

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Hydrologie a hydrogeologie



Bc. Daniel Hojovec

**Hodnocení formování odtoku v povodí pomocí stabilních
izotopů 2H a 18O a teploty vody**

Evaluation of runoff formation in catchment using stable isotopes
 2H and 18O and water temperature

Diplomová práce

vedoucí práce: RNDr. Lukáš Vlček, Ph.D.

Praha, 2023

Zadání diplomové práce

Téma práce

Hodnocení formování odtoku v povodí pomocí stabilních izotopů ^2H a ^{18}O a teploty vody

Cíle práce

1. Popis srážko-odtokového procesu v návaznosti na separaci hydrogramu, včetně metod a způsobů, na základě nichž je daný nástroj využíván, se zaměřením na stabilní izotopy ^2H a ^{18}O ve vodě a teplotu vody.
2. Zpracování dostupných dat, za účelem ověření využití stabilních izotopů vody a teploty vody jako metody pro hodnocení vodního režimu pramenů a celkového odtoku v malém horském povodí.
3. Odhadnout dobu zdržení vody deště během srážkové události

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Hodnocení a způsob mechanismu formování odtoku v horských pramenných oblastech je vzhledem k rostoucí extremitě srážko-odtokových procesů v posledních letech předmětem četné řady výzkumných prací.

Úvodní část práce bude pojednávat o popisu srážko-odtokového procesu v návaznosti na separaci hydrogramu, včetně metod a způsobů, na základě nichž, je daný mechanismus využíván, kdy v popředí zájmu budou stabilní izotopy ^2H a ^{18}O vody a teplota vody. Následovat bude vzorkování pocházející z vodního toku, srážek a půdy (mělkých vrtů) pro následné stanovení obsahu stabilního izotopu ^2H a ^{18}O ve vodě a srážkách v horských povodích Rokytka a Rokytka přítok na Šumavě. Vzorkování bude probíhat manuálním odběrem a automatickým vzorkovačem. Po odběru vzorků bude následně laboratorně určen obsah stabilního izotopu ^2H a ^{18}O . Výsledky z daného laboratorního stanovení budou následně spolu s již staršími analyzovanými vzorky katedry Fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze analyzovány za účelem ověření využití stabilních izotopů vody a teploty vody jako metody pro hodnocení vodního režimu pramenů a celkového odtoku v malém horském povodí.

Datum zadání: 10. 06. 2019

Jméno vedoucího práce: RNDr. Lukáš Vlček, Ph.D.

Jméno studenta: Daniel Hojovec

Prohlášení

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

V Praze dne 12. 12. 2023

.....

Daniel Hojovec

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval RNDr. Lukáši Vlčkovi, Ph.D. za mnoho cenných rad, trpělivost a velké množství času stráveného při vedení této práce. Dále bych rád poděkoval katedře Fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy za poskytnutá data a pomoc při laboratorním zpracování a sběru dat. V neposlední řadě děkuji za podporu mé snoubence a rodině.

Abstrakt

Hodnocení vodního režimu pramenů, respektive celkového odtoku v malých horských povodích je v této práci důležitým aspektem pro pochopení fungování povodí z hlediska srážko-odtokového procesu a dále především pro ověření či vyvrácení různých metod využitých pro hodnocení odtoku horského povodí. Za uvedenými účely bylo mezi roky 2018-2020 provedeno opakované vzorkování z vodních toků, půdy (mělkých vrtů) a srážek na území povodí Rokytka. Ze získaných dat byl následně v laboratoři zjištěn poměr stabilních izotopů ^2H a ^{18}O . Dále bylo pracováno s daty stabilních izotopů ^2H a ^{18}O poskytnutými katedrou Fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy za období let 2014-2018. Veškerá data byla společně s hydro-meteorologickými daty podrobena různým analýzám a metodám se záměr hodnocení odtoku. Stěžejní metodou této práce byla separace hydrogramu za využití směšovací rovnice pracující se stabilními izotopy ^2H a teplotou vody pro 6 událostí.

Na základě provedených analýz a hydrografických separací bylo zjištěno, že voda v toku Rokytka přítok je v průběhu význačných srážko-odtokových událostí tvořena převážně před-událostní vodou. Při detailní tříložkové separaci bylo stanoveno, že odtok Rokytka přítok při daných událostech v průměru tvoří z 37,5 % (v rozsahu 27-46 % pro jednotlivé separace) pramen P1, z 36,5 % (v rozsahu 18-58 %) pramen REV a z 26 % (v rozsahu 15-45 %) srážky. Dále byla odhadnuta doba zdržení srážek, během srážkové události, na 3 hodiny v porovnání s maximálním průtokem toku Rokytka přítok a na 4,5 hodiny v porovnání s maximální hodnotou izotopového složení vody (^2H) daného toku v průběhu situace.

Klíčová slova: odtok, vodní režim pramenů, separace hydrogramu, stabilní izotopy, deuterium, teplota vody

Abstract

The evaluation of the water regime of the springs, or the total runoff in small mountain catchments, is an important aspect in this work for understanding the functioning of the catchment from the point of view of the precipitation-runoff process, and above all for the verification or refutation of the various methods used to evaluate the runoff of the mountain catchment. For the stated purposes, between 2018 and 2020, repeated sampling was carried out from water courses, soil (shallow wells) and precipitation in the Rokytka catchment area. From the obtained data, the ratio of stable isotopes ^2H and ^{18}O was subsequently determined in the laboratory. We also worked with the data of stable isotopes ^2H and ^{18}O provided by the Department of Physical Geography and Geoecology of the Faculty of Natural Sciences of Charles University for the period 2014-2018. All data, together with hydro-meteorological data, were subjected to various analyzes and methods with the aim of evaluating the runoff. The core method of this work was hydrograph separation using a mixing equation working with stable ^2H isotopes and water temperature for 6 events.

On the basis of the performed analyzes and hydrographic separations, it was found that the water in the Rokytka přítok during significant rainfall-runoff events is mainly made up of pre-event water. During a detailed three-component separation, it was determined that the Rokytka outflow in the given events, on average, consists of 37,5 % (in the range of 27-46 % for individual separations) of spring P1, of 36,5 % (in the range of 18-58 %) spring REV and from 26 % (in the range of 15-45 %) precipitation. Furthermore, the delay time of precipitation during a precipitation event was estimated to be 3 hours compared to the maximum discharge of the Rokytka přítok and 4,5 hours compared to the maximum value of the isotopic composition of the water (^2H) of the given stream during the situation.

Key words: runoff, water regime of the springs, hydrograph separation, stable isotopes, deuterium, water temperature

Obsah

1	Úvod	6
2	Současný stav poznání.....	7
2.1	Srážkoodtokový proces a formy odtoku	7
2.2	Separace odtoku	8
2.2.1	Metody separace odtoku:	9
2.3	Současný stav výzkumu v pramenné oblasti Šumavy z hlediska formování odtoku.....	20
3	Metodika a sběr dat	23
3.1	Měření a sběr dat.....	23
3.2	Zpracování dat.....	25
3.2.1	Izotopová data	25
3.2.2	Data z automatických hladinoměrů, meteorologických stanic, srážkoměrů a vrtů	26
3.2.3	Separace hydrogramu.....	26
3.2.4	Doba postupu srážkové vody povodím	31
4	Charakteristika zájmového území	32
5	Výsledky.....	39
5.1	Izotopová data – charakteristika povodí RP a RO	39
5.2	Situace odebrané pomocí vzorkovače ISCO a jejich charakteristika.....	42
5.3	Doba postupu srážkové vody povodím	44
5.4	Hydrografická separace odtoku.....	47
5.4.1	Vybrané separace	49
5.4.1.1.	Separční událost 8. – 9. 8. 2014 - Malé srážkové úhrny při nízkém nasycení povodí	49
5.4.1.2.	Separční událost 23. – 24. 2014 - Velké srážkové úhrny při vysokém nasycení povodí	57
5.4.1.3.	Separční událost 23. –24.9.2018 - Velké srážkové úhrny při nízkém nasycení povodí	66
5.4.1.4.	Separční událost 12. – 13. 8. 2019 Malé srážkové úhrny při velkém nasycení povodí	73
6	Diskuze	84
6.1	Možné pochybení při sběru a zpracování dat.....	84

6.2	Variabilita izotopových poměrů ve složkách povrchové a podzemní vody povodí RP	86
6.3	Posouzení dvousložkové separace hydrogramu	88
6.4	Posouzení tříložkové separace hydrogramu	91
6.5	Doba postupu srážkové vody povodím	94
7	Závěr	96
8	Seznam použité literatury	98
9	Seznam obrázků	114
10	Seznam tabulek	118
11	Přílohy	120
11.1	Separace	120
11.2	Situace odebrané pomocí vzorkovače ISCO a jejich charakteristika	133

1 Úvod

Formování či proces tvorby odtoku v horských pramenných oblastech je důležitým faktorem pro pochopení chování daných toků, a to jak z důvodu vlastního objasnění fungování, tak s ohledem na možné ovlivnění dalších částí toku či povodí. (Holden a Burt 2003). Tato práce volným způsobem navazuje na bakalářskou práci autora (Hojovec 2018), jenž se zabývala procesem tvorby odtoku v malých horských pramenných povodích z hlediska základních odtokových charakteristik.

K hodnocení formování odtoku slouží ovšem celá řada dalších, vědeckých přístupů a metod, kdy v posledních dekáдах se velmi oblíbenou a hojně využívanou metodou stávají metody založené na mapovacích neboli stopovacích vlastnostech vody, umožňující poměrně přesně určit chování vody v povodí, dále odhalit principy na nichž stojí proces tvorby odtoku (Weiler et al 1999) či prohloubit naše poznatky o původu vody (Széles 2023). Výhodou daných metod je jejich relativní finanční dostupnost, což zejména platí pro využití teploty vody (Martin, Dean 1999 in Pomije), jenž bude spolu se stabilními izotopy vody využita, jako separačního nástroje hydrogramu. Daný přístup je zároveň relativně ojedinělý, nicméně kombinace využití tohoto spojení již bylo částečně využito i na našem území pro malá povodí (Zajíček et al 2016; Pomije 2018), ovšem její aplikace, pro hodnocení vodního režimu pramenů a celkového odtoku právě v oblasti (malého) horského povodí s výrazným zastoupením rašelinišť, je spíše vzácná.

Vzhledem k růstu extremity srážko-odtokových procesů a jejich případných dopadů na složky životního a lidského prostředí mohou mít některé výsledky podobných studií i mimo vědecký dosah, kdy díky své relativně příznivé ekonomické stránce, mohou být dostupné celé řadě výzkumných prací či subjektů.

Hlavním cílem této práce je popis a hodnocení vodního režimu pramenů a celkového odtoku v malém horském povodí za pomoci separace hydrogramu a dalších analýz, a to jednak pro určení a pochopení daných procesů a dále za účelem ověření, zda je možné pro daný cíl využít stabilní izotopy vody a teplotu vody. Pro potřeby splnění daného a dalších dílčích cílů bude analyzováno několik významných srážko-odtokových událostí v povodí toku Rokytka přítok, tvořené dvěma hlavními prameny s označením P1 a REV, kdy pramen P1 převážně odvodňuje část povodí tvořenou podzolovým půdami, zatímco pramen REV rašelinou část povodí RP.

2 Současný stav poznání

2.1 Srážkoodtokový proces a formy odtoku

Srážkoodtokový proces patří mezi hlavní složku hydrologického cyklu zmíněného výše, kdy základním vstupem tohoto děje jsou srážky. Ty ale nemusejí dopadat vždy na povrch, jelikož mohou být převážně na počátku deště zachytávány vegetací intercepce (Daňhelka 2007) jejíž míra je ovlivněna jak biologickými, tak i meteorologickými podmínkami (Penka 1985). Ostatní srážky již tedy dopadají na povrch, nicméně část z nich se srážkoodtokového procesu také neúčastní, a to z důvodu jejich akumulace a následné evaporace z vodních ploch, půdy či urbanizovaného území případně výparem z vegetace nazývaným transpirace (Allen et al. 1998). Zbývající část dopadajících srážek, jenž nepodléhá interpci či evapotranspiraci tvoří druhou část srážkoodtokového procesu odtok, jenž je definován jako množství vody odtékající korytem řeky za určený časový interval, nejčastěji za rok či den (Netopil 1970). Odtok můžeme dělit dvěma přístupy, první na základě způsobů, kterými se spadlé srážky dostávají do řek, oceánů či jiných vodních útvarů a druhý pomocí času (Kříž 1983). V prvním zmíněném přístupu se odtok rozděluje na povrchový, podpovrchový a podzemní. Povrchový odtok, jak již z jeho názvu vyplývá, je tvořen vodou odtékající po zemském povrchu, přičemž je převážně dotován srážkami. Povrchový odtok můžeme rozdělit do tří složek, a to na základě způsobu, kterým vzniká. První možnost, kdy nastává povrchový odtok je tehdy, když je při silných srážkách překročena infiltrační kapacita půdy, tzv. hortonovský odtok, respektive Hortonian Overland Flow (HOF) (Horton 1933). Kromě intenzity srážek je vzhledem k danému typu odtoku důležitá i retenční kapacita půdy (Scherrer a Naef 2003), tzv. Saturated Overland Flow (SOF). Při jejímž překročení nastává při srážkové události druhá možnost povrchového odtoku. A konečně třetí možností je tzv. return flow, tedy jev, kdy dochází převážně v nižších částech svahu k návratu již jednou infiltrované vody na povrch a následně k jejímu povrchovému odtoku (Beven 2012).

Podpovrchový případně hypodermický odtok je část vody infiltrované pod zemský povrch do půdy, aniž by dosáhla hladiny podzemní vody (Beven 2012). Na hranici mezi povrchovým a podpovrchovým odtokem je definován tzv. Biomatic flow (BF), tedy odtok proudící v organickém připovrchovém horizontu (Gerke et al. 2015). Podpovrchový odtok se dle Scherrera a Naefa (2003) může rozdělit na mělký a hluboký a je označován jako SSF, tedy Subsurface Storm Flow. Kromě výše uvedených typů

podpovrchového odtoku se mohou v jeho rámci uplatňovat i další procesy, kdy jedním z nich je preferenční proudění neboli Pipe Flow (PF) představující propojené makropóry v nichž dochází k proudění. Dalším typem podpovrchového proudění je tzv. Deep percolation (DP). Naopak poslední, zbývající složka odtoku již prostřednictvím infiltrace půdy, a především hornin hladiny podzemní vody dosáhne a je nazývána výše zmíněným podzemním odtokem (Šilar 1996). Na základě druhého způsobu dělení, tedy času, můžeme definovat přímý a základní odtok. Přímý odtok představuje odtok, který je tvořen odtokem povrchovým a podpovrchovým (tzv. hypodermickým), a tedy není součástí odtoku podzemního (Smakhtin 2001). Přičemž na přímém odtoku se hypodermický odtok podílí pouze z části, kdy je zapojena pouze jeho rychlá složka, nicméně v praxi odpovídá přímý odtok pouze odtoku povrchovému, a to především z důvodu určení složitosti podpovrchového odtoku. (Kříž 1983). Z výše uvedeného je patrné, že druhá složka odtoku dle časového dělení, tedy základní odtok tvoří pouze odtok podzemní. Základní odtok, jak již jeho název napovídá, je hlavním zdrojem vody v období sucha, zatímco přímý odtok se nejčastěji vyskytuje při silných srážko-odtokových událostech (Melioris et al. 1986).

Ze základního popisu mechanismu fungování odtoku v předchozích odstavcích vyplývá, že se jedná o složitý proces, který je navíc ovlivněn mnoha faktory, které spadají do hlavních dvou skupin, kdy se konkrétně jedná o fyzickogeografické a antropogenní faktory ovlivňující odtok. Do obou kategorií patří velké množství různých faktorů, jako je například vegetační pokryv, klima, morfometrie a morfologie povodí či geologické a půdní poměry u fyzickogeografických faktorů (Netopil et al. 1984; Lacey a Grayson 1998) a urbanizace, industrializace případně obecně nešetrné hospodaření s půdou v rostlinném zemědělství u antropogenních faktorů (Červený et al. 1984). Popis a výčet faktorů ovlivňujících odtok je podrobněji popsán v mé bakalářské práci, jenž se z velké části zabývala danou problematikou.

2.2 Separace odtoku

Pro pochopení fungování jednotlivých složek odtoku výše popsaných, je nezbytné tyto složky odtoku od sebe oddělit. Mechanismus dané separace není jednoduchý, a to především vzhledem ke složitosti tvorby odtoku, k téměř nemožnosti měření základního odtoku či různorodosti přírodních podmínek v krajině. Nicméně v praxi se nejčastěji od sebe separují odtok přímý a základní. Způsoby, kterými se od sebe základní a přímý odtok odděluje jsou různé, existuje jich celá řada a nechají se rozdělit do několika

skupin, kdy mezi ty nejčastější patří separace odtoku na základě metod tracerových, analytických či empirických (Zhang et al. 2012), nicméně, v praxi je jich využíváno daleko více na dalších, jiných principech, kdy o způsobu, který je k oddělení vybrán, rozhoduje řada podmínek (finanční, výzkumná, věcná či časová stránka věci).

2.2.1 Metody separace odtoku:

Jak již bylo uvedeno, k separaci odtoku jsou využívány různé metody, přičemž ty nejpoužívanější jsou spolu s krátkým popisem jejich fungování uvedeny níže.

Metoda rozčlenění (separace) hydrogramu

Pod pojmem rozčlenění hydrogramu si můžeme představit rozdělení křivky průtoků na dané složky, které představují povrchový, hypodermický a základní odtok. Nicméně z hlediska praktičnosti je povrchový odtok sloučen s hypodermickým. Čára průtoků je tedy rozčleněna na dvě části, na přímý a základní (podzemní) odtok. Způsobů, jak rozčlenit hydrogram existuje vícero a jsou nejčastěji založeny buď pouze na základě hodnot jednotlivých průtoků v čase, nebo i na dalších vlastnostech zkoumaného povodí (toků), kdy se nejčastěji pracuje s režimem podzemních vod. Mezi velmi častou a zřejmě nejjednodušší metodu rozčlenění průtoků patří rozdělení hydrogramu pomocí vodorovné křivky, která prochází začátkem průtokové vlny, přičemž tento bod by měl odpovídat zřejmému zvyšování průtoků. Další možností, jak jednoduše separovat hydrogram na základní a přímý odtok pouze za využití průtokových dat, je pomocí lomené křivky propojující minimální hodnoty měsíčních průtoků (Starý 2005). Výše zmíněné metody jsou jednoduché, ale pouze orientační a velmi nepřesné, sloužící spíše pro základní orientaci.

Metoda hydrologické bilance

Metoda hydrologické bilance je primární a dlouze používanou možností pro určení jednotlivých členů bilanční rovnice, přičemž mezi ně patří v její rozšířené formě i odtok základní a přímý. Bilanční rovnice se uvádí v různých tvarech či modifikacích, kdy jedna z jejích forem vypadá následovně (Kadlecová et al. 2010).

$$Q_z = S - ET - Q_p + P_{pov} + P_{podz} \pm \Delta W$$

kde: Q_z - množství podzemní vody

S - atmosférické srážky

ET - evapotranspirace

Q_p - povrchový odtok (přímý)

P_{pov} - přítok vody vodními toky z povrchu

P_{podz} - přítok podzemní vody

ΔW - změna zásob vody na daném území

Princip uvedené metody je na základě dané rovnice relativně jednoduchý, kdy se porovnávají jednotlivé členy rovnice, které se často nechají zjistit z různých hydrometeorologických pozorování, měření či modelů. Nicméně určení některých členů rovnice může být problematictější a nemusí úplně odpovídat realitě. Zejména se jedná o určení evapotranspirace či o zjištění přítoku podzemní vody do daného území. (Kříž 1983). Při použití této metody musí být splněna základní podmínka, která spočívá ve faktu, že hydrologické povodí přibližně odpovídá povodí hydrogeologickému, přičemž při jevu opačném by některé složky v uvedené bilanční rovnici neodpovídaly realitě (Slavík 1980).

BFI metoda

Pod zkratkou BFI je schován název, tedy index základního odtoku (base flow index). Z názvu je patrné, že se metoda používá k určení základního odtoku, a to za pomoci dvou postupů, respektive jejich spojení, kdy tyto postupy představují analýzu lokálních minim společně s křivkou vyprazdňování (Gustard et al. 1992). Výsledkem této metody je bezrozměrné číslo (index), který je u toků, jenž jsou výhradně tvořeny téměř jen povrchovým odtokem, roven přibližně nule, a naopak u povrchových toků dotovaných z velké části podzemní vodou roven hodnotám kolem jedné. Daný index je získán pomocí poměru mezi objemy základního odtoku a celkového odtoku, které oba musí odpovídat stejnému časovému období, s čímž souvisí možnost výpočtu indexu pro různé časové intervaly, od dnů až po roky. K tomu abychom zjistili objemy jednotlivých složek odtoku je potřebné mít řadu průměrných průtoků (nejčastěji denních), které se následně rozdělí do celků, kdy každý celek obsahuje pět dnů (v případě uvažování s dny), u kterých je v každém celku určeno minimum. Následuje řada dalších kroků vedoucích k určení výše zmíněných objemů jednotlivých složek odtoku a následnému výpočtu indexu. Tato metoda je využívána i díky své schopnosti vyjádřit základní geologické poměry v povodích (Smakhtin 2001).

Metoda Kliner – Kněžek

Tato metoda pro určení bazálního odtoku pochází z České republiky, kde je také velmi často využívána (Kliner a Kněžek 1974), nicméně objevuje se v publikacích i zahraničních autorů (Holko et al. 2002; Gonzales et al. 2009). Principem je hypotéza, že na výšce hladiny podzemní vody ve vrtu či studni je závislá výška hladiny povrchového toku, přičemž daný vrt či studna musí být v relativní blízkosti zmíněného povrchového toku. Výškový rozdíl mezi hladinami těchto dvou bodů poté koresponduje změnám přítoku podzemní vody. (Krásný 1982). Pro určení základního odtoku dle uvedené metody, jsou tedy potřebné výše zmíněné výšky hladin, a dále se daná metoda může vyjádřit graficky, prostorovým způsobem, kdy se do grafu zobrazují veškeré změřené odpovídající si dvojice bodů reprezentující rozdíly hladin v povrchovém toku a přilehlém vrtu či studni a průtoku povrchového toku na určeném místě. Výsledkem těchto zanesených bodů je poté obalová křivka, reprezentující závislost daných bodů a určení vztahu, na jehož základě se nechá stanovit poměr mezi přímým a základním odtokem. Plocha, respektive povodí, pro kterou může být tato metoda využita odpovídá zhruba desítkám kilometrů, ale nejsou vyloučena i rozsáhlejší povodí (Kliner a Kněžek 1974).

Metoda digitálních filtrů

Daná metoda je v současné době často využívána, nicméně její základy pravděpodobně sahají až do konce 70. let minulého století, kdy bylo využito postupů a metod z jiných odvětví. Odtok (hydrogram) byl separován na základě rozdílu signálů o různé frekvenci, kdy povrchový či podpovrchový odtok představuje vysokofrekvenční signál, a naopak nízkofrekvenční signál odtok základní (Lyne a Hollick 1979). Pro tuto metodu, či na ní založené je důležité získání tzv. filtračního koeficientu či parametru filtru a a jeho velikosti, které se mohou získat na základě údajů o zkoumaném toku či povodí, případně pomocí jiné separační techniky. Na Lyneho a Hollicka navázali další a vznikla celá řada metod separací odtoku založených na filtrech, které různě modifikovaly, zpřesňovaly či zjednodušovali původní metodu. Například filtry na základě Arnolda a Allena (1999), případně úpravy předešlých metod spočívajících, za účelem zpřesnění metody, v použití dvojice filtračních parametrů místo jednoho (Chapman a Maxwell 1996; Spongberg 2000). Nicméně i v dnešní době jsou hojně využívány filtry s jedním parametrem, například tzv. Eckhardtův filtr, využívaný například pro stanovení hydrologické bilance v rámci ČHMÚ (Vlnas 2009), jenž

pracuje na základě faktu vzájemné propojenosti mezi velikostí zdrojů podzemních vody a odtokem ze zvodně, respektive lineární závislosti toho odtoku na velikosti zmíněných zásob podzemní vody. Parametr používaný v této metodě je získáván na základě analýzy hydrogramu, lépe řečeno jeho poklesových částí (Eckhardt 2005). Výhodou, digitálních filtrů obecně je jejich možnost stanovení základního odtoku pro kompletní časovou řadu dat. Naopak problém při jejich použití může souviset s určením filtračního koeficientu či koeficientů, které není vždy jednoznačné.

Metody založené na mapování vlastností vody nebo stopovačích

Dané metody vycházejí z faktu, že voda zastoupená v základním odtoku se z hlediska svých chemických a fyzikálních vlastností v jistých parametrech liší od vody zastoupené v odtoku přímém (Davis et al. 1980; Wels et al. 1991). Na základě tohoto faktu jsou definovány tzv. stopovače tedy především látky či vlastnosti vody pomocí nichž se mimo jiné nechá provádět separace hydrogramu. Stopovače můžeme dělit různými způsoby, na základě jejich vlastností, přičemž z hlediska jejich využití při separaci hydrogramu se nechají rozdělit následovně:

- 1) **Přírodní:** izotopy vodíku (^3H , ^2H , ^1H), kyslíku (^{18}O , ^{16}O), helia (^3He , ^4He), uhlíku (^{14}C , ^{13}C), NO_3^- , teplota, pH a konduktivita vody
- 2) **Antropogenní:** sole (chloridy (NaCl , KCl , LiCl), bromidy (KBr), iodidy), fluoreskující stopovače (fluorescein, uranin, eosin, sulphorodamin B, sodium naphthionate), bakterie, bakteriofágy, fluorescentní mikrosféry, freony (CFC , SF_6)

Další rozdělení stopovačů je na základě vlastností vody následující:

Chemické či geochemické vlastnosti vody – jako stopovače se také často využívají ionty či sloučeniny obsažené v povrchových či podzemních vodách, kdy je využíváno jejich specifických vlastností a rozdílného zastoupení koncentrací v základním a přímém odtoku (Wels et al. 1991). Jako stopovačů pro separaci hydrogramu je používána celá řada iontů a sloučenin, kdy se například jedná o Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , H_4SiO_4 , SiO_2 , DOC, K^+ , Al, Sr, Ba s kterými je pracováno v celé řadě studií a výzkumů (Hooper a Shoemaker 1986; Hoeg et al. 2000; Ladouche et al. 2001; Hugenschmidt et al. 2014)

Fyzikální vlastnosti vody – mezi tyto vlastnosti, které se nechají využít jako stopovače patří především teplota voda a konduktivita. **Elektrická měrná vodivost neboli konduktivita** podle obecných předpokladů dosahuje nižších hodnot u vod povrchových, a naopak u podzemních vyšší. Konduktivita představuje rozsah koncentrace ionizovaných organických a anorganických složek vody (Pitter 1999) a je závislá na teplotě vody či roztoku, kdy jejich zvýšení o 1 °C může mít za následek zvýšení konduktivity o 2 % a více (Pitter 1999; Langhammer 2002), na velikosti průtoku, čehož se právě může využívat při různých tracerových experimentech (Schaffer et al. 2020), na míře lidské činnosti (Sukop 2006) či na koncentraci iontů a jejich nábojovém čísle (Pitter 2009). Z hlediska stopovacích metod je právě využití konduktivity poměrně časté (Pellerin et al. 2008; Zhang et al. 2012; Kulasová et al. 2019). Do kategorie fyzikálních vlastností vody se nechá zařadit i **alkalinita**, které se také může využít jako stopovače pro separaci (Ladouche et al. 2001).

Vzhledem k využití izotopů a teploty vody jako stopovačů v této práci jsou níže detailněji popsány dané metody v širších souvislostech.

Teplota voda

Teplota vody je již dlouhou dobu využívána jako stopovač v celé řadě výzkumů při stanovení základního a přímého odtoku (Dick et al. 2018; Shanley a Peters 1988; Birkinshaw a Webb 2010; Zajíček et al. 2016). Obecně teplota vody v toku není v průběhu roku stála, respektive mění se, a to jak v rámci roku, či ještě časově delších období, tak i v průběhu dne. Denní amplituda teploty v toku je závislá na několika jeho vlastnostech, například na jeho vodnosti či hloubce, kdy toky více vodné a hlubší mají nižší amplitudy teploty v průběhu dne než například horské mělké potoky, kde je celý vodní sloupec většinou dokonale prohřátý či ochlazený (Kemel 1996). Další oscilace teploty vody v tocích se projevuje v průběhu roku, přičemž toto kolísání dosahuje větších amplitud než kolísání denní. Nejvyšší teplota vody v tocích České republiky odpovídá měsícům červnu a červenci, naopak nejnižší začátku roku, tedy lednu a únoru. Nejvyšší pokles teploty vody v tocích nastává v říjnu, zatímco nejvyšší nárůst na přelomu dubnu a května (Lelák a Kubíček 1992). Roční chod teploty vody v tocích přibližně odpovídá chodu teplotnímu, přičemž nejvíce se tyto teploty liší v zimě, jelikož teplota vody se drží lehce nad nulou, zatímco teplota vzduchu pod ní padá Nicméně

míra změn teploty v tocích at' v průběhu roku nebo ve dne je z části individuální, přičemž nejčastěji závisí na faktorech uvedených níže:

Klimatické faktory – mezi klimatické faktory ovlivňující teplotu vody v toku náleží množství dopadajícího slunečního záření, teplota vzduchu či srážky (Hannah et al. 2008b; Webb a Zhang 1997) přičemž tyto faktory souvisejí s daným, místním klimatem či podnebím jenž je obecně jedním z řídících prvků tepelného režimu v řekách (Garner et al. 2013), kdy je v posledních letech pozorováno časté zvyšování teploty vody v tocích v důsledku klimatických změn (Moatar a Gailhard 2006; Kaushal et al. 2010).

Morfologické a topografické faktory – do daných faktorů mající vliv na teplotu vody v tocích patří faktory související přímo s vlastnostmi koryta (hloubka, šířka), případně jeho orientace, sklon či zaříznutí v terénu a s nimi související míra zastínění slunečního záření (Webb a Zhang 1997; Caissie 2006)

Vegetace jako faktor – pobřežní vegetace je dalším faktorem ovlivňující teploty vody v tocích (Rutherford et al. 1997; Johnson a Wilby 2015). Při zjišťování vlivu vegetace na teplotu vody je často zkoumána šířka, výška a hustota dané vegetace, kdy se jako rozhodující vegetační vlivy na teplotu vody v tocích ukazují výška a šířka vegetace (DeWalle 2008), a naopak šířka vegetačního pásma kolem vodního toku je faktorem menším (Sridhar et al. 2004). Obecně vegetace v blízkosti vodních toků zabraňuje jejich přílišnému zahřívání a negativním účinkům na místní ekosystémy (Holzapfel et al. 2013).

Antropogenní faktory – mají ve většině případů negativní dopad na teplotu vodních toků. Do těchto faktorů patří výstavba nádrží a regulace vodních toků (Lowney 2000), vypouštění oteplených vod z průmyslu (Webb a Nobilis 2007), případně změny ve využívání půdy (Menberg et al. 2013).

Faktory související s původem vody v toku – teplota vody v tocích, často v pramenných oblastech, je do značné míry ovlivněna původem vody, jenž se podílí na tvorbě daného vodního toku, kdy vodní toky tvořené především podpovrchovou vodou jsou mnohdy chladnější (Kelleher et al. 2012) než toky tvořené odtokem povrchovým, kdy podobný princip můžeme vidět u toků, jejichž podstatným zdrojem vodnosti je sníh (Blaen et al. 2013).

Důležitou veličinou z pohledu teploty vody jako stopovače je tzv. teplotní vodivost, jenž určuje rychlost, s níž se v prostředí šíří teplo (Klose 2008), případně jak rychle dojde v tělese k vyrovnání teplotních rozdílů. Z pohledu vody se tedy jedná o

schopnost vést či přinášet teplo (Jandora et al. 2011). Tepelná vodivost vody nepatří mezi nejvyšší, při porovnání s jinými materiály či složkami prostředí, ale přesto k přenosům tepla dochází, zejména ve vertikálním směru (Gregor a Pacl 2005) a například v porovnání se vzduchem jsou její hodnoty výrazně vyšší. Tepelná vodivost není důležitým faktorem jenom u vody, ale i u půdy, kde je daná veličina ovlivněna několika faktory. Mezi dané faktory patří především vlhkost, složení, zastoupení humusu či struktura a zrnitost půdy, kdy například půda s minimálním množstvím humusu a pórů, a především s vysokou vlhkostí má výrazně vyšší vodivost než v opačném případě. Tento stav je způsoben již výše uvedeným faktorem, že tepelná vodivost vody je výrazně vyšší než vzduchu, a tedy dochází k zaplnění pórů vodou na úkor vzduchu (Netopil et al. 1984). Vzhledem k výše uvedeným faktorům se teplotní vodivost u jednotlivých typů půdy může značně lišit, kdy specifickým případem jsou zrašeliněné půdy, u nichž je obecně tepelná vodivost nízká. Přes den často nastává vlivem nízkého stupně vegetace k přehřátí povrchové vrstvy rašeliništních půd, nikoliv už spodních vrstev, zatímco v noci je předání daného tepla do okolního prostředí zanedbatelné. S daným souvisí i vrcholy teplot v jednotlivých vrstvách rašelinišť, kdy právě ve vrchní vrstvě dochází k teplotnímu maximu v létě, zatímco ve spodní vrstvě je daný vrchol až na podzim či v zimě (Puranen et al. 1998). Ovlivnění tepelné vodivosti rašelinné půdy může také nastat v souvislosti s jejím antropogenním ovlivněním, především jejím vysoušením (Doležal et al. 2020).

Jak již bylo uvedeno výše teplota vody může mimo jiné sloužit jako stopovač při separaci jednotlivých složek odtoku. Využití teploty vody jako stopovače není záležitostí posledních let, ale naopak je jí využíváno více než půl století a patří mezi starší druhy používaných stopovačů (Anderson 2005). Teplotu vody můžeme z hlediska druhů a vlastností stopovačů zařadit mezi tzv. přirozené a nekonzervativní stopovače (Milanović 2001), tedy takové, jejichž vlastnosti se na rozdíl od stopovačů konzervativních mohou při průchodu prostředím měnit (Dewaide et al. 2016). Nicméně i přes tuto skutečnost je teplota vody vhodnou stopovací metodou, dávající dostatek kvalitativních údajů o chování hydrologických procesů, a to především v souvislosti s kratším časovým obdobím (Luhmann et al. 2015). Použití teploty vody jako stopovače je dále uskutečnitelné i díky faktu, že změna teploty vody je díky její vysoké tepelné kapacitě pomalejší než u velkého množství jiných přírodních látek a materiálů (Keys a Brown 1978).

Konkrétní využití teploty vody jako stopovače je rozmanité, což dokládají následující řádky, kdy se nechá způsob aplikace tohoto stopovače rozdělit do několika pomyslných skupin, kdy jednou z nich je určování přítoků či infiltrace do různých hydrologických či hydrogeologických prvků, jako je tomu například ve studii Westhoffa et al. (2007) popisující zjištění přítoku do povrchových tok z toků podpovrchových, případně do jezer (Lee 1985). Další využití našla teplota voda jako stopovač při určování rychlosti proudění v nejrůznějších prostředích. Jedněmi z v prvních, kdo se takto teplotu vody snažili aplikovat byli Suzuki (1960) s Stallmanem (1965), kteří se snažili na základě sezónní oscilace teploty odhadnout rychlost podzemní vody. Tato teorie byla později za určitých podmínek potvrzena Laphamen (1989), jenž zjistil souvislost mezi změnami měsíčních a ročních teplot podzemní vody a odhadem rychlosti těchto vod. S faktorem teploty vody a určení její rychlosti se pracovalo i v oblasti skrz silně nenasycené zóny (Shan a Bodvarsson 2004). A konečně, teploty vody jako stopovače se využívá k určení dynamiky či rychlosti v povrchových tocích (Healy 2010; Fullerton et al. 2015). Teplota vody se také jako stopovač nechá aplikovat při hledání tzv. preferenčních cest (Shilling a Hellmers 2008), ke zjištění regionálních průtokových struktur podzemní vody (Bonacci 1997) nebo například k určení cest, kterými se srážková voda dostává do odtoku v krasových oblastech (Genthon et al. 2005), případně v souvislosti s krasovými oblastmi ke stanovení fyzikálních parametrů krasových aquiferů za pomoci měření teplot a průtoku krasových pramenů (Long a Gilcrease 2009; Luhmann 2011). Jiné použití teploty vody jako stopovače je při zkoumání tzv. hyporheické zóny, kdy se teplota vody v této oblasti využívala například k popsání výměny vody mezi potokem a aquiferem v efemerních tocích (Constantz et al. 2002), případně ke vymezení proudění v této zóně (Conant 2004). Teplota vody, respektive její stopovací možnosti mohou být také nástrojem k odhadování rychlosti vypouštění a doplňování zdrojů podzemní vody (Luhmann 2011), ale také i určení těchto parametrů u povrchových vodních útvarů (Stonestrom a Constantz 2003). V této práci bude s teplotou vody jako stopovačem pracováno v souvislosti s určením jednotlivých složek odtoku, kdy ke stejnému účelu či podobnému účelu je teplota vody využívána dlouhodobě, o čemž svědčí práce Lacase (1976), který se snažil za pomoci měření teploty ve vrtech odlišit teplotně stabilní vody od srážkových infiltrovaných vod, popřípadě výzkum tvorby odtoku za pomoci změny teploty vody při srážkové události v zalesněných povodích USA (Shanley a Peters 1988). Bádání v souvislosti s tvorbou odtoku za pomoci teploty vody je využíváno dodnes, a to jak na českém území, kde se

Zajíček et al. (2011) zabýval změnami teploty drenážního odtoku v souvislosti s výskytem srážek v tzv. rychlé složce zmíněného drenážního odtoku, či se stejný autor zabýval vztahem změny teploty díky vstupu srážek i v roce 2016, tak i v zahraničí, kdy byl například zkoumán vztah mezi teplotou vody alpských toků a přímým odtokem (Brown a Hannah 2007).

Stabilní izotopy

Izotopy neboli různé formy (atomy) téhož chemického prvku, se odlišují počtem neutronů v jádře, ale naopak počet protonů je stejný, kdy je tento rozdíl vyjádřen tzv. nukleonovým číslem, tedy součtem protonů a neutronů. Jednotlivé izotopy daného prvku mají díky stejnému počtu protonů v jádře i stejné chemické vlastnosti, čím se však liší jsou jejich vlastnosti fyzikální, zapříčiněné rozdílnou hmotností jádra, díky rozdílnému počtu neutronů v něm (Cabicar 1983). Daných vlastností je využíváno také pro separaci jednotlivých forem odtoku, kdy se vychází z předpokladu rozdílného izotopového složení mezi vodou nacházející se v povodí před srážkovou událostí (tedy tzv. starou vodou), která je danou srážkou často vytlačována do toku z půdy a horninového prostředí a po srážkové události (tzv. nová voda). Díky této rozdílné koncentraci izotopů v podzemní či půdní vodě a srážkách se za daných podmínek nechá stanovit mezi nimi poměr díky koncentraci izotopů v povrchovém toku (Bonell et al. 1990). Pro separaci hydrogramu jsou nejčastěji využívány tzv. *stabilní izotopy*, tedy izotopy, které se stabilně nerozpadají, kdy ukazatelem stability je tzv. poločas rozpadu, který by měl být u stabilních prvků delší než 10^{18} roků (Santrucek et al. 2014). Mezi tyto používané stabilní izotopy nejčastěji patří izotopy kyslíku ^{18}O a vodíku ^2H neboli deuterium (Klaus a McDonnell 2013; Wu et al. 2016). Další izotopové formy, ve kterých si tyto dva prvky vyskytují jsou u kyslíku ^{16}O a ^{17}O , zatímco u vodíku ^1H a ^3H (tritium), přičemž nejvíce zastoupeny jsou nejlehčí formy těchto prvků, tedy ^{16}O a ^2H . Tzv. izotopový poměr určuje výskyt izotopově těžšího prvku k izotopově lehčímu prvku ve vzorku, tedy v případě vody ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ případně $^2\text{H}/^1\text{H}$) (Sharp 2017). Takto získaný izotopový poměr je následně vztažen k mezinárodnímu standartu, jenž je pro izotopy H a O nazýván jako VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water), značí se symbolem delta (δ) a je vyjádřen v ‰. Mořské vodě tedy odpovídají hodnoty $\delta^2\text{H} = 0$ a $\delta^{18}\text{O} = 0$. Dané vztahy lze vyjádřit pomocí této rovnice (Scholl et al. 2014).

$$\delta = \frac{R_{vz} - R_s}{R_s} \times 1000$$

Kde R_{vz} představuje izotopový poměr vzorku a R_s odpovídá izotopovému standartu. Z uvedeného vztahu poté můžeme určit izotopovou odlišnost námi zkoumaného vzorku oproti příslušnému mezinárodnímu standartu.

V závislosti na odlišné hmotnosti jednotlivých izotopů dochází i k rozdílnému chování a odlišným fyzikálním vlastnostem. Dané vlastnosti mají za následek změnu izotopového složení, označovanou jako frakcionace, při geochemických procesech či změnách skupenství. Díky frakcionaci, respektive změně izotopového složení lze poté určit původ a procesy jimiž vzorek vody prošel (Kendall a McDonnell 1998). Proces frakcionace můžeme rozdělit na dva typy-kinetická (nevratná) a rovnovážná frakcionace. U kinetické frakcionace dochází k nevratným (jednosměrným procesům) a výsledkem jsou vzorky ochuzené o těžší izotopy, kdy příkladem tohoto typu frakcionace je proces výparu vody, kdy těžší izotopy jsou stále součástí vody, zatímco pára je o ně ochuzena. Rovnovážná frakcionace probíhá za rovnovážných podmínek a dochází ke změně izotopových poměrů pro jednotlivé fáze skupenské přeměny (Beria et al. 2018).

Na základě vzájemného vztahu $\delta^2\text{H}$ a $\delta^{18}\text{O}$ odvodil Craig (1961) tzv. Globální meteorickou čáru vody (GWML), která je vyjádřena vztahem (Scholl et al. 2007):

$$\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 10 \quad (1)$$

Daný vztah odpovídá poměru obsahu izotopů ^2H a ^{18}O ve vodě při stavu rovnováhy (Jankovec 2019). Nicméně v lokálním měřítku je v některých případech třeba vytvořit tzv. lokální meteorickou přímku vody (LMWL), jenž často lépe reprezentuje vzorky vody z dané oblasti, kdy v souvislosti s výše uvedenými frakcionacemi najdeme v blízkosti lokální meteorické přímky vody vzorky vody vystavené rovnovážné frakcionaci, zatímco vzorky vody ležící vpravo od LMWL spadají pod frakcionaci kinetickou (Sharp 2017).

Z rovnice vyjadřující GWML můžeme získat další veličinu-deuterium excess neboli deuteriový přebytek, jenž pro vodu ze srážek často nabývá právě hodnoty z výše uvedené rovnice, tedy 10. Deuteriový přebytek nám zároveň říká, jak je daný vzorek

vody odchýlen od GWML (Clark a Fritz 1997). Dané odchýlení může být způsobeno několika faktory, mezi něž se řadí teplota při výparu a kondenzaci, nadmořská výška, zeměpisná šířka, vzdálenost od oceánu, vlhkost či roční období (Sharp 2017). Obecně lze konstatovat, že vysoké hodnoty izotopů ^2H a ^{18}O nalezneme ve vzdušné vlhkosti, jenž se vytvořila v pobřežních či teplých oblastech, naproti tomu nízké hodnoty těchto stabilních izotopů mohou indikovat vznik dané vlhkosti v polárních či chladných oblastech, případně se jedná o vlhkost pocházející z teplých oblastí, ovšem již částečně ochuzenou o spadlé srážky (Clark a Fritz 1997). Z pohledu srážek najdeme menší počet těžkých stabilních izotopů ve vyšších nadmořských výškách a šířkách a také v chladnějších ročních obdobích. Dané skutečnosti souvisí se vztahem s průměrnými teplotami, jež jsou pro uvedené oblasti obecně nižšími, a tedy jim odpovídá i nižší obsah těžkých izotopů (Dody et al. 2013; IAEA 2020).

Stabilní izotopy jsou pro dané účely využívány v drtivé míře, nicméně v některých případech je pracováno i s tzv. *nestabilními neboli radioaktivní izotopy*, které se samovolně rozpadají, kdy mezi ty, s nimiž je pracováno v daném případě patří ^{222}Rn , ^{236}Ra , ^3H (Kies et al. 2005; Genereux a Hemond 1990; Bogena et al. 2005). Konkrétními metodami a postupy využití stopovačů při separaci odtoku se bude zabývat kapitola *Metodika a sběr dat*.

Další metody pro stanovení separace odtoku

Pro určení separace hydrogramu se používá celá řada dalších způsobů a metod, kdy mezi některé z nich patří následující:

- Metoda UKIH, pracující s řadou průměrných denních průtoků (Institute of Hydrology 1980).
- Metody modifikované na základě rovnic a základních vztahů: Metoda proudů na základě Darcyho zákona (Healy 2010) či metoda nelineárních nádrží (Lin et al. 2007) vycházející ze stejného zákona, dále Metoda poklesových větví (Serrano 1997) vycházející z Boussinesqueovy rovnice (1877) nebo metody vycházející z Mailletovi rovnice (1905).
- Metody vynalezené v České republice: Metoda podélného profilu průtoků (Slepička 1971), či výše uvedená metoda dle Klinera a Kněžka (1974), případně níže uvedené, některé hydrologické modely.

- Hydrologické modely: například OHS (Foks et al. 2019) HYSEP (Eckhardt 2008), BILAN (Tallaksen a van Lanen 2004), DAMBO (Herčík et al. 1987)
- Hydraulické modely: například MODFLOW (Goswami et al. 2010) či FEFLOW (Diersch 2013)

2.3 Současný stav výzkumu v pramenné oblasti Šumavy z hlediska formování odtoku

Za začátek výzkumu pramenných oblastí centrální části Šumavy lze považovat přibližně 60. léta minulého století, kdy zde začal průzkum zkoumající souvislosti mezi horskými vrchovišti a hydrologickým režimem toků ve výše uvedené oblasti, konkrétně na začátku 60. letch byla populární „houbová teorie“ popisující schopnost rašelinišť zadržet vodu při velkých srážkoodtokových událostech, a naopak v období sucha průtoky nadlepšovat (Ferda 1960). Výzkum dále pokračoval v letech 70. (Ferda et al. 1971). V 21. století výzkum této části Šumavy zintenzivnil, kdy hydrologický režim místních toků či povodí a jeho případné ovlivnění horskými vrchovišti stouplo opět do popředí zájmu (Kocum a Janský 2007a; Kocum a Janský 2007b). Mezi jedno z hlavních výzkumných témat patřila a stále patří retenční schopnost výše uvedených území, kdy bylo na rozdíl od 60. let 20. století zjištěno nadhodnocení retenčních schopností rašelinišť (Kocum 2012), a to především při extrémních (povodňových) událostech (Janský a Kocum 2008a) či Čurda (2009), jenž prokázal na základě korelační analýzy vzájemnou souvislost těchto událostí a zastoupení rašeliny v povodí. Retenční vlastnosti vrchovišť ovšem z pohledu hladiny podzemní vody popisuje i Vlček et al. 2012, kdy při běžném stavu hladiny podzemní vody se rašelinné části povodí projevují z hlediska retenčních schopností velmi špatně, zatímco při nízké hladině podzemní vody v průběhu suchého období je situace z pohledu retence značně lepší, kdy retence je vyšší než u zbylých půd v povodí, tedy hladina podzemní vody na území s velkou plochou rašelinišť ovlivňuje retenční schopnosti celého daného území (Vlček 2017). Uvedené práce zároveň také vyvracejí výše popsanou „houbovou teorii“, z hlediska nadlepšování průtoku z rašeliniště při suchých obdobích. Stejným autorem byla poté v roce 2016 zjištěna souvislost mezi rozlohou rašelinišť v povodí a tvorbou odtoku v důsledku srážek při maximální nasycenosti povodí, kdy podobně tomu bylo v zahraničí například u Holden a Burt (2003) a zároveň došlo opět k vyvrácení houbová teorie v období

sucha. Dalším výrazně zastoupeným a zároveň souvisejícím tématem byla variabilita odtoku těchto specifických území, kdy byla prokázána rozkolísanost u toků jejichž povodí bylo významně tvořeno rašeliništi (Kocum a Janský 2008), dále se oba zmínění autoři v roce 2009 zabývali analýzou průměrných denních a měsíčních průtoků se zjištěním negativního vlivu rašelinišť na odtokový proces. Daná zjištění se částečně shodují i se zahraničními autory, potvrzující větší rozkolísanost toků v povodích tvořených rašeliništi (Brag 2002; Holden a Burt 2003; Holden et al. 2004) než u toků na jejichž povodí se rašeliniště nenachází.

K popisu chování odtoku či jeho tvorby lze přistoupit i dalšími způsoby, přičemž mezi hojně využívanou metodu patří chemicko-fyzikální parametry vody. Mezi nejčastěji měřenými parametry najdeme pH, el. vodivost, organický uhlík (TOC/DOC) či nejrůznější ionty (Fe, Mg, K, Na). Jednoduchým ukazatelem může být v některých případech dokonce i barva vody, jenž může prozrazovat odlišný zdroj vody v celkovém odtoku (Chapman et al. 2010). Chemismem či kvalitou vod pramenných oblastí centrální Šumavy se v minulosti zabývala celá řada autorů, kdy jedněmi z prvních na začátku tohoto století byly Janský se Šobrem v roce 2003. Další výzkum z této oblasti sledující bilanci iontů a uhlíku přinesl zjištění, že v povodích s vysokým procentem rašelinného pokryvu dochází při vysokém vodním stavu k uvolňování značného množství organického materiálu. Tento fakt zároveň přispěl k závěru vysokého zapojení vrchovišť do celkového odtoku při významných průtocích (Kocum a Janský 2009). Uvolnění velkého množství organického uhlíku v průběhu vyšších průtoků potvrzuje v dané oblasti také Kocum et al. (2016) či Bejčková (2022), nicméně Špringerová (2019) poukazuje na slabší vztah u povodích s větším zastoupením rašelinišť a někteří zahraniční autoři (Qassim et al. 2014) uvádějí v povodích se značným zastoupením rašelinišť dokonce opačný trend. Vyšší zapojení organické hmoty při velkých průtocích v těchto povodích potvrzují také Fraindová et al. (2020), ovšem na základě CHSK_{Mn} a uvolňování huminů. V souvislosti s organickým uhlíkem, respektive DOC a srážko-odtokovými událostmi, došlo také ke zkoumání vztahu doby zpoždění DOC_{max} a Q_{max}, jenž je dle Bejčkové (2022) ovlivněna předchozími podmínkami, jenž souvisejí se srážkami či HPV, jenž má zároveň vliv na velikost koncentrace DOC v toku. V práci Špringerové (2019) je různá doba zpoždění výše uvedených charakteristik dávána do souvislosti s vlhkostními podmínkami. Část výše uvedených autorů se kromě koncentrací DOC zabývala v pramenné oblasti Šumavy i dalším fyzikálně chemickým ukazatelem vody-pH, přičemž byla zjištěna korelace mezi pH a organickým uhlíkem,

kdy s růstem uhlíku zároveň klesá pH (Kocum et al. 2016; Bejčková 2022). Parametrem pH se zde také částečně zabývali Freindlová et al. (2020), jenž zaznamenali značný pokles pH při vysokých průtocích a zároveň se zabývali i souvislostí mezi právě touto změnou pH a různými typy srážko-odtokových událostí, kdy pokles pH byl pomalejší při tání sněhu či po dlouhém období sucha než po několika srážko-odtokových událostech v létě za sebou. Částečně v souvislosti s chemismem bylo provedeno několik studií, jež zahrnovaly využití stopovacích látek k určení či zpřesnění tvorby odtoku na daných územích. Jednou z metod bylo použití stopovače NaCl k sledování formování odtoku na svahu povodí v pramenné oblasti Šumavy (Kulasová et al. 2019). Mezi více využívané stopovače patří stabilní izotopy, s nimiž pracovali Kocum a Janský (2009) a také Kocum et al. (2016), na základě jejichž práce bylo vyzkoumáno, že na základním odtoku v povodí se značně rozvinutým vrchovištěm se podílí především voda pocházející ze zvodní v minerálních půdách. Stabilní izotopy byly v dané oblasti také využity v souvislosti s formováním odtoku ze sněhové pokrývky, kdy došlo k částečnému potvrzení možnosti oddělení sněhu od příčinných srážek a podzemní vody v celkového odtoku (Valdhansová 2020). Sněhové pokrývky v souvislosti s odtokem se v této oblasti věnovali i další autoři (Jeníček a Ledvinka 2020).

