

České vysoké učení technické

Fakulta stavební



Bakalářská práce

Izotopová separace odtoku podzemní a půdní vody na povodí Uhlířská

Vypracoval: Martin Zdvořák

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Šanda, Ph. D.

Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
 Thákurova 7, 166 29 Praha 6



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Zdvořák	Jméno: Martin	Osobní číslo: 486137
Zadávací katedra: Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Izotopová separace odtoku podzemní a půdní vody na povodí Uhlířská	
Název bakalářské práce anglicky: Isotope separation of groundwater and soil water runoff in the Uhlířská basin	
Pokyny pro vypracování: Ze zpracovaných srážko-odtokových epizod ve vegetačních obdobích 2007-2017 v kontextu množství a izotopového složení srážky, podzemní vody, půdní vody a celkového odtoku proveďte stanovení podílu složek podzemních vod na celkovém odtoku pomocí stabilních izotopů vodíku a kyslíku.	
Seznam doporučené literatury: Sharp, Z. 2017. Principles of Stable Isotope Geochemistry. Upper Saddle River, N. J.: Pearson/Prentice Hall. 344 s., chapter 2 Klaus, J., McDonnell, J.J. 2013. Hydrograph separation using stable isotopes: Review and evaluation. J of Hydrology, vol. 505, pp 47-64, doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.006	
Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Martin Šanda, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2022	Termín odevzdání BP v IS KOS: 15.5.2022 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma „Izotopová separace odtoku podzemní a půdní vody na povodí Uhlířská“ vypracoval samostatně. Použité zdroje a další materiály uvádím v seznamu zdrojů.

Poděkování

Rád bych zde poděkoval doc. Ing. Martinu Šandovi Ph. D., který byl vedoucím mé bakalářské práce. Jsem mu velmi vděčný za přátelský přístup, ochotu s čímkoliv poradit a za prostředky, které mi poskytl. Dále bych rád poděkoval mému příteli Lukášovi, za jeho nekonečnou trpělivost při lekcích v MATLABu.

Abstrakt

V této bakalářské práci jsou zpracovány srážko-odtokové epizody naměřené v Jizerských horách v letech 2007-2017 na experimentálním povodí Uhlířská, které se nachází na horním toku Černé Nisy. Analýza je provedena pomocí dvousložkové a trojsložkové separace.

Vstupními daty jsou hodnoty průtoků na měrném přelivu Porsche a srážek na stejnojmenném subpovodí. Dalším podkladem jsou izotopové koncentrace půdní, podzemní, srážkové vody a povrchového odtoku.

Dvousložková separace byla provedena pomocí koncentrací stabilních izotopů ^2H a ^{18}O v podzemní a srážkové vodě. Výsledkem je separace odtoku na tzv. starou vodu a novou vodu.

Podzemní a srážková voda byla při trojsložkové separaci doplněna vodou půdní. Výpočet byl proveden pomocí stabilních izotopů ^2H a ^{18}O a koncentrací SiO_2 . Kvůli absenci naměřených dat v dalších letech, byly zpracovány pouze epizody v období 2008-2011. Většina dat nejsou měřena ve stejný čas, bylo nutné velkou část dopočítat pomocí interpolací a proložení trendem. Tento problém je nejvíce patrný u koncentrací SiO_2 , které byly měřeny nepravidelně a s nízkou četností. Všechny členy jsou tak zatěžkány chybou různých velikostí, které ale nejsou vždy známé. V rámci rozšíření výpočtu na roky 2007-2017 byl využit místo SiO_2 „deuterium excess“. Ukázalo se ale, že jeho využití celý výpočet značně destabilizuje a epizod s využitelnými výsledky je velmi málo. Výběr koncových prvků velmi ovlivňuje zastoupení jednotlivých složek v odtoku.

Výsledky obou separací byly porovnány mezi sebou. Chybějící půdní voda se rozdělí při dvousložkové separaci mezi starou a novou vodu, výsledky se tak výrazně liší od metody trojsložkové separace, která je přesnější a blíží se více reálnému zastoupení půdní, srážkové a podzemní vody v odtoku. Následně byl prozkoumán vliv charakteristik srážkových epizod a stavu povodí na výsledky separací.

Abstract

In this bachelor thesis, the rainfall-runoff episodes measured in the Jizera Mountains in the years 2007-2017 in the experimental catchment area Uhlířská, located on the upper part of the Černá Nisa River, are processed. The analysis is performed using two-component and three-component separation.

The input data are the values of discharge at the Porsche measuring weir and precipitation in the same sub-basin. Further inputs are isotope concentrations of soil, groundwater, precipitation and surface runoff.

Two-component separation was performed using the stable isotope concentrations of ^2H and ^{18}O in groundwater and precipitation. This resulted in the separation of runoff into so-called old water and new water.

Groundwater and rainwater were supplemented with soil water in the three-component separation. The calculation was performed using ^2H and ^{18}O stable isotopes and SiO_2 concentrations. Due to the absence of measured data in other years, only episodes in the period 2008-2011 were processed. Most of the data are not measured at the same time, it was necessary to calculate a large part of them by interpolation and interleaving with a trend. This problem is most evident for SiO_2 concentrations, which were measured irregularly and with low frequency. Thus, all terms are burdened with errors of various magnitudes that are not always known. To extend the calculation to 2007-2017, "deuterium excess" was used instead of SiO_2 . However, it turned out that its use destabilizes the whole calculation considerably and there are very few episodes with usable results. The choice of end-member strongly influences the representation of each component in the runoff.

The results of the two separations were compared with each other. The missing soil water is split between old and new water in the two-component separation, so the results differ significantly from the three-component separation method, which is more accurate and more closely approximates the real representation of soil, precipitation and groundwater in runoff. Subsequently, the influence of rainfall episode characteristics and catchment condition on the separation results was investigated.

Obsah

1	Úvod	8
2	Jizerské hory	8
2.1	Základní informace	8
2.2	Klimatické poměry	9
2.3	Geologické poměry	11
2.4	Hydrologické poměry	11
3	Izotop	12
3.1	Základní informace	12
3.2	Izotopové koncentrace	13
4	Separace odtoku pomocí stopovačů	14
4.1	Další stopovače v hydrologii	14
5	Povodí Uhlířská a subpovodí Porsche	15
6	Sběr a zpracování dat	20
6.1	Měření srážek a průtoků	20
6.2	Odběry vzorků pro stanovení izotopů ^2H a ^{18}O a koncentrace SiO_2	21
6.3	Hodinové srážky a průtoky	25
6.4	Stopovače v podzemní vodě	26
6.4.1	Izotopy kyslíku a vodíku	26
6.4.2	Oxid křemičitý	29
6.5	Stopovače v půdní vodě	30
6.5.1	Izotopy kyslíku a vodíku	30
6.5.2	Oxid křemičitý	32
6.6	Stopovače v povrchovém odtoku	32
6.6.1	Izotopy kyslíku a vodíku	32
6.6.2	Oxid křemičitý	34

6.7	Stopovače ve srážkách.....	35
6.7.1	Izotopy kyslíku a vodíku	35
6.7.2	Oxid křemičitý.....	37
6.8	Celkový přehled stopovačů	38
7	Metodika	40
7.1	Výběr epizod	40
7.2	Výpočet izotopové koncentrace srážek (c_s).....	41
7.2.1	Vážený průměr	41
7.2.2	Kumulativní vážený průměr	42
7.2.3	Kumulativní vážená průměr srážkových intenzit	42
7.3	Dvousložková separace	43
7.4	Trojsložková separace	45
7.5	Nevyhovující epizody.....	49
8	Výsledky	51
8.1	Výsledky dvousložkové separace.....	51
8.2	Výsledky trojsložkové separace	53
9	Závěr.....	60
10	Seznam zdrojů	62
11	Přílohová část	65

1 Úvod

V této bakalářské práci jsou provedeny dvousložkové a trojsložkové izotopové separace pro vyčleněné epizody ve vegetačních obdobích 2007-2017. Všechna vstupní data pochází z měření a vzorkování na povodí Uhlířská, subpovodí Porsche v Jizerských horách. Plošný povrchový odtok je na tomto povodí spíše vzácný, transport vody probíhá převážně pod povrchem. Izotopové separace jsou ideální moderní způsob, jak získat informace o chování a způsobu pohybu vody s využitím přirozených vlastností vody.

Cílem je získat poměrné zastoupení podzemní, půdní a srážkové v odtoku, ohodnotit způsob výpočtu, jeho funkčnost a chování na zkoumaném experimentálním povodí Uhlířská. Nakonec jsou výsledky separací porovnány s charakteristikami srážkových epizod a stavu povodí.

2 Jizerské hory

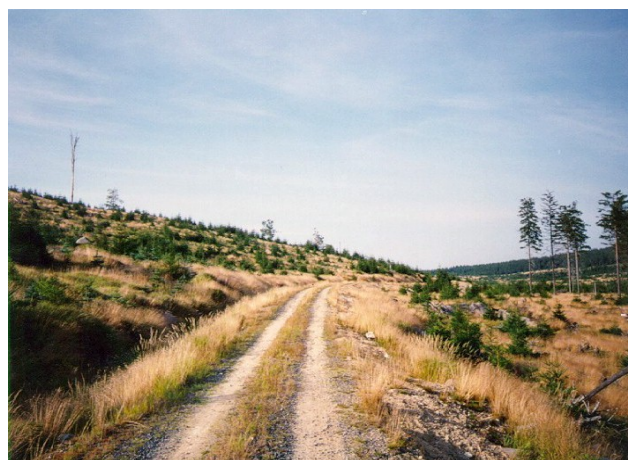
2.1 Základní informace

Jizerskými horami je nazvaná hornatá oblast severních Čech s četnými náhorními plošinami. Na našem území tvoří částečně hranice s Polskem, ve kterém se nachází zhruba třetina plochy pohoří a také nejvyšší vrchol Wysoka Kopa (1126 m n. m.) (Tisícovky s.r.o., 2022). Na východě Jizerské hory sousedí s Krkonošemi, na severu odděluje Frýdlantský výběžek od zbytku České republiky. Na jihu pak leží krajské město Liberec. V tuzemsku jsou nejvyššími vrcholy Jizerských hor Jizera (1122 m n. m.) a Smrk (1124 m n. m.), na jehož svazích pramení řeka Jizera, podle které je celé pohoří pojmenováno (Tisícovky s.r.o., 2022). Celé pohoří je mírně nakloněno k jihu a pozvolna klesá směrem do vnitrozemí. Naopak při pohledu z Frýdlantu, Raspenavy nebo Hejnic se jeví jako velmi impozantní.

Jizerské hory byly v roce 1967 vyhlášeny chráněnou krajinnou oblastí. Rozkládají se na ploše 38 000 hektarů a v celém CHKO se nachází okolo dvaceti národních přírodních rezervací, přírodních rezervací, přírodních památek a výzkumných ploch (Liberecký kraj, 2022). Unikátní je celkový charakter hor, který je díky vysokým srážkovým úhrnům a rozsáhlým náhorním plošinám ideální pro tvorbu rašelinišť. Přírodně cenné jsou také původní Jizerskohorské bučiny a oblast Jizery.

Obdobně jako v Krušných horách se na vývoji Jizerských hor silně podepsalo období nekvalitního spalování uhlí v nedalekých tepelných elektrárnách (Tisíčovky s.r.o., 2022). Většina původních porostů byla v osmdesátých letech zničena, dochovaly se pouze menší ostrůvky.

Dnes se díky odsíření a kvalitním filtrům znečištění výrazně zredukovalo. Na holých pláních Jizerských hor byl obnoven les ve svém původním druhovém složení a na náhorních plošinách probíhají úspěšně revitalizace zničených rašelinišť (obr. 2.1.1).

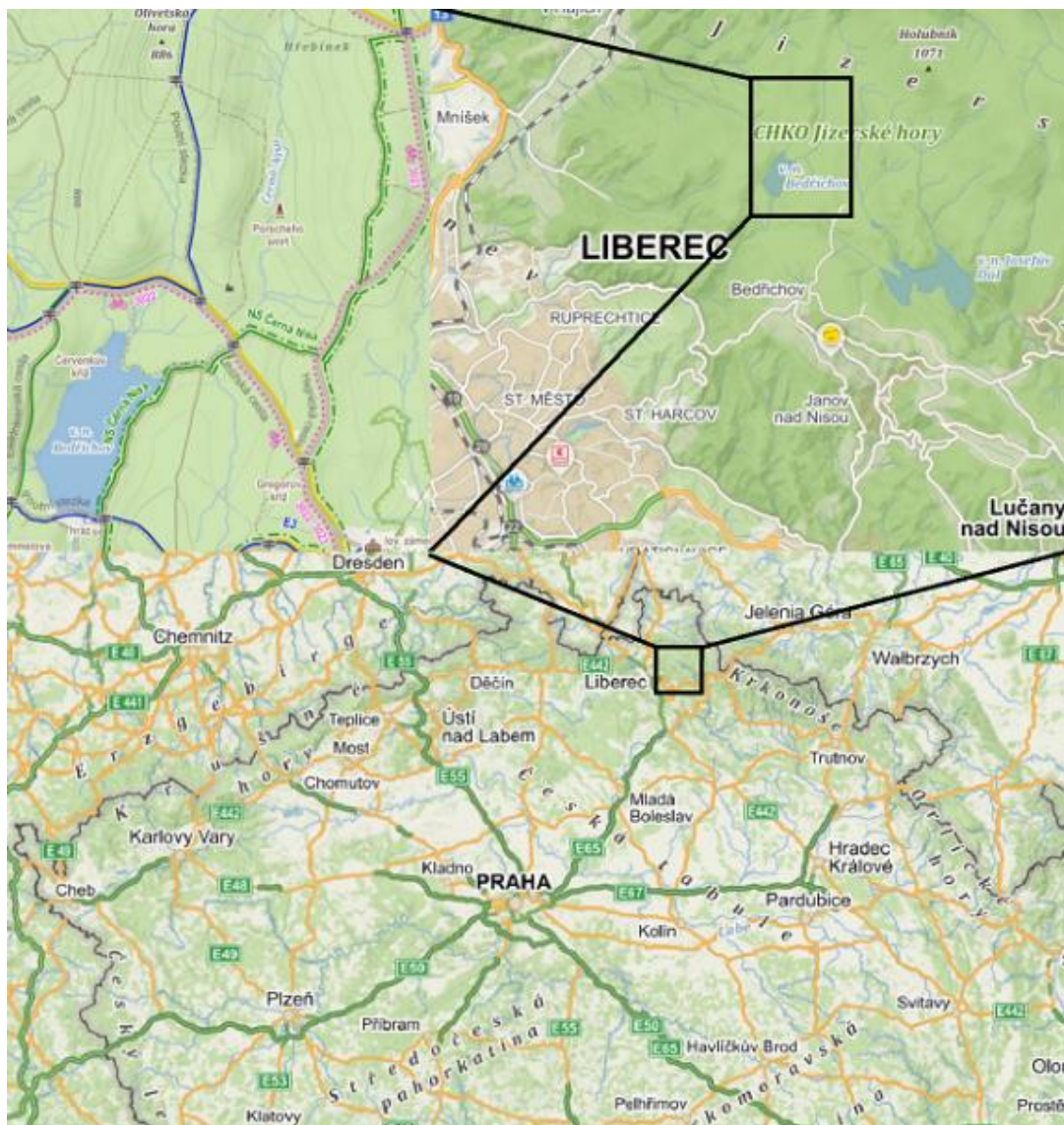


Obr. 2.1.1 – porovnání zalesnění dnes (vlevo) a z konce 20. století (vpravo) (foto: Šanda)

2.2 Klimatické poměry

Jizerské hory jsou prvním pohořím mezi Severním a Baltským mořem a vnitrozemím. Výrazně tak ovlivňují počasí a místní mikroklima. Proměnlivé chování lokálních podmínek je také způsobené značnou členitostí terénu, vegetací, sklony svahů, skalními útvary atd. (AOPK ČR).

Jizerské hory patří k nejdeštivějším oblastem v České republice. Roční srážkové úhrny dosahují 1300–1800 mm (Kulasová et al., 2006). Nejnižší bod CHKO se nachází s 325 m n. m. v Raspenavě, nejvyšší je pak již zmíněný Smrk ve výšce 1124 m n. m. V 780 m n. m. se teplota průměrná roční teplota vzduchu pochybuje v okolí +4,4 °C (Kulasová et al., 2006).



Obr. 2.2.1 – poloha experimentálního povodí Uhlířská v České republice
(Seznam.cz, 2022)

Český hydrometeorologický ústav provozuje v Jizerských horách tři stanice, jsou to stanice Bedřichov, přehrada Desná a Jizerka. Dlouhodobě provádějí měření, která jsou využívána při výpočtech v experimentálních povodích. Nejnižší teplota byla naměřena v Bedřichově 14. 1. 1987 a dosáhla $-30,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, nejvyšší pak byla naměřena 31.7. 1994 tamtéž a činí $33,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Kulasová et al., 2006). Na hodnotách průměrných ročních teplot měřených v letech 1961–2004 je ale vidět jasný stoupající trend.

V roce 1926 byl naměřen nejvyšší roční srážkový úhrn, přes 2000 mm, na terénní stanici na Jizerce. Nejmenší pak v roce 2003 v Bedřichově (693 mm) (Kulasová et al., 2006). Některé stanice ovšem nemají kompletní údaje. Dlouhodobý trend srážek je spíše setrvalý, v posledních letech ale přibývá extrémních srážkových jevů.

2.3 Geologické poměry

Jizerské hory vznikly během období prvohor. Pro zdejší oblast jsou typické ploché kupy, oblé hřbety a rozsáhlé plošiny, kde se po skončení dob ledových vytvořila rašeliniště.

Většinu pohoří tvoří krkonošsko-jizerský žulový masiv, který jako mateční hornina ovlivňuje pedogenezi, a tak i charakter vegetace. Ojedinele je prostoupen třetihorními výlevnými vyvřelinami (Bukovec – 1005 m n. m.), krystalickými břidlicemi (masiv Smrku – 1124 m n. m.) nebo krystalickými vápenci (Vápenný Vrch – 424 m n. m.) (AOPK ČR, 2022).

Několik milionů let je krkonošsko-jizerský masiv vystaven silnému vodnímu, větrnému i mrazovému zvětrávání, díky kterému vznikly na vrcholcích a svazích zajímavé skalní útvary.

2.4 Hydrologické poměry

Velmi hustá říční síť a významné povrchové vodní zdroje mají zásadní význam pro zásobování Libereckého kraje pitnou vodou. Údolí směřující k severu mají díky větším sklonům charakter skalnatých a balvanitých roklí s četnými vodopády a kaskádami. Jižní strana pohoří má mírnější výškový gradient, údolí jsou mělká a méně strmá. Většina toků pramení na rozsáhlých náhorních plošinách, zdejší vodní režim je významně ovlivněn výskytem rašelinišť a s nimi spojenou vegetací (AOPK ČR, 2022).

Hlavní rozvodí mezi Baltským a Severním mořem probíhá skrze Jizerské hory. Západní a jihozápadní oblast pohoří odvodňuje Lužická Nisa, severní část řeka Smědá. Oba toky jsou součástí úmoří Baltského moře. Jizera, nejvodnatější řeka Jizerských hor, tvoří část hranice s Polskem. Odvádí vodu z východní a jihovýchodní oblasti, je přítokem Labe, které se následně vlévá do Severního moře (AOPK ČR, 2022).

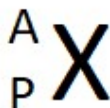
Na začátku 20. století bylo postaven několik přehrad za účelem ochrany obyvatel před povodněmi. Nejvýznamnější z nich jsou Bedřichov, Fojtka, Mšeno, Harcov, Rudolfov a Souš. Původně stála sypaná hráz i na Bílé Desné, ta se ale za tragických následků v roce 1916 protrhla. Z důvodu rozrůstání měst se potřeby pitné vody zvyšovaly a hlavním účel nádrží se postupně změnil. Na konci 20. století byla vybudována největší z místních nádrží Josefův Důl.

Dnes slouží nádrže jako stěžejní zdroj pitné vody pro Liberecko a Jablonecko (AOPK ČR, 2022).

3 Izotop

3.1 Základní informace

Chemická sloučenina, která byla v této práci využita k izotopovým separacím, je voda. Její výhodou je fakt, že je přirozeně přítomna ve všech částech hydrologického cyklu a neškodí člověku ani přírodě. Skládá se ze dvou atomů vodíku a jednoho atomu kyslíku. Izotop je obecné pojmenování pro prvek, který je v periodické tabulce na stejném místě, má stejný počet protonů a elektronů, liší se ale počtem neutronů a tím pádem i atomovou hmotností. Chemické vlastnosti vody jsou totožné ve všech izotopových verzích, využití izotopů je založeno jejich mírně rozdílných fyzikálních vlastnostech. Vyšší hmotnost atomového jádra má za vliv na energetické požadavky přírodních procesů, jakými jsou například výpar a kondenzace, obecně změny skupenství. Výhodou je také poměrně snadné odebírání vzorků a jejich měření na laserovém spektrometru, který Fsv ČVUT vlastní.



Kde *X – prvek*

A – nukleonové číslo neboli počet protonů a neutronů v jádře

P – protonové číslo neboli počet protonů v jádře

Pro značení izotopu se obvykle používá jejich nukleonové číslo v kombinaci se symbolem prvku, např. ^{18}O a ^2H . Vodík je v tomto ohledu raritou, jelikož jeho izotopy mají vlastní názvy a značení, které jsou běžně používány. Je to protium ^1H , nejlehčí verze vodíku. Dále deuterium neboli těžký vodík, značen ^2H nebo také postaru D a tritium značené ^3H případně ^3T .

Důležitou vlastností, která je základem využití izotopu při separacích, je jejich stabilita. Ta se určuje podle poločasu rozpadu, což je doba, za kterou se přemění polovina jader daného izotopu. Nestabilní izotopy nejsou vhodné pro metodu separace, jelikož by se

jejich koncentrace měnila v čase. Toho ale může být využito při datování vody v povodí, při kterém se zjišťuje doba zdržení.

Základním stabilním izotopem vodíku je ^1H (99,989 % - z celkového počtu vodíkových atomů v přírodě) a jeho těžší verze ^2H (0,012 %) ostatní izotopy jsou velmi nestabilní (De Laeter et al., 2003). Nejrozšířenějším izotopem kyslíku je ^{16}O (99,757 %), další stabilní verze jsou ^{17}O (0,038 %) a ^{18}O (0,205 %) (De Laeter et al., 2003).

V této práci jsou využity koncentrace stabilních izotopů ^2H a ^{18}O . Ty jsou do povodí dodávány v různých koncentracích především formou srážek, které jsou ovlivněny jejich teplotou, tlakem a nepřímo i geografii a klimatem povodí (Šanda et al., 2011). Naopak celkový počet stabilních izotopů se nemění, a každý se tak vyskytuje ve daném množství a je možné vytvořit jejich bilance. Rozdílné místní podmínky spojené s rozdílnou energetickou náročností fyzikálních procesů v jednotlivých izotopech vytváří změny v množství ^2H a ^{18}O , které mohou být následně změřeny a zpracovány.

3.2 Izotopové koncentrace

Použitým standardem pro výpočet izotopových koncentrací je Standard Mean Ocean Water (V-SMOW), který byl určen Mezinárodní agenturou pro atomovou energii ve Vídni pro jednotlivé izotopy. V této práci ve využit poměr $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ a $^2\text{H}/^1\text{H}$, neboli odchylka od standardu značena jako $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$.

Výpočet koncentrace je proveden podle vzorců (1) a (2) :

$$\delta^2H_{vzorek} = \left(\frac{\left(\frac{^2H}{^1H} \right)_{vzorek}}{\left(\frac{^2H}{^1H} \right)_{V-SMOW}} - 1 \right) * 1000 [\text{‰}] \quad (1)$$

$$\delta^{18}O_{vzorek} = \left(\frac{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{vzorek}}{\left(\frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{V-SMOW}} - 1 \right) * 1000 [\text{‰}] \quad (2)$$

Kde δ^2H_{vzorek} - odchylka koncentrace od standardu

$\left(\frac{^2H}{^1H} \right)_{vzorek}$ - koncentraci v měřeném vzorku

$\left(\frac{^2H}{^1H} \right)_{V-SMOW}$ - koncentrace v referenčním vzorku

$\delta^{18}O_{vzorek}$	- odchylka koncentrace od standardu
$\left(\frac{^{18}O}{^{16}O}\right)_{vzorek}$	- koncentraci v měřeném vzorku
$\left(\frac{^{18}O}{^{16}O}\right)_{V-SMOW}$	- koncentrace v referenčním vzorku

Hodnoty standardů jsou určeny z průměrných izotopových koncentrací ve světových mořích a oceánech, které tvoří často počáteční zdroj vody v hydrologickém cyklu. Izotopové koncentrace srážek se odvíjí od místa, kde vznikly a dál jsou ovlivněny i trasou, kterou voda urazí. Nejdříve kondenzují atomová jádra s větším množstvím neutronů, srážka se tak postupně stává izotopově lehčí. Vznik, trasa, reliéf terénu a destinace srážky definuje finální izotopovou koncentraci. Nezanedbatelný vliv má také roční období a aktuální meteorologická situace, konkrétně nejvíce teplota a nasycení vodních par ve vzduchu. V zimní měsících jsou srážky často izotopově lehčí, obsahují nižší koncentraci izotopů s vyšším nukleonovým číslem. Letní bouřky naopak díky vysokým teplotám obsahují vyšší koncentrace těžších molekul vody.

4 Separace odtoku pomocí stopovačů

Rozdílná atomová hmotnost izotopů způsobuje různé fyzikální vlastnosti a chování. Různých izotopových koncentrací, způsobené místními vlivy (např. teplotou), lze využít při tzv. separaci. Jedná se o výpočtový proces, kdy jsme na základě stopovačů schopni rozpoznat jednotlivé složky odtoku. Díky tomuto procesu bylo například přehodnocen předpokládaný převažující podíl srážkové vody v odtoku, který je ve skutečnosti tvořen převážně vodou, který byla srážkou vytlačena z povodí do toku (Klaus a McDonnell, 2013). Její konkrétní složky a jejich velikost se jsou pomocí dvousložkové a trojsložkové separace v této práci zjišťovány.

4.1 Další stopovače v hydrologii

Ke každé chemické separaci jsou potřeba stopovače neboli „tracery“. Jejich minimální množství je $n-1$ stopovačů pro n -složkovou separaci. Situaci, kdy máme n a více stopovačů popisují ve svém článku Phillips a Gregg (2003). Využity mohou být nejen izotopy, ale i konkrétní koncentrace látek, např. SiO_2 (oxid křemičitý) nebo Cl^- (chloridy) ve vodě. Problémem jsou samotné stopovače ^2H a ^{18}O , jelikož jsou na sebe do jisté míry závislé a

v tomto případě je není možné využít samostatně ve výpočtu. Potenciálně využitelný je i tzv. „deuterium excess“, spočtený podle vztahu (Fröhlich et al., 2002):

$$d = \delta^2H - 8 * \delta^{18}O \quad (3)$$

Kde	d	- deuterium excess
	δ^2H	- koncentrace izotopu 2H vůči V-SMOW
	$\delta^{18}O$	- koncentrace izotopu ^{18}O vůči V-SMOW

Jak se ukázalo ve následujících výpočtech, není ani tato forma stopovače vhodná pro povodí Uhlířská a pravděpodobně i pro celé Jizerské hory. Předpokladem je prohloubení rozdílu mezi izotopy vodíku a kyslíku po dopadu srážky na povodí během výparu. To je ale podmíněno významným odparem a následnou infiltrací vody do půdy. Izotop 2H obsahuje pouze jeden neutron navíc, zatímco ^{18}O se liší od své nejběžnější podoby o dva neutrony. Díky rozdílně velikým odchýlkám hmotností atomových jader od jejich nejčastějších izotopů by tak docházelo k odlišení koncentrací δ^2H a $\delta^{18}O$. K tomu ale na povodí Uhlířská nedochází, jelikož se voda běžně ihned po dopadu infiltruje a k výparu dopadlé vody a s tím spojené izotopové frakcionaci dochází jen omezeně.

5 Povodí Uhlířská a subpovodí Porsche

Všechna data využita v této práci byla získána na experimentálním povodí Uhlířská a jeho subpovodí Porsche, které se nachází v CHKO Jizerské hory. Bylo pojmenováno podle nedalekého pomníku Porscheho smrti. Sklony údolí, které je tímto tokem tvořeno, se pohybují mezi 5% až 20% a průměrná délka svahů je 450 m. Průměrný sklon údolí je 2,3%. Celková plocha povodí je 1,78 km², subpovodí Porsche zabírá přibližně dvě třetinu, tedy 1,18 km². Průměrná nadmořská výška je 822 m (Šanda et al., 2013). Povodí odvodňuje tok Černá Nisa, jež je pravým přítokem Lužické Nisy, ta se dále vlévá do Odry, která ústí do Baltského moře. V oblasti je mírné, kontinentální klima, které je ovšem výrazně vlhčí a díky vysoké nadmořské výšce i chladnější než zbytek České republiky. Roční srážky se na povodí pohybují okolo 1300 mm, a průměrná teplota nabývá 4,7 °C. Díky místnímu podnebí se zde dlouhá zima a sněhová pokrývka zůstává často až do dubna (Šanda et al., 2013).

Na svazích povodí jsou půdní profily většinou tenké a nestejnorodé, dosahující mocností mezi 0,6 – 0,9 m (Jankovec, 2019). Na granitovém masivu, který zde tvoří mateční horninu, vznikly postupným procesem pedogeneze převážně podzoly, kambizemě a kryptopodzoly (Jankovec, 2019). Horní profil svahů pokrývají kyselé půdy s občasným výskytem oglejeného horizontu. Na obr. 4.1.5 je patrná bohatá síť malých toků (obr. 4.1.1), které místy mizí pod úroveň terénu.



Obr. 4.1.1 - Zalesněný svah povodí Uhlířská s malým potokem



Obr. 4.1.2 - Výtok z propustku pod lesní cestou, potok se zde téměř okamžitě vsakuje do půdy

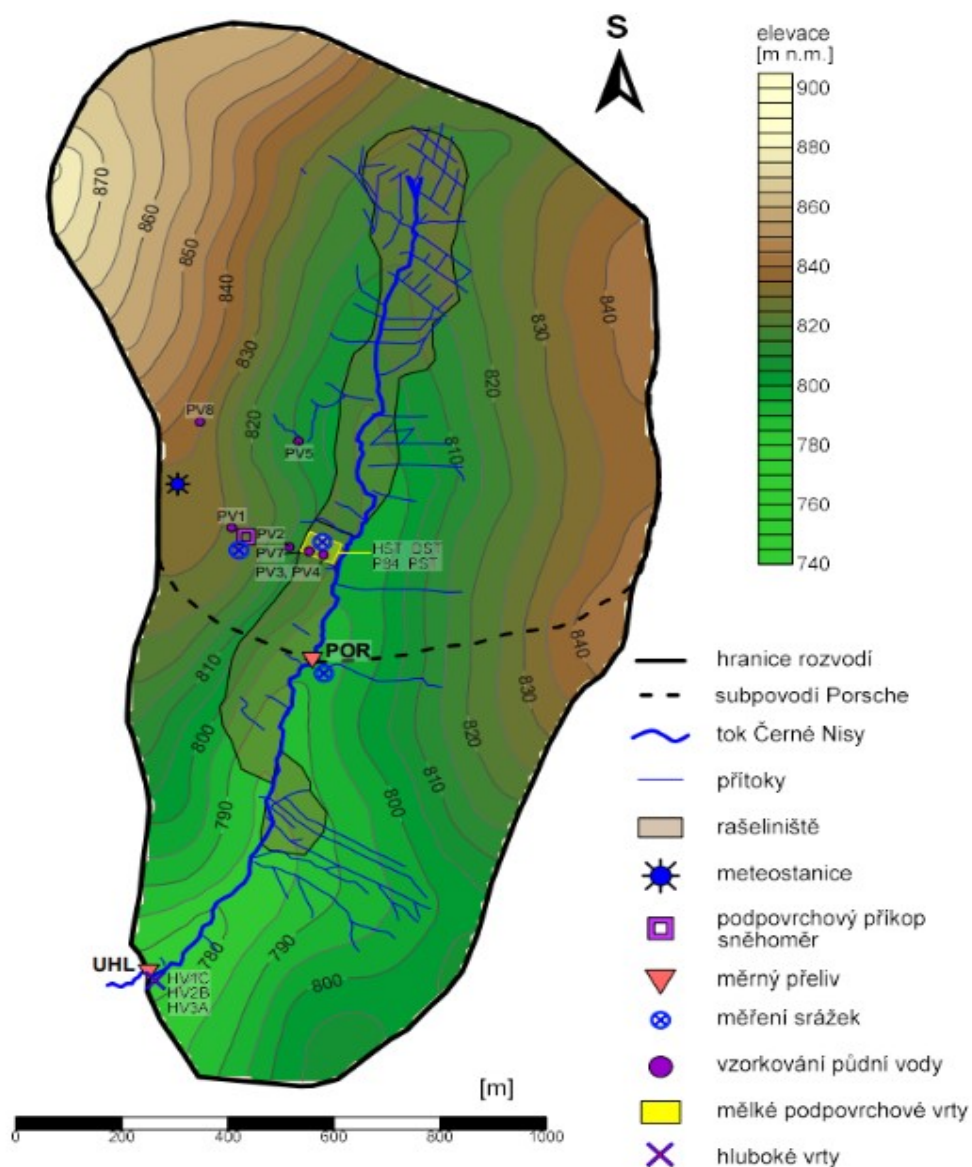
Dno údolí v okolí toku je tvořeno rašelinami (obr. 4.1.3), která zaujímá asi 18 % z celkové plochy povodí Uhlířská (Jankovec, 2019). Pod rašelinou, která je místy až 3 m hluboká, se nachází vrstva jílových eluvií. V porovnání mají organozemě v okolí Černé Nisy výrazně nižší hydraulickou vodivost než poměrně propustné půdy na svazích. Následkem může být v závislosti na aktuálních podmínkách vznik napjaté zvodně. V hlubších vrtech je pak voda schopná vystoupat nad úroveň terénu. Povrchový odtok je do Černé Nisy odváděn systémem umělých příkopů (obr. 4.1.4).



Obr. 4.1.3 – Rašelinná oblast na dně údolí



Obr. 4.1.4 – Umělý příkop odvádějící povrchový odtok do Černé Nisy



Obr. 4.1.5 - mapa povodí Uhlířská s vyznačeným subpovodím Porsche (Jankovec, 2019)

Vývoj a stav vegetace je silně ovlivněn odlesněním v osmdesátých letech. Spalování uhlí v tepelných elektrárnách bez kvalitního odsíření mělo za následek kyselé deště, které byly pro místní vegetaci likvidační. Dnes je většina svahů povodí pokrytá mladou smrkovou monokulturou. Původní cenná rašeliniště byla kvůli zlepšení hospodářské funkce lesa odvodněna drenážními příkopy, to zapříčinilo pokles podzemní vody a výskyt nových nepůvodních druhů rostlin, které je možné vidět v oblasti rašelinišť i dnes. V rámci obnovy a revitalizace jsou odvodňovací příkopy zahrazovány a krajina se postupně získává svou původní podobu.

6 Sběr a zpracování dat

Data průtoků, srážek a izotopových koncentrací pochází ze subpovodí Porsche v Jizerských horách. Pro jejich zpracování jsem využil program MATLAB, ve kterém jsem také vytvořil skript na rozpoznávání srážkových epizod. Hodnoty izotopů jsou vyjádřeny jako koncentrace vztažené ke Standard Mean Ocean Water (V-SMOW), chyba měření izotopů je $\pm 0,1 \text{ ‰}$ pro ^{18}O , $\pm 1 \text{ ‰}$ pro ^2H . Vzorky se SiO_2 byly měřeny v České Geologické službě v Praze pomocí emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem. Výsledky jsou v miligramech na litr s přesností $\pm 16 \%$ měřené hodnoty.

6.1 Měření srážek a průtoků

Meteorologická a průtoková měření probíhají na povodí Uhlířská od roku 1982 na přelivu UHL (Šanda et al., 2013). Hodnoty průtok jsou měřeny nepřímo na přelivu POR (od roku 2007) a UHL (obr. 4.1.5) pomocí tlakového čidla. Jedná se o přeliv s hydraulicky ostrou hranou ve tvaru písmene V s úhlem 120° (obr. 6.2.1). Měření probíhá každých deset minut a naměřené tlaky jsou následně přepočteny na hloubku vody před přelivem a pomocí konzumpční křivky převedeny na průtoky. V případě chybějících dat je možné průtoky přibližně přepočítat v poměru 2:3 (POR:UHL).



Obr. 6.1.1 - Člunkový srážkoměr na profilu Porsche

Srážky jsou měřeny nedaleko přelivu POR (obr. 4.1.5) pomocí člunkového srážkoměru (obr. 6.1.1) s přesností měření 0,1 mm a záchytnou plochou 500 cm². Pokud je tento srážkoměr zanesen nečistotami, je jako zdroj dat využit druhý nedaleko podpovrchového příkopu (obr. 4.1.5)

6.2 Odběry vzorků pro stanovení izotopů ²H a ¹⁸O a koncentrace SiO₂

Vzorkování a následné měření půdní, srážkové a podzemní vody bylo na povodí Uhlířská zahájeno v roce 2007 (Šanda et al., 2013). Samotná měření vzorků nejdříve probíhala v různých světových laboratořích, od jara roku 2009 byla zahájena měření na laserovém spektrometru na Fsv ČVUT.

Vzorky průtoku pro izotopovou a křemíkovou analýzu jsou za normálních podmínek odebírány denně na profilech POR i UHL (Porsche a Uhlířská, obr. 4.1.5), během epizody pak každých šest hodin, celkem tak až čtyři vzorky za den. Zvýšení frekvence řídí hladinoměry na obou profilech. Na POR (obr. 6.2.1) je hranice epizody je nastavená na 200 mm hloubky, což odpovídá průtoku 43 l/s, na přelivu UHL (obr. 6.2.3) je hranice 120 mm, což je 45 l/s.



Obr. 6.2.1 - Měrný přeliv Porsche, vzorkovač vody z Černé Nisy (vpravo)



Obr. 6.2.3 - Měrný přeliv Uhlířská



Obr. 6.2.2 - vrt HST (vlevo nahoře), vrt P84 (vpravo nahoře), vrt DST (vlevo dole), vrt PST (vpravo dole)

Vzorky pro podzemní vodu jsou odebírány měsíčně z vrtů (obr. 6.2.2) o hloubkách 270-520 cm (Šanda et al., 2011), které tak dosahují do sedimentů pod vrstvou rašeliny. Na obr. 4.1.5 jsou označeny jako HST, DST, P84 a PST a nachází se v blízkosti Černé Nisy. Voda je z vrtů čerpána pomocí peristaltického čerpadla.

Vzorky pro půdní vody jsou odebírány měsíčně ze čtyř párů podtlakových lyzimetrů (obr. 4.1.5 - PV1, PV8, PV5 a PV2), které se nacházejí na svazích údolí převážně v kambizemích a podzolech, hloubka keramické čepičky je 30 a 60 cm pod povrchem. Lyzimetr PV5 (obr. 6.2.4) se nachází blízko malého povrchového toku a voda zde získaná je kombinace vody půdní a podzemní. Lyzimetr PV2 (obr. 6.2.4) se nachází na ideálním místě nedaleko paty svahu, má ale především v suchých letech časté mezery v datech, kdy kvůli absenci vody nebyly odebrány žádné vzorky. Dalším problémem je časté sundání víka lyzimetru zvěří. Dovnitř pak padají nečistoty a menší zvířata, která se zde rozkládají a



Obr. 6.2.4 - Vlevo lyzimetry PV5 vedle malého potoka, vpravo lyzimetry PV2



Obr. 6.2.5 - Vlevo lyzimetry PV8 v horní části svahu, vpravo lyzimetry PV1

komplikují měření. Pro výpočet byly využity pouze data získaná z lyzimetrů PV1 a PV8 (obr. 6.2.5). Další tři páry (obr. 4.1.5 - PV7, PV3, PV4) se nacházejí ve stejných hloubkách v blízkosti Černé Nisy v rašelině, kvůli jejím vlastnostem jsou ale vzorky spíše kombinací mezi půdní a podzemní vodou a nejsou ve výpočtech využity.

Lyzimetry jsou den před odběrem vyčištěny a pomocí pumpičky vytvořen podtlak na přibližnou hodnotu -600 mbar vůči atmosférickému tlaku. Následující den je vzorek odebrán.

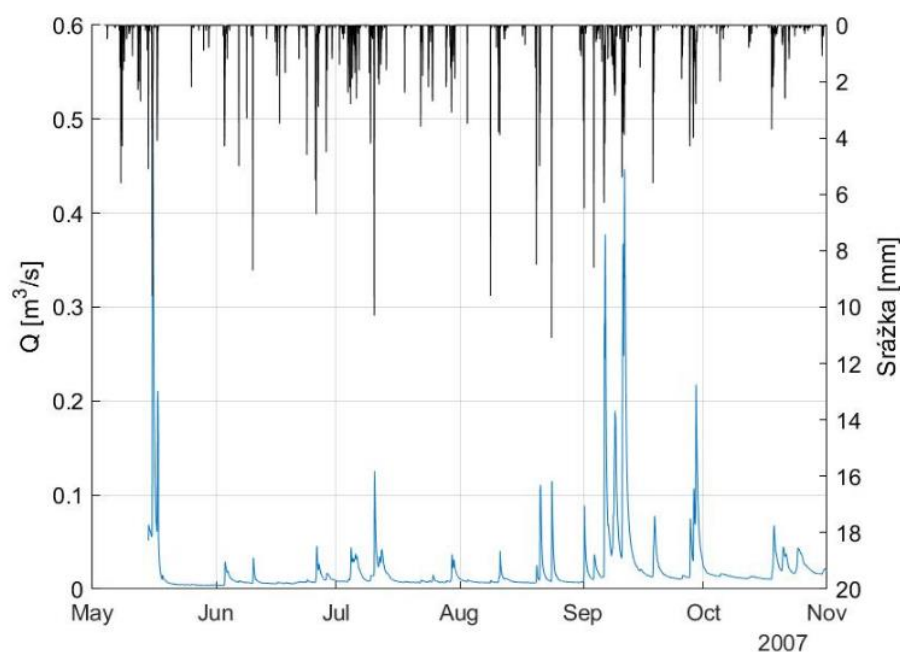
Vzorky srážkové vody jsou odebírány denně ve vegetačním období (květen-říjen) do plastových lahví o objemu 10 mm (obr. 6.2.6). Pokud během srážkové epizody naprší více jak 10 mm za den, v tom okamžiku se začne se plnit láhev další. Pokud během jednoho dne naprší více jak 1 mm, láhev se o půlnoci uzavře. Pokud tomu tak není, pokračuje stejná lahev do dalšího dne. Zimní srážky, typicky sněhové (listopad-duben) jsou odebírány manuálně týdně, v této práci ale využity nejsou.



Obr. 6.2.6 - Vzorkovač srážkové vody

6.3 Hodinové srážky a průtoky

Zpracování dat a následná separace odtoku půdní, podzemní a srážkové vody byla provedena pro časový interval od roku 2007 do roku 2017. Kvůli horské lokalitě subpovodí Porsche byly zvoleny pouze měsíce vegetačního období, tj. od května do října. Kvůli tomu jsou vyloučeny sněhové srážky, u kterých je obtížné měřit jejich dynamický vliv na izotopové koncentrace v povodí. Aktuální vybavení lokality není schopné tyto vlivy spolehlivě vzorkovat, v zimním období proto mnohé ze vzorkování a měření neprobíhá. Z datových sad byly duplicitní hodnoty průtoků smazány a chybějící hodinová data byla dopočítána lineární interpolací mezi dvěma sousedními měřeními. Desetiminutové hodnoty srážek byly přepočteny na hodinové. Následně bylo provedeno sjednocení obou datových řad do jednoho intervalu (obr. 6.3.1), který slouží jako základ pro všechny ostatní výpočty.



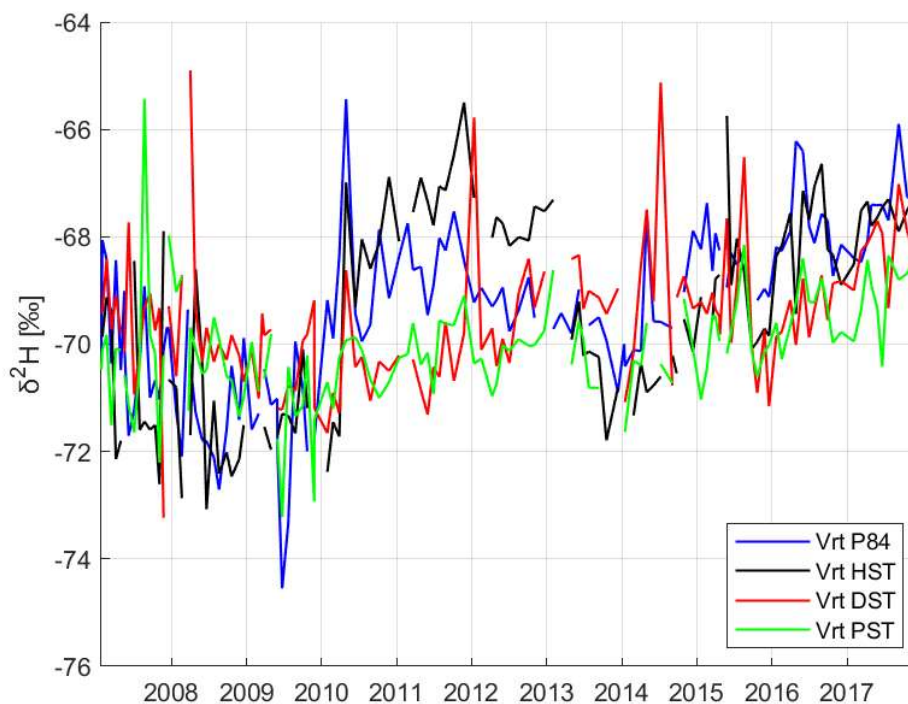
Obr. 6.3.1 – ukázka sjednoceného intervalu srážek a průtoků pro rok 2007

6.4 Stopovače v podzemní vodě

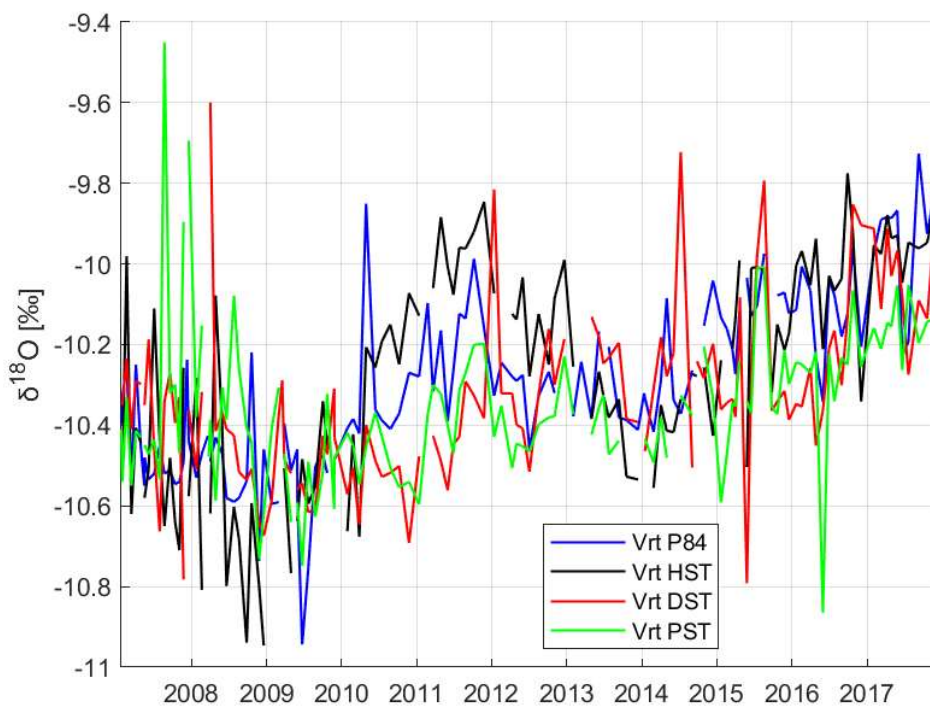
6.4.1 Izotopy kyslíku a vodíku

Data měření izotopových koncentrací $\delta^2\text{H}$ a $\delta^{18}\text{O}$ ve vzorcích vody ze čtyř vrtů, které byly popsány v kapitole 6.2, byla sjednocena do jedné množiny. Pro každé datum tak vznikla sada naměřených koncentrací v počtu od jedné do čtyř, tj. celkový počet vrtů. V jednotlivých sadách byly vypočteny základní statistické charakteristiky. Konkrétně průměr, směrodatná odchylka a koeficient variace, který byl dále využit pro porovnání sad mezi sebou a následně vyřazení dat.

Izotopové koncentrace v podzemní vodě nejsou příliš dynamické a mění se velmi pozvolna. Setrvačnost změn ve velkém objemu zvodně dokazuje i malá rozkolísanost dat a malé měřítko vodorovné osy v obr. 6.4.1. Chyby měření jsou díky přirozeně málo fluktuujícím hodnotám v podzemní vodě poměrně snadno rozeznatelné.



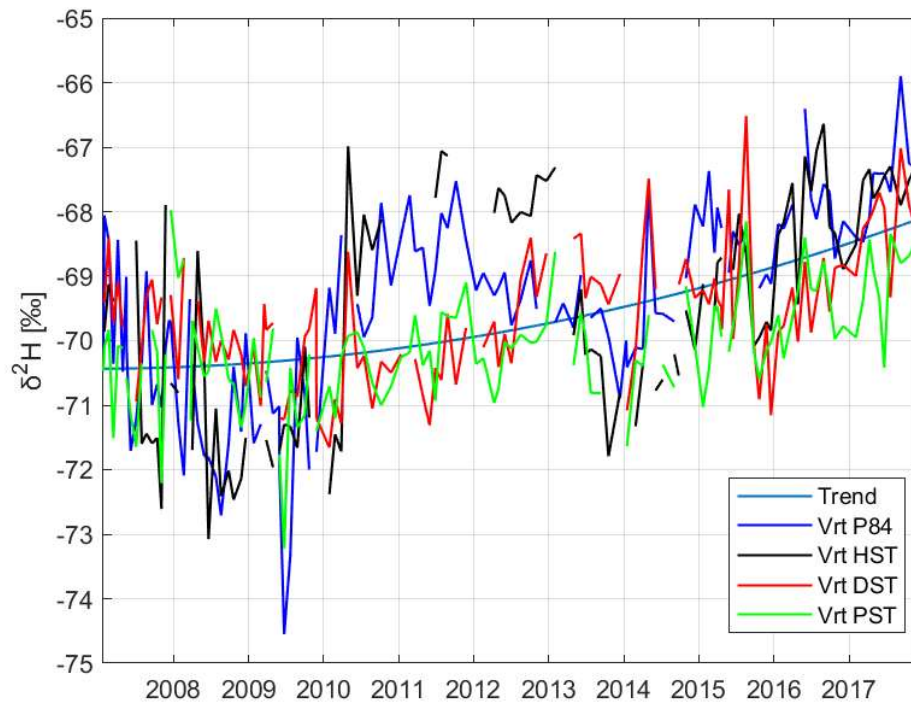
Obr. 6.4.1 - Neupravené izotopové koncentrace $\delta^2\text{H}$ v podzemní vodě



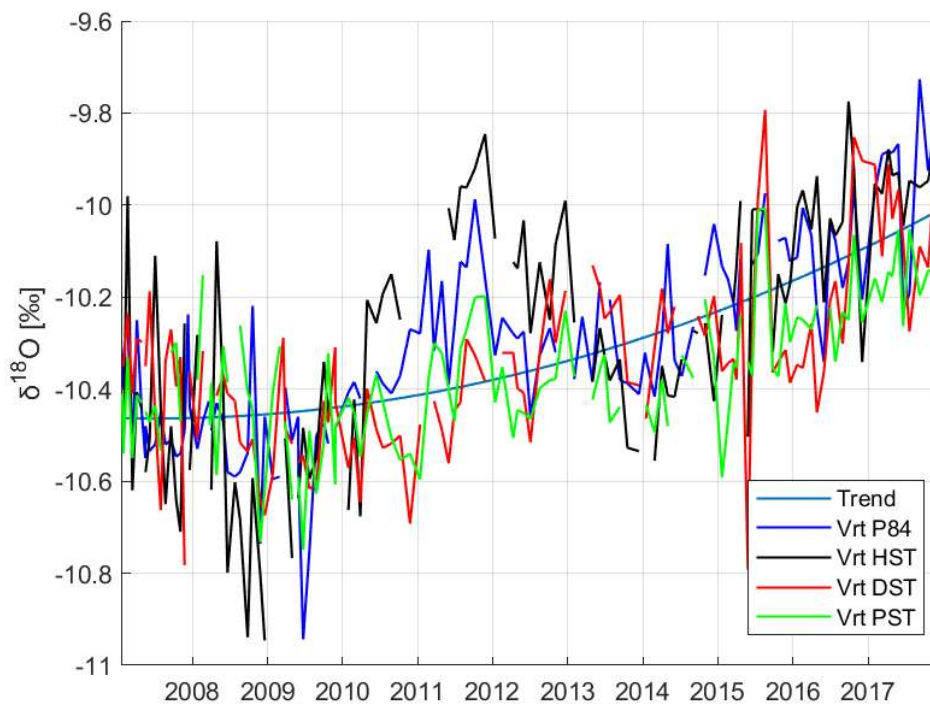
Obr. 6.4.2 – Neupravené izotopové koncentrace $\delta^{18}\text{O}$ v podzemní vodě

Pro přesnější výpočet je vhodné provést filtraci dat, která byla provedena pomocí koeficientu variace. Jeho hraniční hodnota byla stanovena na 2 %. Při této hodnotě budou odstraněna pouze data, jejichž odklon od průměru byl způsoben chybou měření. Pokud variační koeficient konkrétní sady klesne pod hraniční úroveň, je smazána hodnota koncentrace, která je v absolutní hodnotě nejvzdálenější od průměru sady. V případě, že v sadě existují pouze dvě naměřené izotopové koncentrace a variační koeficient klesne pod hraniční hodnotu, je odstraněna hodnota, která je v absolutní hodnotě nejvzdálenější od průměru sady předchozí.

Vzniklý soubor byl proložen křivkou druhého řádu (trend na obr. 6.4.3 a obr. 6.4.4), jejíž rovnice byla následně využita pro vytvoření kompletní denní datové řady podle vyčleněných srážkoodtokových epizod. Lineární interpolace není v tomto případě vhodná, jelikož nepřesnosti způsobené měřícím přístrojem jsou větší než reálná změna koncentrací.



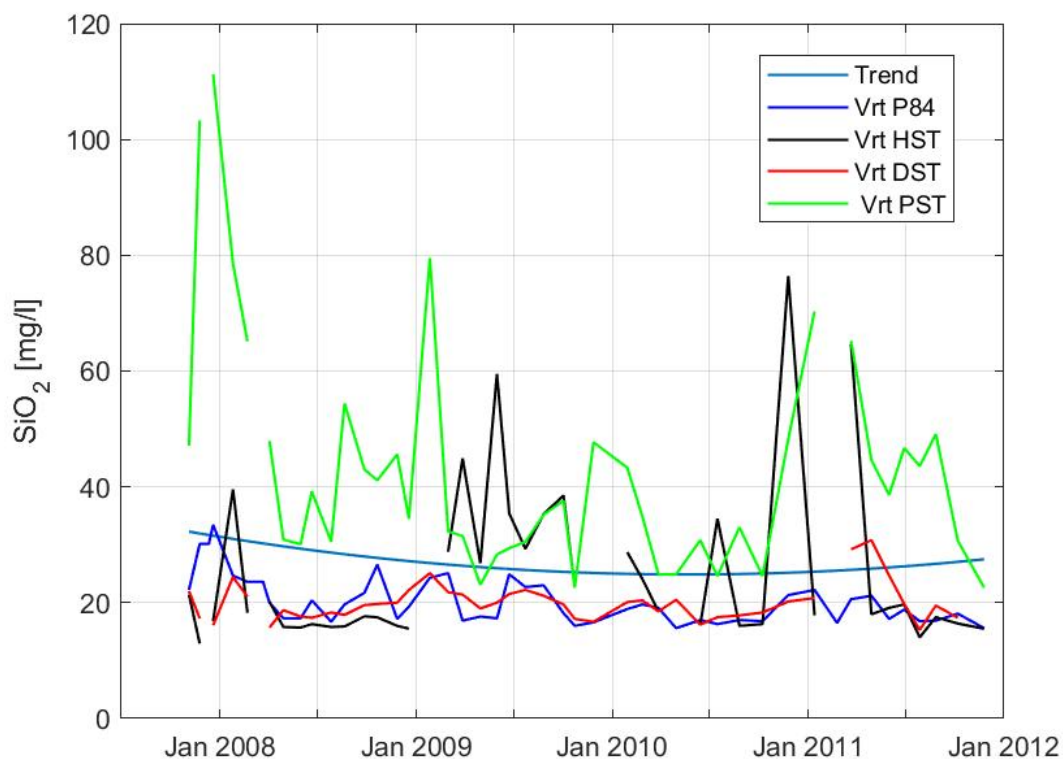
Obr. 6.4.3 - Upravená data izotopových koncentrací $\delta^2\text{H}$ v podzemní vodě



Obr. 6.4.4 – Upravená data izotopových koncentrací $\delta^{18}\text{O}$ v podzemní vodě

6.4.2 Oxid křemičitý

Koncentrace SiO_2 se v jednotlivých vrtech liší mnohem více než izotopové koncentrace ve vrtech mezi sebou. Statistická filtrace pomocí koeficientu variace by smazala i správně naměřená data. Vrtý PST a HST se chovají velmi dynamicky, s koncentracemi oxidu křemičitého až 100 mg/l (obr. 6.4.3). Vrtý P84 a DST vykazují konstantní hodnoty pohybující se okolo 20 mg/l. Pro vytvoření rovnice druhého řádu, kterou byla data proložena, byly využity i přes jejich odlišné hodnoty všechny vrtý. Nacházejí se velmi blízko u sebe (obr. 6.4.3) a dohromady odrážejí celkový charakter podzemní vody v povodí, aniž by byly příliš zatíženy vnějšími vlivy. Tímto způsobem je co nejpřesněji zachyceno chování podzemní vody z hlediska koncentrací SiO_2 .



Obr. 6.4.3 - Koncentrace SiO_2 v podzemní vodě

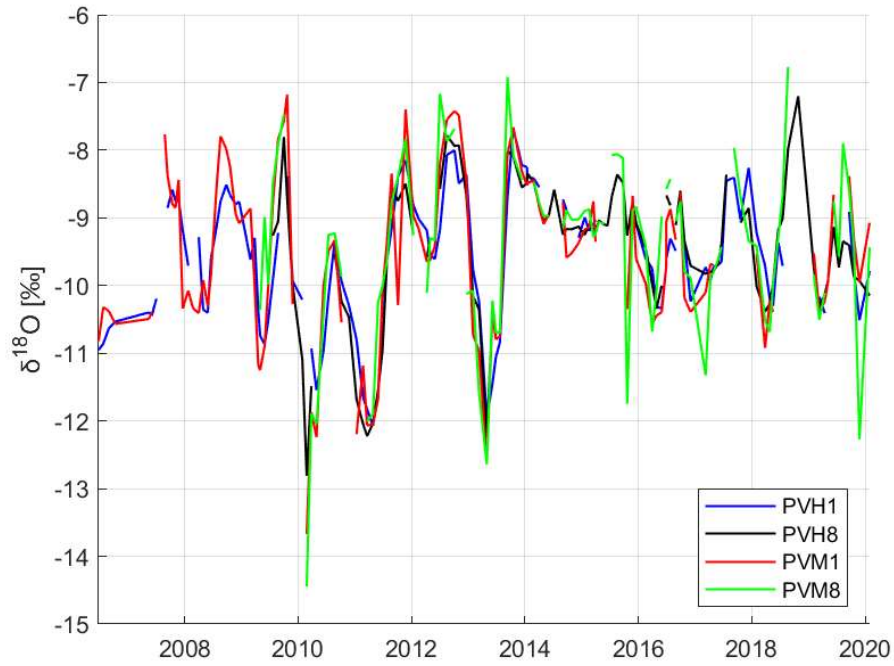
6.5 Stopovače v půdní vodě

6.5.1 Izotopy kyslíku a vodíku

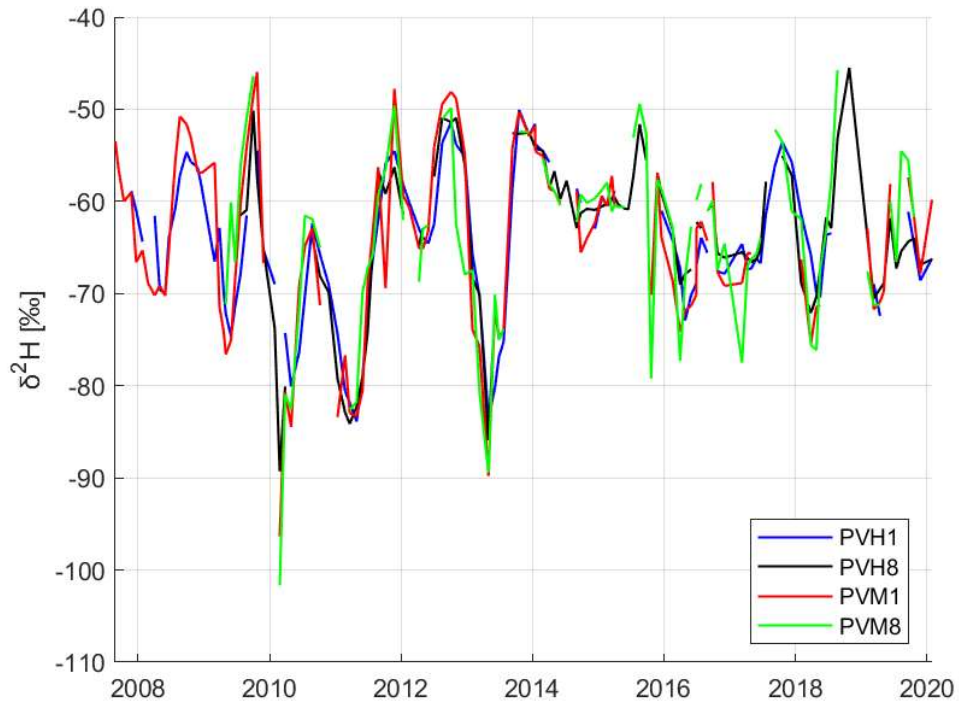
Pro výpočet byla zvolena data podtlakových lyzimetrů PVH1, PVM1, PVH8 a PVM8, které byly popsány v kapitole 6.2. Díky své poloze nejlépe odráží skutečné změny izotopových koncentrací půdní vody. Data měření izotopových koncentrací $\delta^2\text{H}$ a $\delta^{18}\text{O}$ byla sjednocena do jedné množiny (obr. 6.5.1 a obr. 6.5.2). Obdobně jako u dat podzemní vody tak vznikla pro každé datum sada naměřených koncentrací.

Ty jsou ale v půdní vodě výrazně dynamičtější a dosahují většího rozsahu hodnot. Zároveň nejsou ve všech podtlakových lyzimetrech stejné, mají vysokou směrodatnou odchylku. Aplikace filtrování hodnot podle součinitele variace zde není vhodná, ztratilo by se tak nemalé množství dat, která by byla nesprávně vyhodnocena jako chybná měření.

Izotopové koncentrace v půdní vodě rychleji a výrazněji reagují na srážky, proložení parabolou zde proto není vhodné. Charakteristické dynamické chování izotopů v půdní vodě by tak bylo potlačeno a hodnoty by se velmi přiblížily koncentracím ve vodě podzemní, což by v důsledku destabilizovalo výpočet separace odtoku. V každé sadě byl vypočten průměr, který byl následně použit pro vytvoření kompletního souboru denních dat pomocí lineární interpolace. Z dat byly následně vybrány úseky odpovídající vyčleněným srážkoodtokovým epizodám.



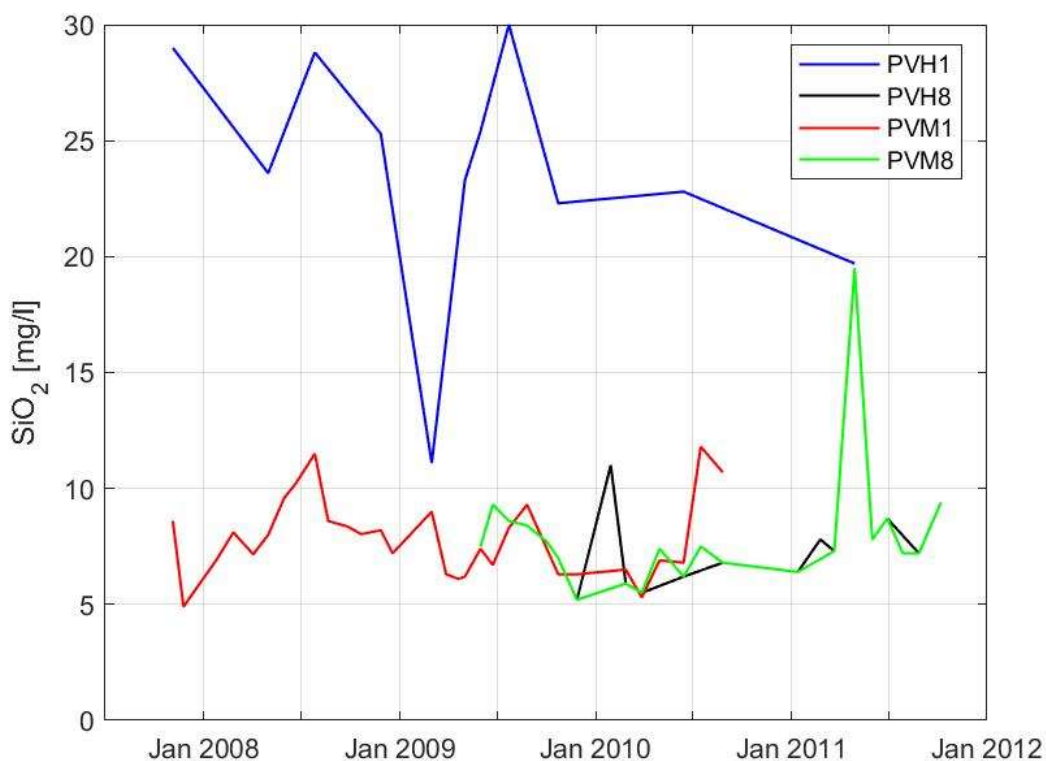
Obr. 6.5.1 – Izotopové koncentrace $\delta^{18}O$ v půdní vodě



Obr. 6.5.2 - Izotopové koncentrace δ^2H v půdní vodě

6.5.2 Oxid křemičitý

Zpracování koncentrací SiO_2 v půdní vodě je analogické ke zpracování izotopových koncentrací. V porovnání s vodou podzemní jsou koncentrace oxidu uhličitého v půdní vodě stabilnější a obecně nižší. Výjimkou je podtlakový lyzimetr PVH1 (obr. 6.5.1), jehož průměrné hodnoty dosahují přibližně 25 mg/l. Dynamičnost je zde obrácená oproti izotopovým koncentracím. Důvodem může být částečná rozpustnost oxidu křemičitého ve vodě, která závisí na teplotě, tlaku, pH a formě (Barek, 2016). Při průtoku vody půdou také může docházet k nezanedbatelné filtraci pevných částic a koncentrace se tak znatelně sníží. Toto chování je důležité při procesu separace, jelikož stabilizuje výpočet, ale ovlivňuje výsledky.



