

**UNIVERZITA KARLOVA**

**Přírodovědecká fakulta**

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Fyzická geografie a geoekologie



Bc. Pavla Špringerová

**ZMĚNY KONCENTRACÍ ORGANICKÉHO UHLÍKU  
V POVRCHOVÝCH VODÁCH V PRAMENNÝCH OBLASTECH**

Changes of organic carbon in surface waters in headwater areas

*Diplomová práce*

Praha 2019

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

# **Zadání diplomové práce**

## **Název práce**

Změny koncentrací organického uhlíku v povrchových vodách v pramenných oblastech

## **Cíle práce**

Cílem práce je analýza změn koncentrací organických látek (DOC, huminů a CHSK<sub>Mn</sub>) ve vazbě na změny srážko-odtokového režimu, jednotlivé odtokové epizody a zároveň studium vzájemných vztahů vybraných parametrů kvality vody. Nedílnou součástí práce je rešerše domácí a zahraniční odborné literatury, studium aktuálních publikovaných výsledků výzkumu dané problematiky. Základní část diplomové práce tvoří výzkum v experimentálních pramenných povodí KFGG, konkrétně na horní Vydře, Blanici a Rolavě. Je zde snaha objasnit vztahy mezi koncentracemi organických látek a odtokem s ohledem na hydrologické extrémy. Dále je studován vliv velikosti povodí a různého landcoveru na variabilitu jednotlivých koncentrací.

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

- rešerše aktuální zahraniční a domácí odborné literatury na danou problematiku
- terénní průzkum, odběr vzorků vody, měření základních fyzikálně-chemických parametrů
- laboratorní analýzy organického uhlíku (DOC)
- příprava dalších vstupních datových podkladů z různých zdrojů
- statistická analýza
- diskuse a shrnutí výsledků

## **Datové zdroje**

Odborná literatura, mapové a datové podklady, vlastní odběry vzorků povrchové, srážkové a podzemní vody, laboratorní analýzy, data z experimentálních povodí KFGG

Datum zadání: 28. listopadu 2016

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

Student: Bc. Pavla Špringerová

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci na téma Změny koncentrací organického uhlíku v povrchových vodách v pramenných oblastech vypracovala samostatně a s použitím uvedených zdrojů.

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, aby byla řádně vedena v evidenci knihovny.

V Praze dne 16.7.2019

.....

Bc. Pavla Špringerová

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala RNDr. Miladě Matouškové, Ph.D. za vedení práce, cenné rady a připomínky při vypracování. Dále děkuji doc. RNDr. Zdeňkovi Klimentovi, CSc. a RNDr. Lukáši Vlčkovi, Ph.D. za pomoc při pracích v terénu, kompletaci dat a odborné rady. Velké poděkování patří také Mgr. Kateřině Fraindové za spolupráci v terénu, laboratoři a konzultace během zpracování práce. Dále bych chtěla poděkovat své rodině a přátelům za podporu v průběhu celého studia.

**Téma této diplomové práce bylo řešeno v rámci projektu GAUK č. 1408618: "Změny biogeochemismu vodních toků v pramenných oblastech".**



## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá změnami v koncentracích organického uhlíku (OC) v povrchových vodách v pramenných oblastech. V teoretické části je uvedena rešerše domácí a zahraniční odborné literatury a studium aktuálních publikovaných výsledků výzkumu dané problematiky. Pozornost je dávana na hledání možných faktorů variability OC, zejména landcover a půdní prostředí. Základní část práce tvoří výzkum v experimentálních pramenných povodí KFGG, konkrétně na horní Vydře, Blanicí a Rolavě. Cílem práce je objasnit vztahy mezi koncentracemi organických látek a odtokem s ohledem na hydrologické extrémny. Dále je studován vliv velikosti povodí a různého landcoveru na variabilitu koncentrací a vztah s dalšími ukazateli biogeochemismu. Vztah OC a průtoku je kladný a ve většině povodí silný nebo velmi silný. Nejslabší vztah byl monitorován na profilech s největším zastoupením rašelinišť v povodí. V těchto povodích byly největší průměrné koncentrace OC stanoveny na podzim, v povodích s menším zastoupením rašelinišť je to v létě. Analýza srážko-odtokových událostí potvrdila kladnou závislost OC a průtoku. Zpoždění maxima koncentrací OC za maximem průtoku se pohybuje v rozmezí 3:50-11:20. Vliv na vyplavování OC do povrchových vod a variabilitu jeho koncentrací má zejména zapojení různých vrstev rašeliny do odtoku dle výšky hladiny podzemní vody v rašeliništi a s tím spojené provzdušnění vrstev rašeliny a dostupnost organické hmoty.

**Klíčová slova:** celkový organický uhlík (TOC), rozpuštěný organický uhlík (DOC), změna klimatu, srážko-odtokový režim, rašeliniště

## **ABSTRACT**

Diploma thesis is focused on changes of organic carbon (OC) in surface waters in headwater areas. Thesis is in its theoretical part focused on the literature study of currently published research results of the issue. The important part is finding the possible causes of OC variability, especially landcover and soil environment. The practical part is devoted to research in experimental basins of KFGG, namely in the upper Vydra, Blanice and Rolava. The aim of this work is to clarify the relationships between organic matter concentrations and discharge rates regarding to hydrological extremes. Furthermore, the influence of river basin size and various landcover and variability of concentrations and relationship with other indicators of biogeochemism is studied. The relationship between OC and discharge rate is positive and in most river basins strong or very strong. The weakest relationship was monitored on the profiles with the highest proportion of peatlands in the river basin. In these catchments, the highest average concentrations of OC were determined in autumn, in catchments with the lower proportion of peatlands it is in summer. Analysis of rainfall-runoff events confirmed the positive relationship of OC and discharge. The lag time of the maximum OC concentration beyond the maximum discharge rate is in the range 3:50-11:20. The OC leaching into surface waters and the variability of its concentrations is influenced mainly by the involvement of different peat layers in the outflow according to the groundwater level in the peat bog and the associated aeration of the peat layers and the availability of organic matter.

**Key words:** total organic carbon (TOC), dissolved organic carbon (DOC), climate change, rainfall-runoff regime, peat bog

# Obsah

1 Úvod a cíle práce.....	15
2 Zasazení měření uhlíku.....	17
2.1 Role organického uhlíku v hydrochemii .....	17
2.1.1 Původ organických látek .....	18
2.1.2 Stanovení organického uhlíku .....	18
2.2 Huminové látky .....	20
3. Nové poznatky a výsledky výzkumů koncentrací organického uhlíku .....	22
3.1 Rozložení zásob organického uhlíku v terestrických ekosystémech .....	22
3.2 Podmínky prostředí .....	23
3.3 Modelování procesů transportu organického uhlíku .....	29
3.4 Nové poznatky a trendy výzkumu organického uhlíku.....	31
3.4.1 Variabilita koncentrací organického uhlíku.....	31
3.4.2 Vliv tání sněhové pokrývky.....	33
3.4.3 Vliv lesního prostředí .....	34
3.4.4 Vliv půdního prostředí .....	35
3.4.5 Vliv rašeliniště .....	39
3.5 Zhodnocení .....	44
4 Charakteristika zájmových území .....	46
4.1 Charakteristika území horní Vydry .....	47
4.1.1 Geologické a geomorfologické poměry .....	47
4.1.2 Klimatické poměry .....	49
4.1.3 Půdní a vegetační poměry.....	49
4.2 Charakteristika území horní Rolavy.....	50
4.2.1 Geologické a geomorfologické poměry .....	51
4.2.2. Klimatické poměry .....	52
4.2.3 Půdní a vegetační poměry.....	52
4.3 Charakteristika území horní Blanice.....	53
4.3.1 Geologické a geomorfologické poměry .....	53
4.3.2 Klimatické poměry .....	55
4.3.3 Půdní a vegetační poměry.....	55
4.4 Zhodnocení charakteristiky zájmových území .....	56
5 Charakteristika odběrných profilů a povodí .....	57

5.1 Charakteristika odběrných profilů.....	57
5.1.1 Charakteristika profilů horní Vydry .....	57
5.1.2 Charakteristika profilů horní Rolavy .....	62
5.1.3 Charakteristika profilů horní Blanice .....	65
5.2 Vyhodnocení krajinného pokryvu na základě Konsolidované vrstvy ekosystémů (KVES) .....	69
5.2.1 Krajinný pokryv zájmových povodí horní Vydry .....	71
5.2.2 Krajinný pokryv zájmových povodí horní Rolavy.....	74
5.2.3 Krajinný pokryv zájmových povodí horní Blanice.....	77
5.2.4 Analýza krajinného pokryvu z KVES a jiných zdrojů.....	81
6 Metody a zdroje dat.....	87
6.1 Sběr dat v terénu a laboratorní analýzy .....	87
6.2 Mapové podklady a použitý software .....	90
6.3 Použité analytické nástroje.....	91
6.3.1 Vyhodnocení variability organického uhlíku a vztahů s dalšími chemickými parametry a průtokem .....	91
6.3.2 Klasifikace profilů na základě krajinného pokryvu a velikosti povodí s ohledem na koncentrace organického uhlíku.....	91
6.3.3 Vyhodnocení podobnosti zájmových povodí na základě parametrů kvality vody a chemismu .....	92
6.3.4 Vyhodnocení sezonnosti koncentrací organického uhlíku.....	92
6.3.5 Vyhodnocení jednotlivých odběrných kampaní pomocí automatického vzorkovače na profilu ROK-R1 .....	93
7 Výsledky.....	95
7.1 Vyhodnocení variability organického uhlíku a vztahů s vybranými parametry kvality vody a průtokem.....	95
7.1.1 Vyhodnocení variability koncentrací organického uhlíku na jednotlivých profilech.....	95
7.1.2 Vyhodnocení variability vybraných parametrů kvality vody ve vztahu s organickým uhlíkem na jednotlivých profilech.....	99
7.1.3 Vyhodnocení vztahů organického uhlíku a průtoku na jednotlivých profilech .....	103
7.1.4 Zhodnocení variability organického uhlíku a vztahů s vybranými parametry kvality vody a průtokem .....	104
7.2 Klasifikace profilů na základě krajinného pokryvu a velikosti povodí s ohledem na koncentrace organického uhlíku.....	107
7.2.1 Klasifikace profilů na základě krajinného pokryvu, DOC, průtoku a plochy povodí .....	107
7.2.2 Zhodnocení klasifikací profilů.....	110

7.3 Vyhodnocení podobnosti zájmových povodí na základě parametrů kvality vody a chování .....	111
7.3.1 Vyhodnocení podobnosti profilů pomocí shlukové analýzy .....	111
6.4.2 Zhodnocení vyhodnocení podobnosti profilů pomocí shlukové analýzy.....	113
7.4 Vyhodnocení sezonnosti koncentrací organického uhlíku .....	114
7.4.1 Průměrné koncentrace organického uhlíku v jednotlivých sezonách během roku.....	114
7.4.2 Závislosti koncentrací OC a průtoku v jednotlivých ročních obdobích .....	115
7.4.3 Zhodnocení průměrných koncentrací DOC během roku a závislosti koncentrací DOC a průtoku v jednotlivých ročních obdobích .....	116
7.5 Vyhodnocení jednotlivých odběrných kampaní pomocí automatického vzorkovače na profilu ROK-R1 .....	117
7.5.1 Odběrná kampaň 12.-14.7.2016.....	117
7.5.2 Odběrná kampaň 24.-25.7.2016.....	120
7.5.3 Odběrná kampaň 27.-28.7.2016.....	122
7.5.4 Odběrná kampaň 2.-5.10.2016 .....	123
7.5.5 Odběrná kampaň 5.-7.10.2016 .....	125
7.5.6 Zhodnocení odběrných kampaní pomocí automatického vzorkovače na profilu ROK-R1 .....	127
8 Diskuze výsledků .....	129
9 Závěr.....	133
10 Zdroje .....	135

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma forem uhlíku.....	17
Obrázek 2: Ptačí potok, 50 metrů nad odběrným profilem .....	60
Obrázek 3: Březnický potok, pod odběrným profilem .....	60
Obrázek 4: Povodí Rokytky .....	60
Obrázek 5: Odběrný profil ROK-R1, nízký vodní stav .....	61
Obrázek 6: Odběrný profil ROK-R1, vysoký vodní stav .....	61
Obrázek 7: Odběrný profil ROK-R2 .....	62
Obrázek 8: Odběrný profil ROL1 .....	62
Obrázek 9: Odběrný profil SLA2.....	64
Obrázek 10: Odběrný profil ROL3 .....	64
Obrázek 11: Odběrný profil BUK5.....	65
Obrázek 12: Povodí profilu ROL6.....	65
Obrázek 13: Odběrný profil TET .....	67
Obrázek 14: Okolí odběrného profilu BL03 .....	67
Obrázek 15: Odběrný profil BL13.....	68
Obrázek 16: Okolí odběrného profilu BL15 .....	68
Obrázek 17: Automatická stanice v povodí Slatinného potoka (SLA2) .....	88
Obrázek 18: Odebrané vzorky vody pro analýzu DOC .....	88
Obrázek 19: Použité membránové filtry v laboratoři Ekohydrologie KFGG.....	89
Obrázek 20: Přefiltrované vzorky vody pro stanovení DOC .....	89
Obrázek 21: Vyhodnocené kyvety se vzorky vody v laboratoři Ekohydrologie KFGG.....	90
Obrázek 22: Zjednodušené kategorie hysterezních smyček .....	94

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Koncentrace huminových látek (HL) v jednotlivých přítocích potoka Rašeliník, reprezentativní odběr v červenci roku 2010 .....	28
Tabulka 2: Geomorfologické členění zájmového území horní Vydry .....	48
Tabulka 3: Geomorfologické členění zájmového území horní Rolavy .....	51
Tabulka 4: Geomorfologické členění zájmového území horní Blanice .....	54
Tabulka 5: Vybrané vlastnosti jednotlivých zájmových povodí .....	56
Tabulka 6: GPS souřadnice odběrných profilů .....	57
Tabulka 7: Vybrané parametry jednotlivých povodí .....	61
Tabulka 8: GPS souřadnice odběrných profilů .....	62
Tabulka 9: Vybrané parametry jednotlivých povodí .....	64
Tabulka 10: GPS souřadnice odběrných profilů .....	66
Tabulka 11: Vybrané parametry jednotlivých povodí .....	69
Tabulka 12: Zdroje KVES vstupující do tvorby vrstvy rašeliniště a prameniště .....	70
Tabulka 13 a 14: Kategorie krajinného pokryvu dle metodiky KVES .....	70
Tabulka 15: Zastoupení kategorií [%] krajinného pokryvu v povodích horní Vydry dle KVES .....	72
Tabulka 16: Zastoupení kategorií [%] krajinného pokryvu v povodích horní Rolavy dle KVES .....	75
Tabulka 17: Zastoupení kategorií [%] krajinného pokryvu v povodích horní Blanice dle KVES .....	78
Tabulka 18: Procentuální zastoupení ploch rašelinišť dle KVES a ZABAGED .....	82
Tabulka 19: Zdroje tvorby kategorie smrčiny v KVES .....	83
Tabulka 20: Zastoupení [%] sloučených kategorií krajinného pokryvu KVES .....	84
Tabulka 21: Zastoupení [%] sloučených kategorií krajinného pokryvu KVES po úpravě kategorií .....	85
Tabulka 22: Změny zastoupení kategorií smrčin a rašelinišť po úpravě .....	86
Tabulka 23: Názvy sloučených kategorií KVES a standardní názvosloví .....	86
Tabulka 24: Počet analyzovaných vzorků vody ke zjištění koncentrací rozpuštěného organického uhlíku (DOC) a počáteční roky měření v jednotlivých profilech .....	87
Tabulka 25: Rozdělení síly závislosti do kategorií .....	91
Tabulka 26: Průměrné koncentrace DOC, pořadí profilů dle prům. konc. DOC, medián konc. DOC95 .....	97
Tabulka 27: Amplitudy koncentrací DOC, průtoků Q a pořadí profilů .....	97
Tabulka 28: Průměrné koncentrace a amplitudy DOC doplňkových odběrných profilů .....	97
Tabulka 29: Max. naměřené koncentrace na zákl. profilech, příslušný naměřený průtok a datum .....	98
Tabulka 30: Průměrné hodnoty CHSK <sub>Mn</sub> , huminových látek, pH a konduktivity a amplitudy hodnot CHSK <sub>Mn</sub> a HL .....	100
Tabulka 31: Pearsonův korelační koeficient pro DOC a CHSK <sub>Mn</sub> , HL a pH na základních profilech .....	102
Tabulka 32: Pearsonův korelační koeficient pro DOC a průtok, prům. průtok a specifický odtok .....	104

Tabulka 33: Průměrné koncentrace DOC během jednotlivých sezon na odběrných profilech .....	115
Tabulka 34: Hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu pro určení závislosti průtoku Q a koncentrací DOC v jednotlivých ročních obdobích .....	116

## Seznam grafů

Graf 1: Vztah mezi DOC a Hazen ze vzorků z roku 2005 .....	20
Graf 2: Boxplot znázorňující rozpětí hodnot DOC v různých typech vegetace .....	23
Graf 3: Vztah mezi kumulativním odtokem (cumulative flow duration) a kumulativním rozpuštěným uhlíkem (cumulative DOC stream flux) v toku, 21.10.-4.12.2002 .....	24
Graf 4: Koncentrace CHSK pro období 1969-2006 pro všechny pozorované stanoviště v Krušných horách .....	27
Graf 5: Boxplot koncentrací organického uhlíku v různých typech půdy .....	36
Graf 6: Měření průtoku a koncentrací organického uhlíku v týdenním a 4hod. kroku .....	37
Graf 7: Změna koncentrací organického uhlíku s hloubkou půdy .....	40
Graf 8: Závislost pH na celkovém organickém uhlíku (TOC) v povodí Rokytky na Šumavě .....	43
Graf 9: Zastoupení sloučených kategorií KVES [%] .....	83
Graf 10: Zastoupení sloučených kategorií KVES s úpravou ZABAGED .....	84
Graf 11: Boxplot koncentrací organického uhlíku základních odběrných profilů .....	97
Graf 12: Boxplot koncentrací CHSK <sub>Mn</sub> základních odběrných profilů .....	100
Graf 13: Boxplot koncentrací huminových látek základních odběrných profilů .....	101
Graf 14: Boxplot hodnot pH základních odběrných profilů .....	101
Graf 15: Boxplot hodnot konduktivity základních odběrných profilů .....	101
Graf 16: Lineární regrese parametrů DOC a CHSK <sub>Mn</sub> na profilu CIK .....	103
Graf 17: Lineární regrese parametrů DOC a HL na profilu CIK .....	103
Graf 18: Lineární regrese parametrů Q a DOC na profilu TET .....	104
Graf 19: Dendrogram základních profilů dle krajinného pokryvu a plochy povodí .....	108
Graf 20: Dendrogram základních profilů dle krajinného pokryvu, plochy povodí, průtoku a DOC .....	110
Graf 21: Dendrogram základních profilů a doplňkových profilů ROK-R1 a ROK-R2 na základě všech sledovaných parametrů .....	112
Graf 22: Dendrogram základních profilů a doplňkových profilů R1 a R2 na základě všech sledovaných parametrů .....	113
Graf 23: Denní úhrny srážek v červenci 2016 na stanici Březník .....	117
Graf 24: Průtok Q a koncentrace organického uhlíku DOC, kampaň 12.-14.7.2016 .....	118
Graf 25: Hysterezní smyčka druhého zvýšení průtoku, epizoda 12.-14.7.2016 .....	120
Graf 26: Průtok Q a koncentrace organického uhlíku DOC, kampaň 24.-25.7.2016 .....	121



Graf 27: Hysterezní smyčka průtokové vlny druhé odběrné kampaně 24.-25.7.2016 .....	122
Graf 28: Průtok Q a koncentrace organického uhlíku DOC, kampaň 27.-28.7.2016 .....	123
Graf 29: Denní úhrny srážek 20.9.-10.10.2016 na stanici Březník .....	123
Graf 30: Průtok Q a koncentrace organického uhlíku DOC, kampaň 2.-4.10.2016 .....	124
Graf 31: Hysterezní smyčka druhého zvýšení průtoku odběrné kampaně 2.-5.10.2016 .....	125
Graf 32: Průtok Q a koncentrace organického uhlíku DOC, kampaň 6.-7.10.2016 .....	126
Graf 33: Hysterezní smyčka průtokové vlny odběrné kampaně 5.-7.10.2016 .....	127

## Seznam map

Mapa 1: Vymezení zájmových území v rámci České republiky .....	46
Mapa 2: Přehledová mapa zájmového území horní Vydry .....	48
Mapa 3: Geologická mapa povodí horní Vydry .....	48
Mapa 4: Přehledová mapa zájmového území horní Rolavy .....	50
Mapa 5: Geologická mapa povodí horní Rolavy .....	51
Mapa 6: Přehledová mapa zájmového území horní Blanice .....	54
Mapa 7: Geologická mapa povodí horní Blanice .....	54
Mapa 8: Zájmové povodí a profily horní Vydry .....	58
Mapa 9: Zájmové povodí a profily horní Rolavy .....	63
Mapa 10: Půdní typy v zájmovém území profilů ROL1 a SLA2 .....	64
Mapa 11: Zájmové povodí a profily horní Blanice .....	66
Mapa 12: Krajinný pokryv povodí PTA dle KVES .....	73
Mapa 13: Krajinný pokryv povodí JAV dle KVES .....	73
Mapa 14: Krajinný pokryv povodí CIK dle KVES .....	73
Mapa 16: Krajinný pokryv povodí ROK dle KVES .....	73
Mapa 15: Krajinný pokryv povodí BRE dle KVES .....	74
Mapa 17: Krajinný pokryv povodí ROL1 dle KVES .....	76
Mapa 18: Krajinný pokryv povodí SLA2 dle KVES .....	76
Mapa 19: Krajinný pokryv povodí TET dle KVES .....	79
Mapa 20: Krajinný pokryv povodí BL03 dle KVES .....	80
Mapa 21: Krajinný pokryv v povodí BL13 dle KVES .....	81

## Seznam použitých zkratek

<i>AOPK</i>	<i>Agentura ochrany přírody a krajiny</i>
<i>BSK</i>	<i>Biochemická spotřeba kyslíku</i>
<i>CENIA</i>	<i>Česká informační agentura životního prostředí</i>
<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>Oxid uhličitý</i>
<i>ČGS</i>	<i>Česká geologická společnost</i>
<i>ČOV</i>	<i>Čistička odpadních vod</i>
<i>ČÚZK</i>	<i>Český úřad zeměměřický a katastrální</i>
<i>ČZÚ</i>	<i>Česká zemědělská univerzita</i>
<i>DIBAVOD</i>	<i>Digitální báze geografických dat</i>
<i>DOC</i>	<i>Rozpuštěný organický uhlík</i>
<i>EU</i>	<i>Evropská unie</i>
<i>HL</i>	<i>Huminové látky</i>
<i>CHKO</i>	<i>Chráněná krajinná oblast</i>
<i>CHSK</i>	<i>Chemická spotřeba kyslíku</i>
<i>IRZ</i>	<i>Integrovaný registr znečišťování</i>
<i>KFGG</i>	<i>Katedra fyzické geografie a geoekologie</i>
<i>KVES</i>	<i>Konsolidovaná vrstva ekosystémů</i>
<i>O<sub>2</sub></i>	<i>Kyslík</i>
<i>OC</i>	<i>Organický uhlík</i>
<i>PŘF</i>	<i>Přírodovědecká fakulta</i>
<i>TOC</i>	<i>Celkový organický uhlík</i>
<i>ZABAGED</i>	<i>Základní báze geografických dat</i>

# 1 Úvod a cíle práce

Organický uhlík je velice důležitým komponentem kvality vod. Vyjadřuje celkové zatížení vody organickým materiálem a lze jím nahradit souhrnné parametry jako chemická spotřeba kyslíku (CHSK) nebo biochemická spotřeba kyslíku (BSK) (PřF UP, 2009). Původ organického uhlíku může být přírodní (primární produkce organismů a dekompozice) i antropogenní (průmysl a zemědělství) (Volk et al., 2002, Yang et al., 2017). V posledních desetiletích je zejména v Evropě a Severní Americe pozorován výrazný nárůst koncentrací organického uhlíku (např. Hejzlar et al., 2003, Evans et al., 2005, Weyhenmeyer et al., 2009). I přes desítky provedených výzkumů nebyl určen jednotný mechanismus těchto změn. Autoři nejčastěji uvádějí jako příčinu změnu atmosférické depozice síry, takzvaný návrat z acidifikace, klimatickou změnu spolu s rostoucími teplotami nebo vliv rašelinišť a land-use. Podrobným souhrnem studií zkoumajících dlouhodobé změny v koncentracích organického uhlíku a jejich možné příčiny se zabývala bakalářská práce (Špringerová, 2016).

Koncentrace organického materiálu a jeho vlastnosti se v povrchových vodách liší v závislosti na vlastnostech povodí, klimatu a hydrologických podmínkách (Ågren et al., 2014, Laudon et al., 2004, Winterdahl et al., 2014). Koncentrace se také mění v čase vzhledem k sezónním změnám v produkci, spotřebě a transportu organického materiálu (Broder et al., 2017). Velkou pozornost získávají rašeliniště (Novák, 2012, Dušek et al., 2017), ale také příbřežní zóny povrchových vod s bohatými organickými horizonty jsou významnými zdroji organického materiálu (Laudon et al., 2004). V poslední době se klade důraz nejen na dlouhodobé změny v řádech několika desítek let, ale především na roční chod a sezónní variabilitu koncentrací organického uhlíku. Důležitou součástí výzkumů je hledání příčin změn a výkyvů v koncentracích. Pochopení reakcí jednotlivých součástí systému na různé fyzicko-geografické, srážko-odtokové a hydrologické podmínky je klíčovým záměrem na cestě k objasnění fungování koloběhu uhlíku v povrchových vodách a jejich povodích.

Diplomová práce je rozdělena do dvou částí. První část se zabývá studiem aktuální zahraniční i domácí odborné literatury řešící danou problematiku. Role organického uhlíku je v odvětví kvality vody velmi zásadním aspektem. Původu organických látek, jejich významu a možnému ohrožení organismů se dostává stále více pozornosti. Důležitou úlohou je pochopení variability v sezónním chodu a vliv antropogenních aktivit. Významnou část tvoří hledání možných příčin variability koncentrací uhlíku. Nezanedbatelnými příčinami změn mohou být především krajinný pokryv a půdní prostředí, zejména rašelinné a podmáčené půdy. Velkou roli hraje také vegetační období a srážko-odtokové události. Jednotné mechanismy mající vliv na variabilitu organického uhlíku však stále nebyly uspokojivě vysvětleny.

Základní část práce tvoří výzkum v experimentálních pramenných povodí KFGG (Katedra fyzické geografie a geokologie), konkrétně na horní Vydře, Blanici a Rolavě. Výzkum koncentrací organického uhlíku zde kontinuálně probíhá od roku 2014. V posledních dvou letech došlo k úpravě metodiky stanovení organického uhlíku a k optimalizaci a zefektivnění sítě měřících profilů. Uhlík je zkoumán ve vztahu s ostatními ukazateli biogeochemismu a je zde snaha objasnit vztahy mezi koncentracemi organických látek a odtokem s ohledem na hydrologické extrémy. Důraz je dáván zejména na letní přívalové srážky a suché epizody, kde se ukazuje vysoká variabilita koncentrací. Předchozí podmínky v povodí, jako je míra nasycení nebo suché epizody také vstupují do hodnocení variability koncentrací. Dále je studován vliv velikosti povodí a různého krajinného pokryvu na variabilitu. Důležitou část tvoří hledání rozdílů a souvislostí mezi jednotlivými povodími na základě biogeochemických proměnných a fyzicko-geografických vlastností. Cílem práce je vyhodnotit vztah koncentrací organického uhlíku s dalšími biogeochemickými proměnnými vyhodnocovanými v daných experimentálních povodích a průtokem. Díky datům z automatického vzorkovače lze vyhodnotit reakci koncentrací organického uhlíku na hodnoty průtoku během významných srážkoodtokových událostí.

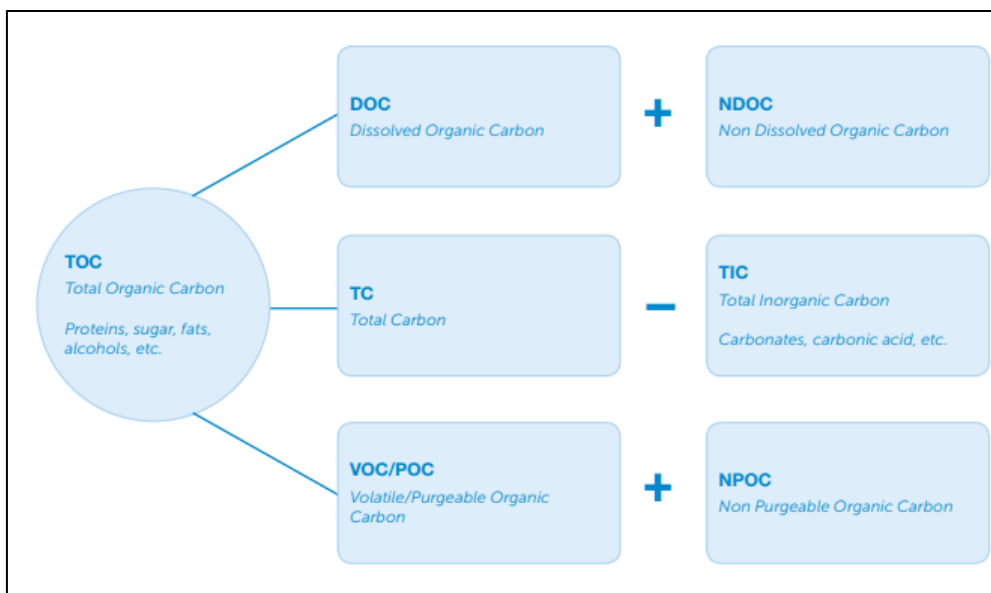
## 2 Zasazení měření uhlíku

### 2.1 Role organického uhlíku v hydrochemii

Organický uhlík (OC – organic carbon) je jednou ze složek celkového uhlíku (TC – total carbon), společně s anorganickým uhlíkem (TIC – total inorganic carbon) a těkavým uhlíkem (VC – volatile carbon). Celkový uhlík udává hmotnost uhlíku v objemu vzorku, anorganickým uhlíkem se stanovují především uhličitany a hydrogenuhlíčitany. Vztah mezi jednotlivými frakcemi uhlíku je  $TC=TOC+TIC$ , proto při známé hodnotě celkového a anorganického uhlíku lze zjistit i hodnotu organického uhlíku (PřF UP, 2009).

Dalšími formami uhlíku je rozpuštěný organický uhlík (DOC – dissolved organic carbon), vytěsnitelný organický uhlík (POC – displaceable organic carbon) a nevytěsnitelný organický uhlík (NPOC) (Obrázek 1). DOC lze získat stejnou metodou jako TOC, ovšem procesu předchází filtrace vzorku přes 0,45  $\mu\text{m}$  membránový filtr (Wallage a Holden, 2010). DOC bývá variabilní součástí TOC, literatura většinou uvádí, že DOC tvoří 90 % TOC (Rodríguez-Murillo et al., 2014). Ve vzorku zůstanou zachovány krátké řetězce bílkovin a aminokyseliny. Pokud POC je vytěsnitelný proudem plynu, NPOC je zbytkovým uhlíkem po vytěsnění POC podle vztahu  $NPOC=TOC-POC$  (Hach Lange, 2016).

Obrázek 1: Schéma forem uhlíku



Zdroj: Hach Lange (2016)

### 2.1.1 Původ organických látek

Organické látky mohou být přírodního nebo antropogenního původu. Přírodní organické látky se dělí na dvě skupiny – extracelulární organické látky (EOM) a intracelulární organické látky (IOM). EOM jsou produkty životní činnosti živočichů, mikrobů, řas a sinic na bázi sacharidů, peptidů, aminokyselin nebo například polyfenolů. IOM jsou látky uvolněné z odumřelých organismů a jejich rozpadu. Obě dvě skupiny vykazují velké zastoupení bílkovin, uvádí se 40-60 % (Mendelu, 2019). Organický uhlík je tvořen z velkého rozpětí molekul, od jednoduchých kyselin a cukrů ke komplexním substancím s vysokou molekulární hmotností (Berg et Shotbolt, 2012). Organické látky mohou vznikat přímo v dané lokalitě ve vodním prostředí (autochtonní látky), nebo mohou být transportovány odjinud (allochtonní látky), například splachem, výluhy z půd a sedimentů (Mendelu, 2019). Hlavním zdrojem organických látek přírodního původu je organická hmota z půdy a smetí, například opad listů (Yang et al., 2017), McDonald et al. (1991) uvádí dekompozici v rašelině jako primární zdroj, Schumacher (2002) dekompozici rostlin a živočichů. Zejména v půdě a sedimentech se nachází velké rozpětí forem organického uhlíku, od čerstvě uloženého odpadu (listů, větve) po vysoce rozložené formy (humus).

Antropogenní původ mají splaškové a průmyslové odpadní vody, odpady ze skládek, zemědělství a úpraven vod, která podléhají biologickému rozkladu ve vodách (Heteša a Kočková, 1997). Mezi organické látky antropogenního původu patří biochemicky rezistentní, biologicky těžko rozložitelné látky, jakou jsou perzistentní organické polutanty (POPs) zastoupené DDT (dichlordifenyltrichloretan) nebo polychlorovanými bifenyly (PCB). Jsou to látky těžce rozložitelné a toxické, které se hromadí v okolním prostředí včetně organismů, sedimentů nebo půdy.

### 2.1.2 Stanovení organického uhlíku

Organický uhlík je komplexním ukazatelem přírodní organické hmoty (Winterdahl et al., 2011a). Měření koncentrací organického uhlíku může být souhrnným parametrem pro vyhodnocení organické zátěže ve vodě (IRZ, 2019). Obsah organických látek bývá klasicky stanovován pomocí ukazatelů CHSK (chemická spotřeba kyslíku) nebo BSK (biochemická spotřeba kyslíku) (PřF UP, 2009). Ukazatel organického uhlíku, jako je například ukazatel celkový organický uhlík (total organic carbon – TOC) je poměrně novým, moderním proxy nástrojem pro vyhodnocení organické zátěže a ukazatel CHSK se již pomalu dostává do pozadí, hlavně v odvětví ochrany životního prostředí. TOC je zatím relativně alternativním ukazatelem, ovšem v některých zemích, například v Německu, již CHSK nahradil a je považován za standardní metodu. Podle nařízení Rady Evropské unie (EU) se v odvětví městských odpadních vod může ukazatel BSK nahradit ukazatelem TOC, pokud je mezi nimi znám vztah. V České republice upravuje stanovení TOC implementace evropské normy EN 1484 (PřF UP, 2009).

Proces stanovení celkového organického uhlíku je založen na převedení organického uhlíku na oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) termickou nebo mokrou chemickou oxidací a poté přímým měřením po okyselení vzorku. Na cestě ke stanovení koncentrace organického uhlíku hrají roli dvě metody – vytěšňovací a diferenční. Tyto metody si jsou dle normy EN 1484 rovnocenné. Volba metody závisí na charakteristice složení daného vzorku. Vzorek obsahující mnoho těkavých organických sloučenin (VOC) je nevhodný pro vytěšňovací metodu. Při srovnávacím použití obou metod v tomto charakteru vzorků může mít jeden vzorek dva rozdílné výsledky. Vytěšňovací metoda je založena na odstranění anorganického uhlíku (TIC) ve vzorku okyselením a vytěšněním a poté stanovení TOC přímo jedním měřením. Metoda je vhodná pro vzorky s velkým obsahem anorganických frakcí TIC a zároveň s malým obsahem TOC, nebo pro vzorky s nízkým obsahem TIC i TOC. Diferenční metoda vyžaduje dvě měření, kdy je zapotřebí stanovit koncentraci celkového uhlíku (TC) a anorganického (TIC). TOC se poté stanoví podle vzorce  $TOC = TC - TIC$ . Metoda je vhodná pro vzorky s vysokým obsahem VOC, kde jsou koncentrace TOC na stejné nebo vyšší úrovni než TIC.

V praxi se používá metoda kolorimetrického stanovení, kdy je produktem vysokoteplotního spalování (combustion) plynný CO<sub>2</sub> (Bartlett a Ross, 1988, in Volk et al., 2002). S pomocí analyzátoru se jedná o přesnou metodu stanovení s možností kontinuálního zpracování většího množství vzorků. Nepřesnost metody může způsobit nesprávná manipulace se vzorkem, jeho uložení a příprava před analýzou. Mezi hlavní nevýhody patří vysoká cena vybavení a analýz a potřeba výzkumného nebo expertního pracoviště. Okamžité stanovení v terénu je nemožné (např. PřF UP, 2009, Hach Lange, 2016, Mendelu, 2019).

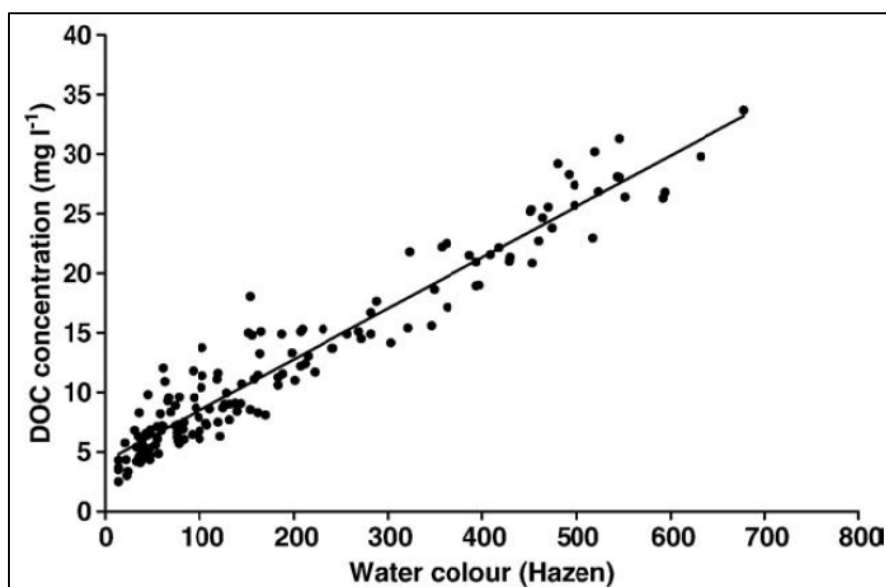
Jednou z metod stanovení obsahu organických látek ve vodních ekosystémech je fluorescence. Materiál z různých zdrojů fluoreskuje kvalitativně jinak. Stanovení probíhá pomocí fluorescenčního spektrofotometru. Při této metodě musí být drženo konstantní pH=2, protože má velký vliv na propustnost paprsku (Zsolnay, 1999).

Při stanovení TOC i DOC lze určit podíl velikostí organických částic a v souvislosti s tím ohodnotit lokalitu z hlediska úživnosti. Pokud je toto testování provedeno u více lokalit, lze odlišit jinak i velmi podobné lokality a stanovit důvody výskytu nebo absence druhu organismu. Tento postup se využívá zejména v rekreačních nádržích a úpravnách vod (PřF UP, 2009).

Z historického hlediska byla nenáročnou alternativou pro zjištění organické zátěže ve vodě barva. Vodní toky a útvary obsahující vysoké koncentrace organických látek vykazují tmavou barvu červených a hnědých odstínů. Například v povodích, kde jsou zastoupeny rašelinné půdy, je zabarvení vody významnou proměnnou (Freeman et al., 2001, Vlček, 2018). Stanovením koncentrace organického uhlíku pomocí barvy se zabývali Yallop a Clutterbuck (2009). Vztah mezi barvou měřenou v jednotkách Hazen a rozpuštěným organickým uhlíkem (DOC) byl určen pomocí

vzorků ze stejných povodí a následně byl mezi nimi určen přepočtení vztah (Graf 1). Spektrofotometrické metody monitorující barvu vody testovali také například Wallage a Holden (2010). Silný lineární vztah mezi koncentracemi organického uhlíku a zabarvením vody je často potvrzován v rašelinistních vodách. Barva vody může být měřena velice jednoduše a není finančně příliš nákladnou metodou. Jedny z prvních dat indikujících zvyšující se koncentrace organického uhlíku napříč mnoha severskými rašelinisti byly pořízeny díky sledování zvýšených hodnot zabarvení vody, nikoliv přímým stanovením koncentrací organického uhlíku (např. Naden a McDonald, 1989, in Wallage a Holden, 2010).

**Graf 1: Vztah mezi DOC a Hazen ze vzorků z roku 2005**



Zdroj: Yallop a Clutterbuck (2009)

## 2.2 Huminové látky

Přírodní organické látky (Natural Organic Matter – NOM) jsou nezanedbatelnou součástí chemismu povrchových vod. NOM se podle velikosti dělí na rozpuštěné organické látky (Dissolved Organic Matter – DOM) a nerozpuštěné organické látky (Particulate/Suspended Organic Matter – POM/SOM). Rozdíl mezi oběma frakcemi byl stanoven na 0,45  $\mu\text{m}$  (Leenheer a Croue, 2003, in Pivokonský et al., 2010), což je uvedeno i v kap. 2.1. Jednou z nejdůležitějších součástí přírodních organických látek jsou huminové látky. Při úpravě surové vody na vodu pitnou jsou v mnoha zdrojích povrchových vod dokonce huminové látky označovány za hlavního znečišťovatele (Dolejš, 2002). Z chemického hlediska se jedná o složité vysokomolekulární polycyklické sloučeniny. Jejich vznik není uspokojivě vysvětlen a existuje několik teorií možného vzniku huminových látek. Dle většiny autorů (Edwards et al., 1985) se huminové látky mohou dělit do tří skupin, na huminové kyseliny, fulvokyseliny a huminy.



V průběhu 80. let docházelo vlivem acidifikace a vysokých imisí k rozsáhlému odumírání lesů, což se nevyhnulo ani Krušným horám. Stanoviště podléhaly intenzivní degradaci a svrchní půdní horizonty byly vystaveny prosychání. Jejich následné promývání dešťovou vodou a vodou z tání sněhu mohlo být jednou z příčin zvýšení koncentrací organického uhlíku. Během jarního tání sněhu byl u jinak celoročně velmi vydatného toku, co se týče koncentrací organického uhlíku, pozorován pokles z 50-60 mg.l<sup>-1</sup> na 30 mg.l<sup>-1</sup>. Naproti tomu v toku, který je charakteristický celoročně nízkými koncentracemi, se během těchto epizod koncentrace výrazně zvyšovaly ze 7-9 mg.l<sup>-1</sup> na 16-50 mg.l<sup>-1</sup>.

Vysoké koncentrace huminových látek se shodně s organickým uhlíkem vyskytují v rašeliništích. Akumulace organické hmoty je zde výsledkem rozdílu mezi přebytkem primární produkce na povrchu rašeliniště a pomalou dekompozicí v celé vrstvě rašeliny. Huminové látky se v povodí akumulují v malých tůních i odlesněném terénu. Odtud se během srážko-odtokových epizod vyplavují a mohou představovat riziko pro kvalitu vody. V Krušných horách vidí šanci na nápravu v opětovném zalesnění zničených ploch smíšeným lesem, nikoli náchylnou smrkovou monokulturou (Novák a Šestauberová, 2013). Straková et al. (2011, in Novák a Šestauberová, 2013) podotýká, že typ lesního opadu ovlivňuje aktivitu aerobních rozkladačů více než živinové režimy a hladina podzemní vody. Jakýkoli vliv změn se však v půdě projevuje nepřímo a s časovou prodlevou. I výrazné změny ve složení vegetace se projevují až v dlouhodobém horizontu (Novák a Šestauberová, 2013).

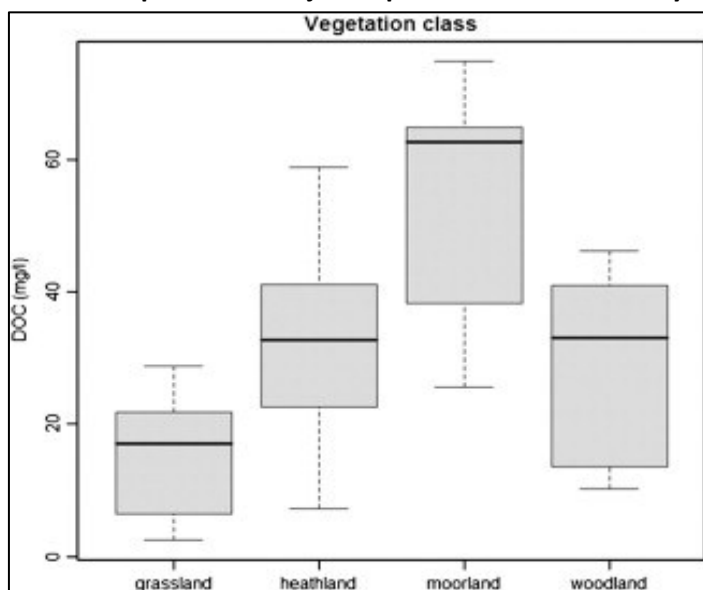
### **3. Nové poznatky a výsledky výzkumů koncentrací organického uhlíku**

#### **3.1 Rozložení zásob organického uhlíku v terestrických ekosystémech**

Koncentrace organického uhlíku se liší vlivem geografické polohy, typu půd, vegetace, topografií povodí, sezonou, klimatem a zastoupením mokřadů v povodí (Jutras et al., 2011). Rozložení koncentrací uhlíku koresponduje s oblastmi největších zásob uhlíku, s mokřady, pobřežními planinami a bažinami. Největšími zásobárnami uhlíku jsou oblasti s charakteristickým mělkým či nízkým zamokřeným reliéfem. Identifikace oblastí s vysokými koncentracemi organického uhlíku je vhodná k nalezení kritických zón transportu uhlíku ze zásobáren do vodních toků. Dění v těchto zónách může ovlivnit zásoby uhlíku v suchozemských ekosystémech (Yang et al., 2017).

Nicméně jednotlivé studie stále vykazují rozdílné výsledky (Yallop a Clutterbuck, 2009). Van den Berg et al. (2012) sledovali koncentrace organického uhlíku ve čtyřech typech vegetace a jejich charakteristických půd - v lesních porostech středních nadmořských výšek, vřesovištích, vysoce položených slatinách a na loukách (Graf 2). Nejvyšší koncentrace byly zjištěny ve vysoce položených slatinách a nejnižší na loukách. Yang et al. (2017) vyzdvihují hustý lesní porost a jeho opad jako velký zdroj uhlíku, kdy v tomto prostředí probíhá intenzivní proces dekompozice za přítomnosti značného množství vhodného materiálu. Vliv lesního opadu připomíná také Jutras et al. (2011). Čím větší zásoby uhlíku se v lesním opadu vyskytují, tím větší množství bude dostupné pro dekompozici. Tvorba organického uhlíku se rovná primární produkci, která stoupá s vyšší vlhkostí a teplotou. Ovšem zvýšení vlhkosti substrátu a následná vyšší produkce organického uhlíku automaticky neznamená vyšší koncentrace uhlíku v tocích. Ve studii Yanga et al. (2017) byla potvrzena komplexní interakce terestrických a akvatických procesů, které ovlivňují organický uhlík na různých prostorových a časových měřítkách. Na globální úrovni nelze jednoduše vysvětlit vznik a distribuci organického uhlíku. Jedním souborem činitelů je možné popsat 20-30 % variability organického uhlíku, další podíl je ovlivněn místními podmínkami prostředí (Yallop a Clutterbuck, 2009).

**Graf 2: Boxplot znázorňující rozpětí hodnot DOC v různých typech vegetace**



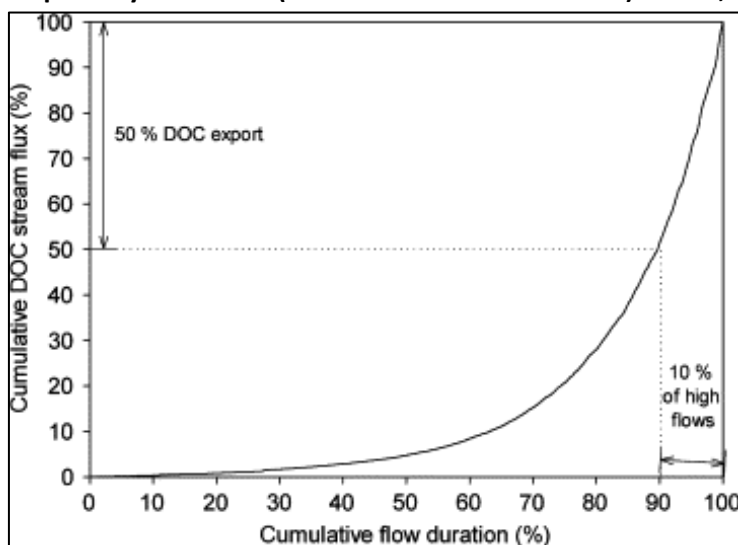
Zdroj: Van den Berg et al. (2012)

Vysvětlivky: grassland=louka, heathland=vřesoviště, moorland=slatina, woodland=lesní půda

### 3.2 Podmínky prostředí

Většina studií se shoduje, že nejnižší koncentrace organického uhlíku se vyskytují v zimním období. Jutras et al. (2011) uvádí ve studii z Nového Skotska v Kanadě nejvyšší koncentrace od druhé poloviny léta do podzimu. Během podzimních srážko-odtokových epizod organický uhlík stoupá a vykazuje závislost na průtoku (Clark et al., 2007). Zvýšení koncentrací během podzimních bouří způsobilo, že odhady koncentrací organického uhlíku na základě klasických údajů z monitorování v týdenním kroku jsou podceňovány. Je možné, že dlouhodobé toky uhlíku jsou podhodnoceny, protože vysoké koncentrace během srážko-odtokových epizod často chybí ve sledování s jasně daným intervalem odběrů. Studie ukázaly, že 36-50 % organického uhlíku pochází z vlivu krátkých srážkových epizod, které se vyskytují 4-24 % celkového času (Hinton et al., 1997). V některých povodích bylo dokonce 31-66 % celkového ročního toku organického uhlíku pozorováno během jedné intenzivní srážko-odtokové události. Clark et al. (2007) uvádí 50 % organického uhlíku exportovaného během 10 % odtokových epizod (Graf 3). Toto potvrzuje výsledky Hinton et al. (1997) z kanadských mokřadů, kde bylo 41-57 % uhlíku exportováno během 10 % nejvyšších průtoků. Yallop a Clutterbuck (2009) neprokázali vliv srážkových úhrnů na změny v koncentraci organického uhlíku ve výzkumu 50 malých povodí ve Velké Británii. To potvrdili i ve své pozdější práci (Clutterbuck a Yallop, 2010). Za významného činitele označili nárůst teplot, kdy během let 1990-2005 teplota stoupla o 0,71-0,84 °C, čímž vysvětlují nárůst koncentrací organického uhlíku o 11-24 %. Významným procesem je také snížení depozice síry o 45-53 % mezi lety 1995-2005, což v tomto výzkumu vysvětluje 17-45 % variability organického uhlíku. Snížením kyselosti prostředí dochází k mobilizaci organických kyselin.

**Graf 3: Vztah mezi kumulativním odtokem (cumulative flow duration) a kumulativním rozpuštěným uhlíkem (cumulative DOC stream flux) v toku, 21.10.-4.12.2002**



Zdroj: Clark et al. (2007)

Ve střední Evropě proběhla velmi zajímavá studie v povodí řeky Schwabach (Lee et al., 2017). Zdejší povodí je typickým zástupcem malého povodí středních nadmořských výšek v Německu, jeho podloží je tvořeno zejména krasovými horninami. Výzkum je důležitý především z hlediska vysoké frekvence uskutečněných odběrů vzorků vody během celého hydrologického roku. Frekvence sběru vzorků se pohybovala v rozmezí 4-11 vzorků za jeden měsíc. Autoři studie poukazují na fakt, že aplikace vysoké frekvence odběru vzorků v budoucích výzkumech může významně ovlivnit přesnost odhadů a snížit nejistoty v našem poznání lokálních zásob uhlíku, stejně jako to uvádí např. Clark et al. (2007). Vysoká frekvence odběrů je ovšem často limitována finančními a logistickými okolnostmi. Pro uspokojivou přesnost odhadů navrhuje Lee et al. (2017) frekvenci odběrů po dvou týdnech, zejména v období vysokých průtoků a srážkových událostí.

Největší pozornost by se nyní měla věnovat malým tokům a jejich roli v globálním koloběhu uhlíku. Pro malé toky, a zejména jejich pramenné části na regionální úrovni, chybí informace. Pramenné toky hrají důležitou roli v regionálním i globálním koloběhu uhlíku, jsou důležitým primárním zdrojem uhlíku z podzemních vod i půdy. Výzkum potvrdil také pozitivní korelaci uhlíku s průtokem a poukázal na variabilitu koncentrací a sezonní chod. Pozitivní vztah mezi koncentracemi organického uhlíku a průtokem indikuje, že povrchový odtok a podpovrchový odtok v půdě jsou důležitými zdroji organického uhlíku v tocích během srážkových událostí (Lee et al., 2017).

Důležitou proměnnou jsou také disturbance vzniklé v lesních povodích, kterými se zabývá výzkum Su et al. (2017) v Šumavském národním parku. Kaňa et al. (2013) zde potvrdili zvýšení koncentrací organického uhlíku v půdě, které byly o pár let opožděny za disturbancemi. Zpoždění nástupu vyšších koncentrací vykazuje i Huber et al. (2004) v sousedním Bavorském lese. Změny v koncentracích organického uhlíku zde mohou být spojeny s rozkladem odpadu a rozpadem kořenů,

což usnadňuje rozklad a vyluhování organických látek v půdě. Zvýšení koncentrací organického uhlíku může mít vliv i na další hydrochemické prvky a ukazatele, například konduktivitu (Thorslund et al., 2016).

Za významný aspekt určili Yang et al. (2017) řádovost vodních toků. Řád vodního toku reflektuje vstupy uhlíku, kdy dochází k vymývání v různé míře od pramenných oblastí k velkým dolním tokům. Největší koncentrace organického uhlíku by se měly nacházet ve vodních tocích druhého řádu dle Strahlera vlivem vstupu velkého množství odpadu a vysokého stupně dekompozice. V dolních tocích se uplatňuje více faktorů a vlivů než v pramenných oblastech, například land-use a heterogenita lidských aktivit. V malých vodních tocích převažují terestrické zdroje, zatímco v povodí velkých řek dominují hydrologické procesy vně toku závislé například na výšce vodního sloupce.

Se zajímavými poznatky přichází studie Chowa et al. (2017) ze severního Taiwanu z let 2000-2015. Výzkum byl proveden v tropické zalesněné oblasti s průměrným ročním úhrnem srážek přesahujícím 4 000 mm. Koncentrace organického uhlíku jsou zde velmi nízké v desetinách miligramů na litr vody. Nebyl zde zjištěn žádný významný roční chod v koncentracích organického uhlíku ani žádné meziroční změny. Pouze v srpnu a září v sezoně tajfunů lze pozorovat ředění toku a mírné snížení koncentrací organického uhlíku. Je zde patrný velký vliv eutrofizace a srážkových epizod a velmi významný vliv změn teplot. Vliv snižující se acidifikace nebyl potvrzen. Z výzkumu vyplývá, že dominantními vlivy na dynamiku organického uhlíku v tocích jsou klimatické a hydrologické faktory.

Švýcarský výzkum (Rodríguez-Murillo et al., 2014) zahrnuje případovou studii z pramenné oblasti pěti hlavních evropských povodí ve švýcarských Alpách. Síť hydrologických stanic zde monitoruje fyzikální a chemické parametry od roku 1974. Výsledky studie jsou poměrně překvapivé. Hodnoty TOC vykazují významný pokles na šesti ze sedmi stanic a současně žádný významný nárůst na žádné stanici. Pokud uvažujeme pouze období 2000-2010, je pokles ještě více patrný. Hodnoty DOC nevykazují žádný významný trend vyjma nárůstu hodnot na dvou stanicích lokalizovaných pod velkými jezery Chancy a Rekingen. Tyto analýzy nepodporují předchozí výsledky výzkumů. Je však důležité připomenout odlišné parametry sledovaných území, například velké rozlohy zájmových povodí, vyšší nadmořské výšky a vliv tání ledovců, a s tím spojené možné odlišné trendy ve variabilitě a chování organického uhlíku.

Nové poznatky výzkumů pochází také z oblasti mořských vod. V Baltském moři probíhal výzkum vnosu organického uhlíku ze šesti hlavních povodí ústících do moře. Povodí odvodňují čtyřikrát větší plochu, než jakou má toto polouzavřené brakické moře. S pomocí tří scénářů klimatické změny byla provedena predikce ročních a sezonních trendů organického uhlíku k roku

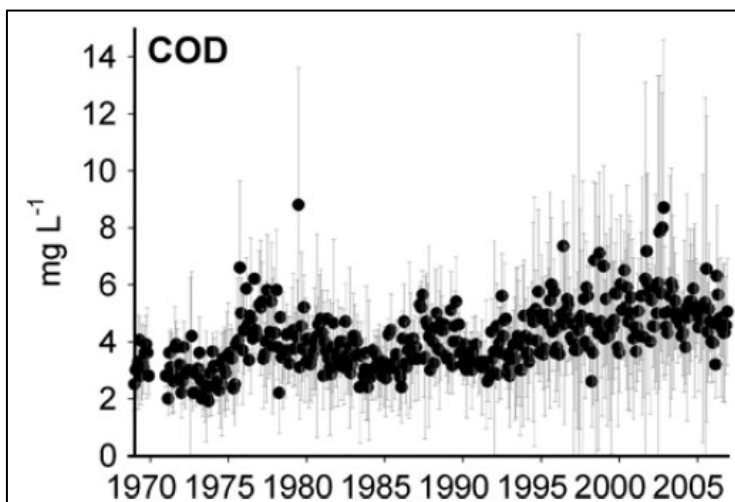
2100 a porovnání se současným stavem. Z výsledků výzkumu je patrné, že koncentrace organického uhlíku se mezi lety 2010-2100 nebudou nijak výrazně měnit. To bylo vysvětleno protipůsobením různých podmínek přicházejících z dílčích povodí s různými vlastnostmi.