3 Metodika a sběr dat

3.1 Měření a sběr dat

Vzorkování vody z jednotlivých odběrných míst v povodích toků Rokytka (dále RO) a Rokytka přítok (dále RP) zobrazených na Obrázku 9, probíhalo mezi roky 2014-2020 pracovníky katedry Fyzické geografie a geoekologie přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy (dále KFGG PřF UK) a autorem této práce pro účely zjištění obsahu stabilních izotopů ^2H a ^{18}O ve vodě. Samotné odběry probíhaly ve většině případů mimo zimní sezonu v měsíčním kroku, který byl ovšem v mnoha případech nepravidelný, případně se dané odběry uskutečnily po výrazných srážkových událostech.

Odběry vzorků vody můžeme rozdělit do dvou kategorií na základě mechanismu odběru. Prvním metodou odběru byly tzv. bodové odběry vody z jednotlivých odběrných profilů do 10ml lahvíček bez přístupu vzduchu., kdy mezi hlavní odběrná místa patřily prameny s označením P1 (pramen v podzolové části povodí) a REV (pramen v rašelinné části povodí toku RP), tok RP, tok RO, vrty rozmístěné v povodí toku RP (Obr. 1) a srážkoměr umístěný v povodí toku RO. (Obr. 4) Druhá metoda vzorkování vody spočívala ve využití automatického vzorkovače ISCO 6712 Compact (Isco, inc.) (Obr. 2), jenž byl umístěn převážně v letních měsících v blízkosti závěrového profilu toku RP. Odběry vody daným vzorkovačem se vyvíjelo v čase na základě zkušenosti s daným povodím. Nejprve byly odebírány vzorky v intervalu 2h po překročení vodního stavu cca 28 cm. Poté byl odběr spouštěn na dálku na základě SMS při očekávaných srážkových událostech v intervalu 1,5 hodiny. Odběr probíhal v průběhu situace do litrových lahvíček uvnitř vzorkovače, přičemž vzorky z daných lahvíček byly poté při vyzvednutí vzorků přelity do 10 ml lahvíček bez přístupu vzduchu pro další účely.



Obrázek 1: Odběr vzorků vody z vrtu SU2 (Zdroj: vlastní fotografie)



Obrázek 2: Odběr vzorků vody ze vzorkovače ISCO (Zdroj: vlastní fotografie)

Dalšími daty, se kterými bylo v rámci této práce pracováno, jsou data poskytnuta KFGG PřF UK, kdy se konkrétně jedná o data z automatických hladinoměů, meteorologických stanic a srážkoměů, přičemž data z těchto zařízení jsou přenášena na webové stránky společnosti Fiedler AMS, z jejichž webových stránek byla jednotlivá data stažena. Konkrétními využitými daty byly data z automatických hladinoměů na tocích RO (Obrázek 3) a RP zobrazující vodní stavy daných toků, kdy měření hladiny v toku RP funguje na principu uložení tlakového čidla v daném toku, zatímco u RO je způsob měření



Obrázek 3: Automatický hladinoměr na toku Rokytka (Zdroj: vlastní fotografie)

výšky hladiny odlišný a je využito ultrazvukového čidla umístěného na mostním pilíři (Česák et al. 2008). Pro potřeby této práce bylo také pracováno s daty z meteorologických stanic na Modravě a toku RO, kde se jednalo o teploty vzduchu měřené ve 2 m nad zemí. Dále byly využity data zahrnující teplotu vody v toku RP a hladiny a teploty podzemní vody ve vrtech v povodí RP, konkrétně se jednalo o vrty s označením SM1,2; KL1,2 a SU2.

Z pohledu srážkových úhrnů byla primárně použita data ze srážkoměru nacházející se v povodí RO a v případě chybějících dat z tohoto srážkoměru byl jako náhrada zvolen srážkoměr umístěný v obci Modrava. Kromě výše zmíněných dat bylo dále pracováno i s dalšími daty získanými od KFGG PřF UK, přičemž těmito daty byly hodnoty průtoku toku RP, kdy dvě kontrolní měření byla uskutečněna i v průběhu této práce, pro zpřesnění konsumpční křivky daného toku. Mezi jiná využitá data patřila teplota vody v pramenech P1 a REV, kdy v roce 2019 došlo k umístění teplotních čidel do obou zmíněných pramenů.



Obrázek 4: Srážkoměr v povodí toku Rokytka (Zdroj: vlastní fotografie)

3.2 Zpracování dat

3.2.1 Izotopová data

Po odebrání vzorků izotopů vody z jednotlivých odběrných míst uvedených výše následoval jejich transport k laboratorní analýze na určení poměru těžkých stabilních izotopů ^2H a ^{18}O . Vzhledem k problémům s analýzami (logistika, finance, komunikace, zahlcenost laboratoří) byly vzorky analyzovány několika přístroji. Vzorky byly analyzovány LGR spektroskopem na ČVUT a hmotnostním spektrometrem (IRMS) v centru výzkumu stabilních izotopů Přf UK. Ještě před samotnou analýzou proběhlo odebrání vzorků o objemu 1 mm^3 z terénních vzorkovnic pro stanovení uvedených izotopů. Proces určení poměru těžkých stabilních izotopů ^2H a ^{18}O se uskutečnil 5-6x,

kdy výsledky využité v této práci byly získány z průměrné hodnoty těchto dílčích pěti výsledků. Následné zpracování a zobrazení výsledků proběhlo v programu MS Office Excel.

3.2.2 Data z automatických hladinoměřů, meteorologických stanic, srážkoměrů a vrtů

Jak již je uvedeno na začátku této kapitoly, data z automatických hladinoměřů, meteorologických stanic, srážkoměrů a vrtů byla poskytnuta KFGG Přf UK prostřednictvím webových stránek společnosti Fiedler AMS. Takto získaná data bylo nutné upravit před zahájení práce s nimi, kdy se nejčastěji jednalo o úpravu nehomogenit v časových řadách, které byly v některých případech neúplné z důvodu výpadku měření. Po popsané úpravě dat následovalo časové převedení dat do hodinového kroku, jelikož veškerá stažená data byla v desetiminutovém kroku. Na převedení potřebných dat byla použita funkce maker v programu MS Office Excel. U většiny dat již nebyla nutná žádná další úprava, kromě dat z automatických hladinoměřů zobrazující hodnoty vodních stavů, ale nikoliv průtoků, která byla potřebná pro další část práce. Převedení vodního stavu, konkrétně na toku RP, na průtok bylo provedeno pomocí konsumpční křivky případně měrné křivky průtoků. Daná data byla doplněna o dvě měření průtoků RP z roku 2019. Po zohlednění těchto měření v konsumpční křivce a její rovnici proběhl přepočet potřebných dat vodních stavů na průtok. Následná tvorba grafů z výše uvedených dat a případných výpočtů probíhala v programu MS Office Excel.

3.2.3 Separace hydrogramu

Hydrografická separace je v hydrologii či hydrogeologii hojně využívá technika využívající různé stopovací látky či jiné identifikátory k určení zastoupení různých vodních zdrojů na celkovém odtoku. Separaci hydrogramu můžeme využít jak z hlediska časového, tak i prostorového či geografického. Časová separace respektive tzv. dvousložková separace se využívá k oddělení vody v toku (hydrogramu), na vodu, která tam byla již před událostí, tedy na starou vodu (tzv. pre-event water) a novou vodu (tzv. event water), jenž se do toku dostala v rámci nějaké události, nejčastěji příčinné srážky či tání sněhu. Zatímco tříložková separace rozděluje jednotlivé části odtoku (hydrogramu) na základě zastoupení jednotlivých složek tvořících odtok (hydrogram)

(Penna a Meerveld 2019). Mezi nejčastěji využívané složky ve tříložkové separaci patří srážky, podzemní a půdní voda (Muñoz-Viller a McDonnell 2012) ale nechají se využít i jiné zdroje jako je voda z tání ledovců, sněhové pokrývky či srážek (Schmieder et al. 2018).

V této práci byly pro separaci odtoku, respektive hydrogramu využity právě obě výše popsané separace, kdy níže jsou uvedeny jednotlivé složky, jež je tvořily a podmínky za nichž byly separace provedeny.

Dvousložková separace použita v této práci využívá faktu, že výsledný odtok je tvořen kombinací vody před událostí a vodou událostní. Podmínky pro využití této separace jsou jednak využití jednoho typu stopovače, resp. stopovací látky, kdy ve všech případech v této bylo jako stopovače využito izotopu ^2H a dále stopovač musí být v jednotlivých složkách zastoupených vod kontrastní. Odtok toku RP v jednotlivých případech byl separován na před událostní a událostní vodu na základě níže uvedených směšovacích rovnic: (Šanda et al. 2009; Klaus a McDonnell 2013; Penna et al. 2019)

$$Q_s = Q_{pe} + Q_e \quad (2)$$

$$Q_s \times C_s = Q_{pe} \times C_{pe} + Q_e \times C_e \quad (3)$$

Kde Q představuje průtok v m^3 a C je koncentrace stopovací látky, kdy v tomto případě odpovídá poměru stabilních izotopů ^2H v ‰. Dále Q_s je celkový průtok toku RP, Q_{pe} je průtok před událostní vody, Q_e je průtok událostní vody, C_s je izotopová koncentrace odtoku v průběhu události, C_{pe} je izotopová koncentrace před událostní vody a C_e izotopová koncentrace událostní vody. Jednotlivé izotopové koncentrace a průtoky byly pro výše uvedené výpočty upraveny na základě dostupných dat. Jak již bylo uvedeno celkový odtok v průběhu vybraných situací odpovídal toku RP, kde byla v 10ti minutových intervalech měřena výška vodní hladiny následně převedená na průtok (Q_s) a izotopové koncentrace odtoku toku RP (C_s) v průběhu daných situací byly získány na základě vzorků odebraných automatickým vzorkovačem umístěným na daném toku, kdy interval vzorkování nejčastěji odpovídal 2h, ale v některých případech byl i menší (1h). K daným vzorkům byl poté přiřazen časově odpovídající průtok toku RP. Tzv. před událostní vodě nejčastěji odpovídala voda z toku RP, kdy pro koncentraci izotopů této vody (C_e) bylo pracováno s výsledky z posledního bodového (ručního) odběru z toku RP před vybranou událostí. Době odběru poté odpovídal příslušný vodní

stav, resp. průtok (Q_{pe}), měřený v 10ti minutových intervalech. U některých dvousložkových separací byla jako před událostní voda brána voda z pramenů P1 a REV, jenž společně tvoří samotný tok RP a bylo tedy možné tuto záměnu uskutečnit, respektive mezi tokem RP při základním odtoku a pramenem P1 lze sledovat poměrně silnou korelaci v izotopovém složení vody (Obrázek 5). Uvedená situace nastala v případě, že voda v toku RP před událostí měla podobné izotopové složení jako během ní (využití pramene P1), případně pro zjištění, jak se konkrétní pramen zapojuje na celkovém odtoku RP (využití pramene REV). Tzv. událostní vodu tvořily v drtivé většině dvousložkových separací v této práci srážky, jejichž izotopová koncentrace (C_e) byla získána z prvního bodového (ručního) odběru po proběhnutí události, ze srážkoměru v povodí RO, jenž se nachází v blízké vzdálenosti od povodí RP, a tedy dané odebrané vzorky srážek mohou být považovány za reprezentativní pro povodí toku RP. Izotopová koncentrace srážek byla vždy stanovena jako průměrná hodnota za celou situaci. Proces zapojení srážek jako před událostní vody do toku RP v průběhu separace, a tedy určení zastoupení událostní, resp. srážkové vody v toku bylo z hlediska výpočtu vyřešeno tak, že výše uvedené rovnice byly řešeny až od doby výrazné změny izotopového signálu v toku RP oproti před událostní vodě, kdy daná změna indikovala zapojení „nové“ vody v toku RP. S předpokladem uvedeného zapojení událostní vody do toku bylo pracováno až do konce jednotlivých událostí. Kromě srážek byla jako událostní voda použita u některých situací, z důvodu porovnání, i voda pocházející z vrtu SM1, jejíž izotopová koncentrace byla určena z posledního bodového (ručního) odběru z daného vrtu před vybranou událostí. Oproti srážkové vodě bylo s vodou z vrtu SM1, respektive její izotopovou koncentrací počítáno po celou dobu situace, tedy i v době kdy ještě nedošlo k výrazné změně izotopového signálu a nárůstu průtoku ale automatickým vzorkovačem již byly odebrány vzorky z toku RP.

Další využívanou separací v této práci je již výše uvedená **třísložková separace**, umožňující separovat vodu v toku RP na tři složky v průběhu vybraných událostí na základě těchto použitých směšovacích rovnic:

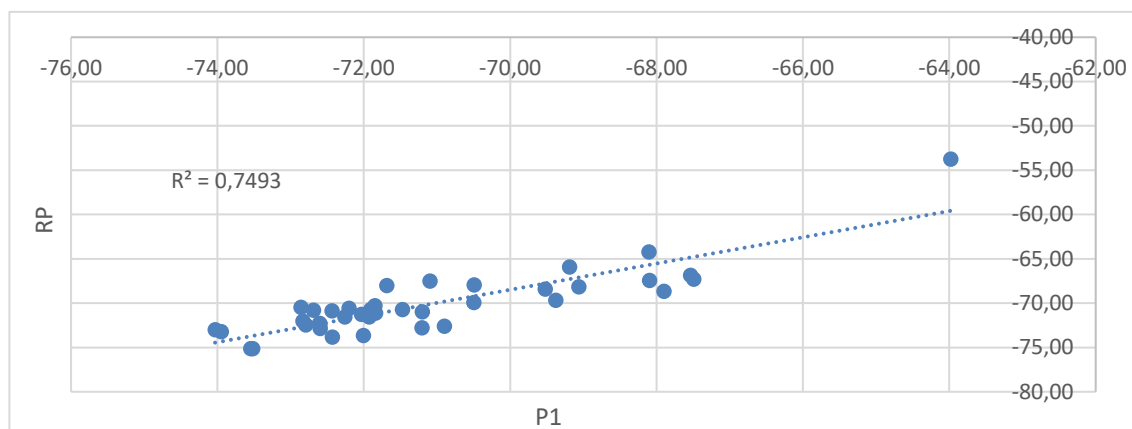
$$Q_s = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (4)$$

$$Q_s \times A_s = Q_1 \times A_1 + Q_2 \times A_2 + Q_3 \times A_3 \quad (5)$$

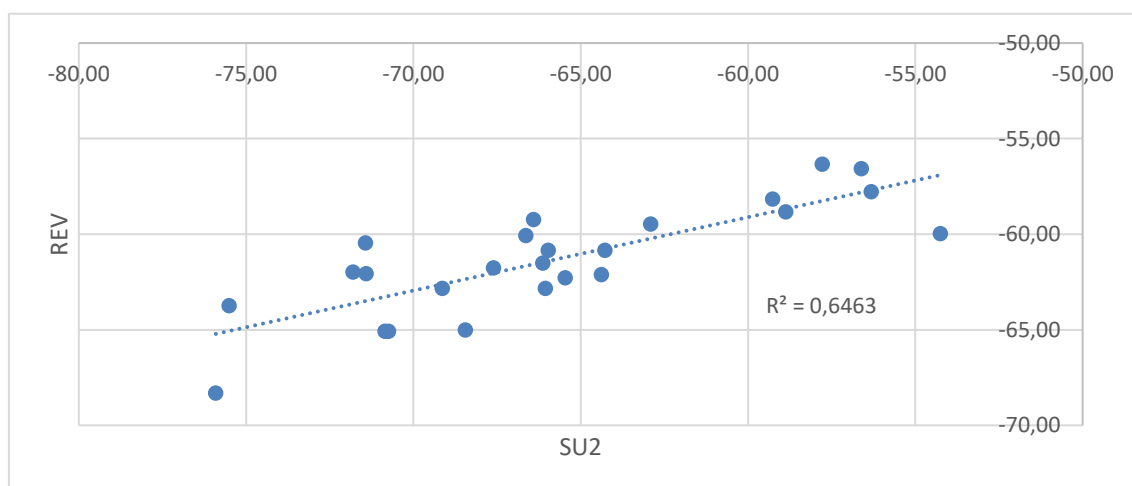
$$Q_s \times B_s = Q_1 \times B_1 + Q_2 \times B_2 + Q_3 \times B_3 \quad (6)$$

Kde Q je průtok v m^3 , A a B představují koncentraci dvou odlišných stopovačů, jenž jsou pro tento typ separace nezbytné, kdy v tomto případě A odpovídá poměru stabilních izotopů ^2H v ‰, zatímco B teplotě vody v $^{\circ}C$. Dále Q_s , A_s a B_s označují celkový odtok toku RP. Q_1 , A_1 a B_1 značí srážky, rašelinný pramene REV. Q_2 , A_2 a B_2 odpovídá rašelinnému pramenu REV (či v některém případě vodě z vrtu SU2) a Q_3 , A_3 a B_3 pramenu P1 (či v některém případě vodě z vrtu SM1). Průtok (Q_s) a izotopová koncentrace (A_s) toku RP byly pro tento typ separace určeny stejným postupem jako u výše popsané dvousložkové separace. Hodnoty pro druhý využitý stopovač v toku RP, tedy teplotu vody (B_s) pochází z kontinuálního měření teploty vody v toku RP v 10minutových intervalech. S izotopovými koncentracemi srážek (A_1) bylo pro tento typ separace pracováno stejným způsobem jako u dvousložkové separace, stejně tak bylo shodné i jejich vzorkování. B_1 , tedy teplota srážek nebyla přímo měřena, nicméně byla nahrazena teplotou vzduchu, jenž byla měřena ve 2m nad zemí v blízkosti srážkoměru v povodí toku RO v 10minutovém kroku. Daná náhrada je uskutečnitelná díky faktu silné korelace mezi teplotou srážek a teplotou vzduchu (FLETCHER, 1966; ZAJÍČEK et al. 2011, 2017). Parametr A_2 odpovídá izotopové koncentraci pramene REV a byl do příslušných rovnic vkládán jako konstantní hodnota, jenž byla získána při bodovém odběru z daného pramene, přičemž se jednalo o časově nejbližší odběr před vybranou událostí. V jednom případě došlo k substituci vzorku z pramene REV, z důvodu chybějícího odběru, za vzorek z vrtu SU2 mající poměrně podobné izotopové složení jako voda z uvedeného pramene (Obrázek 6). Parametr B_2 značí teplotu výše uvedeného pramene, nicméně teplotní sonda v pramenu REV byla instalována až v roce 2019, a tedy pro separace před rokem 2019 byla místo hodnot teploty vody z pramene REV použita teplota vody z vrtu SU2 (podobné hodnoty v porovnání s teplotami vody z pramene REV), jenž byla měřena v 10minutových intervalech. Pro roky 2019 a 2020 jsou již k dispozici 10minutová data teploty vody z popisovaného pramene. Pramene P1 je poslední složkou, na kterou byl separován odtok RP a hodnoty jeho izotopových koncentrací (A_3) byly určeny stejným způsobem jako u pramene REV. U stopovače s označením B_3 , tedy teplota vody pramene P1, byly pro všechny separace využita data z teplotního čidla v prameni P1, jenž bylo instalováno v roce 2019, tedy i pro separace před tímto rokem. Tato skutečnost je možná díky skutečnosti, že teplota vody v prameni P1 ve sledovaném období 2019–2021 nevykazovala v průběhu daných let téměř žádné výrazné změny (rozdíl minimální a maximální hodnoty teploty vody v průběhu jednotlivých let nedosahoval ani $1^{\circ}C$) a nechá se označit za stabilní jak v průběhu

celého roku, tak i z pohledu delšího časového období. Pro jednotlivé separace byla na základě uvedeného faktu zvolena vždy konstantní teplota pro celou událost, respektive pro všechny separace byla tato hodnota téměř stejná, lišící se pouze v desetinách °C s ohledem na teplotu vzduchu a další meteorologické podmínky. Veškerá data jednotlivých parametrů byla upravena tak, aby odpovídaly datům z automatického vzorkovače, který fungoval ve stejném kroku, jako u dvousložkových separací.



Obrázek 5: Vztah závislosti analyzovaných vzorků (δ^2H) z pramene P1 a z toku Rokytky přítok. Daný vztah je proložen křivkou trendu. Označení R^2 v grafu odpovídá koeficientům determinace.



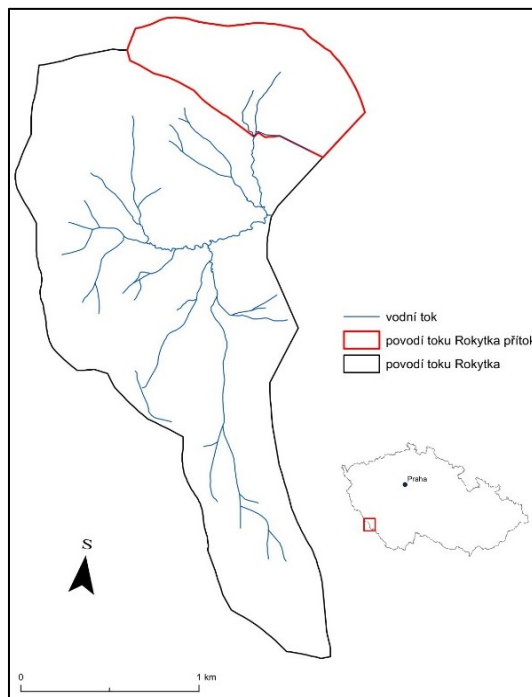
Obrázek 6: Vztah závislosti analyzovaných vzorků (δ^2H) z pramene REV a vrtu SU2. Daný vztah je proložen křivkou trendu. Označení R^2 v grafu odpovídá koeficientům determinace.

3.2.4 Doba postupu srážkové vody povodím

Doba zdržení srážek v povodí či zpoždění odtoku je v klasickém pojetí hydrologie doba mezi maximem srážek a vrcholem průtoku a je ovlivněna celou řadou okolností (Baker 2004) a je často využívanou charakteristikou (Bruce et al. 2016; Hartley 2021) i z důvodu její důležitosti ohledně poskytnutí základní informace o reakci povodí na srážky. V této práci byla doba zdržení počítána pro všechny situace, a to jednak na základě uvedeného popisu (časový rozdíl mezi dobami maximální intenzity srážek ze srážkoměru RO či MO a kulminací průtoku toku RP) ale i pomocí izotopů, respektive stabilního izotopu ^2H , kdy princip určení dané doby je podobný výše popsané metodě, s tím rozdílem, že doba průtokového maxima je nahrazena dobou, kdy došlo k největší změně v toku RP z hlediska izotopového signálu v průběhu konkrétní události respektive dobou nejvyššího zastoupení (z pohledu průtoku) srážkové vody v toku RP. Data pro stanovení dob zdržení byla získána stejným způsobem, jako pro separační metody. Stejně jako první metoda určení doby zdržení je i tato v praxi využívána (Kirchner et al. 2010).

4 Charakteristika zájmového území

Zájmové území využívané pro výzkum v této práci se nachází v povodí toku Rokytky přítok, jako součást většího povodí Rokytky, kdy obě uvedené povodí jsou experimentálními lokalitami Katedry fyzické geografie a geoekologie Univerzity Karlovy. Zájmové povodí RP leží v centrální části Šumavy, přibližně 6 km od obce Modrava a je součástí pramenné oblasti Vydry (Obrázek 7). Téměř celé povodí se nachází na území České republiky a zároveň je celá tato část v 1. ochranné zóně Národního parku Šumava, zatímco zbytek povodí, konkrétně západní cíp, leží v Německu, kde je součástí Národního parku Bayerischer Wald,



Obrázek 7: Zobrazení zájmového území

(Zdroj: vlastní zpracování)

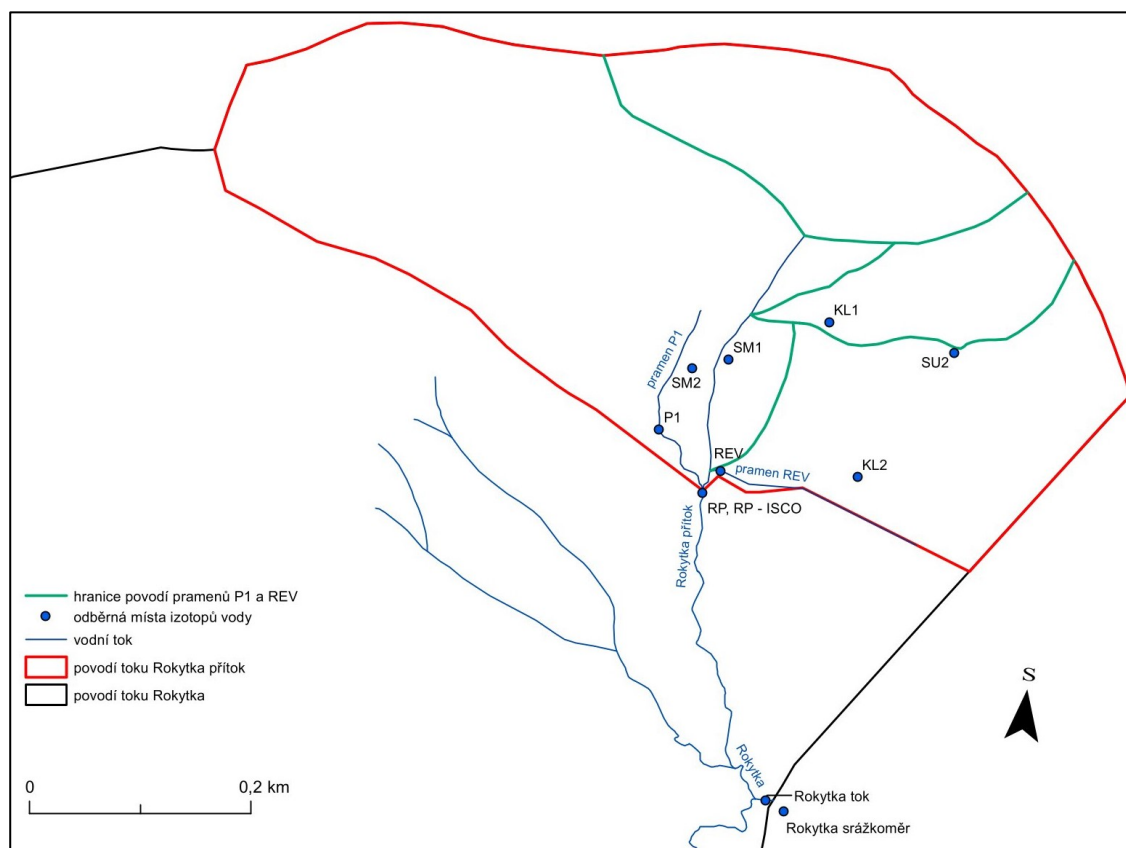
Jak již bylo uvedeno, experimentální území RP je součástí většího povodí RO mající rozlohu 3,8 km² (Vlček 2011), zatímco povodí RP se rozkládá na ploše 0,65 km² a nachází se v přibližné nadmořské výšce mezi 1100 a 1260 m. n. m. V rámci této práce bylo v povodí RP či RO pracováno s různými složkami nacházejících se v jednotlivých povodích, kdy situace zúčastněných složek povodí, respektive odběrných míst, je zobrazena na Obrázku 9. Tok Rokytky přítok tvoří prameny s označením P1 a REV, respektive pramen P1, do kterého ústí pramen REV a v místě soutoku tvoří tok



Obrázek 8: Soutok pramenů REV a P1 za vzniku toku RP (Zdroj: vlastní fotografie)

Rokytky přítok (Obrázek 8), jenž zakrátko ústí do Rokytky. Rokytky se poté vlévá do

Roklanského potoka, který společným soutokem s Modravským potokem tvoří řeku Vydru. Z hlediska detailního charakteru reliéfu je experimentální povodí detailně popsáno v mé bakalářské práci (Hojovec 2017) v rámci charakteristiky povodí RO, stejně tak i jeho obecná klimatická charakteristika.



Obrázek 9: Mapa zájmového území se zobrazením vzorkovacích míst (Zdroj: vlastní zpracování)

Z pohledu detailního odpovídá průměrná denní teplota vzduchu hodnotě 9.42 °C za průběh sledovaného období 2014-2020, respektive za období, kdy byly odebírané izotopové vzorky. Pro výpočet dané veličiny byly brány měsíce duben až říjen, tedy měsíce, ve kterých probíhaly případné odběry a měření. Průměrná denní teplota vody v toku RP za stejné období a měsíce jako v případě teploty vzduchu dosahuje hodnoty 7.1 °C. Průměrné denní srážkové úhrny ze srážkoměru Rokytka, nacházející se přibližně 0,5 km od povodí toku RP, pro stejná časová kritéria odpovídají 3,31 mm. Z hlediska průměrného denního průtoku dosahuje za daná časová kritéria tok RP hodnoty 2448 l/s/den. Detailní průběh výše popsaných veličin je zobrazen v grafech na obrázcích 14-19.

Hlavním důvodem k vybrání povodí RP jako zájmové území byla jeho rozmanitost, kdy povodí je tvořeno dvěma odlišnými svahy (ve směru S-Z), z hlediska

půdního a vegetačního pokryvu, a každá část povodí, respektive svah je odvodňován jedním z výše uvedených pramenů. Dalším důvodem pro výběr tohoto povodí bylo zastoupení rašeliny, která pokrývá více než 60 % plochy povodí (Vlček et al. 2021). Pedologická a biogeografická odlišnost obou částí povodí spolu vzájemně souvisí, kdy východní část povodí je tvořena dobře vyvinutým horským ombrogenním rašeliništěm, kdy půdní typ odpovídá histosolu, jehož hloubka se pohybuje od 0,5 m, ve spodní části povodí, do zhruba 6 m v horní části (Vlček et al. 2021).



*Obrázek 10: Pramen REV-odběrné místo
(Zdroj: vlastní fotografie)*



*Obrázek 11: Povodí pramene REV
(Zdroj: vlastní fotografie)*



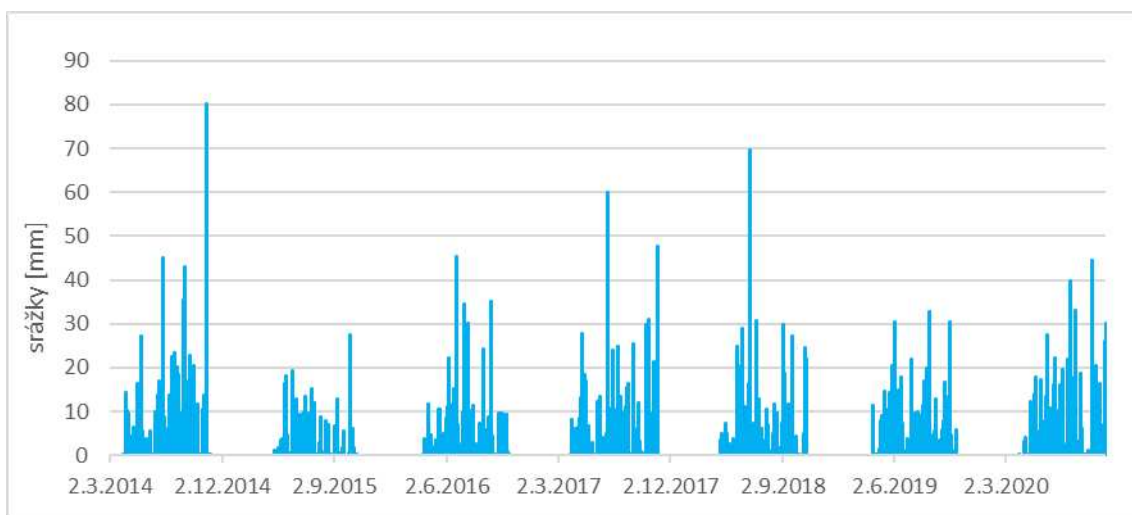
*Obrázek 12: Povodí pramene P1 (Zdroj:
vlastní fotografie)*



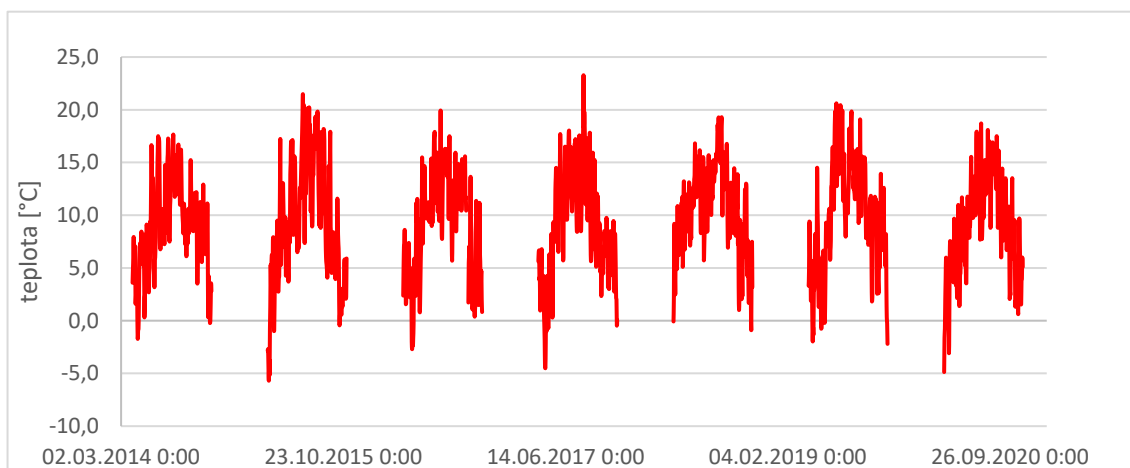
*Obrázek 13: Pramen P1-odběrné místo
(Zdroj: vlastní fotografie)*

Z hlediska vegetace je možné tuto rašelinnou část povodí rozdělit do tří částí, kdy ve spodní části se nachází podmačený smrkový les, místy napadený kůrovcem, společně s mechy a borůvkám (Bufková 2009). Střední část pokrývá borovice kleč a stejně jako spodní část mechy a borůvkám. V horní, východní části se nachází vegetační pokryv ve formě suchopýru širolistého a rašeliníku. Zatímco západní část povodí RP je z hlediska půdní typu tvořena entickým podzolem mající téměř stejnou texturu až do hloubky 1 m a zároveň mělkou organickou vrchní vrstvu do přibližně 5 cm.

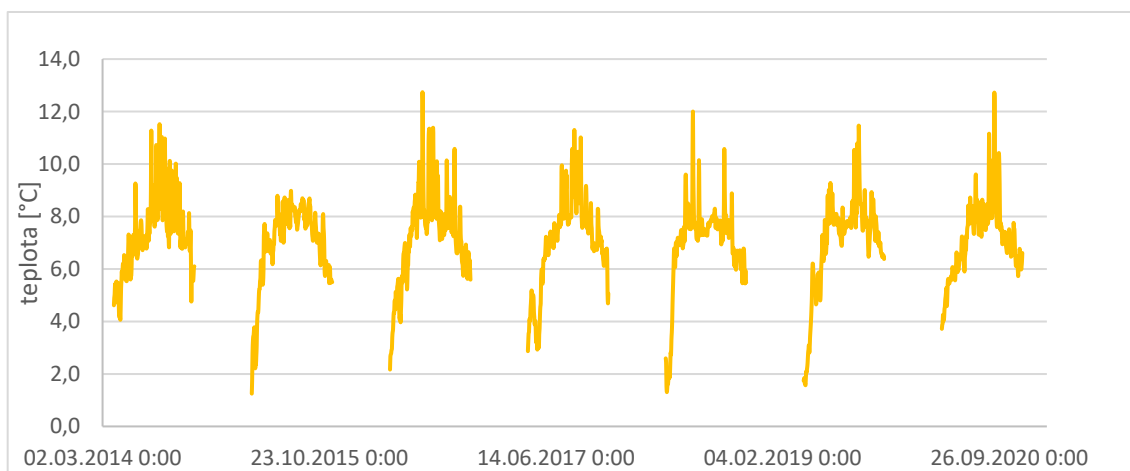
Stejně jako východní část povodí může i tu západní z pohledu vegetace rozdělit, kdy se v horní části nachází smrkové porosty výrazně ovlivněné kůrovcovou kalamitou, jenž zapříčinila odumření většiny smrkových porostů, zatímco spodní část pokrývají zdravé smrkové sazenice společně s jedlou bělokorou a bukem lesním (Vlček 2017). Kromě uvedených druhů stromů se v obou částech výrazně vyskytují traviny.



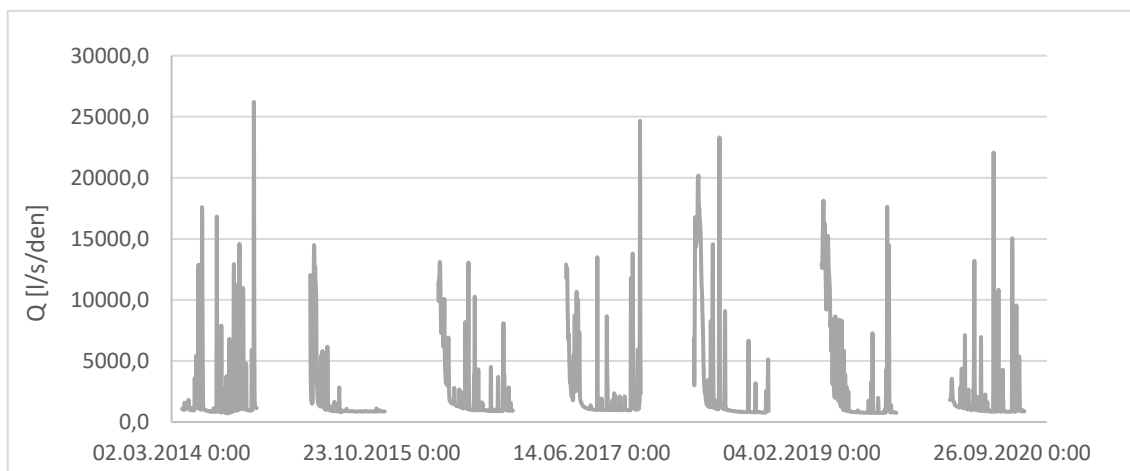
Obrázek 14: Průměrné denní srážkové úhrny v mm, srážkoměru Rokyta za období 2014-2020 v měsících duben-říjen. (Zdroj: data KFGG PřF UK)



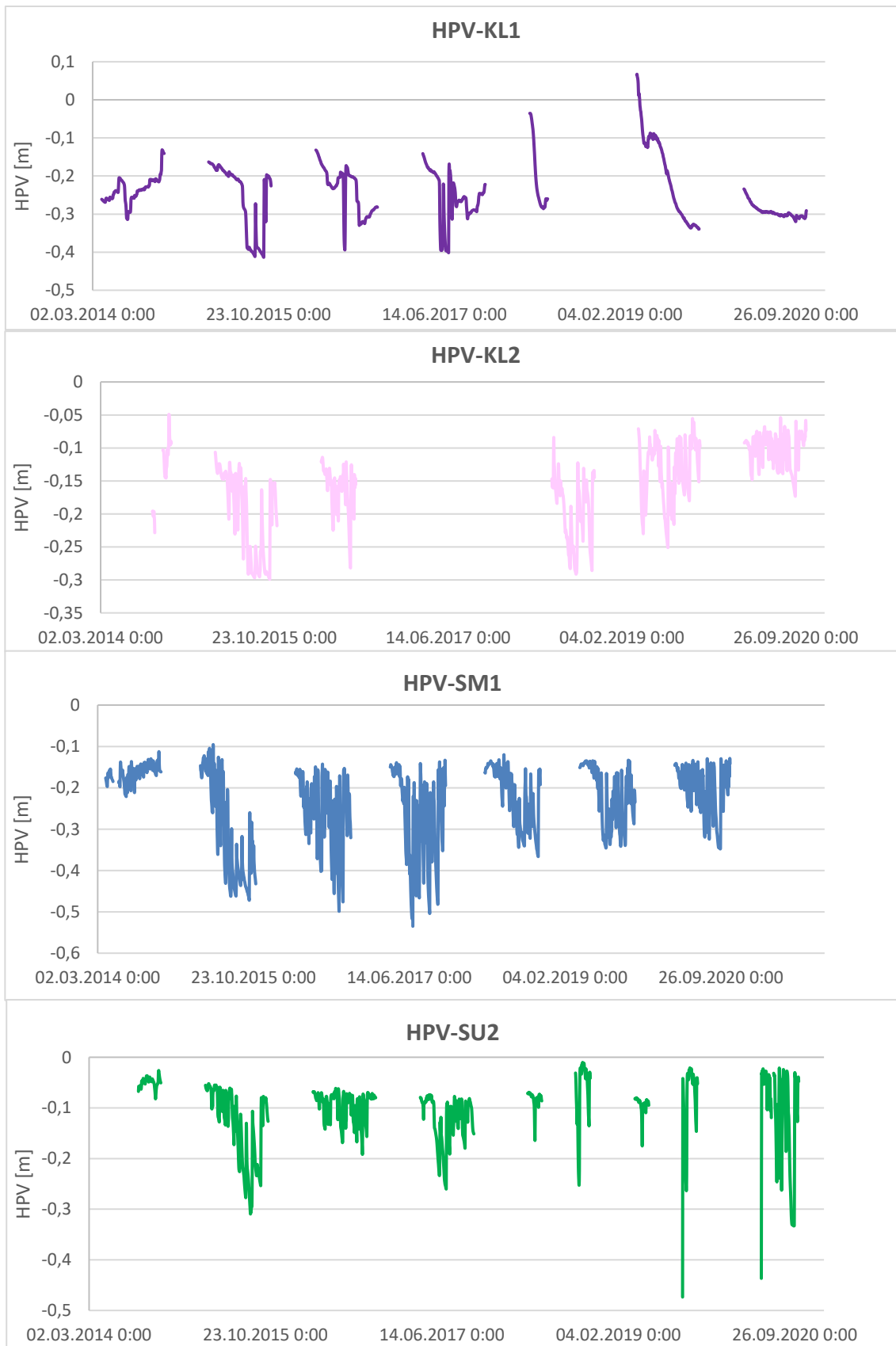
Obrázek 15: Průměrná denní teplota vzduchu v °C v povodí Rokytna za období 2014-2020 v měsících duben-říjen. (Zdroj: data KFGG PřF UK)

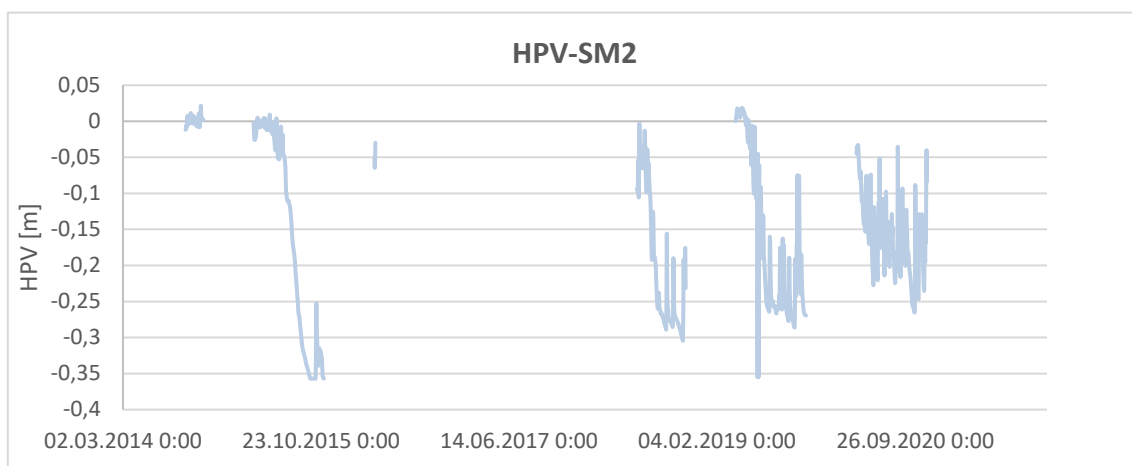


Obrázek 16: Průměrná denní teplota vody v °C v toku Rokytna přítok za období 2014-2020 v měsících duben-říjen. (Zdroj: data KFGG PřF UK)

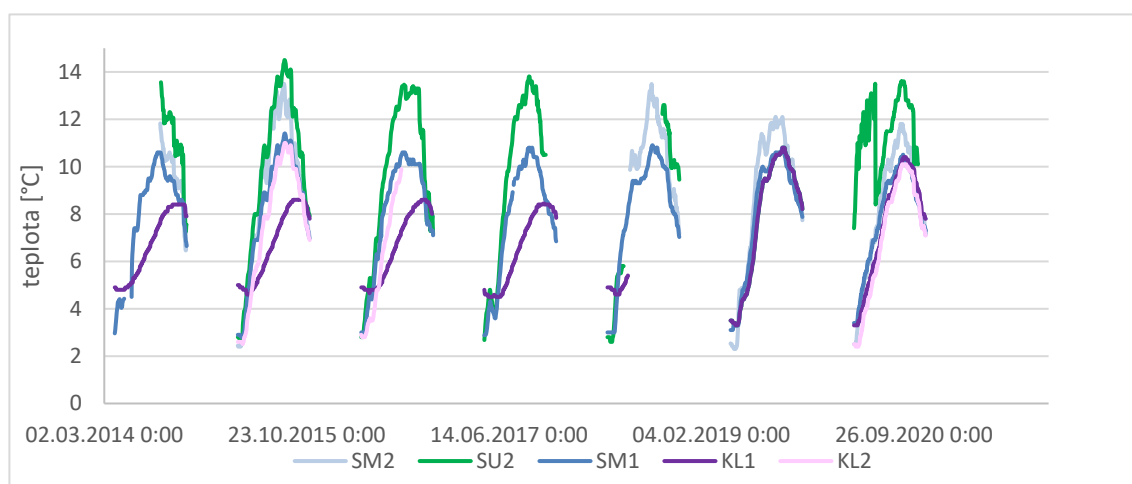


Obrázek 17: Průměrný denní odtok toku Rokytna přítok za období 2014-2020 v měsících duben-říjen. (Zdroj: data KFGG PřF UK)





Obrázek 18: Průměrná denní hladina podzemní vody v m ve vrtech (sestupně) KL1,2; SU2 a SM1,2 za období 2014-2020 v měsících duben-říjen. (Zdroj: data KFGG PřF UK)

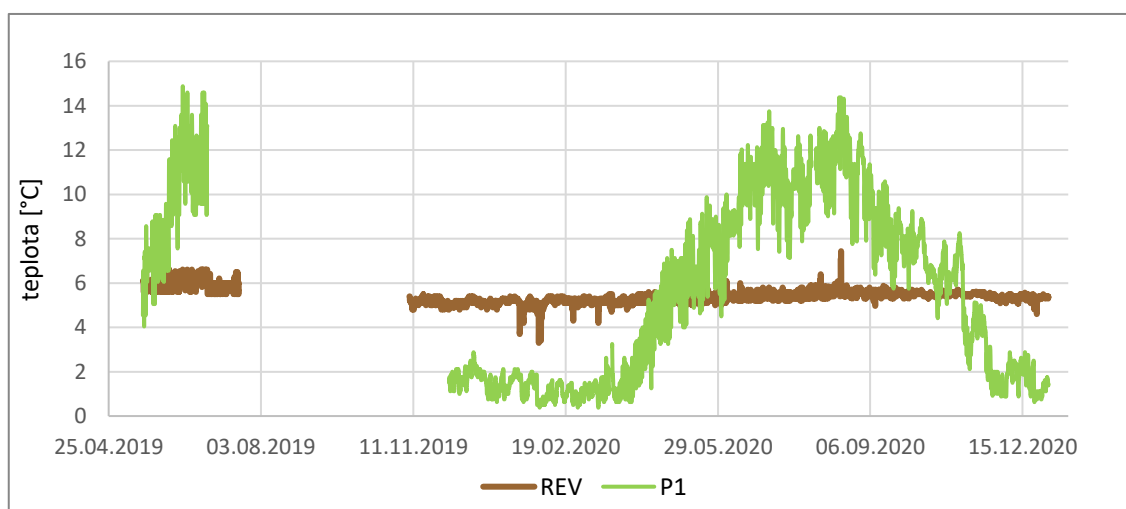


Obrázek 19: Průměrná denní teplota podzemní vody v °C ve vrtech SM2,1; SU2 a KL1,2 za období 2014-2020 v měsících duben-říjen. (Zdroj: data KFGG PřF UK)

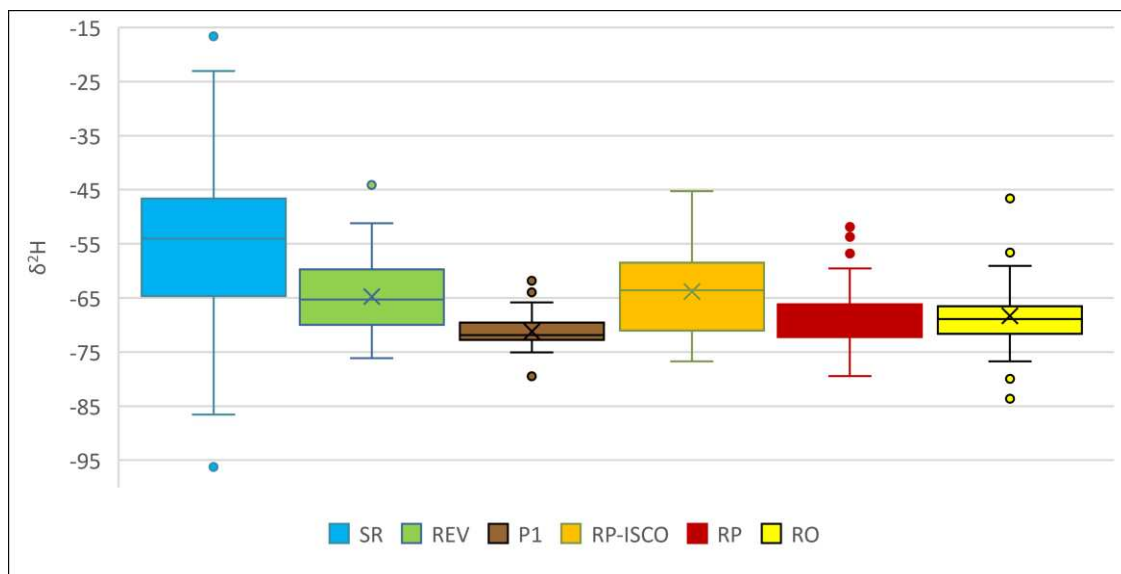
5 Výsledky

5.1 Izotopová data – charakteristika povodí RP a RO

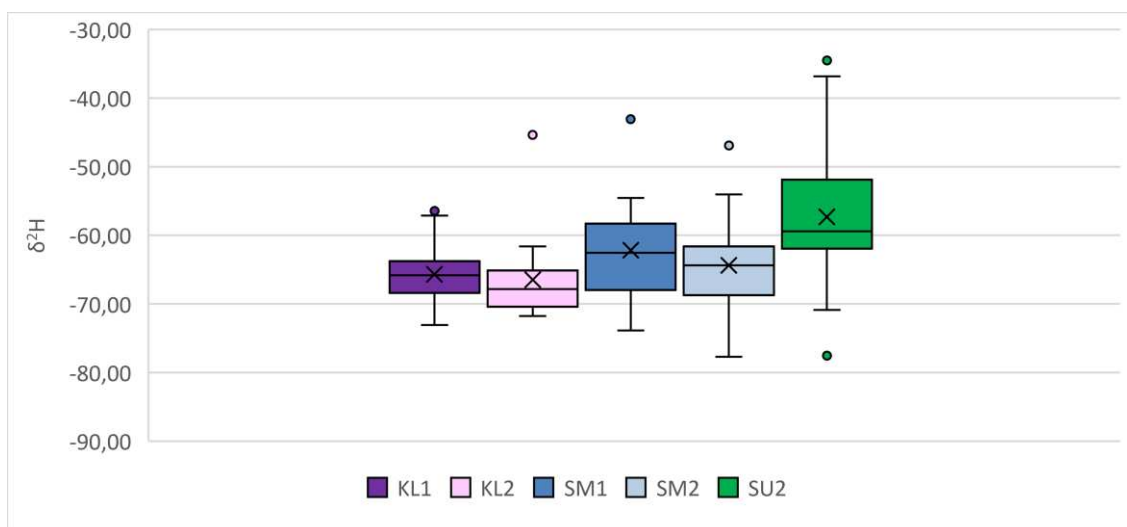
Veškerá izotopová data, jejichž získání je detailně popsáno v kapitole *Metodika a sběr dat*, byly po odstranění nehomogenit a chybných měření vynesena, pro základní izotopovou charakteristiku jednotlivých složek v povodí toku RP s nimiž je v různé míře pracováno v následujících částech práce, do grafů uvedených na Obrázcích 21 a 22. Zároveň byly z původního datového souboru odebrány data ze zimního období či obdobích se sněhovou pokrývkou. Nejnižšího, a zároveň i nejvyššího poměru těžkých izotopů bylo dosaženo u dešťových srážek, z čehož je zároveň zřejmý i největší rozptyl u této složky. Naopak nejmenšího rozptylu bylo dosaženo u pramene P1 (Pramen – les), což může mít i souvislost s téměř stálou teplotou vody v tomto prameni v průběhu celého roku (Obrázek 20). Zároveň můžeme vidět i rozdíl mezi izotopovým složením toku RP v průběhu zvýšeného průtoku (RP-ISCO) a naopak spíše v průběhu základního odtoku (RP-bodově), kdy lze na základě tohoto rozdílu předpokládat, že v období základního odtoku je tok RP spíše tvořen vodou z pramene P1, zatímco při zvýšeném průtoku vodou z pramen REV či srážkami. Z grafu na obrázku 22 je patrné, že nejvyšší izotopová variabilita byla pozorována ve vrtnu s označením SU2 nacházející se přímo uprostřed rašeliniště. Naopak nejnižší variabilita byla zastižena ve vrtech KL1 a KL2 umístěných v kleči. Mezi danými vrty z pohledu variability leží vrty SM1 a SM2 odpovídající smrkové porostu zastiženému před několika lety lýkožroutem smrkovým.