Obr. 6.5.1 - Koncentrace SiO_2 v půdní vodě

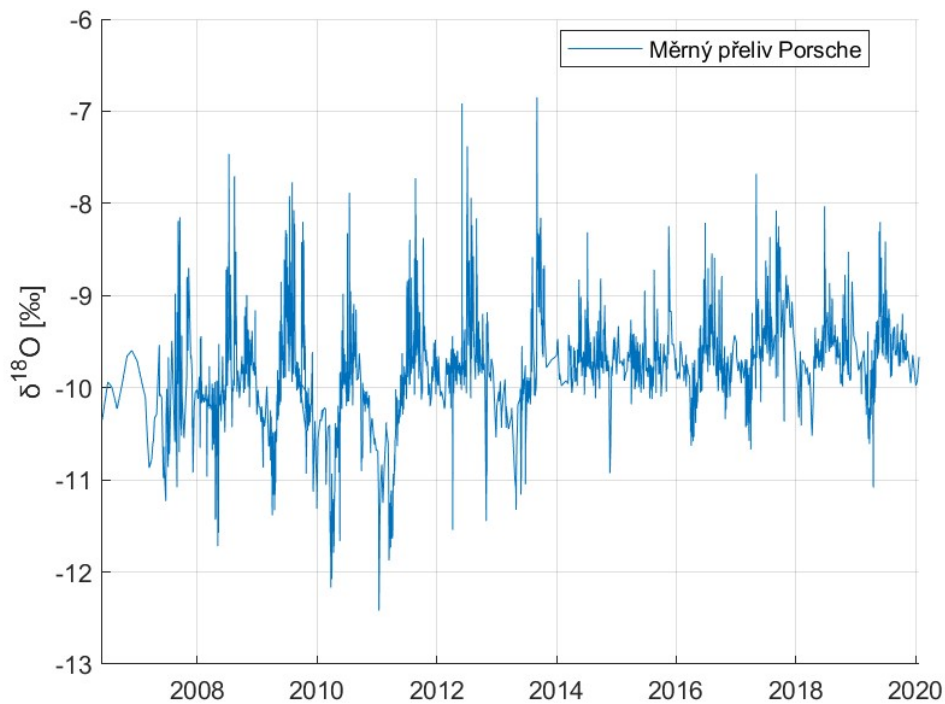
6.6 Stopovače v povrchovém odtoku

6.6.1 Izotopy kyslíku a vodíku

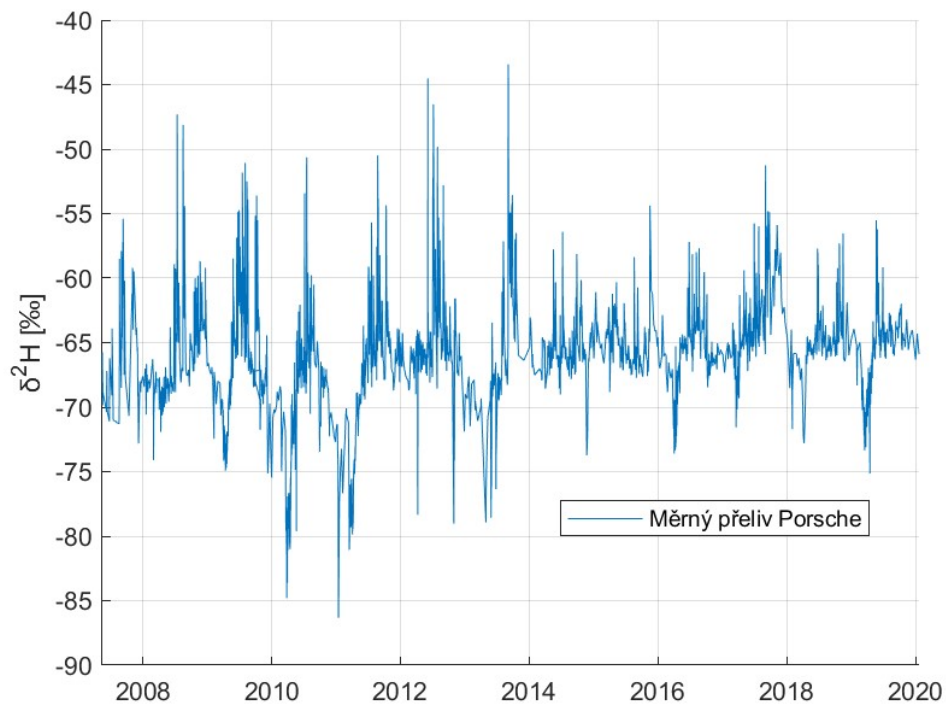
Vzorky vody pro měření izotopů byly odebrány na měrném přelivu Porsche na Černé Nise. Způsob odběru je popsán v kapitole 6.2. Vstupní data často obsahovala duplicitní

měření izotopů. Některé vzorky byly měřeny vícekrát v různých institucích. Všechny koncentrace se stejným datem odběru byly zprůměrovány a dále použity jako jedna hodnota. Slévané vzorky z počátku vzorkovacího byly z výpočtu odstraněny. Použitá data jsou vykreslena na obr. 6.6.1 a obr. 6.6.2.

Změny izotopových koncentrací v toku jsou dynamické a jejich hodnoty jsou úzce spjaty se srážkami v povodí. Mezi jednotlivými koncentracemi lze předpokládat díky častému odběru vzorků a kontinuitě prostředí lineární změnu. Pro dopočítání chybějících hodinových dat byla na základě zmíněného předpokladu využita lineární interpolace. Z dat byly následně vybrány úseky odpovídající vyčleněným srážkoodtokovým epizodám.



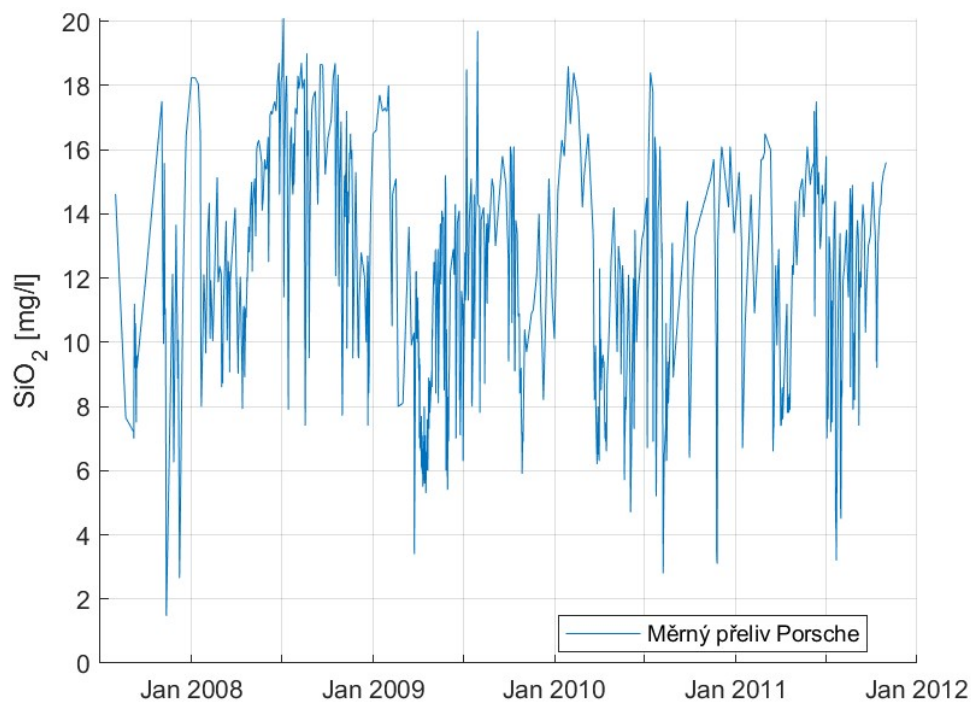
Obr. 6.6.1 – Izotopové koncentrace $\delta^{18}\text{O}$ na měrném přelivu Porsche



Obr. 6.6.2 - Izotopové koncentrace $\delta^2\text{H}$ na měrném přelivu Porsche

6.6.2 Oxid křemičitý

Zpracování koncentrací SiO_2 v půdní vodě je analogické ke zpracování izotopových koncentrací. Hodnoty jsou dynamické v celém období a pohybují se mezi koncentracemi v půdní a podzemní vodě, což odpovídá přibližně 5–20 mg/l (obr. 6.6.3).



Obr. 6.6.3 - Koncentrace SiO_2 v povrchovém odtoku

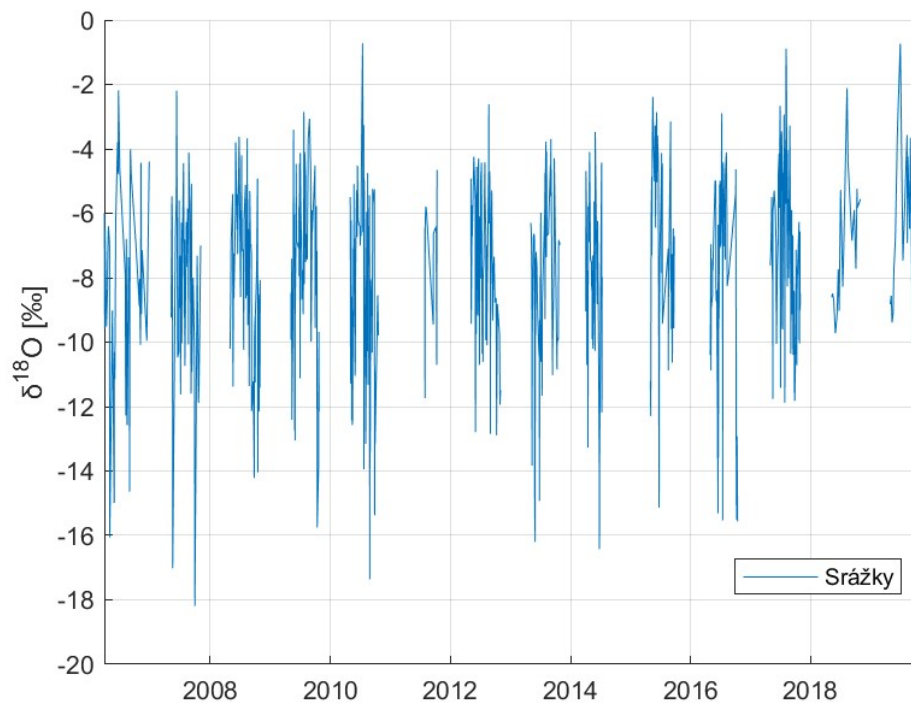
6.7 Stopovače ve srážkách

6.7.1 Izotopy kyslíku a vodíku

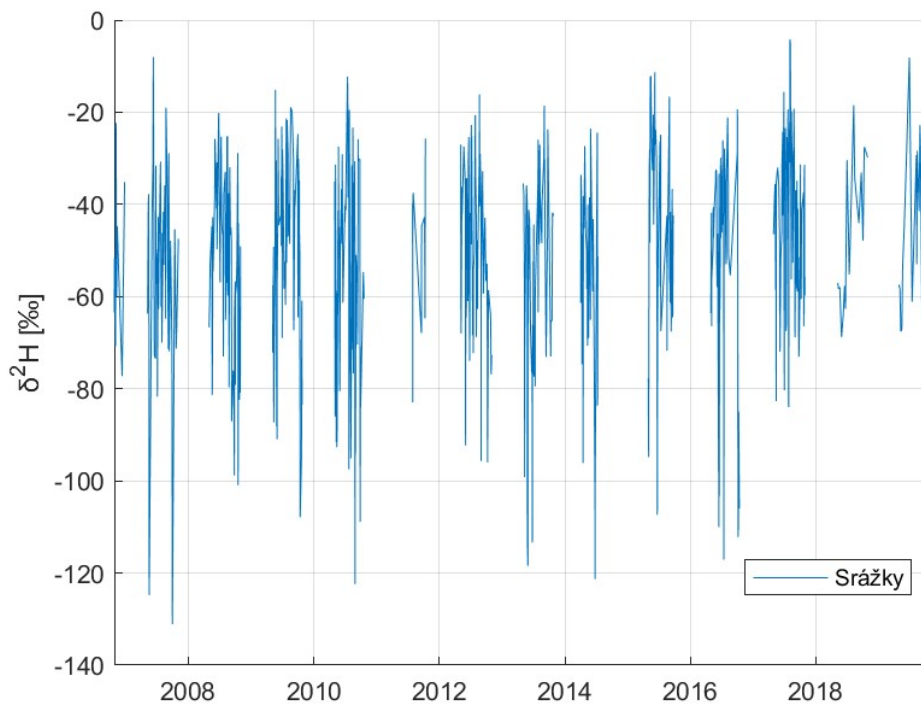
Hodnoty koncentrací ve srážkách se pohybují ve velmi širokém rozmezí. Žádná srážka není stejná a hodnoty jejich koncentrací na sobě nejsou nutně závislé, mohou tak růst a zase klesat. Na obr. 6.7.1 a obr. 6.7.2 lze vidět, že některé naměřené hodnoty jsou téměř shodné se standardní SMOW (blíží se k nule), zatímco jiné jsou v kontextu celé sady dat výrazně izotopově lehké.

Kvůli vysoké dynamičnosti a nezávislosti izotopových koncentrací ve srážkách nelze využít jednoduchou interpolaci. Bez konkrétních naměřených dat není možné odhadnout výšku koncentrací. Nelze tedy vytvořit chybějící data izotopových koncentrací ve srážkách a k výpočtu budou použity jen hodnoty reálně naměřené. Měření jsou v měsících rozložena značně nerovnoměrně, místy dokonce chybí. Například rok 2011 obsahuje pouze třináct hodnot. Mezery na obr. 6.7.1 a obr. 6.7.2 jsou v zimním období, kdy se denní a vícehodinové vzorky srážek neodebírají.

Obdobně jako u koncentrace izotopů v povrchové odtoku byla i zde některá data opakovaně měřená. V takovém případě byl vytvořen průměr hodnot se stejným datem, který byl využit při dalších výpočtech.



Obr. 6.7.1 - Izotopové koncentrace $\delta^{18}\text{O}$ ve srážkách na povodí Porsche



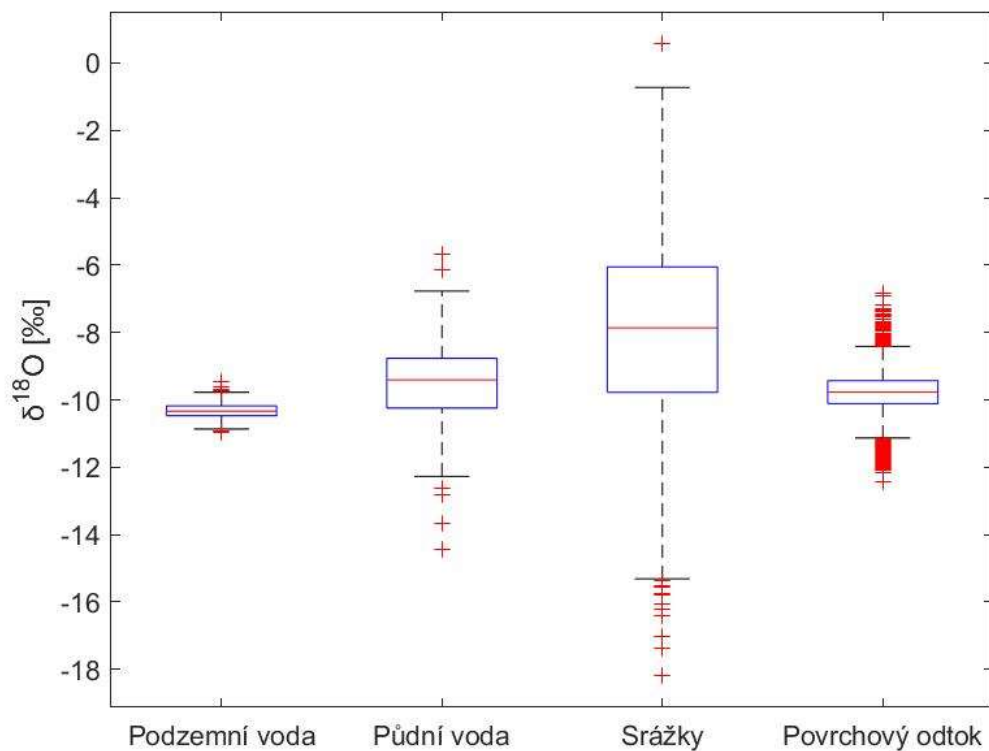
Obr. 6.7.2 - Izotopové koncentrace $\delta^2\text{H}$ ve srážkách na povodí Porsche

6.7.2 Oxid křemičitý

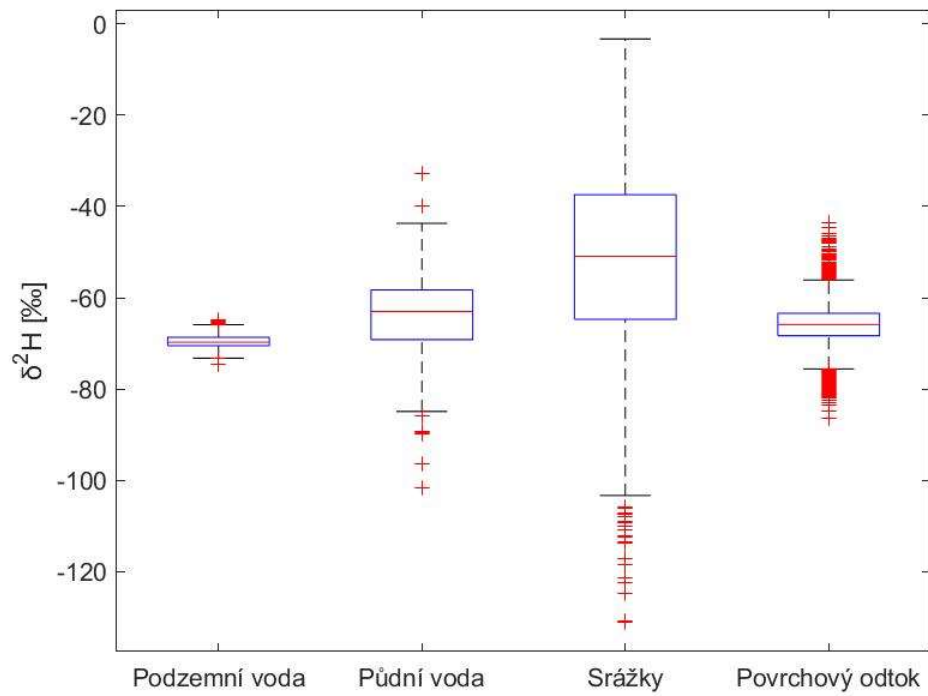
Koncentrace SiO_2 byla měřena pouze v několika srážkových epizodách na začátku období 2008-2013. Výsledné koncentrace se většinou pohybovaly pod dolní hranicí měřícího rozsahu, který je 2 mg/l. Předpokládám, že množství oxidu křemičitého ve srážkách není nulové. Některé vzorky překonaly hranici 2 mg/l. Do izotopových separací je koncentrace zahrnuta o konstantní hodnotě 1 mg/l. Pro zpřesnění výsledků byl proveden výpočet ještě dvakrát s hodnotami 0 a 2 mg/l, počet validních epizod se ale nezměnil.

6.8 Celkový přehled stopovačů

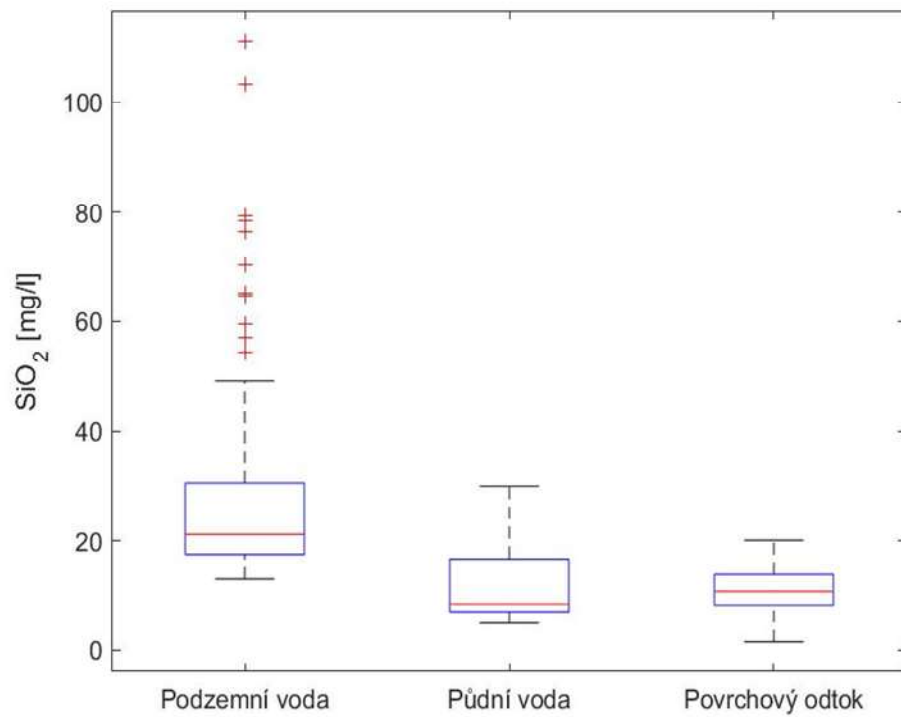
Pro vizualizaci stopovačů byly využity krabicové grafy. Krabicová část grafu je shora ohraničena 3. kvantilem a zespodu 1. kvantilem dat, linie uprostřed značí medián. Tzv. vousy značí data množství dat za kvantily a za nimi jsou vykresleny odlehle hodnoty dat jako samostatné body.



Obr. 6.8.1 - Krabicový graf izotopových koncentrací $\delta^{18}\text{O}$



Obr. 6.8.2 - Krabicový graf izotopových koncentrací δ^2H



Obr. 6.8.3 – Krabicový graf koncentrací SiO_2

7 Metodika

7.1 Výběr epizod

Epizody byly vybírány v letech 2007-2017 pouze mezi květnem a říjnem, tj. ve vegetačním období. Ve zbytku roku je vysoká pravděpodobnost výskytu sněhových srážek, u kterých je vysoké riziko vzniku nepřesných měření (vítr, tání sněhu aj.) a především není možné s aktuálním vybavením lokality postihnout dynamiku uvolňování vody ze sněhu a její izotopové složení.

Pro vytvoření skriptu pro výběr epizod byly využity programy MATLAB. Přírodní procesy, kterými je například tvoření srážek v atmosféře a následná reakce povodí, je téměř nemožné dokonale popsat jednoduchým programem, který funguje na základě logických operací. Všechny epizody byly zkontrolovány a v případě potřeby manuálně upraveny tak, aby vyhovovaly požadavkům.

Požadavky na vzhled epizod jsou do programu vkládány pomocí několika parametrů, které jsou dále popsány. Minimální velikost validní srážky je 20 mm, která musí spadnout v intervalu dvou dnů. Následně je zkontrolován časový rozestup mezi nenulovými hodinovými srážkovými úhrny. Pokud je pauza mezi dešti menší než čtyři dny, jsou tyto deště automaticky spojeny do jedné srážkové události. Velikost pauzy je poměrně velká z důvodu zpožděné reakce toku na srážku. V závislosti na nasycenosti povodí mohou dva intenzivní deště vytvořit kompaktní reakci v podobě jedné vlny na hydrogramu.

Po nalezení epizody následuje specifikace začátku a konce. Z předchozího kroku známe datum, za kterým se nachází validní srážka. Stejně datum je využito jako počátek hledání začátku epizody. První srážka, která překoná 0,5 mm je označena jako začátek epizody a ten je následně ještě posunut o pět hodin dříve. Znovu je zde využito zpožděné reakce toku na srážku, začátek díky tomu není přímo na začátku stoupající křivky hydrogramu, ale o několik hodin dřív, což je dobře vidět na obr. 7.2.1.

Konec epizody se výrazně složitěji automaticky rozpoznává. Počáteční průtok je vynásoben koeficientem o hodnotě 1,8 a ten je považován za koncový průtok. Program hledá první průtok, který na klesající křivce hydrogramu klesne pod koncový průtok. Pokud takový neexistuje, je epizoda ukončena na začátku následující. Pokud existuje, je k místu podkročení hraničního průtoku připočteno konstantní prodloužení, které činí tři dny. Když

během tohoto procesu průtok opět překročí hranici upraveného počátečního, je prodloužení připočteno znovu. Celý cyklus je dodatečně zabezpečen podmínkou, která výpočet ukončí na místě, kde derivace průtoku na čtyř hodinovém intervalu přesáhne hodnotu 0,0007 m³/sec*hod. Je tak zamezeno tomu, že aktuální srážkoodtoková epizoda pohltí následující epizodu, která ale nesplnila podmínku minimální srážky (20 mm).

V několika případech nastala situace, kdy program našel epizodu, která splňuje všechny podmínky, nebyla pro ni však naměřena žádná srážka a nemohla tak být použita ve výpočtu. Přehled epizod je uveden v tabulkách tab. 1, tab. 2 a tab. 3.

7.2 Výpočet izotopové koncentrace srážek (c_s)

Pro výpočet izotopových koncentrací ve srážkách byly využity tři metody (McDonnell et al., 1990): vážený průměr (c_{s1}), kumulativní vážený průměr (c_{s2}) a kumulativní srážková intenzita (c_{s3}).

7.2.1 Vážený průměr

Pro výpočet byl využit klasický vzorec pro vážený průměr, analogicky pak pro $\delta^2\text{H}$:

$$c_{s1} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot \delta^{18}\text{O}_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (4)$$

Kde n - počet naměřených izotopových koncentrací v epizodě

P - srážkový úhrn

$\delta^{18}\text{O}$ - koncentrace izotopu ^{18}O

Využití klasického váženého průměru vkládá to výpočtu chybu. Předpokládá, že na povodí padá po celou dobu srážky stejný déšť. To ale není pravda, a ve výpočtu se tak objeví srážky, které ještě na povodí nespádly. Při využití váženého průměru ale v separacích vychází nejvíce validních epizod, což jsou takové, kde se jednotlivé složky odtoku pohybují mezi 0% a 100%.

7.2.2 Kumulativní vážený průměr

Pro výpočet kumulativních vážených průměru byl využit upravený vzorec pro vážený průměr, analogicky pro $\delta^2\text{H}$:

$$c_{s2}(m) = \frac{\sum_{i=1}^m P_i * \delta^{18}\text{O}_i}{\sum_{i=1}^m P_i} \quad (5)$$

- Kde m - postupně narůstající počet izotopových koncentrací v epizodě
 P - postupně narůstající srážkový úhrn
 $\delta^{18}\text{O}$ - koncentrace izotopu ^{18}O

Kumulativní srážkový průměr připočítává vážené hodnoty izotopových koncentrací postupně. Koeficient m nabývá hodnot od jedné do celkového počtu naměřených koncentrací v epizodě, v průběhu výpočtu se tak postupně zvětšuje. První srážka tak ovlivňuje celý výpočet i přes to, že na konci srážkoodtokové epizody už nemusí být vůbec její součástí, zatímco poslední srážkový úsek se ve výpočtu objeví jenom jednou. Protože srážkové izotopové koncentrace nejsou měřeny kontinuálně, jsou jednotlivé hodnoty v každém kroku skokově přičteny, což neodpovídá realitě. Množství validních epizod bylo při této metodě a při trojsložkové separaci srovnatelné s metodou předchozí. Při dvousložkové separaci vychází tato metoda nejhůře.

7.2.3 Kumulativní vážený průměr srážkových intenzit

Pro výpočet kumulativních vážených průměru byl využit upravený vzorec pro vážený průměr, analogicky pro $\delta^2\text{H}$:

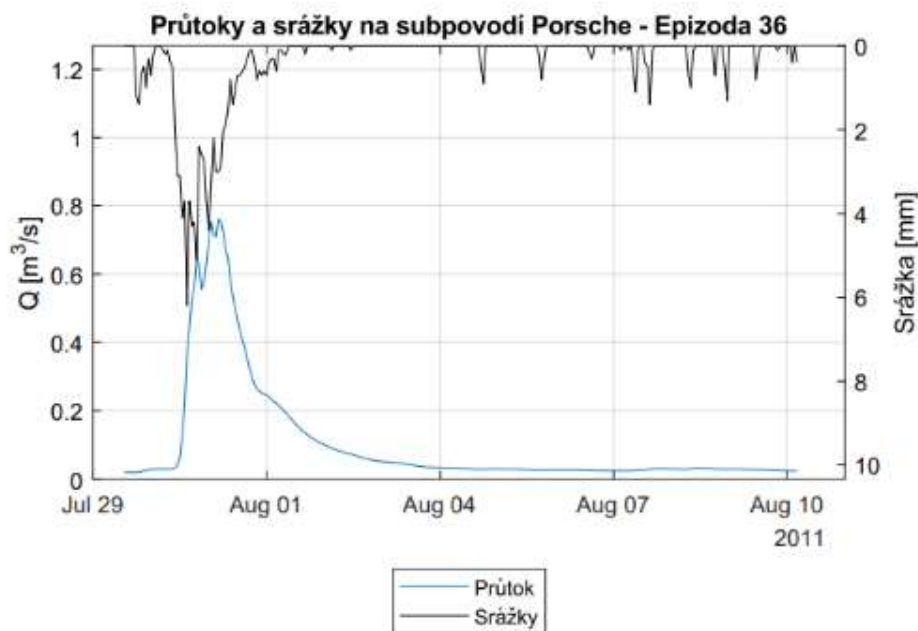
$$c_{s3}(m) = \frac{\sum_{i=1}^m I_i * \delta^{18}\text{O}_i}{\sum_{i=1}^m I_i} \quad (6)$$

- Kde m - postupně narůstající počet srážkových intenzit v epizodě
 I - postupně narůstající srážková intenzita v mm/h
 $\delta^{18}\text{O}$ - koncentrace izotopu ^{18}O

Kumulativní vážený průměr srážkových intenzit je obdobou metody přechozí, využívá ale místo množství deště jeho intenzitu. Předpokládá, že srážky s vyšší intenzitou se budou

větším poměrem podílet na odtoku. Izotopové koncentrace jsou vážené pomocí dílčích intenzit od začátku epizody do odběru vzorku. Předpokládám, že vyšší intenzita vytvoří větší a rychlejší odtok a měla by být zahrnuta ve výpočtu s větší vahou. Třetí metoda vyšla z hlediska validního počtu epizod v případě trojsložkové separace zdaleka nejhůře, což je překvapující, protože by měla postihnout chování srážky lépe než dvě předchozí. U dvousložkové separace vyšla srovnatelně s metodou kumulativního váženého průměru.

Validní epizoda je taková, kde výsledky odtokových separací vychází pro jednotlivé složky mezi 0% a 100%. V následujících tabulkách (tab. 1, tab. 2 a tab. 3) je celkový přehled validních epizod. V celkem srovnání vychází nejlépe metoda s váženým průměrem, která ale zároveň nejhůře popisuje realitu. Pro výpočet byla nakonec využita metoda s váženým



Obr. 7.2.1 - Část hydrogramu průtoku, příklad vybrané epizody

průměrem.

7.3 Dvousložková separace

Pro dvousložkovou separaci je potřeba pouze jeden nezávislý stopovač. Je tak možné výpočet provést zvlášť pro ^2H a ^{18}O a výsledky mohou být následně porovnány. Získáme tak

rozdělení průtoku na starou a novou vodu. Stará voda je voda, která se nacházela v povodí před srážkovou epizodou, je ve výpočtu reprezentována podzemní vodou z vrtů, úplně tak zanedbává vliv půdní vody za izotopovou skladbu odtoku, to se ukázalo v diplomové práci Školové (2022) jako velká nevýhoda a vznikly tak nepřesnosti ve výsledcích. Nová voda je ve výpočtu pouze voda srážková.

Vzorce využity pro dvousložkovou separaci (McDonnell et al., 1990):

$$Q_t = Q_s + Q_n \quad (7)$$

$$c_t Q_t = c_s Q_s + c_n Q_n \quad (8)$$

$$R_s = \frac{Q_s}{Q_t} = \frac{c_t - c_n}{c_s - c_n} \quad (9)$$

Kde	Q_t	- celkový odtok [m^3/s]
	Q_s	- odtok staré vody [m^3/s]
	Q_n	- odtok nové vody [m^3/s]
	c_t	- koncentrace izotopů v odtoku
	c_s	- koncentrace izotopů ve staré vodě
	c_n	- koncentrace izotopů v nové vodě
	R_s	- podíl staré vody na odtoku [%]

Výpočet je funkční je za určitých předpokladů a kritérií:

- rozdíly mezi jednotlivými koncentracemi jsou dostatečně velké
- hodnota koncentrace stopovačů ve staré vodě je určena na začátku epizody se během průběhu epizody nemění
- půdní voda je izotopově stejná nebo podobná vodě podzemní

V tabulkách tab. 1, tab. 2 a tab. 3 je vypsána celková statistika dvousložkové separace.

7.4 Trojsložková separace

Pro trojsložkovou separaci jsou potřeba minimálně dva nezávislé stopovače. Izotopy ^2H a ^{18}O nemohou být kvůli své vzájemné závislosti použity. Je potřeba využít dalšího traseru, v našem případě je to oxid křemičitý (SiO_2), který se ve vodě vyskytuje přirozeně. Výsledkem separace odtoku je podíl podzemní, půdní a srážkové vody.

Vzorec využít pro trojsložkovou separaci (Hinton a Schiff, 1994):

$$\frac{Q_s}{Q_t} = R_n = \frac{[(C_t^{Si} - C_p^{Si}) * (C_v^i - C_p^i) - (C_t^i - C_p^i) * (C_v^{Si} - C_p^{Si})]}{[(C_s^{Si} - C_p^{Si}) * (C_v^i - C_p^i) - (C_s^i - C_p^i) * (C_v^{Si} - C_p^{Si})]} \quad (10)$$

$$\frac{Q_p}{Q_t} = R_p = \left(\frac{C_t^j - C_v^j}{C_p^j - C_v^j} \right) - X_n * \left(\frac{C_s^j - C_v^j}{C_t^j - C_v^j} \right) \quad (11)$$

$$\frac{Q_v}{Q_t} = R_p = \left(\frac{C_t^j - C_p^j}{C_v^j - C_p^j} \right) - X_n * \left(\frac{C_s^j - C_p^j}{C_v^j - C_p^j} \right) \quad (12)$$

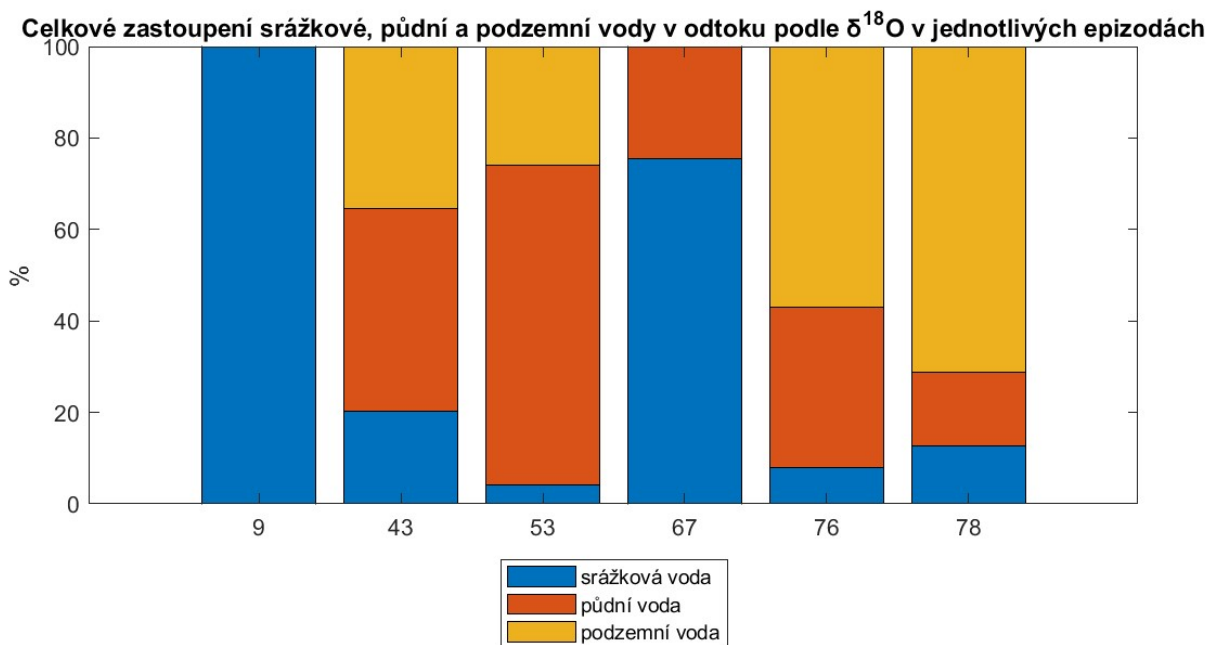
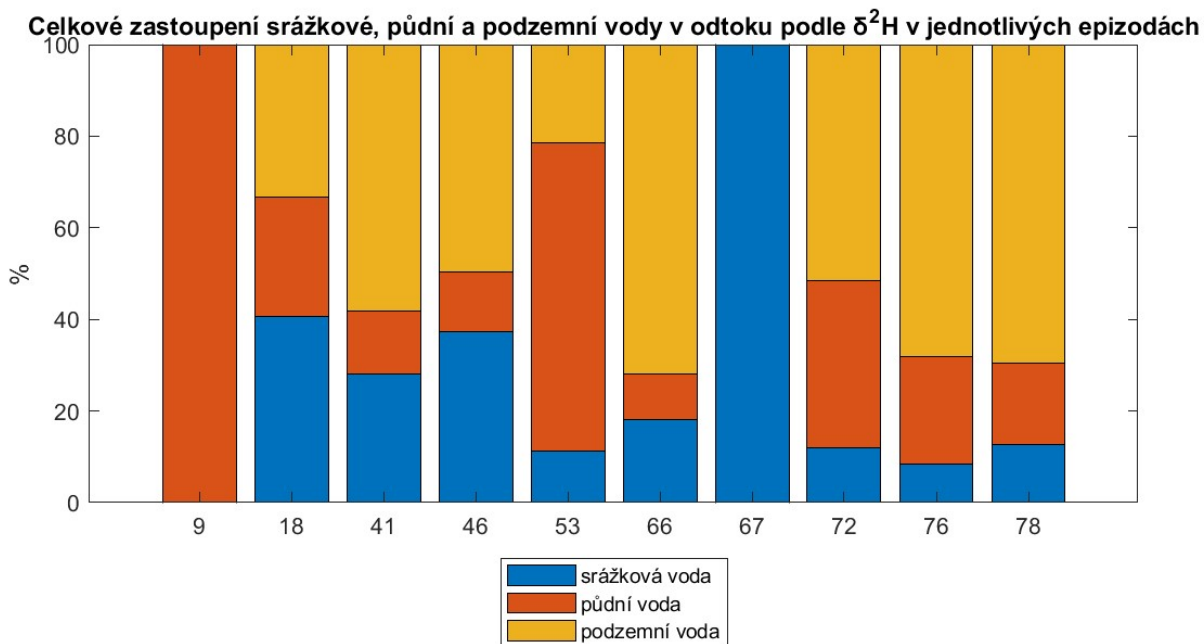
Kde	Q	- dílčí odtoky [m^3/s]
	R	- dílčí podíl na celkovém odtoku
	t	- voda v toku
	s	- srážková voda
	p	- půdní voda
	v	- podzemní voda (vrty)
	c	- koncentrace stopovačů v odtoku
	i	- izotop
	Si	- křemík
	j	- koncentrace libovolného stopovače kde $C_p \neq C_v$

Výpočet je funkční je za určitých předpokladů a kritérií:

- rozdíly mezi jednotlivými koncentracemi jsou dostatečně velké
- hodnota koncentrace stopovačů v podzemní a půdní vodě je určena na začátku epizody se během průběhu epizody nemění

Počet bodů se v rámci jedné epizody řídí množstvím naměřených vzorků srážkových koncentrací v dané epizodě. Jednotlivé zastoupení vod v odtoku není na začátku epizody známé, byl proto na každý začátek doplněn jeden bod se 100% zastoupením podzemní vody. Pro první naměřenou srážku epizody byly nalezeny korespondující hodnoty půdní a podzemní vody, které zůstaly stejné i ve zbylých bodech výpočtu. Hodnoty koncentrací stopovačů v půdní a podzemní vodě jsou ovlivňovány srážkou, která na povodí dopadá. Do výpočtu by tak byl vložen předpoklad, který může vézt ke zkreslení výpočtu.

Trojsložková separace byla provedena v šesti kombinacích. Nejstabilnější varianta je kombinace ^2H a Si stopovačů, následně pak ^{18}O a Si. Tato metoda je bohužel omezena pouze na roky 2008-2011, kdy byly koncentrace křemíku měřeny. V rámci pokusu o rozšíření množství validních výsledků byl křemík nahrazen d („deuterium excess“). Výpočet se ale stal velmi nestabilním, správně vyšlo jen velmi málo epizod. Validní výsledky nebyly dále zpracovávány, protože se jednotlivé složky odtoku chovaly nelogicky a v porovnání s ostatními kombinacemi vycházely složky nahodile.



Obr. 7.4.1 – Výsledky trojsložkové separace validních epizod s použitím deuterium excess

V tabulkách tab. 1, tab. 2 a tab. 3 je vypsána celková statistika trojsložkové separace.

Tab. 1 – Počet epizod dvousložkové separace

Celkem epizod	82			
Epizody s aspoň jednou izotopovou hodnotou srážky	69			
Validní epizody podle izotopových koncentrací	$\delta^{18}\text{O}$	%	$\delta^2\text{H}$	%
Vážený průměr srážkových úhrnů	43	62.3	42	60.9
Kumulativní vážený průměr srážkových úhrnů	32	46.4	32	46.4
Kumulativní vážený průměr srážkových intenzit	34	49.3	35	50.7

Tab. 2 – Počet epizod trojsložkové separace pomocí izotopů a SiO_2

Celkem epizod	31			
Epizody s aspoň jednou izotopovou hodnotou srážky	23			
Validní epizody podle izotopových koncentrací	$\delta^{18}\text{O}$	%	$\delta^2\text{H}$	%
Vážený průměr srážkových úhrnů	4	17.4	6	26.1
Kumulativní vážený průměr srážkových úhrnů	4	17.4	4	17.4
Kumulativní vážený průměr srážkových intenzit	0	0.0	0	0.0

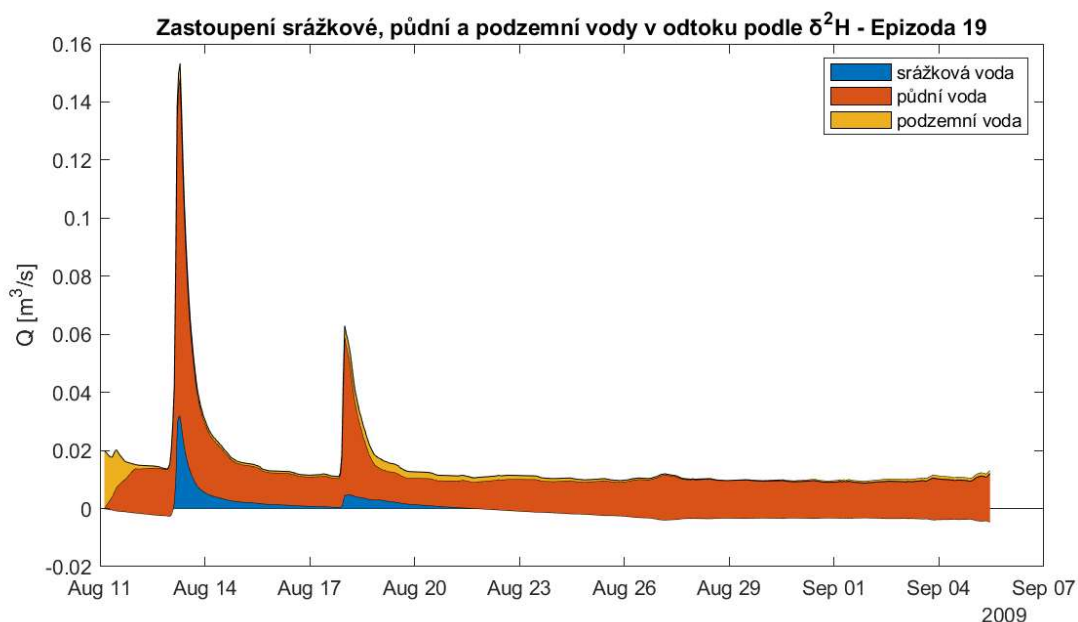
Tab. 3 – Počet epizod trojsložkové separace pomocí izotopů a deuteriového přebytku

Celkem epizod	82			
Epizody s aspoň jednou izotopovou hodnotou srážky	69			
Validní epizody podle izotopových koncentrací	$\delta^{18}\text{O}$	%	$\delta^2\text{H}$	%
Vážený průměr srážkových úhrnů	6	8.7	10	14.5
Kumulativní vážený průměr srážkových úhrnů	7	10.1	7	10.1
Kumulativní vážený průměr srážkových intenzit	3	4.3	2	2.9

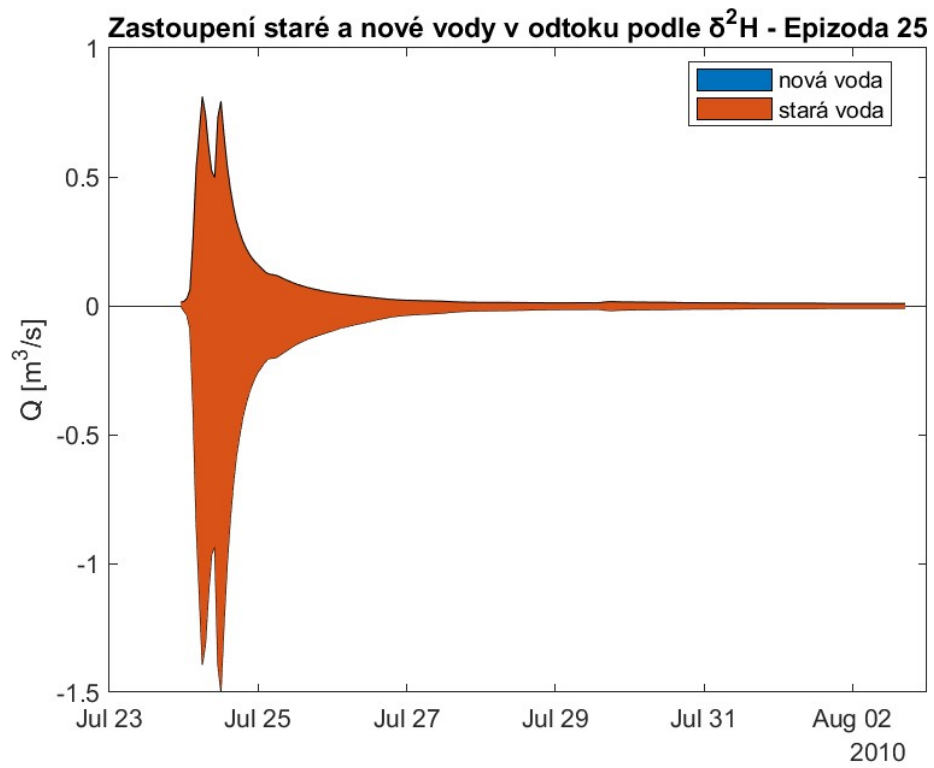
7.5 Nevyhovující epizody

Počet výsledků byl velmi zredukován vysokým počtem nevyhovujících epizod (tab. 1, tab. 2 a tab. 3) neboli epizod, kde jednotlivé části odtoku (půdní, podzemní a srážková voda) vyšly menší než nula nebo větší než jedna. Jedním z důvodů jsou chyby v měření dat. Může se jednat o špatný odběr vzorků, chyba měřicího přístroje nebo mezery v měření, které musely být vyplněny výpočtem, který pouze odhaduje reálné hodnoty.

Velkým problémem byla nestabilita výpočtu způsobená samotným separačním vzorcem (10). Ve dvousložkové separaci je tento problém dobře patrný. Pokud je izotopová koncentrace v nové vodě větší než koncentrace v odtoku a zároveň menší než koncentrace ve vodě staré, může celý vzorec vyjít v záporných hodnotách. K chybě dochází také když rozdíl koncentrací v čitateli vyjde správně, ale rozdíl ve jmenovateli téměř nulový. Výsledky pak dosahují hodnot výrazně vyšších než jedna. Obdobný problém nastává při trojsložkové separaci, zde kvůli složitějšímu vzorci závisí validní výsledky na více podmínkách, které jsou ve své podstatě stejné jako při separaci dvousložkové.



Obr. 7.5.1 – Příklad nevyhovující epizody z trojsložkové separace, podíl půdní vody zde vychází mírně záporné

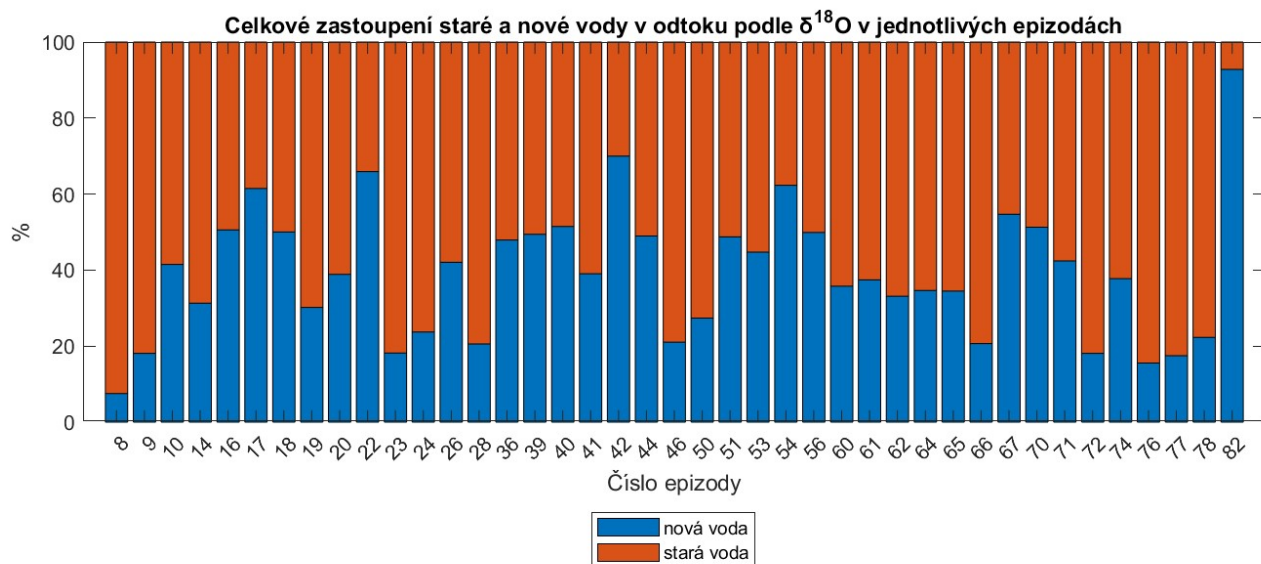


Obr. 7.5.2 – Příklad nevyhovující epizody z dvojsložkové separace, stará voda zde dosahuje mínusových hodnot a zároveň větších než jedna (zde v absolutní hodnotě)

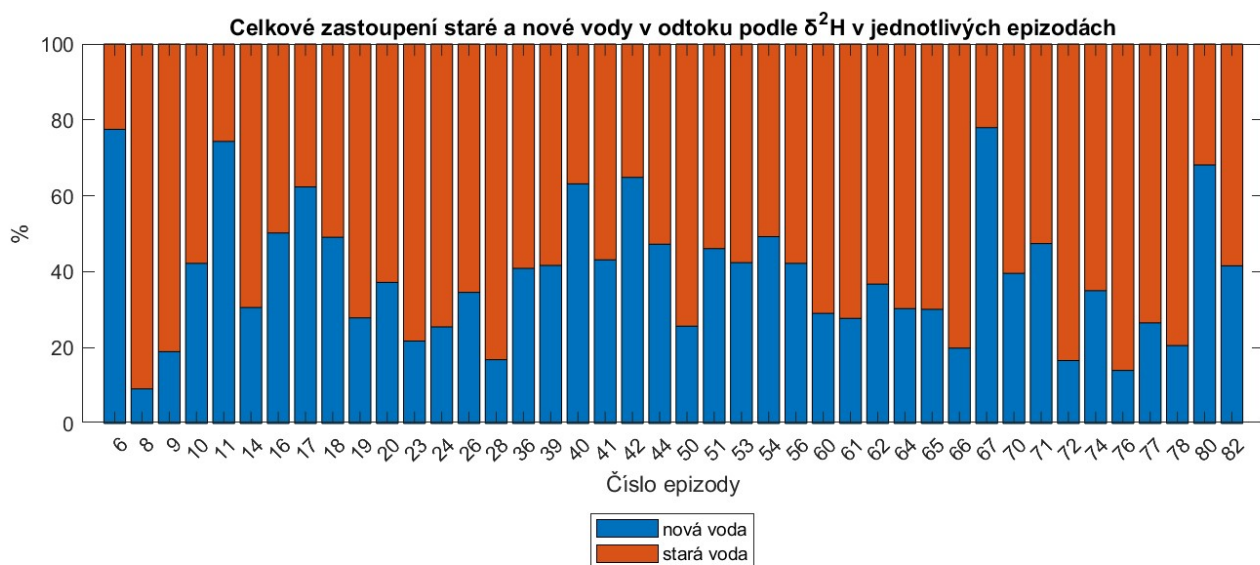
8 Výsledky

8.1 Výsledky dvousložkové separace

Jeden z hlavních problémů dvousložkové separace je předpoklad, že se od sebe izotopové koncentrace v půdní a podzemní vodě příliš neliší. Toto tvrzení se ale ukázalo jako nepravdivé (DeWalle et al., 1988), izotopové koncentrace se v půdní a podzemní vodě liší a půdní voda může znatelně ovlivnit složení odtoku (Kennedy et al., 1986). K podobnému závěru došla i Školová (2022) ve své diplomové práci, kde velká část epizod vyšla s výsledky přesahující 100 % nebo menšími než 0 %, ke srovnatelným výsledkům došel i McDonnell et al. (1991). V této práci se pohybuje množství vadných epizod nad 60 % z celkového počtu, kde je změřena alespoň izotopová hodnota ve srážce. Ve dvousložkové separaci se předpokládá, že stará voda reprezentuje jak vodu podzemní, tak půdní. Ve skutečnosti to tak není a tato separace výrazně nadhodnocuje podíl srážkové vody na odtoku, i přes to je ale stará voda v odtoku dominantní (obr. 8.1.1 a obr. 8.1.2). Nepřesné a špatné výsledky dvousložkové separace vedly k využití trojsložkové separace odtoku, mezi prvními byl (DeWalle et al., 1988), který spolu s izotopy využívá další druhy stopovačů.



Obr. 8.1.1 - Výsledky dvousložkové separace podle ^{18}O

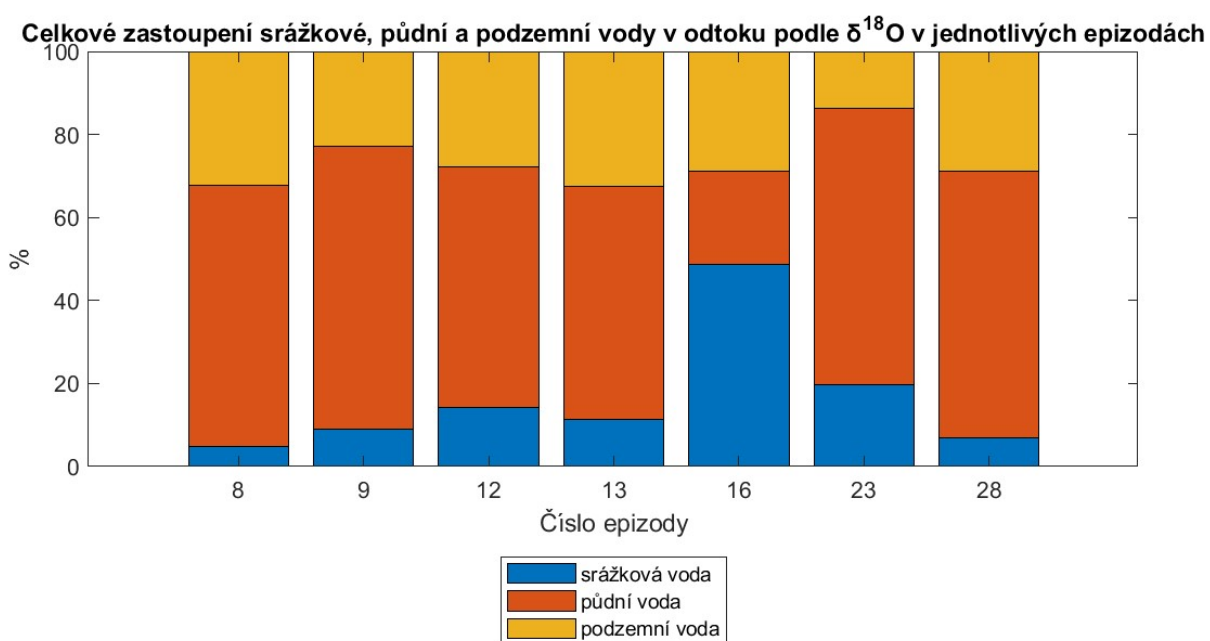


Obr. 8.1.2 - Výsledky dvousložkové separace podle ^2H

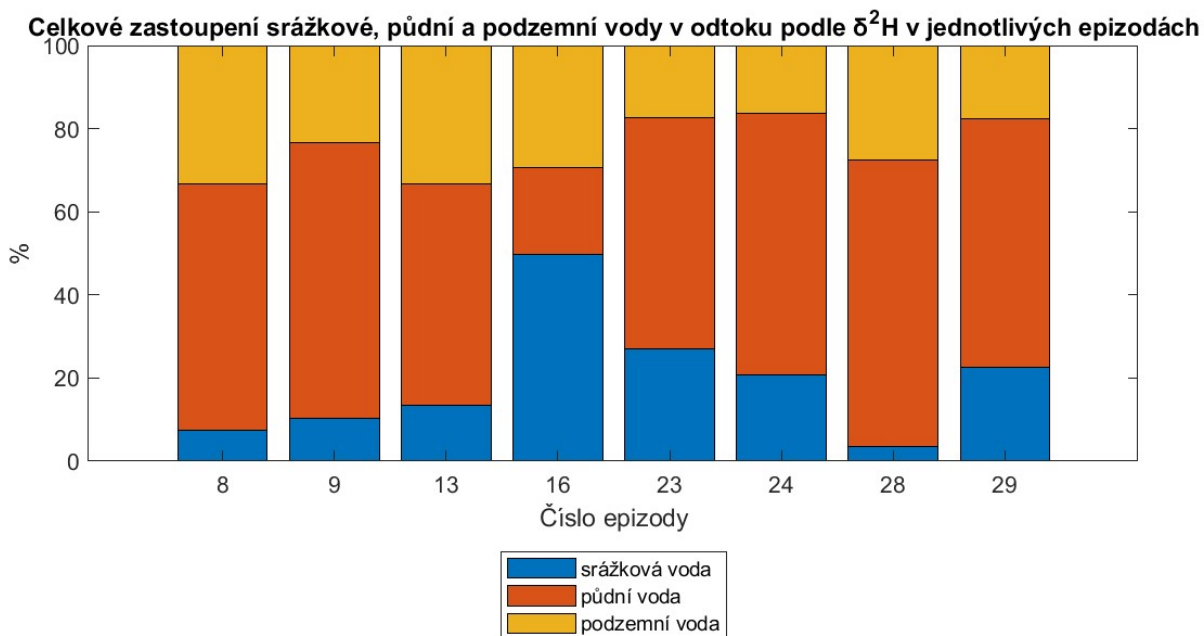
8.2 Výsledky trojsložkové separace

Trojsložková separace odhaluje nezanedbatelný vliv půdní vody na složení odtoku, bohužel ale neřeší vysokou neúspěšnost výpočtu. Kvůli výrazně složitějšímu výpočtu nelze jednoznačně určit, jaká jeho část způsobuje nejčastěji chybný výsledek. Všechny členy, které ve výpočtu vystupují, jsou zatíženy chybou. Může se jednat o chybu odběru vzorku, chybu měřicího přístroje, nebo chybu vzniklou interpolací v mezerách mezi naměřenými daty.

Všechny tyto chyby se ve výsledku nasčítají a mohou celý výpočet destabilizovat.



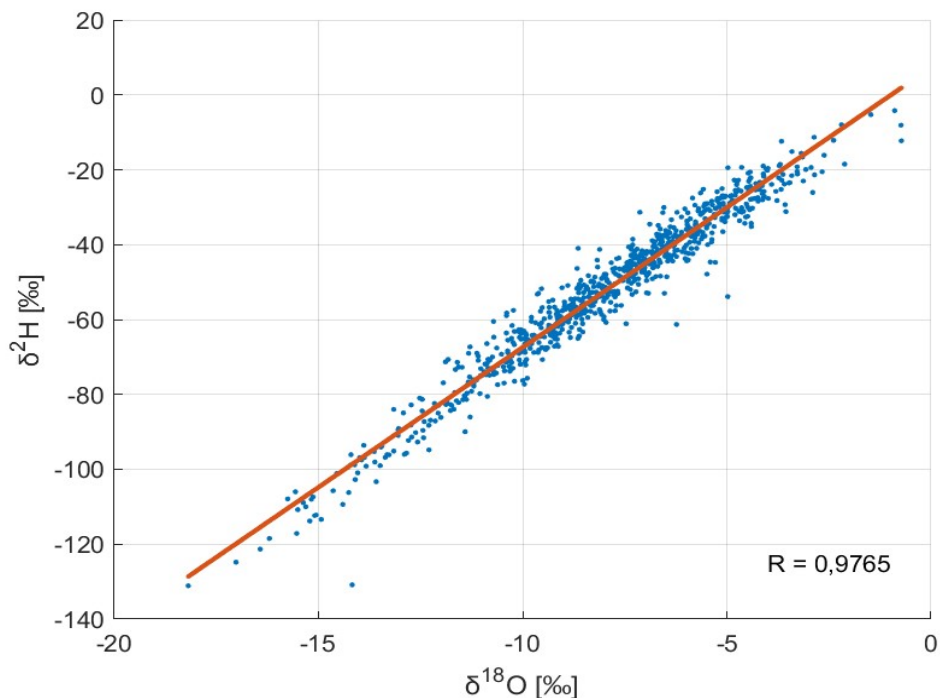
Obr. 8.2.1 - Výsledky trojsložkové separace podle ^{18}O , vážený průměr srážkových úhrnů



Obr. 8.2.2 - Výsledky trojsložkové separace podle ^2H , vážený průměr srážkových úhrnů

Rozdíly mezi výsledky trojsložkové a dvousložkové separace jsou i přes malé množství validních epizod výrazné. Až na jednu výjimku, kterou je epizoda 16, je podíl srážkové vody v odtoku menší až o 10 % (obr. 8.2.2 a obr. 8.2.1). Chybějící srážková voda je z většiny nahrazena vodou půdní. Epizody 12 a 13 při dvousložkové separaci neměly využitelné výsledky a nemohou být porovnány.

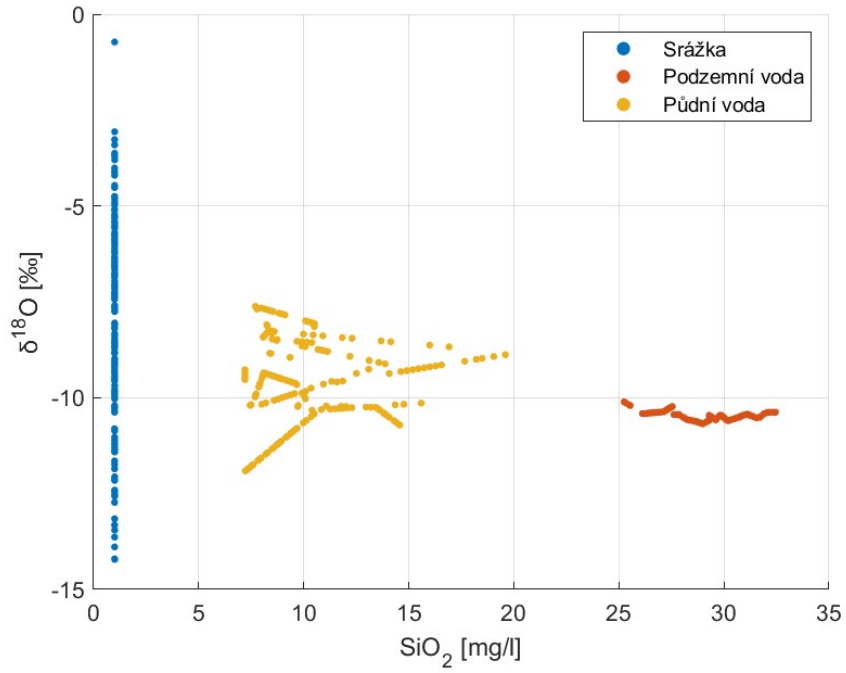
Oxid křemičitý, se který v této práci počítám, použil jako jeden z prvních McDonnell et al. (1991). Obecně jsou složky ^2H a ^{18}O považovány za závislé a jejich kombinace se využívají jen výjimečně (Burns a McDonnell, 1998). Určité rozdíly ale za určitých podmínek existují (Lyon et al., 2009). V této práci je využito vztahu ^2H a ^{18}O v podobě „deuterium excess“, který ale činí výpočet značně nestabilním a správně při jeho využití jako druhého stopovače vyšlo pouze lehce přes 10 % epizod. To značí, se v povodí Porsche se od sebe hodnoty koncentrací ^2H a ^{18}O analogicky příliš neliší. Existují ale výjimky, které jsou dobře vidět například na (obr. 8.2.3) a na epizodách 82, 67, 40 (obr. 8.1.1 a obr. 8.1.2). Výsledné separace se v těchto epizodách výrazně liší v závislosti na použitém izotopu. Ani jeden z izotopů nenadhodnocuje novou nebo starou vodu, na první pohled se chovají spíše nahodile. Kromě chyb v měření může odlišení izotopů způsobit odpar a následná infiltrace srážky do půdy, tento efekt je není pro povodí Uhlířská obvyklý.