Předpokládané sezónní vnosity organického uhlíku do moře se v budoucnu zvýší o 30 % v zimě a sníží o 21 % v létě, v celkovém souhrnu je pravděpodobná stagnace či nevýznamný pokles o 5 %. Nárůst koncentrací v zimě je důsledek zvyšující se eroze půdy, změny v trvání délky sněhové pokrývky a brzký nástup jarních povodní s přínosem terestrického odpadu. Změny v létě vycházejí ze snižující se primární produkce. Mezi jednotlivými povodími existují rozdíly v jejich vlastnostech a parametrech, proto také reakce povodí na klimatickou změnu budou různé. Změny ve vnosu organického uhlíku mohou ovlivnit pobřežní potravní struktury ovlivňováním bakteriální a fytoplanktonové produkce v pobřežních zónách, což může vyústit ve vyšší trofické úrovni. Organismy v zimě nejsou zvyklé pracovat s větším množstvím uhlíku, který se předpokládá, jejich metabolismy jsou pomalejší a budou se se změnami těžko vyrovnávat. Předpokládá se nárůst organického uhlíku v zimě a na začátku jara, vlivem větších průtoků z tání sněhu, ve vysokých zeměpisných šířkách. Tání sněhu vymývá vrchní vrstvy půdy bohaté na uhlík. Srážky ve formě sněhu vymývají uhlík vázaný v atmosféře a uchovávají ho ve sněhu, dokud neroztaje a nevypustí uložený uhlík do prostředí. V nižších zeměpisných šířkách budou pravděpodobně patrné menší vnosity a také celkově menší koncentrace organického uhlíku (Straa et al., 2018).

Starší studie Omstedta et al. (2012, in Straa et al., 2018) předpokládá růst teploty i růst srážkových úhrnů o 12-18 % především v severních oblastech. To by mohlo mít za následek větší vymývání půd a permafrostu a větší perkolaci. Vliv v této části Země bude mít nejspíše i delší vegetační sezona vlivem vyšších teplot a větší extremity počasí co se týče suchých period a povodní. Výsledkem této studie je možné zvýšení vnosu uhlíku v severní a východní části Baltského moře o 20-50 % vlivem větších průtoků.

Za možného ukazatele organického materiálu, potažmo organického uhlíku, lze využít parametr chemická spotřeba kyslíku (CHSK), který byl soustavně sledován v sedmi povrchových zdrojích pitné vody a čtyřech vodních tocích během let 1969-2006 v České republice. Jedná se o mírně nezaledněné území střední Evropy, například jako ve výzkumu Lee et al. (2017). Nádrže v Krušných horách jsou významnými zdroji pitné vody v regionu. Zvýšené koncentrace organického materiálu zde na přelomu tisíciletí způsobily občasné problémy s úpravou pitné vody, zejména v nádrži Fláje. Při dezinfekci pitné vodou mohou vznikat škodlivé trihalogenmethany (viz níže, Špringerová, 2016) a proto se doporučuje zaměřit se na přímé odstranění organické hmoty z vody. Celkem sedm měřených stanovišť vykazovalo významný růst koncentrací organické hmoty (Graf 4). Koncentrace stouply v pěti ze sedmi zkoumaných nádrží a ve třech tocích v Krušných horách a jednom toku na Českomoravské vrchovině.

**Graf 4: Koncentrace CHSK pro období 1969-2006 pro všechny pozorované stanoviště v Krušných horách**



Zdroj: Oulehle a Hruška (2009a)

Autoři zvažovali vliv teploty, srážek, land-use a koncentrací síry spojených s acidifikací. Dlouhodobý růst koncentrací byl v těchto podmínkách spojen zejména s poklesy kyselé depozice, především depozice síry. Teplota a srážky neměly vliv na dlouhodobé trendy, ale významně ovlivňovaly variabilitu organické hmoty během roku. Mezi měsíčními průměrnými koncentracemi organické hmoty a měsíčními úhrny srážek a průměrnými teplotami byl nalezen významný pozitivní vztah na všech zájmových lokalitách. Z výzkumu vyplývá, že variabilita v koncentracích organické hmoty závisí na zastoupení druhů půd v povodí, zejména na zastoupení histosolů. To potvrzuje i velmi významná pozitivní korelace mezi organickou hmotou a histosoly (0,79, na hladině spolehlivosti  $p < 0.001$ ). Sezonní variabilita odráží zejména změny v hydrologii a produktivitě organické hmoty organismy (Oulehle a Hruška, 2009a).

Detailní průzkum Flájské přehrady v Krušných horách provedli Novák a Šestauberová (2013). Výzkum probíhal v povodí potoka Rašeliník, tvořeného zejména organozeměmi, a zaměřoval se především na huminové látky, jejich koncentrace, složení a stáří. Nejvyšší koncentrace byly zaznamenány po intenzivních deštích nebo při tání sněhu. Největší akumulace huminových látek byly odhaleny v nízkých prohlubních, malých tůních a ve starých odvodňovacích kanálech při sušším období. Hodnoty se zde vyšplhaly až na  $65 \text{ mg.l}^{-1}$  a během silných srážkových epizod nebo při tání sněhu mohou být vyplavovány do toků. Huminové látky, potažmo fulvokyseliny, představují pro potřeby úpravy pitné vody největší riziko ze všech frakcí organického uhlíku. Fulvokyseliny nelze odstranit koagulací a při chloraci pitné vody tak vznikají karcinogenní trihalogenmethany.

Koncentrace byly sledovány během let 2010-2013 v přítocích potoka Rašeliník, ústícího do přehrady Fláje. Koncentrace se mezi přítoky silně lišily v rozmezí  $2\text{-}60 \text{ mg.l}^{-1}$ . Levostranný přítok

č. 6 vykazoval stabilně vysoké koncentrace huminových látek, dále pak pravostranný přítok č. 2. Tyto dvě stanoviště s nejvyššími koncentracemi huminových látek vykazují zároveň nejnižší hodnoty pH a jsou hlavními původci huminových látek exportovaných do nádrže Fláje (Tabulka 1). Kromě těchto zdrojů se také významnou měrou na vnosu do nádrže podílejí příležitostně zvýšené koncentrace v ostatních přítocích během srážkových událostí či tání sněhu. Odumírání lesů, především rašelinných smrčín, v průběhu 80. let 20. století způsobené acidifikací vedlo k degradaci a vysychání svrchních půdních horizontů. Jejich následné proplachování dešťovou vodou a vodou z tajícího sněhu pravděpodobně vedlo k exportu zvýšených koncentrací organického uhlíku.

U přítoku č. 6 s celoročně vysokými koncentracemi huminových látek byl během tání sněhu na jaře roku 2012 a 2013 pozorován pokles koncentrací s rostoucími průtoky. Koncentrace zde klesaly z 50-60 mg.l<sup>-1</sup> na 30 mg.l<sup>-1</sup>. Naopak u přítoku č. 3, charakteristického nízkými koncentracemi během celého roku (7-9 mg.l<sup>-1</sup>), se po tání sněhu zvýšily koncentrace s průtokem na 16-50 mg.l<sup>-1</sup>. K akumulaci vysokých koncentrací huminových látek dochází také v odlesněném terénu, odkud jsou huminové látky vyplavovány a mohou snižovat kvalitu vody. Řešením vedoucím ke zlepšení tohoto stavu by mohlo být zalesnění smíšeným lesem, který není tak náchylný jako smrková monokultura. V rámci tohoto projektu v Krušných horách bylo provedeno radiouhlíkové datování fulvokyselin a huminových látek. V povrchových vodách se vyskytují látky z mladých vrstev rašeliny (150-250 let), přičemž mladší huminové látky jsou vyplavovány na podzim a v zimě a starší huminové látky (250 let) jsou vyplavovány v létě. To souvisí s větším provzdušněním (oxidací) vrstev rašeliny během léta, hladinou podzemní vody a dekompozicí. V německém Sasku byly nalezeny huminové látky staré až 850 let ve vodách zrevitalizovaných tůň. Revitalizace a s ní spojené terénní úpravy mohou uvolňovat starší zásoby huminových látek a zvyšovat odnos do vodních toků a nádrží (Novák a Šestauberová, 2013, Novák, 2012).

**Tabulka 1: Koncentrace huminových látek (HL) v jednotlivých přítocích potoka Rašeliník, reprezentativní odběr v červenci roku 2010**

Přítok	A <sub>280</sub>	pH	HL / mg.l <sup>-1</sup>
1	0,135	7,05	5
2	0,365	6,61	20
3	0,171	7,39	7
4	0,252	7,20	11
5	0,355	7,47	14
6	1,076	6,48	57
7	0,136	7,38	4
8	0,174	7,60	7

Zdroj: Novák a Šestauberová, 2013



### 3.3 Modelování procesů transportu organického uhlíku

Matematické modelování procesů transportu organického uhlíku v půdách a tocích je velice rostoucí a důležité téma, které může být nápomocno v prediktivních analýzách dynamiky půdní organické hmoty. Hlavním cílem modelování je vylepšit naše porozumění procesům transportu organického uhlíku a jeho mechanismům. Modelování nabízí také unikátní příležitost studia efektů a vlivů způsobujících změny v dlouhodobých vzorech. Může poskytnout rámec pro testování hypotéz, například jaký je preferenční způsob dopravy organického uhlíku během zvýšených odtoků nebo vliv změny teploty na organický uhlík. Modelování procesů organického uhlíku má také potenciál vymezit jednotlivé vlivy a studovat kombinace efektů na mobilitu a změny. Biogeochemismus uhlíku je velice komplexní téma a často obtížně sledovatelné v terénu. Modelování hraje důležitou roli ve vylepšování našich znalostí jednotlivých procesů (Dušek et al., 2017).

V modelování organického uhlíku již bylo navrženo několik přístupů, regresní modely (Worrall a Burt, 2005; Köhler et al., 2009; Winterdahl et al., 2011b), soustředěné modely (Boyer et al., 2000; Xu et al., 2012; Charlier et al., 2012) a fyzikálně založené modely (Neff a Asner, 2001; Yurova et al., 2008; Mei et al., 2014). V těchto přístupech je povodí toku konceptualizováno jako soubor nádrží a bazénů, kde se shromažďuje uhlík. Jako tyto nádrže a bazény, zásobárny uhlíku, bývají označovány svahy, příbřežní zóny nebo podzemní vody. V těchto místech se organický uhlík smíchá s konkrétním aktuálním průtokem a způsobuje dočasné změny v koncentracích organického uhlíku v povrchovém toku (Hornberger et al., 1994, Dick et al., 2015). V modelech se používají zjednodušené přístupy, které spojují klíčové hydrologické i biogeochemické procesy (Weiler and McDonnell, 2006; Seibert et al., 2009; Hartmann et al., 2016, in Dušek et al., 2017), nicméně dynamika průtoku během srážko-odtokových situací je v některých modelových přístupech zanedbávána na úkor dlouhodobých denních nebo ročních intervalů.

Nejstarším zmiňovaným modelem je DocMod model (Currie and Aber, 1997) pracující s dekompozicí lesního odpadu v zalesněných oblastech mírného klima. Lesní odpad je považován za producenta organického uhlíku, přičemž zásobárny uhlíku jsou propojené a tento krok je konečným v koloběhu uhlíku na Zemi. Neff a Asner (2001) navrhli DOC Synthesis Model jako všeobecný přehled a rámcovou práci pro detailní dynamiku organického uhlíku v terestrických ekosystémech. Model testuje citlivost simulací toku organického uhlíku s ohledem na rozmanitou míru biologické dostupnosti organického uhlíku a rozsahu absorpce organického uhlíku půdou. Mezi vstupy do modelu patří například i typy půd. DyDOC (Michalzik et al., 2003) pracuje s hydraulikou a adsorpcí kořenových systémů lesních půd. Vyzdvihuje propojenost zásobáren uhlíku, produkci odpadu, srážky a teplotu vzduchu a půdy. Pracuje v hodinových a denních časových krocích. Worrall a Burt (2005) zpracovali tříparametrický The Acrotelm and Catotelm DOC Production Model. Model aplikovali na rašelinách a vřesovištích ve Velké Británii. Model odhalil skladování uhlíku v horní

vrstvě půdy rašeliny, vliv suchých epizod, teploty půdy a fluktuace vodního sloupce v rašeliništi. Model Ecosse (2007) zdůrazňuje vliv změn počasí, spadu odpadu, vegetačního pokryvu a vlastností půd. Novější model INCA-C (Integrated Catchments Model for Carbon, Futter et al., 2011) vysvětluje 50-60 % hodnot organického uhlíku v týdenním chodu v sedmnácti letém záznamu. Model RIM (Riparian flow-concentration Integration Model) se ukázal jako přínosný nástroj pro vyšetřování možných důvodů pro rychlé, krátkodobé změny variability koncentrací organického uhlíku (Winterdahl et al., 2011b).

Model se třemi vstupními parametry DOC-3 byl navržen k odhadu denních koncentrací a toků organického uhlíku z modelovaných odhadů pro denní vlhkost a teplotu půdy a ve vztahu k velikosti povodí. První parametr vázaný na konkrétní povodí se vztahuje k procentuálnímu zastoupení suché a zamokřené plochy v povodí. Čas prodlevy mezi produkcí organického uhlíku a následným vzestupem uhlíku v toku souvisí s velikostí povodí nad odběrným místem tvoří druhý parametr. Dalším vstupem je teplota a její efekt na produkci organického uhlíku. Kalibrace modelu byla vytvořena z dat z let 1988-2006 ze tří vodních toků. Pro interpretaci modelu byly použity data ve dvoutýdenním chodu z let 1999-2003 z půdní, jezerní, podzemní a povrchové vody. Z aplikace modelu vyplynulo, že koncentrace organického uhlíku nekoreluje s koncentracemi v půdní a podzemní vodě. Změny vlhkosti a teploty půdy totiž vznikají hydrologicky v blízkosti každého vodního toku nezávisle na půdní a podzemní vodě a procentuální zastoupení vlhkých a suchých ploch na pokryvu povodí ovlivňuje povrchové koncentrace mnohem více než koncentrace v podzemní vodě. Cílem modelu bylo generovat denní až roční hodnoty organického uhlíku založené na hydrologických a topografických vlivech. Model predikoval 74 % hydrometricky popsaných pohybů organického uhlíku, synchronizace s průtokem byla zjištěna pouze mírná. S větší rozlohou povodí se prodlení koncentrací uhlíku za srážko-odtokovými událostmi zvyšuje. Organický uhlík a jeho vliv na zásobárny energie je klíčovým hráčem v estuáriích a tekoucích vodách, jeho původ je podmíněn termickou aktivizací z mokřadů (Jutras et al., 2011).

Modely se odlišují hlavně použitím různých klimatických a hydrologických faktorů a množstvím detailů. Užití modelů se liší na základě dostupnosti vstupních parametrů v zájmovém území a vhodnosti zkoumaného území dle jeho charakteristik. Vyhodnocení modelů probíhá kvalitativním porovnáním se současnými měřenými koncentracemi organického uhlíku. Vyhodnocení načasování skutečných a předpokládaných píků koncentrací organického uhlíku během sezon a vyhodnocení sezonních amplitud tvoří nedílnou součást validace modelů (Jutras et al., 2011). Dalším nástrojem pro modelování koncentrací organického uhlíku je General Linear Model. Do modelu vstupují nové proměnné, například pH půdy, depozice dusíku a kyselá depozice nebo délka vegetační sezóny. Vybrané proměnné a použité variace modelu vysvětlují 56 % variability organického uhlíku a tvoří hodnotný nástroj k modelaci těchto procesů (Yang et al., 2017). Sawicka et al. (2017) představili dynamický model půdního chemismu MADOC pro simulaci

historických i budoucích trendů organického uhlíku. Model testovali na datech z let 1993-2010 z Velké Británie. Do modelu byl zahrnut poměr koncentrací uhlíku a dusíku (C/N ratio). Dusík ovlivňuje produktivitu v terestrických ekosystémech (Vitousek a Howarth, 1991, in Sawicka et al., 2017). Zvýšená produktivita ekosystému vzhledem k depozicím dusíku může zvýšit dostupnost uhlíku v zásobárnách pro produkci organického uhlíku. C/N poměr bývá nejnižší během léta a nejvyšší v zimě. Nejnižší poměry se vyskytují v zemědělské krajině a nejvyšší v rašelině. Vztah organického dusíku s průtokem ovšem není tak silný jako v případě organického uhlíku (Campbell et al., 2000), ale s produktivitou ekosystému a organickým odpadem má těsnější vztah než uhlík (Chapman et al, 2001, in Mattsson et al., 2015).

### **3.4 Nové poznatky a trendy výzkumu organického uhlíku**

#### **3.4.1 Variabilita koncentrací organického uhlíku**

Většina nových studií potvrzuje stejné trendy v koncentracích organického uhlíku jako předchozí výzkumy shrnuté v bakalářské práci Špringerové (2016). Ve výzkumu Ritsona et al. (2014) ve Velké Británii je patrný důraz na management hospodaření s ekosystémy, ekosystémové služby a využití pro pitnou vodu. Rodríguez-Murillo et al. (2014) uvádí růst koncentrací organického uhlíku se zvyšující se teplotou, ovšem tato závislost vysvětluje maximálně 10 % změn v koncentracích uhlíku. S průtokem koncentrace stoupají ve všech případech uvedených ve výzkumu a závislost mezi koncentracemi uhlíku a průtokem je velmi silná. Průtok vysvětluje 7-30 % variability organického uhlíku. Tento výzkum více než třicetileté řady dostupných dat uhlíku z pramenné oblasti švýcarských řek přichází s novým poznatkem, kdy koncentrace organického uhlíku z dlouhodobého hlediska klesají. To je v rozporu s většinou studií zabývajících se dlouhodobými změnami. Například Clutterbuck a Yallop (2010) uvádí ve výzkumu z anglických Pennin signifikantní nárůst koncentrací ve čtyřech ze šesti zkoumaných povodí o 53-92 % mezi lety 1990-2005, přičemž mírný nárůst byl pozorován již od roku 1975. Díky rekonstrukci čtyřicetileté řady dat byl kromě změn v teplotách a mokré depozici síry zjištěn také vliv změny managementu péče o krajinu. Především řízené vypalování ploch může vysvětlit až 80 % nárůstu organického uhlíku. Teplota a depozice síry vysvětluje 20-30 % změn. Ve zbylých dvou povodí, kde nebyl prokázán významný nárůst koncentrací organického uhlíku, byly sledovány stejné trendy ve změnách teploty a depozicích síry. Avšak bylo zde pozorováno jiné hospodaření s mokřady, které nebyly vypalovány.

V novém výzkumu Yanga et al. (2017) se objevují nové a relativně neznámé procesy a jevy mající vliv na koncentrace uhlíku v tocích. Zmiňují především sklon a řád povodí, dostupnost nutrientů dusíku a fosforu a z antropogenních vlivů hustotu přehrad. V rozsáhlé studii ze Spojených států amerických byl použit General Linear Model (GLM) kombinující a kvantifikující vlivy a regresní analýza, vše na 95% hladině spolehlivosti. Použitý model, do něhož vstupovalo 20 faktorů,

byl schopen vysvětlit 56 % variability koncentrací uhlíku. Územně byla studie rozdělena na regiony zdrojů vody. Průměrné koncentrace se ve Spojených státech pohybují kolem  $6 \text{ mg.l}^{-1}$ . Nejnižší koncentrace pod  $2 \text{ mg.l}^{-1}$  se vyskytují ve východní, severozápadní části a Piedmontu, nejvyšší koncentrace nad  $15 \text{ mg.l}^{-1}$  v oblasti horního povodí Mississippi a na Floridě. Koncentrace nad  $10 \text{ mg.l}^{-1}$  se vyskytují na dolním toku Mississippi a Missouri a v oblasti Velkých jezer a Mexického zálivu na pobřeží Texasu. Kalifornie a Ohio vykazují průměrné koncentrace do  $5 \text{ mg.l}^{-1}$ .

Nejvyšší koncentrace uhlíku byly zjištěny v tocích druhého řádu dle Strahlera, nejnižší v tocích prvního řádu. Vliv jednotlivých faktorů se v americkém výzkumu liší dle řádovosti toků. Ve vodních tocích prvního až třetího řádu dominuje vliv teploty a průtoku, ve vyšších řádech se významně přidávají další, jako například půda, přehradní nádrže, obsah organické hmoty v půdě. Vliv teploty může mít jiný podíl v odlišných řádech vodních toků, na různé řádovosti se mění skupiny vlivů. Někde má teplota velký vliv například s obsahem dusíku a fosforu, jinde se uplatňuje soubor jiných vlivů v jiném poměru. Faktory se zároveň ovlivňují navzájem, mohou se měnit, účinky jednoho mohou být potlačeny účinky jiného faktoru, jde o velmi komplexní a provázaný systém. Obecně lze považovat za jednoho z největších činitelů teplotu, která má přímý vliv na dekompozici odpadu a organické půdní hmoty a mikrobiální aktivitu. Mezi teplotou a organickým uhlíkem existuje pozitivní korelace, avšak zvýšené teploty zvyšují zároveň i odtok organického uhlíku z povrchových vod. Tím se prokazuje různicí se vliv teploty na variabilitu organického uhlíku (Yang et al., 2017). Tento poznatek může souviset se zdánlivě protichůdnými výsledky výzkumu švýcarských řek (Rodríguez-Murillo et al., 2014), kde byl zjištěn dlouhodobý pokles koncentrací organického uhlíku.

Mokřadní ekosystémy jsou považovány za zdroje organického uhlíku. Vysoká hladina podzemní vody však může mokřady změnit ze zdrojů na úložiště uhlíku, kdy zde probíhá vysoká retence uhlíku. Tento objev je primárním poznatkem, který zatím nebyl dále testován. Systém interakce terestrických ekosystémů a klimatologických změn je velmi složitý systém, který bude obtížné popsat a odhalit fungování a provázanost jednotlivých procesů.

Z antropogenních zásahů do variability koncentrací organického uhlíku studie vyzdvihuje budování přehradních nádrží. Výstavba nádrže na vodním toku způsobí snížení rychlosti proudění a delší čas zdržení vody může zvýšit růst řas, což má na chemismus toků významný vliv. Koncentrace uhlíku rostou s plochou povodí a se zvyšující se teplotou a obsahem vody a organické hmoty v půdě. Pozitivní vliv mají také koncentrace dusíku a fosforu, negativní je zastoupení toků prvního řádu, zastavěné a zemědělské půdy v dané oblasti. Každá proměnná sama o sobě vysvětluje pouze malou část variability. Za činitele způsobující více jak 10% variabilitu lze označit podíl toků prvního řádu v oblasti, dusík, fosfor, zastoupení močálů, sklon povodí a zalesněnost (Yang et al., 2017).

V ročním chodu dominuje ve velikosti koncentrací zejména letní půlrok spojený s vegetační sezonou a produkcí organické hmoty. Nejnižší koncentrace se vyskytují v zimě (Kocum et al., 2016). Mattsson et al. (2015) uvádí nejvyšší koncentrace organického uhlíku na podzim a také v květnu v době největších průtoků. Chod celkového organického dusíku byl v této finské studii sledán poměrně totožný s chodem organického uhlíku, nejnižší koncentrace se vyskytují v zimě a největší od jara do podzimu. Kocum et al. (2016) uvádí nejvyšší koncentrace huminových látek jako hlavní složky organického uhlíku hlavně období tání sněhu, kdy nejvíce odvodňují rašeliniště. Přítomnost huminových látek značí nízké pH a nízkou alkalinitu toků způsobenou vysokým obsahem organických kyselin.

### 3.4.2 Vliv tání sněhové pokrývky

Epizoda jarního tání je v mnoha oblastech se sezonní sněhovou pokrývkou jedním z nejdůležitějších hydrologických momentů roku. Nicméně ve výzkumech koncentrací organického uhlíku na ně není brán dostatečný zřetel, a tudíž mechanismy vedoucí ke změnám v koncentracích uhlíku během tání sněhu nejsou příliš známy. Pokud během letních a podzimních událostí předchozího roku dominovaly vysoké exporty organického uhlíku, při tání během následujícího jara byly patrné nižší koncentrace. To značí závislost velikosti koncentrací organického uhlíku na předchozím exportu z povodí. Krátké a intenzivní tání sněhu po dlouhé zimě způsobuje vysoké koncentrace organického uhlíku v tocích. Délka zimního období se zdá být důležitá, ovlivňuje podmínky během následující periody tání. Zimní klimatické podmínky ovlivňují koncentrace organického uhlíku v jarním tání více než podmínky v předchozím letním a podzimním období (Ågren et al., 2010).

Důležité jsou půdní podmínky před srážkou nebo táním sněhu. Když přichází nová voda do povodí skrze srážky či tání sněhu, doplní půdy a stará voda odchází do toků. Nové voda ze srážek či sněhu obsahuje velmi nízké koncentrace uhlíku. Koncentrace v půdě klesají směrem do hloubky. Export uhlíku z půdy bude vyšší, pokud se budou starou vodou vyprazdňovat mělké humózní horizonty půd bohatých na organickou hmotu (Sebestyen et al., 2008). Inamdar et al. (2008) zjistil vyšší koncentrace organického uhlíku po suché periodě, zatímco Köhler et al. (2009) zjistili, že dešťové epizody během vlhčích let vedou k mnohem vyšším koncentracím než během sušších let. Přísun čerstvého odpadu ze spadaneho listí na podzim vede ke zvýšeným koncentracím (Hongve, 1999).

Koncentrace organického uhlíku během tání sněhu v jeho píku vysvětluje 15 % roční variability exportu uhlíku. Koncentrace jsou také velmi důležité pro hodnoty pH v tocích (Laudon et al., 2004). Roční minimum hodnot pH v toku je ve významné korelaci s maximálními hodnotami uhlíku. Nejvyšší koncentrace byly nalezeny v letech, kdy byly výstupné větve grafu tání sněhu nejkratší a nejstrmější. Nejvyšší koncentrace také následovaly po nejdelších zimních obdobích

a zároveň pokud v předcházejícím létě a podzimu koncentrace nedosahovaly vysokých hodnot. Vysoké předchozí exporty uhlíku v povodí budou snižovat další koncentrace, dokud produkce organického materiálu nevykompenzuje předchozí ztrátu uhlíku. Koncentrace budou snižované, dokud nebude vytvořeno více uhlíku v půdě a připraveno k dispozici pro vyluhování. Byl nalezen tzv. „memory efekt“, což je paměťový efekt povodí, který se může prodlužovat a efekt exportu během předchozího léta a podzimu je stále znatelný během dalšího tání sněhu.

Promrzání půdy zvyšuje obsah uhlíku v půdě fyzikálními i biologickými procesy. Fyzikálními procesy se rozumí jevy, kdy teploty pod bodem mrazu a mrznutí způsobují narušení buněk, vznik ledových čoček nebo promrzání kapilár. To může zničit kořenovou síť, podhoubí a zde žijící organismy (Kalbitz et al., 2000, Yurova et al., 2008). Biologické procesy jsou zastoupeny zejména adaptací organismů na nízké teploty. Maximální rozkvet těchto organismů lze pozorovat na konci zimy.

V budoucnu bude export uhlíku během tání sněhu pravděpodobně klesat kvůli množství vody, které má zásadní vliv na variabilitu exportu uhlíku během tání sněhu. Sněhová pokrývka se bude zmenšovat. Jak budoucí klima ovlivní množství uhlíku v tocích záleží na interakci efektů mrazových teplot stejně jako na načasování, trvání a výšce akumulace sněhu (Ågren et al., 2010).

### 3.4.3 Vliv lesního prostředí

Lesní ekosystémy plní nezastupitelnou funkci v globálním koloběhu uhlíku. V jejich útrobach se nachází až 45 % veškerého suchozemského uhlíku. S lidskou činností a antropogenními zásahy do krajiny se tato hodnota prudce zvýšila. 75 % antropogenních emisí oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) se dostává do atmosféry spalováním fosilních paliv. Odlesňováním tropů, jako obrovské zásobárny uhlíku, dochází k uvolnění 4,11 Gt uhlíku za rok a degradaci půdy. Za posledních 200 let se podíl oxidu uhličitého v atmosféře zvýšil o 35 %. Více oxidu uhličitého znamená větší možnosti pro rychlost růstu dřevin a povzbuzení fotosyntézy. S tím souvisí nárůst plochy listů, které jsou schopny efektivně zachytit větší množství slunečního záření. Výsledkem je větší produkce lesa a uhlíku, tento proces je nazýván hnojení uhlíkem. V půdě je uloženo dvakrát více uhlíku než nad zemským povrchem, v boreálních lesích je tento poměr dokonce 5:1.

Pokud se zvýší koncentrace oxidu uhličitého, může se v závislosti na tom zvýšit produkce opadu z lesních porostů. Tento opad bude bohatý na energii uloženou fotosyntézou v organických sloučeninách uhlíku, ale ostatní živiny v opadu, například dusík, vápník nebo hořčík, budou zastoupeny jen ve velmi malé míře. Takovými na živiny chudý materiál nejsou půdní organismy schopny využít. Dochází k hromadění špatně rozložitelné organické hmoty s vysokým obsahem uhlíku. Na rozklad organické hmoty má vliv růst teploty, která může zvýšit účinky rozkladu a částečně vyrovnat důsledky zhoršené kvality organické hmoty (Oulehle a Hruška, 2009b). Také

růst vlhkosti by měl zintenzivnit rozklad organické hmoty. Nicméně názory na význam a důležitost vlivu vlhkosti půdy se různí, o jejím pozitivním vlivu pochybuje například Yang a kol. (2017) nebo Fröberg a kol. (2007). V lesních ekosystémech jsou velmi významnou událostí různé druhy disturbancí, například požár, větrný polom nebo těžba. Tyto procesy mohou velmi významně ovlivnit bilanci uhlíku. Při nenadálé rychlé disturbanci je ekosystém schopen uvolnit obrovské množství uhlíku a stává se jeho čistým zdrojem. Důležitý je způsob těžby dřevní hmoty, který může ovlivnit délku uvolňování uhlíku z prostředí, například holosečná těžba dospělého lesa zůstává čistým zdrojem uhlíku po několik desítek let (Oulehle a Hruška, 2009b). Od roku 1994 probíhá v České republice výzkum v patnácti přírodě blízkých malých lesních povodích (GEOMON) za účelem posouzení změn v chemismu srážek, půdní a tekoucí povrchové vody vzhledem k velkým poklesům v acidifikaci (zejména poklesy  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  a  $\text{NH}_3$ ) (Oulehle et al., 2017). I v tomto lesním prostředí napříč Českou republikou byl zaznamenán trend rostoucích koncentrací organického uhlíku (Hruška et al., 2009).

Zajímavý experiment byl proveden v lesním prostředí v České republice (Oulehle et al., 2018). Dvě lesní povodí, jedno s porostem smrku a druhé s porostem buku, byly uměle okyselovány za účelem simulace dříve proběhlé acidifikace. Na obou lesních povodích byl pozorován pokles průměrných ročních koncentrací organického uhlíku v půdní vodě s poklesem pH, na stanovišti s porostem buku však tento jev nebyl tolik významný. Koncentrace se v reakci na okyselení snížily na stanovišti s porostem smrku o 30-39 %. Podpovrchová voda v hloubce třiceti centimetrů v minerální půdě vykazovala po okyselení pouze mírné změny pH na stanovišti s porostem buku, změny v koncentracích organického uhlíku nebyly prokázány ani na jednom stanovišti. Výsledky jasně potvrdily, že acidifikace mění koncentrace a toky organického uhlíku v obou typech lesa. Na obou stanovištích se koncentrace se vzrůstajícím okyselením a klesajícím pH snižovaly. Tyto změny potvrzují i další výzkumy, např. Sawicka et al. (2017).

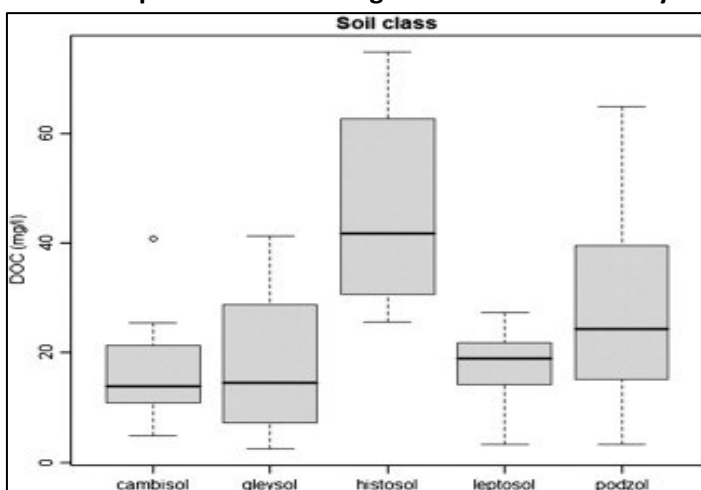
#### **3.4.4 Vliv půdního prostředí**

Organický uhlík v půdě jako v posledním prostředí před vnosem do toků je velmi důležitou součástí výzkumu změn koncentrací organického uhlíku v povrchových vodách. Je důležitý pro procesy v globálním koloběhu uhlíku, pedogeneze a transportu polutantů v půdě (Herbert and Bertsch, 1995; Kalbitz et al., 2000; Jansen et al., 2014). Organický materiál dostupný v půdě pochází ze dvou hlavních zdrojů. Prvním zdrojem je zralá organická hmota půdní matice v různém stadiu humifikace. Jakákoli změna půdních vlastností, například vysušování pórů, může mít vliv na množství a kvalitu dostupného materiálu. Druhým zdrojem je čerstvě transportovaný nehumifikovaný materiál. Obě tyto složky mají odlišné role i struktury (Zsolnay, 1999). Mezi zdroje organického uhlíku v půdě patří rostlinný odpad, půdní organická hmota, biomasa, nebo rozpad kořenového systému (Kalbitz et al., 2000). Důležitým aspektem jsou vlastnosti půd (Yang et al., 2017). Zvýšená mikrobiální

aktivita v půdách je důsledkem vyšších teplot, což bylo zjištěno v terénních i laboratorních podmínkách. Vyšší teploty znamenají větší produkci hlavně v letní sezóně (Freeman et al., 2001, Tipping et al. 1999). K pozorovaným koncentracím v půdě přispívají biotické i abiotické procesy. Koncentrace organického uhlíku je určována procesy, jako je vyluhování z půdní organické hmoty, odpad nebo desorpce z pevné fáze a dekompozice. Procesy biotické transformace zprostředkované rozkladnými komunitami v půdách, organismy a houbami, závisí na okolních faktorech, především na teplotě a vlhkosti půdy. Abiotické procesy jsou kromě toho řízeny také fyzikálními a chemickými vlastnostmi půd (Dušek et al., 2017).

Biogeochemické procesy byly ve výzkumu Duška a kol. (2017) vyhodnoceny jako nejdůležitější vlivy na transport organického uhlíku při použití modelů pro predikci variability uhlíku. Jedná se o modely, ve kterých jsou komplexnost transformace a chemismus půdní vody, zejména změny v depozici síry a dusíku, zařazeny pro dlouhodobé predikce (Erlandsson et al., 2008, in Dušek et al., 2017, Futter et al., 2011, Oulehle et al., 2012). Michalzik et al. (2003) vyvinuli naopak zjednodušený model pro proudění v půdě s možnou výměnou uhlíku mezi makropóry a mikropóry. V modelu zvažovali transformaci organického materiálu na humické frakce a oxid uhličitý. Transport různých frakcí organického uhlíku skrze svrchní organické vrstvy půdy zvažovali Fan et al. (2010) s použitím dvoustranného modelu. Přístup umožnil rozlišit adsorpci organického uhlíku do pevné fáze, na okamžitou a kinetickou. Také bylo zjištěno, že dochází k úniku oxidu uhličitého z organické vrstvy do atmosféry. Tento jev je zapříčiněn heterotrofním dýcháním organismů. Za hlavní zdroje uhlíku z půdy byly označeny zejména svrchní organické horizonty (Winterdahl et al., 2011b). Ve studii van den Berga a kol. (2012) byly zkoumány koncentrace organického uhlíku v různých půdních typech napříč Velkou Británií. Nejnižší koncentrace se vyskytovaly v glejích (15-18 mg.l<sup>-1</sup>) a kambizemích (17-32 mg.l<sup>-1</sup>), podzoly (24-38 mg.l<sup>-1</sup>) a hlavně histosoly (21-46 mg.l<sup>-1</sup>) vykazovaly mnohem vyšší hodnoty (Graf 5).

**Graf 5: Boxplot koncentrací organického uhlíku v různých typech půdy**



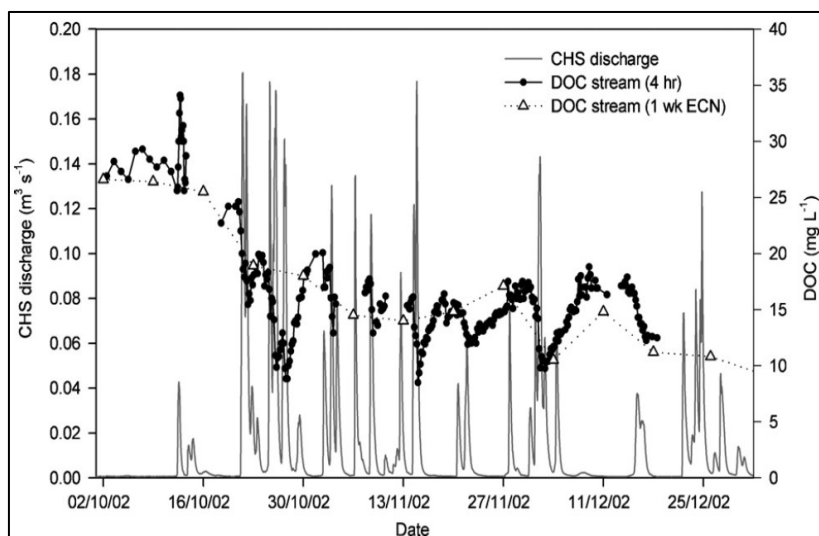
Zdroj: Van den Berg et al. (2012)

Vysvětlivky: cambisol=kambizemě, gleysol=gleje, histosol=histosoly, leptosol=leptosoly, podzol=podzoly



Rašelinové a organominerální půdy se liší v půdním profilu i hydrologickém chování, a proto i dynamika koncentrací uhlíku se může mezi těmito půdami lišit v reakci na srážko-odtokové události. Rašelina je obvykle podmáčená a často se tvoří špatně odvodněná minerální vrstva, průtok proudí přes organickou vrstvu. Byly publikovány studie provedené v rašeliništích a mokřadních oblastech, které našly slabý nebo slabý negativní vztah proudění a koncentrace uhlíku (Bishop a Pettersson, 1996). Tyto mokřadní povodí mají tendenci distribuovat více organického uhlíku než povodí s organominerální půdou, ve které je dle Schiffa a kol. (1998) fixováno méně organického uhlíku. Při konkrétní srážko-odtokové epizodě klesají hodnoty uhlíku spolu s klesajícím průtokem a dostávají se na ještě nižší hodnotu než před nástupem epizody. Jak již bylo uvedeno v kap. 3.2, pravidelný týdenní monitoring postrádá velké rozpětí hodnot právě z těchto epizod. Graf 6 zobrazuje měření koncentrací organického uhlíku a průtoku z období října až prosince 2002. Je zde patrná nízká variabilita měření v týdenním chodu (DOC stream (1 wk ECN)) oproti měření v čtyřhodinovém kroku (DOC stream (4 hr)), kde jsou zachyceny reakce na všechny změny v průtoku a s tím spojená variabilita koncentrací uhlíku (Clark et al., 2007).

**Graf 6: Měření průtoku a koncentrací organického uhlíku v týdenním a 4hod. kroku**



Zdroj: Clark et al. (2007)

\*CHS discharge=průtok, DOC stream (4 hr)=čtyřhodinový krok, DOC stream (1 wk ECN)=týdenní krok

Kanadská studie (Clark et al., 2008) potvrdila rozdíly mezi povodími s organominerálními podzoly a zamokřenými rašelinnými půdami. Vztah mezi průtokem a koncentracemi organického uhlíku v tocích je v povodích s různým půdním typem odlišný. Zatímco v tocích odvodňujících podzoly byl nalezen významný pozitivní vztah mezi průtokem a hodnotami uhlíku, korelace v zamokřených povodích nebyla významná (Hinton et al., 1998). Podle Kocuma et al. (2016) závisí koncentrace uhlíku z rašelinných půd na intenzitě komunikace rašeliniště a povrchového odtoku. Novák (2012) uvádí jako důležitý aspekt hladinu vody v rašeliništi. Snížením hladiny dochází k větší dostupnosti kyslíku v povrchové vrstvě, urychlení rozkladu organické hmoty a rozkladu rašeliny na

metan a oxid uhličitý. V obdobích vysokých úhrnů srážek a tání sněhu, když jsou půdy plně saturovány a voda zaplaví mokřady, dochází k zředění a propláchnutí povrchu, kde je nahromaděný organický uhlík. V zimě jsou koncentrace naopak nízké. Čím déle je voda v kontaktu se spodními vrstvami půdy, tím je chudší na organický uhlík, nicméně v povrchových vodách dochází k biodegradaci a fotochemické oxidaci (Jutras et al., 2011).

Transformace uhlíku v půdním prostředí je velmi složitý proces. Dušek et al. (2017) pozoroval ve studii z povodí Černé Nisy v Jizerských horách preferenční cesty, které se zdály být klíčovou proměnnou. Zejména ve vrcholových částech povodí byla zřejmá velká dynamika změn a transportu. Prostorové rozdíly organického uhlíku jsou důsledkem obrovské územní heterogenity půd, která se vyskytuje v přírodních povodí. Z tohoto důvodu je velmi obtížné pokusit se vytvořit počáteční podmínky pro výzkum této problematiky v laboratorních podmínkách. Rozpor mezi laboratorii a výzkumy v reálném prostředí vedou k různým odhadům a nepřesnostem. Pro modelování organického uhlíku v půdách je nutno znát proudění vody v půdách a jejich preferenčních cestách. V oblastech s vysokou heterogenitou půd není jednoduché získat tyto informace, protože preferenční cesty se mohou měnit v souvislosti s každou významnější srážkou. Na svazích s mělkým půdním profilem může být nasycený podpovrchový odtok spuštěn bočně podél svahu při intenzivních nebo dlouhotrvajících srážkách (např. Weiler a McDonnell, 2006, Ameli et al., 2016, in Dušek et al., 2017). Toto proudění může významně přispět ke koncentracím organického uhlíku. Příspěvek uhlíku v horách může tvořit až 30 % celkového uhlíku na povodí (Lambert et al., 2014), během jedné srážko-odtokové události může být příspěvek uhlíku 21-41 % (McGlynn a McDonnell, 2003).

Cílem studie Duška et al. (2017) bylo vyvinout koncept modelu transportu organického uhlíku v mělké lesní půdě na svazích. Model je založen na průtoku a transportu rozpuštěných látek s ohledem na preferenční cesty. Vyplachování uhlíku z půdy je v dostupné literatuře nejednoznačné a nejasné (Burns, 2005). Tvorba uhlíku je stále předmětem debat a výzkumů, ukazují se různé, odlišné výsledky studií z různých prostředí a podmínek (Kalbitz et al., 2000). Uhlík se z půdy vypláchne vlivem zvětšování nasycených zón nebo infiltrací srážek. Pokud nejsou zásoby rychle doplněné, může to mít za následek snížený export uhlíku v pozdějším období významných srážko-odtokových událostí. Výplach uhlíku je charakteristický zvýšenými koncentracemi na výstupné větvi hydrogramu a nízkými koncentracemi na sestupné větvi.

Löfgren a Zetterberg (2011) potvrdili nárůst koncentrací organického uhlíku ve vodním prostředí, především kvůli mizející acidifikaci a hodnotám síry. Tento jev by měl být patrný i v půdní vodě, ovšem výzkum ve Švédsku ukázal klesající nebo neprokázaný trend. Autoři uvádějí, že pozitivní trend koncentrací organického uhlíku v půdní vodě byl prokázán například ve studii z České republiky (Hruška et al., 2009), kde byla zjištěna vyšší rozpustnost uhlíku a vyšší koncentrace ve vodě. Švédský experiment probíhal na 68 zalesněných místech, kde byly odebírány

vzorky půdní vody z hloubky 25 a 50 centimetrů. Cílem bylo otestovat hypotézy návratu prostředí z acidifikace a najít potenciální příčiny rozpustnosti uhlíku v půdě, pozornost byla věnována změnám v pH a hliníku (Al). Výsledkem návratu z acidifikace je zvyšující se pH, což je vyváжено snižující se iontovou silou a hliníkem. Pokud by hypotéza návratu z acidifikace byla správná, měly by koncentrace uhlíku vzrůst i v půdě, nikoliv jen v přilehlých vodách.

Výzkum byl proveden na podzolech, glejích a histosolech v hloubce do padesáti centimetrů. Většina výsledků neprokázala změny v koncentracích, pouze svrchní půdní horizonty vykazovaly mírně vyšší koncentrace. V půdě probíhá kompetice mezi minerálními anionty a organickým uhlíkem pro adsorpci. Výsledky z České republiky jsou pravděpodobně modelovým příkladem, kdy byla střední Evropa více zasažena kyselou depozicí než severské oblasti. Bylo zde patrné významné snížení pH a vysoké hodnoty iontové síly, hliníku a sloučenin síry. Hodnoty pH se mohly dostat až pod hranici 4, kdy se rozpouští sloučeniny hliníku a zbývá méně místa pro organický uhlík. Po návratu z acidifikace stoupá pH, sloučeniny hliníku se přestávají masívně rozpouštět a objevuje se zde místo pro organický uhlík.

### 3.4.5 Vliv rašeliniště

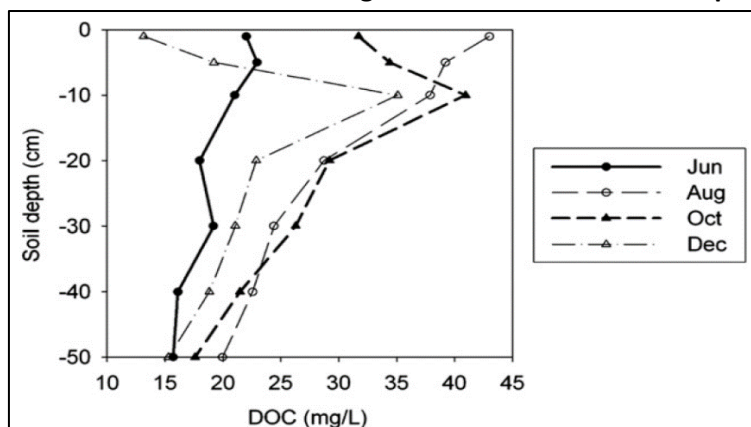
V posledních desetiletích je pozorován zvýšený přísun organického uhlíku z rašelinišť. Nicméně mechanismus těchto změn ještě stále nebyl jednoznačně objasněn (Broder et al., 2017). Mezi potenciální vlivy patří růst teploty a změna klimatu. Vyšší teploty zlepšují výnos organického uhlíku z půdy. V mokřadních ekosystémech, kde je vlivem anaerobních podmínek nižší dekompozice materiálu se akumulují velké zásoby organického uhlíku a mokřady se stávají významným zdrojem těchto látek (Yang et al., 2017). Stimulaci exportu uhlíku z rašelinišť vlivem zvyšujících se teplot zmiňuje i Freeman et al. (2001), který v jiné studii poukazuje na vyšší dostupnost uhlíku v rašelině s vyšší dostupností živin a vyššími hodnotami oxidu uhličitého (Freeman et al., 2004). V devadesátých letech prokázal nárůst vyplavování uhlíku z hor Velké Británie o 65 % (Freeman et al., 2001).

20-30 % veškerého uhlíku v půdě je dle Gorhama (1991) obsaženo v rašeliništích, ze kterých každoročně vytékají asi 2 % veškerých zásob. Bellamy et al., (2005) proto publikoval diskuzi o možném vyčerpání všech zásob v rašeliništích. Ovšem tato myšlenka vzhledem ke stále se obnovujícím zásobám uhlíku nebudí příliš mnoho rozruchu. Yallop a Clutterbuck (2009) podotýkají, že čím hlubší je rašeliniště, tím větší jsou koncentrace organického uhlíku ve výtok z něj. Zvýšené vysoušení rašeliniště a jeho odvodnění má za následek erozi, zvýšenou infiltraci a průtok. Snižují se anaerobní saturované podmínky a zlepšují se aerobní podmínky, které zvyšují mikrobiální aktivitu a dekompozici. Rašelina se rozkládá a produkuje velké množství uhlíku a huminových sloučenin. V povodích, kde nastanou tyto podmínky, je patrný nárůst koncentrací uhlíku a rašeliniště se stává jeho hlavním zdrojem.

V mokřadních a podmáčených prostředích voda proudí při povrchu, odvodňuje deprese a formuje síť občasných koryt spojujících místa nahromaděného stagnujícího uhlíku. Produkce uhlíku je zde limitována nízkými hodnotami kyslíku ( $O_2$ ). V nižším katotelmu je produkce výrazně nižší než v akrotelmu (Jutras et al., 2011), ale povrchové vrstvy rašeliniště nejsou podle Qassima et al. (2014) dobrým zdrojem organického uhlíku, protože se zde rašeliništní voda mixuje se srážkovou, která má velmi nízké koncentrace uhlíku ( $0,82-2 \text{ mg.l}^{-1}$ ) a dochází k ředění. Vysoké koncentrace uhlíku nejsou dle výsledků studie způsobeny změnami produkce a kompozice uhlíku, ale změnami v hydrologii. Pokud v povodí dominuje zásobování vodou ze spodních vrstev rašeliniště a podzemní vodou spíše než srážkovou, koncentrace organického uhlíku mohou být vysoké, nedochází k ředění srážkovou vodou.

Produkce uhlíku v rašeliništi je charakteristická pro vrchní horizonty. V saturovaných rašelinných půdách proudí voda svrchním horizontem, kde jsou vysoké koncentrace uhlíku. Tyto horizonty jsou klíčovým zdrojem organického uhlíku ve vodních tocích. V období intenzivních srážek zde byla pozorována negativní korelace mezi hodnotami uhlíku a průtokem, protože se zde uplatňoval mechanismus ředění srážkovou vodou chudou na organický uhlík, jak zmiňuje také Qassim et al. (2014). Průtok spodním katotelmem se uplatňuje pouze při deštivých epizodách, kdy je hladina podzemní vody blízko u povrchu. Obecně koncentrace klesají s hloubkou půdního profilu od jara do začátku podzimu, v pozdním podzimu koncentrace stoupají od povrchu do hloubky dvaceti centimetrů, poté do hloubky klesají (Graf 7). Pozorování zvýšených koncentrací organického uhlíku v tekoucích vodách napříč Evropou a Severní Amerikou poukázal na možnou destabilizaci úložišť uhlíku v rašeliništích (Freeman et al., 2001, in Clark et al., 2008, Evans et al., 2005,). Ztráty uhlíku v rašeliništi během jeho odtoku tvoří významnou část koloběhu uhlíku v přírodě (Billett et al., 2004, in Clark et al., 2008). Nicméně mezi autory není shoda v tom, co způsobuje tyto změny. Je zmiňována změna vyluhování uhlíku z půdy, protože zvýšené teploty zvyšují i produkci materiálu (Freeman et al., 2001), zvýšené koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře (Freeman et al., 2004), nebo zvýšená rozpustnost (Evans et al., 2006).

**Graf 7: Změna koncentrací organického uhlíku s hloubkou půdy**



Zdroj: Clark et al. (2008), Vysvětlivky: Jun=červen, Aug=srpen, Oct=říjen, Dec=prosinec

V organozemi je horní vrstvou akrotelm, který je porézní a přechází do spodní vrstvy, zhutnělého katotelmu. Hranice mezi vrstvami bývá ostrá (Vlček, 2018). Během nízkých průtoků a suchých period odtéká z rašeliniště pouze bazální odtok, který pochází z katotelmu. Koncentrace organického uhlíku jsou tedy nízké. Během srážko-odtokové epizody dochází k rapidnímu nástupu přítoku uhlíku z rašeliniště do toku, obvyklé zpoždění je dvě až tři hodiny. Některé zdroje uvádějí trend snížení koncentrací, protože voda bohatá na organický uhlík pocházející z akrotelmu je naředěna srážkovou vodou s velmi nízkými koncentracemi uhlíku (Worrall et al., 2002, Clark et al., 2007, Qassim et al., 2014). Podle některých výzkumů se stává vztah mezi organickým uhlíkem a průtokem méně významný nebo dokonce negativní se zastoupením zamokřených ploch a rašelinišť v povodí (např. Schiff et al., 1998). Sezónní produkce uhlíku je závislá na zvýšené biologické aktivitě, která souvisí s nízkou hladinou podzemní vody v rašeliništi a aerobními podmínkami (Tipping et al., 1999). Dostupnost organického materiálu k rozkladu a biologická aktivita v kořenové zóně blízko pod povrchem jsou také významné složky (Bonnett et al., 2006, in Clark et al., 2008). Které z faktorů hrají největší roli je nejasné, jsou zapotřebí další výzkumy zaměřené na stanovení důležitosti a významu každého z procesů.

Deset let po revitalizaci dříve odvodněného rašeliniště provedli Strack et al. (2015) měření organického uhlíku v půdě a odtoku během vegetační sezóny od května do října. Vliv revitalizace se ukázal jako významný v porovnání s přilehlými přírodními bezzásahovými rašeliništi. Koncentrace uhlíku byla v revitalizovaném rašeliništi nižší. Těžbou rašeliny, zásahy do lesnictví a zemědělství byly některé rašeliniště zničeny a jejich odvodněním došlo ke zvýšení koncentrací organického uhlíku. Revitalizace může koncentrace opět snížit, ovšem tato skutečnost nebyla pozorována všude. Na některých lokalitách bylo pozorováno snížení koncentrací vlivem nižší produkce organismů a nižšího výtoku z rašeliniště vlivem odvodnění a při znovuoobnově rašeliniště došlo spíše ke zvýšení exportu uhlíku vzhledem k větší produkci organismů. Zároveň ale při obnově rašeliniště zaplněním vodou vznikají anaerobní podmínky, které snižují dekompozici materiálu a mohou snížit koncentrace uhlíku. Největší koncentrace se ve studii prokázaly v toku z neobnověného rašeliniště ( $10,3 \text{ mg.l}^{-1}$ ), z obnověného byly na poloviční úrovni ( $4,8 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Roční chod a sezónnost byly na všech stanovištích totožné, nižší koncentrace se vyskytovaly při vyšších srážkových událostech vlivem ředění srážkovou vodou. V půdním prostředí byly prokázány největší koncentrace také na neobnověném rašeliništi, na obnověném sice deset let po obnově klesají, ale stále jsou mnohem vyšší než na přírodním bezzásahovém rašeliništi. Export organického uhlíku z obnověného rašeliniště je menší než z neobnověného, nerevitalizovaného rašeliniště.

Glatzel et al. (2003, in Strack et al., 2015) vykázal větší koncentrace uhlíku po obnově rašeliniště, ale tento jev bude mít postupnou klesající tendenci. Obnověné rašeliniště mělo nižší pH než neobnověné. Významnou roli hraje stáří organického materiálu, velikost částic, reaktivita, mobilita a aromaticita. Nové mladé organismy zachycují uhlík, proto jsou jeho koncentrace

v obnovených rašeliništích vysoké. Důležitá je doba kontaktu vody se zdroji organického uhlíku. V létě při delších suchých periodách má voda delší kontakt se zdroji uhlíku, proto se zde objevují vyšší koncentrace. Na jaře a na podzim při vysokých průtocích je doba kontaktu krátká a koncentrace jsou nižší. Výsledky výzkumů v této oblasti jsou ovšem velmi různorodé.

Vyšší variabilita koncentrací byla potvrzena v zalesněném povodí s minerálními rašelinnými půdami v porovnání s odtokem z rašeliniště, které je zásobováno srážkovou vodou. Organický materiál zde není tak citlivý na změny v hydrologii jako lesní podmáčený ekosystém. Během suchých period se zvyšuje podíl organického materiálu pocházejícího z podzemní vody a hlubokých vrstev rašeliniště, během tání sněhu se vyprazdňují zásobárny blízko povrchu. Ty jsou však v období brzkého jara poměrně chudé na dostupný organický materiál a také jsou ředěny tající vodou chudou na obsah organického uhlíku. Nejnížší koncentrace byly tedy sledovány během tání sněhu, což potvrzuje většina zde uvedených studií (např. Clark et al., 2008, Laudon et al., 2004). Výzkum Broder et al. (2017) poukázal na dynamiku exportu organického materiálu ze dvou klíčových forem vegetace, rašeliniště a podmáčeného lesního prostředí. Koncentrace organického materiálu nevznikají pouze pasivním směřováním látek z různých zdrojů, ale záleží především na vlivu sezóny a na předchozích podmínkách v povodí.

Pro export uhlíku do toků v rašelinných povodích se jako velice důležité ukázaly významné srážkové události (Clark et al., 2007). Hodnoty exportu uhlíku z rašelinišť a zalesněných území jsou známé, avšak chování během srážkových událostí a rozdíly závislé na typu povodí zatím nejsou příliš známy (Broder et al., 2017). Inamdar et al. (2011) charakterizoval příspěvek různých prostředí ke zvýšeným koncentracím uhlíku v lesních povodích mírného pásma během přívalové srážko-odtokové události. Bylo popsáno hlavně proplachování půdy blízko povrchu, která jsou bohatá na humus. Podle Broder et al. (2017) se v zásadě jedná o příspěvek vysokých koncentrací z organicky bohatých vrchních půdních vrstev a povrchových vrstev rašelinišť. V létě a v dlouhých suchých periodách s velmi nízkými průtoky je odpověď rašeliniště slabá a uplatňuje se zde především doplnění zásob vody v rašeliništi. Časté srážkové epizody během podzimu způsobují vlhčí podmínky v povodí spojené s větším a rychlejším odtokem. Tyto odpovědi jsou zodpovědné za nejvyšší zaznamenané koncentrace během celého sledovaného období. V roce 2013 postihla pohoří Harz v Německu velmi suchá epizoda. Letní sucho zanechalo v povodích velkou stopu. Následující podzimní srážko-odtokové události generovaly nejvyšší koncentrace v ročním chodu,  $45,8 \text{ mg.l}^{-1}$  v podmáčeném lesním povodí a  $37,3 \text{ mg.l}^{-1}$  v odtoku z rašeliniště. Trend koncentrací následuje vegetační sezónu a nejvyšší koncentrace je tedy možné pozorovat v pozdním létě a na podzim.

