

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**  
**ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

**DISERTAČNÍ PRÁCE**

**Porovnání různých metod separace drenážního odtoku se  
změnou teploty drenážní vody**

Ing. Tomáš Pomije

**2018**

**Školitel:** prof. Ing. Tomáš Kvítek, CSc.  
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích  
Zemědělská fakulta

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracoval samostatně na základě vlastních zjištění a za pomoci uvedené literatury.

.....

V Českých Budějovicích dne 1. 8. 2018

Rád bych touto cestou poděkoval prof. Ing. Tomáši Kvítkovi, CSc. za trpělivost, cenné rady a dlouhodobou důvěru v mé schopnosti. Dále děkuji Ing. Václavu Bystřickému Ph.D., Mgr. Antonínu Zajíčkoví, Ph.D. a Ing. Petře Juráskové za opakovanou pomoc při řešení standardních i nestandardních studijních záležitostí.

Velké poděkování patří také mé rodině za podporu v průběhu celého studia a za pochopení, toleranci a pomoc při dokončování této práce.

## **OBSAH:**

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>ÚVOD</b> .....                          | <b>6</b>  |
| 1.1      | Cíl práce.....                             | 6         |
| <b>2</b> | <b>LITERÁRNÍ REŠERŠE</b> .....             | <b>7</b>  |
| 2.1      | Voda v krajině.....                        | 7         |
| 2.1.1    | Odtok vody z povodí .....                  | 8         |
| 2.1.2    | Faktory ovlivňující odtok.....             | 8         |
| 2.2      | Složky odtoku z povodí.....                | 18        |
| 2.3      | Hydromeliorace a drenážní odtok.....       | 23        |
| 2.3.1    | Teplotní režim drenážního odtoku .....     | 25        |
| 2.4      | Separace odtoku .....                      | 26        |
| 2.4.1    | Metody separace odtoku.....                | 26        |
| 2.4.2    | Chemické a fyzikální stopovače .....       | 27        |
| 2.4.3    | Separace pomocí teploty vody .....         | 28        |
| <b>3</b> | <b>MATERIÁL</b> .....                      | <b>30</b> |
| 3.1      | Zájmové lokality .....                     | 30        |
| 3.1.1    | Povodí Kopaninského potoka .....           | 32        |
| 3.1.2    | Povodí Dehtáře .....                       | 36        |
| 3.2      | Hodnocené srážkoodtokové události.....     | 39        |
| <b>4</b> | <b>METODY</b> .....                        | <b>41</b> |
| 4.1      | Zpracování dat.....                        | 41        |
| 4.2      | Vybrané metody separace odtoku.....        | 42        |
| 4.3      | Výpočty separací odtoku.....               | 44        |
| 4.4      | Úprava izotopické a teplotní separace..... | 46        |
| 4.4.1    | Úprava rovnic.....                         | 47        |
| 4.5      | Stanovení původu nové vody.....            | 48        |
| 4.6      | Porovnání metod separací .....             | 51        |
| 4.6.1    | Nash-Sutcliffe koeficient.....             | 52        |
| 4.6.2    | Průměrná chyba.....                        | 53        |
| 4.6.3    | Dvouvýběrový t-test .....                  | 53        |
| 4.6.4    | Porovnání poměrových rozdílů $Q_s$ .....   | 53        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 4.6.5     | ANOVA .....                                      | 54         |
| 4.7       | Zhodnocení teplotní separace .....               | 55         |
| <b>5</b>  | <b>VÝSLEDKY A DISKUZE .....</b>                  | <b>56</b>  |
| 5.1       | Výsledky stanovení původu nové vody .....        | 56         |
| 5.2       | Výsledky účinnosti metod separací.....           | 65         |
| 5.2.1     | Separace dle teploty .....                       | 65         |
| 5.2.2     | Metoda MGPM .....                                | 70         |
| 5.2.3     | Metoda GROUND.....                               | 74         |
| 5.2.4     | Chapmanův filtr .....                            | 78         |
| 5.3       | Souhrnné porovnání účinnosti metod separací..... | 82         |
| 5.3.1     | ANOVA .....                                      | 85         |
| 5.4       | Použití separace dle teploty.....                | 87         |
| 5.4.1     | Předpoklady a omezení použití.....               | 87         |
| 5.4.2     | Samostatné použití .....                         | 88         |
| 5.5       | Souhrn výsledků .....                            | 91         |
| <b>6</b>  | <b>ZÁVĚR .....</b>                               | <b>92</b>  |
| <b>7</b>  | <b>SOUHRNNÉ SEZNAMY.....</b>                     | <b>93</b>  |
| 7.1       | Seznam literatury .....                          | 93         |
| 7.2       | Seznam obrázků .....                             | 105        |
| 7.3       | Seznam rovnic .....                              | 105        |
| 7.4       | Seznam tabulek.....                              | 106        |
| 7.5       | Seznam grafů.....                                | 106        |
| 7.6       | Seznam příloh.....                               | 107        |
| <b>8</b>  | <b>PŘÍLOHY .....</b>                             | <b>109</b> |
| <b>9</b>  | <b>ABSTRAKT .....</b>                            | <b>117</b> |
| <b>10</b> | <b>SUMMARY.....</b>                              | <b>118</b> |
| <b>11</b> | <b>SEZNAM PUBLIKOVANÝCH PRACÍ.....</b>           | <b>119</b> |
| 11.1      | Publikované práce .....                          | 119        |
| 11.2      | Připravované práce.....                          | 119        |

# 1 ÚVOD

Voda je stejně jako vzduch pro nás nepostradatelná a její dostatečné množství během celého roku je základním předpokladem pro život na Zemi. Její dlouhodobý nedostatek je pro ekosystém stejně nebezpečný jako její přílišný nadbytek. V důsledku pozorovaných změn klimatu a rostoucího počtu extrémních srážko-odtokových situací vzrostl zájem společnosti na zmírnění a předcházení škod, které by v budoucnu mohly povodně nebo sucha opět způsobit.

Pro pochopení vodního režimu krajiny je nezbytné znát původ a cestu jednotlivých složek odtoku z povodí. V období sucha je odtok tvořen základním odtokem a je dotován především ze zásob podzemních vod, při extrémních srážko-odtokových událostech dominuje rychlý odtok povrchovým a mělkým podpovrchovým prouděním (tzv. přímým odtokem). Množství, poměr a chování těchto složek odtoku nám poskytuje důležitou informaci o procesech probíhajících v příslušném povodí.

Jedním ze způsobů, jak pochopit hydrofyzikální mechanismy retence vody v krajině a tvorby dešťového odtoku, je separace odtoku. Tento běžně používaný hydrologický nástroj má mnoho metod způsobu provedení. V současnosti jsou často aplikovány metody založené na využití digitálních filtrů nebo fyzikálních a chemických stopovačů.

Mezi fyzikální stopovače řadíme i teplotu, jejíž změny byly zjištěny a popsány na odtoku u drenážních a pramenných vývěřů. Tato zjištění vyvolala otázky o možnosti využití teploty vody pro zjištění původu a zastoupení složek odtoku.

## 1.1 Cíl práce

Základním cílem této práce je ověřit možnost použití změny teploty vody drenážního odtoku, která doprovází náhlé změny jeho objemu, jako přirozeného stopovače pro metodu dvousložkové separace drenážního odtoku a porovnat účinnost metody separace dle teploty ve srovnání s izotopovou analýzou a dalšími běžně používanými metodami separace. Dalším cílem je stanovení případných předpokladů pro samostatné použití metody teplotní separace, její limity a možnosti.

## 2 LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 2.1 Voda v krajině

Krajinu definujeme jako dynamický objekt, jehož nenahraditelným komponentem je voda. Je pro něj charakteristický její neustálý uzavřený oběh v různých skupenstvích, který nazýváme hydrologickým cyklem nebo koloběhem. Hydrologický cyklus je nepřetržitý proces, který je složen z mnoha přírodních procesů, které popisují například *HAVRLANT, BUZEK, 1985; SHAW, 1994; ŠILAR, 1996; BEDIANT, HUBER, 2002; BROOKS et al., 2003; SUBRAMANYA, 2007; DEODHAR, 2009* a které formují vlastnosti odtoku vody z povodí (*AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, 1996; BRUTSAERT, 2005; REDDY, 2005; DAŇHELKA, 2007*). Nezastupitelnou úlohu v hydrologickém cyklu zastává také půda, a to zejména v případě infiltrace vody do půdního profilu. Infiltrací se doplňují zásoby podzemních vod, snižuje objem povrchového odtoku způsobující erozi půdy, urychluje odtok z krajiny a snižuje pravděpodobnost vzniku povodňových stavů vodních toků (*HLADÍK, VOPRAVIL, BATYSTA, 2015*).

Hydrologický cyklus lze kvantitativně popsat hydrologickou bilancí, která je v podstatě rovnicí kontinuity (*HORNBERGER, 1998*) nejčastěji stanovenou pro hydrologické povodí a hydrologický rok (*TALLAKSEN, VAN LANEN, 2004*). Hydrologickou bilanci lze dle (*BROOKS et al., 2003; ŠILAR, 1996*) vyjádřit jako:

$$(P_s + P_{pv} + P_{pz} + P_{pr}) - (O_{ev} + O_{pv} + O_{od}) = \Delta S \quad \text{Rovnice 2-1 - Rovnice hydrologické bilance}$$

Kde:

$\Delta S$  = změna objemu vody

$P_s$  = srážky

$P_{pv}$  = povrchový přítok

$P_{pz}$  = podzemní přítok

$P_{pr}$  = přírůstek vody přiváděné z jiného území

$O_{ev}$  = evapotranspirace

$O_{pv}$  = povrchový odtok

$O_{od}$  = úbytek odčerpávané vody, pokud se již nevrací zpět do území.

### 2.1.1 Odtok vody z povodí

Odtok vody z povodí je celkové množství vody proteklé uzávěrovým profilem. Velikost odtoku je charakterizována průtokem  $Q$ , který představuje množství vody, které protéká za jednotku času příčným profilem toku. Měrný neboli specifický odtok  $q$  je průtok vztažený na jednotku plochy  $S_p$  k zájmovému profilu.

$$q = Q/S_p \quad \text{Rovnice 2-2 – Specifický odtok}$$

Kde:

$$q = \text{specifický odtok [l/s/km}^2\text{]}$$

$$Q = \text{průtok [l/s]}$$

$$S_p = \text{plocha povodí [km}^2\text{]}$$

Převedení průtoků na specifický odtok umožňuje lépe porovnat vlastnosti jednotlivých povodí. Specifický odtok v delším období sucha vyjadřuje odtok podzemní vody z povodí, nazývá se též specifickou vydatností podzemní vody (ŠILAR, 1996).

### 2.1.2 Faktory ovlivňující odtok

Odtok vody je výsledkem interakce několika faktorů, které mají zásadní vliv na výslednou podobu odtoku: půdní a geologické charakteristiky, morfologie povodí (plocha, tvar, sklon, expozice, uspořádání říční sítě), klimatické charakteristiky, land use a nezanedbatelný je i vliv antropogenní, jehož význam v současnosti roste.

#### Klimatické charakteristiky

Z dlouhodobého pohledu ovlivňují především charakter vegetace, ve střednědobém horizontu determinují aktuální nasycení půdy (úhrn předchozích srážek a ztráty evapotranspirací). Pro vlastní odtok jsou však nejdůležitější aktuální srážkové úhrny, zejména jejich množství a intenzita (DAŇHELKA, 2007).

Existuje řada scénářů vývoje klimatu do budoucnosti. Jedním ze základních bodů, na kterém se však vědci shodují je, že hydrologický cyklus se stává intenzivnější a rychlejší. Příčiny a důsledky procesu zrychlení popisuje KOCUM (2012) ve své práci následovně: vyšší teploty mají za následek rychlejší odpařování vody z půdy a vodních



ploch a urychlují transpiraci rostlin, tím roste obsah vodní páry v atmosféře. Větší vlhkost vzduchu vede k intenzivnějším lokálním srážkám a jejich nerovnoměrnému rozložení v prostoru i čase. Zvyšuje se tak počet přívalových dešťů způsobujících povodně. Snižování vlhkosti půdy a zvýšená evapotranspirace pak vede k vysychání půdy a spolu s nerovnoměrným přísunem srážek způsobuje sucho. Se zvýšením globální teploty souvisí oteplení moří, odkud se odvíjí možná změna atmosférické cirkulace a režimu srážek v ročním cyklu. Ovlivněna budou povodí se sněhovým režimem, kde se následkem zvýšení teploty posune tání do zimního období, tím se zvýší odtok v zimě, ale celkově se sníží dotace podzemních vod v jarním období. Zvýšením letních teplot se případné sucho může ještě prohloubit.

Žádné výsledky hydrologického a vodohospodářského výzkumu a ani sebestoprověřitelnější opatření ve vodohospodářské praxi nemůže extrémním srážkovým stavům zabránit. *PATERA (2002)* proto konstatuje, že schopnost jejich včasného rozpoznání, předpovědi a dostupnost účinných prostředků operativního řízení, resp. přímo řízení v reálném čase, je proto logickým požadavkem a předpokladem pro jejich úspěšné zvládnutí.

### Povodňové události

Povodeň definujeme (*KRAVKA, 2009; PATERA, KAŠPÁREK, 2002*) jako přechodné výrazné zvýšení hladiny toku, způsobené náhlým zvětšením průtoku, nebo dočasným zmenšením průtočnosti koryta. V našich geografických, klimatických a hydrologických podmínkách je účelné rozeznávat povodně dešťové, sněhové a smíšené. Objasněním mechanismu povodňových událostí a snížením jejich dopadu na socioekonomickou sféru se dlouhodobě zabývá mnoho autorů, výzkumných institucí či vědeckých záměrů (*LANGHAMMER, 2007, 2009; HIRABAYASHI et al., 2008; ČURDA, JÁNSKÝ, KOCUM, 2011* nebo *KUNDZEWICZ, KANAE, SENEVIRATNE, 2013*)

Povodeň může být popsána příčinnými charakteristikami – např. příčinnou srážku, intenzitou příčinné srážky, srážkovým úhrnem, rozložením srážkového úhrnu v čase, nasycením povodí předchozími srážkami. Povodeň se pak dále charakterizuje mimo jiné podle jejího pozorovaného průběhu kulminačním průtokem, objemem a tvarem povodňové vlny. Povodňovou vlnu definujeme jako fázi odtoku, vyznačující se

přechodným zvětšením a následným poklesem průtoků. Graficky se znázorňuje jako hydrogram. V hydrogramu povodňové vlny vyznačujeme počáteční průtok, vzestupnou větev, kulminaci, sestupnou větev, konec (návrat k počátečnímu průtoku). Trvání povodňové vlny je doba mezi začátkem a koncem v daném profilu, délka povodňové vlny je vzdálenost mezi začátkem a koncem v trati toku.

Povodně se dále klasifikují podle pravděpodobnosti překročení kulminačních průtoků  $p$ , resp. pravděpodobnosti překročení objemů povodní. Nebo se využívá průměrná doba opakování kulminačních průtoků  $N$ , resp. průměrná doba opakování objemů povodní. Mluvíme potom o  $N$ -leté vodě  $QN$ : 1leté, 2leté, 5leté nebo 100leté, u níž předpokládáme, že je to hodnota průtoku (hladina průtoku), která je v dlouhodobém průměru 1x za  $N$  let dosažena nebo překročena. Pravděpodobnostní překročení kulminačních průtoků a průměrné doby opakování se stanovují pomocí metod teorie pravděpodobnosti. Podkladem jsou soubory naměřených kulminačních průtoků, resp. objemů povodní (JANDORA, STARA, STARÝ, 2002).

### Hydrologická sucha

Sucho je hodnoceno (VOPRAVIL, KULÍŘOVÁ, KULHAVÝ, 2015) jako stále větší problém i v našich klimatických podmínkách. Nedostatek vody ohrožuje téměř celou Českou republiku, nejvíce ale jižní Moravu. Zde je nepříznivý vliv nízkého množství přirozených srážek znásoben vysokou infiltrační schopností půd spolu s jejich velmi silnou degradací vlivem úbytku organické hmoty a vodní a větrné eroze.

Setrvalé nízké a minimální průtoky v tocích omezují využití vody pro zásobování průmyslu i obyvatelstva, pro účely energetické, závlahy a další. Nejmenší průtoky vznikají v období, kdy na delší dobu přestává povrchový odtok a zásoby podzemní vody se vyčerpávají. Tyto situace se u nás tradičně vyskytovaly (JANDORA, STARA, STARÝ, 2002) na horských tocích koncem zimního období, kdy srážky zůstávají ležet v povodí ve formě sněhu, nejčastěji v únoru. Na nížinných tocích se naopak projevovaly koncem suchého léta nebo na podzim, kdy bývají delší období beze srážek a kdy se menší srážka za poměrně vysokých teplot zcela vypaří. V současné době se však jejich výskyt rozšiřuje a intenzita se zvyšuje. Vysoké teploty podporující výpar a bezsrážkové období se

objevují i již v průběhu jara a zimní sněhové příděly také nejsou tak významné jako v minulosti. Dopady extrémních stavů vody v krajině můžeme do značné míry omezit kvalitní péčí o půdu, návratem funkční vegetace do krajiny a souvisejícím postupným zvyšováním retenční kapacity naší krajiny.

### **Plocha povodí**

Plocha povodí ovlivňuje celkové množství zachycených srážek a následně velikost odtoku z povodí. S rostoucí velikostí plochy povodí obvykle roste hodnota kulminačního průtoku, zároveň je však tvar povodňové vlny výrazně plošší (DAŇHELKA, 2007). U menších povodí dosahuje specifický odtok vyšších hodnot.

### **Tvar povodí a uspořádání říční sítě**

Vliv tvaru povodí a uspořádání říční sítě se projevuje výrazně za povodní (JANDORA, STARA, STARÝ, 2002), kdy ovlivňují tvar povodňové vlny vzniklé souběhem povodňových vln z jednotlivých částí povodí.

Příznivější je stromovité uspořádání říční sítě se střídavým napojením vedlejších toků, v němž nedochází k interferenci povodňových vln z přítoků. Naopak pro vznik a vývoj povodňových vln s velkým kulminačním průtokem je vhodné zejména vějířovité uspořádání toků povodí, kdy se při povodni částečná povodí setkávají v jednom bodě soutoku. Nepravidelná říční síť se může projevit v charakteristickém tvaru povodňových vln, které mohou mít například více vrcholů (DAŇHELKA, 2007).

### **Sklon a expozice**

Sklon a expozice ovlivňují ostatní fyzicko-geografické vlastnosti povodí (půda, vegetace) a klimatické charakteristiky. Expozice vůči slunci ovlivňuje především intenzitu evapotranspirace a tání sněhové pokrývky díky intenzivnějšímu přísunu energie na exponované plochy. Expozice a sklon vzhledem ke směru větru ovlivní množství srážek, které dopadají na zemský povrch a podmínky pro akumulaci sněhu (DAŇHELKA, 2007). Dále pak s vyšším sklonem terénu povodí se nepříznivě snižuje efektivní retence povodí a nepříznivě zvyšuje maximální specifický odtok z povodí (PRUDKÝ, SPITZ, 2003).

## Lidská činnost a hospodaření

Vodní režim v povodí je značně ovlivněn též lidskou činností a hospodařením v povodí. Zejména u malých povodí mohou mít tyto zásahy významný vliv na srážko-odtokový proces, přitom zřetelný projev lze sledovat v relativně krátkém časovém měřítku tak, jak jsou různé zásahy v povodí realizovány (*PODHRÁZSKÁ, TOMAN, 2002*). Technické zásahy v povodí řízené člověkem, zaměřené k využívání zdrojů biosféry pro uspokojování potřeb společnosti, můžeme rozdělit na příznivé a nepříznivé na vodní režim povodí.

- příznivé – budování nádrží, úprava toků, regulace vodních režimů půd, protipovodňová a protierozní opatření, lesní hospodářství atd.
- nepříznivé – intenzivní rostlinné a živočišné výroby, intenzivní průmyslové výroby, rozvoj energetické základny, intenzivní povrchové a hlubinné těžby, rozvoj průmyslové a občanské výstavby, kalamitní těžba lesních porostů atd. (*KRAVKA, 2009*).

## Pokryv zemského povrchu (Land use)

Land use označuje typ pokryvu zemského povrchu (vegetace, vodní plochy, zemědělské plochy, urbanizovaná území), který determinuje míru intercepce daného území a jeho infiltrační vlastnosti (rychlost infiltrace). Tím je výrazně ovlivněna intenzita rychlé složky odtoku (povrchový odtok). Nejrychlejší odtok nastává u zpevněných ploch, kde se navíc odtokový koeficient blíží 100 %. Pro vznik rychlého odtoku jsou nepříznivé také zemědělské plochy bez dostatečného zapojení pěstovaných plodin chránících půdní povrch. Vegetační pokryv ovlivňuje rovněž míru evapotranspirace (*DAŇHELKA, 2007*).

Dle *LANGHAMMER et al. (2004)* lze mezi základní změny ve využívání zemského povrchu ovlivňující odtok vody z povodí během srážko-odtokových situací zařadit:

- odlesnění krajiny – především odlesnění krajiny v pramenných oblastech, kde hraje intercepce vegetace významnou roli;

- intenzivní zemědělství – např. přeměny krajinných objektů luk, pastvin, lesů na obhospodařovanou půdu. Významnou roli zde hrají rozsáhlé oblasti s pěstovanými monokulturami a ovlivnění hydraulických vlastností půdy její kultivací;
- urbanizace krajiny – především urbanizované oblasti díky zpevněnému povrchu oslabují retenční kapacitu území, kdy zcela převažuje povrchový odtok;
- industrializace území – industrializované plochy zejména mění přirozenou původní hydrografickou síť, převody a akumulace vody v rámci vodních soustav, odběry, chemické a tepelné znečištění, ovlivnění ledových jevů.

Lesní porosty mají nesporný vyrovnávací účinek na rozdělení odtoku, zejména na snížení velkých vod, a poskytují ochranu půdy před vodní erozí. Příznivé účinky jsou však podmíněny správnou skladbou a polohou lesa (*JANDORA, STARA, STARÝ, 2002*).

Vyvinutá a nepoškozená lesní půda může za ideálních podmínek uplatnit retenční kapacitu v objemu 80–125 mm srážek, v běžných případech podle reálného stavu půdy na lokalitě můžeme počítat s 40–60 mm. Je to 5–9krát více než u půd zemědělských díky struktuře zdravé lesní půdy, jejímu objemu nekapilárních pórů a možné intenzitě infiltrace, která zejména v povrchové vrstvě půdy mnohonásobně překračuje možné intenzity srážek. Lesní porost také vydatně odčerpává vodu z půdy na transpiraci (do 5 mm vody za 24 hodin, do 40 mm za týden za bezesrážkového počasí radiačního typu), a tak výrazně uvolňuje její vodní kapacitu pro příjem dalších srážek.

Hypodermický odtok půdou (charakteristický, převažující druh odtoku pro lesní půdy), odvádí srážkovou vodu se zdržením (retardací) do toků a stále udržuje určitou infiltraci další srážkové vody do půdy. Povrchový odtok srážkové vody je v lesích jen výjimečným jevem a představuje nejvýš řádově procenta z množství srážek (*KANTOR et al., 2003*).

Tato tvrzení potvrdila i studie autorů *KOVÁŘ, KŘOVÁK (2006)*, která za použití matematického modelu KINFIL2 prokázala 10-15% nárůst kulminačních průtoků při 50 %

smýcení nejstarších lesních porostů (pokles na 518 ha) na povodí vodního toku Všeminky (2 148 ha).

V případě zemědělských ploch jsou charakteristiky infiltrace a evapotranspirace výrazně proměnné v průběhu roku v závislosti na pěstované kultuře, na fázi vývoje rostlin a na způsobu zemědělského obdělávání (*DAŇHELKA, 2007*). Dále pak z metodiky (*KVÍTEK ed., 2012*) vyplývá, že vlastnosti odtoku z povodí z hlediska objemů, procentuálního zastoupení jednotlivých složek odtoku a z hlediska chemismu vody jsou obzvláště citlivé na pěstovanou plodinu a způsob jejího obhospodařování v infiltračních oblastech povodí, které se vyskytují zejména v oblastech rozvodnic povodí a na temenech kopců a které jsou využívány převážně jako orná půda. *ŽLÁBEK (2009)* však dodává, že při středně velkých až extrémních srážko-odtokových událostech je vliv způsobu využití půdy potlačen na úkor vlivu meteorologických (objem srážkového úhrnu na 1 hektar za událost, IPS) a morfologických parametrů (průměrná hodnota topografického indexu, průměrný sklon povodí).

U vegetačního krytu předpokládáme uplatnění vlastností ovlivňujících zadržetí, změnu rychlosti povrchového odtoku i případně akumulaci vody v povodí. Uplatnění těchto vlastností je vyhodnoceno např. v práci *SOCHOREC (2013)*, kde byl sledován vliv vegetace na povrchový odtok. Porovnávány byly porosty pšenice ozimé, brambor, kukuřice, TTP a holé půdy. V závěrečném hodnocení se prokázalo, že největší hodnoty povrchového odtoku byly naměřeny u holé půdy  $596,1 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  a kukuřice  $594,4 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ . Poměrně vysoké hodnoty odtoku byly zaznamenány také u brambor  $223,1 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ . Nejnižší odtoky vykazovala pšenice ozimá  $62,5 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  a trvalý travní porost  $70,6 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  (extenzivní) a  $39,2 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  (intenzivní). Travním porostům byla rovněž dokázána výrazná protierozní funkce, neboť celoročním pokryvem chrání povrch půdy před přímým účinkem dešťových kapek a zpomalují odtok srážkové vody.

Na vliv způsobu zemědělského obdělávání se zaměřil ve svých pracích např. *SCHILLING (2003)*, *SCHILLING, LIBRA (2004)*, kteří zkoumali vliv zastoupení řádkového pěstování a poměru základního odtoku k celkovému na dlouhých datových řadách a kteří prokázali, že existuje silná vazba mezi zvyšujícím se podílem řádkového pěstování na ploše povodí a zvyšujícím se podílem základního odtoku.

Urbanizace krajiny výrazně mění způsob odtoku vody z povodí. Dle studie *CLEAN WATER SERVICES (2005)* se procento plošného zastoupení nepropustných ploch v průměrné obytné zóně s individuální výstavbou pohybuje od 25 % do 60 %. V průmyslových lokalitách může dosahovat i 100 %. V přírodních oblastech je převážná část srážek infiltrována do půdního profilu či evapotranspirována a pouze malé množství se v podobě povrchového odtoku dostává do vodních toků či nádrží. V zastavěných oblastech nepropustné plochy, např. v podobě budov, cest a parkovišť zvyšují kulminační průtoky, objem povrchového, ale i celkového odtoku.

V modelové práci od autorů *BLAIR et al. (2010)* se uvádí, že při 50% nárůstu obydlené plochy se zvýší kulminační průtoky 19krát a objem odtoku až 10krát a že již mírné navýšení zastavěných ploch přináší znatelný nárůst kulminačních průtoků, objemu celkového a zkrácení doby odtoku. Obdobných výsledků dosáhlo i velké množství dalších autorů jako jsou *SCHUELER (1995)*, *SCHUELER, HEATHER (2000)*, *BOOTH, HARTLEY, JACKSON (2002)* či *NUNES et al. (2006)*.

### **Půdní a geologické charakteristiky**

Půda je složitý systém minerální a organické půdní hmoty seskupené do strukturních částic, které vytváří díky vzájemnému uspořádání systém pórů, kudy voda perkoluje a kde se zadržuje. Experimentálním výzkumem a modelováním odtoku z povodí se došlo k závěru, že půda spolu s geologickými poměry hraje důležitou roli v transformaci srážek na odtok vody z povodí (*HEWLETT, HIBBERT, 1967; KUTÍLEK, 1978; KUTÍLEK, NIELSEN 1994*). V hydrologickém cyklu pevnin je půda nádrží o značném retenčním objemu. Ten v celostátním měřítku řádově převyšuje objem vody v nádržích a vodních tocích (*KUTÍLEK, 1978*).

Půdní a geologické poměry v povodí ovlivňují především infiltrační a retenční schopnosti půdy a v důsledku toho i rozdělení vody ze srážek na plošný odtok povrchový a plošný odtok podzemní. Nepropustné horniny nebo horniny, z nichž vznikají nepropustné zvětraliny, způsobují rychlý povrchový odtok a v území je pak nedostatek podzemní vody. Vodnost toků v takovém povodí prudce kolísá. Podstatně vyrovnanější jsou průtoky na řekách s povodím propustným (*JANDORA, STARA, STARÝ, 2002*).

