platte River Basin, Colorado. *Journal of the American Water Resources Association*, 1, 41, 11–24.
- STIRLING, E., FITZPATRICK, R. W., MOSLEY, L. M. (2020): Drought effects on wet soils in inland wetlands and peatlands. *Earth-Science Reviews*, April, 210, 103387.
- STRNADOVÁ, N., HLADÍKOVÁ, Z., ANDRLE, J. (2012): Hodnocení kvality vody na horní toku řeky Labe a Úpy. *Sborník konference Pitná voda 2012*, 269-274.
- SU, Y., LANGHAMMER, J., JARSJÖ, J. (2017): Geochemical responses of forested catchments to bark beetle infestation: Evidence from high frequency in-stream electrical conductivity monitoring. *Journal of Hydrology*, 550, 635–649.
- SVOBODOVÁ, H. (2002): Preliminary results of the vegetation history in the Giant Mountains (Úpská rašelina mire and Černohorská rašelina bog). *Opera Corcontica*, 39, 5-15.



- ŠAJNAROVÁ, L. (2021): Vliv hydrologických extrémů na kvalitu povrchových vod v pramenných oblastech. Aplikace v modelovém povodí horní Rolavy. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- ŠPRINGEROVÁ, P. (2019): Změny koncentrací organického uhlíku v povrchových vodách v pramenných oblastech. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.
- ŠPUNDOVÁ, H. (2014): Faktory ovlivňující kvalitu vody v řece Moravě. Bakalářská práce. Katedra biologie, Pedagogická fakulta UPOL, Olomouc.
- ŠTEFÁČEK, S. (2008): Encyklopedie vodních toků Čech, Moravy a Slezska. Baset, Praha.
- ŠVEC, J. (1973): Velké krkonošské povodně. Krkonoše-Jizerské hory, 6, 10-12.
- TICHAVSKÝ, R., ŠILHÁN, K., PŮLPÁNOVÁ, M. (2019): Datování recentní aktivity divočího úseku řeky Úpy v Obřím dole v Krkonoších. Opera Corcontica, 56, 145-162.
- TLAPÁK, V., ŠÁLEK, J., LEGÁT, V. (1992): Voda v zemědělské krajině. MŽP ČR, Praha.
- TOLASZ, R., MÍKOVÁ, T., VALERIÁNOVÁ, A., VOŽENÍLEK, V. (2007): Atlas podnebí Česka 1961–2000. ČHMÚ a UPOL, Praha.
- TOMÁŠEK, M. (2007): Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha.
- TREML, P. (2021): Dopad odběrů vody pro účely technického zasněžování na změnu průtoků v tocích. Opera Corcontica, 58, 77-92.
- TREML, V., ENGEL, Z., KRÍŽEK, M. (2003): Periglaciální tvary v alpinském bezlesí Vysokých Sudet. Geografie – Sborník ČGS, 108, 4, 304-305.
- TU, J. (2009): Combined impact of climate and land use changes on streamflow and water quality in eastern Massachusetts, USA. Journal of Hydrology, 3–4, 379, 268–283.
- VAIGHAN, A. A., TALEBBEYDOKHTI, N., BAVANI, A. M. (2017): Assessing the impacts of climate and land use change on streamflow, water quality and suspended sediment in the Kor River Basin, Southwest of Iran. Environmental Earth Sciences, 15, 76, 1–18.
- VÁLEK, B. (1964): Půdy východních Čech. Východočeské nakladatelství, Havlíčkův Brod.
- VAN VLIET, M. T. H., ZWOLSMAN, J. J. G. (2008): Impact of summer droughts on the water quality of the Meuse river. Journal of Hydrology, 1–2, 353, 1–17.

VARANKA, S., HJORT, J., LUOTO, M. (2015): Geomorphological factors predict water quality in boreal rivers. *Earth Surface Processes and Landforms*, 15, 40, 1989–1999.

VLACHOVÁ, V. (2015): Základní chemické a hydrologické ukazatele na horním toku řeky Úpy. Bakalářská práce. Ústav technologie vody a prostředí, Fakulta technologie ochrany prostředí VŠCHT, Praha.