Obrázek 20: Průměrná hodinová teplota vody pramenů REV (zelená křivka) a P1 (hnědá křivka) v období 2019-2020. (Zdroj: data KFGG PřF UK)

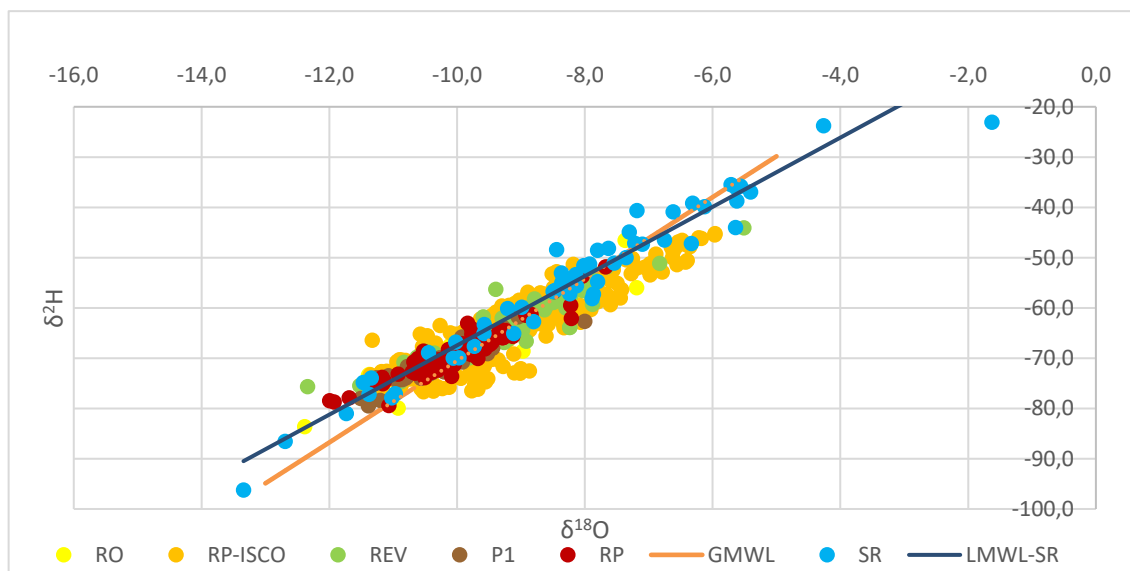


Obrázek 21: Variabilita izotopových poměrů $\delta^2\text{H}$ na základě bodových odběrů dešťových srážek (SR) a povrchové vody v povodí toků RP, RO a z automatického vzorkovače ISCO na toku RP v období 2014-2020 v měsících duben-říjen. Tečky v grafu označují odlehlé hodnoty. Svislé čáry sahají k maximu a minimu změřených hodnot. Spodní a horní oblast obdélníku představuje 1. a 3. kvartil a linie v prostoru obdélníku medián.

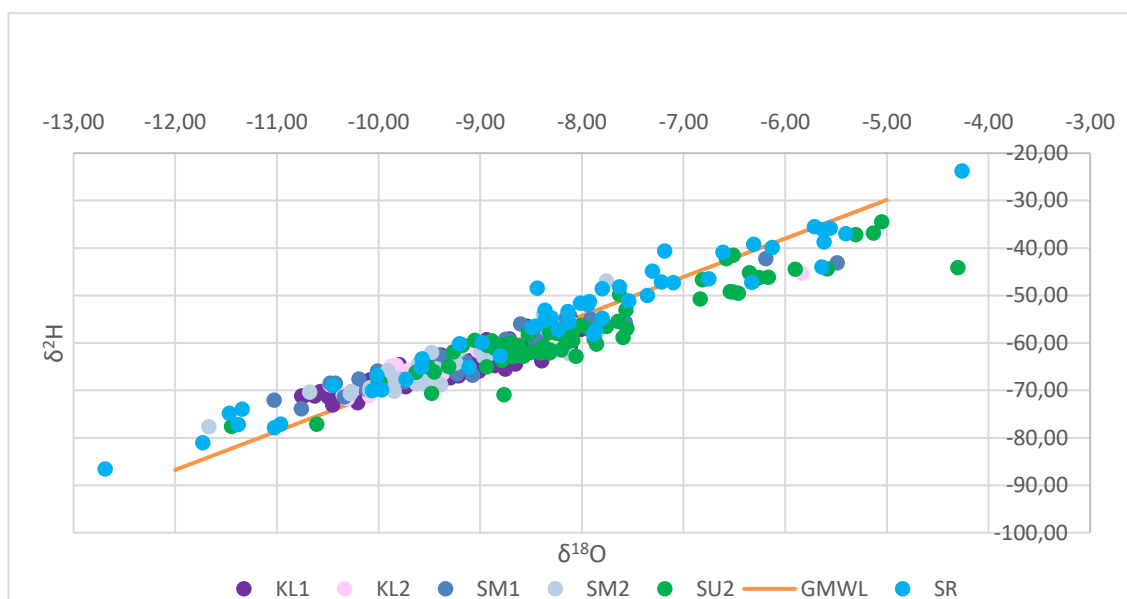


Obrázek 22: Variabilita izotopových poměrů $\delta^2\text{H}$ na základě bodových odběrů podzemní vody z vrtů v povodí toku RP za období 2014-2020 v měsících duben-říjen. Tečky v grafu označují odlehlé hodnoty. Svislé čáry sahají k maximu a minimu změřených hodnot. Spodní a horní oblast obdélníku představuje 1. a 3. kvartil a linie v prostoru obdélníku medián.

Dále byla všechna data vynesena i do bodových grafů (na obrázcích 23 a 24) proložena křivkou globální meteorické linie (GMWL) o rovnici: $\delta^2H = 8 * \delta^{18}O + 10$. Dále byla srážková data proložena lokální meteorickou přímkou (LMWL) popsaná rovnicí: $\delta^2H = 6,904 * \delta^{18}O + 1,6465$. Na obrázku 23 jsou zobrazena srážková data a výše dvě uvedené rovnice, kdy je i na základě vizuálního pohledu patrné, že dané přímky k sobě především v krajních oblastech, dle předpokladu daného souboru dat nepřiléhají. Z bodového grafu obrázku 24 můžeme vidět poměrnou malou variabilitu u poměru těžkých izotopů pocházející z podzemních vod respektive vrtů. Pouze u izotopů z vrtu SU2 můžeme vidět vyšší variabilitu v oblasti nejvyšších poměrů. U povrchových profilů či odběrů izotopů lze pozorovat (Obrázek 23) poměrně značnou část vzorků z rašelinného pramene v oblasti grafu naznačující, že dané vzorky vody mohly projít procesem evaporace.



Obrázek 23: Odebrané vzorky izotopů povrchové vody a srážek z odběrných míst v povodí toku RP proložené křivkami GMWL a LMWL.



Obrázek 24: Odebrané vzorky izotopů podzemní vody a srážek z odběrných mís v povodí toku RP proložené křivkou GMWL.

5.2 Situace odebrané pomocí vzorkovače ISCO a jejich charakteristika

Za období let 2014-2020 byly automatickým vzorkovačem ISCO umístěným na toku Rokytka přítok odebrány vzorky izotopů vody pro 19 událostí, z nichž byly pro tuto práci vybrány vzorky odpovídající 15 událostem, jenž splňovaly následující kritéria: vzorkování muselo proběhnout při zvýšeném průtoku toku Rokytka přítok, respektive muselo se jednat o průtokovou vlnu, analyzované výsledky izotopů vody v toku musely být v průběhu dané situace odlišné, tak aby bylo možné určit další charakteristiky situace, dále dostatečné množství odebraných vzorků vody v průběhu dané situace, tak aby bylo možné izotopově popsat většinu situace.

V Tabulce č. 1 je zobrazeno všech 15 událostí, pro zvolené období, spolu se základními charakteristikami pro jednotlivé události. Dále byly pro popis těchto událostí zvoleny a určeny další charakteristiky uvedené v Tabulce 21 v kapitole *Přílohy*. Obecně byly události popsány pomocí indexů předchozích srážek, vlhkostmi v povodí, množstvím a intenzitou srážek, chováním hladin podzemních vod v povodí, chováním toku Rokytka přítok, různými dobami popisujícími průtokovou situaci, případně její odezvu na jiné složky v povodí či dobami průchodu srážek povodím. Tabulky 1 a 21 nejsou u některých charakteristik kompletní z důvodu chybějících terénních dat pro danou situaci.

Datum	API 5	S [m m]	In [mm/h]	Qmin [m³/s]	Qmax [m³/s]	Izotopová separace	Typ separace	Doba zdržení-Q	Doba zdržení-ISCO peak	Ta [h]	Td [h]	Te [h]
14.8.14	25.57	11.5	5.2	9.1	169.9	Nelze	-	6.5	9.0	12	15	0
26.8.14	9.63	26	3.8	10.4	184.1	Nelze	-	5.5	3.5	14	10	6
27.8.14	25.99	25	4.3	95.9	206.0	Nelze	-	1.5	5.0	14	14	0
7.9.14	2.22	15.9	12.6	10.6	170.2	Lze	2S, 3S	3.0	3.0	3	3	0
23.10.14	19.9	80.2	12.7	19.31	603.51	Lze	2S, 3S	2.0	10.0	9	7	3
12.7.16	1.44	25.7	10.6	11.48	120.27	Nelze	-	1.0	5.0	11	7	4
12.7.16	25.44	42.8	19.5	17.33	55.61	Nelze	-	4.0	4.0	12	7	7
24.7.16	15.83	5.3	4.6	17.63	124.44	Lze	2S	3.0	3.0	4	5	0
27.7.16	11.7	8.1	2.3	11.6	25.6	Lze	2S	3.3	3.3	10	7	3
18.9.16	33.19	9	1.7	15.9	96.9	Lze	2S	2.0	4.0	4	11	3
3.10.16	11.29	5.8	1.8	13.7	88.5	Nelze	-	3.0	1.5	12	12	1
4.10.16	15.86	18.4	5.1	24.7	195.7	Nelze	-	3.5	8.0	8	7	2
23.9.18	2.88	19.3	9.8	10.08	125.94	Lze	2S, 3S	3.0	1.5	5	6	0.5
10.6.19	9.13	14.9	14.9	10.4	95.5	Lze	2S	2.5	2.5	3	3	0
12.8.19	16.46	10.2	3.0	10.8	63.7	Lze	2S, 3S	3.0	3.0	9	5	4

Tabulka 1: Situace odebrané pomocí vzorkovače ISCO a jejich vybrané charakteristiky

Pozn.:

Ta - doba od začátku srážek do maximálního průtoku

Td - doba mezi začátkem a vrcholem vlny-z hlediska průtoku

Te - doba mezi začátkem srážek a začátkem vlny

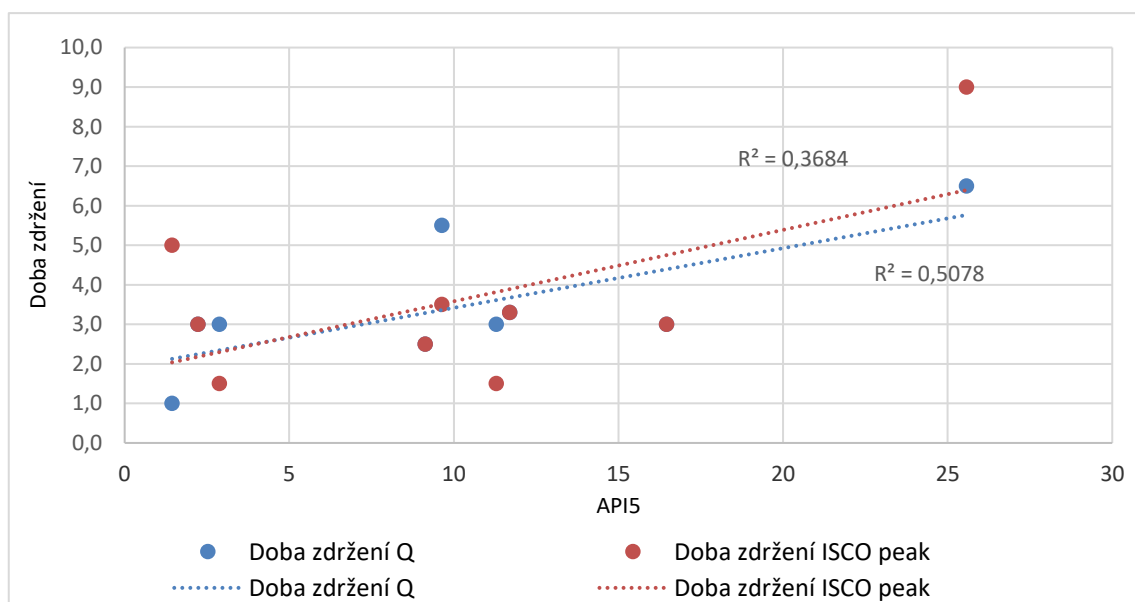
2S, 3S – dvousložková a tříložková separace

In – maximální hodinová intenzita srážky

Na základě dostupných dat byly jednotlivé charakteristiky pro všechny situace vzájemně mezi sebou základním způsobem statisticky testovány v programu MS EXCEL vynesemím do bodových grafů, proložením křivky spojnice trendu a určením koeficientu determinace.

Výsledky statické analýzy provedené v programu MS EXCEL popsané výše neprokázaly ve většině případů mezi jednotlivými charakteristikami významné

statistické souvislosti či závislosti. Výjimkou byly jednak „očekávané souvislosti či závislosti“ (např. závislost mezi maximálními hodnotami průtoku RP a maximálními hodnotami HPV ve vrtech v povodí) a také závislosti indexu předchozích srážek API5 a doby zdržení průchodu srážek, a to především na základě hodnoty izotopů. Zároveň byly pro tuto analýzu vybrány pouze ty situace, na jejichž začátku odpovídal průtok toku RP přibližně základnímu odtoku. Z této uvedené skutečnosti můžeme předpokládat určitou formu závislosti, jenž nám ukazuje, že s rostoucí nasyceností povodí je doba průchodu srážek daným povodím vyšší (Obrázek 25). Snahou bylo využití i pokročilejších statistických metod, nicméně vzhledem k nízkému počtu dat nebyly dosaženy významnější výsledky.

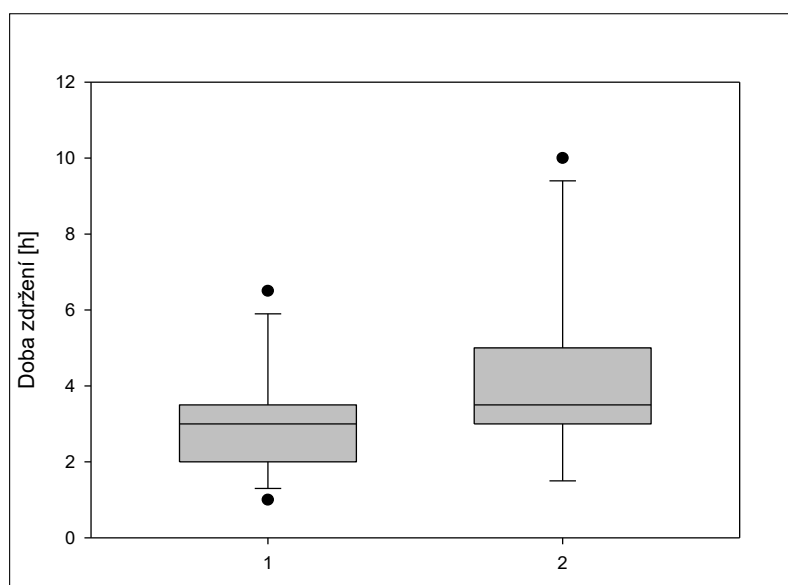


Obrázek 25: Vztah závislosti indexu předchozích srážek (API5) a doby zdržení, vypočtené dle dvou různých kritérií: dle izotopů (červená kolečka) a dle průtoku (modrá kolečka). Dané vztahy jsou proloženy křivkami trendu (viz. legenda obrázku 25). Označení R^2 v grafu odpovídá koeficientům determinace.

5.3 Doba postupu srážkové vody povodím

Doba zdržení srážek v povodí je z hlediska popisu chování povodí v reakci na příčinné srážky důležitým ukazatelem a v této práci byla tato doba určena dvěma způsoby popsány v kapitole *metodika a sběr dat*. Konkrétně první způsob výpočtu této doby odpovídá časovému rozdílu mezi časem maximální intenzity srážek v průběhu události a maximálním průtokem v toku (v Tabulce 1: *Doba zdržení-Q*), přičemž obě maxima jsou vždy vztažena k časům izotopových odběrů. Druhý způsob výpočtu doby

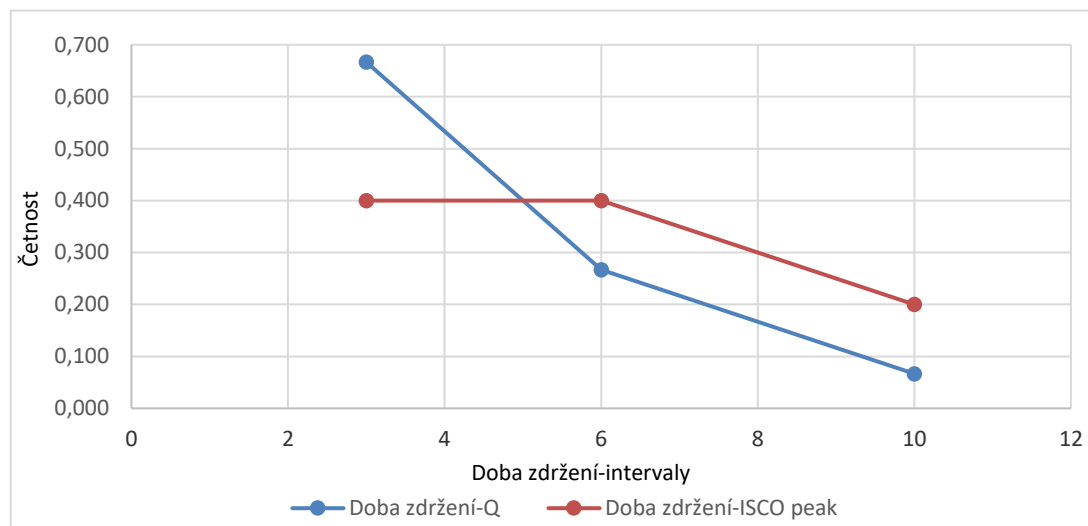
zdržení srážek v povodí spočíval v časovém rozdílu mezi časem maximální intenzity srážek v průběhu události a maximální hodnotou izotopového složení vody ($\delta^2\text{H}$) odebrané v průběhu situace (v Tabulce 1: *Doba zdržení-ISCO peak*). Stejně jako u předchozího výpočtu je maximum doby průtoku vztaženo k čase jednotlivých izotopových odběrů v průběhu situace. Z Tabulky č. 1 je patrné, že doba zdržení srážek v povodí, se dle prvního výpočtu pohybuje nejčastěji okolo 3h, zatímco v případě výpočtu dle izotopového signálu v toku je tato doba v průměru zhruba o hodinu a půl delší, což můžeme vidět i na obrázku 26.



Obrázek 26: Znázornění doby průchodu srážek povodí. Levý graf boxplotu s označením 1 odpovídá dané době určené za pomoci maximálního průtoku, zatímco pravý s označením 2, době určené pomocí izotopů. Tečky v grafu znázorňují odlehlé hodnoty. Svislé čáry sahají k maximu a minimu změřených hodnot. Spodní a horní oblast obdélníku představuje 1. a 3. kvartil a linie v prostoru obdélníku medián.

Podobné výsledky byly zaznamenány i na základě tzv. grafu TTD (Obrázek 27), který byl vytvořen právě pro doby zdržení dle obou metod. Z daného grafu můžeme vidět, že většina hodnot doby zdržení srážek-Q odpovídá 0-3 hodinám, a naopak nejmenší zastoupení spadá do intervalu mezi 6 až 10 hodinami. U druhé doby zdržení-ISCO peak je situace částečně odlišná, kdy do intervalů 0-3 hodiny a 3-6 hodiny spadá stejné množství situací. Zatímco poslední interval (6-10) je stejně jako u předchozího případu zastoupen nejméně, nicméně o něco výrazněji. Při porovnání obou dob přímo v tabulce 1 lze pozorovat, že ve více než třetině případů bylo dosaženo stejných časů

pro obě doby. Stejný počet událostí byl také zaznamenán právě i v případě dřívější doby zdržení-Q. Naopak jen u malého počtu situací nastala dříve doba zdržení-ISCO peak. Z výše uvedených výsledků je patrné, že doba zdržení-Q je ve většině případů poměrně krátká, z čehož můžeme usoudit poměrně rychlou reakci povodí na příčinné srážky. Stejně tak doba zdržení-ISCO peak je poměrně krátká, ovšem v porovnání s dobou zdržení-Q je ve většině případů delší či stejně dlouhá. Tento fakt nasvědčuje tomu, že v mnoha případech nastává v povodí tzv. "Piston flow". kdy příčinná srážka netvoří přímo první část či vrchol průtokové vlny ale způsobuje vytlačení vody, která již byla v povodí před příčinnou srážkou do toku a samotná voda ze srážek se ve větší míře dostává do toku až právě s daným vypočteným zdržením.



Obrázek 27: Zobrazení dob zdržení pomocí tzv. TTD grafu. Bodové spojnice odpovídají dle barvy v legendě obrázku 27 příslušným metodám výpočtu doby zdržení.

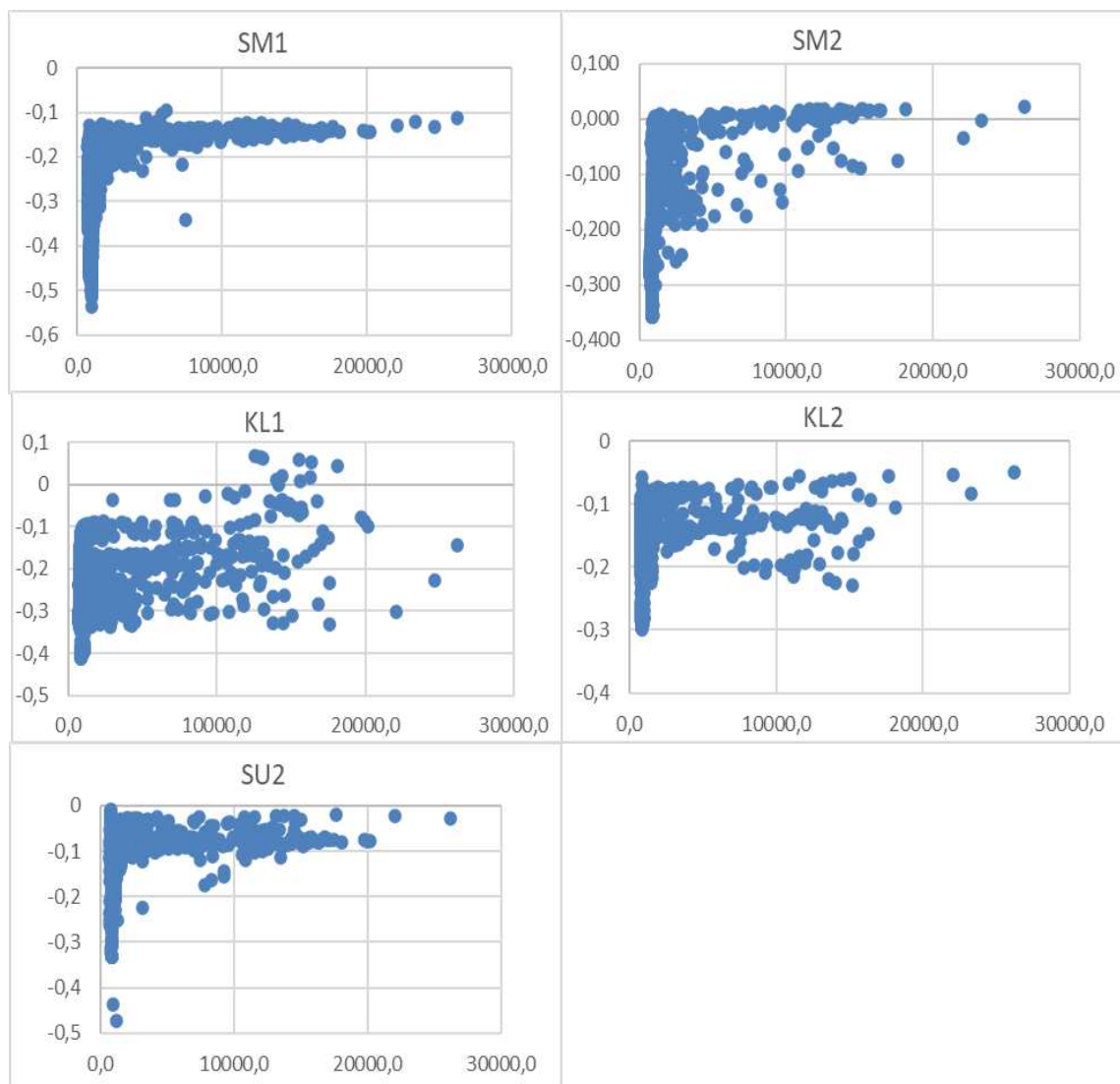
Podobnou charakteristikou je i doba T_a , jenž představuje dobu od začátku srážkových úhrnů do vrcholu průtokové vlny, kdy je u většiny situací přirozeně dosahováno vyšších hodnot než u dob zdržení srážek, konkrétně kolem 9 hodin, nicméně v některých případech jsou doby shodné či téměř shodné (Tabulka 1), často v případech krátkého trvání srážek. Dalšími dvěma dobami souvisejícími s reakcí povodí a toku RP na srážky jsou T_d a T_e (Tabulka 1), kdy T_d znázorňuje časový úsek mezi začátkem průtokové vlny a jejím vrcholem a odpovídá přibližně hodnotě 8 hodin v průměru pro soubor vybraných událostí. Ještě o něco více důležitým ukazatelem je druhá doba, tedy T_e , představující dobu mezi začátky srážek a průtokové vlny, tedy dobu, po níž začne tok RP reagovat na srážky. Daná doba je pro většinu událostí

poměrně krátká a představuje v průměru zhruba 2 hodiny, přičemž u některých situací je reakce toku na srážky téměř okamžitá.

5.4 Hydrografická separace odtoku

Z tabulky 1 byly pro všechny situace zhotoveny hydrografické separace odtoku na základě principů uvedených v kapitole *Metodika a sběr dat*, nicméně u situace 14.8., 26.8. a 27.8. 2014 nebyla dostupná izotopová data pro všechny složky separace, a nebylo tedy možné separaci uskutečnit, stejně tak nebyla provedena separace u situací z 12.7., 3.10. a 4.10. 2016 z důvodu izotopového „naředění“ vody v toku RP ostatními izotopovými složkami povodí. Pro vybrané situace z Tabulky 1 byly vytvořeny funkční separace, přičemž v některých případech mohlo být sestrojeno více druhů separací pro jednu situaci, respektive dvousložkové (2S) či třísložkové separace (3S). Z funkčních separací byly na základě specifických kritérií vybrány situace pro detailní popis. Za daná kritéria byly zvoleny předchozí nasycenost povodí dle indexu API, vzhledem k předpokládané tvorbě odtoku daného povodí, a velikost příčinných srážek v mm. Pomocí těchto kritérií byly zvoleny 4 hlavní vzájemně odlišné situace tedy: vysoké srážkové úhrny při nízkém nasycení povodí; vysoké srážkové úhrny při vysokém nasycení povodí; malé srážkové úhrny při vysokém nasycení povodí; malé srážkové úhrny při nízkém nasycení, které jsou detailně zobrazeny a popsány v podkapitole 5.4.1. Kromě těchto vybraných situací byly zvoleny další dvě doplňkové situace podle jiných kritérií, jimiž byla doba trvání příčinných srážek a jejich maximální hodinová intenzita. Na základě popsáných kritérií byly tedy vybrány dvě situace: krátkodobé srážkové úhrny o vysoké maximální intenzitě a dlouhotrvající srážkové úhrny o nižší maximální intenzitě. Dané dvě doplňkové separace na základě výše uvedených kritérií jsou popsány a zobrazeny v kapitole *Přílohy*.

Pro případnou interpretaci níže uvedených separací a zároveň pro bližší pochopení chování HPV, respektive vrtů v povodí byly sestaveny bodové grafy dávající do souvislosti vrty a průtok, respektive průměrné denní HPV a průměrný denní průtok (Obrázek 28)



Obrázek 28: Zobrazení vztahu průměrného denního průtoku - osa X (jednotky: m^3/den) a průměrné denní HPV - osa Y (jednotky: m) ve vrtech v povodí toku RP.

5.4.1 Vybrané separace

5.4.1.1. Separační událost 8. – 9. 8. 2014 - Malé srážkové úhrny při nízkém nasycení povodí

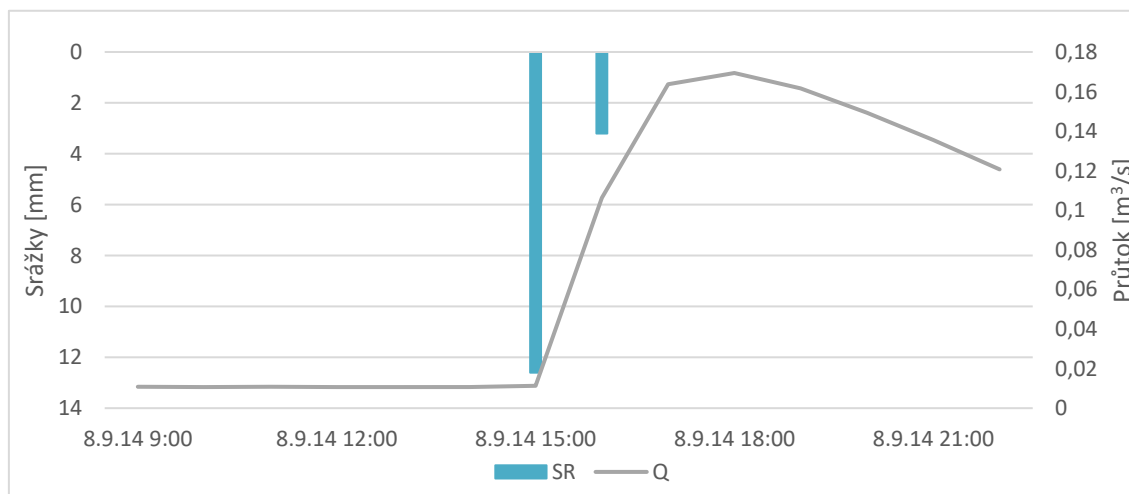
SR	API5	HPV SM1 před situací	HPV KL1 před situací	HPV SU2 před situací
< 20 mm	< 5	nízká až průměrná	nízká až průměrná	nízká

Tabulka 2: Základní charakteristika události z hlediska srážek a nasycení povodí

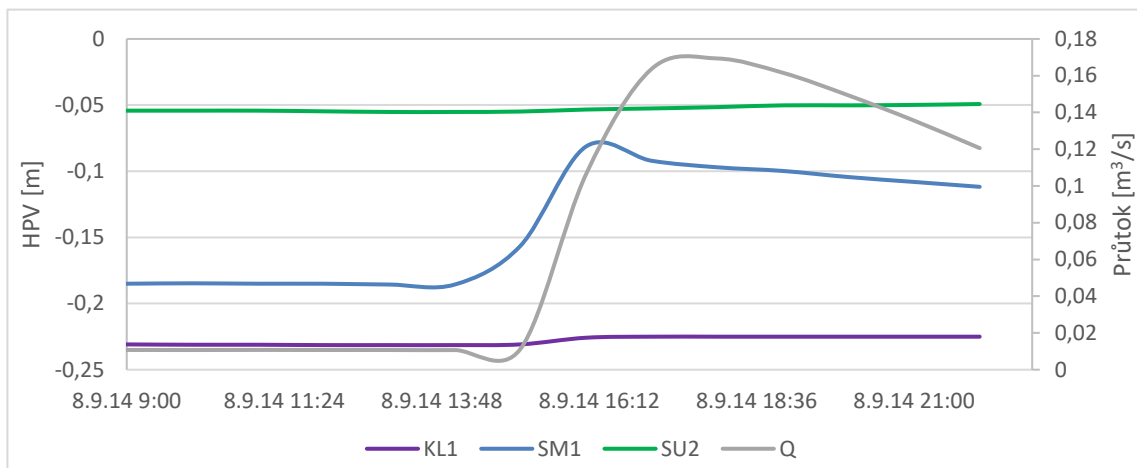
První z vybraných událostí byla způsobena krátkými, nicméně relativně intenzivními dešťovými srážkami (12.6 mm/h), o celkovém úhrnu 15.9 mm. K daným srážkám došlo 8.9.2014 mezi 15. a 16. hodinou (Obrázek 29), nicméně vzorkovač odebral první vzorek z toku RP již od 7.9.14 10:30. Ovšem pro potřeby dané separace byl za počátek situace zvolen až odběr 8.9. 2014 v 9:00, jelikož až od daného odběru začalo docházet ke změně izotopového poměru v toku RP.

Z pohledu nasycenosti před událostí, lze povodí RP považovat z hlediska indexu API5=2.22 za nízké nasycené. Danému nasycení před událostí odpovídají i spíše nízké HPV ve vrtech SM, KL1 a ve vrtu SU2 (Obrázek 30; Tabulka 2).

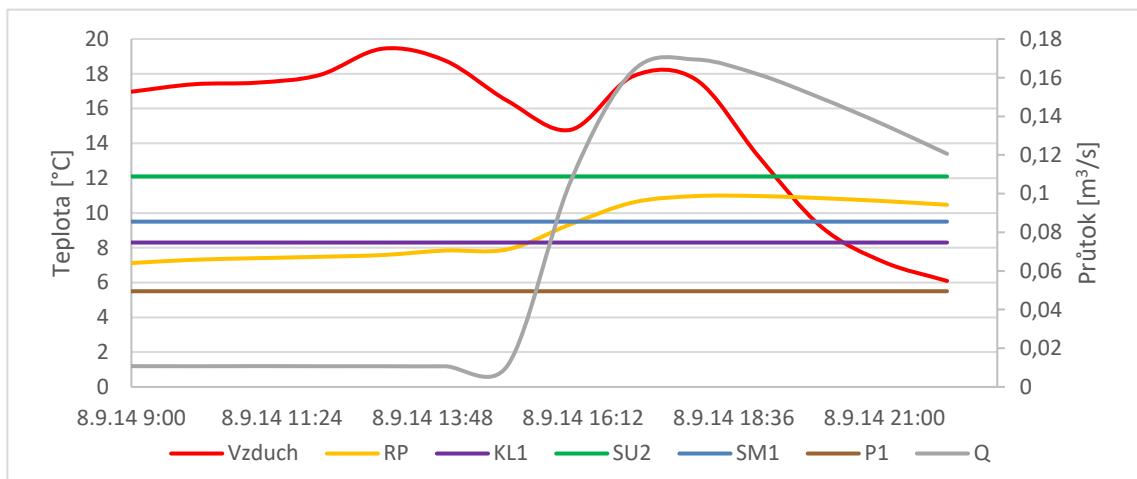
Izotopové poměry povrchové a podzemní vody v povodí toku RP před danou situací a částečně v jejím průběhu jsou zobrazeny na Obrázku 32.



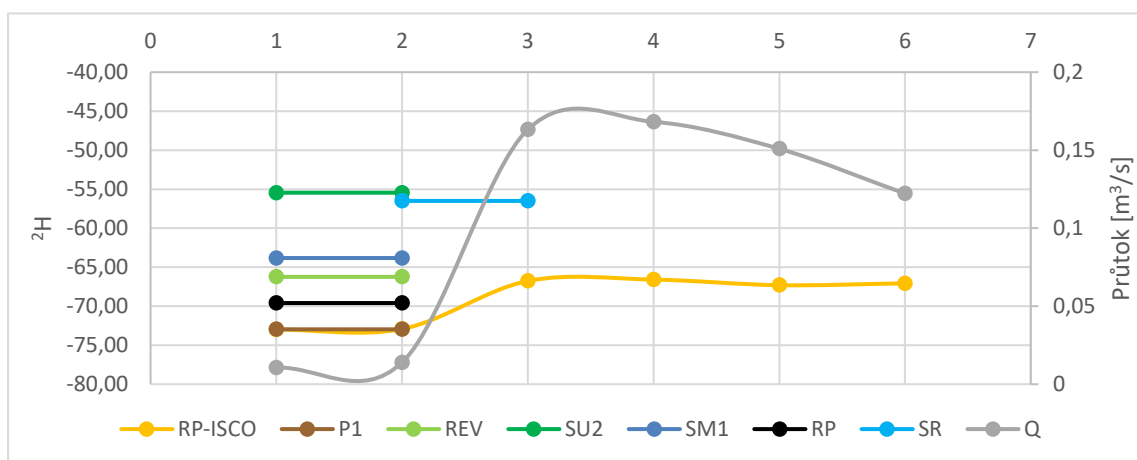
Obrázek 29: Průběh průtoku Rokytky (průtok (Q) a srážkových úhrnů (SR) během události.



Obrázek 30: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a HPV ve vrtech KL1, SU2 a SM1 v průběhu události.



Obrázek 31: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a teploty vody ve vrtech KL1, SU2 a SM1, toku Rokytka přítok (RP), prameni P1 a teploty vzduchu v průběhu události.



Obrázek 32: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a stabilních izotopů ^2H před danou separací ve vzorcích z pramenů P1 a REV, vrtů SM1 a SU2, toku Rokytka přítok (RP) a v průběhu dané separace ze srážek (SR) a toku Rokytka přítok (RP-ISCO).

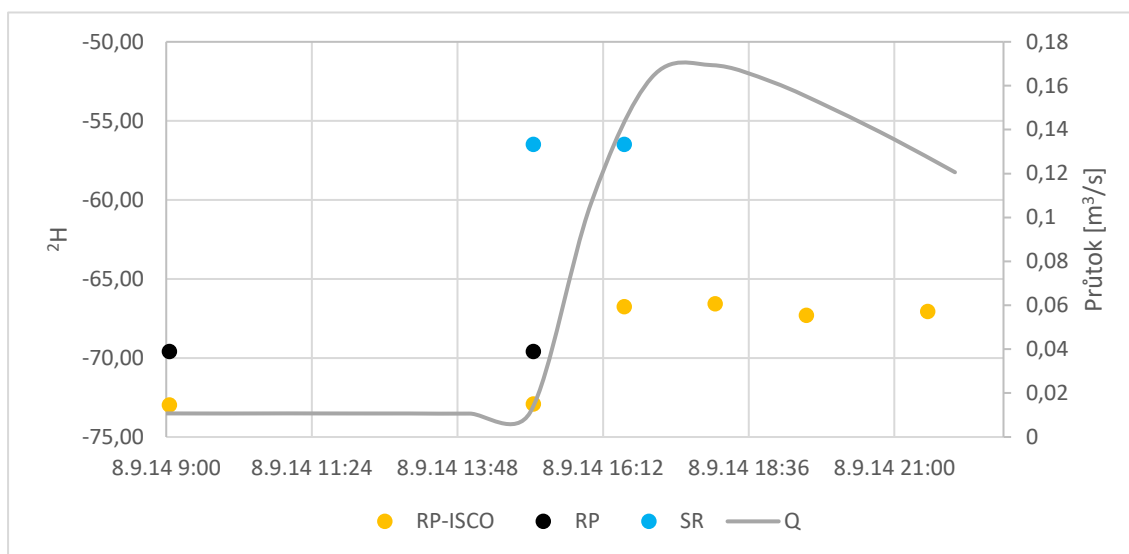
doba od začátku srážek max. průtoku	3
doba mezi začátkem a vrcholem vlny-z hlediska průtoku	3
doba mezi začátkem srážek a začátkem vlny	0
doba průchodu srážek (Q)	3
doba průchodu srážek (izotopy)	3

Tabulka 3: Daná tabulka zobrazuje vzhledem k dané separaci důležité doby vybrané z Tabulky 1 výše.

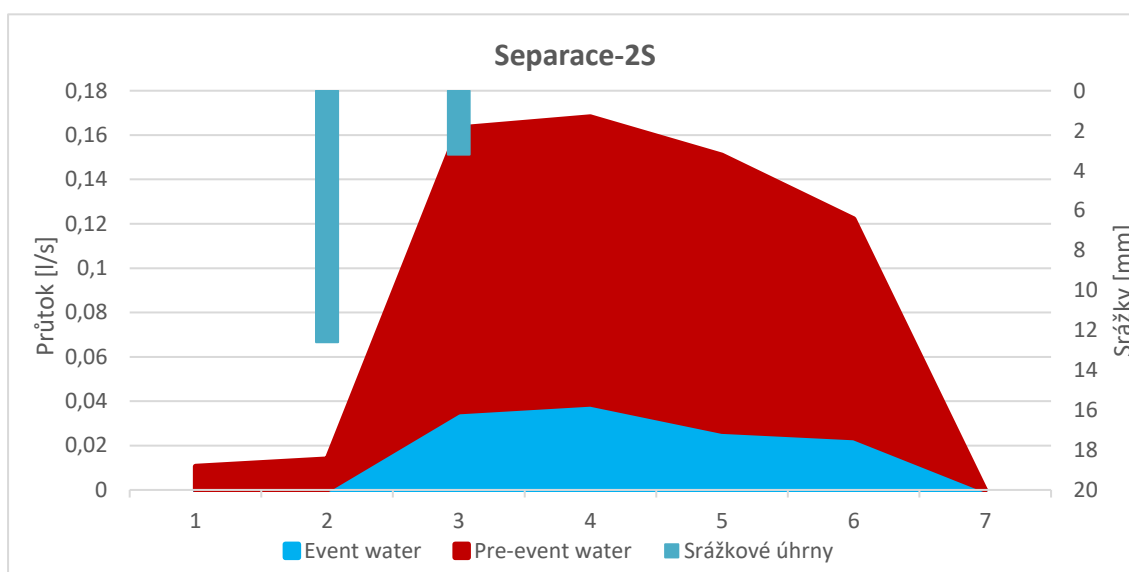
Pro danou situaci byly vytvořeny dvě dvousložkové (2S) a jedna tříložková (3S) separace

Dvousložková separační metoda-SR:

Při této separační metodě byla jako tzv. předudálostní voda (pre-event water) zvolena voda z toku RP odebraná před událostí a jako událostní voda (event water) srážky odebrané po události (Obrázek 33). K zapojení událostní vody (srážek) do toku RP došlo přibližně 1,5 hodiny po začátku srážek (16:30 8.9.2014) (Obrázek 34). V době zapojení událostní vody (srážek) do toku dle separace již bylo dosaženo kulminace HPV ve vrtu SM1, zatímco teplota vody v daném vrtu teprve začínala růst, zároveň se v danou dobu blížila kulminace v toku RP, HPV ve vrtu KL1 či u teploty vody v toku RP (Obrázek 31), naopak kulminace HPV ve vrtu SU2 nastala výrazně později K maximálnímu zapojení událostní vody (srážek) do toku došlo o hodinu a půl později (18:00 8.9.2014), kdy podíl této vody dosahoval 23 % na celkovém odtoku RP. Ve stejný čas, již nastal pokles průtoku RP, HPV ve vrtu SM1 a kulminace teploty vody RP a ve vrtu SM1, pouze HPV ve vrtu SU2 stále mírně stoupal, ovšem jednalo se o velice mírný růst. Ve zbývajících částech separace s postupným poklesem zapojení událostní vody do toku pokračoval i poměrně rychlý pokles průtoku, HPV a především teploty ve vrtu SM1, a naopak poměrně pomalý pokles teploty vody v toku RP či nedošlo k žádnému poklesu HPV ve vrtu KL1. Ve vrtu SU2 stále rostla HPV, byť velmi málo. Doba zdržení pro tuto situaci odpovídá přibližně 3 hodinám, a to jak na základě průtoku, tak i stabilních izotopů. Ostatní doby viz. Tabulka 3 odpovídají také krátkým časovým údajům.



Obrázek 33: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.

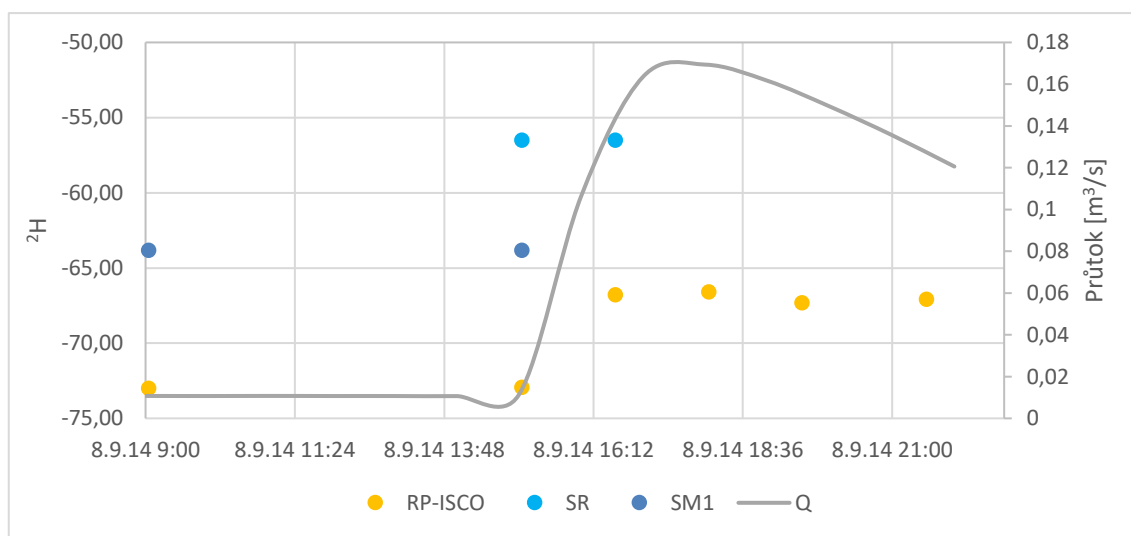


Obrázek 34: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.