ŠEFRNA (2004) či ŠANTRŮČKOVÁ, MALÝ, CIENCIALA (2015) se shodují na hlavních charakteristikách, které infiltraci a propustnost půdy (resp. pohyb vody v půdním prostředí) zásadním způsobem ovlivňují. Mezi ně patří zejména:

- zrnitostní složení půdního profilu

Infiltrace obecně roste od těžkých půd k lehkým. Za zrnitostně optimální jsou považovány středně těžké půdy (ph až h), jejichž fyzikální vlastnosti zaručují díky nižší objemové hmotnosti dobré provzdušnění a umožňují optimální rozvoj biologické aktivity včetně humifikace nebo sorpčního nasycení. Opačně jsou hodnoceny půdy texturně písčité a jílovité. První se vyznačují vysokou infiltrací a nízkou retencí, vysokou promyvností s tendencí ke ztrátám důležitých bází a živin. Jílovité půdy jsou naopak charakteristické vysokou retencí a špatnou infiltrací povrchu, nepříznivými fyzikálními podmínkami profilu nebo jeho částí se sklonem k převlhčení.

- výskyt horizontů či vrstev v půdním profilu s odlišným zrnitostním složením nebo s odlišnými fyzikálními vlastnostmi (utužené vrstvy)

Nad luvickými horizonty, dvousubstrátovými a zhutněnými profily se shledáváme se stagnací prosakující vody. SÁŇKA, MATERNA (2004) definuje utužení půdy (pedokompakci) jako fyzikální poškození půdy v důsledku přejezdů těžké mechanizace, které výrazně snižuje infiltraci vody do půdy, v jejímž systému výrazně ubývá makropórů. Dochází k degradaci půdní struktury, která s sebou nese potenciální ohrožení dalších půdních funkcí: půda má sníženou pórovitost, schopnost infiltrace, je omezen růst rostlin a biologická aktivita. Pedokompakcí jsou též zvyšována rizika vodní eroze a záplav.

- struktura půdy

Půdní struktura označuje prostorové uspořádání agregátů v půdě. Agregování půdních částic je výsledkem komplexního působení fyzikálních, chemických a biologických procesů, které probíhají pod vlivem mnohých vnějších i vnitřních činitelů v půdě. Stabilní agregátová stavba strukturální půdy eliminuje špatné infiltrační schopnosti těžkých půd. Infiltrace srážkové vody



u nestrukturální půdy je trvale nižší, nestabilní agregáty se ve vodě rychle rozdělí na jednotlivé částičky, půda se snadno slévá, utužuje a vytvářejí se škraloupky nepropustné pro vodu a vzduch. Rychlost infiltrace se rychle snižuje.

- hloubka půdy (k podložní hornině, k hladině podzemní vody)

Se snižující se výškou půdního profilu klesá i objem retenčního prostoru, do kterého může být voda infiltrována a akumulována. Při nízké mocnosti profilu proto nemusí mít půda dostatečnou zásobu vláhy pro překonání period sucha.

- mineralogické složení jílové frakce

Fyzikální vlastnosti jsou závislé na mineralogickém složení fyzikálního jílu, který ovlivňuje objemové změny půdy při bobtnání, smršťování i při tvorbě trhlin.

- charakter pórů

Půdní póry představují volný prostor, který není vyplněný pevnými částicemi půdy. Tyto prostory mají různý tvar a velikost, většinou od sebe nejsou odděleny a jsou spojitě. Objem pórů vyjádřený v procentech vzhledem k celkovému objemu půdy v přirozeném uložení nazýváme pórovitost. Zastoupení pórů v půdě se v průměru pohybuje kolem 50 % objemu pedonu. Velmi důležité je zastoupení jednotlivých skupin pórů podle velikosti – nekapilární, semikapilární a kapilární.

Jemné (kapilární) póry jsou ty, v nichž je voda ovládána kapilárními silami, které vodu zadržují a umožňují její pohyb proti působení gravitace. Pohyb vzduchu je v nich omezený. Hrubé (nekapilární) póry charakterizuje neomezené působení gravitace na vodu, která se v nich volně pohybuje do spodních vrstev a na její místo se dostává vzduch. Významně se podílí na vzájemné výměně plynné fáze mezi půdou a ovzduším. Střední (semikapilární) póry jsou z hlediska významu přechodem mezi póry kapilárními a nekapilárními. Optimální poměr mezi kapilárními a nekapilárními póry je podle KOPECKÝ (1928) 2 až 3:1.

Podpovrchové proudění může být ovlivněno některými, z hlediska odtoku výraznými, úzkými preferenčními cestami. Obecně se dá hovořit o makropórech tvořených celou řadou činitelů (kořínky rostlin, tvorba pedů, makroedafon aj.) Proudění velkými póry se označuje jako „by-pass flow“ a voda těmito póry proudí místy turbulentně.

- obsah humusu a jeho vlastnosti

Obsah humusu se vyjadřuje v % a v humusovém horizontu normálních zemědělských půd (vyjma organické půdy) se pohybuje od několika desetin procenta až po 5 %, i více. Obsah humusu (organické hmoty) je velmi důležitým parametrem ovlivňujícím úrodnost půdy i funkci půdy v ekosystému. Důležitým parametrem je kvalitativní složení humusu, které se vyjadřuje buď poměrem uhlíku k celkovému dusíku v půdě, nebo poměrem huminových kyselin a fulvokyselin. U poměru uhlíku k celkovému dusíku (C:N) je číslo  $< 10$  považováno za ukazatel dobré kvality humusu. Čím je číslo větší než 10, tím je humus méně kvalitní.

## 2.2 Složky odtoku z povodí

*TACHECÍ, KVÍTEK, DOLEŽAL (2017)* nebo *MAŠÍN, KULHAVÝ (1998)* doporučují se při posuzování tvorby odtoku z plochy určitého povodí ze srážkové vody zaměřit především na měřítko malých povodí (hektary až jednotky  $\text{km}^2$ ). Podrobné studium malých povodí a získání znalostí mechanismů, kterými se v nich srážky mění na odtok, nám umožní určit odtokové odezvy z jejich území. Následným poskládáním dílčích odtokových odezev ze subpovodí dostáváme výslednou odtokovou vlnu ze středních a větších povodí. Tato malá povodí, resp. povodí drobných vodních toků, se proto stávají středem pozornosti vodohospodářů, neboť je dnes citlivě vnímána skutečnost, že se zde vytváří podmínky pro hospodárné a ucelené využívání vodních zdrojů.

Měření v malých povodích mohou být dostatečně podrobná k odhalení mechanismů a chemismů vlivu hospodářských činností, ochrany půdy a péče o vodní komponenty v krajině. Empirické studium v měřítku malých povodí pak může být doplněno o výsledky fyzikálně založených simulačních modelů. Vzhledem k variabilitě počasí a k pomalosti vývoje půdních vlastností, urbanizace území a zemědělsko-

hospodářských trendů musí být sledování v povodích dlouhodobé a komplexní, předjímající praktické otázky, na které bude třeba v budoucnu odpovídat, ale které dnes ale třeba ještě nemusí být naléhavé. V povodích sledovaných po delší období lze věrohodně zachytit dopady politických, hospodářských i odborných změn přístupů ke krajině. Přímé vlivy na srážkoodtokový proces lze ovšem vysledovat i v kratších obdobích. Malá povodí proto poskytují i prostor pro přípravu a realizaci aktivních experimentů. Jedná se o jakési „polní laboratoře“, z nichž některé výsledky nalézají přímé uplatnění v praxi, jiné je třeba zobecnit a kombinovat pro použití ve větších povodích, čemuž napomáhá souběžný výzkum ve vnořených povodích různé velikosti (DOLEŽAL *et al.*, 2006).

V práci autorů TACHECÍ, KVÍTEK, DOLEŽAL (2017) je souhrnně konstatováno, že při posuzování tvorby odtoku však všechny studie a práce naráží na základní problém, že podstatná část tvorby odtoku probíhá pod povrchem, a není proto snadno pozorovatelná. Jsou prováděna bodová, jednorázová či kontinuální měření, která je nutné často interpretovat na zájmovou plochu nebo zvolenou časovou dynamiku. Tyto interpretace jsou zdrojem určitých nejistot, které se snaží minimalizovat nové způsoby a technologie měření.

Hlavním zdrojem půdní vody a následného odtoku z povodí jsou atmosférické srážky. Výsledný srážkový úhrn se však nerovná množství vody, které půda v povodí přijímá. Prvním faktorem, který omezuje kontakt srážkové vody s půdou a zvyšuje podíl vody zadržené v povodí, je vegetace. Uvádí se (KUTÍLEK, 1966; ŠEFRNA, 2004), že intercepce se pohybuje mezi 10 až 55 % srážkové vody. Reálné množství je závislé od druhového složení vegetační pokrývky, její hustotě, stáří a dále pak na délce trvání a intenzitě srážky. Část objemu takto zadržené vody steče po kmenech a stoncích do půdy. Zbylá část zadržené vody se z vegetace bez dalšího využití vypaří a vrací zpět do hydrologického cyklu. Tento výpar vody zadržené vegetačním krytem však snižuje vysušování půdy. Je-li povrch vegetace smočený, pak místo k fyziologické transpiraci dochází k evaporaci intercepční vody z povrchu rostlin a intercepce tak znamená úsporu transpirační vody, která by se jinak musela odebrat z půdy (KANTOR, 1987). Vegetační pokryv tak přímo ovlivňuje retenční kapacitu půdy a formování odtoku z povodí.

Srážková voda, která dopadne až na povrch terénu, se vsakuje do půdy, akumuluje se v mikrodepresích (detence) nebo stéká podle sklonu po povrchu dolů. Rychlost infiltrace závisí, mimo charakteristik vegetačního pokryvu, také na výskytu překážek, hydraulických charakteristikách povrchových a podpovrchových vrstev a také na okamžitém nasycení půdy (*TACHECÍ, KVÍTEK, DOLEŽAL, 2017*).

Infiltrace příčinného deště probíhá v nenasyčeném půdním prostředí. Srážky nejprve infiltrují do půdy, kde dochází k pohybu vsakující se vody v hrubých nekapilárních pórech. K tomuto pohybu jsou využívány i makropóry a jiné preferenční cesty, které umožňují snadnější a rychlejší proudění vody do půdy. Dochází také k pohybu vody, která se nacházela v půdě před příčinnou srážkou. To se týká především půdní vody v semikapilárních pórech, která pod sebou posouvá uzavřený půdní vzduch. V závislosti na stavu struktury půdy může vliv stlačeného vzduchu snižovat a zpomalovat infiltraci do půdního profilu. Po nasycení půdy nad hranici polní vodní kapacity představující maximální množství vody, kterou je půda schopna udržet vlastními vnitřními silami v téměř rovnovážném stavu proti působení gravitační síly, nastává průsak vody do podloží. Prosakující gravitační vodou jsou nasycovány podložní vrstvy a doplňovány zásoby podzemní vody.

Proti akumulaci vody v půdě působí výpar. Jedná se o výpar z půdního profilu, při kterém voda přechází přímo z kapalného stavu do stavu plynného (evaporace), nebo o výpar z vegetačního krytu, kdy tento proces probíhá skrz metabolismus rostlin. Obojí je ovlivňováno v zásadě stejnými meteorologickými a půdními faktory a velmi špatně je od sebe rozlišujeme. Proto tyto procesy spojujeme a souhrnně nazýváme jako evapotranspirace (*DEODHAR, 2009, KUTÍLEK, 1966*).

Během srážky může dojít k překročení retenční či infiltrační kapacity půdního profilu a voda je nucena generovat povrchový odtok. Pokud se překročí retenční kapacita půdního profilu nebo srážky dopadají na nepropustný povrch, mluvíme o tzv. Dunneho odtoku. Při překročení infiltrační kapacity, kdy intenzita příčinné srážky je vyšší než vsakovací schopnost půdního profilu, vzniká tzv. Hortonovský odtok. Na povrch může ale také vystoupat i mělká podzemní voda, která se již jednou infiltrovala

a proudila pod povrchem. V těchto případech mluvíme o exfiltraci vody, čímž vzniká tzv. vratný odtok (BEVEN, 2012).

Do uzávěrového profilu se voda dostává také pomocí podpovrchového odtoku. Podpovrchový odtok je dělen na hypodermický a základní odtok. Hypodermický odtok, podpovrchový odtok mělce pod povrchem, vzniká především díky vyšší hydraulické vodivosti a většímu množství pórů ve svrchních horizontech půdy. Převažující směr jeho proudění je daný sklonem svahu, díky kterému voda proudí paralelně s povrchem terénu. Rychlost proudění může být obdobná jako u povrchového odtoku (TACHECÍ, KVÍTEK, DOLEŽAL, 2017). Základní odtok neboli podpovrchový odtok ze vzdálenějších, hlubších a méně propustných zvodní se projevuje jako relativně stálý a málo proměnlivý. Také on je ale spojen s procesem infiltrace a mění se s intenzitou deště.

Jednoduché schématické rozdělení odtoku z povodí na jeho jednotlivé složky je následující:

- povrchový odtok – část vody odtékající po povrchu terénu
  - **soustředěný** – probíhá v hydrologické síti
  - **plošný** (nesoustředěný) – probíhá neorganizovaně po celých plochách svahů v podobě ronů a po dosažení vodního toku, či vytvoření erozních rýh se mění na soustředěný odtok
  
- podpovrchový odtok
  - **hypodermický** – voda z celkového odtoku, která odtéká pod povrchem terénu, ale není v kontaktu s hladinou podzemní vody. Část hypodermického odtoku se dostane do povrchového toku bezprostředně po skončení deště, zbylá část až po určitém čase.
  - **základní odtok** – část celkového odtoku, která odtéká jako součást podzemní vody

Například *KRAVKA (2009)* dále rozděluje odtok vody z povodí na přímý a základní odtok, a to podle času, za který se srážková voda dostane do povrchových toků.

- přímý odtok – souhrnné označení pro povrchový a prosakující podpovrchový odtok, který nedosáhl hladiny podzemní vody a tvoří bezprostřední odezvu na srážku nebo tání;
- základní odtok – představuje složku dlouhodobé redistribuce vod hlubších podzemních zvodní, která může v období beze srážek představovat veškerý odtok.

*TACHECÍ, KVÍTEK, DOLEŽAL (2017)* však poukazují na závěry v *BEVEN (2012)*, kde se předpokládá, že různé typy srážkoodtokových procesů se mohou vyskytovat i v rámci jednoho subpovodí. Ukazuje se také, že určitý proces tvorby odtoku nemusí být vždy dominantní pro konkrétní povodí, ale že se může měnit v čase s proměnnou intenzitou a objemem srážky a s ohledem na další různé faktory, jako je např. využití půdy, roční období, vlhkostní poměry nebo agrotechnické operace. Dále udávají, že v mnoha případech je pro formování odtoku ze subpovodí podstatný objem odtokové odezvy tvořený vodou, která se v povodí nacházela již před dopadem příčinné srážky, a jen menší část tvoří voda „nová“, původem z aktuální srážky. Lze tedy usuzovat, že reakce povodí na příčinnou srážku může být velmi rychlá. Avšak voda, která z povodí skutečně odtéká, se v půdě, puklinách a zvodních zdržovala již významnou dobu před počátkem srážky.

Stejní autoři dodávají, že podpovrchové procesy tvorby odtoku mohou zahrnovat další jednotlivé mechanismy popsané v rámci provedených pozorování v konkrétních povodích v pracích *TESAŘ et al. (2003)*, *ZUMR, DOSTÁL, DEVÁTÝ (2015)*, *ŠANDA, CÍSLEROVÁ (2000)* nebo *WILSON et al. (1990)*. Jedná se například o pístové proudění, kdy se nová voda z aktuální srážky posouvá půdním profilem a vytlačuje z pórového prostoru vodu z předchozích srážek, oscilační výtok, kdy k uvolnění významného objemu dříve infiltrované vody může dojít i náhle po relativně malé příčinné srážce, nebo o proudění mělké podzemní vody, která dotuje lokální vodoteč v průběhu bezsrážkových i srážkových období.

Plochu povodí je dle *DOLEŽAL, KVÍTEK (2004)* a *ZHENG, HUANG, NORTON (2004)* možné rozdělit na tři oblasti s odlišnými převládajícími režimy proudění a vlhkostními poměry. Tyto odlišnosti mají přímý vliv na tvorbu odtoku a odnos látek. Toto rozdělení je podstatné při určování dopadu změn využití území a různých opatření na odtok vody či odnos látek z celého povodí.

- infiltrační zóna – v horních částech svahů, kde převažuje svislé proudění dolů a infiltrace do hlubších vrstev půdního profilu
- transportní zóna – ve středních částech svahů, kde převažuje proudění více či méně paralelní s povrchem
- akumulační zóna – v dolních, obvykle vlhčích částech svahů s mělkou hladinou podzemní vody, s možností výskytu vratného odtoku nebo přímého napojení podpovrchového odtoku na vodoteč

### **2.3 Hydromeliorace a drenážní odtok**

Pojem hydromeliorace vykládá *ČSN 75 4200 (1994)* jako stavby sloužící k odvodnění zemědělských půd, které odvádějí nadbytek povrchové a podzemní vody z pozemku a které slouží k provzdušňování pozemku a jeho ochraně před zaplavením vnějšími vodami.

V našich podmínkách je pro zemědělské půdy typické uplatnění drenážního odvodnění, které reprezentuje síť otevřených příkopů a vodotečí (*KULHAVÝ, ČMELÍK, 2011*), méně častěji pak rozptýlenou trubní drenáží. V České republice bylo odvodněno zhruba 26 % výměry zemědělské půdy.

Účelem budování hydromeliorací bylo zemědělské zpřístupnění níže položených a zamokřených poloh v povodí, kde docházelo k vývoji méně propustných, oglejených, glejových či rašelinných půd. Vzhledem k tomu, že se naše území nachází vesměs v semihumidní oblasti, bylo vhodné na obdělávaných pozemcích odvádět i přebytky akumulované zimní vláhy. Celá řada původních stanovišť pro mezofytní až hyrofytní

rostlinné druhy tak byla eliminována a na zemědělských pozemcích byly vytvořeny podmínky pro polní plodiny nebo mezoxerofytní travní porosty. Výsledkem odvodnění půd je mimo jiné i významné prodloužení vegetační doby.

Odvodnění snižuje hladinu mělké podzemní vody a odvádí z půdního profilu volně pohyblivou gravitační vodu, což vede ke zvýšení infiltračních schopností půdního profilu, k lepšímu provzdušnění půdy, zvýšení biologické aktivity a zlepšení teplotního režimu (*TACHECÍ, KVÍTEK, DOLEŽAL, 2017*). Rozšíření zemědělských ploch, které bylo umožněno odvodněním, však může být posuzováno i jako ekologicky nepříznivé. Toto upřesňuje *KULHAVÝ (2015)* tím, že se zvyšujícím se výskytem hydrologických extrémů, tedy nejen povodní, ale i sucha, mohou být funkce odvodňovacích systémů kontraproduktivní. Například po fázi odvedení přebytku zimních srážek a po dokončení jarních polních prací již nebývá důvod nadále půdní vodu odvádět. A naopak, je vhodné vytvářet zásoby pro letní období, a tak snižovat tak rizika i dopady výskytu agronomického sucha. V současnosti evidujeme výskyt četných poruch drenážního odvodnění. Při příležitosti jejich rekonstrukce je proto vhodné zvážit i jejich požadovanou funkci a modernizaci.

*SOUKUP et al. (2005)* však podotýká, že klíčem k řešení otázek ochrany půdních zdrojů není odvodnění jako takové, ale také řešení rozměrů a struktury zemědělských pozemků, jejich vazeb a situování.

*KULHAVÝ, DOLEŽAL, SOUKUP (2001)* uvádějí, že drenážní odtok býval často považován za pouhou složku hypodermického odtoku. Ve skutečnosti se však sám skládá z několika složek, jejichž geneze je různá. Dále informují o tom, že tuto skutečnost rozpoznali jako jedni z prvních *ŠVIHLA et al. (1992)* a *FÍDLER (1970)*, který konstatoval, že vlny podzemních odtoků jsou plošší než povodňové vlny v malých vodních tocích. Jeho zdůvodnění zní, že vztah mezi srážkou a odtokem je tlumen tím, že voda prochází skrze půdní a horninové prostředí. *KULHAVÝ, DOLEŽAL, SOUKUP (2001)* také popisují hlavní cesty, které ve středoevropských podmínkách využívá srážková voda k prostupu do drenáže. Závěrem konstatují, že v drenážním odtoku rozlišujeme dvě složky, které označujeme jako přímý odtok (nová voda) a základní odtok (stará voda).



Drenážní odtok, jako frakce celkového odtoku vod z povodí velké části drobných vodních toků, je nyní brán za specifickou hydrologickou charakteristikou. Často však schází jeho přesnější kvantifikace, neboť ta závisí na řadě měnících se přírodních a technických podmínek. Odvodnění ovlivňuje prvotně režimy mělkého podpovrchového odtoku a vodní bilanci nenasycené zóny, nepřímo pak odtok povrchový i podzemní a následně další složky životního prostředí (KULHAVÝ, ČMELÍK, 2011). Ovlivňuje také režim vodoteče jako jsou m-denní průtoky nebo jakost vod.

Režim drenážního odtoku je analyzován z hlediska svých složek – nová voda a stará voda, které se liší svou genezí. Nová voda je složkou drenážního odtoku, která tvoří přímou odezvu na srážku nebo tání, zatímco stará voda je složka vycházející z výslednice dlouhodobé redistribuce podzemních vod (KULHAVÝ, DOLEŽAL, SOUKUP, 2001).

### **2.3.1 Teplotní režim drenážního odtoku**

Řada studií poukazuje na existenci vztahů mezi změnami teploty vody a změnami průtoků soustředěného odtoku. Jejich společným základem je odlišnost teploty zdrojové vody ze srážek nebo tání sněhu a teploty zdrojové půdní nebo podzemní vody (JENKINS, 1994). Například KOBAYASHI (1985, 1993) využil změn teploty vodního toku pod tající sněhovou pokrývkou k separaci zdrojové podzemní vody a povrchového odtoku z tající sněhové pokrývky. Změn teplot v letních obdobích si všímá mimo jiné CONSTANTZ (1998), který ve své práci popsal negativní korelaci mezi velikostí soustředěného odtoku v horských tocích a teplotou vody.

Z těchto prací vycházejí také ZAJÍČEK, KVÍTEK, KAPLICKÁ (2009), ZAJÍČEK *et al.* (2011, 2017), kteří prokazují obdobný princip na drenážních systémech. Z dlouhodobých kontinuálních měření na subpovodích experimentálních lokalit se prokázal sinusoidní průběh teplot drenážní vody, která s malým zpožděním kopíruje teplotu vzduchu (korelační koeficient = 0,9). Z této závislosti autor vyvozuje, že drenážní odtok pochází především z mělkého oběhu podzemní vody. Dlouhodobý vývoj teplot drenážního odtoku však bývá v průběhu srážko-odtokových událostí často narušen náhlou a rychlou změnou. Dle předložených výsledků byla prokázána statistická závislost mezi změnou

velikosti drenážního průtoku a průběhem teploty drenážní vody. Respektive, že náhlý nárůst drenážního průtoku v průběhu srážko-odtokové události je obvykle doprovázen změnou teploty drenážní vody.

Změna teploty drenážní vody nastává vždy od relativně stabilní teploty základního odtoku k teplotě vody srážkové. V případě letních typů událostí je chladnější voda ohřívána mísením s teplejší vodou z příčinné srážky. V zimě je naopak ochlazována ze zimní srážky nebo z tající sněhové pokrývky. Mezi změřenou teplotou vzduchu a teplotou srážkové vody byla autorem prokázána značně silná korelace. Nepatrné rozdíly nastávaly pouze na počátku srážky a v jejím průběhu se zmenšovaly. Obdobné výsledky vztahu mezi teplotou vzduchu a teplotou u laboratorních i přirozených srážek popisuje *FLETCHER (1966)*.

Ze závěrů autora lze vyvodit, že náhlá změna teploty drenážní vody indikuje změnu ve složení drenážního odtoku, respektive přítomnost nové vody pocházející z příčinné srážky.

## **2.4 Separace odtoku**

Porozumění mechanismu tvorby odtoku a určení místa vzniku jeho jednotlivých složek definuje *ZAJÍČEK et al. (2017)* jako nutný předpoklad pro návrh opatření směřujících ke zlepšení vodního režimu půd, zmírnění dopadů hydrologických extrémů, ke zlepšení jakosti vod a snížení odnosu živin z povodí.

Jedním ze základních nástrojů hydrologie, který slouží k dosažení porozumění o vzniku, původu a chování vody v povodí, je separace odtoku. Používáme ji zejména při analýze srážkoodtokových událostí, k oddělení přímého odtoku, vyvolaného bezprostředně předcházející srážkou, od odtoku základního, který je způsoben výtokem ze zásob podzemních vod v daném povodí (*PILGRIM, CORDERY, 1993; ECKHARDT, 2012*).

Obdobně lze separaci rozlišit i novou vodu (složka odtoku vznikající z příčinné srážky) a vodu starou (složka odtoku z infiltrované vody do půdního profilu před srážkou příčinnou) u drenážního odtoku.

### **2.4.1 Metody separace odtoku**

Do dnešní doby bylo za účelem rozlišení původu odtoku prezentováno mnoho studií a navrženo mnoho empirických i hydrologicky zdůvodněných metod. Velmi dobře

známé jsou například empirické metody založené na grafickém vykreslení (*DOOGE, 1973; LINSLEY, KOHLER, PAULHUS, 1985*), dále pak *KILLEHO (1970)* empirická metoda minimálních měsíčních průtoků, *CASTANYHO (1970)* metoda stanovující základní odtok z aritmetických průměrů minimálních měsíčních průtoků z jednotlivých roků nejméně desetileté časové řady, Base Flow Index (BFI) od autorů *GUSTARD, BULLOCK, DIXON (1992)* vyjadřující poměr objemů základního a celkového odtoku za využití křivky vyprazdňování a analýzy lokálních minim, nebo metoda digitálních filtrů od autorů *CHAPMAN (1999), ECKHARDT (2005)* a dalších. Tyto filtry vycházejí z aplikace běžného filtru ke zpracování signálu a jsou dále upřesňovány pomocí koeficientů, které jsou nastaveny v závislosti na výsledcích odlišných metod separace nebo dle předchozích zkušeností autora či uživatele.

V podmínkách České republiky je též využívána grafická metoda autorů *KLINER, KNĚŽEK (1974)*, jež je založena na pozorování rozdílů hladiny podzemní vody a hladiny toku. Touto metodou se zpracovávají především každoroční hydrologické bilance. Dále se používají například empirické metody *GROUND (JAIN, 1997)* a *MGPM (KULHAVÝ, DOLEŽAL, SOUKUP, 2001)*, které lze uplatnit i pro kratší datové řady s dobře vyvinutou a izolovanou odtokovou vlnou, nebo metoda číselných odtokových křivek (CN křivek). Dle *JANEČEK (2012)* metoda CN křivek představuje jednoduchý srážkoodtokový model s poměrně snadno zjistitelnými vstupy, dostatečně přesný a použitelný pro stanovení objemu přímého odtoku a kulminačního průtoku způsobeného návrhovým přívalovým deštěm o zvolené pravděpodobnosti výskytu v zemědělsky využívaných povodích, či jejich částech o velikosti do 10 km<sup>2</sup>.

#### **2.4.2 Chemické a fyzikální stopovače**

Celosvětově se v posledních desítkách let do popředí zájmu dostávají separace odtoku založené na využití chemických a fyzikálních stopovačů. *ZAJÍČEK et al. (2017)* definuje stopovače jako hmotu či energii unášenou vodou, která je schopna podat informaci o směru a rychlosti toku vody stejně jako o toku látek, které mohou být vodou unášeny. Tyto metody obecně zahrnují rozdělení hydrogramu na dvě nebo více složek a pracují na principu sledování chemických nebo izotopických rozdílů ve vodních vstupech a výstupech srážkoodtokových událostí (*GENEREUX, 1998*). Při dostatku informací o zastoupení stopovačů v odebraných vzorkcích je následně možné určit délku

doby zdržení vody v systému půda-hornina, resp. odhadnout cesty pohybu vody v povodí a stanovit poměrné zastoupení jednotlivých složek odtoku.