VLČEK, L., KOCUM, J., JANSKÝ, B., ŠEFRNA, L., KUČEROVÁ, A. (2012): Retention potential and hydrological balance of a peat bog: case study of Rokytka Moors, Otava River headwaters, sw. Czechia. *Geografie*, 117, 4, 395–414.

VLNAS, R., BERAN, A., HANEL, M., HRABÁNKOVÁ, A., HRDINKA, T., KAŠPÁREK, L., MARTÍNKOVÁ, M., PELÁKOVÁ, M., TREML, P., VIZINA, A., BAŠTA, P., JAČKA, L., MÁCA, P., PAVLÁSEK, J., PECH, P. (2015): Návrh koncepce řešení krizové situace výskytu sucha a nedostatku vody v České republice. VÚV TGM, Praha.

WHITEHEAD, P. G., WILBY, R. L., BATTARBEE, R. W., KERNAN, M., WADE, A. J. (2009): A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrological Sciences Journal*, 1, 54, 101–123.

WILBERS, G. J., ZWOLSMAN, G., KLAVER, G., HENDRIKS, A. J. (2009): Effects of a drought period on physico-chemical surface water quality in a regional catchment area. *Journal of Environmental Monitoring*, 6, 11, 1298–1302.

WILD, A. (2019): Vývoj jakosti povrchových vod v povodí Berounky. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.

WILD, A. (2021): Vývoj jakosti povrchových vod v pramenných povodích Berounky. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.

WILKS, D. S. (2006): *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Second Edition. Elsevier, Oxford.

WOLFF, E., VAN VLIET, M. T. H. (2021): Impact of the 2018 drought on pharmaceutical concentrations and general water quality of the Rhine and Meuse rivers. *Science of the Total Environment*, 778, 146–182.

WORRALL, F., BURT, T. P. (2008): The effect of severe drought on the dissolved organic carbon (DOC) concentration and flux from British rivers. *Journal of Hydrology*, 3–4, 361, 262–274.

WRIGHT, B., STANFORD, B., WEISS, J., DEBROUX, J., ROUTT, J., KHAN, S. (2013): Climate Change how does Weather Affect Surface Water Quality? *Opflow*, 1, 39, 10–15.

YUAN, W., LIU, Q., SONG, S., LU, Y., YANG, S., FANG, Z., SHI, Z. (2023): A climate-water quality assessment framework for quantifying the contributions of climate change and human activities to water quality variations. *Journal of Environmental Management*, February, 333, 117441.

ZÁKON Č. 114/1992 SB. (1992): Zákon o ochraně přírody a krajiny.

ZÁKON Č. 150/2010 SB. (2010): Zákon, kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 200/1990 Sb., o přestupcích, ve znění pozdějších předpisů.

ZIELLŃSKI, P., GÓRNIAK, A., PIEKARSKI, M. K. (2009): The effect of hydrological drought on chemical quality of water and dissolved organic carbon concentrations in lowland rivers. *Polish Journal of Ecology*, 2, 57, 217–227.

ZOU, X. Y., PENG, X. Y., ZHAO, X. X., CHANG, C. P. (2023): The impact of extreme weather events on water quality: international evidence. *Natural Hazards*, 1, 115, 1–21.

## 10.1. Internetové zdroje

CENIA (2022): Potencionální přirozená vegetace – ArcGIS server datová služba.  
Dostupné z: <https://micka.cenia.cz/record/basic/4e64de08-3ea8-4461-bf3f-06a8c0a80138>,  
(cit. 5. 10. 2022).

ČHMÚ (2023a): Denní historická hydrologická data dle zákona 123/1998 Sb.,  
[https://www.chmi.cz/historicka-data/hydrologie/denni\\_data/denni-data-dle-z.-123-1998-Sb](https://www.chmi.cz/historicka-data/hydrologie/denni_data/denni-data-dle-z.-123-1998-Sb),  
(cit. 8. 2. 2023).

ČHMÚ (2023b): Denní historická meteorologická data dle zákona 123/1998 Sb.,  
<https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb>,  
(cit. 6. 2. 2023).

ČHMÚ (2023c): Evidence jakosti povrchových vod – ISVS,  
<https://isvs.chmi.cz/ords/f?p=11009:HOME:116485592870284>, (cit. 19. 6. 2023).