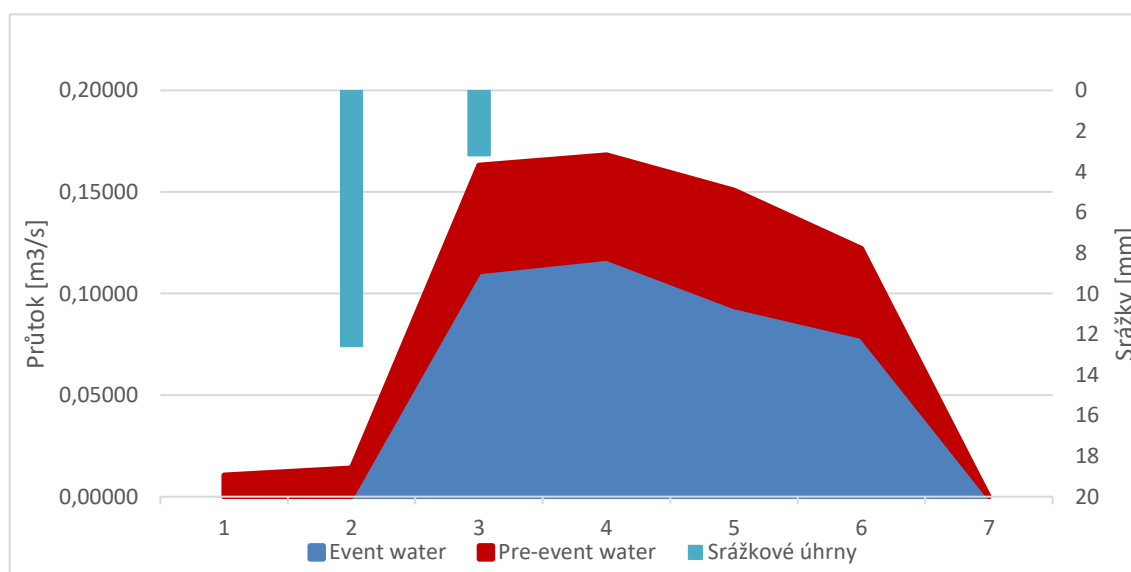
Dvousložková separační metoda-SM1:

Za před událostní vodu byla vybrána voda z toku RP, odebraná z toku před samotnou událostí, zatímco jako událostní voda byla zvolena voda pocházející z vrtu SM1 (Obrázek 35), z důvodu, že reakce HPV v ostatních vrtech v povodí (konkrétně SU2 a KL1) na příčinné srážky zůstala bez výraznější odezvy a dále pro možnost porovnání zapojení různých před-událostních vod. V první fázi dané situace, ještě před

začátkem srážek je viditelné mírné zapojení vody z SM1 do toku RP, kdy podíl této složky kolísá mezi 4 a 10 %. V druhé fázi situace zhruba od 16:30 8.9.2014, hodinu a půl po začátku srážek, je možné pozorovat podobný průběh jako u separace výše, respektive k zapojení událostní vody, došlo zhruba hodinu a půl po začátku srážek (Obrázek 36), tedy ve stejný čas, s tím rozdílem, že zapojení bylo více výrazné (přibližně 67 %). Stejná situace nastala při separaci i ohledně stejné doby maximálního zapojení událostní vody do toku RP, opět s rozdílem ve velikosti zapojení, které v tomto případě odpovídalo 70 % celkového odtoku toku RP.



Obrázek 35: Průběh průtoku Rokytky a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.



Obrázek 36: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.

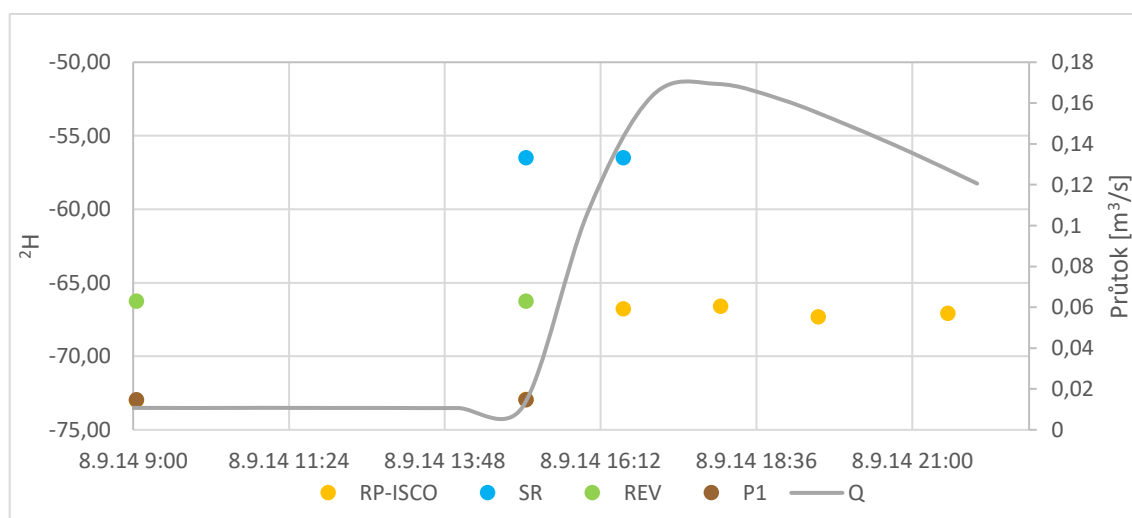
Shrnutí výše uvedených dvousložkových separací:

Zapojení srážek (respektive událostní vody) do toku v průběhu separace nastalo zhruba 1,5 hodiny po začátku srážek, tedy v době, kdy již byl výrazně zvýšený průtok, stejně tak doba zdržení srážek dle izotopové a průtokové metody odpovídala 3 hodinám. Dané skutečnosti naznačují, že v prvních hodinách situace, respektive zvýšení průtoku RP, se do toku dostávala voda, která již byla v povodí před příčinnou srážkou, a tedy došlo k „vytlačení této staré vody“ do toku příčinnou srážkou. Tato voda, byla při porovnání dvousložkových separací tvořena převážně vodou z podzolové části povodí RP (respektive vrtu SM1), a to i na základě izotopových hodnot z ISCA, které v průběhu situace spíše odpovídaly vodě z podzolové části povodí (z vrtu SM1) než vodě ze srážek. Daný fakt je také podpořen na základě Obrázku 30, kde lze vidět, že HPV ve vrtu SM1 v průběhu situace odpovídá odtoku, při kterém už dochází k zapojení tohoto vrtu do toku RP, zatímco u vrtů KL1 a SU2 tento stav pravděpodobně nenastal. Zároveň tedy srážky jsou v událostní vodě daleko méně zastoupeny než voda, která byla v povodí již před začátkem události i přes nízkou nasycenost.

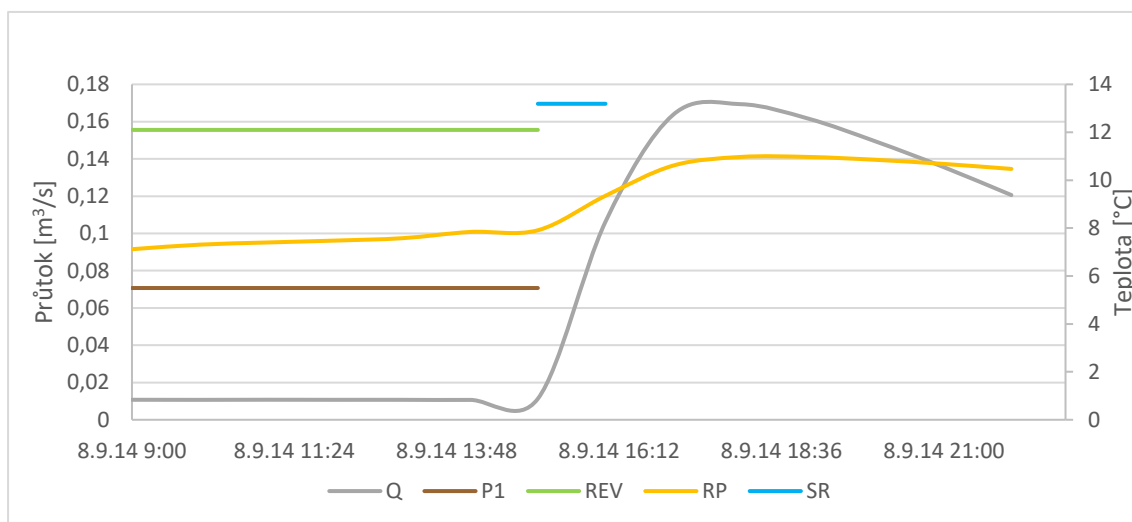
Třísložková separační metoda:

Pro danou metodu bylo pro jednotlivé složky separace využito izotopových vzorků vody z toku RP, pramenů REV a P1 a srážek (Obrázek 37) a teploty vody daných složek (Obrázek 38) v průběhu situace. Přibližně kolem 16:30 (8.9.2014), hodinu a půl po začátku srážek, je viditelné zapojení srážek do toku, stejně jako v případě dvousložkové separace výše, kdy se podíl této složky pohybuje kolem 16 %. Naproti tomu ve stejný čas klesá podíl vody z pramenů REV (37 %) a především P1 (46 %). Současně v danou dobu nastala v povodí RP již kulminace HPV ve vrtu SM1 (zatímco teplota vody začínala stoupat), a zároveň se v tento čas blížila kulminace průtoku v toku RP, HPV ve vrtu KL1 či teploty vody v toku RP. V 18:00 bylo dosaženo (objemového i procentuálního – 17 %) maxima zapojení srážkové vody do toku při separaci, stejně jako u dvousložkové separace u této situace. Současně s tímto mírným zvýšením zastoupení srážek v toku se také zvýšilo zapojení vody z pramen REV (40 %) a pokračoval pokles vody z pramene P1 (43 %) na celkovém odtoku. Ve stejný čas, začal zároveň nastávat mírný pokles průtoku RP, HPV ve vrtu SM1 či kulminace teploty vody RP a ve vrtu SM1, pouze HPV ve vrtu SU2 stále mírně stoupala. O další hodinu a půl později (19:30) dosáhla voda z pramene REV v toku svého podílového (49

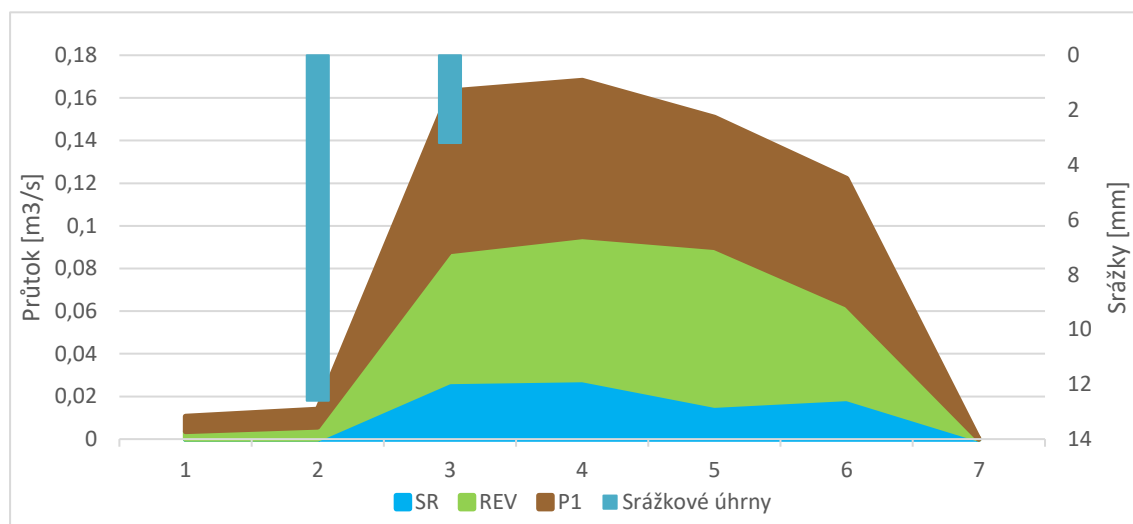
%) i objemového maxima, současně s poklesem podílu srážkové (11 %) a vody z pramene P1 (40 %), průtokem RP, HPV ve vrtu SM1 a nepatrného poklesu teploty vody RP a výrazného poklesu ve vrtu SM1, zatímco HPV ve vrtu SU2 stále postupně rostla, ve vrtu KL1 zůstávala neměnná. V poslední fázi separace o dvě hodiny později (21:30) již docházelo k poklesu podílu zapojení z pramene REV (36 %) a naopak k opětovnému zvýšení podílu z pramene P1 (49 %) oproti předchozímu odebranému vzorku, stejně tak byla zaznamenána i opětovné zvýšení podílu srážek, ovšem nijak výrazné. Dané změny souvisejí i se změnou teploty vody v toku RP, jenž postupně klesala a začala být méně shodná s teplotou vody pramene REV. Stejně tak stále klesal průtok RP a HPV vrtu SM1. U HPV ve vrtech KL1 a SU2 byl stav stejný jako v předchozím čase. Závěrečná část separace z pohledu průtoku nemohla být spočítána z důvodu chybějících izotopových dat. Výše popisované změny v podílech zastoupení jednotlivých složek dané separace je znázorněno na Obrázku 39.



Obrázek 37: Průběh průtoku Rokytky a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.



Obrázek 38: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek teploty vody a srážek do separace.



Obrázek 39: Zobrazení zastoupení srážek (SR) a vody z pramenů REV a P1 v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.

Shrnutí tříložkové separace a celé situace:

Daná separace potvrzuje výsledky dvousložkových separací, tedy že většina vody v průběhu situace je tvořena kombinací vody ze srážek a z pramene REV či obecně rašelinišť, respektive rašelinné části povodí. Příčinná srážka tedy zřejmě způsobila nejprve uvolnění vody, která již byla v povodí dříve, a do toku se sama začala ve větší míře dostávat v době 1,5 (první objevení srážek v toku dle separace), respektive 3 hodiny (doba zdržení) po začátku srážek. Zároveň v dané časy již byla výrazně zvýšená hladina RP či dokonce kulminovala (potvrzení, že počáteční zvýšení průtoku způsobila jiná složka, zřejmě vytlačená voda). Výraznější zapojení vody z REV do toku se zdá být

patrné i z hlediska teploty vody v toku RP, u níž došlo v průběhu situace k velmi výraznému zvýšení (o téměř 3 °C) a k přiblížení teploty vody v rašeliništi. Zároveň nemalou část odtoku během průtokové vlny tvořila i voda z pramene P1 (v průměru 44 %), respektive voda mající podobné izotopové složení.

Na začátku situace hlavní část v toku RP tvořila stará „vytlačená voda“ pocházející asi hlavně z oblasti vrtu SM1 (velká reakce HPV a později i teploty vody, a také vysoká HPV při níž dochází pravděpodobně k zapojení dané vody do toku, a také druhá separace 2S (Pre-event water-SM1), kde je pre-event water dominantní složkou. Poté se již do toku začaly zapojovat i srážky ale méně výrazněji a voda z rašelinné části povodí jejíž podíl postupně rostl, čemuž odpovídá i postupně se zvyšující HPV ve vrtu SU2.

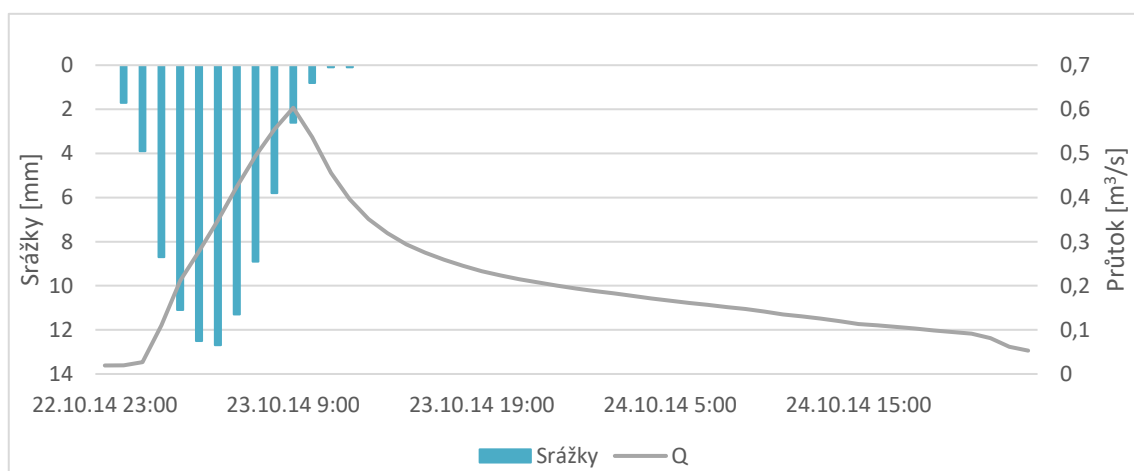
5.4.1.2. Separační událost 23. – 24. 2014 - Velké srážkové úhrny při vysokém nasycení povodí

SR	API5	HPV SM1 před situací	HPV KL1 před situací	HPV SU2 před situací
> 70 mm	20	vysoká	průměrná až vysoká	vysoká

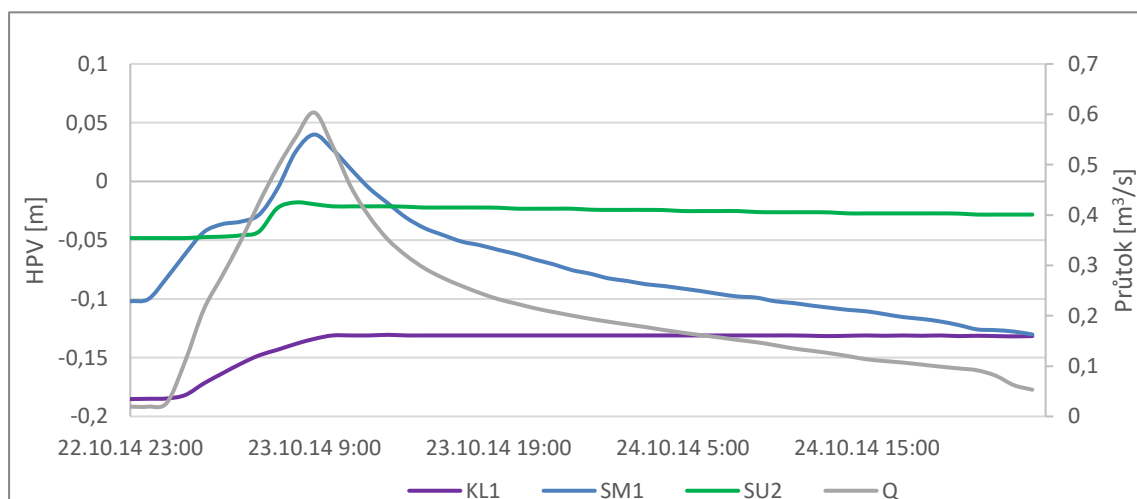
Tabulka 4: Základní charakteristika události z hlediska srážek a nasycení povodí

Danou událost zapříčinily velmi výrazné, až extrémní srážkové úhrny odpovídající 80 mm za událost s maximálním úhrnem 12.7 mm/h (Obrázek 40). Začátek srážek odpovídá zároveň začátku dne 23.10.2014, stejně tak v podobnou dobu byl odebrán i první vzorek automatickým vzorkovačem na toku RP. Nasycenost povodí před událostí je oproti předchozí popisované události naopak výrazná, čemuž nasvědčuje, jak index API5, jenž odpovídá hodnotě 20, tak i nadprůměrné hodnoty HPV ve vrtech SM1, KL1 i SU2 (Obrázek 41; Tabulka 4).

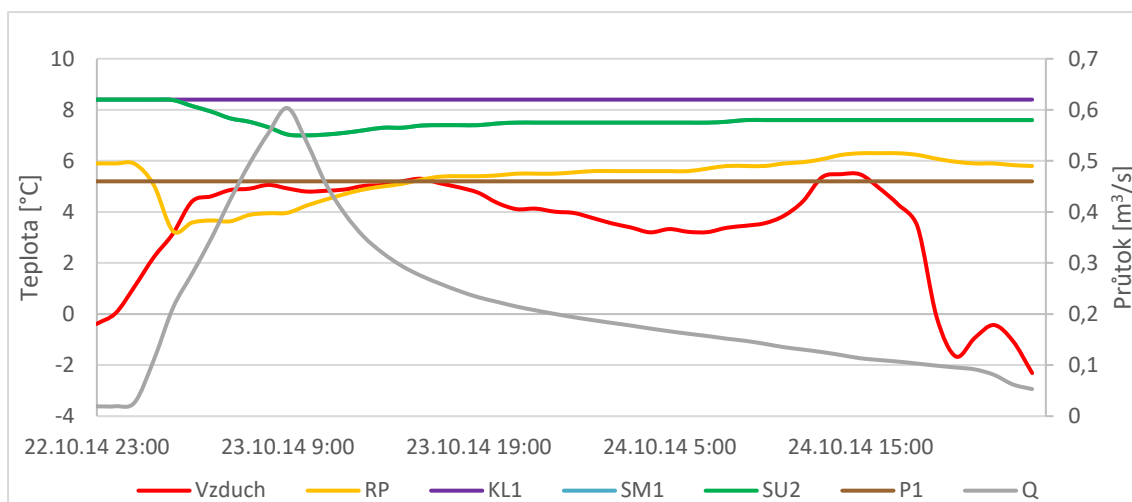
Izotopové poměry povrchové a podzemní vody v povodí toku RP před danou situací a částečně v jejím průběhu jsou zobrazeny na Obrázku 43.



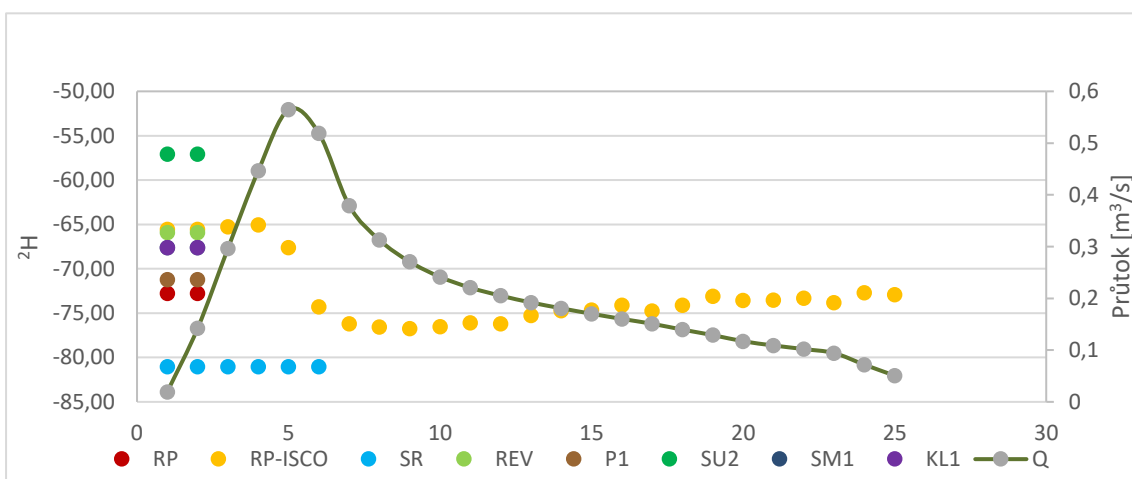
Obrázek 40: Průběh průtoku Rokytky přítok (Q) a srážkových úhrnů (SR) během události.



Obrázek 41: Průběh průtoku Rokytky přítok (Q) a HPV ve vrtech KL1, SM1 a SU2 v průběhu události



Obrázek 42: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a teploty vody ve vrtech KL1, SU2 a SM1, toku Rokytka přítok (RP), prameni P1 a teploty vzduchu v průběhu události.



Obrázek 43: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a stabilních izotopů ^2H před danou separací ve vzorcích z pramenů P1 a REV, vrtů SM1, KL1 a SU2, toku Rokytka přítok (RP) a v průběhu dané separace ze srážek (SR) a toku Rokytka přítok (RP-ISCO).

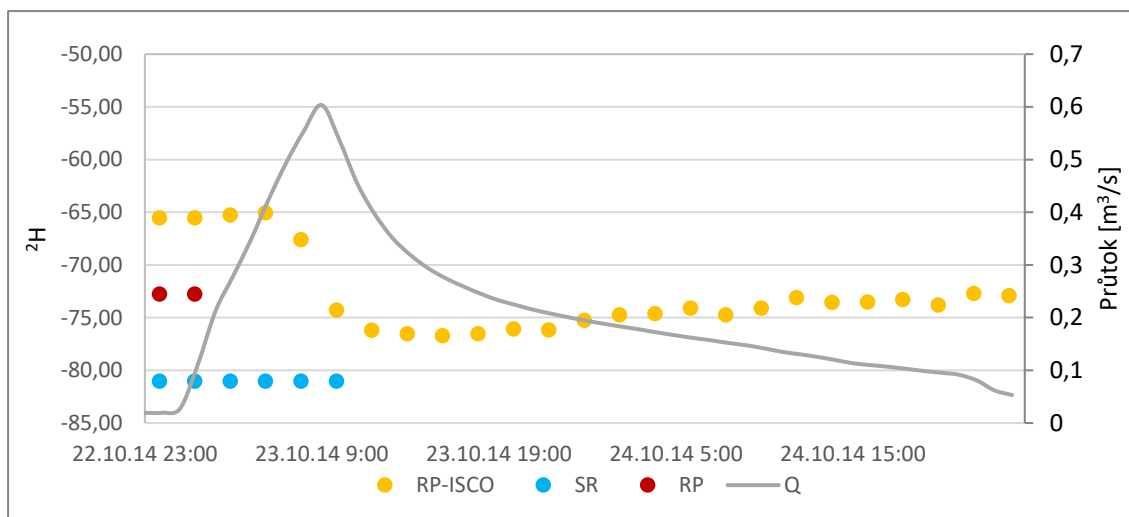
doba od začátku srážek do max. průtoku	9
doba mezi začátkem a vrcholem vlny-z hlediska průtoku	7
doba mezi začátkem srážek a začátkem vlny	1
doba průchodu srážek (Q)	2
doba průchodu srážek (izotopy)	10

Tabulka 5: Daná tabulka zobrazuje vzhledem k dané separaci důležité doby vybrané z Tabulky 1 výše.

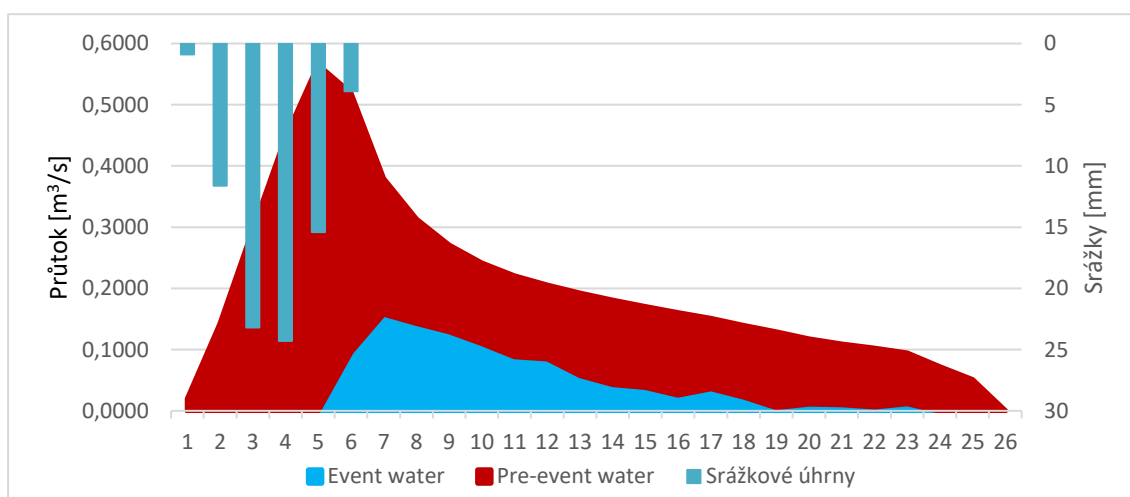
Pro danou situaci byly vytvořeny dvě dvousložkové (2S) a třísložková (3S) separace

Dvousložková separační metoda-SR:

Za pre-event water byla vybrána voda pocházející z toku RP, jenž se v daném toku nacházela před samotnou událostí a za event water odpovídaly srážky odebrané po události (Obrázek 44). K zapojení event water do toku došlo dle separace až v době 10 hodin po začátku srážek, nicméně daný čas pravděpodobně neodpovídá realitě, jelikož izotopové složení zapojených složek na začátku situace nesplňovalo předpoklady pro úspěšnou separaci (Obrázek 44). Před popsanou skutečností ještě předcházela reakce HPV ve vrtech KL1, SM1 a SU2 na příčinné srážky, jenž byla především ve vrtu SM1 velmi výrazná (Obrázek 41) a nastala ještě před samotnou reakcí toku RP, zatímco ve zbývajících dvou vrtech nastala přibližně ve stejný čas jako v toku. Naopak v době zapojení událostní vody dle této separace již docházelo k poklesům průtoku, HPV ve vrtech SM1 a SU2, zatímco ve vrtu KL1 a stále ještě nebylo dosaženo kulminace. Z pohledu teploty vod v povodí RP, došlo na začátku celé události u některých složek k poklesům, kdy nejvýraznější a zároveň nejrychlejší pokles odpovídá toku RP (Obrázek 42), kde minima bylo dosaženo již 3 hodiny po začátku srážek, zatímco ve vrtech SM1 a SU2 odpovídá tato doba 9 hodinám a ve vrtu KL1 k žádné změně teploty za celou situaci nedošlo. O dalších 6 hodiny později, vzhledem k prvnímu zapojení událostní vody do toku a zároveň, 10 hodin po maximálních hodinových srážkových úhrnech, nastalo nejvyšší zapojení této vody do toku, kdy se její podíl v toku RP pohyboval kolem 48 %. V daný čas pokračoval pokles hladin ve vrtech SM1 (výrazný), SU2 a toku RP a došlo ke kulminaci HPV ve vrtu KL1. Naopak teplota vody v toku stále rostla, stejně tak byl zaznamenán mírný růst i u teploty vody vrtech SM1 a SU2. U teploty vody ve vrtu KL1 nebyla opět zaznamenána žádná změna. Ve zbývajících částech separace následoval postupný pokles obou separačních složek s drobnou výjimkou u událostní vody. Současně s tímto poklesem pokračovalo částečně i chování výše uvedených složek z předchozího časového úseku. Výše popisované změny v podílech zastoupení jednotlivých složek dané separace je znázorněno na Obrázku 45.



Obrázek 44: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace

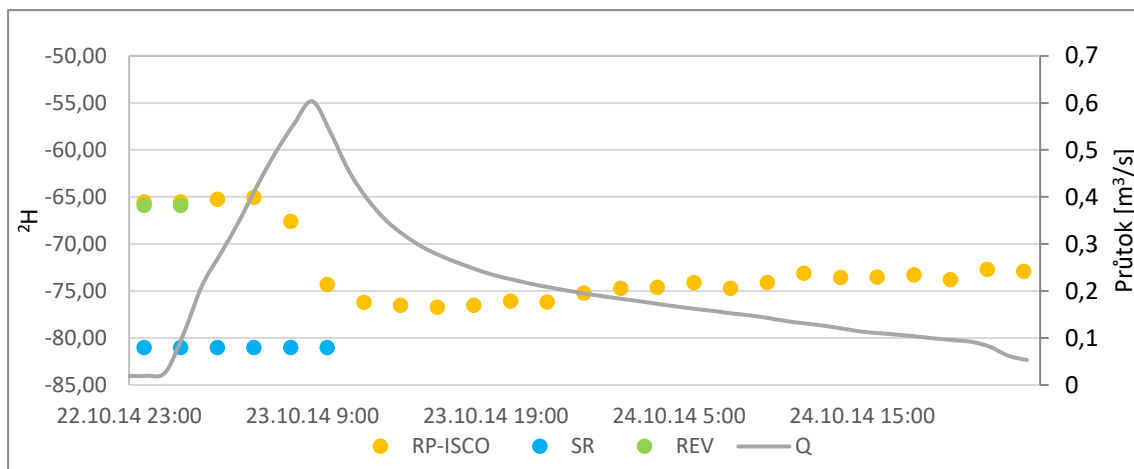


Obrázek 45: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.

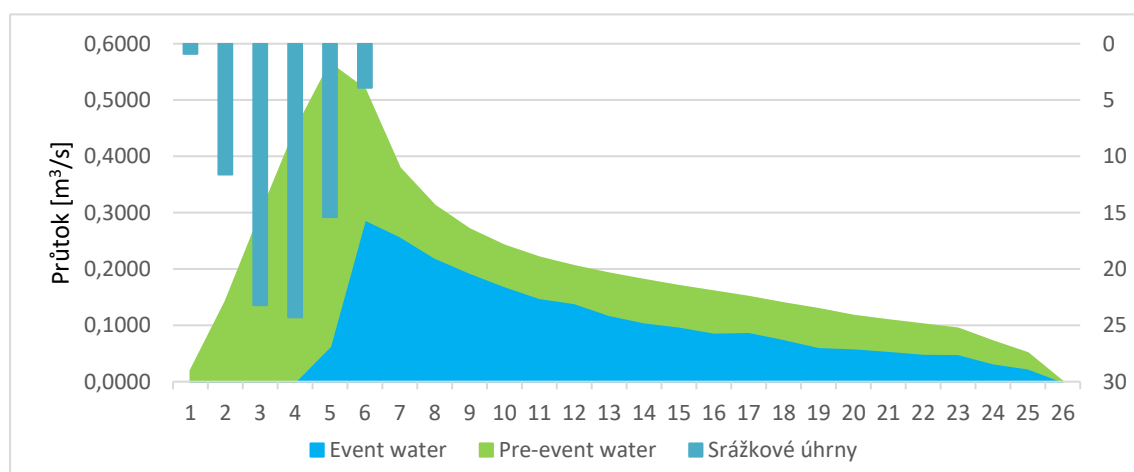
Dvousložková separační metoda-SR:

Pro druhou dvousložkovou separaci pro tuto situaci bylo oproti první separaci využito jiného zdroje pro tzv. před-událostní vodu, kdy byla voda z toku RP nahrazena vodou z pramene REV (Obrázek 46). Průběh samotné separace je podobný, ovšem s rozdílem, že zapojení událostní vody (srážek) v toku je výraznější po celou dobu separace (Obrázek 47) a také se dle této separace objevuje událostní voda v toku o dvě hodiny dříve, což je ovšem dáno podobnějším izotopovým složením před-událostní vody a vody v toku RP. Z pohledu času maximálního procentuálního zastoupení událostní vody v toku je tomu stejně jako u předchozí separace, ovšem s rozdílem v podobě maximálního zastoupení této vody, jenž dosahuje až 71%. Po maximu

následuje pozvolný procentuální pokles událostní vody v toku, nicméně i na konci separace se tato složka podílí více než 40 % na složení vody v toku RP.



Obrázek 46: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.



Obrázek 47: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.

Shrnutí výše uvedených dvousložkových separací

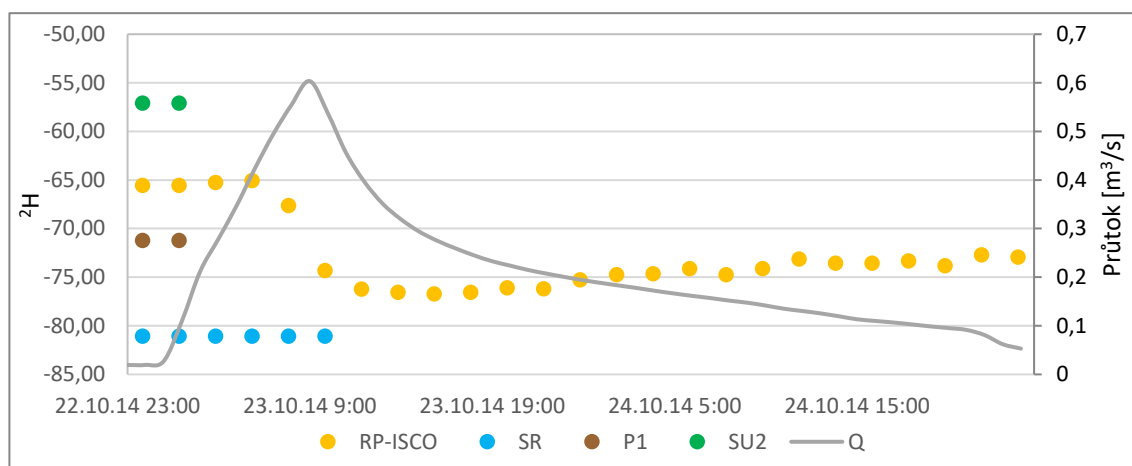
Stav nasycenosti před událostí u této situace lze hodnotit jako poměrně vysoký, stejně tak i samotné příčinné srážky byly velmi výrazné. Zapojení událostní vody do toku je oproti realitě u obou separací pravděpodobně posunutě, nicméně dobu maximálního zapojení událostní vody se již podařilo pomocí separačních výpočtů správně určit. Při srovnání dvou výše provedených separací založených na stejných principech a lišících se ve složce pre-event water, můžeme konstatovat, že voda v toku RP je v průběhu dvousložkové separace tvořena spíše vodou ze srážek a podzolové části povodí než z rašelinné, což koresponduje i při porovnání hodnot izotopů v průběhu

situace a izotopy z pramene P1 před situací a srážek. Nicméně na začátku situace v toku RP zřejmě dominuje složka z pramene REV (dle izotopového složení.). Poté dojde zřejmě k rychlému zapojení srážek (díky vysokému nasycení a jejich velikosti). Později se přidává i voda z pramene KL1, SM1 a úplně naposled částečně i voda z vrtu SU2 (dle Obrázku 41).

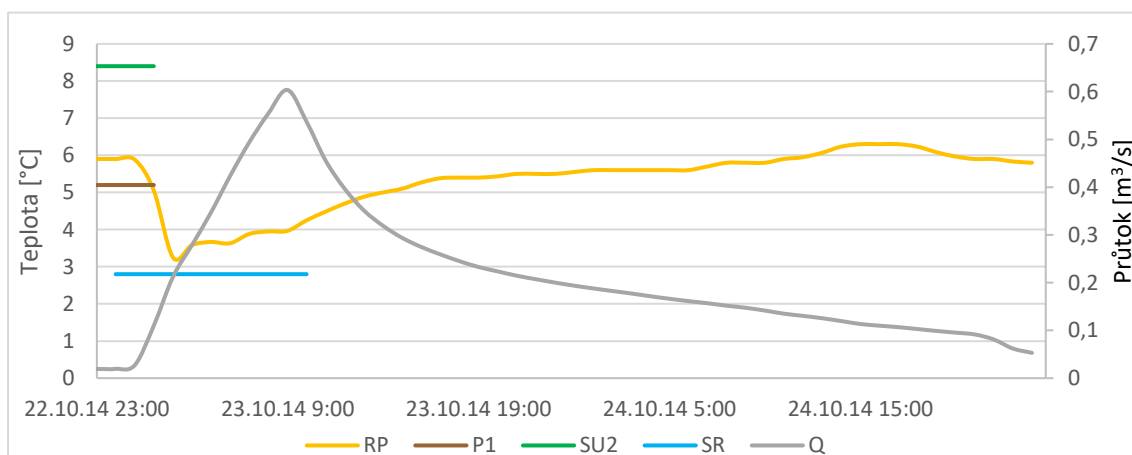
Třísložková separační metoda:

Separace je tvořena složkami P1, SR a vodou z vrtu SU2, který nahradil vodu z pramene REV (Obrázek 48 a 49), z důvodu nefunkční separace při použití pramene REV. Na začátku separace dominuje v toku složka vody z pramene P1 (80 % z celkového toku RP), která během čtyř hodin klesá téměř o polovinu (46 %) a to na úkor vody z vrtu SU2 a především ze srážek. Současně s danou změnou poměrů v toku nastává ve všech vrtech zvýšení HPV, kdy zejména ve vrtech SM1, KL1 jde o výrazné zvýšení, naproti tomu ve vrtu SU2 je výrazně menší. Dále v dané období mírně klesá teplota vody ve všech vrtech (kromě KL1) a také výrazněji v toku, naopak teplota vzduchu v návaznosti se začátkem srážek roste. V další části separace necelých 10 hodin od začátku srážek je kromě maximálního průtoku také dosaženo maximálních procentuálních poměrů v této separaci u složek SR (47 %) a SU2 (22 %) a naopak nejnižšího u složky reprezentující vodu z pramene P1 (31 %). Zároveň je na konci dané doby také zaznamenáno maximum HPV ve vrtu SU2 (23.10. 2014 8:00), dále pokračující růst ve zbylých výše uvedených vrtech a také stále se snižující teplota ve všech vrtech. Teplota vody v toku RP naproti tomu začala nepatrně růst. Pro následující část separace nebyla dostupná data, respektive dle daných izotopových poměrů a teplot zúčastněných složek nebylo možné určit danou část separace, a tedy přibližný průběh separace jednotlivých složek je odhadnut na základě dvousložkových separací a dle izotopových poměrů jednotlivých zapojených složek (čárkované části na Obrázku separace). Z pohledu ostatních složek v povodí došlo během této doby separace ke skončení srážek a kulminaci HPV ve vrtech SM1 (23.10. 2014 9:00), KL1 (23.10. 2014 10:00). Dále byly zaznamenány teplotní minima vody ve vrtech SU2 (23.10. 2014 9:00) a SM1 (23.10. 2014 10:00) zatímco teplota vody v toku RP dále postupně rostla. V dané době bylo zaznamenáno rovněž izotopové minimum v toku RP. Pokračující část separace byla již mohla být spočtena na základě dostupných dat a v její první časově delší fázi trvající přibližně od 23.10.2014 17:50 do 24.10.2014 15:50 je možné pozorovat postupný pokles dominující složky z pramene P1 (respektive vody mající

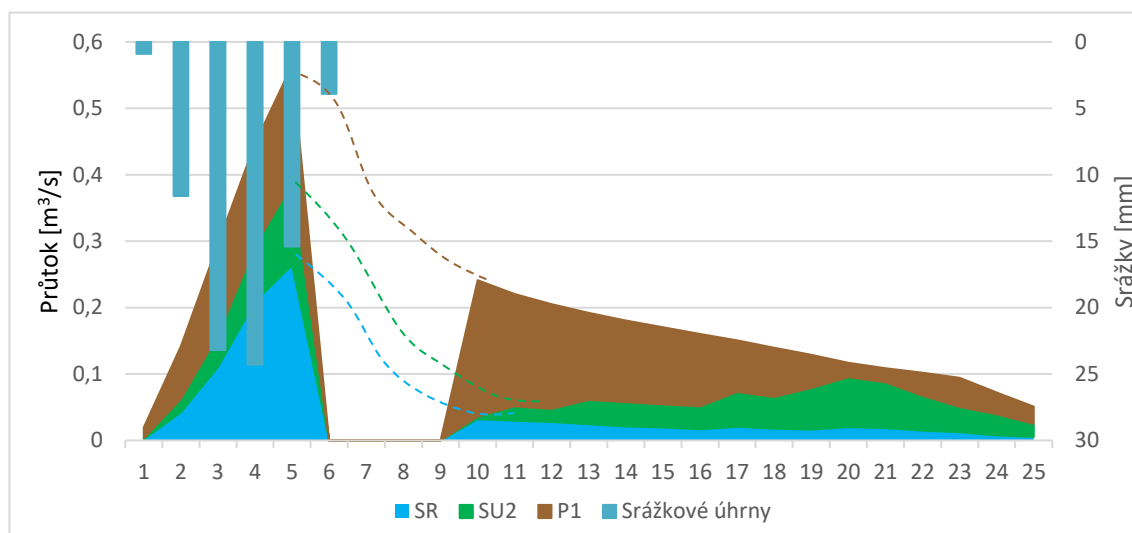
podobný izotopový signál), až na minimum za celou situaci v podobě 19% podílu na celkovém toku RP, a naopak nárůst vody z vrtu SU2 (respektive vodou z rašelinné části povodí), jejíž podíl na složení toku RP se na začátku této části separace pohyboval pod 10 % a na konci zaujímal až 63 %. Současně s danými změnami pokračoval růst teploty vody v toku RP, který na konci této části separace dosáhl svého maxima (možná indikace proudění vody z REV do toku RP), a výrazný pokles HPV ve vrtu SM1. Z pohledu teploty vody ve vrtech pokračovalo velmi mírné zvýšení teploty ve vrtech SM1 a SU2. V závěrečné fázi separace došlo k postupné výměně hlavní složky v toku, kdy voda z pramene P1 postupně nahrazovala vodu z vrtu SU2. Zároveň pokračoval výrazný pokles HPV ve vrtu SM1, zatímco HPV ve zbývajících vrtech se už výrazněji neměnila. Bez reakce naproti tomu stále zůstala teplota vody ve vrtu KL1, kde nenastala žádná změna za celý průběh separace. Výše popisované změny v podílech zastoupení jednotlivých složek dané separace je znázorněno na Obrázku 50.



Obrázek 48: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.



Obrázek 49: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek teploty vody a srážek do separace.



Obrázek 50: Zobrazení zastoupení srážek (SR), vody z pramene P1 a vrtu SU2 v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů. Čárkovanými křivkami je znázorněn předpokládaný průběh separace pro její jednotlivé složky.

Shrnutí tříložkové separace a celé situace:

Stejně jako u dvousložkových separací není ani tato separace kompletní, nicméně zde můžeme pozorovat začátky zapojení srážkové či událostní vody do toku, které je poměrně rychlé a také poměrně výrazné, stejně jako u dvousložkových separací, kde sice nelze přesně určit, zda se jedná čistě o srážkovou vodu, nicméně je určitě velkou součástí separované složky. Zároveň tato separace obecně potvrzuje i zjištění dvousložkových separací, tedy že se voda z rašelinné části povodí v první části separace příliš nezapojuje.

Na začátku situace můžeme pozorovat jako dominantní složku P1, která je postupně vytlačována složkami SU2 a především SR. S danými změnami koresponduje pokles teploty vody v toku, jenž byla zřejmě způsobena zřejmě příčinnými srážkami, které se dostávaly díky poměrně velkému nasycení povodí a jejich velikosti přímo do toku, a částečně zřejmě mohlo docházet i k povrchovému odtoku, čemuž nasvědčuje i poměrně krátká doba zdržení srážek dle průtoku, odpovídající 2 hodinám. Kromě změn teploty vody v toku, docházelo i ke změnám teploty vody ve vrtech pravděpodobně díky příčinným srážkám. Na druhou stranu izotopové složení vody v toku v době zvýšení průtoku a jeho maxima s izotopovým složením srážek příliš nesedí, takže to vypadá, že byla opět vytlačena do toku voda, co již v povodí byla, respektive se mohlo jednat o vodu z vrtů SM1 a KL1, kdy došlo na základě vysoké HPV již k jejich překročení. Následující část separace chybí, nicméně v dané době bylo zřejmě dosaženo maxima

z hlediska zapojení srážek i s ohledem na izotopové poměry v toku RP (nejnižší hodnota izotopového poměru za situaci), zároveň nastalo i opětovné velmi výrazné zvýšení poměru P1 a zřejmě snížení složky SU2. Doba zdržení dle izotopů odpovídala 10 hodinám, kdy tento fakt spíše potvrzuje teorii, že vzestupná část průtokové vlny byla tvořena z velké části vodou, která již byla v povodí před srážkou (voda ze všech vrtů, kde se výrazně zvýšila HPV) . Zároveň na začátku této části separace došlo k výrazné změně izotopového signálu v toku a zároveň i k růstu teploty vody, což nasvědčuje opět tomu, že se do toku začala výrazným způsobem dostávat srážková voda (začala růst i teplota srážek-vzduchu) a asi by i seděla doba zdržení dle izotopů. V poslední části separace následoval pokles zastoupení srážkové vody a P1 na úkor postupného růstu vody z SU2 což částečně koresponduje s růstem teploty v toku RP, způsobené zřejmě příchozí složkou vody právě ze SU2 a s postupnou změnou izotopového signálu v toku RP. V úplném závěru separace a zároveň v době, kdy již došlo téměř k návratu průtoku na hodnoty před událostí, došlo k opětovnému růstu zastoupení vody z pramene P1 v toku, naopak voda z SU2 klesá, stejně tak voda ze srážek, tedy zastoupení vody v toku se postupně navracelo k původnímu stavu před událostí.

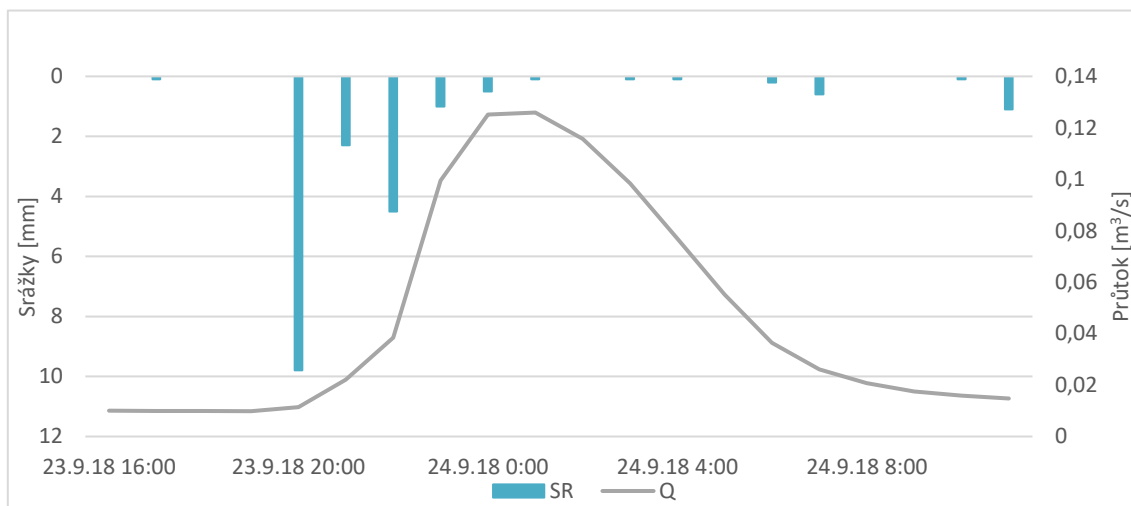
5.4.1.3. Separační událost 23. –24.9.2018 - Velké srážkové úhrny při nízkém nasycení povodí

SR	API5	HPV SM1 před situací	HPV KL1 před situací	HPV SU2 před situací
20 mm	> 5	vysoká	nízká	nízká

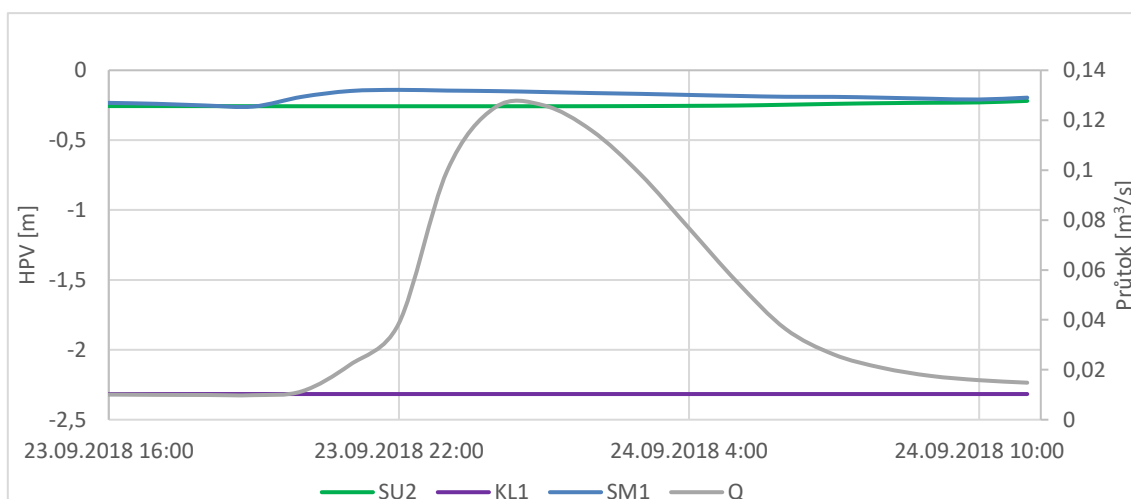
Tabulka 6: Základní charakteristika události z hlediska srážek a nasycení povodí

K události došlo díky poměrně velkým (20 mm) (Obrázek 51) 4hodinovým srážkám, kdy nasycenosti povodí před těmito srážkami odpovídala nízkému stavu- API5=2.88 a HPV ve vrtech KL1 a SU2 byly podprůměrné, pouze HPV ve vrtu SM1 již byla před situací zvýšená (Obrázek 52; Tabulka 6).