Využití stopovačů označuje například *JENKINS (1994)* jako nejpřímější cestu k získání informací o odtokových cestách a době zdržení vody v povodí. K nejatraktivnějším stopovacím látkám pro použití v hydrologii řadí ty, které jsou nejméně ovlivňovány svým okolím a které mohou být ve vodě rozpuštěny nebo její pomocí transportovány. Spolu s *KENDALL, MCDONNELL (1999)*, přisuzuje značnou využitelnost stabilním izotopům kyslíku ( $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ) a vodíku ( $^2\text{H}$  – deuterium), jež jsou přirozenou složkou vody. Obsah těchto izotopů ve vzorku se standardně udává hodnotou  $\delta$  v promile, která vyjadřuje poměr zjištěného obsahu vzhledem k uznávanému standardu V-SMOW (Vienna – Standard Mean Ocean Water) (*HOEFS, 2009*). Využívány jsou i chemické stopovací prvky jako křemík ve formě  $\text{SiO}_2$  (*ŠANDA, KULASOVÁ, CÍSLEROVÁ, 2009*), draslík  $\text{K}^+$  (*TESAŘ, ŠÍR, VONDRKA, 2012*), vápník  $\text{Ca}^{2+}$  (*IORGULESCU, BEVEN, MUSY, 2005*), chlór  $\text{Cl}^-$  (*KIRCHNER, TETZLAFF, SOULSBY, 2010*), hořčík  $\text{Mg}^{2+}$  (*MUL et al., 2008*) a další.

Separace hydrogramu s použitím stopovačů jsou založeny na kontrastním zastoupení stopovače v podzemní a dešťové vodě. Zastoupení použitého stopovače ve složení podzemní vody odpovídá dlouhodobému průměru složení infiltrujících srážek, kdežto složení jedné konkrétní srážkové události bude mít od průměru odlišnou hodnotu. V případě, kdy neexistuje rozdíl mezi dešťovou vodou (nebo vodou z tající sněhové pokrývky) a vodou podzemní, není separace hydrogramu odtoku s použitým stopovačem možná.

### **2.4.3 Separace pomocí teploty vody**

Teplotu vody řadíme mezi přirozené nekonzervativní stopovače. Ta je především brána jako významný parametr pro biologické a chemické procesy probíhající ve vodním prostředí, avšak s myšlenkou na využití teploty jako stopovače pohybu vody přicházejí vědci již na počátku 20. století a dále ji rozvíjejí až do současnosti (*CONSTANTZ, STONESTROM, 2003; KOGOVŠEK, PETRIČ, 2010; LUHMANN, 2011; ZAJÍČEK, POMIJE, KVÍTEK, 2016*). Mezi přednosti využití teploty jako stopovače uvádějí *MARTIN, DEAN*

(1999) její relativně snadnou automatickou a kontinuální měřitelnost, která je doprovázena i ekonomickými výhodami. Nevýhodou použití je skutečnost, že patří mezi nekonzervativní stopovače, které své vlastnosti mohou měnit stykem s prostředím, ve kterém procházejí. Protože však voda má velkou tepelnou kapacitu a v porovnání s většinou přírodních materiálů mění svou teplotu pomaleji (DAVIS *et al.*, 1980), je použití teploty vody jako stopovače možné.

Doposud však nebyla separacím vycházejících ze změny teploty vody věnována větší pozornost. To i přes to, že jejich použití je slibné z hlediska jednoduchosti sběru dat, požadované odbornosti a nízké finanční náročnosti.

## 3 MATERIÁL

### 3.1 Zájmové lokality

Řešení všech částí této disertační práce probíhalo v rámci povodí Kopaninského potoka a povodí Dehtáře, které se nacházejí v krystaliniku Českomoravské vrchoviny, kraji Vysočina, okrese Pelhřimov (*Obrázek 3-1*). Obě povodí mají obdobné geografické i hydrogeologické podmínky a leží cca 3 km vzdušnou čarou od sebe (*Obrázek 3-2*). Lokality jsou dlouhodobě monitorovány a slouží jako experimentální pracoviště Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půdy, v.v.i..

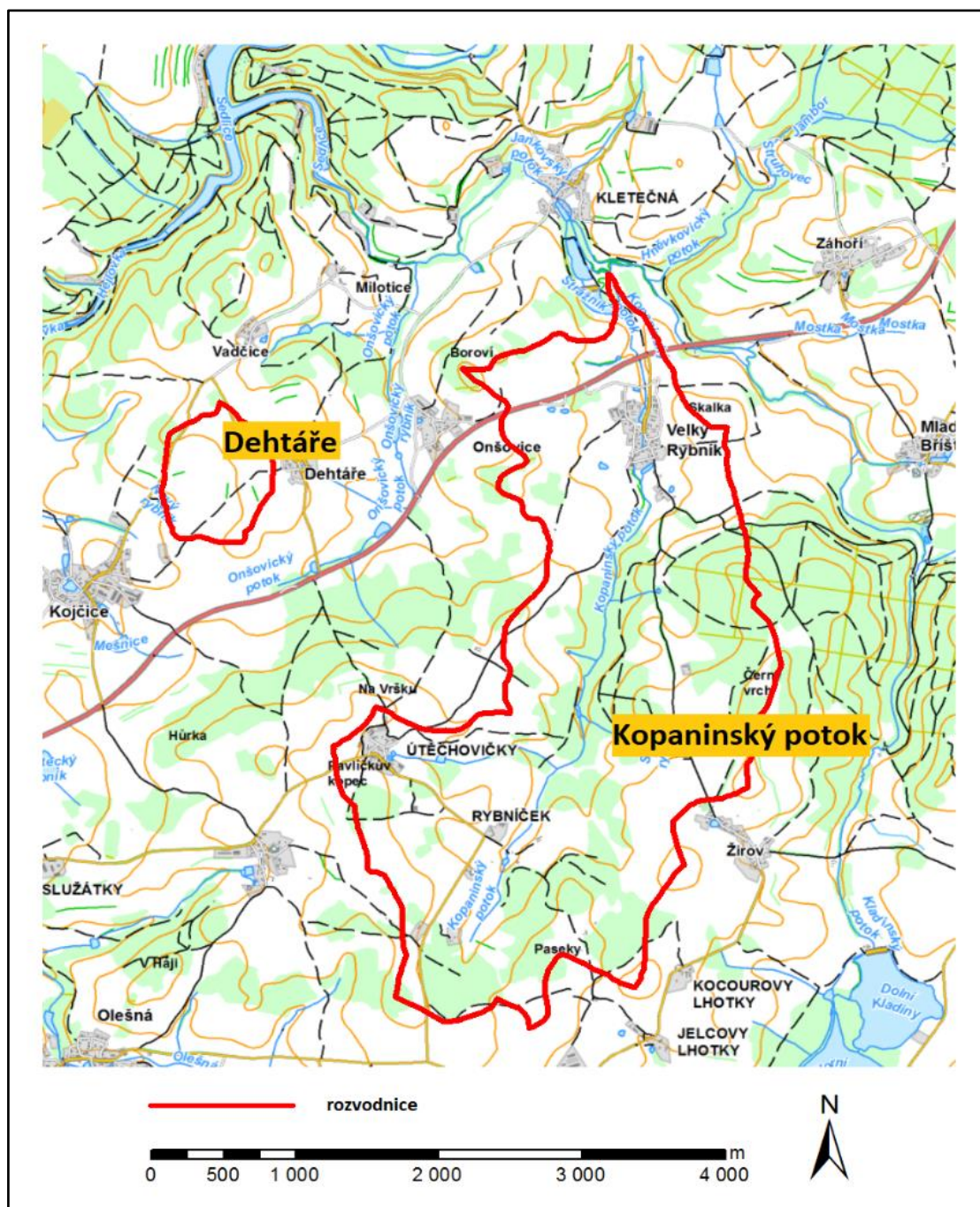
Experimentální povodí Kopaninského potoka a Dehtáře je možné dle *DOLEŽAL, KVÍTEK (2004)*, *TACHECÍ, KVÍTEK, DOLEŽAL (2017)* považovat za typické zástupce zemědělských povodí na území Českomoravské vrchoviny, kde převládají mělké kambizemě a lesní půdy. Podstatnou složkou při formování odtoku ze zdrojových malých subpovodí je preferenční proudění. Povrchový odtok vznikající překročením infiltrační kapacity půd se zde vyskytuje jen vzácně po srážkách extrémních intenzit, nebo při dopadu významné srážky na zmrzlou půdu. Výsledkem pak bývá eroze půdy a velmi rychlá povodňová odezva, často spojená s odnosem velkého objemu ornice.



*Obrázek 3-1 – Umístění zájmových povodí v rámci ČR*

Daleko častější a významnější než povrchový odtok je odtok podpovrchový (hypodermický), často se vyskytující jen v ornici a podorničí. Zdrojem hypodermického odtoku mohou být i pramenné vývěry (samostatné nebo v prameništích). V případech nasycení půdního profilu může být přes tento mělký podpovrchový odtok superponován ještě povrchový odtok nasyceného typu. Získané výsledky separací odtoku v povodích Českomoravské vrchoviny prokázaly, že podíl hypodermického odtoku je v průměru 40 %. V obdobích beze srážek je odtok tvořen podpovrchovou a podzemní částí odtoku.

Pro sběr dat a hodnocení vybraných parametrů pro účely této práce byla zvolena subpovodí s rozlohou do 1 km<sup>2</sup>, jejichž vodní režim půd je ovlivněn plošným systematickým odvodněním. Jedná se o subpovodí P6 na Kopaninském potoce a subpovodí KL a KP v povodí Dehtáře. Přehled charakteristik zájmových subpovodí včetně délek časových řad sledovaných veličin je součástí následujících kapitol.



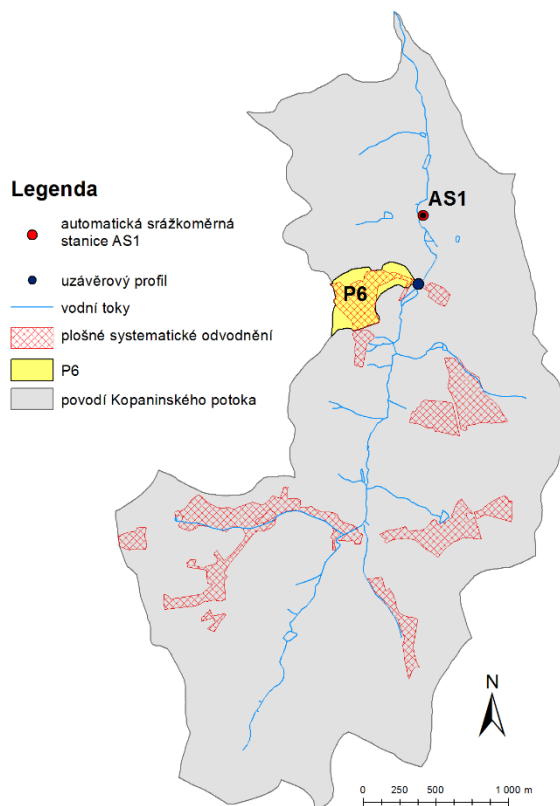
Obrázek 3-2 - Geografické umístění zájmových povodí v rámci ČR

### 3.1.1 Povodí Kopaninského potoka

Povodí Kopaninského potoka (Obrázek 3-3) je typické malé zemědělské povodí IV. řádu (1-09-02-0310-0-00) s typickým způsobem využití území (zastoupení kultur, způsob zemědělského hospodaření, hospodaření v lesních porostech, podíl odvodněných ploch, zastoupení sídel a samot). Recipientem kopaninského potoka je Jankovský potok, který se dále vlévá do řeky Želivky. Kopaninský potok má několik menších přítoků, které vytváří vlastní subpovodí v rámci sledovaného území. Celková rozloha povodí je 9,1780 km<sup>2</sup> při délce páteřního toku Kopaninského potoka 6,54 řkm a sklonem hlavní údolnice 2,6 %.

Experimentální povodí Kopaninského potoka bylo založeno roku 1985 pro výzkum regulační drenáže na lučních stanovištích. Probíhal zde výzkum vztahů mezi způsobem využití různých půd v subpovodí a odtokem vody, odnosem dusíku, později i fosforu a dalšími ukazateli jakosti vody. Povodí Kopaninského toku bylo jedním z prvních v České republice, kde bylo započato využívání automatických vzorkovačů povrchových a podpovrchových vod (DOSTÁL *et al.*, 2017). Od roku 1992 je na povodí Kopaninského toku systematicky ve 14-ti denních intervalech sledován průtok a kvalita vody nejen na hlavním toku, ale i na jeho přítocích, což dovoluje například stanovit funkci a podíl jednotlivých lokalit na odnosu dusíku (KVÍTEK *ed.*, 2007). V roce 2004 byly jednotlivé profily Kopaninského potoka postupně dovybavovány kontrolním monitoringem průtoků a jakosti vod.

Standardně jsou na povodí Kopaninského potoka měřeny úhrny a teploty srážek, teploty vody a vzduchu, radiace, vlhkosti vzduchu,



Obrázek 3-3 - Povodí Kopaninského potoka



rychlosti a směr větrů, výpar, výšky a objemové hmotnosti sněhu. Dále jsou zjišťovány jednotlivé průtoky, kvalita vody a hladina podzemní vody.

Z geomorfologického hlediska náleží povodí Kopaninského potoka k Českomoravské vrchovině, přesněji se zařazuje do Křemešnické vrchoviny, která má rovinný charakter. Tento obecně rovinný reliéf je rozřezán hlubokými údolními řek (VÁŇA, HOLOUBEK, 2001). Nadmořská výška se pohybuje od 478 po 624 m n.m., které dosahuje nejvyšší vrch povodí Pavlíčkův kopec. *Tabulka 3-1* obsahuje celkové geomorfologické zařazení v rámci České republiky.

| Geomorfologické zařazení |  |
|--------------------------|--|
| systém                   | Hercynský                                  |
| provincie                | Česká vysočina                             |
| subprovincie             | Česko-moravská soustava                    |
| oblast                   | Českomoravská vrchovina                    |
| celek                    | Křemešnická vrchovina                      |
| podcelek                 | Želivská pahorkatina, Humpolecká vrchovina |
| okrsek                   | Košetická a Vyskytenská pahorkatina        |

**Tabulka 3-1 - Geomorfologické zařazení povodí Kopaninského potoka**

Oblast je součástí nejstarší strukturní jednotky Českého masivu – moldanubika. Z hlediska stratigrafie tvoří její sedimentární základ nejnižší proterozoikum až archaikum. Převážně je zde možné nalézt biotitické a sillimanit-biotitické pararuly, které místy mohou být částečně migmatitizovány. Moldanubikum bylo vyzdviženo během hercynské orogeneze. Alpínská orogeneze způsobila vznik nových zlomů a rozlámání Českého masivu. Kvartér je zde zastoupen zvětráváním skalních bloků a vývojem říčních niv (VÁŇA, HOLOUBEK, 2001).

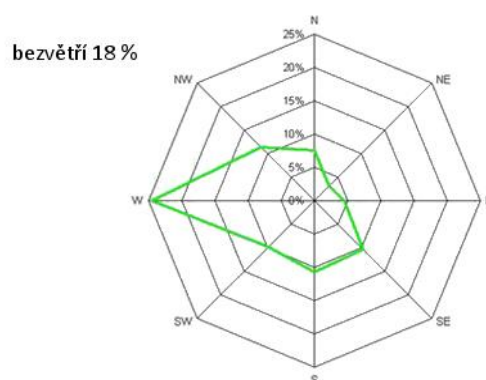
Území leží v hydrogeologickém rájónu Krystalinikum v povodí Sázavy (č. 652), které má sníženou puklinovou propustnost, závislou na charakteru zvětralin. Dle ŽLÁBEK (2009) zde převažuje převážně mělký oběh podzemních vod. Z kvartérních sedimentů mají větší hydrogeologický význam fluviální akumulace sedimentů údolních niv a některá mocnější eluvia. Propustnost kvartéru se mění podle uloženin. Infiltrace probíhá v celé

ploše kolektoru v závislosti na propustnosti zvětralinového pláště. K odvodňování dochází v úrovni nebo nad místní erozní bází.

Nejvíce rozšířenými půdními typy v území jsou kambizemě spadající dle charakteristik BPEJ do HPJ 29. Jedná se o kambizemě modální na rulách, zrnitostně středně těžké až střední lehčí, až po kambizemě mírně oglejené. Tyto půdy se nacházejí od rozvodnice až po paty svahů. Ve vlhčích oblastech se nacházejí kambizemě oglejené až glejové a pseudogleje. Charakterizuje je mramorovaný horizont se znaky oxidačně-redukčních pochodů a jsou řazeny do HPJ 50. V oblastech s výskytem svahových pramenišť dominují pseudogleje a kambizemě oglejené, které *NOVOTNÝ, VOPRAVIL et al. (2013)* řadí do HPJ 63. Lokálně se vyskytují v povodí i gleje modální, HPJ 67, se kterými se můžeme setkat v mělkých údolích a rovinných celcích při vodních tocích.

Povodí Kopaninského potoka se dle Quittovy klasifikace nachází na rozhraní klimatických oblastí mírně teplých oblastí MT4 a MT7. Mírně teplá oblast MT4 je charakteristická krátkým létem, které je mírné, suché až mírně suché. Jaro i podzim jsou krátké a mírné. Zima je normálně dlouhá, mírně teplá, suchá až mírně suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky. Oblast MT7 má normálně dlouhé, mírné nebo mírně suché léto. Jaro je mírné, podzim mírně teplý. Zimu popisujeme jako normálně dlouhou, mírně teplou, suchou až mírně suchou s krátkým trváním sněhové pokrývky. Průměrné roční teploty se pohybují v rozmezí 7 až 8°C. Tyto hodnoty jsou odvozeny z kontinuálního měření teploty z 15 km vzdálené observatoře Košetice (7,1°C), kterou provozuje Český hydrometeorologický ústav. Data z automatické meteorologické stanice AS1 upřesňují průměrnou roční teplotu na hodnotu 7,6°C.

Dlouhodobý roční průměr srážek je 665 mm. Srážkový úhrn ve vegetačním období se pohybuje v rozmezí od 350 do 450 mm, v zimních měsících od 250 do 300 mm. Informaci o převažujícím směru proudění vzduchu opět poskytují data z Košetické observatoře (*VÁŇA, HOLOUBEK, 2001*) (*Obrázek 3-4*). Průměrnou rychlost větru 0,69 ms<sup>-1</sup> poskytla data ze stanice AS1.

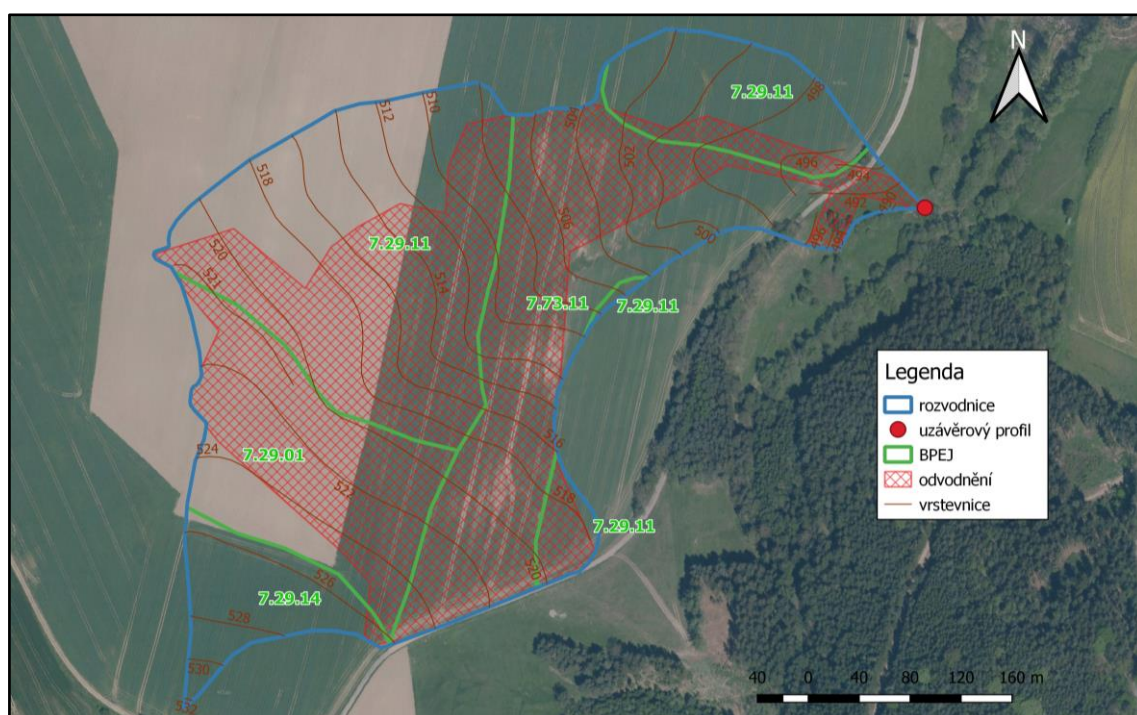


**Obrázek 3-4 – Relativní četnost větru (1983–2002)**

Výpočty separací odtoků byly vypracovány z dat ze subpovodí Kopaninského potoka označené P6 (Obrázek 3-5, Tabulka 3-2). Na subpovodí P6 je vybudována plošná systematická drenáž na více než šedesáti procentech veškeré plochy. Drenážní odtok ze soustavy trvá i v suchých obdobích, proto lze předpokládat, že v recipientu je sledován jak odtok ze zaústěné drenáže, tak i odtok z hlubších horizontů.

| Ukazatel                                   | P6                                  |
|--|-------------------------------------|
| geografické souřadnice uzávěrového profilu | 49°28'34 N 15°18'32 E               |
| celková rozloha [ha]                       | 15,73                               |
| výškové poměry [m n.m.]                    | 532–489                             |
| sklon povodí [%]                           | 6,57                                |
| primární využití území [ha]                | orná půda (15,08), TTP (0,38)       |
| plocha plošného odvodnění [ha]             | 9,68                                |
| podloží                                    | pararula                            |
| hlavní půdní typy (WRB 2014)               | kambizem modální, kambizem oglejená |
| průměrné roční srážky [mm/rok]             | 665                                 |
| průměrná roční teplota [°C]                | 7,9                                 |
| průměrný průtok [l.s <sup>-1</sup> ]       | 3,25                                |
| sledované období                           | 2011–2012                           |

Tabulka 3-2 - Základní charakteristiky subpovodí P6



Obrázek 3-5 - Subpovodí P6

Území subpovodí P6 je téměř z 96 % využito jako orná půda k rostlinné produkci. Na zbylé ploše se nacházejí trvalé travní porosty (TTP). Téměř 62 % území má vodní režim půdy upravený pomocí plošné systematické drenáže.

Použitá data ze závěrového profilu subpovodí P6 zahrnují kontinuální měření drenážních průtoků (ultrazvukové zařízení pro měření vodní hladiny) a teploty drenážní vody v desetiminutovém kroku. Zaznamenávání koncentrace izotopů  $^2\text{H}$  a  $^{18}\text{O}$  v drenážní vodě při srážko-odtokových situacích bylo prováděno automatickými vzorkovači ve dvacetiminutovém kroku. V průběhu základního odtoku byly odebírány bodové vzorky koncentrace izotopů  $^2\text{H}$  a  $^{18}\text{O}$ . Údaje o množství, intenzitě a teplotě dešťových srážek byly pořízeny z automatické srážkoměrné stanice AS1. Ze stejného zdroje pocházejí i hodnoty koncentrace izotopů  $^2\text{H}$  a  $^{18}\text{O}$  ze vzorků srážkové vody. Teplota půdy byla automaticky zaznamenávána v 10minutovém průměru v jednotlivých horizontech v hloubce 15, 40 a 70 cm na třech lokalitách sousedního subpovodí P53.

### **3.1.2 Povodí Dehtáře**

Shodně jako subpovodí P6 se povodí Dehtáře řadí mezi malá zemědělsky využívaná povodí na krystaliniku Českomoravské vrchoviny. Vyústění drenáže je do bezejmenného potoka (ID: 126320001800). Permanentní vodoteč se v povodí nenachází. Povodí Dehtáře je součástí povodí IV. řádu vodního toku Želivka (1-09-02-0210-0-00). Celková rozloha povodí je 0,5790 km<sup>2</sup> při sklonu hlavní údolnice 5,52 %.

Odvodňovací systémy na povodí Dehtáře byly vybudovány v roce 1977 jako plošná systematická drenáž s rozchody sběrných drénů 13 a 20 m. Hloubka uložení sběrných drénů je 1,0 m, svodných 1,1 m, záchytné drény jsou umístěny v hloubce 1,1 – 1,8 m a obsypány štěrskem. Ve středních částech svahů byly zjištěny sezónní vzestupné pramenné vývěry, které se projevovaly jako významné lokální a liniové zdroje zamokření a které byly podchyceny drenáží (KVÍTEK *ed.*, 2012).

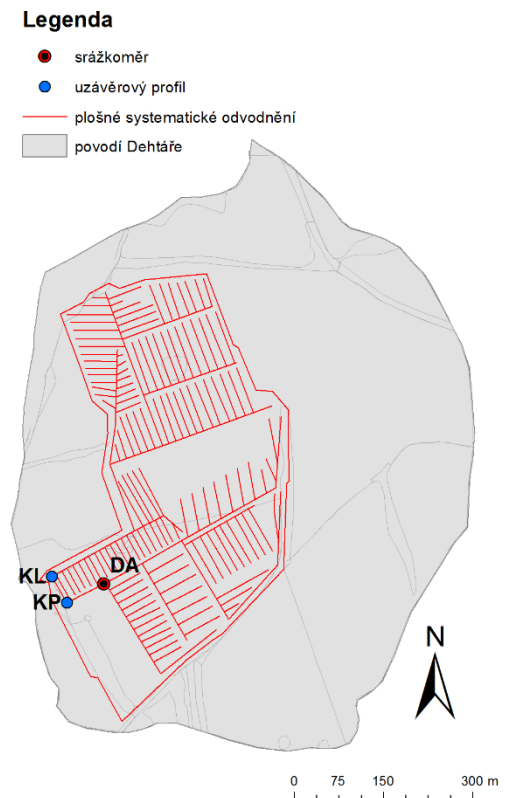
Monitoring koncentrací izotopů v drenážních vodách, srážkách a dalších hydrologických charakteristik na povodí Dehtáře probíhal od roku 2011. Drenážní průtok a teplota vody byly měřeny kontinuálně na závěrových profilech dvou drenážních skupin plošné systematické drenáže KL a KP. Každý z profilů je osazen automatickým

vzorkovačem, který odebíral vzorky drenážní vody v průběhu srážko-odtokových událostí. Bodové vzorky v průběhu základního odtoku byly odebírány ručně na stejných profilech. Množství a intenzita srážek byly měřeny pomocí automatického člunkového srážkoměru umístěného na pokusné lokalitě (ZAJÍČEK, POMIJE, KVÍTEK, 2016).

Geomorfologie povodí Dehtáře je shodná s výše popsaným stavem pro povodí Kopaninského potoka v *Tabulce 3-1*. Nadmořská výška se pohybuje od 497 po 550 m n.m., které dosahuje nejvyšší lokalita označována jako „Nad vsí“.

Nejčastějším substrátem jsou částečně migmatizované pararuly v různém stádiu rozpadu. Kvartérní sedimenty jsou zastoupeny svahovými písky a hlínami, které dosahují mocnosti 1–2 m. Půdní složení je značně variabilní. Ve výtokové oblasti se vyskytují kambizemě oglejené, pseudogleje, gleje i náznaky organozemí. Ve zdrojové oblasti je půdní pokryv více homogenní, převažují kambizemě modální, rankerové a arenické (ZAJÍČEK, POMIJE, KVÍTEK, 2016).

Dle popisu ZAJÍČEK *et al.* (2017) se ve výše položených částech povodí se nacházejí půdy mělké, s vyšším obsahem písku a často kamenité. Ve středních částech svahů nalezneme půdy zrnitostně zařazené mezi písčitohlinité. V dolních částech svahů a zejména pak v ose nejnižších částí údolnice se vyskytují půdy hlubší, těžší a často s vyšším obsahem jílových částic. Druhý půdní horizont v akumulační oblasti ležící v hloubce 40-60 cm působí jako izolátor, který zpomaluje nebo až znemožňuje vertikální



**Obrázek 3-6 - Povodí Dehtáře**

pohyb vody půdou. Pro území jsou charakteristické mělké zvodně vázané na kvartérní propustné uloženiny (Obrázek 3-7).