ČHMÚ (2023d): Hlásná a předpovědní povodňová služba, evidenční list hlásného  
profilu č. 10, <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download.php?seq=20067780>,  
(cit. 3. 2. 2023).

ČHMÚ (2023e): Hlásná a předpovědní povodňová služba, evidenční list hlásného  
profilu č. 9, <https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download.php?seq=307044>, (cit. 8. 2. 2023).

ČHMÚ (2023f): Meteorologické stanice ČHMÚ,  
[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations\\_CZ.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations_CZ.html),  
(cit. 6. 2. 2023).

KRNAP (2023): Příroda Krkonošského národního parku, <https://www.krnep.cz/priroda/>  
(cit. 3. 2. 2023).

LANGHAMMER, J. (2013): Znečištění povrchových vod v ČR.  
Dostupné z: <http://iforum.cuni.cz/IFORUM-1130-version1.pdf>, (cit. 24. 2. 2023).

NATURA 2000 (2023): Seznam lokalit soustavy Natura 2000, CZ0524044 Krkonoše,  
<https://natura2000.cz/Lokalita/Pruvodka/?id=1690&grid=CrUSThp> (cit. 3. 2. 2023).

POVODÍ LABE (2023): Stavby a průtoky na vodních tocích,  
<https://www.pla.cz/portal/sap/cz/PC/>, (cit. 8. 2. 2023).

ROLEČEK, J. (2023): Prezentace k přednášce z předmětu Chráněná území ČR  
na PřF MUNI, [https://www.sci.muni.cz/botany/rolecek/CHU\\_Krkonoze.pdf](https://www.sci.muni.cz/botany/rolecek/CHU_Krkonoze.pdf)  
(cit. 3. 2. 2023).

## 11. Seznam grafických prvků a tabulek

### 11.1. Seznam obrázků

|                                                                                                                           |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Obr. 1: Procesy a organismy podílející se na samočisticích procesech ve vodním toku .....</i>                          | <i>16</i> |
| <i>Obr. 2: Počet studií prezentujících vliv sucha na jednotlivé parametry hodnocení kvality vody ....</i>                 | <i>22</i> |
| <i>Obr. 3: Odběrové lokality: (a) – Modrý potok; (b) – Zelený potok .....</i>                                             | <i>39</i> |
| <i>Obr. 4: Odběrové lokality: (a) – Úpa pod soutokem se Zeleným potokem; (b) – Lysečinský potok; (c) – Malá Úpa .....</i> | <i>40</i> |
| <i>Obr. 5: Odběrová lokalita Úpa – Horní Maršov, místo limnigrafické stanice ČHMÚ .....</i>                               | <i>40</i> |
| <i>Obr. 6: Odběrová lokalita Úpa pod výtokem z rašeliniště.....</i>                                                       | <i>41</i> |
| <i>Obr. 7: Vymezení zájmového území v rámci královehradeckého kraje .....</i>                                             | <i>42</i> |
| <i>Obr. 8: Geomorfologické členění zájmové oblasti.....</i>                                                               | <i>45</i> |
| <i>Obr. 9: Klimagram ze stanice Pec pod Sněžkou vytvořený z dat 1981-2020.....</i>                                        | <i>66</i> |
| <i>Obr. 10: Klimagram ze stanice Sněžka (PL) vytvořený z dat 1981-2020 .....</i>                                          | <i>66</i> |