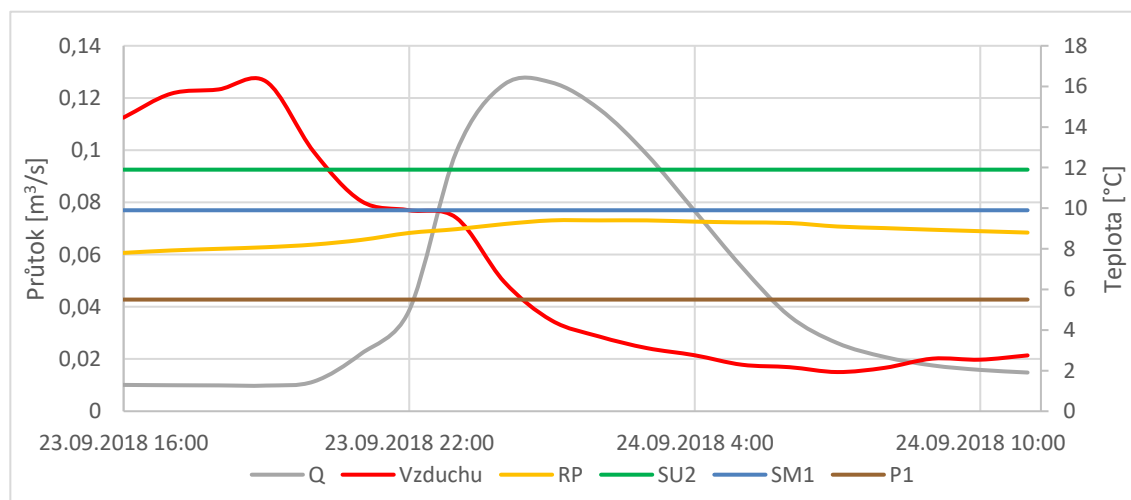
Izotopové poměry povrchové a podzemní vody v povodí toku RP před danou situací a částečně v jejím průběhu jsou zobrazeny na Obrázku 54.



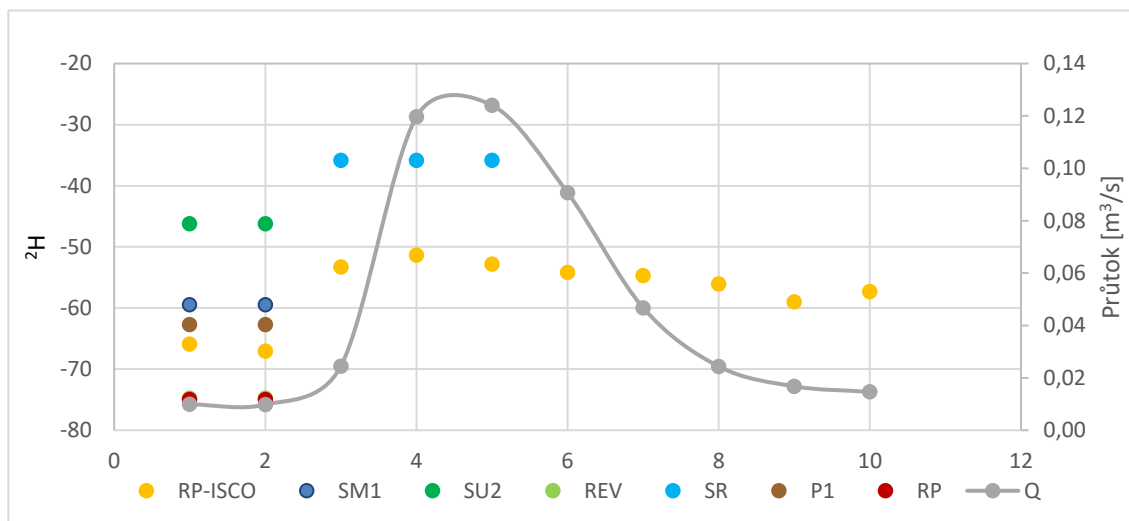
Obrázek 51: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a srážkových úhrnů (SR) během události.



Obrázek 52: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a HPV ve vrtech KL1, SM1 a SU2 v průběhu události



Obrázek 53: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a teploty vody ve vrtech SU2 a SM1, toku Rokytka přítok (RP), prameni P1 a teploty vzduchu v průběhu události.



Obrázek 54: Průběh průtoku Rokytky přítok (Q) a stabilních izotopů ^2H před danou separací ve vzorcích z pramenů P1 a REV, vrtů SM1 a SU2, toku Rokytky přítok (RP) a v průběhu dané separace ze srážek (SR) a toku Rokytky přítok (RP-ISCO).

doba od začátku srážek do max. průtoku	5
doba mezi začátkem a vrcholem vlny-z hlediska průtoku	6
doba mezi začátkem srážek a začátkem vlny	0.5
doba průchodu srážek (Q)	3
doba průchodu srážek (izotopy)	1.5

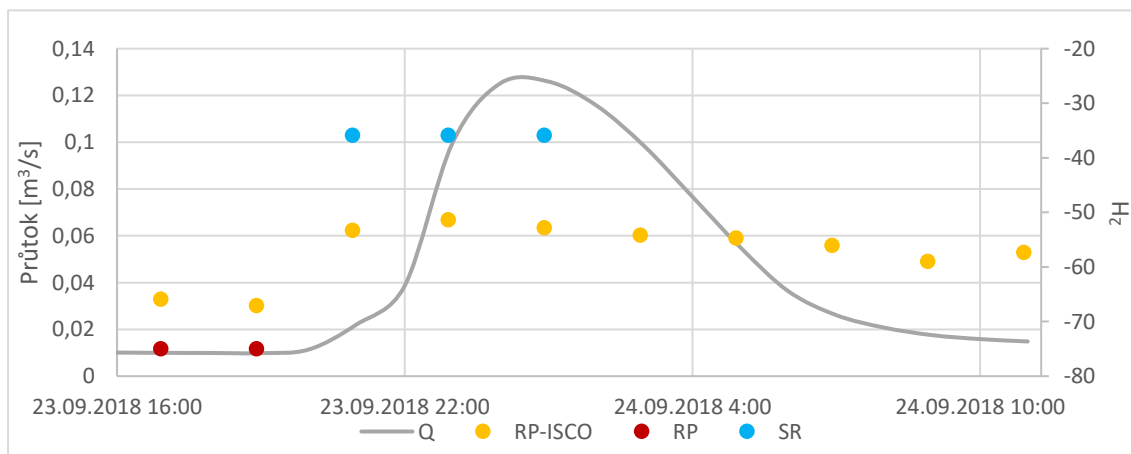
Tabulka 7: Daná tabulka zobrazuje vzhledem k dané separaci důležité doby vybrané z Tabulky 1 výše.

Pro danou situaci byla vytvořena jedna dvousložková (2S) a jedna tříložková (3S) separace

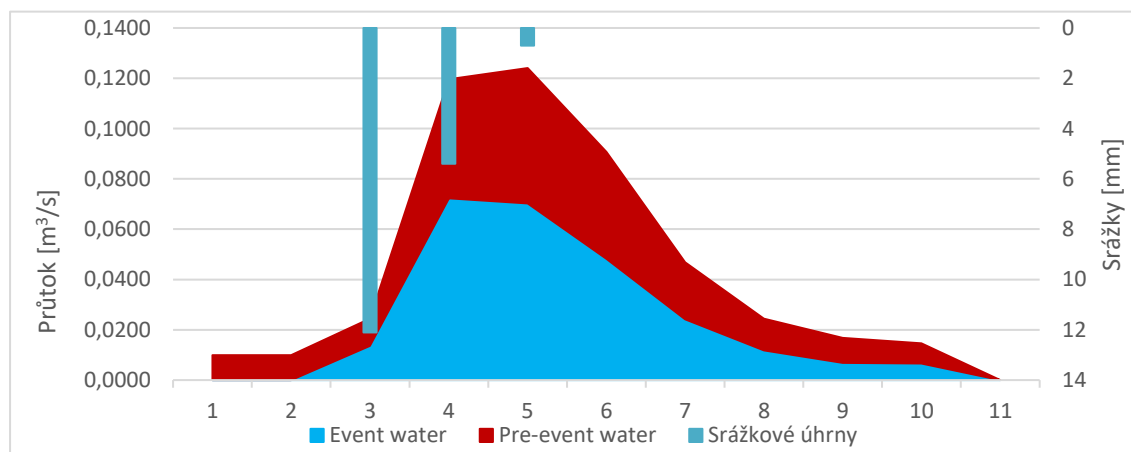
Dvousložková separační metoda-SR:

Pro danou událost odpovídala pre-event water složce RP a event water srážkám (Obrázek 55). Událostní voda se zapojila do toku velmi rychle, respektive ani ne hodinu po začátku srážek, tedy v době výrazného poklesu teploty vzduchu, naopak teplota vody toku RP pokračovala v denním růstu (Obrázek 53). Kromě růstu průtoku toku RP se zvýšila i HPV ve vrtu SM1, naopak vrty KL1 a SU2 byly bez reakce. Přibližně o dvě hodiny později dosáhla událostní voda v toku svého maxima (z pohledu objemového i procentuálního zastoupení-60 %), zároveň v době nejvyššího odebraného izotopového poměru v toku RP za celou situaci, nicméně maximální průtok za celou situaci ještě dosažen nebyl (až téměř o dvě hodiny později), stejně tomu bylo i u teploty vody daného toku, jenž stále postupně rostla, zatímco ve vrtu SM1 ještě před tímto

maximálním zapojením již kulminace HPV proběhla. Ve vrtech KL1 a SU2 stále nedošlo k žádným změnám. V dalším průběhu separace v následujících 2 hodinách již následoval postupný pokles (procentuální i objemový) zastoupení událostní vody v toku i přes to, že průtok stále rostl, respektive dosáhl kulminace, a tedy doba zdržení počítaná prostřednictvím izotopů byla v tomto případě kratší než právě na základě průtoku. Tento stav doprovázela i kulminace teploty vody RP a pokles HPV ve vrtu SM1. U HPV ve vrtech SU2 a KL1 stále nebyla zaznamenána žádná reakce. Zbýlá část separace byla ve znamení pokračujícího poklesu zastoupení událostní vody v toku, byť velmi pomalého, kdy již v době kdy bylo dosaženo hodnot téměř základního odtoku RP zaujímala událostní voda v toku stále přes 40 %. Současně s tímto poklesem klesal i průtok a teplota vody RP, HPV ve vrtu SM1 a téměř na konci separace zareagovala HPV ve vrtu SU2, u níž došlo k mírnému zvýšení. HPV ve vrtu KL1 zůstala po celou dobu separace bez reakce. Výše popisované změny v podílech zastoupení jednotlivých složek dané separace je znázorněno na Obrázku 56.



Obrázek 55: Průběh průtoku Rokytky a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.



Obrázek 56: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.

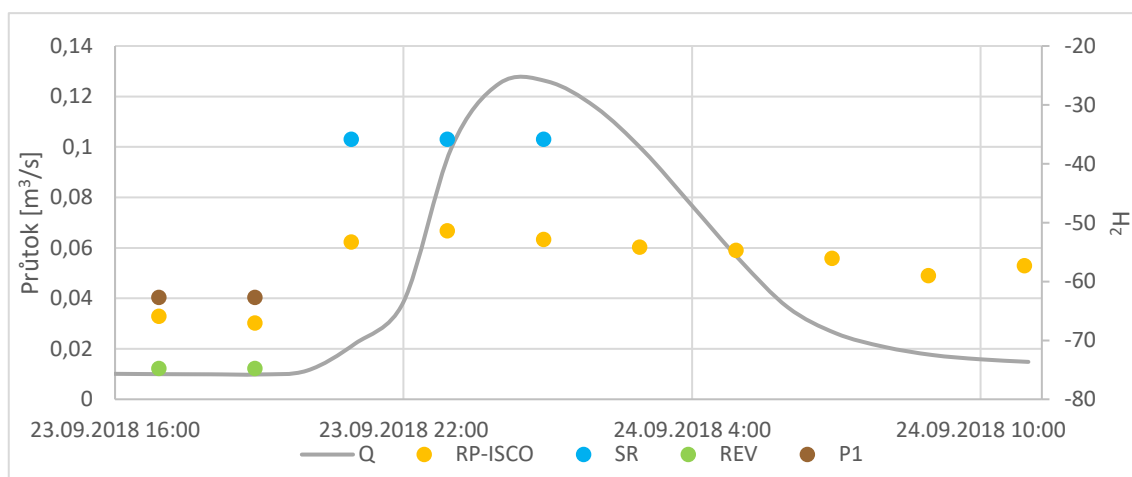
Shrnutí výše uvedených dvousložkové separace

Z daného je patrné, že zapojení událostní vody do toku je poměrně výrazné a rychlé, kdy zřejmě docházelo k povrchovému odtoku, jelikož změna zastoupení izotopů v toku byla po začátku srážek velmi rychlá, kdy izotopový peak předběhl peak průtoku RP a do toku se voda, jenž už byla v povodí dříve, dostala až po delším čase. Zároveň se v průběhu separace, resp. na jejím začátku zřejmě zapojovala vytlačená voda z povodí vodu z vrtu SM1, kde došlo k překročení na základě vysoké HPV, zároveň by daný fakt mohl být podpořen i tím, že teplota vody v toku RP mírně rostla i přesto, že srážky způsobily obecně poměrně výrazné ochlazení vzduchu a teplota vody v toku přesto rostla k podobné hodnotě jakou měla voda ve vrtu SM1.

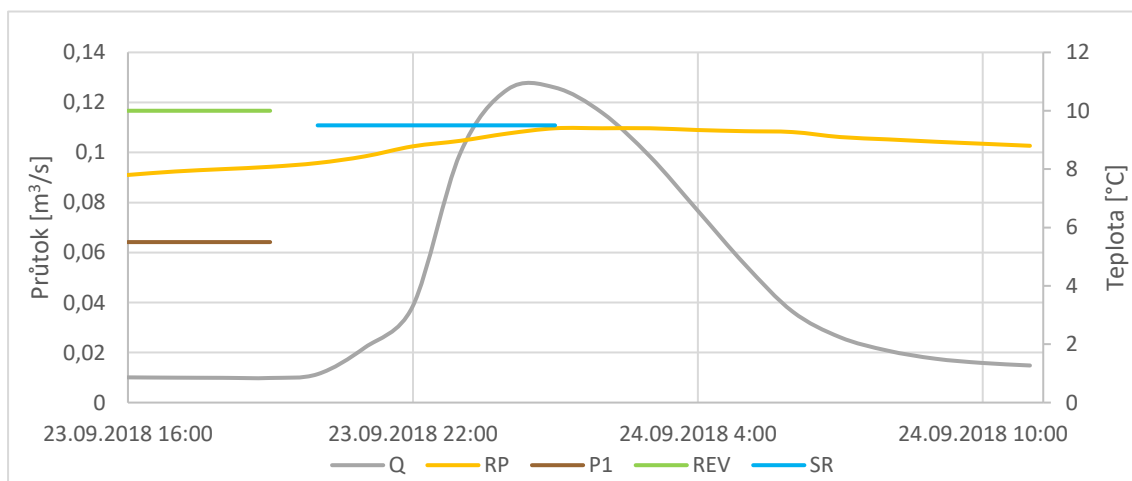
Třísložková separační metoda:

Složkami pro danou separaci byly srážky, voda z pramenů REV a P1 a voda z toku RP (ISCO) (Obrázek 57 a 58). Dva dny před začátkem situace dominovala v toku složka z pramene P1, nicméně těsně před začátkem situace (23.9.2018 18:00) ještě před začátkem srážek se situace obrátila a většinu toku RP tvořila voda z rašelinného pramene. Zároveň začalo docházet k začátku nárůstu HPV ve vrtu SM1 a teplotě vody v toku RP. Po dalších dvou hodinách a hodinu po začátku srážek již došlo v rámci separace k zapojení srážkové vody do toku, a to poměrně výrazně (44 % toku RP) na úkor snížení vody z REV (pokles na 22 %) současně s růstem HPV ve vrtu SM1 a také s pokračujícím růstem teploty vody v toku RP, zatímco HPV ve vrtech KL1 a SU2 nereagovala. Přibližně o dvě hodiny později 23.9.2018 23:00 v době nejvyššího izotopového signálu v toku RP za situací dosáhl podíl srážkové vody v toku svého procentuálního maxima (60 %), i přesto, že průtok toku RP stále v daný čas ještě rostl. Ze zbylých dvou složek separace se na toku RP v dané době více podílela voda z rašelinného pramene, kdy její zastoupení opět mírně vzrostlo a tvořilo pro tuto část separace téměř třetinový podíl vody v toku. Naproti tomu zastoupení vody z pramene P1 postupně pokleslo na téměř své minimum v průběhu separace. HPV ve vrtu SM1 již dosáhla kulminace pro danou situaci. O dvě hodiny později zaujímal maximum v toku za celou separaci voda z pramene REV (33 %) a naopak voda z pramene P1 své minimum (11 %), zastoupení srážek mírně pokleslo. Zároveň došlo i ke kulminaci samotného toku RP, přičemž přibližně hodinu poté (24.9.2018 2:00) následovalo i maximum teploty vody v toku RP a o další hodinu později začala reagovat voda ve vrtu

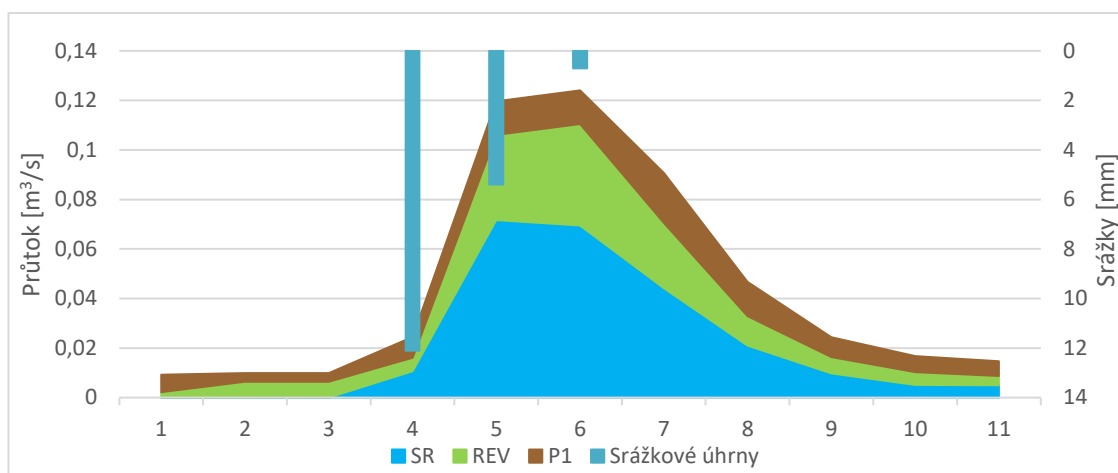
SU2 v podobě zvýšení HPV. Poslední fáze separace byla oproti předchozí fázi opačná, tedy pokračoval pokles srážkové vody v toku na hodnotu kolem 34 % na konci separace a dále byl pozorován velmi mírný procentuální pokles vody z rašelinného pramene. Zatímco podíl vody v toku z pramene P1 během této fáze postupně vzrostl až na 40 %. Současně v této konečné fázi pokračoval postupný pokles HPV ve vrtu SM1 a také teploty vody v toku RP. HPV ve vrtu KL1 zůstala po celou dobu separace beze změn, stejně tak teploty vody ve všech výše zmiňovaných vrtech. Výše popisované změny v podílech zastoupení jednotlivých složek dané separace je znázorněno na Obrázku 59.



Obrázek 57: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.



Obrázek 58: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek teploty vody a srážek do separace.



Obrázek 59: Zobrazení zastoupení srážek (SR) a vody z pramenů REV a P1 v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.

Shrnutí tříložkové separace a celé situace:

Z výše uvedeného popisu je patrné, že dominantní složkou v průběhu separace byla srážková voda, což potvrzuje i výsledek dvousložkové separace, kde se na složení toku podílela výrazným způsobem událostní (srážková) voda. Stejně jako u dvousložkové separace nastal u této metody vrchol srážkové či událostí vody v toku dříve než kulminace průtoku, což potvrzují i rozdílné doby zdržení průchodu srážek povodím, kdy doba zdržení počítána na základě izotopů je kratší než stejná doba získaná na základě průtoku. Maximální zapojení vody z pramene REV (z hlediska objemu vody i procent) nastalo vzhledem ke srážkovému maximu (dle izotopů) o 2 hodiny později, přibližně ve stejný čas jako svého maxima dosáhla v průběhu situace rostoucí teplota vody v toku RP či průtok téhož toku.

Výše uvedené souvislosti napovídají, že příčinná srážka zřejmě způsobila překročení zvýšené HPV ve vrtu SM1, jenž na ni reagoval a voda z daného vrtu začala v úvodní fázi zapojovat do toku RP (o čemž může svědčit i rostoucí teplota v toku RP i když teplota vzduchu výrazně poklesla) a způsobila počáteční zvýšení průtoku toku RP. Nicméně přibližně hodinu a půl po začátku srážek se již na základě izotopového signálu a uskutečněných separací se začala do toku dostávat srážková voda a v první vzestupné části separace byl tok především tvořen příčinnými srážkami, které se velké míře dostávaly do toku zřejmě díky jejich velikosti, případně intenzitě (v maximu 12 mm/h) a zřejmě docházelo i k povrchovému odtoku i přes poměrně nízké nasycení a až později se výrazněji do toku dostávaly ostatní složky separace, respektive voda z pramene REV, což kromě samotné separace může být patrné i z pozdějšího

zvýšení HPV ve vrtu SU2, kde následně mohlo dojít i k překročení a k zapojení této vody do toku, což by mohlo mít souvislost i se stále zvýšenou teplotou vody toku RP.

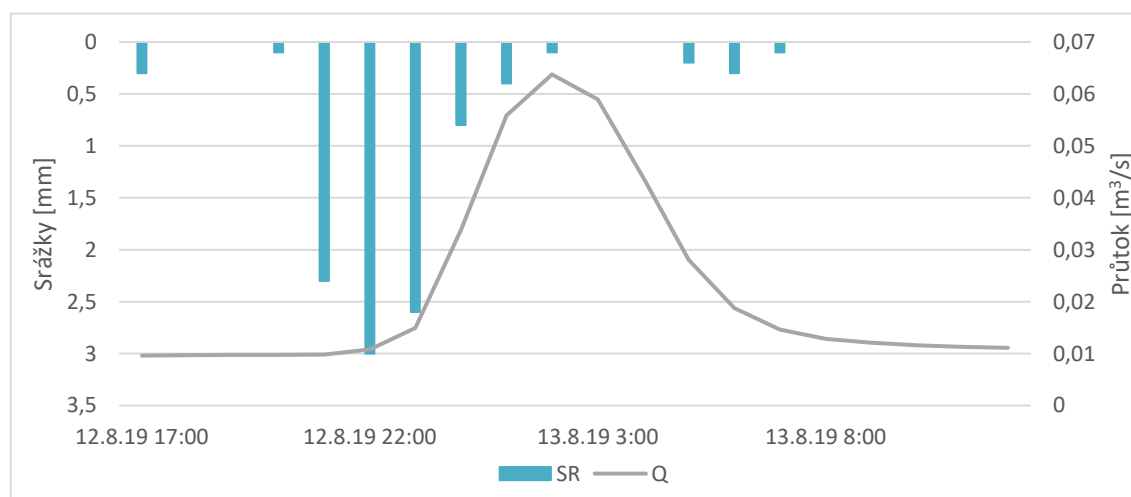
5.4.1.4. Separační událost 12. – 13. 8. 2019 Malé srážkové úhrny při velkém nasycení povodí

SR	API5	HPV SM1 před situací	HPV SU2 před situací
<15 mm	> 15	vysoká	nízká

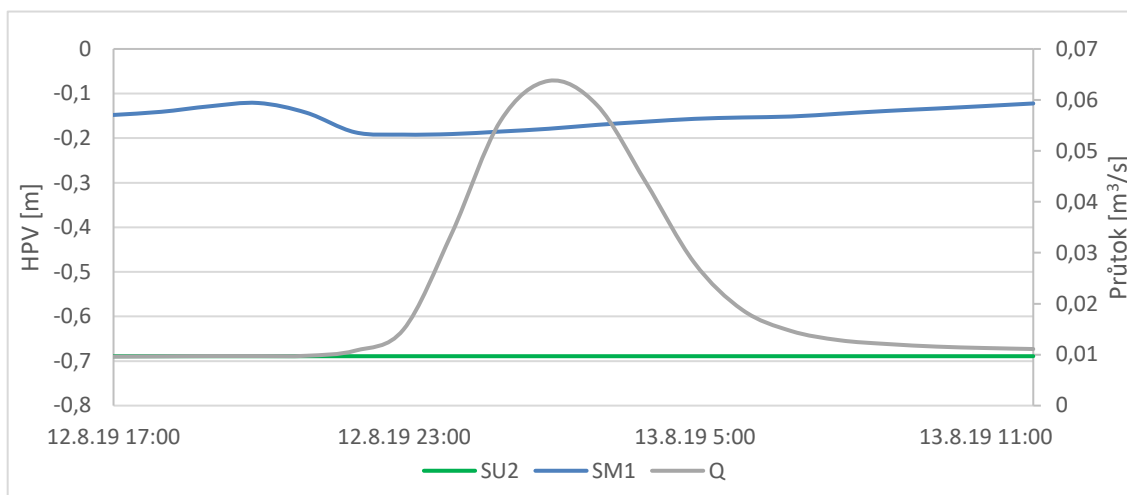
Tabulka 8: Základní charakteristika události z hlediska srážek a nasycení povodí

Danou událost zapříčinily relativně malé srážkové úhrny o velikosti 10 mm (Obrázek 60; Tabulka 8), jenž dopadly na již poměrně dobře nasycené povodí dle API5=16.5, nicméně HPV nebyla nijak zvýšená a dosahovala průměrných hodnot (Obrázek 61), stejně tak průtok před samotnou událost nebyl nijak zvýšen.

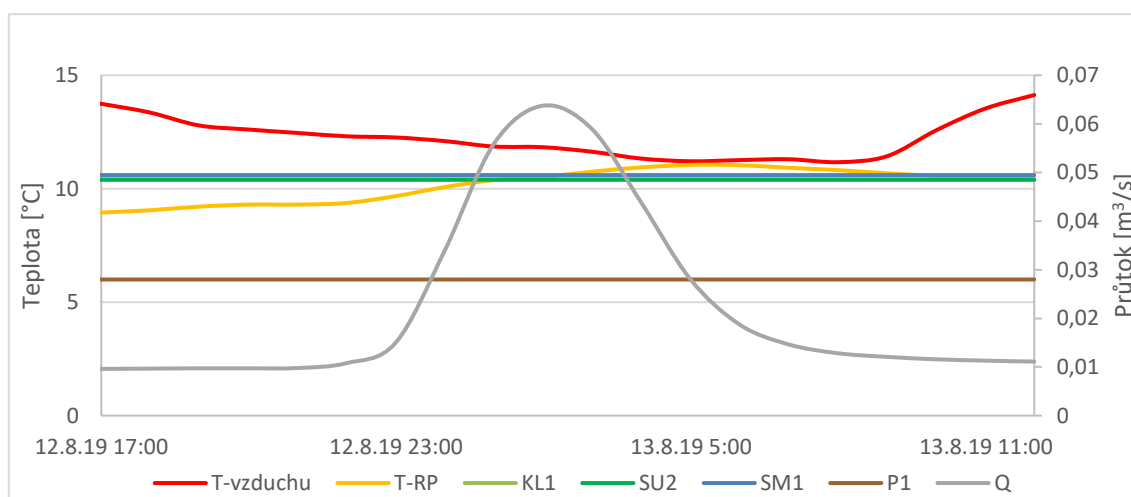
Izotopové poměry povrchové a podzemní vody v povodí toku RP před danou situací a částečně v jejím průběhu jsou zobrazeny na Obrázku 63.



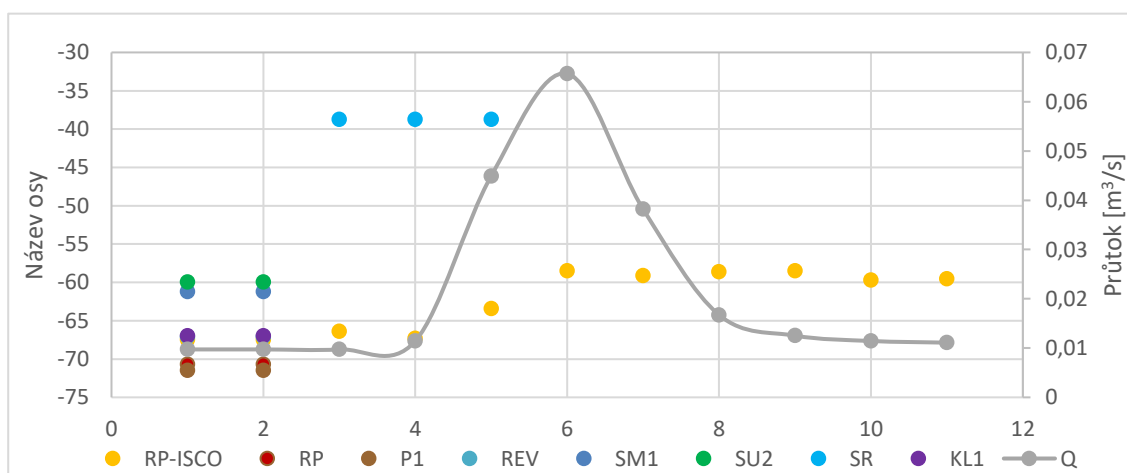
Obrázek 60: Průběh průtoku Rokytky přítok (Q) a srážkových úhrnů (SR) v průběhu události.



Obrázek 61: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a HPV ve vrtech SM1 a SU2 v průběhu události.



Obrázek 62: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a teploty vody ve vrtech KL1, SU2 a SM1, toku Rokytka přítok (RP), prameni P1 a teploty vzduchu v průběhu události.



Obrázek 63: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a stabilních izotopů ^2H před danou separací ve vzorcích z pramenů P1 a REV, vrtů SM1, KL1 a SU2, toku Rokytka přítok (RP) a v průběhu dané separace ze srážek (SR) a toku Rokytka přítok (RP-ISCO).

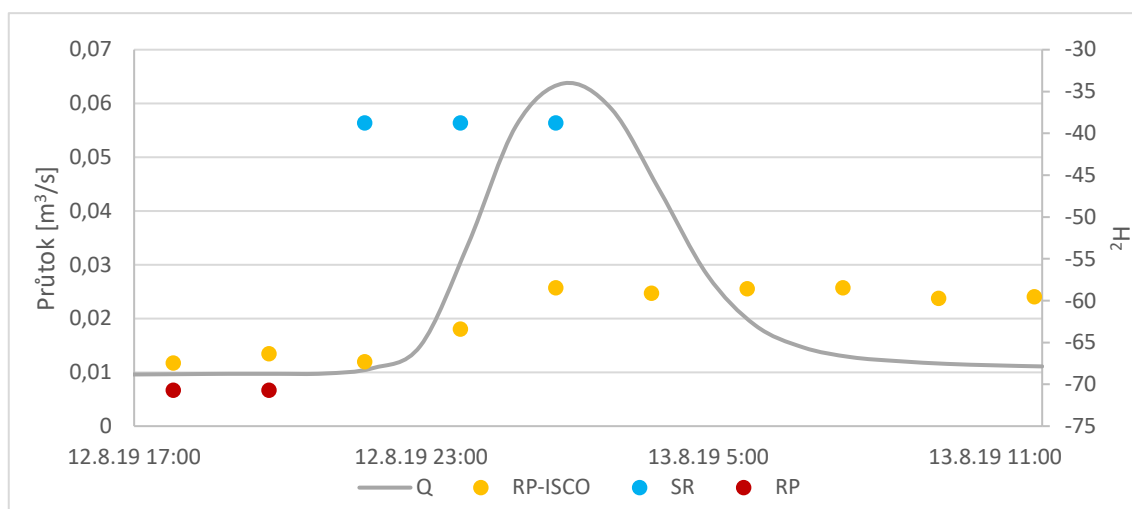
doba od začátku srážek do max. průtoku	9
doba mezi začátkem a vrcholem vlny-z hlediska průtoku	5
doba mezi začátkem srážek a začátkem vlny	4
doba průchodu srážek (Q)	3
doba průchodu srážek (izotopy)	3

Tabulka 9: Daná tabulka zobrazuje vzhledem k dané separaci důležité doby vybrané z Tabulky 1 výše.

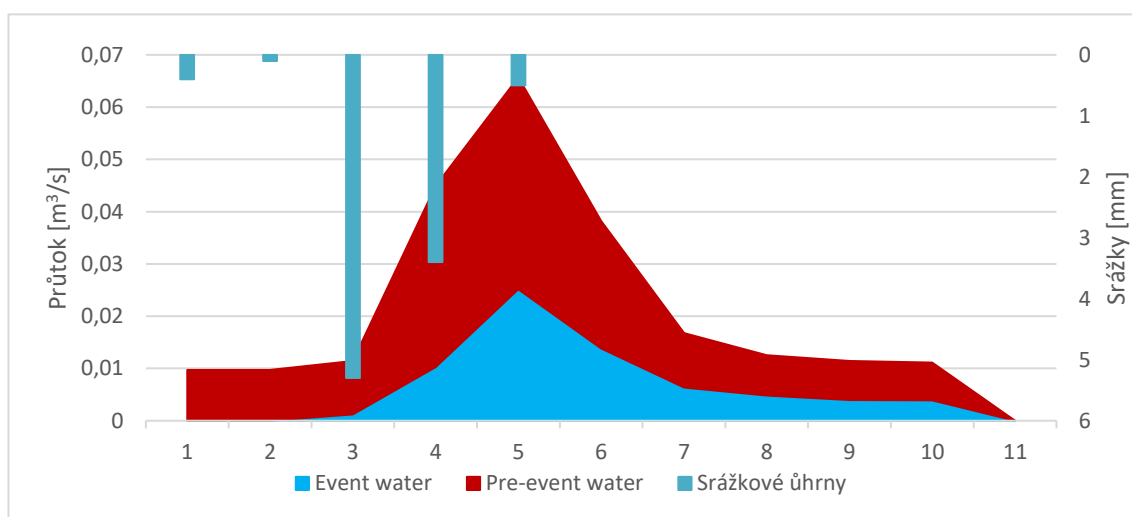
Pro danou situaci byly vytvořeny dvě dvousložkové (2S) a jedna tříložková (3S) separace

Dvousložková separační metoda-SR:

Pre-event water tvořila voda z toku RP odebraná před událostí a event water srážková voda (Obrázek 64). První zapojení událostní vody do RP (11 %) nastává na základě separace necelé dvě hodiny po začátku srážek, současně s již mírně zvýšením průtokem a teplotou vody RP, zatímco HPV ve vrtu SU2 zůstala neměnná a ve vrtu SM1 dokonce klesá. Zhruba o další 4 hodiny později událostní voda zaznamenává své maximum z hlediska objemu i procentuálního zastoupení (38 %) v toku RP. Přibližně ve stejný čas kulminoval průtok RP, zatímco HPV ve vrtu SM1 stále stoupat. Vrt SU2 stále nereagoval a teplota vody v toku RP pokračovala v růstu (Obrázek 62). Poté již pouze následoval postupný pokles událostní vody (především objemový, nikoliv výrazně procentuální, z čehož je patrné poměrně značné (34 %) zapojení událostní vody až do úplného konce situace (což potvrzují i hodnoty odebraných izotopů z toku v této části separace) současně s poklesem průtoku toku RP. HPV ve vrtu SM1 pokračovala v růstu, stejně tak teplota vody RP, u níž byla maximální hodnota naměřena přibližně 3 hodiny po maximálním zapojení událostní vody či maximálním průtokem toku RP. Výše popisované změny v podílech zastoupení jednotlivých složek dané separace je znázorněno na Obrázku 65.



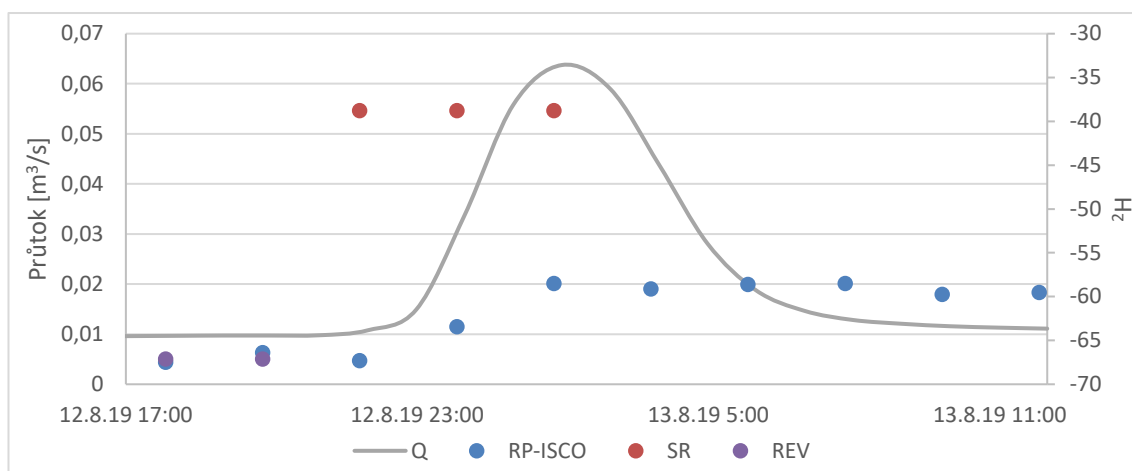
Obrázek 64: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.



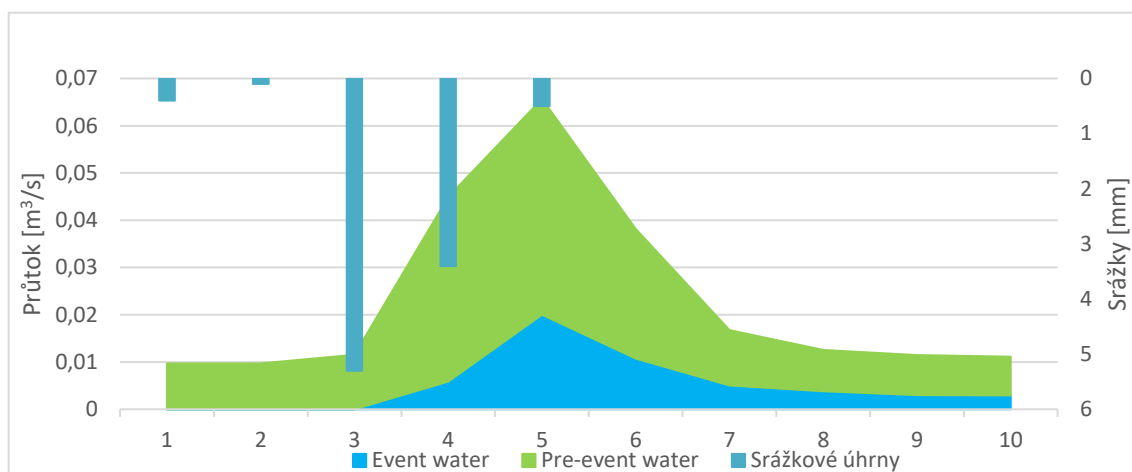
Obrázek 65: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.

Dvoustložková separační metoda-SR:

Pro druhou dvoustložkovou separaci pro tuto situaci bylo oproti první separaci využito složky REV jako zdroje pre-event water (Obrázek 66). Průběh samotné separace je téměř totožný jako v popsané separaci výše, s tím rozdílem, že zapojení událostní vody do toku je téměř v průměru o 8-10 % nižší, než když byla jako pre-event water použita voda z toku RP odebraná před událostní (Obrázek 67).



Obrázek 66: Průběh průtoku Rokytky a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.



Obrázek 67: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.

Shrnutí 2S situací: Průběh obou separací je částečně shrnut v předchozí separaci, tedy, že obě separace měly velice podobný průběh s tím rozdílem, že zapojení událostní vody do toku je téměř v průměru o 8-10 % nižší, u separace kde byla jako pre-event water použita voda z toku REV než když byla použita voda z toku RP odebraná před událostí.

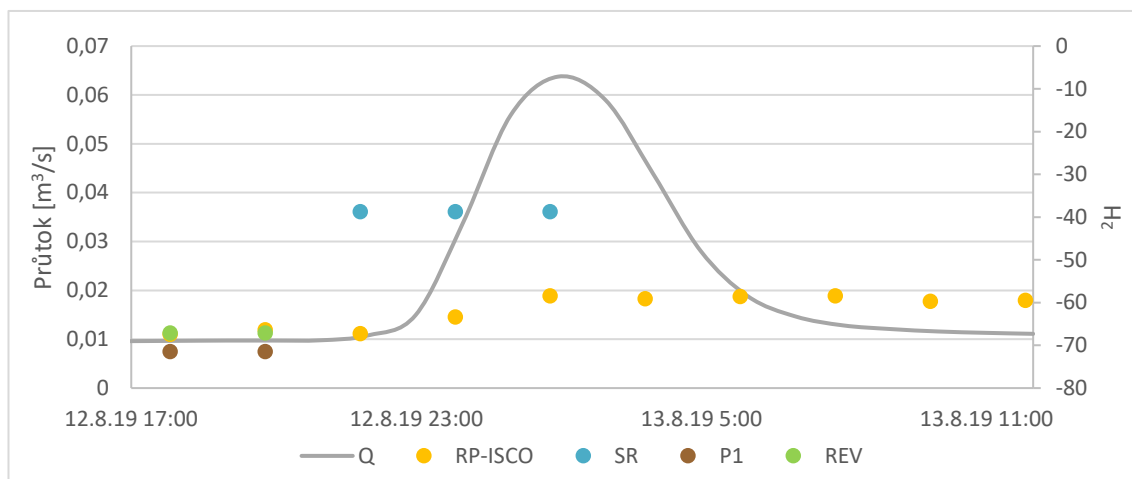
Daný fakt může naznačovat, že voda z rašelinného pramene byla před samotnou situací v toku RP více zapojena než voda z druhého pramene P1 (mající výrazně podobné izotopové složení jako tok RP při základním odtoku). Doba průchodu srážek povodím je poměrně rychlá a shodná jak z hlediska izotopů, tak i průtoku. Počáteční zvýšení průtoku toku RP nicméně bylo ovšem zřejmě zapříčiněno v prvotní fázi opět

vytlačenou vodou z povodí příčinnými srážkami. Původ této „staré“ vody lze špatně určit, vzhledem k chování HPV a teploty vody v dostupných vrtech (z hlediska dat) pro tuto situaci (u HPV z vrtu SM1 zřejmě došlo k překročení a zapojení do toku RP vzhledem ke zvýšené HPV, nicméně začala se daná voda zapojovat až později, protože HPV také začala stoupat až déle ne hned když začaly srážky nebo těsně po jejich začátku).

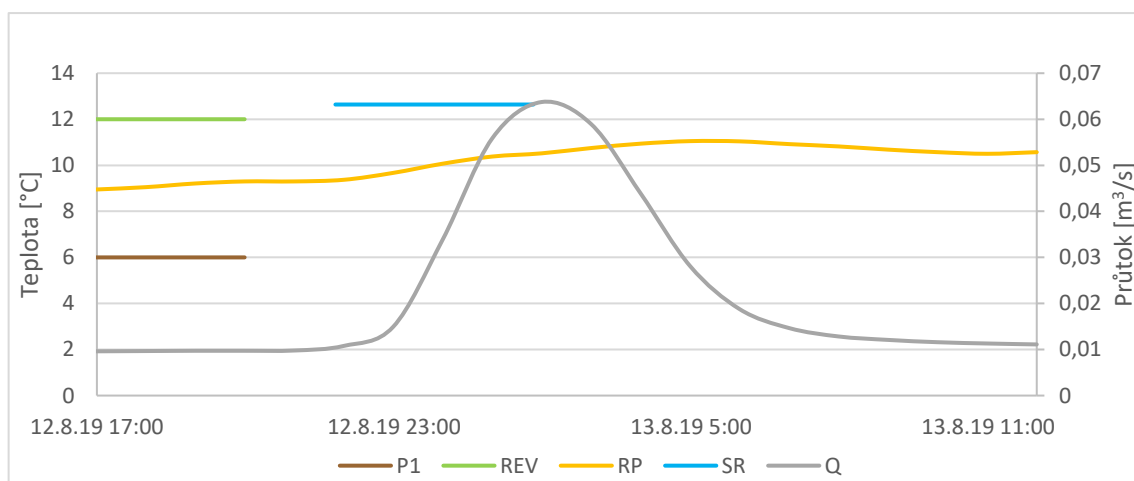
Třísložková separační metoda:

Složky pro tuto separaci odpovídaly vodě z pramenů REV a P1, vodě z toku RP (ISCO) a srážkám (Obrázek 68,69). Na začátku separace je vidět, že základní odtok před situací je rovnoměrně tvořen vodou z obou pramenů P1 a REV, což odpovídá izotopovému složení toku v toku RP v danou chvíli. Zároveň již dochází k velice mírnému růstu teploty vody v toku RP, a naopak poklesu teploty vzduchu. HPV ve vrtech KL1 a SU2 zůstává na hodnotách před situací, kromě vrtu SM1, kde dochází k poklesu. Po cca dvou hodinách od začátku srážek dochází k jejich prvnímu zapojení do toku RP, kdy poměr srážkové vody v toku odpovídá zatím pouhým 5 %, a také lze zároveň pozorovat rostoucí podíl vody z REV společně s již mírně zvýšením průtokem a teplotou vody RP, ovšem HPV ve vrtu SU2 zůstala neměnná a ve vrtu SM1 stále klesá. O další 4 hodiny později nastává maximální zapojení srážkové vody v toku (31 %) na úkor převážně procentuálního poklesu složky z pramenů REV a P1 (daná složka postupně klesá již od prvního zapojení srážek do toku). Současně s těmito změnami dosáhl kulminace průtok toku RP, zatímco teplota voda stále rostla. HPV ve vrtu SM1 stoupá. Ve vrtu SU2 a KL1 stále nedocházelo ke změnám. V následujících dvou hodinách poměrně výrazně pokleslo zastoupení srážkové vody v toku (na 12 %), stejně tak byl zaznamenán pokračující pokles u pramene P1. Dané poklesy proběhly na úkor výrazného procentuálního růstu vody z REV (ze 40 % na 70 %) ale i objemového. Stejně jako u složek SR a P1 docházelo také k poklesu průtoku RP. Naproti tomu ve vrtu SM1 pokračoval růst HPV, stejně tak teplota vody RP ještě nedosáhla svého maxima, jenž se odehrálo ještě o hodinu později. Zbylá část separace byla z pohledu jednotlivých složek ve znamení velmi mírného poklesu vody z REV (kdy se podílela na konci separace stále 62 % na složení toku RP) na úkor růstu vody z P1, srážková voda se na toku RP podílela stále podobným zastoupením (cca 11-12 %) až do stavu odpovídající základnímu odtoku, což naznačuje i izotopové složení toku RP v této části separace. Uvedený stav byl doprovázen pokračujícím poklesem průtoku RP a již také i

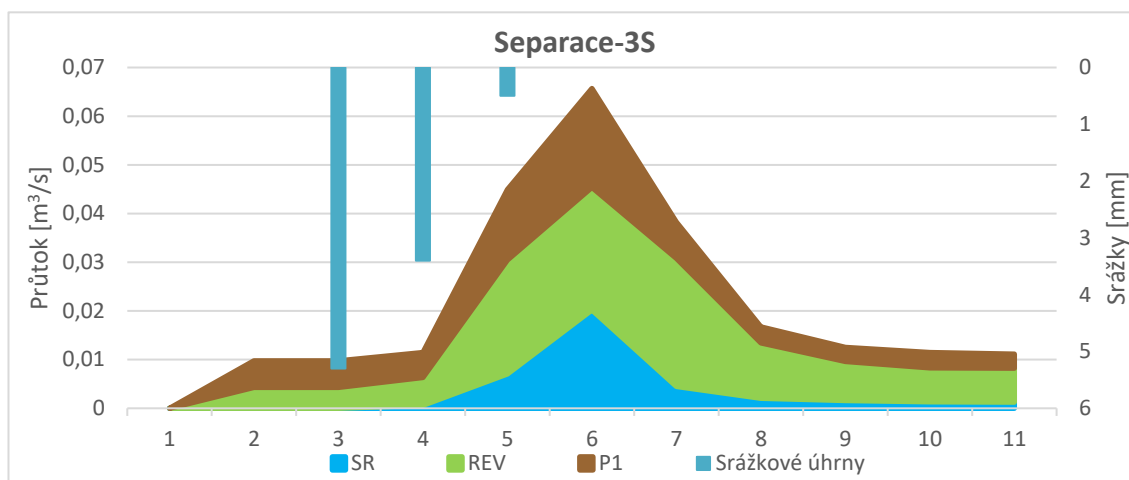
poklesem teploty vody toku RP, naopak HPV ve vrtu SM1 stále rostla. Výše popisované změny v podílech zastoupení jednotlivých složek dané separace je znázorněno na Obrázku 70.



Obrázek 68: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.



Obrázek 69: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek teploty vody a srážek do separace.



Obrázek 70: Zobrazení zastoupení srážek (SR) a vody z pramenů REV a P1 v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.