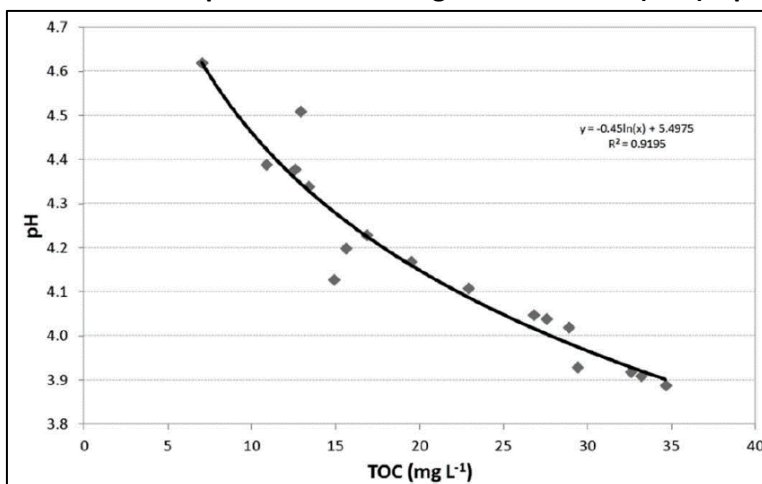
V rašelinném území jsou koncentrace významně korelovány s denními průměrnými teplotami vzduchu a sledují vegetační periodu s nízkými koncentracemi během tání sněhu na jaře a vysokými v pozdním létě a na podzim. Tento silný sezónní efekt byl pozorován v mnoha studiích

a jako hlavní faktor se uvádí produkce organického materiálu, především rozklad organického odpadu z opadu listů na začátku podzimu (Wallin et al., 2015).

Význam srážko-odtokových epizod spočívá v hydrologickém spojení míst se zásobami uhlíku, které během běžného odtoku do vodního toku nepřispívají. Zvláště mělké sklonité půdy mohou být spojeny skrze povrchové nebo mírně podpovrchové odtokové cesty během každé epizody. Během suchých period se v aerobních podmínkách ve svrchních horizontech tvoří velké množství organické hmoty a probíhá intenzivní dekompozice. Srážko-odtoková epizoda, která nastane po tomto stavu, vykazuje vysoké koncentrace díky navázanému hydrologickému spojení s horizonty bohatými na organický uhlík. Po vlhkých předchozích podmínkách jsou zásoby organického materiálu vyčerpané, protože zásobárny uhlíku blízko povrchu jsou hydrologicky spojeny s povodím díky vyšším hladinám podzemní vody. Tento efekt je patrný především u odtoku z rašeliniště, v lesním povodí se vytvářejí vysoké koncentrace i v obdobích s vlhkými předchozími podmínkami (Broder et al., 2017).

Kocum et al. (2016) prováděl geochemický průzkum v povodí Rokytky na Šumavě. S pomocí sběru dat v měsíčním kroku během dvou let zjistil, že příspěvek rašeliniště na výtoku z povodí tvoří 10 %. V závěrovém profilu byly odhaleny periodicky zvýšené koncentrace uhlíku. Jejich původ spočívá ve vymývání uhlíku z příbřežní zóny v obdobích zvýšených průtoků za přispění organické hmoty během léta. Vliv organické hmoty je patrný především v ročním chodu. V zimě jsou koncentrace uhlíku nízké, během léta vysoké. Během významných srážko-odtokových událostí se vyplavují vysoké koncentrace organického uhlíku z mělkých půdních horizontů. Závislost pH a organického uhlíku byla prokázána (Graf 8), ovšem v oblasti pramenů se žádná významná závislost neobjevila.

**Graf 8: Závislost pH na celkovém organickém uhlíku (TOC) v povodí Rokytky na Šumavě**



Zdroj: Kocum et al. (2016)

### 3.5 Zhodnocení

Měření koncentrací organického uhlíku se v poslední době dostává do popředí v odvětví hodnocení změn organické zátěže ve vodních tocích (Winterdahl et al., 2011a). Organický uhlík ve vodních ekosystémech může být dvojího původu – přírodní a antropogenní. Přírodní původ je vázaný především na vegetační sezónu, která je charakteristická vysokou primární produkcí organismů a s tím spjatou dekompozicí materiálu. Velký význam má opad a rozklad listů na podzim (Yang et al., 2017). Organické látky antropogenního původu představují hrozbu pro člověka i životní prostředí. Vyžadují vysoké náklady na čištění vody a mohou mít vliv i na lidské zdraví (Volk et al., 2002). Organické zatížení toku je vhodné sledovat ve všech typech vodních zdrojů, v pramenných oblastech charakteristických vysokou produkcí organické hmoty a změnami klimatu (Volk et al., 2002) i v oblastech s různým stupněm antropogenního ovlivnění (IRZ, 2019).

Dřívější výsledky studií varující před velkými nárůsty koncentrací organického uhlíku (např. Evans et al., 2005, Hejzlar et al., 2003) již nejsou v dnešní době tak jednoznačné (Yallop a Clutterbuck, 2009). Některé výzkumy vykazují nejasný trend nebo dokonce pokles koncentrací v dlouhodobém výhledu (Rodríguez-Murillo et al., 2014, Stráát et al., 2018). Větší důraz, než na dlouhodobé změny je v poslední době kladen na krátkodobou variabilitu organického uhlíku, roční chod a sezónní změny (Lee et al., 2017).

Většina studií se shoduje, že nejnižší koncentrace v ročním chodu jsou patrné v zimě, v období nejnižší produkce a aktivity organismů (Jutras et al., 2011). Naopak nejvyšší koncentrace studie zaznamenávají v pozdním létě a na podzim, v období největšího množství dostupného organického materiálu. Extrémní hodnoty koncentrací organického uhlíku jsou patrně vázány na výrazné srážko-odtokové události (Novák a Šestauberová, 2013). V jasně stanoveném chodu odebrání vzorků ovšem tyto extremity chybí a celkové výsledky mohou být zkresleny a značně podhodnoceny, největší srážko-odtokové události během roku a reakce uhlíku nemusí být vůbec zaznamenané (Lee et al., 2017). Například Clark et al. (2007) uvádí 50 % uhlíku exportovaného během 10 % největších srážko-odtokových událostí.

Za hlavní činitele prostředí se (kromě tvorby a dekompozice organické hmoty spjaté s vegetační sezónou) považují změny v teplotě, depozici síry (Clutterbuck a Yallop, 2010, Oulehle et al., 2018), hydrologické vlastnosti jednotlivých povodí, typ půd a landcoveru (Clark et al., 2008, van den Berg et al., 2012). Za poměrně nově uváděné faktory lze označit různé disturbance v povodí (Su et al., 2017) nebo řádovost a sklon povodí (Yang et al., 2017). Tání sněhové pokrývky může koncentrace organického uhlíku zvyšovat i snižovat, nejdůležitější jsou předchozí podmínky v povodí, především intenzita vyplavování uhlíku v přechodím létě a podzimu a délka trvání zimy (Ågren et al., 2010, Kocum et al., 2016). Právě předchozí kondice těchto procesů v povodí má



zásadní vliv na chování organického uhlíku během tání sněhové pokrývky (Inamdar et al., 2008, Köhler et al., 2009). Vliv lesního prostředí a velké množství dostupného organického materiálu má nezastupitelný vliv na koncentrace uhlíku (Oulehle a Hruška, 2009b). Vliv půdního prostředí a typů půd jako takových tvoří nezastupitelnou část systému. Největší zásoby organického uhlíku se vyskytují ve svrchních humózních horizontech, zejména v histosolích a podzolech (Lee et al., 2017). Vyplavování uhlíku je závislé zejména na srážko-odtokových událostech, při kterých vzniká hydrologické spojení toku se zásobíštěm uhlíku v půdě (např. Dušek et al., 2017). Významnou přírodní složkou celého koloběhu tvoří rašeliniště. Vliv rašeliniště, jako významného úložiště organického uhlíku, je nezanedbatelný. Vliv rašeliniště je spjatý opět se srážko-odtokovými událostmi a předchozími podmínkami povodí, mírou nasycení povodí a vegetační sezónou (Kocum et al., 2016, Broder et al., 2017, Vlček, 2018).

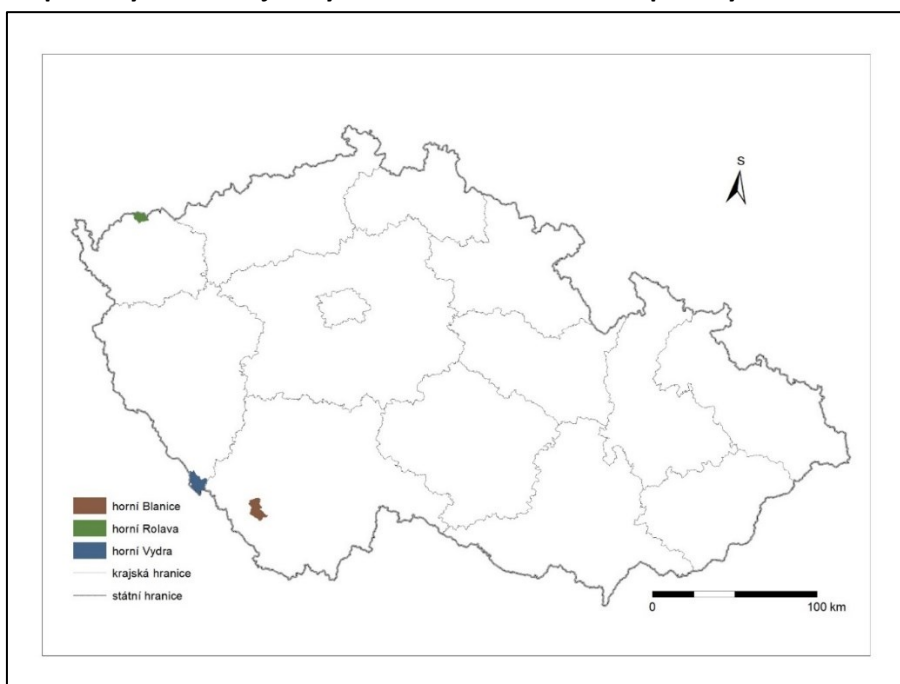
Důležitou součástí pochopení variability a celého systému utváření a transportu organického uhlíku tvoří matematické modelování transportu organického uhlíku. Modely se stále vyvíjí a jsou odlišné nejen množstvím a různorodostí vstupních parametrů, ale i vhodností použití pro různé typy krajiny. Modely prozatím umí vysvětlit přibližně 60 % variability koncentrací uhlíku (Mattsson et al., 2015, Sawicka et al., 2017, Yang et al., 2017).

Jak již bylo uvedeno v práci Špringerové (2016), autoři studií uvádějí velké množství možných vlivů na koncentrace organického uhlíku, v různém poměru a kombinacích. Nejasnost pochopení celého principu fungování ekosystémů ve vazbě na organický uhlík limituje naše poznání. Výsledky jednotlivých studií bohužel nelze všeobecně paušalizovat. Bez nadsázky lze konstatovat, že systém fungování organického uhlíku a dalších komponentů prostředí majících na něj vliv je v každém povodí odlišný. Studie stejných komponentů s rozdílnými vlastnostmi povodí přinášejí rozdílné výsledky. Za spolehlivý faktor ve variabilitě a ročním chodu koncentrací organického uhlíku lze v našich podmínkách určit, kromě fyzicko-geografických podmínek povodí, snad jen vegetační sezónu a srážko-odtokové epizody s ohledem na předchozí podmínky povodí jako je míra nasycení povodí nebo periody sucha. Studie z mírných oblastí střední Evropy vykazují dlouhodobý nárůst koncentrací způsobený zejména poklesem acidifikace a soustředí se i na krátkodobé změny a variabilitu koncentrací a jejich pravděpodobné činitele srážky, teploty a půdy (Oulehle et al., 2018). Je zde patrný i důraz na malá pramenná povodí našich podmínek, která zatím nejsou příliš prozkoumána a v globálním koloběhu uhlíku mohou představovat důležité hráče (Lee et al., 2017).

## 4 Charakteristika zájmových území

Pro vlastní výzkum koncentrací organického uhlíku a jejich změn v pramenných oblastech byla vybrána tři zájmová území s výskytem rašelinišť v České republice. Jedná se o pramennou oblast Vydry na Šumavě, pramennou oblast řeky Rolavy v Krušných horách a pramennou oblast řeky Blanice v šumavském podhůří (Mapa 1). V těchto oblastech probíhají dlouhodobé výzkumy katedry fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty (KFGG PřF), a proto je možné využít zde měřená data z vlastní monitorovací sítě i v tomto výzkumu. Vzorky vody pro stanovení organického uhlíku je možné odebírat při výjezdech pracovníků katedry do terénu. Důležitost výzkumu koncentrací organického uhlíku v pramenných oblastech mírného podnebného pásma střední Evropy uvádí např. Lee et al. (2017) (kap. 2.3). Většina autorů podobných studií se shoduje také na velkém významu zastoupení rašelinišť v povodích (např. Broder et al., 2017, kap. 3.4.5). V našich zájmových oblastech, především v pramenné oblasti Vydry na Šumavě, jsou rašeliniště v různé míře zastoupeny.

**Mapa 1: Vymezení zájmových území v rámci České republiky**



Zdroj dat: ArcČR, DIBAVOD

V zájmových územích již byla zpracována řada bakalářských, diplomových, rigorózních a disertačních prací, jejichž součástí bývá kvalitně zpracovaná detailní charakteristika zájmového území. V oblasti horní Vydry na Šumavě jsou to například práce Vlčka (2011 a 2018), Kocuma (2012), Doležala (2015), Skrčené (2016) a Hojovce (2018). Výzkumem v oblasti horní Rolavy v Krušných horách se zabývali Ledvinka (2008), Beranová (2011), Buková (2013), Leipeltová (2014), Kočárková (2016) a Vlach (2016 a 2019). Charakteristika území horní Blanice byla

zpracována v pracích Kalkuse (2016), Kozákové (2018), Královce (2018) a Novákové (2018). Charakteristika území horní Vydry a horní Blanice byla také uvedena v bakalářské práci (Špringerová, 2016).

## 4.1 Charakteristika území horní Vydry

Zájmové území horní Vydry se nachází v centrální části Šumavy v jihozápadních Čechách. Celé území je součástí NP Šumava, respektive malá část území zasahující do Německa je součástí NP Bayerischer Wald. Na horní Vydře bylo sledováno celkem pět zájmových povodí, a to Ptačí (profil PTA), Javoří (profil JAV), Cikánský (profil CIK) a Březnický potok (profil BRE) a Rokytká (profil ROK). Povodí se nacházejí v pramenné oblasti řeky Vydry v centrální části Šumavy (Mapa 2). Tato povodí jsou typickými představiteli malých horských povodí s vysokým zastoupením vrchovišť a rašelinišť (Kocum, 2012). Vydra po soutoku s Křemelnou pokračuje jako řeka Otava, která se dále vlévá do Vltavy.

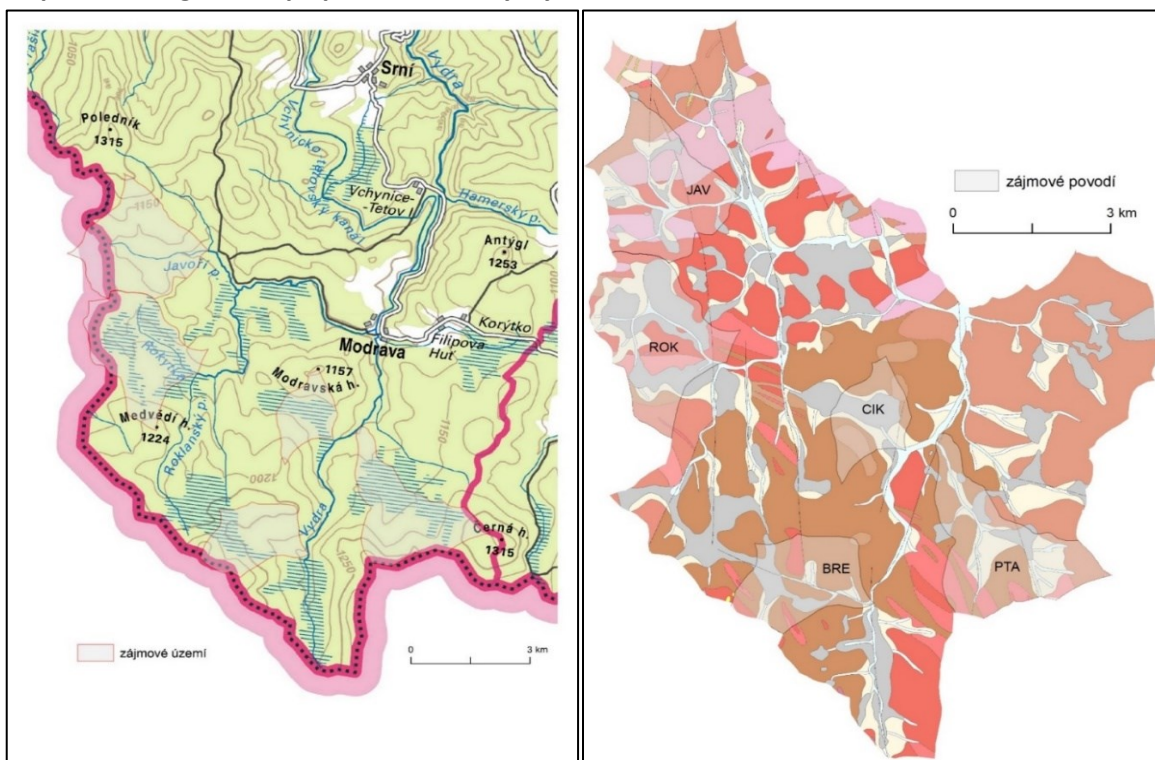
### 4.1.1 Geologické a geomorfologické poměry

Šumava je jedno z nejstarších pohoří ve střední Evropě, je součástí Českého masivu. Geologický vývoj zde probíhal během dvou procesů vrásnění, variského v prvohorách a alpiského ve třetihorách. Šumava je jádrovou oblastí Českého masivu, součástí moldanubika, stáří jejich hornin se odhaduje na více než 600 milionů let. Vyskytují se zde středně až silně metamorfované horniny, zejména pararuly a migmatity (Mapa 3). Ve vývoji pohoří je známa etapa zarovnávání, kdy vznikla parovina o nízké nadmořské výšce. Během paleogénu byla Šumava neotektonickými pohyby vyklenuta jako megaantiklinála, která byla později rozlámána a vyzdvižena podél zlomů. To bylo příčinou vzniku plochého reliéfu v relativně vysokých nadmořských výškách. Zarovnané části reliéfu ve vyšších nadmořských výškách jsou pozůstatkem původní paroviny vyzdvižené o více než tisíc metrů. Nezanedbatelný vliv na utváření reliéfu mělo také čtvrtohorní zalednění. Zarovnané vrcholky Šumavy jsou označovány jako pláně. Relativní výšková členitost je na tomto území nízká a sklon svahů převážně mírnější. Reliéf je tvořen zejména zpětnou erozí toků, která ovšem ještě nedosáhla do zarovnaných vrcholových částí pohoří. Pro oblast jsou typická široká údolí a mírné sníženiny, které jsou vyplňovány rašeliništi (Chábera, 1987, Demek, 1988, Chlupáč, 2002).

Z hlediska geomorfologického členění patří zájmová oblast do systému Hercynského, subsystému Hercynských pohoří, provincie České vysočiny, subprovincie Šumavské, oblasti Šumavské hornatiny, celku Šumavy, podcelku Šumavských plání a okrsku Kvildských plání (Tabulka 2) (Balatka a Kalvoda, 2006).

Mapa 2: Přehledová mapa zájmového území horní Vydry

Mapa 3: Geologická mapa povodí horní Vydry



Zdroj dat: ČÚZK

Zdroj dat: ČGS, legenda Skrčená (2016)

Tabulka 2: Geomorfologické členění zájmového území horní Vydry

system	Hercynský
subsystem	Hercynská pohoří
provincie	Česká vysočina
subprovincie	I Šumavská
oblast	IB Šumavská hornatina
celek	IB-1 Šumava
podcelek	IB-1A Šumavské pláně
okrsek	IB-1A-b Kvildské pláně

Zdroj: Balatka a Kalvoda, 2006

#### 4.1.2 Klimatické poměry

Šumava se dle Quittovy klasifikace klimatu řadí do chladné oblasti (C). Dle Köppenovy klasifikace se území řadí do oblasti boreálního klimatu typu Dfc, kdy se průměrná teplota vzduchu během nejchladnějšího měsíce pohybuje kolem -3 °C a níže. Během nejteplejšího měsíce se průměrná teplota pohybuje kolem 10 °C a více, ale zároveň ne více než tři měsíce v roce mají průměrnou teplotu vzduchu vyšší než 10 °C. Srážky jsou v průběhu roku rovnoměrně rozloženy (Tolasz et al., 2007).

Šumava se nachází v oblasti takzvaného přechodného klimatu mezi vnitrozemským a přímořským podnebím. Srážky jsou zde relativně rovnoměrně rozloženy během roku (Chábera, 1987). Díky převládajícímu západnímu a jihozápadnímu proudění dochází na návětrné straně Šumavy k výskytu poměrně vysokých srážkových úhrnů, které jsou zde jedny z nejvyšších v rámci České republiky. V zájmovém území může spadnout až kolem 1500 mm srážek za rok. Nejvyšší srážkové úhrny se vyskytují v letních měsících červnu a červenci. Průměrné roční teploty vzduchu se ve vrcholových partiích Šumavy pohybují v rozmezí 3-5 °C. Nejteplejším měsícem je červenec s průměrnou teplotou až 13 °C, nejchladnějším měsícem je leden s průměrnou teplotou -5 °C. V zimě mohou teploty v mrazových šumavských kotlinách klesat až k -30 °C. Během roku se vyskytuje průměrně 120-150 dní se sněhovou pokrývkou. První sníh se může objevit již v polovině září, a není překvapením, když se sněhové srážky objeví ještě i na konci května (Tolasz et al., 2007).

#### 4.1.3 Půdní a vegetační poměry

Mezi nejrozšířenější půdní typy na Šumavě patří kambizemě v nižších zeměpisných šířkách, kryptopodzoly a v nadmořských výškách od 1200 metrů nad mořem jsou to podzoly. Dále zde můžeme nalézt gleje, stagnogleje a pseudogleje, rankery a fluvizemě (Němeček et al., 2001). Fenomémem Šumavy jsou rašeliniště a hydromorfní a organozemní půdy. Vyskytují se mělkých akumulárních plochách horských vrchovišť. Organozemě dokáží pojmout velké množství vody, kterou poté pozvolna uvolňují. Jejich infiltrační schopnost je tedy vysoká, ovšem nízká schopnost retence vody způsobuje rychlý odtok vody z povodí v případě srážkových událostí. Tyto půdy jsou typické nízkým stupněm vývoje s ne příliš hlubokým půdním profilem (Šefrna, 2004).

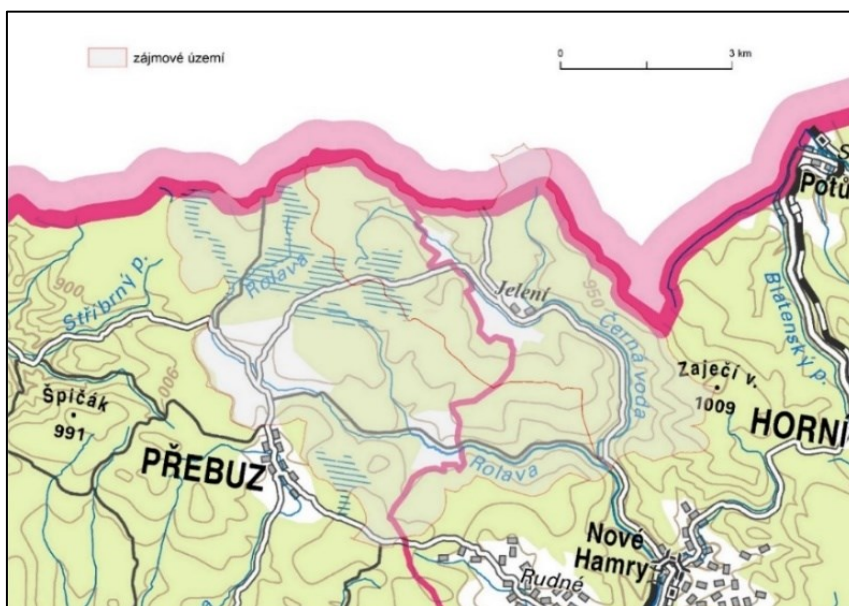
Přirozená vegetace Šumavy, především kyselé a květnaté bučiny, podmáčené smrčiny a rašeliniště byly v minulosti z části přeměněny na smrkové monokultury a část byla vlivem lidského hospodaření odlesněna (Chábera et al., 1987). Dle Mapy potenciální přirozené vegetace České republiky (CENIA, 2014) jsou pro Šumavu typické komplexy horských vrchovišť, bučiny, smrkové bučiny, smrčiny a podmáčené smrčiny. Dle Vlčka et al. (2012) jsou na vrchovištích přirozeně bezlesní plochy, kde se vyskytují suchopýry, rašeliníky, ostřice a mechy. Na okrajích vrchovišť pak borovice rašelinná a bříza trpasličí. Kolem vrchovišť horského typu se vyskytují podmáčené smrčiny

a ostricová rašeliniště. Les je tvořen zejména smrkem, dále pak jedlí a bukem. V posledních desetiletích došlo na Šumavě ke kůrovcovým kalamitám. Vyskytují se zde mrtvé lesy a holiny, plochy nově dorůstající a plochy zdravé, nezasažené kalamitou. Více o krajinném pokryvu a vegetačních poměrech v kapitole 5.

## 4.2 Charakteristika území horní Rolavy

Rolava pramení v Krušných horách, její pramenná oblast se nachází v západní části hor v okresech Karlovy Vary a hraničně také Sokolov. Malá část povodí zasahuje také na území Německa (Mapa 4). Rolava pramení v nadmořské výšce 921 metrů nad mořem pod Jeřábím vrchem v Národní přírodní rezervaci Rolavská vrchoviště. Pramenná oblast se nachází v Přírodním parku Přebuz a Národní přírodní rezervaci Přebuzská vrchoviště. Je to vodní tok III. řádu. Rolava se v Karlových Varech vlévá do Ohře, která se dále vlévá do Labe. Významným levostranným přítokem Rolavy v pramenné oblasti je Slatinný potok, který také pramení v Národní přírodní rezervaci Rolavská vrchoviště. Jejich soutok se nachází v Přírodní rezervaci Jelení vrch. Slatinný potok je v některých pramenech nazýván Černá voda. Levostranným přítokem Slatinného potoka je Bukový potok pramenící v Přírodní rezervaci Malé Jeřábí jezero (Ledvinka, 2008). V pramenné oblasti Rolavy se nachází dvě bývalé obce Jelení a Rolava, které po odsunu Němců po roce 1945 zůstaly vyliďněny. V zájmovém území se nachází dva hlavní odběrné profily v povodí horní Rolavy (ROL1) a Slatinného potoka (SLA2). Dále jsou zde doplňkově odebírány vzorky vody z profilu po soutoku Rolavy a Slatinného potoka (ROL3), z Bukového potoka před soutokem se Slatinným potokem (BUK5) a z pramenné oblasti Rolavy (ROL6).

Mapa 4: Přehledová mapa zájmového území horní Rolavy



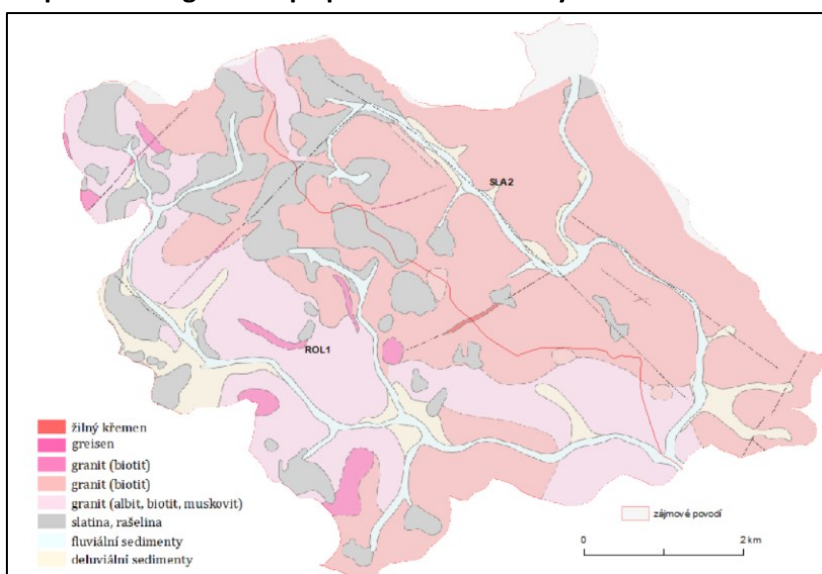
Zdroj dat: ČÚZK



### 4.2.1 Geologické a geomorfologické poměry

Z geologického hlediska spadá zájmové území do Českého masivu, konkrétně západní část Krušných hor spadá do oblasti saxothuringika. Podloží tvoří karlovarská žula variského stáří (Mapa 5). Pramenná oblast Rolavy je tvořena karlovarským plutonem, žula zde vystupuje na povrch a pukliny obsahují příměsi cínu. Silnou denudaci následovala alpínská orogeneze spojená s rozlámáním a vyzdvižením reliéfu do různých výšek. Během kvartéru byl povrch přemodelován mrazovým zvětráváním. Na zarovnaném povrchu Krušných hor se vytvořily, stejně jako na Šumavě, dobré podmínky pro vznik rašeliníšť (Kunský, 1974).

**Mapa 5: Geologická mapa povodí horní Rolavy**



Zdroj dat: ČGS, legenda Vlach, 2016)

Z geomorfologického hlediska patří zájmové území do oblasti Krušnohorská hornatina a celku Krušné hory. Krušné hory jsou charakterizovány jako plochá hornatina s členitostí výšek 200-500 metrů. Podcelek Klínovecká hornatina se dělí na čtyři okrsky a je nejvýše položenou jednotkou na území Krušných hor. Plocha horní Rolavy patří do okrsku Přebuzská hornatina (Tabulka 3). Ve vrcholové části se nacházejí zarovnané povrchy a skalní útvary vzniklé erozí a odnosem žuly. Nejvyšším vrcholem je Zaječí vrch vysoký 1 009 metrů nad mořem (Balatka a Kalvoda, 2006, Kunský, 1974).

**Tabulka 3: Geomorfologické členění zájmového území horní Rolavy**

system	Hercynský
subsystem	Hercynská pohoří
provincie	Česká vysočina
subprovincie	III Krušnohorská soustava
oblast	IIIA Krušnohorská hornatina
celek	IIIA-2 Krušné hory
podcelek	IIIA-2A Klínovecká hornatina
okrsek	IIIA-2A-1 Přebuzská hornatina

Zdroj: Balatka a Kalvoda, 2006

### 4.2.2. Klimatické poměry

Köppenova klasifikace klimatu řadí území horní Rolavy do oblastí Dfb a Dfc. Tyto oblasti jsou charakteristické boreálním podnebím, celoročně vlhkým klimatem a chladným létem. Teplota nejteplejšího měsíce je vyšší než 10 °C a teplota nejchladnějšího měsíce nestoupá nad -3 °C, přičemž srážkové úhrny jsou během roku vyrovnané. Quittova klimatická klasifikace řadí území do oblastí C6-C7. Nejvyšší teploty se vyskytují v červenci a srpnu, kdy průměrná teplota stoupá k 14 °C, nejnižší v lednu, a to kolem -3 °C. Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 5 °C. Roční úhrn srážek činí v zájmovém území 850-900 mm, ve vrcholových partiích dosahuje až 1000-1200 mm. Nejvíce srážek spadne během července a srpna, nejméně během února, dubna a května. Sněhová pokrývka se zde vyskytuje průměrně 120 dní v roce. První sníh je objevuje v listopadu a může se udržet až do května (Ledvinka, 2008, Tolasz, 2007).

### 4.2.3 Půdní a vegetační poměry

Na horním toku Rolavy se vyskytují převážně podzoly, pramenné oblasti Rolavy a Slatinného potoka jsou charakteristické výskytem organozemí. Dále na středním toku v nižších nadmořských výškách se vyskytují kambizemě, kolem vodních toků fluvizemě a v okolí lidského osídlení také kultizemě a antropozemě (Tomášek, 2007). V zájmovém území horní Rolavy jsou nejvíce zastoupeny podzoly (29 %), kryptopodzoly (28 %), organozemě (20 %) a gleje (14 %). Půdní pokryv Slatinného potoka je tvořen zejména podzoly (45 %), které jsou zde zastoupeny mnohem větší měrou než v povodí horní Rolavy. Dále se zde v podobné míře vyskytují také kryptopodzoly (25 %), v menší míře organozemě (12 %) a gleje (11 %). Malé zastoupení mají v zájmovém území kambizemě, pseudogleje, antropozemě a rankery (Vlach, 2016). Po Šumavě jsou Krušné hory druhým územím v České republice s největším výskytem rašelinišť. I zde jsou to rašeliniště vrchovištního typu. Nejcennější lokalitou je rašeliniště Velké Jeřábí jezero, které se nachází v povodí Rolavy (Tomášek, 2007).

V posledních desetiletích se krajinný pokryv v oblasti horní Rolavy zásadně nemění. Největší zastoupení zde mají jehličnaté lesy, které tvoří kolem 60 % území. Vzrostlé lesy doplňuje nízký lesní porost (více než 20 %). Téměř 90 % plochy území je tedy pokryto lesním porostem v různém stadiu vývoje. Rašeliniště tvoří téměř 7 % území. Dále jsou zde v menší míře zastoupeny louky a pastviny (5 %), přirozené louky (4 %) a zanedbatelné území tvoří zemědělské oblasti s přirozenou vegetací. Horní Rolava a její přítok Slatinný potok mají téměř stejný krajinný pokryv. V povodí horní Rolavy jsou více zastoupeny rašeliniště (14 % oproti 3 %), v povodí Slatinného potoka chybí kategorie louky a pastviny a zemědělské oblasti s přirozenou vegetací. Je zde ale vyšší zastoupení lesních porostů. Lesní porost je zastoupen převážně smrkovou monokulturou. Ta zde není původní, protože zájmové území patří do vegetačních stupňů jedlobukového a smrkojedlobukového (Vlach, 2016 a 2019, CORINE, 2012).



Téměř polovina území je chráněna. Nacházejí se zde Přírodní parky a (Národní) Přírodní rezervace chránící především rašeliniště vrchovištního typu. Ty jsou zaneseny také v seznamu mokřadů chráněných Ramsarskou úmluvou. Na těchto unikátních územích se vyskytují velice ohrožené a chráněné druhy organismů. Z rostlinných druhů to jsou například bříza trpasličí, rosnatka okrouhlostá a anglická, blatnice bahenní nebo vítod douškolistý. Z živočišných druhů se zde vyskytují vysoké stavy jelení zvěře. Ty zde mohou přežívat právě díky vysokému zalesnění a nízké hustotě obyvatelstva. Z ptactva jsou významnými chráněnými zástupci například tetřev hlušec a kulíšek nejmenší. Rolavská rašeliniště byla v dřívějších dobách narušena těžbou rašeliny a cínu (Demek et al., 2006, Lelut, 2007).

### **4.3 Charakteristika území horní Blanice**

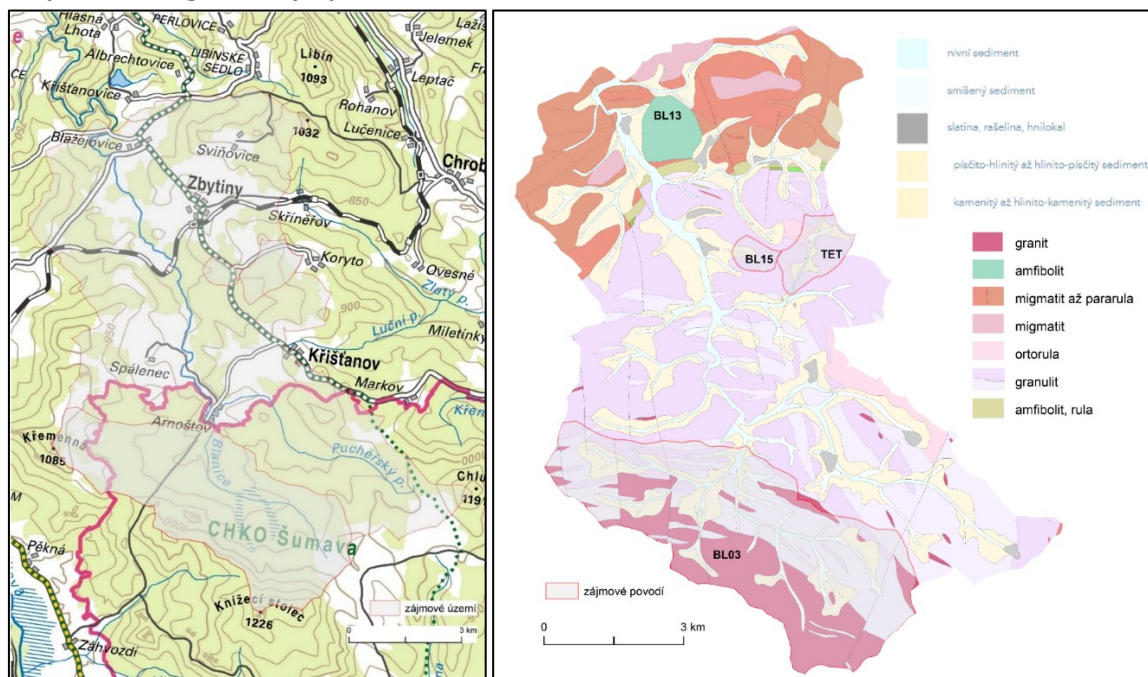
Zájmové povodí horní Blanice se nachází v jižních Čechách v okrese Prachatice. Jižní část zájmového území spadá do okresu Český Krumlov. Blanice pramení v nadmořské výšce 970 m n.m. v prostoru Vojenského újezdu Boletice v CHKO Šumava. Severně od Putimi se Blanice vlévá do řeky Otavy. Závěrovým profilem zájmového území je limnigrafická stanice Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) Blanický mlýn na říčním kilometru 77. V povodí horní Blanice se nacházejí čtyři odběrné profily experimentálních povodí Katedry fyzické geografie a geoekologie (KFGG) pro vyhodnocení koncentrací organického uhlíku. Na výtoky Blanice z Vojenského újezdu Boletice (profil BL03), přítok Blanice Tetřívčí potok (profil TET), přítok Blanice Spálenec (BL15) a závěrový profil Blanický mlýn (BL13). Pramenná oblast Blanice patří mezi relativně málo ovlivněné, ekologicky významné vodní toky i přes antropogenní aktivity (Mapa 6). V zájmovém území se nachází vesnice Zbytiny a několik menších osad a je zde rozvinuto zemědělství, zejména extenzivní pastva dobytka. Díky svému dobrému ekologickému stavu je pramenná oblast Blanice nejvýznamnější lokalitou výskytu v České republice kriticky ohrožené perlorodky říční, druhu velmi citlivého na čistotu vody (Hujslová, 2010).

#### **4.3.1 Geologické a geomorfologické poměry**

Povodí patří, stejně jako ostatní zájmová povodí v této práci, do Českého masivu, zde konkrétně do části Jihočeské vysočiny, na pomezí soustav Šumava a Šumavské podhůří. Řadí se k nejstarším částem Českého masivu. Geologické podloží šumavské větve moldanubika je tvořeno metamorfními jednotkami, hlubinnými vyvřelinami a krystalickými břidlicemi. Nejvíce zastoupenými horninami jsou granulity, ruly, pararuly, ortoruly a svory, které vznikly během variského vrásnění před více než 300 miliony lety. V okolí závěrového profilu zájmového povodí se vyskytují spolu s rulami migmatity a amfibolity, v pramenné části v oblasti Vojenského újezdu Boletice se nacházejí také granity a granodiority (Mapa 7) (Kodym, 1961, in Hintnaus, 2011).

Mapa 6: Přehledová mapa zájmového území horní Blanice

Mapa 7: Geologická mapa povodí horní Blanice



Zdroj dat: ČÚZK, ČGS

I z geomorfologického hlediska se zájmové území nachází na rozhraní dvou odlišných jednotek. Část povodí se řadí do celku Šumava a část do celku Šumavské podhůří. Pramenná oblast a střední část zájmového území se řadí do oblasti Šumavská hornatina, celku Šumava, podcelku Želnavská hornatina a okrsků Křišťanovská vrchovina a Knížecí hornatina (Tabulka 4). Želnavská hornatina se vyznačuje relativní výškovou členitostí do 500 metrů a střední nadmořskou výškou 921 metrů. Nejvyššími vrcholy jsou Knížecí stolec (1 236 m n.m.) a hora Lysá (1 228 m n.m.). Severní část území v okolí závěrového profilu patří do celku Šumavské podhůří, podcelku Prachatická hornatina a okrsku Libínská hornatina. Střední nadmořská výška Prachatické hornatiny je 676 metrů, avšak nejvyšším vrcholem Prachatické hornatiny a zároveň i vysoké Libínské hornatiny je hora Libín (1 096 m n.m.) (Balatka a Kalvoda, 2006, Kodádková, 2014).

Tabulka 4: Geomorfologické členění zájmového území horní Blanice

systém	Hercynský	
subsystém	Hercynská pohoří	
provincie	Česká vysočina	
subprovincie	Šumavská	
oblast	IB Šumavská hornatina	
celek	IB-1 Šumava	IB-2 Šumavské podhůří
podcelek	IB-1E Želnavská hornatina	IB-2D Prachatická hornatina
okrsek	IB-1E-1 Knížecí hornatina IB-1E-2 Křišťanovská vrchovina	IB-2D-1 Libínská hornatina
podokrsek	IB-1E-1a Chlumská hornatina IB-1E-2a Skalinská hornatina IB-1E-2b Arnoštovská pahorkatina	IB-2D-1a Libínský hřbet IB-2D-1b Zbytinská vrchovina

Zdroj: Balatka a Kalvoda, 2006

### 4.3.2 Klimatické poměry

Průměrná roční teplota vzduchu činí 6,6 °C (Královec, 2018). Zájmová oblast horní Blanice patří, stejně jako ostatní zájmová území, do chladné klimatické oblasti dle Quitta. Chladná klimatická oblast je však nejteplejší ze své kategorie. Léto bývá chladné, krátké a vlhké, zima naopak mírná, dlouhá a méně vlhká. Sněhová pokrývka se zde dokáže udržet relativně dlouho. Mezi létem a zimou nastávají dlouhá přechodná období mírně chladného jara a mírného podzimu. Nejteplejším měsícem je červenec s průměrnou teplotou 15-16 °C, nejchladnějším měsícem je leden s průměrnou teplotou kolem -3 °C (Vondráková et al., 2013). Dle Köppenovy klasifikace patří zájmové povodí do klimatické oblasti Dfb tedy mírně studené klima s mírným létem a srážkami rovnoměrně rozloženými během roku. Kategorie Dfb je vymezena průměrnou teplotou nejteplejšího měsíce minimálně 10 °C a průměrnou teplotou nejchladnějšího měsíce pod -3 °C. Počet mrazových dnů se během roku vyšplhá až na 180, přičemž počet letních dnů nepřekročí hranici 20 dnů. Průměrný roční úhrn srážek se pohybuje v rozmezí 700–800 mm. Více srážek spadne v letním půlroce (Tolasz et al., 2007). Nejdeštivějšími měsíci za období 1961-2000 jsou srpen a červenec, naopak na srážky nejchudší jsou měsíce duben, leden a únor (Tolasz et al., 2007, in Hujslová, 2010).

### 4.3.3 Půdní a vegetační poměry

Nejrozšířenějšími půdami v zájmovém povodí jsou kambizemě a kryptopodzoly. Kambizemě jsou typické pro nadmořské výšky do 800 metrů, je to nejrozšířenější půdní druh u nás. Kryptopodzoly jsou typickými zástupci půd vyšších nadmořských výšek, můžeme je nalézt i na vrchovištních pláních centrální Šumavy. Jsou to převážně lesní půdy spojené především s bučinami a smrčínami a jsou vázány zejména na chladné a vlhké klima. Dalším významným půdním zástupcem jsou gleje s různým stupněm zrašelinění (AOPK, 2007, in Hintnaus, 2011). I v povodí horní Blanice byla část původní lesní vegetace nahrazena smrkovou monokulturou. Dle Mapy potenciální přirozené vegetace České republiky (CENIA, 2014) bylo zjištěno, že původní rozšířenou lesní vegetací zde byla bučina. Z dříve orné půdy se postupnou sukcesí staly mezofilní louky, které jsou často využívány pro extenzivní chov dobytka, zejména skotu a ovcí. Největší území zabírá lesní hospodářství. Území je přibližně ze dvou třetin zalesněno jehličnatým, zejména smrkovým lesem. Druhým nejvíce zastoupeným vegetačním pokryvem jsou louky. Zastavěná plocha tvoří jen zanedbatelnou část povodí. Největším sídlem v území je obec Zbytiny s přibližně 300 obyvateli a obec Křišťanov s přibližně 100 obyvateli. Územím vede železniční trať. Při výjezdu z Vojenského újezdu Boletice se nachází malá vesnička Arnoštov. V druhé polovině minulého století bylo zájmové území intenzivně zemědělsky využíváno. Plochy byly uměle odvodněny sítí povrchových kanálů i podpovrchové trubkové drenáže, což je v území patrné dodnes. Hrozba znečištění antropogenního původu plyne z čističek odpadních vod (ČOV) obce Zbytiny a Křišťanov a zejména ze zemědělské činnosti a chovu hospodářských zvířat. Celkově lze území charakterizovat jako přírodě blízké s malým antropogenním vlivem (Královec, 2018, Vlček, 2018).

Ochrana přírody je v zájmovém území na vysoké úrovni. Většina plochy území se nachází v Chráněné krajinné oblasti (CHKO) Šumava. Oblast byla také vyhlášena jako ptačí oblast a evropsky významná lokalita NATURA 2000. Zde se jedná zejména o pramennou oblast Blanice ve Vojenském újezdu Boletice. Národní přírodní památka Prameniště Blanice slouží zejména k ochraně podmínek vhodných pro výskyt perlorodky říční, kriticky ohroženého druhu vyžadujícího velmi čisté prostředí. Její stanoviště v zájmovém území je jedno z největších ve střední Evropě. Přírodní památky Pod Sviňovicemi a Vyšný – Křišťanov jsou významné díky výskytu šafránu bělokvětého a Přírodní rezervace Pod Farským vrchem střeží jalovcové pastviny a rašeliny (Hryzáková, 2008, Hujšlová, 2010).

#### 4.4 Zhodnocení charakteristiky zájmových území

V rámci této diplomové práce probíhal výzkum v experimentálních povodích KFGG ve třech pramenných oblastech, v povodí horní Vydry, horní Rolavy a horní Blanice. Nejvýše položeným zájmovým územím je povodí horní Vydry v oblasti centrální Šumavy. Zarovnanou vrcholovou část Šumavy vyplňují častá rašeliniště vrchovištního typu. Klima je zde velmi chladné a vlhké. Nejvíce zastoupenými půdními typy jsou podzoly, kryptopodzoly, gleje a organozemě. Povodí horní Rolavy má podobné charakteristiky klimatu i zastoupení stejných půdních druhů včetně organozemí. Nachází se zde velmi řídké lidské osídlení a s tím spojený extenzivní chov hospodářských zvířat. Povodí horní Blanice je nejnižší položeným, nejobydenějším a nejteplejším ze zájmových povodí. Půdy jsou zde zastoupeny zejména kambizeměmi a kryptopodzoly, dále pak gleji a pouze malé území je zastoupeno organozeměmi. V území se nachází dvě malé obce Zbytiny a Křišťanov a chov hospodářských zvířat je zde poměrně častý. Ve všech sledovaných oblastech převažují z geologického hlediska krystalické horniny, především ortoruly a granity. Základní fyzicko-geografické vlastnosti jednotlivých zájmových území jsou uvedeny v Tabulce 5.

**Tabulka 5: Vybrané vlastnosti jednotlivých zájmových povodí**

	Horní Vydra	Horní Rolava	Horní Blanice
klima (Quittova klasifikace)	C3-C6	C6-C7	C7
klima (Köppenova klasifikace)	Dfc	Dfc, Dfb	Dfb
průměrná roční teplota [°C]	4	5	6,6
průměrný roční úhrn srážek [mm]	1 200	900	750
půdy dle nejvyššího zastoupení	podzoly, kryptopodzoly	podzoly, kryptopodzoly	kambizemě, kryptopodzoly
nejvyšší bod povodí [m n. m.]	1 370	965	1 236
název nejvyššího bodu	Velká Mokrávka	Jeřábí vrch	Knížecí stolec
nejnižší bod povodí [m n. m.]	980	745	743
název nejnižšího bodu	Modrava	pod soutokem ROL1 a SLA2	Blanický mlýn

Zdroj dat: Tolasz et al., 2007, ČÚZK, Vlach, 2016, Němeček et al., 2001, AOPK, 2007, in Hintnaus, 2011

## 5 Charakteristika odběrných profilů a povodí

### 5.1 Charakteristika odběrných profilů

V následující kapitole je uvedena charakteristika jednotlivých odběrných profilů ve sledovaných povodích. Výsledky monitoringu některých profilů byly uvedeny již v bakalářské práci (Špringerová, 2016). V rámci diplomové práce byla provedena optimalizace sítě odběrných profilů pro zachování možnosti porovnání různých pramenných oblastí. Byla přidána zájmová oblast horní Rolavy a v zájmovém území horní Blanice byly z výzkumu změn koncentrací organického uhlíku odebrány některé profily v okolí obce Zbytiny. Tyto profily se vyznačovaly vysokým stupněm ovlivnění antropogenní činností, některé z nich se nacházely přímo v zástavbě obce Zbytiny. V rámci diplomové práce byly proto tyto profily nahrazeny jinými, přírodě bližšími odběrnými profily v experimentální síti povodí Katedry fyzické geografie a geoekologie v povodí horní Blanice (KFGG). Důležitým prvkem ve vztahu ke koncentracím organického uhlíku je krajinný pokryv území a půdní poměry v povodí. Krajinný pokryv je zpracován pro každé dílčí povodí z podrobné Konsolidované vrstvy ekosystémů (AOPK, 2013) v následující kapitole. Jsou zde přiloženy mapy jednotlivých povodí a tabulka zastoupení kategorií krajinného pokryvu.

#### 5.1.1 Charakteristika profilů horní Vydry

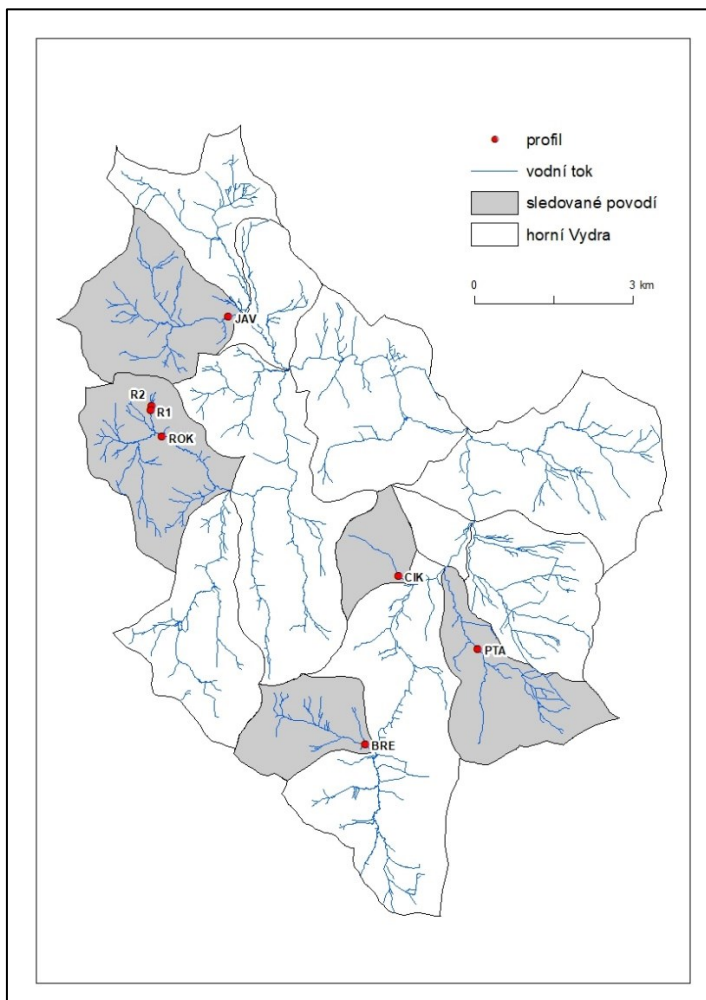
V povodí horní Vydry se nachází pět hlavních a dva doplňkové odběrné profily (Mapa 8). Většina povodí uzavřených odběrnými profily má podobnou rozlohu. Profily se liší zastoupením rašelinišť a lesa v různé kondici. Povodími s největším zastoupením rašelinišť jsou Cikánský potok (CIK) a Rokytky (ROK), naopak nejméně rašelinišť se vyskytuje v povodí Javořího potoka (JAV). Největší plochu povodí má Javoří potok, naopak nejmenšími povodími jsou Cikánský potok a doplňkové profily v povodí Rokytky. Vybrané hydrografické údaje ke všem povodím, na které je odkazováno v textu, jsou uvedeny v Tabulce 7 na konci této kapitoly. GPS souřadnice umístění jednotlivých odběrných profilů jsou uvedeny v Tabulce 6. Pedologická charakteristika tohoto území je velmi obtížná. Vzhledem k zastoupení rašelinišť a zamokřených ploch se názory na zastoupení půd různí (Vlček et al., 2016, Kocum, 2012).

**Tabulka 6: GPS souřadnice odběrných profilů**

odběrný profil	zem. š. (° s.š.)	zem. délka (° v.d.)
PTA	48.9865042N	13.5101594E
JAV	49.0382803N	13.4347667E
CIK	48.9970808N	13.4883800E
BRE	48.9686039N	13.4833158E
ROK	49.0162747N	13.4172033E
ROK-R1	49.0201553N	13.4146392E
ROK-R2	49.0203631N	13.4151489E

Zdroj: *Mapy.cz*

**Mapa 8: Zájmové povodí a profily horní Vydry**



Zdroj dat: ArcČR, DIBAVOD

### **Ptačí potok (PTA)**

Experimentální povodí KFGG Ptačí potok je vymezeno závěrovým profilem v bývalé hrázi Ptačí nádrže, která sloužila jako klauza ke splavování dřeva. V přiložené mapě (Mapa 8) je znázorněno celé povodí Ptačího potoka, ovšem zájmová část této diplomové práce je ukončena odběrným profilem (červený bod). Plocha experimentálního povodí činí 4,09 km<sup>2</sup>. Délka vodního toku je 2,14 km (Tabulka 7). Nejzastoupenějšími půdními druhy jsou podzoly a kryptopodzoly. ČZU (2009) uvádí, že podzoly a kryptopodzoly tvoří 100 % území povodí. Krajinný pokryv je zde tvořen zejména lesem v různém stadiu poškození a vývoje, povodí bylo velmi výrazně zasaženo kůrovcovou kalamitou (Obrázek 2). Zdravý les tvoří 40 %, zničený les 20 % (Su et al., 2017). Zastoupení rašelinišť zde tvoří více než 16 % (Kocum, 2012). Povodí má relativně velký průměrný sklon (Tabulka 7).

### **Javoří potok (JAV)**

Javoří potok je s rozlohou 6,34 km<sup>2</sup> a délkou rozvodnice 11,19 km největším ze sledovaných povodí (Tabulka 7). Profil má vysokou hustotu říční sítě (2,69 km.km<sup>-2</sup>) a specifický odtok z povodí (36,054 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>). Odběrný profil se nachází nad v lesním prostředí nad soutokem s Tmavým potokem (Mapa 8). Nejrozšířenějšími půdními typy jsou podzoly a organozemě, podél vodních toků gleje. Geoportál CENIA (Bartůňková, 2011) uvádí přibližně 50 % podzolů, 30 % glejů a 20 % kambizemí v povodí. ČZU (2009) uvádí 94 % podzolů a kryptopodzolů v povodí a 6 % organozemí. Krajinový pokryv tvoří podmáčená smrčina, jehličnatý les a rašeliniště (Skrčená, 2016). Les je velmi poškozen kůrovcovou kalamitou. Zdravý les tvoří jen 10 %, zničený les dosahuje 70 % plochy (Su et al., 2017). Javoří potok je jedním z nejméně zrašeliněných povodí v zájmovém území, rašelinný pokryv zde tvoří necelých 7 % území (Kocum, 2012, Špringerová, 2016).

### **Cikánský potok (CIK)**

Je nejmenší ze zájmových povodí horní Vydry, jeho plocha činí pouze 2,46 km<sup>2</sup> (Tabulka 7, Mapa 8). Povodí má nejnižší hustotu říční sítě (0,71 km.km<sup>-2</sup>) a také nejmenší průměrný průtok za sledované období (0,077 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) Téměř třetina plochy povodí je tvořena rašeliništi, jedná se o nejvíce zrašelinělé zájmové povodí horní Vydry (Kocum, 2012). Rozšířené jsou zde také plochy podmáčené smrčiny. 80 % lesa je v dobré zdravotní kondici, 10 % je poškozeno invazí kůrovce (Su et al., 2017). Geoportál CENIA (Bartůňková, 2011) uvádí, že povodí je tvořeno z 70 % podzoly, 25 % gleji a 5 % kambizemí. ČZU (2009) přiřazuje 93 % území podzolům a kryptopodzolům a 7 % organozemím. V minulosti zde proběhly snahy o odvodnění rašeliniště, ale v letech 2004-2006 zde proběhly revitalizace, kdy byla většina melioračních rýh přehrazena (Bufková a Spitzer, 2008, in Doležal, 2015). Povodí je kvůli vysokému zastoupení rašelinišť nejrozkolísanějším zájmovým povodím v rámci této práce (Kocum 2012, Špringerová, 2016).