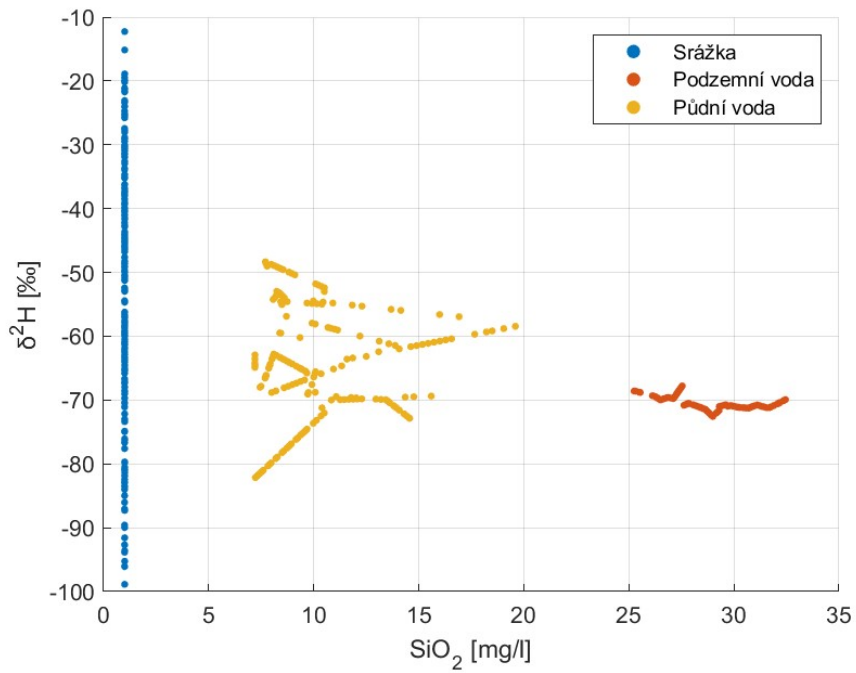
Obr. 8.2.3 – vztah $\delta^2\text{H}$ a $\delta^{18}\text{O}$ v srážkách na povodí Porsche, r – korelační koeficient

Dalším předpokladem, který je společný pro dvousložkovou i trojsložkovou separaci, je podmínka, že se jednotlivé koncentrace od sebe musí dostatečně lišit. Na obr. 8.2.4 a obr. 8.2.5 je vidět zobrazení koncových členů (tzv. end members). Koncentrace SiO_2 se v podzemní, půdní a srážkové vodě liší a tvoří seskupené oblasti dat. Oproti tomu jsou si izotopové koncentrace v půdní a podzemní vodě v některých případech velmi podobné, což může způsobit nestabilitu výpočtu. Je zde také vidět velké množství dat koncentrací oxidu křemičitého, které byly dopočteny pomocí lineární interpolace.

Volba stopovačů je velmi důležitým faktorem, který je schopen velmi ovlivnit výsledky odtokových separací. Například Rice a Hornberger (1998) využili pro separaci kombinace ^2H s ^{18}O , chlórem, sodíkem a oxidem uhličitým. Výsledky se v některých případech lišily až o 50 %. Různé stopovače popisují jiné koncové členy, chloridy se lépe hodí k popisu vody před a po události. Křemičitany mohou značit preferenční proudění skrze oblast se zvýšeným obsahem křemičitanů (Klaus a McDonnell, 2013), případně zónu s odlišným pH, která způsobí změnu jejich rozpustnosti.



Obr. 8.2.4 – Koncové členy podle $\delta^{18}\text{O}$ a SiO_2 , celkový obraz všech dat

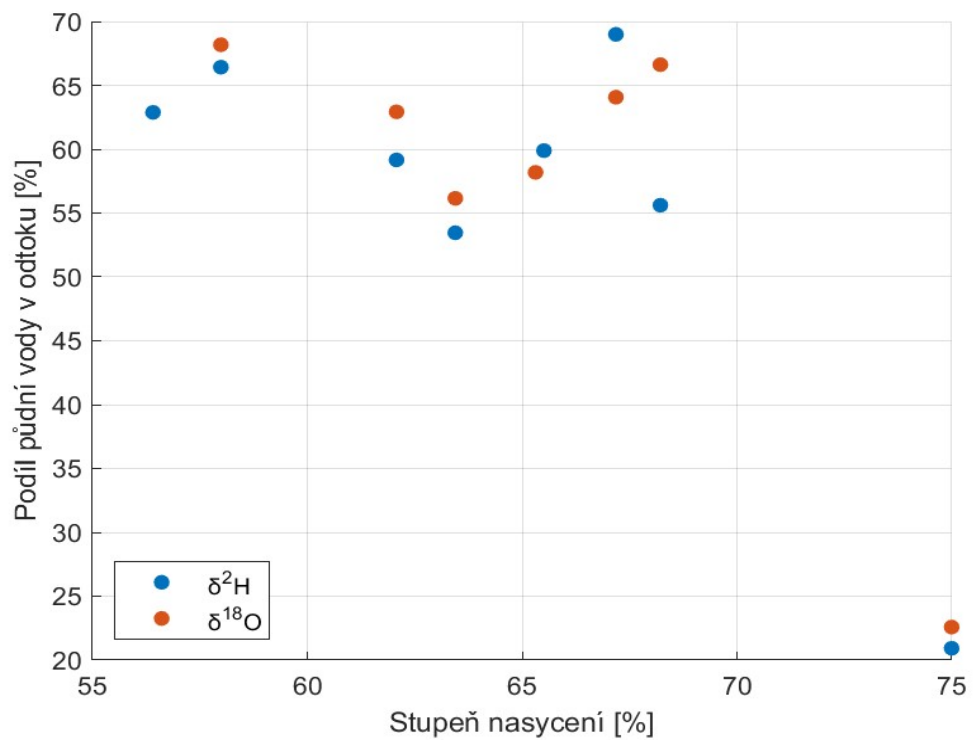


Obr. 8.2.5 – Koncové členy podle $\delta^2\text{H}$ a SiO_2 , celkový obraz všech dat

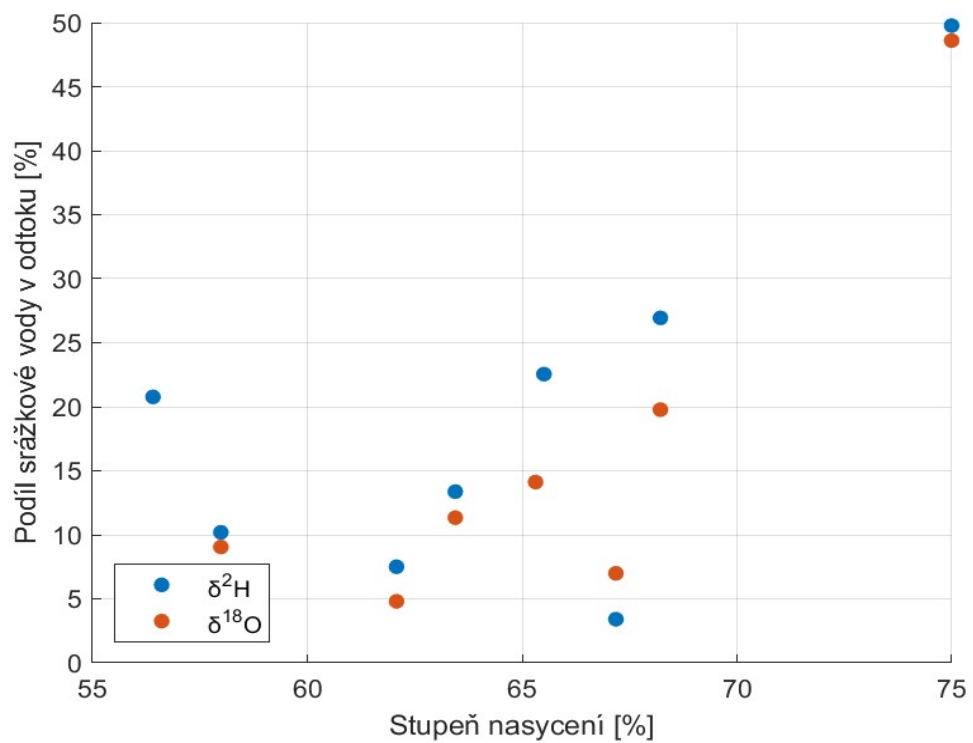
Pro objasnění výsledků separací byla hledána závislost mezi několika různými faktory (tab. 4) z povodí Uhlířská a množstvím půdní, podzemní a srážkové vody v odtoku. Jeden z důležitých faktorů je počáteční stav vody v povodí (Hinton a Schiff, 1994). Odtok epizody 16 jako jediný obsahuje největší podíl srážkové vody, odlišuje se tak od všech ostatních epizod, kde převažuje voda půdní. Důvodem by mohl být vysoký stupeň nasycení na začátku epizody, který by způsobil intenzivnější povrchový odtok, a tak i větší zastoupení srážkové vody v odtoku. Toto chování ale není vždy konzistentní, například epizoda 23 a 29 (tab. 4) vykazují vyšší stupeň nasycení a poměr srážkové vody je v těch to epizodách vyšší. Tomu ale odporuje epizoda 24, která je naopak nasycena méně, a i přes to obsahuje větší zastoupení srážkové vody.

Tab. 4 – Charakteristiky epizod trojsložkové separace

Začátek epizody	Konec epizody	Číslo epizody	Počáteční stupeň nasycení [%]	Kulminační průtok v epizodě [m ³ /s]	Maximální srážková intenzita [mm/h]	Celkový úhrn za epizodu [mm]
03.06.2008 14:00	25.06.2008 13:00	8	62.08	0.04	2.52	41.60
25.06.2008 12:00	03.07.2008 15:00	9	57.99	0.13	2.07	24.80
22.08.2008 19:00	01.09.2008 21:00	12	65.31	0.17	2.03	34.40
16.10.2008 9:00	28.10.2008 2:00	13	63.44	0.08	1.05	43.00
29.06.2009 15:00	17.07.2009 18:00	16	75.00	0.70	3.25	78.80
09.06.2010 15:00	30.06.2010 11:00	23	68.22	0.15	2.54	39.30
05.07.2010 22:00	17.07.2010 16:00	24	56.41	0.42	32.40	44.30
13.09.2010 9:00	25.09.2010 18:00	28	67.18	0.14	0.64	26.40
25.09.2010 19:00	20.10.2010 7:00	29	65.51	0.81	2.96	159.00

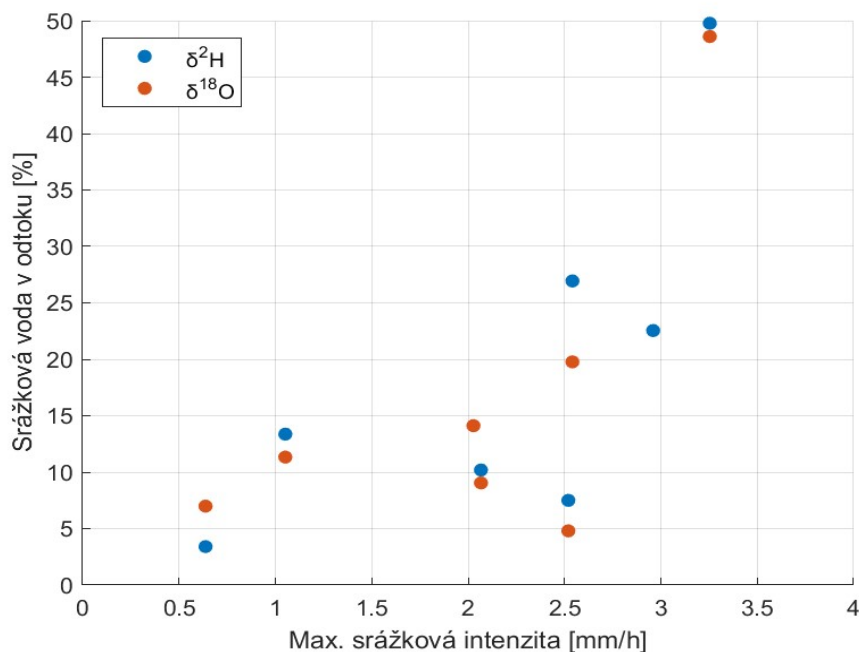


Obr. 8.2.6 - Vztah stupně nasycení půdy na začátku epizody a celkového podílu

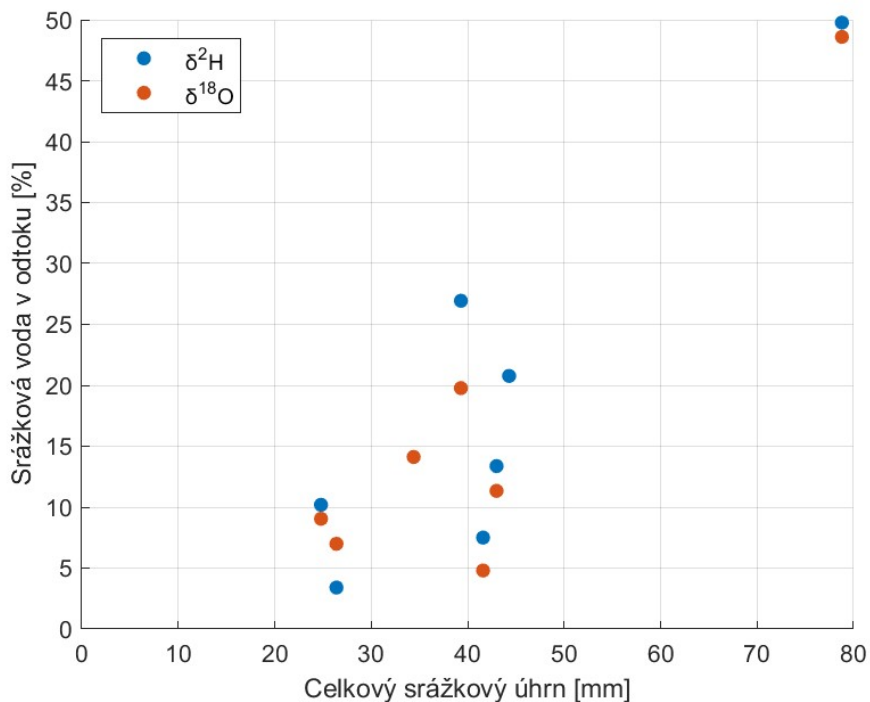


Obr. 8.2.7 - Vztah stupně nasycení půdy na začátku epizody a celkového podílu srážkové vody v odtoku

Dalším důležitým faktorem je charakter samotné epizodní srážky (James a Roulet, 2009). Stupeň nasycení půdy na začátku epizody nemá vliv na podíl půdní vody v odtoku (obr. 8.2.6), ale určitou závislost lze nalézt mezi stupněm nasycení a množstvím srážkové vody v půdě (obr. 8.2.7). Při vyšším nasycení přibývá na úkor půdní vody srážková voda v odtoku. Kromě stupně nasycení má vliv na odtok i celkové množství srážek a maximální srážková intenzita v epizodě. Při vyšších hodnotách nasycení množství srážkové vody v odtoku stoupá. Na obr. 8.2.6 a obr. 8.2.9 nejsou z důvodu přehlednosti vykresleny mimořádné epizody, ve kterých jsou maximální hodnoty (Tab. 4).



Obr. 8.2.6 - Vztah maximální srážkové intenzity v epizodě a podílu srážkové vody v odtoku, vynechána epizoda 24



Obr. 8.2.9 - Vztah celkového srážkového úhrnu v epizodě a podílu srážkové vody v odtoku, vynechána epizoda 29

9 Závěr

Dvousložková separace odtoku je starší a méně přesnou metodou určení složení vody v odtoku. Voda je při ní rozdělena na vodu starou, která by měla obsahovat veškerou vodu, kterou povodí obsahuje, ve výpočtu je reprezentována vodou podzemní a vodou novou, což je voda srážková. Její slabinou je předpoklad, který počítá s podobností koncentrací izotopů ^2H a ^{18}O ve vodě půdní a podzemní, který je chybný. Až na výjimky jsou tyto dva typy vod odlišné a výsledky dvousložkové separace velmi nadhodnocují množství srážkové vody v odtoku. Výpočet je zároveň velmi citlivý na podobnosti jednotlivých členů separace a pokud jsou hodnoty téměř stejné, může dojít k destabilizaci výpočtu. V takovém případě mohou složky odtoku nabýt hodnot větších než 100 % nebo naopak menších než 0 %.

Trojsložková separace řeší zanedbání půdní vody, která ve většině epizod vyšla v odtoku v největším zastoupení. Problémem je, že jednotlivá data, která figurují ve výpočtu, nejsou měřena ve stejný čas. Je tak nutné většinu chybějících hodnot dopočítat pomocí interpolací a prokládání křivkami. Toto je zejména je patrné u koncentrací SiO_2 , který má velmi výrazné mezery v měřených datech. Všechny členy jsou tak zatěžkány chybou, jejíž velikost není známá a není tak jisté, jak moc je separace věrná realitě. Obdobně jako u

dvousložkové separace zde některé epizody nemají využitelné výsledky. Důležitý je výběr koncových členů, které mohou výrazně ovlivnit výsledky trojsložkové separace. Kromě oxidu křemičitého byl výpočet proveden s využitím „deuterium excess“, který byl ale velmi nestabilní a byla tak potvrzen předpoklad, že hodnoty izotopových koncentrací ^2H a ^{18}O jsou na sobě až na výjimky závislé.

Podíl podzemní vody v odtoku je částečně závislý na podílech vody srážkové a půdní. Vyšší stupeň nasycení půdy na začátku epizody způsobuje vyšší podíl srážkové vody v odtoku, a to na úkor vody půdní. Stejný vliv mají i výška celkových srážkových úhrnů a maximální srážkové intenzity v epizodách.

Při porovnání dvousložkové a trojsložkové separace jsou patrné významné rozdíly ve výsledcích. Ve dvousložkové epizodě převažuje v odtoku voda stará, což odpovídá předpokladu. Zastoupení srážkové vody je ale výrazně vyšší než při separaci trojsložkové, ve které ale nevyšlo dostatečné množství epizod, aby bylo možné provést plnohodnotné porovnání. Pro budoucí práce by bylo potřeba rozšířit množství a četnost měřených neizotopových stopovačů.

10 Seznam zdrojů

AOPK ČR. 2022. Geologie. *Správa CHKO Jizerské hory*. [Online] AOPK ČR 2022, 2022. [Citace: 24. Duben 2022.] <https://jizerskehory.ochranaprirody.cz/zakladni-udaje-ochko/geologie/>.

AOPK ČR. 2022. Hydrologie. *Správa CHKO Jizerské hory*. [Online] AOPK ČR 2022, 2022. [Citace: 24. Duben 2022.] <https://jizerskehory.ochranaprirody.cz/zakladni-udaje-ochko/hydrologie/>.

AOPK ČR. Klimatické poměry. *Správa CHKO Jizerské hory*. [Online] AOPK ČR 2022. [Citace: 24. Duben 2022.] <https://jizerskehory.ochranaprirody.cz/zakladni-udaje-ochko/klimaticke-pomery/>.

Barek, J. 2016. *Vliv koloidního oxidu křemičitého na vybrané vlastnosti cementových past a malt*. [Diplomová práce] VUT v Brně, 2016.

Burns A. D., McDonnell J. J. 1998. Effects of a beaver pond on runoff processes: comparison of two headwater catchments. *Journal of Hydrology*. 1998, Sv. 205, 3-4, stránky 248-264.

DeWalle D. R., Swistock B. R., Sharpe W. E. 1988. Three-component tracer model for stormflow on a small appalachian forested catchment. 1988, 104, stránky 301–310. 301–310.

Fröhlich K., Gibson J. J., Aggarwal, P. K. 2002. *Deuterium excess in precipitation and its climatological significance*. [Report] místo neznámé : International Atomic Energy Agency (IAEA), 2002.

Hinton M. J., Schiff S. L. 1994. Examining the contributions of glacial till water to storm runoff using two- and three-component hydrograph separations. *Water Resources Research*. April 1994, Sv. 30, 4, stránky 983-993.

J. R. De Laeter, J. K. Böhle, P. De Bièvre, H. Hidaka, H. S. Peiser, K. J. R. Rosman, P. D. P. Taylor. 2003. Atomic wights of the elements: Review 2000. *Pure Applied Chemistry*. 2003, Sv. 6, 75, stránky 683-800.

James A. L., Roulet N. T. 2009. Antecedent moisture conditions and catchment morphology as controls on spatial patterns of runoff generation in small forest catchments. *Journal of Hydrology*. 2009, Sv. 3-4, 377, stránky 351-366.

Jankovec, J. 2019. *Tvorba podpovrchového odtoku v povodí.* [Disertační práce] ČVUT v Praze, 2019.

Kennedy V. C., Kendall C., Zellweger G. W., Wyerman T. A., Anazino R. J. 1986. Determination of the components of stormflow using water chemistry and environmental isotopes, Mattole River basin, California. *Journal of Hydrology.* 1986, Sv. 84, 1-2, stránky 107-140.

Klaus J., McDonnell J. J. 2013. Hydrograph separation using stable isotopes: Review and evaluation. November. 15 2013, 505, stránky 47-64.

Kulasová A., Pobříšlová J., Jiráček J., Hancvencl R., Bubeníčková L., Bericha Š. 2006. *EXPERIMENTÁLNÍ HYDROLOGICKÁ ZÁKLADNA JIZERSKÉ HORY.* [Dokument] 2006.

Liberecký kraj. 2022. CHKO Jizerské hory. *Jizerky.* [Online] Liberecký kraj, 2022. [Citace: 3. Duben 2022.]

Lyon S. W., Desilets S. L. E., Troch P. A. 2009. A tale of two isotopes: differences in hydrograph separation for a runoff event when using δD versus $\delta^{18}O$. *Hydrological Processes: An International Journal.* 2009, Sv. 23, 14, stránky 2095-2101.

McDonnell J. J., Bonell M., Stewart M. K., Pearce J. 1990. Deuterium Variations in Storm Rainfall: Implication for Stream Hydrograph Separation. 1990, Sv. 26, 3, stránky 455 - 458.

McDonnell J. J., Stewart M. K., Owens I. F. 1991. Effect of Catchment-Scale Subsurface Mixing on Stream Isotopic Response. *Water Resources Research.* 1991, Sv. 27, 12, stránky 3065-3073.

Phillips D. L., Gregg J. W. 2003. Source partitioning using stable isotopes: coping with too many sources. *Oecologia.* 2003, 136, stránky 261-269.

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.* 1998, Sv. 34, 7, stránky 1755-1766.

Seznam.cz. 2022. *Mapy.cz.* [Online] 2022. [Citace: 24. Duben 2022.] <https://mapy.cz/turisticka?x=15.1664429&y=50.8135643&z=10&source=area&id=33&ds=1>.

Šanda M., Vitvar T., Holko L., Blažková Š., Bůžek F., Císlarová M., Fottová D., Kostka Z., Kulasová A., Kvítek T., Šnytr O., Tachecí P., Tesař Miroslav, Vícha Z., Žlábek P. 2011. *Využití stabilních izotopů vodíku a kyslíku v hydrologii malých experimentálních povodí České*

a Slovenské republiky. Praha : Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, 2011. Hydrologie malého povodí. 978-80-02-02290-9.

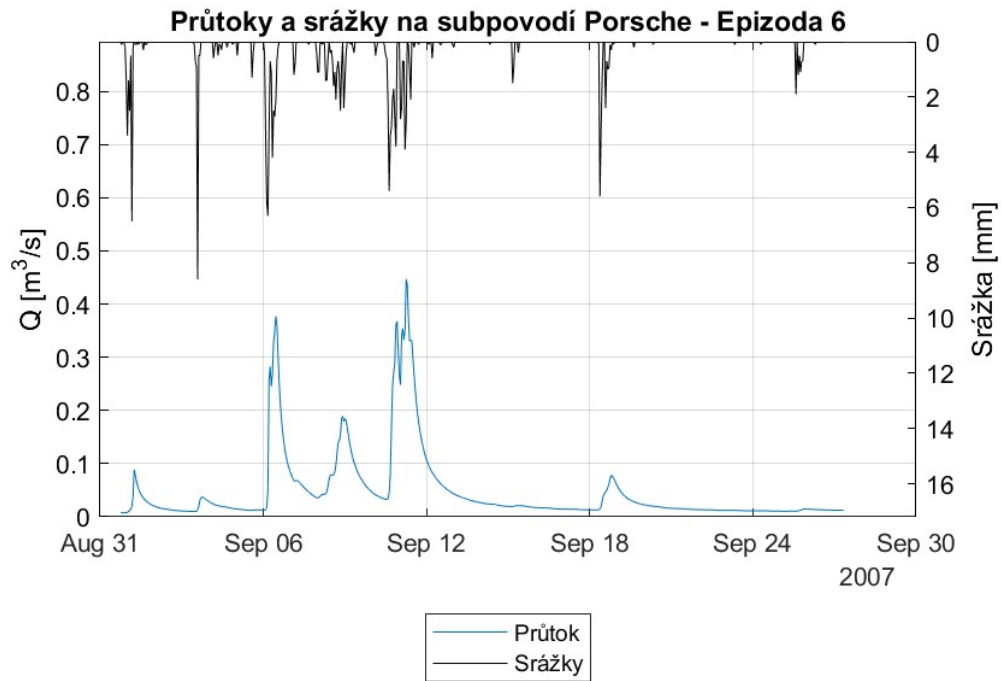
Šanda M., Vitvar T., Kulasová A., Jankovec J., Císlerová M. 2013. Run-off formation in a humid, temperate headwater catchment using a combined hydrological, hydrochemical and isotopic approach (Jizera Mountains, Czech Republic). 29. Květen 2013, 28, stránky 3217–3229.

Školová, K. 2022. *Posouzení tvorby odtoku na povodí Uhlířská pomocí izotopů vodíku a kyslíku*. [Diplomová práce] ČVUT v Praze, 2022.

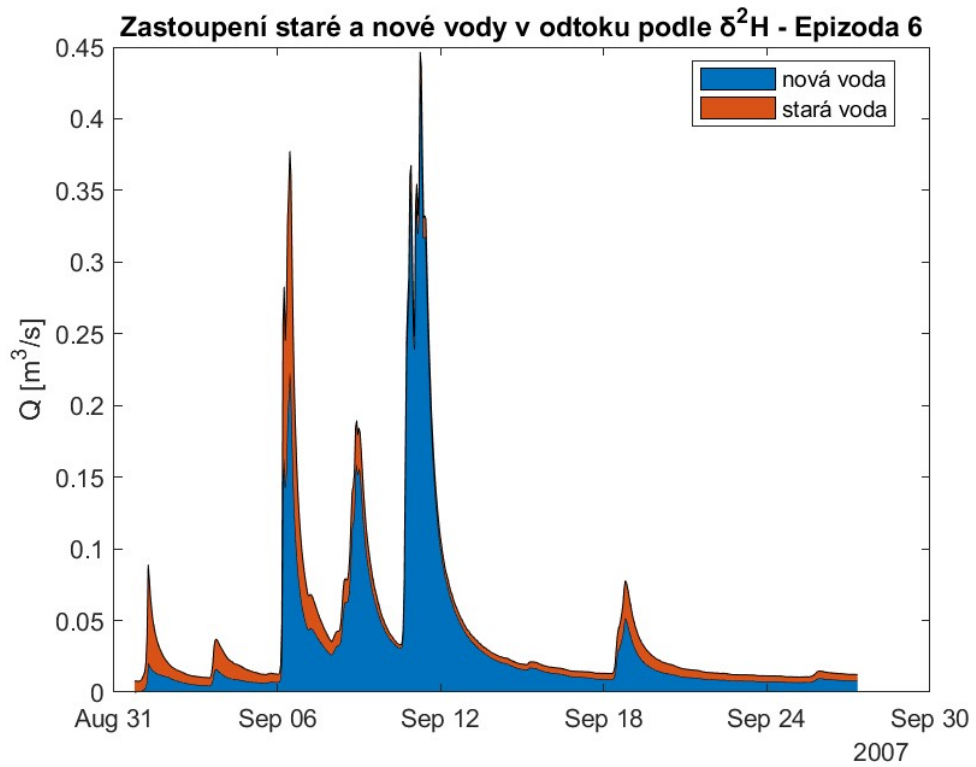
Tisícovky s.r.o. 2022. Jizerské hory. *Tisícovky*. [Online] Tisícovky s.r.o., 2022. [Citace: 3. Duben 2022.] <http://www.tisicovky.cz/cs/hory/jizerske-hory/>.

11 Přílohová část

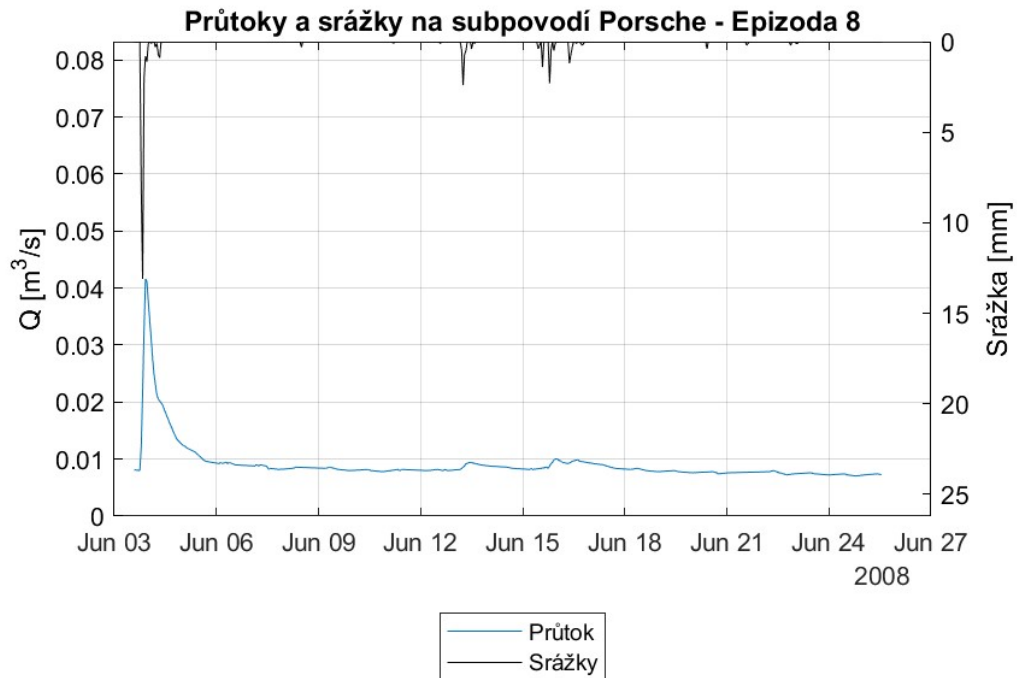
V přílohové části jsou prezentovány všechny využitelné výsledky dvousložkových a trojsložkových separací. Pro každou epizodu byl vytvořen hydrogram srážek a průtoku. Hodnoty mezi jednotlivými body výpočtu byly dopočítány pomocí lineární interpolace, následně byly poměry půdní, podzemní a srážkové vody vynásobeny průtokem během epizody a výsledky vykresleny do grafů.



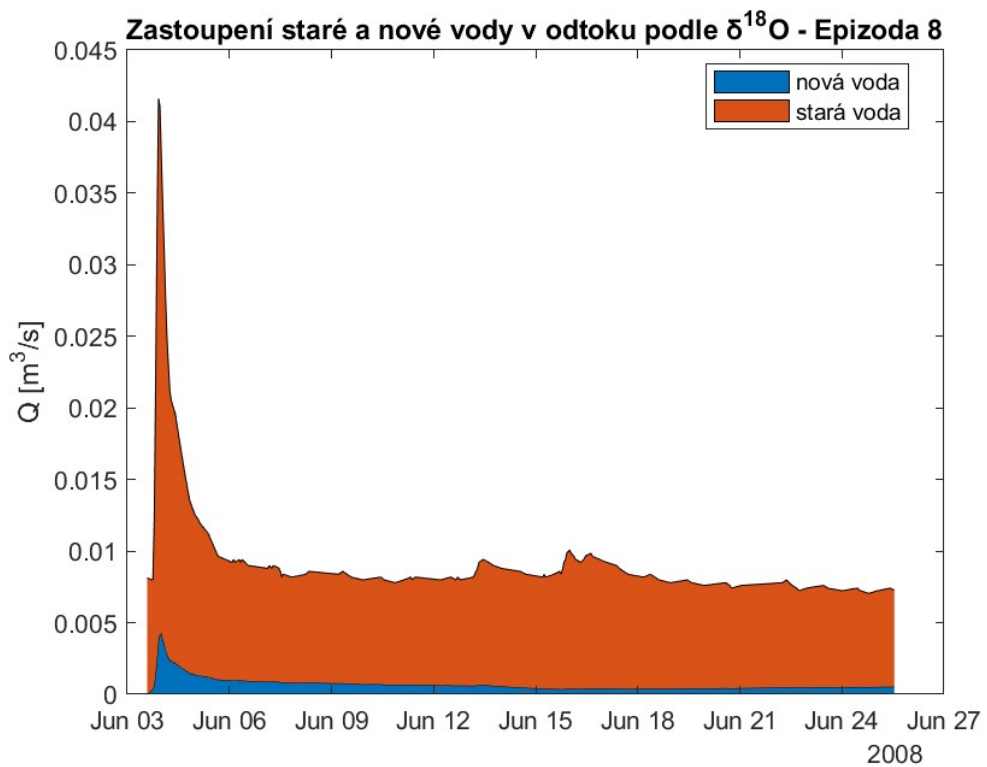
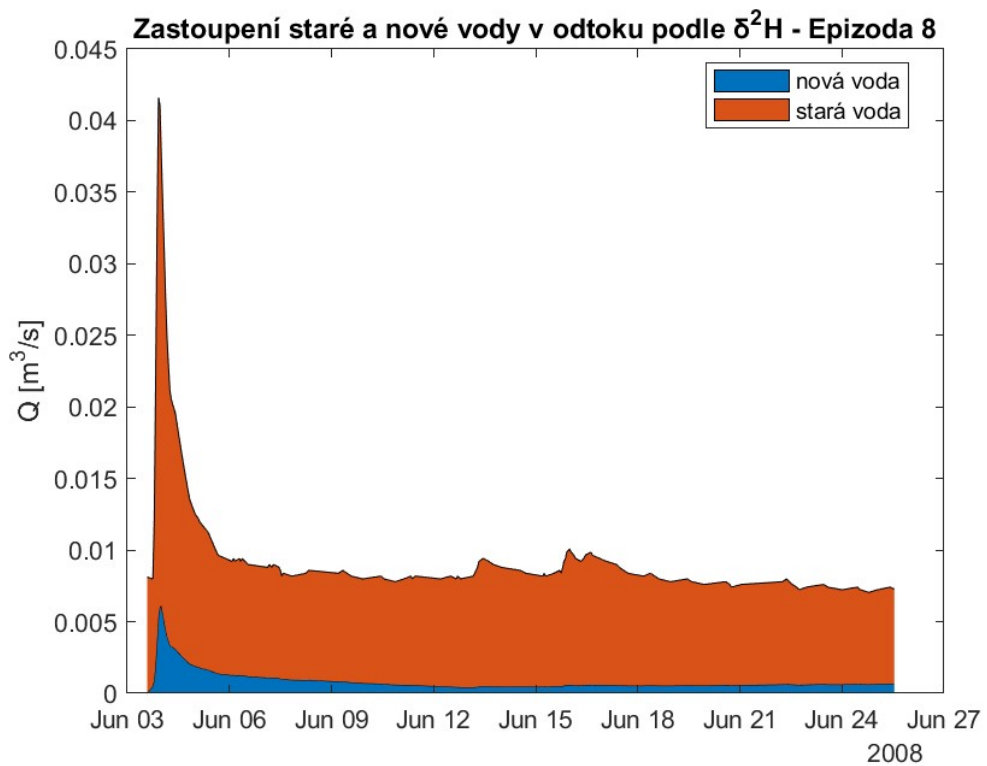
11.1.1 – Průtoky a srážky na subpodvodí Porsche – Epizoda 6



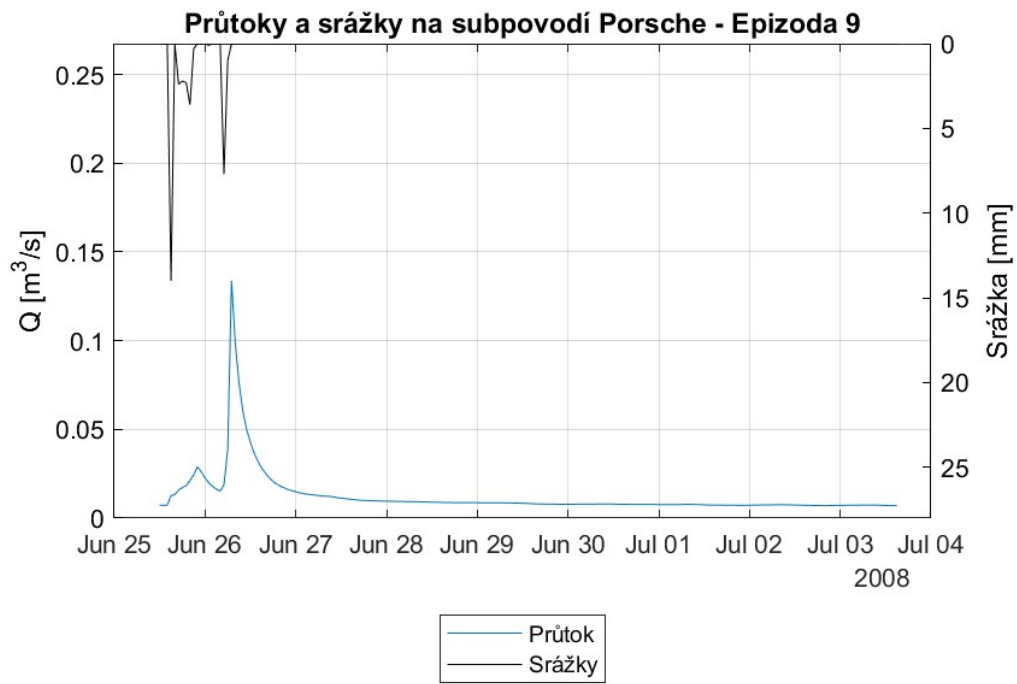
11.1.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ – Epizoda 6



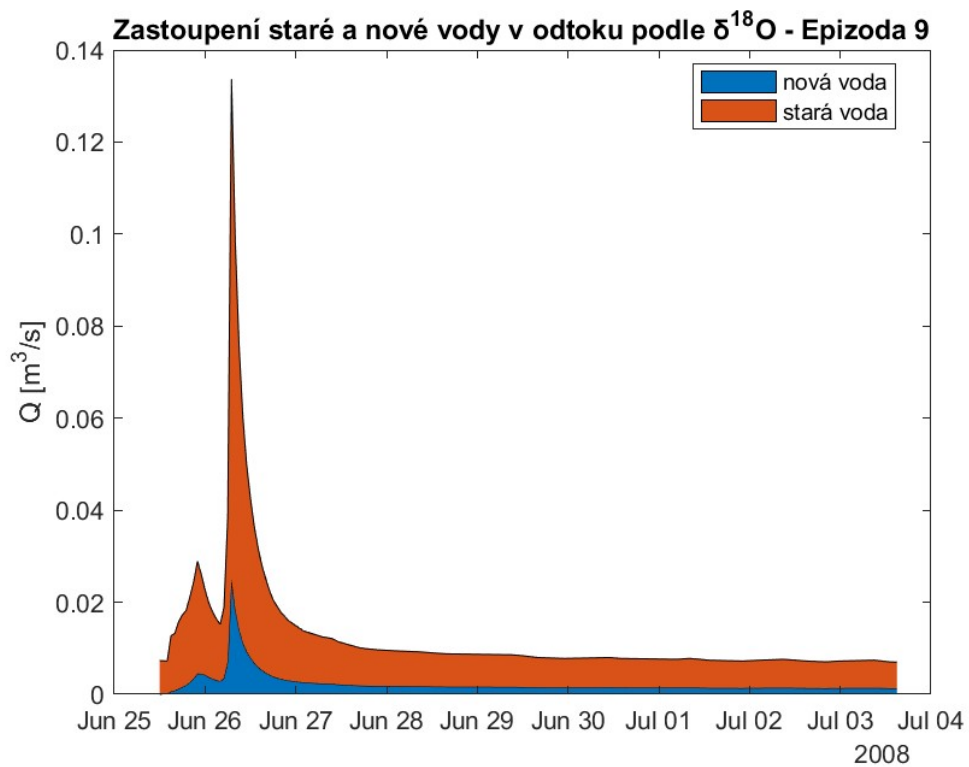
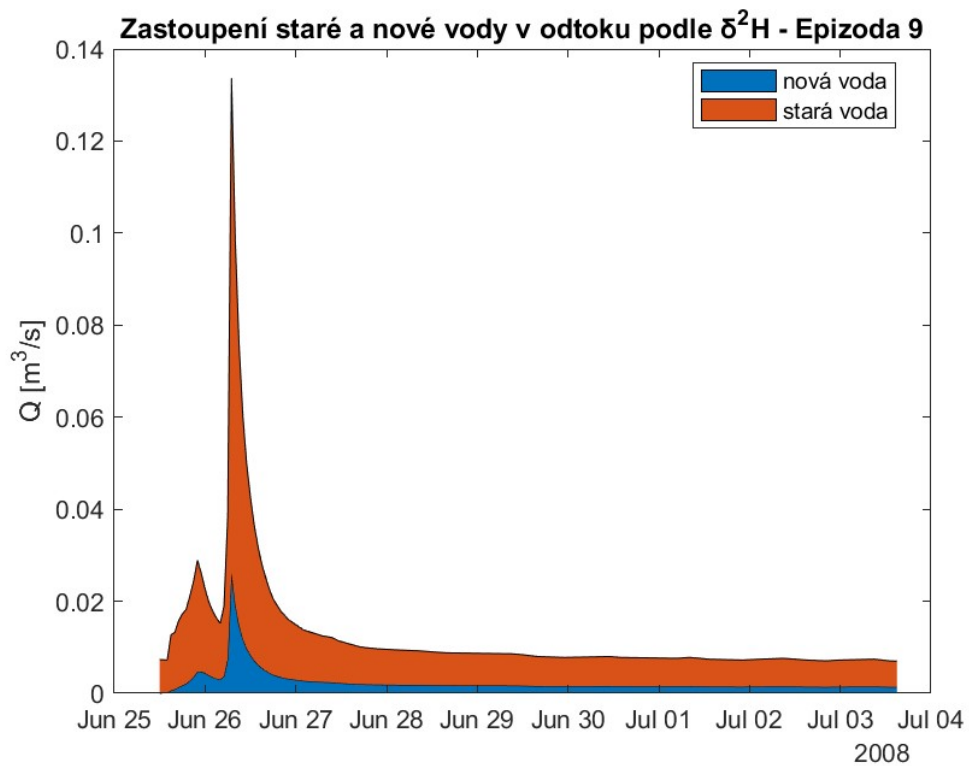
11.2.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 8



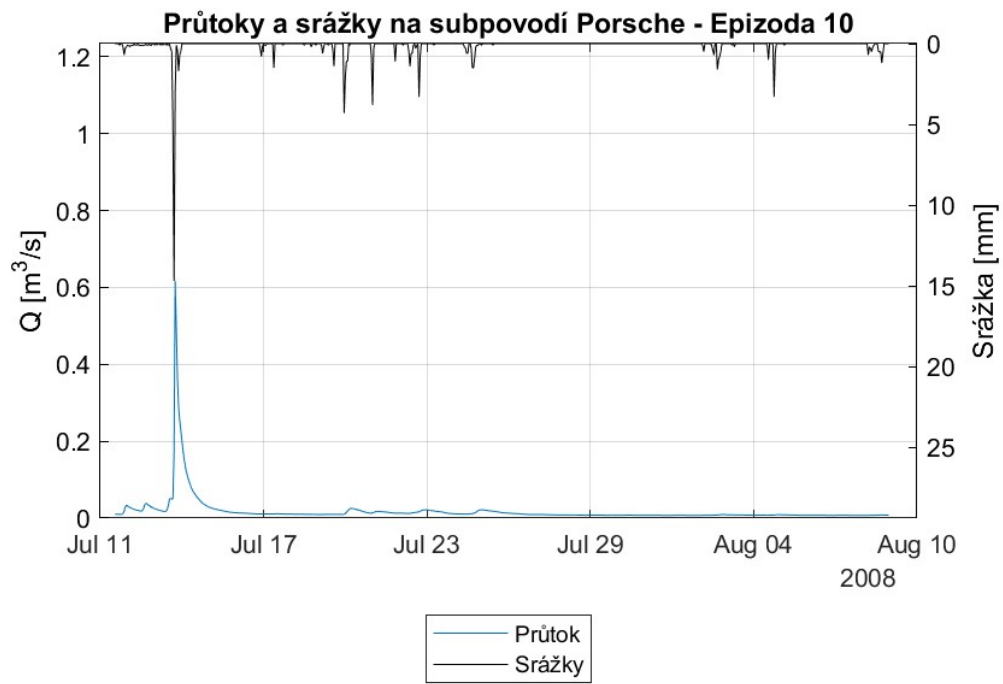
11.2.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 8



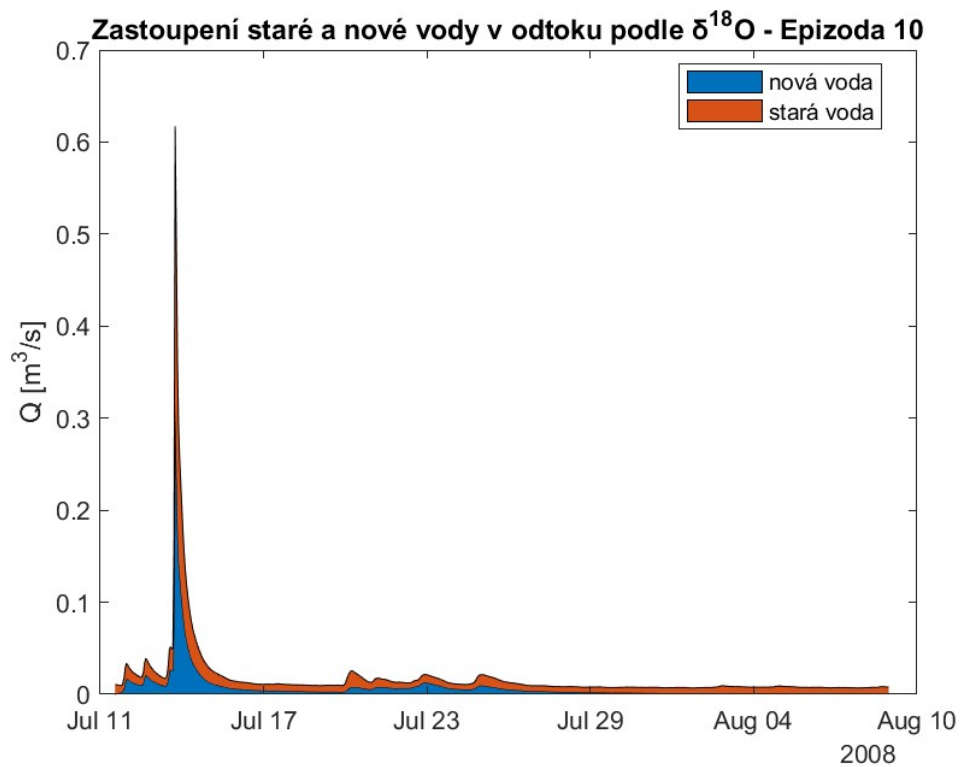
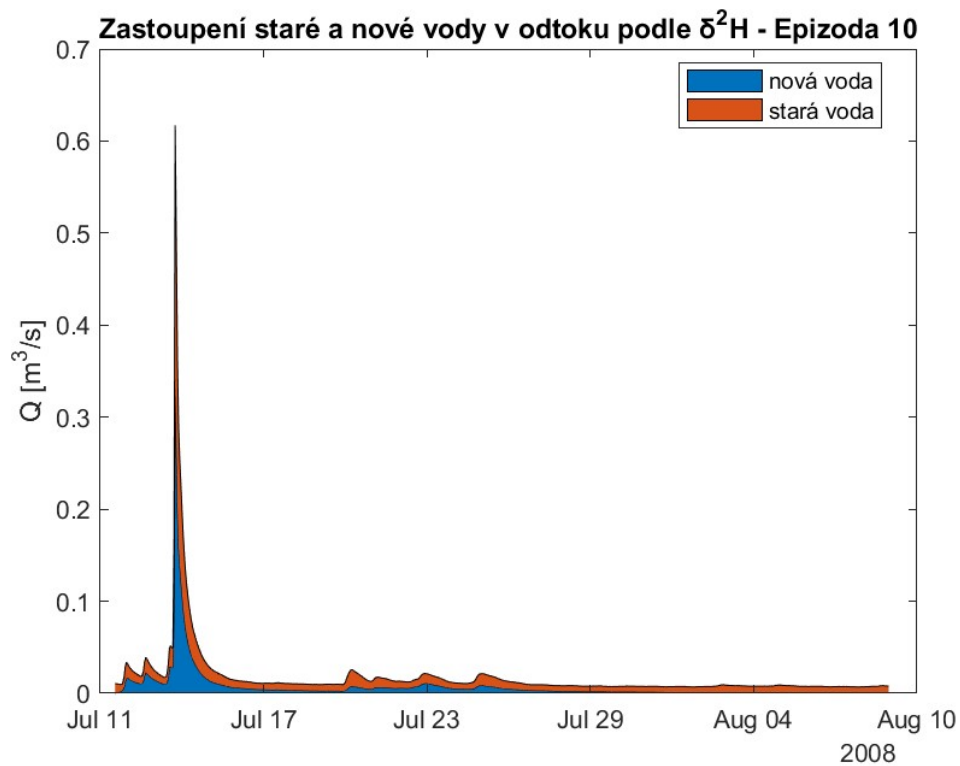
11.3.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 9



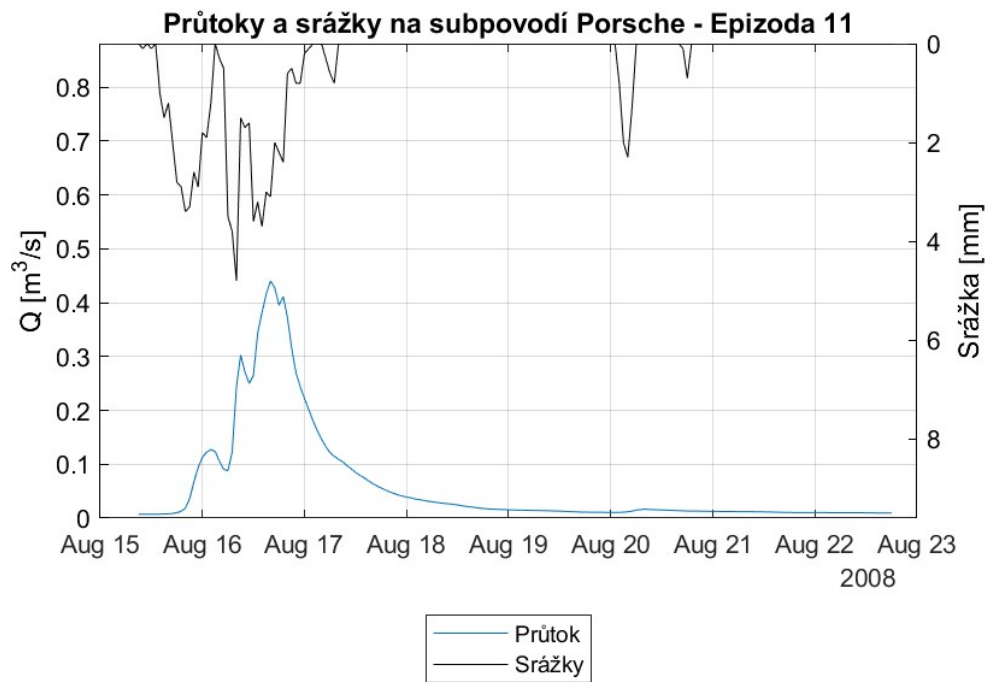
11.3.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 9



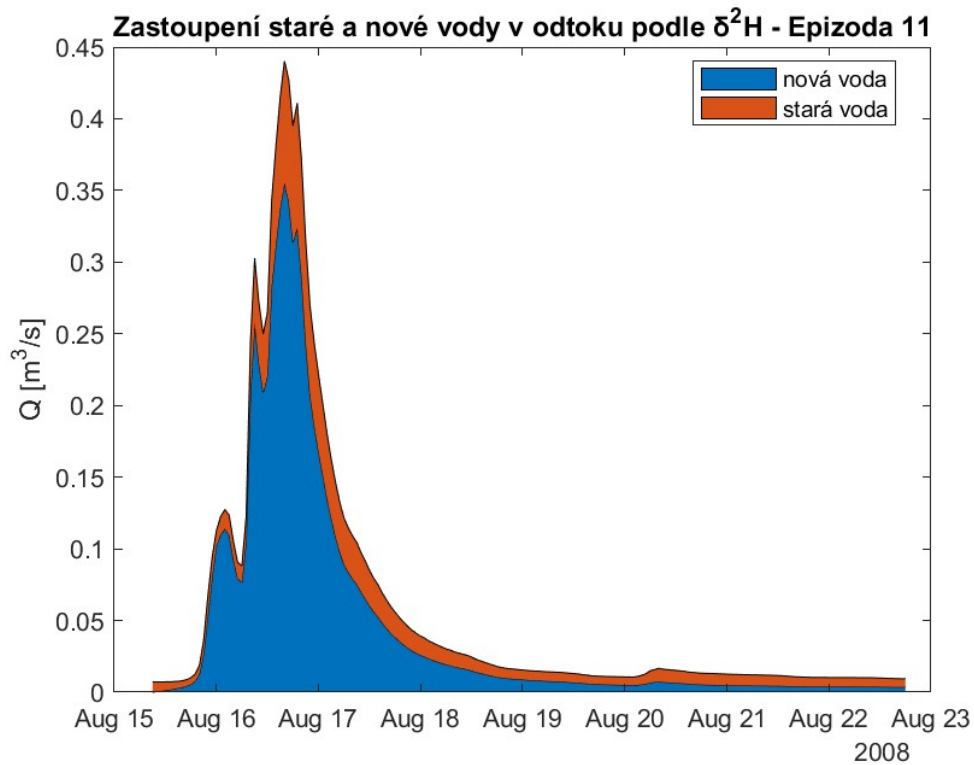
11.4.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 10



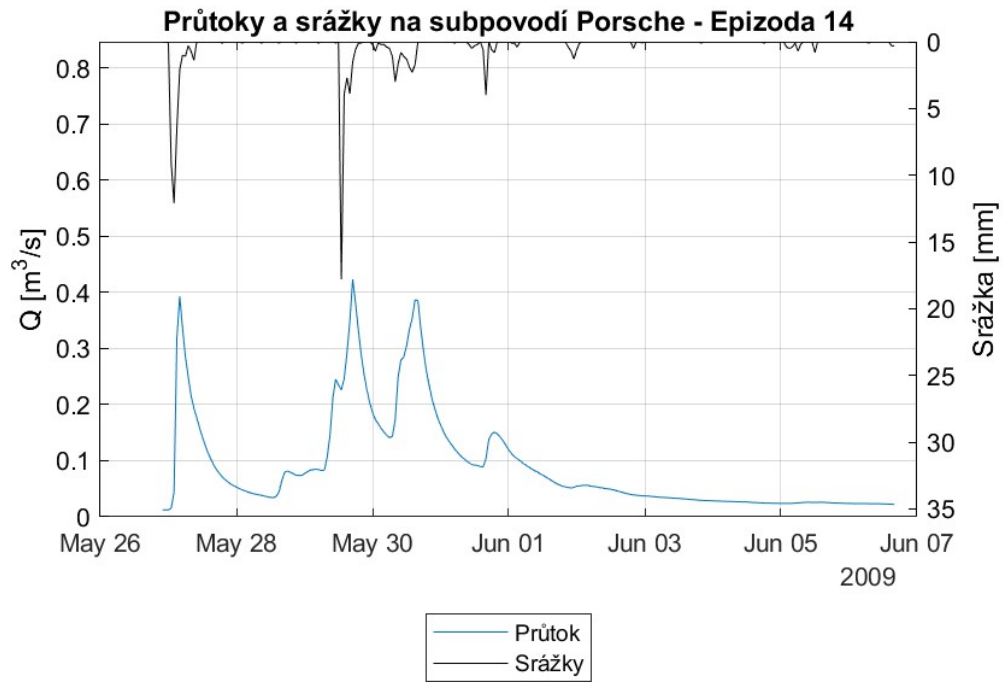
11.4.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 10



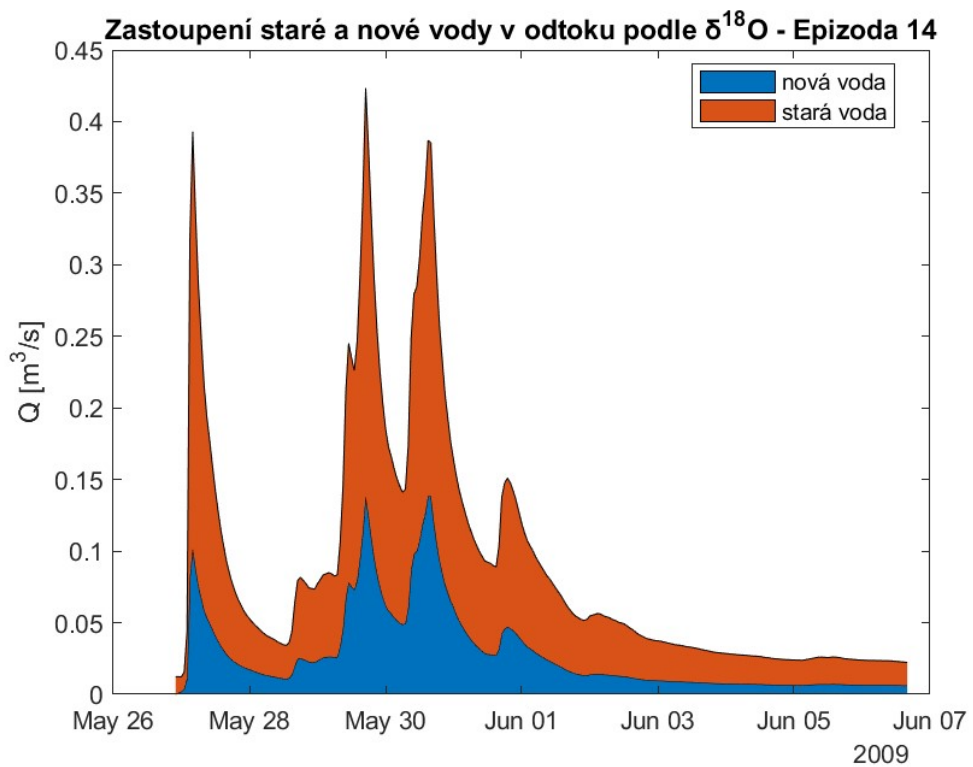
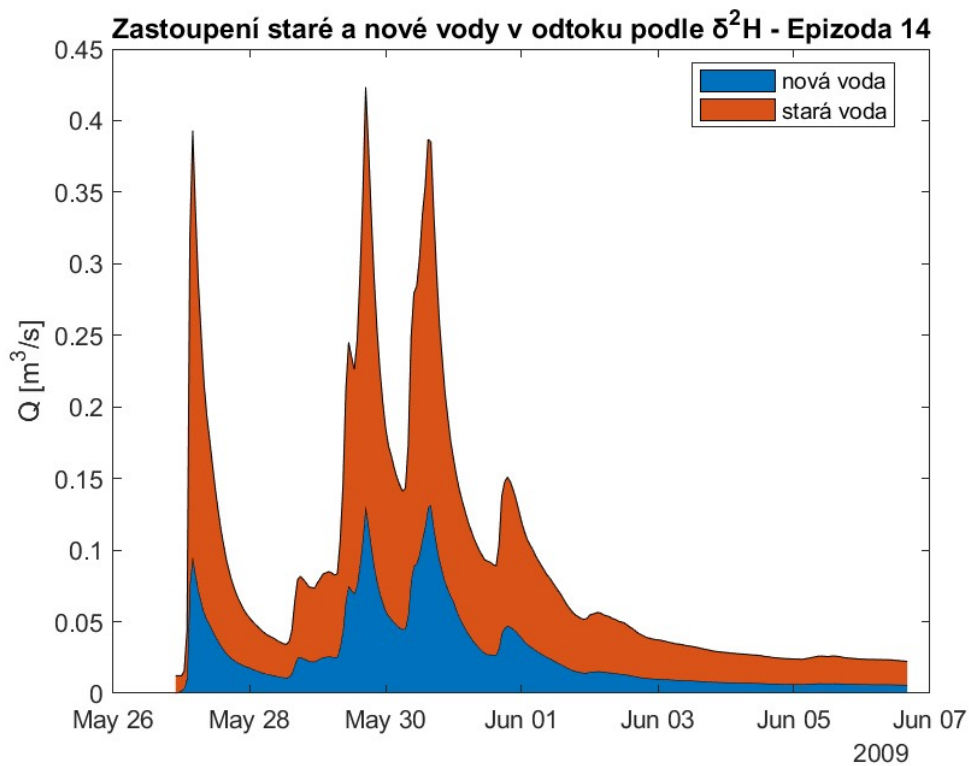
11.5.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 11



11.5.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ – Epizoda 11



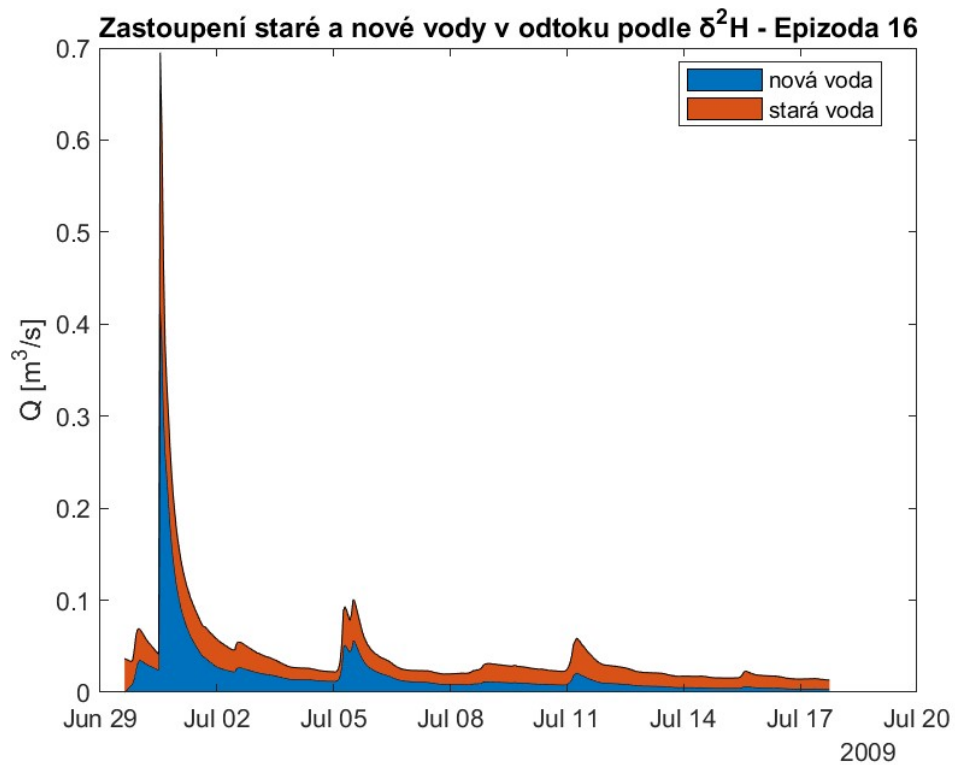
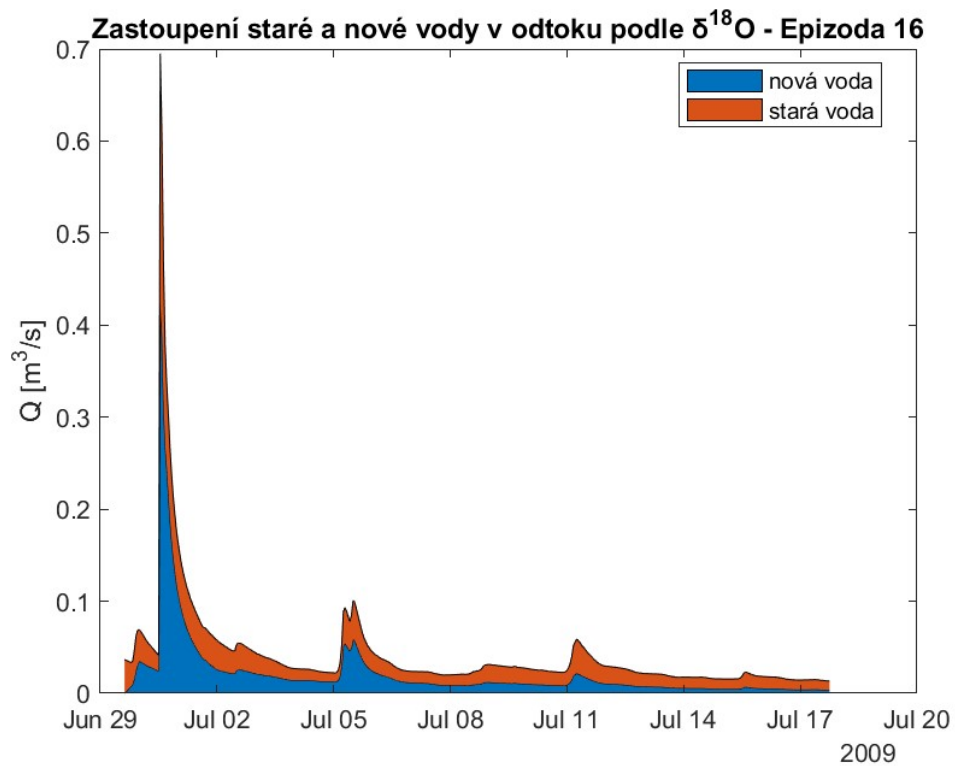
11.6.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 14



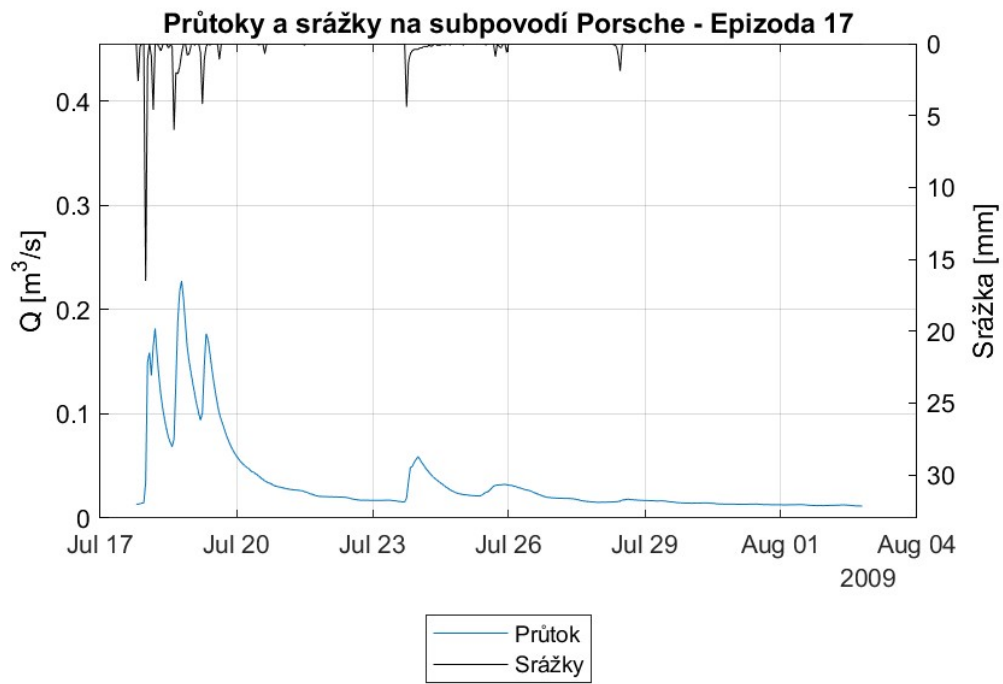
11.6.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 14