Shrnutí tříložkové separace a celé situace:

Výše popsaná tříložková separace potvrzuje výsledky dvousložkových separací, tedy zhruba maximální třetinové zapojení událostní, respektive srážkové vody, kdy zřejmě přibližně 10 % z událostní vody ve dvousložkové vody odpovídá jiné složce než srážkám, pravděpodobně složce REV. Dále byl potvrzeno pomocí 3S situace výraznější zapojení pramene REV v toku ještě před samotnou událostí. Rovněž si u obou typů separací odpovídají doby průchodu srážek povodí, a zároveň jsou shodné i tyto doby (4h) vypočítané na základě metody dle izotopů a průtoku, což je patrné i ze separačních grafů. Můžeme vidět poměrně rychlé ale postupné zapojení srážkové či událostní vody do toku, nicméně ještě před tím, než dojde k hlavnímu zapojení srážek do toku již dochází ke zvýšení průtoku v důsledku příčinných srážek majících za následek zřejmě vytlačení vody nacházející se v povodí do toku, kdy daná voda pochází pravděpodobně hlavně z rašelinné části povodí (jednak zvýšení procentuálního zastoupení této složky u 3S separace a také velké zastoupení před událostní vody v toku v této fázi u 2S separace, když byla jako před událostní voda v toku zvolena právě voda z pramene REV a také od začátku situace rostoucí teplota voda v toku, indikující přísun teplejší vody z pramene REV), případně částečně i z vrtu SM, u kterého došlo vlivem zvýšené HPV zřejmě k překročení a zapojení dané vody do toku, čemuž by mohla nasvědčovat i zvyšující se teplota vody v toku RP (ovšem HPV ve vrtu SM1 začala růst až později). Následně v době maximálního průtoku dochází i k maximu zapojení srážkové vody, čemuž odpovídají i výše uvedené doby průchodu srážek, na úkor procentuálního

poklesu vody z REV a P1. Poté následuje pokles srážkové vody, a naopak poměrně výrazné, pokračující zapojení vody z REV současně téměř s dobou maxima teploty vody v toku RP. Ve zbývajících částech separace již při nízkém průtoku stále zůstává v toku téměř neměnné zastoupení vody ze srážek (10 %), což odpovídá izotopovému složení toku v danou dobu.

Shrnutí popisovaných separací – zjištěné výsledky na základě porovnání dle opačných kritérií:

Velké srážkové úhrny při nízkém a vysokém nasycení:

Porovnání na základě Tabulky 1 – Vybrané situace nelze úplně přesně porovnávat z důvodu velikosti situace z 23. 10. 2014, nicméně i přes tento fakt můžeme kromě přirozeně různých délek trvajících dob u situace z 23. 10. 2014 pozorovat výrazný rozdíl v době zdržení srážek na základě stabilních izotopů, kdy u události s nízkým nasycením povodí je tato doba výrazně kratší a zároveň kratší i než doba zdržení na základě průtoku, zatímco u situace s vysokým nasycením povodí je tomu naopak.

Porovnání na základě separace – Při nízkém nasycení se výrazněji zapojovala při 2S separaci událostní voda, při 3S separaci voda srážková, zatímco při vysokém nasycení při 2S separaci voda před událostní a při 3S separaci voda pocházející z rašeliniště.

Malé srážkové úhrny při nízkém a vysokém nasycení:

Porovnání na základě Tabulky 1 – Pozorovány delší doby u vysokého nasycení, nicméně tento fakt může být způsoben méně intenzivními srážkami než u situace s nízkým nasycením. U nižšího nasycení výrazně větší reakce na srážky u průtoku a teploty vody toku RP než u vyššího nasycení, stejně tak u HPV ve vrtu SM1.

Porovnání na základě separace – Při vysokém nasycení se při 2S separaci více zapojovala událostní voda než při nízkém nasycení. U 3S separace nastalo vyšší zapojení srážkové vody a zároveň i vody z pramen REV také při vysokém nasycení. Z hlediska veškerých dob dávajících do souvislosti doby od začátku srážek a maxima jednotlivých separačních složek (SR a REV) jsou patrné kratší doby při nízkém nasycení, nicméně i zde může mít vliv vyšší intenzita srážek.

Shrnutí 2S a 3S separací z hlediska zastoupení jednotlivých složek

UDÁLOST	PRE-EVENT-RP (%)	EVENT-SR (%)
7.9.2014	77	23
23.10.2014	52	48
18.9.2016	26	74
23.9.2018	40	60
10.6.2019	63	37
12.8.2019	62	38
UDÁLOST	PRE-EVENT-REV (%)	EVENT-SR (%)
23.10.2014	29	71
10.6.2019	83	17
12.8.2019	69,5	30,5
UDÁLOST	PRE-EVENT-SM1 (%)	EVENT-SR (%)
7.9.2014	70	30

Tabulka 10: Shrnutí dvousložkových separací z pohledu maximálního zastoupení event water v % v průběhu jednotlivých separací (EVENT-SR) a odpovídajícího zastoupení pre-event water v % (PRE-EVENT).

UDÁLOST	P1 (%)	REV (%)	SR (%)
7.9.2014	43,5	40	16,5
23.10.2014	31	22	47
23.9.2018	11	29	60
10.6.2019	45	30	25
12.8.2019	31	38	31

Tabulka 11: Shrnutí tříložkových separací z pohledu maximálního zastoupení srážek (SR) v % v průběhu jednotlivých separací a odpovídajícího zastoupení z pramenů P1 a REV.

UDÁLOST	P1 (%)	REV (%)	SR (%)
7.9.2014	40	49	11
23.10.2014	31	22	47
23.9.2018	11	33	56
10.6.2019	42	54	4
12.8.2019	19,5	69	11,5

Tabulka 12: Shrnutí tříložkových separací z pohledu maximálního zastoupení pramene REV v % v průběhu jednotlivých separací a odpovídajícího zastoupení z pramene P1 a srážek (SR).

UDÁLOST	P1 (%)	REV (%)	SR (%)
7.9.2014	43	49	11
23.10.2014	31	22	47
23.9.2018	22	33	56
10.6.2019	47	54	4
12.8.2019	19,5	69	11,5

Tabulka 13: Shrnutí tříložkových separací z pohledu maximálního zastoupení pramene P1 v % v průběhu jednotlivých separací a odpovídajícího zastoupení z pramene REV a srážek (SR).

UDÁLOST	P1 (%)	REV (%)	SR (%)
7.9.2014	43	40	17
23.10.2014	31	22	47
23.9.2018	11	33	56
10.6.2019	45	30	25
12.8.2019	31	38	31

Tabulka 14: Shrnutí tříložkových separací z pohledu zastoupení pramenů P1, REV a srážek (SR) v době maximálního průtoku toku RP v %, pro jednotlivé separace.

UDÁLOST	P1 (%)	REV (%)	SR (%)
7.9.2014	44,5	40,5	15
23.10.2014	42	18	40
23.9.2018	28	28	45
10.6.2019	46	39	15
12.8.2019	27	58	14

Tabulka 15: Shrnutí tříložkových separací z pohledu průměrného zastoupení pramenů P1, REV a srážek (SR) od doby zapojení srážek do toku po konec jednotlivých separačních událostí v %.

UDÁLOST	P1 (%)	REV (%)	SR (%)
7.9.2014	44	42	14
23.10.2014	-	-	-
23.9.2018	29	28,5	42,5
10.6.2019	45	41	14
12.8.2019	24,5	60,5	15

Tabulka 16: Shrnutí tříložkových separací z pohledu průměrného zastoupení pramenů P1, REV a srážek (SR) od doby maximálního průtoku toku RP po konec jednotlivých separačních událostí v %. Událost 23.10.2014 byla vyřazena pro nedostatečný počet dat pro analyzovaný úsek.

6 Diskuze

6.1 Možné pochybení při sběru a zpracování dat

Výsledky uvedené v předchozí kapitole mohou obsahovat celou řadu nedostatků, jenž můžeme rozdělit do několika kategorií: chyby v důsledku lidského faktoru či omezenými možnostmi pro danou práci.

Do první skupiny chyb, způsobené v důsledku lidského faktoru lze obecně zařadit chyby, které mohly nastat při odběru (vzduch ve vzorkovnici při odběru vody, možné naředení okolními složkami prostředí, odběry z mírně odlišných míst), přepravě a manipulaci vzorků vody (špatně zavřené vzorkovnice, nevhodné skladování vzorků před analýzami) či při instalaci a nastavení vzorkovače ISCO a teplotních sond (umístění do nevhodných míst, nastavení špatného intervalu automatického měření či odběru). Na podobné úrovni se nacházejí možné nastalé chyby při zpracování dat, například při separačních výpočtech, dobách průchodu srážek povodím či při přípravě vzorků vody před izotopovými analýzami.

V další skupině se nachází možné nepřesnosti vzniklé na základě technického pochybení měřících přístrojů, kdy se zejména jedná o všechna využívaná data z automatických hladinoměrů, meteorologických stanic, srážkoměrů, teplotních sond a čidel, vzorkovače ISCO či při operacích hmotnostního spektrometru, kdy příkladem mohou být některé nefunkční měření ve vrtech v průběhu vybraných separací či odebrané vzorky vzorkovačem ISCO při nízkém průtoku namísto průtoku vysokého.

Největší část možných, a především částečně očekávaných chyb či nepřesností, jenž se v průběhu tvorby dané práce vyskytly, spadá do poslední kategorie, tedy technickým omezením a možnostmi pro daný výzkum. Jak již bylo zmíněno v kapitole *Výsledky*, hlavním nedostatkem zkreslující dosažené výsledky, je nízký počet událostí odebraných vzorkovačem ISCO z toku RP, jenž by bylo především možné použít pro izotopovou separaci složek v povodí toku RP, případně i pro dobu průchodu srážek povodím toku RP. Nízký počet odebraných situací byl částečně způsoben „naředením“ vody v toku RP ostatními izotopovými složkami povodí u některých situacích, a tedy nebylo možné určit výše uvedené charakteristiky, dále u některých odebraných případů nebyly z organizačních důvodů odebrány vzorky izotopů z ostatních složek v povodí RP, a tedy nebylo možné separace sestavit. S organizačních a časových důvodů rovněž nebyl v průběhu některých zajímavých srážko-odtokových situací umístěn vzorkovač

ISCO na toku RP. Na základě daných skutečností nelze především výsledky výše popsaných separací považovat plně za průkazné.

S předchozím odstavcem obecně souvisí problematika omezeného počtu dat, již je daná práce v některých částech zatížena. Daný problém se týká izotopových bodových odběrů, které byly použity například pro separaci, kdy k odběru v některých případech nedošlo těsně před samotnou událostí (v případě před událostní vody) či těsně po události (v případě událostní vody) a tedy v období mezi odběrem a skutečným začátkem události či koncem události mohlo dojít k určitým změnám v izotopovém signálu v toku RP, respektive srážkách. Další ovlivnění (při separačních událostech či dobách průchodu srážek povodím) mohlo vzniknout z důvodu značného časového kroku při odběru vzorků automatickým vzorkovačem ISCO z toku RP, který nejčastěji odpovídal dvěma hodinám. Díky zvolnému kroku bylo možné u většiny separací pokrýt téměř celý průběh separace, nicméně v některých případech však nemuselo dojít k zachycení důležitých změn izotopového signálu v toku RP, kdy nemusel být izotopově zastihnut počátek zvýšení průtoku, ale například až vzorek kdy, již byl průtok v polovině vzestupné větve hydrogramu. K dalšímu možnému zkreslení dosažených výsledků, z hlediska nedostatečného množství dat, mohlo dojít v důsledku toho, že instalace teplotních čidel do pramenů REV a P1 byla provedena až na konci roku 2018. U pramene P1 tato skutečnost, vzhledem k chování teploty daného toku, nehraje významnou roli (Obrázek 20) a pro separační události před rokem 2019 byla využívána průměrná hodnota tohoto pramene pro danou část roku, zatímco u pramene REV bylo pro stejné situace použito teploty vody z vrtu SU2, která je zejména v letních měsících výrazně podobná teplotě pramene REV, nicméně i tak mohlo dojít přibližně k odchylce teploty od daného pramene v rozmezí 0-1,5 °C. Určité zkreslení, především u uskutečněných tříslůžkových separací nastalo také v důsledku malého počtu použitých izotopových dat, právě v průběhu separace, kdy pro zvolené separační složky-prameny P1, REV a srážky byla vždy zvolena jedna hodnota izotopového signálu (u pramenů se jednalo o hodnotu před událostí, u srážek po události). Zvolený postup je v souladu se zvolenými separačními principy popsanými v kapitole *Metodika a sběr dat*, nicméně především u pramene REV je z jeho chování patrné, že v průběhu srážko-odtokových událostí může docházet ke změně izotopového signálu. Daný jev může, byť pravděpodobně v menší míře, nastávat i u pramene P1 či srážek.

Vzhledem ke všem výše uvedeným faktům, převážně týkajících se nedostatečného počtu dat by pro přesnější a průkaznější výsledky bylo vhodné případné

pokračování této práce doplnit o podrobnější datový soubor, co se týče především izotopových dat. Za předpokladu příznivých finančních a organizačních možností by doplnění spočívalo ve vyšší frekvenci bodových odběrů izotopů vody ze vzorkovacích míst (například dvakrát za měsíc) a umístění dalšího automatického vzorkovače na prameni REV.

6.2 Variabilita izotopových poměrů ve složkách povrchové a podzemní vody povodí RP

Hodnocení variability stabilních izotopů $2H$ v povodí s významným zastoupením rašelinišť není častým tématem českých ani zahraničních výzkumů. Povrchové složky vody v povodí RP či RO jsou níže hodnoceny na základě postupu jednotlivých složek povodím. U srážkových úhrnů bylo z pohledu obsahu těžkých izotopů $\delta 2H$ dosaženo výsledků v rozpětí: -16,25 až -96,27 ‰ $\delta 2H$ a průměr odpovídal hodnotě -54 ‰ $\delta 2H$. Z hlediska geografického jsou v souladu s danými výsledky práce zahrnující lokalitu Churáňov, kde v práci Vystavne et al. (2018) byly analyzované izotopy $\delta 2H$ srážek pro období květen-říjen roku 2017 s průměrnou hodnotou - 53,6 ‰ $\delta 2H$, a částečně také práce Hanuskové z roku 2018, kdy průměrná hodnota srážkových úhrnů pro měsíce říjen a listopad odpovídá - 64,76 ‰ $\delta 2H$, kdy je zde patrný vliv krátkého pozorovacího období. V oblasti Šumavy se analýzou obsahu těžkých izotopů $\delta 2H$ ve srážkách v podobných nadmořských výškách také zabývali Votrubova et al. (2017), ovšem bylo dosaženo daleko většího rozpětí dat, z důvodu analyzování vzorků z celého roku. Se srážkovými daty $\delta 2H$ v průběhu celého roku rovněž pracovali Šanda et al. (2011) ovšem v Jizerských horách. Srážková izotopová data zároveň dle výsledků této práce vykazují nejvyšší variabilitu ze všech zkoumaných složek povodí RP, kdy daný fakt potvrzují také například Sedlamaierova (2015), zabývající se izotopy $18O$ ve srážkách v Jizerských horách, či ve Skotsku Soulsby et al. (2000) nebo Rodgers et al. (2005) pracující se stejným izotopem.

Velikou variabilitu z pohledu těžkých izotopů $\delta 2H$ vykazoval také rašelinný pramen (REV), kdy se daná variabilita pohybovala v mezích -51,18 – 76,12 ‰ $\delta 2H$. Srovnání s ostatními výzkumy především v tuzemsku ale i v zahraničí je z pohledu rašelinného pramene problematické vzhledem k jeho povaze, kdy jsou buď hodnoceny pouze podzemní vody v rašeliništích či povrchové toky odvodňující povodí s určitým zastoupením rašelinišť. Nicméně v některých studiích se nechají najít vhodné toky pro

porovnání, jako například v povodí Brutland Burn, respektive jeho subpovodí o rozloze 0,73 km² ve Skotsku byla zaznamenána ještě výraznější variabilita z pohledu těžkých izotopů $\delta^2\text{H}$ v pramenném toku s velmi výrazným zastoupením rašelinišť, jež odpovídala přibližně hodnotám -35 – 75 ‰ $\delta^2\text{H}$ (Sprenger et al. 2017), zatímco u jiného Skotského povodí Allt a' Mharcaidh, respektive jeho subpovodí o rozloze 1,69 km² byla zaznamenána nižší variabilita těžkých izotopů v pramenném toku odvodňující výrazně zrašeliněné povodí (Soulsby et al. 2000), byť z pohledu těžkých izotopů $\delta^{18}\text{O}$, které byly pro potřeby této práce také analyzovány, ale nebylo s nimi ve výsledcích pracováno. Na základě stejného stopovače byla potvrzena nejvyšší variabilita odtoku (pramenů) při porovnání 6 povodí rovněž ve Skotsku, u dvou povodích s výrazným zastoupením rašelinišť (Rodgers et al. 2005). Druhý z analyzovaných pramenů v této práci (P1) naopak oproti předchozím dvěma složkám vykazoval nejnižší variabilitu v hodnoceném parametru, kdy se variabilita pohybovala v rozmezí -61,82 – 79,50 ‰ $\delta^2\text{H}$. Výrazně vyšších hodnot variability bylo dosaženo v subpovodí Porsche (tvořené z velké části podzoly jako pramen P1 a smrkovým porostem) v Jizerských horách, jež odvodňuje pramennou oblast Černé Nisy. Daná variabilita byla opět vyjádřena z pohledu těžkých izotopů $\delta^{18}\text{O}$ a pohybovala se přibližně v rozmezí -7,5 – 11,50 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ (Školová 2022), zatímco pro tok P1 -9,1 – 11,40 ‰ $\delta^{18}\text{O}$ (opět se jedná o data, jež potřeby této práce také analyzovány, ale nebylo s nimi ve výsledcích pracováno). Při srovnání obou pramenů (REV a P1) z hlediska izotopů $\delta^2\text{H}$ je z předchozích výsledků vidět výrazná variabilita, což je pozorovatelné i na příkladu studie, z Quebecu (Carrer et al. 2016), kde byly rovněž odebírány vzorky izotopů $\delta^2\text{H}$ ze zrašeliněné a lesnaté části povodí, případně ve výše uvedené studii (Rodgers. et al 2005), kde byla také pozorována značná variabilita mezi toky odvodňující výrazně rašelinné povodí a tokem odvodňující povodí se značným zastoupením podzolu. Soutokem obou zmíněných pramenů vzniká tok RP, jehož izotopové složení dle $\delta^2\text{H}$ se výrazně odlišuje v době základního odtoku (-51,89 – 79,46 ‰ $\delta^2\text{H}$), kdy je daný tok z velké míry tvořen vodou z pramene P1, a v době zvýšeného průtoku (-45,27 – 76,72 ‰ $\delta^2\text{H}$), z čehož je zřejmé, že tvorba odtoku je při výrazných srážkách různorodá, respektive může být tvořena různými složkami. Podobné chování bylo zaznamenáno ve výrazně zrašeliněném povodí v Norsku v oblasti Osla, kde izotopové složení odtoku vykazovalo odlišné hodnoty při nízkém a vysokém průtoku, respektive zvýšený odtok v letním období byl z hlediska izotopů $\delta^{18}\text{O}$ výrazně podobný přítoku (pramenu), zatímco v době základního odtoku se tyto dvě složky značně odlišovaly (Kværner a Kløve 2008). O

něco nižší, než v předchozích dvou případech byla izotopová variabilita $\delta^2\text{H}$ v závěrovém profilu povodí Brutland Burn, tvořené především podzoly a rašeliništi, kdy odpovídala mezím zhruba -50 – 72 ‰ $\delta^2\text{H}$ (Sprenger et al. 2017). U dat odebraných z potoka závěrového profilu povodí Brutland Burn se rovněž nechal pozorovat podobný odklon od globální meteorické přímky, jako u dat z toku RP odebraných v období vyššího průtoku. Naopak o něco nižší variabilita ovšem z hlediska izotopů $\delta^{18}\text{O}$ (opět daný izotop nebyl zařazen do výsledků) byla zaznamenána v toku odvodňující povodí Uhlířská v Jizerských horách, tvořené převážně jehličnatým lesem a zhruba z 10% plochy povodí rašeliništěm (Votrubová 2017 et al.).

V porovnání s povrchovými složkami povodí RP, je variabilita vody z vrtů z hlediska izotopů $\delta^2\text{H}$ dle očekávání nižší. Z analyzovaných vrtů byla nevyšší variabilita zaznamenána ve vrtu SU2, nacházející se v rašeliništi, kdy se pohybovala v rozmezí -34 – 77 ‰ $\delta^2\text{H}$. K podobným závěrům dospěli i Šanda et al. (2011), kdy v povodí Velká jizerská louka, jenž je tvořené vrchovištním typem rašeliniště, byl zaznamenán vyšší rozptyl izotopových koncentrací (v hloubce cca 0,2 m), jenž se především v období dotace přibližuje srážkám. Naopak v povodí Uhlířské byl v rašelině (v hloubce 0,3 m) zaznamenán podobný rozptyl, a tedy méně rozkolísaný, izotopových koncentrací jako v podzemních vodách, jenž dané rašeliniště dotují. Vysokou variabilitu izotopových koncentrací v půdní vodě, respektive vodě vzorkované z rašeliniště, byla potvrzena i v povodí Allt a' Mharcaidh ve Skotsku (Soulsby 2000). Odlišné chování vzorků vody z vrtů v rašeliništi je patrné i na základě polohy těchto vzorků vůči globální linii meteorických vod, což je v souladu s prací Kværner a Kløve (2006), kde odklon od dané linie byl pro vzorky pocházející z rašeliniště, ještě výraznější. Zároveň byla v povodí RP, respektive v jeho zalesněné části pozorována relativně vyšší variabilita v půdní vodě než v zalesněném pohoří Černý les v Německu (Uhlenbrook et al. 2002).

6.3 Posouzení dvousložkové separace hydrogramu

Dvousložková separace hydrogramu se v této práci týkala složek obvyklých pro tento typ separace, tedy se jednalo o složky předudálostní vody, jenž představuje obvykle podzemní či půdní vodu, a událostní vody, která vzhledem k analyzovaným obdobím představovala pouze srážky. Dané separace vycházely z hypotézy oddělení dvou izotopově odlišných a zároveň stabilních složek vody při jejich smíchání na základě stabilních izotopů vody, respektive izotopů $\delta^2\text{H}$. Obecně jsou stabilní izotopy

vhodným nástrojem pro stanovení zastoupení jednotlivých složek na celkovém odtoku či pro určení sledování daných složek (Laudon et al. 2007). Nicméně jejich využití v povodích se značnou plochou rašelinišť není příliš časté (Kværner a Kløve 2008). Chování a popis těchto povodí je z hlediska hydrologického značně složité s různorodými teoriemi při tvorbě odtoku, kdy jsou důležitými parametry velikost vstupů do daných povodí či například retenční vlastnosti (Gibson et al. 2000). V souvislosti se značným zastoupením rašelinišť se lze často setkat s odlišnými hypotézami ohledně fungování těchto povodí, kdy se na jedné straně nachází předpoklad o zpoždění či zadržení vody v průběhu významných srážko-odtokových událostí (Kværner a Kløve 2006; Lennartz a Liu 2019), zatímco na druhé straně je tento předpoklad vyvrácen a role rašelinišť je vzhledem k mírnění povodňových vln přeceňována (Simonovic a Juliano 2001).

V této práci bylo nakonec provedeno 10 dvousložkových funkčních separací hydrogramu. Dané separace byly uskutečněny pro 6 srážko-odtokových situací, tedy u několika situací bylo provedeno více separací, kdy byla zvolena jiná složka před-událostní vody, a to jak z důvodu ověření možnosti tohoto typu separace, tak pro upřesnění výsledků. Z důvodu podobného izotopového složení před-událostní a událostní vody u některých situací, nemohl být tento typ separace využit pro všechny vybrané události, přičemž daný jev je častým úkazem a jedním z limitů této metody. Na základě nízkého počtu funkčních separačních událostí nelze stanovit přesné závěry ohledně převažující složky tvořící odtok v průběhu srážko-odtokových událostí, případně o souvislosti před událostních podmínek (nasycenost povodí) a velikosti či intenzitě srážek na základě nichž byly jednotlivé události také porovnávány. Nicméně na základě získaných výsledků lze alespoň nastínit pravděpodobné chování a zákonitosti. Hlavním sdělením dané metody je, že odtok v průběhu srážko-odtokových situací je tvořen spíše před-událostní vodou (u 4 ze 6 situací) a dochází tedy k výraznému zapojení vody do toku RP, která se již v povodí nacházela před příčinnou srážkou. Maximální podíl příčinných srážek na celkovém odtoku se pohybuje u jednotlivých situací mezi 17-74 %. K podobnému výsledku ohledně převažujícího zastoupení před-událostní vody na celkovém odtoku dospěli na našem území, konkrétně v Jizerských horách v zalesněném povodí s 10% zastoupením rašelinišť, také Votrubova et al. 2017, kde byl příspěvek událostí vody ještě méně častý a výrazný (maximální příspěvek nové vody odpovídal 57 %). Téměř shodný výsledek byl rovněž pozorován ve Skotsku v povodí Allt a' Mharcaidh, s významným zastoupením rašelinišť ale i

podzolů stejně jako v povodí toku RP, kde tzv. stará voda dominovala v hydrografu, ovšem rovněž v některých případech tomu bylo i naopak (Soulsby et al. 1998). Významné zastoupení před-událostní vody (60 %) na celkovém odtoku bylo pozorováno v průběhu letních událostí i v povodí, respektive v rašeliništi Brumiště v Krušných horách (Buzek et al. 2019). Zároveň v povodích tvořených z velké části rašeliništi se mohou objevit i opačné výsledky, tedy větší část celkového odtoku v průběhu význačných srážko-odtokových epizod tvoří událostní voda. Takovým případem byl částečně výzkum provedený pomocí stabilních izotopů vody v Norsku, kde bylo sledováno několik povodí s podobnými podmínkami a ve všech s jednou výjimkou byla zaznamenána jako převažující část odtoku událostní voda, jenž se pohybovala v rozmezí 52-66 % (Kværner a Kløve 2006). Nicméně daných výsledků bylo dosaženo při vysokých srážkových úhrnech, naproti tomu při jiné epizodě způsobené středně velkou srážkou podíl událostní vody odpovídal hodnotám v rozmezí 11-38 %. Právě s velikostí srážek a předchozími podmínkami bylo pracováno i v této práci, za účelem objevení možných souvislostí ve spojitosti se zastoupením jednotlivých složek odtoku. Vzhledem k rozdílné velikosti srážkových úhrnů nebyly v rámci této práce zaznamenány jasné souvislosti. Možnou souvislost ovšem zmiňují Carrer et al. 2016, kdy při nižších srážkových úhrnech bylo zaznamenáno o polovinu menší zapojení událostní vody (31 %) než při vyšších (68 %). Rovněž daný výzkum zmiňuje i předchozí podmínky, respektive nasycenost povodí, která ovšem v daném případě koreluje s očekávanými výsledky, tedy bylo pozorováno nízké nasycení před událostí, kde poté dominovala před-událostní voda, a naopak vysoké nasycení před událostí s výrazným zastoupením vody událostí. Daný jev lze částečně pozorovat rovněž i v této práci, kdy s rostoucím indexem API5 roste zároveň i podíl událostní vody v toku v toku (kromě jedné situace). Přičemž v povodí s dominancí rašelinišť se ukazuje, že, obecně je ukazatel nasycenosti povodí půdní vlhkost. Ta se ale měří na půdě, která nevytváří dominantní složku odtoku z povodí. Odtok se tvoří hlavně z rašeliniště, které je ale velkou část roku nasycené. Navíc se liší HPV u různých míst. Proto byl zvolený ukazatel API. Nicméně dané výsledky obou výzkumů jsou podloženy pouze malým množstvím analyzovaných událostí.

Jak již bylo uvedeno povodí toku RP je zjednodušeno na dvě dílčí části, kdy jedna je tvořena z velké části rašeliništi a druhá jehličnatými lesy s podzolovým půdním pokryvem. Právě v souvislosti s odlišnostmi těchto rozličných pokryvů byl uskutečněn zajímavý výzkum v oblasti boreální zóny, kdy byl srovnáván podíl událostní a před-

událostní vody pro podobně rozdělená povodí. Výstup daného bádání byl, že povodí s dominantním zastoupením rašelinišť měla o něco nižší podíl zastoupení před-událostní vody než povodí tvořené podzolovými půdami (Fischer et al. 2021). Částečně v souvislosti s předchozím výzkumem bylo provedeno několik studií zabývajících se separací odtoku na událostní a před-událostní vodu v povodích s dominantním zastoupením jehličnatých lesů se zastoupením podzolů v podobné nadmořské výšce jako je povodí toku RP. Výsledky těchto studií prokázaly dominantní podíl před-událostní vody v odtoku během srážko-odtokových situací, který se ve francouzských Vogezech pohyboval mezi 2-13 % (Ladouche et al. 2001) či v Černém lese v Německu mezi 8-30 % (Hoeg et al. 2000), kde byla daná dominanci před-událostní vody potvrzena i o tři roky později (Uhlenbrook a Hoeg 2003). Ovšem i přes tento fakt je důležité % zastoupení ostatních složek, především rašelinných půd.

6.4 Posouzení tříložkové separace hydrogramu

Tříložková separace hydrogramu se v této práci týkala složek vody z pramenů REV (v jednom případě nahrazena vodou z vrtu SU2), P1 a srážek. Dané separace vycházely z hypotézy oddělení tří odlišných a zároveň stabilních složek vody při jejich smíchání na základě stabilních izotopů vody, respektive izotopů $\delta^2\text{H}$ a teploty vody jednotlivých složek. Tříložková separace hydrogramu je hojně využívanou metodou nejčastěji sloužící pro určení podílů srážkové, půdní a podzemní vody na celkovém odtoku, jenž má své limity a omezení (Kirchner 2019). Jak již je výše nastíněno pro samotnou separaci jsou nutné dva stopovače, kdy v praxi jsou použity různé kombinace. V souvislosti s hojně využívanými stabilními izotopy v této práci je využívána kombinace těchto stopovačů například s chloridy (Bazemore et al. 1994; Rice a Hornberger 1998), křemíkem (Uhlenbrook a Hoeg (2003), McGlynn a McDonnell 2003) či konduktivitou (Muñoz-Villers a McDonnell 2012). Naopak využití těchto stabilních izotopů vody v kombinaci s výše zmíněnou teplotou vody je ojedinělé, a to jak na našem území, tak i ve světě. Teploty vody jako stopovací látky je v občasných případech využíváno spíše pro dvousložkovou separaci odtoku (Kobayashi 1985; Pomije 2018), případně pro doplnění popisu či objasnění této separační metody (Zajíček et al. 2016).

V dané práci bylo provedeno 5 tříložkových funkčních separací odtoku. Z důvodu obdobného izotopového složení či teploty vody jednotlivých složek, nemohl být tento typ separace využit pro všechny vybrané události, což je v souladu s principy

při využití této metody (Buttle 1994; Klaus a McDonnell 2013). Stejně jako u dvousložkové separace nelze v důsledku nízkého počtu funkčních separačních událostí vytvořit přesné závěry ohledně zastoupení jednotlivých složek při srážko-odtokových událostech, případně dát dané odtokové poměry do souvislosti s před-událostními či událostními podmínkami. Při srovnání jednotlivých složek odtoku dle průměrného příspěvku (doba od zapojení srážek do konce události) pro všechny situace bylo zjištěno, že nejvíce se zapojuje do odtoku voda z pramene P1, jenž odpovídala 37,5 % (v rozsahu 27-46 % pro jednotlivé separace) složení odtoku RP a voda z pramene REV, která se složení toku RP podílela 36,5 % (v rozsahu 18-58 % pro jednotlivé situace) a nejméně srážky, jenž představovaly 26 % toku RP (v rozsahu 15-45 % pro jednotlivé separace). Při analyzování poklesových větví hydrogramu, respektive době od maximálního průtoku po konec situace byly pozorovány změny ve složení odtoku RP, kdy se nejvíce podílela voda z pramene REV a to 43 %, následována vodou z pramene P1 (35,6 %) a srážkami (21,4 %). Z výše uvedeného je patrné, že srovnání s jinými výzkumnými pracemi je obtížné i vzhledem k charakteru povodí RP a k použitým metodám. Ve Slavkovském lese byla rovněž provedena tříložková separace odtoku v povodí Lysina, které je tvořeno podzoly a rašeliništi či rašelinnými gleji. Odtok z daného povodí byl oddělen na povrchovou, půdní a podzemní vodu a pro dané se složky se v letním období pohyboval odlišně od povodí RP a to následovně, po řadě, v průměru 4 % (v rozsahu 4-20 %), 40 % (v rozsahu 47-54 %) a 55 % (v rozsahu 4-49 %) (Buzek et al. 1995). Z daného výzkumu je rovněž patrné nejnížší zastoupení srážkové či povrchové vody, nicméně ještě více výrazné. K podobným výsledkům z hlediska zastoupení srážkové vody, byť opět nižším v porovnání s výsledky této práce, dospěli ve Skotském povodí zrašeliněném povodí Allt a Mharcaidh také Ogunkoya a Jenkins (1993), kteří stanovili průměrné hodnoty, kterými se srážky, půdní a podzemní voda podílí na složení toku při významných letních srážko-odtokových událostech na 15 % (v rozsahu 12-26 %), 19 % (v rozsahu 15-40 %) a 66 % (v rozsahu 44-78 %). Je zde také patrný i nižší maximální příspěvek srážkové vody v porovnání s výsledky této práce. Dále bylo v povodí toku RP vypořizováno, že v případě, že maximální podíl ze všech složek v toku RP tvoří srážky, byla daná událost způsobena právě vysokými úhrny, zároveň při vysokých srážkových úhrnech v době maximálního průtoku rovněž srážky měly nejvyšší zastoupení v toku. Dále při malých a středních srážkách odpovídal maximální podíl jednotlivých složek prameni REV, ovšem tyto výsledky by bylo vhodné ověřit vyšším počtem analyzovaných situací. K podobným výsledkům z

pohledu srážek došli rovněž výše zmínění Ogunkoya a Jenkins (1993), jenž pozorovali nejvyšší zastoupení srážek v odtoku při vysokých srážek a zároveň v období maximálního průtoku, naopak nejnižší zastoupení srážek bylo pozorováno na konci událostí. Naopak podíl podzemní vody (v případě povodí RP pramene P1) byl nejvyšší v obou povodích ve stoupající větvi hydrogramu, případně v povodí Allt a Mharcaidh také v době, kdy hladina podzemní vody vykazovala počáteční odezvu ke srážkové události. V povodí RP bylo v souvislosti chováním podzemní vody ve vrtu SM1, spadající do „podzolové“ části povodí, a výsledky tříložkových separací pozorováno, že se zvyšující se rozdílem mezi počáteční a maximální HPV ve vrtu SM1 klesalo maximální zastoupení srážkové vody v toku (kromě jedné výjimky). Dále bylo v souvislosti s rostoucím indexem API5 pozorováno v toku RP růst zastoupení srážek a vody z pramen REV (kromě jedné výjimky). Podobný vztah zaznamenal i Zdvořák (2022).

Výsledky dvousložkové a tříložkové separace spolu relativně dobře korespondují, a to především při vysokých srážkových úhrnech, kdy maximum událostní vody (dvousložková separace) téměř přesně odpovídá maximálnímu zapojení srážek při tříložkové separaci. U ostatních situací, tedy při nižších srážkových úhrnech je patrné nadhodnocení událostní vody oproti srážkám při tříložkové separaci, což je částečně v souladu se zjištěními Zdvořáka (2022).

Vzhledem k ojedinělosti využití teploty vody jako druhé složky při dvousložkové separaci jsou níže zmíněny výsledky související s tímto stopovačem. Dané výsledky nebyly zvláště analyzovány, ale vycházejí z dat použitých při tříložkových separacích. U všech analyzovaných událostí (včetně separačních) bylo zaznamenáno zvýšení či změna teploty vody v toku RP při výrazném zvýšení průtoku, což je v souladu s výsledky práce Šajnarové (2023), zkoumající teplotu vody v povodí se značným zastoupením rašelinišť Krušných horách či v práci Zajíčka et al. (2016) zkoumající separaci složek odtoku drenážní vody za využití teploty na Českomoravské vysočině. Dané chování také potvrdili Shanley a Peters (1988). Při událostech využitých pro separaci odtoku bylo pozorováno zpoždění začátku růstu teploty oproti začátku růstu průtoku toku RP, což je v souladu s výše uvedenou prací Šajnarové (2023), zatímco ve studii Zajíčka et al. (2016) je reakce teploty vody okamžitá, respektive shodná se začátkem průtoku, a zároveň vysoká změna teploty vody v toku korelovala s vysokým podílem událostní vody, určené dle izotopové separace. Tento jev nebyl

v povodí toku RP zaznamenán, kdy pro dané ověření bylo analyzováno malé množství dat a zároveň je odlišná tvorba odtoku vzhledem k přírodním podmínkám.

6.5 Doba postupu srážkové vody povodím

Doba postupu srážkové vody povodím, či doba zdržení srážkové vody v povodí představuje důležitý ukazatel pro pochopení pohybu vody a stáří vody v povodí a zároveň může pomoci k osvětlení různých dějů a souvislostí k nimž v povodí dochází. Vliv na dobu zdržení v daném povodí má prostorová charakteristika srážek, způsob pohybu srážek přes povodí či předchozí vlhkostní podmínky (Bruce et al. 2016), případně fyzikální vlastnosti půdy a krajinného pokryvu (McCuen 2009). Z hlediska hydrologie či hydrogeologie je spíše známá a využívá doba zdržení z dlouhodobého hlediska slouží k určení stáří půdní (Soulsby et al. 2000; Rodgers et al. 2005) či podzemní vody (McGuire 2005 et al.; Votrubova et al. 2017) v povodí. Zatímco v této práci byla zkoumána doba průchodu srážek povodím, jenž se nechá určit mnoha způsoby (Gericke a Smithers 2014), pomocí dvou hlavních kritérií či metod nazvaných: *Doba zdržení-Q* a *Doba zdržení-ISCO peak*. Obě doby zkoumaly dobu průchodu srážek povodím, a to na základě doby mezi maximálními srážkovými úhrny a maximálním průtokem toku RP, respektive maximální hodnotou izotopového složení vody v toku RP. Na základě výsledků výpočtů pro obě dané doby bylo určeno, že *Doba zdržení-Q* odpovídá přibližně 3 hodinám, zatímco *Doba zdržení-ISCO peak* přibližně 4,5 hodinám. Výsledky obou dob jsou relativně podobné, a i na základě nich můžeme usoudit, že v povodí RP dochází k tzv. jevu „Piston flow“. Daný jev má za následek, že dochází k vytlačení vody, jenž se nacházela před srážkou v povodí, do toku příčinnými srážkami a samotné příčinné srážky se dostávají do toku až se zpožděním odpovídající daným dobám. Obecně je častěji využívána k určení dané doby první metoda, tedy *Doba zdržení-Q*. Na základě této doby byly analyzovány doby průchodu srážek povodím ve Velké Británii v povodích s výrazným zastoupením rašelinišť. Black et al. (2021) zkoumali dané doby na několika povodích a dospěli k podobným závěrům, respektive že se daná doba v průměru pohybuje kolem 2-2,5 hodin. Zatímco v jiné části Velké Británie byla u zrašeliněného povodí v oblasti Kinder Scout Plateau pozorována poměrně průměrná kratší doba pohybující se v průměru okolo 0,5 hodiny (Shuttleworth et al. 2019). Naopak ve skotském povodí Cottage Hill Sike se doba průchodu srážek povodím rovněž pohybovala v průměru kolem 3 hodin, respektive 2,8 hodiny (Billett et al. 2012). Na českém území dobu průchodu srážek povodím zmiňují Buzek et al. (1995)

pro již výše zmíněné povodí Lysina ve Slavkovském lese, kdy tato doba odpovídá měřítku hodin. Jak již bylo výše uvedeno, použití druhé vypočtené doby (*Doba zdržení-ISCO peak*) není tak časté, kdy například při výzkumu rašeliniště Brumiště ve výzkumu Buzka et al. (2019) je dle dané metody konstatována poměrně rychlá reakce vodního toku na srážkové události. Ke stejnému závěru ve Skotsku dospěli i Jenkins et al. (1994). V souvislosti s výsledky v této práci byla zároveň objevena souvislost dob průchodu srážek povodím (hlavně dle izotopového signálu) a indexem API5, tedy, že s rostoucí nasyceností povodí je i vyšší daná doba, což podporuje předchozí výše uvedené výsledky, tedy že dochází k vytlačení staré vody příčinnými srážkami do toku RP. Ovšem stejně jako u separačních situací by bylo vhodné tuto skutečnost ověřit na vyšším počtu analyzovaných událostí.

7 Závěr

V souvislosti s literární rešerší domácí a zahraniční literatury byly analyzovány současné i předchozí znalosti v souvislosti se separací hydrogramu a jeho metodách, se zaměřením na metody založené na mapování vlastnosti vody. Prostřednictvím sběru dat v terénu a na základě již získaných dat v předchozích letech bylo provedeno zhodnocení formování odtoku. Zhodnocení bylo uskutečněno pro datový soubor výše uvedených získaných dat a dále pro 15 vybraných srážko-odtokových událostí, z nichž byla pro 6 situací zhotovena funkční dvousložková separace odtoku pomocí stabilního izotopu ^2H a pro 5 situací funkční tříložková separace odtoku na základě využití stabilního izotopu ^2H a teploty vody. Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že se podařilo splnit nastolené cíle z úvodu této práce, především ověření využití stabilních izotopů vody a teploty vody jako metody pro hodnocení vodního režimu pramenů a celkového odtoku v malém horském povodí či odhadnutí doby zdržení deště během srážkové události v daném povodí. Daná práce zároveň ukazuje možnosti hodnocení formování od oku v omezených materiálních podmínkách. Nicméně i přes tento fakt byly získány níže uvedené závěry:

- Nejnižšího a zároveň nejvyššího poměru těžkých izotopů $\delta^2\text{H}$ bylo u povrchových vod zaznamenáno ve srážkách, kde byla tedy přirozeně dosažena i nejvyšší variabilita. Výrazné variability bylo rovněž dosaženo v toku RP v období zvýšeného průtoku, což potvrzuje zapojení různých zdrojů při tvorbě odtoku.
- Na základě dvousložkové separace odtoku pomocí stabilního izotopu ^2H bylo stanoveno, že v odtoku je v průběhu srážko-odtokových situací zastoupena spíše před-událostní voda (u 4 ze 6 situací). Maximální podíl událostní vody na celkovém odtoku toku RP se pohybuje u jednotlivých situací mezi 17-74 %.
- Tříložková separace odtoku byla provedena pomocí stabilního izotopu ^2H a teploty vody. Při srovnání jednotlivých složek odtoku dle průměrného příspěvku (doba od zapojení srážek do konce události) pro všechny situace bylo zjištěno, že nejvíce se zapojuje do odtoku voda z pramene P1, jenž odpovídala 37,5 % (v rozsahu 27-46 % pro jednotlivé separace) složení odtoku RP a voda z pramene REV 36,5 % (v rozsahu 18-58 %) a nejméně srážky 26 % (v rozsahu 15-45 %). Při analyzování poklesových větví

hydrogramu, dle výsledků tříložkové separace, se nejvíce na odtoku toku RP podílela voda z pramene REV a to 43 %. Voda z pramene REV se tedy do toku RP dostává později v průběhu daných situací, zatímco voda z pramene P1 převážně v první fázi, což koresponduje s výsledky dvousložkových separací.

- U všech analyzovaných událostí (včetně separačních) bylo zaznamenáno zvýšení či změna teploty vody v toku RP při výrazném zvýšení průtoku. Při událostech využitých pro separaci odtoku bylo pozorováno zpoždění začátku růstu teploty oproti začátku růstu průtoku toku RP.
- Doby zdržení srážek, během srážkových událostí odpovídá v průměru 3 hodinám při stanovení pomocí maximálního průtoku toku RP a 4,5 hodinám při určení na základě maximální hodnoty izotopového složení vody (^2H) daného toku v průběhu situace. Mezi danými dobami a indexem API5 panuje korelace. S rostoucí nasyceností povodí je i vyšší daná doba, což podporuje předchozí výše uvedené výsledky, tedy že dochází k vytlačení staré vody příčinnými srážkami do toku RP (tzv. „piston flow“ efekt).

8 Seznam použité literatury

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. (1998): Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper, 56 s.

ANDERSON, M.P. (2005): Heat as a groundwater tracer. *Ground Water*, 43(6), s. 951–968.

ARNOLD, J. G., ALLEN, P. M. (1999): Validation of automated methods for estimating baseflow and groundwater recharge from stream flow records. *Journal of the American Water Resources Association*, Vol. 35, s. 411–424.

BAKER, D. B. (2004): A new flashiness index: characteristics and applications to midwestern rivers and streams. *Journal of the American Water Resources Association*, 40, č. 2, s. 503–522.

BAZEMORE, D. E., ESHLEMAN, K.N., HOLLENBECK, K.J. (1994): The role of soil water in stormflow generation in a forested headwater catchment: synthesis of natural tracer and hydrometric evidence, *Journal of Hydrology*, 162, 1–2, s 47–75.

BEJČKOVÁ, M. (2022): Změny koncentrací organických látek v kontextu hydrologických extrémů v pramenných oblastech. Praha. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.

BERIA, H., LARSEN, J.R., CEPERLEY, N. C., MICHELON, A., VENNEMANN, T., SCHAEFLI, B. (2018): Understanding snow hydrological processes through the lens of stable water isotopes. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 5 (6), e1311.

BEVEN, K. J. (2012): *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*, 2nd edition, Wiley-Blackwell, Chichester.

BIRKINSHAW, S.J., WEBB, B. (2010): Flow pathways in the Slapton Wood catchment using temperature as a tracer. *J Hydrol* 383: s. 269–279.

BILLETT, M. F., K. J. DINSMORE, R. P. SMART, M. H. GARNETT, J. HOLDEN, P. CHAPMAN, A. J. BAIRD, R. GRAYSON, A. W. STOTT (2012): Variable source and age of different forms of carbon released from natural peatland pipes, *J. Geophys. Res.*, s. 117.

BLACK, A., PESKETT, L., MACDONALD, A., YOUNG, A., SPAY, C., BALL, T., THOMAS, H., WERRITY, A. (2021): Natural Flood Management, Lag Time and Catchment Scale: Results from an Empirical Nested Catchment Study. *Journal of Flood Risk Management*. Vol 14(3):e12717. Wiley Online Library.

BOGENA, H., KUNKEL, R., SCHOBEL, T., SCHREY, H.P., WENDLAND, F. (2005): Distributed modeling of groundwater recharge at the macroscale, *Ecological Modelling*, 187, 1, s. 15–26.

- BONACCI, O. (1987): Karst Hydrology. Springer-Verlag, Berlin, 184 s.
- BONELL, M., PEARCE, A.J., STEWART, M.K. (1990): The identification of runoff production mechanisms using environmental isotopes in a tussock grassland catchment, eastern Otago, New Zealand. *Hydrological Processes* 4, s. 15-34.
- BRAGG, O.M. (2002): Hydrology of peat-forming wetlands in Scotland. *The science of the Total Environment*, s. 111-129.
- BROWN L.E, HANNAH, D.M. (2007): Alpine stream temperature response to storm events. *J Hydrometeorol*, 8, s. 952–967.
- BRUCE M.M., BRYAN, Y.C, RICARDO G.Z.A. (2016): Estimation of Watershed Lag Times and Times of Concentration for the Kansas City Area. University of Kansas. Dept. of Civil, Environmental and Architectural Engineering. Report No. KS-16-01.
- BOUSSINESQ, J (1877): Essai sur la théorie des eaux courantes. *Memoires de l'Academie des Sciences de l'Institut de France* 23, s. 252–260. In ZHANG, R., LI, Q., CHOW, T.L., LI, S., DANIELESCU, S (2012): Baseflow separation in a small watershed in New Brunswick, Canada, using a recursive digital filter calibrated with the conductivity mass balance method. *Hydrological processes*, 2, 7 s.
- BUFKOVÁ, I. (2009): Ochrana rašelinišť na Šumavě aneb byly Rokytecké slatě první? In: Černý, D., Dvořák, L.: *Weitfallerské slatě. Sborník z výzkumu na Šumavě*, 2. Správa NP a CHKO Šumava, Vimperk, s. 12–22.
- BUTTLE, J. M. (1994): Isotope hydrograph separations and rapid delivery of pre-event water from drainage basins. *Progress in Physical Geography*, 18(1), s.16–41.
- BUZEK, F., HRUŠKA, J., KRÁM, P. (1995): Three-component model of runoff generation, Lysina catchment, Czech Republic. *Water Air Soil Pollut* 79, s. 391–408.
- BUZEK, F, NOVAK, M, CEJKOVA, B, et al. (2019): Assessing DOC export from a Sphagnum-dominated peatland using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}\text{-H}_2\text{O}$ stable isotopes. *Hydrological Processes*. 33, s. 2792–2803.
- CABICAR J. (1983): Vlastnosti stabilních izotopů a jejich význam. In: *Stabilní izotopy*, Academia, Praha. s. 13-28.
- CAISSIE, D. (2006): The thermal regime of rivers: A review. *Freshwater Biology* 51: s.1389–1406.
- CARRER, G. E., ROUSSEAU, A. N., JUTRAS, S., FOSSEY, M. (2016): Assessment of the impact of pools on the water isotopic signature of a boreal patterned peatland, *Hydrol. Process.*, 30, s. 1292–1307.
- CLARK I. D., FRITZ, P. (1997): *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. CRC Press: New York. 343 s.

- CONANT, B. (2004): Delineating and quantifying ground water discharge zones using streambed temperatures. *Ground Water*.42(2):243-57.
- CONSTANTZ, J., STEWART, A.E., NISWONGER, R., SARMA, I. (2002): Analysis of temperature profiles for investigating stream losses beneath ephemeral channels. *Water Resources Research* 38, no. 12.
- CRAIG, H. (1961): Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, Svazek 133, s. 1702–1703.
- ČERVENÝ, J., LEKEŠ, Z., RICHTER, V. (1984): Podnebí a vodní režim ČSSR. SZN, Praha, 414 s.
- ČESÁK, J., KOCUM, J., KLIMENT, Z., JENÍČEK M. (2008): Monitoring odtokového režimu v pramenných oblastech toků. In: Langhammer, J. (ed.): Změny v krajině a povodňové riziko. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině. PřF UK, Praha, s. 80–85.
- ČURDA, J. (2009): Odtokový režim v pramenné oblasti Vydry se zaměřením na hodnocení povodňových epizod. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta v Praze, katedra fyzické geografie a geoekologie, 149 s.
- DANĚHELKA, J. (2007): Operativní hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědí. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 104 s.
- DAVIS, S.N., THOMPSON, G. M., BENTLEY, H. W., STILES, G. (1980): Ground-water tracers-a short review. *Groundwater* 18(1), s. 14–23.
- DEWAIDE L., BONNIVER I., ROCHEZ G., HALLET V. (2016): Solute transport in heterogeneous karst systems: Dimensioning and estimation of the transport parameters via multi-sampling tracer-tests modelling using the OTIS (One-dimensional Transport with Inflow and Storage) program. *Journal of Hydrology* 534, s. 567–578.
- DEWALLE, D.R. (2008): Guidelines for riparian vegetative shade restoration based upon a theoretical shaded-stream model. *J Am Water Resour Assoc*, 44, s. 1373–1387.
- DICK, J.J., TETZLAFF, D., SOULSBY, CH. (2018): Role of riparian wetlands and hydrological connectivity in the dynamics of stream thermal regimes. *Hydrology Research*, 49 (3), s. 634–647.
- DIERSCH, H.J. (2013): FEFLOW: Finite Element Modeling of Flow, Mass and Heat Transport in Porous and Fractured Media. Springer Science & Business Media, Berlin.
- DODY, A., ZIV, B. (2013): Factors affecting isotopic composition of the rainwater in the Negev Desert, Israel. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, 15, s. 8274-8284.