### **Březnický potok (BRE)**

Plocha povodí Březnického potoka je 3,55 km<sup>2</sup> (Mapa 8). Hustota říční sítě dosahuje 2,34 km.km<sup>-2</sup>. Jedná se o zájmové povodí s největším sklonem a nejvyšší průměrnou nadmořskou výškou. Převýšení činí 306 metrů (Tabulka 7). Zastoupení rašelinišť je zde střední (15 %), hlavním půdním typem jsou podzoly (Kocum, 2012, Špringerová, 2016). ČZU (2009) uvádí, že povodí je tvořeno z 42,5 % gleji, 31,5 % podzoly a kryptopodzoly a 10 % organozeměmi. Geoportál CENIA (Bartůňková, 2011) přiřazuje přibližně 70 % povodí podzolům, 20 % glejům a 10 % kambizemím. Březnický potok byl velmi silně zasažen kůrovcovou kalamitou. Některé prameny uvádí, že až 80 % lesa v povodí bylo zničeno a postupně dochází k částečné obnově lesa (Su et al., 2017).



**Obrázek 2: Ptačí potok, 50 metrů nad odběrným profilem**

**Obrázek 3: Březnický potok, pod odběrným profilem**



Zdroj: Vlček (2016)

### **Rokytky (ROK)**

Plocha zájmového povodí je 3,82 km<sup>2</sup>, jde tak o středně velké povodí zájmové oblasti horní Vydry (Mapa 8). Délka vodního toku je jen 0,86 km, ale povodí má největší hustotu říční sítě (3,2 km.km<sup>2</sup>) (Tabulka 7). Jako v případě Ptačího potoka je zájmové povodí ukončeno hrází bývalé klauzy, na přiložené mapě je závěrový bod označen červeně, kdežto povodí Rokytky je zde vyznačeno celé až po soutok s Roklanským potokem. Nízký sklon povodí ve vrcholové zarovnané části Šumavy (3,7°) vytváří příhodné podmínky pro vznik rašelinišť, které jsou zde zastoupeny na čtvrtině území. S tím souvisí i vysoké zastoupení organozemí. Z dalších půd se zde vyskytují podzoly a gleje v různém stupni zrašelinění (Kocum, 2012). Vlček et al. (2012) uvádí organozemě, humusové podzoly a zrašelinělý glej. ČZU (2009) uvádí, že na 46 % území se vyskytuje organozem a na 54 % území se vyskytují podzoly a kryptopodzoly. Zamokřené území tvoří polovinu povodí. Vysoké zastoupení rašelinišť v povodí značí, stejně jako u Cikánského potoka, také vysokou variabilitu průtoků a ukazatelů kvality vody. Kromě rašelinišť se v povodí vyskytuje les, který byl přibližně na třetině své plochy zasažen kůrovcovou kalamitou (Su et al., 2017, Špringerová, 2016, Kocum, 2012).

**Obrázek 4: Povodí Rokytky**



Zdroj: Vlček (2016)



**Tabulka 7: Vybrané parametry jednotlivých povodí**

parametr	jednotky/profil	PTA	JAV	CIK	BRE	ROK
plocha povodí	km <sup>2</sup>	4,09	6,34	2,46	3,55	3,82
délka vodního toku	km	2,14	2,86	1,61	2,54	0,86
délka rozvodnice	km	8,64	11,19	6,85	8,00	10,44
hustota říční sítě	km.km <sup>-2</sup>	1,97	2,69	0,71	2,34	3,20
průměrný průtok	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	0,116	0,239	0,077	0,095	0,154
specifický odtok	l.s <sup>-1</sup> .km <sup>-2</sup>	26,415	36,054	28,424	24,229	37,158
max. kóta v povodí	m n.m.	1330	1257	1200	1376	1220
min. kóta v povodí	m n.m.	1135	1032	1055	1070	1090
převýšení	m	195	225	145	306	130
prům. sklon	°	9,0	5,2	4,5	8,7	3,7
max. sklon	°	17,0	43,4	19,0	49,1	12,0

Zdroj dat: DIBAVOD, ČÚZK, Bartůňková, 2011, Šmrhová, 2012, Vlček et al., 2012, Doležal, 2015, Valdhansová, 2017, KFGG

### Rokytko-přítok (ROK-R1)

Jedná se o doplňkový profil měření. Odběrné místo se nachází na horním toku Rokytky, přibližně 400 metrů proti proudu od profilu Rokytko (ROK) a závěrového místa experimentálního povodí (Mapa 8). Plocha povodí tohoto doplňkového profilu je 0,605 km<sup>2</sup>. Odběrný profil se nachází pod soutokem dvou pramenů Rokytky s odlišnými parametry (Obrázek 5 a 6). Jeden pramen vytéká přímo z rašeliniště (doplňkový profil ROK-R2) a jeho původ je tedy rašelinný, druhý pramen vytéká z lesního prostředí kleče a podmáčené smrčiny (Špringerová, 2016).

#### Obrázek 5: Odběrný profil ROK-R1, nízký vodní stav

#### Obrázek 6: Odběrný profil ROK-R1, vysoký vodní stav



Zdroj: Vlček (2016)

### Rokytko-revitalizace (ROK-R2)

Tento doplňkový odběrný profil vytéká přímo z rašeliniště, plocha jeho povodí je 0,144 km<sup>2</sup> (Mapa 8, Obrázek 7).

**Obrázek 7: Odběrný profil ROK-R2**

**Obrázek 8: Odběrný profil ROL1**



*Zdroj: Vlček (2016)*

*Zdroj: Fotografie autorky (2018)*

### 5.1.2 Charakteristika profilů horní Rolavy

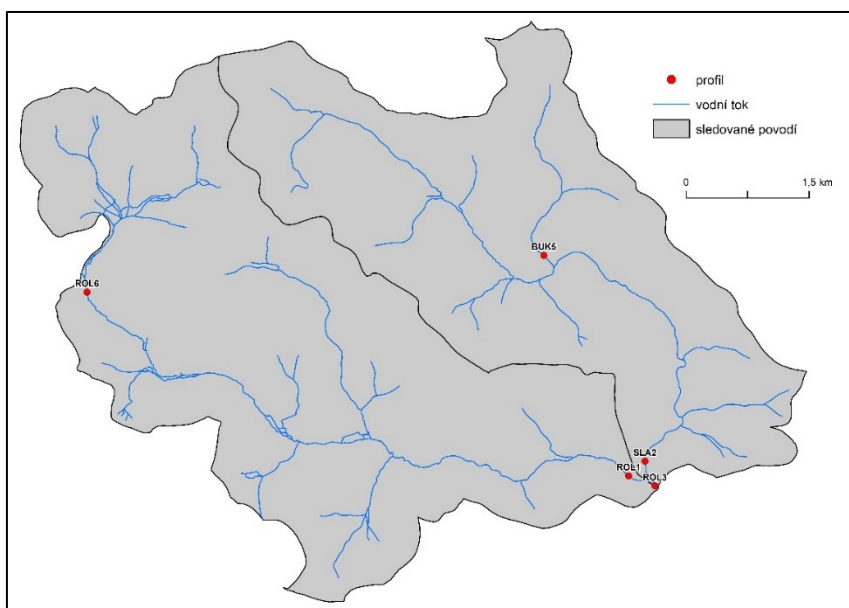
V povodí horní Rolavy se nacházejí dva hlavní a tři doplňkové odběrné profily (Mapa 9). Hlavní profily ROL1 a SLA2 mají podobnou rozlohu (22,3 a 17,71 km<sup>2</sup>) i krajinný pokryv, doplňkové profily se rozlohou liší. Slatinný potok má větší zastoupení podzolů (45,2 %), v povodí profilu ROL1 je zastoupeno více rašelinišť (13,79 %) než v povodí Slatinného potoka (2,73 %). V zájmovém území profilu ROL1 je v posledních dvou letech patrná zemědělská činnost a s tím spojené pastviny, které se dříve nevyužívaly. V povodí profilu SLA2 se na úkor pastvin, luk a rašelinišť vyskytují zejména lesy. Doplňkové profily se rozlohou povodí liší. Největší z nich je profil ROL3 (40,98 km<sup>2</sup>), který se nachází pod soutokem hlavních profilů ROL1 a SLA2. Profil BUK5 na Bukovém potoce a profil ROL6 v pramenné oblasti Rolavy se velikostně přibližují profilům horní Vydry. GPS souřadnice jednotlivých odběrných profilů jsou uvedeny v Tabulce 8. Vybrané hydrografické údaje, na které je odkazováno v textu, jsou uvedeny v Tabulce 9.

**Tabulka 8: GPS souřadnice odběrných profilů**

odběrný profil	zem. šířka (° s.š.)	zem. délka (° v.d.)
ROL1	50.3752778N	12.6977778E
SLA2	50.3761111N	12.6980556E
ROL3	50.3675000N	12.7033333E
BUK5	50.3968317N	12.6765886E
ROL6	50.3863664N	12.5981608E

*Zdroj: Mapy.cz*

**Mapa 9: Zájmové povodí a profily horní Rolavy**



Zdroj dat: ArcČR, DIBAVOD

### **Rolava (ROL1)**

Zájmové povodí profilu ROL1 na horním toku Rolavy zahrnuje její pramennou část (Mapa 9, Obrázek 8). Plocha povodí zájmového profilu je 22,3 km<sup>2</sup>. Průměrný průtok za sledované období je 0,37 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, specifický odtok z povodí tvoří 13,62 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup> (Tabulka 9). Podloží je tvořeno zejména granity. Nejrozšířenějšími půdami jsou podzoly (28,8 %) a kryptopodzoly (27,6 %), dále pak organozemě (20,3 %), gleje (14,1 %) a kambizemě (5,2 %) (Mapa 10). Krajinný pokryv je tvořen především lesy z více než dvou třetin. Rašeliniště tvoří 14 % území. Jsou zde zastoupeny také louky a pastviny (Vlach, 2016).

### **Slatinný potok (SLA2)**

Zájmové území Slatinného potoka, který je přítokem Rolavy, má rozlohu 17,71 km<sup>2</sup> (Mapa 9, Obrázek 9). Většina parametrů vykazuje podobné hodnoty jako profil ROL1 (Tabulka 9). Průměrný průtok za sledované období je 0,31 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> a specifický odtok z povodí činí 17,75 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>. Podloží je opět tvořeno granity. Nejrozšířenějšími půdními druhy jsou podzoly (45,2 %), kryptopodzoly (24,6 %), organozemě (12,4 %) a gleje (10,7 %) (Mapa 10). Dalšími půdními typy jsou kryptopodzoly, organozemě a gleje. Většinu území tvoří nepůvodní smrkový les. V území je jen malé zastoupení rašelinišť (2,73 %) a louky a pastviny zde chybí (Vlach, 2016).



Obrázek 9: Odběrný profil SLA2

Obrázek 10: Odběrný profil ROL3



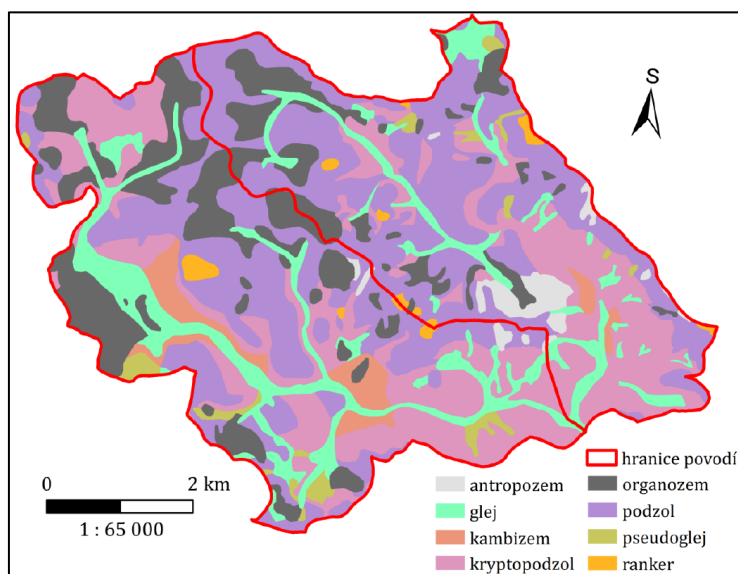
Zdroj: Fotografie autorky (2018)

Tabulka 9: Vybrané parametry jednotlivých povodí

parametr	jednotky/profil	ROL1	SLA2
plocha povodí	km <sup>2</sup>	22,30	17,71
délka vodního toku	km	11,71	9,64
délka rozvodnice	km	27,55	23,86
hustota říční sítě	km.km <sup>-2</sup>	0,63	0,78
průměrný průtok	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	0,37	0,31
specifický odtok	l.s <sup>-1</sup> .km <sup>-2</sup>	13,62	17,75
max. kóta v povodí	m n.m.	964,6	1008,5
min. kóta v povodí	m n.m.	752	753
převýšení	m	212,6	255,5
prům. sklon	°	4,67	6,28

Zdroj dat: KFGG, Vlach, 2016, DIBAVOD, ČÚZK

Mapa 10: Půdní typy v zájmovém území profilů ROL1 a SLA2



Zdroj dat: ČGS, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie 2016, vytvořil Vlach, 2016)

### **Rolava po soutoku (ROL3)**

Jedná se o doplňkový profil umístěný pod soutokem Rolavy a Slatinného potoka (Mapa 9, Obrázek 10). Plocha povodí je 40,98 km<sup>2</sup>, průměrný průtok za období monitoringu činí 0,62 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, specifický odtok z povodí je 13,69 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>.

### **Bukový potok (BUK5)**

Bukový potok je doplňkovým profilem s rozlohou 3,05 km<sup>2</sup>. Bukový potok je přítokem Slatinného potoka (Mapa 9), do kterého se vlévá u osady Jelení (Obrázek 11). Plochou povodí odpovídá profilům v zájmovém území horní Vydry. Povodí je tvořeno podmáčenou, neobydlenou a jen řídko zalesněnou krajinou (AOPK, 2013, DIBAVOD). Průměrný průtok za období monitoringu činí 0,029 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, specifický odtok z území je 9,63 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>.

### **Obrázek 11: Odběrný profil BUK5**

### **Obrázek 12: Povodí profilu ROL6**



*Zdroj: Fotografie autorky (2018)*

### **Rolavská vřesoviště u Přebuzi (ROL6)**

Povodí tohoto doplňkového profilu se také plochou přibližuje profilům horní Vydry, jeho plocha činí 5,22 km<sup>2</sup>. Vodní tok odvodňuje pramennou část Rolavy, kterou tvoří výtoky z vřesovišť a rašelinišť (Mapa 9, Obrázek 12). Průměrný průtok za sledované období činí 0,004 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> a specifický odtok 8,32 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>. Povodí je tvořeno rašeliništi, vřesovišti, prameništi, mezofilními loukami a jehličnatými lesy (AOPK, 2013, DIBAVOD).

## **5.1.3 Charakteristika profilů horní Blanice**

V povodí horní Blanice se nachází tři hlavní a jeden doplňkový profil (Mapa 11). Povodí profilu TET náleží plochou povodí (1,61 km<sup>2</sup>) mezi menší profily povodí horní Vydry. V menší míře se zde

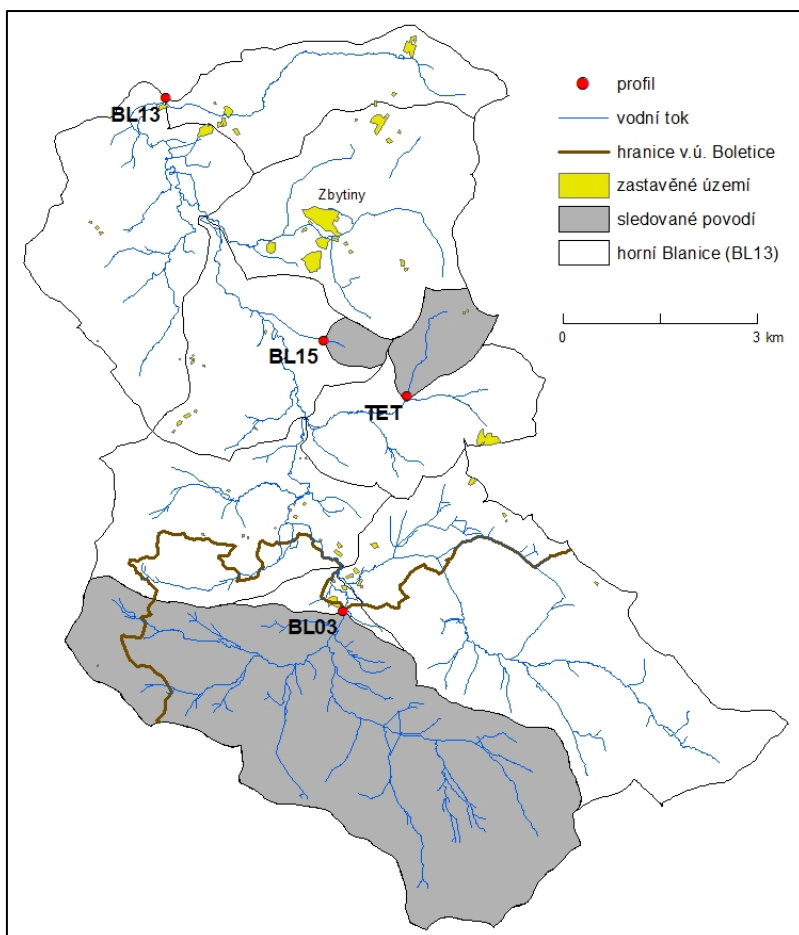
vyskytují také rašeliniště (2,95 %) (AOPK, 2013). Povodí Blanice po výtoku z Vojenského újezdu Boletice (profil BL03) se velikostí (20,55 km<sup>2</sup>) blíží profilům ROL1 a SLA2 v povodí horní Rolavy. Opět je zde patrné zastoupení rašelinišť (4,1 %) (AOPK, 2013). Celé povodí horní Blanice po závěrový profil Blanický mlýn (profil BL13) je specifické nejen svou velikostí (85,46 km<sup>2</sup>), ale také využitím území se zřejmým antropogenním vlivem. Vybrané hydrografické údaje, na které je odkazováno v textu, jsou uvedeny v Tabulce 11. GPS souřadnice jednotlivých odběrných profilů jsou uvedeny v Tabulce 10.

**Tabulka 10: GPS souřadnice odběrných profilů**

odběrný profil	zem. š. (° s.š.)	zem. délka (° v.d.)
TET	48.9200036N	14.0001628E
BL03	48.8896294N	13.9933881E
BL13	48.9572222N	13.9414697E
BL15	48.9264078N	13.9818775E

Zdroj: Mapy.cz

**Mapa 11: Zájmové povodí a profily horní Blanice**



Zdroj dat: ArcČR, DIBAVOD



### **Tetřívčí potok (TET)**

Jedná se o bezejmenný pravostranný přítok Tetřívčího potoka s plochou 1,61 km<sup>2</sup> (Mapa 11). Tetřívčí potok se nad obcí Zbytiny vlévá do Blanice. Průměrný průtok za období monitoringu činí 0,015 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, specifický odtok je 7,54 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup> (Tabulka 11). Povodí tohoto hlavního profilu je předmětem výzkumů KFGG zejména z hlediska hydrologie a pedologie, v minulých letech zde byly provedeny detailní pedologické průzkumy. Nejrozšířenějšími druhy půd jsou zde gleje a organozemě, dále pak půdy s různým stupněm oglejení, kryptopodzoly a kambizemě. Krajinný pokryv povodí tvoří především nepůvodní smrkové monokultury doplněné smíšeným lesem (Obrázek 13). Rašeliniště zaujímají plochu 3,27 % (AOPK, 2013). V povodí je patrný antropogenní vliv, nachází se zde pozůstatky sítě odvodňovacích příkopů. V pramenné oblasti se nachází obec Koryta, která je zdrojem antropogenního znečištění (Kodádková, 2014, Kalkus 2016, Špringerová, 2016).

### **Obrázek 13: Odběrný profil TET**

### **Obrázek 14: Okolí odběrného profilu BL03**



Zdroj: Fotografie autorky (2016 a 2019)

### **Blanice nad Arnoštovem (BL03)**

Povodí tohoto hlavního profilu zaujímá plochu 20,55 km<sup>2</sup> (Obrázek 14). Profil se nachází na výtoku Blanice z Vojenského újezdu Boletice nad zastavěným územím Arnoštova (Mapa 11). Průměrný průtok za období monitoringu je 0,270 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> a specifický odtok činí 11,34 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup> (Tabulka 11). Půdní pokryv je tvořen zejména kryptopodzoly, gleji, organozeměmi a kambizeměmi. Krajinný

pokryv ve Vojenském újezdu Boletice tvoří především nepůvodní jehličnaté lesy doplněné smíšeným porostem. V západní části, vystupující mimo území újezdu, a také ve východní části se rozprostírají hospodářské a mezofilní louky. Jsou zde přítomna rašeliniště, která lze nalézt i ve střední a dolní části zájmového povodí (AOPK, 2013).

### **Blanický mlýn (BL13)**

Největší zájmové povodí v rámci této práce má rozlohu 85,46 km<sup>2</sup> (Mapa 11). Povodí se rozkládá od pramenů Blanice až po závěrový profil celého povodí horní Blanice, Blanický mlýn, kde je umístěna limnigrafická stanice Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) (Obrázek 15). Průměrný průtok za období monitoringu je 0,740 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, specifický odtok tvoří 8,63 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup> (Tabulka 11). Pro zájmové území tohoto profilu lze použít charakteristiku povodí horní Blanice, území je totožné (kap. 4.3). Povodí představuje velké území celého horního toku řeky. Vyskytují se zde obce, silnice, zemědělské plochy a další antropogenní infrastruktura.

### **Obrázek 15: Odběrný profil BL13**

### **Obrázek 16: Okolí odběrného profilu BL15**



*Zdroj: Fotografie autorky (2019)*



**Tabulka 11: Vybrané parametry jednotlivých povodí**

parametr	jednotky/profil	TET	BL03	BL13
plocha povodí	km <sup>2</sup>	1,61	20,55	85,46
délka vodního toku	km	1,9	7,0	18,8
délka rozvodnice	km	5,35	22,86	48,43
hustota říční sítě	km.km <sup>-2</sup>	1,33	2,63	11,36
průměrný průtok	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	0,015	0,270	0,740
specifický odtok	l.s <sup>-1</sup> .km <sup>-2</sup>	7,54	11,34	8,63
max. kóta v povodí	m n.m.	947	1236	1236
min. kóta v povodí	m n.m.	825	836	750
převýšení	m	78	398	486

Zdroj dat: DIBAVOD, ČÚŽK, KFGG, Hintnaus, 2008 a 2011, Kalkus, 2016

### Spálenec (BL15)

Spálenec je jediným doplňkovým profilem na území horní Blanice (Obrázek 16). Vodní tok je pravostranným přítokem Blanice, zkoumána je pouze jeho pramenná část (Mapa 11). Plocha povodí tvoří pouze 0,53 km<sup>2</sup>. Průměrný průtok za období monitoringu činí 0,002 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, specifický odtok tvoří 3 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>. Půdní pokryv je tvořen kryptopodzoly, gleji a organozeměmi. Celá plocha povodí je zalesněna nepůvodním jehličnatým lesem (ČGS, AOPK, 2013).

## 5.2 Vyhodnocení krajinného pokryvu na základě Konsolidované vrstvy ekosystémů (KVES)

Krajinný pokryv byl vyhodnocen na základě Konsolidované vrstvy ekosystémů (KVES) poskytnuté pro zájmová území Agenturou ochrany přírody a krajiny České republiky (AOPK, 2013). Jde o podrobnou vrstvu krajinného pokryvu, která vznikla za spolupráce Agentury ochrany přírody a krajiny České republiky a Centra výzkumu globální změny Akademie věd České republiky CzechGlobe. Vrstva dělí krajinný pokryv České republiky do 41 kategorií (Tabulka 13 a 14). Podrobnost vrstvy se přibližuje terénnímu průzkumu mapování člověkem (Vačkář et al., 2014). KVES dělí krajinný pokryv do 7 základních kategorií. Pro zpracování této diplomové práce bylo klíčové vyhodnotit co nejpodrobněji krajinný pokryv, a proto jsou následující mapy a tabulky zpracovány na úrovni kategorie 4 (KAT4 v Tabulkách 13 a 14).

Pro tvorbu KVES bylo využito několik zdrojů, které vytvořily detailní mozaiku KVES. Jedná se o například o ZABAGED (ČÚŽK), DIBAVOD (VÚV), CORINE Land Cover (EEA) a Vrstvu mapování biotopů (AOPK). Příklad tvorby mapové vrstvy KVES je na příkladu kategorie rašeliniště a prameniště uveden v Tabulce 12.

**Tabulka 12: Zdroje KVES vstupující do tvorby vrstvy rašeliniště a prameniště**

5	Rašeliniště a prameniště	<p>VMB bez překryvů s vrstvou DIBAVOD A05 Vodní nádrže:</p> <p>R1.3 Lesní pěnovcová prameniště</p> <p>R1.4 Lesní prameniště bez tvorby pěnovců</p> <p>R1.5 Subalpínská prameniště</p> <p>R2.1 Vápnitá slatiniště</p> <p>R2.2 Nevápnitá mechová slatiniště</p> <p>R2.3 Přechodová rašeliniště</p> <p>R2.4 Zrašelinělé půdy s hrotnosemenkou bílou (<i>Rhynchospora alba</i>)</p> <p>R3.1 Otevřená vrchoviště</p> <p>R3.2 Vrchoviště s klečí (<i>Pinus mugo</i>)</p> <p>R3.3 Vrchovištní šlenky</p> <p>R3.4 Degradovaná vrchoviště</p> <p>T7 Slaniska</p>
---	--------------------------	---

Zdroj: AOPK (2013)

**Tabulka 13 a 14: Kategorie krajinného pokryvu dle metodiky KVES**

KAT1	KAT2	KAT3	KAT4
Urbánní systémy	Souvislá městská zástavba	Souvislá městská zástavba	Souvislá městská zástavba
	Nesouvislá městská zástavba	Nesouvislá městská zástavba	Nesouvislá městská zástavba
	Dopravní síť	Dopravní síť	Dopravní síť
	Průmyslové a obchodní jednotky	Průmyslové a obchodní jednotky	Průmyslové a obchodní jednotky
	Skládky a staveniště	Skládky a staveniště	Skládky a staveniště
	Městská zeleň	Přírodní	Přírodní biotopy ve městě
	Městská zeleň	Nepřírodní	Městské zelené plochy, okrasná zahrada, park, hřbitov
	Městská zeleň	Nepřírodní	Sportovní a rekreační plochy
Zemědělské ekosystémy	Orná půda	Orná půda	Orná půda
	Trvalé kultury	Vinice	Vinice
	Trvalé kultury	Chmelnice	Chmelnice
	Trvalé kultury	Ovocný sad, zahrada	Ovocný sad, zahrada
	Trvalé travní porosty/pastviny	Hospodářské louky	Hospodářské louky
Travní ekosystémy	Přírodě blízké traviny	Přírodní louky	Alpínské louky
	Přírodě blízké traviny	Přírodní louky	Aluviální a vlhké louky
	Přírodě blízké traviny	Přírodní louky	Mezofilní louky
	Přírodě blízké traviny	Přírodní louky	Suché trávníky
Lesní ekosystémy	Lesní půda se stromy	Hospodářské lesy	Hospodářské lesy jehličnaté
	Lesní půda se stromy	Hospodářské lesy	Hospodářské lesy listnaté
	Lesní půda se stromy	Hospodářské lesy	Hospodářské lesy smíšené
	Lesní půda se stromy	Přírodní lesy	Bučiny
	Lesní půda se stromy	Přírodní lesy	Doubravy a dubohabřiny
	Lesní půda se stromy	Přírodní lesy	Lužní a mokřadní lesy
	Bezlesí	Nepůvodní bezlesí	Nepůvodní kosodřevina
	Bezlesí	Nepůvodní bezlesí	Nepůvodní křoviny
	Bezlesí	Přírodní bezlesí	Přírodní kosodřevina

	Bezlesí	Přírodní bezlesí	Přírodní křoviny
	Lesní půda se stromy	Přírodní lesy	Rašelinné lesy
	Lesní půda se stromy	Přírodní lesy	Smrčiny
	Lesní půda se stromy	Přírodní lesy	Suché bory
	Lesní půda se stromy	Přírodní lesy	Suťové lesy
Území bez vegetace	Skalní útvary	Skály, lomy (umělé)	Skály, lomy (umělé)
	Skalní útvary	Skály, sutě	Skály, sutě
Mokřadní ekosystémy	Mokřady	Bažina, močál - ne přírodní rašeliniště	Bažina, močál
	Mokřady	Přírodní mokřady	Mokřady a pobřežní vegetace
	Mokřady	Rašeliniště přírodní	Rašeliniště a prameniště
Vodní ekosystémy	Vodní plochy	Přírodní vodní nádrže	Makrofytní vegetace stojatých vod
	Vodní plochy	Rybníky a nádrže	Rybníky a nádrže
	Vodní toky	Vodní toky nepřirodní	Vodní toky nepřirodní
	Vodní toky	Vodní toky přírodní	Vodní toky přírodní

Zdroj: AOPK (2013)

### 5.2.1 Krajinový pokryv zájmových povodí horní Vydry

V zájmových povodích horní Vydry se vyskytuje celkem 16 kategorií krajinového pokryvu. Nejvíce zastoupenou kategorií krajinového pokryvu jsou ve všech povodích smrčiny (Tabulka 15). Nezanedbatelnou část tvoří také kategorie nepřirodní křoviny, která je nejvíce zastoupena v povodí ROK (21,3 %) a nejméně v povodí CIK (0,6 %). Bažiny a močály se dle analýzy KVES nejvíce vyskytují v povodích PTA (1,9 %) a ROK (1,4 %). V povodích JAV (6,4 %) a ROK (3,6 %) jsou zastoupeny plochy bučin. Hospodářské lesy jehličnaté tvoří kromě povodí ROK (12,2 %) zanedbatelnou část povodí. To platí i pro hospodářské lesy smíšené a listnaté. I kategorie luk (alpínské louky, aluviální a vlhké louky, hospodářské louky a mezofilní louky) tvoří významnou součást krajinového pokryvu. Pouze v povodí BRE se vyskytují necelá 3 % luk, především mezofilních. Nesouvislá městská zástavba se v povodích téměř nevyskytuje. Rašeliniště a prameniště je dle KVES v povodích zastoupeno velmi nevyrovnaně. Nejméně těchto ploch se vyskytuje v povodí PTA (0,5 %), nejvíce v povodí ROK (22,6 %).

**Tabulka 15: Zastoupení kategorií [%] krajinného pokryvu v povodích horní Vydry dle KVES**

krajinný pokryv	PTA	JAV	CIK	BRE	ROK
Alpínské louky	0	0	0	0,281	0
Aluviální a vlhké louky	0,005	0	0	0	0
Bažiny, močály	1,878	0,001	0,321	0,443	1,381
Bučiny	0	6,350	0	0	3,643
Hospodářské lesy jehličnaté	0,881	0,481	0,936	0,383	12,159
Hospodářské lesy smíšené	0,108	0	0	0	0
Hospodářské lesy listnaté	0	0	0	0	0,001
Hospodářské louky	0	0,425	0	0,212	0
Mezofilní louky	0	1,438	0,120	2,332	2,902
Mokřady a pobřežní vegetace	0	0,005	0	0,056	0
Nepůvodní křoviny	10,904	2,647	0,624	21,295	2,583
Nesouvislá městská zástavba	0	0,082	0	0,070	0
Rašeliniště a prameniště	0,496	2,116	3,974	4,485	22,635
Rybníky a nádrže	0,045	0,013	0	0,092	0,234
Smrčiny	85,238	85,809	93,880	69,895	53,740
Vodní toky přírodní	0,430	0,633	0,145	0,458	0,724
celkem	100	100	100	100	100

Zdroj dat: AOPK (2013)

Povodí PTA se dle KVES vyznačuje dvěma rašelinnými ložisky (Mapa 12). Jedno rašelinné ložisko se vyskytuje nedaleko nad odběrným profilem, druhé ložisko je odvodňováno do Ptačího potoka až pod závěrovým profilem experimentálního povodí. Podél toku se vyskytují nepůvodní křoviny (10,9 %), bažiny a močály (1,9 %). Většinu povodí tvoří smrčiny (85, 2 %) (Tabulka 15).

Povodí JAV se vyznačuje několika rašelinnými ložisky v pramenných částech povodí (Mapa 13) a tvoří 2,1 % povodí. V jižní a jihozápadní části se vyskytují bučiny (6,4 %). Podél vodního toku jsou zastoupeny mezofilní louky (1,4 %). Nepůvodním křovinám patří 2,7 %. Převážnou část povodí tvoří smrčiny (85,8 %) (Tabulka 15).

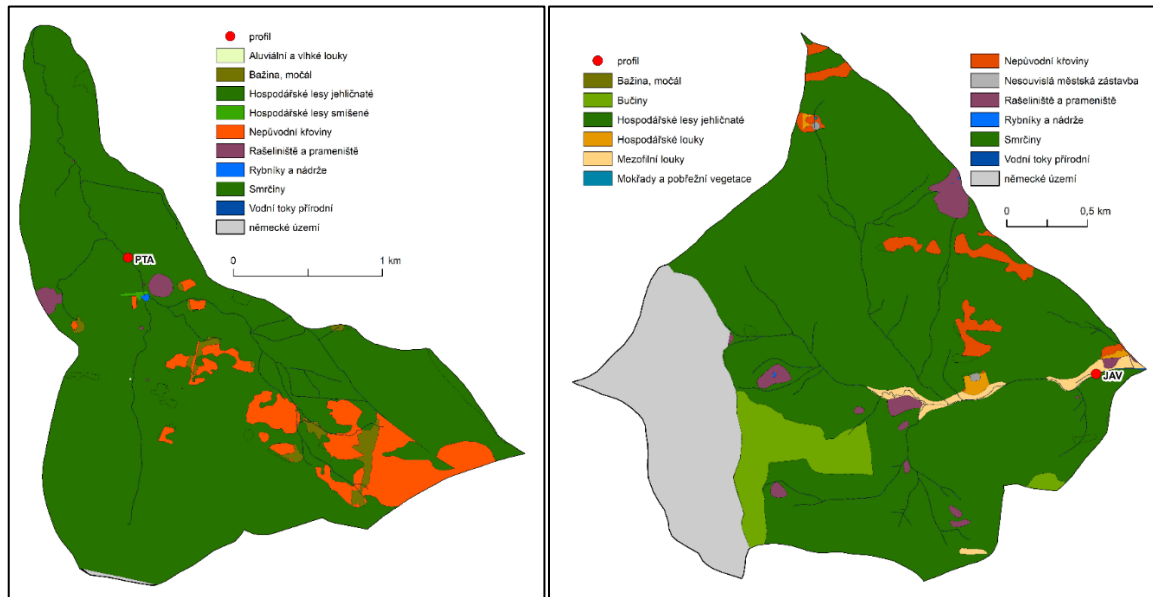
Povodí Cikánského potoka (CIK) se vyznačuje rašelinnými ložisky v pramenné části i podél vodního toku (Mapa 14). Rašeliniště zde tvoří 4 % povodí. V jižní části jsou nepatrně zastoupeny nepůvodní křoviny (0,6 %). Téměř celé povodí je pokryto smrčinami (93,9 %) (Tabulka 15).

V povodí Březnického potoka (BRE) se také vyskytují rašeliniště zejména v pramenné části (4,5 %) (Tabulka 15, Mapa 15). Výraznou plochou jsou zde nepůvodní křoviny (21,3 %). V závěrové části povodí se nacházejí mezofilní (2,3 %), alpínské (0,3 %) a hospodářské louky (0,2 %). Více než dvě třetiny povodí jsou tvořeny smrčinami (70 %).

Povodí Rokytky (ROK) je dle KVES charakteristické největším zastoupením rašelinišť a pramenišť v povodí (22,6 %). Ty se vyskytují téměř po celé délce toku ve velké míře (Mapa 16), Tabulka 15). V jižní části povodí se vyskytují mezofilní louky (2,9 %). V povodí jsou zastoupeny bažiny a močály (1,4 %), nepůvodní křoviny (2,6 %) a bučiny (3,6 %). Více než polovinu území (53, 7 %) tvoří smrčiny.

**Mapa 12: Krajinný pokryv povodí PTA dle KVES**

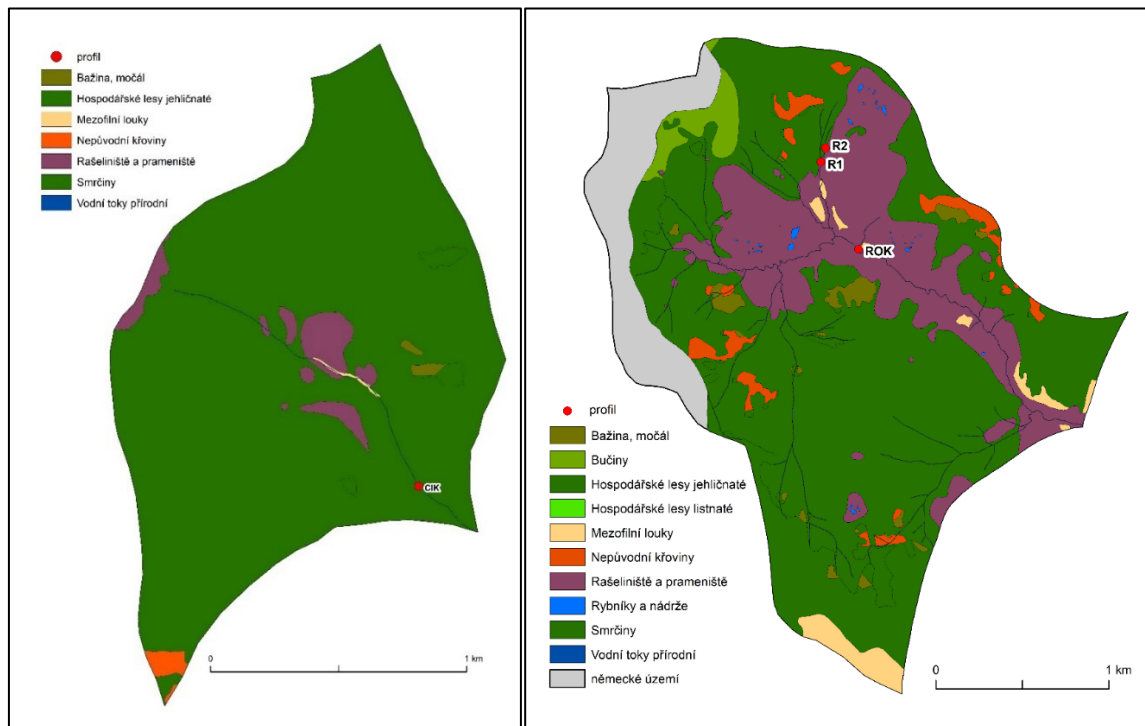
**Mapa 13: Krajinný pokryv povodí JAV dle KVES**



Zdroj dat: AOPK (2013)

**Mapa 14: Krajinný pokryv povodí CIK dle KVES**

**Mapa 16: Krajinný pokryv povodí ROK dle KVES**



Zdroj dat: AOPK (2013)

**Mapa 15: Krajinový pokryv povodí BRE dle KVES**



Zdroj dat: AOPK, 2013

### 5.2.2 Krajinový pokryv zájmových povodí horní Rolavy

Povodí horní Rolavy ROL1 a SLA2 se dle KVES vyznačují zastoupením podobných kategorií v různých poměrech (Tabulka 16). Nejzastoupenější kategorií jsou v obou povodích smrčiny, které v povodí ROL1 tvoří polovinu území (50,4 %) a v povodí SLA2 více než dvě třetiny území (70,2 %). Rašeliniště a prameniště jsou dle KVES více zastoupeny v povodí ROL1 (14,5 %) než v povodí SLA2 (7,5 %). Povodí ROL1 má také více mezofilních luk (14,2 %) než povodí SLA2 (6 %) a hospodářských lesů jehličnatých (16,7 % a 7,7 %). Nepůvodní křoviny jsou v povodích zastoupeny jen na nepatrné ploše (2,3 % a 1,9 %). V povodí SLA2 se vyskytuje 5,8 % hospodářských lesů smíšených.

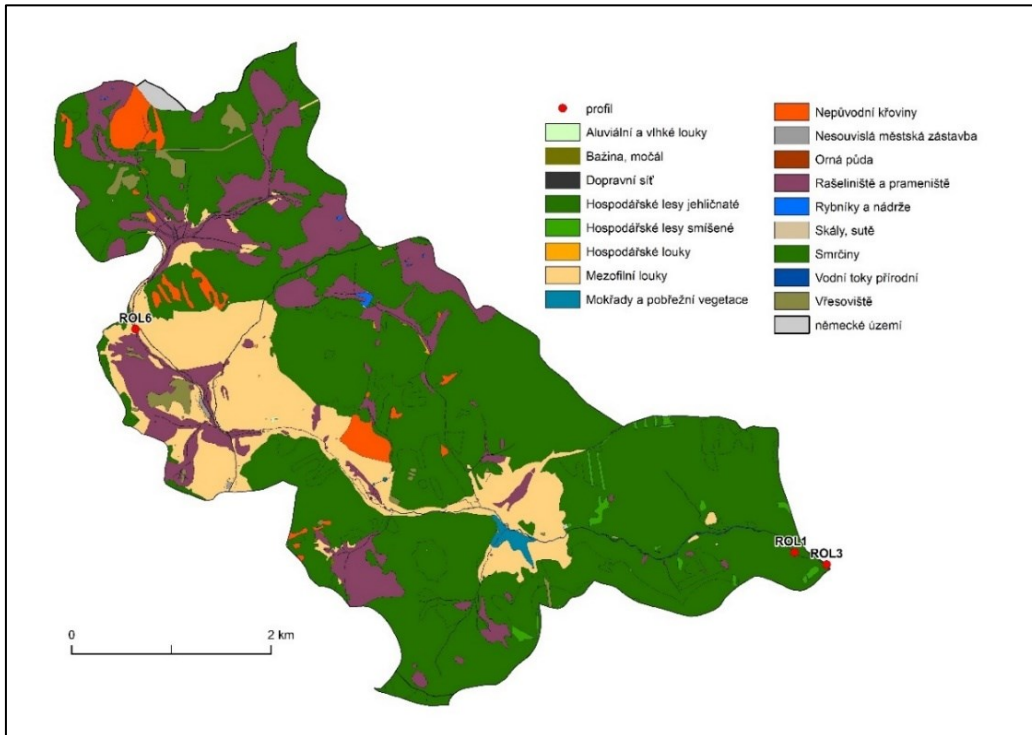
**Tabulka 16: Zastoupení kategorií [%] krajinného pokryvu v povodích horní Rolavy dle KVES**

krajinný pokryv	ROL1	SLA2
Aluviální a vlhké louky	0,0097	0,0113
Bažiny, močály	0,0480	0,0247
Dopravní síť	0,1704	0,3840
Hospodářské lesy jehličnaté	16,7401	7,7296
Hospodářské lesy smíšené	0,5226	5,7781
Hospodářské louky	0,0842	0,0624
Lužní a mokřadní lesy	0	0,0030
Mezofilní louky	14,2148	6,0120
Mokřady a pobřežní vegetace	0,4013	0,0064
Nepůvodní křoviny	2,2940	1,8778
Nesouvislá městská zástavba	0,0464	0,0099
Orná půda	0,0003	0
Rašeliniště a prameniště	14,5214	7,4706
Rybníky a nádrže	0,0812	0,0094
Skály, sutě	0,0032	0,0006
Smrčiny	50,4395	70,2295
Vodní toky přírodní	0,4164	0,3804
Vřesoviště	0,0066	0,0102
celkem	100	100

Zdroj dat: AOPK (2013)

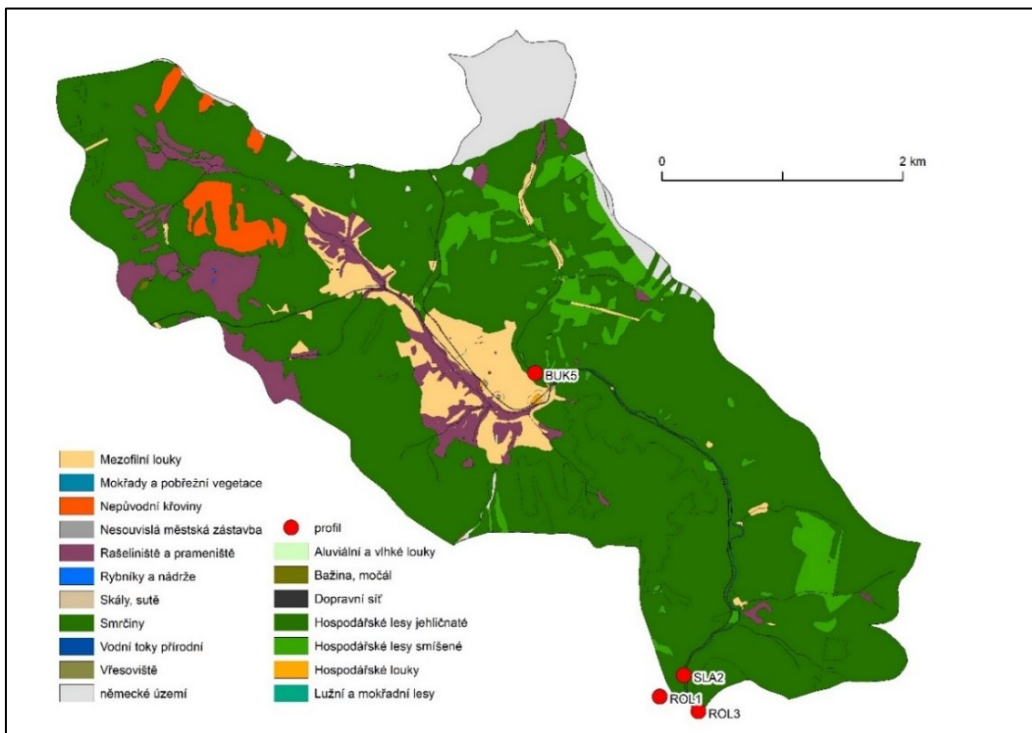
Povodí horní Rolavy (profil ROL1) je typické výskytem rašelinišť (14,5 %) zejména v pramenné části (Mapa 17). Na výrazných plochách podél vodního toku se vyskytují mezofilní louky (14,2 %). Většinu povodí tvoří jehličnaté lesy vyjádřené kategoriemi smrčiny (50,4 %) a hospodářské lesy jehličnaté (16,7 %). Nepatrnou část horního a středního toku tvoří nepůvodní křoviny (2,3 %). Ostatní kategorie, včetně zemědělských ploch a zástavby tvoří v povodí nepatrné plochy (Tabulka 16). Povodí Slatinného potoka (SLA2) je dle KVES charakterizováno menším zastoupením rašelinišť v povodí (7,5 %). Rašeliniště se vyskytují především na horním a středním toku (Mapa 18). Většinu povodí tvoří lesy, zejména smrčiny (70,2 %), hospodářské lesy jehličnaté (7,7 %) a v dolní části povodí a v povodí levostranného přítoku BUK5 i hospodářské lesy smíšené (5,8 %). Horní a střední část toku je kromě rašelinišť obklopena i mezofilními loukami (6 %). V horní části toku se vyskytují nepůvodní křoviny (1,9 %). Ostatní kategorie tvoří, stejně jako v povodí ROL1, pouze nepatrné plochy (Tabulka 16).

Mapa 17: Krajinný pokryv povodí ROL1 dle KVES



Zdroj dat: AOPK (2013)

Mapa 18: Krajinný pokryv povodí SLA2 dle KVES



Zdroj dat: (AOPK, 2013)



### 5.2.3 Krajinový pokryv zájmových povodí horní Blanice

Krajinový pokryv jednotlivých povodí horní Blanice je dle KVES velmi různorodý (Tabulka 17). Je to dáno rozdílnou velikostí povodí (kap. 5.1.3) i rozdílným využitím území. Nejvíce zastoupenou kategorií jsou ve všech povodích hospodářské lesy jehličnaté, které tvoří až dvě třetiny krajinového pokryvu povodí v povodí TET (65,2 %). V povodích profilů BL03 a BL13 je jejich zastoupení menší než polovina plochy povodí (47,4 % a 43,9 %). Jehličnaté lesy jsou zastoupeny i v podobě smrčín. Nejvíce smrčín lze nalézt v povodí BL03 (13,6 %), nejméně v povodí TET (1,8 %). Povodí BL13 vykazuje zastoupení 7,2 % smrčín. Smíšené lesy se v povodí TET vůbec nevyskytují, v povodí BL03 tvoří zanedbatelnou část území (0,6 %), v povodí BL13 je jejich rozloha nepatrná (2 %). Listnaté lesy ve formě bučin se vyskytují ve všech povodích. V povodí TET se nachází 4,7 % bučin, protože jsou zde zastoupeny spíše jehličnaté lesy. Bučiny tvoří téměř čtvrtinu území povodí BL03 (23,5 %) a přibližně desetinu plochy území povodí BL13 (11,4 %). Listnaté lesy v podobě hospodářských lesů listnatých se vyskytují pouze v povodí BL13, a to na nepatrné ploše (0,6 %). Rašeliniště tvoří malou část všech povodí. V povodí TET se vyskytují 3 % rašelinišť, v povodí BL03 4 % rašelinišť a v povodí BL13 3,3 % rašelinišť. V povodích TET a BL13 tvoří přibližně pětinu území hospodářské louky (20,8 % a 19,2 %). V povodí BL03, které se nachází ve Vojenském újezdu Boletice, jsou hospodářské louky zastoupeny 5,1 %. Mezofilní louky jsou v povodí zastoupeny malou měrou. V povodí TET je to 2,5 %, v povodí BL03 4,6 % a v povodí BL13 7,2 %. Především v povodí BL13 je patrné malé zastoupení ploch vytvořených antropogenně (dopravní síť, nesouvislá městská zástavba, průmyslové a obchodní jednotky aj.).

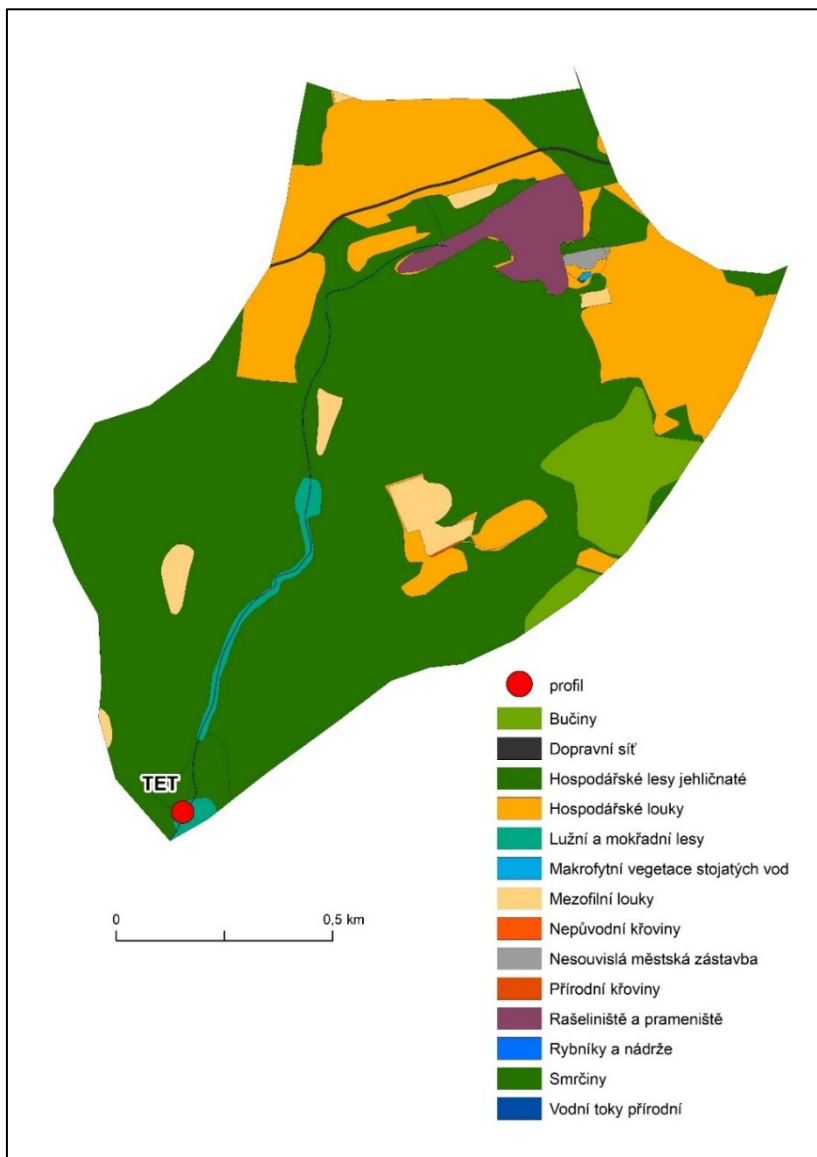
V povodí TET se vyskytují rašelinná ložiska (3 %) v pramenné oblasti (Mapa 19, Tabulka 17). V horní části povodí se nacházejí kategorie krajinového pokryvu hospodářské louky (20,8 %) a nesouvislá městská zástavba (0,2 %), které představují lidskou činnost v podobě obce Koryta. V horní části povodí vede cesta, zde uvedená jako kategorie dopravní síť (0,3 %). Ve východní části povodí se nacházejí bučiny (4,7 %). Střední a dolní část toku obklopují lužní a mokřadní lesy (1,3 %). Malou plochou jsou v povodí TET zastoupeny mezofilní louky (2,5 %). Přibližně dvě třetiny plochy povodí tvoří jehličnaté lesy zastoupené kategoriemi hospodářské lesy jehličnaté (65,2 %) a smrčiny (1,8 %).

**Tabulka 17: Zastoupení kategorií [%] krajinného pokryvu v povodích horní Blanice dle KVES**

krajinný pokryv	TET	BL03	BL13
Aluviální a vlhké louky	0	0,2163	0,8532
Bažiny, močály	0	0,6581	0,6586
Bučiny	4,7378	23,4725	11,4211
Dopravní síť	0,3167	0	0,2610
Hospodářské lesy jehličnaté	65,1567	47,3633	43,8543
Hospodářské lesy listnaté	0	0	0,5785
Hospodářské lesy smíšené	0	0,6092	2,0369
Hospodářské louky	20,7570	5,1106	19,1959
Lužní a mokřadní lesy	1,2934	0,3974	0,8523
Makrofytní vegetace stojatých vod	0,0239	0	0,0082
Mezofilní louky	2,4920	4,5659	7,2417
Městské zelené plochy	0	0	0,0049
Mokřady a pobřežní vegetace	0	0,0010	0,0761
Nepůvodní křoviny	0,0006	0,2039	0,4884
Nesouvislá městská zástavba	0,2159	0,0171	0,5527
Orná půda	0	0,0030	0,0033
Průmyslové a obchodní jednotky	0	0	0,0769
Přírodní křoviny	0,0241	0,0274	0,1992
Rašeliniště a prameniště	2,9473	4,0619	3,2736
Rašelinné lesy	0	0,0442	0,4681
Rybníky a nádrže	0,0032	0	0,0162
Skály, sutě	0	0,1806	0,0751
Skládky a staveniště	0	0,0067	0,0607
Smrčiny	1,8219	13,6351	7,1464
Sportovní a rekreační plochy	0	0	0,0269
Suché bory	0	0	0,0824
Suťové lesy	0	0,0108	0,0026
Vodní toky přírodní	0,2094	0,4151	0,4467
Vřesoviště	0	0	0,0382
celkem	100	100	100

Zdroj dat: AOPK (2013)

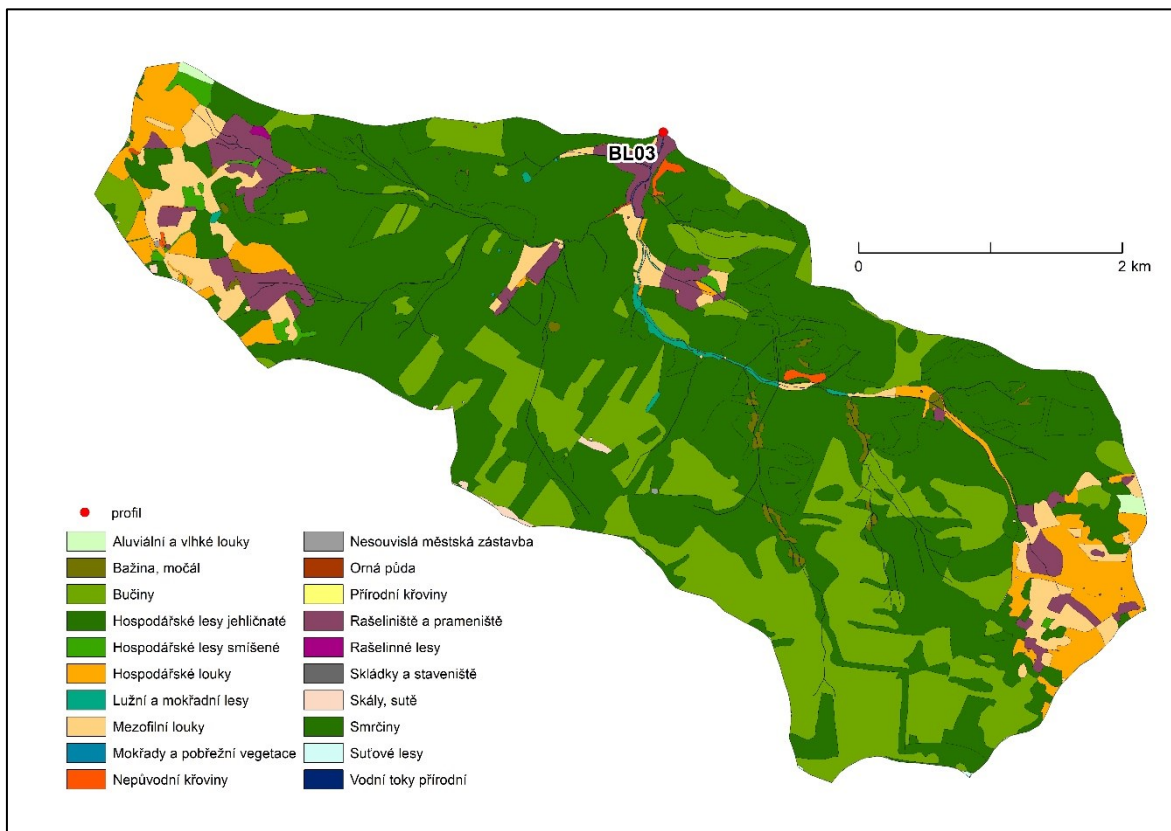
Mapa 19: Krajinný pokryv povodí TET dle KVES



Zdroj dat: AOPK (2013)

Dvě třetiny BL03 tvoří, stejně jako povodí TET, jehličnaté lesy (Mapa 20, Tabulka 17). Zde jsou zastoupeny kategoriemi hospodářské lesy jehličnaté (47,4 %) a smrčiny (13,6 %). Listnaté lesy, zastoupené kategorií bučiny, tvoří 23,5 % plochy povodí a jsou rozesety po celé ploše povodí. Ve východní a západní části v pramenných částech povodí se vyskytují hospodářské louky (5,1 %) a mezofilní louky (4,6 %). Ty se, stejně jako rašeliniště, vyskytují ještě především na dolním toku povodí. Celková plocha rašelinišť v povodí tvoří 4,1 %. Na horních tocích v pravé části povodí jsou typické bažiny a močály (0,7 %). Střední toky v pravé části povodí jsou obklopeny lužními a mokřadními lesy (0,4 %).