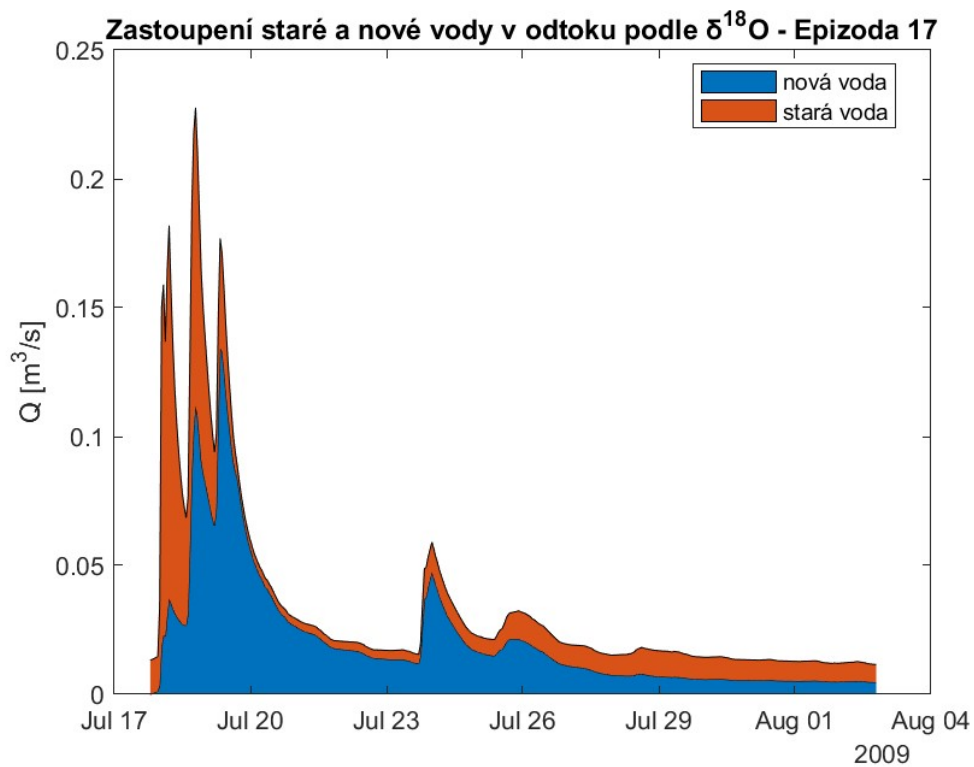
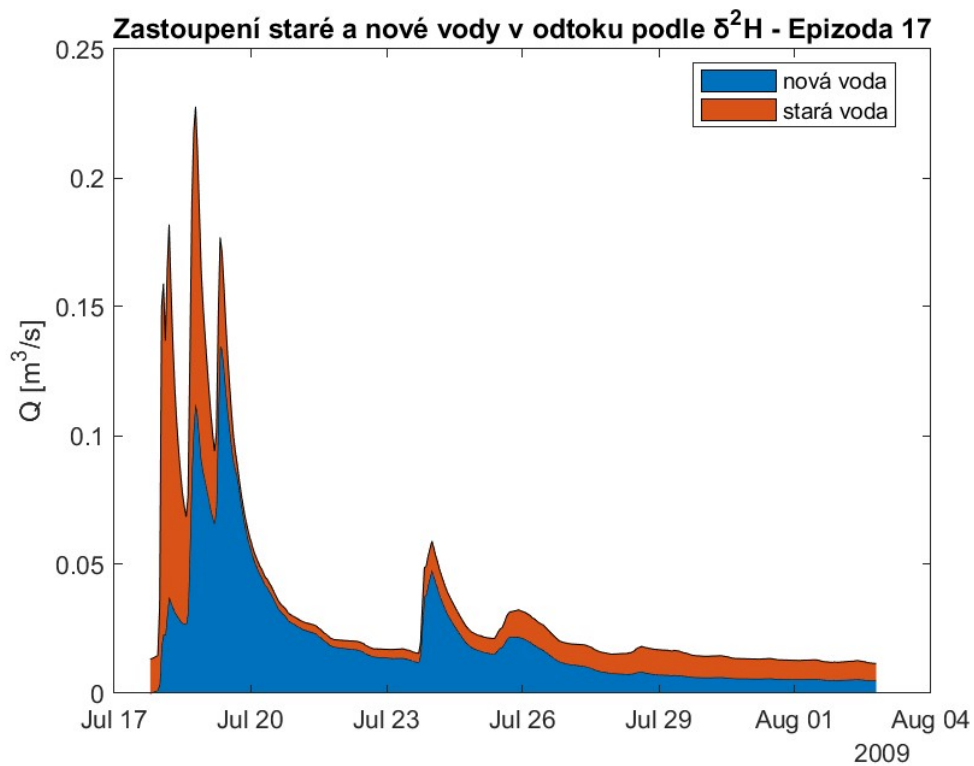
11.7.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 16



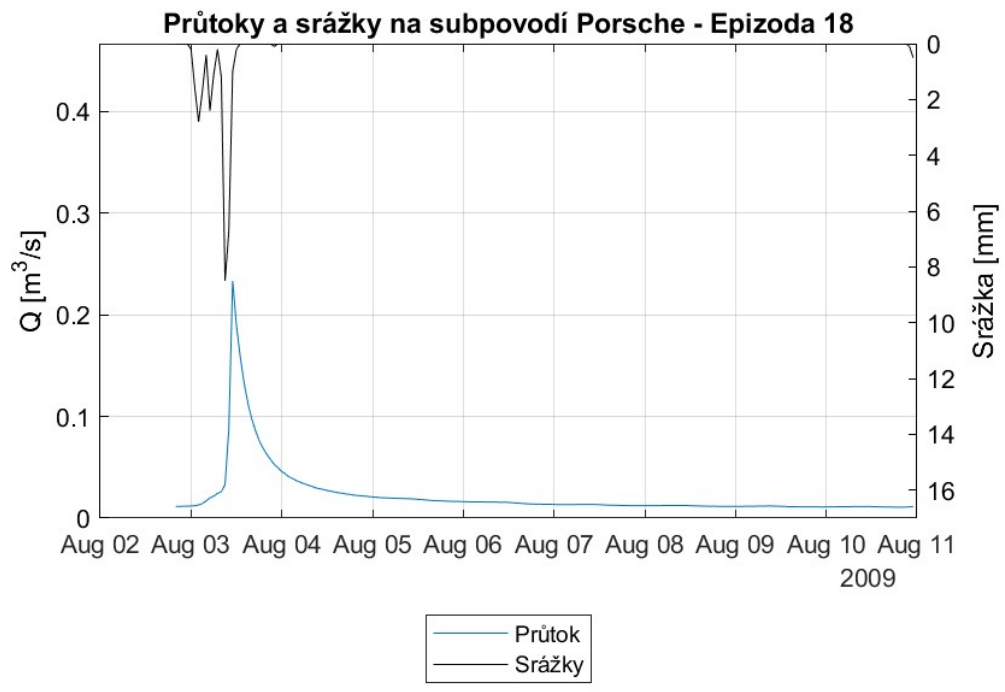
11.7.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 16



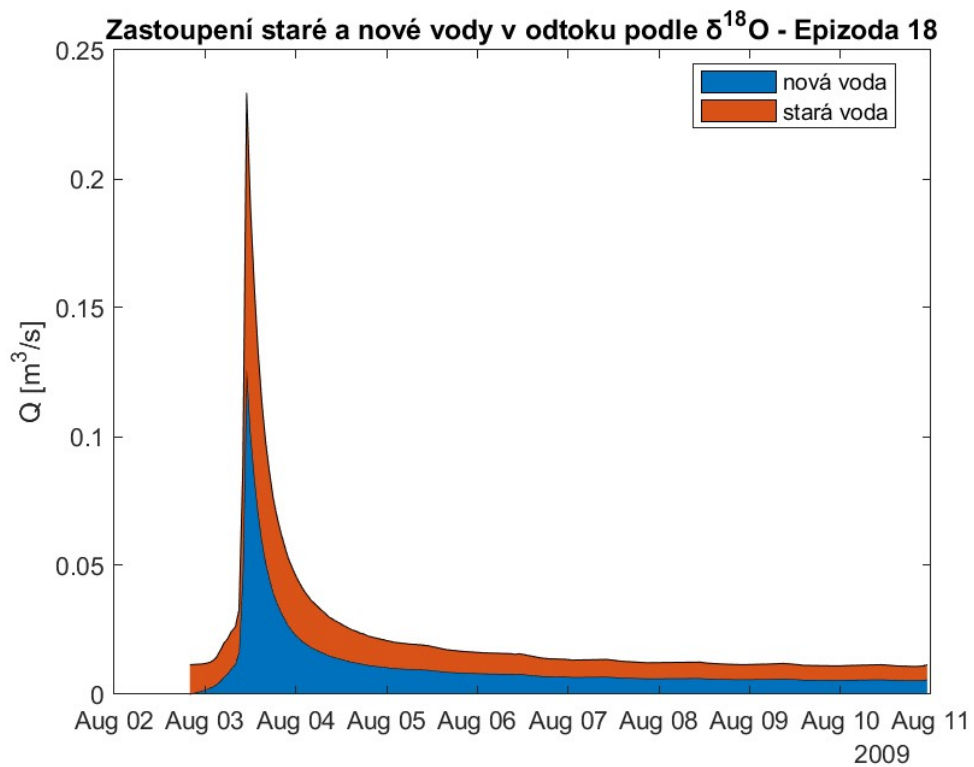
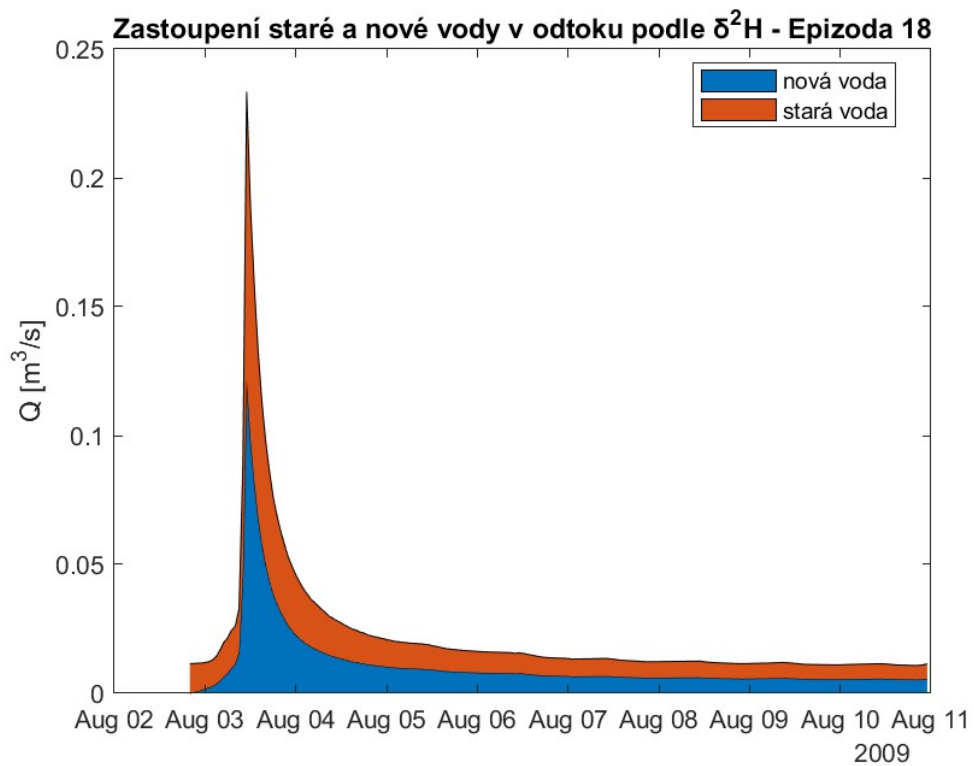
11.8.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 17



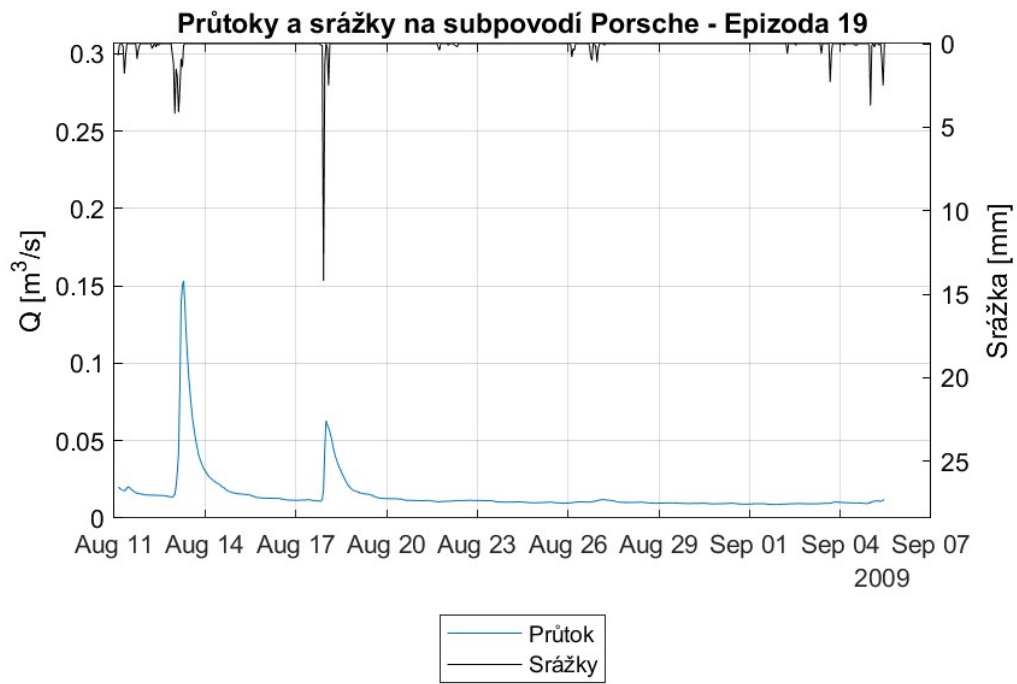
11.8.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 17



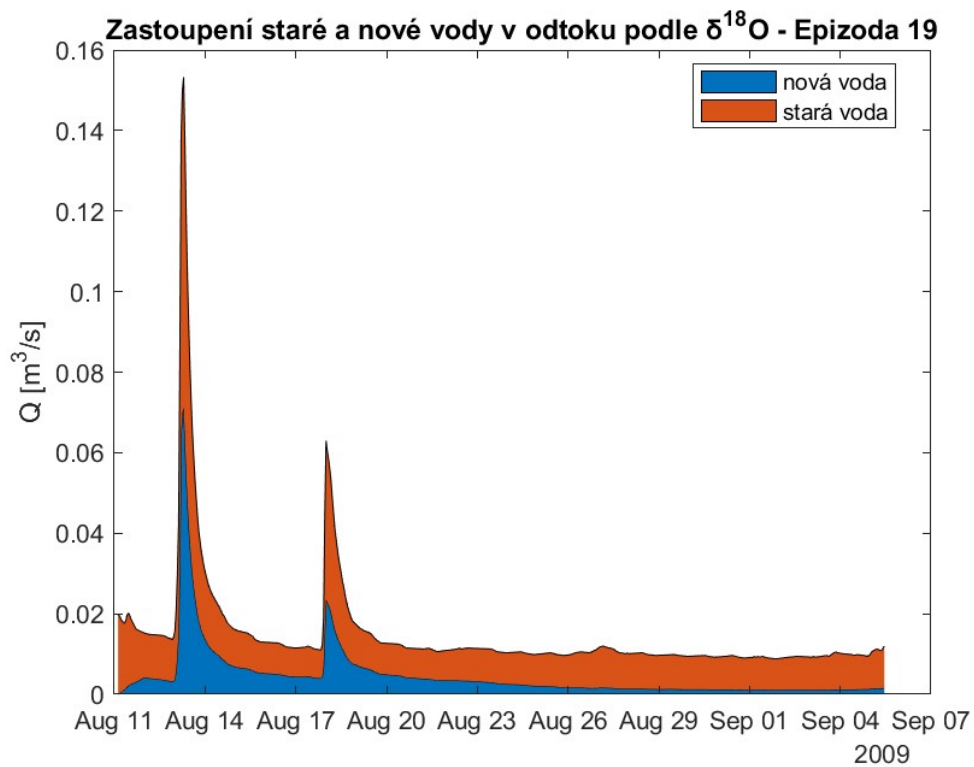
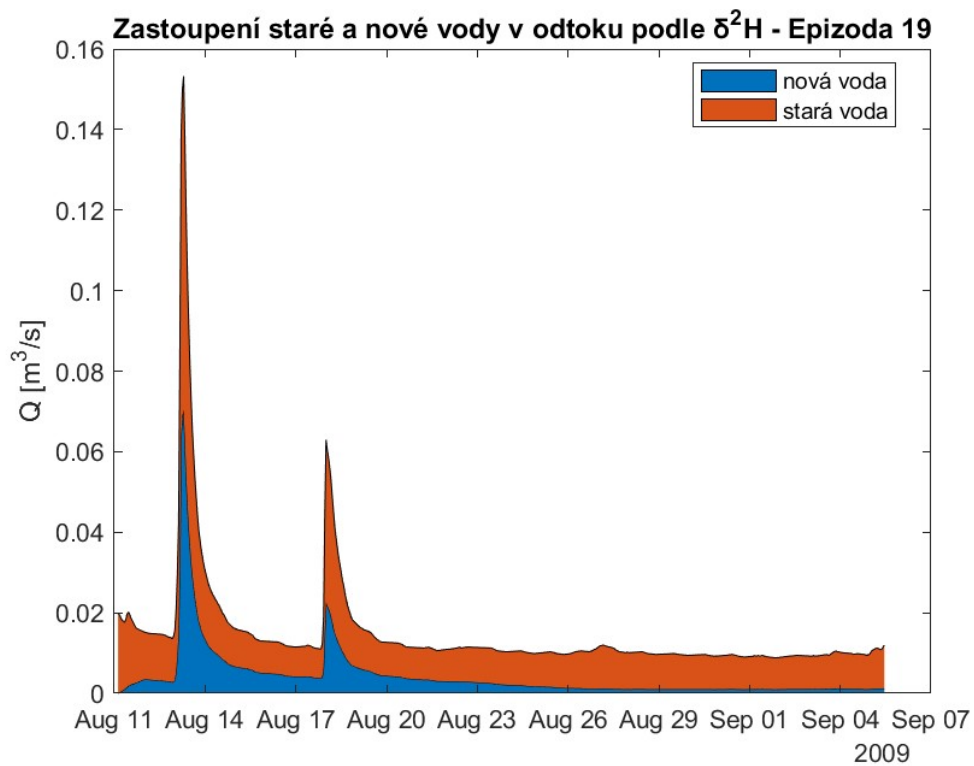
11.9.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 18



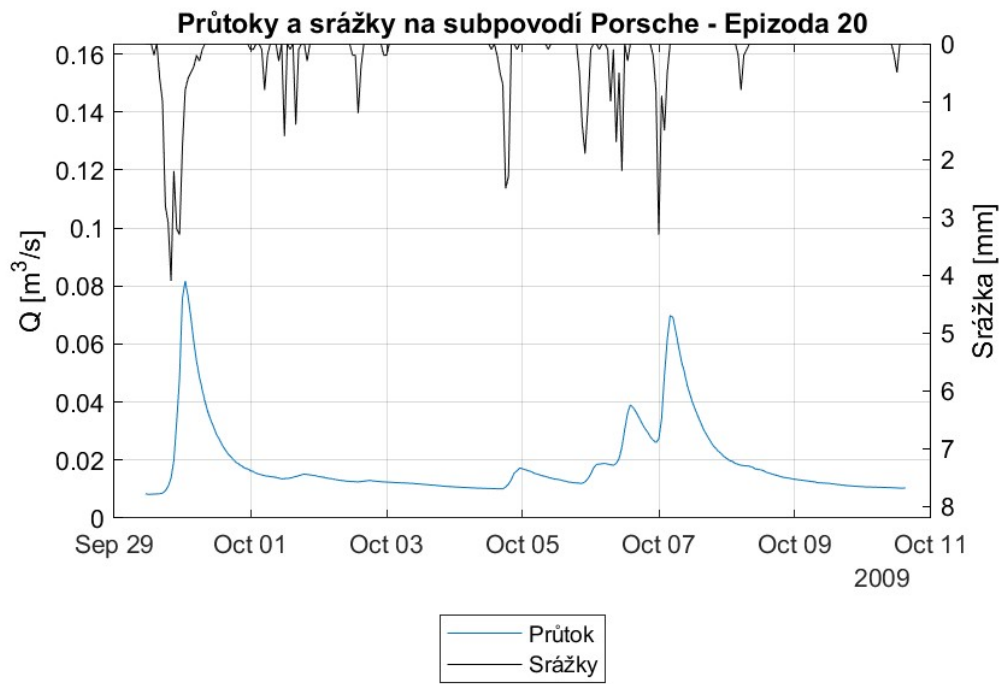
11.9.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 18



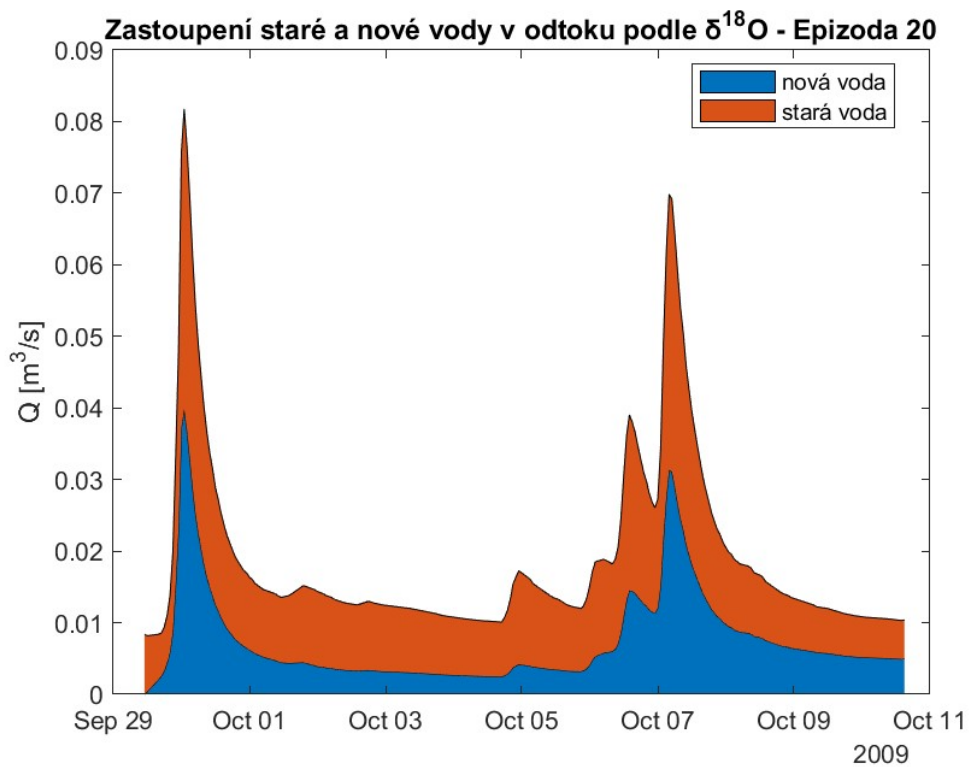
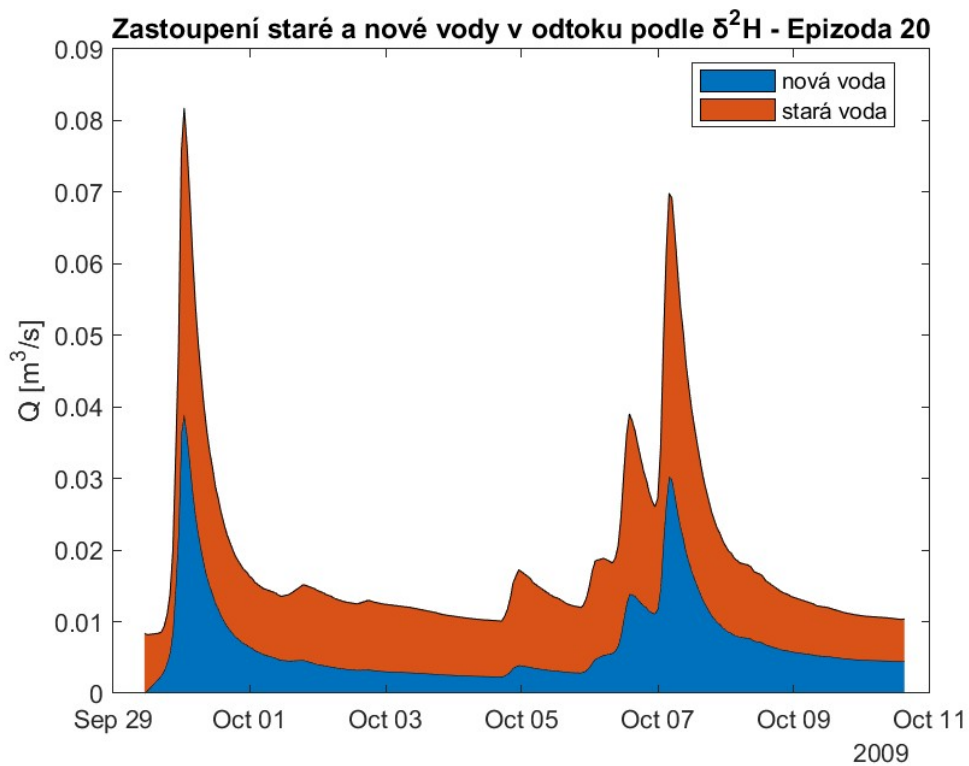
11.10.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 19



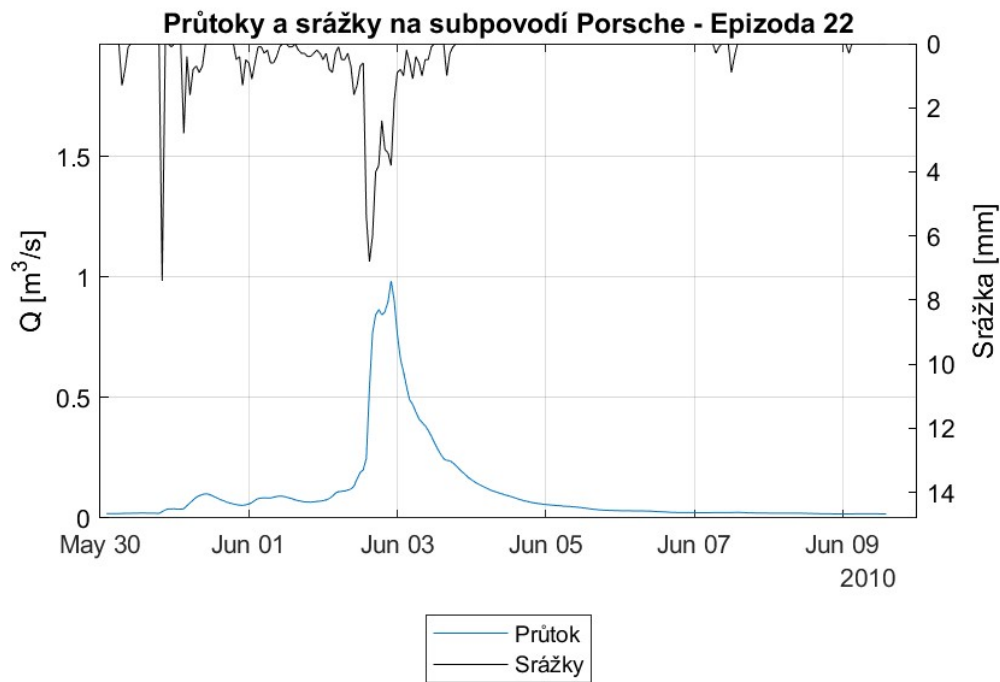
11.10.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 19



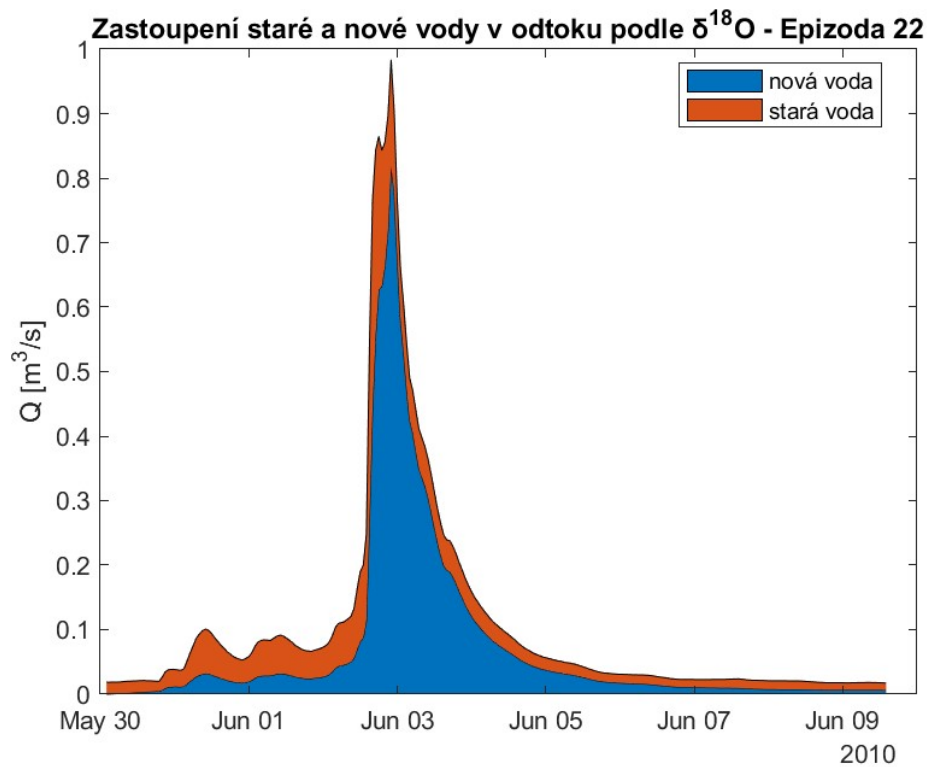
11.11.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 20



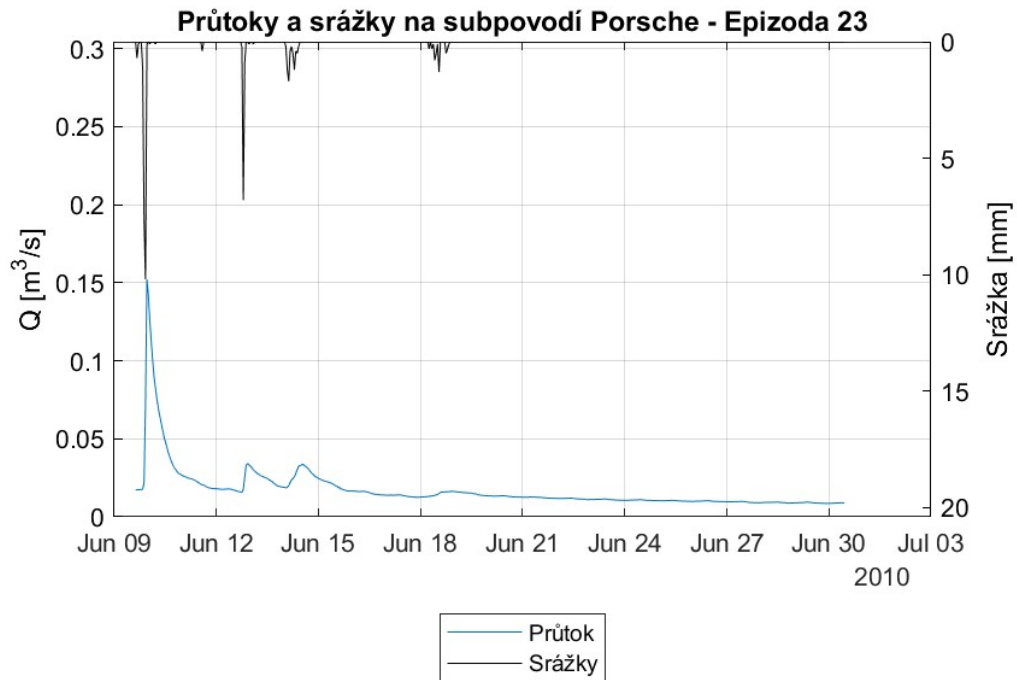
11.11.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 20



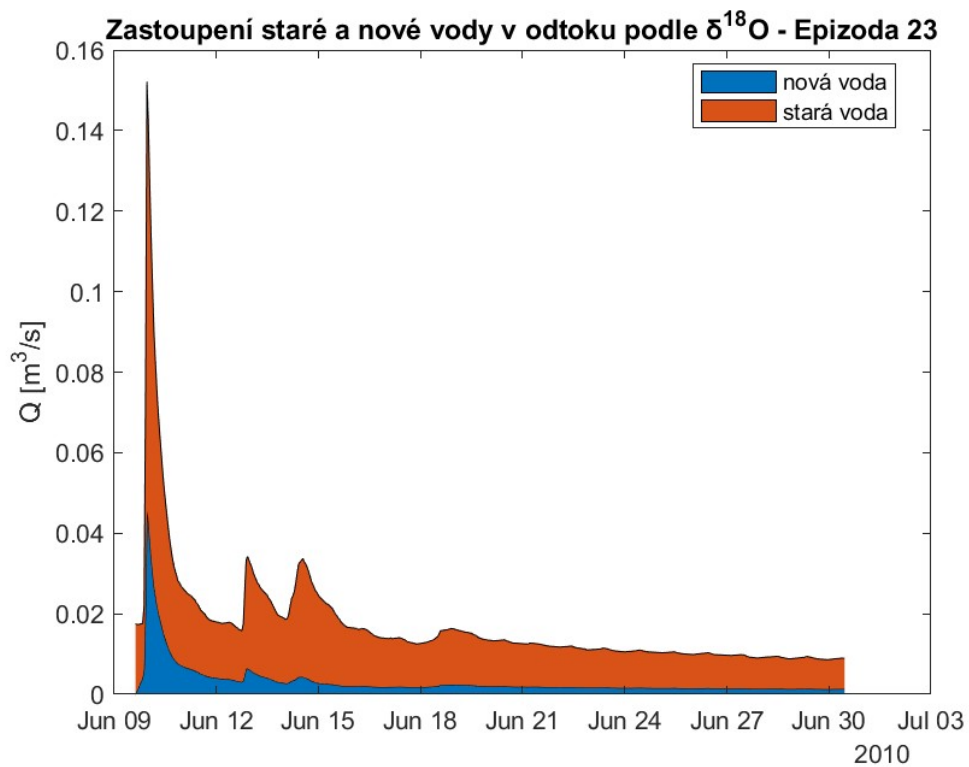
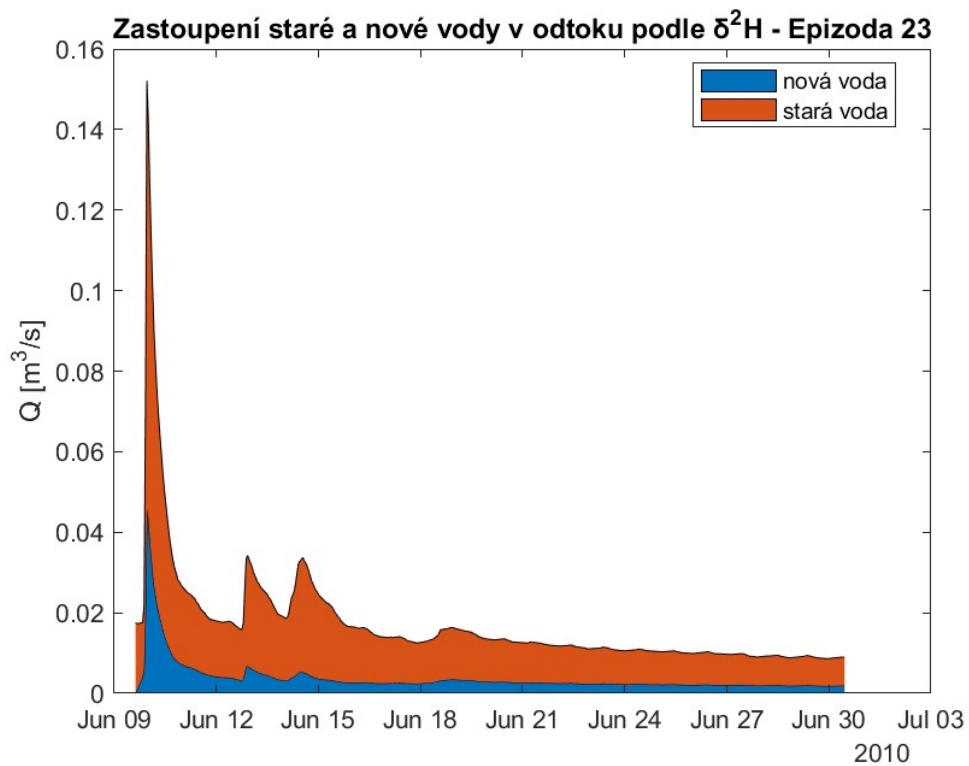
11.12.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 22



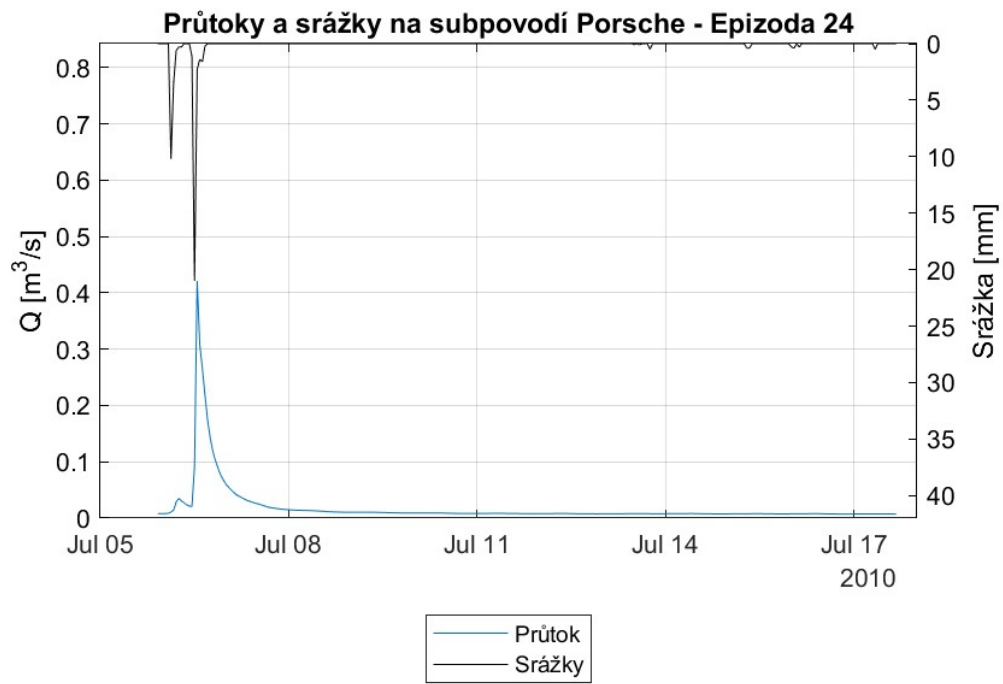
11.12.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^{18}\text{O}$ – Epizoda 22



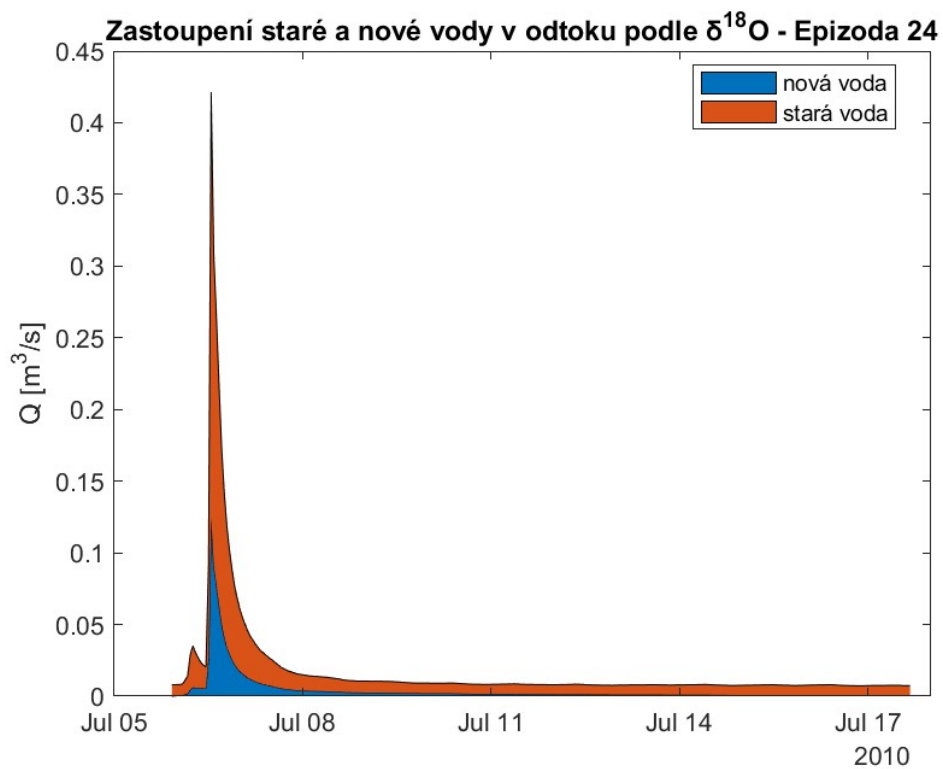
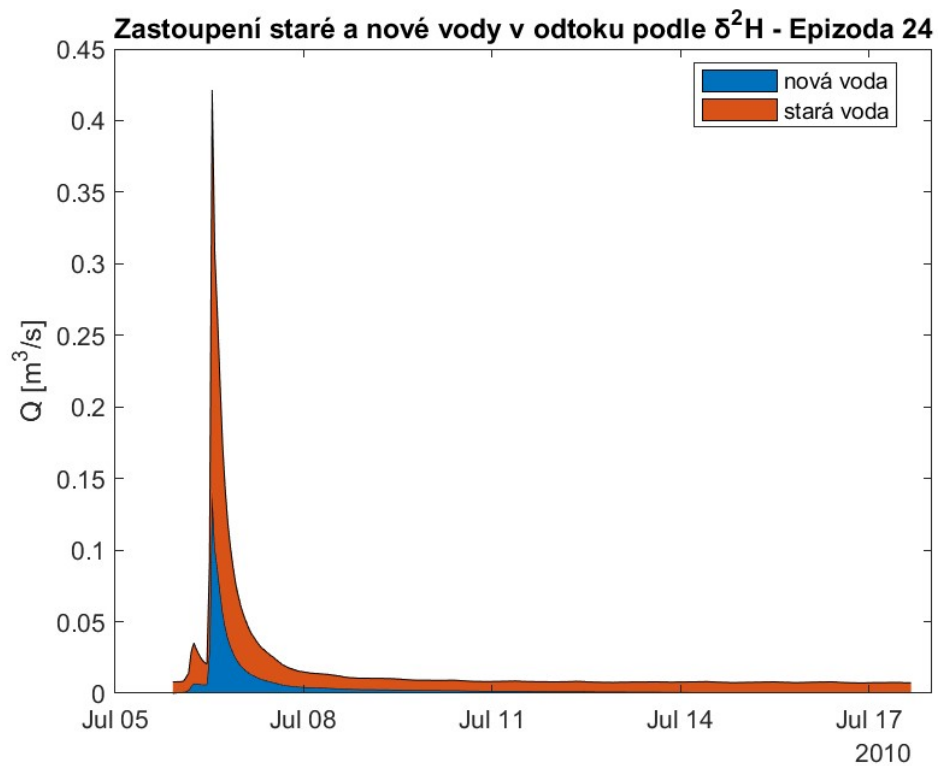
11.13.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 23



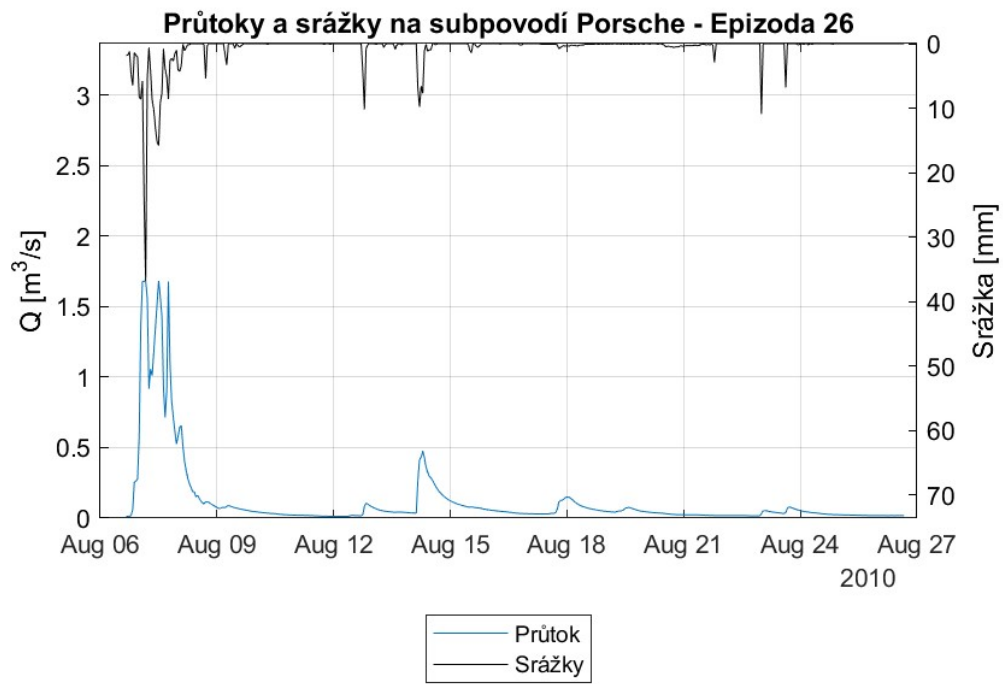
11.13.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 23



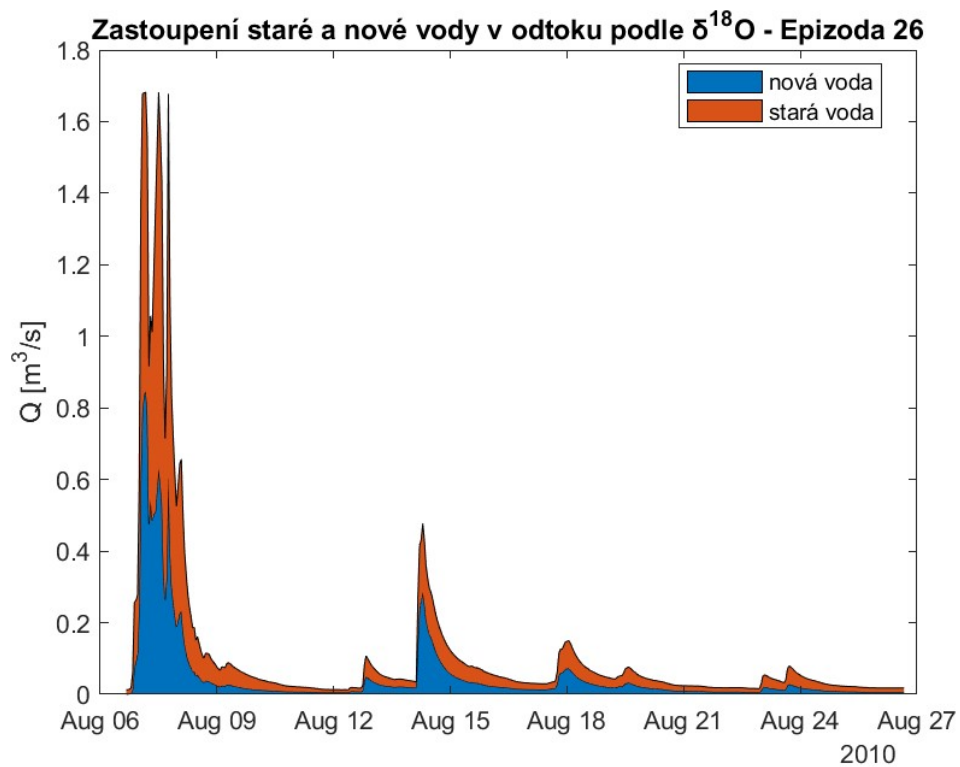
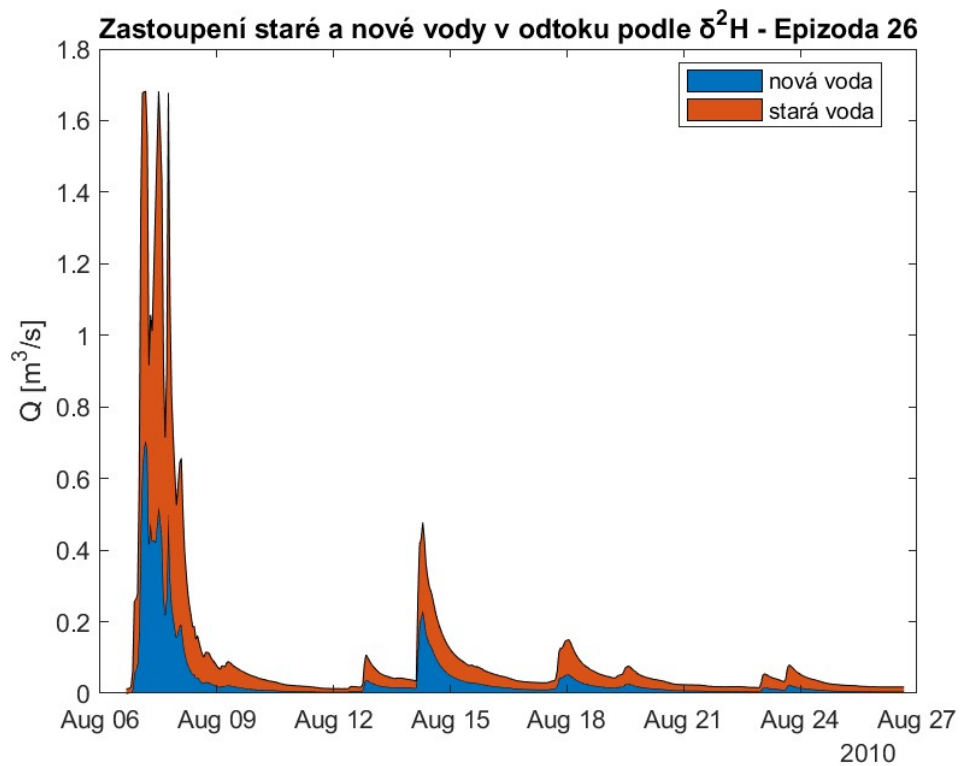
11.14.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 24



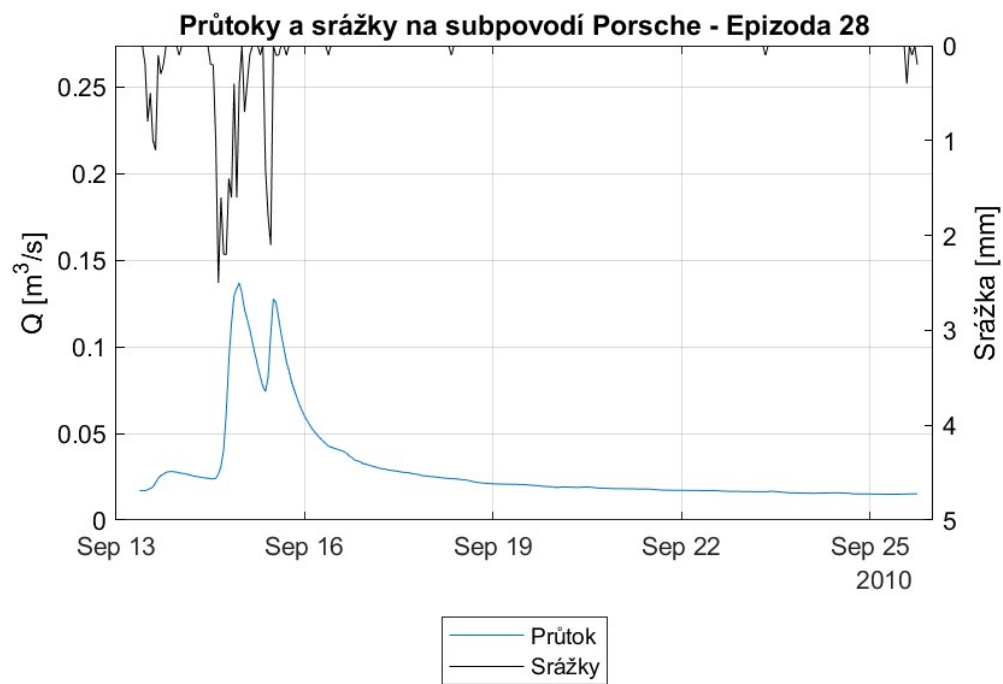
11.14.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 24



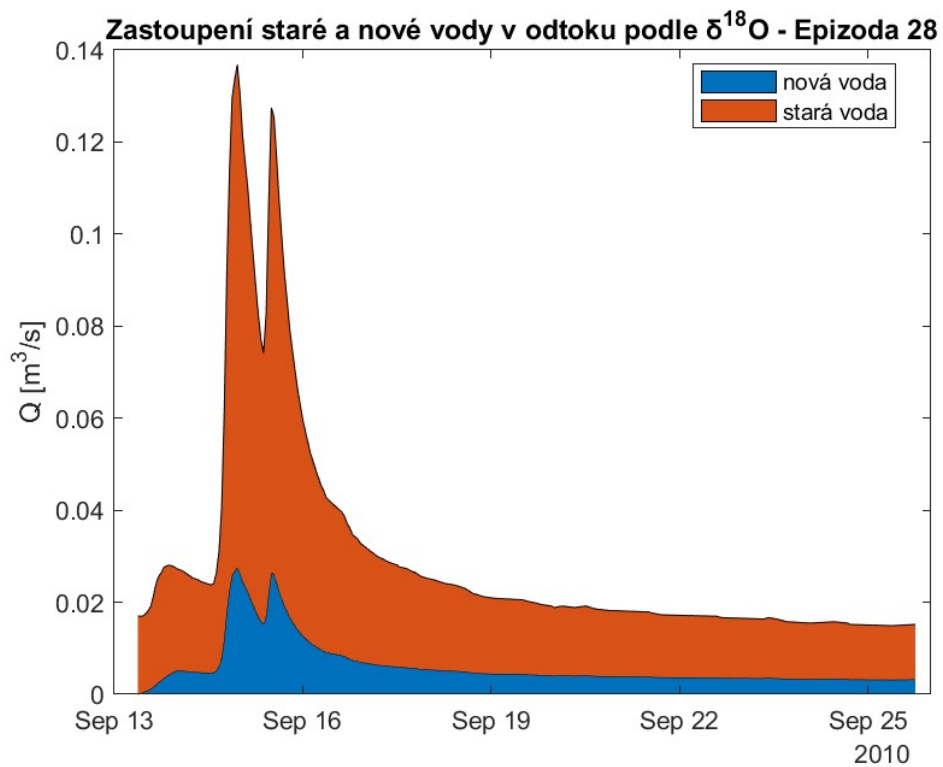
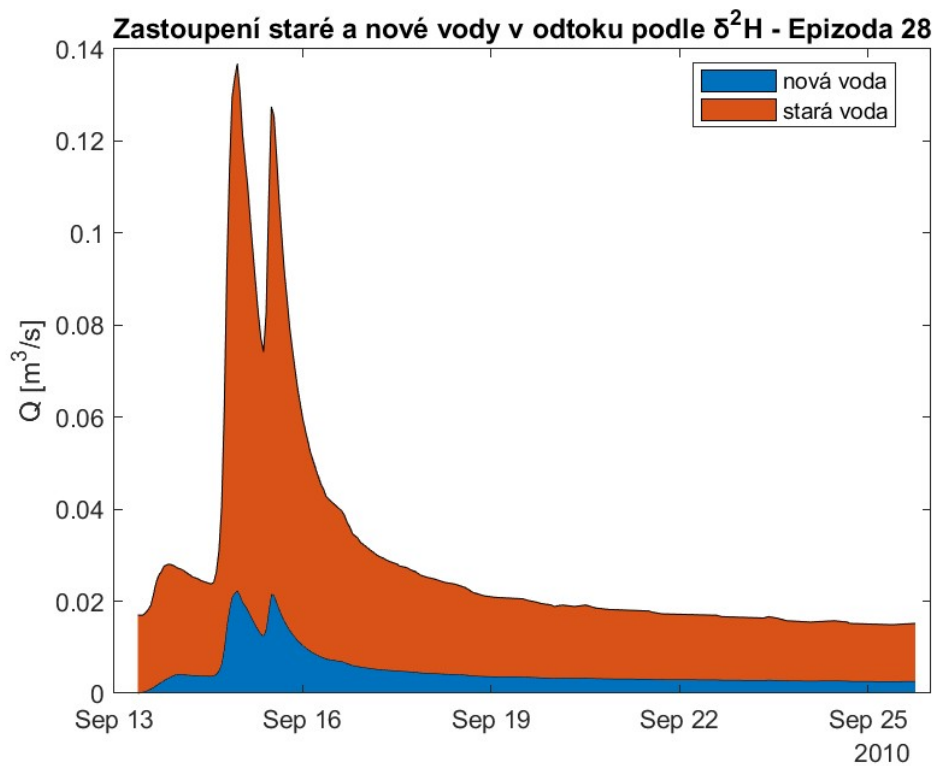
11.15.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 26



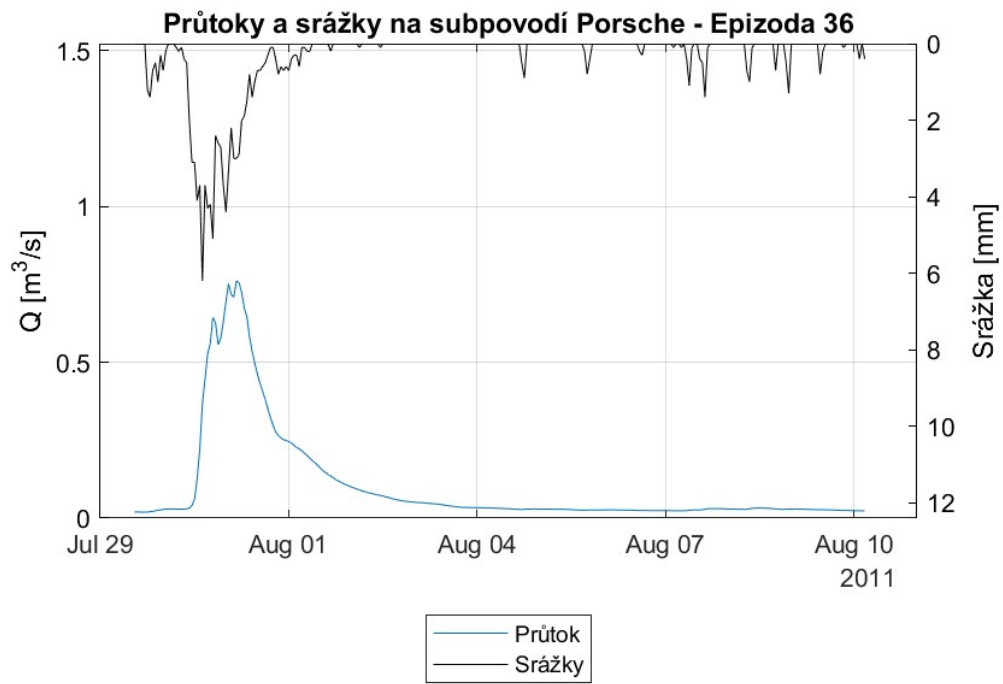
11.15.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 26



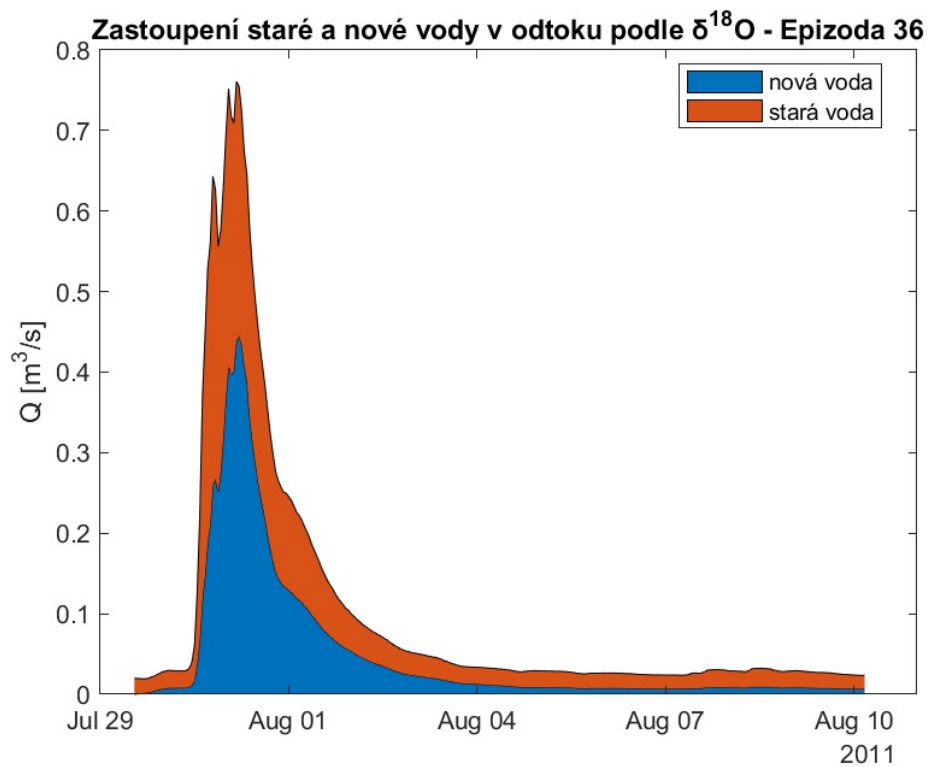
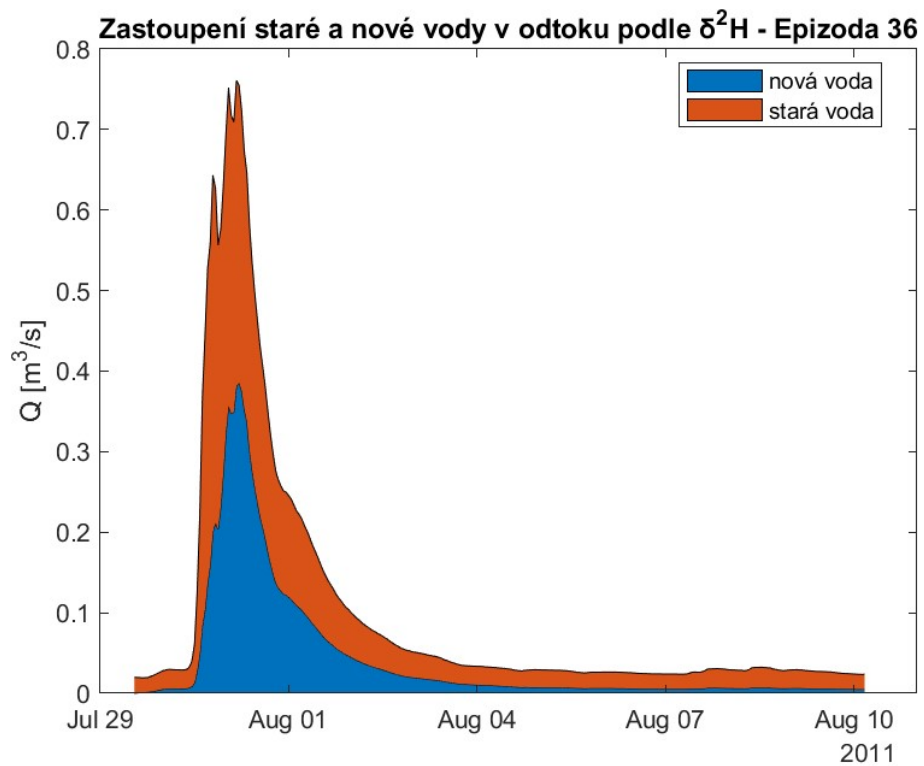
11.16.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 28



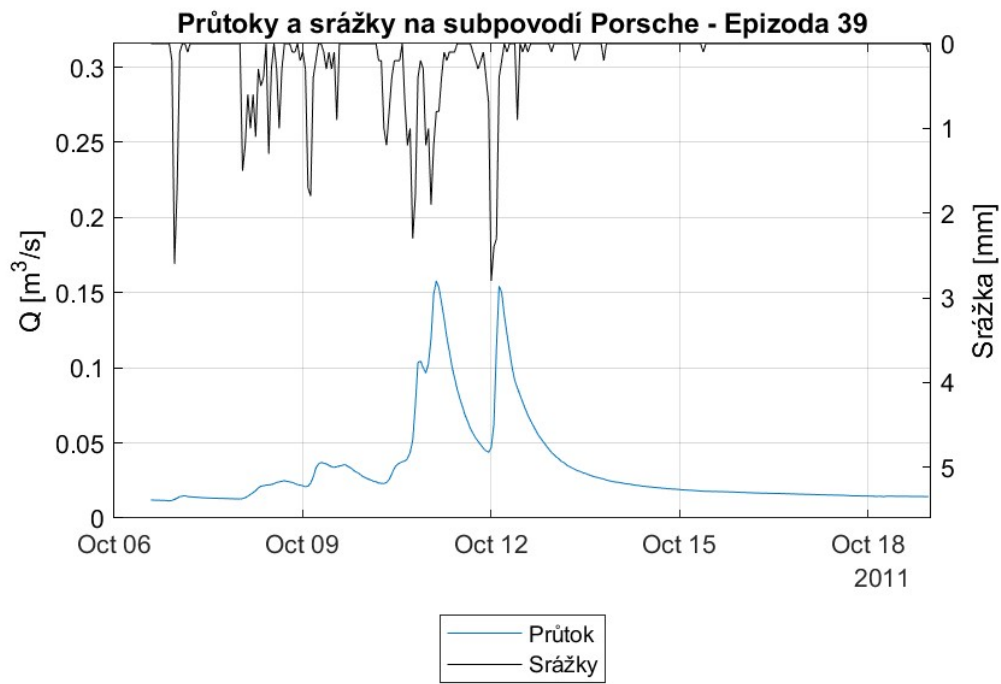
11.16.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 28