## 11.2. Seznam grafů

|                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Graf 1: Rozvinutý podélný profil toku Úpy</i> .....                                                                                                       | 59 |
| <i>Graf 2: Vývoj počtu letních a tropických dnů ve stanici Pec pod Sněžkou za období 1988-2020</i><br>.....                                                  | 67 |
| <i>Graf 3: Průměrné roční teploty vzduchu na stanici Pec pod Sněžkou za období 1981–2020</i> .....                                                           | 68 |
| <i>Graf 4: Měsíční rozložení srážkových úhrnů v procentech pro období 1981-2020 ve stanici<br/>Horní Maršov</i> .....                                        | 70 |
| <i>Graf 5: Roční úhrny srážek na stanici Pec pod Sněžkou a Horní Maršov za období 1981–2020</i> ...                                                          | 72 |
| <i>Graf 6: Vývoj množství srážek ve formě sněhu a podílu těchto srážek na celkovém ročním úhrnu.</i>                                                         | 74 |
| <i>Graf 7: Rozložení odtoku do jednotlivých měsíců za období 1981-2020 na profilu Horní Maršov.</i>                                                          | 76 |
| <i>Graf 8: Průměrné roční průtoky mezi lety 1981-2020</i> .....                                                                                              | 77 |
| <i>Graf 9: Dlouhodobý vývoj teploty vody za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM</i> .....                                                             | 79 |
| <i>Graf 10: Dlouhodobý vývoj konduktivity za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM</i> .....                                                            | 80 |
| <i>Graf 11: Dlouhodobý vývoj koncentrací rozpuštěného O<sub>2</sub> za období hydro. let 1981-2020<br/>na profilu HSM</i> .....                              | 81 |
| <i>Graf 12: Dlouhodobý vývoj koncentrací BSK<sub>5</sub> za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM</i> ...                                               | 82 |
| <i>Graf 13: Dlouhodobý vývoj koncentrací CHSKMn za období hydro. let 1981-2020<br/>na profilu HSM</i> .....                                                  | 83 |
| <i>Graf 14: Dlouhodobý vývoj koncentrací TOC za období hydro. let 1991-2020 na profilu HSM</i> ....                                                          | 83 |
| <i>Graf 15: Sezónní trend průměrných měsíčních koncentrací TOC za období hydro. let 1991-2020<br/>na profilu HSM</i> .....                                   | 84 |
| <i>Graf 16: Dlouhodobý vývoj hodnot pH za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM</i> .....                                                               | 84 |
| <i>Graf 17: Sezónní trend průměrných měsíčních hodnot pH za období hydro. let 1981-2020 na<br/>profilu HSM</i> .....                                         | 85 |
| <i>Graf 18: Dlouhodobý vývoj koncentrací SO<sub>4</sub> za období hydro. let 1981-2020 na profilu HSM</i> .....                                              | 85 |
| <i>Graf 19: Dlouhodobý vývoj koncentrací dusičnanů za období hydro. let 1981-2020<br/>na profilu HSM</i> .....                                               | 86 |
| <i>Graf 20: Sezónní trend průměrných měsíčních koncentrací forem dusíku za období hydro. let<br/>1981-2020 na profilu HSM</i> .....                          | 87 |
| <i>Graf 21: Dlouhodobý vývoj koncentrací celkového fosforu za období hydro. let 1985-2020 na<br/>profilu HSM</i> .....                                       | 87 |
| <i>Graf 22: Sezónní trend průměrných měsíčních koncentrací celkového fosforu a orthofosforečnanů<br/>za období hydro. let 1985-2020 na profilu HSM</i> ..... | 88 |
| <i>Graf 23: Dlouhodobý vývoj koncentrací rozpuštěných a nerozpuštěných látek za období hydro. let<br/>1981-2020 na profilu HSM</i> .....                     | 88 |
| <i>Graf 24: Dlouhodobý vývoj koncentrací vybraných kovů za období hydro. let 1994-2020<br/>na profilu HSM</i> .....                                          | 89 |