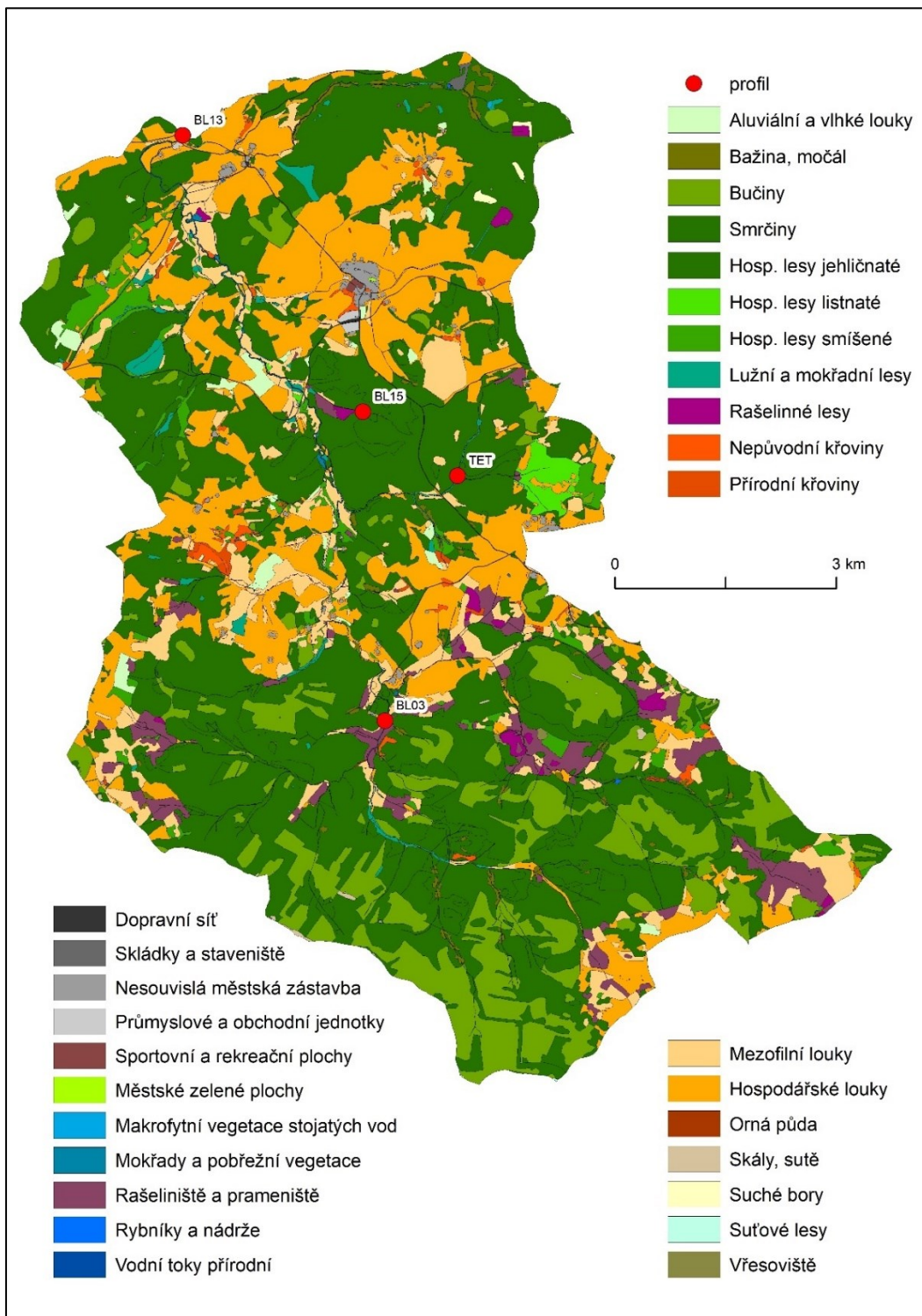
**Mapa 20: Krajinový pokryv povodí BL03 dle KVES**



Zdroj dat: AOPK (2013)

Povodí BL13 je díky své velikosti charakterizováno velmi pestrá mozaikou krajinového pokryvu (Mapa 21, Tabulka 17). V povodí jsou na více než polovině území zastoupeny jehličnaté lesy kategoriemi hospodářské lesy jehličnaté (43,9 %) a smrčiny (7,2 %). Smíšené lesy tvoří 2 % povodí a listnaté lesy více než desetinu území. Kategorie bučiny tvoří 11,4 % a vyskytují se především v pramenné oblasti v jižní části povodí, které spadá i do povodí BL03. Kategorie hospodářské lesy listnaté tvoří 0,6 % a nacházejí se pouze ve východní části povodí, nedaleko povodí TET. Téměř pětinu plochy povodí tvoří hospodářské louky (19,2 %), které jsou rozesety v celém povodí, nejvíce v jeho střední a severní části, tedy na středním a dolním toku. Hospodářské louky doplňují mezofilní louky (7,3 %) s přibližně stejným rozložením ploch v povodí. Rašeliniště tvoří 3,3 % a vyskytují se především v pramenné části povodí, které představuje povodí BL03. Rašeliniště jsou doplněny rašelinnými lesy (0,5 %). Zastavěné plochy jsou dohromady zastoupeny na necelých 2 % plochy, zejména v jižní části povodí, kde se nachází obec Zbytiny.

Mapa 21: Krajinný pokryv v povodí BL13 dle KVES



Zdroj dat: AOPK, 2013

#### 5.2.4 Analýza krajinného pokryvu z KVES a jiných zdrojů

Krajinný pokryv byl zpracován z Konsolidované vrstvy ekosystémů (KVES) poskytnuté pro zájmová území (AOPK, 2013) v kap. 5.2. Pro povodí zasahující částečně na německou stranu hor byl předpokládán podobný krajinný pokryv. To bylo ověřeno z nově vzniklých podkladů CORINE

Land Cover 2018 (EEA, 2018). CORINE Land Cover 2018 je méně podrobná podkladová vrstva zpracování krajinného pokryvu. Neobsahuje tolik dílčích kategorií a plochy krajinného pokryvu jsou zde oproti KVES generalizovány. Základní kategorie krajinného pokryvu (lesy, mokřady, zemědělské plochy) jsou zde ale relativně dobře rozlišitelné. Skladba jednotlivých kategorií krajinného pokryvu CORINE Land Cover 2018 na německém území zájmových povodí vystihuje stejný ráz krajiny jako KVES na českém území zájmových povodí.

Pro všechna základní zájmová povodí byly vytvořeny mapy krajinného pokryvu a vypočítáno zastoupení jednotlivých kategorií krajinného pokryvu (kap. 5.2), které je znázorněno formou tabulek a grafů. Pro zpracování této práce je důležité především zastoupení rašelinišť v povodí, které je zde vyjádřeno kategorií mokřadní plochy. Při porovnání výsledků analýzy krajinného pokryvu KVES s výsledky z jiných mapových podkladů, prací a terénního průzkumu, byly zjištěny především v oblasti horní Vydry nesrovnalosti. Problematické je stanovení zejména kategorií lesů a rašelinišť. Zastoupení ploch rašelinišť je dle KVES velmi nízké a zastoupení ploch lesů, zejména smrčín, naopak velmi vysoké. Stanovení ploch rašelinišť je obecně velmi obtížné z důvodu výskytu různých typů rašelinišť (vrchovištní, přechodná) a různých způsobů metodiky tvorby mapových podkladů (Kocum, 2012, Vlček et al., 2016).

V Tabulce 18 je uvedeno porovnání ploch rašelinišť na základě analýzy KVES (kap. 5.2) a na základě dat z práce Kocuma (2012). Ten zpracoval rozlohu rašelinišť pro stejná zájmová povodí horní Vydry na základě mapové vrstvy ZABAGED močály a bažiny. Data uvedená ve sloupci KVES představují kategorii mokřadní ekosystémy dle metodiky KVES (Tabulka 13 a 14). Do této kategorie patří kategorie bažiny a močály, mokřady a pobřežní vegetace a rašeliniště a prameniště. Rozdíly v zastoupení kategorií v mapování KVES a ZABAGED jsou velké. KVES například uvádí plochu rašelinišť pro povodí CIK 4,3 % a Kocum (2012) 31 %. Oba mapové podklady se shodnou pouze ve vymezení rašelinišť v povodí ROK (24,02 % a 23,1 %). Hojovec (2018) vypracoval detailní vektorizaci nad satelitními snímky a určil v povodí ROK podobnou plochu rašelinišť v povodí (26,02 %).

**Tabulka 18: Procentuální zastoupení ploch rašelinišť dle KVES a ZABAGED**

povodí	KVES	ZABAGED (Kocum, 2012)
PTA	2,37	12
JAV	2,12	6,8
CIK	4,30	31
BRE	4,98	14,9
ROK	24,02	23,1

*Zdroj dat: AOPK (2013), ZABAGED (Kocum, 2012)*

Dle detailní metodiky KVES (AOPK, 2013 a Tabulka 12) lze konstatovat, že tento mapový podklad není příliš vhodný pro zpracování analýz krajinného pokryvu s ohledem na koncentrace

DOC v rámci této práce. Rašeliniště ovlivňují koncentrace DOC, a proto je jejich vymezení v metodice KVES pro účely této práce nedostačující. S ohledem na jiné mapové podklady a vlastní orientační analýzu podloženou terénním průzkumem bylo přistoupeno k úpravě zastoupení kategorií KVES pro účely dalších analýz. V Tabulce 19 je uvedena metodika zpracování kategorie smrčiny. Kategorie byla vytvořena na podkladu Vrstvy mapování biotopů (AOPK, 2012) z tříd uvedených v tabulce. Některé třídy by mohly být v KVES přiřazeny do kategorie rašelinišť a mokřadních ploch, z čehož by se zastoupení rašelinišť zvýšilo, a naopak zastoupení smrčín, které je v KVES vysoké, snížilo.

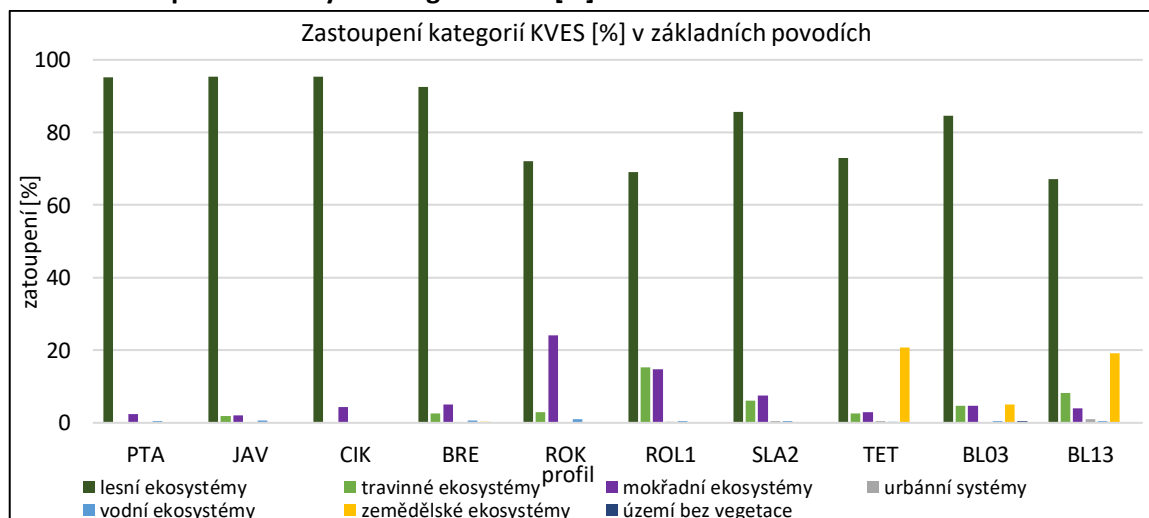
**Tabulka 19: Zdroje tvorby kategorie smrčiny v KVES**

3	Smrčiny	VMB: L9.1 Horské třtinové smrčiny L9.2A Rašelinné smrčiny L9.2B Podmáčené smrčiny L9.3 Horské papratkové smrčiny
---	---------	--

Zdroj: AOPK (2013)

Do zpracování analýz v rámci této práce tedy vstupovalo upravené vymezení kategorií. Pro vymezení kategorie rašelinišť a zamokřených ploch bylo použito zpracování použité v práci Kocuma (2012) z podkladu ZABAGED močály a bažiny. O plochy z této metodiky byly v analýzách poníženy kategorie smrčín. V Grafech 9 a 10 jsou znázorněny sloučené kategorie KVES pro analyzovaná povodí. Zobrazení všech kategorií by nebylo v grafech názorné. V Grafu 9 je uvedeno zastoupení kategorií vypracovaných z KVES s vysokým podílem lesních ekosystémů zahrnujících smrčiny. V Grafu 10 je uvedeno zastoupení kategorií vypracovaných z KVES s úpravou ZABAGED kategorie mokřadní ekosystémy, které zahrnují rašeliniště a kategorie lesní ekosystémy, které zahrnují smrčiny. Procentuální zastoupení sloučených kategorií krajinného pokryvu KVES a po úpravě kategorií je uvedeno v Tabulce 20 a 21.

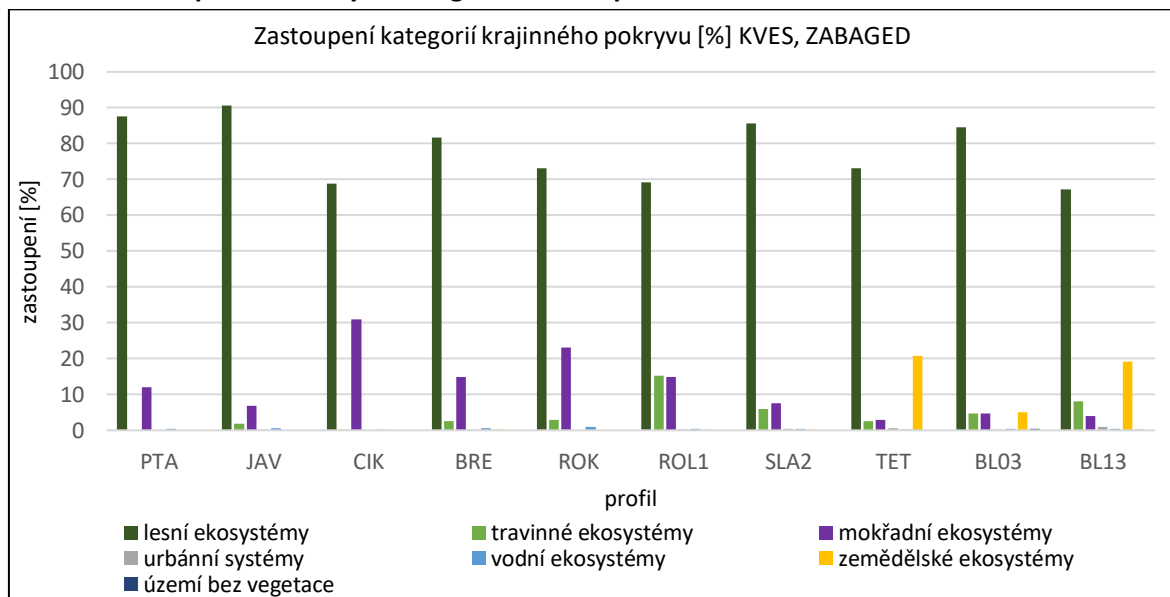
**Graf 9: Zastoupení sloučených kategorií KVES [%]**



Zdroj dat: AOPK (2013)



**Graf 10: Zastoupení sloučených kategorií KVES s úpravou ZABAGED**



Zdroj dat: AOPK (2013), ZABAGED, Kocum (2012)

**Tabulka 20: Zastoupení [%] sloučených kategorií krajinného pokryvu KVES**

kategorie	PTA	JAV	CIK	BRE	ROK	ROL1	SLA2	TET	BL03	BL13
lesní ekosystémy	<b>95,15</b>	<b>95,29</b>	<b>95,44</b>	<b>92,45</b>	<b>72,12</b>	69,15	85,62	73,03	84,57	67,15
travninné ekosystémy	0,00	1,86	0,12	2,61	2,90	15,27	6,03	2,49	4,77	8,14
mokřadní ekosystémy	<b>2,37</b>	<b>2,12</b>	<b>4,30</b>	<b>4,98</b>	<b>24,02</b>	14,79	7,50	2,95	4,71	4,01
urbánní systémy	0,00	0,08	0,00	0,07	0,00	0,21	0,39	0,53	0,02	0,96
vodní ekosystémy	0,47	0,65	0,15	0,55	0,96	0,49	0,39	0,24	0,41	0,47
zemědělské ekosystémy	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,08	0,06	20,76	5,10	19,20
území bez vegetace	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,08

Zdroj dat: AOPK (2013)



**Tabulka 21: Zastoupení [%] sloučených kategorií krajinného pokryvu KVES po úpravě kategorií**

kategorie	PTA	JAV	CIK	BRE	ROK	ROL1	SLA2	TET	BL03	BL13
lesní ekosystémy	<b>87,53</b>	<b>90,61</b>	<b>68,74</b>	<b>81,66</b>	<b>73,04</b>	69,15	85,62	73,03	84,57	67,15
travné ekosystémy	0,00	1,86	0,12	2,61	2,90	15,27	6,03	2,49	4,77	8,14
mokřadní ekosystémy	<b>12,00</b>	<b>6,80</b>	<b>31,00</b>	<b>14,90</b>	<b>23,10</b>	14,79	7,50	2,95	4,71	4,01
urbánní systémy	0,00	0,08	0,00	0,07	0,00	0,21	0,39	0,53	0,02	0,96
vodní ekosystémy	0,47	0,65	0,15	0,55	0,96	0,49	0,39	0,24	0,41	0,47
zemědělské ekosystémy	0,00	0,00	0,00	0,21	0,00	0,08	0,06	20,76	5,10	19,20
území bez vegetace	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,08

Zdroj dat: AOPK (2013), ZABAGED, Kocum (2012)

Vymezení kategorií KVES v zájmovém území horní Rolavy odpovídá vymezením na základě jiných mapových podkladů. Vlach zpracoval ve své bakalářské práci (2016) analýzu krajinného pokryvu horní Rolavy na základě podkladu Corine Land Cover 2012 (CLC 2012) a ve své diplomové práci (2019) analýzu krajinného pokryvu pro stejné území na základě podkladu Corine Land Cover 2018 (CLC 2018). Jehličnaté lesy tvoří dle analýz 68,05 % (CLC 2012) a jehličnaté lesy a nízký porost v lese celkem 72,53 % (CLC 2018). Dle analýzy KVES tvoří lesní ekosystémy v zájmovém území (ROL1) celkem 69,15 %. Louky a pastviny tvoří 16,05 % (CLC 2012) a louky a pastviny a přírodní louky 17,45 % (CLC 2018). Dle analýzy KVES tvoří travinné ekosystémy v povodí ROL1 15,27 %. Rašeliniště tvoří dle Vlacha (2016 a 2019) 15,9 % území (CLC 2012) a 13,79 % (CLC 2018). Dle analýzy KVES tvoří mokřadní ekosystémy 14,79 %.

V povodí Slatinného potoka (SLA2) zpracoval Vlach (2019) také analýzu krajinného pokryvu s pomocí CLC 2018. Jehličnatý les a nízký porost v lese tvoří 89,72 %. Dle analýzy KVES tvoří lesní ekosystémy 85,62 % (Tabulka 20). Přírodní louky tvoří dle Vlacha (2019) 7,55 %, dle analýzy KVES tvoří travinné ekosystémy 6,03 %. Rašeliniště zaujímají plochu 2,73 % dle CLC 2018, dle analýzy KVES tvoří mokřadní ekosystémy 7,5 %.

V povodí horní Blanice zpracoval krajinný pokryv v povodí TET Malý (2009) na základě vlastního terénního mapování. Lesy zde podle něj tvoří 68 %. Dle analýzy KVES tvoří lesní ekosystémy 73,03 %. Třetinu území (31 %) zaujímají dle Malého (2009) louky. Dle analýzy KVES tvoří travinné ekosystémy a zemědělské ekosystémy tvořené hospodářskými loukami 23,25 % (Tabulka 20). Vymezení kategorií KVES v zájmovém území horní Blanice lze použít pro účely této práce bez úpravy zastoupení kategorií.

V Tabulce 22 jsou uvedeny změny zastoupení kategorií smrčiny a rašelinišť a pramenišť po úpravě. Jde o změny dat Tabulky 15, které vstupují do shlukové analýzy. Názvy sloučených kategorií krajinného pokryvu dle metodiky KVES a obecně používané názvosloví kategorií krajinného pokryvu jsou uvedeny v Tabulce 23.

**Tabulka 22: Změny zastoupení kategorií smrčiny a rašelinišť po úpravě**

	KVES smrčiny	KVES smrčiny po úpravě	KVES rašeliniště	KVES rašeliniště po úpravě
PTA	85,24	73,73	0,50	12,00
JAV	85,81	81,13	2,12	6,80
CIK	93,88	66,85	3,97	31,00
BRE	69,89	59,48	4,48	14,90
ROK	53,74	53,27	22,64	23,10

*Zdroj dat: AOPK (2013), ZABAGED, Kocum (2012)*

**Tabulka 23: Názvy sloučených kategorií KVES a standardní názvosloví**

KVES	STANDARDNÍ
Urbánní ekosystémy	Zastavěné plochy
Zemědělské ekosystémy	Zemědělské plochy
Travní ekosystémy	Přírodní louky
Lesní ekosystémy	Lesy
Mokřadní ekosystémy	Rašeliniště a mokřady
Vodní ekosystémy	Vodní plochy
Území bez vegetace	Ostatní plochy

*Zdroj: AOPK (2013)*

## 6 Metody a zdroje dat

### 6.1 Sběr dat v terénu a laboratorní analýzy

Do všech zájmových povodí se v průběhu jednoho hydrologického roku uskuteční průměrně pět až šest terénních výjezdů. Odběry mají reprezentovat jednotlivá roční období a významné srážko-odtokové události. To může být zejména jarní tání sněhu, letní období sucha, přívalové deště během léta a podzimní deště. Při těchto událostech byla zkoumána reakce jednotlivých povodí, vývoj koncentrací organického uhlíku a dalších geochemických parametrů ve vazbě na průtok.

Monitoring započal měřením koncentrací organického uhlíku v roce 2014 na hlavních odběrných profilech. Další profily na horní Blanici BL03 a BL13 se do výzkumu koncentrací organického uhlíku připojily v roce 2016, ale počtem vzorků se již dají srovnávat s ostatními hlavními profily. Doplnkové profily na horní Rolavě BUK5 a ROL6 a profil BL15 na horní Blanici započaly svůj monitoring až v letech 2017 a 2018. Z tohoto důvodu tyto profily nevstupují do všech analýz spolu s hlavními profily a tvoří pouze tzv. doplňkové profily pro orientační měření. Počty celkově odebraných a vyhodnocených vzorků vody a počáteční roky měření jsou uvedeny v Tabulce 24.

**Tabulka 24: Počet analyzovaných vzorků vody ke zjištění koncentrací rozpuštěného organického uhlíku (DOC) a počáteční roky měření v jednotlivých profilech**

profil	počátek měření	počet vzorků
PTA	2014	19
JAV	2014	19
CIK	2014	19
BRE	2014	19
ROK	2014	31
ROK-R1	2014	76 (30+46)*
ROK-R2	2014	29
ROL1	2014	17
SLA2	2014	18
ROL3	2016	15
BUK5	2018	7
ROL6	2018	6
TET	2014	19
BL03	2016	12
BL13	2016	14
BL15	2017	8

Zdroj dat: KFGG

Vysvětlivky: \* tento profil byl podroben samostatnému výzkumu s pomocí automatického vzorkovače během roku 2016 (46 vzorků)

Při terénním výjezdu je na odběrných profilech měřen průtok hydrometrickou vrtulí (typ Ott C2 a C31) a přístrojem Flow Tracker (SONTEK). Některé profily mají své automatické stanice, které jsou vybaveny ultrazvukovými hladinoměry a přístroji měřícími kontinuálně výšku hladiny. Tyto stanice jsou umístěny na profilech PTA, JAV, CIK, BRE, ROK, TET, BL03 a SLA2 (Obrázek 17). Některé stanice měří také teplotu vody, konduktivitu, pH a další parametry a automaticky je v deseti minutovém chodu odesílají do webové aplikace. Dále byla využita data z meteorologických stanic KFGG. V povodí horní Vydry se na zájmových profilech vyskytují tři automatické meteorologické stanice na profilech ROK, BRE a PTA. Stanice měří základní meteorologické prvky (teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, úhrn srážek) a další doplňkové prvky má každá stanice vlastní (směr a rychlost větru, globální radiace, přízemní teplota vzduchu, teplota půdy, teplota sněhových vrstev, výška sněhu, vodní hodnota sněhu aj.). V povodí horní Rolavy se nachází jedna stanice (SLA2) a v povodí horní Blanice to jsou dvě stanice. Informace o měřících stanicích jsou dostupné na webových stránkách výzkumné skupiny hydrologie KFGG (UK, 2019). Data KFGG byla v některých případech doplněna daty o průtocích a srážkách ze stanic Českého hydrometeorologického ústavu nacházejících se v zájmových povodích, například limnigrafická stanice Chaloupky v zájmovém povodí horní Rolavy (ČHMÚ, 2019).

**Obrázek 17: Automatická stanice v povodí Slatinného potoka (SLA2)**

**Obrázek 18: Odebrané vzorky vody pro analýzu DOC**



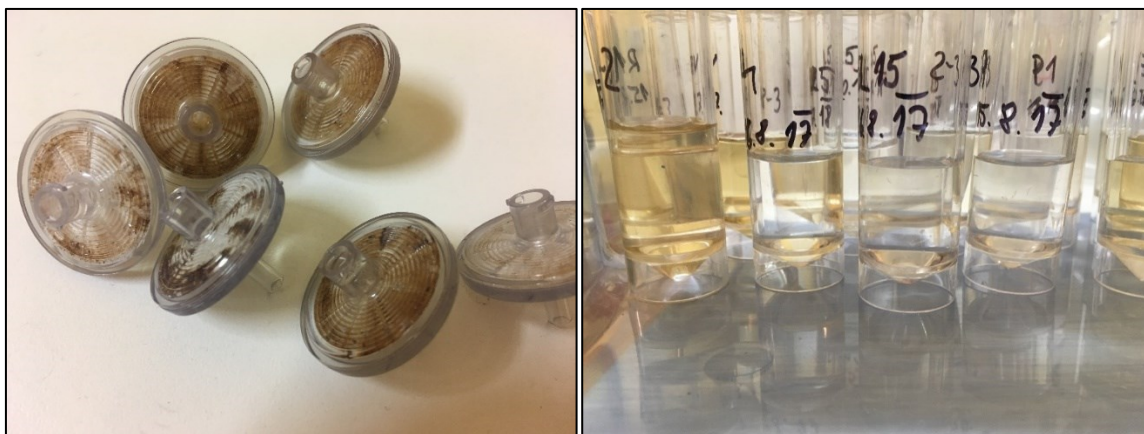
Zdroj: Fotografie autorky (2018)

V roce 2016 proběhlo v zájmovém území horní Vydry na profilu Rokytky ROK-R1 několik odběrných kampaní pomocí automatického vzorkovače ISCO. Během léta a podzimu proběhlo 5 kampaní v termínech 12.-14.7., 24.-25.7., 27.-28.7., 2.-4.10., 6.-7.10. Během pozorování byl měřen vodní stav v desetiminutovém chodu a odebírány vzorky vody pro stanovení koncentrací organického uhlíku v rozmezí 1,5 až 6 hodin. Ve všech případech je jednalo o nástup a pokles srážko-odtokové události, celkem bylo zachyceno 10 maxim průtoků. Celkem bylo vyhodnoceno 46 vzorků vody (Tabulka 24) pro které byla stanovena koncentrace rozpuštěného organického uhlíku. Tato metoda je významná vzhledem k možnému určení reakce organického uhlíku na změny průtoků během jednotlivých srážko-odtokových událostí.

Vzorky vody pro měření koncentrací organického uhlíku jsou odebírány do průhledných plastových lahviček o objemu 100 ml (Obrázek 18). Lahvičky jsou poté skladovány na temném a chladném místě a jsou převezeny do laboratoře Ekohydrologie KFGG v Praze. Zde je vzorek vody přefiltrován přes 0,45 µm membránový filtr a zamrazen (Obrázek 19 a 20). Vzorky vody pro vyhodnocení ostatních sledovaných parametrů jsou odebírány do plastové lahve o objemu 1,5 litru. Vybrané parametry jsou určovány standardními metodami v laboratoři Ústavu pro životní prostředí Přírodovědecké fakulty. Vzorky vody jsou odebírány také do zkumavek a následně analyzovány v geochemické laboratoři Geologických ústavů Přírodovědecké fakulty. Stanovovanými parametry jsou pH, konduktivita, tvrdost,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{N-NO}_2^-$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ ,  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{P-PO}_4^{3-}$ ,  $\text{P}_{\text{celk.}}$ , Fe, Cl<sup>-</sup>,  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ , huminy, celkové rozpuštěné a nerozpuštěné látky, BSK<sub>5</sub>,  $\text{KNK}_{4,5}$ ,  $\text{ZNK}_{8,5}$ . V terénu jsou u každého odběru vzorků vody a měření průtoků stanoveny ještě hodnoty teplota vody, konduktivita, rozpuštěný kyslík a pH pomocí multimetrické sondy HQ40-D Hach Lange.

**Obrázek 19: Použité membránové filtry v laboratoři Ekohydrologie KFGG**

**Obrázek 20: Přefiltrované vzorky vody pro stanovení DOC**



*Zdroj: Fotografie autorky (2018)*

Vzorky vody pro zjištění koncentrací organického uhlíku (DOC) byly vyhodnocovány dvěma způsoby. První způsob vyhodnocení byl použit již v rámci bakalářské práce (Špringerová, 2016). Jedná se o certifikovanou metodu a vyhodnocení probíhá v laboratoři Ekohydrologie KFGG. Vyhodnocení probírá diferencí metodou pomocí kyvetových testů podle norem EN 1484 a DIN 38409-H3. Přefiltrované vzorky se nechají rozmrazit a určitý objem vzorku (1-2 ml) se pipetou přemístí do kyvety s činidlem, která se pět minut nechá vystředit na třepačce. K vystředěné kyvetě se vzorkem vody se poté přes membránový filtr připojí kyveta s dalším činidlem a tyto spojené kyvety se dvě hodiny zahřívají na 100 °C (Obrázek 21). Laboratoř Ekohydrologie je připravena na zahřívání až 30 vzorků najednou. Vzorek vychladlý na pokojovou teplotu je poté vyhodnocen ve spektrofotometrickém přístroji Hach Lange DR 3900. Druhá metoda stanovení probíhala v laboratoři Ústavu pro životní prostředí Přírodovědecké fakulty. Jedná se o diferencí metodou pomocí analyzátoru Formacs TOC/TN (Skalar). Tato metoda umožňuje stanovit velké množství vzorků najednou. Vzorek vody je nastříknut pomocí integrovaného dávkovače do vysokoteplotního

kobaltového reaktoru. Při teplotě 950 °C je veškerý organický a anorganický uhlík oxidován na plynný oxid uhličitý. Katalyzátor zabezpečuje úplnou oxidaci. Produkty jsou poté nesený proudem vzduchu do infračerveného detektoru, kde se oxid uhličitý měří při vlnové délce 4,2 μm. Druhý nástřík vzorku je proveden do nízkoteplotního kapalinového reaktoru. Veškerý anorganický uhlík je v kyselém prostředí při laboratorní teplotě převeden na plynný oxid uhličitý. Proud vzduchu přenesení oxid uhličitý do infračerveného detektoru. Rozpuštěný organický uhlík se poté vypočte podle vztahu  $DOC=TC-IC$ , viz kapitola 2 (Skalar, 2019).

**Obrázek 21: Vyhodnocené kyvety se vzorky vody v laboratoři Ekohydrologie KFGG**



*Zdroj: Fotografie autorky (2016)*

## 6.2 Mapové podklady a použitý software

Veškeré mapy uvedené v této práci byly zpracovávány v software ArcMap 10.6.1 (ESRI). Pro vytvoření map byly použity datové sady Digitální báze vodohospodářských dat (DIBAVOD, VÚV), Základní báze geografických dat ZABAGED a Základní mapa 1:10 000 (ČÚZK), ArcČR500 3.3 (ARCDATA PRAHA, 2019) a Geologická mapa České republiky 1:50 000 (ČGS, 2012). Krajinný pokryv byl vyhodnocen na základě Konsolidované vrstvy ekosystémů (KVES) poskytnuté pro zájmová území Agenturou ochrany přírody a krajiny České republiky (AOPK, 2013). Dalším podkladem pro zpracování krajinného pokryvu, obzvláště pro území zasahující do Německa, byl Corine Land Cover 2012 a 2018 (EEA).

Statistické analýzy, grafy a tabulky byly vypracovány v programech Microsoft Excel (Microsoft, 2016), extenzi XLSTAT pro Microsoft Excel (Addinsoft, 2019) a SPSS Statistics (IBM, 2018).



## 6.3 Použité analytické nástroje

### 6.3.1 Vyhodnocení variability organického uhlíku a vztahů s dalšími chemickými parametry a průtokem

Základní analýza koncentrací organického uhlíku na jednotlivých profilech probíhala v prostředí Microsoft Excel (Microsoft, 2016). Pro všechny profily byly vypočítány základní charakteristiky variability koncentrací organického uhlíku, například průměr, medián a maximální a minimální hodnoty, které byly zobrazeny prostřednictvím tabulek, jednoduchých grafů a krabicových grafů, takzvaných boxplotů. Stejně charakteristiky byly vypočteny i pro další vybrané parametry sledující organické zatížení toku, zejména pro CHSK (chemická spotřeba kyslíku) a huminové látky (HL) a také pro pH a konduktivitu. I tyto parametry byly pro vystižení variability zobrazeny pomocí krabicových grafů.

Pro určení závislosti koncentrací organického uhlíku na průtoku a dalších vybraných parametrech kvality vody byl vypočítán Pearsonův korelační koeficient v prostředí SPSS (IBM, 2018). Rozdělení síly závislostí je uvedeno v Tabulce 25. Pro vizualizaci rozložení naměřených veličin byla použita lineární regrese v Microsoft Office (Microsoft, 2016).

**Tabulka 25: Rozdělení síly závislosti do kategorií**

hodnota	závislost
0,00 - 0,19	velmi slabá
0,20 - 0,39	slabá
0,40 - 0,59	střední
0,60 - 0,79	silná
0,80 - 1,00	velmi silná

### 6.3.2 Klasifikace profilů na základě krajinného pokryvu a velikosti povodí s ohledem na koncentrace organického uhlíku

Klasifikace profilů na základě všech kategorií krajinného pokryvu, uvedených v Tabulce 15, 16 a 17 v kapitole 5.2, s úpravou provedenou v kapitole 5.2.4, s ohledem na variabilitu koncentrací organického uhlíku a podobnost jednotlivých povodí z hlediska krajinného pokryvu, byly zpracovány pomocí shlukové analýzy (cluster analysis) v prostředí XLSTAT (Addinsoft, 2019). Zájmová povodí byla shlukována do skupin vzhledem k rozdílům hodnot průměrných koncentrací organického uhlíku, rozpětí měřených koncentrací organického uhlíku, mediánu koncentrací, průměrného průtoku a podílu zastoupení kategorií krajinného pokryvu a velikosti plochy povodí. Bylo použito hierarchické shlukování Agglomerative Hierarchical Clustering (AHC) s využitím Wardovy metody a euklidovských vzdáleností jako míry podobnosti. AHC lokalizuje každý objekt (povodí) do samostatného shluku a najde dva nejbližší (nejpodobnější) shluky dle změřené vzdálenosti. Čím blíže jsou shluky k sobě, tím jsou si podobnější. Tento postup s hledáním dvou

nejbližších shluků je opakován do vyčerpání všech shluků vstupujících do analýzy (Avagyan et al., 2016, Langhammer et al., 2011). Výsledek analýzy je vizualizován pomocí dendrogramu.

### 6.3.3 Vyhodnocení podobnosti zájmových povodí na základě parametrů kvality vody a chemismu

V zájmových povodích jsou kromě již zmiňovaných parametrů kvality vody sledovány i další ukazatele chemismu vody a její kvality. Pro komplexní posouzení podobnosti zájmových povodí byla zpracována shluková analýza na základě všech dostupných parametrů. Podobnost mezi jednotlivými povodími založená na parametrech kvality vody byla vypočítána také s pomocí shlukové analýzy a vizualizována pomocí dendrogramu. Do shlukové analýzy vstupovalo 19 parametrů, které jsou vyhodnocovány v zájmových povodích (průtok Q, specifický odtok q, rozpuštěný organický uhlík DOC, teplota vody t, vodivost měřená v terénu, pH, rozpuštěný kyslík, vodivost měřená v laboratoři, pH měřené v laboratoři, tvrdost vody, vápník  $\text{Ca}^{2+}$ , chemická spotřeba kyslíku  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ ,  $\text{N-NH}_4^+$ , dusičitany  $\text{N-NO}_2^+$ , dusičnany  $\text{N-NO}_3^-$ , fosforečnany  $\text{P-PO}_4^{3-}$ , chlor Cl, železo Fe, huminové látky). Této analýzy za celé sledované období se účastnily i doplňkové profily ROK-R1 a ROK-R2 na Rokytcce, protože období jejich sledování a množství stanovených dat na těchto profilech je stejné jako na základních profilech.

Shlukové analýzy byly provedeny pro povodí základních profilů a profilů ROK-R1 a ROK-R2 za celé sledované období a pro povodí základních a všech doplňkových profilů za období roku 2018. V tomto roce byly přidány do odběrné sítě některé nové profily, které jsou pro krátké období sledování zařazeny do doplňkových profilů a neúčastní se analýz. Tato shluková analýza nad daty za rok 2018 byla provedena pro účely orientačního stanovení podobnosti doplňkových profilů se základními profilem. Do analýzy vstupovaly hodnoty dvanácti parametrů (průtok Q, specifický odtok q, DOC, teplota t, vodivost, pH, rozpuštěný kyslík, vodivost měřená v laboratoři, pH měřené v laboratoři, tvrdost, vápník Ca,  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ ,  $\text{N-NH}_4^+$ , dusičnany  $\text{N-NO}_3^-$ , fosforečnany  $\text{P-PO}_4^{3-}$ , železo Fe, huminové látky). S delší časovou řadou měření a větším objemem hodnot stanovených parametrů bude možné, aby tyto současně doplňkové profily mohly plnohodnotně vstupovat do všech analýz.

### 6.3.4 Vyhodnocení sezonnosti koncentrací organického uhlíku

Pro vyhodnocení chování organického uhlíku během jednotlivých ročních období byly odběry na všech odběrných profilech rozděleny do čtyř intervalů. Jaro reprezentují měsíce březen až květen, léto červen až srpen, podzim září až listopad a zimu prosinec až únor. Pro každé roční období byla na všech základních odběrných profilech stanovena průměrná koncentrace DOC. Sezóny pak byly na základě koncentrací porovnávány mezi sebou. Pomocí Pearsonova korelačního koeficientu byla zjišťována síla závislosti koncentrací DOC a průtoku v jednotlivých ročních obdobích.



### 6.3.5 Vyhodnocení jednotlivých odběrných kampaní pomocí automatického vzorkovače na profilu ROK-R1

Odběrné kampaně zaměřené na jednotlivé srážko-odtokové události, které proběhly na profilu ROK-R1 během léta a podzimu 2016, byly vyhodnocovány odděleně od ostatních výsledků v prostředí Microsoft Excel (Microsoft, 2016). Hodnoty denních úhrnů srážek byly použity z blízké stanice KFGG Březník, protože automatická stanice KFGG na Rokytce v době kampaní nebyla v provozu. Automatický vzorkovač započne svoji činnost s prvním výrazným zvýšením průtoku, kdy je také automaticky odebrán první vzorek vody na rozbor koncentrací DOC. Automatický vzorkovač umožňuje odebrat pouze určitý počet vzorků vody a určitou frekvencí oděrů. Z dat byl vypočítán čas zpoždění maxim koncentrací organického uhlíku za maximy průtoků a byly vytvořeny grafy jednotlivých událostí přehledně zobrazující chování organického uhlíku během těchto událostí. Dále byl použit nástroj C/Q hysterezních smyček pro vyhodnocení chování organického uhlíku během jednotlivých srážko-odtokových epizod (Su et al., 2017). Smyčky byly normalizovány minimálními a maximálními hodnotami uhlíku a průtoku během jednotlivých epizod pomocí vztahu

$$u(t) = \frac{x(t) - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$
$$v(t) = \frac{y(t) - y_{min}}{y_{max} - y_{min}}$$

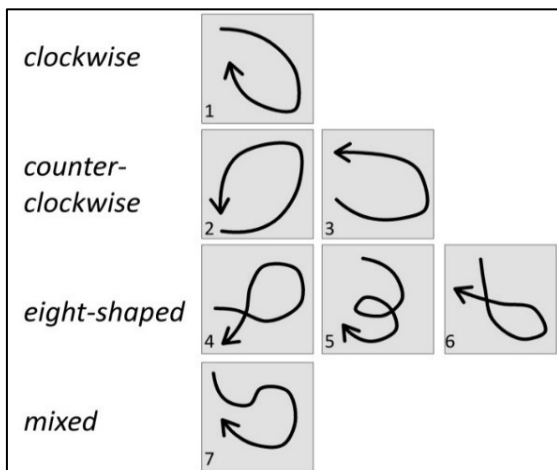
*kde  $x(t)$  a  $y(t)$  jsou proměnné, tedy průtok a koncentrace organického uhlíku, v čase  $t$*

*$x_{min}$ ,  $x_{max}$ ,  $y_{min}$  a  $y_{max}$  jsou minimální a maximální hodnoty proměnných*

*$u(t)$  a  $v(t)$  jsou normalizované hodnoty  $x(t)$  a  $y(t)$ , tedy průtoku a koncentrací organického uhlíku, v rozmezí hodnot 0-1, které byly vyjádřeny procentuálně (Zuocco et al., 2016).*

Smyčky jsou podle tvaru rozděleny pro účely této práce do čtyř základních kategorií, po směru hodinových ručiček, proti směru hodinových ručiček, tvar čísla osm a smíšený typ, při kterém se směr smyčky mění (Obrázek 22). Typ 1 po směru hodinových ručiček je charakteristický poklesem hodnot organického uhlíku s nástupem odtokové epizody. Tento průběh hysterezní smyčky poukazuje na ředění vodou chudou na organický uhlík, například srážkovou vodou nebo vodou během tání sněhu. Typ 2 proti směru hodinových ručiček vyjadřuje zvýšení hodnot organického uhlíku s nástupem odtokové epizody a snížení hodnot organického uhlíku s poklesem odtokové epizody. U typu 3 tvaru čísla osm hysterezní smyčky dochází k počátečnímu snížení hodnot organického uhlíku s nástupem odtokové epizody jako v případě typu 1 po směru hodinových ručiček, poté má smyčka stejný charakter a průběh jako v případě typu 2 ve tvaru proti směru hodinových ručiček, tedy růst hodnot organického uhlíku se zvyšujícím se průtokem a následné snížení hodnot organického uhlíku s poklesem průtoku (Su et al., 2017, Fraindová, 2019).

Obrázek 22: Zjednodušené kategorie hysterezních smyček



Zdroj: Fraindová, 2019

## 7 Výsledky

### 7.1 Vyhodnocení variability organického uhlíku a vztahů s vybranými parametry kvality vody a průtokem

#### 7.1.1 Vyhodnocení variability koncentrací organického uhlíku na jednotlivých profilech

Průměrné koncentrace rozpuštěného organického uhlíku (DOC) se na jednotlivých profilech pohybují v rozmezí 4,79-29,69 mg.l<sup>-1</sup>. Medián koncentrací DOC je na většině profilů nižší než průměrná koncentrace DOC (Tabulka 26). Největší rozdíl je patrný na profilech ROK a ROK-R1. Profily horní Rolavy a profil CIK mají mírně vyšší mediány koncentrací DOC než průměrné koncentrace DOC. Nejnižší průměrné koncentrace DOC se vyskytují na základních profilech horní Rolavy ROL1 (4,79 mg.l<sup>-1</sup>) a SLA2 (5,81 mg.l<sup>-1</sup>) (Tabulka 26). I rozpětí naměřených koncentrací je na těchto profilech nejnižší, což lze kromě Tabulky 27 pozorovat i na Grafu 11. Povodí obou základních odběrných profilů jsou sice typická relativně vysokým zastoupením rašelinišť, která jsou dobrými zdroji organického uhlíku, ovšem odběrné profily se vyskytují poměrně daleko od rašelinišť v pramenné oblasti. U obou profilů se jedná o vzdálenost přibližně 10 kilometrů vodního toku. Obě zájmová povodí mají větší rozlohu než například povodí se zastoupením rašelinišť na Šumavě, kde jsou odběrné profily umístěny mnohem blíže k výtokům z rašelinišť. Výsledky obou základních odběrných profilů horní Rolavy jsou téměř totožné.

**Tabulka 26: Průměrné koncentrace DOC, pořadí profilů dle prům. konc. DOC, medián konc. DOC**

profil	DOC průměr [mg.l <sup>-1</sup> ]	pořadí dle průměru	DOC medián [mg.l <sup>-1</sup> ]
ROL1	4,79	1	5,20
SLA2	5,81	2	6,78
JAV	7,52	3	6,33
BRE	8,52	4	7,09
TET	8,54	5	7,48
BL13	9,06	6	7,93
PTA	9,91	7	7,75
BL03	13,22	8	11,79
ROK	13,56	9	7,45
ROK-R1	15,01	10	9,72
CIK	19,88	11	21,48
ROK-R2	29,69	12	27,09

Zdroj dat: KFGG

Vysvětlivky: profily horní Vydry černě, profily horní Rolavy červeně, profily horní Blanice modře

Ze zájmových povodí horní Vydry na Šumavě vykazuje nejnižší koncentrace DOC (7,52 mg.l<sup>-1</sup>), nejnižší medián koncentrací (6,33 mg.l<sup>-1</sup>) i nejnižší amplitudu hodnot Javoří potok (profil JAV), který je z těchto povodí plošně největší a zároveň má nejnižší zastoupení rašelinišť v zájmových povodích horní Vydry. V porovnání s odběrnými profily horní Rolavy má ale i profil JAV téměř dvojnásobné koncentrace DOC a rozpětí měřených hodnot. Koncentrace DOC Březnického potoka (profil BRE) také nejsou příliš vysoké (8,52 mg.l<sup>-1</sup>), ale rozpětí měřených hodnot je již mnohem vyšší. Ptačí potok (profil PTA) dosáhl průměrné koncentrace DOC 9,91 mg.l<sup>-1</sup>, ale rozpětí měřených hodnot je zde téměř nejvyšší ze všech zkoumaných povodí. Podobných hodnot jako profily JAV, BRE a PTA dosáhly i profily horní Blanice Tetřivčí potok (TET, 8,54 mg.l<sup>-1</sup>) a Blanický mlýn (BL13, 9,06 mg.l<sup>-1</sup>). Rozpětí hodnot je logicky opět mnohem větší u profilu s menší plochou povodí (TET) než u profilu s největší plochou ze všech experimentálních povodí (BL13).

Podobných průměrných koncentrací dosáhly profily Blanice nad Arnoštovem (BL03, 13,22 mg.l<sup>-1</sup>) a Rokytky (ROK, 13,56 mg.l<sup>-1</sup>). Profil BL03 vykázal jedno z nejnižších rozpětí hodnot, přičemž velikostí povodí se přibližuje profilů ROL1 a SLA 2 na horní Blanici, které vykázaly nejnižší rozpětí hodnot. Profil ROK vykázal téměř dvojnásobné rozpětí hodnot, což lze přisoudit menší velikosti povodí, větší rozloze rašelinišť a blízkosti rašelinišť nad odběrným profilem. Nejvyšších koncentrací i rozpětí hodnot, spolu s profilem PTA, dosahují profily horní Vydry ROK-R1 (15,01 mg.l<sup>-1</sup>) na Rokytky a Cikánský potok (CIK, 19,88 mg.l<sup>-1</sup>). Jedná se o profily s malou plochou povodí a vysokým zastoupením rašelinišť a podmáčených ploch. Absolutně nejvyšší průměrná koncentrace DOC se vyskytuje na profilu ROK-R2 na Rokytky (29,69 mg.l<sup>-1</sup>), jehož povodí je ze všech nejmenší a odvodňuje pouze rašeliniště. Doplnkové profily ROK-R1 a ROK-R2 mohly být zahrnuty do analýzy z důvodu stejně rozsáhlého pozorování a počtu naměřených koncentrací DOC jako v případě základních profilů.

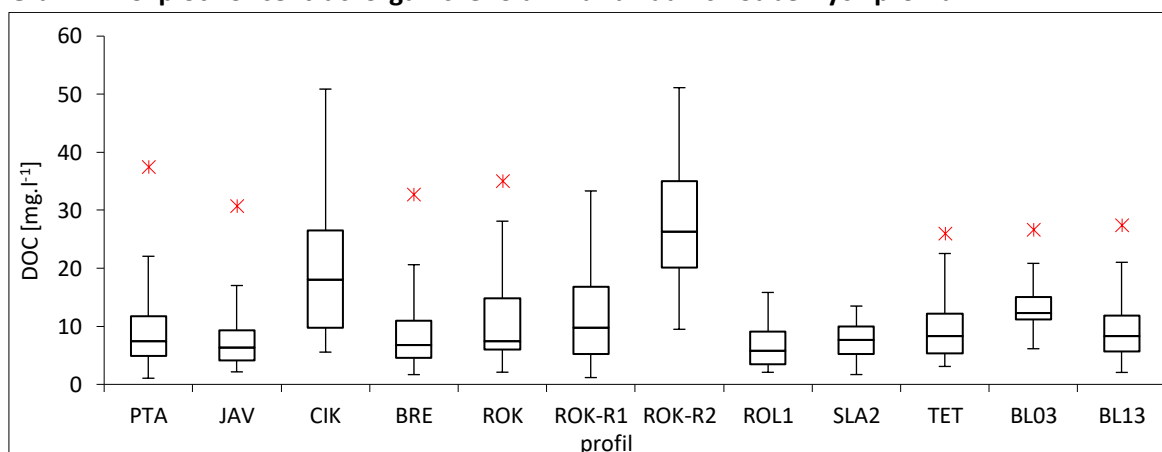
Amplitudy průtoků s amplitudami koncentrací DOC většinou nekorespondují (Tabulka 27). Největší amplitudu koncentrací DOC mají profily s největším zastoupením rašelinišť. Povodí těchto profilů mají malou rozlohu. Největší amplitudu průtoků mají naopak profily s největší plochou povodí. Výjimku tvoří profil ROK-R2. Na tomto plošně nejmenším profilu jsou měřeny jedny z největších amplitud koncentrací DOC a zároveň i největší amplituda průtoků. Jedná se o pramen odvodňující rašeliniště. V době bez srážkových událostí z povodí neodtéká téměř žádný odtok. Během srážkových událostí se průtok několikanásobně extrémně zvýší.

**Tabulka 27: Amplitudy koncentrací DOC, průtoků Q a pořadí profilů**

profil	DOC ampl. [mg.l <sup>-1</sup> ]	pořadí dle DOC ampl.	Q ampl. [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	pořadí dle Q ampl.
SLA2	11,81	1	1,347	8
ROL1	13,83	2	1,067	6
BL03	19,02	3	1,684	9
BL13	25,40	4	3,680	11
JAV	28,67	5	1,742	10
TET	35,22	6	0,038	1
ROK	38,40	7	1,191	7
BRE	38,46	8	0,597	4
ROK-R1	44,91	9	0,294	2
ROK-R2	45,05	10	7,820	12
PTA	46,01	11	0,687	5
CIK	46,52	12	0,520	3

Zdroj dat: KFGG

Vysvětlivky: profily horní Vydry černě, profily horní Rolavy červeně, profily horní Blanice modře

**Graf 11: Boxplot koncentrací organického uhlíku základních odběrných profilů**

Zdroj dat: KFGG

Vyhodnocení doplňkových profilů je zde uvedeno jen orientačně. Tyto profily nemají vzhledem k jejich sledování v letech 2017 a 2018 shodnou vypovídající hodnotu jako profily základní, a proto i údaje uvedené v Tabulce 28 lze považovat za orientační výsledky.

**Tabulka 28: Průměrné koncentrace a amplitudy DOC doplňkových odběrných profilů**

profil	DOC průměr [mg.l <sup>-1</sup> ]	DOC amplituda [mg.l <sup>-1</sup> ]
ROL3	6,83	22,43
BUK5	6,79	9,30
ROL6	4,15	4,49
BL15	8,57	19,12

Zdroj dat: KFGG

Maximální naměřené koncentrace na každém ze základních profilů jsou uvedeny v Tabulce 29. Všechny profily horní Vydry mají nejvyšší naměřené maximální koncentrace, které neklesají pod 30 mg.l<sup>-1</sup>, shodně ze dne 13.6.2018. Výše maximální naměřené koncentrace DOC souhlasí i s výší průměrných koncentrací u jednotlivých profilů. Nejnižší maximum má v zájmovém povodí horní Vydry profil JAV (30,82 mg.l<sup>-1</sup>). Nejvyšší maximum mají naopak profily CIK (50,88 mg.l<sup>-1</sup>) a ROK-R2 (51,12 mg.l<sup>-1</sup>). Profil ROK-R2, odvodňující rašeliniště, vykázal jako jediný nejvyšší naměřené maximum koncentrací DOC v jiný termín (20.10.2015) než všechny ostatní profily horní Vydry. Nejnižší maxima byly, stejně jako průměrné koncentrace, naměřeny u profilů horní Rolavy ROL1 (15,84 mg.l<sup>-1</sup>) a SLA2 (13,50 mg.l<sup>-1</sup>) v odlišných termínech. Všechny základní profily horní Blanice měly, i přes své velice rozdílné plochy povodí a velikosti průtoků, téměř stejné maximální koncentrace kolem 27 mg.l<sup>-1</sup>. Tyto koncentrace byly naměřeny všechny ve stejný den (13.6.2018) jako na profilech horní Vydry. U většiny profilů byly maximální koncentrace DOC naměřeny zároveň s naměřením největších průtoků jednotlivých profilů. Výjimku tvoří profil ROK-R2, kdy byla maximální koncentrace naměřena při jiné odběrné kampani než u ostatních profilů horní Vydry, a navíc při této kampani nebyl naměřen zároveň i největší průtok. Stejně chování se objevilo i u profilů ROL1 a SLA2 horní Rolavy, kdy byly maximální koncentrace DOC naměřeny při odběrných kampaních v jiných termínech a také se nejednalo o kampaně s největšími průtoky jednotlivých profilů.

**Tabulka 29: Max. naměřené koncentrace na zákl. profilech, příslušný naměřený průtok a datum**

profil	DOC max [mg.l <sup>-1</sup> ]	Q [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]	datum
PTA	37,46	0,699	13.06.2018
JAV	30,82	1,810	13.06.2018
CIK	50,88	0,535	13.06.2018
BRE	32,70	0,620	13.06.2018
ROK	35,07	1,220	13.06.2018
ROK-R1	33,32	0,300	13.06.2018
ROK-R2	51,12	0,00045*	20.10.2015
ROL1	15,84	0,361*	19.06.2016
SLA2	13,50	0,380*	28.10.2014
TET	26,06	0,041	13.06.2018
BL03	26,16	1,699	13.06.2018
BL13	27,46	3,810	13.06.2018

Zdroj dat: KFGG

Vysvětlivky: profily horní Vydry černě, profily horní Rolavy červeně, profily horní Blanice modře, \* tento průtok není maximální naměřený na tomto profilu v době odběrů

### 7.1.2 Vyhodnocení variability vybraných parametrů kvality vody ve vztahu s organickým uhlíkem na jednotlivých profilech

Koncentrace huminových látek a chemická spotřeba kyslíku ( $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ ) na jednotlivých odběrných profilech úzce souvisí s koncentracemi DOC (Tabulka 30). Z profilů horní Vydry jsou nejvyšší koncentrace  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  na profilech CIK (25,10  $\text{mg.l}^{-1}$ ) a ROK-R2 (45,92  $\text{mg.l}^{-1}$ ). Rozpětí naměřených hodnot je také nejvyšší na těchto profilech a také na profilech ROK-R1 a PTA (Graf 12). Nejnižší průměrná hodnota i rozpětí hodnot jsou na profilu JAV, stejně jako v případě koncentrací DOC. Vůbec nejnižší průměrné hodnoty a rozpětí hodnot  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  vykazují shodně jako koncentrace DOC profily horní Rolavy ROL1 (6,98  $\text{mg.l}^{-1}$ ) a SLA2 (8,75  $\text{mg.l}^{-1}$ ). Profily horní Blanice mají podobné průměrné hodnoty  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  (10,26-13,91  $\text{mg.l}^{-1}$ ), pohybující se na spodní hranici hodnot horní Vydry.