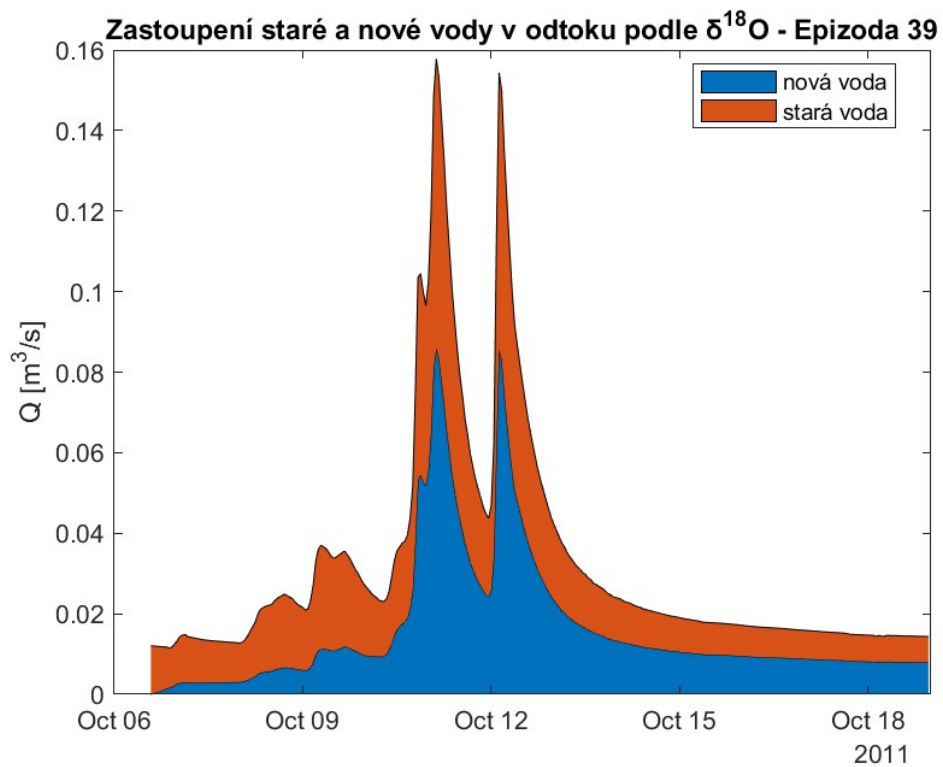
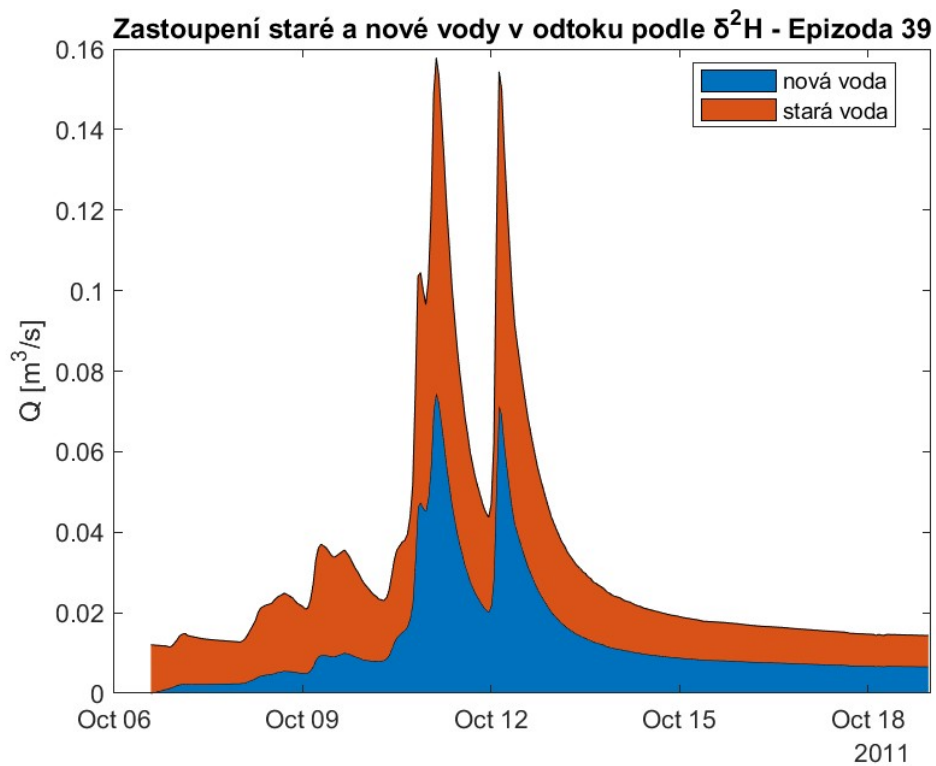
11.17.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 36



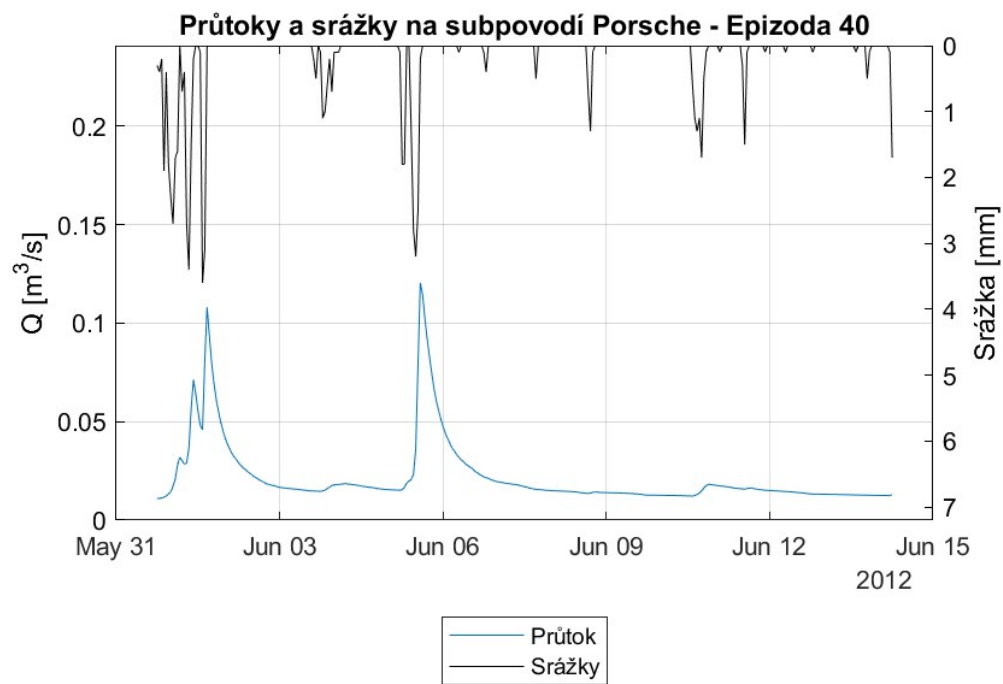
11.17.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 36



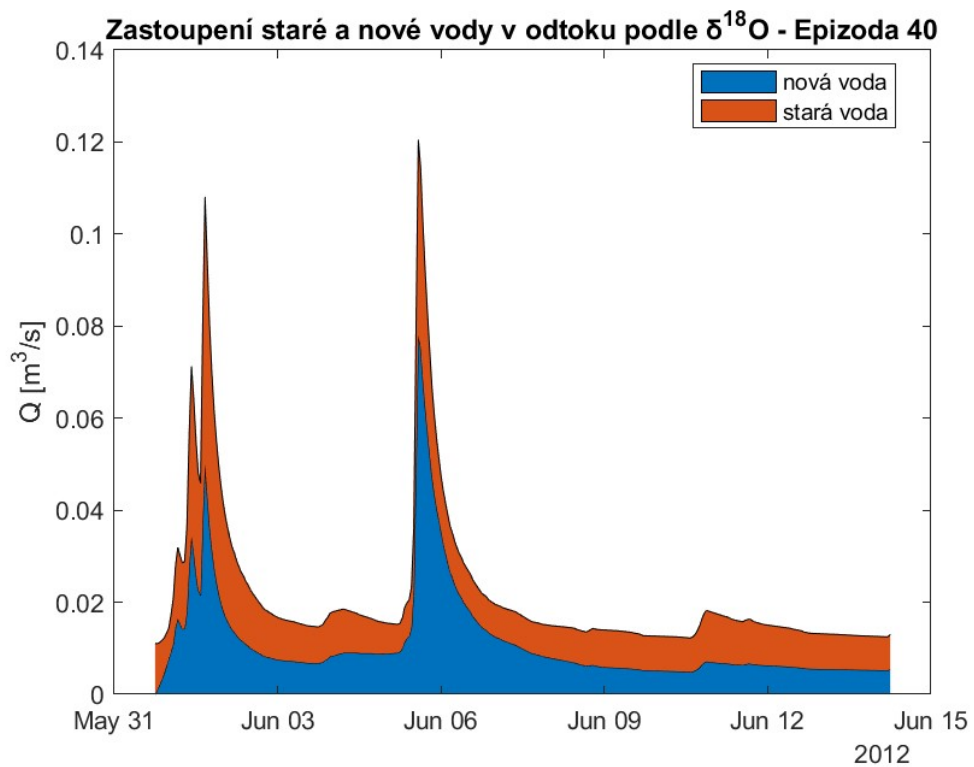
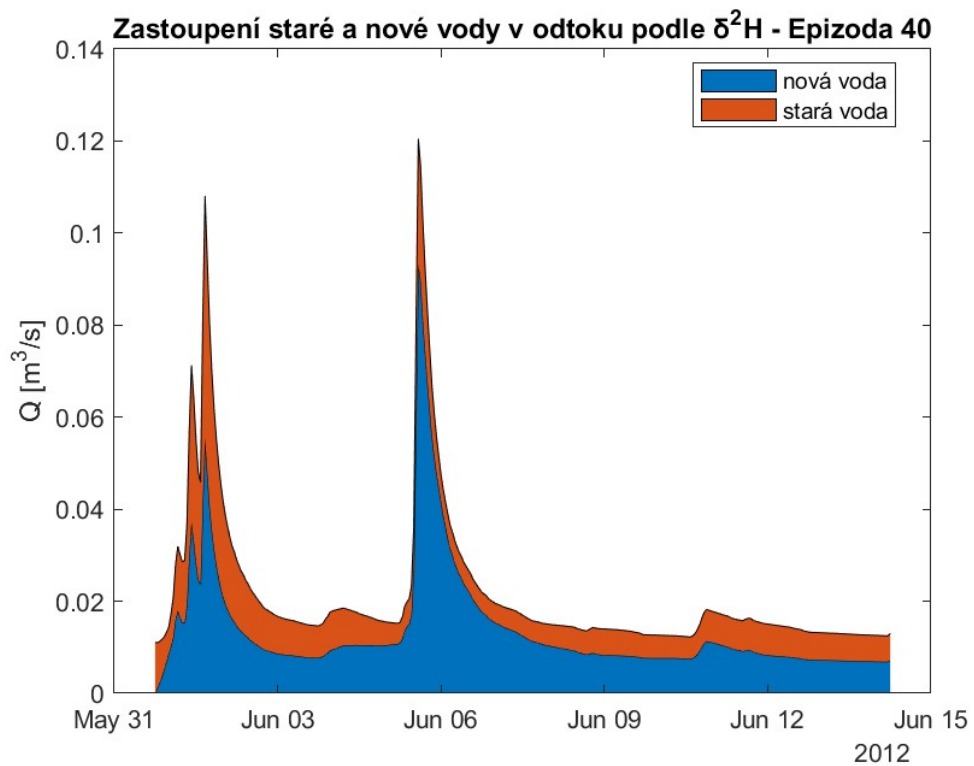
11.18.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 39



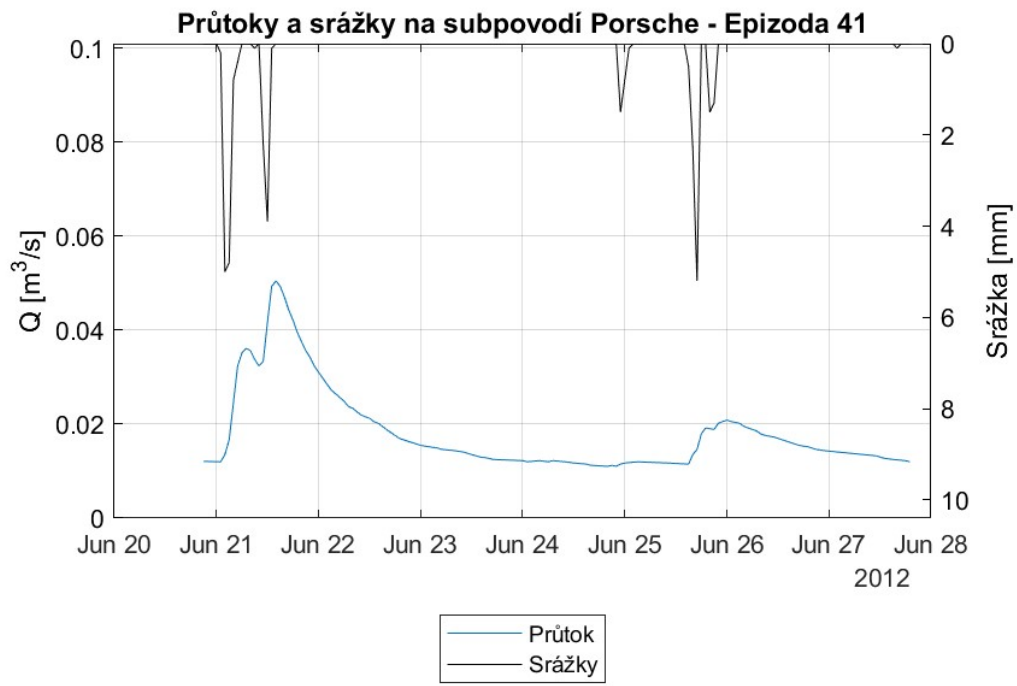
11.18.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 39



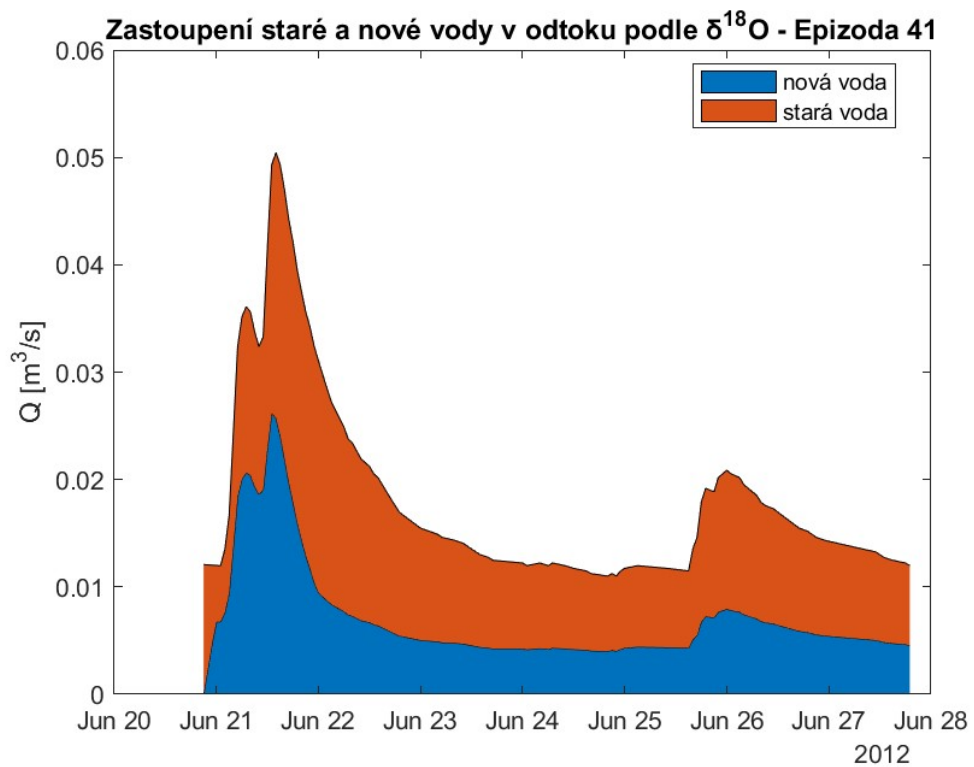
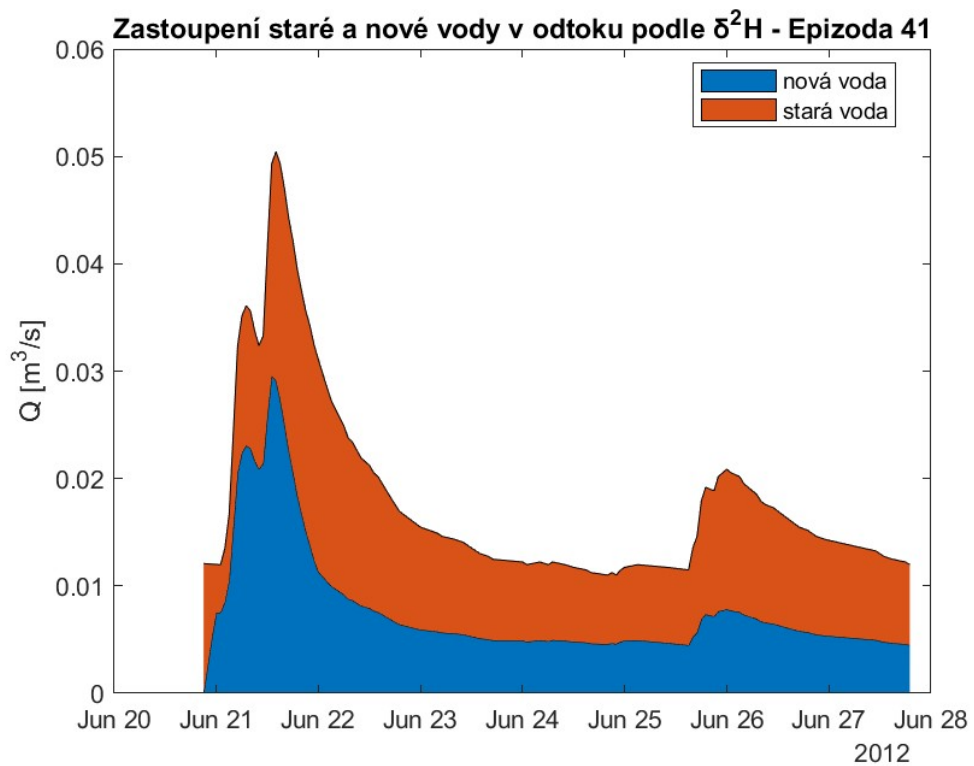
11.19.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 40



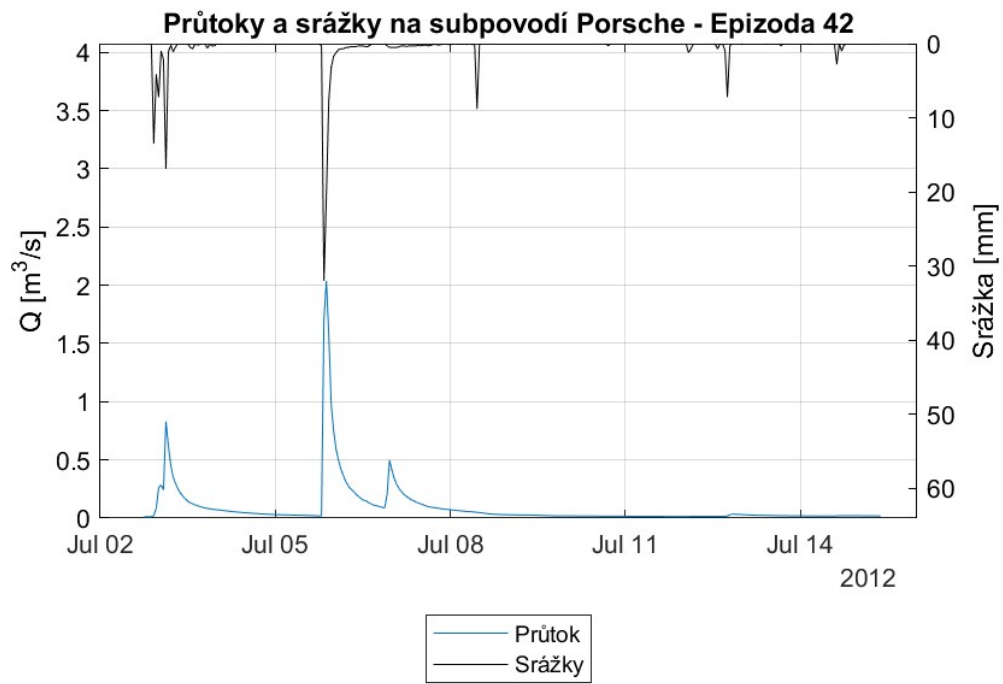
11.19.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 40



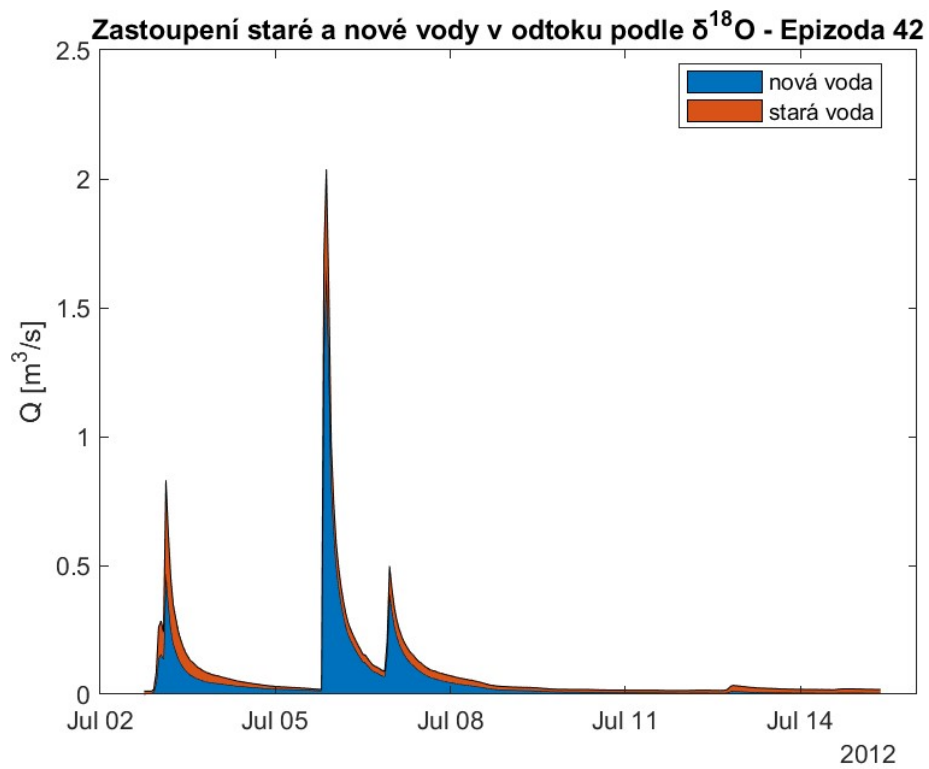
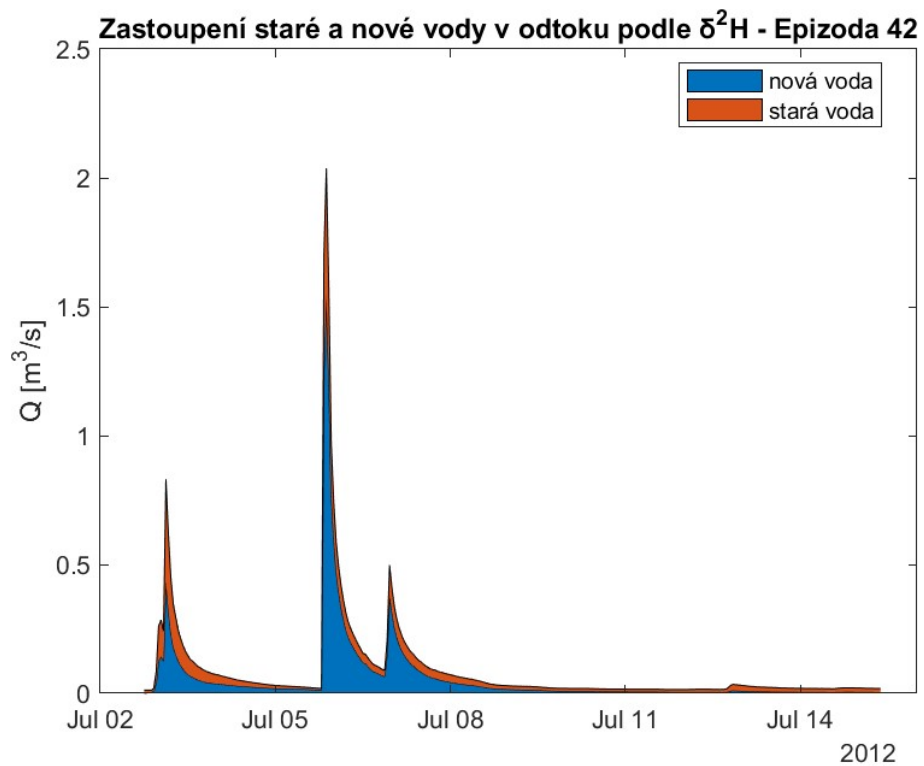
11.20.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 41



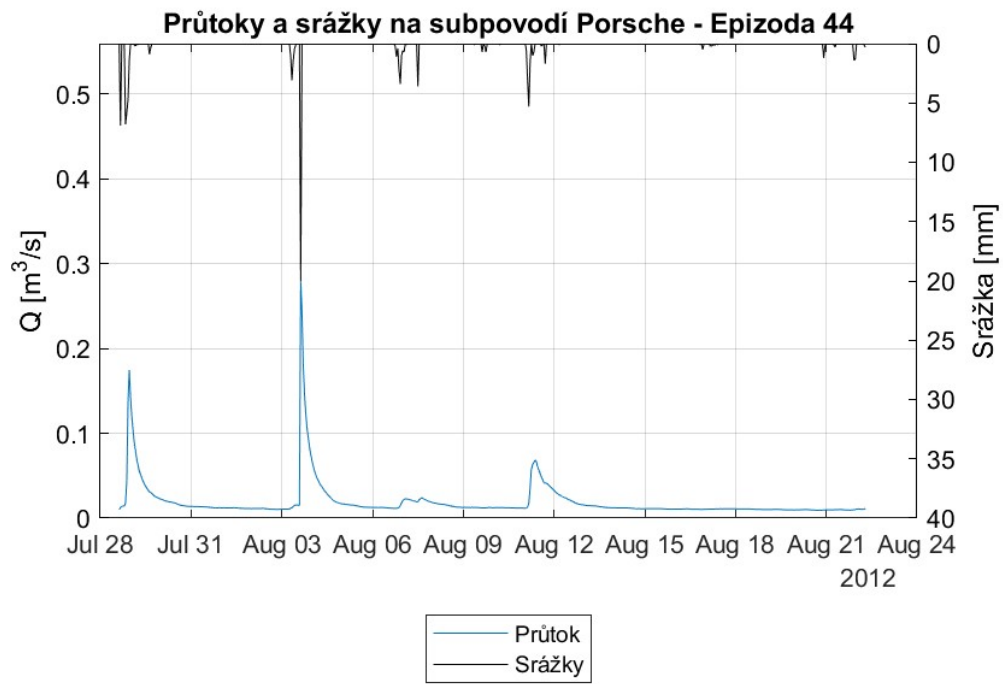
11.20.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 41



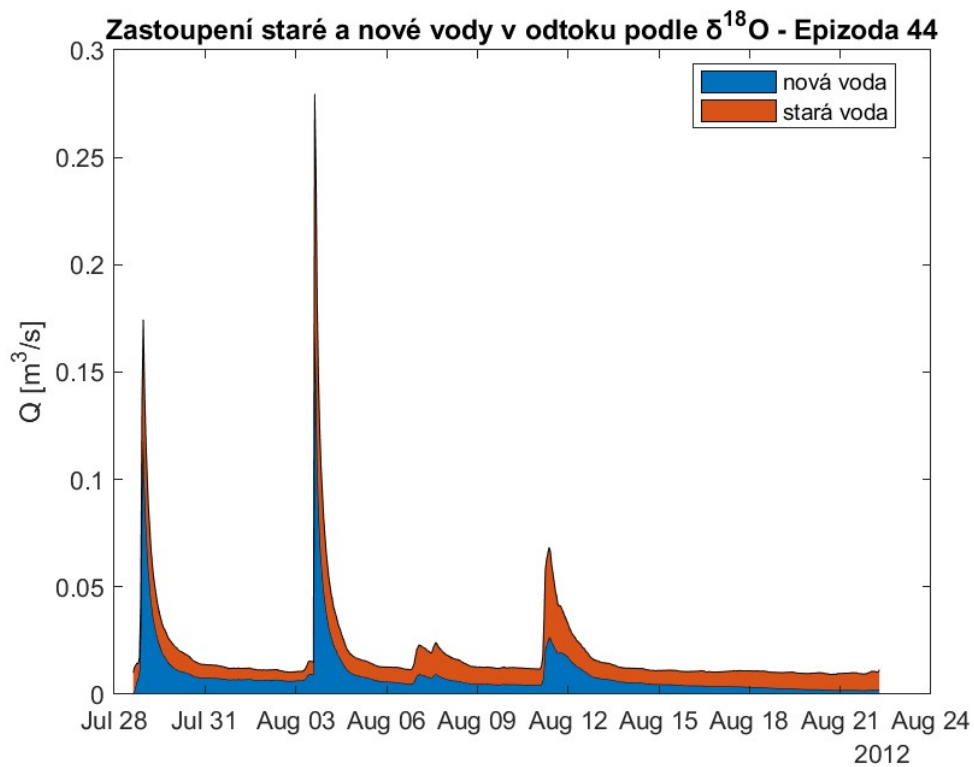
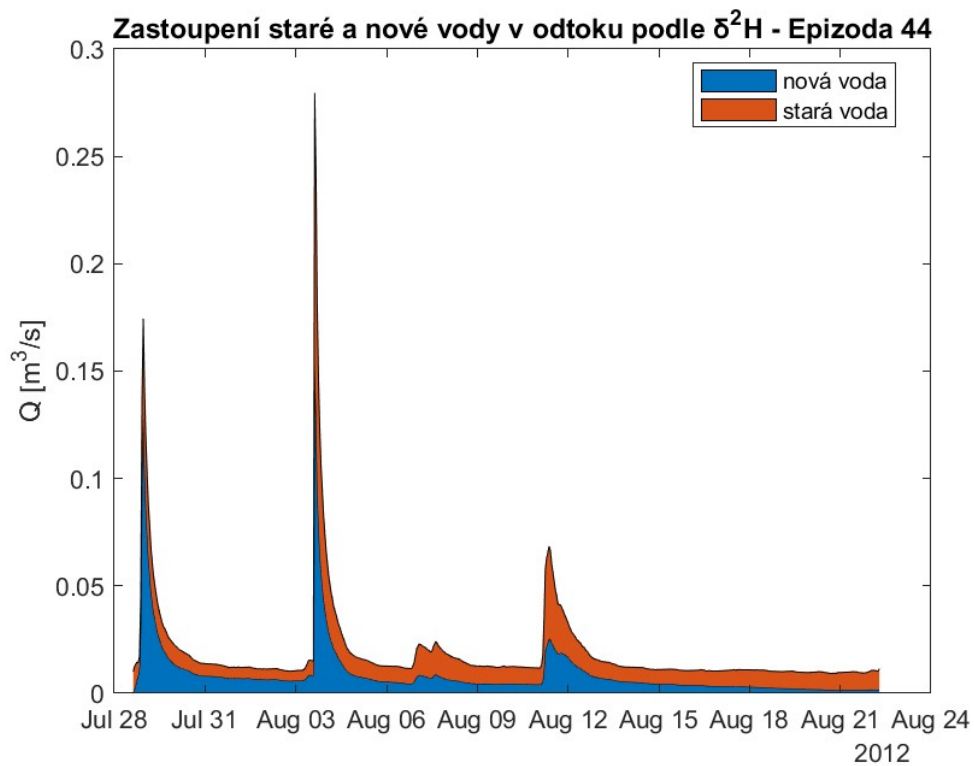
11.21.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 42



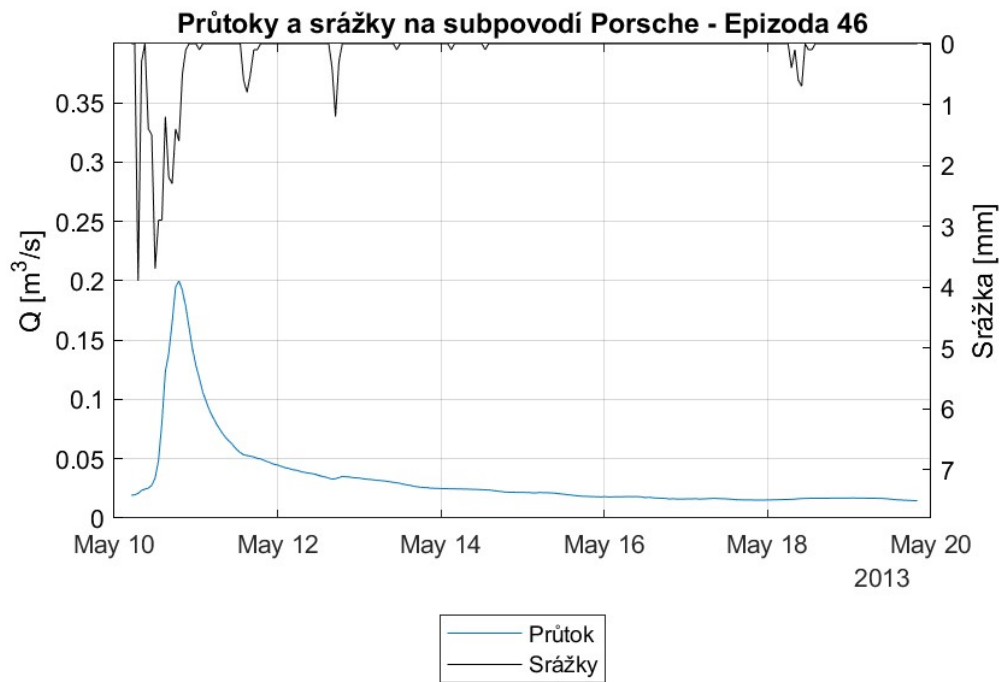
11.21.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 42



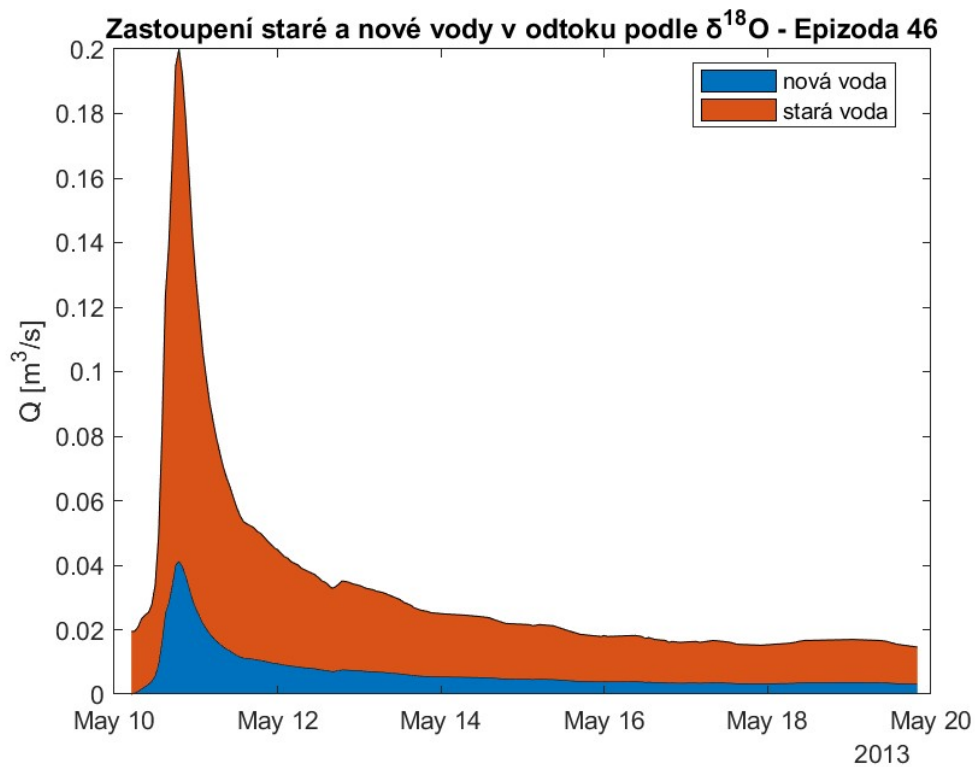
11.22.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 44



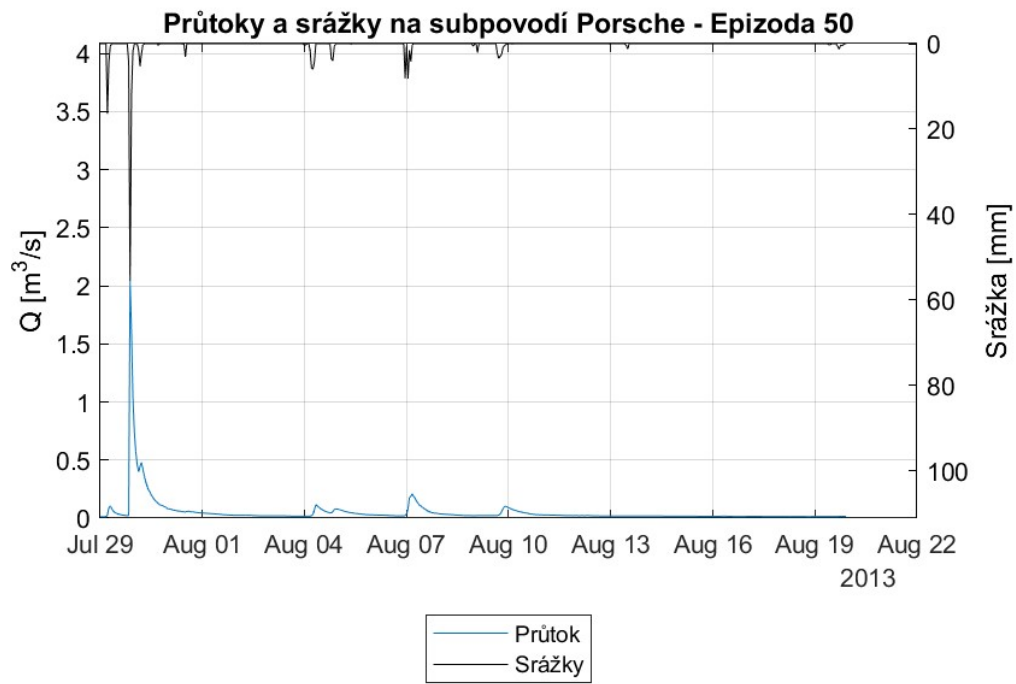
11.22.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 44



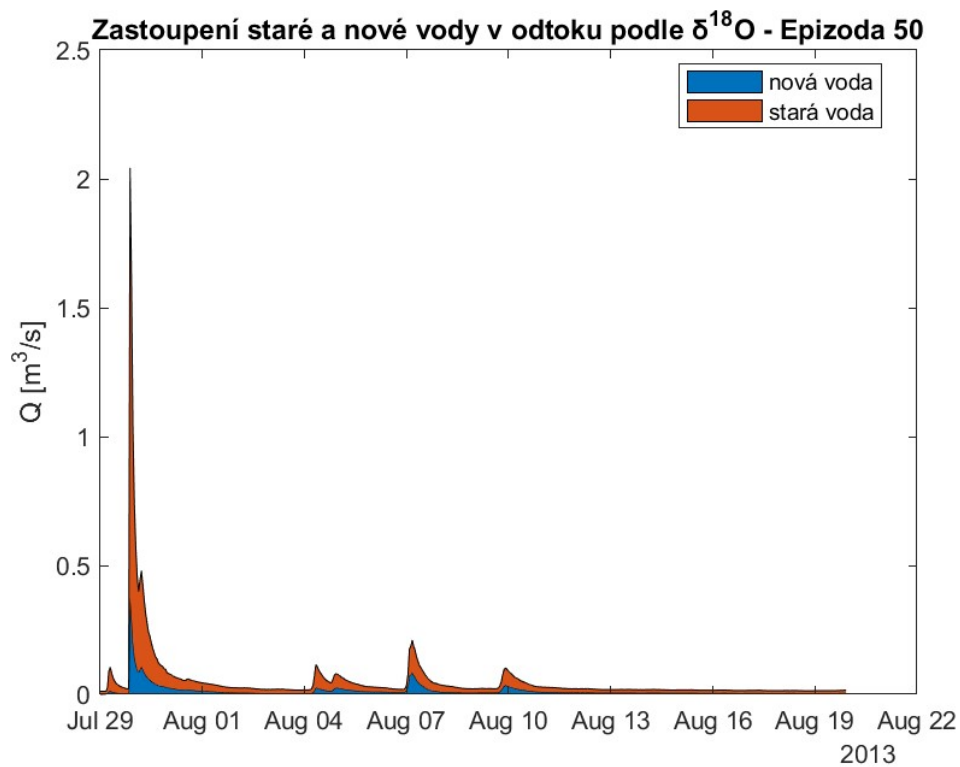
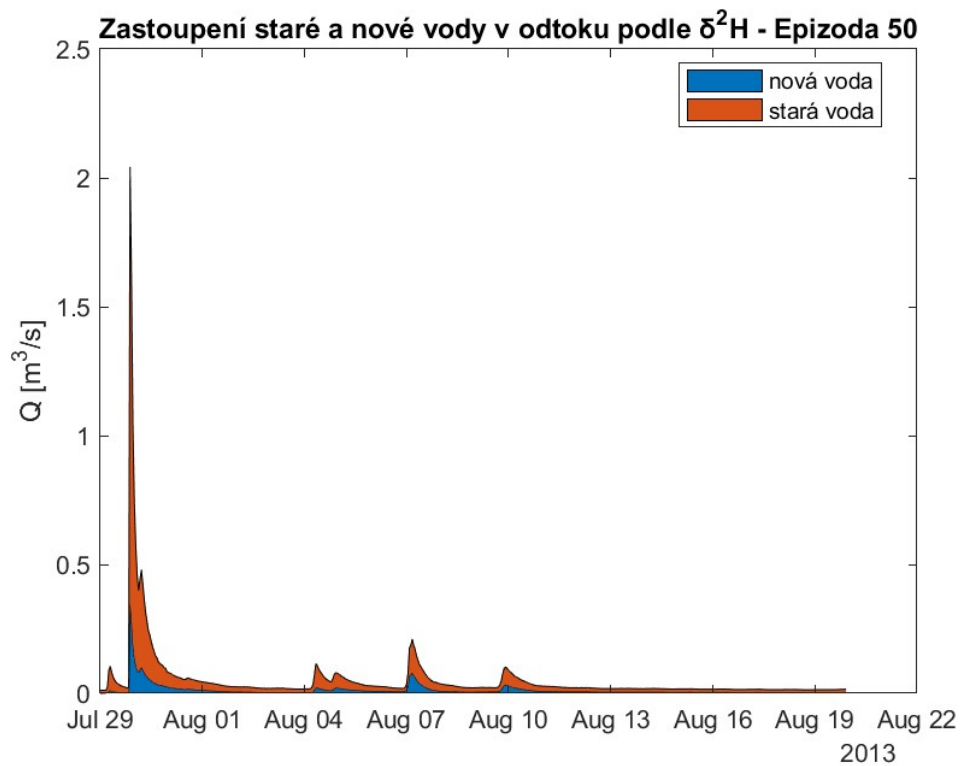
11.23.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 46



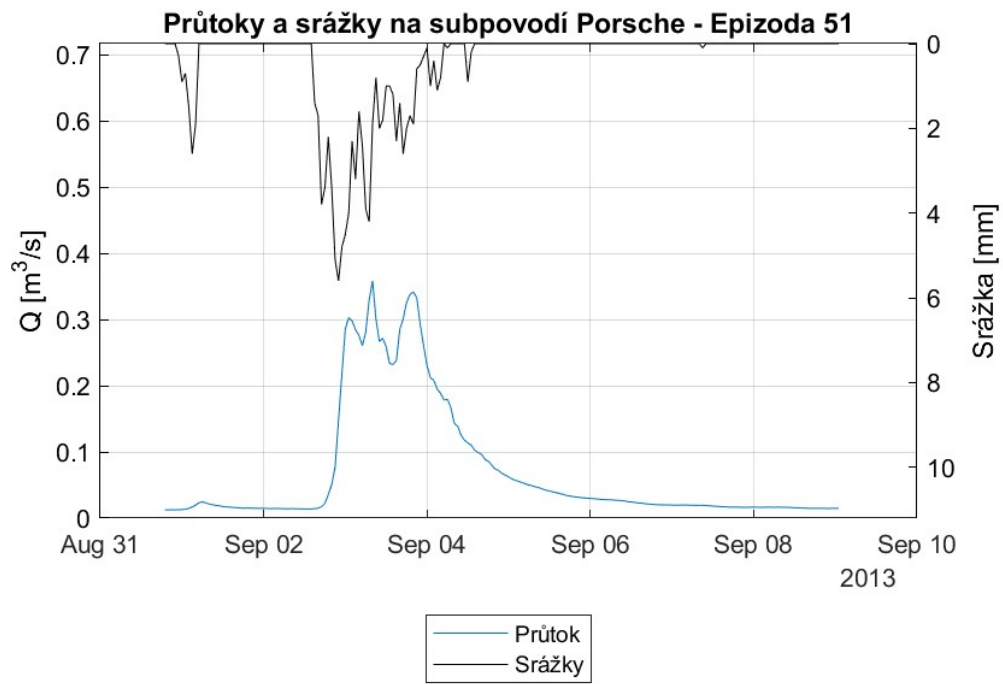
11.23.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^{18}\text{O}$ – Epizoda 46



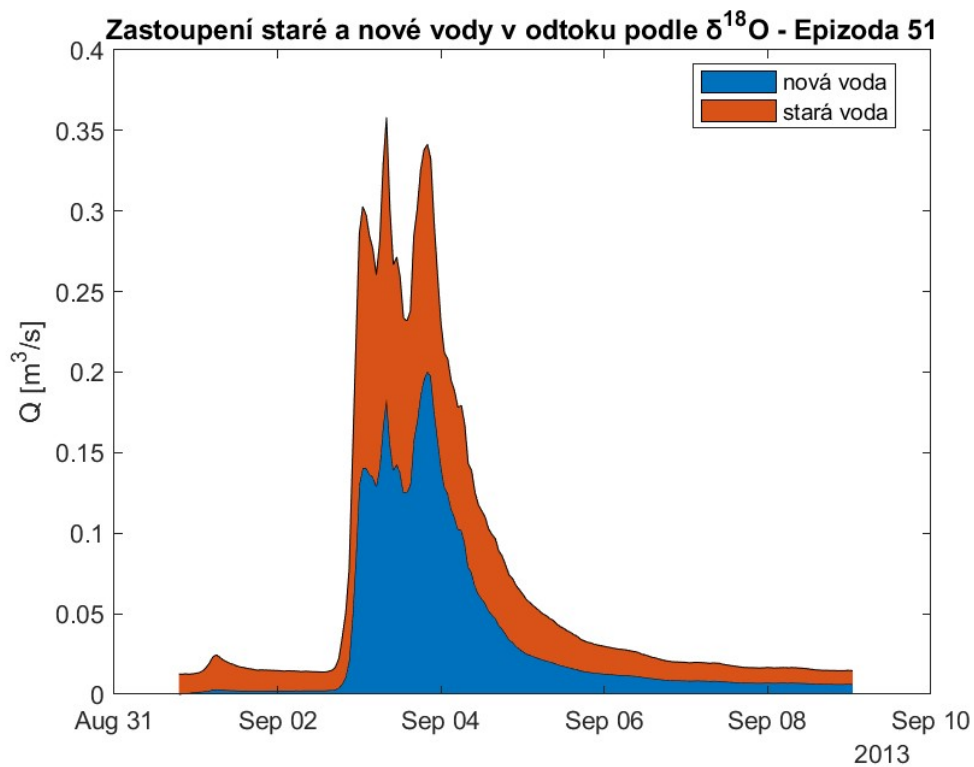
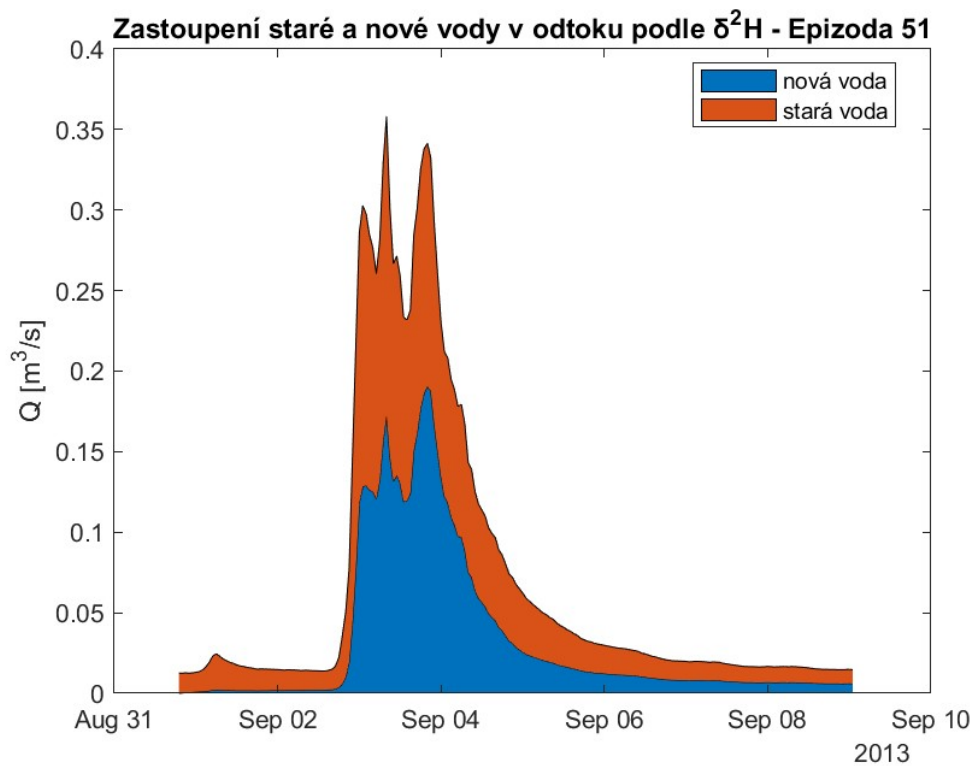
11.24.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 50



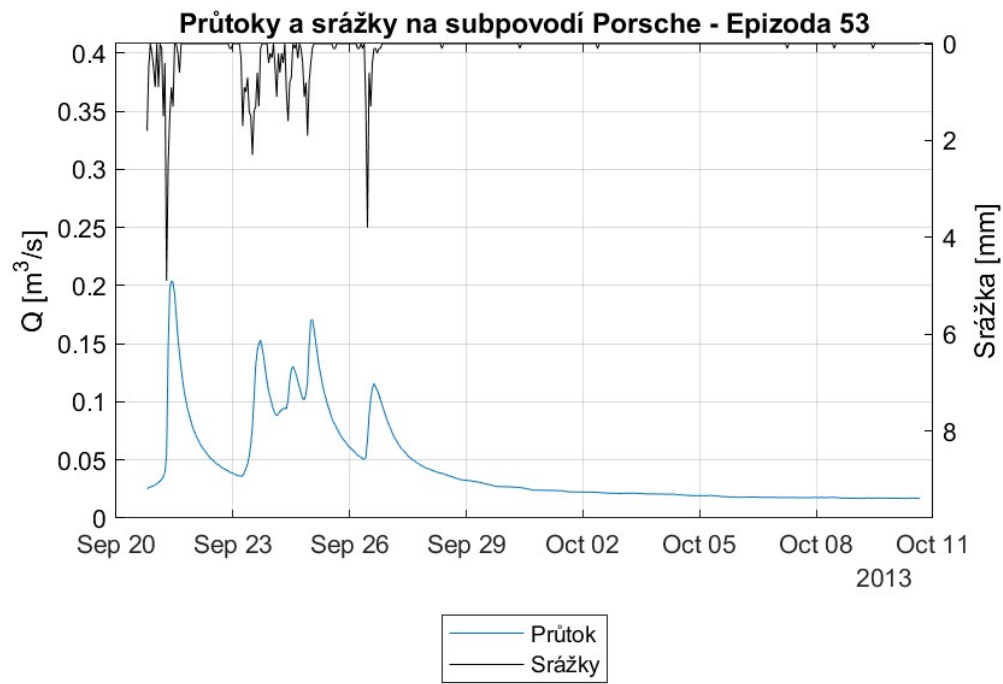
11.24.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 50



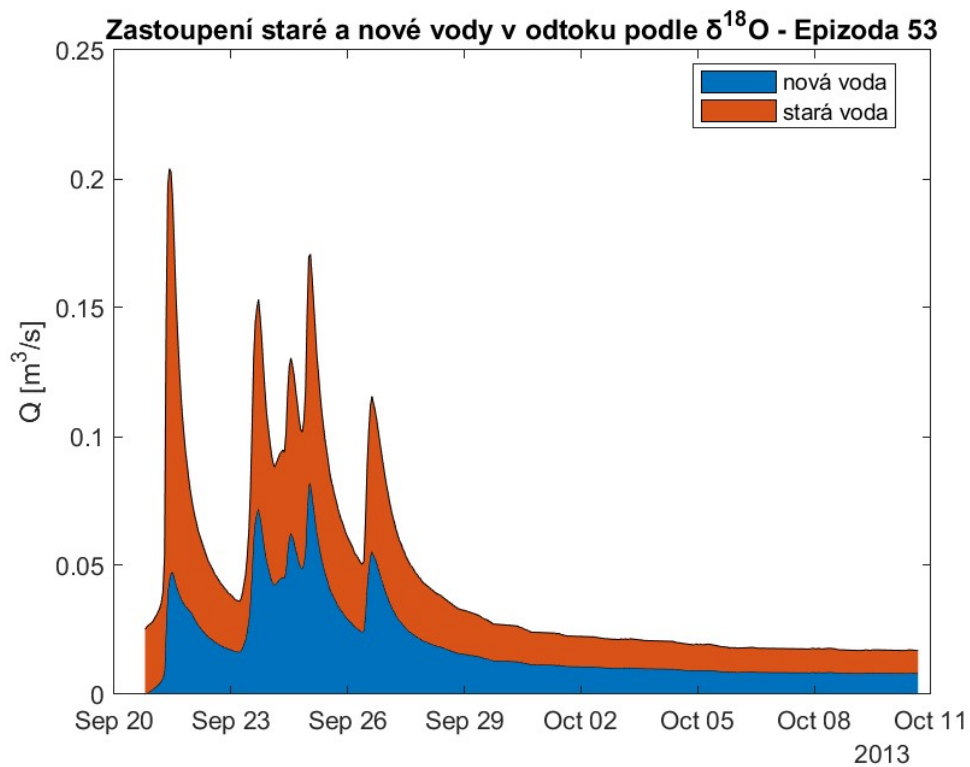
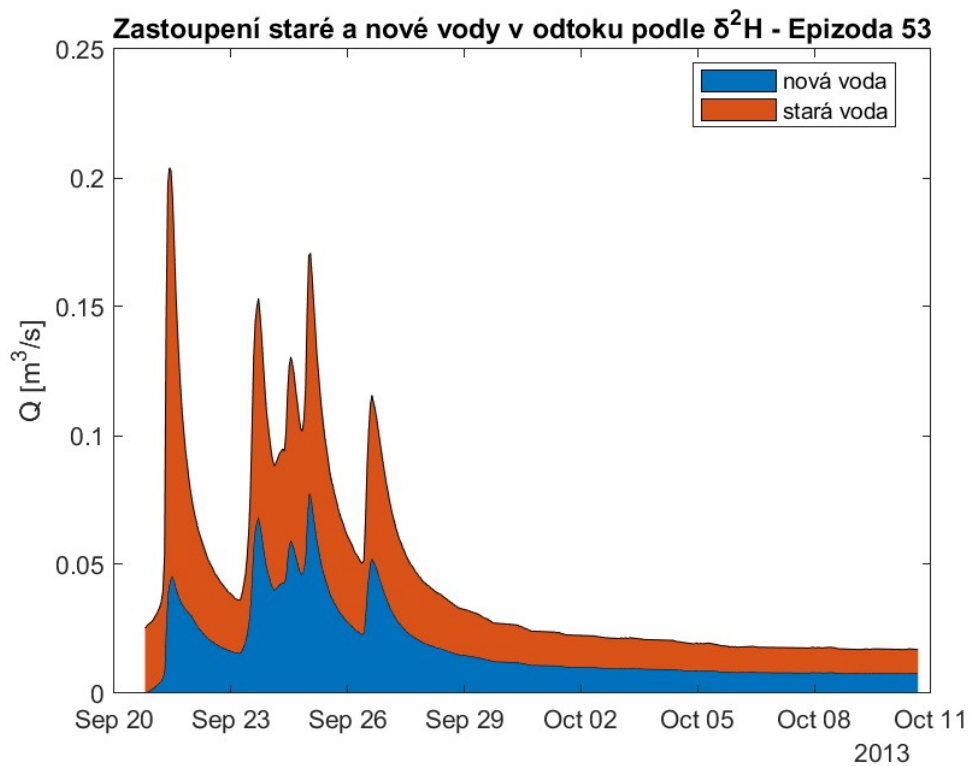
11.25.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 51



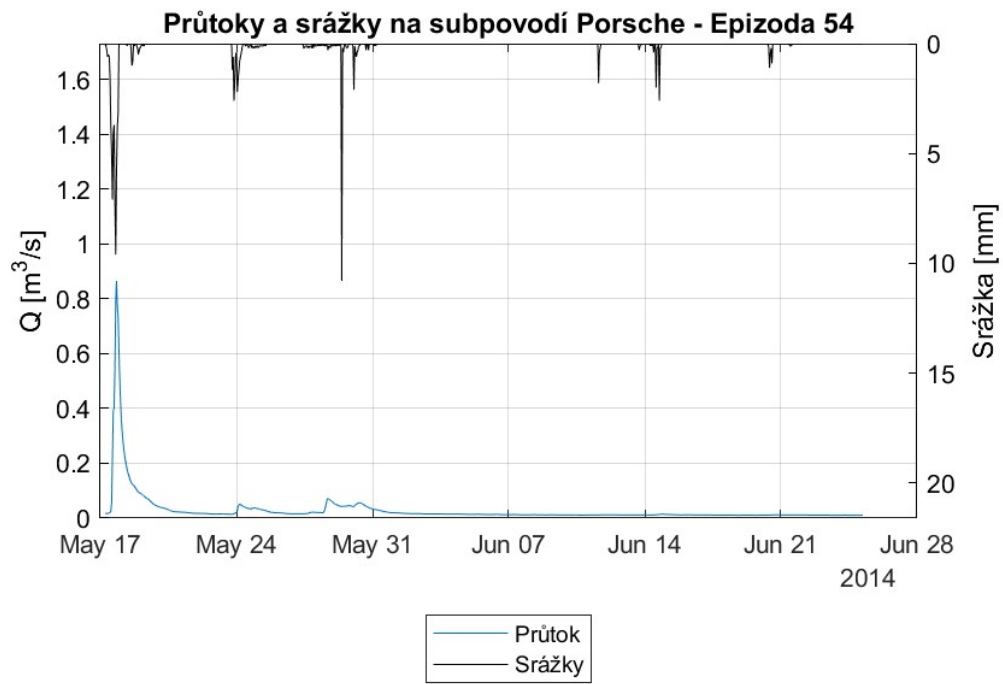
11.25.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 51



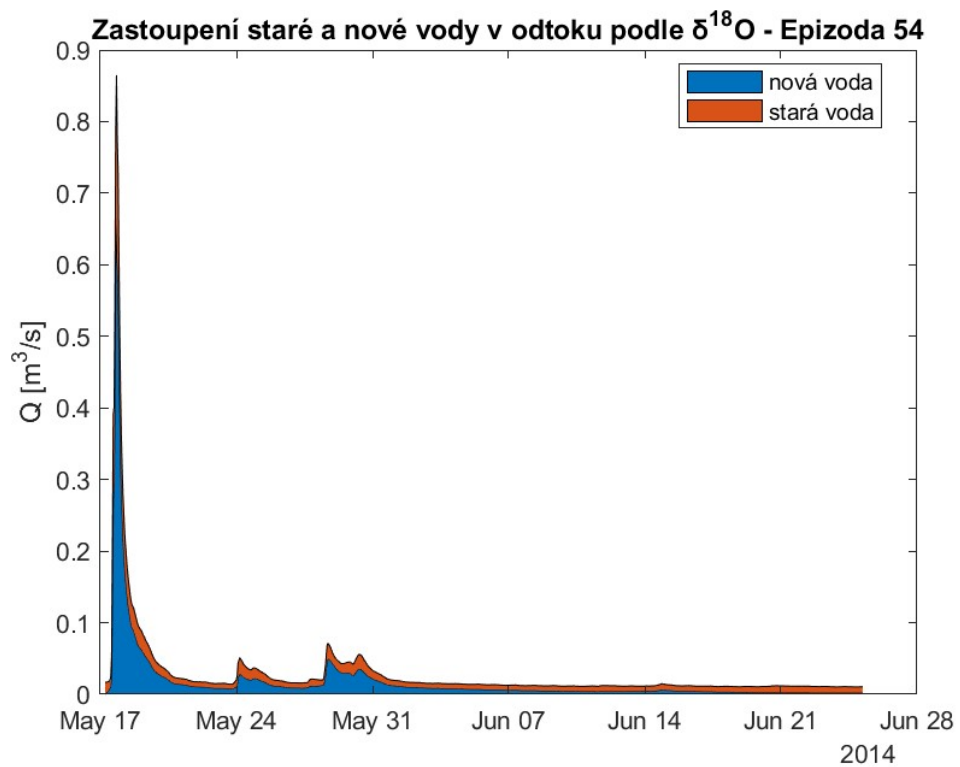
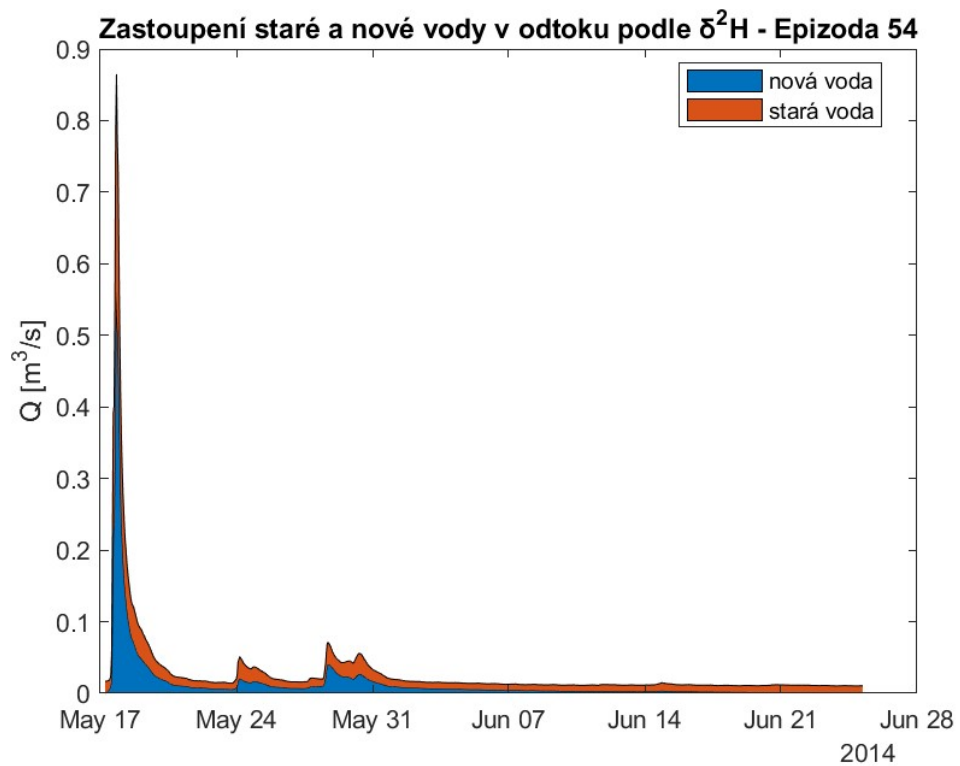
11.26.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 53



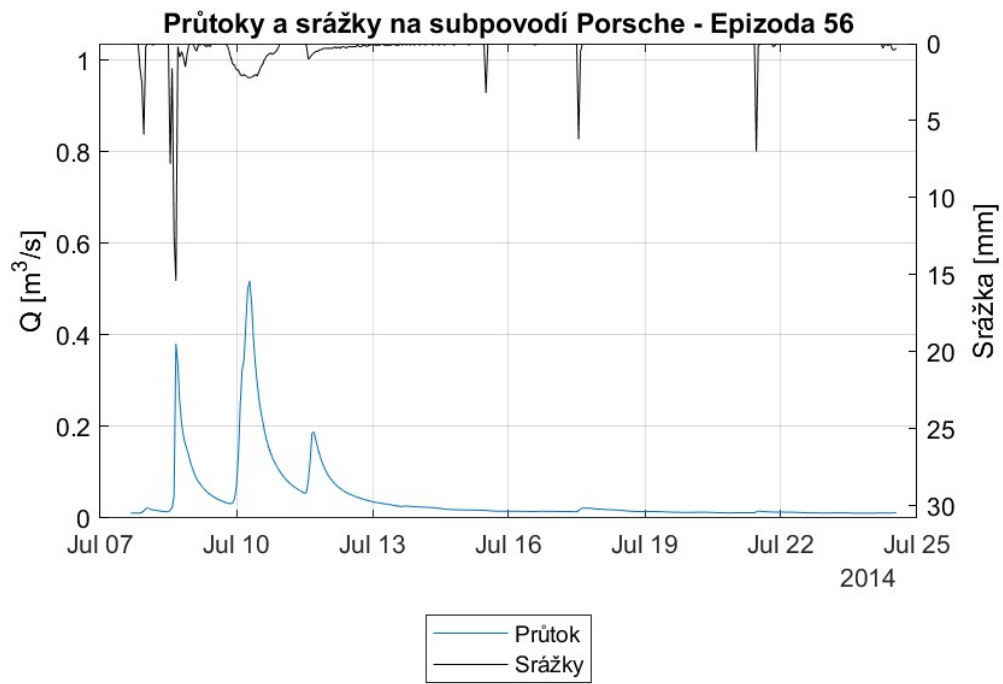
11.26.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 53



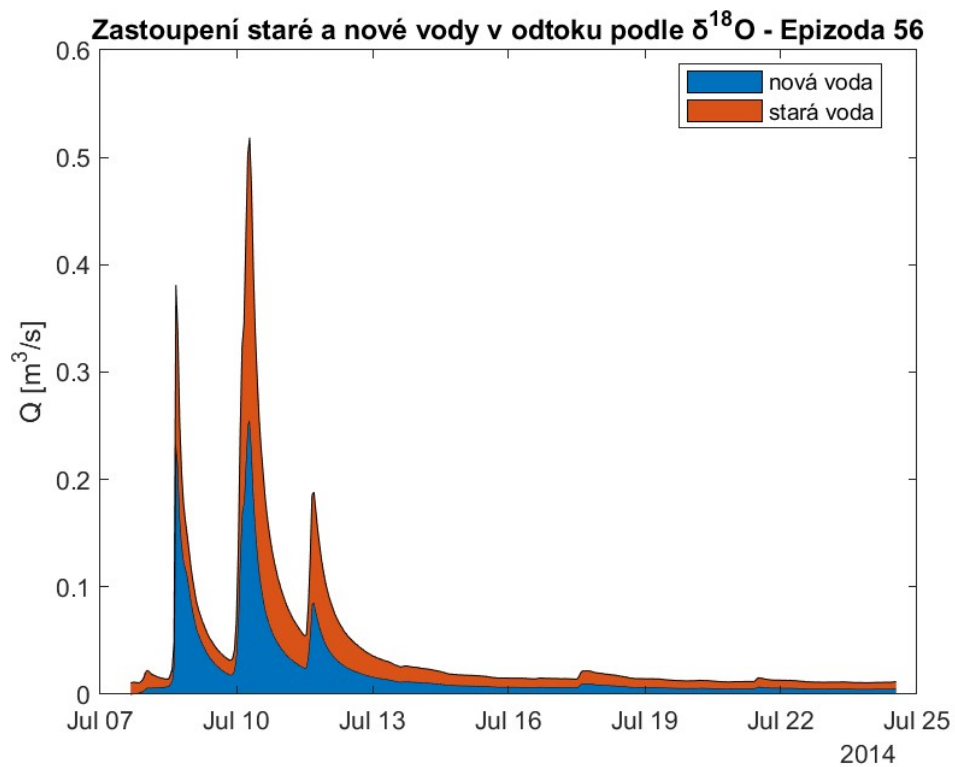
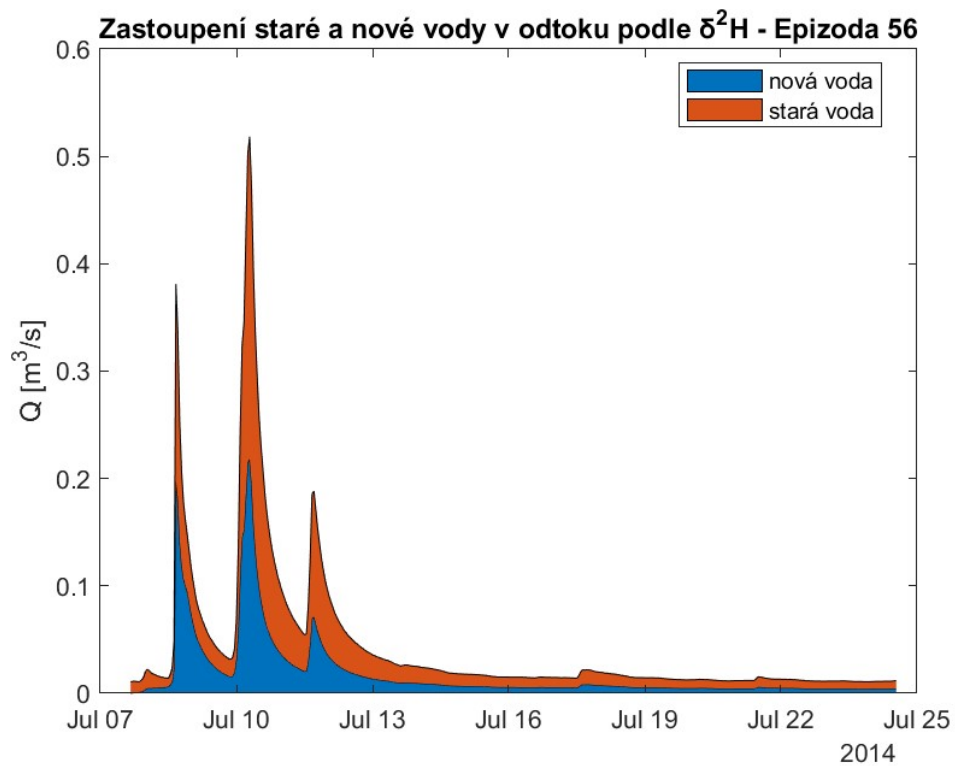
11.27.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 54