|                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Graf 25: Průběh teplot vzduchu a srážek pro událost z 26.2.1997</i> .....                                                            | 96  |
| <i>Graf 26: Průběh srážek a průtoku při události z 26.2.1997</i> .....                                                                  | 97  |
| <i>Graf 27: Průběh teplot vzduchu a srážek pro událost 12.1.1993</i> .....                                                              | 98  |
| <i>Graf 28: Průběh srážek a průtoku při události 12.1.1993</i> .....                                                                    | 98  |
| <i>Graf 29: Průběh teplot vzduchu a srážek pro událost 27.3.2012</i> .....                                                              | 99  |
| <i>Graf 30: Průběh srážek a průtoku při události 27.3.2012</i> .....                                                                    | 99  |
| <i>Graf 31: Průběh teplot vzduchu a srážek pro událost 16.8.2006</i> .....                                                              | 100 |
| <i>Graf 32: Průběh srážek a průtoku při události 16.8.2006</i> .....                                                                    | 101 |
| <i>Graf 33: Průběh teplot vzduchu a srážek pro událost 25.8.2020</i> .....                                                              | 102 |
| <i>Graf 34: Průběh srážek a průtoku při události 25.8.2020</i> .....                                                                    | 102 |
| <i>Graf 35: Průběh teplot vzduchu a srážek pro událost 15.2.2010</i> .....                                                              | 103 |
| <i>Graf 36: Průběh srážek a průtoku při události 15.2.2010</i> .....                                                                    | 103 |
| <i>Graf 37: Průběh teplot vzduchu a srážek pro událost 17.9.2018</i> .....                                                              | 104 |
| <i>Graf 38: Průběh srážek a průtoku při události 17.9.2018</i> .....                                                                    | 104 |
| <i>Graf 39: Průběh teplot vzduchu a srážek pro událost 23.9.2019</i> .....                                                              | 105 |
| <i>Graf 40: Průběh srážek a průtoku při události 23.9.2019</i> .....                                                                    | 106 |
| <i>Graf 41: Hodnoty parametru elektrické konduktivity na odběrových profilech se zvýrazněním hranic jakostních tříd parametru</i> ..... | 109 |
| <i>Graf 42: Hodnoty parametru rozpuštěného kyslíku na odběrových lokalitách</i> .....                                                   | 109 |
| <i>Graf 43: Hodnoty pH na odběrových lokalitách</i> .....                                                                               | 110 |
| <i>Graf 44: Naměřené hodnoty parametrů Cl, K a Na podle odběrových lokalit</i> .....                                                    | 111 |
| <i>Graf 45: Naměřené hodnoty parametrů NO<sub>3</sub>, Mg a SO<sub>4</sub> podle odběrových lokalit</i> .....                           | 111 |
| <i>Graf 46: Naměřené hodnoty parametrů fosforu a manganu na odběrových lokalitách</i> .....                                             | 112 |
| <i>Graf 47: Naměřené hodnoty hliníku a železa na odběrových lokalitách</i> .....                                                        | 112 |
| <i>Graf 48: Naměřené hodnoty vápníku na odběrových lokalitách</i> .....                                                                 | 113 |

### 11.3. Seznam tabulek

|                                                                                                                                                               |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <i>Tabulka 1: Distribuční koeficient vybraných kovů ve vodním prostředí.....</i>                                                                              | <i>28</i>  |
| <i>Tabulka 2: Změny mezi stanovitelnosti hodnocených parametrů kvality vody v průběhu období 1981-2020.....</i>                                               | <i>32</i>  |
| <i>Tabulka 3: Přehled parametrů pod mezi stanovitelnosti.....</i>                                                                                             | <i>33</i>  |
| <i>Tabulka 4: Přehled frekvence hodnocení a počátku monitoringu jednotlivých ukazatelů kvality vody.....</i>                                                  | <i>34</i>  |
| <i>Tabulka 5: Přehled prahových hodnot a dalších kritérií pro výběr modelových situací.....</i>                                                               | <i>35</i>  |
| <i>Tabulka 6: Seznam podrobněji rozebraných hydrologických událostí.....</i>                                                                                  | <i>35</i>  |
| <i>Tabulka 7: Přehled meteorologických stanic a z nich využitých dat.....</i>                                                                                 | <i>38</i>  |
| <i>Tabulka 8: Seznam a informace o odběrových lokalitách.....</i>                                                                                             | <i>41</i>  |
| <i>Tabulka 9: Půdní typy zájmového území.....</i>                                                                                                             | <i>50</i>  |
| <i>Tabulka 10: Land cover zájmového území.....</i>                                                                                                            | <i>51</i>  |
| <i>Tabulka 11: Charakteristika klimatických oblastí podle Quitta (1971).....</i>                                                                              | <i>55</i>  |
| <i>Tabulka 12: Přehled stanic v zájmovém území.....</i>                                                                                                       | <i>57</i>  |
| <i>Tabulka 13: Charakteristiky povodí.....</i>                                                                                                                | <i>58</i>  |
| <i>Tabulka 14: Stupně povodňové aktivity a N-leté průtoky na hlásných profilech Horní Maršov a Horní Staré Město.....</i>                                     | <i>62</i>  |
| <i>Tabulka 15: Výsledky MK testu pro průměrné teploty vzduchu jednotlivých měsíců ve stanici Pec pod Sněžkou za období 1981-2020.....</i>                     | <i>68</i>  |
| <i>Tabulka 16: Příklady hydrologických let s nízkými a vysokými srážkovými úhrny za jednotlivá roční období let 1981-2020 pro stanici Horní Maršov.....</i>   | <i>69</i>  |
| <i>Tabulka 17: Výsledky MK testu pro srážkové úhrny jednotlivých měsíců ve stanici Horní Maršov za období 1981-2020.....</i>                                  | <i>71</i>  |
| <i>Tabulka 18: Nejvyšší zaznamenané srážkové úhrny v povodí za období 1981-2020.....</i>                                                                      | <i>72</i>  |
| <i>Tabulka 19: Výsledky MK testu pro sněhové srážky jednotlivých měsíců ve stanici Pec pod Sněžkou za období 1981-2020.....</i>                               | <i>74</i>  |
| <i>Tabulka 20: Vyhodnocení variability denních průtoků v jednotlivých hydrologických rocích a obdobích.....</i>                                               | <i>75</i>  |
| <i>Tabulka 21: Příklady hydrologických let s nízkými a vysokými odtoky za jednotlivá roční období let 1981-2020 pro profil Horní Maršov.....</i>              | <i>76</i>  |
| <i>Tabulka 22: Výsledky variačních koeficientů měsíčních průtoků za jednotlivá období.....</i>                                                                | <i>76</i>  |
| <i>Tabulka 23: Výsledky MK testu pro průměrné, minimální a maximální průtoky jednotlivých měsíců na hlásném profilu Horní Maršov za období 1981-2020.....</i> | <i>77</i>  |
| <i>Tabulka 24: Výsledky MK testu pro dlouhodobý vývoj parametrů kvality vody za období 1981-2020 na profilu HSM.....</i>                                      | <i>91</i>  |
| <i>Tabulka 25: Korelace parametrů kvality vody s hodnotou průtoku.....</i>                                                                                    | <i>93</i>  |
| <i>Tabulka 26: Teplota vody na odběrových lokalitách při odběrové kampani.....</i>                                                                            | <i>108</i> |