DOLEŽAL, T., VLČEK, L., KOCUM, J., JÁNSKÝ, B. (2020): Hydrological regime and physicochemical water properties of various type of peat bog sites: case study of Mezilesní peat bog, Šumava Mts. *Geografie*, 125 (1), s. 21–46.

ECKHARDT, K. (2005): How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes* 19. s. 507–515.

ECKHARDT, K. (2008): A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods. *Journal of Hydrology*, 325(1), s. 168–173.

FERDA, J. (1960): Hydrologický význam horských vrchovištních rašelinišť. *Sborník ČSAZV – Lesnictví*, č. 10, Praha, s. 835–856.

FERDA, J., HLADNÝ, J., BUBENÍČKOVÁ, L., PEŠEK, J. (1971): Odtokový režim a chemismus vod v povodí Horní Otavy se zaměřením na výskyt rašelinišť. *Sborník prací HMÚ*, sv. 17, HMÚ, Praha, s. 22–126.

FIISCHER, B., SEIBERT, J., BISHOP, K. (2021): Hydrological connectivity effects of forest management interventions measured with isotope hydrograph separation after clear cuts and wetland restoration, AGU Fall Meeting 2021, held in New Orleans, LA, s. 13-17.

FLETCHER, N.H. (1966): *The physics of rainclouds*. Cambridge University Press. ISBN 978-052-1050-s. 135.

FOKS, S.S., RAFFENSPERGER, J.P., PENN, C.A., DRISCOLL, J.M. (2019): Base flow estimation via optimal hydrograph separation at CONUS watersheds and comparison to the National Hydrologic Model - Precipitation-Runoff Modeling System by HRU calibrated version: U.S. Geological Survey data release,

FRAINDOVÁ, K., MATOUŠKOVÁ, M., KLIMENT, Z., VLČEK, L., VLACH, V., SPRINGEROVÁ, P. (2020). Headwaters biogeochemistry focused on different rainfall-runoff conditions and role of waterlogged areas: Czech mountains comparative study. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 65, s. 64.

FULLERTON A.H., TORGERSEN, C.E., LAWLER, J.J., FAUX, R.N., STEEL, E.A., BEECHIE, T.J., EBERSOLE, J.L., LEIBOWITZ, S.G. (2015): Rethinking the longitudinal stream temperature paradigm: region-wide comparison of thermal infrared imagery reveals unexpected complexity of river temperatures. *Hydrol Process* 29, s. 4719–4737.

GARNER, G., HANNAH, D.M., SADLER, J.P. (2013): River temperature regimes of England and Wales: Spatial patterns, inter-annual variability and climatic sensitivity. *Hydrological Processes*.

- GERKE, K.M., SIDLE, R.C., MALLANTS, D. (2015): Preferential flow mechanisms identified from staining experiments in forested hillslopes. *Hydrol. Proc.*, 17(2), s. 391–401.
- GENEREUX, D.P., H.F. HEMOND (1990): Naturally occurring radon 222 as a tracer for streamflow generation: steady state methodology and field example, *Water Resour. Res.*, 26 (12), s. 3065-3075.
- GENTHON, P., BATAILLE, A., FROMANT, A., D'HULST, D., BOURGES, F. (2005): Temperature as a marker for karstic waters hydrodynamics. Inferences from 1 year recording at La Peyrère cave (Ariège, France). *Journal of Hydrology*, 311, s. 157–171.
- GERICKE, O.J., SMITHERS, J.C. (2014): Review of methods used to estimate catchment response time for the purpose of peak discharge estimation. *Hydrological sciences journal* 59 (11), s. 1935–1971.
- GIBSON, J. J., PRICE, J. S., ARAVENA, R., FITZGERALD, D. F., MALONEY, D. (2000): Runoff generation in a hypermaritime bog-forest upland, *Hydrol. Process.*, 14, s. 2711–2730.
- GONZALES, A. L., NONNER, J., HEIJKERS, J., UHLENBROOK, S. (2009): Comparison of different base flow separation methods in a lowland catchment, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13, s. 2055–2068.
- GREGOR, V., PACL, J. (2005): Hydrológia tatranských jazier. *Acta hydrologica Slovaca*, roč. 6, č. 1, s. 161-187.
- GOSWAMI, D., KALITA, P.K., MEHNERT, E. (2010): Modeling and Simulation of Baseflow to Drainage Ditches During Low-flow Periods. *Water Resour Manage* 24, s. 173–191.
- GUSTARD, A., BULLOCK, A., DIXON, J. M. (1992): Low Flow Estimation in the United Kingdom. Report No, 108. Inst. Of Hydrol, Wallingford, England, s. 19– 25.
- HANNAH, D.M., WEBB, B.W., NOBILIS F. (2008b): River and stream temperature: Dynamics, processes, model and implications – preface. *Hydrological Processes* 22: s. 899–901.
- HANUSKOVÁ, D. (2018): Jak se hydrologicky podílí mlha na atmosférické depozici? Využití stabilních izotopů. Praha. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Doc. RNDr. Iva Hůnová, CSc.
- HARTLEY, A. (2021): Surface and near-surface runoff processes in peatland catchments. MSc by research thesis, University of Leeds.
- HEALY, R.W. (2010): Scanlon BR. Heat tracer methods. In: *Estimating Groundwater Recharge*. Cambridge: Cambridge University Press, s. 166-179.

HERČÍK, F., HERMAN, Z., NAKLÁDAL, V. (1987): Hydrogeologická syntéza České křídové pánve. MS Stavební geologie. Praha.

HOEG, S., UHLENBROOK, S., LEIBUNDGUT, CH. (2000): Hydrograph separation in a mountainous catchment – combining hydrochemical and isotopic tracers. *Hydrological Processes* 14, s. 1199–1216.

HOJOVEC, D. (2018): Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitu odtoku (Případová studie: Porovnání malých povodí v oblasti centrální Šumavy). Praha. Bakalářská práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Prof. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

HOLDEN, J., BURT, T. P. (2003): Runoff production in blanket peat covered catchments, *Water Resour. Res.*, 39, 1191.

HOLDEN, J., CHAPMAN, P. J., LABADZ, J. C. (2004): Artificial drainage of peatlands: hydrological and hydrochemical process and wetland restoration. *Progress in Physical Geography*, 28,1, s. 950123.

HOLKO, L., HERRMANN, A., UHLENBROOK, S., PFISTER, L., QUERNER, E. (2002): Groundwater runoff separation - Test of applicability of a simple separation method under varying natural conditions. *Regional Hydrology: Bridging the Gap between Research and Practice (Proceedings of the Fourth International FRIEND Conference held at Cape Town, South Africa)*. IAHS Publ. no. 274.

HOLZAPFEL, G., WEIHS, P., RAUCH, H.P. (2013): Use of the Shade-a-lator 6.2 model to assess the shading potential of riparian purple willow (*Salix purpurea*) coppices on small to medium sized rivers. *Ecol Eng* 61, s. 697–705.

HOOPER, R.P., SHOEMAKER, C.A. (1986): A comparison of chemical and isotopic hydrograph separation. *Water Resour. Res.* 22 (10), s. 1444–1454.

HORTON, R.E. (1933): The Role of Infiltration in the Hydrologic Cycle. *Transactions of the American Geophysical Union*, 14, s. 446–460.

HUGENSCHMIDT, C., INGWERSEN, J., SANGCHAN, W., SUKVANACHAIKUL, Y., DUFFNER, A., UHLENBROOK, S., STRECK, T. (2014): A three-component hydrograph separation based on geochemical tracers in a tropical mountainous headwater catchment in northern Thailand, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, s. 525–537.

CHAPMAN, T. G., MAXWELL, A. I. (1996): Baseflow separation - comparison of numerical methods with tracer experiments', in *Hydrol. and Water Resour. Symp.* Institution of Engineers Australia, Hobart. 1996, s. 539–545.

CHAPMAN, P.J., MCDONALD, A.T., TYSON, R., PALMER, S.M., MITCHELL, G., IRVINE, B. (2010): Changes in water colour between 1986 and 2006 in the headwaters of the River Nidd, Yorkshire, UK. *Biogeochemistry*, 101, s. 281–294.

IAEA/WMO (2020): Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. Dostupné z: <https://nucleus.iaea.org/wiser>

INSTITUTE OF HYDROLOGY (1980): Low Flow Studies Report no.1 Research Report. Institute of Hydrology, 50 s.

JANDORA, J., STARA, V., STARÝ, M. (2011): Hydraulika a hydrologie. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-80-7204-739-0.

JANKOVEC, J. (2019): Tvorba podpovrchového odtoku v povodí. Praha. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze, Stavební fakulta. Vedoucí práce doc. Ing. Martin Šanda, Ph.D., Ing. Jaromír Dušek, Ph.D.

JANSKÝ, B., ŠOBR, M. (2003): Jezera České republiky. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha.

JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2008a): Peat bogs influence on runoff process: case study of the Vydra and Křemelná River basins in the Šumava Mountains, southwestern Czechia. Geografie - Sborník ČGS, 113, 4, Praha, pp. 383-399.

JENÍČEK, M., LEDVINKA, O. (2020): Importance of snowmelt contribution to seasonal runoff and summer low flows in Czechia. Hydrology and Earth System Sciences, 24 (7), s. 3475–3491.

JENKINS, A., FERRIER, R.C., HARRIMAN, R. OGUNKOYA, Y.O. (1994): A case study in catchment hydrochemistry: Conflicting interpretations from hydrological and chemical observations. Hydrol. Process., 8, s. 335–349.

JOHNSON, M.F., WILBY, R.L. (2015): Seeing the landscape for the trees: metrics to guide riparian shade management in river catchments. Water Resour Res 51: s. 3754–3769.

KADLECOVÁ, R., HERRMANN, Z., KAŠPÁREK, L., VLNAS, R., FRYDRYCH, V., STIBITZ, M., SLAVÍK, J., MILICKÝ, M., OLMER, M. (2010): Oceňování velikosti zdrojů podzemních vod. Sborník geologický věd. 77 s.

KAUSHAL, S.S., LIKENS, G.E., JAWORSKI, N.A. (2010): Rising stream temperatures in the United States. Frontiers in Ecology and the Environment 8: s. 461–466.

KELLEHER, C., WAGENER, T., GOOSEFF, M. (2012): Investigating controls on the thermal sensitivity of Pennsylvania streams. Hydrological Processes 27, s. 771–785.

KENDALL, C., MCDONNELL, J.J. (1998): Isotope Tracers in Catchment Hydrology. Elsevier, Amsterdam.

KEMEL, M. (1996): Klimatologie, meteorologie, hydrologie. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80-01-01456-8.

- KIES, A., HOFMANN, H., TOSHEVA, Z., HOFFMANN, L., PFISTER, L. (2005): Using ^{222}Rn for hydrograph separation in a micro basin (Luxembourg). *Annals of Geophysics* 48 (1), s. 101–107.
- KEYS, W.S., BROWN, R.F. (1978): Use of temperature logs to trace movement of injected water. *Ground Water* 16, s.32–48.
- KIRCHNER, J. W. (2019). Quantifying new water fractions and transit time distributions using ensemble hydrograph separation: Theory and benchmark tests, *Hydrol. Journal of Earth System Science*, 23, s. 303–349.
- KIRCHNER, J.W., TETZLAFF, D. SOULSBY, C. (2010): Comparing chloride and water isotopes as hydrological tracers in two Scottish catchments. *Hydrol. Process.*, 24: s. 1631–1645.
- KLAUS J., MCDONNELL, J.J. (2013): Hydrograph separation using stable isotopes: review and evaluation. *J Hydrol* 505, s. 47–64.
- KLINER, K., KNĚŽEK, M. (1974): Metoda separace podzemního odtoku při využití pozorování hladiny podzemní vody. *Vodohospodářský časopis, Veda, Bratislava*, 22:5, 1974, s. 457–466.
- KLOSE, Z. (2008): Kvantitativní vývoj sněhové pokrývky na experimentálním povodí Modrava 2. Praha, 2008. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze.
- KOBAYASHI, A. (1985): Separation of the snowmelt hydrograph by stream temperatures, *Journal of Hydrology*, 76, 1–2, s. 155–162.
- KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2007a): Retention potential in river headstream areas. *Sborník příspěvků mezinárodního kurzu UNESCO Ecohydrological Approaches to Wise Use, Restoration, Management and Conservation of Wetlands*. Třeboň, s. 8–16.
- KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2007b): Water retention in river headstream areas as an instrument of integrated flood protection and drought problem solving. *Sborník příspěvků IUGG XXIV General Assembly Earth: our changing planet*. USMA, Perugia, Italy, 887 s.
- KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2008): Possibilities of Headwaters Retention Potential Enhancement - Case Study Upper Otava River Basin. *Sborník příspěvků XXIVth Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*. Bled, 13 s.
- KOCUM, J., JANSKÝ, B. (2009): Retence vody v pramenných oblastech Vydry a Křemelné – případová studie povodí Rokytky. In Černý, D. a Dvořák, L. (ed.): *Weitfällerské slatě. Sborník referátů ze semináře 21.1.2009*. Správa NP a CHKO Šumava, Vimperk, 26–48.

- KOCUM, J. (2012): Tvorba odtoku a jeho dynamika v pramenné oblasti Šumavy. Disertační práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta v Praze, katedra fyzické geografie a geoekologie, 206 s.
- 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, s. 2579–2589.
- KRÁSNÝ, J. (1982): Odtok podzemní vody na území Československa. Praha: SNTL.
- KŘÍŽ, H. (1983): Hydrologie podzemních vod. Československá akademie věd, Praha, 292 s.
- KULASOVÁ, A., BLAŽKOVÁ, Š., VLČEK, L. a JANSKÝ, B. (2019): Sledování formování odtoku na svazích Jizerských hor a Šumavy pomocí stopovacích experimentů, které jsou podkladem pro použití modelu MIPs. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, roč. 61, č. 3, s. 23–30.
- KVAERNER, J., KLOVE, B. (2006): Tracing sources of summer streamflow in boreal headwaters using isotopic signatures and water geochemical components, *Journal of Hydrology*, Volume 331, Issues 1–2, s.186–204.
- KVAERNER, J., KLOVE, B. (2008): Generation and regulation of summer runoff in a boreal flat fen, *Journal of Hydrology*, 360, 1–4, s. 15-30,
- LACAS J.L. (1976): Introduction a` la me`thodologie d'e`tude et d'utilisation des champs hydrothermiques des aquife`res karstiques:d'apre`s l'exemple du site de l'exurgence de la source du Lez He`rault, France.
- LACEY, G., GRAYSON, R.B. (1998): Relating baseflow to catchment properties in south-eastern Australia. *Journal of Hydrology*, 204, s. 231–250.
- LADOUCHE, B., PROBST, A., VIVILLE, D., IDIR, S., BAQUÉ, D., LOUBET, M.J., PROBST, J., BARIAC, T. (2001): Hydrograph separation using isotopic, chemical and hydrological approaches (Strengbach catchment, France). *Journal of Hydrology*, 242, s. 255–274.
- LANGHAMMER, J. (2002): Kvalita povrchových vod a jejich ochrana. Praha. Výukový materiál. Univerzita Karlova.
- LAPHAMEN, W.W. (1989): Use of temperature profiles beneath streams to determine rates of vertical ground-water flow and vertical hydraulic conductivity. *Water-Supply Paper 2337*. Denver, Colorado: USGS.
- LAUDON, H., SJOBLUM, V., BUFFAM, I., SEIBERT, J., MORTH, M. (2007): The role of catchment scale and landscape characteristic sfor runoff generation of boreal streams. *Journal of Hydrology* 344, s. 198–209.

- LEE, K.E. (1985). *Earthworms: Their ecology and relationship with soils and land use*. Published by Academic Press, Sydney.
- LELLÁK, J., KUBÍČEK, F. (1992): *Hydrobiologie*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 257 s. ISBN 80-7066-530-0
- LENNARTZ, B., LIU, H. (2019): Hydraulic Functions of Peat Soils and Ecosystem Service, *Frontiers in Environmental Science*, 10.3389/fenvs.2019.00092, 7.
- LIN, K., GUO, S., ZHANG, W., LIU, P. (2007): A new baseflow separation method based on analytical solutions of the Horton infiltration capacity curve. *Hydrol. Process.* 21, s. 1719–1736.
- LONG, A.J., GILCREASE, P.C. (2009): A one-dimensional heat-transport model for conduit flow in karst aquifers. *Journal of Hydrology*, 378, s. 230–239.
- LONWNEY, C. L. (2000): Stream temperature variation in regulated rivers: Evidence for a spatial pattern in daily minimum and maximum magnitudes, *Water Resour. Res.*, 36(10), s. 2947–2955.
- LUHMANN, A.J. (2011). Water temperature as a tracer in karst aquifers. Retrieved from the University of Minnesota Digital Conservancy. 164 s.
- LUHMANN, A.J., COVINGTON, M.D., MYRE, J.M., PERNE M., JONES, S.W., ALEXANDER, J.E.C., SAAR, M.O. (2015): Thermal damping and retardation in karst conduits. *Hydrol Earth Syst Sci* 19, s. 137–157.
- LYNE, V., HOLLICK, M. (1979): Stochastic time-variable rainfall-run-off modeling. *I.E. Aust. Natl. Conf. Publ. Canberra*. 79/10: 89-91 s. In: ŽLÁBEK, P. (2009): *Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku*. České Budějovice. Dizertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 70 s.
- MAILLET, E (1905): *Essai d'hydraulique souterraine et fluviale*: Librairie scientifique. Hermann, Paris. In: WITTENBERG, H., SIVAPALAN, M (1999): Watershed groundwater balance estimation using streamflow recession analysis and baseflow separation *Journal of Hydrology* 219, s. 20–33.
- MCCUEN, R.H. (2009): Uncertainty Analyses of Watershed Time Parameters. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14, s. 490-498.
- MCGLYNN, B.L., MCDONNELL, J.J., (2003): Quantifying the relative contributions of riparian and hillslope zones to catchment runoff. *Water Resources Research* 39.
- MCGUIRE, K. J., MCDONNELL, J.J., WEILER, M., KENDALL, C., MCGLYNN, B. L. WELKER, J. M., SEIBEERT, J. (2005): The role of topography on catchment-scale water residence time, *Water Resour. Res.*, s. 41, W05002.

MELIORIS, L., MUCHA I., POSPÍŠIL, P. (1986): Podzemná voda – metódy výskumu a prieskumu (1. vyd.). – Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry. Bratislava.

MENBERG, K., BLUM, P., SCHAFFIETEL, A., BAYER, P. (2013): Long-term evolution of anthropogenic heat fluxes into a subsurface urban heat island. *Environ. Sci. Technol.*, 47, s. 9747–9755.

MILANOVIC, P.T. (2001): Geological engineering in karst. Zebra Publishing. Belgrade.

MOATAR, F., GAILHARD, J. (2006): Water temperature behaviour in the River Loire since 1976 and 1881, *C. R. Geosci.*, 338(5), s. 319–328.

MUNOZ-VILLER, L. E., MCDONNELL, J. J. (2012): Runoff generation in a steep, tropical montane cloud forest catchment on permeable volcanic substrate. *Water Resources Research*, 48, s. 1-17.

NETOPIL, R. (1970): Základy hydrologie povrchových a podpovrchových vod. Učební texty vysokých škol. Praha: SPN.

NETOPIL, R., BRÁZDIL, R., DEMEK, J. (1984): Fyzická geografie. 1. vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 272 s.

OGUNKOYA, O.O. JENKINS, A. (1993): Analysis of storm hydrograph and flow pathways using a three-component hydrograph separation model, *Journal of Hydrol.*, 142, 1–4, s. 71-88.

PELLERIN, B.A., WOLLHEIM, W.M., FENG, X. and VOROSMARTY, C.J. (2008): The application of electrical conductivity as a tracer for hydrograph separation in urban catchments. *Hydrol. Process.*, 22: s. 1810–1818.

PENKA, M. (1985): Transpirace a spotřeba vody rostlinami. Academia, Praha, 250 s.

PENNA, D, VAN MEERVELD, H. J. (2019): Spatial variability in the isotopic composition of water in small catchments and its effect on hydrograph separation. *WIREs Water*. 6:e1367.

PITTER, P. (1999): Hydrochemie. 3., přeprac. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT. ISBN 80-7080-340-1.

POMIJE, T. (2018): Porovnání různých metod separace drenážního odtoku se změnou teploty drenážní vody. Č. Budějovice, Disertační práce (Ph.D.). JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. Zemědělská fakulta. Vedoucí práce: prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.

PURANEN, R., MAKILA, M., SAAVUORI, H. (1998): Electrical conductivity and temperature variations within a raised bog in Finland: implicators for bog development. *The Holocene*, 9 (1), 13–4.

- 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*, s. 3578–3590.
- RICE, K. C., HORNBERGER, G. M. (1998): Comparison of hydrochemical tracers to estimate source contributions to peak flow in a small, forested, headwater catchment. *Water Resources Research*, 34, s. 1755–1766.
- RODGERS, P., SOULSBY, C., WALDRON, S., TETZLAFF, D. (2005): Using stable isotope tracers to assess hydrological flow paths, residence times and landscape influences in a nested mesoscale catchment, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 9, s. 139–155.
- RUTHERORD, J.C., BLACKETT, S., BLACKETT, C., SAITO, L., DAVIES-COLLEY, R.J. (1997): Predicting the effects of shade on water temperature in small streams. *N Z J Mar Freshw Res* 31: s. 707–721.
- SANTRUCEK, J., VRABLOVA, M., SIMKOVA, M., HRONKOVA, M., DRTINOVA, M., KVETON, J., VRABL, D., KUBASEK, J., MACKOVA, J., WIESEROVA, D., NEUWITHOVA, J., SCHREIBER, L. (2014): Stomatal and pavement cell density linked to leaf internal CO₂ concentration. *Annals of Botany* 114, s. 191–202.
- SEDLMAIEROVÁ, P. (2015): Vyhodnocení pohybu vody v povodí Nisy. Praha. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Stavební fakulta. Vedoucí práce doc. Ing. Martin Šanda, Ph.D.
- SERRANO, E. S. (1997): *Hydrology of Engineers, Geologists and Environmental Professionals*. HydroScience Inc. Lexington, Kentucky, 468 s.
- SIMONOVIC, S.P., JULIANO, K.M. (2001): The Role of Wetlands during Low Frequency Flooding Events in the Red River Basin , *Canadian Water Resources Journal / Revue canadienne des ressources hydriques*, 26:3, s. 377–397.
- SHAN, C., BODVARSSON, G. (2004): An analytical solution for estimating percolation rate by fitting temperature profiles in the vadose zone. *Journal of Contaminant Hydrology*, 68, s. 83–95.
- SHANLEY, J.B., PETERS, N.E. (1988): Preliminary observations of streamflow generation during storms in a forested piedmont watershed using temperature as a tracer. *J. Contaminant Hydrol.* 3: s. 349–365.
- SHARP, Z. (2017): *Principles of Stable Isotope Geochemistry*. Upper Saddle River, N. J.: Pearson/Prentice Hall. 344 s.
- SHILLING, K.E., HELMERS, M. (2008): Tile drainage as karst: conduit flow and diffuse flow in a tile-drained watershed. *J Hydrol*, 349, s. 191–301.

- SHUTTLEWORTH, E.L., EVANS, M.G., PILKINGTON, M., SPENCER, T., WALKER, J., MILLEDGE, D., ALLOTT, T.E.H. (2019): Restoration of blanket peat moorland delays stormflow from hillslopes and reduces peak discharge, *Journal of Hydrology*, 2.
- SCHAFFER, R., SAS, I., HELDMANN, C. (2020): Water supply in times of climate change – Tracer tests to identify the catchment area of an Alpine Karst Spring, Tyrol, Austria. *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 52, 1, s. 70–86.
- SCHERRER, S., NAEF, F. (2003): A decision scheme to identify dominant flow processes at the plot-scale for the evaluation of contributing areas at the catchments-scale. *Hydrol. Proc.*, 17(2), s. 391–401.
- SCHMIEDER, J., GARVELMANN, J., MARKCE, T., STRASSER, U. (2018): Spatio-temporal tracer variability in the glacier melt end-member—How does it affect hydrograph separation results? *Hydrological Processes*, 32, s. 1828–1843.
- SCHOLL, M. A., GIAMBELLUCA, T. W., GINGERICH, S. B., NULLET, M. A., LOOPE, L. L. (2007): Cloud water in windward and leeward mountain forests: the stable isotope signature of orographic cloud water. *Water Resources Research* 43. W12411.
- SCHOLL, M. A., TORRES-SANCHEZ, A., ROSARIO-TORRES, M. (2014), Stable isotope ($\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^2\text{H}$) values for precipitation, stream water and groundwater in Puerto Rico, U.S. Geol. Surv. Open File Rep., 2014-1011, 25 s.
- SLAVÍK, J. (1980): Západosmoravská křída - stanovení okrajových podmínek březovského vodovodu. Závěrečná zpráva regionálního hydrogeologického průzkumu. MS Geotest. Brno.
- SLEPIČKA, F. (1971): Hydrologický režim přirozeného oběhu přebytků podzemních vod a povrchových odtoků v důležitých oblastech: Svitavská křídová pánev. Praha. 33 s.
- SMAKTHIN, V. (2001): Low Flow Hydrology: A Review. *Journal of Hydrology*, 240(3-4), s. 147–186.
- SOULSBY, C., CHEN, M., FERRIER, R.C., HELLIWELL, R.C., JENKINS, A., HARRIMAN, R. (1998): Hydrogeochemistry of shallow groundwater in an upland Scottish catchment. *Hydrol. Process.*, 12: s. 1111–1127.
- SOULSBY, C., MALCOLM, R., HELLIWELL, R., FERRIER, R.C., JENKINS, A. (2000): Isotope hydrology of the Allt a' Mharcaidh catchment, Cairngorms, Scotland: implications for hydrological pathways and residence times. *Hydrological Processes* 14, s. 747–762.
- SPONGBERG, M. (2000): Spectral Analysis of Base Flow Separation With Digital Filters. *Water Resources Research - WATER RESOUR RES.* 36(3), s. 745–752.

- SPRENGER, M., TETZLAFF, D., TUNALEY, C., DICK, J., SOULSBY, C. (2017): Evaporation fractionation in a peatland drainage network affects stream water isotope composition, *Water Resour. Res.*, 53, s. 851–866.
- SRIDHAR, V., SANSONE, A.L., LAMARCHE, J., DUBIN, T., LETTENMAIER, D.P. (2004): Prediction of stream temperature in forested watersheds. *J Am Water Resour Assoc* 40, s. 197–213.
- STALLMAN, R.W. (1963): Computation of ground-water velocity from temperature data. In: *Methods of Collecting and Interpreting Ground-Water Data*, ed. R Bentall. Water Supply Paper 1544-H, s. 36–46, Washington, DC: USGS.
- STARÝ, M. (2005): *Hydrologie, Modul 01. Studijní opory*, Brno: VUT.
- STONESTROM, D. A., CONSTANTZ, J. (2003): Heat as a tool for studying the movement of ground water near streams. U.S. Geological Survey circular, 1260. Reston: U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, 96 s. ISBN 0-607-94071-9.
- SUKOP, L. (2006): *Ekologie vodního hospodářství*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 199 s. ISBN 80-7157-923-8.
- SUZUKI, S. (1960): Percolation measurements based on heat flow through soil with special reference to paddy fields. *Journal of Geophysical Research* 65, no. 9, s. 2883–2885.
- ŠAJNAROVÁ, L. (2023): *Změny fyzikálně-chemických parametrů povrchových vod ve vazbě na hydrologické extrémy. Aplikace v modelovém povodí Rolavy*. Praha. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Milada Matoušková, Ph. D.
- ŠANDA, M., KULASOVÁ, A., CÍSLEROVÁ, M. (2009): Hydrological processes in the subsurface investigated by water isotopes and silica. *Soil and Water Research*, Svazek 4, S. 83–92.
- ŠANDA, M., VITVAR T., HOLKO, L., BLAŽKOVÁ Š., BŮZEK F. et. al (2011): Využití stabilních izotopů vodíku a kyslíku v hydrologii malých experimentálních povodí České a Slovenské republiky. *Hydrologie malého povodí 2011*. Praha: Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i., s. 419-435.
- ŠILAR, J. (1996): *Hydrologie v životním prostředí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 136 s. ISBN 80-707-8361-3.
- ŠKOLOVÁ, K. (2022): *Posouzení tvorby odtoku na povodí Uhlířská pomocí izotopů vodíku a kyslíku*. Praha. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Stavební fakulta. Vedoucí práce doc. Ing. Martin Šanda, Ph.D.

- ŠPRINGEROVÁ, P. (2019). Změny koncentrací organického uhlíku v povrchových vodách v pramenných oblastech. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, s. 147.
- TALLAKSEN, L.M., VAN LANEN, H.A.J. (2004): Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Amsterdam
- UHLENBROOK, S., FREY, M., LEIBUNDGUT, C., MALOSZEWSKI, P. (2002): Hydrograph separations in a mesoscale mountainous basin at event and seasonal timescales, *Water Resour. Res.*, 38(6).
- UHLENBROOK, S., HOEG, S. (2003): Quantifying uncertainties in tracer-based hydrograph separations: a case study for two-, three- and five-component hydrograph separations in a mountainous catchment. *Hydrol. Process.*, 17: s. 431–453.
- VALDHANSOVÁ, K. (2020): Odtok ze sněhu při událostech deště na sníh v Povodí Ptačího potoka vypočtený pomocí stabilních izotopů ve vodě. Praha. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Michal Jeníček, Ph.D.
- VLČEK, L. (2011): Retence vody půdou v experimentálních povodích se zaměřením na organozemě. Diplomová práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce RNDr. Luděk Šefrna, CSc.
- 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.
- 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*, 121, 2, s. 235–253.
- VLČEK, L. (2017): Retence vody v půdách horských oblastí na příkladu Šumavy. Dizertační práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Praha.
- VLČEK, L., ŠÍPEK, V., KOFROŇOVÁ, J., KOCUM, J., DOLEŽAL, T., JANSKÝ, B. (2021): Runoff formation in a catchment with Peat bog and Podzol hillslopes. *Journal of Hydrology*. 593(February), 125633.
- VLNAS, R. (2009): Automatic basflow separation. *Voda - strategická surovina pro 21. století. Sborník 10. Česko - Slovenského mezinárodního hydrogeologického kongresu. Esmedia DTP. VŠB - Technická univerzita Ostrava*, s. 93–96.
- VOTRUBOVÁ, J., DOHNAL, M., VOGEL, T., ŠANDA, M., TESAŘ, M. (2017): Episodic runoff generation at Central European headwater catchments studied using water isotope concentration signals. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 65, 2, s. 114–122.

- VYSTAVNA, Y., HOLKO, L., HEJZLAR, J., PERSOIU, A., GRAHAM, N. D., JURAS, R., GIBSON, J. (2018): Isotopic response of run-off to forest disturbance in small mountain catchments. *Hydrological Processes*, 32, 24, s. 3650–3661.
- WEBB, B.W, ZHANG, Y. (1997): Spatial and seasonal variability in the components of the river heat budget. *Hydrological Processes* 11: s. 79–101.
- WEBB, B. W., NOBILIS, F. (2007): Long-term changes in river temperature and the influence of climatic and hydrological factors, *Hydrol. Sci. J.*, 52(1), s.74–85.
- WELS C., CORNETT, R. J., LAZERTE, B. D. (1991): Hydrograph separation: a comparison of geochemical and isotopic tracers. *J Hydrol*, 122(1–4), s. 253–274.
- WESTHOFF, M.C., SAVANIJE, H.H.G., LUXEMBURG, W.M.J., STELLING, G.S., VAN DE GIESEN, N.C., SELKER, J.S., PFISTER, L., UHLENBROOK, S. (2007): A distributed stream temperature model using high resolution temperature observations. *Hydrol Earth Syst Sci* 11, s. 1469–1480.
- WU, J., WU, X., HOU, D., LIU, S., ZHANG, X., XIANG, Q. (2016): Streamwater hydrograph separation in an alpine glacier area in the Qilian Mountains, northwestern China. *Hydrological Sciences Journal*, 61, s. 2399–2410.
- ZAJÍČEK, A., KVÍTEK, T., KAPLICKÁ, M., DOLEŽAL, F., KULHAVÝ, Z., BYSTRICKÝ, V., ŽLÁBEK, P. (2011): Drainage water temperature as a basis for verifying drainage runoff composition on slopes. *Hydrol Process* 25, s. 3204–3215.
- ZAJÍČEK, A., POMIJE, T., KVÍTEK, T. (2016): Event water detection in tile drainage runoff using stable isotopes and a water temperature in small agricultural catchment in Bohemian-Moravian Highlands, Czech Republic. *Environmental Earth Sciences*.
- ZAJÍČEK, A., TACHECÍ, P., ŠANDA, M., KVÍTEK, T. (2017): Doba zdržení vody v systému půda-hornina. Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce: Význam retence vody na zemědělském půdním fondu pro jakost vody a současně i průvodce vodním režimem krystalinika. Praha: Povodí Vltavy, státní podnik, 2017, s. 131-138.
- ZDVOŘÁK, M. (2022): Izotopová separace odtoku podzemní a půdní vody na povodí Uhlířská. Praha. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Stavební fakulta. Vedoucí práce doc. Ing. Martin Šanda, Ph.D.
- ZHANG, R., LI, Q., CHOW, T.L., LI, S., DANIELESCU, S. (2012): Baseflow separation in a small watershed in New Brunswick, Canada, using a recursive digital filter calibrated with the conductivity mass balance method. *Hydrological processes*, 7 s.

9 Seznam obrázků

Obrázek 1: Odběr vzorků vody ze vzorkovače ISCO (Zdroj: vlastní fotografie).....	24
Obrázek 2: Odběr vzorků vody z vrtu SU2 (Zdroj: vlastní fotografie)	24
Obrázek 3: Automatický hladinoměr na toku Rokytka (Zdroj: vlastní fotografie)	24
Obrázek 4: Srážkoměr v povodí toku Rokytka (Zdroj: vlastní fotografie).....	25
Obrázek 5: Vztah závislosti analyzovaných vzorků ($\delta^2\text{H}$) z pramene P1 a z toku Rokytka přítok, Daný vztah je proložen křivkou trendu. Označení R^2 v grafu odpovídá koeficientům determinace.....	30
Obrázek 6: Vztah závislosti analyzovaných vzorků ($\delta^2\text{H}$) z pramene REV a vrtu SU2. Daný vztah je proložen křivkou trendu. Označení R^2 v grafu odpovídá koeficientům determinace.	30
Obrázek 7: Zobrazení zájmového území (Zdroj: vlastní zpracování)	32
Obrázek 8: Soutok pramenů REV a P1 za vzniku toku RP (Zdroj: vlastní fotografie)..	32
Obrázek 9: Mapa zájmového území se zobrazením vzorkovacích míst (Zdroj: vlastní zpracování).....	33
Obrázek 10: Pramen REV (Zdroj: vlastní fotografie)	34
Obrázek 11: Povodí pramene REV (Zdroj: vlastní fotografie).....	34
Obrázek 12: Povodí pramene P1 (Zdroj: vlastní fotografie)	34
Obrázek 13: Pramen P1-odběrné místo (Zdroj: vlastní fotografie)	34
Obrázek 14: Průměrné denní srážkové úhrny v mm, srážkoměru Rokytka za období 2014-2020 v měsících duben-říjen. (Zdroj: data KFGG PřF UK).....	35
Obrázek 15: Průměrná denní teplota vzduchu v °C v povodí Rokytka za období 2014-2020 v měsících duben-říjen. (Zdroj: data KFGG PřF UK)	36
Obrázek 16: Průměrná denní teplota vody v °C v toku Rokytka přítok za období 2014-2020 v měsících duben-říjen. (Zdroj: data KFGG PřF UK)	36
Obrázek 17: Průměrný denní odtok toku Rokytka přítok za období 2014-2020 v měsících duben-říjen. (Zdroj: data KFGG PřF UK)	36
Obrázek 18: Průměrná denní hladina podzemní vody v m ve vrtech (sestupně) KL1,2; SU2 a SM1,2 za období 2014-2020 v měsících duben-říjen. (Zdroj: data KFGG PřF UK)	38
Obrázek 19: Průměrná denní teplota podzemní vody v °C ve vrtech SM1,2; SU2 a KL1,2 za období 2014-2020 v měsících duben-říjen. (Zdroj: data KFGG PřF UK).....	38
Obrázek 20 : Průměrná hodinová teplota vody pramenů REV (zelená křivka) a P1 (hnědá křivka) v období 2019-2020. (Zdroj: data KFGG PřF UK).....	39
Obrázek 21: Variabilita izotopových poměrů $\delta^2\text{H}$ na základě bodových odběrů dešťových srážek (SR) a povrchové vody v povodí toků RP, RO a z automatického vzorkovače ISCO na toku RP v období 2014-2020 v měsících duben-říjen. Tečky v grafu označují odlehlé hodnoty. Svislé čáry sahají k maximu a minimu změřených hodnot. Spodní a horní oblast obdélníku představuje 1. a 3. kvartil a linie v prostoru obdélníku medián.....	40
Obrázek 22: Variabilita izotopových poměrů $\delta^2\text{H}$ na základě bodových odběrů podzemní vody z vrtů v povodí toku RP za období 2014-2020 v měsících duben-říjen. Tečky v grafu označují odlehlé hodnoty. Svislé čáry sahají k maximu a minimu	

změřených hodnot. Spodní a horní oblast obdélníku představuje 1. a 3. kvartil a linie v prostoru obdélníku medián.	40
Obrázek 23: Odebrané vzorky izotopů povrchové vody a srážek z odběrných míst v povodí toku RP proložené křivkami GMWL a LMWL.	41
Obrázek 24: Odebrané vzorky izotopů podzemní vody a srážek z odběrných míst v povodí toku RP proložené křivkou GMWL.	42
Obrázek 25: Vztah závislosti indexu předchozích srážek (API5) a doby zdržení, vypočtené dle dvou různých kritérií: dle izotopů (červená kolečka) a dle průtoku (modrá kolečka). Dané vztahy jsou proloženy křivkami trendu (viz. legenda obrázku 25). Označení R^2 v grafu odpovídá koeficientům determinace.	44
Obrázek 26: Znázornění doby průchodu srážek povodí. Levý graf boxplotu s označením 1 odpovídá dané době určené za pomoci maximálního průtoku, zatímco pravý s označením 2, době určené pomocí izotopů. Tečky v grafu znázorňují odlehle hodnoty. Svislé čáry sahají k maximu a minimu změřených hodnot. Spodní a horní oblast obdélníku představuje 1. a 3. kvartil a linie v prostoru obdélníku medián.	45
Obrázek 27: Zobrazení dob zdržení pomocí tzv. TTD grafu. Bodové spojnice odpovídají dle barvy v legendě obrázku 27 příslušným metodám výpočtu doby zdržení.	46
Obrázek 28: Zobrazení vztahu průměrného denního průtoku - osa X (jednotky: m^3/den) a průměrné denní HPV - osa Y (jednotky: m) ve vrtech v povodí toku RP.	48
Obrázek 29: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a srážkových úhrnů (SR) během události.	49
Obrázek 30: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a HPV ve vrtech KL1, SU2 a SM1 v průběhu události.	50
Obrázek 31: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a teploty vody ve vrtech KL1, SU2 a SM1, toku Rokytka přítok (RP), prameni P1 a teploty vzduchu v průběhu události.	50
Obrázek 32: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a stabilních izotopů $2H$ před danou separací ve vzorcích z pramenů P1 a REV, vrtů SM1 a SU2, toku Rokytka přítok (RP) a v průběhu dané separace ze srážek (SR) a toku Rokytka přítok (RP-ISCO).	50
Obrázek 33: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů $2H$ do separace.	52
Obrázek 34: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.	52
Obrázek 35: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů $2H$ do separace.	53
Obrázek 36: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.	53
Obrázek 37: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů $2H$ do separace.	55
Obrázek 38: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek teploty vody a srážek do separace.	56
Obrázek 39: Zobrazení zastoupení srážek (SR) a vody z pramenů REV a P1 v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.	56
Obrázek 40: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a srážkových úhrnů (SR) během události.	58

Obrázek 41: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a HPV ve vrtech KL1, SM1 a SU2 v průběhu události.....	58
Obrázek 42: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a teploty vody ve vrtech KL1, SU2 a SM1, toku Rokytka přítok (RP), prameni P1 a teploty vzduchu v průběhu události.	59
Obrázek 43: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a stabilních izotopů ^2H před danou separací ve vzorcích z pramenů P1 a REV, vrtů SM1, KL1 a SU2, toku Rokytka přítok (RP) a v průběhu dané separace ze srážek (SR) a toku Rokytka přítok (RP-ISCO).	59
Obrázek 44: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.....	61
Obrázek 45: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.....	61
Obrázek 46: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.....	62
Obrázek 47: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.....	62
Obrázek 48: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.....	64
Obrázek 49: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek teploty vody a srážek do separace.....	64
Obrázek 50: Zobrazení zastoupení srážek (SR), vody z pramene P1 a vrtu SU2 v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů. Čárkovanými křivkami je znázorněn předpokládaný průběh separace pro její jednotlivé složky.	65
Obrázek 51: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a srážkových úhrnů (SR) během události.....	67
Obrázek 52: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a HPV ve vrtech KL1, SM1 a SU2 v průběhu události.....	67
Obrázek 53: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a teploty vody ve vrtech SU2 a SM1, toku Rokytka přítok (RP), prameni P1 a teploty vzduchu v průběhu události.	67
Obrázek 54: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a stabilních izotopů ^2H před danou separací ve vzorcích z pramenů P1 a REV, vrtů SM1 a SU2, toku Rokytka přítok (RP) a v průběhu dané separace ze srážek (SR) a toku Rokytka přítok (RP-ISCO).	68
Obrázek 55 Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.....	69
Obrázek 56: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.....	69
Obrázek 57: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.....	71
Obrázek 58: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek teploty vody a srážek do separace.....	71
Obrázek 59: Zobrazení zastoupení srážek (SR) a vody z pramenů REV a P1 v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.	72
Obrázek 60: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a srážkových úhrnů (SR) v průběhu události.....	73

Obrázek 61: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a HPV ve vrtech SM1 a SU2 v průběhu události.....	74
Obrázek 62: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a teploty vody ve vrtech KL1, SU2 a SM1, toku Rokytka přítok (RP), prameni P1 a teploty vzduchu v průběhu události. ...	74
Obrázek 63: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a stabilních izotopů ^2H před danou separací ve vzorcích z pramenů P1 a REV, vrtů SM1, KL1 a SU2, toku Rokytka přítok (RP) a v průběhu dané separace ze srážek (SR) a toku Rokytka přítok (RP-ISCO)..	74
Obrázek 64: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.....	76
Obrázek 65: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.....	76
Obrázek 66: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.....	77
Obrázek 67: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.....	77
Obrázek 68: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.....	79
Obrázek 69: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek teploty vody a srážek do separace.....	79
Obrázek 70: Zobrazení zastoupení srážek (SR) a vody z pramenů REV a P1 v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.	80
Obrázek 71: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a srážkových úhrnů (SR) v průběhu události.....	120
Obrázek 72: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a HPV ve vrtech KL1, SM1 a SU2 v průběhu události.....	121
Obrázek 73: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a teploty vody ve vrtech SM1 a SU2 a toku Rokytka přítok (RP) v průběhu události.	121
Obrázek 74: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a stabilních izotopů ^2H před danou separací ve vzorcích z pramenů P1 a REV, vrtů SM1 a KL1, toku Rokytka přítok (RP) a v průběhu dané separace ze srážek (SR) a toku Rokytka přítok (RP-ISCO).....	121
Obrázek 75: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.....	123
Obrázek 76: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.....	123
Obrázek 77: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a srážkových úhrnů (SR) v průběhu události.....	125
Obrázek 78: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a HPV ve vrtech SM1,2 a SU2 v průběhu události.....	126
Obrázek 79: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a teploty vody ve vrtech SM1, SM2 a SU2, toku Rokytka přítok (RP), prameni P1 a teploty vzduchu v průběhu události. ...	126
Obrázek 80: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a stabilních izotopů ^2H před danou separací ve vzorcích z pramenů P1 a REV, vrtů SM1,2, KL1 a SU2, toku Rokytka přítok (RP) a v průběhu dané separace ze srážek (SR) a toku Rokytka přítok (RP-ISCO). ...	126

Obrázek 81: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.....	128
Obrázek 82: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.....	128
Obrázek 83: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.....	129
Obrázek 84: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.....	129
Obrázek 85: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.....	130
Obrázek 86: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek teploty vody a srážek do separace.....	131
Obrázek 87: Zobrazení zastoupení srážek (SR) a vody z pramenů REV a P1 v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.	131

10 Seznam tabulek

Tabulka 1: Situace odebrané pomocí vzorkovače ISCO a jejich vybrané charakteristiky	43
Tabulka 2: Základní charakteristika události z hlediska srážek a nasycení povodí.....	49
Tabulka 3: Daná tabulka zobrazuje vzhledem k dané separaci důležité doby vybrané z Tabulky 1 výše.	51
Tabulka 4: Základní charakteristika události z hlediska srážek a nasycení povodí.....	57
Tabulka 5: Daná tabulka zobrazuje vzhledem k dané separaci důležité doby vybrané z Tabulky 1 výše.	59
Tabulka 6: Základní charakteristika události z hlediska srážek a nasycení povodí.....	66
Tabulka 7: Daná tabulka zobrazuje vzhledem k dané separaci důležité doby vybrané z Tabulky 1 výše.	68
Tabulka 8: Základní charakteristika události z hlediska srážek a nasycení povodí.....	73
Tabulka 9: Daná tabulka zobrazuje vzhledem k dané separaci důležité doby vybrané z Tabulky 1 výše.	75
Tabulka 10: Shrnutí dvousložkových separací z pohledu maximálního zastoupení event water v % v průběhu jednotlivých separací (EVENT-SR) a odpovídajícího zastoupení pre-event water v % (PRE-EVENT).....	82
Tabulka 11: Shrnutí třísložkových separací z pohledu maximálního zastoupení srážek (SR) v % v průběhu jednotlivých separací a odpovídajícího zastoupení z pramenů P1 a REV.....	82
Tabulka 12: Shrnutí třísložkových separací z pohledu maximálního zastoupení pramene REV v % v průběhu jednotlivých separací a odpovídajícího zastoupení z pramene P1 a srážek (SR).....	82

Tabulka 13: Shrnutí tříslložkových separací z pohledu maximálního zastoupení pramene P1 v % v průběhu jednotlivých separací a odpovídajícího zastoupení z pramene REV a srážek (SR).....	83
Tabulka 14: Shrnutí tříslložkových separací z pohledu zastoupení pramenů P1, REV a srážek (SR) v době maximálního průtoku toku RP v %, pro jednotlivé separace.	83
Tabulka 15: Shrnutí tříslložkových separací z pohledu průměrného zastoupení pramenů P1, REV a srážek (SR) od doby zapojení srážek do toku po konec jednotlivých separačních událostí v %.....	83
Tabulka 16: Shrnutí tříslložkových separací z pohledu průměrného zastoupení pramenů P1, REV a srážek (SR) od doby maximálního průtoku toku RP po konec jednotlivých separačních událostí v %. Událost 23.10.2014 byla vyřazena pro nedostatečný počet dat pro analyzovaný úsek.....	83
Tabulka 17: Základní charakteristika události z hlediska srážek a nasycení povodí....	120
Tabulka 18: Daná tabulka zobrazuje vzhledem k dané separaci důležité doby vybrané z Tabulky 1 výše.	122
Tabulka 19: Daná tabulka zobrazuje vzhledem k dané separaci důležité doby vybrané z Tabulky 1 výše.	125
Tabulka 20: Daná tabulka zobrazuje vzhledem k dané separaci důležité doby vybrané z Tabulky 1 výše.	127
Tabulka 21: Situace odebrané pomocí vzorkovače ISCO a jejich vybrané charakteristiky (1.-3. část).	133

11 Přílohy

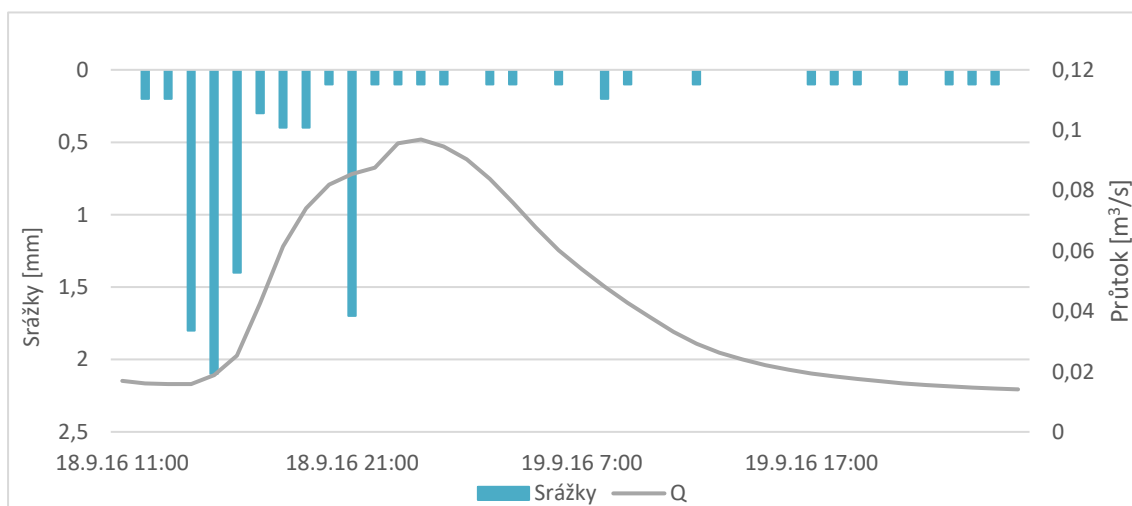
11.1 Separace

**Separční událost 18–20. 9. 2016 Malé srážkové úhrny
o dlouhodobém trvání při vysoké nasycenosti povodí**

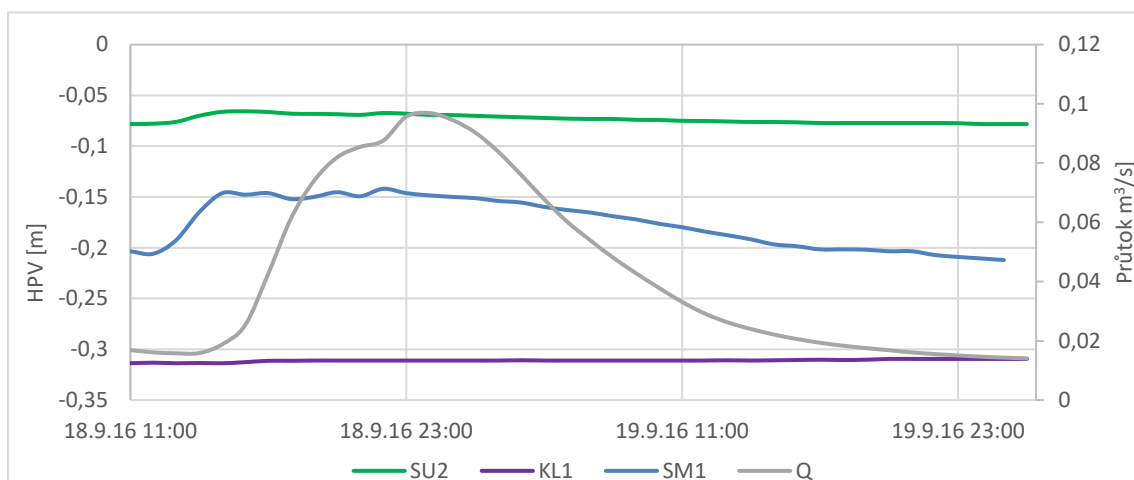
SR	API5	HPV SM1 před situací	HPV KL1 před situací	HPV SU2 před situací
10 mm	> 30	průměrná až vysoká	nízká	průměrná až vysoká

Tabulka 17: Základní charakteristika události z hlediska srážek a nasycení povodí

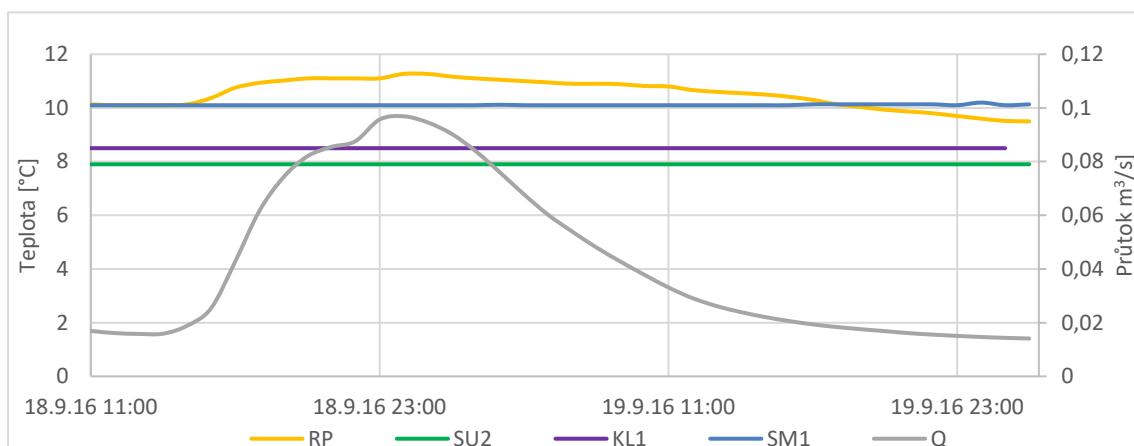
Situace byla způsobena malou srážkou (zhruba 9 mm za celou událost) (Obrázek 71), čemuž odpovídá i nízký kulminační průtok ve srovnání s ostatními situacemi. Stav nasycenosti povodí byl naopak před samotnou příčinnou srážkou poměrně vysoký, kdy index API5 odpovídal hodnotě 33 a HPV ve vrtech SM1 a SU2 (Obrázek 72; Tabulka 17) byla ve srovnání s průměrnými hodnotami vysoko. K danému stavu výrazně přispěly i srážkové úhrny den před samotnou událostí, jež dosáhly zhruba 33 mm, nicméně na průtoku toku RP se nijak neprojeví. Izotopové poměry povrchové a podzemní vody v povodí toku RP před danou situací a částečně v jejím průběhu jsou zobrazeny na Obrázku 74.