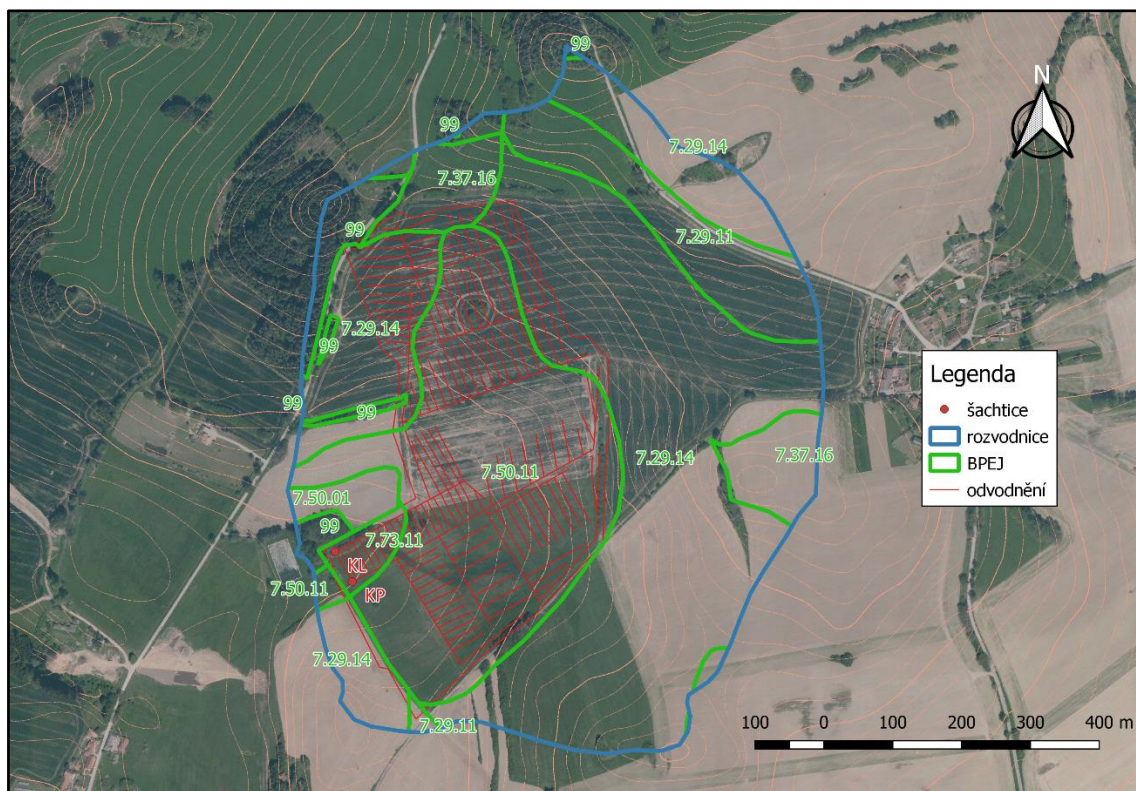
Klimatické charakteristiky jsou shodné s podmínkami v povodí Kopaninského potoka. Samotné povodí se však celou svou plochou nachází pouze v klimatické oblasti MT4 a průměrný roční úhrn je udáván 666 mm.

Podkladem pro výpočty z povodí Dehtáře byla měření a analýzy dat ze závěrových profilů dvou drenážních skupin plošné systematické drenáže označené KL a KP (Obrázek 3-6, 3-7, Tabulka 3-3). Drenážní průtok a teplota vody byly měřeny na závěrových profilech kontinuálně. Každý z profilů je osazen automatickým vzorkovačem, který odebíral vzorky drenážní vody v průběhu srážko-odtokových událostí ve dvacetiminutovém intervalu. Bodové vzorky v průběhu základního odtoku byly odebírány ručně na stejných profilech. Množství a intenzitu srážek zaznamenával automatický člunkový srážkoměr DA (Obrázek 3-6). Údaje o teplotě půdy, dešťových srážek a hodnoty koncentrace izotopů  $^2\text{H}$  a  $^{18}\text{O}$  ze vzorků srážkové vody byly převzaty z automatické srážkoměrné stanice AS1 a subpovodí P53 na povodí Kopaninského potoka a uplatňujeme u nich předpoklad prostorové neměnnosti teploty a izotopového složení.

| Ukazatel                                   | KL   | KP                              |
|--|--|---------------------------------|
| geografické souřadnice uzávěrového profilu | 49°28' N 15°12' E                                    |                                 |
| celková rozloha [ha]                       | 28,30  | 29,60                           |
| výškové poměry [m n.m.]                    | 497–550  |                                 |
| sklon povodí [%]                           | 5,52   |                                 |
| primární využití území [ha]                | orná půda (24,20)<br>TTP (0,80)                      | orná půda (20,20)<br>TTP (9,00) |
| plocha plošného odvodnění [ha]             | 6,30   | 9,10                            |
| podloží                                    | pararula   | pararula                        |
| hlavní půdní typy (WRB 2014)               | kambizem modální, kambizem oglejená<br>gleje modální |                                 |
| průměrné roční srážky [mm/rok]             | 666  |                                 |
| průměrná roční teplota [°C]                | 7,9  |                                 |
| průměrný průtok [l.s <sup>-1</sup> ]       | 1,52   | 0,37                            |
| sledované období                           | 2011–2014  |                                 |

Tabulka 3-3 - Základní charakteristiky subpovodí KL a KP





**Obrázek 3-7 – Pedologické charakteristiky v subpovodí KL a KP**

### 3.2 Hodnocené srážko-odtokové události

Pro vyhodnocení separací byly zvoleny letní srážko-odtokové události z monitorovaných let 2011 a 2012 (subpovodí P6) a z let 2011 až 2014 (subpovodí KP, KL). Tyto epizody nejsou ovlivněné zamrznáním vodoteče a táním sněhové pokrývky. Celkem bylo v této časové řadě v obdobích od dubna do října jednotlivých monitorovaných roků evidováno a zpracováno 39 událostí (*Tabulka 3-4*), u kterých byly zaznamenány potřebné parametry teplot, průtoků a hodnoty koncentrace izotopů. Rozšířené charakteristiky hodnocených událostí jsou uvedeny v *Příloze 8-1*. U všech situací byla spolu se změnou odtoku prokázána i změna teploty drenážního odtoku. Tento předpoklad, který byl splněn, umožňuje pracovat s událostmi i v rámci použité separace založené na rozdílných teplotách vstupů pro novou a starou vodu.

V sadě dat se nacházely i události, které prokazovaly navýšení průtoků, ale nebyla u nich zaznamenána všechna již popsaná data, která jsou potřebná ke správnému a úplnému vyhodnocení prováděných separací. Tyto události byly ze základní sady vyřazeny.

| S-O událost |           | Charakteristiky               |                   |                         |                 |                  |                    |
|-------------|-----------|-------------------------------|-------------------|-------------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| Označení    | Počátek   | úhrn srážek do kulminace [mm] | Doba srážek [min] | Intenzita srážek [mm/h] | $\Delta t$ [°C] | $\Delta Q$ [l/s] | Doba růstu Q [min] |
| 1-P6        | 8.6.2011  | 10,10                         | 60                | 10,10                   | 0,77            | 4,11             | 40,00              |
| 1-KL        | 8.6.2011  | 28,40                         | 70                | 24,34                   | 2,11            | 66,33            | 40,00              |
| 1-KP        | 8.6.2011  | 16,00                         | 90                | 10,67                   | 1,33            | 9,92             | 80,00              |
| 2-P6        | 22.6.2011 | 26,70                         | 110               | 14,56                   | 2,18            | 244,08           | 100,00             |
| 2-KL        | 22.6.2011 | 70,20                         | 80                | 52,65                   | 3,38            | 71,76            | 80,00              |
| 3-P6        | 13.7.2011 | 20,60                         | 1545              | 0,80                    | 1,31            | 2,09             | 870,00             |
| 3-KL        | 13.7.2011 | 28,20                         | 780               | 2,17                    | 1,77            | 2,16             | 760                |
| 2-KP        | 13.7.2011 | 14,30                         | 380               | 2,26                    | 0,73            | 0,89             | 370                |
| 4-P6        | 20.7.2011 | 34,30                         | 360               | 5,72                    | 1,60            | 2,40             | 340                |
| 4-KL        | 20.7.2011 | 21,10                         | 90                | 14,07                   | 0,80            | 0,77             | 70                 |
| 3-KP        | 20.7.2011 | 7,50                          | 30                | 15,00                   | 0,60            | 1,73             | 40                 |
| 5-P6        | 30.7.2011 | 23,90                         | 80                | 17,93                   | 0,80            | 1,30             | 40                 |
| 6-P6        | 4.8.2011  | 18,60                         | 190               | 5,87                    | 0,90            | 0,63             | 180                |
| 7-P6        | 15.8.2011 | 24,70                         | 920               | 1,61                    | 0,50            | 0,87             | 620                |
| 5-KL        | 15.8.2011 | 14,40                         | 270               | 3,20                    | 0,50            | 0,88             | 200                |
| 4-KP        | 15.8.2011 | 19,50                         | 170               | 6,88                    | 0,30            | 0,36             | 140                |
| 8-P6        | 5.9.2011  | 21,40                         | 50                | 25,68                   | 1,10            | 1,99             | 40                 |
| 6-KL        | 5.9.2011  | 21,10                         | 90                | 14,07                   | 4,30            | 1,56             | 50                 |
| 5-KP        | 5.9.2011  | 24,70                         | 882               | 1,68                    | 0,60            | 0,95             | 710                |
| 9-P6        | 3.5.2012  | 19,50                         | 170               | 6,88                    | 2,50            | 2,18             | 270                |
| 7-KL        | 1.7.2012  | 17,60                         | 60                | 17,60                   | 3,70            | 1,86             | 60                 |
| 8-KL        | 6.8.2012  | 18,60                         | 190               | 5,87                    | 3,90            | 1,35             | 170                |
| 6-KP        | 6.8.2012  | 14,40                         | 250               | 3,46                    | 2,50            | 2,14             | 220                |
| 10-KL       | 24.6.2013 | 8,50                          | 100               | 5,10                    | 1,70            | 2,62             | 100                |
| 8-KP        | 24.6.2013 | 17,30                         | 510               | 2,04                    | 1,60            | 2,57             | 530                |
| 11-KL       | 29.7.2013 | 56,60                         | 1220              | 2,78                    | 2,00            | 3,18             | 490                |
| 12-KL       | 18.5.2014 | 9,60                          | 520               | 1,11                    | 0,37            | 0,30             | 310                |
| 9-KP        | 18.5.2014 | 7,80                          | 80                | 5,85                    | 0,72            | 0,90             | 100                |
| 13-KL       | 23.5.2014 | 10,70                         | 680               | 0,94                    | 0,80            | 1,26             | 610                |
| 10-KP       | 23.5.2014 | 15,50                         | 110               | 8,45                    | 0,50            | 0,47             | 30                 |
| 14-KL       | 29.5.2014 | 18,20                         | 220               | 4,96                    | 0,50            | 0,46             | 60                 |
| 11-KP       | 29.5.2014 | 32,20                         | 970               | 1,99                    | 0,80            | 0,58             | 470                |
| 15-KL       | 27.7.2014 | 11,30                         | 40                | 16,95                   | 0,80            | 0,40             | 130                |
| 16-KL       | 31.7.2014 | 9,60                          | 520               | 1,11                    | 0,30            | 0,56             | 570                |
| 12-KP       | 27.8.2014 | 7,80                          | 80                | 5,85                    | 5,10            | 0,72             | 100                |
| 17-KL       | 12.9.2014 | 10,70                         | 680               | 0,94                    | 1,30            | 1,67             | 680                |
| 13-KP       | 12.9.2014 | 18,70                         | 290               | 3,87                    | 0,40            | 1,05             | 200                |
| 18-KL       | 15.9.2014 | 32,20                         | 970               | 1,99                    | 0,60            | 9,78             | 640                |
| 14-KP       | 15.9.2014 | 11,30                         | 40                | 16,95                   | 1,70            | 9,97             | 110                |

**Tabulka 3-4 - Hodnocené srážkoodtokové situace**



## 4 METODY

Prvním krokem v rámci dosažení porovnání vybraných metod separace drenážního odtoku bylo zpracování vstupních dat všech hodnocených srážkoodtokových událostí do podoby, která umožnila jejich vstup do výpočtu vybraných separací ve zvoleném časovém kroku.

Výpočty vybraných separací byly prováděny na shodné etapy srážkoodtokových událostí a v jednotném časovém kroku. Shodné vstupní parametry zajistily potřebnou homogenitu výsledků všech metod separací, která je potřebná pro umožnění srovnání jejich výstupů.

### 4.1 Zpracování dat

Potřebné datové vstupy k dosažení cílů této práce byly sesbírány ze zájmových subpovodí P6, KL a KP dle kapitoly 3.1.1 a 3.1.2. Data prošla kontrolou a pročištěním s následným odstraněním hrubých chyb nebo nedostatků v měření a jejich sběru. Jedná se například o výpadky měření, ucpáním profilu nečistotami, zamrznutím vody v profilu apod.

Následně byla data přizpůsobena na 10minutový krok, který byl zvolen jako základní časový interval výpočtů separací. Hodnoty drenážních průtoků byly zaznamenávány kontinuálně již ve zvoleném základním časovém kroku (průměr za daný interval). Jejich úprava proto nebyla nutná. Shodný postup byl uplatněn také u kontinuálního měření teploty odtoku a teploty půdy. Množství a teplotu dešťových srážek pro všechny hodnocené lokality zaznamenávala automatická srážkoměrná stanice AS1 v povodí kopaninského potoka. Stanice také zajišťovala týdenní úhrny a bodové odběry izotopického složení srážek během srážkoodtokových situací. Bodové odběry izotopického složení odtoků v bezsrážkových obdobích byly provedeny ručními odběry. V průběhu srážkoodtokových situací odebíraly vzorky s diskrétními hodnotami koncentrací automatické vzorkovače usazené na uzávěrových profilech. V případech diskrétního měření nebo nepravidelného intervalu měření dat byla provedena lineární interpolace měřených vstupních dat na výpočtový desetiminutový krok. V opačných případech dat s rychlejším časovým krokem, proběhl přepoččet na průměrnou hodnotu základního časového intervalu.

Ze zpracovaných datových řad byly vytaženy srážkoodtokové situace. Zvolené úseky byly ohraničeny počátkem příčinné srážky, zahrnovaly kulminace průtoku a návrat křivky celkového průtoku k původním hodnotám před příčinnou srážkou.

Srážkoodtokové situace z kopaninského potoka byly vybrány ze sledovaných let 2011 a 2012. Data z povodí Dehtáře byla z delšího časového období a zahrnovala roky 2011 až 2014.

## 4.2 Vybrané metody separace odtoku

Pro účely této práce byly využity běžně používané dvousložkové metody separace odtoku. Jejich výsledkem jsou informace o původu a poměru zastoupení základní a přímé složky odtoku neboli staré a nové vody. Pro porovnání účinnosti byly vybrány empirické metody GROUND a MGPM, které nacházejí uplatnění pro kratší datové řady s dobře vyvinutou, a izolovanou odtokovou vlnou. Dále pak metoda digitálního filtru dle Chapmana a izotopické separace využívající jako stopovače stabilních izotopů  $^2\text{H}$  a  $^{18}\text{O}$ . Do srovnání metod je zařazena i v této práci navržená metoda separace, která využívá stopovací vlastnosti teploty vody.

Metoda GROUND byla vypracována Doležalem a Jainem (*JAIN, 1997*) pro separaci odtoku na malém povodí. Tento jednoduchý konceptuální model pracuje pouze s jedním proměnlivým vstupním parametrem COEF (koeficient přírůstku základního odtoku). Vstupem do modelu jsou datové řady středních denních nebo v jiném konstantním časovém kroku průměrovaných průtoků nebo odtoků. Výstupem jsou dvě řady středních denních nebo obdobných průtoků představující přímý a základní odtok z povodí. *BYSTRICKÝ (2012)* k metodě dodává, že je vhodná spíše pro separaci rychlé složky odtoku z odtoku celkového než pro separaci pomalé složky z odtoku celkového. Jako důvod udává princip metody, který je založen na reakci obou separovaných složek odtoku na příčinnou srážku. Podrobný popis metody GROUND a jejího vnitřního výpočetního mechanismu je uveden v *KULHAVÝ, DOLEŽAL, SOUKUP (2001)*.

Metoda MGPM (Modifikovaná graficko-početní metoda) vznikla z potřeby rozčlenit dlouhodobé datové řady středních denních průtoků na složky základního a přímého odtoku při nedostatku doplňujících měření, obvykle k těmto účelům využívaných (údajích o hladinách podzemních vod, o vlhkosti půdy, srážkových poměrech apod.) Již dopředu byla také uvažována budoucí aplikace na data drenážních odtoků. Stejně jako u metody GROUND jde o rozčlenění hydrogramu podle zásady, že každá zřetelná odtoková vlna má příčinu v určité srážkové epizodě. Úkolem algoritmu je separovat tu část odtoku, která je přímou odezvou na příčinnou srážku. Metodu podrobně rozvádí *KULHAVÝ, DOLEŽAL, SOUKUP (2001)*.

Chapmanův filtr (*CHAPMAN, 1999*) je jednoparametrový algoritmus pro separaci dlouhodobých datových řad průtoků vycházející z předpokladu, že základní odtok je jednoduchý vážený průměr přímého odtoku a základního odtoku z předchozího časového intervalu. Nejedná se o fyzikálně založenou metodu. Vychází z teorie analýzy signálu a separuje celkový soustředěný odtok na rychlou složku a pomalou složku. Základní odtok je spojen s dlouhými vlnami ve frekvenčním spektru hydrogramu. Vysoké frekvence celkového odtoku jsou přisuzovány přítomnosti přímého odtoku. Výhodou digitálních filtrů, mezi něž patří také Chapmanův filtr, je, že jsou nenáročné na vstupní data a jsou uživatelsky jednoduché (*BYSTRICKÝ, 2012*).

Izotopické separace jsou ideální prostředek k ověření konceptů tvorby povrchového a podpovrchového odtoku, pro identifikování procesů pohybu vody (především pod zemským povrchem) a matematické modelování tvorby odtoku. Stabilní, neradioaktivní izotopy kyslíku a vodíku jsou jedinými přirozenými látkami vždy přítomnými ve vodě ve všech složkách hydrologického cyklu. Zaujímají proto výsadní postavení v souboru hydrologických, přírodních stopovačů. Jedná se o zcela konzervativní stopovače, u kterých nedochází ke změnám jejich koncentrace při styku s okolním prostředím. Mluvíme zde především o deuteriu  $^2\text{H}$  a těžších izotopech kyslíku  $^{17}\text{O}$  a  $^{18}\text{O}$ . Vstup do hydrologických procesů v podobě dešťových srážek je izotopicky sezónně proměnlivý. Koncentrace  $^2\text{H}$  a  $^{18}\text{O}$  ve srážkách se mění podle aktuálních meteorologických a geografických faktorů jako je teplota srážek nebo nadmořská výška.

Právě touto rychlou proměnlivostí vstupů jsou  $^2\text{H}$  a  $^{18}\text{O}$  ideální ke sledování krátkodobých srážkoodtokových procesů (ZAJÍČEK *et al.*, 2017).

Popsané izotopy  $^2\text{H}$  a  $^{18}\text{O}$  jsou k ověření původu a složení odtoku použity i pro hodnocení povodí v této práci.

Separace založené na monitorování teploty prvků v hydrologickém procesu a na jejím následném použití jako stopovače jsou postaveny na shodném principu směsné rovnice jako u izotopů  $^2\text{H}$  a  $^{18}\text{O}$ . Tato metoda pracuje tedy s možností uplatnění teploty jako stopovač. Základ pro toto použití je zjištění, že náhlá změna objemu drenážního odtoku je doprovázena i změnou jeho teploty. Popsaný jev je blíže charakterizován v kapitole 2.3.1.

#### 4.3 Výpočty separací odtoku

Jednotlivé separace, které byly zvoleny pro porovnání, byly vypočteny pro všechny hodnocené srážkoodtokové události.

Metody GROUND a MGPM byly aplikovány dle jejich popisu v KULHAVÝ, DOLEŽAL, SOUKUP (2001). Výsledkem separací jsou souvislé řady objemu základního a přímého odtoku pro celou dobu trvání srážkoodtokových situací. Hodnota koeficientu přírůstku základního odtoku  $C$  pro metodu GROUND byla převzata ve výši 0,075.

Separace dle Chapmanova digitálního filtru byla provedena dle níže uvedených výpočtových rovnic (Rovnice 4-1 až 4-3).

$$Q_b(i) = \frac{k}{2-k} Q_b(i-1) + \frac{1-k}{2-k} Q(i) \quad \text{Rovnice 4-1 - Chapmanův filtr I.}$$

$$Q = Q_b + Q_d \quad \text{Rovnice 4-2 - Chapmanův filtr II.}$$

$$Q_b(i) \leq Q(i) \quad \text{Rovnice 4-3 - Chapmanův filtr III.}$$

Kde:  $Q$  = celkový odtok

$Q(i)$  = celkový odtok v daný časový interval

$Q_b$  = základní složka odtoku

$Q_b(i)$  = základní složka odtoku v daný časový interval

$Q_d$  = přímá složka odtoku

$k$  = bezrozměrná konstanta;

Bezrozměrná konstanta  $k$  byla dle práce DOLEŽAL, KVÍTEK (2004) nastavena na hodnotu  $k = 0,99483$ . Autoři tuto metodu kalibrovali přímo na povodí Kopaninského potoka. Kalibrace byla provedena pomocí metod separace dle Klinera a Kněžka a Killeho (BYSTRICKÝ, 2012).

„Izotopické separace“ odtoku jsou prováděny podle standardního směšného modelu dle uvedených Rovnic 4-4 až 4-6 v základním časovém kroku 10 minut. Tento způsob použili ve své práci také např. ŠANDA, KULASOVÁ, CÍSLEROVÁ (2009) nebo ZAJÍČEK, POMIJE, KVÍTEK (2016). Shodný postup byl zvolen i pro účely této práce.

$$Q_t = Q_s + Q_n$$

*Rovnice 4-4 – Separace dle izotopů I.*

$$Q_t \times C_t = Q_s \times C_s + Q_n \times C_n$$

*Rovnice 4-5 – Separace dle izotopů II.*

$$Q_s = Q_t \times (C_t - C_n) \div (C_s - C_n)$$

*Rovnice 4-6 – Separace dle izotopů III.*

Kde:  $Q_t$  – celkový drenážní průtok

$Q_s$  – průtok staré vody

$Q_n$  – průtok nové vody

$C_t$  – koncentrace izotopu v drenážním odtoku

$C_s$  – koncentrace izotopu ve staré vodě (základní odtok)

$C_n$  – koncentrace izotopu v nové vodě (příčinná srážka)

Vstupem  $Q_t$ ,  $Q_s$ ,  $Q_n$  a  $C_t$  jsou data z 10minutového výpočtového kroku kontinuálních měření. Parametry  $C_s$  vychází z bodového měření před příčinnou srážkou (nejčastěji ruční měření 3-5 dní před událostí). V průběhu výpočtu v jednotlivých událostech zůstává konstantní. Hodnotu  $C_n$  vkládáme jako vážený průměr izotopického složení srážek za celou událost vzhledem ke srážkovým úhrnům v situaci.

Teplotní separace byla pro potřeby této práce definována na shodném základu jako separace izotopické. Respektive jejím základem je opět směsný model. Upravenou směsnou rovnicí použitou v této práci pro „teplotní separace“ zapisujeme následovně (Rovnice 4-7 a 4-8):

$$Q_t \times T_t = Q_s \times T_s + Q_n \times T_n \quad \text{Rovnice 4-7 – Separace dle teploty I.}$$

$$Q_s = Q_t \times (T_t - T_n) \div (T_s - T_n) \quad \text{Rovnice 4-8 – Separace dle teploty II.}$$

Kde:  $Q_t$  – celkový drenážní průtok

$Q_s$  – průtok staré vody

$Q_n$  – průtok nové vody

$T_t$  – teplota vody drenážního odtoku

$T_s$  – teplota staré vody (základní odtok)

$T_n$  – teplota nové vody (příčinná srážka)

Vstupem  $Q_t$ ,  $Q_s$ ,  $Q_n$  a  $T_t$  jsou data z 10minutového výpočtového kroku kontinuálních měření. Parametry  $T_s$  vychází z hodnoty měření teploty drenážního odtoku před příčinnou srážkou, kdy je odtok tvořen téměř výhradně ze staré složky. V průběhu výpočtu v jednotlivých událostech zůstává  $T_s$  konstantní. Hodnotu  $T_n$  vkládáme jako vážený průměr teploty srážek za celou událost vzhledem ke srážkovým úhrnům v situaci. V ojedinělých případech, kdy nebyla dostupná data o teplotě srážek, byly údaje zastoupeny teplotou vzduchu. Tato substituce je umožněna ze závěrů, které byly sepsány v *Kapitole 2.3.1.*

#### **4.4 Úprava izotopické a teplotní separace**

Na základě zpracování dat, definování teplotní separace a provedených výpočtů separací byl stanoven závěr, že navrženou teplotní separaci a zároveň i použitou metodu izotopové separace je nutné zpřesnit dalšími parametry a podmiňujícími pravidly.

Tato zjištění vycházela ze situací, kdy izotopická separace událostí, do které vstupovaly informace z příčinné srážky, vyhodnotila, že v průměru je objem staré složky

odtoku ( $Q_s$ ) vyšší než odtok celkový ( $Q_t$ ). Následné propojení separovaného hydrogramu a průběhu teplot odtoku však toto tvrzení nepotvrzuje. Náhlá změna drenážního odtoku je provázána i změnou teploty odtoku. Pokud by platilo zjištění z izotopické separace, tak by ke změně teploty odtoku nedocházelo vůbec nebo v minimálních hodnotách. Stará složka odtoku je totiž tvořena odtokem základním, který popisujeme jako součást podzemní vody s relativně stálou teplotou.

V rámci vyhodnocení tohoto zjištění bylo dosaženo závěru, že u těchto situací není nárůst drenážních průtoků zapříčiněn přímo příčinnou srážkou, ale stojí za ním půdní voda, která byla nasycena v půdním profilu před samotnou příčinnou srážkou.

To se shoduje i se závěry *TACHECÍ, KVÍTEK, DOLEŽAL (2017)*, které v této práci zahrnuje *Kapitola 2.2*, že pro formování odtoku z povodí může být podstatný objem odtokové odezvy tvořený vodou, která se v povodí nacházela již před dopadem příčinné srážky, a jen menší část odtoku je tvořena vodou s původem z aktuální srážky. Reakce povodí na příčinnou srážku může být v těchto situacích velmi rychlá. Avšak voda, která z povodí skutečně odtéká, se v půdě, puklinách a zvodních zdržovala již významnou dobu před počátkem srážky.

Jiné izotopické složení již infiltrované vody pak zapříčiňuje chyby v separaci a v určení základního odtoku ( $Q_s$ ) jako jediného původce pro nárůst odtoku v srážkoodtokové situaci.

#### **4.4.1 Úprava rovnic**

Pro zpřesnění izotopické separace došlo k úpravě její výpočetní rovnice (*Rovnice 4-6*) a jejímu rozdělení v závislosti na zdroji nové vody, která vstupuje do drenážního odtoku a zvyšuje jeho průtok v srážkoodtokových situacích. Při původu nové vody z příčinné srážky byla použita *Rovnice 4-9*, kdy do odtoku vstupuje voda z příčinné srážky. Pro původ nové složky odtoku z půdní vody, která se v profilu nacházela již před srážkou, byla použita *Rovnice 4-10*. U tohoto výpočtu se předpokládá nasycení půdního profilu v průběhu srážky, které předchází srážce příčinné.

$$Q_s = Q_t \times (C_t - C_{n1}) / (C_s - C_{n1})$$

*Rovnice 4-9 - Izotopická separace „dle příčinné srážky“*

$$Q_s = Q_t \times (C_t - C_{n2}) / (C_s - C_{n2})$$

*Rovnice 4-10 - Izotopická separace „dle předchozí srážky“*

Kde:  $Cn_1$  – vážený  $\emptyset$  koncentrace izotopů příčinné srážky do okamžiku kulminace průtoku události

$Cn_2$  – vážený  $\emptyset$  koncentrace izotopů celé předcházející srážky

Shodným způsobem, dle původu nové složky odtoku, byla rozdělena do dvou typů i teplotní separace (Rovnice 4-11 a 4-12). Typy teplotní separace vystihují skutečnost, že nová složka odtoku z příčinné srážky nemá dostatek času provést teplotní výměnu s povrchem půdního profilu a udržuje si svou teplotu. Naopak infiltrovaná voda v půdním profilu ze srážky předchozí již srovnala svou teplotu s okolním prostředím – půdním profilem.

$$Q_s = Q_t \times (T_t - T_{n_1}) / (T_s - T_{n_1}) \quad \text{Rovnice 4-11 - Teplotní separace „dle příčinné srážky“}$$

$$Q_s = Q_t \times (T_t - T_{n_2}) / (T_s - T_{n_2}) \quad \text{Rovnice 4-12 – Teplotní separace „dle půdy“}$$

Kde:  $T_t$  – teplota drenážní vody

$T_s$  – teplota staré vody

$T_{n_1}$  – vážený  $\emptyset$  teploty příčinných srážek

$T_{n_2}$  –  $\emptyset$  teploty půdy z hloubky 40 a 70 cm před příčinnou srážkou

#### 4.5 Stanovení původu nové vody

Za účelem stanovení původu nové složky odtoku u jednotlivých srážkoodtokových situací a zpřesnění izotopické i teplotní separace bylo postupováno dle následujících kroků:

- 1) Pro ověření vypovídající hodnoty původu odtoku u separací „dle izotopů událostní srážky“ byl stanoven kontrolní předpoklad (Rovnice 4-13), že průměrná chyba ( $ME_1$ ) mezi měřeným průtokem ( $Q_t$ ) na hodnoceném povodí a vypočteným podílem staré vody ( $Q_s$ ) pomocí izotopické separace „dle příčinné srážky“ musí být větší než 0. Pokud tomu tak není, platí, že v průměru je velikost staré vody nadhodnocena nad celkový odtok, a potvrdí se tak předpoklad, že separace dle izotopů událostní srážky neodpovídá reálnému stavu rozložení poměru staré vody a nové vody a jejího původu. To znamená že na zvýšení



průtoku v průběhu srážkoodtokové události nemá zásadní vliv srážková voda z příčinné srážky.