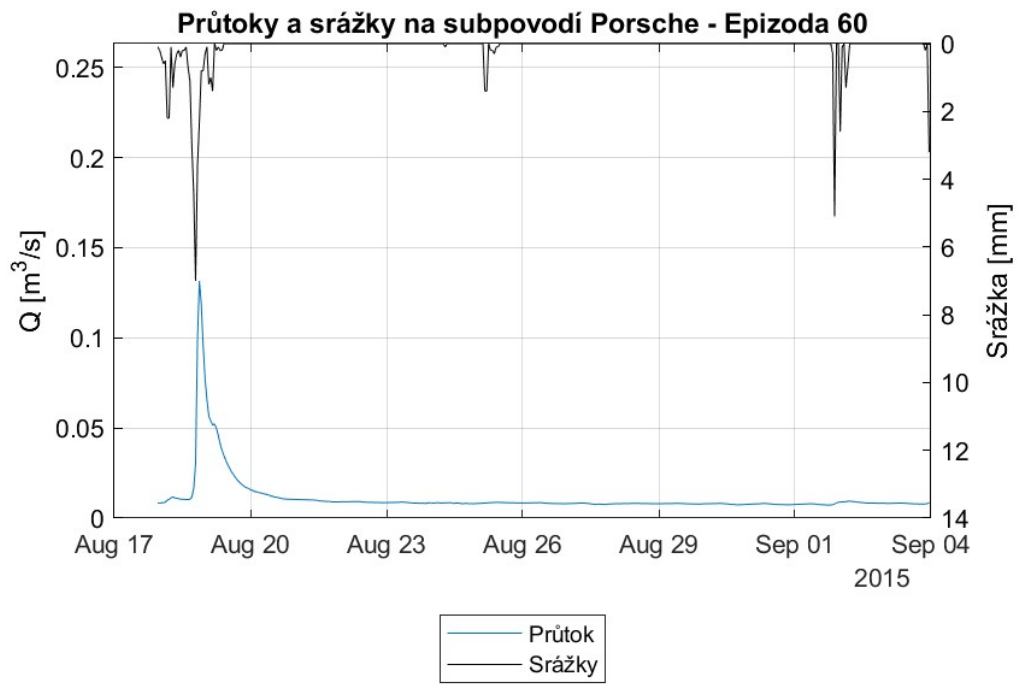
11.27.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 54



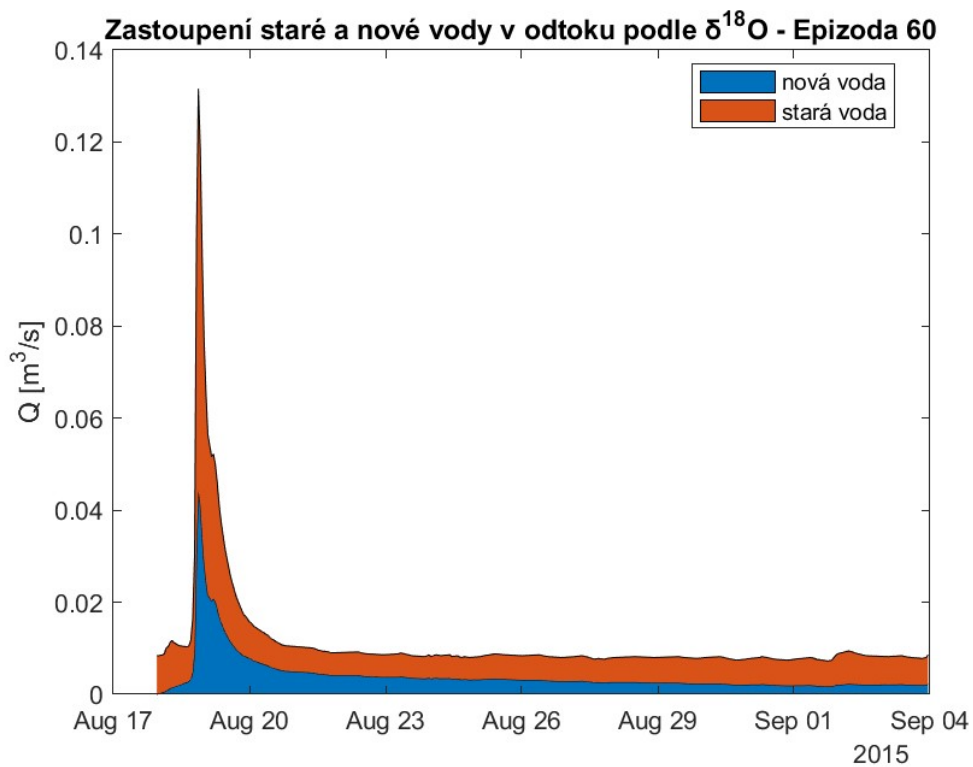
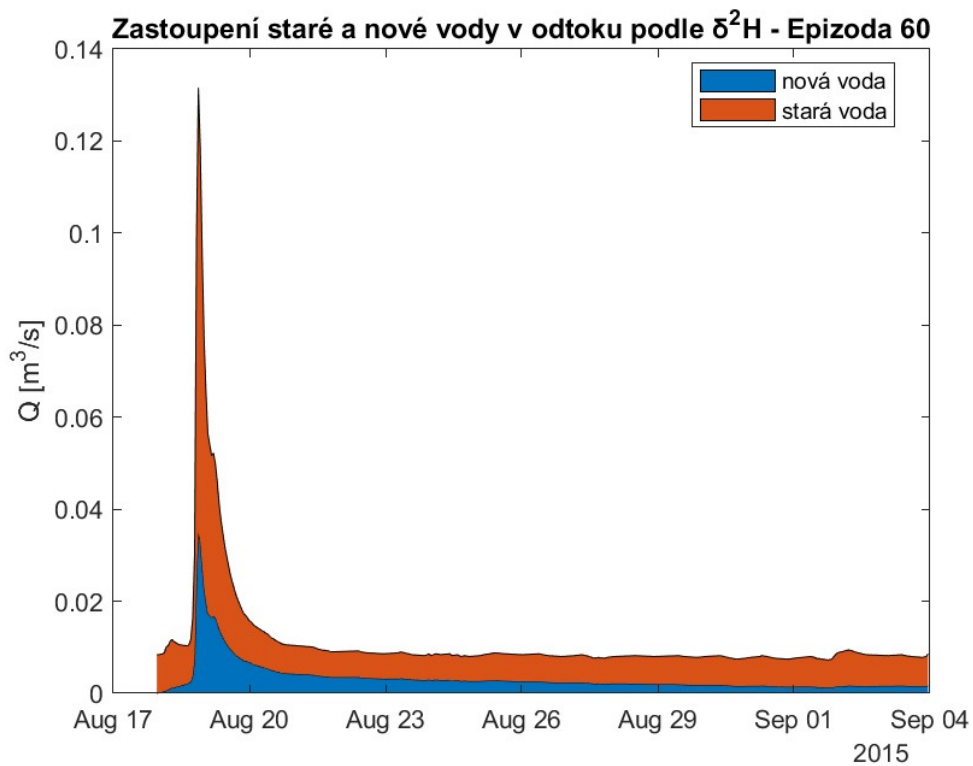
11.28.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 56



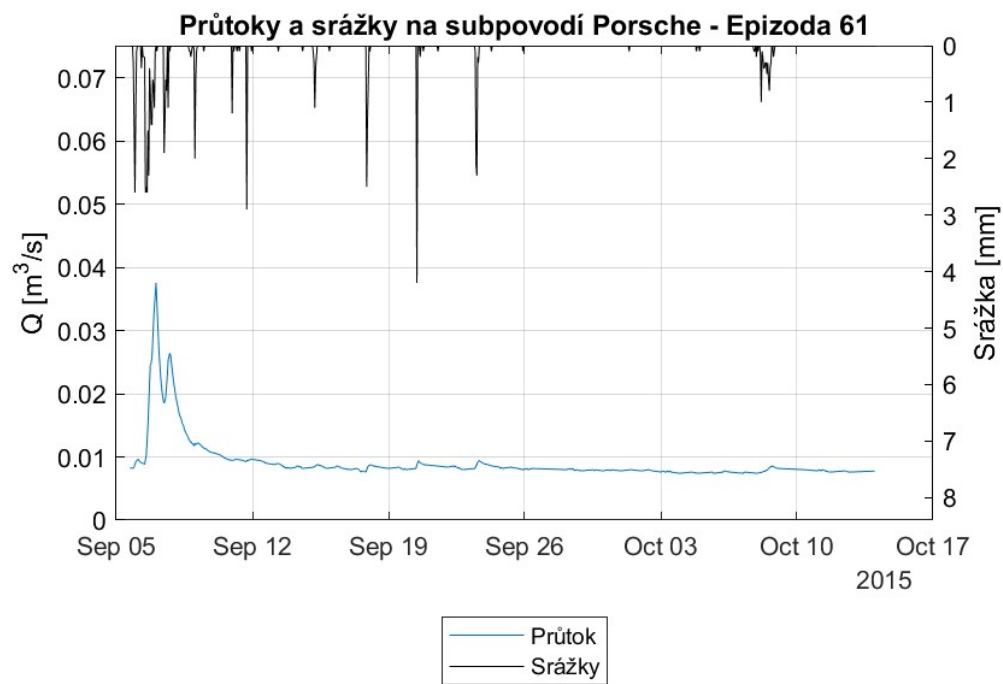
11.28.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 56



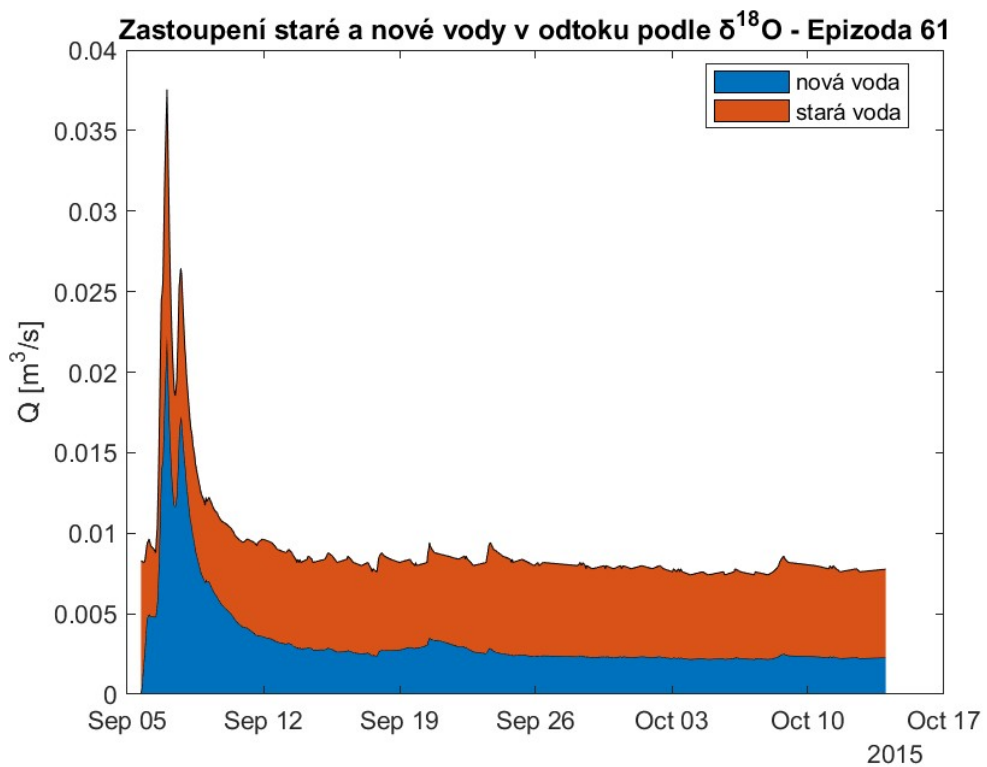
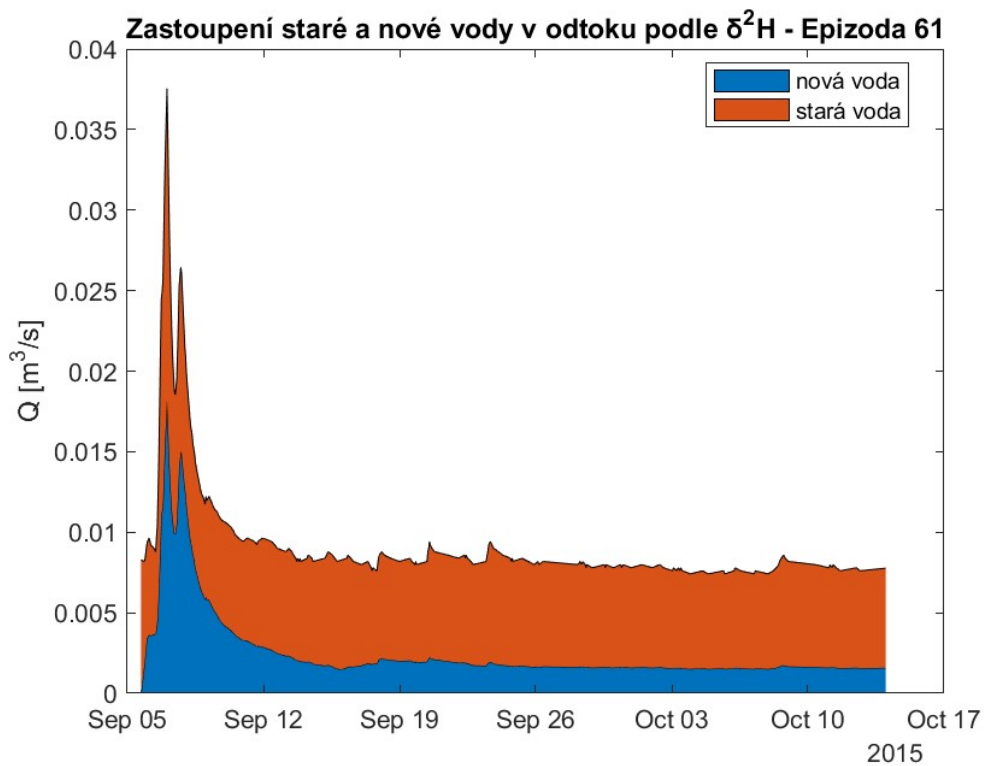
11.29.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 60



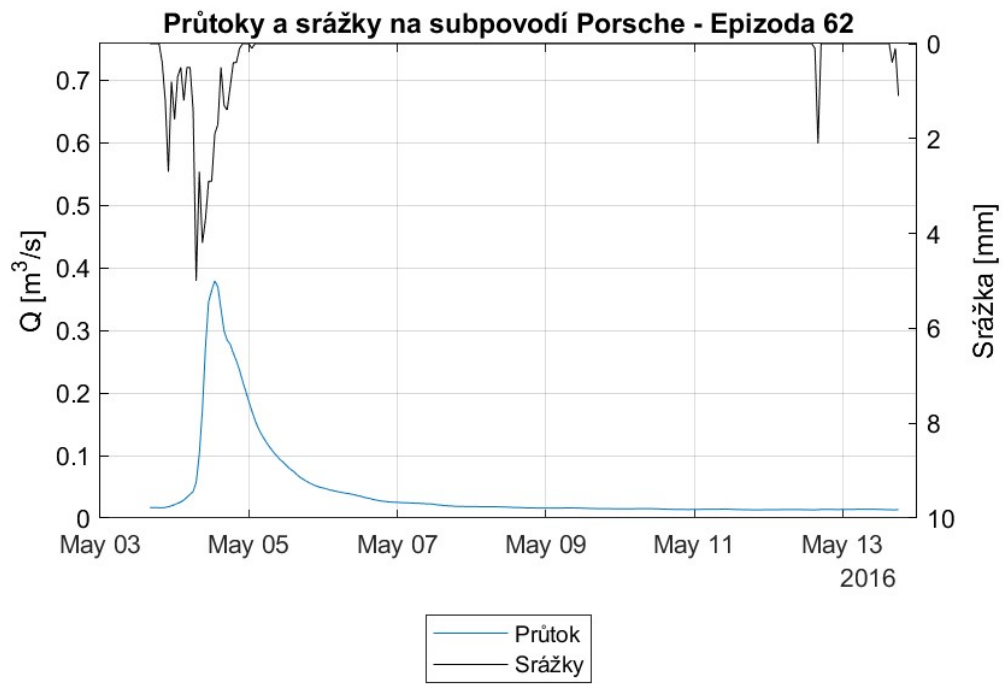
11.29.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 60



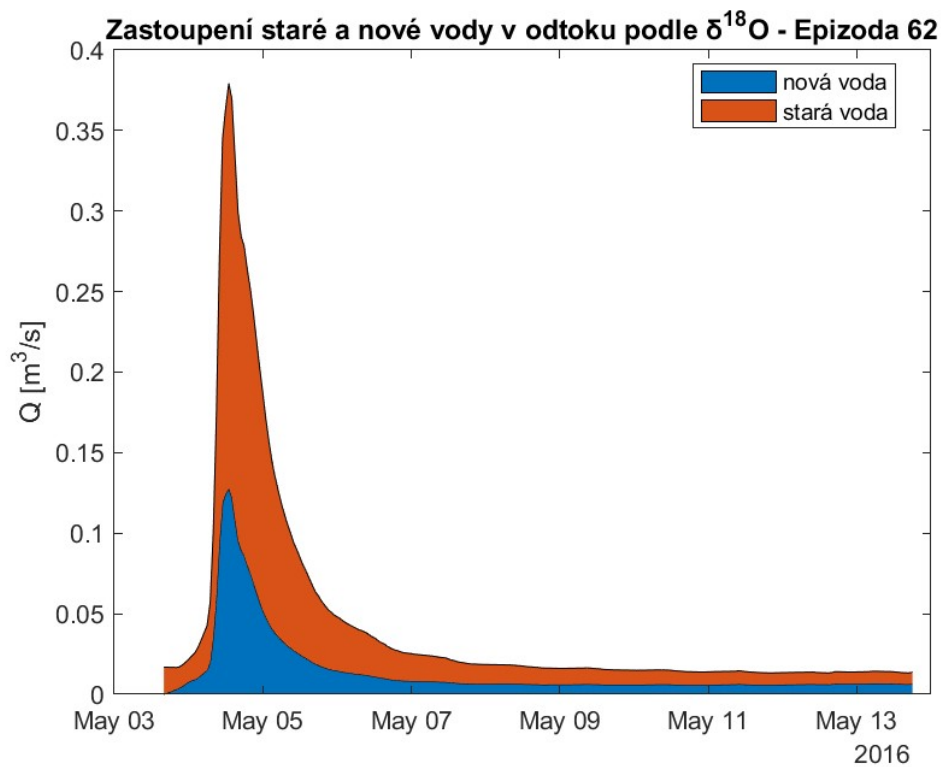
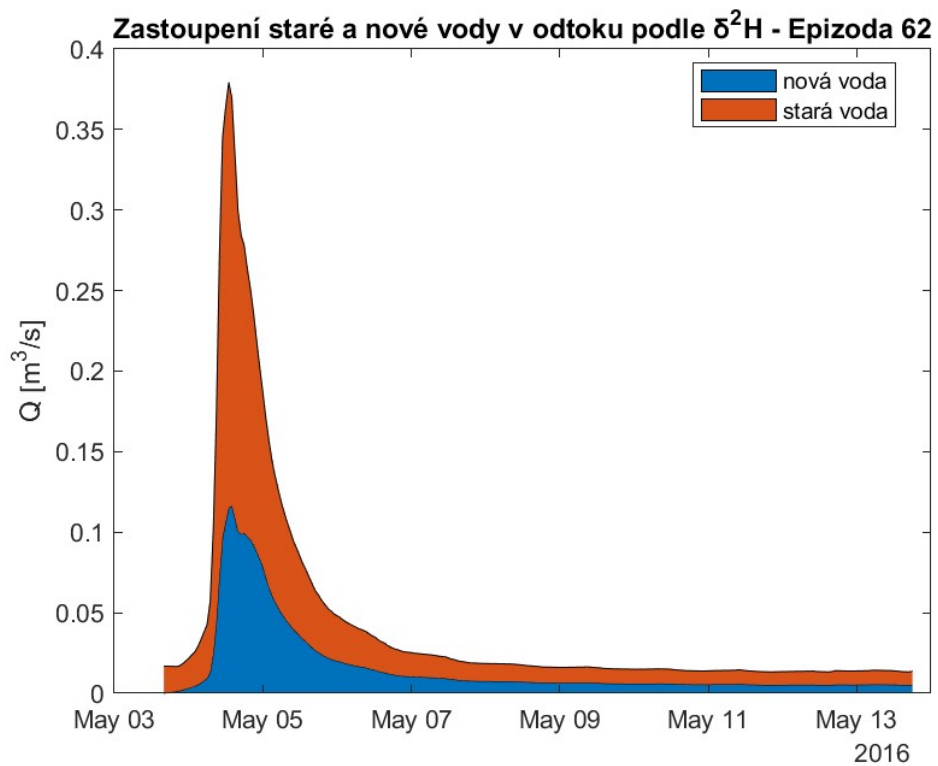
11.30.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 61



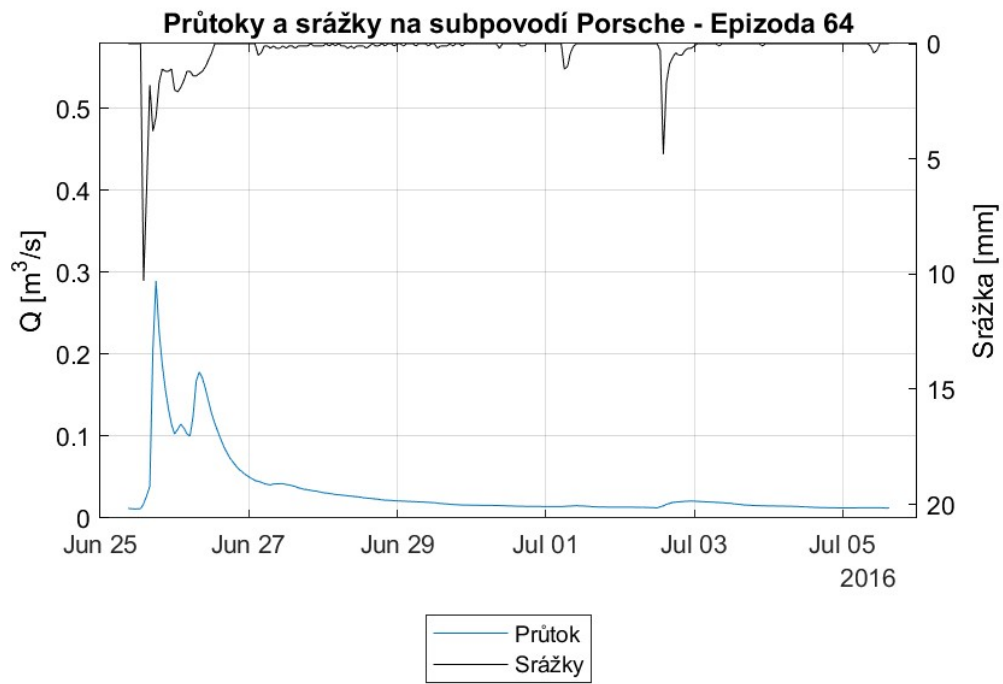
11.30.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 61



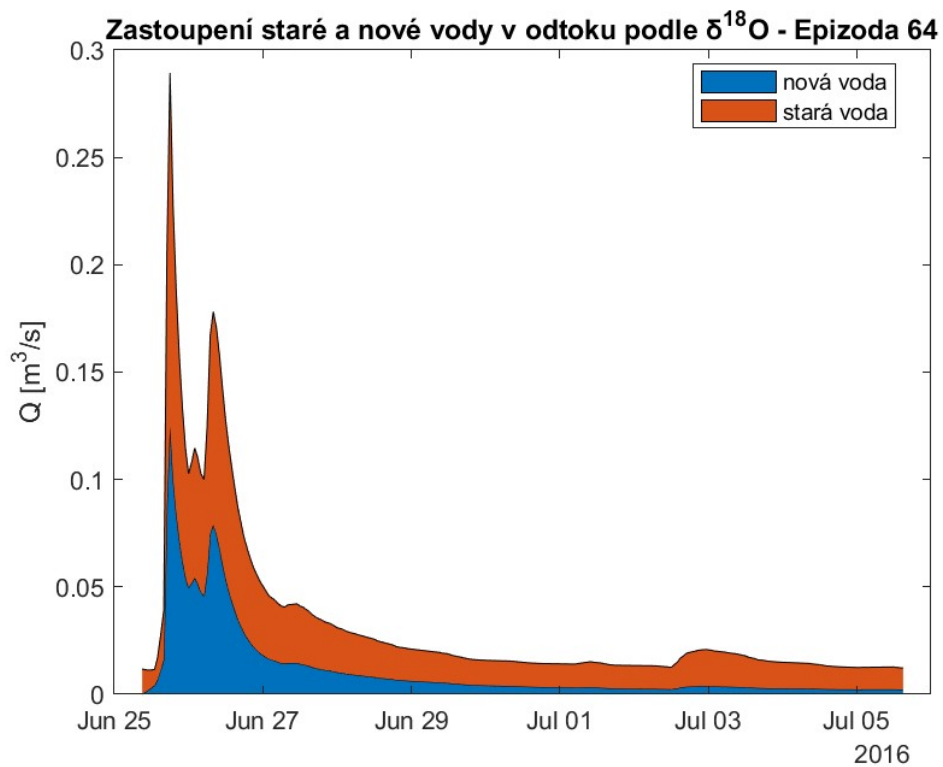
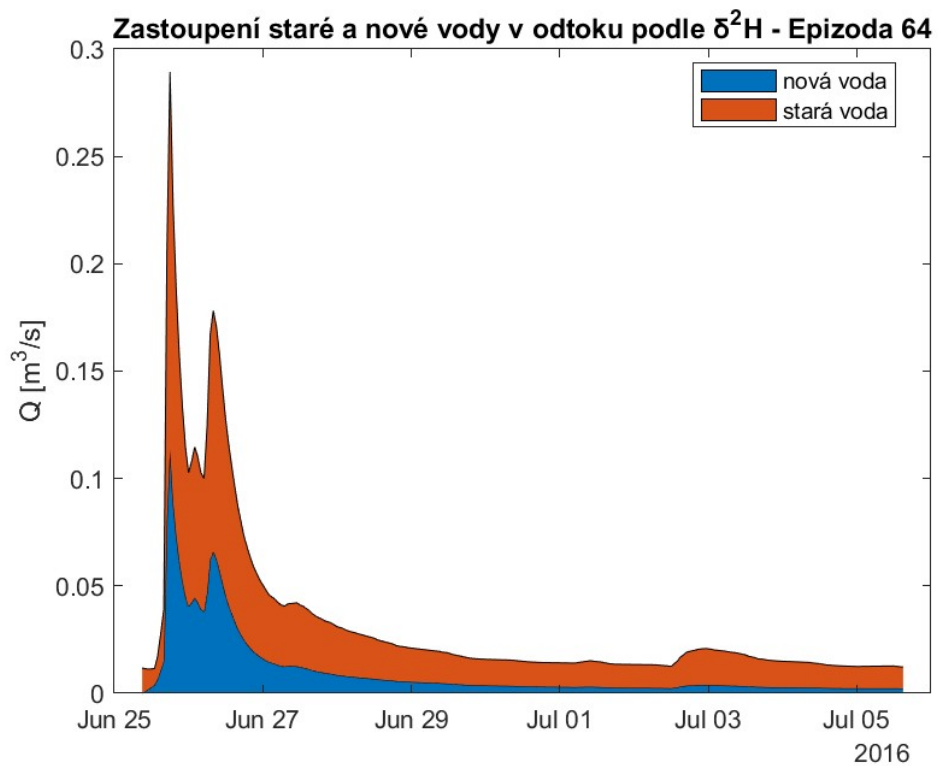
11.31.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 62



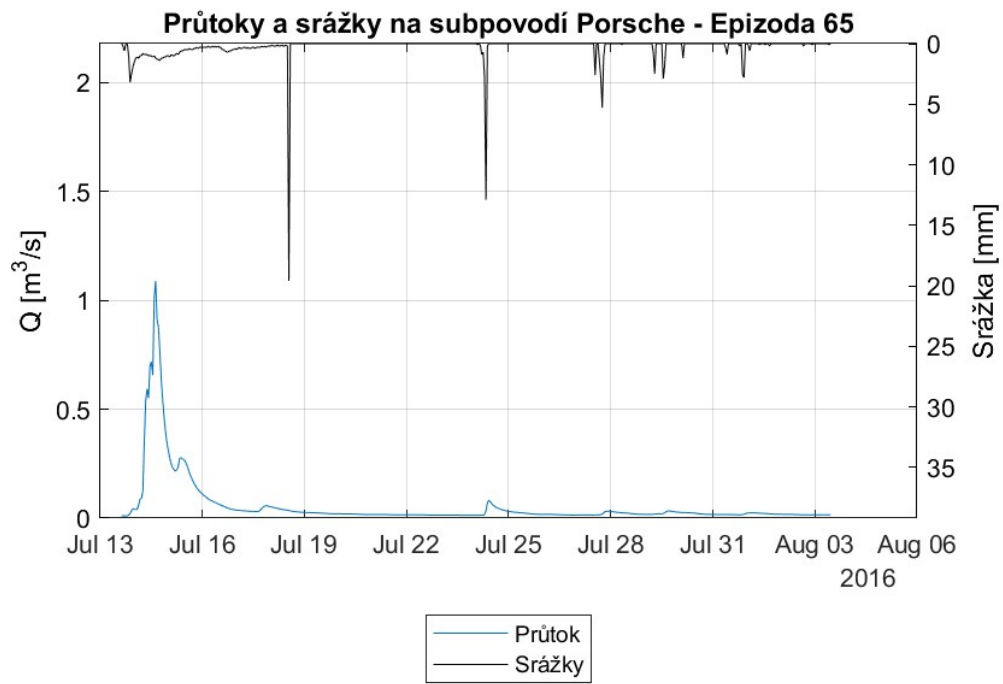
11.31.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 62



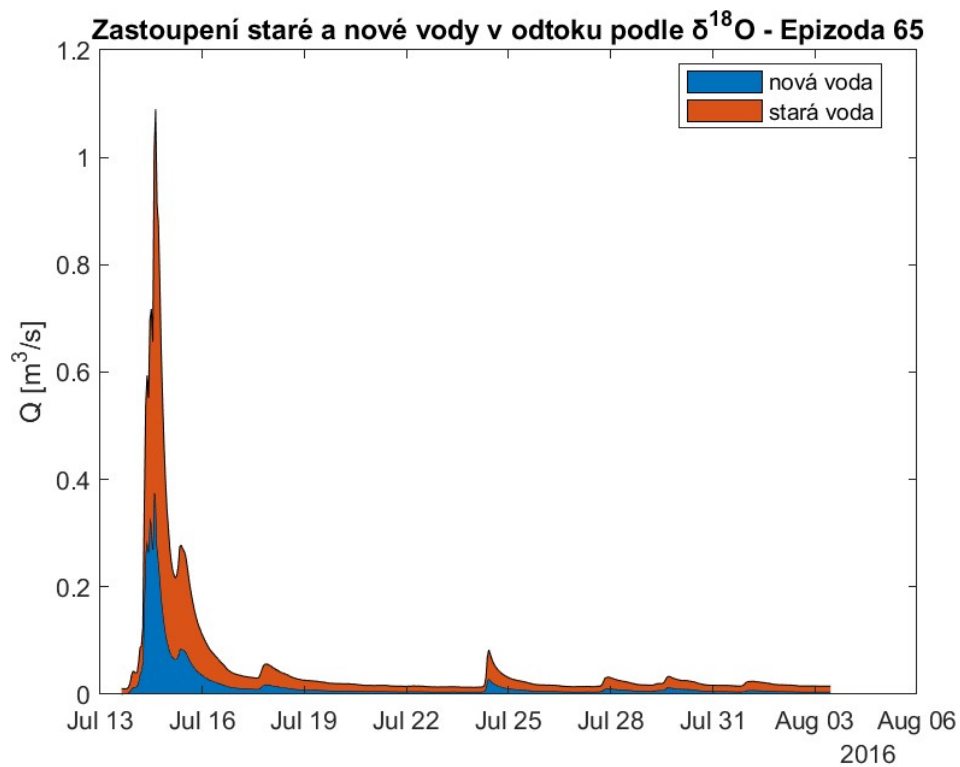
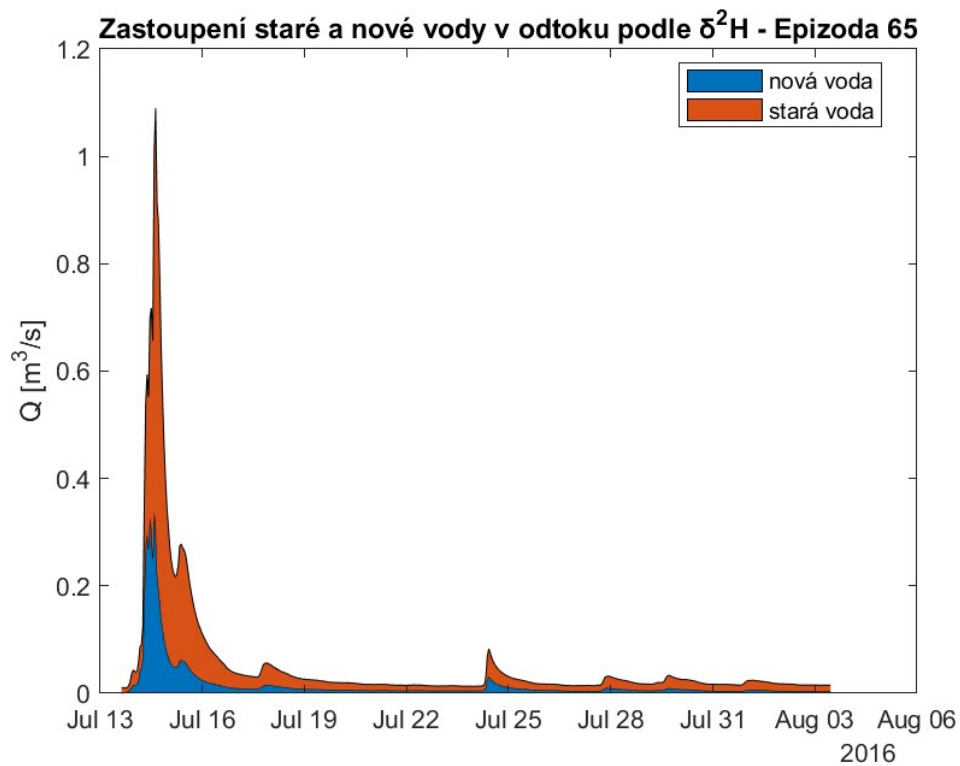
11.32.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 64



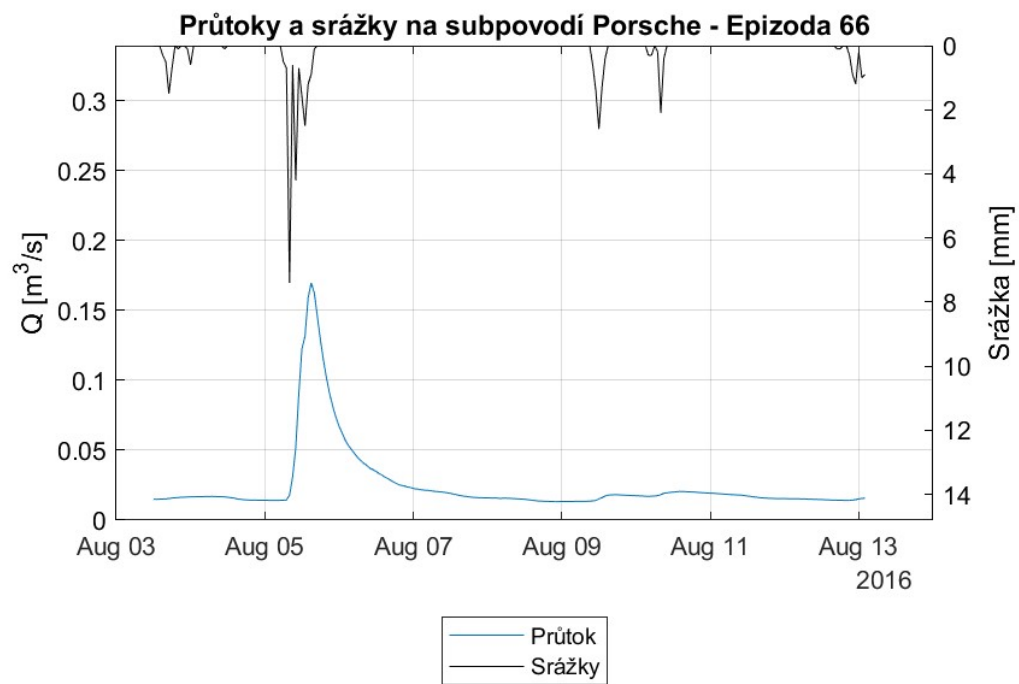
11.32.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 64



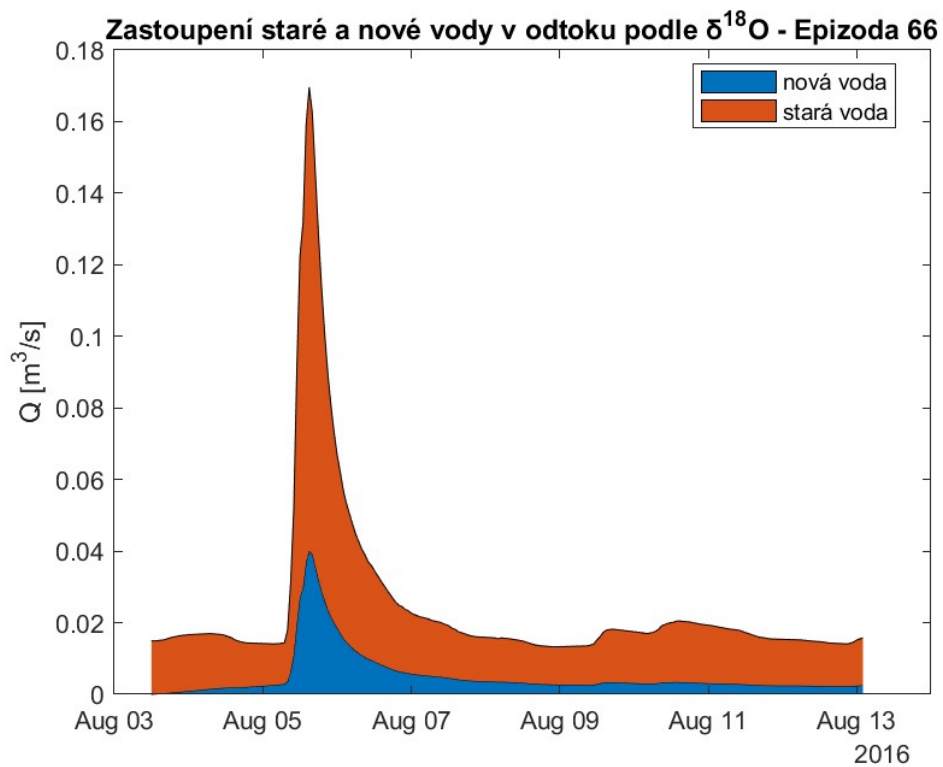
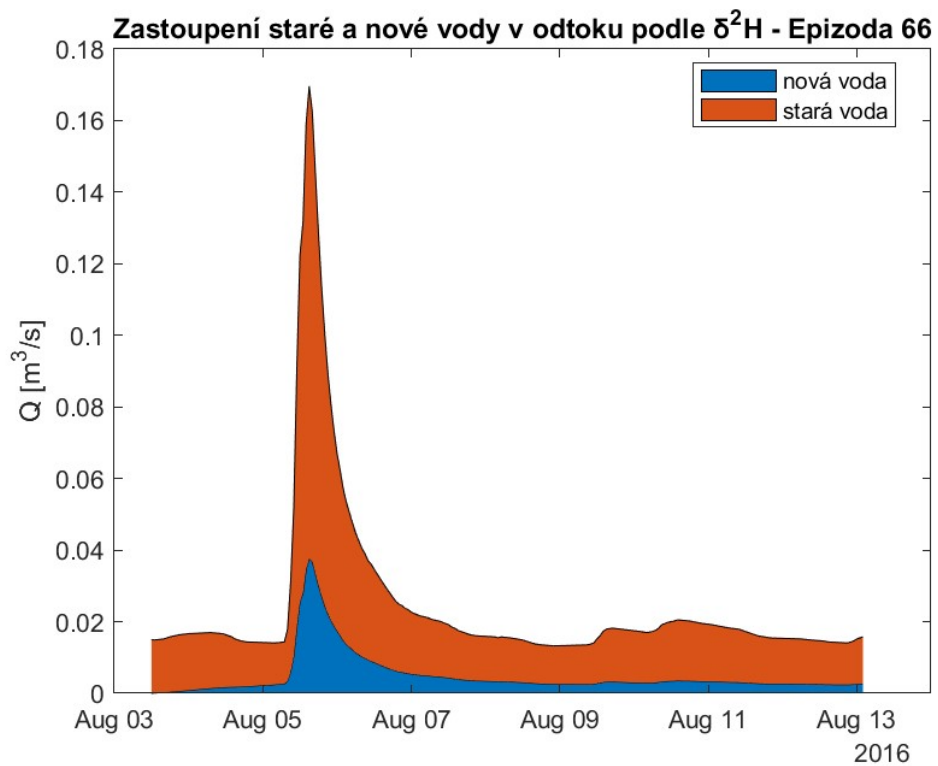
11.33.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 65



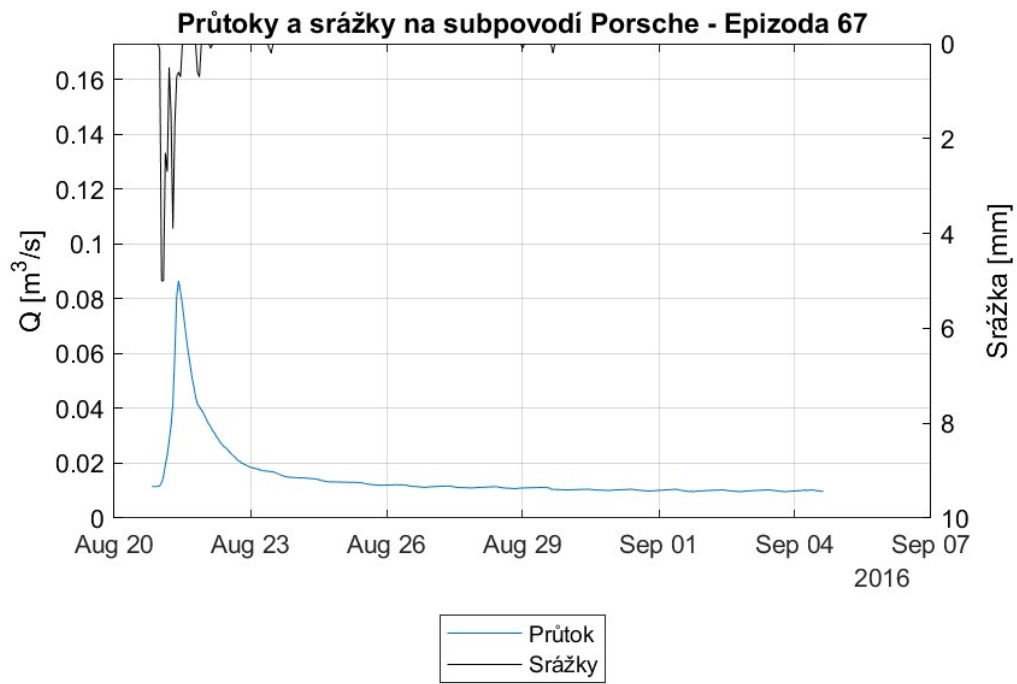
11.33.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 65



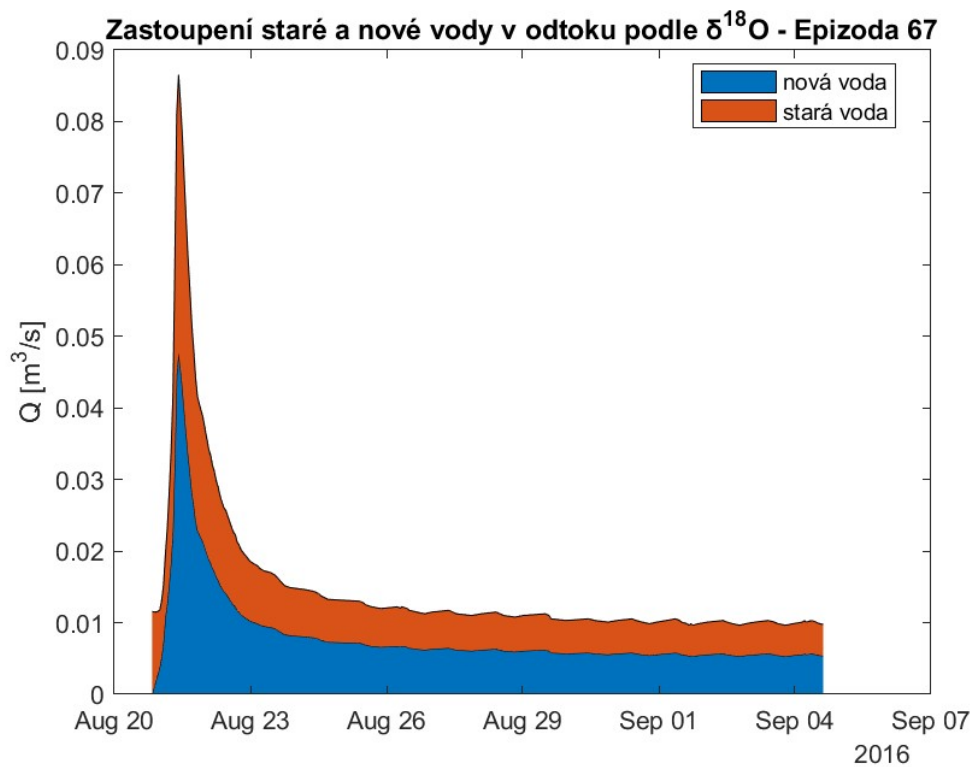
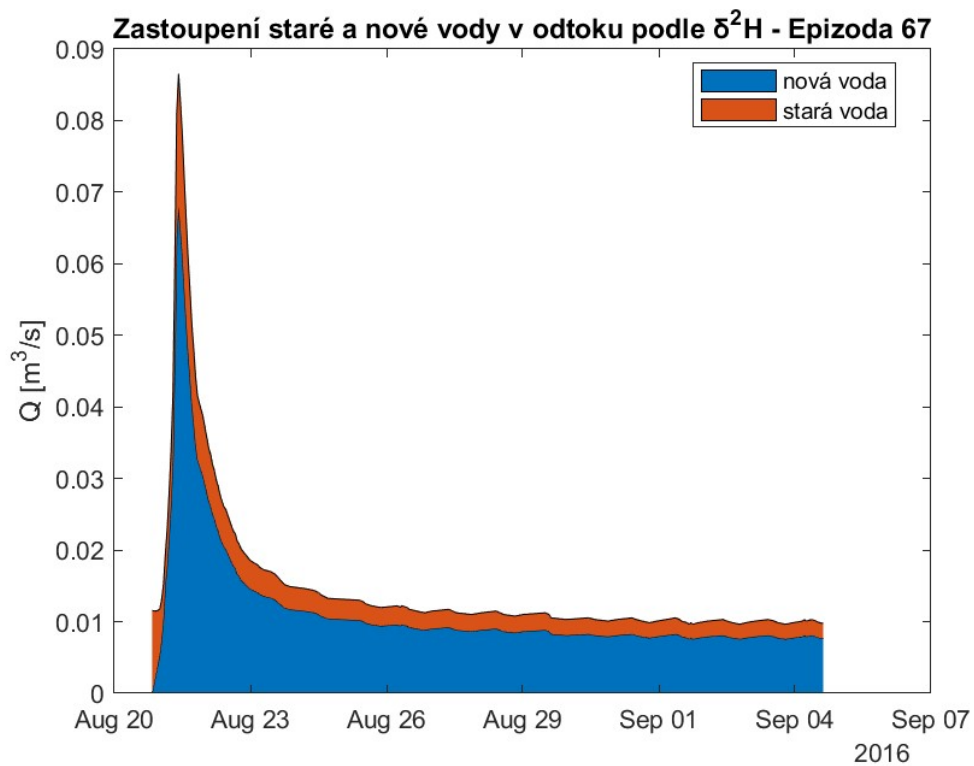
11.34.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 66



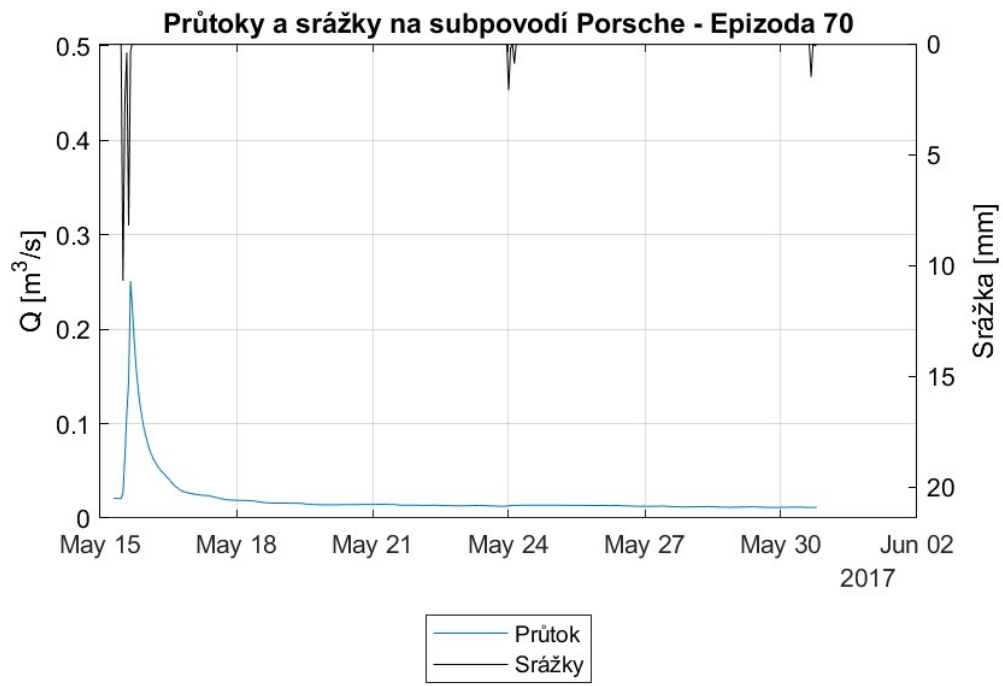
11.34.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 66



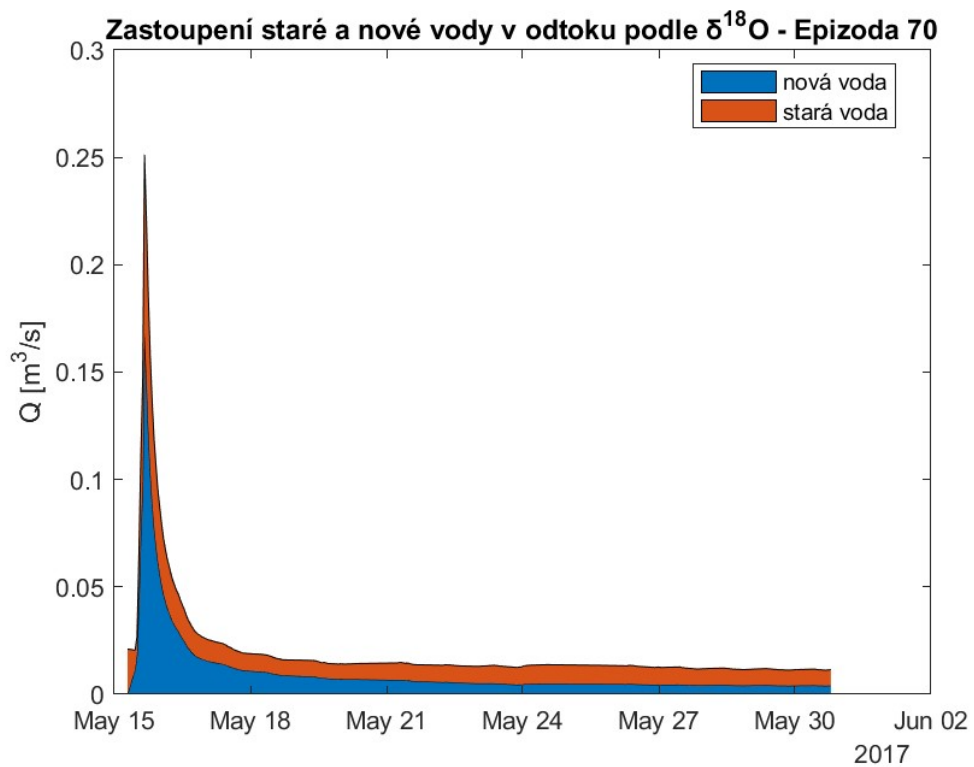
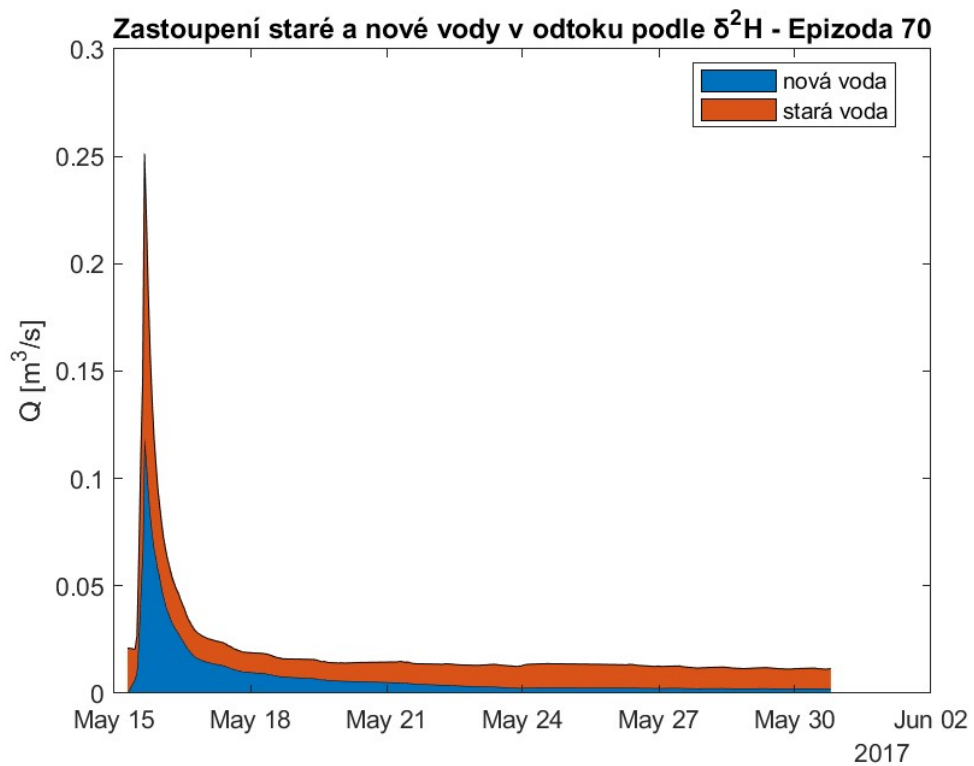
11.35.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 67



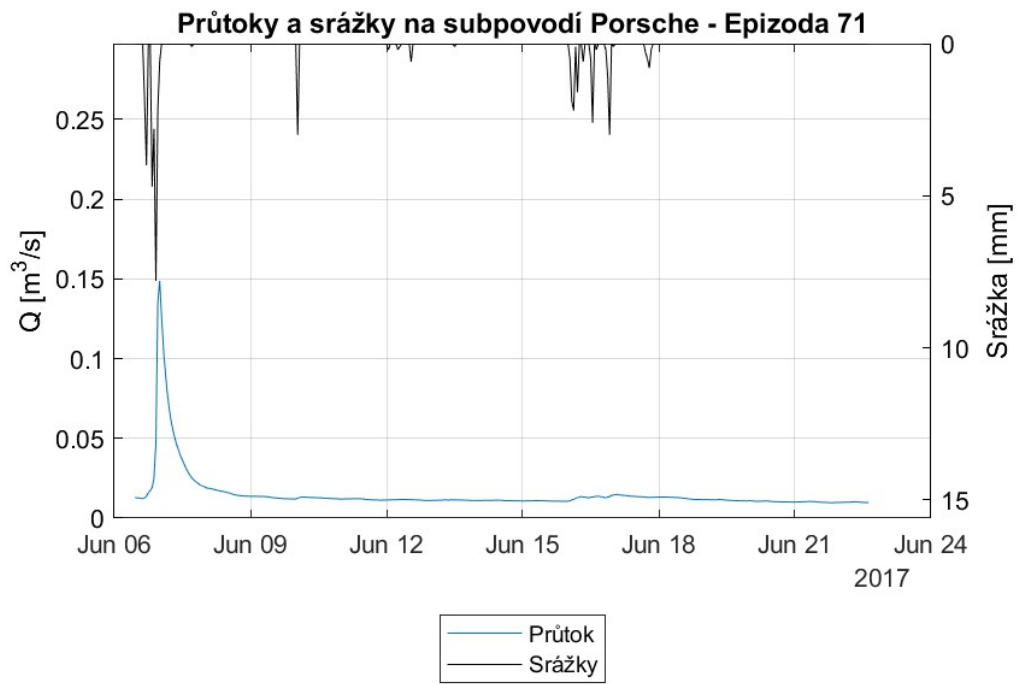
11.35.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 67



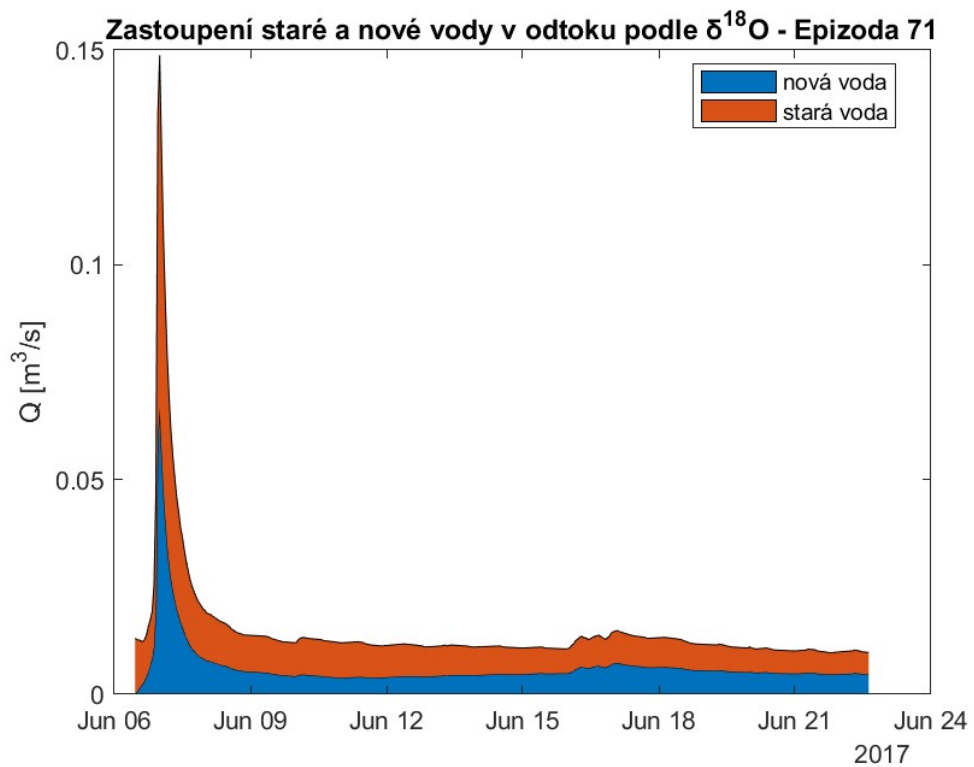
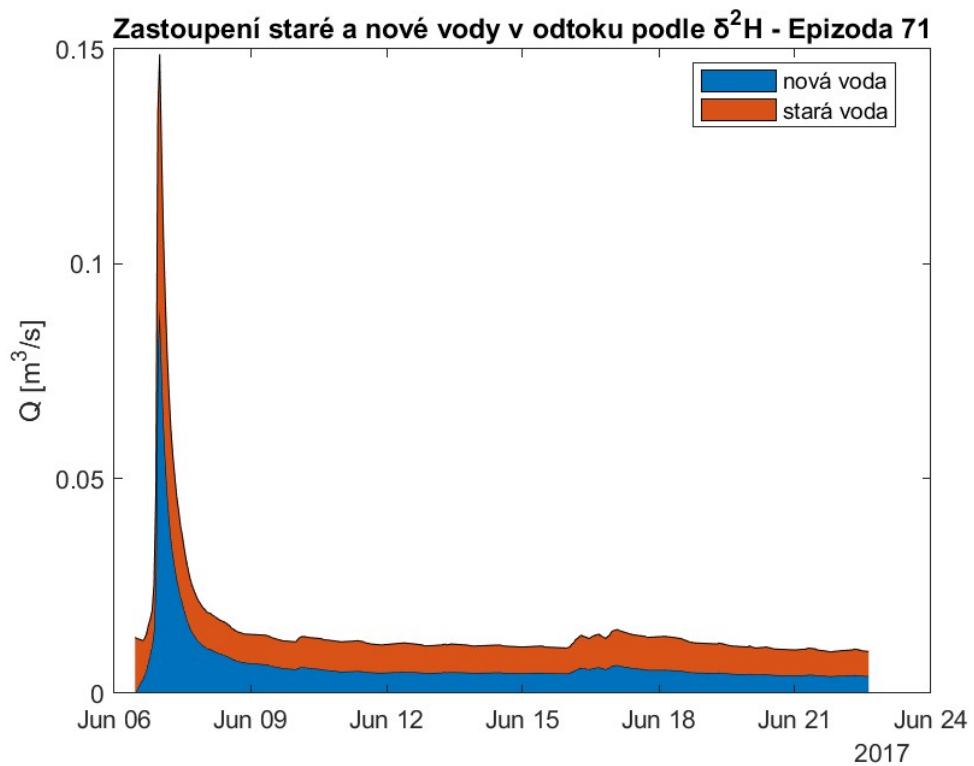
11.36.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 70



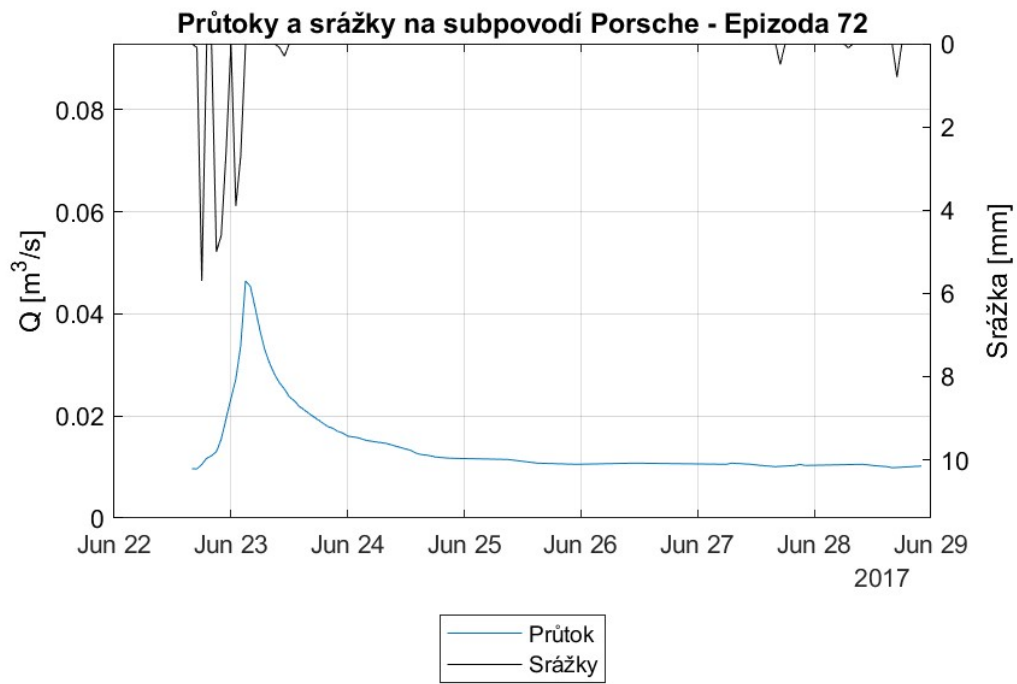
11.36.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 70