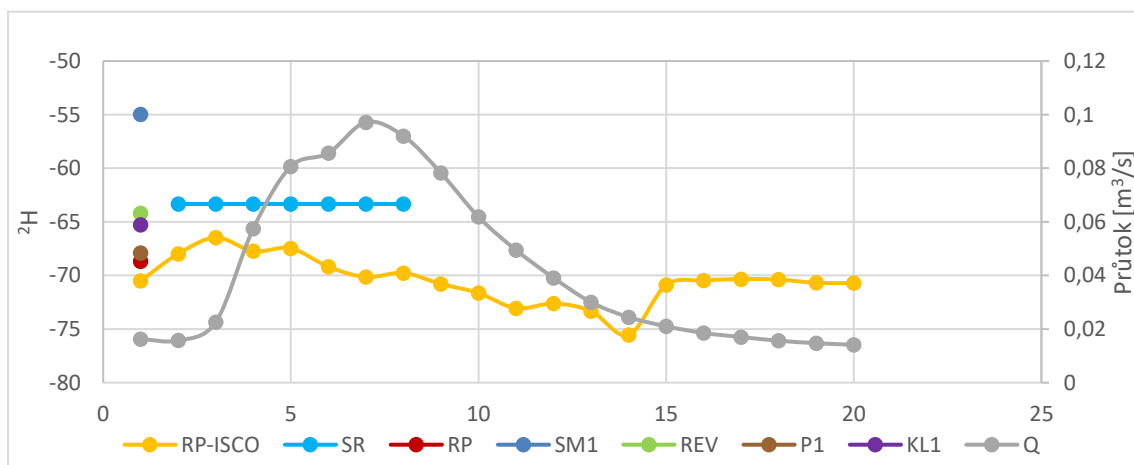
Obrázek 71: Průběh průtoku Rokytky (Q) a srážkových úhrnů (SR) v průběhu události.



Obrázek 72: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a HPV ve vrtech KL1, SM1 a SU2 v průběhu události.



Obrázek 73: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a teploty vody ve vrtech SM1 a SU2 a toku Rokytka přítok (RP) v průběhu události.



Obrázek 74: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a stabilních izotopů ^2H před danou separací ve vzorcích z pramenů P1 a REV, vrtů SM1 a KL1, toku Rokytka přítok (RP) a v průběhu dané separace ze srážek (SR) a toku Rokytka přítok (RP-ISCO).

doba od začátku srážek do max. průtoku	4
doba mezi začátkem a vrcholem vlny-z hlediska průtoku	11
doba mezi začátkem srážek a začátkem vlny	3
doba průchodu srážek (Q)	2
doba průchodu srážek (izotopy)	4

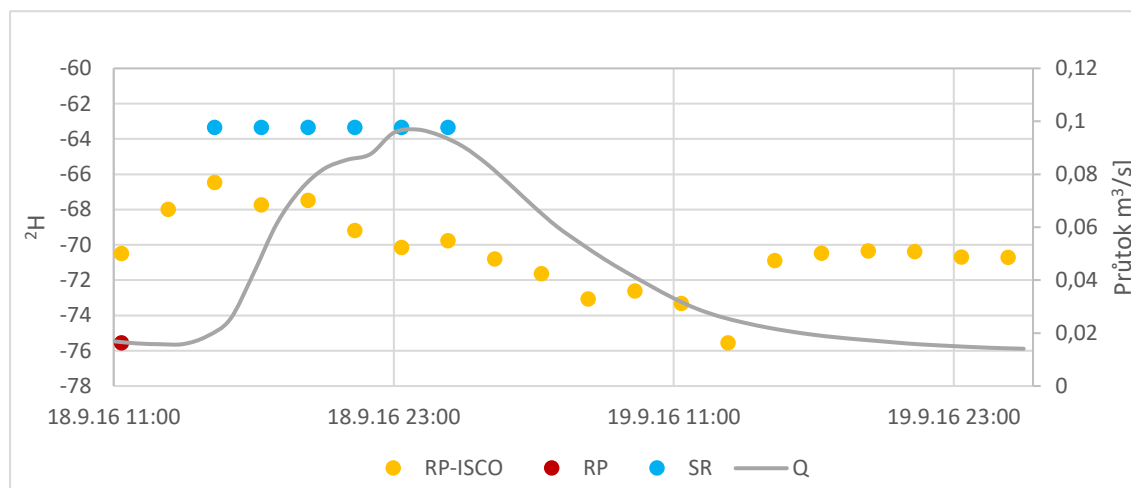
Tabulka 18: Daná tabulka zobrazuje vzhledem k dané separaci důležité doby vybrané z Tabulky 1 výše.

Pro danou situaci byla vytvořena jedna dvousložková separace

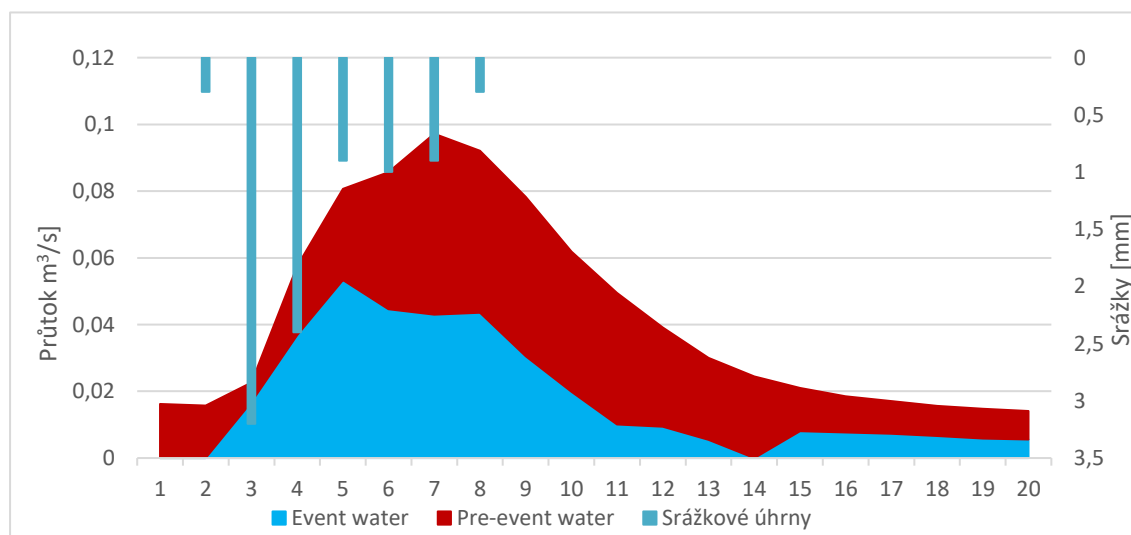
Dvousložková separační metoda-SR:

Za pre-event water byla vybrána voda z toku RP a za event water srážky (Obrázek 75). Dle separace byla v toku zaznamenaná událostní voda necelou hodinu a půl po začátku první vlny srážek současně téměř s již kulminací HPV ve vrtech SU2 a SM1, přičemž reakce těchto dvou vrtů na příčinné srážky byla přibližně o hodinu rychlejší než v toku RP. Vrt KL1 zatím zůstal bez reakce, stejně tak teplota vody v toku RP. Teplota vzduchu nebyla pro danou situaci k dispozici. Pro danou situaci můžeme pozorovat dva vrcholy obou zúčastněných složek. První a hlavní vrchol, respektive nejvyšší zastoupení událostní vody (66 %) v toku proběhlo o 6 hodin později po zapojení událostní vody do toku, zároveň již s poklesem HPV ve vrtu SU2 a kulminací ve vrtu SM1. Stejně tak v podobný čas docházelo i k dočasné kulminaci průtoku RP, a dočasná kulminace u teploty vody téhož toku se přibližovala. V další části separace následoval postupný pokles zastoupení událostní vody, který byl přibližně po 6 hodinách vystřídán opětovným, byť menším (objemově i procentuálně 47 %) růstem, zapříčiněný druhou vlnou srážek, jež nastala hodinu po maximálním zapojení událostní vody do toku. Současně v době druhého maxima zapojení událostní vody již probíhal pokles průtoku RP a HPV ve vrtech SM1 a SU2. HPV ve vrtu KL1 stále zůstávala neměnná. Naproti tomu u teploty vody RP bylo dosaženo „druhé“ kulminace, po jejím opětovném růstu. Závěrečná část separace spočívala v následujících hodinách v postupném poklesu složky událostní vody, stejně tak byl pokles zaznamenán u průtoku RP, HPV ve vrtech SU2, SM1 a velmi pomalý také u teploty vody RP. HPV ve vrtu KL1 stále zůstávala bez reakce, stejně jako teplota vody ve všech vrtech. K mírné změně poměrů událostní a před událostní vody došlo ještě téměř na úplném konci separace, kdy nastalo zvýšení událostní vody v trvání několika hodin, přestože již téměř všechny výše popsané složky

v povodí klesaly či u nich bylo dosaženo stavu jako před událostí (HPV ve vrtu SM1 a SU2 či teplota vody RP), pouze u KL1 proběhlo velmi nepatrné zvýšení. Dané zvýšení pravděpodobně mohlo nastat v důsledku, pozdějšího zapojení části srážkové vody do toku, případně se jednalo o jinou složku z povodí, mající podobný izotopový signál. Výše popisované změny v podílech zastoupení jednotlivých složek dané separace je znázorněno na Obrázku 76.



Obrázek 75: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.



Obrázek 76: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.

Shrnutí dvousložkové separace a celé situace

Na nízké srážkové úhrny zareagovalo poměrně vysoce nasycené povodí poměrně rychle, nicméně z hlediska maximálního průtoku či změn HPV ve vrtech případně velikosti změny teploty vody v toku RP nebyla odezva tak velká, jako u jiných popisovaných situací. Samotná separace naznačuje velmi rychlé a výrazné zapojení event water hned na začátku situace, což může být způsobeno jednak tím, že již bylo povodí poměrně nasyceno a brzy po začátku srážek začalo docházet k povrchovému odtoku, případně v povodí již byla před samotnou událostí srážková voda pocházející ze srážek zhruba 8 hodin před událostí o podobném izotopovém složení jako příčinná srážka, na něž tok RP v podstatě nereagoval a došlo tedy k „vytlačení“ této starší srážkové vody do toku: Později se pravděpodobně začala více zapojovat do toku voda z vrtů SM1 a SU2, kde příčinné srážky rovněž způsobily reakci HPV, kdy vzhledem k velikosti HPV před situací zřejmě došlo k zapojené vody z těchto vrtů do toku RP, přičemž dané složky se pravděpodobně zapojovaly i ve zbylém průběhu situace. V průběhu události nastaly dvě srážkové vlny, kdy reakce toku na první ní dle separace je popsána výše, zatímco odezva na druhou vlnu již byla menší (i vzhledem k menší velikosti srážek), kdy událostní voda tvořila výrazně menší složku toku RP, což je patrné i z hodnot izotopů odebraných v průběhu situace z toku, kdy izotopy odpovídající prvnímu vrcholu událostní vody odpovídají více izotopovému složení srážek než izotopy v toku v průběhu vlny druhé. V danou dobu se již zároveň pravděpodobně dostávala výrazně více do toku voda z vrtu SU2 (pro který nejsou pro tuto situace izotopová data) či pramene REV, kdy daný jev byl pozorován u předchozích situací (pozdější zapojení pramene REV).

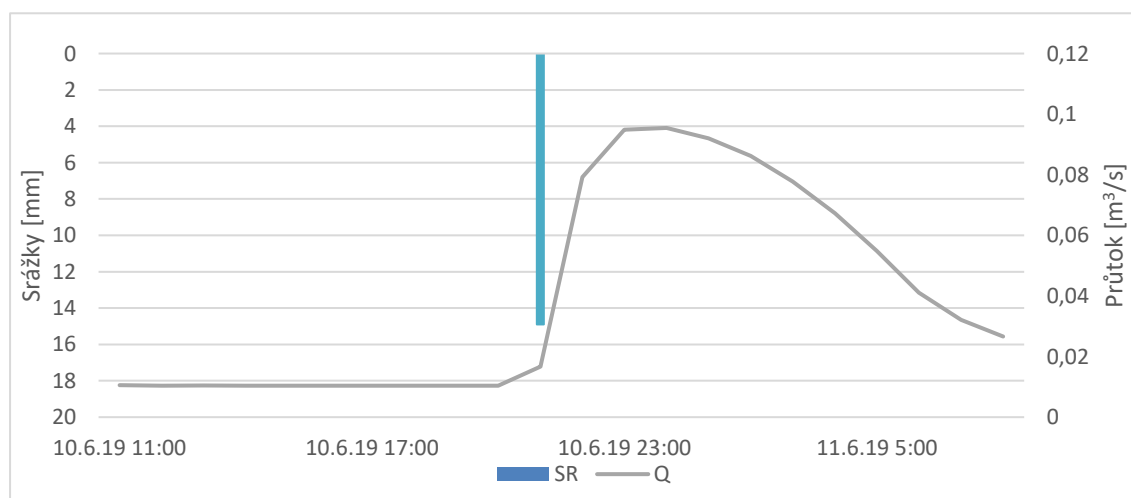
Tří složkovou separaci nebylo bohužel možné kvůli dostupným datům, respektive izotopovým poměrům a teplotám jednotlivých zúčastněných složek vytvořit, a tedy nebylo možné zároveň ověřit detailněji například chování pramene vody REV.

Separační událost 10. – 11. 6. 2019 - Krátkodobé srážky o vysoké intenzitě při střední nasycenosti povodí

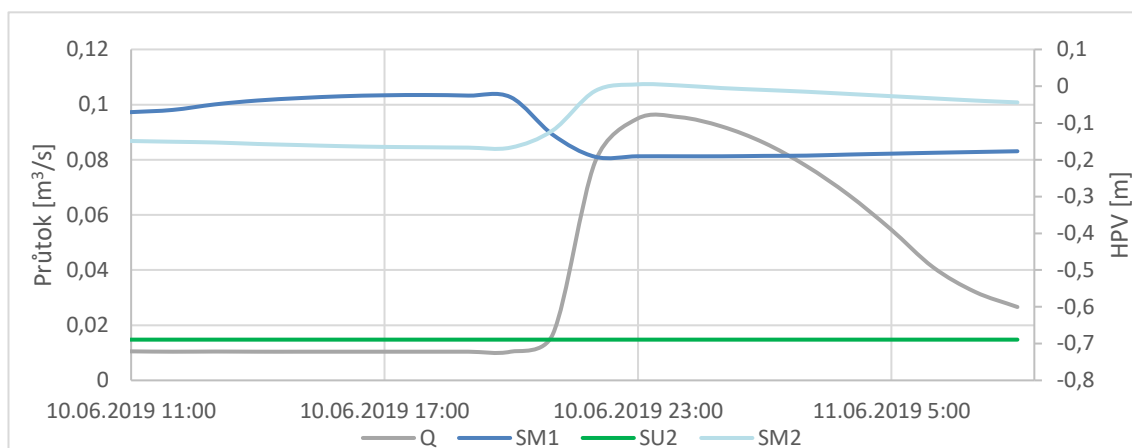
SR	API5	HPV SM1 před situací	HPV KL1 před situací	HPV SU2 před situací
15 mm	> 10	průměrná až vysoká	nízká	průměrná až vysoká

Tabulka 19: Daná tabulka zobrazuje vzhledem k dané separaci důležité doby vybrané z Tabulky 1 výše.

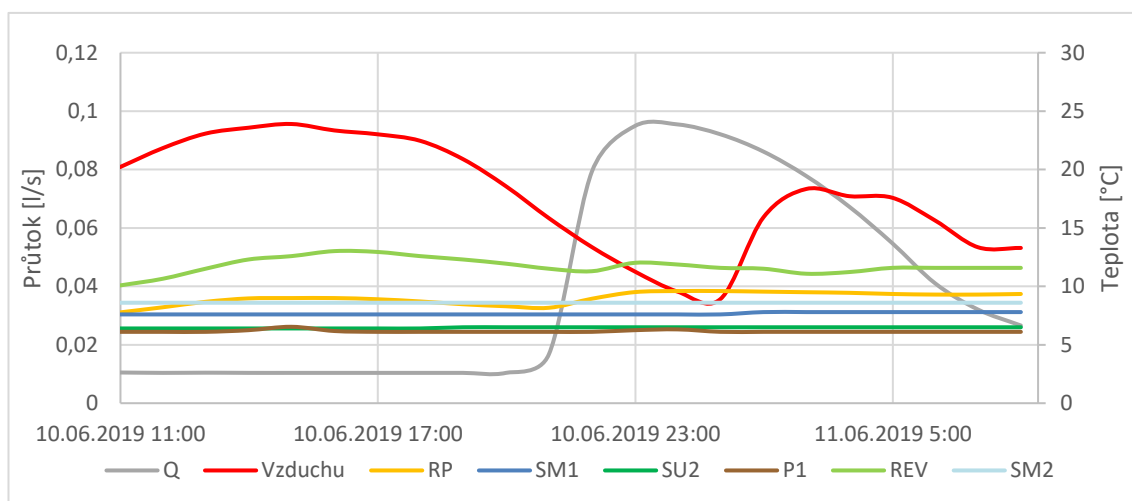
Událost z června 2019 způsobily krátké dvouhodinové intenzivní (14.9 mm/h) srážkové úhrny, díky nimž byla tato situace vybrána (Obrázek SR x Q). Nasycenost povodí odpovídala spíše středním hodnotám, kdy API5=9 a HPV byly u většiny vrtů spíše na průměrných hodnotách, respektive u SM1,2 na průměrných až vyšších a u SU2 na podprůměrných.



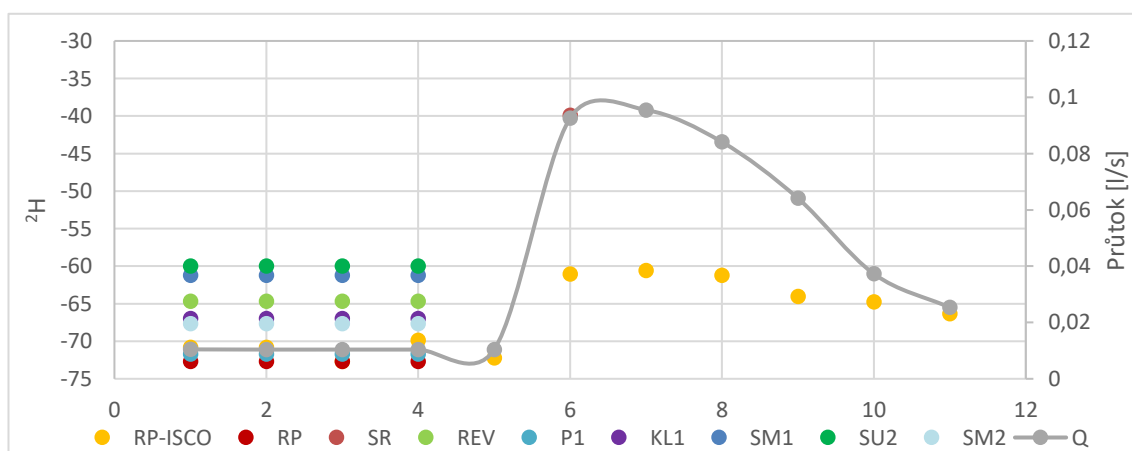
Obrázek 77: Průběh průtoku Rokytky přítok (Q) a srážkových úhrnů (SR) v průběhu události.



Obrázek 78: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a HPV ve vrtech SM1,2 a SU2 v průběhu události.



Obrázek 79: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a teploty vody ve vrtech SM1, SM2 a SU2, toku Rokytka přítok (RP), prameni P1 a teploty vzduchu v průběhu události.



Obrázek 80: Průběh průtoku Rokytka přítok (Q) a stabilních izotopů ^2H před danou separací ve vzorcích z pramenů P1 a REV, vrtů SM1,2, KL1 a SU2, toku Rokytka přítok (RP) a v průběhu dané separace ze srážek (SR) a toku Rokytka přítok (RP-ISCO).

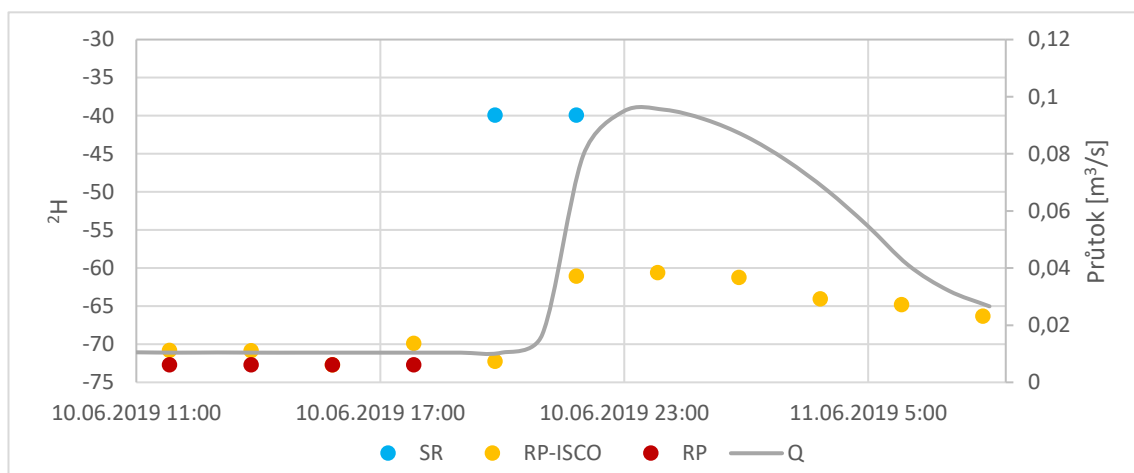
doba od začátku srážek do max. průtoku	3
doba mezi začátkem a vrcholem vlny-z hlediska průtoku	3
doba mezi začátkem srážek a začátkem vlny	0
doba průchodu srážek (Q)	2.5
doba průchodu srážek (izotopy)	2.5

Tabulka 20: Daná tabulka zobrazuje vzhledem k dané separaci důležité doby vybrané z Tabulky 1 výše.

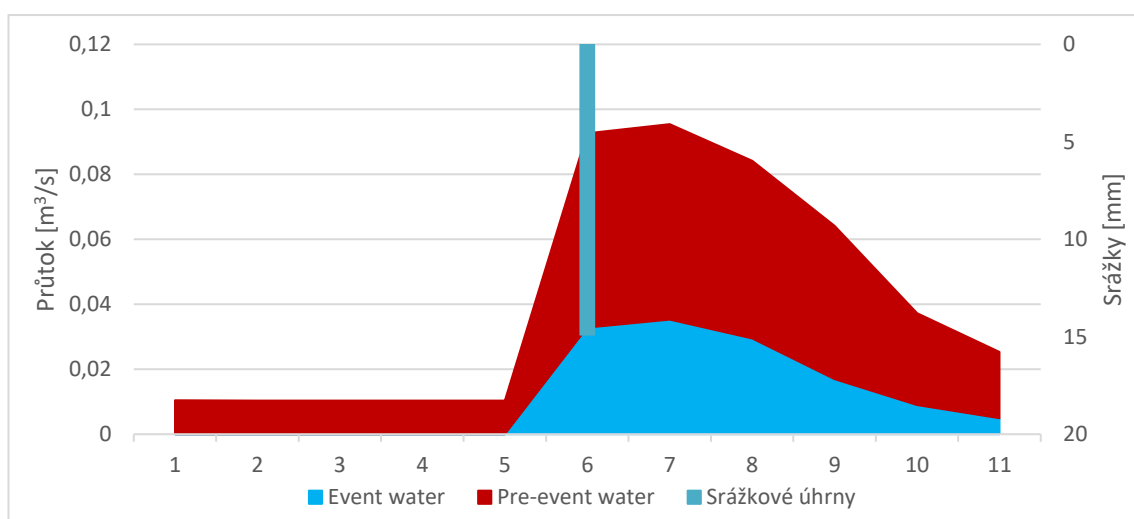
Pro danou situaci byly vytvořeny dvě dvousložkové (2S) separace a jedna tříslložková (3S) separace

Dvousložková separační metoda-SR:

Složky pro pre-event water a event water byly zvoleny jako ve všech ostatních popisovaných separacích, tedy voda z toku RP před situací a srážky po situaci (Obrázek 81). Událostní voda se v toku dle separace prvně objevila již zhruba hodinu po začátku srážek, kdy již byl poměrně výrazně zvýšený průtok a HPV ve vrtu SM2 (Obrázek 78), jenž na dané srážky začal reagovat přibližně v podobný čas jako průtok RP, tedy téměř hned po začátku srážek pravděpodobně díky vysoké nasycenosti povodí a velké intenzitě příčinných srážek. Současně v době prvního zapojení srážek do toku již také rostla teplota vody RP (Obrázek 79), naopak HPV ve vrtu SM1 mírně klesala a SU2 vůbec nereagovala (Obrázek 78). Měření HPV ve vrtu KL1 nemohlo být využito z důvodu nefunkčního měřicího čidla, nicméně obecně je v daném vrtu pozorována nízká rozkolísanost HPV. Vrchol zastoupení událostní vody v toku (37 %) nastal na základě separace přibližně o další dvě hodiny později, a to zároveň přibližně v čase kulminací průtoku a teploty vody toku RP. Z hlediska chování HPV ve stejný čas již docházelo k poklesu ve vrtu SM2, zatímco ve vrtu SM1 teprve začínala velmi mírně růst. Následovalo postupné snížení zastoupení událostní vody spolu s poklesy průtoku a teploty vody toku RP a zároveň s pokračujícím poklesem HPV ve vrtu SM2. Naopak ve vrtu SM1 byla situace opačná, tedy probíhalo mírné zvýšení HPV. Separace není dokončena až do stavu základního odtoku z důvodu nedostatku odebraných izotopových dat v dané fázi, nicméně můžeme předpokládat pokračování nastoleného vývoje. Výše popisované změny v podílech zastoupení jednotlivých složek dané separace je znázorněno na Obrázku 82.



Obrázek 81: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.

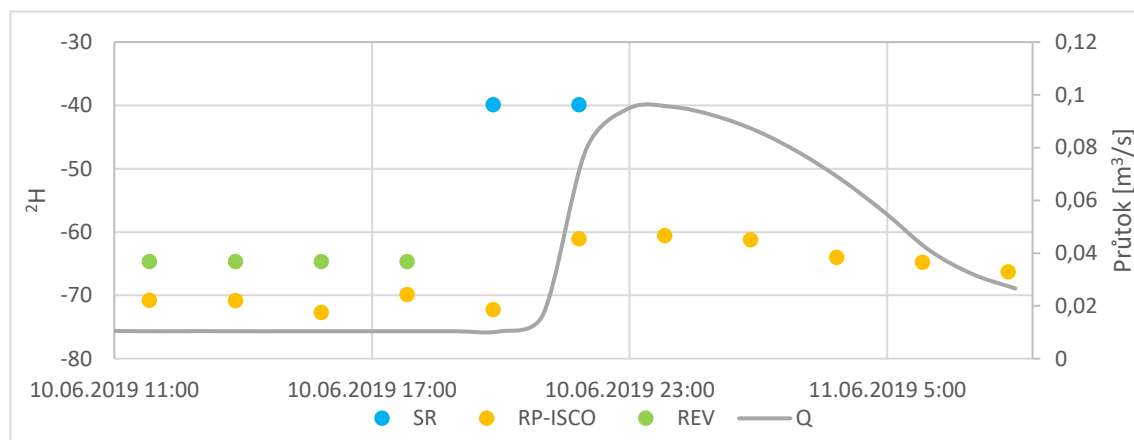


Obrázek 82: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.

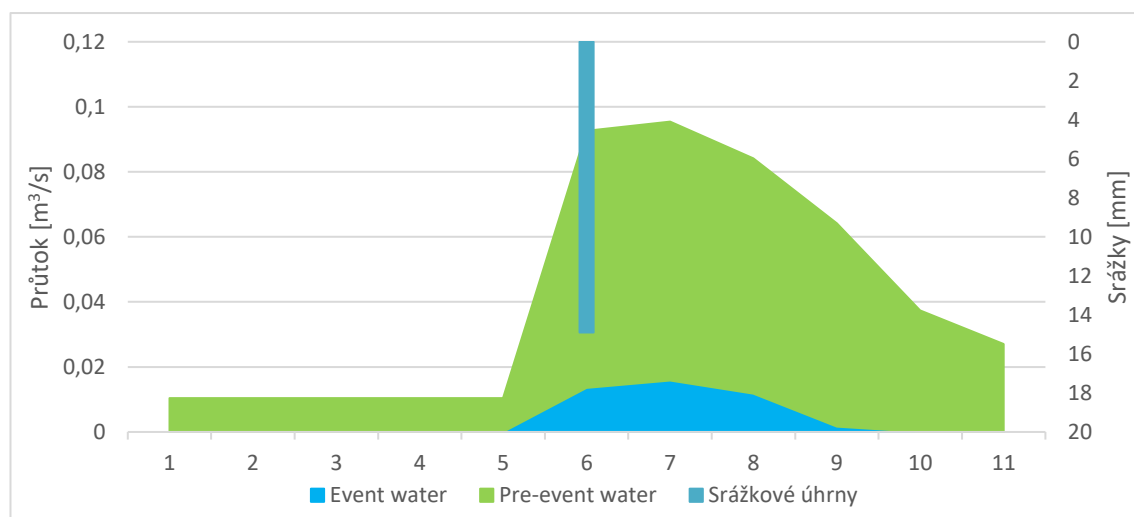
Dvoustložková separační metoda-SR

Pro danou situaci byla vytvořena i další dvoustložková separace, jejíž pre-event water odpovídalo složce REV a event water srážkám (Obrázek 83). Samotný průběh separace byl obdobný jako u separace výše, s rozdíly jednak ve velikosti prvního zapojení událostní vody či v jeho maximu (17 %) a poté i na konci separace, kdy událostní voda v posledních dvou bodech separace nevycházela dle separačního výpočtu. V porovnání se separací výše je patrné, že voda z REV se na výsledném průtoku toku RP podílela výraznějším způsobem než voda z pramene P1 (jenž byla

nahrazena za vodu z toku RP před událostí díky téměř shodnému izotopovému složení), a to převážně ve druhé části separace (Obrázek 84).



Obrázek 83: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.

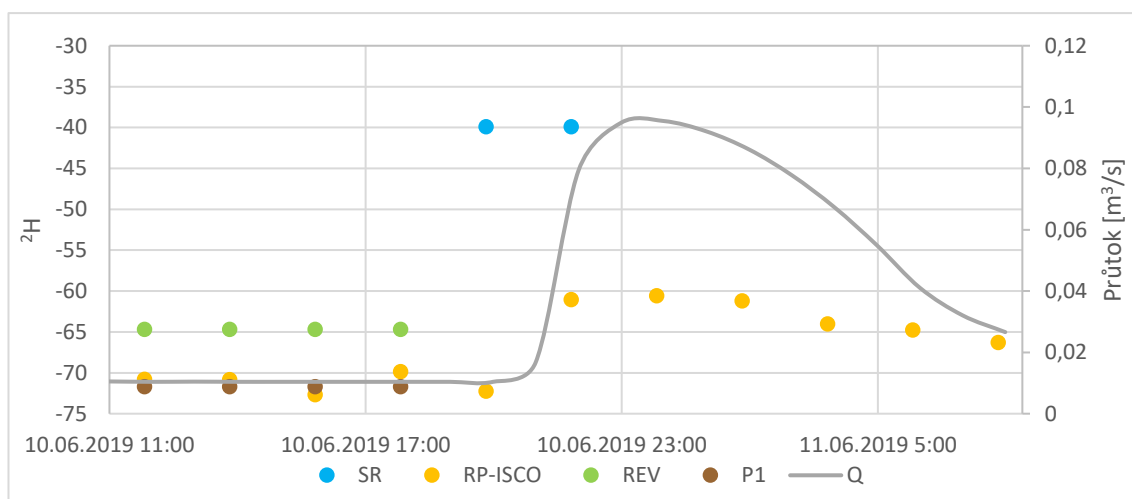


Obrázek 84: Zobrazení zastoupení event water a pre-event water v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.

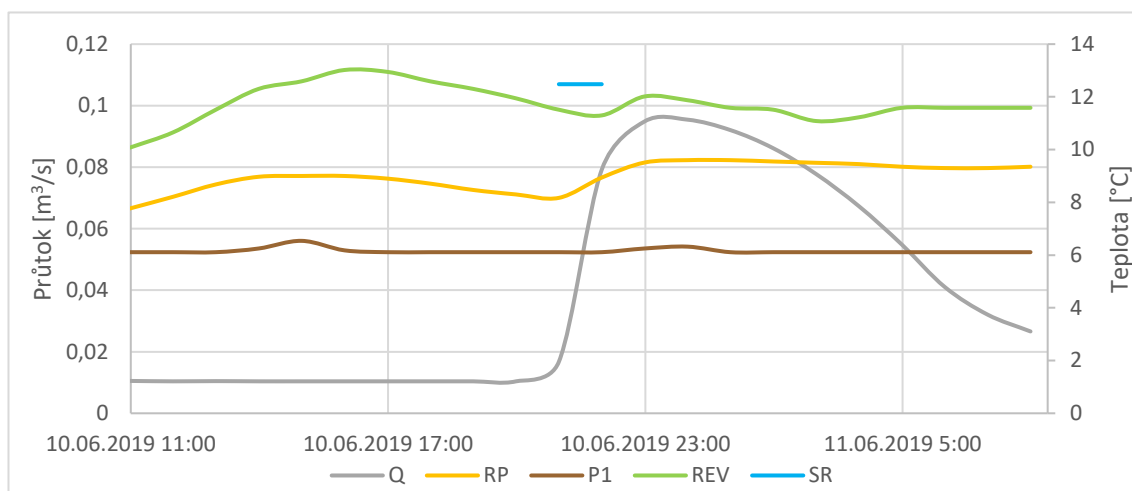
Třísložková separační metoda

Do této 3S separace byly zapojeny tradičně z pohledu izotopů srážky, voda z pramenů REV, P1 a voda z toku RP (ISCO) (Obrázek 85, 86). Z pohledu teploty vody se jednalo o teplotu vzduchu, a teploty z toku RP a přímo z pramenů REV a P1 (Obrázek 86). Před samotnou separací byla většina toku RP tvořena vodou z pramene P1. Stejně jako u předchozích 2S separací došlo k zapojení srážkové vody do toku (na úkor snížení podílu vody z REV) přibližně hodinu po krátkých ale intenzivních srážkách současně s již rostoucím průtokem, teplotou vody RP a HPV ve vrtu SM2.

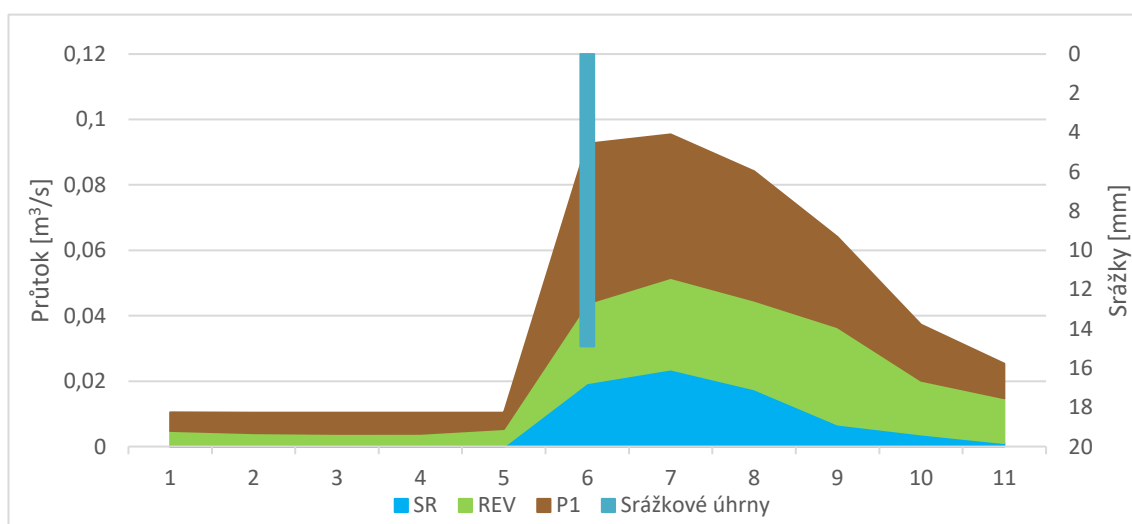
Opačně reagovala HPV ve vrtu SM1. O dvě hodiny později při poklesu podílu P1, a naopak mírného růstu podílu vody z REV nastalo maximální zapojení srážkové vody do toku (25 %) a to v době maxim průtoku a teploty vody toku RP, a téměř maxima teploty vody pramene REV, jenž začala růst přibližně hodinu po začátku nárůstu průtoku RP, zatímco HPV byla ve vrtech v povodí v různých fázích, kdy ve vrtu SM2 již klesala, a ve vrtu SM1 teprve začínala velmi mírně růst. Pro další z pohledu průtoku poklesovou část separace následovalo postupné snížení zastoupení podílu srážek (až na 4 % na konci separace), vody z pramene P1, a naopak postupný růst podílu vody z pramene REV (až na 54 % z 30 % v době maxima zapojení srážkové vody). Uvedené změny probíhaly společně s poklesem průtoku a teploty vody toku RP, HPV ve vrtu SM2. Pouze ve vrtu SM1 byla situace opačná a probíhalo mírné zvýšení HPV. Stejně jako u 2S separací výše není ani tato celistvá, z důvodu chybějících odebraných dat v poklesové části separace, respektive v době, kdy již v toku nastával z hlediska vodního stavu základní odtok. Výše popisované změny v podílech zastoupení jednotlivých složek dané separace je znázorněno na Obrázku 87.



Obrázek 85: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek stabilních izotopů ^2H do separace.



Obrázek 86: Průběh průtoku Rokytka přítok a zapojených složek teploty vody a srážek do separace.



Obrázek 87: Zobrazení zastoupení srážek (SR) a vody z pramenů REV a P1 v jednotlivých bodech separace v průběhu dané situace a srážkových úhrnů.

Shrnutí 3S a celé této situace:

Výsledky 3S separace, jak již bylo uvedeno výše, částečně odpovídají výsledkům 2S separacím, a to v době zapojení srážkové respektive událostní vody do toku a také v čase maxim těchto složek. Uvedeným dobám také přibližně odpovídají ukazatele dob průchodu srážek povodím, u kterých bylo dosaženo v obou metodách výpočtu (pomocí izotopů a průtoku) stejných hodnot (2,5 hodiny). Oproti 2S situacím se liší zastoupení vod z pramenů, kdy se u 3S separace nepotvrdilo ještě významnější zastoupení vody z pramene REV. Jak již bylo uvedeno k prvnímu zapojení srážek do

toku dle separace došlo přibližně hodinu po jejich začátku, nicméně průtok toku RP na srážky reagoval téměř hned stejně jako jeho teplota vod, a tedy než došlo k přímo zapojení srážkové vody do toku, tak zřejmě docházelo k vytlačení tzv. staré vody z povodí (respektive u vrtů SM2 a SM1 došlo v důsledku příčinných srážek pravděpodobně k překročení díky zvýšené HPV a tedy daná voda způsobila počáteční zvýšení průtoku RP, a to na základě izotopového poměru pro vrt SM1 a reakce HPV ve vrtu SM2) Poté již dle separací následovalo maximální zapojení srážek do toku, které přibližně odpovídalo i vypočteným dobám průchodu srážek povodí i izotopovým poměrům v toku RP v danou chvíli, zároveň v podobný čas došlo ke kulminaci HPV ve vrtu SM2, průtoku RP a teplotě vody tohoto toku. Poté již následovalo snížení zastoupení složky SR na úkor složky z REV, která začala postupně růst, i přesto že ostatní složky již začaly klesat, mimo HPV ve vrtu SM1. Jak již bylo uvedeno výše, voda z pramene REV se do dané separace začala zapojovat se zpožděním, což je patrné i z později rostoucí teploty vody daného pramene a izotopového složení toku RP ke konci situace v porovnání s izotopovým složením pramene REV před situací.

11.2 Situace odebrané pomocí vzorkovače ISCO a jejich charakteristika

Datum	API5	API10	S [mm]	In [mm/h]	Doba zdržení-Q [h]	Doba zdržení- ISCO peak [h]	HPV SM1 min. [m]	HPV SM1 max. [m]	Rozdíl HPV ve vrtu SM1- (min.- max.) [m]	t- SM1 x Q [h]	t- min.- max. SM1 [h]	t- SM1 (max.) x Q (max.) [h]
14.8.14	25,57	49,02	11,5	5,2	6,5	9,0	-0,23753	-0,23514	0,002	7	13	2
26.8.14	9,63	19,08	26	3,8	5,5	3,5	-0,21456	-0,08317	0,131	3	12	1
27.8.14	25,99	32,62	25	4,3	1,5	5,0	-0,12471	-0,08409	0,041	1	14	1
7.9.14	2,22	37,49	15,9	12,6	3,0	3,0	-0,18563	-0,08132	0,104	1	2	1,5
23.10.14	19,9	40,51	80,2	12,7	2,0	10,0	-0,10194	0,039913	0,142	1	10	0
12.7.16	1,44	2,75	25,7	10,6	1,0	5,0	-0,23241	-0,13794	0,094	0	5	1
12.7.16	25,44	26,75	42,8	19,5	4,0	4,0	-0,18102	-0,14317	0,038	1	3	4
24.7.16	15,83	31,21	5,3	4,6	3,0	3,0	-0,17363	-0,13548	0,038	1	2	3
27.7.16	11,7	30,17	8,1	2,3	3,3	3,3	-0,26748	-0,13825	0,129	4	6	6
18.9.16	33,19	38,93	9	1,7	2,0	4,0	-0,20594	-0,14625	0,060	2	3	1,5
3.10.16	11,29	11,67	5,8	1,8	3,0	1,5	-0,20902	-0,14471	0,064	1	11	2
4.10.16	15,86	16,25	18,4	5,1	3,5	8,0	-0,18255	-0,13455	0,048	1	5	3
23.9.18	2,88	9,35	19,3	9,8	3,0	1,5	-0,23302	-0,14017	0,093	1	6	3
10.6.19	9,13	30,2	14,9	14,9	2,5	2,5	-	-	-	-	-	-
12.8.19	16,46	28,22	10,2	3,0	3,0	3,0	-0,19214	-0,12224	0,070	-	13	-12

Tabulka 21: Situace odebrané pomocí vzorkovače ISCO a jejich vybrané charakteristiky (1. část dané tabulky)

Pozn.:

API5,10 – index předchozích srážek, vypočtený pro 5 resp. 10 dní před událostí

In – maximální hodinová intenzita srážky

HPV SM1 min. [m] – HPV ve vrtu SM1 na začátku situace

HPV SM1 max. [m] – maximální HPV ve vrtu SM1 v průběhu situace

t-SM1 x Q - doba mezi začátkem zvýšení HPV ve vrtu SM1 a průtokem RP

t- min.-max. SM1 - Doba mezi počátkem zvýšení HPV ve vrtu SM1 a maximální dosaženou HPV při dané situaci

t-SM1 (max.) x Q (max.) - Doba mezi nastáním maxima HPV ve vrtu SM1 a maxima průtokem RP

Datum	HPV KL1 min. [m]	HPV KL1 max. [m]	Rozdíl HPV ve vrtu KL1- (min.-max.) [m]	t- KL1 x Q [h]	t- min.- max. KL1 [h]	t- KL1 (max.) x Q (max.) [h]	Ta [h]	Tb [h]	Tc [h]	Td [h]	Te [h]
14.8.14	-0,161	-0,083	0,078	7	13	2	12	10	42	15	0
26.8.14	0,23541	0,22983	0,006	0	12	0	14	14	17	10	6
27.8.14	-	-	-	-	-	-	14	15	50	14	0
7.9.14	0,23142	0,22505	0,006	0	3	0,5	3	2	32	3	0
23.10.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23.10.14	0,18523	0,13108	0,054	-1	11	-1,5	9	12	42	7	3
12.7.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12.7.16	0,20753	0,17249	0,035	-1	29	23	11	8	18	7	4
12.7.16	-	-	-	-	-	-	12	10	12	7	7
24.7.16	-	-	-	-	-	-	4	3	29	5	0
27.7.16	0,19957	0,19957	0	-	0	0	10	5	28	7	3
18.9.16	0,31319	0,31106	0,002	-	8	6	4	6	42	11	3
3.10.16	-	-	-	-	-	-	12	12	26	12	1
4.10.16	-	-	-	-	-	-	8	10	36	7	2
23.9.18	-	-	-	-	-	-	5	12	16	6	0,5
10.6.19	-	-	-	0	-	-	3	1	28	3	0
12.8.19	-	-	-	-	-	-	9	11	14	5	4

Tabulka 21: Situace odebrané pomocí vzorkovače ISCO a jejich vybrané charakteristiky (2. část dané tabulky)

Pozn.:

HPV KL1 min. - HPV ve vrtu KL1 na začátku situace

HPV KL1 max.- maximální HPV ve vrtu KL1 v průběhu situace

t- KL1 x Q - doba mezi začátky zvýšení HPV ve vrtu KL1 a průtoku RP

t- min.-max. KL1 - Doba mezi počátkem zvýšení HPV ve vrtu KL1 a maximální dosaženou HPV při dané situaci

t- KL1 (max.) x Q (max.) - Doba mezi nastáním maxima HPV ve vrtu KL1 a maxima průtoku RP

Ta - doba od začátku srážek do maximálního průtoku

Tb - doba trvání srážek

Tc - doba trvání vlny z hlediska průtoku

Td - doba mezi začátkem a vrcholem vlny z hlediska průtoku

Te - doba mezi začátkem srážek a začátkem vlny

Datum	T-RP min. [°C]	T-RP max. [°C]	T-RP (min.- max.) [°C]	t- maxim T-RP x Q [h]	Q-min. [m³/s]	Q-max. [m³/s]	Q-min.- max. rozdíl [m³/s]	Separace - provedení	Typ Separace
14.8.14	8,3	11,9	3,6	-7	9,1	169,9	160,8	Nelze	-
26.8.14	7	10	3	-4	10,4	184,1	173,7	Nelze	-
27.8.14	9,8	10,6	0,8	-6	95,9	206,0	110,1	Nelze	-
7.9.14	7,01	10,97	3,96	0	10,6	170,2	159,6	Lze	2S,3S
23.10.14	5,9	6,3	0,4	-17,5	19,31	603,5188	584,2	Lze	2S,3S
12.7.16	8,3	12,05	3,75	0	11,48	120,27	108,8	Nelze	-
12.7.16	10	11,5	1,04	0	17,33	55,61	38,3	Nelze	-
24.7.16	9,81	13,6	3,79	-1	17,63	124,44	106,8	Lze	2S
27.7.16	8,0	10,8	2,8	1	11,6	25,6	14,0	Lze	2S
18.9.16	10,1	11,3	1,2	0	15,9	96,9	81,0	Lze	2S
3.10.16	8,0	8,6	0,6	-3	13,7	88,5	74,8	Nelze	-
4.10.16	8,1	8,6	0,5	0	24,7	195,7	171,0	Nelze	-
23.9.18	7,8	9,4	1,6	-1	10,08	125,94	115,86	Lze	2S, 3S
10.6.19	8,2	9,6	1,4	-1	10,4	95,5	85,1	Lze	2S
12.8.19	8,95	11,05	2,1	-3	10,8	63,7	53,0	Lze	2S, 3S

Tabulka 21: Situace odebrané pomocí vzorkovače ISCO a jejich vybrané charakteristiky (3. část dané tabulky)

Pozn.:

T-RP min. - teplota vody v toku RP na začátku situace

T-RP max.- maximální teplota vody v toku RP v průběhu situace

T-RP (min.-max.) - rozdíl T-RP min. a T-RP max.

t- maxim T-RP x Q - doba mezi maximem teploty vody v toku RP a maximální průtokem RP

2S, 3S - dvousložková a tříložková separace