Podmínka  $ME_1$  také podchytí chybné případy, kdy separace vyhodnotí, že v průměru se základní odtok dostává pod 0. Tzn. že v průměru více než 100 % odtoku je tvořen novou vodou.

$ME_1$  vychází z popsané statistické veličiny  $ME$ , která je v této práci využita k popsání účinnosti separací. Tato podmínka vychází rovněž z vyzorovaného zjištění, že i v bezsrážkových obdobích všechny sledované profily vykazují trvalý odtok vody – základní odtok (stará voda).

$$ME_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (Qt_i - |Qs_i|)}{n} \quad \text{Rovnice 4-13 - Kontrolní předpoklad } ME_1$$

Kde:  $Qt_i$  – celkový průtok

$Qs_i$  – stará voda dle separace „izotopy událostní srážky“

$n$  – počet pozorování

- 2) U událostí, které splní stanovený kontrolní předpoklad  $ME_1$ , se provede porovnání shody teplotní separace „dle příčinné srážky“ vzhledem k izotopické separaci „dle příčinné srážky“. Toto porovnání vykáže shodu u srážkoodtokových stavů, jejichž odtok je významně ovlivněn příčinnou srážkovou vodou, která intenzivně prostupuje do půdního profilu a vstupuje do odtoku. Stupeň vypovídající schopnosti separace dle „teploty srážek“ bude stanoven pomocí rovnice Nash-Sutcliffe koeficientu (blíže popsán v *Kapitole 4.6.1*), do které vstoupí následující hodnoty (*Rovnice 4-14*):

$$R2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Qizo_i - Qtep_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Qizo_i - \overline{Qizo})^2} \quad \text{Rovnice 4-14 - } R2 \text{ izotopické a teplotní separace}$$

Kde:  $Qizo_i$  = vypočtená hodnota průtoku v čase  $i$  pomocí izotopické separace

$Qtep_i$  = vypočtená hodnota průtoku v čase  $i$  pomocí teplotní separace

$\overline{Qizo} = \emptyset$  hodnota vypočtených průtoků pomocí izotopické separace

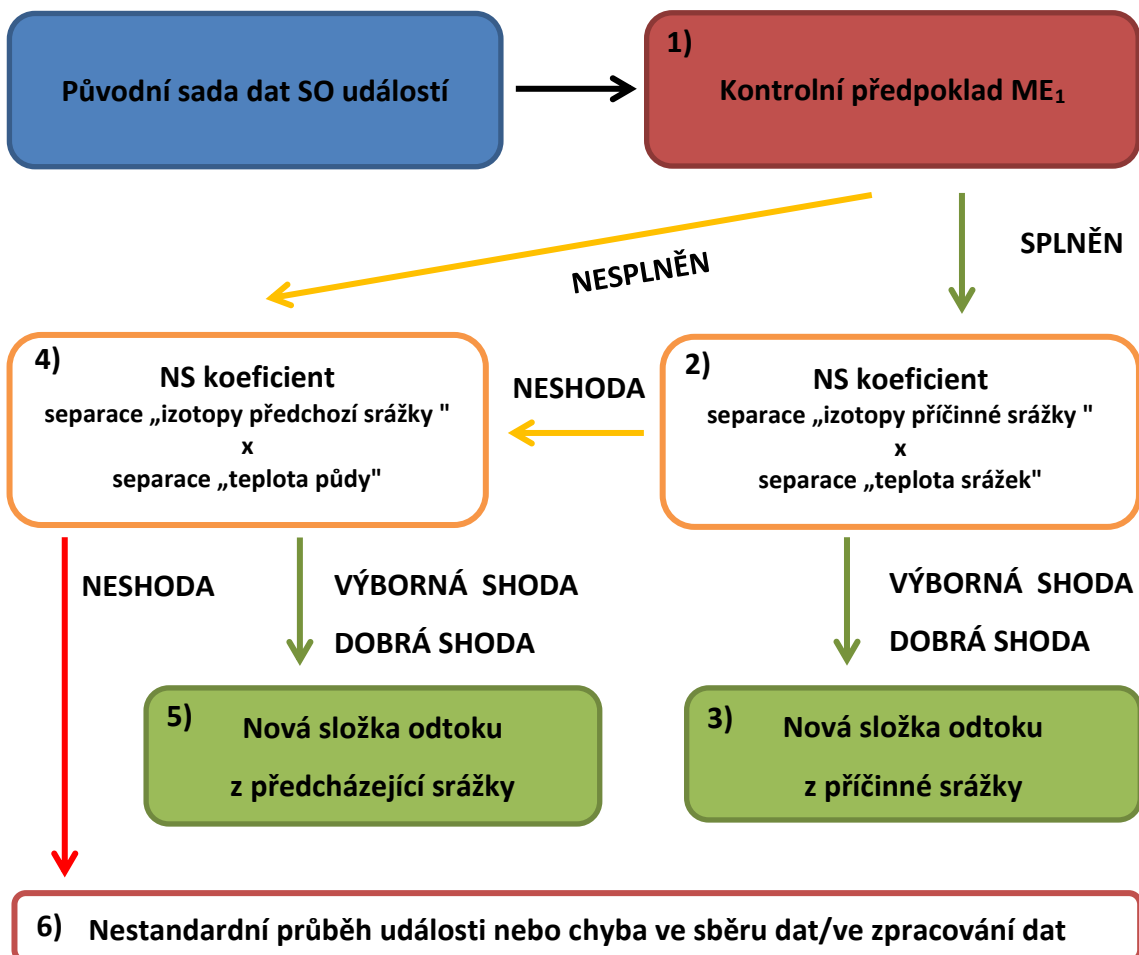
- 3) Epizody, které dosáhnou dle hodnocení  $R2$  (*Tabulka 4-1*) „výborné shody“ nebo „dobré shody“ u porovnání teplotních separací dle „příčinné srážky“ s izotopickými separacemi dle „příčinné srážky“, se z dalšího porovnávání vyřadí. Prokáže se u nich, že jejich odtok je ovlivněn příčinnou srážkou, a určí se u nich typ izotopické separace „dle příčinné srážky“ (*Rovnice 4-9*) a teplotní separace „dle příčinné srážky“ (*Rovnice 4-11*).
- 4) Zbylé události, kde  $R2$  neprokáže „výbornou“ nebo „dobrou shodu“, budou dále zpracovávány se zbylými epizodami ze základní sady, které nesplní podmínku  $ME_1$ . U těchto situací je předpokládán původ nové vody z předchozí srážky. Voda, která se do půdního profilu infiltrovala v předcházejících srážkových událostech, je vytlačována příčinnou srážkou a vstupuje do odtoku ze sledovaných povodí.
- 5) Porovnáním a vyhodnocením Nash-Sutcliffe koeficientu zbývajících epizod ( $R2$  mezi teplotní separací dle „půdy“ a izotopickou separací „dle předchozí srážky“) je získáno potvrzení, že v těchto případech pochází významná část odtoku z předcházejících srážek v podobě hypodermického odtoku.
- 6) Pokud ani v jednom případě srovnání dle Nash-Sutcliffe koeficientu není dosaženo „výborné“ nebo „dobré shody“, pak předpokládáme chybu ve sběru nebo zpracování vstupních dat. Dalším odůvodněním mohou být nestandardnosti v průběhu hodnocené události.

Pomocí těchto šesti kroků se rozčlení původní sada dat na tři skupiny. V první skupině jsou srážkoodtokové události, které vykážou přítomnost nové vody z příčinné srážky, která zapříčinila nárůst průtoku na daném povodí.

Ve druhé skupině bude nárůst průtoků způsoben vytlačením půdní vody infiltrované do profilu během srážek předcházející před srážkou příčinnou. Teplota vytlačené vody se srovnala s teplotou půdy a po vytlačení příčinnou srážkou vstoupí do odtoku sledovaného úzávěru.

Do třetí skupiny jsou zařazeny události, u kterých nejsou zjištěny znaky pro zařídění do první nebo druhé skupiny a vykazují chybovost.

Pro lepší orientaci v popsaném postupu je uvedeno i souhrnné grafické schéma jednotlivých kroků (Obrázek 5-1).



Obrázek 4-1 -Schéma upřesnění izotopických a teplotních separací

#### 4.6 Porovnání metod separací

Porovnání vybraných metod separace bude vztaženo k výsledkům izotopické separace, která byla stanovena jako referenční hodnota. Izotopické separace jsou v současné hydrologické praxi brány jako metoda, která poskytuje jeden z nejrealističtějších pohledů na původ a složení odtoku (viz *Kapitola 2.4.2*).

#### 4.6.1 Nash-Sutcliffe koeficient

Pro účely vyhodnocení stupně vypovídajících schopností separací byla použita metoda Nash-Sutcliffe koeficientu (Rovnice 4-15), která je jedna z nejčastěji používaných bezrozměrných charakteristik pro hodnocení účinnosti modelu a která se řadí ke standardům WMO a umožňuje srovnání přesnosti hodnocených modelů. Blíže je koeficient popsán v NASH, SUTCLIFFE (1970).

$$R2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Qs\ ref_i - Qs\ sim_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Qs\ ref_i - \overline{Qs\ ref})^2} \quad \text{Rovnice 4-15 – Nash-Sutcliffe koeficient}$$

Kde:  $R2$  = koeficient Nash-Sutcliffe

$Qs\ ref_i$  = měřená hodnota průtoku staré vody v čase  $i$

$Qs\ sim_i$  = simulovaná hodnota průtoku staré vody v čase  $i$

$\overline{Qs\ ref}$  = průměrná hodnota měřených průtoků

NS koeficient dosahuje hodnot od 1 do  $-\infty$ , kdy:

- $R2 = 1$  - dokonalá shoda modelu a měřených dat,
- $R2 = 0$  - účinnost modelu je stejná jako průměr z měřených dat,
- $R2 < 0$  – účinnost modelu nelze interpretovat, průměr naměřených hodnot je lepší modelová hodnota než samotný hodnocený model

Pro vyhodnocení zjištěných hodnot Nash-Sutcliffe koeficientu byly stanoveny 3 základní rozmezí shody modelu (Tabulka 4-1). Vyhodnocení jednotlivých intervalů vychází např. z ŚWIĄTEK, OKRUSZKO (2011).

| Hodnota NS koeficientu | Shoda modelu  |
|------------------------|---------------|
| $R2 > 0,75$            | Výborná shoda |
| $R2 = 0,5$ až $0,75$   | Dobrá shoda   |
| $R2 < 0,5$             | Neshoda       |

Tabulka 4-1 - Vyhodnocení hodnot NS koeficientu

#### 4.6.2 Průměrná chyba

Průměrná chyba je dána jako průměrný rozdíl  $n$  pozorování v daném bodě  $t$  a čase  $i$  (Rovnice 4-16). Dle kladné či záporné hodnoty průměrné chyby ( $ME$ ) lze stanovit, zda je model oproti skutečnosti nadhodnocen (záporná hodnota), nebo podhodnocen (kladná hodnota).

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - Q_{sim_i})}{n} \quad \text{Rovnice 4-16 – Průměrná chyba}$$

kde:  $ME$  = průměrná chyba

$Q_{obs_i}$  = měřený průtok v daném čase  $i$

$Q_{sim_i}$  = simulovaný průtok v daném čase  $i$

$n$  = počet pozorování

#### 4.6.3 Dvouvýběrový t-test

Další způsob použitého vyhodnocení je posouzení objemu staré složky odtoku vody pomocí dvouvýběrového t-testu na střední hodnotu, který slouží k porovnání střední hodnoty jedné skupiny se střední hodnotou jiné skupiny. Pro statistické vyhodnocení byly stanoveny nulové hypotézy  $H_0$  = výsledky izotopických a hodnocených separací si jsou rovnocenné (při hladině významnosti  $\alpha = 5 \%$ ).

Průkazným výsledkem t-testu bude zamítnutí nulové hypotézy  $H_0$  o rovnosti hodnocených souborů dat, jinými slovy důkaz o neshodnosti zvolených metod separace. Výpočty byly provedeny v tabulkovém procesoru MS Excel.

#### 4.6.4 Porovnání poměrových rozdílů $Q_s$

Porovnání poměrových rozdílů staré složky odtoku ( $Q_s$ ) za celé hodnocené události ( $PO$ ) je další postup, který umožnil porovnat účinnost použitých separací.

Na základě skutečnosti, že získaná hodnota rozdílu objemů staré složky odtoku ( $Q_s$ ) může být totiž z pohledu jedné události zanedbatelná (události s vysokými povodňovými kulminacemi), ale u druhé nám zásadně změní interpretaci odtoku

události (nízké kulminační průtoky), byly rozdíly  $Q_s$  porovnávaných metod separace poděleny hodnotou celkového odtoku za událost ( $Q_t$ ). Tato úprava popsaná *Rovnicí 4-17* sníží vliv charakteristiky události na interpretaci účinnosti metody.

$$PO = (Q_{S_{ref\ i}} - Q_{S_{obs\ i}}) / Q_{S_i} \quad [\%] \quad \text{Rovnice 4-17 – Charakteristika PO}$$

kde:  $Q_{S_{ref\ i}}$  = celkový objem staré složky odtoku referenční metody separace za událost

$Q_{S_{obs\ i}}$  = celkový objem staré složky odtoku porovnávané metody separace za událost

$Q_{S_i}$  = celkový objem odtoku za událost

Při tomto výpočtu mohou hodnoty charakteristiky  $PO$  dosahovat kladných i záporných hodnot. Může proto sloužit jako doplněk k hodnotě  $ME$  a vyjadřovat, v jakém rozsahu porovnávaná metoda nadhodnocuje či podhodnocuje vzhledem k metodě referenční.

Pro lepší přehled o účinnosti srovnávaných metod separace je využít také parametr  $PO_{ABS}$ , který je vyjádřen *Rovnicí 4-18* a který poskytuje absolutní hodnotu rozsahu odchylek od referenční metody.

$$PO_{ABS} = |(Q_{S_{ref\ i}} - Q_{S_{obs\ i}})| / Q_{S_i} \quad [\%] \quad \text{Rovnice 4-18 - Charakteristika PO}_{ABS}$$

#### 4.6.5 ANOVA

Analýza rozptylu při jednoduchém třídění (one-way ANOVA) analyzuje difference průměrů sledované závisle proměnné mezi skupinami, které jsou určeny jednou kategoriální nezávisle proměnnou (faktorem). Cílem zkoumání je, zda skupiny vytvořené tímto klasifikačním faktorem jsou podobné, nebo zda jednotlivé průměry tvoří nějaké identifikovatelné shluky (*HENDL, 2004*).

Pro potřeby této práce byly závislou proměnnou objemy staré složky odtoku ( $Q_s$ ) hodnocených událostí a určujícím faktorem byl typ separace. Výpočty byly provedeny

ve statistickém programu Statistica 13 a výsledky testu ANOVA je možné vztáhnout již na celé metody separace.

#### **4.7 Zhodnocení teplotní separace**

Získaná data a informace budou použity k posouzení možnosti využití teploty jako stopovače pro separaci odtoku pro výběrový soubor dat a následně i ke zhodnocení možnosti jejího využití pro obecnou samostatnou metodu separace.

Budou stanoveny předpoklady pro použití metody teplotní separace, její možnosti, limity a omezující podmínky. Práce se zaměří i na nalezení parametru nebo kombinace parametrů u srážkoodtokových situací, které by již v počátku jasně definovaly původ nové složky odtoku a použitelnou variantu teplotní separace. Parametry srážkoodtokových událostí, které byly hodnoceny, vycházejí z *Přílohy 8.1* obsahující jejich rozšířené charakteristiky.

V případě existence takového parametru nebo kombinace parametrů by bylo možné nahradit izotopové separace a využívat ekonomicky příznivější a uživatelsky i přístrojově jednodušší měření teploty.

## 5 VÝSLEDKY A DISKUZE

### 5.1 Výsledky stanovení původu nové vody

V rámci stanovení základní rovnice pro teplotní separaci a následné zjištění potřeby upřesnění rovnic teplotní a izotopické separace bylo provedeno 6 kroků k upřesnění původu nové vody u použité sady dat srážkoodtokových epizod. Tyto kroky jsou popsány v *Kapitole 4.5* a jejich výsledky jsou následující:

#### - Krok 1)

Základní vstupní sada dat byla otestována na definovanou podmínku  $ME_1$  (Rovnice 4-13) mezi měřeným průtokem ( $Qt$ ) na hodnoceném povodí a vypočteným podílem staré vody ( $Qs$ ) pomocí izotopické separace „dle příčinné srážky“. Vyhodnocován byl průměr průměrných chyb ( $\emptyset ME_1$ ) pro křivku  $Qs$  obou použitých izotopů  $^2H$  a  $^{18}O$ .

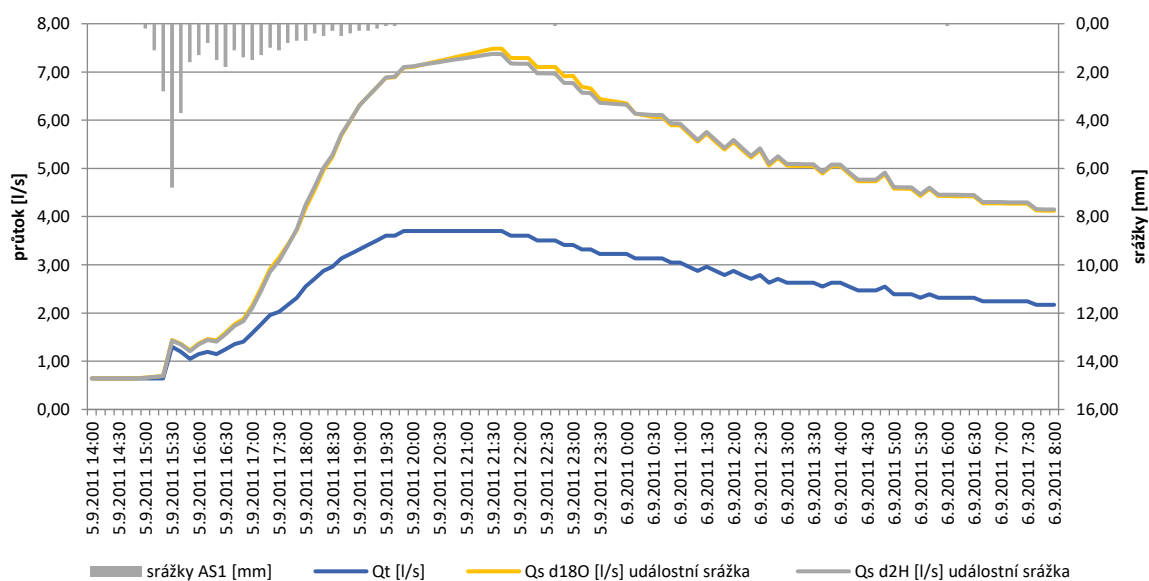
U událostí, které podmínku nesplnily (*Tabulka 5-1*), je předpokládáno, že hlavním významně převládajícím prvkem ve složce nové vody je infiltrovaná voda z předcházející srážky. K tomu došlo u 11 událostí. Grafická ukázka nesplnění podmínky  $ME_1$  u události 7-P6 je znázorněna *Grafem 5-1*. Zbýlých 28 událostí ji splnilo a podstoupilo proto porovnání v kroku 2).

| S-O událost |           | Podmínka $ME_1$ |                 |                  |                              |
|-------------|-----------|-----------------|-----------------|------------------|------------------------------|
| Označení    | Počátek   | $ME_1$ $^2H$    | $ME_1$ $^{18}O$ | $\emptyset ME_1$ | Vyhodnocení $\emptyset ME_1$ |
| 1-P6        | 8.6.2011  | 0,0887          | 0,0993          | 0,0940           | OK                           |
| 2-P6        | 22.6.2011 | 0,9703          | 1,0998          | 1,0351           | OK                           |
| 3-P6        | 13.7.2011 | 0,6227          | 0,6522          | 0,6375           | OK                           |
| 6-P6        | 4.8.2011  | 5,2765          | 4,4635          | 4,8700           | OK                           |
| 9-P6        | 3.5.2012  | 2,2548          | 2,5979          | 2,4264           | OK                           |
| 5-P6        | 30.7.2011 | 0,4926          | 0,6105          | 0,5516           | OK                           |
| 4-P6        | 20.7.2011 | 0,8214          | 0,9553          | 0,8884           | OK                           |
| 7-P6        | 15.8.2011 | -0,1186         | -0,1424         | -0,1305          | Nesplněna                    |
| 8-P6        | 5.9.2011  | -1,5087         | -1,5030         | -1,5059          | Nesplněna                    |
| 3-KL        | 13.7.2011 | 0,0987          | 0,1072          | 0,1030           | OK                           |
| 8-KL        | 6.8.2012  | 0,1148          | 0,1180          | 0,1164           | OK                           |
| 2-KL        | 22.6.2011 | 0,1044          | 0,1020          | 0,1032           | OK                           |
| 1-KL        | 8.6.2011  | -0,0383         | -0,0481         | -0,0432          | Nesplněna                    |
| 4-KL        | 20.7.2011 | 0,2434          | 0,2096          | 0,2265           | OK                           |



|       |           |         |         |                |                  |
|-------|-----------|---------|---------|----------------|------------------|
| 5-KL  | 15.8.2011 | -0,2375 | -0,3432 | <b>-0,2904</b> | <b>Nesplněna</b> |
| 6-KL  | 5.9.2011  | -0,0551 | -0,0424 | <b>-0,0488</b> | <b>Nesplněna</b> |
| 7-KL  | 1.7.2012  | 0,1560  | 0,1662  | <b>0,1611</b>  | OK               |
| 2-KP  | 13.7.2011 | 0,1810  | 0,1952  | <b>0,1881</b>  | OK               |
| 3-KP  | 20.7.2011 | 0,2628  | 0,2595  | <b>0,2612</b>  | OK               |
| 5-KP  | 5.9.2011  | -0,8332 | -0,8302 | <b>-0,8317</b> | <b>Nesplněna</b> |
| 6-KP  | 6.8.2012  | 0,2020  | 0,2201  | <b>0,2111</b>  | OK               |
| 1-KP  | 8.6.2011  | -0,0632 | -0,0744 | <b>-0,0688</b> | <b>Nesplněna</b> |
| 4-KP  | 15.8.2011 | -0,9948 | -1,5619 | <b>-1,2784</b> | <b>Nesplněna</b> |
| 10-KL | 24.6.2013 | 0,6418  | 0,6938  | <b>0,6678</b>  | OK               |
| 11-KL | 29.7.2013 | 0,0734  | 0,0588  | <b>0,0661</b>  | OK               |
| 8-KP  | 24.6.2013 | 0,8087  | 1,0459  | <b>0,9273</b>  | OK               |
| 12-KL | 18.5.2014 | 0,0770  | 0,1467  | <b>0,1119</b>  | OK               |
| 13-KL | 23.5.2014 | 0,0615  | 0,0321  | <b>0,0468</b>  | OK               |
| 14-KL | 29.5.2014 | 0,1251  | 0,1273  | <b>0,1262</b>  | OK               |
| 15-KL | 27.7.2014 | 0,0061  | 0,0075  | <b>0,0068</b>  | OK               |
| 16-KL | 31.7.2014 | 0,0407  | 0,0375  | <b>0,0391</b>  | OK               |
| 17-KL | 12.9.2014 | -0,1771 | -0,1331 | <b>-0,1551</b> | <b>Nesplněna</b> |
| 18-KL | 15.9.2014 | 0,0348  | 0,0257  | <b>0,0303</b>  | OK               |
| 9-KP  | 18.5.2014 | 0,1096  | 0,1620  | <b>0,1358</b>  | OK               |
| 10-KP | 23.5.2014 | 0,0505  | 0,0462  | <b>0,0484</b>  | OK               |
| 11-KP | 29.5.2014 | 0,0935  | 0,0822  | <b>0,0879</b>  | OK               |
| 12-KP | 27.8.2014 | -0,0748 | -0,0970 | <b>-0,0859</b> | <b>Nesplněna</b> |
| 13-KP | 12.9.2014 | -0,8527 | -0,6214 | <b>-0,7371</b> | <b>Nesplněna</b> |
| 14-KP | 15.9.2014 | 0,7646  | 0,2242  | <b>0,4944</b>  | OK               |

Tabulka 5-1 - Výsledky kontrolní podmínky ME<sub>1</sub>



Graf 5-1 - Nesplnění podmínky ME<sub>1</sub> (událost 7-P6)

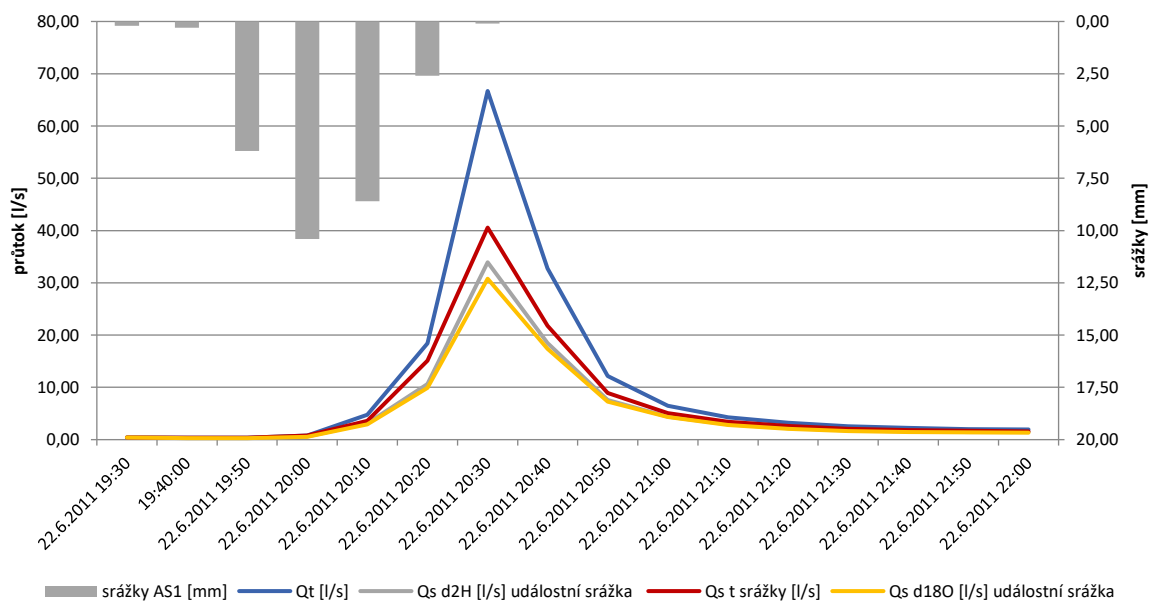
- **Krok 2)**

U epizod ze sady splňující kontrolní předpoklad  $ME_1$  byla porovnána účinnost teplotní separace „dle příčinné srážky“ vzhledem k izotopické separaci „dle příčinné srážky“. Porovnání účinnosti poskytl Nash-Sutcliffe koeficient ( $R_2$ ).