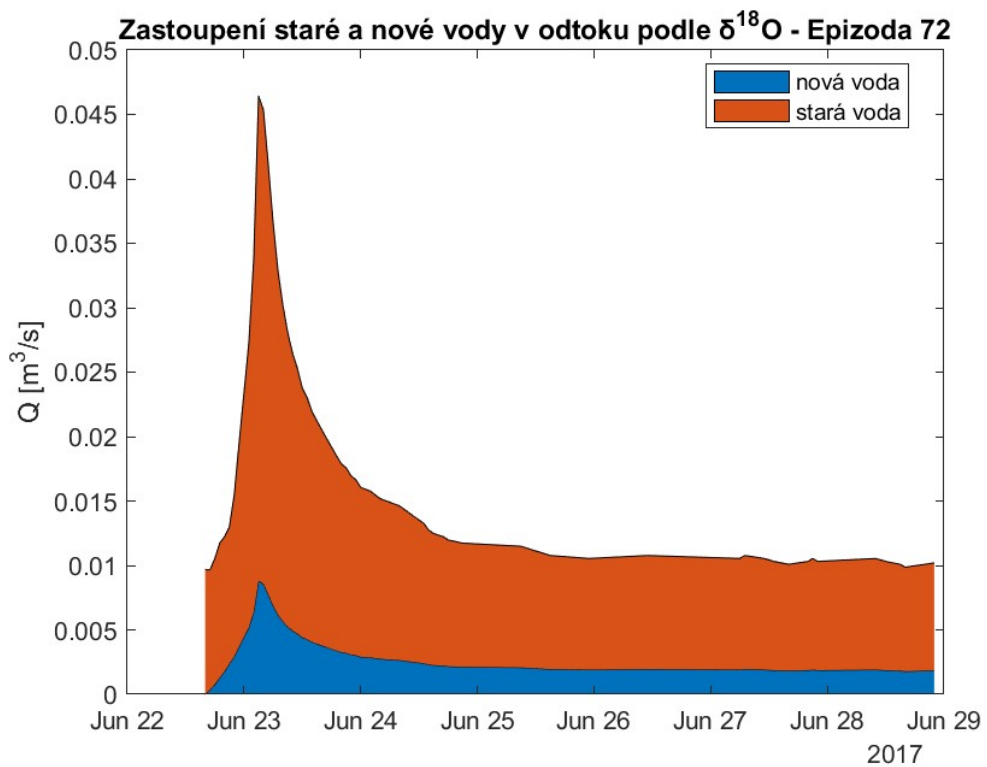
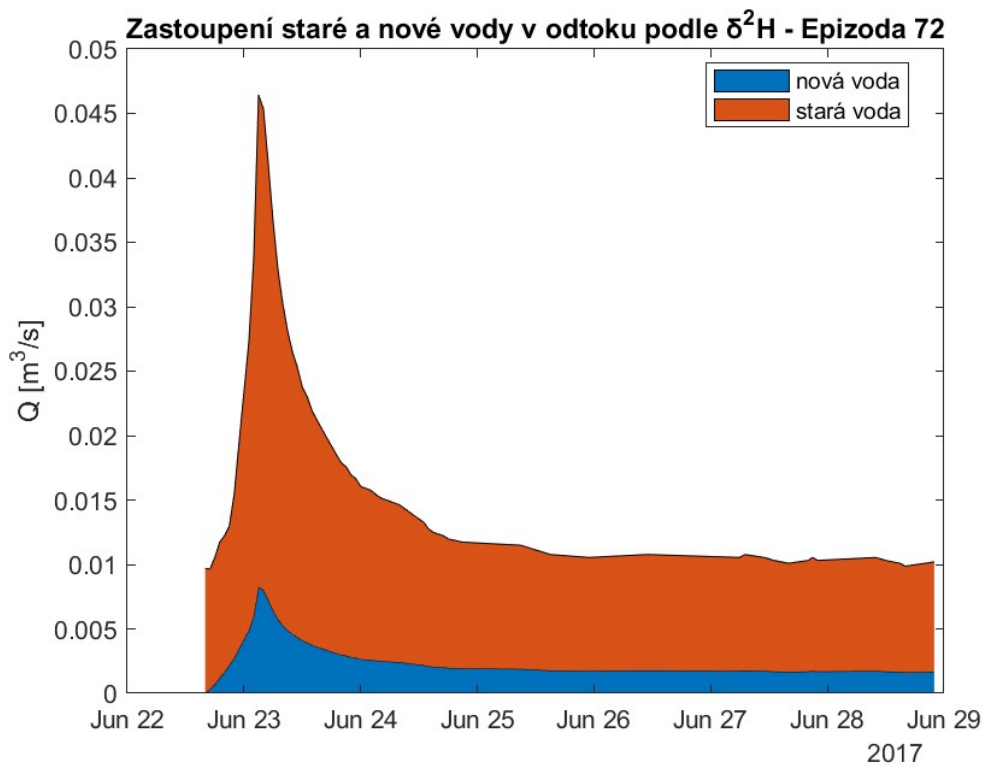
11.37.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 71



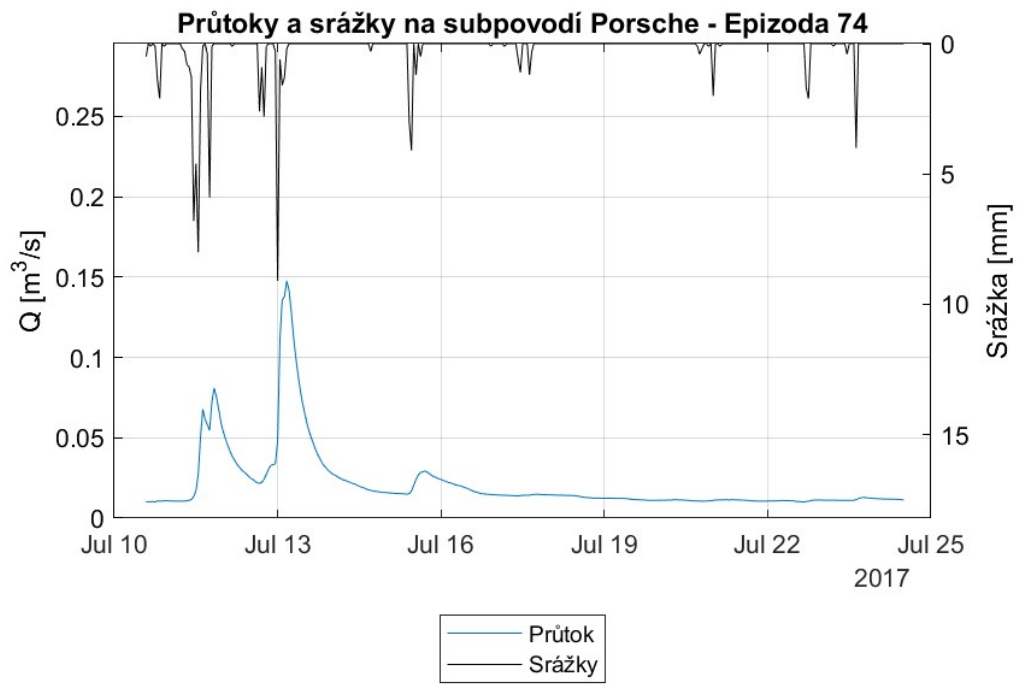
11.37.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 71



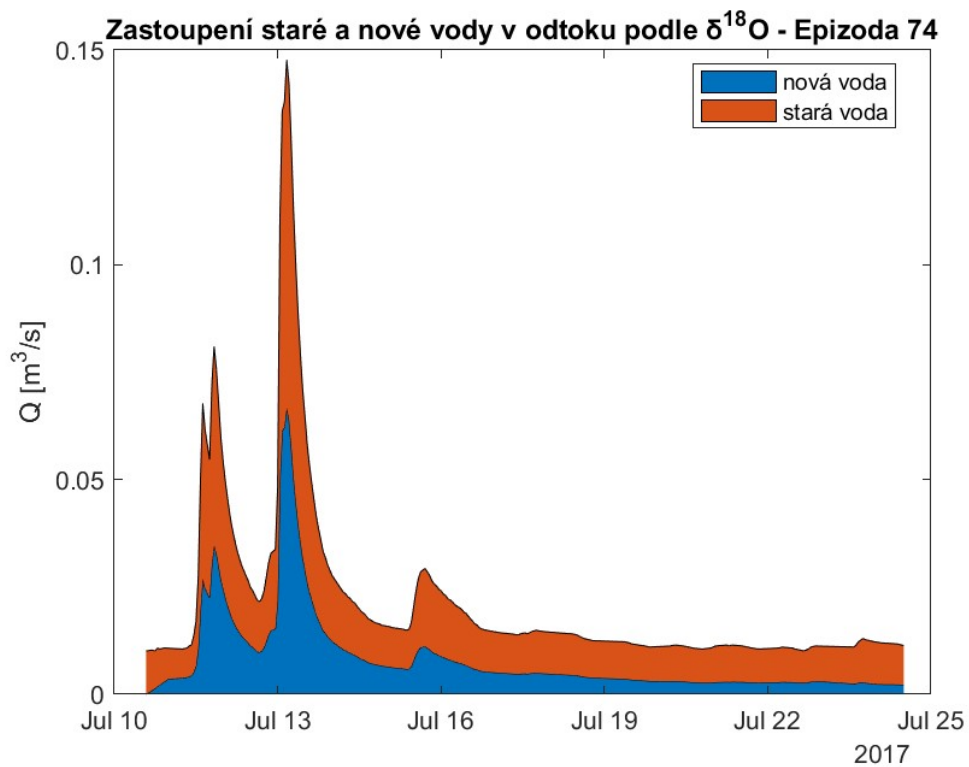
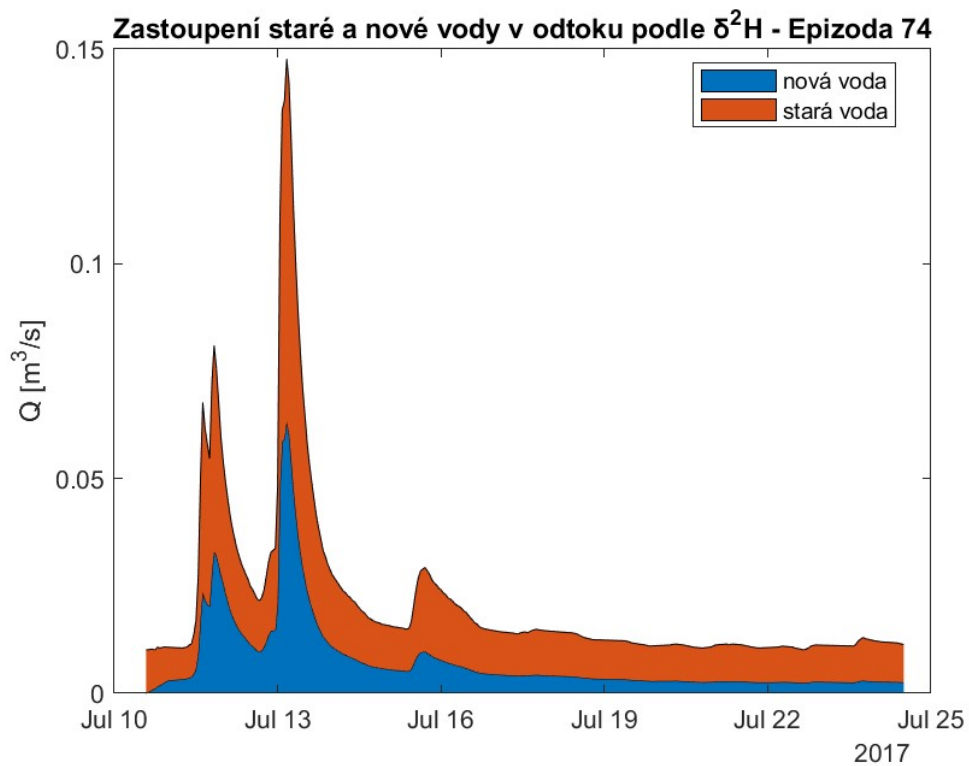
11.38.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 72



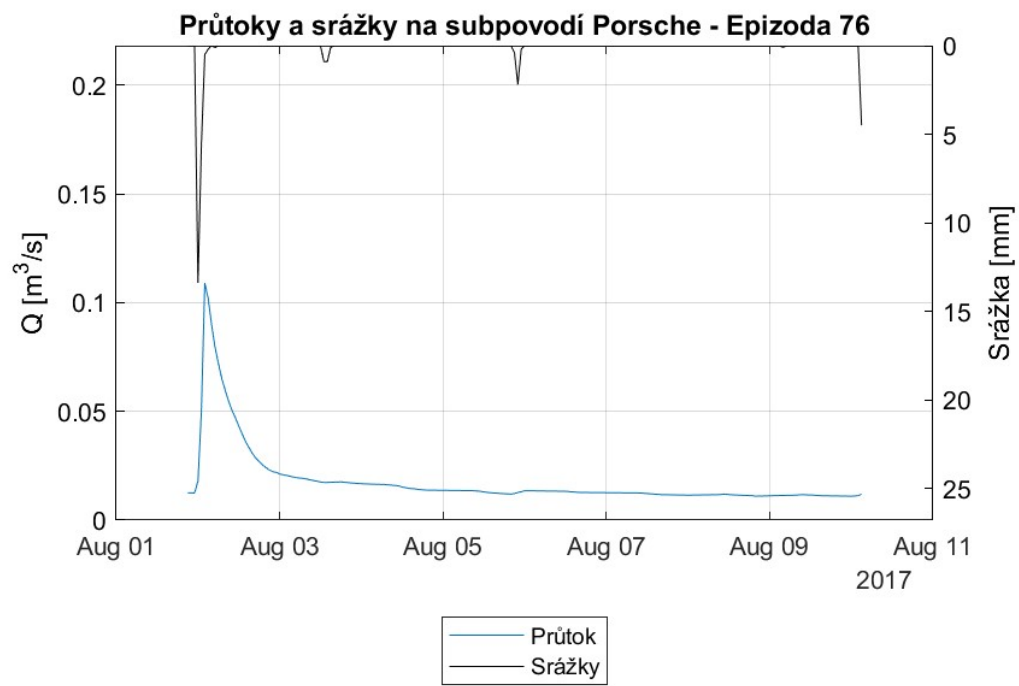
11.38.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 72



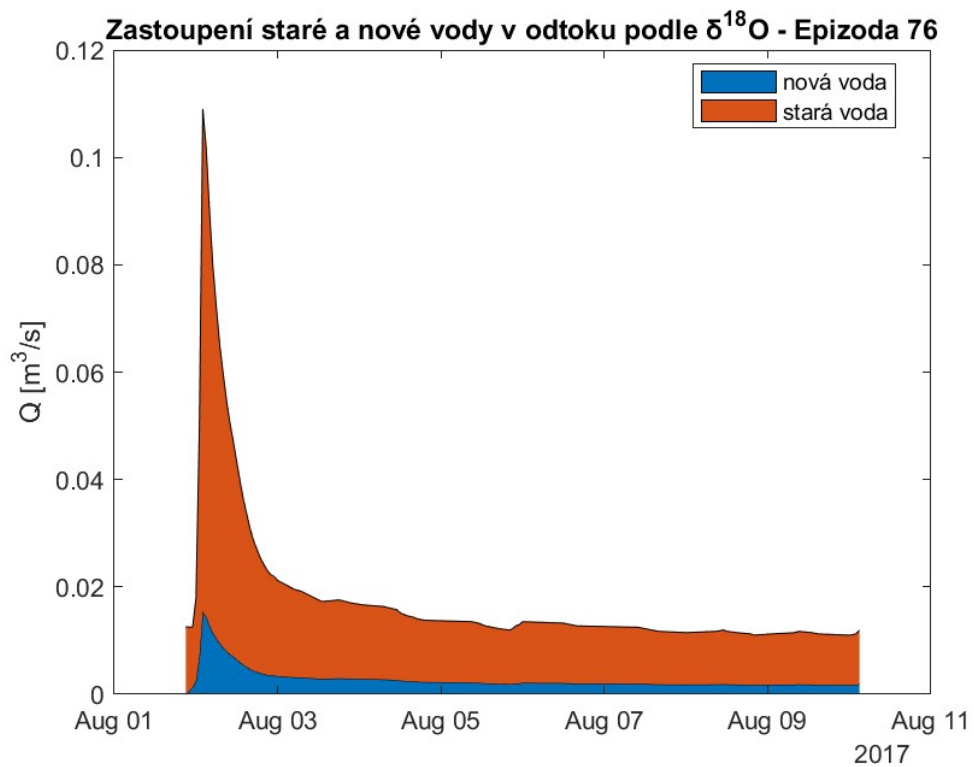
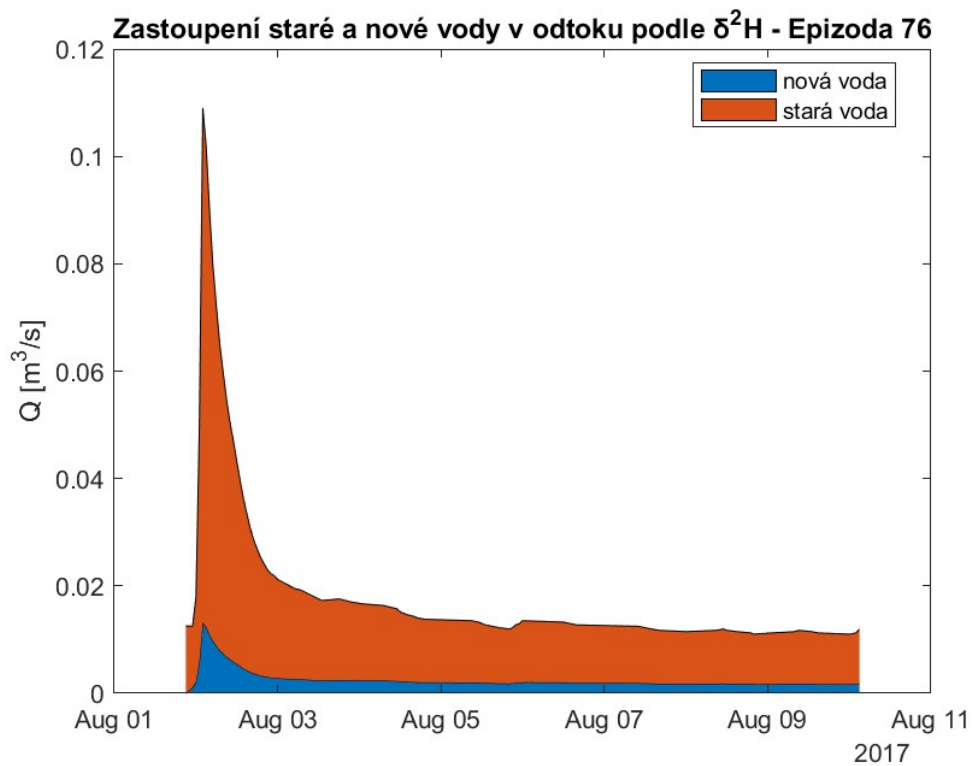
11.39.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 74



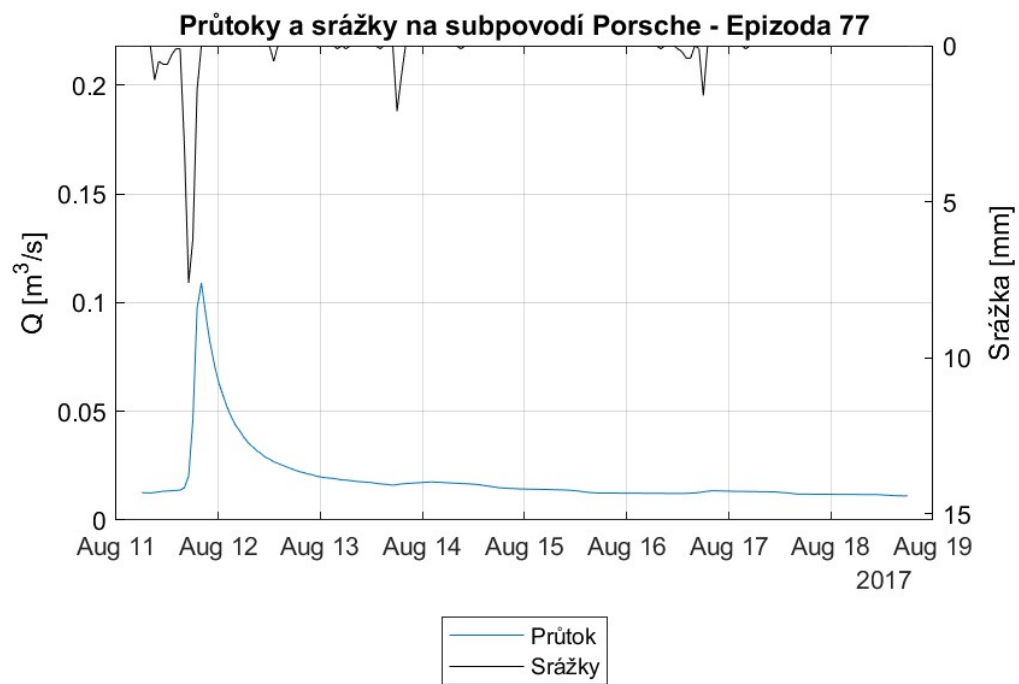
11.39.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 74



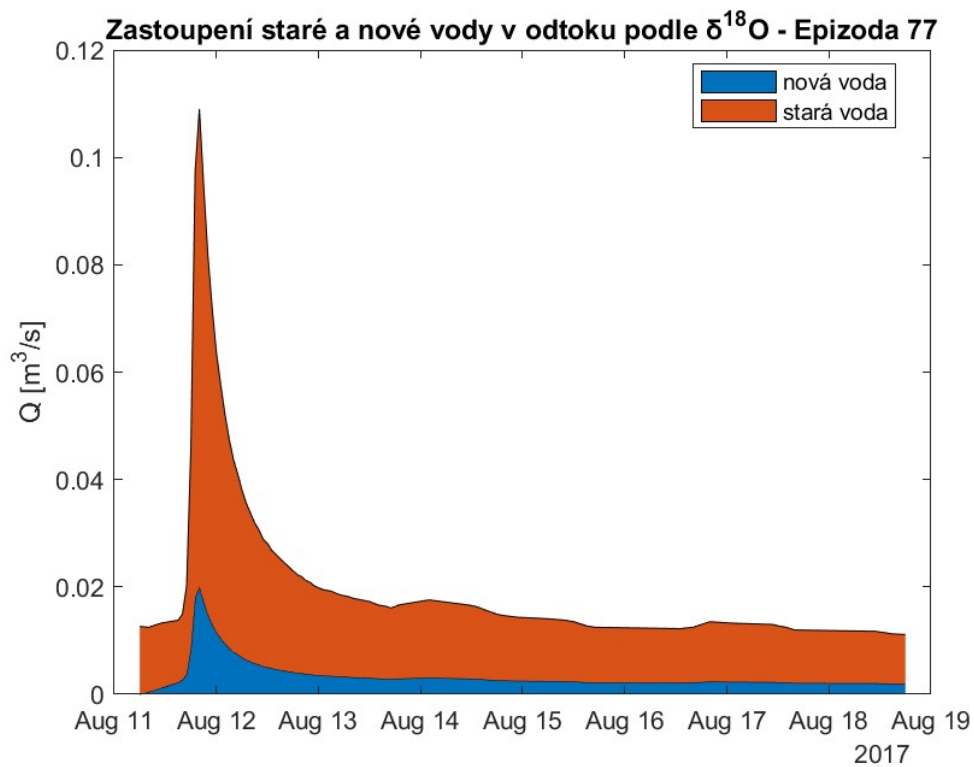
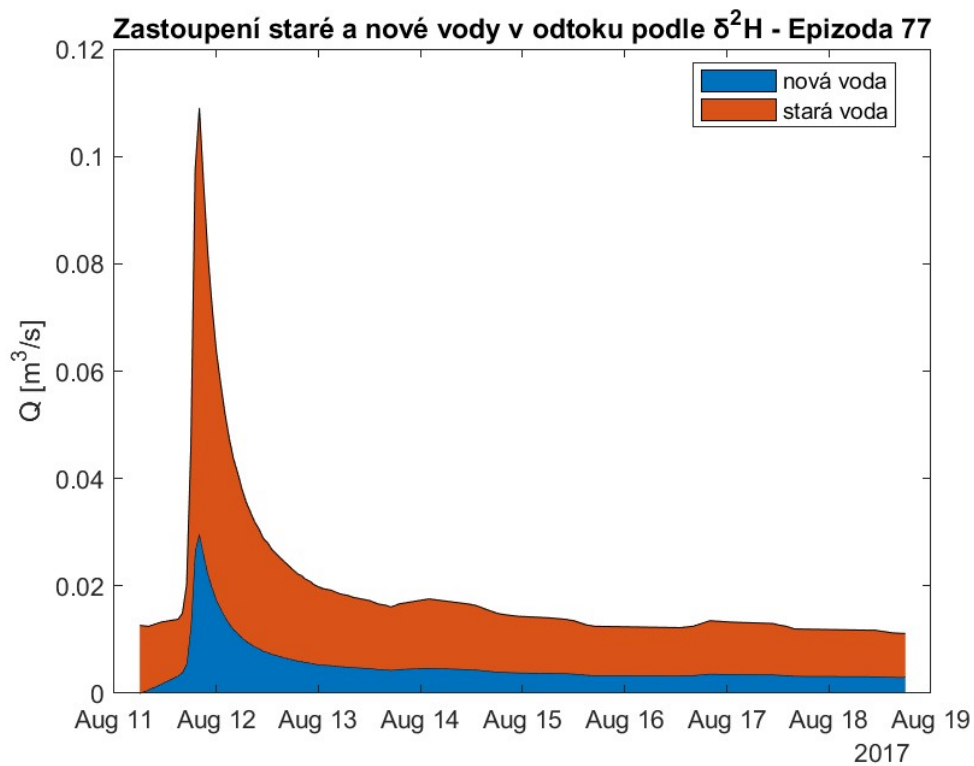
11.40.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 76



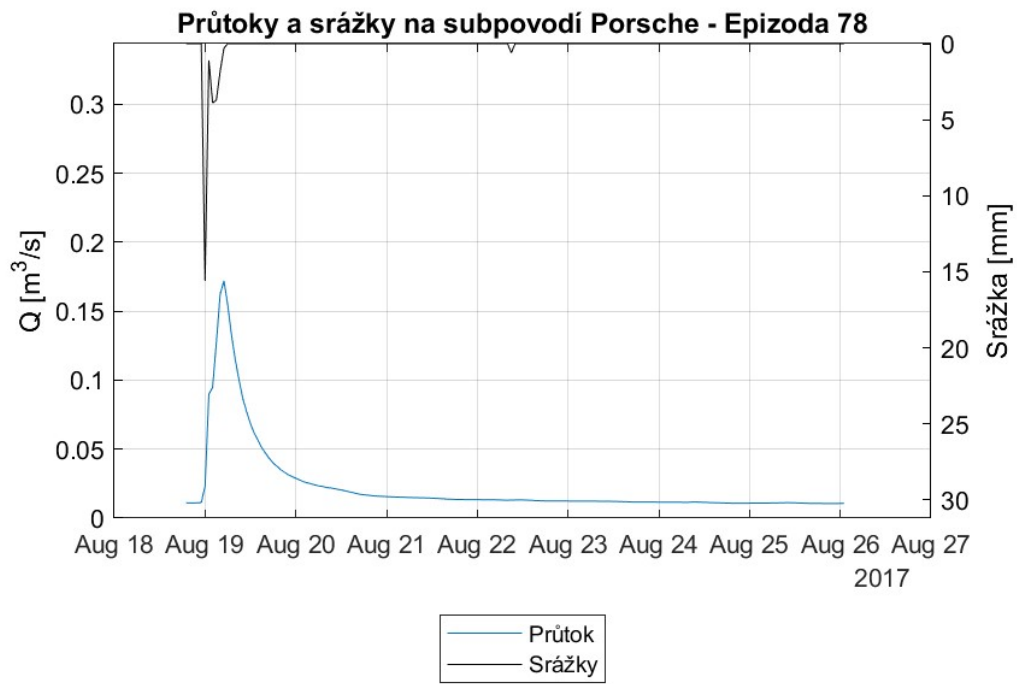
11.40.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 76



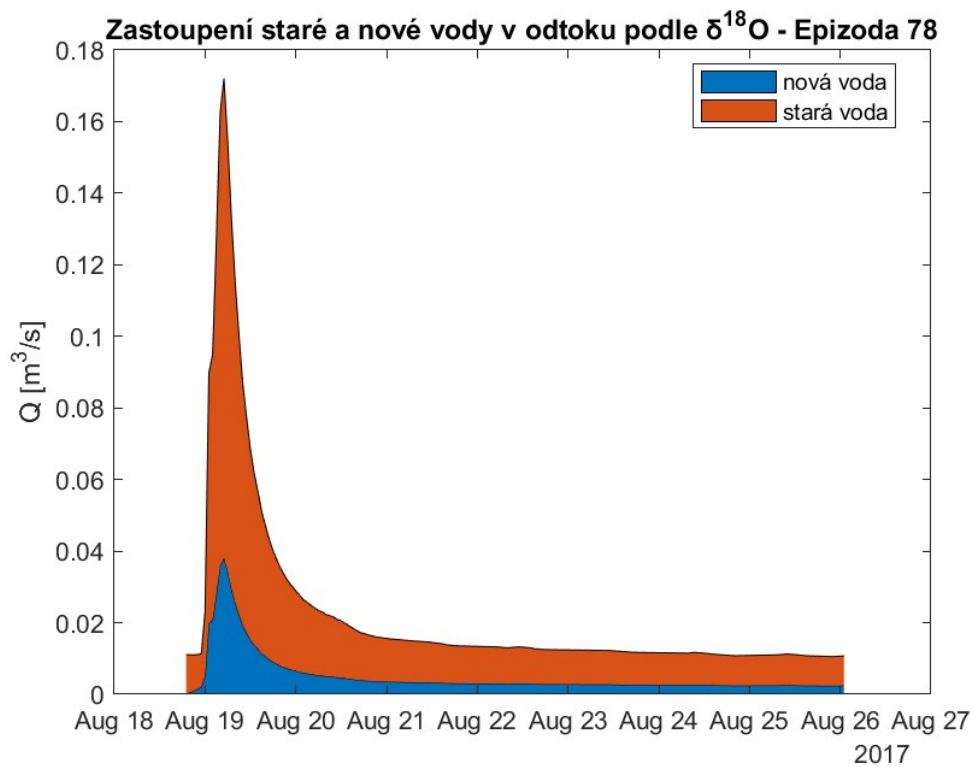
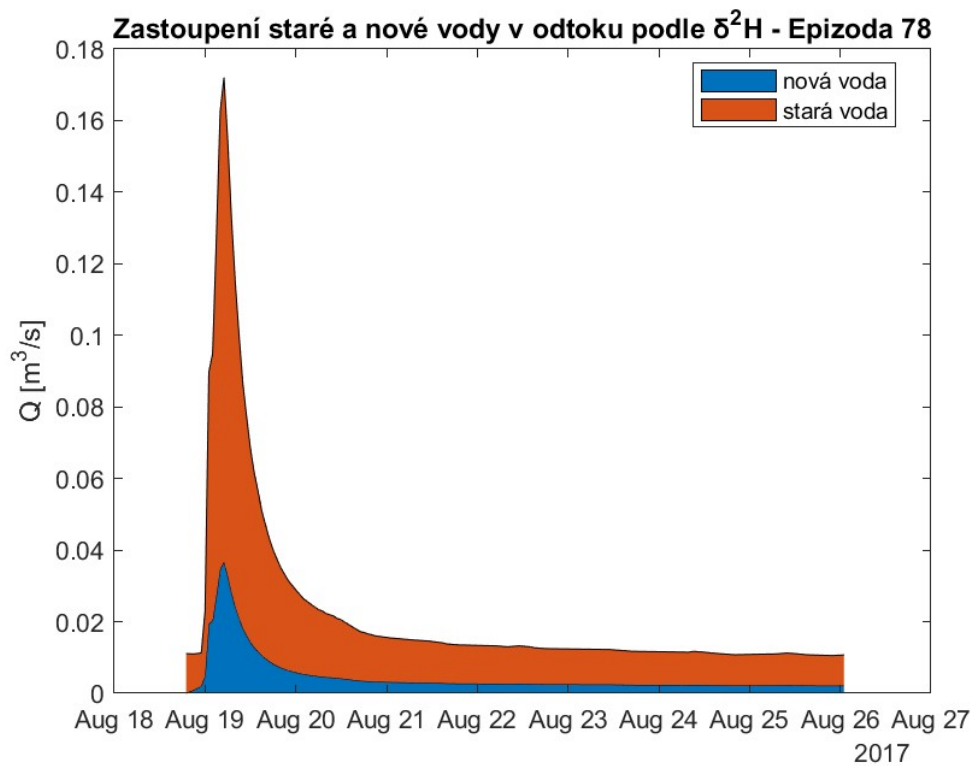
11.41.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 77



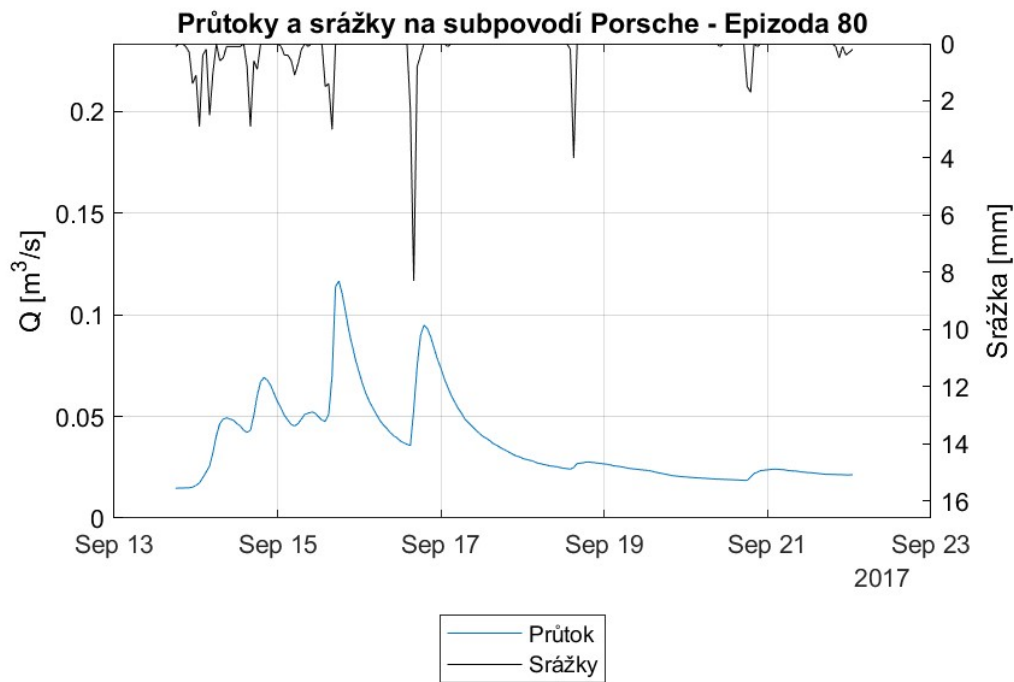
11.41.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 77



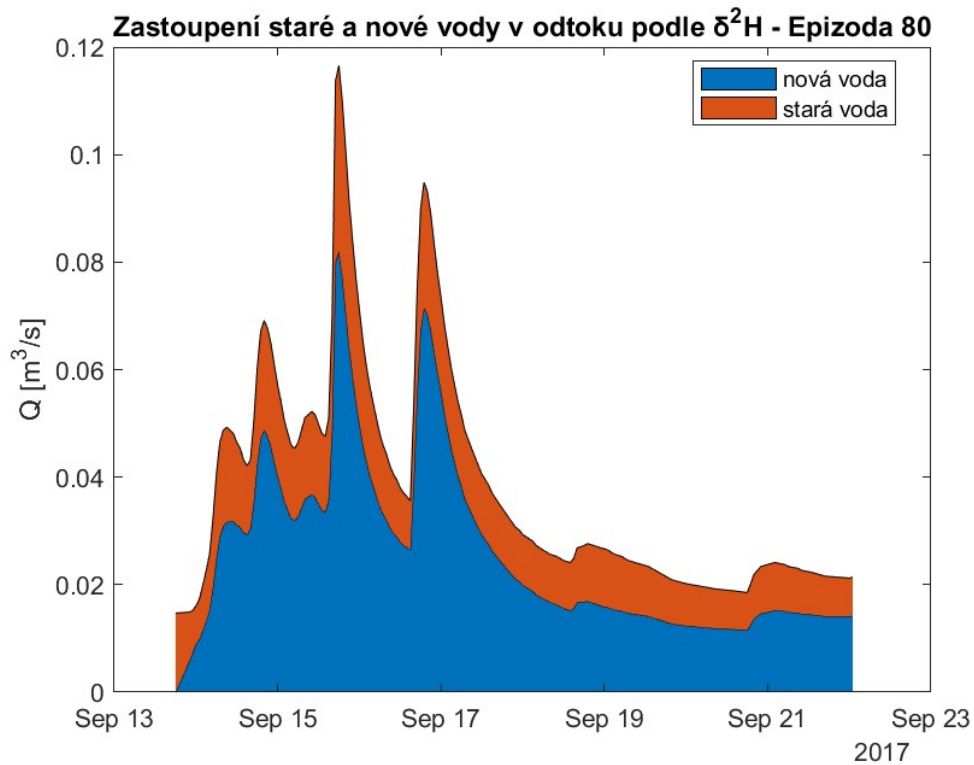
11.42.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 78



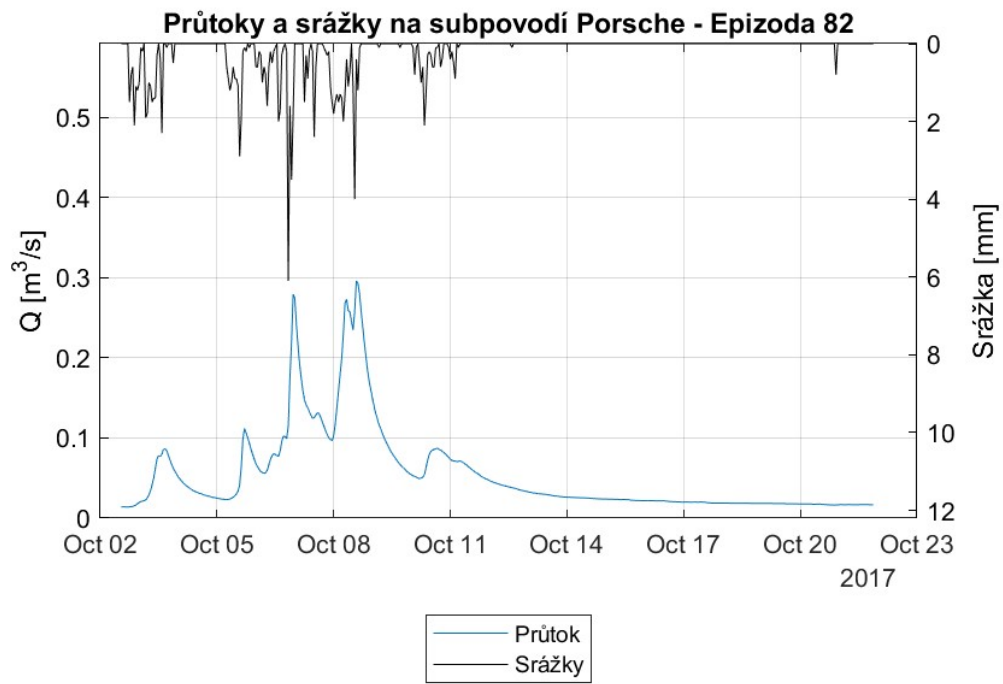
11.42.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 78



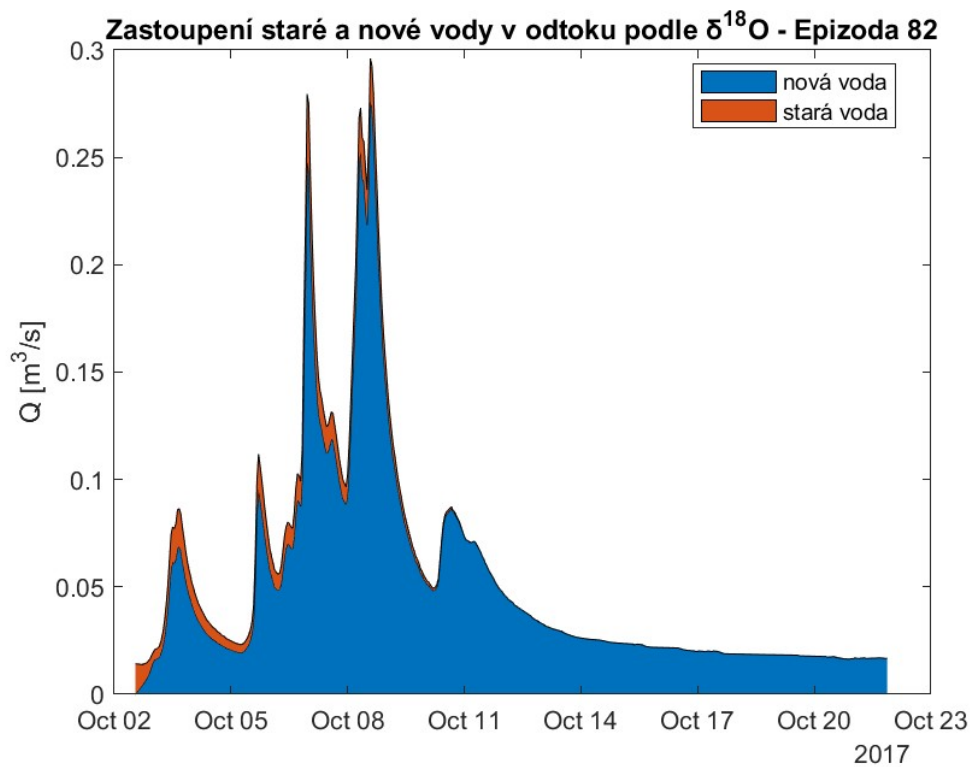
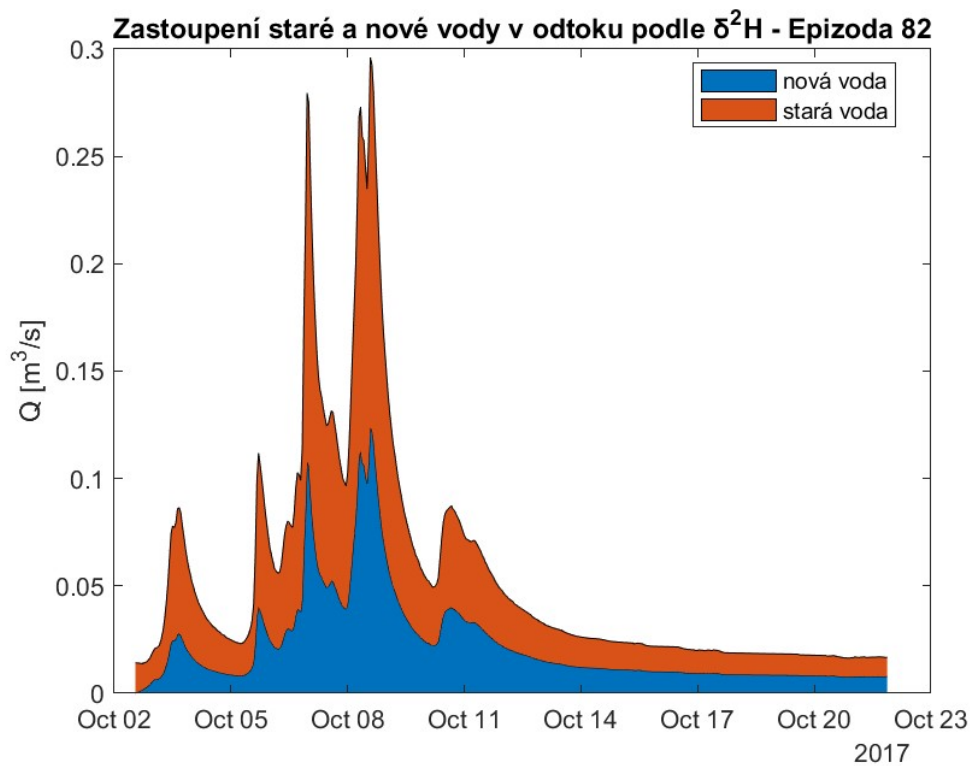
11.43.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 80



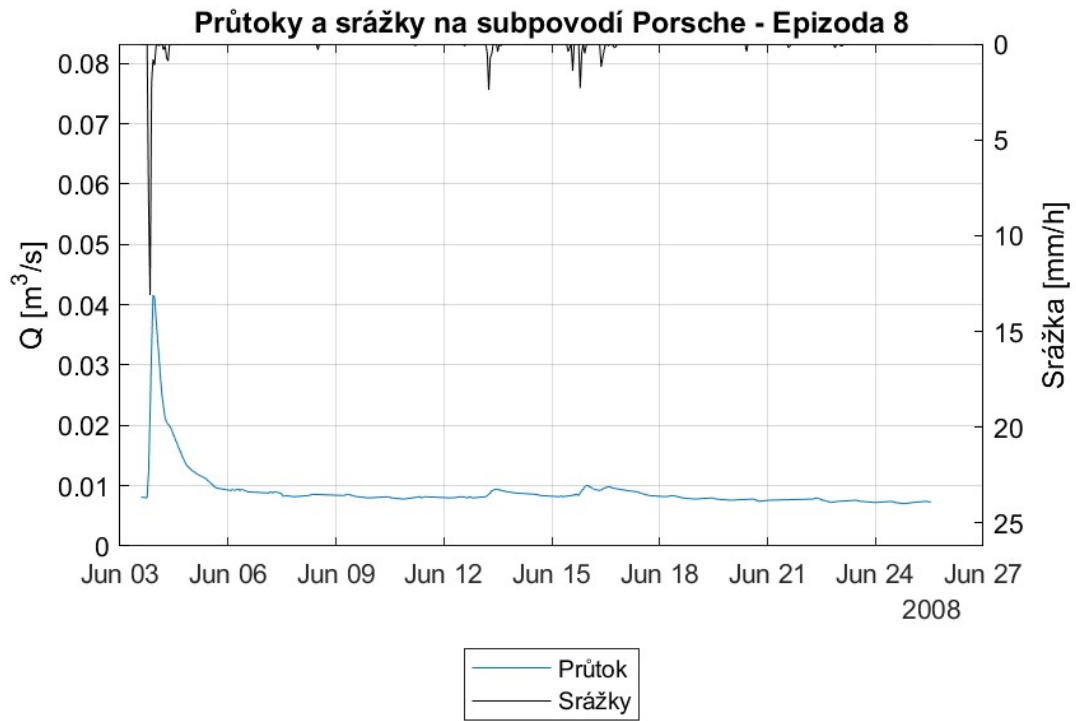
11.43.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ – Epizoda 6



11.44.1 – Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 82

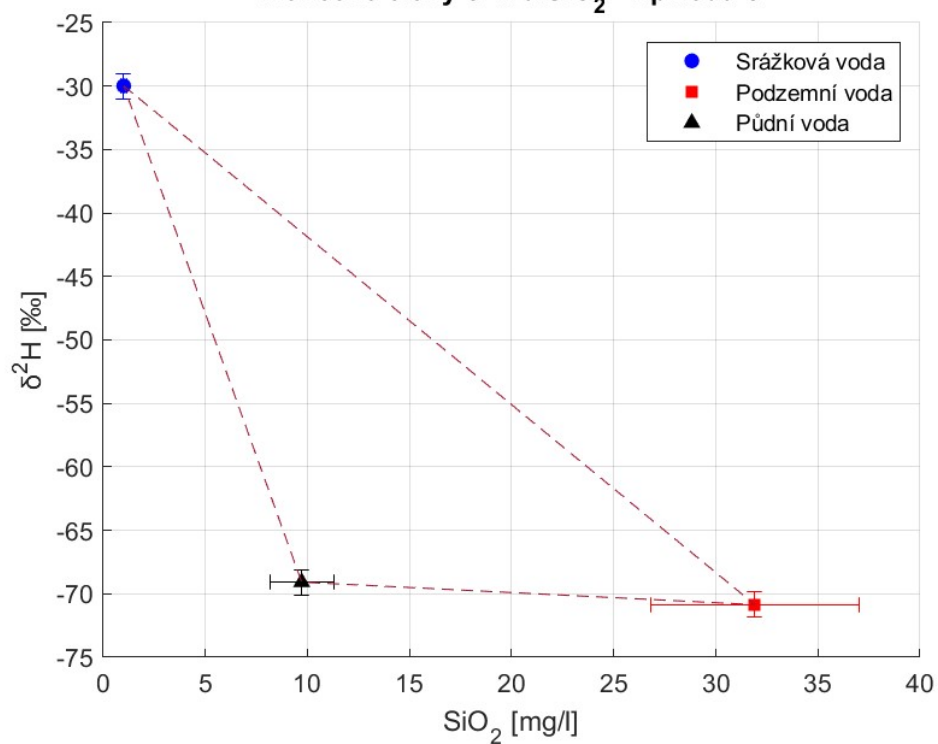


11.44.2 - Zastoupení srážkové a nové vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole) – Epizoda 82

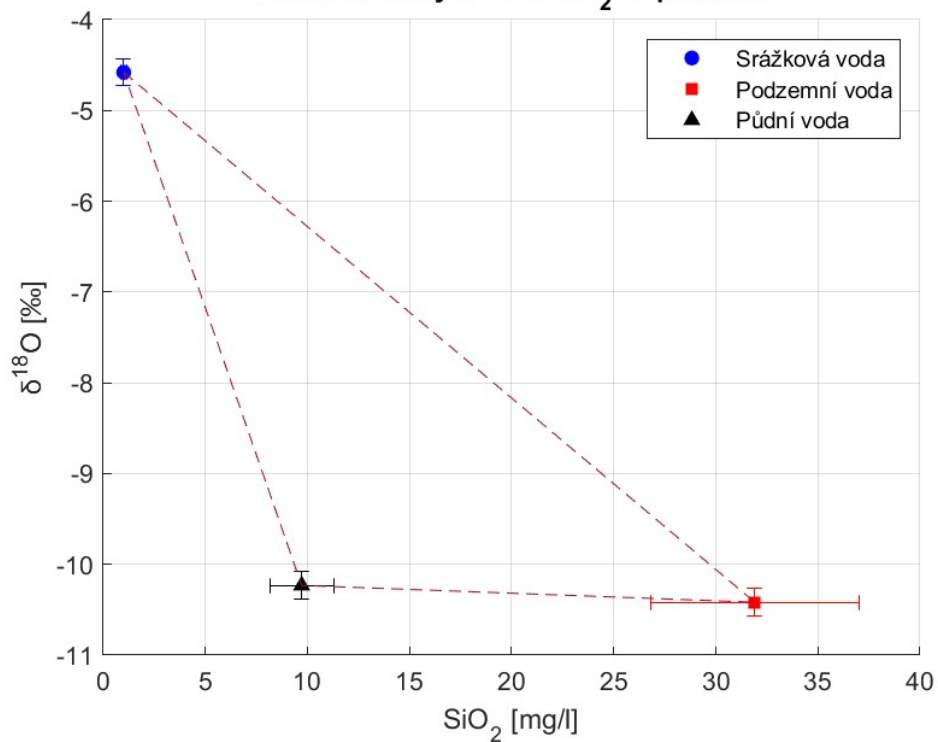


11.45.1 - Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 8

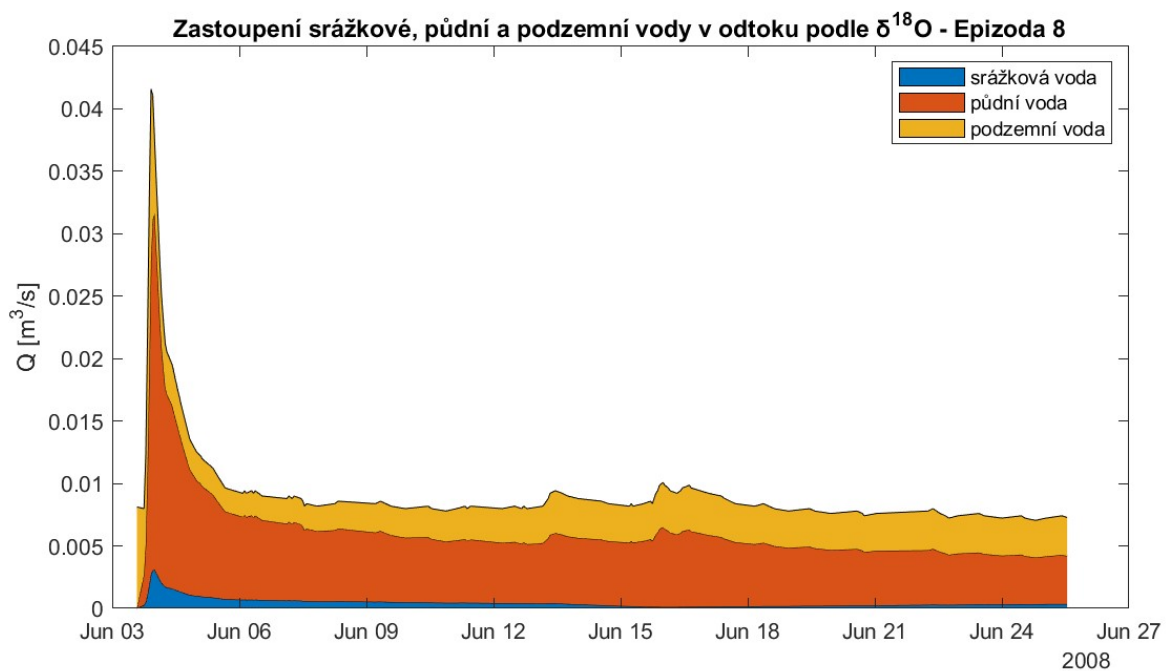
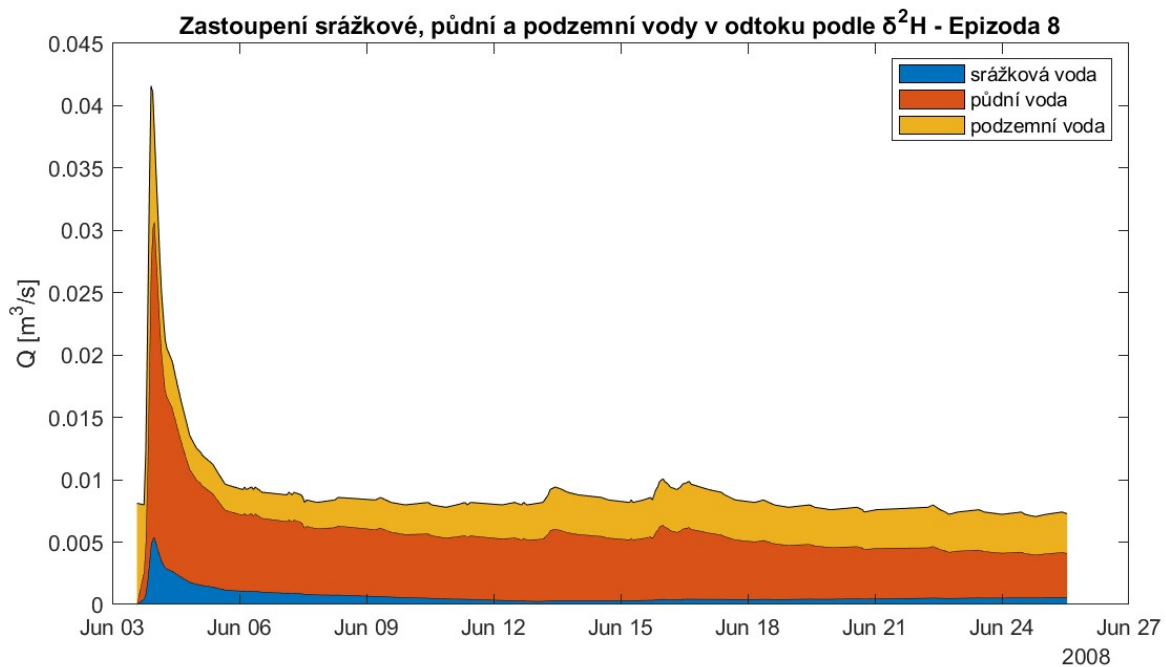
Koncové členy $\delta^2\text{H}$ a SiO_2 - Epizoda 8



Koncové členy $\delta^{18}\text{O}$ a SiO_2 - Epizoda 8

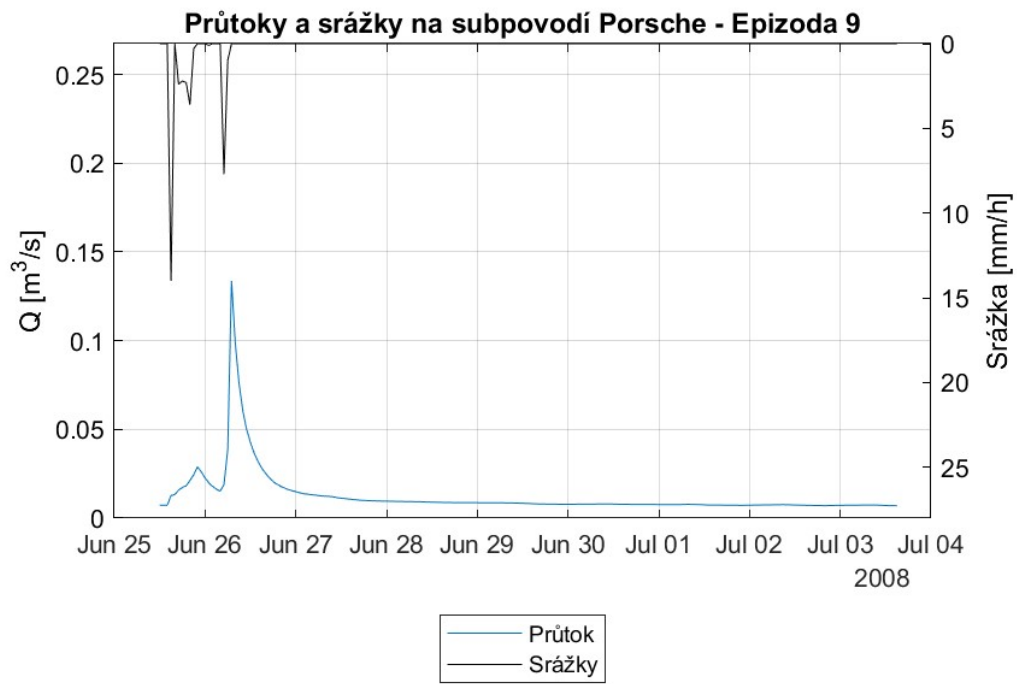


11.45.2 – Koncové členy $\delta^2\text{H}$ (nahore), $\delta^{18}\text{O}$ (dole) a SiO_2 – Epizoda 8



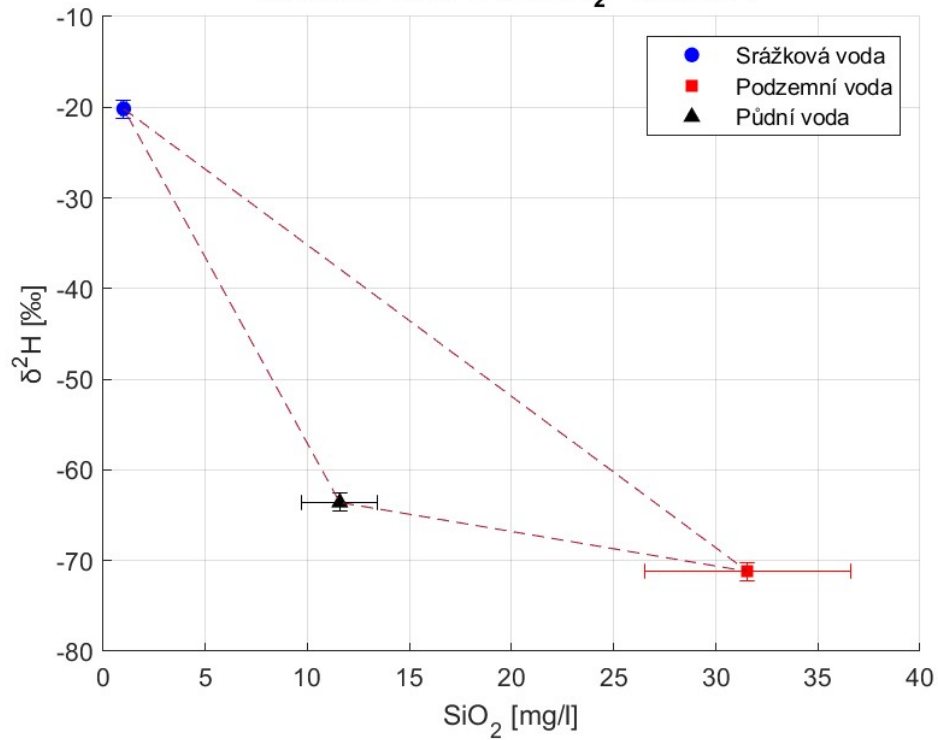
11.45.3 – Zastoupení srážkové, půdní a podzemní vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole)

– Epizoda 8

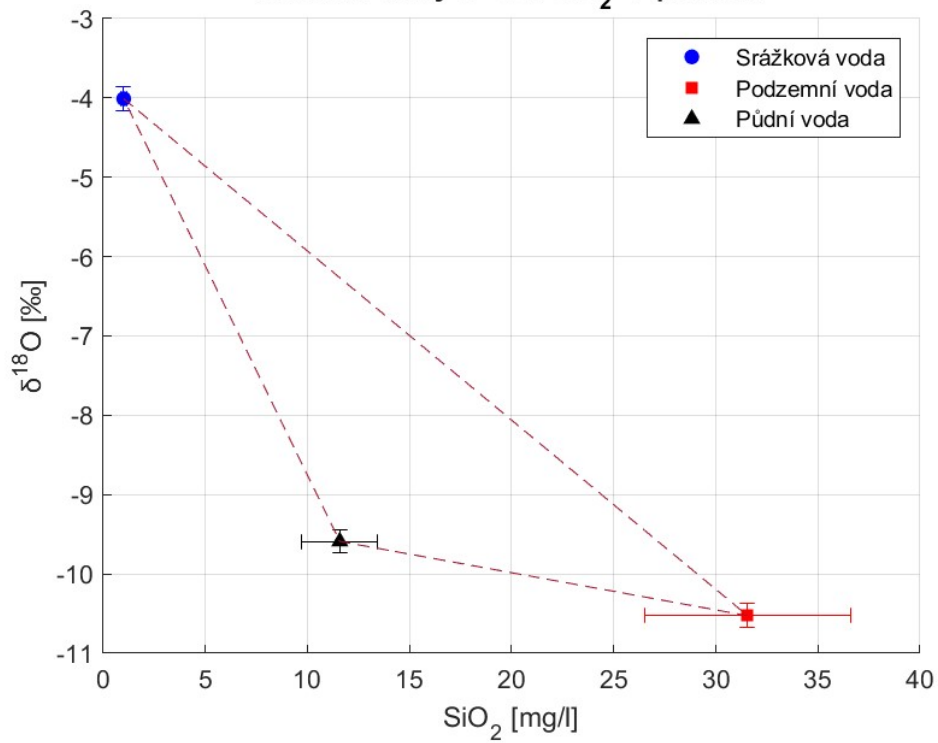


11.46.1 - Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 9

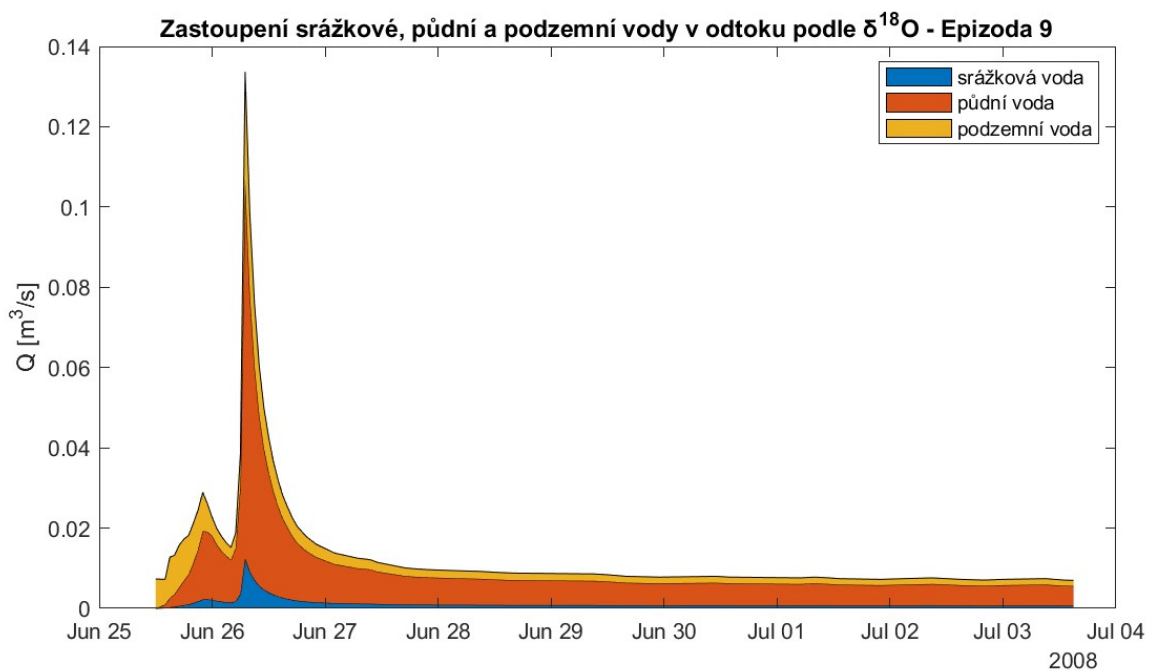
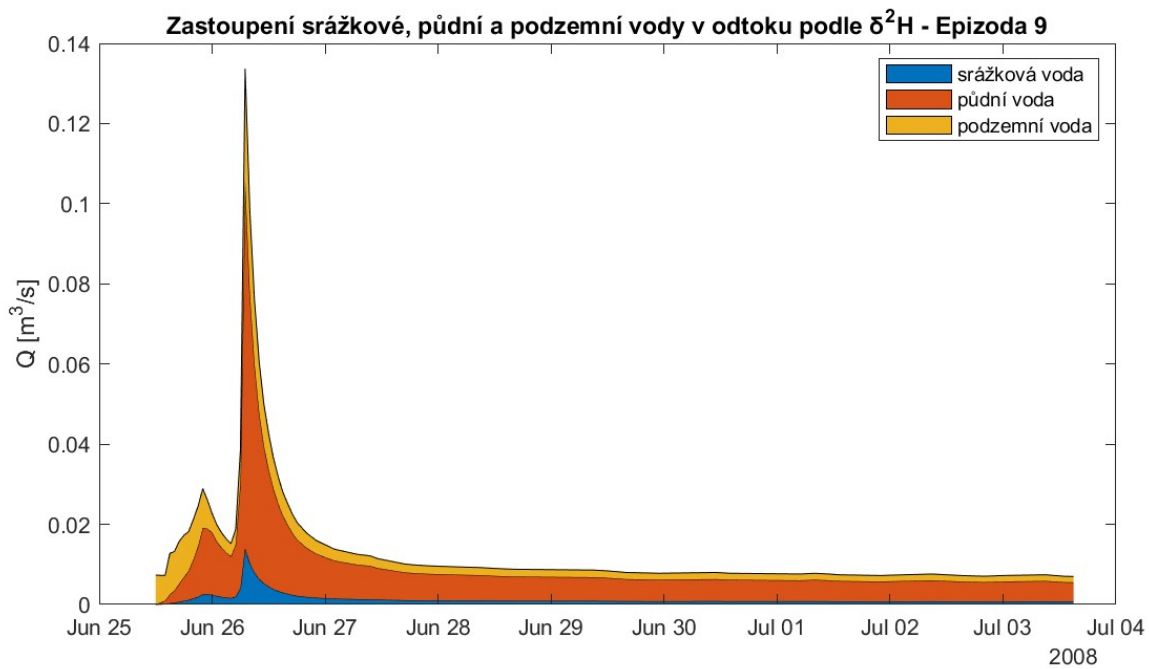
Koncové členy $\delta^2\text{H}$ a SiO_2 - Epizoda 9