## 12. Seznam příloh

*Příloha 1: Tabulková databáze vyhodnocení jednotlivých parametrů kvality s jejich základními statistickými charakteristikami*

*Příloha 2: Mapa geologických poměrů v povodí horní Úpy*

*Příloha 3: Mapa geomorfologických jednotek a výškových poměrů v povodí horní Úpy*

*Příloha 4: Mapa sklonitosti v povodí horní Úpy*

*Příloha 5: Mapa relativní výškové členitosti v povodí horní Úpy*

*Příloha 6: Mapa půdních poměrů v povodí horní Úpy*

*Příloha 7: Mapa land coveru v povodí horní Úpy*

*Příloha 8: Mapa fyto geografických jednotek a krajinných typů v povodí horní Úpy*

*Příloha 9: Mapa potenciální přirozené vegetace v povodí horní Úpy*

*Příloha 10: Mapa klimatu v povodí horní Úpy*

*Příloha 11: Mapa hustoty říční sítě v povodí horní Úpy*

*Příloha 12: Mapa absolutní řádovosti vodních toků v povodí horní Úpy*

*Příloha 13: Mapa Strahlerovy řádovosti vodních toků v povodí horní Úpy*

*Příloha 14: Mapa ochrany krajiny v povodí horní Úpy*

*Příloha 15: Grafické a tabulkové výstupy analýzy S-O režimu povodí*

*Příloha 16: Mapa srážek v povodí horní Úpy pro normál let 1991-2020*

*Příloha 17: Čáry překročení m-denních průtoků jednotlivých hydrologických let na profilu Horní Maršov v období 1981-2020*

*Příloha 18: Grafické výstupy dlouhodobého časového (1981-2020) a sezónního vývoje hodnot parametrů kvality vody na profilu HSM*

*Příloha 19: Korelační matice parametrů kvality vody*

*Příloha 20: Přehled naměřených hodnot parametrů kvality vody při vybraných hydrologických situacích*

*Příloha 21: Hodnoty naměřených parametrů kvality vody při odběrové kampani*

*Příloha 22: Mapa odběrových lokalit v povodí horní Úpy*