Z testovaných epizod dosáhlo 16 událostí „výborné shody“ a 2 epizody „dobré shody“. Výsledky vyjadřuje *Tabulka 5-2*. Ukázku „výborné shody“ u epizody 2-P6 vyznačuje *Graf 5-2*.

| S-O událost |           | R2 izotopické a teplotní separace „dle příčinné srážky“ |                    |            |                  |
|-------------|-----------|---|--------------------|------------|------------------|
| Označení    | Počátek   | R2 <sup>2</sup> H                                       | R2 <sup>18</sup> O | Ø R2       | Vyhodnocení Ø R2 |
| 1-P6        | 8.6.2011  | 0,8933  | 0,9045             | 0,8989     | VÝBORNÁ SHODA    |
| 2-KL        | 22.6.2011 | 0,5187  | 0,5334             | 0,5261     | DOBRÁ SHODA      |
| 2-P6        | 22.6.2011 | 0,9482  | 0,8841             | 0,9162     | VÝBORNÁ SHODA    |
| 2-KP        | 13.7.2011 | 0,769   | 0,7281             | 0,7486     | DOBRÁ SHODA      |
| 3-KL        | 13.7.2011 | 0,8443  | 0,7641             | 0,8042     | VÝBORNÁ SHODA    |
| 3-P6        | 13.7.2011 | 0,9902  | 0,9856             | 0,9879     | VÝBORNÁ SHODA    |
| 4-P6        | 20.7.2011 | -428,2268   | -931,5555          | -679,8912  | NESHODA          |
| 3-KP        | 20.7.2011 | -371,1274   | -449,9511          | -410,5393  | NESHODA          |
| 4-KL        | 20.7.2011 | -45,123   | -22,7756           | -33,9493   | NESHODA          |
| 5-P6        | 30.7.2011 | -1191,3665  | -3594,7472         | -2393,0569 | NESHODA          |
| 6-P6        | 4.8.2011  | 0,9801  | 0,9301             | 0,9551     | VÝBORNÁ SHODA    |
| 9-P6        | 3.5.2012  | 0,9035  | 0,8457             | 0,8746     | VÝBORNÁ SHODA    |
| 7-KL        | 1.7.2012  | 0,8666  | 0,6532             | 0,7599     | VÝBORNÁ SHODA    |
| 6-KP        | 6.8.2012  | 0,8463  | 0,7779             | 0,8121     | VÝBORNÁ SHODA    |
| 8-KL        | 6.8.2012  | 0,8441  | 0,8583             | 0,8512     | VÝBORNÁ SHODA    |
| 10-KL       | 24.6.2013 | -46,871   | -51,4948           | -49,1829   | NESHODA          |
| 8-KP        | 24.6.2013 | -118,5586   | -153,4816          | -136,0201  | NESHODA          |
| 11-KL       | 29.7.2013 | 0,9241  | 0,9154             | 0,9198     | VÝBORNÁ SHODA    |
| 12-KL       | 18.5.2014 | -3,7417   | -44,6586           | -24,2002   | NESHODA          |
| 9-KP        | 18.5.2014 | -9,1755   | -20,7343           | -14,9549   | NESHODA          |
| 10-KP       | 23.5.2014 | 0,8231  | 0,8555             | 0,8393     | VÝBORNÁ SHODA    |
| 13-KL       | 23.5.2014 | 0,9419  | 0,9747             | 0,9583     | VÝBORNÁ SHODA    |
| 11-KP       | 29.5.2014 | -1,2311   | -1,2044            | -1,2178    | NESHODA          |
| 14-KL       | 29.5.2014 | -2,3197   | -2,3787            | -2,3492    | NESHODA          |
| 15-KL       | 27.7.2014 | 0,9843  | 0,9834             | 0,9839     | VÝBORNÁ SHODA    |
| 16-KL       | 31.7.2014 | 0,8915  | 0,9525             | 0,9220     | VÝBORNÁ SHODA    |
| 14-KP       | 15.9.2014 | 0,8715  | 0,9408             | 0,9062     | VÝBORNÁ SHODA    |
| 18-KL       | 15.9.2014 | 0,9754  | 0,9643             | 0,9699     | VÝBORNÁ SHODA    |

*Tabulka 5-2 – Výsledky R2 izotopické a teplotní separace „dle příčinné srážky“*



**Graf 5-2 – „Výborná shoda“ R2 izotopické a teplotní separace „dle příčné srážky (událost 2-P6)**

- **Krok 3)**

„Výbornou shodou“ a „dobrou shodou“ v kroku 2) bylo u epizod prokázáno, že jejich odtok je ovlivněn příčinnou srážkou. Při použití teplotní i izotopické separace na tyto srážkoodtokové události se aplikují separační rovnice „dle příčné srážky“.

- **Krok 4)**

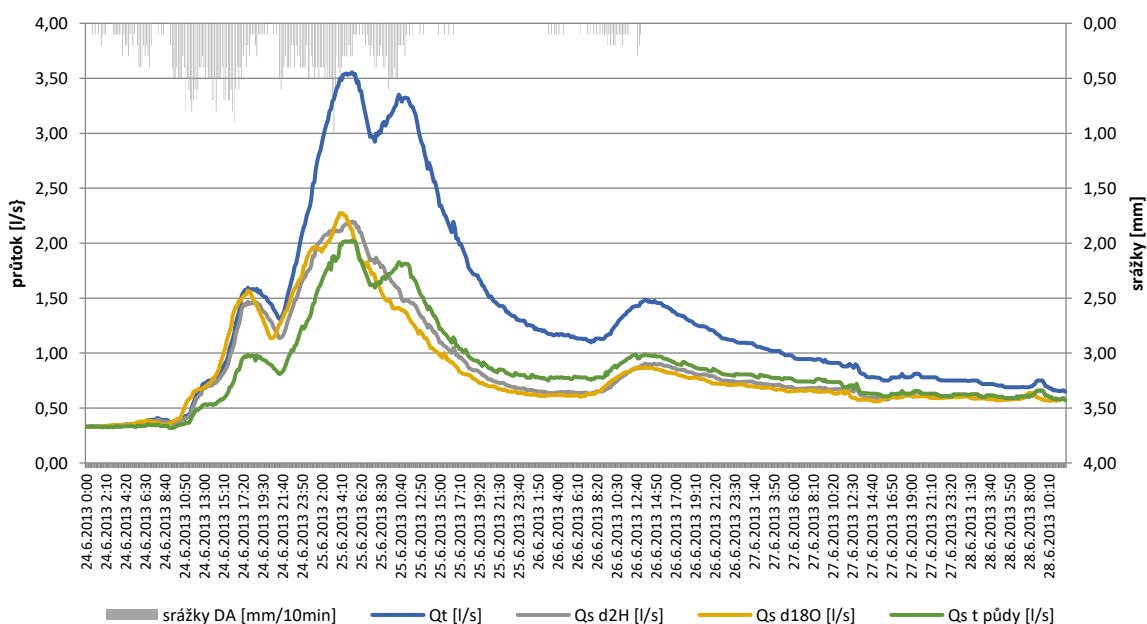
Zbylé situace, které nesplnily podmínku  $ME_1$ , byly sloučeny s událostmi, u nichž nastala neshoda u prvního porovnání R2 koeficientu v rámci kroku 2). Na této sadě dat byla provedena izotopická separace „dle předchozí srážky“ a teplotní separace dle „půdy“. Parametrem pro porovnání shody a účinnosti teplotní separace vůči izotopické byl opět Nash-Sutcliffe koeficient (R2).

„Výborná shoda“ křivky staré vody (Qs) teplotní separace ke stejné křivce izotopické separace byla zjištěna ve 14 případech. „Dobré shody“ dosáhlo 5 epizod a u jedné epizody nebyla podobnost křivky opět natolik dostatečná, aby dosáhla na hodnotu alespoň  $R2 \geq 0,5$  (Tabulka 5-3).

Na Grafu 5-3 je zachycena „výborná shoda“ R2 koeficientu u události 10-KL.

| S-O událost |           | R2 izotopické separace „dle předchozí srážky a teplotní separace „dle půdy“ |                    |        |                  |
|-------------|-----------|---|--------------------|--------|------------------|
| Označení    | Počátek   | R2 <sup>2</sup> H   | R2 <sup>18</sup> O | Ø R2   | Vyhodnocení Ø R2 |
| 1-KL        | 8.6.2011  | 0,9595  | 0,9736             | 0,9666 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 1-KP        | 8.6.2011  | 0,5234  | 0,5271             | 0,5253 | DOBRÁ SHODA      |
| 4-P6        | 20.7.2011 | 0,8425  | 0,8427             | 0,8426 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 4-KL        | 20.7.2011 | 0,9376  | 0,9626             | 0,9501 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 3-KP        | 20.7.2011 | 0,9619  | 0,9735             | 0,9677 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 5-P6        | 30.7.2011 | 0,8826  | 0,6373             | 0,7600 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 7-P6        | 15.8.2011 | 0,9492  | 0,9444             | 0,9468 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 5-KL        | 15.8.2011 | 0,9331  | 0,9269             | 0,9300 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 4-KP        | 15.8.2011 | 0,5542  | 0,5723             | 0,5633 | DOBRÁ SHODA      |
| 8-P6        | 5.9.2011  | 0,5839  | 0,7550             | 0,6695 | DOBRÁ SHODA      |
| 6-KL        | 5.9.2011  | 0,9574  | 0,9565             | 0,9570 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 5-KP        | 5.9.2011  | 0,9301  | 0,9121             | 0,9211 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 10-KL       | 24.6.2013 | 0,8637  | 0,8464             | 0,8551 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 8-KP        | 24.6.2013 | 0,6800  | 0,7401             | 0,7101 | DOBRÁ SHODA      |
| 12-KL       | 18.5.2014 | 0,8491  | 0,9560             | 0,9026 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 9-KP        | 18.5.2014 | 0,9567  | 0,9358             | 0,9463 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 14-KL       | 29.5.2014 | 0,8210  | 0,7960             | 0,8085 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 11-KP       | 29.5.2014 | 0,7817  | 0,7540             | 0,7679 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 12-KP       | 27.8.2014 | 0,1759  | -0,0018            | 0,0871 | NESHODA          |
| 17-KL       | 12.9.2014 | 0,6348  | 0,6518             | 0,6433 | DOBRÁ SHODA      |
| 13-KP       | 12.9.2014 | 0,9061  | 0,9034             | 0,9048 | VÝBORNÁ SHODA    |

Tabulka 5-3 – Výsledky R2 izotopické separace „dle předchozí srážky a teplotní separace „dle půdy“



Graf 5-3 - „Výborná shoda“ R2 izotopické separace „dle předchozí srážky a teplotní separace „dle půdy“ (událost 10-KL)

- **Krok 5)**

„Výbornou shodou“ a „dobrou shodou“ v kroku 4) bylo u epizod prokázáno, že jejich odtok je ovlivněn infiltrovanou vodou, která se v půdním profilu nacházela již před příčinnou srážkou. Na tyto srážkoodtokové události se proto aplikuje teplotní separace „dle půdy“ a izotopická separace „dle předchozí srážky“.

- **Krok 6)**

Pouze u jedné srážkoodtokové situace bylo současně v krocích 2) a 4) dosaženo „neshody“. U této událostní situace 12-KP je předpokládána chyba ve sběru nebo zpracování dat.

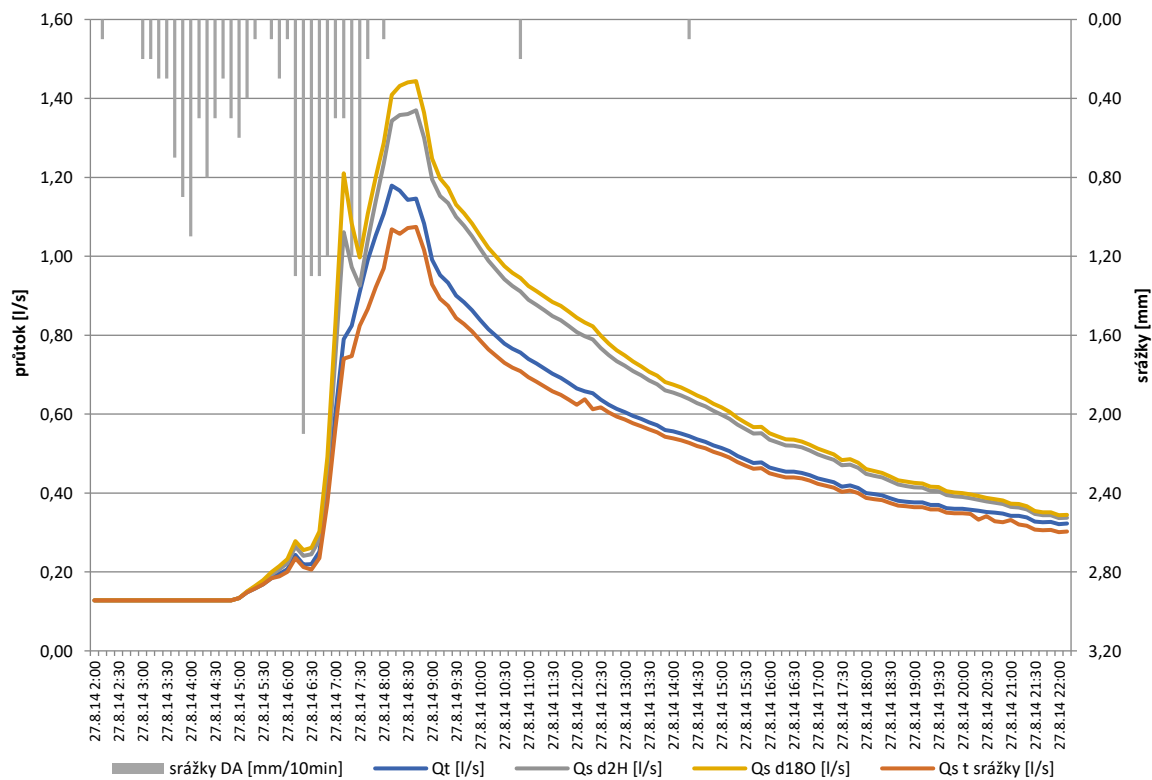
Po podrobném rozebrání epizody bylo dospěno k názoru, že data odpovídají průběhu události a že jejich zpracování odpovídá postupům aplikovaným ve zbylých případech. Rozdíl oproti zbytku dat je v průběhu a intenzitě srážek před a v průběhu srážkoodtokové události.

Izotopické separace dle teploty srážek vynáší křivku staré složky odtoku ( $Q_s d^2H$  a  $Q_s d^{18}O$ ) nad celkový průtok  $Q$  (Graf 5-4). Proto není kontrolní předpoklad  $ME_1$  v případě této epizody splněn. Předpokládá se proto, že nová složka odtoku pochází z půdní vody, která má původ z předchozí srážky.

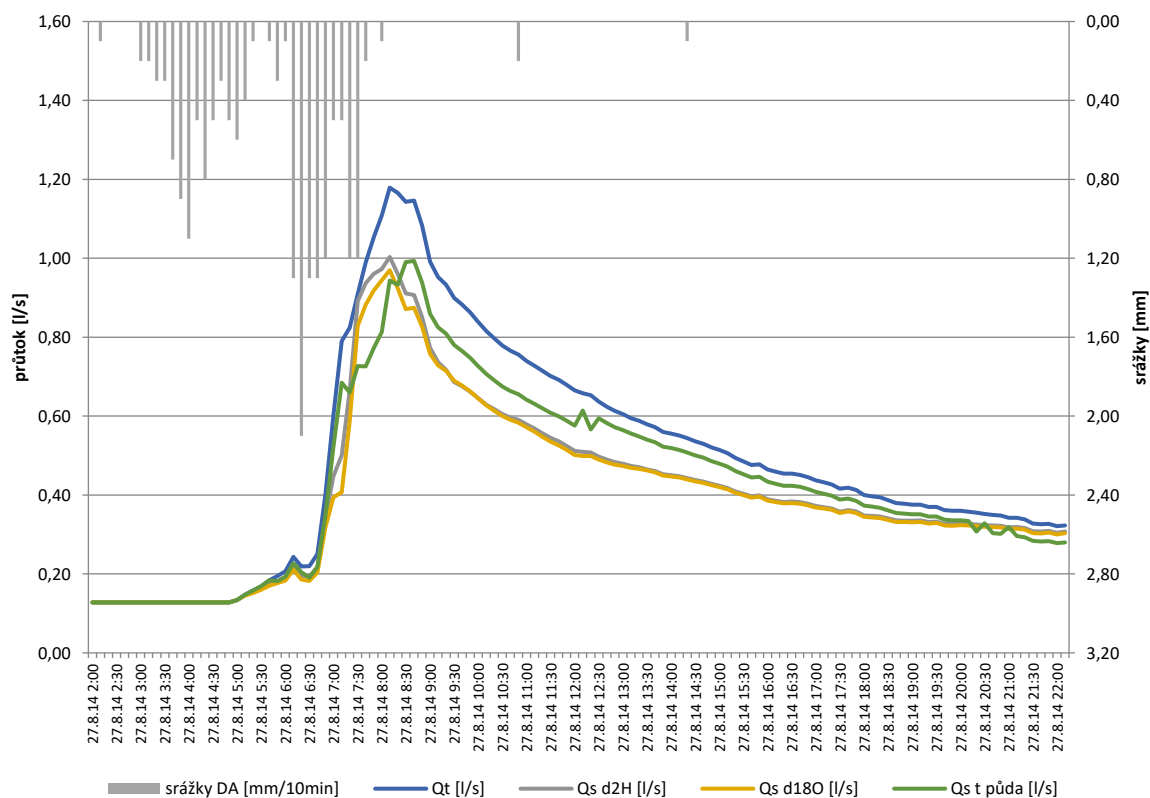
Porovnání izotopické separace „dle předchozí srážky“ a teplotní separace „dle půdy“ však  $R2$  koeficient shodu neprokázal. Křivka staré složky odtoku z teplotní separace ( $Q_s t$  půdy) je vynesena opět nad celkový průtok  $Q$  (Graf 5-5).

Dle stanoveného závěru je na vině rychlý sled srážky předchozí a srážky příčinné. Předchozí srážka (11,6 °C), která nasýtila půdní profil, skončila cca 1 hodinu před začátkem srážky příčinné. Voda zadržaná v půdním profilu vyrovnávala svou teplotu s teplotou půdního profilu (15,7 °C). Do začátku příčinné srážky však nestihla plně dosáhnout teploty půdy a byla vyplavena do odtoku při cca 13 °C.

Tato situace je považována jako ukázka jednoho z omezení, které limituje použití teplotních separací.



**Graf 5-4 - Nesplnění podmínky ME (událost 12-KP)**

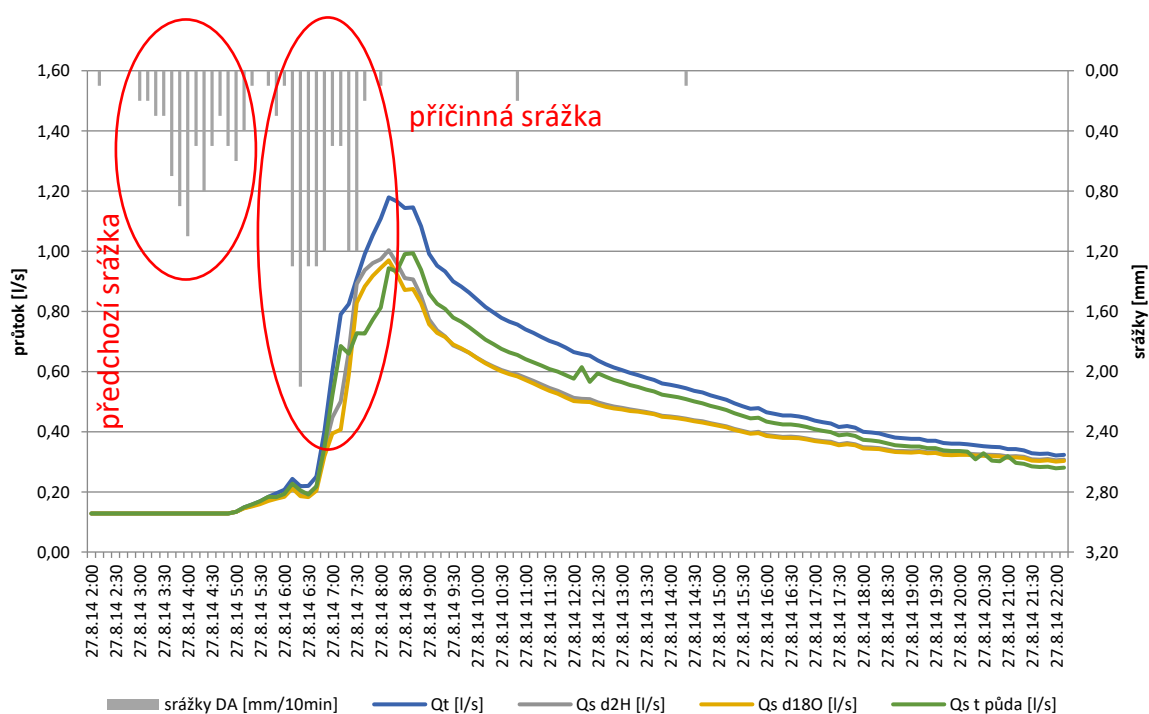


**Graf 5-5 – „Neshoda“ R2 izotopické separace „dle předchozí srážky“ a teplotní separace „dle půdy“ (událost 12-KP)**

Vzhledem k odlišným pochodům u události 12-KP, kdy teplota nové složky odtoku neodpovídala ani jednomu hodnocenému vstupu (příčinné srážky, půdní voda), je teplotní metoda na tuto událost neaplikovatelná.

Z izotopické separace je však známo, že v nové vodě nepřevládá příčinná srážka. Toto zjištění přináší definovaná podmínka  $ME_1$ . Z toho je vyvozeno, že původ nové vody je z infiltrované srážky do půdního profilu již před srážkou příčinnou. Protože izotopy  $^2\text{H}$  a  $^{18}\text{O}$  jsou stabilní konzervativní stopovače, jejich zastoupení v půdním profilu se v průběhu času nemění. Izotopická separace je v tomto případě použitelná a jejím vhodným typem pro tuto událost je separace „dle předchozí srážky“.

Pro lepší názornost popsaného mechanismu a ověření přepokládané teploty (cca  $13\text{ }^\circ\text{C}$ ) vyplavované vody z půdního profilu byla provedena simulace, která je znázorněna *Grafem 5-6* a popsána výpočetními charakteristikami v *Tabulce 5-4*. Hodnota  $R2$  mezi průměrnou hodnotou  $Q_s$  z izotopické separace a teplotní separace dosahuje „výborné shody“. Také ukazatel korelace mezi křivkami  $Q_s$  potvrzuje vysokou shodu obou modelů.



**Graf 5-6 - Simulace události 12-KP**

| R2<br>Qs d2H / Qs t půda | R2<br>Qs d180 / Qs t půda | Ø R2   | ME<br>Qs d2H / Qs t půda | ME<br>Qs d180 / Qs t půda | Ø ME   |
|--------------------------|---------------------------|--------|--------------------------|---------------------------|--------|
| 0,9225                   | 0,9068                    | 0,9147 | 0,0090                   | 0,0312                    | 0,0201 |

**Tabulka 5-4 – Charakteristiky mezi křivkami  $Q_s$  pro simulaci události 12-KP**

| S-O událost |           | Převládající původ nové vody | Vhodný typ separace |                     |
|-------------|-----------|------------------------------|---------------------|---------------------|
| Označení    | Počátek   |                              | Teplotní separace   | Izotopická separace |
| 1-P6        | 8.6.2011  | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 2-P6        | 22.6.2011 | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 3-P6        | 13.7.2011 | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 6-P6        | 4.8.2011  | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 9-P6        | 3.5.2012  | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 5-P6        | 30.7.2011 | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 4-P6        | 20.7.2011 | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 7-P6        | 15.8.2011 | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 8-P6        | 5.9.2011  | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 3-KL        | 13.7.2011 | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 8-KL        | 6.8.2012  | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 2-KL        | 22.6.2011 | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 1-KL        | 8.6.2011  | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 4-KL        | 20.7.2011 | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 5-KL        | 15.8.2011 | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 6-KL        | 5.9.2011  | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 7-KL        | 1.7.2012  | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 2-KP        | 13.7.2011 | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 3-KP        | 20.7.2011 | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 5-KP        | 5.9.2011  | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 6-KP        | 6.8.2012  | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 1-KP        | 8.6.2011  | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 4-KP        | 15.8.2011 | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 10-KL       | 24.6.2013 | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 11-KL       | 29.7.2013 | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 8-KP        | 24.6.2013 | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 12-KL       | 18.5.2014 | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 13-KL       | 23.5.2014 | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 14-KL       | 29.5.2014 | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 15-KL       | 27.7.2014 | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 16-KL       | 31.7.2014 | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 17-KL       | 12.9.2014 | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 18-KL       | 15.9.2014 | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 9-KP        | 18.5.2014 | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 10-KP       | 23.5.2014 | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |
| 11-KP       | 29.5.2014 | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 12-KP       | 27.8.2014 | půdní voda                   | CHYBA               | předchozí srážka    |
| 13-KP       | 12.9.2014 | půdní voda                   | půda                | předchozí srážka    |
| 14-KP       | 15.9.2014 | příčinná srážka              | příčinná srážka     | příčinná srážka     |

Tabulka 5-5 - Výsledky úprav rovnic teplotní a izotopické separace



Upřesnění původu nové složky odtoku je výsledkem a zároveň i nutnou podmínkou pro vhodnou volbu použitého typu teplotní nebo izotopové separace v použitém formátu směsné rovnice. K tomuto účelu je využita popsaná skutečnost, že náhlá změna drenážního odtoku je doprovázená i změnou teploty odtoku. Vzájemným porovnáním izotopických a teplotních separací bylo dosaženo upřesnění původu převládající složky nové vody. Tímto byla jednoduchou metodou zvýšena přesnost obou druhů separací a zlepšeny jejich vypovídající schopnosti, které jsou podstatné pro poznání hydrologických pochodů v zájmových oblastech.

*Tabulka 5-5* poskytuje informace o zvolených a dále v této práci testovaných metodách teplotních a izotopových separací pro jednotlivé srážkoodtokové události. Výsledky z těchto separací jsou dále porovnány s metodou MGPM, metodou GROUND a Chapmanovým digitálním filtrem.

## **5.2 Výsledky účinnosti metod separací**

Výsledkem provedených separací jsou kontinuální datové řady staré a nové složky odtoku v 10minutovém kroku pro všechny hodnocené srážkoodtokové situace a použité metody separace. Získané průběhy odtoků poskytují datové i grafické výstupy.

Hodnocení výsledků, jak je uvedeno již v *Kapitole 4.6*, je vztaženo k výsledkům izotopických separací, které byly stanoveny jako referenční hodnoty a které jsou tvořeny průměrem z řad hodnot izotopů  $^2\text{H}$  a  $^{18}\text{O}$ . Použity byly popsané charakteristiky *R2*, *ME* a t-test. Přehled základních charakteristik z výpočtů všech použitých metod separace poskytuje *Příloha 8-2*.