Koncové členy $\delta^{18}\text{O}$ a SiO_2 - Epizoda 9

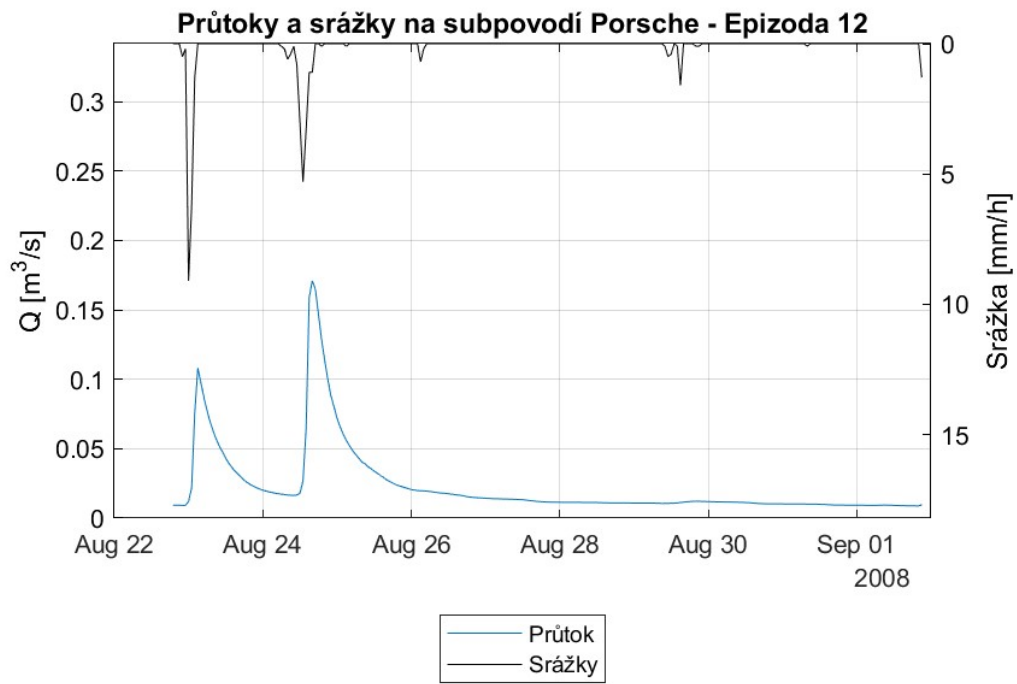


11.46.2 – Koncové členy $\delta^2\text{H}$ (nahore), $\delta^{18}\text{O}$ (dole) a SiO_2 – Epizoda 9



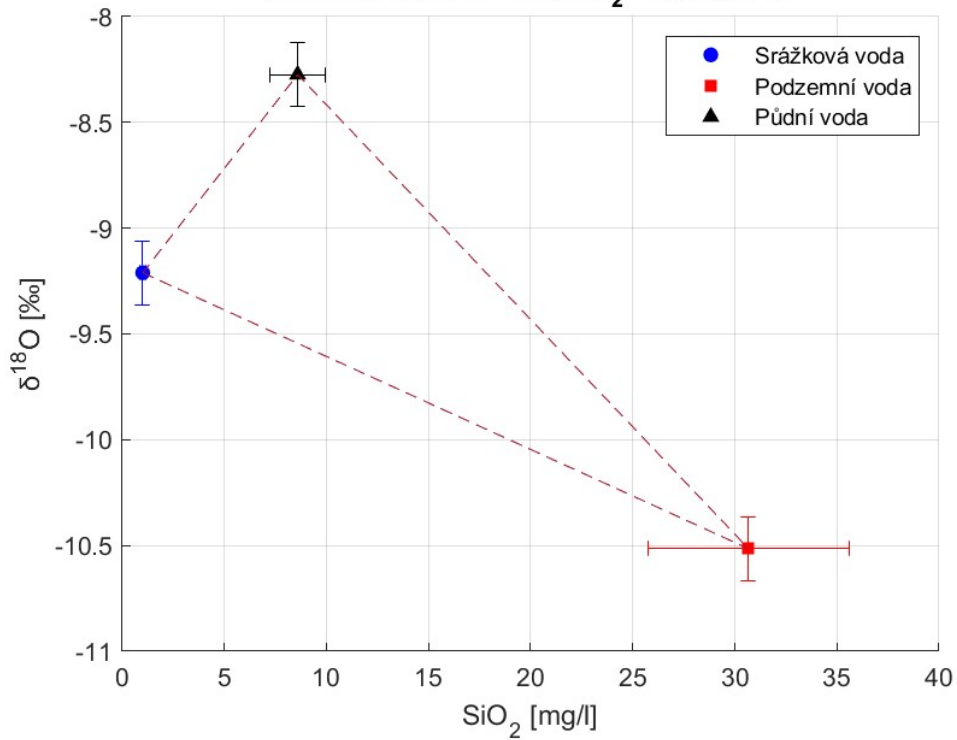
11.46.3 – Zastoupení srážkové, půdní a podzemní vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole)

– Epizoda 9

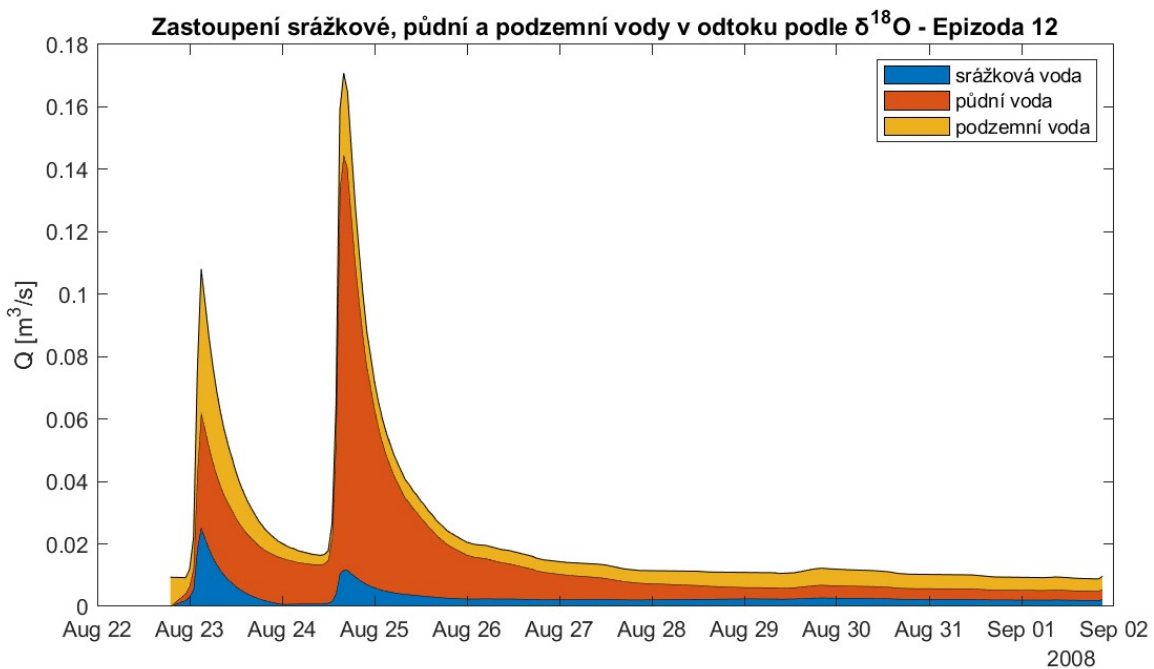


11.47.1 - Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda

Koncové členy $\delta^{18}\text{O}$ a SiO_2 - Epizoda 12

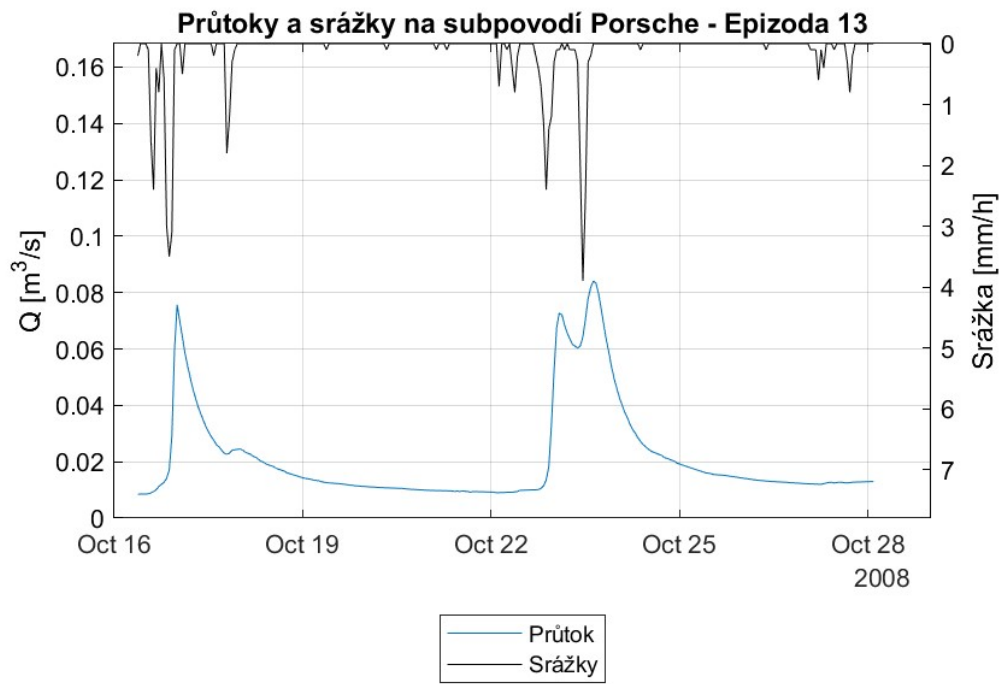


11.47.2 – Koncové členy $\delta^2\text{H}$ (nahore), $\delta^{18}\text{O}$ (dole) a SiO_2 – Epizoda 12



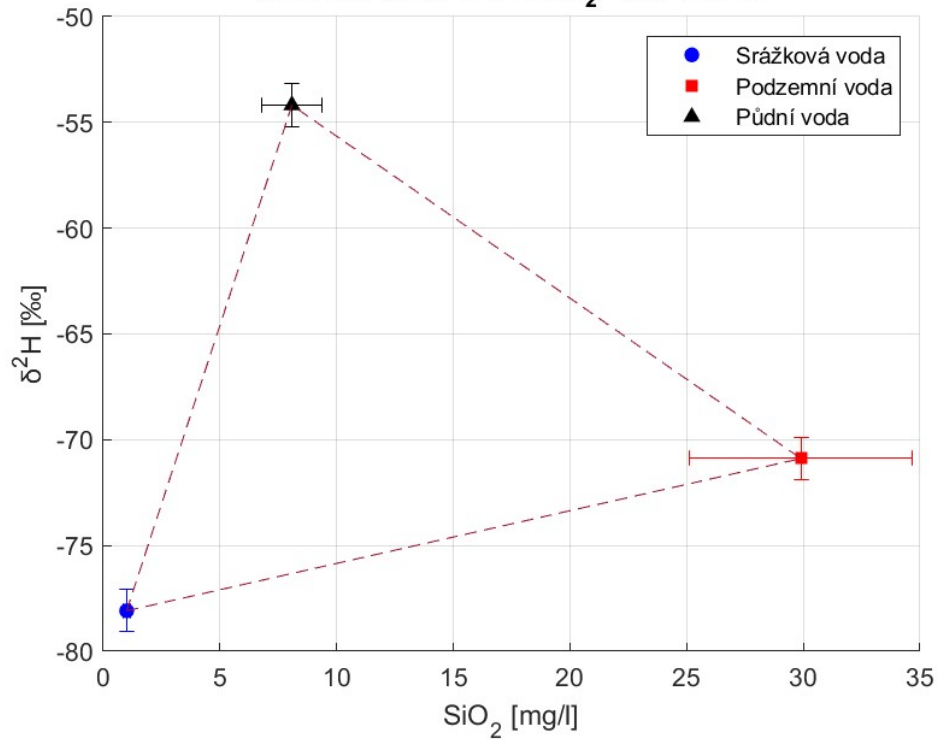
11.47.3 – Zastoupení srážkové, půdní a podzemní vody v odtoku podle $\delta^{18}\text{O}$

– Epizoda 12

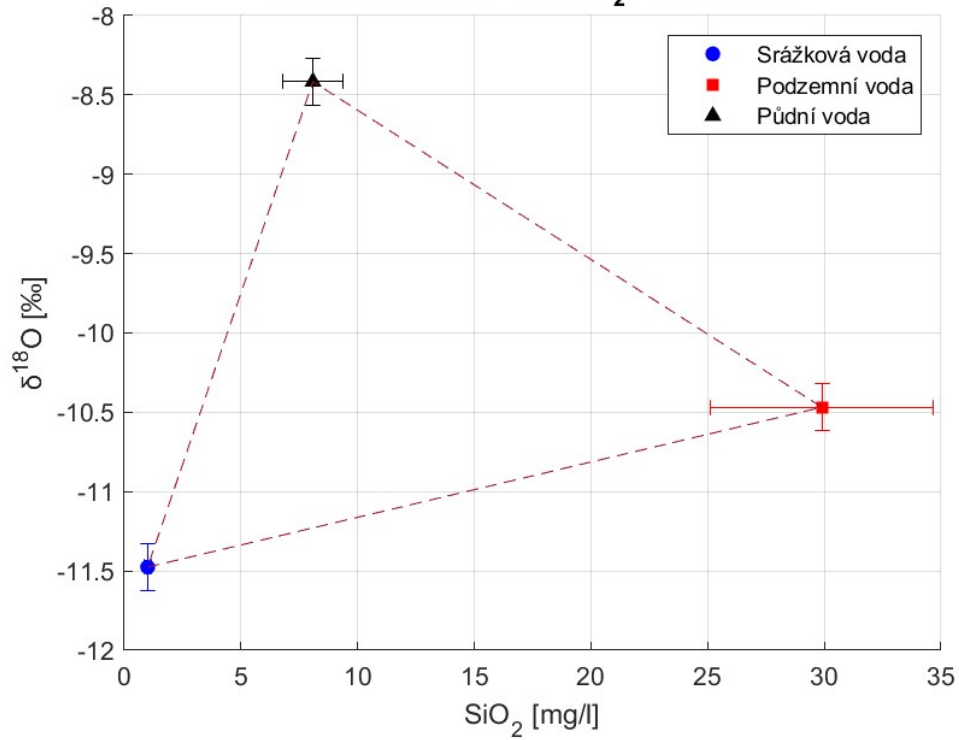


11.48.1 - Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 13

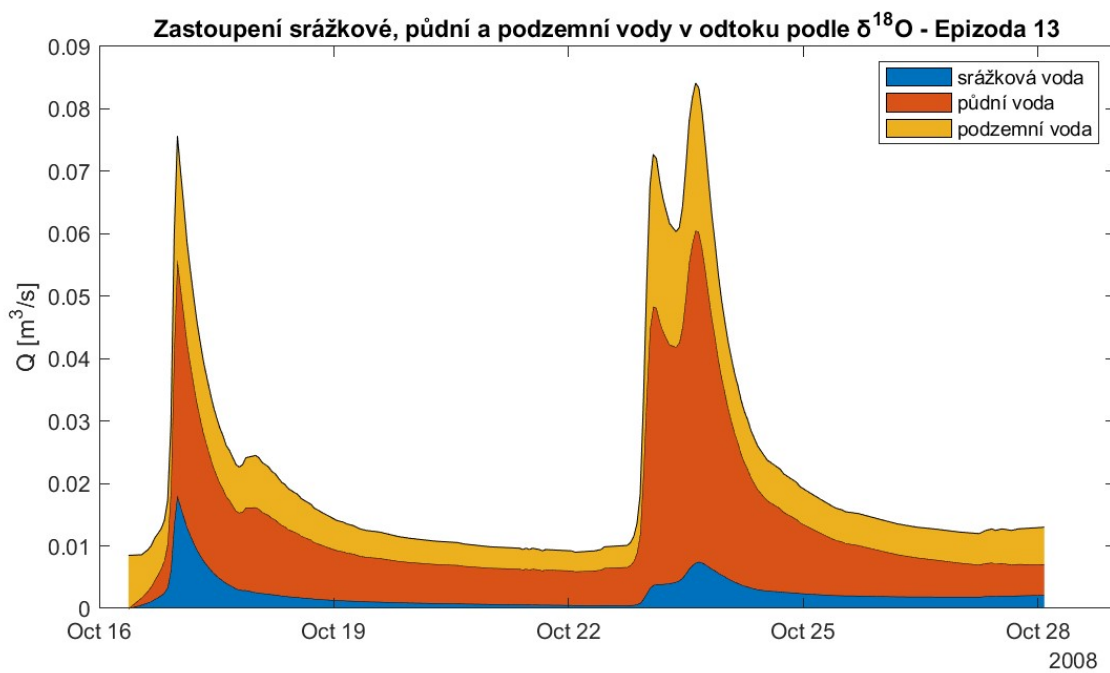
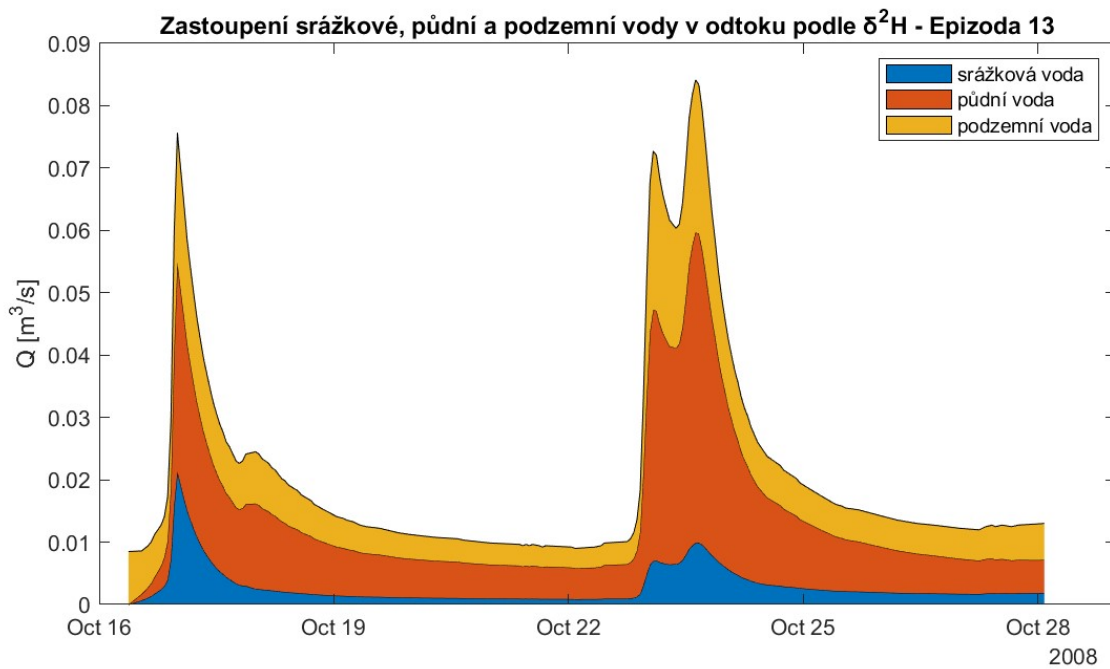
Koncové členy $\delta^2\text{H}$ a SiO_2 - Epizoda 13



Koncové členy $\delta^{18}\text{O}$ a SiO_2 - Epizoda 13



11.48.2 – Koncové členy $\delta^2\text{H}$ (nahore), $\delta^{18}\text{O}$ (dole) a SiO_2 – Epizoda 13



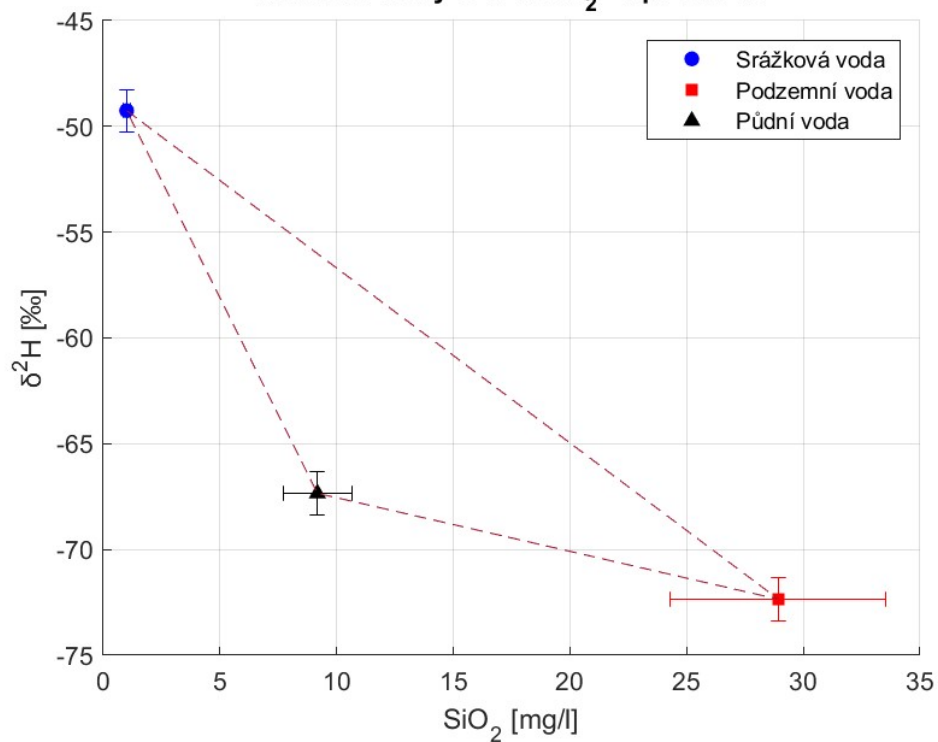
11.48.3 – Zastoupení srážkové, půdní a podzemní vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole)

– Epizoda 13

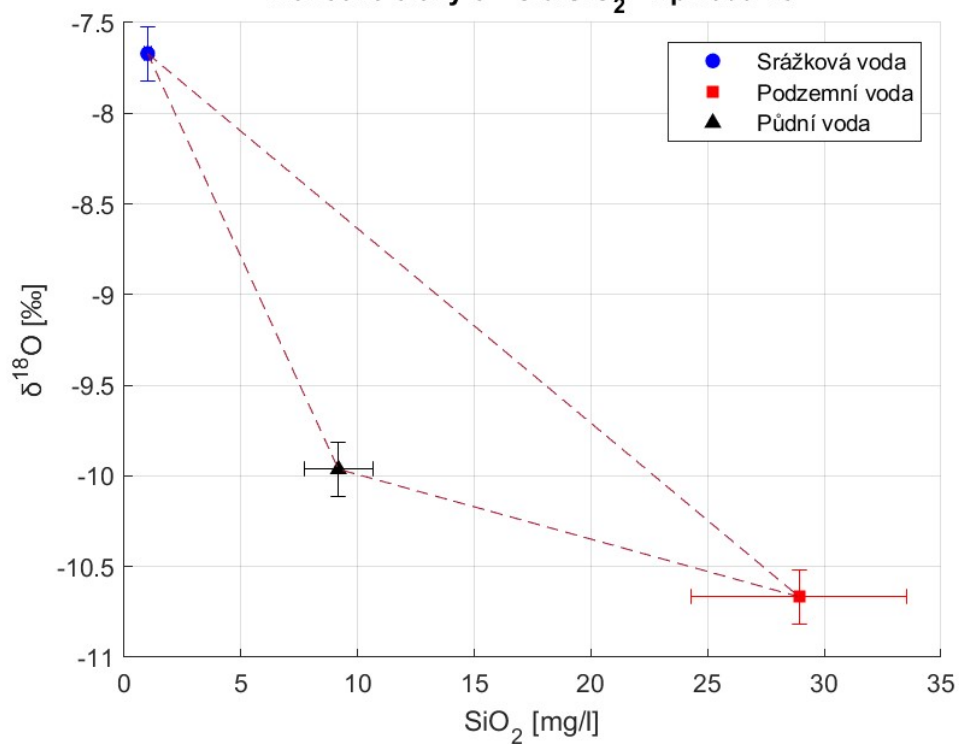


11.49.1 - Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 16

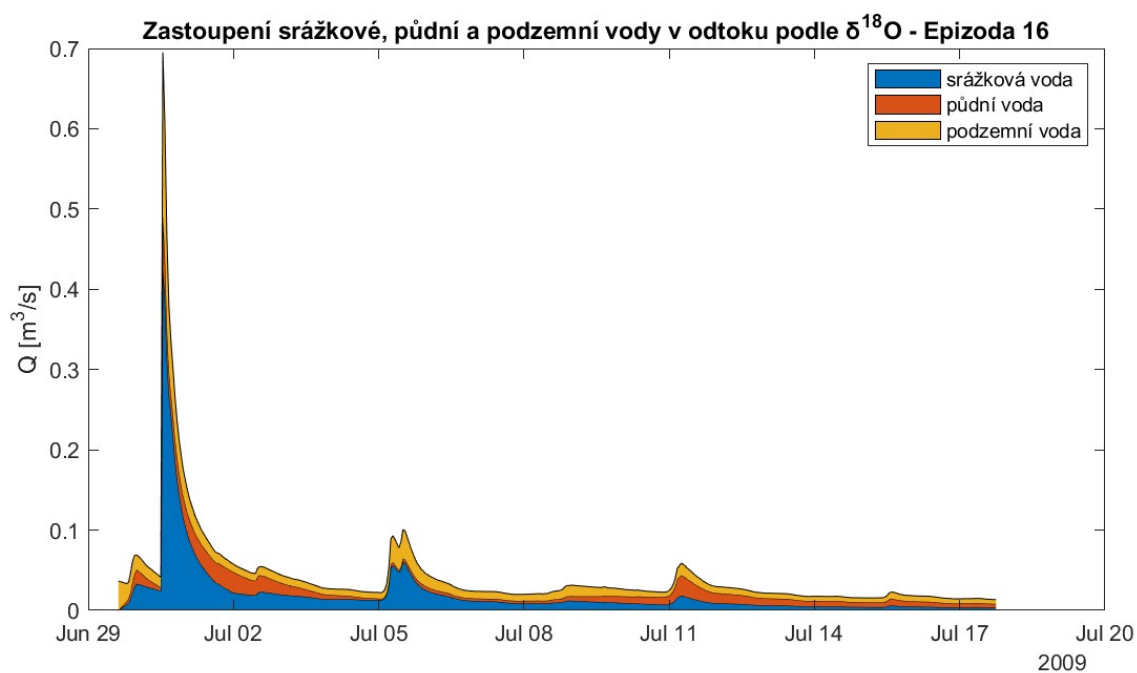
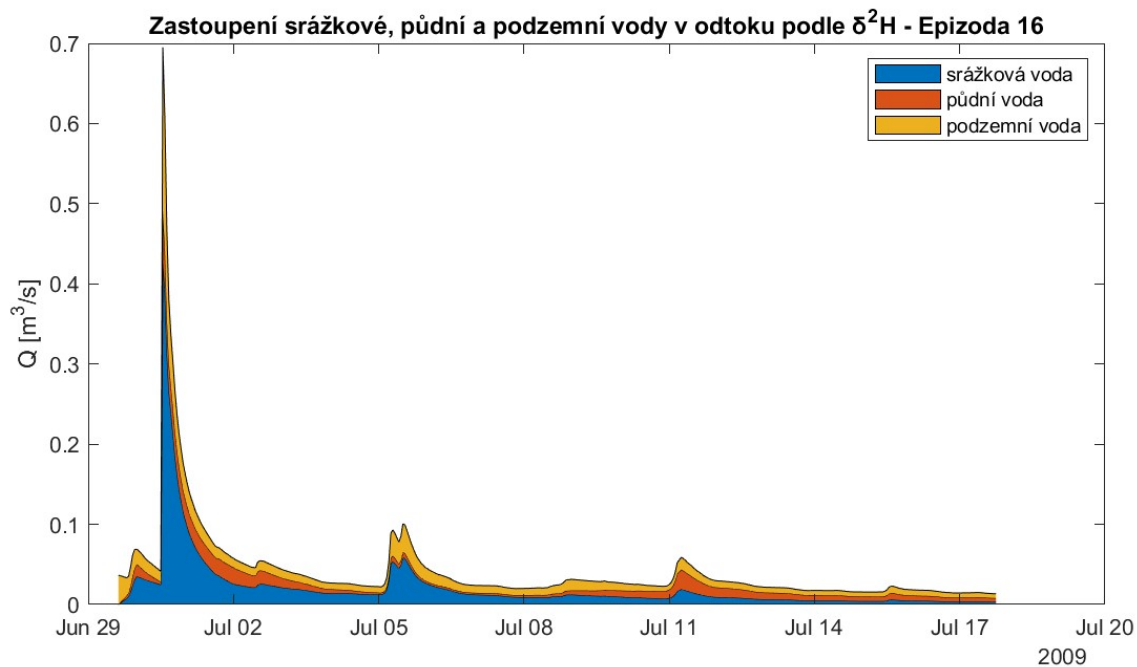
Koncové členy $\delta^2\text{H}$ a SiO_2 - Epizoda 16



Koncové členy $\delta^{18}\text{O}$ a SiO_2 - Epizoda 16

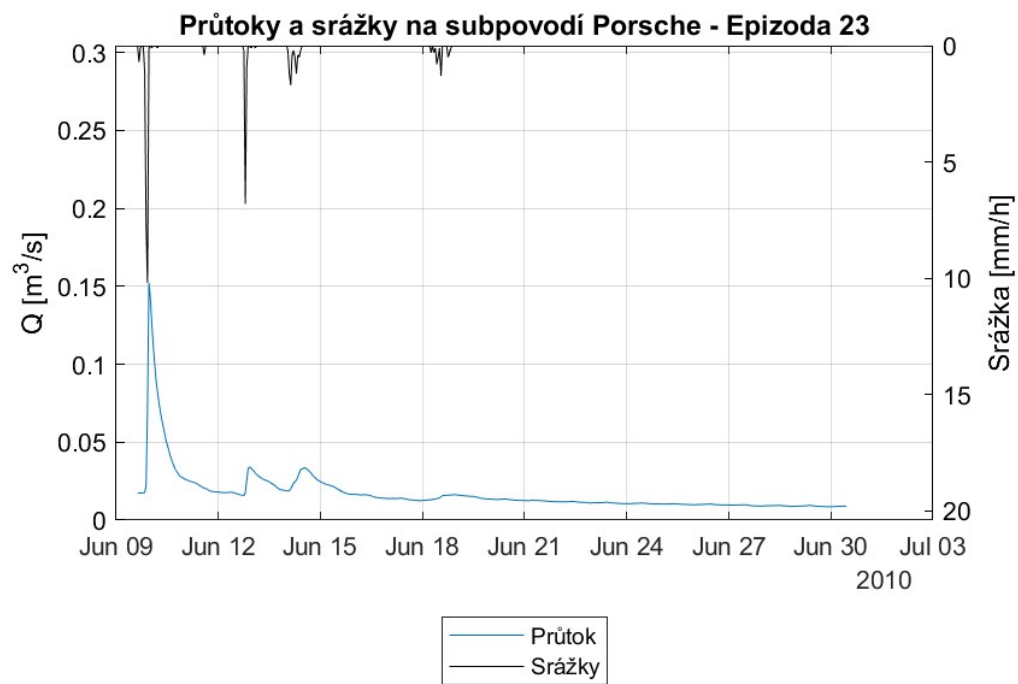


11.49.2 – Koncové členy $\delta^2\text{H}$ (nahore), $\delta^{18}\text{O}$ (dole) a SiO_2 – Epizoda 16



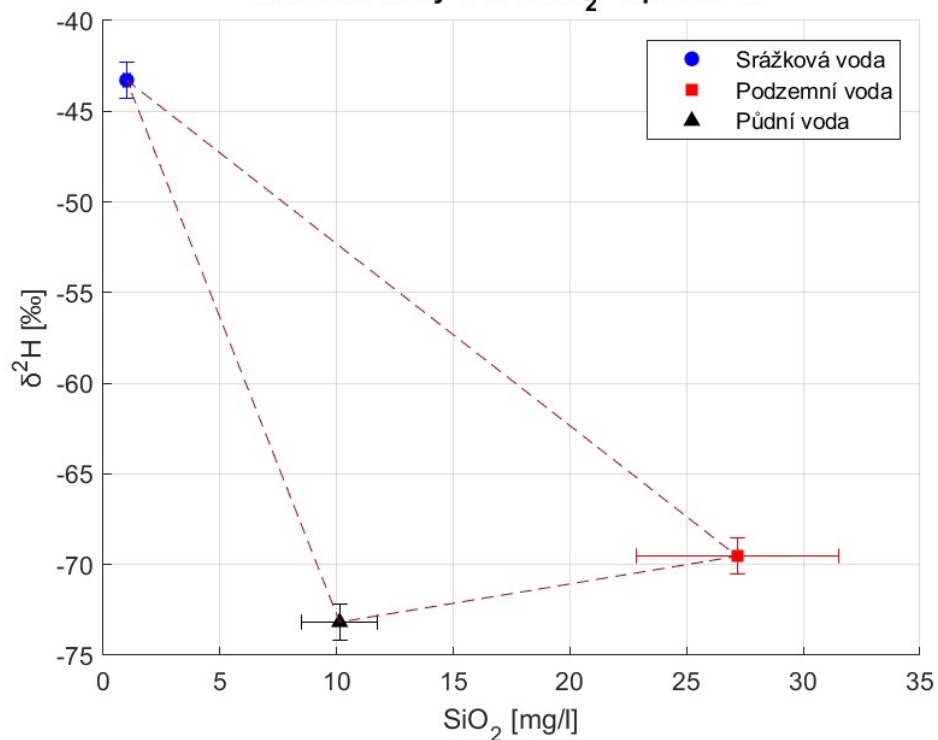
11.49.3 – Zastoupení srážkové, půdní a podzemní vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole)

– Epizoda 16

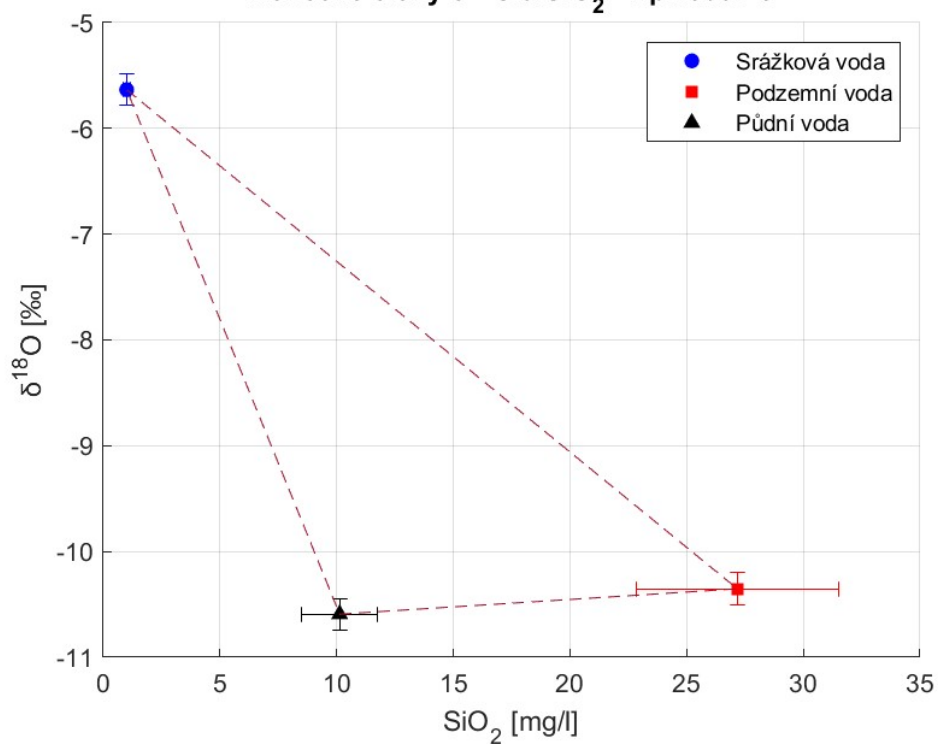


11.50.1 - Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 23

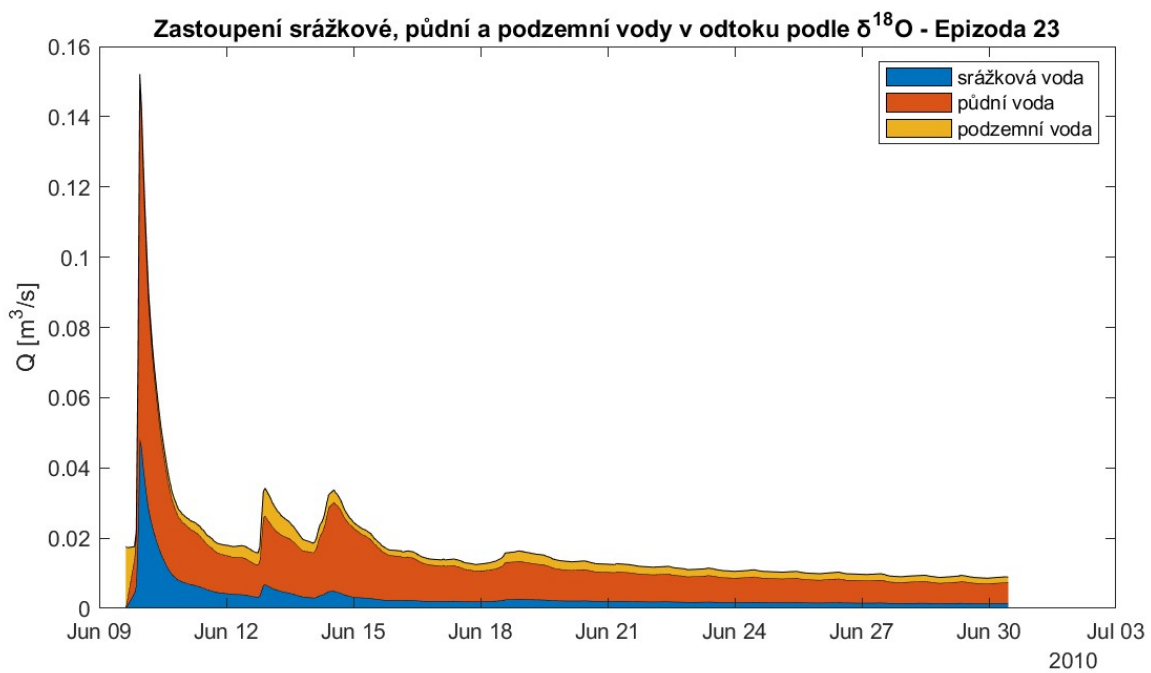
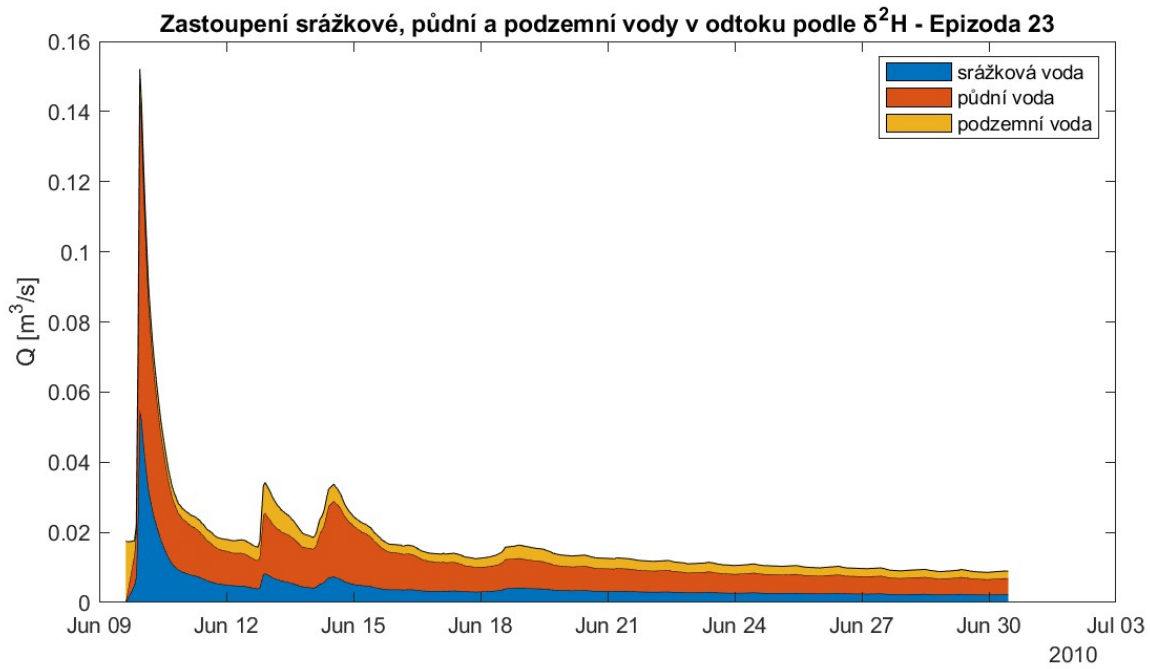
Koncové členy $\delta^2\text{H}$ a SiO_2 - Epizoda 23



Koncové členy $\delta^{18}\text{O}$ a SiO_2 - Epizoda 23

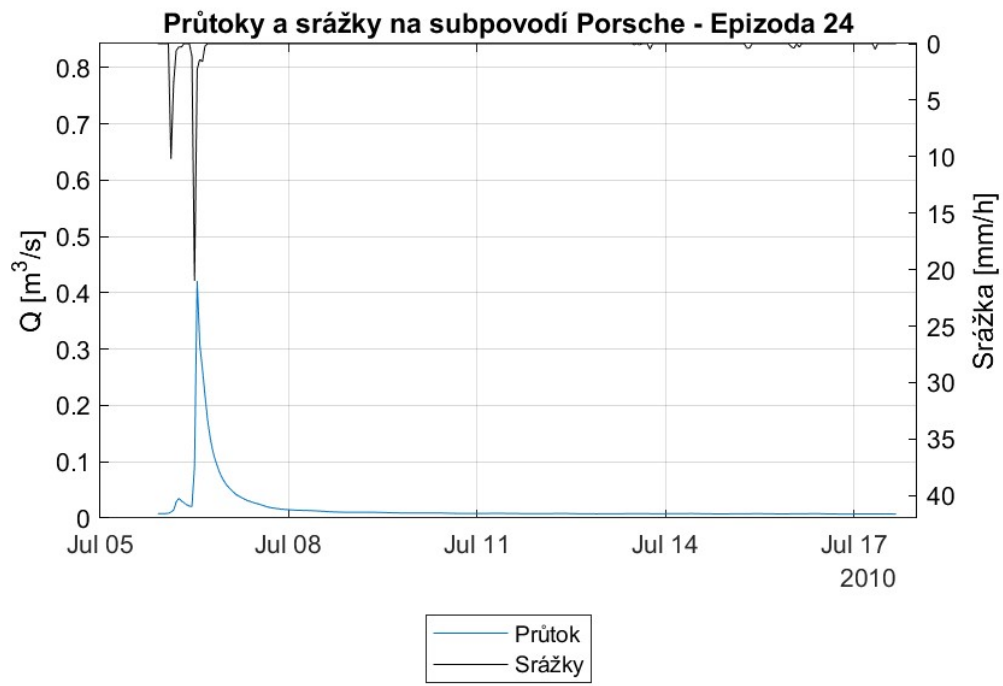


11.50.2 – Koncové členy $\delta^2\text{H}$ (nahore), $\delta^{18}\text{O}$ (dole) a SiO_2 – Epizoda 23



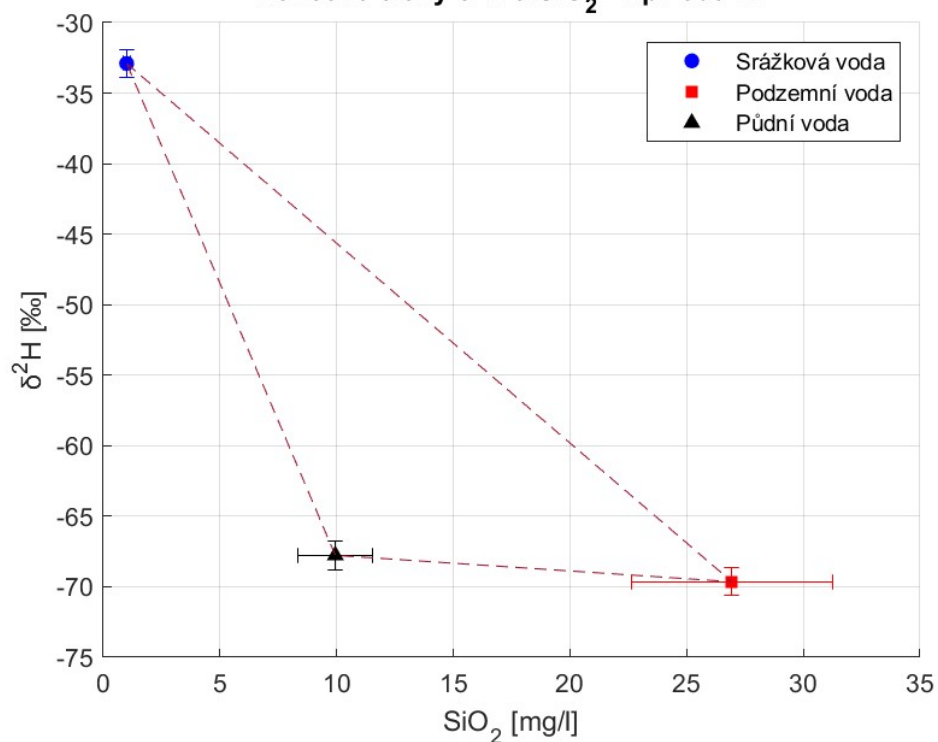
11.50.3 – Zastoupení srážkové, půdní a podzemní vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole)

– Epizoda 23



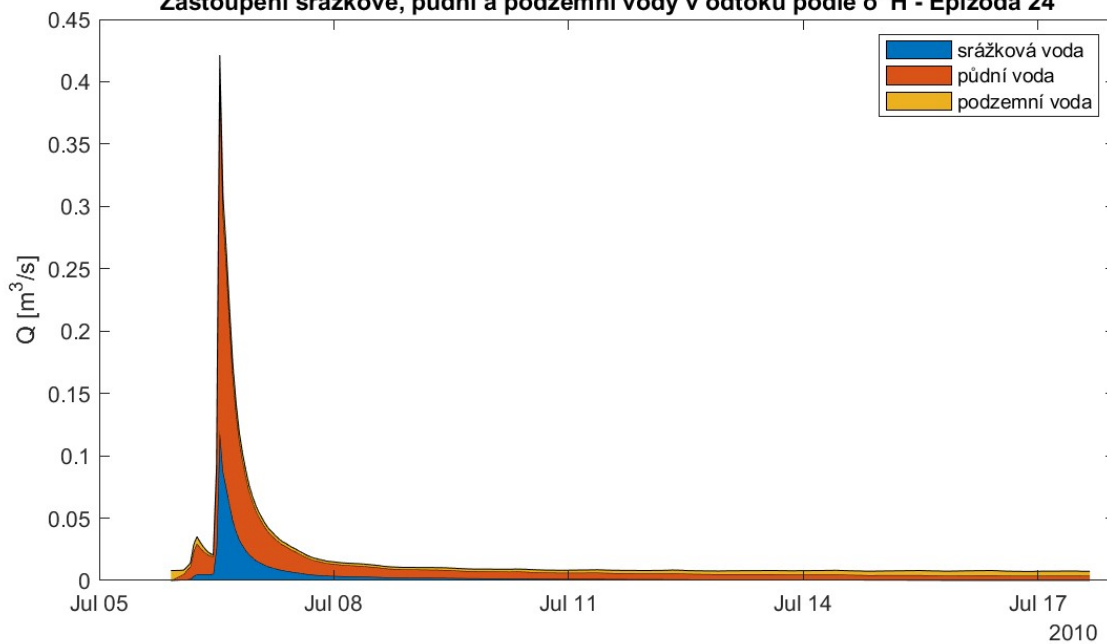
11.51.1 - Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 24

Koncové členy $\delta^2\text{H}$ a SiO_2 - Epizoda 24



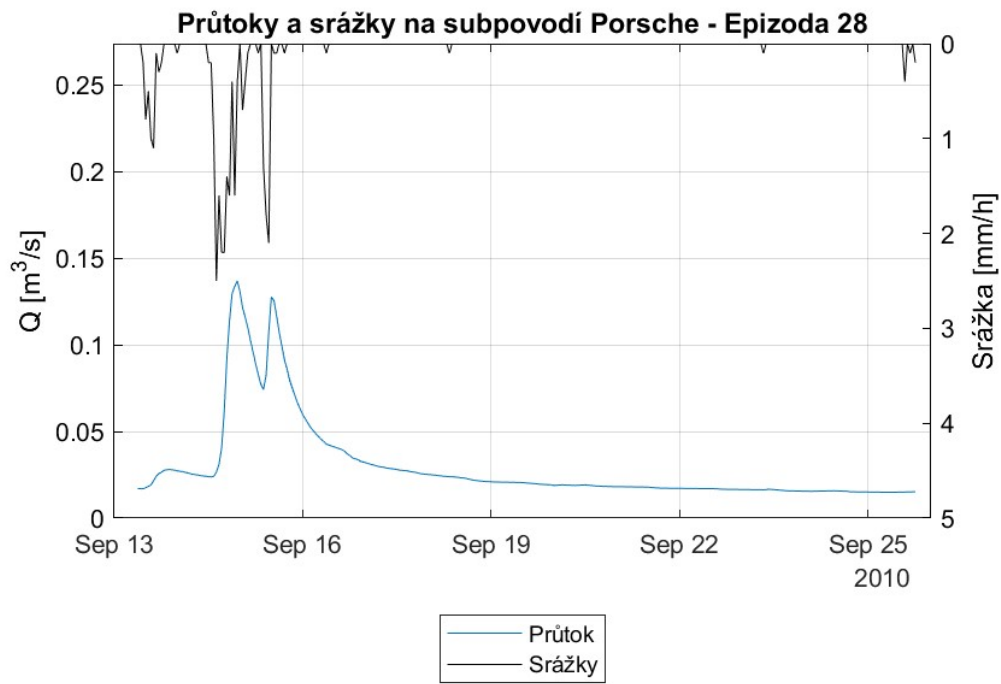
11.51.2 – Koncové členy $\delta^2\text{H}$ a SiO_2 – Epizoda 24

Zastoupení srážkové, půdní a podzemní vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ - Epizoda 24



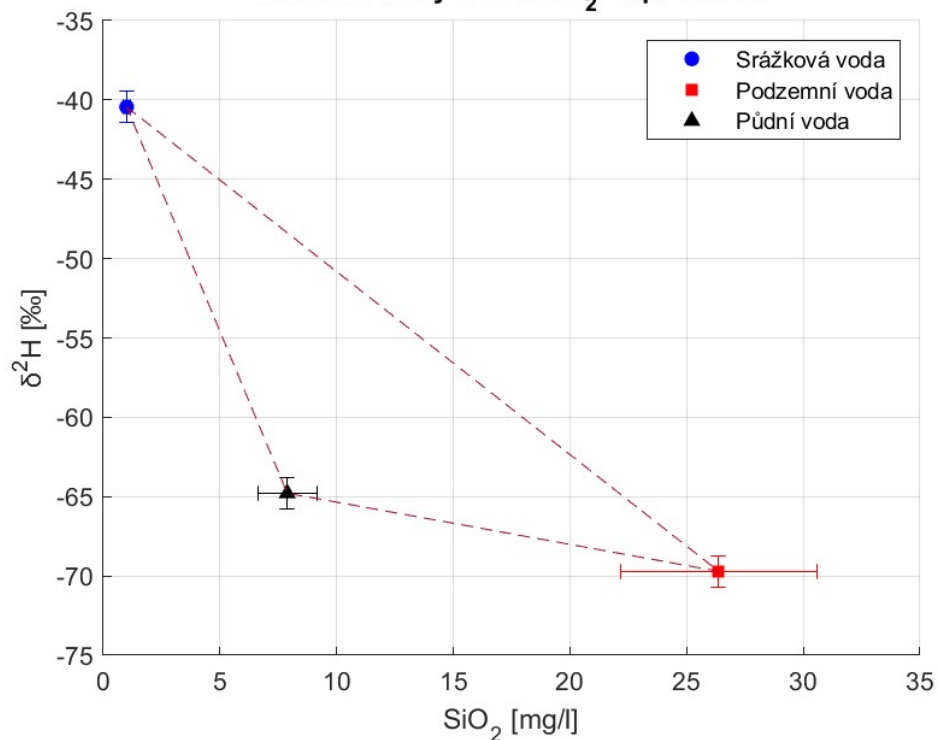
11.51.3 – Zastoupení srážkové, půdní a podzemní vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$

– Epizoda 24

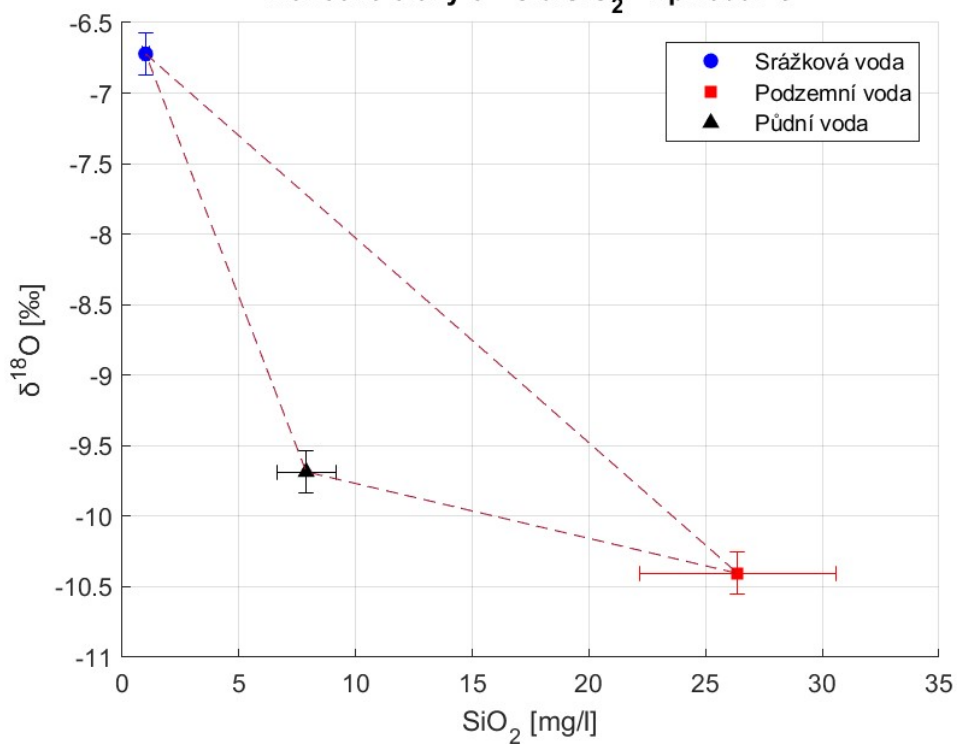


11.52.1 - Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 28

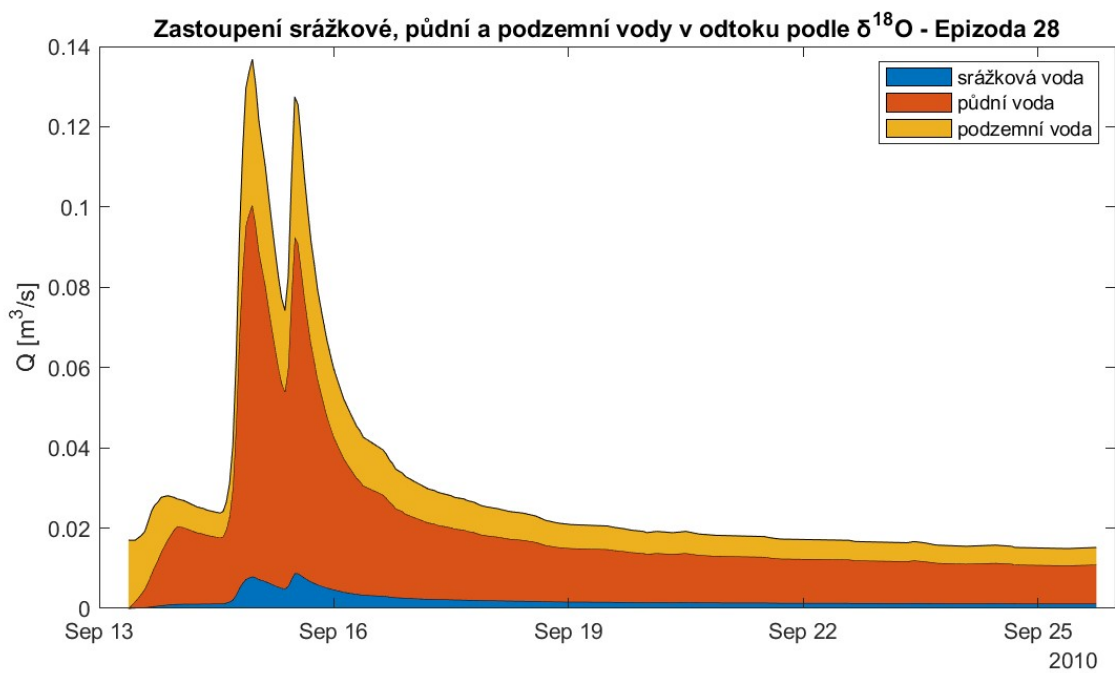
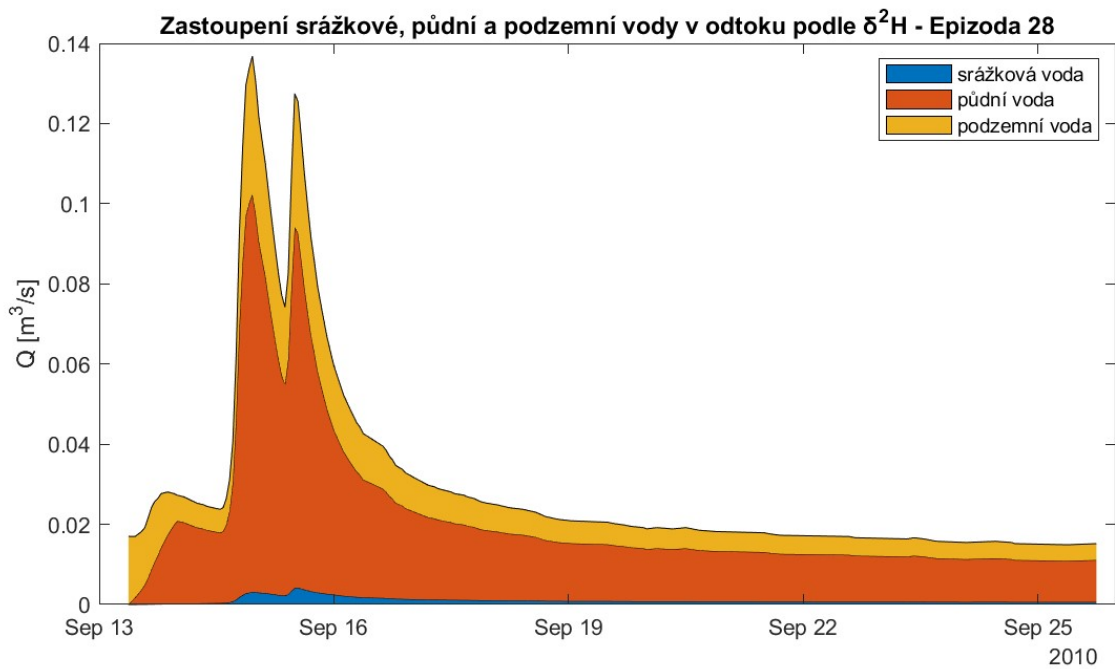
Koncové členy $\delta^2\text{H}$ a SiO_2 - Epizoda 28



Koncové členy $\delta^{18}\text{O}$ a SiO_2 - Epizoda 28

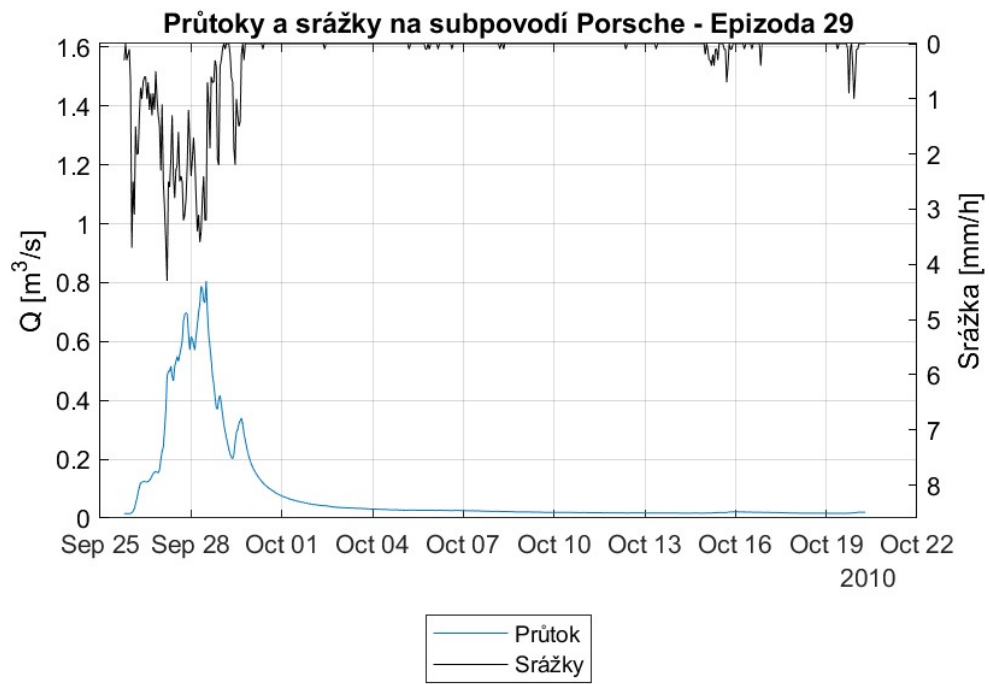


11.52.2 – Koncové členy $\delta^2\text{H}$ (nahore), $\delta^{18}\text{O}$ (dole) a SiO_2 – Epizoda 28



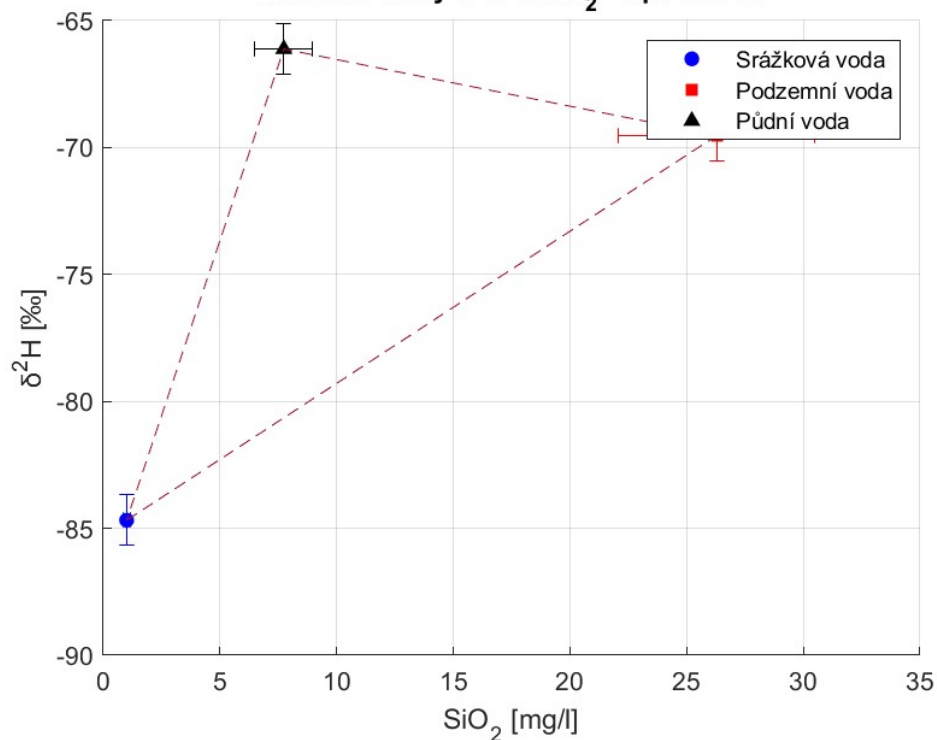
11.52.3 – Zastoupení srážkové, půdní a podzemní vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$ (nahore) a $\delta^{18}\text{O}$ (dole)

– Epizoda 28

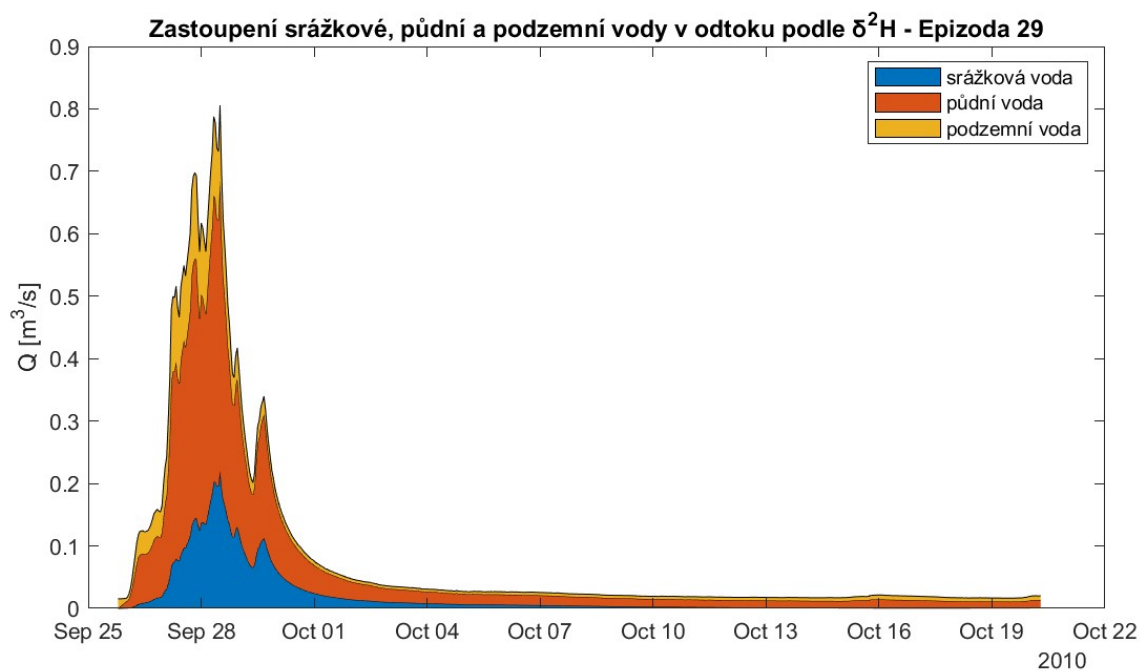


11.53.1 - Průtoky a srážky na subpovodí Porsche – Epizoda 29

Koncové členy $\delta^2\text{H}$ a SiO_2 - Epizoda 29



11.53.2 – Koncové členy $\delta^2\text{H}$ a SiO_2 – Epizoda 29



11.53.3 – Zastoupení srážkové, půdní a podzemní vody v odtoku podle $\delta^2\text{H}$

– Epizoda 29