Huminové látky (HL) se chovají podobně jako hodnoty  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ , potažmo koncentrace DOC. Nejnižší koncentrace huminových látek s nejnižším rozpětím naměřených hodnot se vyskytují v profilech ROL1 (6,47  $\text{mg.l}^{-1}$ ) a SLA2 (7,70  $\text{mg.l}^{-1}$ ) v povodí horní Rolavy (Tabulka 30). V povodí Horní Blanice jsou koncentrace i rozpětí hodnot vyšší (Graf 13). Nejvyšších průměrných koncentrací (19,87  $\text{mg.l}^{-1}$ ) a největšího rozpětí měřených hodnot dosahuje profil BL03 na výtoku Blanice z Vojenského prostoru Boletice. Tento profil je relativně blízko prameni, nejvýše položený z profilů horní Blanice a v povodí se blízko nad měřeným profilem vyskytují rašeliniště. Většina profilů horní Vydry má podobné koncentrace huminových látek jako profily horní Blanice. Na většině profilů se koncentrace pohybují v rozmezí 10-20  $\text{mg.l}^{-1}$ . Naprosto stejných průměrných koncentrací huminových látek a podobného rozpětí měřených koncentrací jako na profilu BL03 dosáhl profil ROK-R1. Největší průměrné koncentrace huminových látek dosáhly opět profily CIK (30,77  $\text{mg.l}^{-1}$ ) a ROK-R2 (60,43  $\text{mg.l}^{-1}$ ). Rozpětí měřených hodnot je ze všech profilů nejvyšší na profilech PTA, ROK-R2, CIK a BL03.

Průměrné hodnoty pH se na odběrných profilech pohybují v rozmezí 5,92-7,17 (Tabulka 30). Nejnižší průměrné pH mají profily horní Vydry ROK-R2 (5,92) a CIK (6,20), nejvyšší průměrné hodnoty pH se vyskytují na profilech horní Blanice BL13 (7,17), TET a BL03 (shodně 6,92). Nejnižší naměřené hodnoty pH se vyskytovaly při nejvyšších měřených průtocích a koncentracích DOC 13.6.2018. Na profilu ROK-R2 bylo naměřeno pH 3,77, na profilu ROK-R1 4,00 a na profilu CIK 4,06 (Graf 14).

Konduktivita je dlouhodobě nejvyšší na profilech horní Blanice (Graf 15). Tato povodí jsou ze všech tří sledovaných zájmových oblastí nejvíce zasažena lidskou činností, zejména zemědělskou živočišnou výrobou. Z profilů horní Blanice má nejnižší průměrnou hodnotu konduktivity profil BL03 (50,22  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) na výtoku ze Vojenského újezdu Boletice. Nejvyšší průměrnou hodnotu

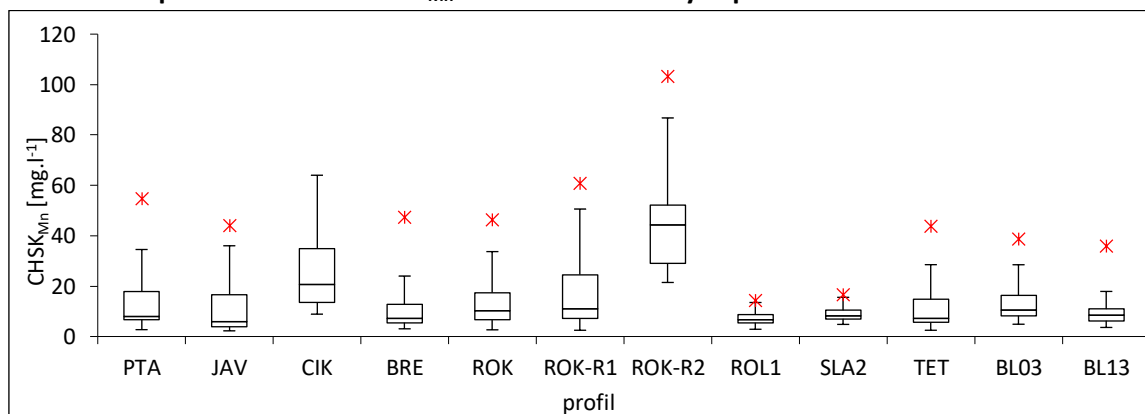
konduktivity ze všech sledovaných profilů má závěrový profil povodí horní Blanice BL13 (84,19  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ). Profily horní Rolavy dosahují podobných průměrných hodnot konduktivity jako většina profilů horní Vydry (Tabulka 30). Nejnižší průměrné hodnoty konduktivity vykazují profily BRE (19,57  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), CIK (22,62  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) a PTA (22,87  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ).

**Tabulka 30: Průměrné hodnoty  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ , huminových látek, pH a konduktivity a amplitudy hodnot  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  a HL**

profil	$\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ průměr [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ]	$\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ amplituda [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ]	huminy průměr [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ]	huminy amplituda [ $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ]	pH průměr	konduktivita průměr [ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ]
PTA	14,41	52,08	16,11	103,13	6,27	22,87
JAV	12,12	41,76	12,04	70,02	6,46	29,92
CIK	25,10	55,12	30,77	92,32	6,20	22,62
BRE	12,38	44,16	13,81	40,64	6,85	19,57
ROK	15,45	43,76	16,69	56,85	6,66	28,34
ROK-R1	17,36	59,04	19,87	78,75	6,48	28,88
ROK-R2	45,92	81,76	60,43	93,43	5,92	30,26
ROL1	6,98	11,52	6,47	14,38	6,52	29,71
SLA2	8,75	11,68	7,70	16,89	6,40	28,90
TET	11,89	28,72	11,81	39,48	6,92	74,54
BL03	13,91	33,20	19,87	87,87	6,92	50,22
BL13	10,26	32,24	12,81	39,97	7,17	84,19

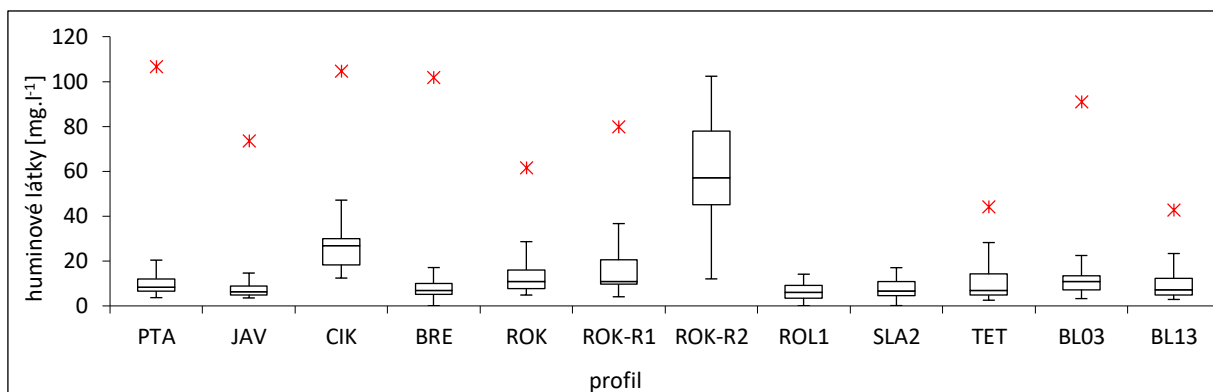
Zdroj dat: KFGG

**Graf 12: Boxplot koncentrací  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  základních odběrných profilů**

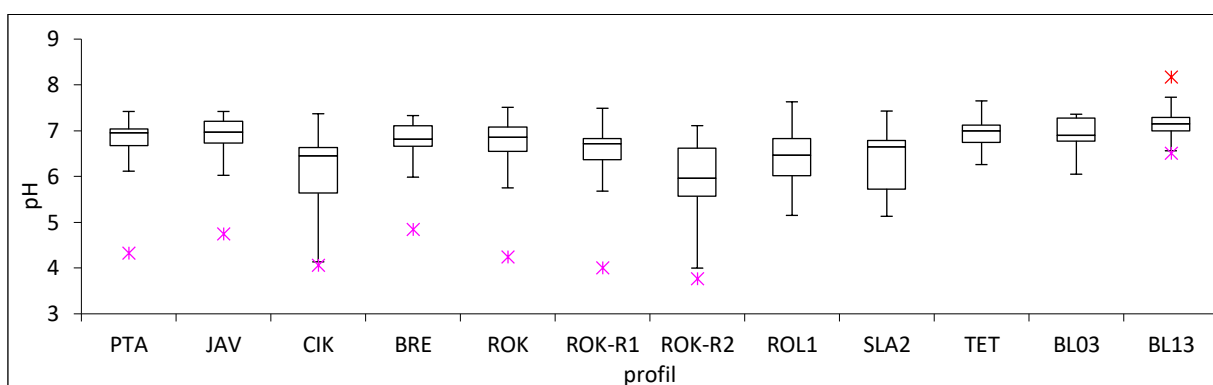




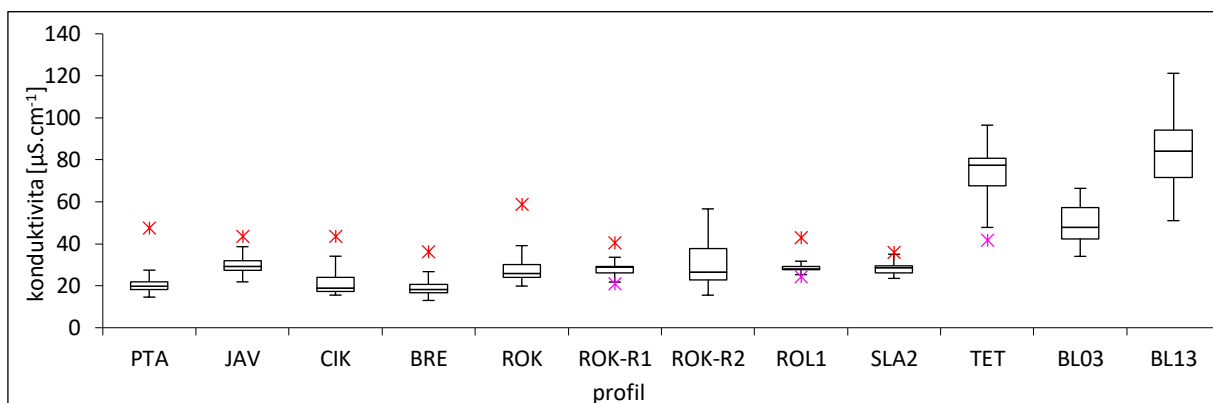
**Graf 13: Boxplot koncentrací huminových látek základních odběrných profilů**



**Graf 14: Boxplot hodnot pH základních odběrných profilů**



**Graf 15: Boxplot hodnot konduktivity základních odběrných profilů**



Zdroj dat: KFGG

Pro vybrané parametry byl vypočítán Pearsonův korelační koeficient pro zjištění vzájemného vztahu mezi parametry a síly tohoto vztahu (Tabulka 31). DOC má s parametry  $CHSK_{Mn}$  a huminovými látkami na všech odběrných profilech kladný vztah. To znamená, že když rostou koncentrace DOC, rostou i koncentrace  $CHSK_{Mn}$  a HL a naopak. Nejsilnější vztah mezi DOC a  $CHSK_{Mn}$  byl zjištěn na profilech BL03 (0,93) a BL13 (0,91) na horní Blanici a na profilech CIK (0,92), JAV (0,82) a BRE (0,81) na horní Vydře. Na ostatních profilech byla zjištěna silná závislost. Nejnižší (střední) závislost mezi DOC a  $CHSK_{Mn}$  se vyskytuje na profilu ROK-R1 na Rokytcce (0,56). Všechny profily mají kladnou závislost DOC s huminovými látkami. Velmi silná závislost mezi

DOC a huminovými látkami byla nalezena opět na profilu BL03 (0,93) a na profilech horní Vydry JAV (0,88), PTA (0,87), BRE (0,84) a CIK (0,81). Silná závislost se objevila na profilech horní Blanice BL13 a TET. Střední závislost se vyskytuje na profilech ROK a ROL1 a slabá závislost na profilech ROK-R1 a SLA2. Velmi slabá závislost je charakteristická pro profil ROK-R2 na výtoku z rašeliniště. Hodnoty pH mají na všech sledovaných profilech negativní závislost s DOC. Žádná z těchto závislostí však není velmi silná. Většina profilů má silnou závislost pH a DOC. Nejsilnější vztah byl zjištěn na profilech JAV (0,74), BRE (0,72), BL03 (0,68), BL13 (0,67) a PTA (0,65). Nejslabší vztah mezi pH a DOC byl zjištěn na profilech TET (0,24), profilech horní Rolavy a profilu ROK-R2 na horní Vydře.

Mezi DOC, CHSK<sub>Mn</sub> a HL byly nalezeny silné pozitivní závislosti. Nejsilnější závislost vybraných parametrů na zájmových profilech byla většinou zjištěna mezi DOC a CHSK<sub>Mn</sub>. Nejsilnější závislost mezi těmito parametry se projevuje na profilech horní Vydry, kromě profilů ROK, ROK-R1 a ROK-R2 na Rokytcce, kde jsou nejsilněji zastoupeny rašeliniště způsobující rozkolísanost všech parametrů. Velmi silné závislosti se projevují také na profilech horní Blanice BL03 na výtoku z Vojenského újezdu Boletice a na závěrovém profilu horní Blanice BL13. Vztah mezi DOC a HL je velmi silný na většině profilů, které vykazují zároveň velmi silnou závislost i mezi DOC a CHSK<sub>Mn</sub>. Na ostatních profilech, například na profilech Rokytky, tento vztah slábne. Profily horní Rolavy ROL1 a SLA2 neprojevují žádnou velmi silnou závislost mezi DOC, CHSK<sub>Mn</sub> a HL. Vztah koncentrací DOC a pH je záporný a není tak silný jako v případě předchozích parametrů. Nejsilnějších závislostí na zkoumaných profilech dosahují opět profily horní Vydry bez profilu ROK-R2 a profily BL03 a BL13 na horní Blanici.

**Tabulka 31: Pearsonův korelační koeficient pro DOC a CHSK<sub>Mn</sub>, HL a pH na základních profilech**

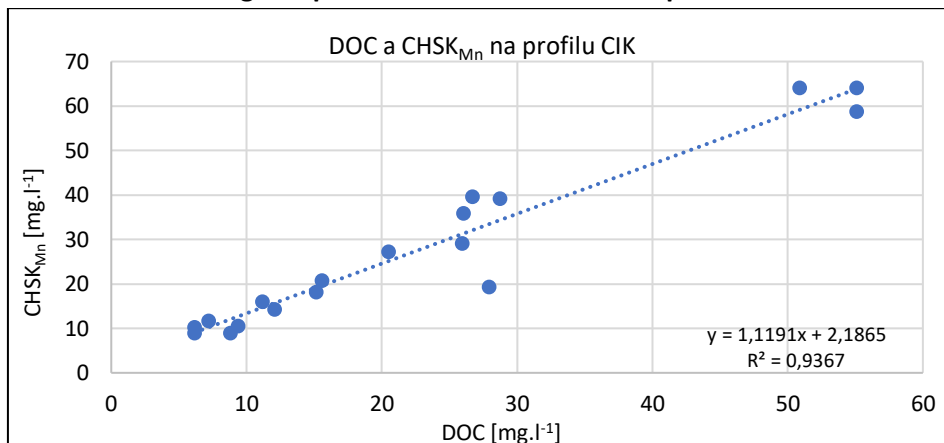
profil	DOC/CHSK <sub>Mn</sub> [mg.l <sup>-1</sup> ]	DOC/huminy [mg.l <sup>-1</sup> ]	DOC/pH
PTA	0,78*	0,87*	0,65*
JAV	0,82*	0,88*	0,74*
CIK	0,92*	0,81*	0,60*
BRE	0,81*	0,84*	0,72*
ROK	0,61*	0,50**	0,60*
ROK-R1	0,56**	0,34	0,60*
ROK-R2	0,67*	0,17	0,47
ROL1	0,77*	0,45	0,54
SLA2	0,75*	0,29	0,40
TET	0,78*	0,65*	0,24
BL03	0,93*	0,93*	0,68**
BL13	0,91*	0,77*	0,67**

Zdroj dat: KFGG

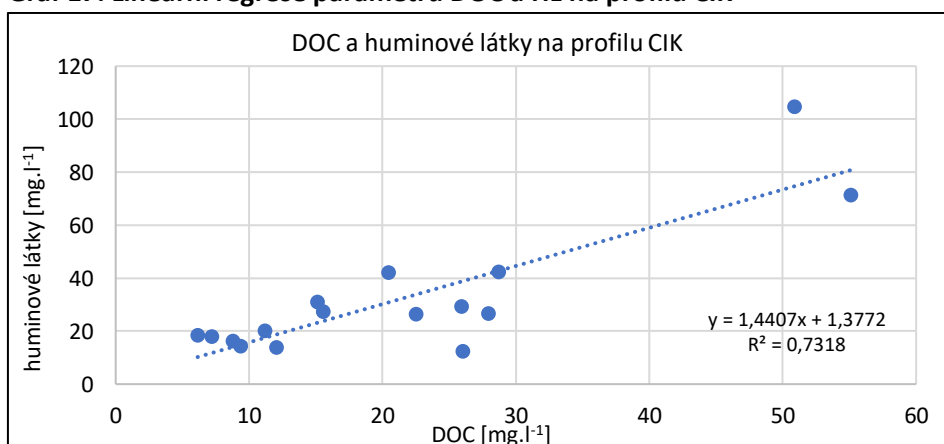
Vysvětlivky: Velmi silná závislost >80 vyznačena tučně, kladná závislost vyznačena červeně, záporná závislost vyznačena modře. \* p-hodnota 0,01, \*\* p-hodnota 0,05.

Pro ilustraci uvedených vztahů jsou v Grafu 16 a 17 znázorněny vybrané lineární regrese parametrů DOC a  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  a DOC a huminových látek na profilu CIK s velmi silnými vztahy mezi parametry.

**Graf 16: Lineární regrese parametrů DOC a  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  na profilu CIK**



**Graf 17: Lineární regrese parametrů DOC a HL na profilu CIK**



Zdroj dat: KFGG

### 7.1.3 Vyhodnocení vztahů organického uhlíku a průtoku na jednotlivých profilech

Pro vztah koncentrací DOC a průtoku byl na každém profilu vypočítán Pearsonův korelační koeficient. Hodnoty koeficientů jsou podobné jako v případě vztahů DOC s  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  a huminovými látkami. Vztah DOC a průtoku je na všech profilech pozitivní, se vzrůstajícím průtokem tedy rostou i koncentrace DOC. Nejsilnější vztah mezi průtokem a DOC byl zjištěn na všech profilech horní Blanice a na profilech horní Vydry s nižším zastoupením rašelinišť. Nejsilnější vztah vykázaly profily TET (0,96), BL03 (0,86) a BL13 (0,84) v povodí horní Blanice (Tabulka 32). V povodí horní Vydry to jsou profily JAV (0,90), PTA (0,89) a BRE (0,84). Tyto profily mají velmi silný vztah průtoku a koncentrací DOC. Silný vztah byl nalezen na profilu CIK (0,74). Středně silnou závislost vykázaly profily SLA2 (0,59), ROK (0,57) a ROK-R1 (0,55). Slabou závislost průtoku a koncentrací

DOC mají profily ROL1 (0,30) a opět profil ROK-R2 na výtoku z rašeliniště (0,23). V Tabulce 31 jsou uvedeny průměrné průtoky na jednotlivých profilech za sledované období a specifický odtok z povodí odběrných profilů.

**Tabulka 32: Pearsonův korelační koeficient pro DOC a průtok, prům. průtok a specifický odtok**

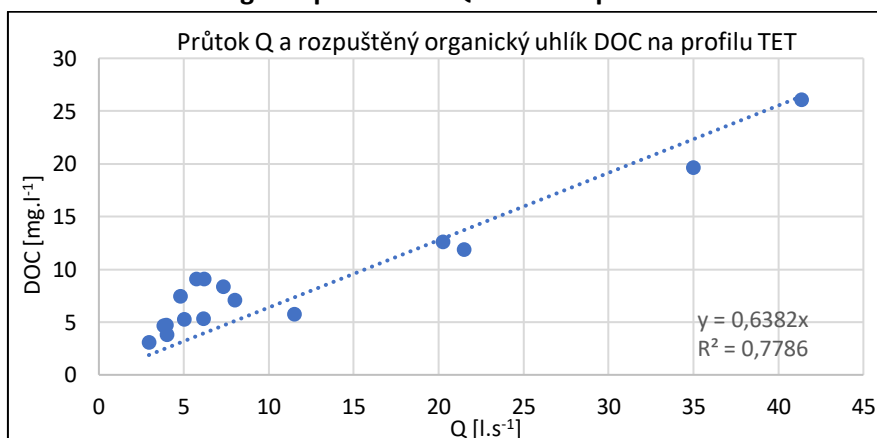
profil	koeficient	průtok Q [l.s <sup>-1</sup> ]	spec. odtok q [l.s <sup>-1</sup> .km <sup>-2</sup> ]
PTA	<b>0,89*</b>	116,44	26,42
JAV	<b>0,90*</b>	238,98	36,05
CIK	0,74*	77,28	28,42
BRE	<b>0,84*</b>	94,61	24,23
ROK	0,57*	154,12	37,16
ROK-R1	0,55*	30,91	51,09
ROK-R2	0,23	4,97	39,70
ROL1	0,30	371,28	13,62
SLA2	0,59*	314,29	17,75
TET	<b>0,96*</b>	14,57	7,54
BL03	<b>0,86*</b>	271,77	11,34
BL13	<b>0,84*</b>	737,34	8,63

Zdroj dat: KFGG

Vysvětlivky: Velmi silná závislost >80 vyznačena tučně. \* p-hodnota 0,01.

Pro ilustraci uvedených vztahů je v Grafu 18 znázorněna lineární regrese parametrů DOC a průtoku Q na profilu TET s velmi silným vztahem mezi parametry.

**Graf 18: Lineární regrese parametrů Q a DOC na profilu TET**



Zdroj dat: KFGG

#### 7.1.4 Zhodnocení variability organického uhlíku a vztahů s vybranými parametry kvality vody a průtokem

Nejnižších koncentrací DOC dosáhly profily ROL1 a SLA2 v povodí horní Rolavy, které mají zároveň i nejnižší rozpětí měřených hodnot. Maximální naměřené koncentrace za celé sledované období jsou zde také nejmenší. Oba profily mají nejnižší průměrné koncentrace CHSK<sub>Mn</sub> i huminových látek a jejich rozpětí měřených hodnot. PH i konduktivita nabývají průměrných

hodnot. Vztah koncentrací DOC s  $CHSK_{Mn}$  je silný a vzhledem k ostatním profilům průměrný. Vztah s huminovými látkami je slabý (SLA2) a střední (ROL1). Vztah s hodnotami pH je středně silný. Závislost koncentrací DOC a průtoku je na profilech horní Rolavy středně silný (SLA2) a slabý (ROL1). Popsané charakteristiky a chování parametrů může být způsobeno tím, že tato zájmová povodí mají závěrový odběrný profil relativně daleko od pramenné části a rašelinišť, které se vyskytují převážně v okolí pramenišť. Povodí obou profilů jsou si podobná rozlohou i hodnotami vyhodnocovaných parametrů. Velikost povodí Slatinného potoka a Rolavy po odběrný profil je větší než většina sledovaných povodí a směrem po proudu toku dochází s větší vzdáleností od pramenné části a příspěvkem přítoků k ustálení chování a snížení hodnot DOC,  $CHSK_{Mn}$  a huminových látek typických pro rašelinné a podmačené horské pramenné oblasti. Je zde patrný vliv dalších přítoků, které neodvodňují rašeliniště, mají nižší hodnoty parametrů a projevuje se zde jejich ředící efekt.

Koncentrace DOC a rozpětí měřených koncentrací povodí odběrných profilů horní Blanice jsou vzhledem k ostatním profilům mírně pod průměrnou hodnotou. To je dáno podmínkami jednotlivých povodí, v jejichž území nejsou tak masivně zastoupená rašeliniště jako v povodích horní Vydry. Maximální měřené koncentrace během sledovaného období jsou průměrné a na všech třech odběrných profilech téměř totožné. Maximální naměřené koncentrace odpovídají maximálním naměřeným průtokům ze dne 13.6.2018. Stejným způsobem lze popsat i koncentrace a rozpětí hodnot  $CHSK_{Mn}$ , jejichž hodnoty jsou průměrné. Vyšší koncentrace huminových látek i vysoké rozpětí hodnot bylo měřeno na profilu BL03, ve kterém jsou zastoupeny výrazné plochy rašelinišť a podmačených ploch. Hodnoty pH jsou na profilech horní Blanice měřeny nejvyšší ze sledovaných profilů. To platí i pro konduktivitu, která je nejvyšší v závěrovém profilu povodí horní Blanice BL13. Povodí tohoto profilu je největší ze sledovaných povodí a také nejvíce ovlivněno lidskou činností. Vztah koncentrací DOC a  $CHSK_{Mn}$  je v odběrných profilech velmi silný, na profilu BL03 dokonce nejsilnější ze všech profilů (0,91). V profilu TET je vztah silný. Vztah DOC s koncentracemi huminových látek je také nejsilnější na profilu BL03 (0,93). Na profilu BL13 a TET je silný. Profil TET má nejslabší vztah koncentrací DOC s hodnotami pH ze všech sledovaných povodí. Profily BL03 a BL13 vykazují silný vztah. Vztah průtoku a koncentrací DOC je na profilu TET nejsilnější ze všech sledovaných profilů (0,96). I na profilech BL03 a BL13 je vztah koncentrací DOC a průtoku velmi silný.

Koncentrace organického uhlíku jsou dle očekávání nejvyšší na profilech s největším zastoupením rašelinišť. Profily horní Vydry, kromě profilů JAV, BRE a PTA, se vyznačují nejvyššími průměrnými koncentracemi DOC. Absolutně nejvyšší průměrné koncentrace se vyskytují na profilu ROK-R2, největší rozpětí měřených hodnot je pozorováno na profilu CIK, PTA a ROK-R2. Maximální měřené koncentrace byly opět sledovány na profilech ROK-R2 a CIK. Všechny profily horní Vydry, kromě profilu ROK-R2, naměřily maximální koncentrace DOC společně s maximálním průtokem 13.6.2018. Hodnoty  $CHSK_{Mn}$  a huminových látek jsou také největší na

profilech ROK-R2 a CIK. Rozpětí měřených hodnot  $CHSK_{Mn}$  je kromě profilů ROK-R2 a CIK vysoké také na profilech ROK-R1 a PTA, rozpětí měřených koncentrací huminových látek je nejvyšší na profilu PTA. Vysokých hodnot dosahují také profily ROK-R2, CIK a ROK-R1. Hodnoty pH jsou na odběrných profilech horní Vydry poměrně nízké. Nejnižší průměrné pH (5,92) má profil ROK-R2, naopak nejvyššího průměrného pH dosáhl profil BRE. Konduktivita je v oblasti horní Vydry nejnižší ze sledovaných povodí. Nejvyšších hodnot srovnatelných s profily horní Rolavy dosahují profily Rokytky ROK, ROK-R1 a ROK-R2. Nejnižší konduktivita je měřena na profilu BRE. Vztah koncentrací DOC s  $CHSK_{Mn}$  je velmi silný na profilech CIK, JAV a BRE. Silnou závislost vykazují všechny ostatní profily. Vztah koncentrací DOC a huminových látek je velmi silný na všech profilech kromě profilů Rokytky ROK, ROK-R1 a ROK-R2. Profil ROK vykázal střední závislost, profil ROK-R1 slabou závislost a profil ROK-R2 velmi slabou závislost. Vztah koncentrací DOC a pH je na profilech silný a střední. Nejsilnější vztah byl určen na profilech JAV a BRE, nejslabší na profilech Rokytky ROK, ROK-R1 a ROK-R2. Silnou závislost průtoku a koncentrací DOC mají profily JAV, PTA a BRE. Profil CIK vykázal silnou závislost, profily Rokytky ROK a ROK-R1 střední závislost a profil ROK-R2 slabou závislost.

Velmi silná závislost koncentrací DOC a  $CHSK_{Mn}$  se projevila na profilech JAV, CIK, BRE, BL03 a BL13. Silná závislost na profilech PTA, ROK, ROK-R2, ROL1, SLA2 a TET. Střední závislost vykázal profil ROK-R1. Ve vztahu koncentrací DOC a HL se velmi silná závislost projevila také u profilů JAV, CIK, BRE, BL03 a u profilu PTA. Silnou korelaci mají profily TET a BL03. Žádný profil nevykázal velmi silnou korelaci koncentrací DOC s hodnotami pH. Projevuje se zde silná negativní korelace na profilech PTA, JAV, BRE, TET, BL03 a BL13. Velmi silná závislost se projevila ve vztahu koncentrací DOC a průtoku na profilech PTA, JAV, BRE, TET, BL03 a BL13, silná závislost u profilu CIK a střední závislost u profilů ROK, ROK-R1 a SLA2. Silné a velmi silné vztahy se zkoumanými parametry se projevily především na profilech horní Vydry. Profily Rokytky (ROK, ROK-R1 a ROK-R2) vykázaly většinou slabší závislosti než ostatní profily horní Vydry, zejména ve vztahu koncentrací DOC s HL a průtokem. U profilů horní Rolavy nebyla prokázána silná nebo velmi silná závislost koncentrací DOC s HL, pH a průtokem. Závislosti těchto parametrů byly většinou středně silné a slabé. U profilů horní Blanice se téměř vždy potvrdily silné nebo velmi silné korelace zkoumaných parametrů.

## 7.2 Klasifikace profilů na základě krajinného pokryvu a velikosti povodí s ohledem na koncentrace organického uhlíku

### 7.2.1 Klasifikace profilů na základě krajinného pokryvu, DOC, průtoku a plochy povodí

První klasifikace profilů pomocí shlukové analýzy proběhla na základě vstupu údajů o krajinném pokryvu (kap. 5.2) a hodnot ploch jednotlivých povodí (kap. 5.1). Nejpodobnějšími profily (povodími) jsou PTA a JAV (Graf 19). PTA a JAV jsou dvě největší zájmová povodí v rámci horní Vydry (4,09 a 6,34 km<sup>2</sup>). Mají největší zastoupení smrčín ze všech experimentálních povodí v rámci této práce (73,7 a 81,1 %). Zastoupení rašelinišť je u těchto povodí nejmenší v rámci horní Vydry (12 a 6,8 %). Povodím PTA a JAV se dále z hlediska krajinného pokryvu a plochy povodí nejvíce podobá povodí CIK. Toto povodí je sice plošně nejmenší na horní Vydře (2,46 km<sup>2</sup>) a má největší zastoupení rašelinišť ze všech povodí (31 %), ale zastoupením smrčín (66,85 %) se z profilů horní Vydry profilům PTA a JAV nejvíce přibližuje. Dalším profilem dle podobnosti je ROK. Velikostí povodí je nejbližší profilům PTA a JAV, je to třetí největší povodí horní Vydry (3,82 km<sup>2</sup>). Zastoupením rašelinišť v povodí (23,1 %) se nejvíce přibližuje profilu CIK. Profil ROK má sice nejmenší zastoupení smrčín v povodí (53,27 %), ale tuto kategorii dle KVES doplňují hospodářské lesy jehličnaté (12,16 %). Těch je na horní Vydře nejvíce právě v povodí profilu ROK. Další shluk tvoří již zmíněné profily s posledním profilem horní Vydry BRE. Ten je dle krajinného pokryvu a plochy povodí nejdlišnější z profilů horní Vydry. Plochou povodí (3,55 km<sup>2</sup>) i zastoupením smrčín (59,48 %) se profil od ostatních příliš neodlišuje. I zastoupení rašelinišť v povodí (14,9 %) je velmi podobné profilu PTA. Profil BRE se odlišuje zastoupením nepůvodních křovin (21,3 %), které mnohonásobně převyšuje zastoupení tohoto krajinného pokryvu u ostatních profilů. Povodí profilu BRE bylo velmi silně zasaženo kůrovcovou kalamitou. V povodí se nachází 80 % zničeného lesa s částečnou regenerací (Su et al., 2017). V povodí profilu BRE se jako v jediném ze všech zájmových povodí objevuje krajinný pokryv alpské louky (0,28 %).

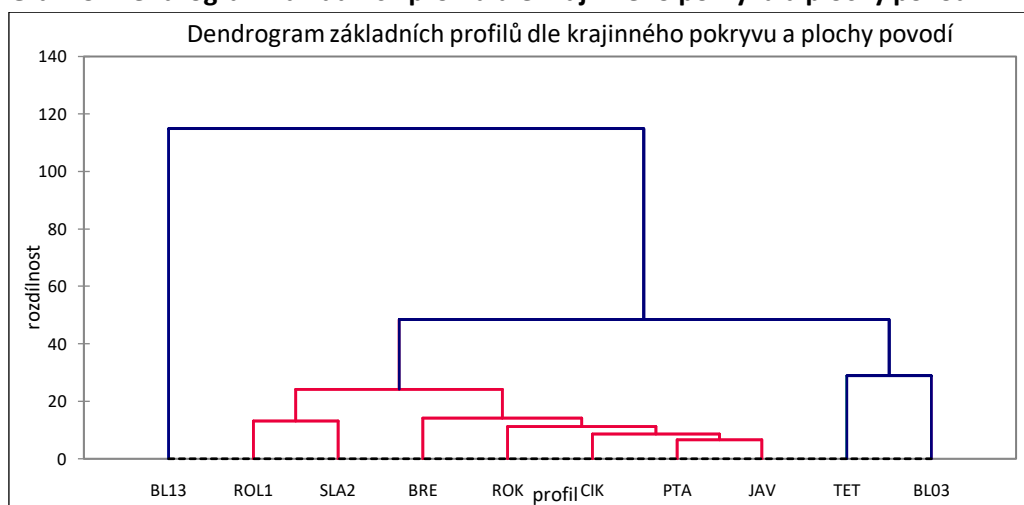
Na úrovni rozdílnosti shluku profilů horní Vydry je shluk profilů horní Rolavy ROL1 a SLA2 (Graf 19). Tyto profily jsou si podobně zejména plochou povodí (22,3 a 17,71 km<sup>2</sup>). Povodí jako jediná společně s profilem BL13 vykázaly v analýze krajinného pokryvu KVES zastoupení vřesovišť (0,007 a 0,01 %). V povodích se nachází dopravní síť, která se dále vyskytuje jen v povodí profilů TET a BL13. V obou povodích je zastoupeno 17 kategorií krajinného pokryvu dle KVES. V povodí ROL1 chybí lužní a mokřadní lesy a v povodí SLA2 se nevyskytuje orná půda. Povodí mají podobné zastoupení nepůvodních křovin (2,29 a 1,88 %). Zastoupení rašelinišť je oproti ostatním zájmovým povodím střední (14,52 a 7,74 %).

Shluk profilů horní Vydry (PTA, JAV, CIK, BRE a ROK) se na hladině větší rozdílnosti dále spojuje se shlukem profilů horní Rolavy (ROL1 a SLA2). Povodí těchto profilů jsou si nejsou blízká rozlohou, ale skladbou kategorií krajinného pokryvu. V povodích horní Vydry se vyskytuje 16 kategorií krajinného pokryvu, na horní Rolavě 17 kategorií. Jedná se převážně o kategorie přírodně blízkých ekosystémů. V povodích většinou nenajdeme zemědělské plochy, ornou půdu a lidskou zástavbu. Jsou zde zastoupeny především lesy a obě zájmové oblasti jsou typické výskytem rašelinišť.

Na podobné hladině rozdílnosti jako je shluk profilů horní Vydry a horní Rolavy, se shlukují profily horní Blanice TET a BL03 (Graf 19). Profily si nejsou podobné plochou povodí (1,61 a 20,55 km<sup>2</sup>). V povodí profilů se vyskytuje 23 různých kategorií krajinného pokryvu. V obou povodích jsou ve velké míře zastoupeny jehličnaté hospodářské lesy (65,16 a 47,36 %). Lužní a mokřadní lesy jsou v povodí profilů TET a BL03 zastoupeny v malé míře (1,29 a 0,4 %). V povodích se vyskytují také mezofilní louky (2,49 a 4,57 %). Nesouvislá městská zástavba je v obou povodích zastoupena velmi málo (0,22 a 0,02 %). Velmi malé je i zastoupení přírodních křovin (0,02 a 0,03 %). Zastoupení rašelinišť je v povodích velmi podobné (2,95 a 4,06 %). V profilech horní Blanice je na rozdíl od profilů horní Vydry a Rolavy výrazně zastoupena kategorie hospodářských luk (20,72 a 5,11 %).

Shluk profilu horní Vydry a horní Rolavy a shluk profilů horní Blanice TET a BL03 se shlukují ve vyšší hladině rozdílnosti (Graf 19). Profil BL13 tvoří samostatný shluk. Povodí tohoto profilu je velmi výrazně rozdílné ve velikosti plochy povodí (85,46 km<sup>2</sup>) i v zastoupení kategorií krajinného pokryvu. V povodí je zastoupeno celkem 29 kategorií krajinného pokryvu. Nejvýrazněji jsou zde zastoupeny kategorie jehličnatých hospodářských lesů (43,85 %), hospodářských luk (19,2 %), bučin (11,42 %) a smrčin (7,15 %). Povodí profilu BL13 jako jediné obsahuje kategorie městské zelené plochy (0,05 %), průmyslové a obchodní jednotky (0,08 %), sportovní a rekreační plochy (0,03 %) a suché bory (0,08 %). Rašeliniště jsou zastoupena na ploše 3,27 %.

**Graf 19: Dendrogram základních profilů dle krajinného pokryvu a plochy povodí**



Zdroj dat: KVES, ZABAGED

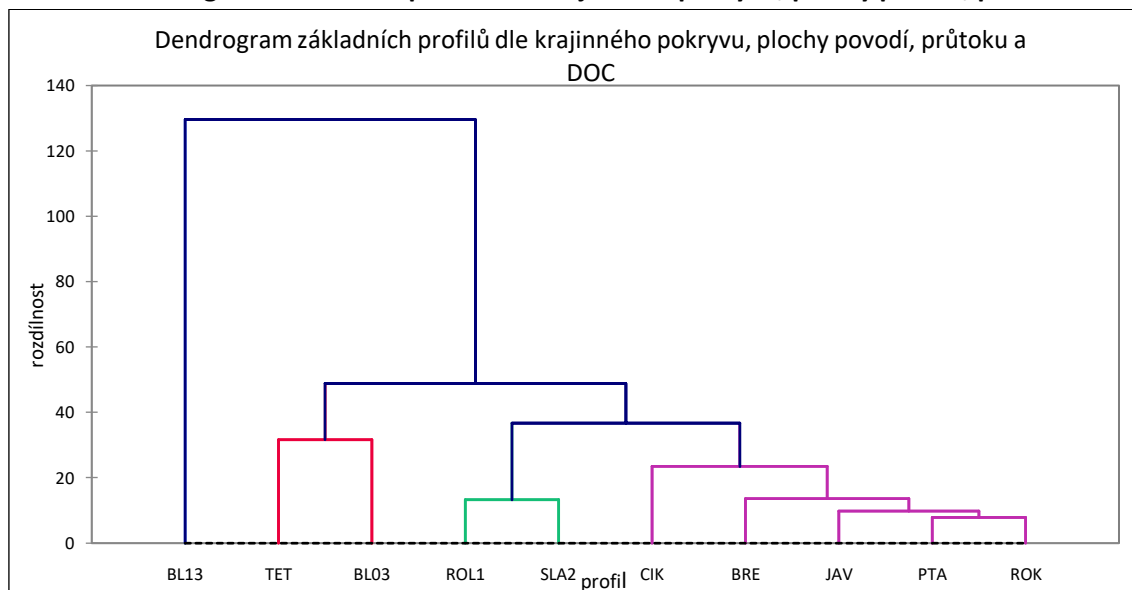


Druhá klasifikace profilů s pomocí shlukové analýzy proběhla na základě dat krajinného pokryvu, plochy povodí, průměrných průtoků za období monitoringu a charakteristik DOC. Do analýzy vstupovaly průměrné koncentrace DOC za období monitoringu, rozpětí měřených koncentrací DOC za období monitoringu a medián koncentrací DOC za období monitoringu. Výsledky analýzy vizualizované pomocí dendrogramu jsou znázorněny v Grafu 20. Výsledky se zapojením charakteristik DOC a průtoku vykazaly relativně stejné uspořádání shluků. Profil BL03 tvoří opět samostatný shluk. I když charakteristiky DOC jsou vzhledem k ostatním profilům průměrné (průměrná koncentrace 9,02, amplituda 25,4 a medián 7,93 mg.l<sup>-1</sup>), největší průměrný průtok (737,34 l.s<sup>-1</sup>), největší plocha povodí (85,46 km<sup>2</sup>) a nejodlišnější krajinný pokryv zabránily vytvoření shluku profilu BL13 s profily, které by mu mohly být svými charakteristikami podobné.

I shluk profilů horní Blanice TET a BL03 zůstal stejný, stejně jako shluk profilů horní Rolavy ROL1 a SLA2 (Graf 20). I všechny profily horní Vydry tvoří samostatný shluk, který se dále nejvíce podobá shluku profilů horní Rolavy ROL1 a SLA2. Rozdíl v této analýze spočívá v podobnosti profilů horní Vydry, které vytvořily jiné shluky než v předchozí analýze (Graf 20). Nejpodobnějšími profily jsou zde PTA a ROK. To je dáno podobností všech charakteristik, které do této analýzy nově vstoupily. Profily mají podobné průměrné průtoky (116,44 a 154,12 l.s<sup>-1</sup>), průměrné koncentrace DOC (9,91 a 13,56 mg.l<sup>-1</sup>), rozpětí měřených hodnot DOC (46,01 a 38,4 mg.l<sup>-1</sup>) a mediány koncentrací DOC (7,75 a 7,45 mg.l<sup>-1</sup>). Profil JAV má tyto charakteristiky mírně odlišné, a proto tvoří s profily PTA a ROK až druhý shluk. Profilu PTA byl sice nejvíce podobný z hlediska krajinného pokryvu, ale z hlediska průtoku a DOC se odlišuje. Průměrný průtok profilu JAV je mnohem vyšší (238,98 mg.l<sup>-1</sup>), ale ostatní charakteristiky DOC jsou nižší než u shluku profilů PTA a ROK. Průměrná koncentrace DOC činí 7,52 mg.l<sup>-1</sup>, rozpětí měřených hodnot je 28,67 mg.l<sup>-1</sup> a medián koncentrací je 6,33 mg.l<sup>-1</sup>. Z hlediska krajinného pokryvu nejodlišnější profil horní Vydry BRE (Graf 19) je po zahrnutí charakteristik DOC a průtoku podobnější profilům JAV, PTA a ROK než v předchozí analýze. Průměrný průtok činí 94,61 l.s<sup>-1</sup>, průměrná koncentrace DOC za období monitoringu je 8,52 mg.l<sup>-1</sup>, rozpětí měřených koncentrací je 38,46 mg.l<sup>-1</sup> a medián koncentrací DOC tvoří 7,09 mg.l<sup>-1</sup>.

Z hlediska krajinného pokryvu je profil CIK, i přes vysoký výskyt rašelinišť v povodí (31 %), v první analýze více podobný ostatním profilům horní Vydry. V druhé analýze je profil CIK nejodlišnější (Graf 20). To je způsobeno odlišností všech parametrů přidaných do této analýzy. Průměrný průtok profilu CIK je nejnižší (77,28 l.s<sup>-1</sup>), ale všechny parametry DOC jsou ze všech sledovaných profilů nejvyšší. Průměrná koncentrace DOC za období monitoringu tvoří 19,88 mg.l<sup>-1</sup>, rozpětí měřených hodnot je 46,52 mg.l<sup>-1</sup> a medián koncentrací DOC je 21,48 mg.l<sup>-1</sup>.

**Graf 20: Dendrogram základních profilů dle krajinného pokryvu, plochy povodí, průtoku a DOC**



Zdroj dat: KVES, ZABAGED, KFGG

### 7.2.2 Zhodnocení klasifikací profilů

Vypracované klasifikace zájmových profilů pomocí shlukové analýzy ukázaly podobnost profilů v jednotlivých zájmových oblastech. Nejpodobnější jsou si z hlediska krajinného pokryvu a velikosti povodí profily horní Vydry. Profily mají podobné plochy povodí a vyskytuje se v nich podobná skladba kategorií krajinného pokryvu. Profily horní Rolavy ROL1 a SLA2 jsou si také podobné plochou povodí i zastoupením kategorií krajinného pokryvu. Rozdíl lze spatřovat v zastoupení kategorií rašelinišť a luk. Nejméně podobné jsou si profily horní Blanice TET a BL03. Mají odlišnou plochu povodí i výskyt různých kategorií krajinného pokryvu v různé míře zastoupení. Nejodlišnější profil z hlediska krajinného pokryvu je dle KVES profil BL13, který je extrémně odlišný nejen velikostí povodí, ale i zastoupením krajinného pokryvu.

Z hlediska krajinného pokryvu, velikosti povodí, průměrného průtoku a charakteristik DOC lze spatřovat rozdíly oproti předchozí analýze pouze v podobnosti profilů horní Vydry. Nejpodobnějšími profily jsou ROK a PTA a nejodlišnějším profilem od profilů horní Vydry je profil CIK. Jeho průměrný průtok je nejnižší a všechny jeho parametry DOC jsou mnohem vyšší než u ostatních profilů. To je způsobeno zejména výskytem rašelinišť, které jsou v tomto povodí nejvíce zastoupena.

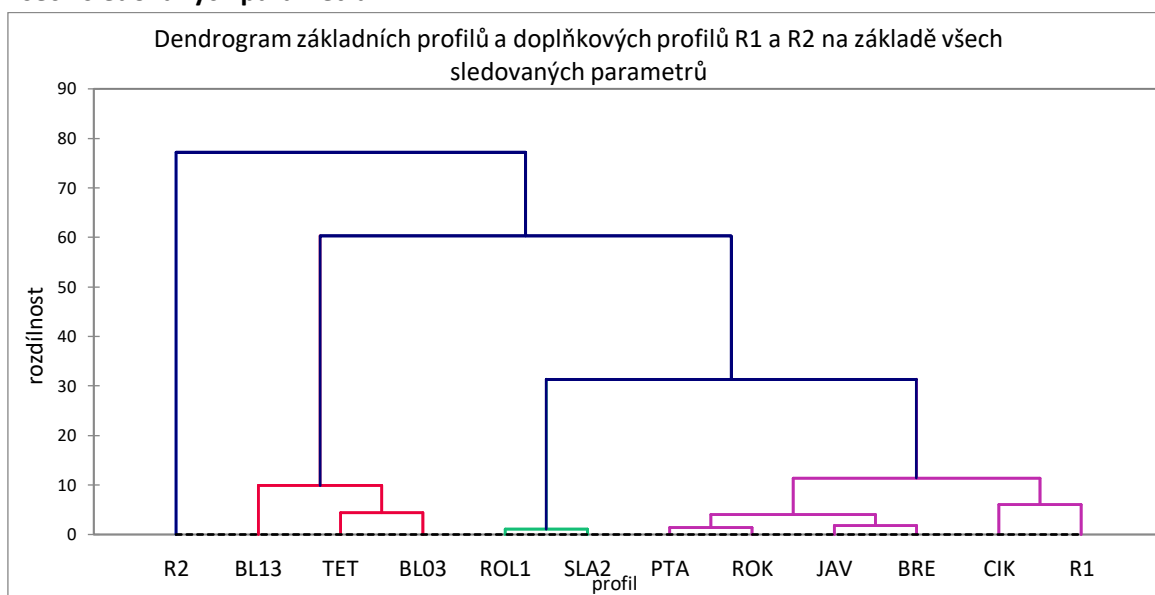
## 7.3 Vyhodnocení podobnosti zájmových povodí na základě parametrů kvality vody a chování

### 7.3.1 Vyhodnocení podobnosti profilů pomocí shlukové analýzy

Na základě parametrů chemismu a kvality vody, které jsou měřeny a sledovány na zájmových profilech, byla vytvořena shluková analýza základních profilů a profilů ROK-R1 a ROK-R2 na Rokytce. Tyto doplňkové profily jsou sledovány stejně dlouho jako základní profily a mohou vstupovat do těchto analýz. Dendrogram (Graf 21) zobrazuje shluky profilů, které jsou si měřenými parametry nejpodobnější. Dle předpokladů je shlukem s nejtěsnějším vztahem shluk profilů ROL1 a SLA2 v povodí horní Rolavy. Profily jsou si v rámci srovnání profilů obsažených v této práci podobné velikostně, typem podloží, půd i krajinného pokryvu. Dalšími velmi těsnými shluky jsou shluky profilů PTA a ROK a JAV a BRE. Profily PTA a ROK se vyznačují větší rozkolísaností a rozpětím měřených hodnot parametrů, zatímco profily JAV a BRE jsou charakteristické spíše vyrovnanějšími a nižšími hodnotami bez výrazných extrémů. Tyto dva shluky se poté spojují do společného shluku. Dalším shlukem je shluk profilů TET a BL03. Oba profily se nacházejí v povodí horní Blanice. I přes rozdílnou velikost plochy povodí vykazují podobné hodnoty měřených parametrů. K tomuto shluku se později připojuje i profil s největší plochou povodí BL13.

Předpoklad podobnosti profilů CIK a ROK-R1 vzhledem ke krajinnému pokryvu, zejména zastoupení rašelinišť, se v této shlukové analýze potvrdil. Profily CIK a ROK-R1 spolu tvoří shluk. Dále se shlukují s ostatními profily povodí horní Vydry a poté i s profily horní Rolavy. Profil ROK-R2 netvoří shluk s žádným dalším profilem. Se všemi ostatními profily se shlukuje až na vysoké hladině rozdílnosti. Povodí tohoto profilu je vzhledem k okolnostem popsaným v kapitolách 5.1.1 a 7.1 naprosto odlišné od ostatních profilů především svými extrémními ukazateli většiny parametrů. Profil vykazuje například největší průměrné koncentrace DOC ( $29,69 \text{ mg.l}^{-1}$ ), jedno z největších rozpětí měřených hodnot ( $45,05 \text{ mg.l}^{-1}$ ), nejmenší plochu povodí ( $0,144 \text{ km}^2$ ), nejnižší hodnoty pH, nejvyšší hodnoty  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$  a huminových látek.

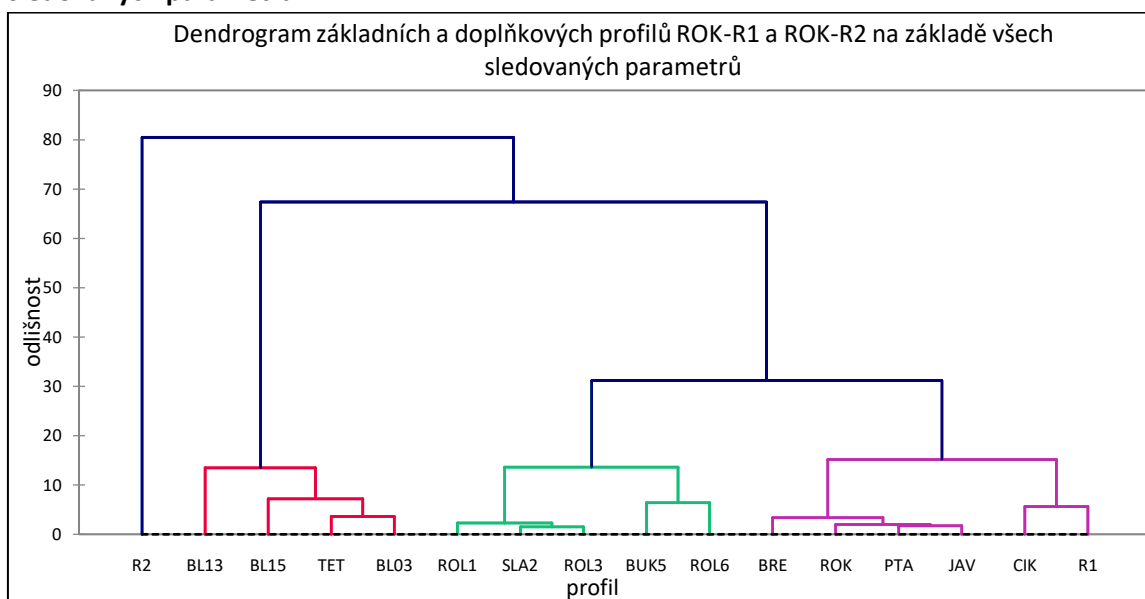
**Graf 21: Dendrogram základních profilů a doplňkových profilů ROK-R1 a ROK-R2 na základě všech sledovaných parametrů**



Zdroj dat: KFGG

Shluková analýza, do které byly zahrnuty i doplňkové profily, je také vyjádřena dendrogramem (Graf 22). Profily povodí horní Vydry, Rolavy i Blаницe si stejně jako v případě předchozí shlukové analýzy tvoří vlastní postupné shluky. Všechny profily horní Vydry byly uvedeny již ve shlukové analýze za celé sledované období. Ve shlukové analýze pro rok 2018 zaznamenali pouze nepatrnou změnu v rámci prvotních shluků profilů BRE, ROK, PTA a JAV. Hierarchie profilů a vztahy mezi nimi jsou stejné. Prvotní shluk profilů ROL1 a SLA2 byl narušen profilem ROL3, který nyní tvoří prvotní shluk s profilem SLA2. Profil ROL1 se k tomuto shluku přidává záhy. Rozdílnost mezi profily je tedy stále velmi nízká. Profil ROL3 je umístěn pod soutokem profilů ROL1 a SLA2 a parametry chemismu a kvality vody nabývají podobných hodnot jako profily ROL1 a SLA2. Doplňkové profily BUK5 a ROL6 tvoří shluk, i když si profily nejsou tak podobné jako profily ROL1, SLA2 a ROL3. Profily BUK5 je přítokem profilu SLA2, je tedy jeho pramennou částí a profil ROL6 je pramennou částí profilu ROL1. Profily se nacházejí mnohem výše v pramenné oblasti a také blíže rašeliništím. Jsou mnohem menší, mají nižší hodnoty pH, vyšší hodnoty  $CHSK_{Mn}$ , dusičnanů a železa. Podobnost profilů horní Blаницe zůstává stejná i v kratším časovém období. Doplňkový profil BL15 má velmi podobné hodnoty parametrů a v dendrogramu se nachází mezi shlukem profilů TET a BL03 a profilem BL13.

**Graf 22: Dendrogram základních profilů a doplňkových profilů R1 a R2 na základě všech sledovaných parametrů**



Zdroj dat: KFGG

#### 6.4.2 Zhodnocení vyhodnocení podobnosti profilů pomocí shlukové analýzy

Na základě ukazatelů chemismu a kvality vody se ukázalo, že profily povodí horní Vydry, Rolavy i Blanice tvoří samostatné shluky. Profily povodí horní Vydry a horní Rolavy jsou si více podobné než s profily horní Blanice. Rozdílem majícím vliv na hodnoty parametrů je například zastoupení rašelinišť a mokřadních ekosystémů, které ovlivňují velké množství parametrů chemismu a kvality vody. Nejodlišnějším profilem je profil ROK-R2 odvodňující rašeliniště. Většina hodnot jeho parametrů je ve srovnání s parametry ostatních profilů extrémní. Profily BRE, ROK, PTA a JAV jsou si velmi podobné. Profily CIK a ROK-R1 tvoří v rámci profilů horní Vydry samostatný shluk. Opět je zde patrný vliv vysokého zastoupení rašelinišť a zamokřených ploch v území. U profilů horní Rolavy se ukazuje stejná skutečnost. Profily ROL1, SLA2 a ROL3 jsou odlišné od profilů BUK5 a ROL6, které se nacházejí přímo v pramenné oblasti a vliv rašelinišť zde bude mnohem větší. Profily ROL1, SLA2 a ROL3 se nacházejí mnohem dále po toku, kde se uplatňuje vliv dalších přítoků a vliv rašelinišť klesá. Z profilů horní Blanice jsou si nejpodobnější profily TET a BL03, dále pak profil BL15 a závěrový profil celého povodí BL13. Vliv rašelinišť a zamokřených ploch pramenných oblastí je v rámci povodí horní Blanice nejvíce patrný u profilu BL03 vytékajícího z Vojenského újezdu Boletice, kde řeka Blanice pramení.

## 7.4 Vyhodnocení sezonnosti koncentrací organického uhlíku

### 7.4.1 Průměrné koncentrace organického uhlíku v jednotlivých sezonách během roku

Všechny vyhodnocené koncentrace DOC během monitoringu byly na jednotlivých základních profilech rozděleny do sezon, respektive ročních období. Pro jarní období byl použit interval měsíců březen až květen, pro letní období červen až srpen, pro podzimní období září až listopad a pro zimní období prosinec až únor. Pro každé roční období byla vypočítána průměrná koncentrace DOC na každém profilu (Tabulka 33). Na profilech horní Vydry se projevuje relativně vyrovnaný chod koncentrací během jarního, letního a podzimního období. Nejnižší koncentrace se na všech profilech vyskytují v zimě. Povodí s nejnižším zastoupením rašelinišť v povodí (JAV, BRE a PTA) mají největší průměrné koncentrace DOC v letním období. Rozdíly mezi obdobími ovšem nejsou příliš velké. Profily s největším zastoupením rašelinišť v povodí (CIK, ROK, ROK-R1 a ROK-R2) mají největší průměrné koncentrace DOC v podzimním období. Rozdíly mezi jarním, letním a podzimním obdobími nejsou ani u profilů ROK a ROK-R1 příliš výrazné. Profily CIK a ROK-R2, které se vyznačují vůbec největším zastoupením rašelinišť na ploše povodí, mají podzimní maximum oproti ostatním obdobími v roce poměrně výrazné.