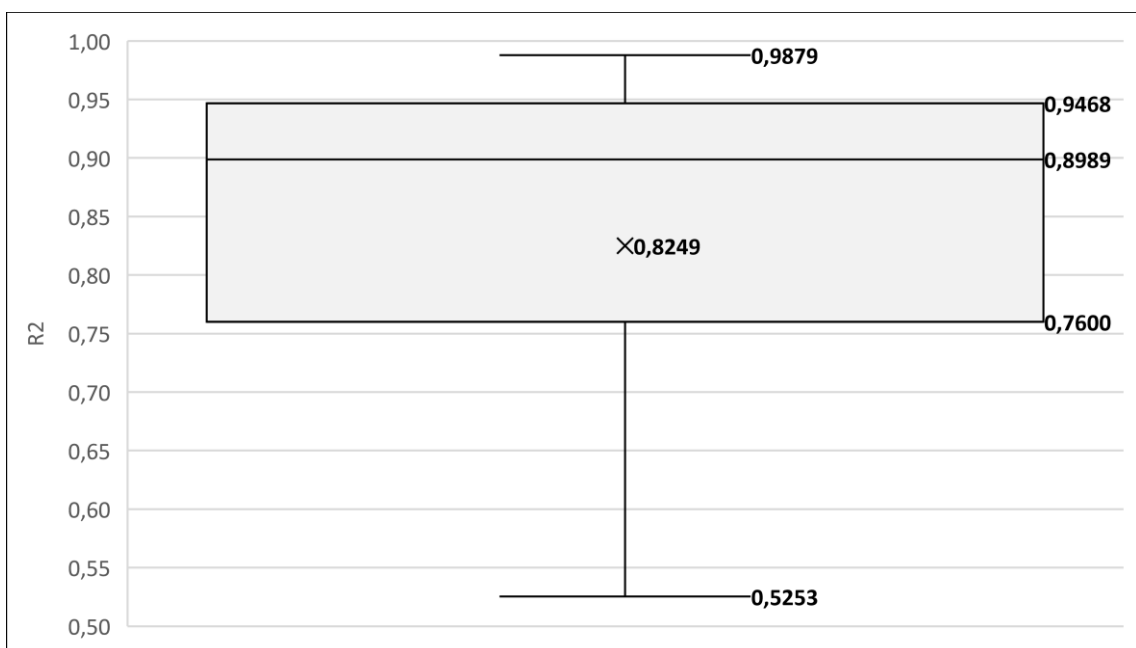
### **5.2.1 Separace dle teploty**

Pro srovnání účinnosti teplotní metody byl použit Nash-Sutcliffe koeficient porovnávající průběh křivek *Qs*. Přehled přesnosti shody teplotní separace dle *R2* koeficientu již přinášejí *Tabulky 5-2* a *5-3* z *Kapitoly 5.1*. V následující *Tabulce 5-6* jsou souhrnně uvedeny výsledky *R2* vhodných typů rovnic separací (dle původu nové vody) i spolu s hodnotami *ME*, které pomáhají blíže vysvětlit účinnost teplotní separace z hlediska nadhodnocení nebo podhodnocení referenční separace izotopické.

| S-O událost |           | ME      |                  | R2     |                  |
|-------------|-----------|---------|------------------|--------|------------------|
| Označení    | Počátek   | Ø ME    | Vyhodnocení Ø ME | Ø R2   | Vyhodnocení Ø R2 |
| 1-P6        | 8.6.2011  | -0,0444 | NADHODNOCEN      | 0,8989 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 2-P6        | 22.6.2011 | 0,3745  | PODHODNOCEN      | 0,9162 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 3-P6        | 13.7.2011 | 0,0505  | PODHODNOCEN      | 0,9879 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 6-P6        | 4.8.2011  | -0,8113 | NADHODNOCEN      | 0,9551 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 9-P6        | 3.5.2012  | 0,9897  | PODHODNOCEN      | 0,8746 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 5-P6        | 30.7.2011 | -0,0249 | NADHODNOCEN      | 0,7600 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 4-P6        | 20.7.2011 | 0,0505  | PODHODNOCEN      | 0,8426 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 7-P6        | 15.8.2011 | -0,0081 | NADHODNOCEN      | 0,9468 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 8-P6        | 5.9.2011  | 0,1613  | PODHODNOCEN      | 0,6695 | DOBRÁ SHODA      |
| 3-KL        | 13.7.2011 | 0,0436  | PODHODNOCEN      | 0,8042 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 8-KL        | 6.8.2012  | 0,0324  | PODHODNOCEN      | 0,8512 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 2-KL        | 22.6.2011 | 0,0704  | PODHODNOCEN      | 0,5261 | DOBRÁ SHODA      |
| 1-KL        | 8.6.2011  | 0,0100  | PODHODNOCEN      | 0,9666 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 4-KL        | 20.7.2011 | -0,0098 | NADHODNOCEN      | 0,9501 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 5-KL        | 15.8.2011 | -0,0325 | NADHODNOCEN      | 0,9300 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 6-KL        | 5.9.2011  | 0,0063  | PODHODNOCEN      | 0,9570 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 7-KL        | 1.7.2012  | 0,0169  | PODHODNOCEN      | 0,7599 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 2-KP        | 13.7.2011 | 0,0308  | PODHODNOCEN      | 0,7486 | DOBRÁ SHODA      |
| 3-KP        | 20.7.2011 | 0,0041  | PODHODNOCEN      | 0,9677 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 5-KP        | 5.9.2011  | 0,0281  | PODHODNOCEN      | 0,9211 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 6-KP        | 6.8.2012  | 0,0823  | PODHODNOCEN      | 0,8121 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 1-KP        | 8.6.2011  | 0,0703  | PODHODNOCEN      | 0,5253 | DOBRÁ SHODA      |
| 4-KP        | 15.8.2011 | -0,1744 | NADHODNOCEN      | 0,5633 | DOBRÁ SHODA      |
| 10-KL       | 24.6.2013 | -0,0021 | NADHODNOCEN      | 0,8551 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 11-KL       | 29.7.2013 | 0,0261  | PODHODNOCEN      | 0,9198 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 8-KP        | 24.6.2013 | 0,8321  | PODHODNOCEN      | 0,7101 | DOBRÁ SHODA      |
| 12-KL       | 18.5.2014 | 0,0146  | PODHODNOCEN      | 0,9026 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 13-KL       | 23.5.2014 | 0,0062  | PODHODNOCEN      | 0,9583 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 14-KL       | 29.5.2014 | 0,0775  | PODHODNOCEN      | 0,8085 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 15-KL       | 27.7.2014 | 0,0021  | PODHODNOCEN      | 0,9839 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 16-KL       | 31.7.2014 | 0,0081  | PODHODNOCEN      | 0,9220 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 17-KL       | 12.9.2014 | 0,0510  | PODHODNOCEN      | 0,6433 | DOBRÁ SHODA      |
| 18-KL       | 15.9.2014 | 0,0053  | PODHODNOCEN      | 0,9699 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 9-KP        | 18.5.2014 | -0,0077 | NADHODNOCEN      | 0,9463 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 10-KP       | 23.5.2014 | 0,0363  | PODHODNOCEN      | 0,8393 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 11-KP       | 29.5.2014 | 0,0900  | PODHODNOCEN      | 0,7679 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 12-KP       | 27.8.2014 | -       | -                | -      | -                |
| 13-KP       | 12.9.2014 | 0,2772  | PODHODNOCEN      | 0,9048 | VÝBORNÁ SHODA    |
| 14-KP       | 15.9.2014 | 0,0625  | PODHODNOCEN      | 0,9062 | VÝBORNÁ SHODA    |

Tabulka 5-6 – Účinnost teplotní metody dle R2 a ME

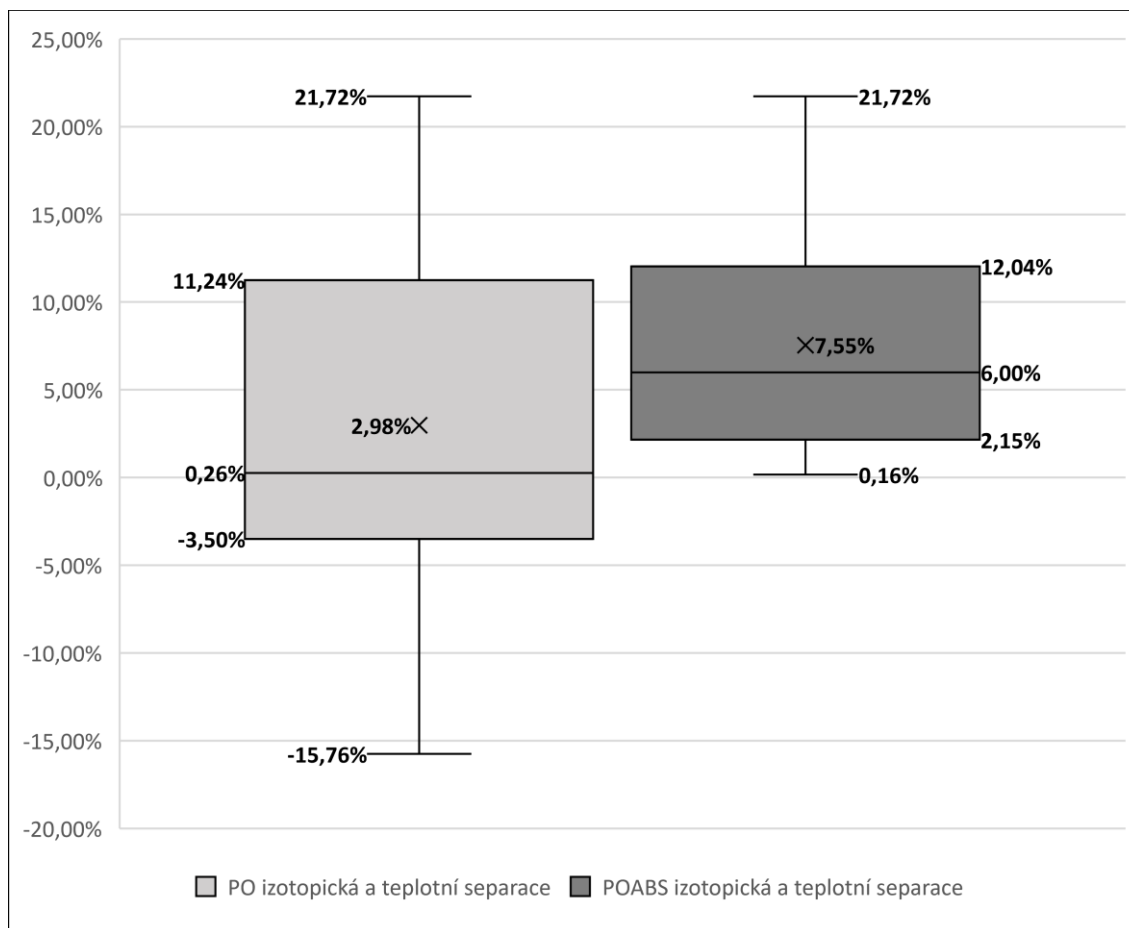
$R^2$  koeficient při porovnání  $Q_s$  izotopické a teplotní separace dosahuje hodnot od 0,5253 do 0,9879. Ve všech případech se dle vyhodnocení koeficientu jedná o „dobrou shodu“ (7 případů) a především pak o „výbornou shodu“ (31 případů). Z krabicového *Grafu 5-7* lze vyčíst, že mezikvartilové rozpětí se pohybuje od 0,9468 do 0,7600, což jsou hodnoty nad hranicí „výborné shody“. Toto rozpětí o hodnotě 0,1868 spolu s ostatními charakteristikami ukazuje na výbornou vypovídající schopnost s nízkou hodnotou rozptylu pro výběrový soubor událostí. Průměr parametru  $ME = 0,0630$  říká, že teplotní separace v průměru mírně podhodnocují.



**Graf 5-7 – Rozložení  $R^2$  koeficientu mezi  $Q_s$  izotopickou a teplotní separací**

Při porovnání parametru  $PO$ , neboli poměru mezi rozdílem objemu staré složky odtoku  $Q_s$  mezi zvolenými typy izotopické a teplotní separace a celkového odtoku za událost  $Q_t$ , bylo dosaženo výsledku, který ukazuje, že mezikvartilové rozpětí parametru se pohybuje mezi -3,50 a 11,24 % (*Graf 5-8*). Z hlediska vyhodnocení poměru absolutních čísel rozdílu objemů  $Q_s$  a celkového objemu události  $Q_t$  ( $PO_{ABS}$ ) je možné konstatovat, že 3/4 výsledků teplotní separace se pohybuje v odchylce do 12,04 % od výsledků separace izotopické. Značí to velmi dobrou shodu v porovnání této charakteristiky u výběrové sady dat.

Souhrn celkových výpočtů zastoupení objemu staré složky v odtoku ( $Q_s$ ) hodnocených událostí dle zvolených separací zahrnuje *Příloha 8-2*.



**Graf 5-8 - Rozložení vypočtených rozdílů  $Q_s$  [%] mezi izotopickou a teplotních separací**

Z hlediska statistického vyhodnocení t-testem byla stanovena nulová hypotéza  $H_0$  = výsledky objemu  $Q_s$  izotopických a teplotních separací si jsou rovnocenné. Pro její ověření byl použit dvouvýběrový t-test na střední hodnotu. Testovány byly vypočtené objemy  $Q_s$  [m<sup>3</sup>] dle vyhodnocené izotopické a teplotní separace (Tabulka 5-7). Na hladině významnosti  $\alpha = 5 \%$  t-test nevyvrátil nulovou hypotézu  $H_0$ , a tudíž neprokázal, že výsledky izotopických a teplotních separací vykazují signifikantní statistický rozdíl ( $t(37) = 1,33$ ,  $p = 0,19$ ). Celkové vyhodnocení t-testu je zachyceno v Příloze 8-3.

Grafická ukázka průběhu hydrogramů staré složky odtoku mezi hodnocenými metodami již poskytují použité Grafy 5-2 a 5-3. Vizuálně je možné potvrdit dobrou shodu nástupu vzestupných větví, hodnot kulminací i vzhled sestupných větví. Vizuální posouzení souhlasí se závěry vycházejícími ze získaných hodnot  $R_2$ ,  $ME$  i výsledkem t-testu.

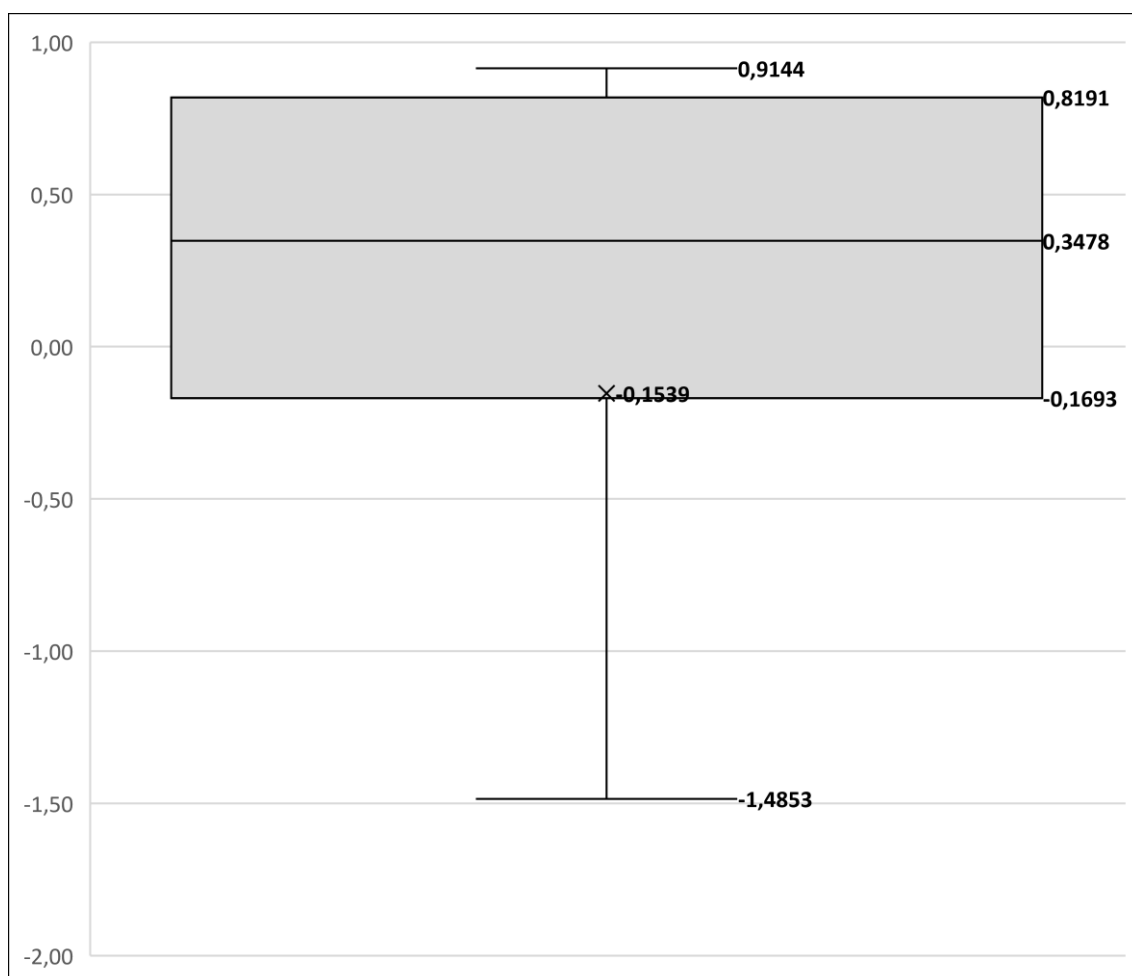
| S-O událost |           | Objem odtoku               |                        |      |                      |       |                   |      |
|-------------|-----------|----------------------------|------------------------|------|----------------------|-------|-------------------|------|
| Označení    | Počátek   | Q Celkem [m <sup>3</sup> ] | Qs izotopická separace |      | Qs teplotní separace |       | Qs rozdíl         |      |
|             |           |                            | [m <sup>3</sup> ]      | [%]  | [m <sup>3</sup> ]    | [%]   | [m <sup>3</sup> ] | [%]  |
| 1-P6        | 8.6.2011  | 97,11                      | 10,88                  | 11 % | 16,02                | 16 %  | 5,14              | 5 %  |
| 2-P6        | 22.6.2011 | 129,17                     | 50,92                  | 39 % | 32,50                | 25 %  | 18,42             | 14 % |
| 3-P6        | 13.7.2011 | 145,79                     | 39,40                  | 27 % | 36,27                | 25 %  | 3,12              | 2 %  |
| 6-P6        | 4.8.2011  | 573,45                     | 230,84                 | 40 % | 269,29               | 47 %  | 38,45             | 7 %  |
| 9-P6        | 3.5.2012  | 466,89                     | 200,90                 | 43 % | 118,95               | 25 %  | 81,95             | 18 % |
| 5-P6        | 30.7.2011 | 300,11                     | 108,83                 | 36 % | 102,37               | 34 %  | 6,46              | 2 %  |
| 4-P6        | 20.7.2011 | 255,11                     | 85,26                  | 33 % | 94,57                | 37 %  | 9,31              | 4 %  |
| 7-P6        | 15.8.2011 | 153,67                     | 10,33                  | 7 %  | 9,28                 | 6 %   | 1,05              | 1 %  |
| 8-P6        | 5.9.2011  | 375,95                     | 96,18                  | 26 % | 129,96               | 35 %  | 33,78             | 9 %  |
| 3-KL        | 13.7.2011 | 43,72                      | 9,33                   | 21 % | 5,38                 | 12 %  | 3,95              | 9 %  |
| 8-KL        | 6.8.2012  | 10,29                      | 4,26                   | 41 % | 3,07                 | 30 %  | 1,18              | 12 % |
| 2-KL        | 22.6.2011 | 28,70                      | 8,23                   | 29 % | 2,61                 | 9 %   | 5,62              | 20 % |
| 1-KL        | 8.6.2011  | 33,71                      | 1,25                   | 4 %  | 2,41                 | 7 %   | 1,16              | 3 %  |
| 4-KL        | 20.7.2011 | 64,31                      | 13,73                  | 21 % | 12,56                | 20 %  | 1,17              | 2 %  |
| 5-KL        | 15.8.2011 | 51,81                      | 13,08                  | 25 % | 8,85                 | 17 %  | 4,23              | 8 %  |
| 6-KL        | 5.9.2011  | 18,97                      | 0,95                   | 5 %  | 1,36                 | 7 %   | 0,41              | 2 %  |
| 7-KL        | 1.7.2012  | 21,73                      | 4,79                   | 22 % | 5,36                 | 25 %  | 0,57              | 3 %  |
| 2-KP        | 13.7.2011 | 58,09                      | 17,04                  | 29 % | 14,25                | 25 %  | 2,79              | 5 %  |
| 3-KP        | 20.7.2011 | 83,53                      | 15,63                  | 19 % | 16,13                | 19 %  | 0,50              | 1 %  |
| 5-KP        | 5.9.2011  | 85,05                      | 16,36                  | 19 % | 18,20                | 21 %  | 1,84              | 2 %  |
| 6-KP        | 6.8.2012  | 27,06                      | 7,72                   | 29 % | 4,71                 | 17 %  | 3,01              | 11 % |
| 1-KP        | 8.6.2011  | 51,66                      | 1,81                   | 4 %  | 9,95                 | 19 %  | 8,14              | 16 % |
| 4-KP        | 15.8.2011 | 129,33                     | 47,08                  | 36 % | 24,37                | 19 %  | 22,70             | 18 % |
| 10-KL       | 24.6.2013 | 508,07                     | 330,62                 | 65 % | 331,45               | 65 %  | 0,83              | 0 %  |
| 11-KL       | 29.7.2013 | 29,15                      | 23,12                  | 79 % | 25,50                | 87 %  | 2,38              | 8 %  |
| 8-KP        | 24.6.2013 | 2247,50                    | 2001,10                | 89 % | 1677,10              | 75 %  | 324,00            | 14 % |
| 12-KL       | 18.5.2014 | 27,89                      | 22,80                  | 82 % | 21,36                | 77 %  | 1,44              | 5 %  |
| 13-KL       | 23.5.2014 | 62,64                      | 56,21                  | 90 % | 57,05                | 91 %  | 0,85              | 1 %  |
| 14-KL       | 29.5.2014 | 93,21                      | 80,66                  | 87 % | 68,10                | 73 %  | 12,56             | 13 % |
| 15-KL       | 27.7.2014 | 2,15                       | 1,88                   | 87 % | 1,96                 | 91 %  | 0,08              | 4 %  |
| 16-KL       | 31.7.2014 | 3,58                       | 2,08                   | 58 % | 2,39                 | 67 %  | 0,31              | 9 %  |
| 17-KL       | 12.9.2014 | 48,86                      | 39,75                  | 81 % | 29,14                | 60 %  | 10,62             | 22 % |
| 18-KL       | 15.9.2014 | 52,48                      | 49,04                  | 93 % | 49,64                | 95 %  | 0,60              | 1 %  |
| 9-KP        | 18.5.2014 | 93,29                      | 79,23                  | 85 % | 80,79                | 87 %  | 1,56              | 2 %  |
| 10-KP       | 23.5.2014 | 85,64                      | 78,64                  | 92 % | 86,26                | 101 % | 7,63              | 9 %  |
| 11-KP       | 29.5.2014 | 254,34                     | 237,66                 | 93 % | 210,03               | 83 %  | 27,63             | 11 % |
| 12-KP       | 27.8.2014 | 35,69                      | -                      | -    | -                    | -     | -                 | -    |
| 13-KP       | 12.9.2014 | 320,26                     | 267,53                 | 84 % | 222,96               | 70 %  | 44,57             | 14 % |
| 14-KP       | 15.9.2014 | 543,19                     | 485,91                 | 89 % | 493,95               | 91 %  | 8,04              | 1 %  |

Tabulka 5-7 – Objemy Qs izotopické a teplotní separace

### 5.2.2 Metoda MGPM

V posouzení metody MGPM z hlediska dosažených hodnot  $R^2$  se oproti předchozí metodě značně snížil podíl výsledků s „výbornou shodou“ (13 případů) a s „dobrou shodou“ (2 případy). Zbylé události zůstaly pod hranicí 0,5 a nebyla u nich shoda modelů prokázána (Tabulka 5-8), jedná se o 23 případů, což je nadpoloviční většina událostí. Z Grafu 5-9 je také průkazné snížení shody modelů a rozšíření intervalu mezikvartilového rozpětí, které dosahuje od -0,1693 do 0,8191. Tabulka 5-8 obsahuje také hodnoty parametru  $ME$  pro posuzované události. Celkem u 27 událostí metoda GROUND výsledky vzhledem k izotopické separaci mírně nadhodnocuje, v průměru o  $-0,1457 \text{ m}^3$ .

Celkově lze usoudit, že na výběrovém vzorku dat dosahuje metoda MGPM dle parametrů  $R^2$  a  $ME$  horší shody s referenční izotopickou separací.

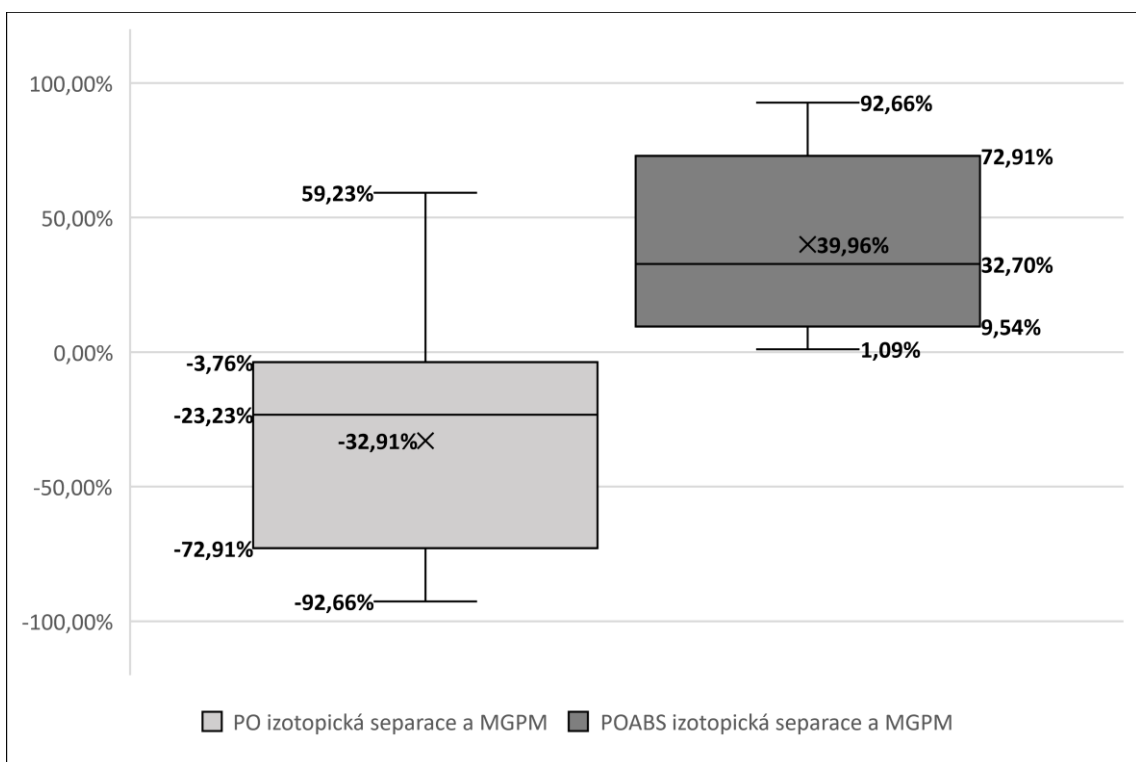


Graf 5-9 – Rozložení  $R^2$  koeficientu mezi  $Q_s$  izotopické separace a metody MGPM

| S-O událost |           | ME      |                  | R2       |                  |
|-------------|-----------|---------|------------------|----------|------------------|
| Označení    | Počátek   | Ø ME    | Vyhodnocení Ø ME | Ø R2     | Vyhodnocení Ø R2 |
| 1-P6        | 8.6.2011  | -0,0694 | Nadhodnocen      | 0,8294   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 2-P6        | 22.6.2011 | 1,0685  | Podhodnocen      | -0,0814  | NESHODA          |
| 3-P6        | 13.7.2011 | 0,2824  | Podhodnocen      | 0,2463   | NESHODA          |
| 6-P6        | 4.8.2011  | 3,9030  | Podhodnocen      | -0,0702  | NESHODA          |
| 9-P6        | 3.5.2012  | 1,6809  | Podhodnocen      | -0,1641  | NESHODA          |
| 5-P6        | 30.7.2011 | -0,4114 | Nadhodnocen      | -12,5541 | NESHODA          |
| 4-P6        | 20.7.2011 | -0,4244 | Nadhodnocen      | -1,2440  | NESHODA          |
| 7-P6        | 15.8.2011 | -0,0514 | Nadhodnocen      | 0,8361   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 8-P6        | 5.9.2011  | -0,4250 | Nadhodnocen      | -0,0039  | NESHODA          |
| 3-KL        | 13.7.2011 | -0,0834 | Nadhodnocen      | 0,2533   | NESHODA          |
| 8-KL        | 6.8.2012  | 0,0452  | Podhodnocen      | -0,2310  | NESHODA          |
| 2-KL        | 22.6.2011 | -0,0686 | Nadhodnocen      | 0,2065   | NESHODA          |
| 1-KL        | 8.6.2011  | -0,0002 | Nadhodnocen      | 0,9144   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 4-KL        | 20.7.2011 | -0,1037 | Nadhodnocen      | 0,4327   | NESHODA          |
| 5-KL        | 15.8.2011 | -0,0980 | Nadhodnocen      | 0,4835   | NESHODA          |
| 6-KL        | 5.9.2011  | 0,0017  | Podhodnocen      | 0,8266   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 7-KL        | 1.7.2012  | -0,1225 | Nadhodnocen      | -2,8056  | NESHODA          |
| 2-KP        | 13.7.2011 | -0,0100 | Nadhodnocen      | 0,8175   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 3-KP        | 20.7.2011 | -0,1309 | Nadhodnocen      | 0,4711   | NESHODA          |
| 5-KP        | 5.9.2011  | -0,2502 | Nadhodnocen      | 0,5797   | DOBRÁ SHODA      |
| 6-KP        | 6.8.2012  | 0,3361  | Podhodnocen      | -1,4853  | NESHODA          |
| 1-KP        | 8.6.2011  | 0,1367  | Podhodnocen      | -0,2185  | NESHODA          |
| 4-KP        | 15.8.2011 | 0,1455  | Podhodnocen      | -0,7430  | NESHODA          |
| 10-KL       | 24.6.2013 | -0,4100 | Nadhodnocen      | -0,7841  | NESHODA          |
| 11-KL       | 29.7.2013 | 0,0310  | Podhodnocen      | -0,0188  | NESHODA          |
| 8-KP        | 24.6.2013 | -0,5208 | Nadhodnocen      | 0,8302   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 12-KL       | 18.5.2014 | -0,0360 | Nadhodnocen      | 0,3452   | NESHODA          |
| 13-KL       | 23.5.2014 | -0,0370 | Nadhodnocen      | 0,8135   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 14-KL       | 29.5.2014 | -0,0249 | Nadhodnocen      | 0,8778   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 15-KL       | 27.7.2014 | 0,0317  | Podhodnocen      | -0,1397  | NESHODA          |
| 16-KL       | 31.7.2014 | -0,0391 | Nadhodnocen      | -0,1847  | NESHODA          |
| 17-KL       | 12.9.2014 | -0,0354 | Nadhodnocen      | 0,8085   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 18-KL       | 15.9.2014 | -0,0255 | Nadhodnocen      | 0,8460   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 9-KP        | 18.5.2014 | -0,0606 | Nadhodnocen      | 0,3504   | NESHODA          |
| 10-KP       | 23.5.2014 | -0,0266 | Nadhodnocen      | 0,8237   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 11-KP       | 29.5.2014 | -0,0174 | Nadhodnocen      | 0,8098   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 12-KP       | 27.8.2014 | -       | -                | -        | -                |
| 13-KP       | 12.9.2014 | -0,1259 | Nadhodnocen      | 0,8411   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 14-KP       | 15.9.2014 | -0,3243 | Nadhodnocen      | 0,6384   | DOBRÁ SHODA      |

Tabulka 5-8 – Účinnost metody MGPM dle R2 a ME

Porovnání parametru  $PO$  ukazuje výsledek, že mezikvartilové rozpětí rozdílů objemů  $Q_s$  izotopické separace a metody MGPM vztažených k celkovému objemu za událost  $Q_t$  se pohybuje mezi -72,91 a -3,76 % (Graf 5-10). Z hlediska vyhodnocení parametru  $PO_{ABS}$  je možné konstatovat, že 3/4 výsledků teplotní separace se pohybuje v odchylce do 72,91 % od výsledků separace izotopické. Značí to špatnou shodu v porovnání této charakteristiky u výběrové sady dat. Souhrn celkových výpočtů zastoupení objemu staré složky v odtoku hodnocených událostí dle zvolených separací zahrnuje Příloha 7.4.