Na profilech horní Rolavy se projeví největší průměrné koncentrace DOC v zimním období. Během jarního, letního a podzimního období jsou průměrné koncentrace DOC vyrovnané. Nutno podotknout, že zimní průměrné koncentrace byly vypočítány pouze ze dvou hodnot na každém profilu za celé období monitoringu. Obě dvě hodnoty na každém profilu byly naměřeny v únoru. V jednom případě se jednalo o vysoké koncentrace DOC spojené s vysokým průtokem. Tato událost zvýšila zimní průměrné koncentrace DOC.

Na profilech horní Blanice se vyskytují nejmenší průměrné koncentrace DOC v podzimním období. Největší průměrné koncentrace byly zaznamenány na profilu TET v jarním období, na profilech BL03 a BL13 v letním období. Na profilu TET ovšem není rozdíl průměrných koncentrací mezi jarním a letním obdobími příliš znatelný. Na profilu BL13 je letní maximum průměrných koncentrací DOC poměrně výrazné. Na profilech horní Blanice neprobíhal monitoring v zimním období.

**Tabulka 33: Průměrné koncentrace DOC během jednotlivých sezon na odběrných profilech**

profil/prům. DOC [mg.l <sup>-1</sup> ]	DOC 03-05	DOC 06-08	DOC 09-11	DOC 12-02
PTA	9,20	<b>11,34</b>	10,85	1,97
JAV	7,30	<b>9,98</b>	6,96	3,53
CIK	18,21	19,30	<b>24,53</b>	5,56
BRE	8,57	<b>10,66</b>	8,96	1,86
ROK	11,98	11,07	<b>13,29</b>	3,74
ROK-R1	14,42	10,93	<b>14,88</b>	4,85
ROK-R2	25,95	25,31	<b>33,96</b>	18,83
ROL1	5,14	6,77	6,80	<b>9,09</b>
SLA2	6,03	7,94	7,24	<b>9,10</b>
TET	<b>11,28</b>	9,84	6,05	x
BL03	13,28	<b>16,65</b>	8,98	x
BL13	7,96	<b>14,33</b>	6,40	x

Zdroj dat: KFGG

Vysvětlivky: tučně jsou vyznačeny největší průměrné koncentrace na jednotlivých profilech v daném ročním období

#### 7.4.2 Závislosti koncentrací OC a průtoku v jednotlivých ročních obdobích

Pearsonův korelační koeficient odhalil nejsilnější závislost průtoku a koncentrací DOC v letní sezoně (Tabulka 34). Na všech profilech, kromě profilu ROK-R2, se projevila velmi silná pozitivní závislost průtoku a koncentrací DOC. Profil ROK-R2 vykázal silnou závislost. V jarním období se projevila velmi silná pozitivní závislost průtoku a koncentrací DOC pouze na profilu TET, silná pozitivní závislost na profilech PTA a JAV. Profily CIK, ROK, ROK-R1 a SLA2 vykázaly středně silnou nebo slabou pozitivní závislost. Na profilu ROK-R2 se v jarním období projevila velmi slabá negativní závislost průtoku a koncentrací DOC. Slabá negativní závislost se v jarním období projevuje na profilech BRE, ROL1, BL03 a BL13.

Během podzimního období se velmi silná závislost průtoku a koncentrací DOC projevuje opět pouze na profilu TET. Silná závislost je patrná na profilech PTA, JAV, CIK a SLA2. Střední závislost vykázaly profily BRE a ROL1. Slabá závislost se projevuje na profilu ROK, velmi slabá na profilu ROK-R1. Profil ROK-R2 má stejně jako v jarním období nepatrně negativní závislost průtoku a koncentrací DOC. Na profilech BL03 a BL13 nebylo během monitoringu provedeno dostatek pozorování pro výpočet korelačního koeficientu. V zimním období se na většině profilů monitoring neprovádí.

**Tabulka 34: Hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu pro určení závislosti průtoku Q a koncentrací DOC v jednotlivých ročních obdobích**

	Q/DOC jaro	Q/DOC léto	Q/DOC podzim	Q/DOC zima
PTA	0,76*	<b>0,98**</b>	0,61	x
JAV	0,71	<b>0,98**</b>	0,73	x
CIK	0,49	<b>0,98*</b>	0,75	x
BRE	-0,39	<b>0,98**</b>	0,46	x
ROK	0,38	<b>0,99**</b>	0,38	x
ROK-R1	0,25	<b>0,97**</b>	0,13	x
ROK-R2	-0,03	0,65	-0,08	x
ROL1	-0,28	<b>0,94**</b>	0,44	x
SLA2	0,58	<b>0,87*</b>	0,76	x
TET	<b>0,91*</b>	<b>0,99**</b>	<b>0,98</b>	x
BL03	-0,22	<b>0,96*</b>	x	x
BL13	-0,23	<b>0,98**</b>	x	x

Zdroj dat: KFGG

Vysvětlivky: tučně jsou vyznačeny velmi silné závislosti, \*\* p-hodnota 0,01, \* p-hodnota 0,05.

### 7.4.3 Zhodnocení průměrných koncentrací DOC během roku a závislosti koncentrací DOC a průtoku v jednotlivých ročních obdobích

Průměrné koncentrace DOC jsou na profilech horní Vydry od jara do podzimu relativně vyrovnané. Nejnižší koncentrace jsou zde pozorovány v zimním období. V povodích s nejmenší rozlohou rašelinišť (JAV, BRE, PTA) se projevují největší průměrné koncentrace DOC v letním období. Povodí s velkým zastoupením rašelinišť (CIK, ROK, ROK-R1 a ROK-R2) mají největší průměrné koncentrace na podzim. U většiny povodí se jsou ale rozdíly mezi sezonami velmi malé. Pouze na profilech CIK a ROK-R2 se podzimní maximum projevuje poměrně výrazně. Profily horní Rolavy mají největší průměrné koncentrace DOC v zimním období. Od jara do podzimu jsou koncentrace téměř vyrovnané. Průměrné koncentrace DOC v zimním období jsou však vypočítány pouze ze dvou měření, z nichž jedna odběrná kampaň proběhla v únoru během vysokých průtoků způsobených vysokými úhrny srážek a táním sněhu. Na profilech horní Blanice se projevují nejmenší průměrné koncentrace v podzimním období. Profil TET má největší průměrné koncentrace na jaře a pouze mírně menší v létě. Profily BL03 a BL13 vykazují největší průměrné koncentrace DOC v létě. Na profilu BL13 jsou největší letní koncentrace poměrně výrazné. Zimní období nebylo v povodí horní Blanice monitorováno.

Pozitivní závislost průtoku a koncentrací DOC je na všech profilech velmi silná v letním období. Pouze profil ROK-R2 vykázal menší, silnou závislost. V jarním a podzimním období se velmi silná závislost projevila pouze na profilu TET. Na profilech PTA a JAV se v jarním a podzimním období projevila silná závislost. Negativní závislost průtoku a koncentrací DOC vykazovaly v jarním období profily BRE, ROL1, BL03 a BL13. Profil ROK-R2 má nejslabší závislost průtoku a koncentrací DOC v letním období, na jaře a na podzim je zde velmi slabá, nepatrná



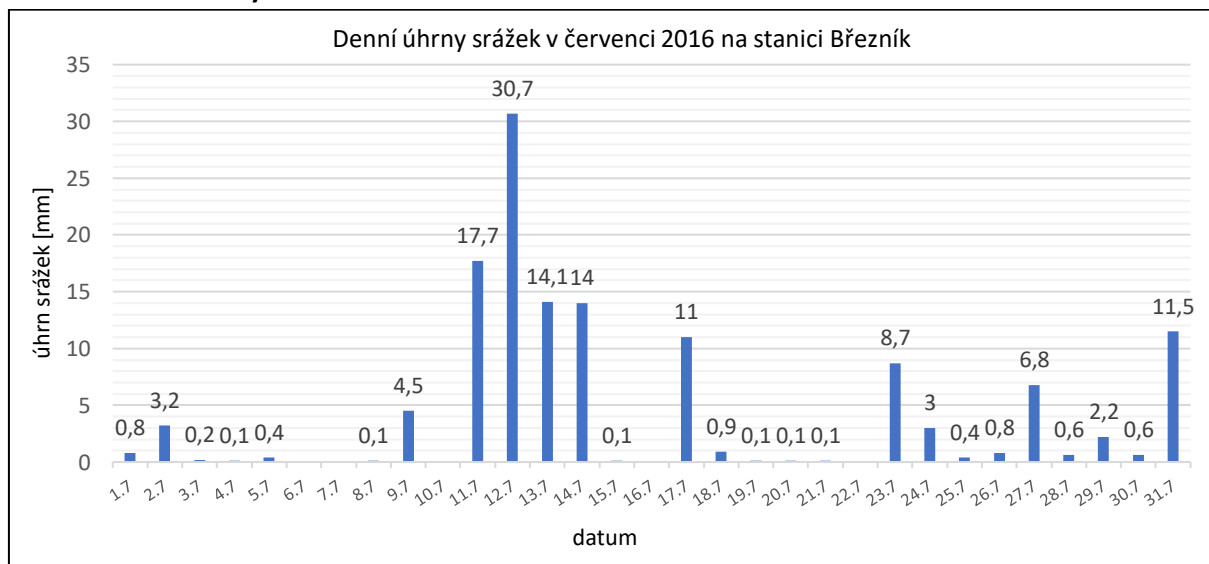
negativní závislost. Zimní období nebylo na profilech monitorováno. Profily BL03 a BL13 nebyly vyhodnoceny také v podzimním období.

## 7.5 Vyhodnocení jednotlivých odběrných kampaní pomocí automatického vzorkovače na profilu ROK-R1

### 7.5.1 Odběrná kampaň 12.-14.7.2016

V červenci roku 2016 proběhla na profilu ROK-R1 na Rokytcce odběrná kampaň pomocí automatického vzorkovače v období 12.-28.7. Pro účely vyhodnocení chování koncentrací rozpuštěného organického uhlíku (DOC) ve vazbě na průtok bylo tato odběrná kampaň rozdělena do tří hlavních průtokových epizod (12.-14.7., 24.-25.7. a 27.-28.7.) Na přiloženém Grafu 23 jsou zobrazeny denní srážkové úhrny v červenci 2016 na blízké stanici KFGG Březník. Významná srážková epizoda 11.-14.7. se vyskytla po delším období bez výrazných srážkových úhrnů a byla zdrojem pro první sledovanou epizodu odběru organického uhlíku 12.-14.7. Během čtyř dnů zde spadlo 76,5 mm srážek. Největší denní srážkový úhrn se objevil 12.7.2016 (30,7 mm). První zvýšení průtoku nastalo po intenzivní srážce, kdy 12.7. v čase 3:50 až 5:50 spadlo na stanici Březník 16,2 mm srážek. Největší desetiminutový úhrn (4,5 mm) se vyskytl v čase 4:00 až 4:10. Odpolední a večerní srážky byly 12.7. spíše déletrvajících a mírných. V čase 16:10 až 23:50 spadlo 8,9 mm srážek.

**Graf 23: Denní úhrny srážek v červenci 2016 na stanici Březník**



Zdroj dat: KFGG

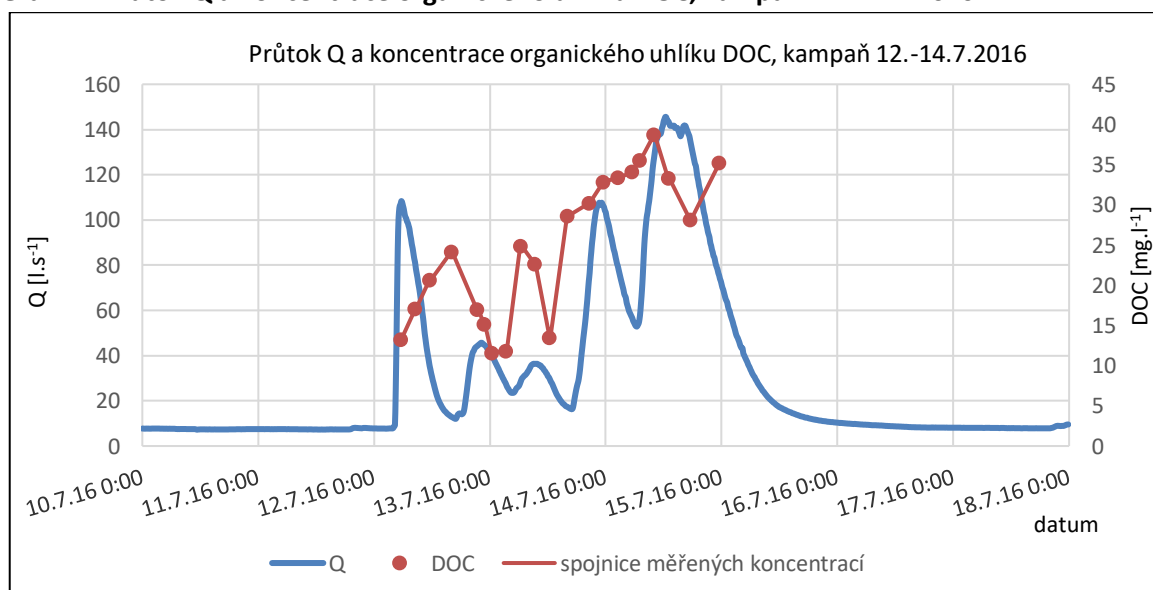
Průměrná koncentrace DOC na profilu ROK-R1 je 15,01 mg.l<sup>-1</sup>. Podobná koncentrace byla naměřena také na začátku vzestupu průtoku 12.7 v 5:30 (13,25 mg.l<sup>-1</sup>). Průtok se nad ráno 12.7. zvýšil během devadesáti minut ze základních 7-8 l.s<sup>-1</sup> na první maximum této epizody 107 l.s<sup>-1</sup>. To je patrné na Grafu 24, kde je znázorněn průtok a koncentrace DOC odebrané automatickým vzorkovačem během této epizody. Nejvyššího průtoku v profilu ROK-R1 (145,5 l.s<sup>-1</sup>) bylo dosaženo

v 14.7 v 12:20. Podle předpokladu, že koncentrace DOC rostou s průtokem, bylo po prvním zvýšení průtoku (12.7. v 5:40) dosaženo i prvního maxima koncentrace DOC 12.7. v 16:00 ( $24,14 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Zpoždění první maximální koncentrace DOC za prvním zvýšením průtokové vlny činí 10:20. Po prvním vzestupu průtok klesl na téměř původní úroveň – minimum prvního zvýšení průtoku ( $12 \text{ l.s}^{-1}$ ) nastalo 12.7. v 16:50. Po minimu průtoku následovalo také minimum koncentrací DOC ( $11,61 \text{ mg.l}^{-1}$ ) 13.7. v 0:20. Zpoždění minima koncentrací DOC za minimem průtoku tak bylo 7:30.

Druhé zvýšení průtoku nebylo tak výrazné a rychlé jako první. Nejvyšší průtok druhého zvýšení průtoku ( $45,7 \text{ l.s}^{-1}$ ) byl naměřen 12.7. v 22:10 (Graf 24). V souvislosti se zvýšením průtoku došlo opět i ke zvýšení koncentrace DOC ( $24,88 \text{ mg.l}^{-1}$ ) 13.7. v 6:20. Jedná se o zpoždění maximální koncentrace DOC navázané na předchozí maximální průtok o 8:10. Po snížení druhého zvýšení průtoku na nižší úroveň ( $23,5 \text{ l.s}^{-1}$ ) 13.7. v 4:30 došlo opět i k snížení koncentrace DOC ( $13,46 \text{ mg.l}^{-1}$ ) 13.7. v 12:20 se zpožděním 7:50. Následovalo další mírné zvýšení a snížení průtoku, u kterého se výkyvy v koncentraci DOC nestihly samostatně projevit, protože poté nastala další výrazné zvýšení průtoku.

Z minima průtoku ( $16,3 \text{ l.s}^{-1}$ ) 13.7. v 17:00 dosáhl profil ROK-R1 maxima třetího zvýšení průtoku ( $107,6 \text{ l.s}^{-1}$ ) 13.7. v 22:40. Maximum koncentrace DOC ( $38,73 \text{ mg.l}^{-1}$ ) nastalo 14.7. v 10:00 se zpožděním 11:20 za maximem průtoku. Poslední sledované snížení průtoku ( $52,9 \text{ l.s}^{-1}$ ) před dalším zvýšením průtoku nastalo 14.7. v 6:20. Poslední zvýšení průtoku v této kampani, a zároveň i největší, nastalo 14.7. v 12:20. Koncentrace DOC po tomto maximu opět stoupají a dosáhly by pravděpodobně, stejně jako průtok, největších maxim. Kampaň byla 14.7. v 23:30 ukončena s koncentrací DOC  $35,23 \text{ mg.l}^{-1}$ . Největší koncentrace by DOC zřejmě dosáhl s největším zpožděním za maximálním průtokem v této kampani.

**Graf 24: Průtok Q a koncentrace organického uhlíku DOC, kampaň 12.-14.7.2016**



Zdroj dat: KFGG

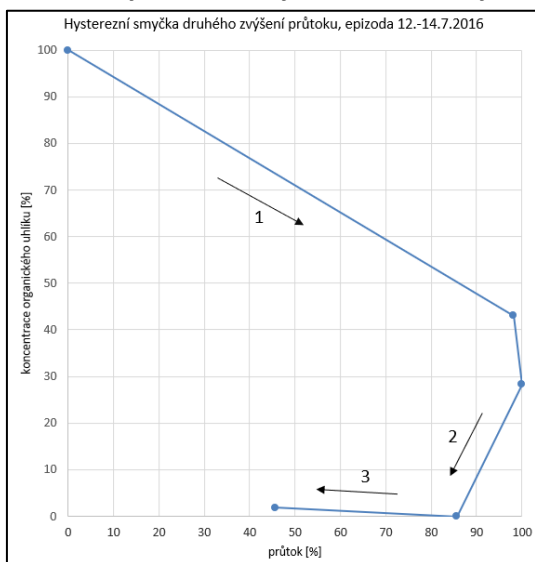
Tato odběrná kampaň byla z hlediska průtokových událostí velmi složitá. Průtok rostl a klesal a s tím také rostly a klesaly koncentrace DOC. Jednotlivé výstupné a sestupné větve průtoků a koncentrací DOC se vlivem zpoždění překrývaly. Je zde možné ilustrovat, s jakou rychlostí DOC reaguje na nárůst průtoků. V této kampani lze rozlišit celkem tři zdokumentované vrcholy průtoků a koncentrací DOC. Po maximu průtoků vždy přichází největší koncentrace DOC. Zpoždění maxim koncentrací DOC za maximy průtoků bylo v průměru 9:56. Jednotlivá zpoždění maximálních koncentrací DOC za maximální hodnotou průtoků jsou 10:20, 8:10 a 11:20. První zpoždění bylo poměrně dlouhé. Povodí odběrného profilu nebylo před touto událostí zasaženo žádnou významnou srážkovou epizodou, a nebylo tedy ani významně saturované. První srážky se objevily již 11.7. odpoledne (Graf 23), ale nárůst průtoků se projevil až 12.7. kolem 4:00. Velké zpoždění maxima koncentrací DOC za maximem průtoků může být způsobeno předchozími podmínkami bez dešťových epizod. Povodí sledovaného profilu nejprve infiltrovalo vodu do půd a rašelinišť, ze kterých se po nasycení začne vyplavovat voda bohatá na DOC až později. Zároveň také stále docházelo k ředění koncentrací DOC v průtoků srážkovou vodou, 12.7. spadlo celkem 30,7 mm srážek. Koncentrace DOC tedy projevily maximum za maximem průtoků, ale nedosáhly velmi vysokých hodnot.

Druhé zpoždění maximální koncentrace DOC za maximem průtoků bylo kratší. Průvodní podmínky v povodí byly pro rychlejší odezvu DOC příznivější, kromě stále trvajících srážek se díky nasycení mohla zapojit i infiltrovaná voda. Srážky neustávaly, a proto bylo více vody dostupné pro vyplavení DOC z povodí. Vydávané srážkové úhrny však zároveň působily ředění vyplavující se vody. Koncentrace DOC v maximu stále nedosahovaly výrazně vysokých hodnot. To může být spojeno s ročním obdobím a produkcí dostupného organického materiálu. Nejvíce dostupného organického materiálu se vyskytuje spíše v pozdním létě a brzkém podzimu, a proto koncentrace DOC bývají při velkých průtokových epizodách v tomto období vyšší. Hladina podzemní vody je v létě v rašeliništi nižší a díky tomu zde dochází k oxidaci. Roste množství dostupných organických látek, které jsou na konci léta a na podzim vyplavovány do vodních toků (kap. 3.2 a 3.4.5). Třetí zpoždění maxima DOC za maximem průtoků bylo v této kampani nejdelší, ale koncentrace DOC byly zároveň nejvyšší. Vysoké koncentrace by dle výsledků podobných studií (kap. 3.2 a 3.4.5) mohly být způsobeny vyplavením dostupného materiálu z hlubších vrstev rašeliny, čímž se zvyšuje zpoždění maximální koncentrace DOC za maximální hodnotou průtoků. Zpoždění je sice největší vzhledem k ostatním kampaním, ale v rámci této kampaně není výrazně delší než první dvě zpoždění.

Pro všechny tři zvýšení průtoků byly vytvořeny hysterezní smyčky. Pro první zvýšení průtoků od jejího začátku po konec hysterezní smyčka neukázala žádný z uvedených typů smyčky. Do konce zvýšení průtoků v jeho minimu docházelo pouze k postupnému nárůstu koncentrací. Snižování koncentrací nastalo až později, během výstupné větve již druhého zvýšení průtoků.

Hysterezní smyčka druhého zvýšení průtoku je typ 1 po směru hodinových ručiček (Graf 25). Tento typ smyčky je charakteristický poklesem hodnot DOC s nástupem vyššího průtoku a následným zvýšením koncentrací s poklesem průtoku. To může být způsobeno ředěním koncentrací DOC v toku srážkovou vodou. V tomto případě se také jedná o vliv předchozího zvýšení průtoku a jeho sestupné větve. Ta měla za následek snížení koncentrací DOC se snížením průtoku, což se projevilo až na začátku druhého zvýšení průtoku. Zvýšení koncentrací DOC v důsledku snížení průtoku během druhého zvýšení průtoku se dle typu 1 hysterezní smyčky projevilo až na konci sestupné větve, a to pouze mírně. V souvislosti s předchozími podmínkami, vlivem prvního zvýšení průtoku a vysokými srážkovými úhrny během této epizody se jedná o zapojení vody z povodí bohaté na DOC. To souvisí s vyplavováním DOC z jednotlivých vrstev rašeliniště dle jeho nasycení. Hysterezní smyčka třetího zvýšení průtoku nevykázala, stejně jako v případě prvního zvýšení průtoku, žádný typ smyčky. Opět po celou dobu zvýšení průtoku docházelo k růstu koncentrací DOC.

**Graf 25: Hysterezní smyčka druhého zvýšení průtoku, epizoda 12.-14.7.2016**



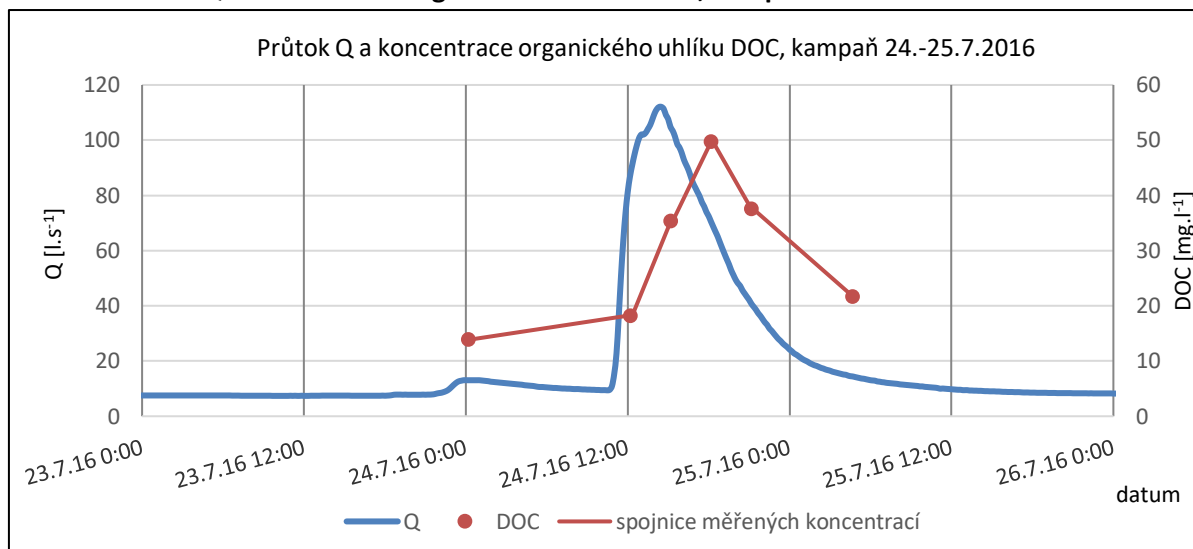
Zdroj dat: KFGG

### 7.5.2 Odběrná kampaň 24.-25.7.2016

Druhá sledovaná epizoda odběru DOC v červenci byla 24.-25.7.2016. Úhrny příčných srážek, které způsobily tuto průtokovou epizodu, byly mnohem menší než v případě první kampaně. V období 23.-25.7. spadlo na stanici KFGG Březník 12,1 mm srážek. Největší denní úhrn srážek (8,7 mm) se objevil 23.7., kdy padaly mírné srážky v čase 17:50 až 23:50. V předchozích pěti dnech srážky téměř vůbec nepadaly. Povodí ale bylo poměrně nasyceno z vydatných srážek z předchozí kampaně 12.-14.7.2016 (Graf 23). Prvotní mírné zvýšení průtoku ze základních  $7-8 \text{ l.s}^{-1}$  na  $13 \text{ l.s}^{-1}$  proběhlo o půlnoci z 23. na 24.7. V tu chvíli byla naměřena průměrná koncentrace DOC ( $13,89 \text{ mg.l}^{-1}$ ). Průtok se po tomto mírném zvýšení vrátil zpět k základním hodnotám ( $9,7 \text{ l.s}^{-1}$ ) 24.7. v 8:40. Následovalo prudké zvýšení průtoku, kdy byla největší hodnota průtoku ( $112 \text{ l.s}^{-1}$ ) naměřena 24.7. v 14:20 (Graf

26). Průtok poté pozvolna klesal, na průměrnou hodnotu  $8 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  se dostal až 26.7. v 7:20. Na výstupné větvi průtokové křivky byla změřena koncentrace DOC ( $18,25 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  24.7. v 12:10), která se se zvyšujícím průtokem zvyšovala. Při maximu průtoku byla naměřena koncentrace DOC  $35,36 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Největší koncentrace DOC ( $49,71 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) byla naměřena na sestupné větvi 24.7. v 18:10. Zpoždění maxima koncentrace DOC za maximem průtoku je tedy 3:50. Dále koncentrace DOC s klesajícím průtokem klesaly.

**Graf 26: Průtok Q a koncentrace organického uhlíku DOC, kampaň 24.-25.7.2016**

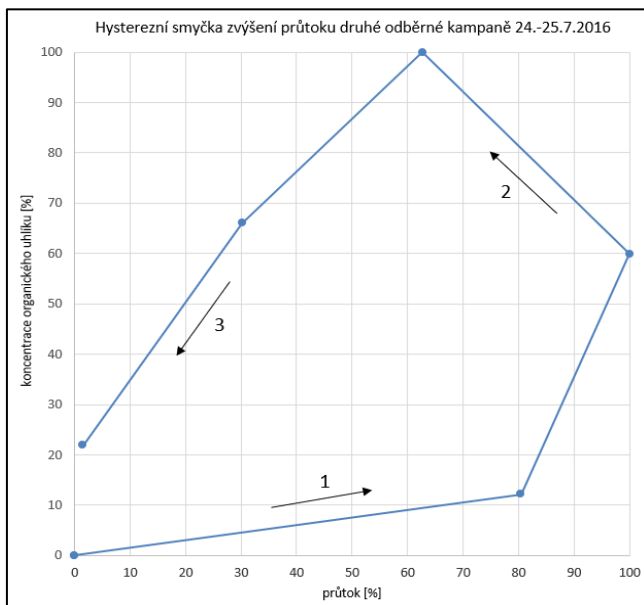


Zdroj dat: KFGG

Tato odběrná kampaň je názorným příkladem jednoduché průtokové vlny a reakce DOC na tyto změny. Podle obecného předpokladu se koncentrace DOC zvyšují se zvyšujícím průtokem, se snižujícím průtokem klesají. Zpoždění maxima DOC za maximem průtoku zde bylo poměrně malé, pouze 3:50. To je způsobeno tím, že povodí bylo už před příčinnou srážkou, která nebyla tak velká jako v případě první kampaň, nasyceno předchozími srážkami právě z první kampaň. Povodí bylo nasycené a vyplavování DOC mohlo být rychlejší.

Koncentrace DOC během této epizody byly vyšší než během první odběrné kampaň. Kampaň ukazuje na to, že po delším období beze srážek nastupují vysoké koncentrace DOC pomaleji. Koncentrace DOC souvisejí zejména s rašeliništi, jejich nasycením a zapojením vrstev rašeliniště, která jsou různě bohaté na DOC. Hysterezní smyčka této průtokové události je ukázkovým příkladem smyčky typu 2 proti směru hodinových ručiček, která vyjadřuje zvýšení hodnot organického uhlíku s nástupem odtokové epizody a snížení hodnot organického uhlíku s poklesem odtokové epizody (Graf 27).

**Graf 27: Hysterezní smyčka průtokové vlny druhé odběrné kampaně 24.-25.7.2016**



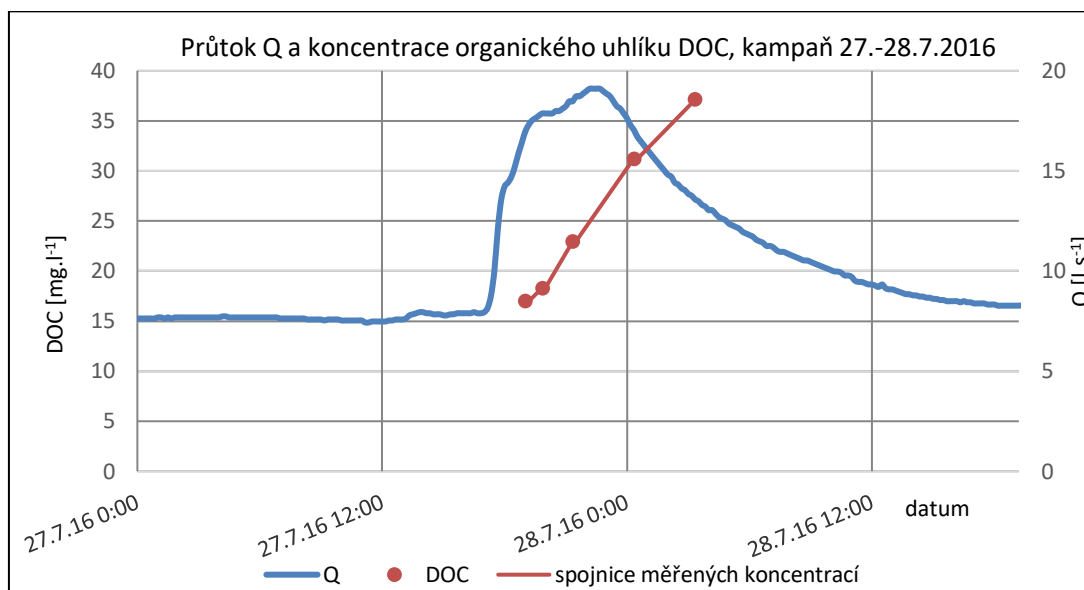
Zdroj dat: KFGG

### 7.5.3 Odběrná kampaň 27.-28.7.2016

Tato odběrná kampaň je poslední v červenci 2016. Jedná se opět o jednoduchou průtokovou vlnu (Graf 28). Úhrny srážek během této kampaně a před ní opět nebyly nijak výrazně vysoké. Během 27.-28.7. spadlo 7,4 mm srážek (Graf 23). Z toho 6,5 mm srážek spadlo 27.7. odpoledne v čase 15:30 až 17:50. V předchozím týdnu spadlo celkem 13,1 mm srážek. Vzhledem k nižším úhrnům srážek než v předchozích kampaních, nedosahovaly ani průtoky tak velkých hodnot. Maximum průtoků ( $19,1 \text{ l.s}^{-1}$ ) bylo naměřeno 27.7. v 22:10 a ze základní hodnoty ( $7-8 \text{ l.s}^{-1}$ ) bylo dosaženo za 5:10. Maximální koncentrace DOC ( $37,11 \text{ mg.l}^{-1}$ ) byla dosažena 28.7. v 3:20 se zpožděním 5:10. Koncentrace DOC by možná dále stoupala k větším hodnotám, ale odběrná kampaň zde byla ukončena z důvodu poklesu průtoků pod limitní hodnotu. Vše nasvědčuje tomu, že by byl průběh této kampaně podobný, jako kampaně předchozí. Při jednoduché průtokové vlně stoupají koncentrace DOC se zpožděním za průtokem, po poklesu průtoků klesají i koncentrace DOC. Vzhledem k mnohem menšímu průtoku, než při dřívějších kampaních je zajímavé, že koncentrace DOC vzrostly k hodnotám srovnatelným jako při předchozích kampaních charakteristických mnohem většími průtoky. Pravděpodobně se jedná o vliv zapojení rašeliniště bohatého na DOC, které se po srážkách během celého července naplnilo vodou potřebnou k zapojení vrstev rašeliniště a začalo vypouštět vodu bohatou na DOC.

Hysterezní smyčka této průtokové vlny nebyla zkoumána z důvodu ukončení odběru před poklesem. Pokud by byla odběrná kampaň ukončena později a měření koncentrací DOC by pokračovalo i sestupnou větví, vykazala by pravděpodobně stejné znaky jako při předchozí kampani 24.-25.7. Koncentrace DOC by rostly s nárůstem průtoků a klesaly s poklesem průtoků.

**Graf 28: Průtok Q a koncentrace organického uhlíku DOC, kampaň 27.-28.7.2016**

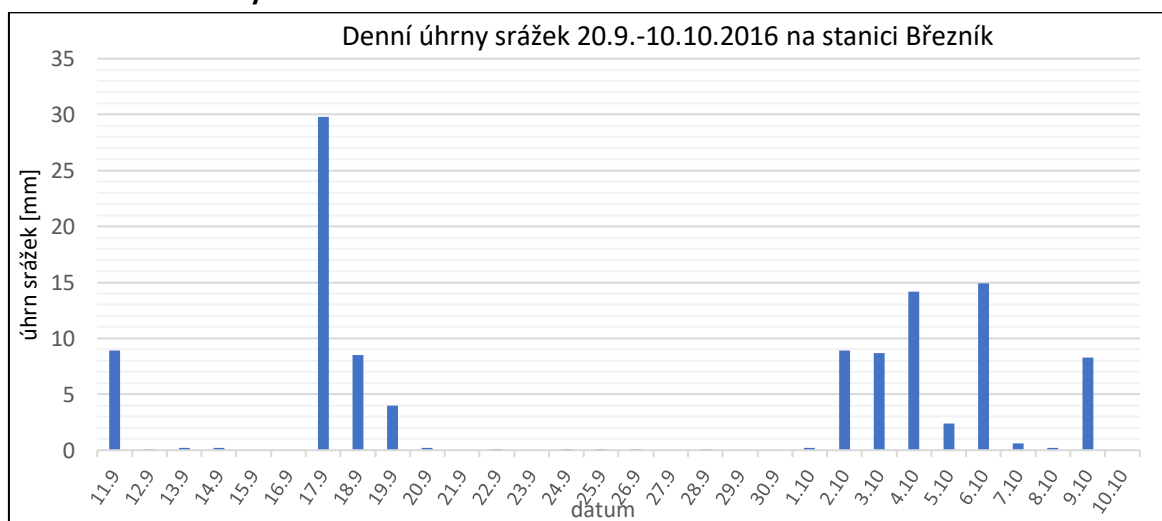


Zdroj dat: KFGG

### 7.5.4 Odběrná kampaň 2.-5.10.2016

V říjnu roku 2016 proběhla na profilu ROK-R1 na Rokytce odběrná kampaň pomocí automatického vzorkovače v období 2.-7.10. Pro účely vyhodnocení chování koncentrací DOC ve vazbě na průtok byla tato odběrná kampaň rozdělena do dvou průtokových epizod (2.-5.10. a 5.-7.10.). Na přiloženém grafu (Graf 29) jsou zobrazeny denní srážkové úhrny od 20.9. do 10.10.2016 na blízké stanici Březník. Významná srážková událost se zde vyskytla 17.-19.9, kdy spadlo 42,3 mm srážek. Od 20.9. do 1.10. následovalo období bez srážek. Následně v období 2.-5.10. spadlo během první odběrné kampaně 34,2 mm srážek.

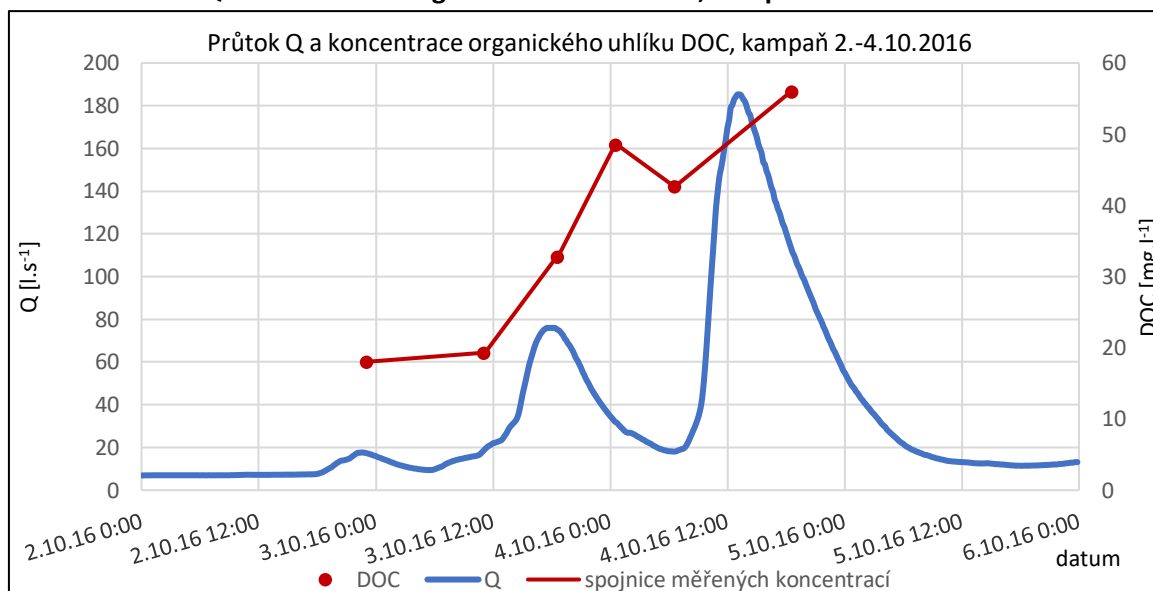
**Graf 29: Denní úhrny srážek 20.9.-10.10.2016 na stanici Březník**



Zdroj dat: KFGG

První nevýrazné zvýšení průtoku ze základních  $7 \text{ l.s}^{-1}$  na  $17,6 \text{ l.s}^{-1}$  nastalo 2.10. odpoledne a večer (Graf 30). Koncentrace DOC byla v maximu prvního zvýšení (22:30) naměřena  $18,04 \text{ mg.l}^{-1}$ . Průtok pak mírně klesl, ale vlivem srážek začal 3.10. v 5:50 ráno opět stoupat. Na vzestupné větvi druhého zvýšení průtoku byla v 11:00 naměřena koncentrace DOC  $19,3 \text{ mg.l}^{-1}$ . Při maximu druhého zvýšení průtoku ( $76 \text{ l.s}^{-1}$ ) bylo 3.10. v 18:30 naměřena koncentrace DOC  $32,8 \text{ mg.l}^{-1}$ . Maxima dosáhla koncentrace DOC ( $48,56 \text{ mg.l}^{-1}$ ) až na sestupné větvi druhého zvýšení průtoku 4.10. v 0:30. Zpoždění maxima koncentrace DOC za maximem průtoku bylo tedy 6:00. Minima průtoku ( $18,1 \text{ l.s}^{-1}$ ) dosáhla tato průtoková vlna 4.10. v 6:20. V této chvíli byla naměřena koncentrace DOC  $42,65 \text{ mg.l}^{-1}$ . Díky vyšším úhrnům srážek 4.10. se ale průtok začal opět zvedat a přišla třetí zvýšení průtoku s maximem průtoku  $185,2 \text{ l.s}^{-1}$ . Na sestupné větvi této vlny byla naměřena koncentrace DOC  $56 \text{ mg.l}^{-1}$ .

**Graf 30: Průtok Q a koncentrace organického uhlíku DOC, kampaň 2.-4.10.2016**



Zdroj dat: KFGG

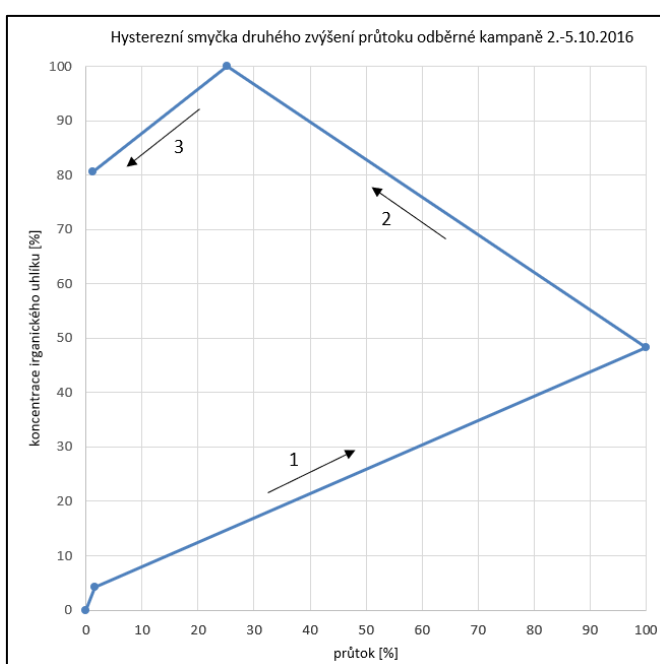
Na začátku měření byla při mírném zvýšení průtoku naměřena téměř průměrná koncentrace DOC. Se vzrůstajícím průtokem vzrůstaly i koncentrace DOC. Zpoždění maxima koncentrací DOC za maximem průtoku bylo 6:00. S další průtokovou vlnou koncentrace DOC opět stoupaly, na konci měření odběrné kampaně dosahovaly koncentrace DOC hodnoty  $56 \text{ mg.l}^{-1}$ , což je vůbec nejvyšší naměřená koncentrace během odběrných kampaní. Koncentrace DOC by pravděpodobně ještě dále stoupaly jako v případě kampaně 27.-28.7.2016. Vysoké koncentrace DOC měřené při této kampani jsou spjaty s vůbec nejvyššími měřeními průtoky během všech odběrných kampaní a s poznatkem, že nejvíce organické hmoty je dostupné právě na konci léta a začátku podzimu. Období před odběrnou kampaní nevykázalo velké úhrny srážek, a proto se mohla organická hmota, například opad listů ze stromů a organická hmota v rašeliništi, naakumulovat v povodí. Dostupnost organické hmoty v rašeliništi má souvislost s hladinou podzemní vody. Pokud nastane pokles hladiny podzemní vody



v rašeliništi, probíhá oxidace a rozklad organické hmoty, která je při zvýšení průtoku uvolněna do povrchových vod.

Hysterezní smyčka druhého zvýšení průtoku vykazuje typ 2 proti směru hodinových ručiček, který vyjadřuje zvýšení hodnot organického uhlíku s nástupem odtokové epizody a snížení hodnot organického uhlíku s poklesem odtokové epizody (Graf 31). Stejný typ hysterezní smyčky byl určen v i odběrné kampani 24.-25.7.2016, která byla charakteristická jednoduchým zvýšením průtoku. Pro třetí zvýšení průtoku nebyla vytvořena hysterezní smyčka, protože odběrná kampaň koncentrací DOC byla ukončena krátce po dosažení maximálního průtoku. Hysterezní smyčka by nejspíše opět vykazovala typ 2 proti směru hodinových ručiček.

**Graf 31: Hysterezní smyčka druhého zvýšení průtoku odběrné kampaně 2.-5.10.2016**



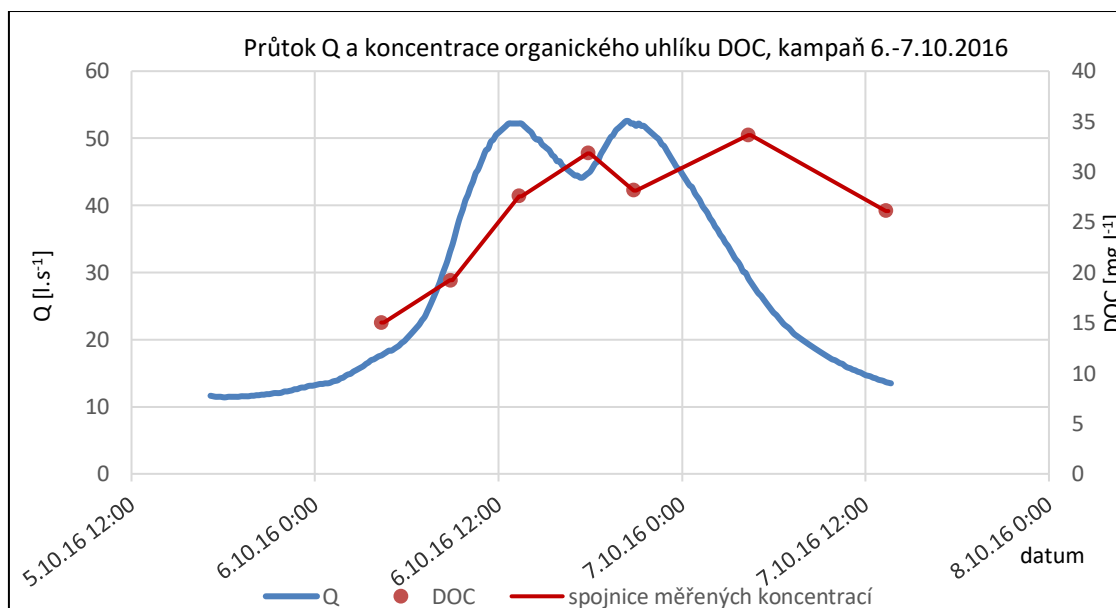
Zdroj dat: KFGG

### 7.5.5 Odběrná kampaň 5.-7.10.2016

Příčinné srážky této odběrné kampaně nebyly výrazně vysoké, od 5. do 7.10. spadlo 17,9 mm srážek, z toho 14,9 mm srážek spadlo 6.10. během celodenního mírného deště. Velkou roli hrálo předchozí nasycení povodí ze srážek spadlých 2.-4.10. během předchozí odběrné kampaně (Graf 29). Vzhledem k nižším úhrnům srážek nedosahoval ani průtok extrémně velkých hodnot a nástup zvýšení průtoku byl pozvolný. Z počáteční hodnoty průtoku ( $11,4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 5.10. v 18:10 bylo dosaženo maxima průtoku ( $52,2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 6.10. v 12:40 (Graf 32). Na výstupné větvi zvýšení průtoku byly dvakrát změřeny koncentrace DOC. První koncentrace DOC byla průměrná ( $15 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ), druhá koncentrace DOC s větším průtokem již rostla ( $19,23 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Při maximu průtoku byla naměřena opět vyšší koncentrace OC ( $27,58 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Maxima koncentrace DOC ( $31,85 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) bylo dosaženo 6.10. v 17:50. Zpoždění maxima koncentrace DOC za maximem průtoku činí 5:10. Na vrcholu zvýšení

průtoku došlo k mírnému přechodnému snížení průtoku ( $44,2 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ) v době měření maxima koncentrací DOC ( $31,85 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Tento pokles průtoku se projevil i v koncentracích DOC, které klesly 6.10. v 20:50 na hodnotu  $28,16 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . V té době se ale průtok již opět zvýšil na druhé maximum ( $52,6 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Následovalo i maximum koncentrací DOC ( $33,65 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) 7.10. v 4:20 se zpožděním 7:30. S klesajícím průtokem dále klesaly i koncentrace DOC, na konci měření této kampaně byla při průtoku  $13,7 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  naměřena koncentrace OC  $26,12 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ .

**Graf 32: Průtok Q a koncentrace organického uhlíku DOC, kampaň 6.-7.10.2016**

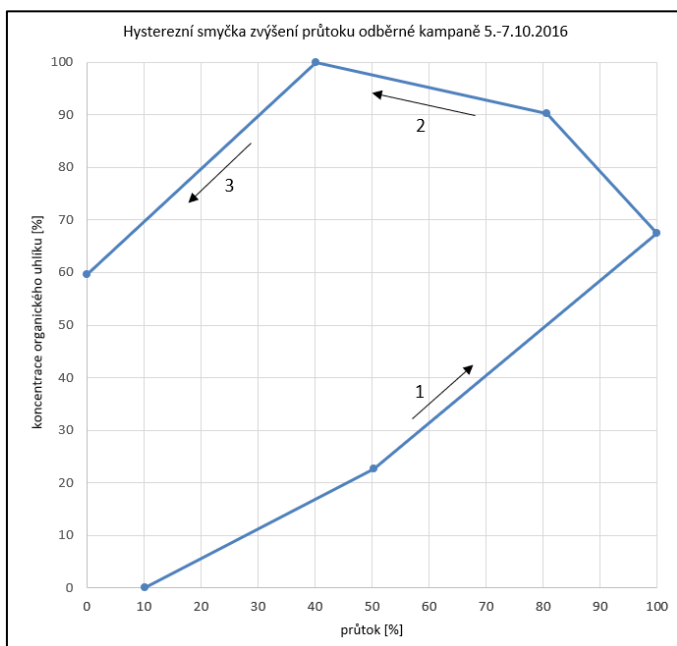


Zdroj dat: KFGG

I při poslední odběrné kampani byl prokázán vzestup koncentrací DOC s rostoucím průtokem. Na Grafu 32 je názorně demonstrováno, jak koncentrace DOC reagují na nárůst průtoku. Tato odběrná kampaň byla průměrná, hodnoty průtoku ani koncentrace DOC se nepohybovaly ve výrazně vysokých hodnotách. Nástup průtokové vlny i koncentrací DOC byl pozvolný. Na vrcholu průtokové vlny došlo k mírnému snížení průtoku, na což reagoval i DOC mírným poklesem koncentrací. Po opětovném vzestupu průtoku vzrostly i koncentrace DOC. Délka trvání zpoždění maxima koncentrací DOC za maximum průtoku je průměrná.

Vzhledem ke snížení průtoku uprostřed průtokové vlny by hysterezní smyčka neukázala žádný ze základních typů smyčky. Pro účely ilustrativního vykreslení této odběrné kampaně pomocí hysterezní smyčky bylo snížení průtoku a koncentrací DOC uprostřed průtokové vlny odstraněno ze vstupu do výpočtu hysterezní smyčky. Průtoková vlna se pro výpočet hysterezní smyčky jevila jako jednoduchá průtoková vlna s jedním maximum průtoku i koncentrací DOC. Takto upravená vlna vykazovala typ 2 proti směru hodinových ručiček, stejně jako většina hysterezních smyček v předchozích odběrných kampaních (Graf 33).

**Graf 33: Hysterezní smyčka průtokové vlny odběrné kampaně 5.-7.10.2016**



Zdroj dat: KFGG

### 7.5.6 Zhodnocení odběrných kampaní pomocí automatického vzorkovače na profilu ROK-R1

V rámci této kapitoly bylo vyhodnoceno pět odběrných kampaní průtoku a koncentrací DOC pomocí automatického vzorkovače na profilu ROK-R1 na Rokytcce. Tři odběrné události se vyskytovaly v červenci (12.-14.7., 24.-25.7. a 27.-28.7.) a dvě v říjnu (2.-4.10. a 5.-7.10) roku 2016. Podle prvotního předpokladu se potvrdilo, že koncentrace DOC rostou s rostoucím průtokem. Zpoždění maxima koncentrací DOC za maximem průtoku se pohybovalo v rozmezí 5:10 až 7:30 v říjnových kampaních a 3:50 až 11:20 v červencových kampaních. Celkem bylo určeno 8 zpoždění maxima koncentrací DOC za maximem průtoku.

První letní kampaň byla složitá, proběhlo zde více průtokových vln a jejich vliv na koncentrace DOC se mísil. Příčinné srážky kampaně byly nejvyšší ze všech kampaní, během čtyř dnů spadlo 76,5 mm srážek po téměř desetidenním období bez srážek. Zpoždění maxim koncentrací DOC za maximy průtoku bylo v této kampani nejdelší, pohybovalo se kolem 10:00. Během první kampaně byl změřen nejvyšší letní průtok ( $145,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Zde by byly změřeny i největší koncentrace DOC, ale odběrná kampaň byla ukončena s největší naměřenou koncentrací DOC  $38,73 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ . Druhá kampaň byla příkladná. Vykázala nejmenší zpoždění maxima koncentrací DOC za maximem průtoku (3:50). Malé zpoždění je způsobeno, na rozdíl od první kampaně s předchozím obdobím bez srážek, nasycením povodí už před příčinnou srážkou a zapojením této vody z nasycených vrstev rašeliniště v povodí obohacených o DOC. I při nižším průtoku (maximum  $112 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ) než v případě předchozí kampaně bylo dosaženo vyšších koncentrací DOC (maximum  $49,71 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Třetí kampaň dosáhla nejnižších maxim průtoků ze všech kampaní (maximum  $19,1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Koncentrace DOC ale

díky předchozímu nasycení povodí a zejména zapojení nasycených rašelinišť vykazaly vzhledem k průtoku poměrně vysoké hodnoty (maximum 37,11 mg.l<sup>-1</sup>), které mohly být ještě vyšší, pokud by byla odběrná kampaň ukončena dříve.

Nejvyšších koncentrací DOC bylo dosaženo v první říjnové kampani 2.-4.10., kdy byla naměřena koncentrace DOC 56 mg.l<sup>-1</sup>. Během této odběrné kampaně byl naměřen také nejvyšší průtok (185,2 l.s<sup>-1</sup>). Koncentrace DOC by pravděpodobně ještě dále stoupala a mohla by dosáhnout ještě vyšších hodnot, ale odběrná kampaň je ukončena, když průtok klesne pod určitou hodnotu. Vysoké koncentrace DOC jsou spjaty nejen s vysokými průtoky, ale také s množstvím dostupného organického materiálu, jehož maxima se vyskytují v pozdním létě a brzkém podzimu (kap. 3.2 a 3.4.5). Po dobu téměř dvou týdnů před touto odběrnou kampaní také nedošlo k žádným srážkovým událostem, které by organický materiál vyplavily z povodí a exportovaly do toku. Hladina podzemní vody v rašeliništi klesla vzhledem k období beze srážek nízkou a probíhal zde proces oxidace, který pro příčinné srážky odběrné kampaně 2.-4.10 připravil velké množství dostupného DOC. Koncentrace DOC při druhé říjnové kampani již nebyly tak vysoké. Maximum naměřené koncentrace DOC bylo 33,65 mg.l<sup>-1</sup>. Při této kampani byly měřeny i nižší příčinné srážkové úhrny a nižší průtoky. Zároveň se pravděpodobně velké množství DOC z povodí vyplavilo při první, mnohem větší průtokové epizodě po delším období bez srážek. Zpoždění maxim koncentrací DOC za maximum průtoku bylo podobné při obou podzimních odběrných kampaních.

Hysterezní smyčky zvýšení průtoku vykazaly ve třech případech typ 2 proti směru hodinových ručiček. Při tomto typu hysterezní smyčky se vzrůstajícím průtokem vzrůstají i koncentrace DOC a s klesajícím průtokem klesají koncentrace DOC. Jedna průtoková vlna vykazala typ hysterezní smyčky 1 po směru hodinových ručiček. Při tomto typu smyčky dochází k poklesu koncentrací DOC s rostoucím průtokem a k nárůstu koncentrací DOC s klesajícím průtokem. To se projevilo u druhého zvýšení průtoku první odběrné kampaně. Šlo o vliv prvního zvýšení průtoku, které svým poklesem způsobilo i pokles koncentrací DOC v době, kdy už byla na vzestupu druhá průtoková vlna. Hysterezní smyčky čtyř zvýšení průtoku nemohly být zkonstruovány, protože odběrné kampaně byly vlivem snížení průtoku pod danou hladinu ukončeny dříve, než mohlo dojít i ke zpožděnému chodu koncentrací DOC za zvýšením průtoku.

## 8 Diskuze výsledků

V posledních letech se ve studiích zaměřených na koncentrace organického uhlíku objevuje kromě dlouhodobých trendů koncentrací zaměřením na variabilitu koncentrací organického uhlíku a na sezónní chod koncentrací v jednotlivých ročních obdobích (např. Sawicka et al., 2017, Yang et al., 2017, Mattsson et al., 2015). Studie poukazují na důležitost výzkumu návaznosti koncentrací organického uhlíku na srážko-odtokový režim a zdůrazňují vliv jednotlivých srážko-odtokových událostí, které mají významný vliv na rozpětí hodnot měřených koncentrací (Clark et al., 2007). Důležitost výzkumu reakcí organického uhlíku na jednotlivé srážko-odtokové epizody v pramenných oblastech střední Evropy zmiňuje Lee et al. (2017). Na výzkum problematiky v pramenných oblastech malých vodních toků mírných šířek není brát takový zřetel, jaký by si dle Lee et al. (2017) zasloužily. Nejnižší koncentrace organického uhlíku se ve výsledcích většiny studií objevují v zimním období, naopak nejvyšší v létě a na podzim. To je způsobeno dostupností velkého množství organického materiálu (Yang et al., 2017). Autoři studií zdůrazňují vliv zastoupení typů půd v povodí a krajinného pokryvu (Clark et al., 2008), zejména rašelinišť (Kocum et al., 2018, Kocum et al., 2016, Broder et al., 2017). Vliv na variabilitu koncentrací organického uhlíku mohou mít také různé disturbance v povodí (Su et al., 2017).

Zájmová území této práce jsou charakteristická různou měrou výskytu rašelinišť v povodí. Nejvíce rašelinišť se vyskytuje v povodích profilů horní Vydry, nejméně v povodích profilů horní Blanice. Zájmové území horní Blanice je mírně ovlivněno antropogenní činností, zejména lidskými obydlími a zemědělskou výrobou. V zájmovém povodí horní Vydry bylo relativně problematické stanovení krajinného pokryvu z dat KVES (AOPK, 2013) a zastoupení typů půd v povodí. V území jsou velmi výrazně zastoupena rašeliniště různého typu a les v různém zdravotním stavu. Mapové podklady se od sebe v tomto území vzhledem k použitým metodikám odlišují, a proto bylo, i díky terénnímu průzkumu, přistoupeno k úpravě zastoupení kategorií krajinného pokryvu dle jiných dostupných mapových zdrojů, protože tyto údaje vstupovaly do dalších analýz. Určení zastoupení půdních typů je v povodí horní Vydry velice složité. V území se nachází velké množství půdních typů v různých obměnách a stádiích zrašelinění, pro které nejsou dostupné údaje ve velmi malém měřítku.

Výsledky této diplomové práce zjistily největší koncentrace DOC,  $CHSK_{Mn}$  a HL na profilu CIK, který je charakteristický největší měrou zastoupení rašelinišť v povodí (31 %) a nejmenší plochou z povodí horní Vydry (2,46 km<sup>2</sup>). Na tomto profilu byly vyhodnoceny i největší rozpětí měřených koncentrací všech parametrů. Velmi vysoké koncentrace byly zjištěny i na doplňkovém profilu ROK-R2, který odvodňuje rašeliniště, ovšem tento profil nevstupoval do všech analýz. Vysoké rozpětí měřených hodnot mají i profily ROK-R1 a PTA. Vliv zastoupení mokřadů a rašelinišť v povodí uvádí například Jutras et al. (2011). Čím větší plocha rašelinišť se v povodí

vyskytuje, tím větší jsou koncentrace organického uhlíku. Van den Berg et al. (2012) vyhodnotil největší koncentrace organického uhlíku ve vysoko položených slatinách a histosolích. Nejmenší koncentrace parametrů i rozpětí měřených hodnot vykázal profil JAV. Tento profil je charakteristický největší plochou povodí z profilů horní Vydry (6,34 km<sup>2</sup>) a také nejmenší měrou zastoupení rašelinišť v povodí (6,8 %). Nejnižší koncentrace i rozpětí DOC, CHSK<sub>Mn</sub> a HL vykázaly profily horní Rolavy ROL1 a SLA2. Nejnižší pH mají profily ROK-R2 a CIK s největším zastoupením rašelinišť v povodí. Nejvyšší hodnoty pH se vyskytují u profilů horní Blanice, kde je i nejvyšší měřená konduktivita. Vztah organického uhlíku a hodnot pH je na všech profilech negativní většinou se středně silnou a silnou závislostí. Negativní vztah organického uhlíku, potažmo huminových látek a pH potvrzují studie Kocuma et al. (2016) a Laudona et al. (2004).

Vztah koncentrací DOC a průtoku je na všech profilech kladný. Tento výsledek se objevuje ve většině studovaných výsledcích výzkumů (např. Rodríguez-Murillo et al., 2014, Clark et al., 2007). Nejsilnější vztah koncentrací DOC a průtoku mají profily horní Vydry s menším zastoupením rašelinišť v povodí (PTA, JAV a BRE) a také profily horní Blanice. Nejslabší vztah vykázaly profily horní Vydry s největším zastoupením rašelinišť v povodí (ROK, ROK-R1 a ROK-R2) a profily horní Rolavy. Slabý vztah průtoku a organického uhlíku v povodích s velkým zastoupením rašelinišť zmiňují i studie Hinton et al. (1998) a Schiffa et al. (1998).

Nejpodobnějšími povodími z hlediska krajinného pokryvu a velikosti povodí jsou si povodí profilů horní Vydry a také profily horní Rolavy. Profily horní Blanice tvoří také samostatný shluk, ovšem bez profilu BL13. Tento profil je výrazně odlišný svou plochou (85,46 km<sup>2</sup>), je největší ze všech zkoumaných povodí. V krajinném pokryvu je vzhledem k povodím ostatních profilů obsaženo více antropogenně vytvořených kategorií. Po zahrnutí charakteristik DOC a průtoku do analýzy si zůstávají profily jednotlivých zájmových povodí stále podobná. Jediný rozdíl se vyskytuje v profilech horní Vydry, kde jsou si nejpodobnějšími profily ROK a PTA. Profil PTA má podobně vysoké rozpětí měřených hodnot jako profil ROK. Nejodlišnějším profilem je CIK, který vykazuje nejnižší průměrný průtok a vzhledem k zastoupení rašelinišť jsou všechny jeho charakteristiky DOC výrazně vyšší než u ostatních profilů.

Profily v povodí horní Vydry mají vyrovnaný sezonní chod průměrných koncentrací DOC od jara do podzimu. Nejnižší koncentrace DOC se vyskytují v zimě. To potvrzuje například studie Kocuma et al. (2016). Profily, které jsou charakteristické nejmenším zastoupením rašelinišť v povodí (JAV, BRE, PTA) mají největší průměrné koncentrace DOC v létě. Profily s velkým výskytem rašelinišť v povodí (CIK, ROK, ROK-R1 a ROK-R2) mají největší průměrné koncentrace DOC na podzim. Profily horní Rolavy vykázaly největší průměrné koncentrace v zimě, ovšem zimní průměr koncentrací byl vytvořen pouze ze dvou měření uskutečněných v zimě, respektive v únoru. Tento výsledek nemá přílišnou vypovídající hodnotu a je nutno brát ho spíše orientačně. Profily povodí

horní Blanice mají nejnižší průměrné koncentrace DOC na podzim. I zastoupení rašelinišť je v jejich povodích nejmenší. Většina profilů má největší průměrné koncentrace v létě. Letní maximum průměrných koncentrací DOC profilu BL13 je velmi výrazné. Zimní odběry vzorků vody pro určení koncentrací DOC nebyly na většině profilů prováděny. Výsledky profilů horní Vydry a horní Blanice v této práci jsou ve shodě se studovanými výsledky výzkumů. Nejvyšší koncentrace organického uhlíku byly ve studii Mattssona et al. (2015) a Clark et al. (2007) nalezeny na podzim. To potvrzují i výzkumy Wallin et al. (2015) a Hongve et al. (1998), kteří přisuzují podzimní maxima velkému množství dostupného materiálu z opadu stromů. Jutras et al. (2011) zmiňuje největší koncentrace od druhé poloviny léta do podzimu.

Všechny profily v rámci této práce vykazaly v letním období velmi silnou pozitivní závislost koncentrací DOC a průtoku. Pouze na profilu ROK-R2 byla zjištěna nižší, silná závislost. Na jaře je síla závislosti DOC a průtoku velmi silná pouze na profilu TET, na podzim ještě na profilech JAV a PTA. Slabá negativní závislost koncentrací DOC a průtoku se na jaře vyskytuje u profilů BRE, ROL1, BL03 a BL13. Profil ROK-R2 má závislost koncentrací DOC a průtoku ve všech ročních obdobích nejslabší. Na jaře a na podzim jsou závislosti mírně negativní. Tyto výsledky potvrzují například studie van den Berga et al. (2012) a Hinton et al. (1998), kteří tvrdí, že v povodích s velkým zastoupením rašelinišť může být vztah průtoku a organického uhlíku i negativní.

Data z odběrných kampaní z automatického vzorkovače z profilu ROK-R1 potvrdily během srážko-odtokových epizod rostoucí koncentrace DOC s rostoucím průtokem, stejně jako práce Vlčka (2018). Zpoždění maxima koncentrací DOC za maximem průtoku se pohybuje v rozmezí 3:50 až 11:20, přičemž v létě je variabilita zpoždění maxim větší. Vlček (2018) uvádí zpoždění 2-3 hodiny. Výzkum Mei et al. (2014) odhalil maxima koncentrací DOC na sestupné větvi zvýšení průtoků, stejně jako je tomu v této práci. Při kratších událostech s nižšími průtoky je dle studie zpoždění maxima DOC za maximem průtoku nižší. Pokud jde naopak o velmi intenzivní událost s vysokými průtoky, čas zpoždění maxima DOC za maximem průtoku je dle Mei et al. (2014) větší.

Výsledky experimentu souhlasí s výsledky studií Kocuma et al., (2016 a 2018) a Jutrase et al. (2011). Kocum et al. (2016 a 2018) tvrdí, že za nízkých průtoků a během suchých period se z rašeliniště vyplavují nízké koncentrace DOC ze spodní vrstvy katotelmu. Při srážko-odtokových událostech, zejména v létě, se vyplavují vysoké koncentrace DOC z mělkých půdních horizontů, tzv. akrotelmu. To tvrdí i Jutras et al. (2011) a Inamdar et al. (2008). Během suchých period se hladina podzemní vody v rašeliništi snižuje, čímž se zlepšují podmínky pro přístup kyslíku do vrchních vrstev rašeliny a nastává proces oxidace. Tím vzniká velké množství dostupného DOC, který je poté během srážko-odtokových epizod vyplavován do povrchových toků (Novák a Šestauberová, 2013, Jutras et al., 2011, Worrall a Burt, 2005). Množství dostupného materiálu ve svrchních horizontech potvrzují i Lee et al. (2017) a Sebestyen et al. (2008). Pokud je hladina podzemní vody v rašeliništi vysoko,

neprobíhá oxidace a mokřady neprodukují takové množství organického uhlíku jako při nízké hladině podzemní vody a procesu oxidace (Yang et al., 2017, Jutras et al., 2011, Tipping et al. 1999). Význam výšky hladiny podzemní vody v rašeliništi zmiňuje i Novák (2012).

Odlišné výsledky, než jsou uvedeny v této práci, uvádí ve studiích Qassima et al. (2014) a Worralla et al. (2002). Ti sice souhlasí s velkými zásobami organického uhlíku v povrchových vrstvách rašeliniště, ale zmiňují efekt ředění srážkovou vodou. To se objevuje i ve studii Clark et al. (2007). Kvůli tomuto procesu jsou dle provedených studií koncentrace organického uhlíku vyplavovaného během srážko-odtokových událostí nižší, i když pocházejí z vrchních vrstev rašeliniště bohatého na organický uhlík. Pokud jsou dle autorů povrchové vody zásobovány podzemní vodou a vodou ze spodních vrstev rašeliny, nedochází k ředění a koncentrace organického uhlíku jsou v povrchových vodách vysoké.

Pro důkladný rozbor a posouzení chování organického uhlíku ve vztahu k průtoku, předchozím podmínkám nasycení v povodí a sezonnímu chodu je nezbytné provádět odběry vody s vysokou frekvencí (Lee et al., 2017, Clark et al., 2007). Odběry by měly probíhat ve všech ročních obdobích. Je nutné zaměřit se zejména na výrazné srážko-odtokové epizody a suché periody. Nejistoty, které se mohly v této práci objevit, mohou být způsobeny především nízkou frekvencí odběrů. Zejména v zimním období je velmi komplikované provádět odběry vody v zájmových územích. Během letního období se odběry vody v terénu uskutečňují poměrně často. Především zapojení automatického vzorkovače přineslo do výzkumu hodnotné výsledky.



## 9 Závěr

Diplomová práce si klade za cíl zejména provést analýzu změn koncentrací organických látek (DOC, CHSK<sub>Mn</sub> a HL) ve vazbě na srážko-odtokový režim a jednotlivé srážko-odtokové epizody. Důležitou část tvoří studium vzájemných vztahů parametrů kvality vody. Metody použité v této práci vhodně ilustrovaly vytyčené cíle. Provedené analýzy potvrdily, že koncentrace DOC, CHSK<sub>Mn</sub> a HL spolu úzce souvisejí. Závislost DOC a pH je negativní a většinou středně silná. Závislost DOC a průtoku je na většině profilů velmi silná. Nejslabší vztah DOC a průtoku je pozorován na profilech s největším zastoupením rašelinišť v povodí. Koncentrace DOC velmi dobře reagují na změnu průtoku. Při zvýšení průtoku během srážko-odtokové epizody je pozorováno i zvýšení koncentrací DOC. Vliv krajinného pokryvu je zřejmý zejména u zastoupení kategorie rašelinišť v povodí. Povodí profilů s největším zastoupením rašelinišť v povodí (CIK, ROK-R2, ROK-R1 a ROK) vykázaly největší průměrné koncentrace DOC, CHSK<sub>Mn</sub> a HL a také největší rozpětí měřených hodnot všech parametrů. Tyto profily jsou nejvíce rozkolísané a vztah mezi jednotlivými parametry a průtokem není tak silný jako v případě profilů s menší plochou rašelinišť v povodí. Větší velikost povodí způsobuje vyrovnání chodu koncentrací parametrů. Měřené prvky nemají tak výrazné rozpětí měřených hodnot a nejsou tolik rozkolísané jako profily s menším povodím a menším zastoupením rašelinišť v povodí. Nejnižší koncentrace DOC se v ročním chodu na většině profilů vyskytují v zimě. Nejvyšší koncentrace se vyskytují v povodích s největším zastoupením rašelinišť na podzim. Profily, v jejichž povodí není zastoupení rašelinišť tak vysoké, jsou nejvyšší koncentrace DOC pozorovány v létě.

Velmi důležitou součástí této práce je vyhodnocení odběrných kampaní na profilu ROK-R1 pomocí automatického vzorkovače. Tento experiment potvrdil souvislost koncentrací DOC a průtoku. Koncentrace DOC se zvyšují se zvyšujícím se průtokem během srážko-odtokové události. Pro další výzkum variability organického uhlíku v pramenných oblastech povrchových vod je tato část práce velmi důležitá. Budoucnost výzkumu dle mého názoru spočívá v detailním průzkumu povodí z hlediska krátkodobé variability DOC a vlivu průtoku na DOC. Kromě měření DOC v povrchovém odtoku s vysokou frekvencí odběrů během různých srážko-odtokových a suchých epizod by měly být do analýzy zapojené také rozbory vody pro stanovení DOC podzemní vody, srážkové vody, vody ve sněhových zásobách a vody v rašeliništi. Rozbory podzemní a srážkové vody jsou v zájmových povodích orientačně prováděny. Koncentrace DOC jsou v těchto vodách velmi nízké. Je důležité sledovat nasycení rašeliniště a jeho zapojení při různých srážko-odtokových situacích. Zapojit do výzkumu monitoring hladiny podzemní vody kvůli potenciální oxidaci vrstev rašeliny a tvorbě dostupného organického materiálu pro vyplavení při další srážko-odtokové události a provádět rozbory vody z vrstev rašeliny v rašeliništi pro zjištění koncentrací DOC. Mělo by být důležité zkoumat podmínky předcházející dané srážko-odtokové epizodě, jako jsou úhrny srážek,

jejich intenzita, vodní hodnota sněhu či nasycení povodí. S tímto detailním průzkumem může být velmi podrobně stanoven mechanismus reakce DOC na srážko-odtokové epizody a zapojení rašelinišť.

Výsledky kampaní z automatického vzorkovače a analýzy provedené v této práci potvrzují výsledky studií Lee et al. (2017), Clark et al. (2007) a Hinton et al. (1997) co se týče názorů na frekvenci odběrných kampaní. Studie tvrdí, že variabilitu koncentrací organického uhlíku lze jen těžko postihnout v monitoringu s jasně stanoveným chodem odběrů vzorků vody pro stanovení DOC. DOC velmi výrazně reaguje na změny v průtoku. Clark et al. (2007) uvádí, že 50 % organického uhlíku je vyplavováno během 10 % největších srážko-odtokových událostí. Ty ale nemusí být v monitoringu s jasně stanovenou frekvencí odběru vůbec postižitelné a průměrné koncentrace DOC jsou tedy v dlouhodobém chodu podhodnocené. Pro určení vztahů mezi DOC a průtokem a stanovení variability DOC je nutné sledovat jednotlivé události, které se v povodí vyskytnou. Jde o odtokové události spojené s jarním táním sněhu, letní suché periody i přívalové bouřky a podzimní dlouhotrvající vydatné deště. Protože povrchové vodní toky jsou využívány jako zdroje pitné vody, je velmi důležité zkoumat variabilitu koncentrací DOC, které mají na kvalitu vody významný vliv. Velmi důležitou součástí vodních toků jsou ve střední Evropě jejich pramenné části, kde se mohou vyskytovat rašeliniště. Jejich vliv na kvalitu vody je velmi významný, a proto je monitoring pramenných oblastí a vliv rašelinišť na variabilitu koncentrací DOC v současné době důležitým tématem (Lee et al., 2017).

## 10 Zdroje

- ADDINSOFT (2019): XLSTAT. [online]. [cit. 13.5.2019]. Dostupné z: <https://www.xlstat.com/en/>
- AOPK ČR, CZECH GLOBE (2013): Konsolidovaná vrstva ekosystémů [elektronická geografická data]. [online]. [poskytnuto 9.5.2019 a 23.8.2018]. Praha, detailní data krajinného pokryvu v 41 definovaných kategoriích na území ČR.
- AOPK ČR (2012). Vrstva mapování biotopů [elektronická georeferencovaná databáze]. Verze 2012. [1:10 000]. Praha. Rozšíření přírodních a přírodě blízkých stanovišť na území ČR.
- AOPK ČR (2007): Půdní mapa ČR, 1: 50 000. In: HINTNAUS, I. (2011): Vliv sněhové pokrývky na odtok vody z povodí v zalesněném a nezalesněném prostředí. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 143 s.
- ÅGREN, A.M., BUFFAM, I., COOPER, D.M., TIWARI, T., EVANS, C.D., LAUDON, H. (2014): Can the heterogeneity in stream dissolved organic carbon be explained by contributing landscape elements? *Biogeosciences*, 11, 1199-1213.
- ÅGREN, A., HAEI, M., KÖHLER, S.J., BISHOP, K., LAUDON, H. (2010): Regulation of stream water dissolved organic carbon (DOC) concentrations during snowmelt; the role of discharge, winter climate and memory effects. *Biogeosciences*, 7, 2901-2913.
- AMELI, A.A., MCDONNELL, J.J., BISHOP, K. (2016): The exponential decline in saturated hydraulic conductivity with depth: a novel method for exploring its effect on water flow paths and transit time distribution. *Hydrol. Process.* 30, 2438–2450. In: Dušek, J., Vogel, T., Dohnal, M., Barth, J.A.C., Šanda, M., Marx, A., Jankovec, J. (2017): Dynamics of dissolved organic carbon in hillslope discharge: Modeling and challenges. *Journal of Hydrology*, 546, 309-325.
- ARCDATA PRAHA (2016): ArcČR 500 verze 3.3. Digitální geografická databáze 1:500 000. [online]. [cit. 12.1.2019]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-500>
- AVAGYAN, A., RUNKLE B.R.K., HENNINGS, N., HAUPT, H., VIRTANEN, T., KUTZBACH, L. (2016): Dissolved organic matter dynamics during the spring snowmelt at a boreal river valley mire complex in Northwest Russia. *Hydrological Processes*, 30, 1727-1741.
- BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. Praha: Kartografie, 79 s.
- BARTLETT, R.J., ROSS, D.S. (1988): Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 52, 1191–1192. In: Qassim, S.M., Dixon, S.D., Rowson, J.G., Worrall, F., Evans, M.G., Bonn, A (2014): A 5-year study of the impact of peatland revegetation upon DOC concentrations. *Journal of Hydrology*, 519, 3578-3590.
- BARTUŇKOVÁ, K. (2011): Vliv lesních disturbancek na dynamiku odtoku v oblasti centrální Šumavy. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 116 s. V práci zahrnuty půdní mapy povodí (Geoportál CENIA).
- BELLAMY, P.H., LOVELAND, P.J., BRADLEY, R.I., LARK, R.M., KIRK, G.J.D. (2005): Carbon losses from soils across England and Wales 1978–2003. *Nature*; 437, 245–8.

BERANOVÁ, Z. (2011): Průzkum a hodnocení ekologického stavu vodních toků při zohlednění evropských standardů. Aplikace v modelovém povodí Rolavy. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 145 s.

BILLET, M.F., PALMER, S.M., HOPE, D., DEACON, C., STORETON-WEST, R., HARGREAVES, K.J. (2004): Linking land-atmosphere-stream carbon fluxes in a lowland peatland system. *Glob Biogeochem Cycles*, 18. In: Clark, J.M., Lane, S.N., Chapman, P.J., Adamson, J.K. (2008): Link between DOC in near surface peat and stream water in an upland catchment. *Science of the Total Environment*, 404, 308-315.

BISHOP, K., PETTERSSON, C. (1996): Organic carbon in the boreal spring flood from adjacent subcatchments. *Environment International* 22 (5), 535–540.

BONNETT, S.A.F., OSTLE, N., FREEMAN, C. (2006): Seasonal variations in decomposition processes in a valley-bottom riparian peatland. *Science of the Total Environment*, 370, 561–73. In: Clark, J.M., Lane, S.N., Chapman, P.J., Adamson, J.K. (2008): Link between DOC in near surface peat and stream water in an upland catchment. *Science of the Total Environment*, 404, 308-315.

BOYER, E.W., HORNBERGER, G.M., BENCALA, K.E., MCKNIGHT, D.M. (2000): Effects of asynchronous snowmelt on flushing of dissolved organic carbon: a mixing model approach. *Hydrol. Process.* 14, 3291–3308.

BRODER, T., KNORR, K.-H., BIESTER, H. (2017): Changes in dissolved organic matter quality in a peatland and forest headwater stream as a function of seasonality and hydrologic conditions. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 2035-2051.

BUFKOVÁ, I., SPITZER, K. (2008): Šumavská rašeliniště. Správa Národního parku a Chráněné krajinné oblasti Šumava, Vimperk, 203 s. In: DOLEŽAL, T. (2015): Posouzení vlivu revitalizačních opatření vybraných horských vrchovišť v povodí horní Vydry na jejich vodní režim. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 81 s.

BURNS, D. (2005): What do hydrologists mean when they use the term flushing? *Hydrol. Process.* 19, 1325–1327.

CAMPBELL, J.L., HORNBECK, J.W., MCDOWELL, W.H., BUSO, D.C., SHANLEY, J.B., LIKENS, G.E. (2000): Dissolved organic nitrogen budgets for upland, forested ecosystems in New England. *Biogeochemistry* 49: 123-142.

CENIA (2014): Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky. Národní geoportál INSPIRE. [online]. [cit. 14.4.2019]. Dostupné z: [https://geoportal.gov.cz/web/guest/map?wms=http://geoportal.gov.cz/arcgis/services/CENIA/cenia\\_ppv/MapServer/WmsServer](https://geoportal.gov.cz/web/guest/map?wms=http://geoportal.gov.cz/arcgis/services/CENIA/cenia_ppv/MapServer/WmsServer)

CLARK, J.M., LANE, S.N., CHAPMAN, P.J., ADAMSON, J.K. (2008): Link between DOC in near surface peat and stream water in an upland catchment. *Science of the Total Environment*, 404, 308-315.

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*, 347, 438-447.

CLUTTERBUCK, B., YALLOP, A.R. (2010): Land management as a factor controlling dissolved organic carbon release from upland peat soils 2: Changes in DOC productivity over four decades. *Science of the Total Environment*, 408, 6179–6191.

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2018): CORINE Land Cover 2018. [online]. [cit. 22.5.2019]. Dostupné z: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2012): CORINE Land Cover 2012. [online]. [cit. 22.5.2019]. Dostupné z: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2012>

CURRIE, W.S., ABER, J.D. (1997): Modeling leaching as a decomposition process in humid Montane forests. *Ecology* 78, 1844–1860.

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SPOLEČNOST (2012): Geologická mapa České republiky 1:50 000. [online prostřednictvím WMS služby]. [cit. 21.2.2019]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/wms>.

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA (2009): Klasifikace půdních typů dle TKSP a WRB. Datová sada. Praha. Lérova, Z., Němeček, J., katedra pedologie a ochrany půd. [online prostřednictvím WMS služby]. [cit. 14.7.2019]. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map/>.

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV (2019): Datová řada denních průtoků profilu 2091 – Rolava, Chaloupky.

ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘICKÝ A KATASTRÁLNÍ: Základní báze geografických dat ZABAGED. [online]. [cit. 27. 2. 2019]. Dostupné z: <http://www.cuzk.cz>

ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘICKÝ A KATASTRÁLNÍ: Prohlížeč služby WMS – ZM10. [online]. [cit. 27. 2. 2019]. Dostupné z: <http://geoportal.cuzk.cz>

DEMEK, J., MACKOVČIN, P. a kol. (2006): Hory a nížiny. *Zeměpisný lexikon ČR. MŽP ČR*. 580 s.

DEMEK, J. (1988): *Obecná geomorfologie*. Academia, Praha, 476 s.

DICK, J.J., TETZLAFF, D., BIRKEL, C., SOULSBY, C. (2015): Modelling landscape controls on dissolved organic carbon sources and fluxes to streams. *Biogeochemistry* 122, 361–374.

DOLEJŠ, P (2002): *Procesy úpravy pitné vody z povrchových zdrojů obsahujících huminové látky - interakce teorie a praxe*. VUTIUM, Brno.

DOLEŽAL, T. (2015): *Posouzení vlivu revitalizačních opatření vybraných horských vrchovišť v povodí horní Vydry na jejich vodní režim*. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 81 s.

DUŠEK, J., VOGEL, T., DOHNAL, M., BARTH, J.A.C., ŠANDA, M., MARX, A., JANKOVEC, J. (2017): Dynamics of dissolved organic carbon in hillslope discharge: Modeling and challenges. *Journal of Hydrology*, 546, 309-325.

ECOSSE (2007): *Estimating carbon in organic soils sequestration and emissions*. Scottish Executive Environment and Rural Affairs Department, pp. 165.

EDWARDS, G. A., AMIRTHARAJAH A. (1985): Removing color caused by humic acids. *J. Amer. Water Works Assoc.* 77, 50.

ERLANDSSON, M., BUFFAM, I., FÖLSTER, J., LAUDON, H., TEMNERUD, J., WEYHENMEYER, G.A., BISHOP, K. (2008): Thirty-five years of synchrony in the organic matter concentrations of Swedish rivers explained by variation in flow and sulphate. *Glob. Change Biol.* 14, 1191–1198. In: Dušek, J., Vogel, T., Dohnal, M., Barth, J.A.C., Šanda, M., Marx, A., Jankovec, J. (2017): Dynamics of dissolved organic carbon in hillslope discharge: Modeling and challenges. *Journal of Hydrology*, 546, 309-325.

ESRI (2018): ArcMap 10.6.1. [online]. [cit. 18.10.2018]. Dostupné z: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>

EVANS, C. D. et al. (2006): Alternative explanations for rising dissolved organic carbon export from organic soils. *Glob. Change Biol.*, 12, (11), 2044-2053.

EVANS, C. D.; MONTEITH, D. T.; COOPER, D. M. (2005): Long-term increases in surface water dissolved organic carbon: Observations, possible causes and environmental impacts. *Environmental Pollution*, 137, (1), 55-71.

FAN, Z., NEFF, J.C., WICKLAND, K.P. (2010): Modeling the production, decomposition, and transport of dissolved organic carbon in boreal soils. *Soil Sci.* 175, 223–232.

FRAINDOVÁ, K. (2019): Osobní konzultace, rady při projednávání použitých metod, poskytnutí obrázku vytvořených zjednodušených kategorií hysterezních smyček (Obrázek 22). Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Praha.

FREEMAN, C., FENNER, N., OSTLE, N.J., KANG, H., DOWRICK, D.J., REYNOLDS, B., LOCK, M.A., SLEEP, D., HUGHES, S., HUDSON, J. (2004): Export of dissolved organic carbon from peatlands under elevated carbon dioxide levels. *Nature* 430, s. 195–198.

FREEMAN, C., EVANS, C.D., MONTEITH, D.T., REYNOLDS, B., FENNER, N. (2001): Export of organic carbon from peat soils. *Nature* 412, s. 785–786.

FRÖBERG, M., KLEJA, D.B., HAGEDORN, F. (2007): The contribution of fresh litter to dissolved organic carbon leached from a coniferous forest floor. *Eur. J. Soil Sci.* 58, 108–114.

FUTTER, M.N., LÖFGREN, S., KÖHLER, S.J., LUNDIN, L., MOLDAN, F., BRINGMARK, L. (2011): Simulating Dissolved Organic Carbon Dynamics at the Swedish Integrated Monitoring Sites with the Integrated Catchments Model for Carbon, INCA-C. Royal Swedish Academy of Sciences, 40, 906-919.

GLATZEL, S., KALBITZ, K., DALVA, M., MOORE, T. (2003): Dissolved organic matter properties and their relationship to carbon dioxide efflux from restored peat bogs. *Geoderma* 113, 397–411. In: Strack, M., Zuback, Y., McCarter, C., Price, J. (2015): Changes in dissolved organic carbon quality in soils and discharge 10 years after peatland restoration. *Journal of Hydrology*, 527, 345-354.

GORHAM, E. (1991): Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecol. Appl.*, 1(2):182–95.

- HACH LANGE (2016): TOC – an insightful sum parameter. Practice report. [online]. [cit. 21.12.2018]. Dostupné z: <https://cz.hach.com/quick.search-download.search.jsa?keywords=toc>
- HARTMANN, A., KOBLER, J., KRÁLIK, M., DIRNBÖCK, T., HUMER, F., WEILER, M. (2016): Modelaided quantification of dissolved carbon and nitrogen release after windthrow disturbance in an Austrian karst system. *Biogeosciences* 13, 159–174. In: Dušek, J., Vogel, T., Dohnal, M., Barth, J.A.C., Šanda, M., Marx, A., Jankovec, J. (2017): Dynamics of dissolved organic carbon in hillslope discharge: Modeling and challenges. *Journal of Hydrology*, 546, 309-325.
- HEJZLAR, I., DUBROVSKÝ, M., BUCHTELE, J., RŮŽIČKA, M. (2003): The apparent and potential effects of climate change on the inferred concentration of dissolved organic matter in a temperate stream (the Malse River, South Bohemia). *Sci. Total Environ.*, 310, (1-3), 143-152.
- HERBERT, B.E., BERTSCH, P.M. (1995): Characterization of dissolved and colloidal organic matter in soil solution: a review. In: Kelly, J.M., McFee, W.W. (Eds.), *Carbon Forms and Functions in Forest Soils*. SSSA, Madison, WI, pp. 63–88. In: Dušek, J., Vogel, T., Dohnal, M., Barth, J.A.C., Šanda, M., Marx, A., Jankovec, J. (2017): Dynamics of dissolved organic carbon in hillslope discharge: Modeling and challenges. *Journal of Hydrology*, 546, 309-325.
- HETEŠA, J., KOČKOVÁ, E. (1997): *Hydrochemie. – Skriptum MZLU Brno*, 106 p.
- HINTNAUS, I. (2011): Vliv sněhové pokrývky na odtok vody z povodí v zalesněném a nezalesněném prostředí. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 143 s.
- HINTNAUS, I. (2008): Změny ve vývoji krajiny v pramenné oblasti Blanice. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 59 s.
- HINTON, M.J., SCHIFF, S.L., ENGLISH, M.C. (1998): Sources and flowpaths of dissolved organic carbon during storms in two forested watersheds of the Precambrian Shield. *Biogeochemistry*, 41, 175–97.
- HINTON, M.J., SCHIFF, S.L., ENGLISH, M.C. (1997): The significance of storms for the concentration and export of dissolved organic carbon from two Precambrian Shield catchments. *Biogeochemistry* 36 (1), 67–88.
- HOJOVEC, D. (2018): Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu odtoku (Případová studie: Porovnání malých povodí v oblasti centrální Šumavy). Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 135 s.
- HONGVE, D. (1999): Production of dissolved organic carbon in forested catchments, *J. Hydrol.*, 224, 91–99.
- HORNBERGER, G.M., BENCALA, K.E., MCKNIGHT, D.M. (1994): Hydrological controls on dissolved organic carbon during snowmelt in the Snake River near Montezuma, Colorado. *Biogeochemistry* 25, 147–165.
- HRUŠKA, J., KRÁM, P., MCDOWELL, W. H., OULEHLE, F. (2009): Increased dissolved organic carbon (DOC) in Central European streams is driven by reductions in ionic strength rather than climate change or decreasing acidity. *Environmental Science & Technology* 43, 12, 4320-4326.

- HRYZÁKOVÁ, K. (2008): Srovnávací analýza jakosti povrchových vod v povodích horní Blanice, Liběchovky a Rolavy. Diplomová práce. Ústav pro životní prostředí PřF UK, Praha, 85 s.
- HUBER, C., BAUMGARTNER, M., GÖTTLEIN, A., ROTTER, V. (2004): Nitrogen turnover and nitrate leaching after bark beetle attack in mountainous spruce stands of the Bavarian Forest National Park. *Water Air Soil Pollut. Focus* 4 (2–3), 391–414.
- HUJSLOVÁ, J. (2010): Dynamika revitalizovaného koryta Sviňovického potoka. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 78 s.
- CHÁBERA, S. et al. (1987): Příroda na Šumavě. Jihočeské nakladatelství, České Budějovice, 182 s.
- CHAPMAN, P.J., EDWARDS, A.C., CRESSER, M.S. (2001): The nitrogen composition of streams in upland Scotland: some regional and seasonal differences. *The Science of the Total Environment* 265: 65-83. In: Mattsson, T., Kortelainen, P., Räike, A., Lepistö, A., Thomas, D.N. (2015): Spatial and temporal variability of organic C and N concentrations and export from 30 boreal rivers induced by land use and climate. *Science of the Total Environment*, 508.
- CHARLIER, J.B., BERTRAND, C., MUDRY, J. (2012): Conceptual hydrogeological model of flow and transport of dissolved organic carbon in a small Jura karst system. *J. Hydrol.* 460, 52–64.
- CHLUPÁČ, I. (2002): Geologická minulost České republiky. *Academica*, Praha, 437 s.
- CHOW, M.F., LAI, CH-CH., KUO, H.-Y., LIN, CH.-H., CHEN, T.-Y., SHIAH, F.-K. (2017): Long Term Trends and Dynamics of Dissolved Organic Carbon (DOC) in a Subtropical Reservoir Basin. *Water*, 9, 545.
- IBM (2018): SPSS Statistics. [online]. [cit. 8.4.2019]. Dostupné: <https://www.ibm.com/cz-en/analytics/spss-statistics-software>
- INAMDAR, S., RUPP, J., MITCHELL, M. (2008): Differences in Dissolved Organic Carbon and Nitrogen Responses to Storm-Event and Ground-Water Conditions in a Forested, Glaciated Watershed in Western New York. *J. Am. Water Resour. Res.*, 44, 1458–1473.
- INTEGROVANÝ REGISTR ZNEČIŠŤOVÁNÍ. Staženo 22.12.2018. Dostupné z: <https://portal.cenia.cz/irz/>.
- JANSEN, B., KALBITZ, K., MCDOWELL, W.H. (2014): Dissolved organic matter: linking soils and aquatic systems. *Vadose Zone J.* 13.
- JUTRAS, M.-F., NASR, M., CASTONGUAY, M., PIT, CH., POMEROY, J.H., SMITH, T.P., ZHANG, CH., RITCHIE, CH.D., MENG, F.-R., CLAIR, T.A., ARP, P.A. (2011): Dissolved organic carbon concentrations and fluxes in forest catchments and streams: DOC-3 model. *Ecological Modelling*, 222, 2291-2313.
- KALBITZ, K., SOLINGER, S., PARK, J. H., MICHALZIK, B., MATZNER, E. (2000): Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: A review, *Soil Sci.*, 165, 277–304.
- KALKUS, J. (2016): Vliv odvodňovacích příkopů na hydrologický režim lesního povodí. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 87 s.



KAŇA, J., TAHOVSKÁ, K., KOPÁČEK, J. (2013): Response of soil chemistry to forest dieback after bark beetle infestation. *Biogeochemistry* 113 (1–3), 369–383.

KOCUM, J., JANSKÝ, B., VLČEK, L., DOLEŽAL, T. (2018): Hydrological function of a midlatitude headwater peatland. *Peat*, Bülent Topcuoğlu and Metin Turan, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.77240. Available from: <https://www.intechopen.com/books/peat/hydrological-function-of-a-midlatitude-headwater-peatland>

KOCUM, J., OULEHLE, F., JANSKÝ, B., BŮZEK, F., HRUŠKA, J., VLČEK, L. (2016): Geochemical evidence for Peat Bog contribution to streamflow generation process: case study of Vltava River headwaters, Czech Republic, *Hydrol. Sci. J.*, 61, 2579–2589.

KOCUM, J. (2012): Tvorba odtoku a jeho dynamika v pramenné části Otavy. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 208 s.

KODÁDKOVÁ, I. (2014): Časová a prostorová variabilita vybraných odtokových epizod v pramenné oblasti Blanice. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 100 s.

KODYM, O. ml. a kol. (1961): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000 M-33-XXVI Strakonice. ÚÚG, Praha, 150 s. In HINTNAUS, I. (2011): Vliv sněhové pokrývky na odtok vody z povodí v zalesněném a nezalesněném prostředí. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 143 s.

KÖHLER, S.J., BUFFAM, I., SEIBERT, J., BISHOP, K.H., LAUDON, H. (2009): Dynamics of stream water TOC concentrations in a boreal headwater catchment: controlling factors and implications for climate scenarios. *J. Hydrol.* 373, 44–56.

KRÁLOVEC, V. (2018): Vliv půdní složky a rozdílného krajinného pokryvu na odtokový proces (experimentální výzkum v párových povodích Zbytiny). Rigorózní práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 208 s.

KUNSKÝ, J. (1974): Československo fyzicky zeměpisně. Státní pedagogické nakladatelství. Praha, 251 s.

LAMBERT, T., PERSON-WICKMANN, A.C., GRUAU, G., JAFFRÉZIE, A., PETITJEAN, P., THIBAUT, J. N., JEANNEAU, L. (2014): DOC sources and DOC transport pathways in a small headwater catchment as revealed by carbon isotope fluctuation during storm events. *Biogeosciences* 11, 3043–3056.

LANGHAMMER, J., HARTVICH, F., MATTAS, D., RÖDLOVÁ, S., ZBOŘIL, A. (2011): The variability of surface water quality indicators in relation to watercourse typology, Czech Republic. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(6), 3983–3999.

LAUDON, H., KÖHLER, S., BUFFAM, I. (2004): Seasonal TOC export from seven boreal catchments in northern Sweden. *Aquat. Sci.*; 66: 223–30.

LEDVINKA, O. (2008): Trendy srážkoodtokového režimu v povodí Rolavy. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 137 s.

- LEE, K.Y., VAN GELDERN, R., BARTH, J.A.C. (2017): A high-resolution carbon balance in small temperate catchment: insights from the Schwabach River, Germany. *Applied Geochemistry*, 85, 86-96.
- LEENHEER, J. A., CROUE, J. P. (2003): Characterizing aquatic dissolved organic matter. *Environ. Sci. Technol.* 37, 18. In: Pivokonský, M., Pivokonská, L., Bubáková, P., Janda, V. (2010): Úprava vody s obsahem huminových látek. *Chemické listy*, 104, 1015-1022.
- LELUT, J. (2007): Vodohospodářské revitalizace na podkladě ekomorfologického monitoringu vodních toků. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 134 s.
- LÖFGREN, S., ZETTERBERG, T. (2011): Decreased DOC concentrations in soil water in forested areas in southern Sweden during 1987-2008. *Science of the Total Environment*, 409, 1916-1926.
- MALÝ, A. (2008): Vliv rozdílného využití krajiny na srážko-odtokový proces v experimentálním povodí Zbytiny. PřF UK, Diplomová práce, Praha, 154 s.
- MAPY.CZ (2019): Základní mapa. [online]. [cit. 8.4.2019]. Dostupné: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.6252330&y=49.8022514&z=8>
- MATTSSON, T., KORTELAINEN, P., RÄIKE, A., LEPISTÖ, A., THOMAS, D.N. (2015): Spatial and temporal variability of organic C and N concentrations and export from 30 boreal rivers induced by land use and climate. *Science of the Total Environment*, 508.
- MCDONALD, A.T., MITCHELL, G.N., NADEN, P.S., MARTIN, D.S.J. (1991): Discoloured water investigations. Report to Yorkshire Water, University of Leeds. In: Yallop, A.R., Clutterbuck, B. (2009): Land management as a factor controlling dissolved organic carbon release from upland peat soils 1: Spatial variation in DOC productivity. *Science of the Total Environment*, 407, 3803-3813.
- MCGLYNN, B.L., MCDONNELL, J.J. (2003): Role of discrete landscape units in controlling catchment dissolved organic carbon dynamics. *Water Resour. Res.* 39.
- MEI, Y., HORNBERGER, G.M., KAPLAN, L.A., NEWBOLD, J.D., AUFDENKAMPE, A.K. (2014): The delivery of dissolved organic carbon from a forested hillslope to a headwater stream in southeastern Pennsylvania. USA. *Water Resour. Res.* 50.
- MENDELOVA UNIVERZITA: Stanovení a význam organických látek. Učební materiály. Oddělení rybářství a hydrobiologie, Ústav zoologie, rybářství, hydrobiologie a včelařství, Agronomická fakulta, Brno. [online]. [cit. 18.12.2018]. Dostupné z: <http://www.rybarstvi.eu/dok%20rybari/organicke.pdf>.
- MICROSOFT CORPORATION (2016): Microsoft Office. [online]. [cit. 18.10.2018]. Dostupné z: <https://www.office.com/?auth=2>
- MICHALZIK, B., TIPPING, E., MULDER, J., LANCHO, J.F.G., MATZNER, E., BRYANT, C.L., CLARKE, N., LOFTS, S., ESTEBAN, M.A.V. (2003): Modelling the production and transport of dissolved organic carbon in forest soils. *Biogeochemistry* 66, 241–264.
- NADEN, P.S., MCDONALD, A.T. (1989): Statistical modeling of water color in the uplands — the Upper Nidd Catchment 1979–1987. *Environ. Pollut.*, 60, 141–63. In: Wallage, Z.E., Holden, J. (2010): Spatial and temporal variability in the relationship between water colour and dissolved organic carbon in blanket peat pore waters. *Science of the Total Environment*, 408, 6235-6242.

NEFF, J.C., ASNER, G.P. (2001): Dissolved organic carbon in terrestrial ecosystems: synthesis and a model. *Ecosystem* 4, 29–48.

NĚMEČEK, J. et al. (2001): Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 78 s.

NOVÁK, F., ŠESTAUBEROVÁ, M. (2013): Huminové látky v povodí Rašeliničku (obora Fláje, Krušné hory). Biologické centrum AV ČR, v.v.i. Poskytnuto RNDr. Miladou Matouškovou, Ph.D.

NOVÁK, F. (2012): Export DOC z rašelinišť. Literární rešerše, 23 s. In: VULHM, v.v.i. et al. (2013): Výzkum možností minimalizace obsahů organických škodlivin ve zdrojích pitných vod v Krušných horách. Poskytnuto RNDr. Miladou Matouškovou, Ph.D.

OMSTEDT, A., EDMAN, M., CLAREMAR, B., FRODIN, P., GUSTAFSSON, E., HUMBORG, C., HÄGG, H., MÖRTH, M., RUTGERSSON, A., SCHURGERS, G., SMITH, B., WÄLLSTEDT, T., YUROVA, A. (2012): Future changes in the Baltic Sea acid–base (pH) and oxygen balances. *Tellus B* 64. In: Strååt, K.D., Mörtth, C.-M., Undeman, E. (2018): Future export of particulate and dissolved organic carbon from land to coastal zones of the Baltic Sea. *Journal of Marine Systems*, 177, 8-20.

OULEHLE, F., TAHOVSKÁ, K., CHUMAN, T., EVANS, C.D., HRUŠKA, J., RŮŽEK, M., BÁRTA, J. (2018): Comparison of the impacts of acid and nitrogen additions on carbon fluxes in European conifer and broadleaf forests. *Environmental Pollution*, 238, 884-893.

OULEHLE, F., CHUMAN, T., HRUŠKA, J., KRÁM, P., MCDOWELL, W.H., MYŠKA, O., NAVRÁTIL, T., TESAŘ, M. (2017): Recovery from acidification alters concentrations and fluxes of solutes from Czech Catchments. *Biogeochemistry*, 132, 251-272.

OULEHLE, F., COSBY, B.J., WRIGHT, R.F., HRUŠKA, J., KOPÁČEK, J., KRÁM, P., EVANS, C.D., MOLDAN, F. (2012): Modelling soil nitrogen: the MAGIC model with nitrogen retention linked to carbon turnover using decomposer dynamics. *Environ. Pollut.* 165, 158–166.

OULEHLE, F., HRUŠKA, J. (2009a): Rising trends of dissolved organic matter in drinking-water reservoirs as a result of recovery from acidification in the Ore Mts., Czech Republic. *Environmental Pollution*, 157, 3433–3439.

OULEHLE, F., HRUŠKA, J. (2009b): Lesy v globálním koloběhu uhlíku. *Vesmír*, 88, 496-500.

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA, Univerzita Palackého v Olomouci (2009): Stanovení obsahu organického uhlíku (TOC) a chlorofylu a. Pracovní protokol. Staženo 13.12.2018. Dostupné z: [http://hydrobiologie.upol.cz/uploads/files/02\\_metody\\_stanoveni\\_obsahu\\_toc\\_chlorofylu.pdf](http://hydrobiologie.upol.cz/uploads/files/02_metody_stanoveni_obsahu_toc_chlorofylu.pdf).

QASSIM, S.M., DIXON, S.D., ROWSON, J.G., WORRALL, F., EVANS, M.G., BONN, A. (2014): A 5-year study of the impact of peatland revegetation upon DOC concentrations. *Journal of Hydrology*, 519, 3578-3590.

RITSON, J.P., BELL, M., GRAHAM, N.J.D., TEMPLETON, M.R., BRAZIER, R.E., VERHOEF, A., FREEMAN, C., CLARK, J.M. (2014): Simulated climate change impact on summer dissolved organic carbon release from peat and surface vegetation: Implications for drinking water treatment. *Water Research*, 67, 66-76.

- RODRÍGUEZ-MURILLO, J.C., ZOBRIST, J., FILELLA, M. (2014): Temporal trends in organic carbon content in the main Swiss rivers, 1974-2010. *Science of the Total Environment*, 502, 206-217.
- SAWICKA, K., ROWE, E.C., EVANS, C.D., MONTEITH, D.T., VANGUELOVA, E.I., WADE, A.J., CLARK, J.M. (2017): Modelling impacts of atmospheric deposition and temperature on long-term DOC trends. *Science of the Total Environment*, 578, 323–336.
- SEBESTYEN, S. D., BOYER, E. W., SHANLEY, J. B., KENDALL, C., DOCTOR, D. H., AIKEN, G. R., OHTE, N (2008): Sources, transformations, and hydrological processes that control stream nitrate and dissolved organic matter concentrations during snowmelt in an upland forest, *Water Resour. Res.*, 44.
- SEIBERT, J., GRABS, T., KÖHLER, S., LAUDON, H., WINTERDAHL, M., BISHOP, K. (2009): Linking soil- and stream-water chemistry based on a riparian flow-concentration integration model. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 13, 2287–2297.
- SCHIFF, S., ARAVENA, R., MEWHINNEY, E., ELGOOD, R., WARNER, B., DILLON, P., TRUMBORE, S. (1998): Precambrian shield wetlands: hydrologic control of the sources and export of dissolved organic matter. *Climatic Change* 40 (2), 167–188.
- SCHUMACHER, B.A. (2002): Methods for determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. United States Environmental Protection Agency, 25 s. Staženo 2.1.2019. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/237792048\\_Methods\\_for\\_the\\_Determination\\_of\\_Total\\_Organic\\_Carbon\\_TOC\\_In\\_Soils\\_and\\_Sediments](https://www.researchgate.net/publication/237792048_Methods_for_the_Determination_of_Total_Organic_Carbon_TOC_In_Soils_and_Sediments).
- SKALAR (2019): FormacsHT Vysokoteplotní analyzátor celkového organického uhlíku. [online] Dostupné z: <https://cs.skalar.com/analyzatory/formacs-series-toc-tn-analyzatory-pro-kapalne-vzorky/>
- SKRČENÁ, L. (2016): Analýza a dynamika fluvialního systému Roklanského a Javořího potoka. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 120 s.
- STRÅÅT, K.D., MÖRTH, C.-M., UNDEMAN, E. (2018): Future export of particulate and dissolved organic carbon from land to coastal zones of the Baltic Sea. *Journal of Marine Systems*, 177, 8-20.
- STRACK, M., ZUBACK, Y., MCCARTER, C., PRICE, J. (2015): Changes in dissolved organic carbon quality in soils and discharge 10 years after peatland restoration. *Journal of Hydrology*, 527, 345-354.
- STRAKOVÁ, P., NIEMI, R. M., FREEMAN, C., PELTONIEMI, K., TOBERMAN, H., HEISKANEN, I., FRITZE, H., LAIHO, R. (2011): Litter type affects the activity of aerobic decomposers in a boreal peatland more than site nutrient and water table regimes. *Biogeosciences*, 8, 2741–2755. In: Novák, F., Šestauberová, M. (2013): Humínové látky v povodí Rašeliníku (obora Fláje, Krušné hory). Biologické centrum AV ČR, v.v.i. Poskytnuto RNDr. Miladou Matouškovou, Ph.D.
- 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.

- ŠMRHOVÁ, Z. (2012): Vliv disturbancí a managementu lesa na odtokový proces. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 68 s.
- ŠPRINGEROVÁ, P. (2016): Koncentrace organického uhlíku v horských a podhorských vodních tocích. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, 73 s.
- THORSLUND, J., JARSJÖ, J., WÄLLSTEDT, T., MÖRTH, C.M., LYCHIAGIN, M.Y., CHALOV, S.R. (2016): Speciation and Hydrological Transport of Metals in Non-Acidic River Systems of the Lake Baikal Basin: Field Data and Model Predictions. *Environ. Change, Reg.* 10.1007.
- TIPPING, E., WOOF, C., RIGG, E., HARRISON, A.F. (1999): Climatic influences on the leaching of dissolved organic matter from upland UK moorland soils, investigated by a field manipulation experiment. *Environment International* 25, 83-95.
- TOLASZ, R. et al. (2007): Atlas podnebí Česka. ČHMÚ a UP Olomouc, Praha, 256 s.
- TOMÁŠEK, M. (2007): Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha, 68 s.
- UNIVERZITA KARLOVA (2019): Výzkumná skupina hydrologie, katedra fyzické geografie a geoekologie, Přírodovědecká fakulta. Dostupné z: [www.hydrodata.natur.cuni.cz/stanice](http://www.hydrodata.natur.cuni.cz/stanice)
- VAČKÁŘ, D., FRÉLICOVÁ, J., LORENCOVÁ, E., PÁRTL, A., HARMÁČKOVÁ, Z., LOUČKOVÁ, B. (2014): Metodologický rámec integrovaného hodnocení ekosystémových služeb v České republice. [online]. [cit. 18.4.2019]. Dostupné z: <http://www.ecosystemservices.cz/userfiles/page/246/72fc39cc8d8e7f501934794636059d8c.pdf>
- VALDHANSOVÁ, K. (2017): Variabilita výšky nového sněhu v lokálním měřítku. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 58 s.
- VAN DEN BERG, L.J.L., SHOTBOLT, L., ASHMORE, M.R. (2012): Dissolved organic carbon (DOC) concentrations in UK soils and the influence of soil, vegetation type and seasonality. *Science of the Total Environment*, 427-428, 269-276.
- VITOUSEK, P.M., HOWARTH, R.W. (1991): Nitrogen limitation on land and in the sea: how can it occur? *Biogeochemistry* 13, 87–115. In: Sawicka, K., Rowe, E.C., Evans, C.D., Monteith, D.T., Vanguelova, E.I., Wade, A.J., Clark, J.M. (2017): Modelling impacts of atmospheric deposition and temperature on long-term DOC trends. *Science of the Total Environment*, 578, 323–336.
- VLACH, V. (2019): Hydrologické sucho v pramenných oblastech Krušných hor. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 104 s.
- VLACH, V. (2016): Extrémní hydrologické jevy v povodí Rolavy. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 66 s.
- VLČEK, L. (2018): Retence vody v půdách horských oblastí na příkladu Šumavy. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 127 s.

- VLČEK, L., KOCUM, J., JANSKÝ, B., ŠEFRNA, L., BLAŽKOVÁ, Š. (2016): Influence of peat soils on runoff process: case study of Vydra River headwaters, Czechia. *Geografie*, č. 121(2), s. 235-253.
- VLČEK, L. et al. (2012): Retenční potenciál a hydrologická bilance horského vrchoviště: případová studie Rokytecké slatě, povodí horní Otavy, JZ. Česko. *Geografie*, 117, č. 4, s. 395 – 414.
- VOLK, C., WOOD, L., JOHNSON, B., ROBINSON, J., ZHU, H.W., KAPLAN, L. (2002): Monitoring dissolved organic carbon in surface and drinking waters. *J. Environ. Monit.* 4, 43–47.
- VONDRÁKOVÁ, A., VÁVRA, A., VOŽENÍLEK, V. (2013): Climatic regions of the Czech Republic. *Journal of Maps*, 9, 3.
- VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA (2018): Digitální báze vodohospodářských dat DIBAVOD. [online]. [cit. 20. 2. 2019] Dostupné z: <http://www.dibavod.cz>
- WALLAGE, Z.E., HOLDEN, J. (2010): Spatial and temporal variability in the relationship between water colour and dissolved organic carbon in blanket peat pore waters. *Science of the Total Environment*, 408, 6235-6242.
- WALLIN, M.B., WEYHENMEYER, G.A., BASTVIKEN, D., CHMIEL, H. E., PETER, S., SOBEK, S., KLEMEDTSSON, L. (2015): Temporal control on concentration, character, and export of dissolved organic carbon in two hemiboreal headwater streams draining contrasting catchments, *J. Geophys. Res.-Biogeo.*, 120, 832–846.
- WEILER, M., MCDONNELL, J.J. (2006): Testing nutrient flushing hypotheses at the hillslope scale: a virtual experiment approach. *J. Hydrol.* 319, 339–356.
- WEYHENMEYER, G.A., KARLSSON, J. (2009): Nonlinear response of dissolved organic carbon concentrations in boreal lakes to increasing temperatures. *Limnol. Oceanogr.*, 54, (6, Part 2), 2513-2519.
- WINTERDAHL, M., ERLANDSSON, M., FUTTER, M.N., WEYHENMEYER, G.A., BISHOP, K. (2014): Intra-annual variability of organic carbon concentrations in running waters: Drivers along a climatic gradient. *Global Biogeochemical Cycles*, 28, 4, 451-464.
- WINTERDAHL, M., TEMNERUD, J., FUTTER, M.N., LÖFGREN, S., MOLDAN, F., BISHOP, K. (2011a): Riparian Zone Influence on Stream Water Dissolved Organic Carbon Concentrations at the Swedish Integrated Monitoring Sites. *Royal Swedish Academy of Sciences*, 40, 920-930.
- WINTERDAHL, M., FUTTER, M., KÖHLER, S., LAUDON, H., SEIBERT, J., BISHOP, K.C.W. (2011b): Riparian soil temperature modification of the relationship between flow and dissolved organic carbon concentration in a boreal stream. *Water Resour. Res.* 47.
- WORRALL, F., BURT, T. P. (2005): Predicting the future DOC flux from upland peat catchments. *Journal of Hydrology* 300: 126–139.
- WORRALL, F., BURT, T.P., JAEBAN, R.Y., WARBURTON, J., SHEDDEN, R. (2002): Release of dissolved organic carbon from upland peat. *Hydrological Processes*, 16, 17, 3487-3504.

- XU, N., SAIERS, J.E., WILSON, H.F., RAYMOND, P.A. (2012): Simulating streamflow and dissolved organic matter export from a forested watershed. *Water Resour. Res.* 48, W05519.
- YALLOP, A.R., CLUTTERBUCK, B. (2009): Land management as a factor controlling dissolved organic carbon release from upland peat soils 1: Spatial variation in DOC productivity. *Science of the Total Environment*, 407, 3803-3813.
- YANG, Q., ZHANG, X., XU, X., ASRAR, G. R. (2017): An Analysis of Terrestrial and Aquatic Environmental Controls of Riverine Dissolved Organic Carbon in the Conterminous United States. *Water*, 2017, 9, 383.
- YUROVA, A., SIRIN, A., BUFFAM, I., BISHOP, K., LAUDON, H. (2008): Modeling the dissolved organic carbon output from a boreal mire using the convection-dispersion equation: importance of representing sorption. *Water Resour. Res.* 44, W07411.
- ZSOLNAY, A., BAIGAR, E., JIMENEZ, M., STEINWEG, B., SACCOMANDI, F. (1999): Differentiating with fluorescence spectroscopy the sources of dissolved organic matter in soils subjected to drying. *Chemosphere*, 38, 45-50.
- ZUECCO, G., PENNA, D., BORGA, M., VAN MEERVELD, H.J. (2016): A versatile index to characterize hysteresis between hydrological variables at the runoff event timescale. *Hydrological Processes*, 30, 9, 1449-1466.