**Graf 5-10 - Rozložení vypočtených rozdílů  $Q_s$  [%] mezi izotopickou separací a metodou MGPM**

Z hlediska statistického vyhodnocení t-testem byla stanovena nulová hypotéza  $H_0$  = výsledky objemu  $Q_s$  izotopické separace a metody MGPM si jsou rovnocenné. Pro její ověření byl použit dvouvýběrový t-test na střední hodnotu. Testovány byly vypočtené objemy  $Q_s$  [ $m^3$ ] (Tabulka 5-9). Na hladině významnosti  $\alpha = 5$  % t-test vyvrátil nulovou hypotézu  $H_0$  a prokázal, že výsledky izotopické separace a metody GROUND vykazují signifikantní statistický rozdíl ( $t(37) = -3,55$ ,  $p = 0,0011$ ). Celkové vyhodnocení t-testu je zachyceno v Příloze 8-4.



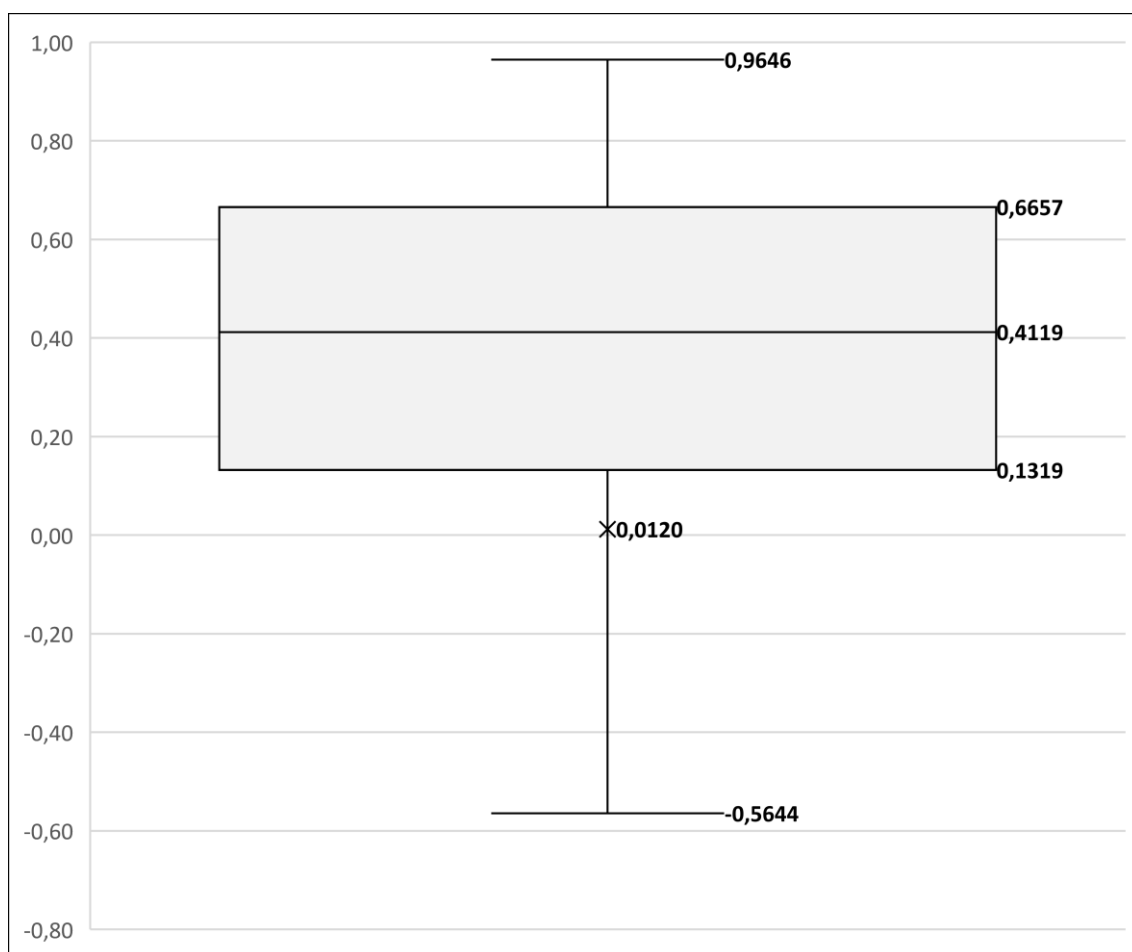
| S-O událost |           |                            | Objem odtoku           |         |                   |          |                   |         |
|-------------|-----------|----------------------------|------------------------|---------|-------------------|----------|-------------------|---------|
| Označení    | Počátek   | Q Celkem [m <sup>3</sup> ] | Qs izotopická separace |         | Qs MGPM           |          | Qs rozdíl         |         |
|             |           |                            | [m <sup>3</sup> ]      | [%]     | [m <sup>3</sup> ] | [%]      | [m <sup>3</sup> ] | [%]     |
| 1-P6        | 8.6.2011  | 97,11                      | 10,88                  | 11,21 % | 94,26             | 97,07 %  | 83,38             | 85,86 % |
| 2-P6        | 22.6.2011 | 129,17                     | 50,92                  | 39,42 % | 25,68             | 19,88 %  | 25,24             | 19,54 % |
| 3-P6        | 13.7.2011 | 145,79                     | 39,40                  | 27,02 % | 88,95             | 61,01 %  | 49,55             | 33,99 % |
| 6-P6        | 4.8.2011  | 573,45                     | 230,84                 | 40,25 % | 157,61            | 27,48 %  | 73,23             | 12,77 % |
| 9-P6        | 3.5.2012  | 466,89                     | 200,90                 | 43,03 % | 126,81            | 27,16 %  | 74,10             | 15,87 % |
| 5-P6        | 30.7.2011 | 300,11                     | 108,83                 | 36,26 % | 298,17            | 99,35 %  | 189,33            | 63,09 % |
| 4-P6        | 20.7.2011 | 255,11                     | 85,26                  | 33,42 % | 248,02            | 97,22 %  | 162,76            | 63,80 % |
| 7-P6        | 15.8.2011 | 153,67                     | 10,33                  | 6,72 %  | 150,03            | 97,63 %  | 139,71            | 90,91 % |
| 8-P6        | 5.9.2011  | 375,95                     | 96,18                  | 25,58 % | 368,76            | 98,09 %  | 272,58            | 72,50 % |
| 3-KL        | 13.7.2011 | 43,72                      | 9,33                   | 21,33 % | 41,95             | 95,96 %  | 32,63             | 74,62 % |
| 8-KL        | 6.8.2012  | 10,29                      | 4,26                   | 41,42 % | 4,37              | 42,50 %  | 0,11              | 1,09 %  |
| 2-KL        | 22.6.2011 | 28,70                      | 8,23                   | 28,70 % | 25,94             | 90,39 %  | 17,70             | 61,69 % |
| 1-KL        | 8.6.2011  | 33,71                      | 1,25                   | 3,69 %  | 32,48             | 96,36 %  | 31,23             | 92,66 % |
| 4-KL        | 20.7.2011 | 64,31                      | 13,73                  | 21,35 % | 62,96             | 97,91 %  | 49,24             | 76,56 % |
| 5-KL        | 15.8.2011 | 51,81                      | 13,08                  | 25,25 % | 51,49             | 99,37 %  | 38,41             | 74,12 % |
| 6-KL        | 5.9.2011  | 18,97                      | 0,95                   | 4,99 %  | 17,91             | 94,44 %  | 16,97             | 89,45 % |
| 7-KL        | 1.7.2012  | 21,73                      | 4,79                   | 22,07 % | 19,97             | 91,92 %  | 15,18             | 69,85 % |
| 2-KP        | 13.7.2011 | 58,09                      | 17,04                  | 29,34 % | 41,95             | 72,22 %  | 24,91             | 42,89 % |
| 3-KP        | 20.7.2011 | 83,53                      | 15,63                  | 18,71 % | 83,53             | 100,00 % | 67,90             | 81,29 % |
| 5-KP        | 5.9.2011  | 85,05                      | 16,36                  | 19,24 % | 85,05             | 100,00 % | 68,69             | 80,76 % |
| 6-KP        | 6.8.2012  | 27,06                      | 7,72                   | 28,54 % | 7,04              | 26,01 %  | 0,68              | 2,53 %  |
| 1-KP        | 8.6.2011  | 51,66                      | 1,81                   | 3,50 %  | 34,02             | 65,86 %  | 32,21             | 62,36 % |
| 4-KP        | 15.8.2011 | 129,33                     | 47,08                  | 36,40 % | 63,32             | 48,96 %  | 16,24             | 12,56 % |
| 10-KL       | 24.6.2013 | 508,07                     | 330,62                 | 65,07 % | 490,27            | 96,50 %  | 159,65            | 31,42 % |
| 11-KL       | 29.7.2013 | 29,15                      | 23,12                  | 79,32 % | 20,29             | 69,61 %  | 2,83              | 9,71 %  |
| 8-KP        | 24.6.2013 | 2247,50                    | 2001,10                | 89,04 % | 2203,89           | 98,06 %  | 202,78            | 9,02 %  |
| 12-KL       | 18.5.2014 | 27,89                      | 22,80                  | 81,74 % | 26,34             | 94,45 %  | 3,54              | 12,71 % |
| 13-KL       | 23.5.2014 | 62,64                      | 56,21                  | 89,73 % | 61,29             | 97,84 %  | 5,08              | 8,11 %  |
| 14-KL       | 29.5.2014 | 93,21                      | 80,66                  | 86,54 % | 84,68             | 90,86 %  | 4,02              | 4,32 %  |
| 15-KL       | 27.7.2014 | 2,15                       | 1,88                   | 87,31 % | 0,60              | 28,08 %  | 1,27              | 59,23 % |
| 16-KL       | 31.7.2014 | 3,58                       | 2,08                   | 58,05 % | 3,58              | 100,00 % | 1,50              | 41,95 % |
| 17-KL       | 12.9.2014 | 48,86                      | 39,75                  | 81,37 % | 47,10             | 96,41 %  | 7,35              | 15,04 % |
| 18-KL       | 15.9.2014 | 52,48                      | 49,04                  | 93,43 % | 51,95             | 98,98 %  | 2,91              | 5,55 %  |
| 9-KP        | 18.5.2014 | 93,29                      | 79,23                  | 84,93 % | 91,42             | 98,00 %  | 12,19             | 13,06 % |
| 10-KP       | 23.5.2014 | 85,64                      | 78,64                  | 91,83 % | 84,22             | 98,34 %  | 5,58              | 6,52 %  |
| 11-KP       | 29.5.2014 | 254,34                     | 237,66                 | 93,44 % | 242,99            | 95,54 %  | 5,33              | 2,10 %  |
| 12-KP       | 27.8.2014 | 35,69                      | -                      | -       | 33,71             | 94,44 %  | -                 | -       |
| 13-KP       | 12.9.2014 | 320,26                     | 267,53                 | 83,53 % | 282,49            | 88,21 %  | 14,96             | 4,67 %  |
| 14-KP       | 15.9.2014 | 543,19                     | 485,91                 | 89,45 % | 523,68            | 96,41 %  | 37,77             | 6,95 %  |

Tabulka 5-9 - Objemy Qs izotopické separace a metody MGPM

### 5.2.3 Metoda GROUND

Metoda GROUND z hlediska dosažených hodnot  $R2$  dosahuje přibližně obdobných výsledků jako metoda MGPM. „Výborné shody“ dosahuje pouze 8 událostí, „dobré shody“ pak 5 epizod. Většina událostí (25 epizod) tedy dosáhla  $R2$  pod hodnotu 0,5, a proto u nich nebyla prokázána shoda dle Nash-Sutcliffe parametru (*Tabulka 5-10*). Nízkou úspěšnost metody lze vyčíst i z *Grafu 5-11*, kde mezikvartilové rozpětí dosahuje hodnot od 0,1319 do 0,6657. Připojený parametr  $ME$  nás informuje, že model GROUND nadhodnocuje výsledky  $Qs$  o něco méně než předchozí metoda MGPM. Průměr  $ME$  je -0,0678.

Celkově lze opět posoudit, že na výběrovém vzorku dat dosahuje metoda GROUND dle parametrů  $R2$  a  $ME$  horší shody s referenční izotopickou separací. Lze také říci, že dle těchto parametrů jsou její výsledky obdobné jako u metody MGPM.

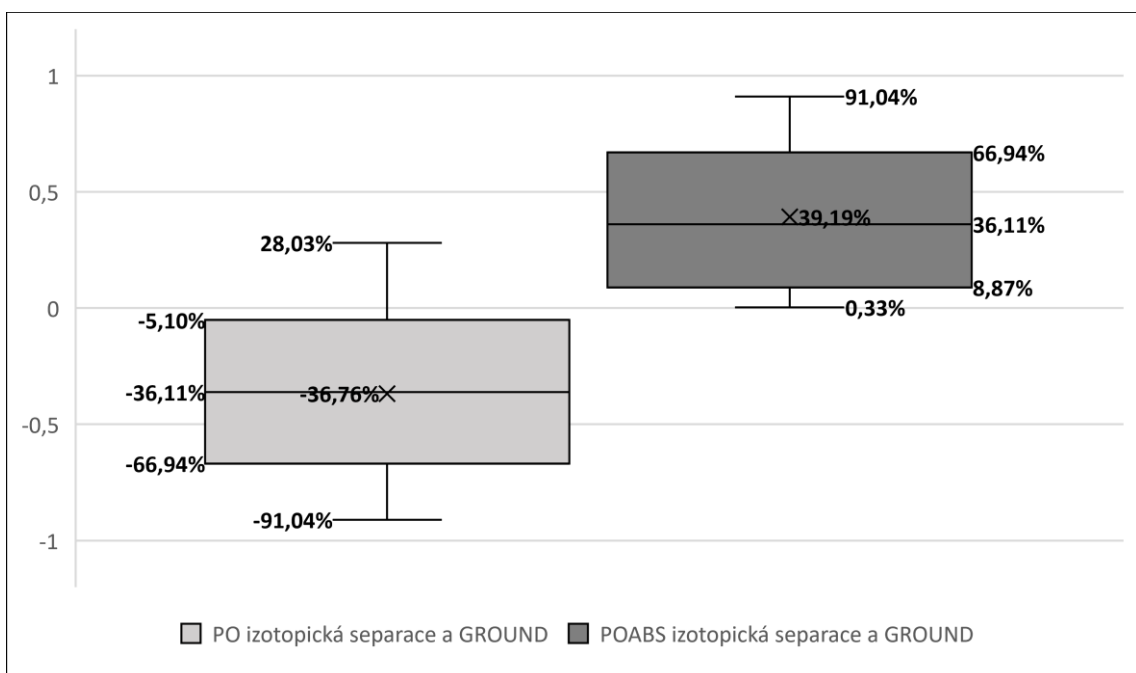


**Graf 5-11 - Rozložení  $R2$  koeficientu mezi  $Qs$  izotopické separace a metody GROUND**

| S-O událost |           | ME      |                  | R2       |                  |
|-------------|-----------|---------|------------------|----------|------------------|
| Označení    | Počátek   | Ø ME    | Vyhodnocení Ø ME | Ø R2     | Vyhodnocení Ø R2 |
| 1-P6        | 8.6.2011  | -0,0238 | Nadhodnocen      | 0,5190   | DOBRÁ SHODA      |
| 2-P6        | 22.6.2011 | 0,4135  | Podhodnocen      | 0,1829   | NESHODA          |
| 3-P6        | 13.7.2011 | 0,0382  | Podhodnocen      | 0,1047   | NESHODA          |
| 6-P6        | 4.8.2011  | 0,5668  | Podhodnocen      | 0,1089   | NESHODA          |
| 9-P6        | 3.5.2012  | -0,4327 | Nadhodnocen      | 0,3522   | NESHODA          |
| 5-P6        | 30.7.2011 | -0,3787 | Nadhodnocen      | -10,7950 | NESHODA          |
| 4-P6        | 20.7.2011 | -0,3832 | Nadhodnocen      | -1,1045  | NESHODA          |
| 7-P6        | 15.8.2011 | -0,0529 | Nadhodnocen      | 0,7850   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 8-P6        | 5.9.2011  | -0,4132 | Nadhodnocen      | -0,0747  | NESHODA          |
| 3-KL        | 13.7.2011 | -0,0407 | Nadhodnocen      | 0,4112   | NESHODA          |
| 8-KL        | 6.8.2012  | -0,0529 | Nadhodnocen      | -0,5644  | NESHODA          |
| 2-KL        | 22.6.2011 | -0,0595 | Nadhodnocen      | 0,2684   | NESHODA          |
| 1-KL        | 8.6.2011  | 0,0199  | Podhodnocen      | 0,6892   | DOBRÁ SHODA      |
| 4-KL        | 20.7.2011 | -0,0920 | Nadhodnocen      | 0,4127   | NESHODA          |
| 5-KL        | 15.8.2011 | -0,0692 | Nadhodnocen      | 0,4766   | NESHODA          |
| 6-KL        | 5.9.2011  | 0,0240  | Podhodnocen      | 0,4914   | NESHODA          |
| 7-KL        | 1.7.2012  | -0,0515 | Nadhodnocen      | -1,1486  | NESHODA          |
| 2-KP        | 13.7.2011 | 0,0327  | Podhodnocen      | 0,4480   | NESHODA          |
| 3-KP        | 20.7.2011 | -0,1082 | Nadhodnocen      | 0,4979   | NESHODA          |
| 5-KP        | 5.9.2011  | -0,0731 | Nadhodnocen      | 0,5619   | DOBRÁ SHODA      |
| 6-KP        | 6.8.2012  | -0,0412 | Nadhodnocen      | 0,2634   | NESHODA          |
| 1-KP        | 8.6.2011  | 0,0418  | Podhodnocen      | 0,6579   | DOBRÁ SHODA      |
| 4-KP        | 15.8.2011 | -0,2525 | Nadhodnocen      | -0,2595  | NESHODA          |
| 10-KL       | 24.6.2013 | -0,4023 | Nadhodnocen      | -0,8559  | NESHODA          |
| 11-KL       | 29.7.2013 | -0,0057 | Nadhodnocen      | 0,2121   | NESHODA          |
| 8-KP        | 24.6.2013 | -0,4687 | Nadhodnocen      | 0,8420   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 12-KL       | 18.5.2014 | 0,0437  | Podhodnocen      | 0,2948   | NESHODA          |
| 13-KL       | 23.5.2014 | -0,0167 | Nadhodnocen      | 0,7562   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 14-KL       | 29.5.2014 | -0,0527 | Nadhodnocen      | 0,8553   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 15-KL       | 27.7.2014 | 0,0150  | Podhodnocen      | 0,1759   | NESHODA          |
| 16-KL       | 31.7.2014 | -0,0009 | Nadhodnocen      | 0,1396   | NESHODA          |
| 17-KL       | 12.9.2014 | -0,0269 | Nadhodnocen      | 0,7898   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 18-KL       | 15.9.2014 | -0,0015 | Nadhodnocen      | 0,5164   | DOBRÁ SHODA      |
| 9-KP        | 18.5.2014 | -0,0503 | Nadhodnocen      | 0,4053   | NESHODA          |
| 10-KP       | 23.5.2014 | -0,0110 | Nadhodnocen      | 0,8425   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 11-KP       | 29.5.2014 | -0,0346 | Nadhodnocen      | 0,9646   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 12-KP       | 27.8.2014 | -       | -                | -        | -                |
| 13-KP       | 12.9.2014 | -0,0295 | Nadhodnocen      | 0,8105   | VÝBORNÁ SHODA    |
| 14-KP       | 15.9.2014 | -0,1447 | Nadhodnocen      | 0,4232   | NESHODA          |

Tabulka 5-10 – Účinnost metody GROUND dle R2 a ME

Porovnání parametru  $PO$  ukazuje výsledek, že mezikvartilové rozpětí rozdílů objemů  $Q_s$  izotopické separace a metody GROUND vztažených k celkovému objemu za událost  $Q_t$  se pohybuje mezi -66,94 a -5,10 % (Graf 5-12). Z hlediska vyhodnocení parametru  $PO_{ABS}$  je možné konstatovat, že 3/4 výsledků teplotní separace se pohybuje v odchylce do 66,94 % od výsledků separace izotopické. Značí to špatnou shodu v porovnání této charakteristiky u výběrové sady dat. Souhrn celkových výpočtů zastoupení objemu staré složky v odtoku hodnocených událostí dle zvolených separací zahrnuje Příloha 7.4.



**Graf 5-12 - Rozložení vypočtených rozdílů  $Q_s$  [%] mezi izotopickou separací a metodou GROUND**

Z hlediska statistického vyhodnocení t-testem byla stanovena nulová hypotéza  $H_0$  = výsledky objemu  $Q_s$  izotopické separace a metody GROUND si jsou rovnocenné. Pro její ověření byl použit dvouvýběrový t-test na střední hodnotu. Testovány byly vypočtené objemy  $Q_s$  [ $m^3$ ] (Tabulka 5-11). Na hladině významnosti  $\alpha = 5 \%$  t-test vyvrátil nulovou hypotézu  $H_0$  a prokázal, že výsledky izotopické separace a metody GROUND vykazují signifikantní statistický rozdíl ( $t(37) = 1,4067$ ,  $p = 0,1679$ ). Celkové vyhodnocení t-testu je zachyceno v Příloze 8-5.

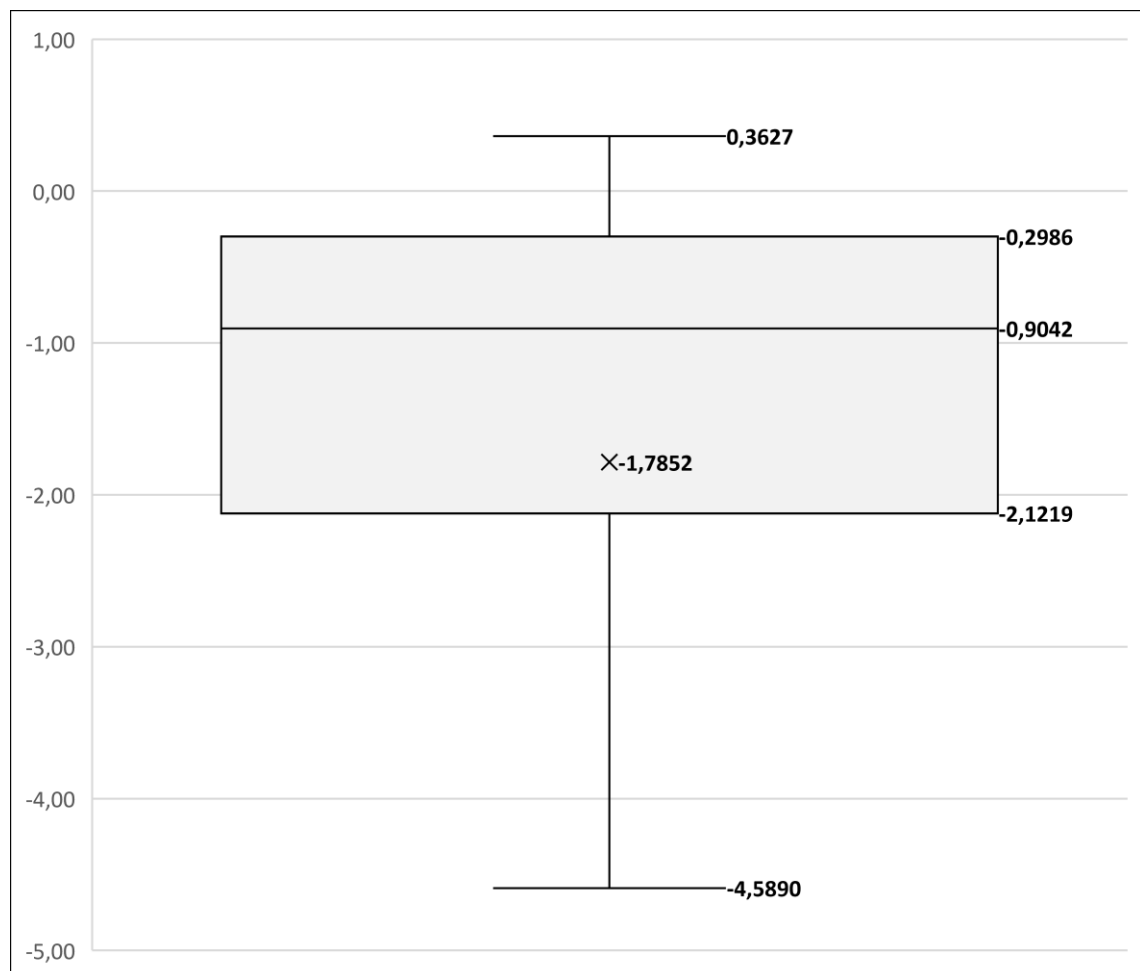
| S-O událost |           |                            | Objem odtoku           |         |                   |         |                   |         |
|-------------|-----------|----------------------------|------------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|
| Označení    | Počátek   | Q Celkem [m <sup>3</sup> ] | Qs izotopická separace |         | Qs GROUND         |         | Qs rozdíl         |         |
|             |           |                            | [m <sup>3</sup> ]      | [%]     | [m <sup>3</sup> ] | [%]     | [m <sup>3</sup> ] | [%]     |
| 1-P6        | 8.6.2011  | 97,11                      | 10,88                  | 11,21 % | 88,98             | 91,63 % | 78,10             | 80,42 % |
| 2-P6        | 22.6.2011 | 129,17                     | 50,92                  | 39,42 % | 57,91             | 44,83 % | 6,98              | 5,41 %  |
| 3-P6        | 13.7.2011 | 145,79                     | 39,40                  | 27,02 % | 104,04            | 71,36 % | 64,64             | 44,34 % |
| 6-P6        | 4.8.2011  | 573,45                     | 230,84                 | 40,25 % | 315,74            | 55,06 % | 84,90             | 14,81 % |
| 9-P6        | 3.5.2012  | 466,89                     | 200,90                 | 43,03 % | 301,81            | 64,64 % | 100,91            | 21,61 % |
| 5-P6        | 30.7.2011 | 300,11                     | 108,83                 | 36,26 % | 289,67            | 96,52 % | 180,84            | 60,26 % |
| 4-P6        | 20.7.2011 | 255,11                     | 85,26                  | 33,42 % | 240,42            | 94,24 % | 155,16            | 60,82 % |
| 7-P6        | 15.8.2011 | 153,67                     | 10,33                  | 6,72 %  | 150,24            | 97,76 % | 139,91            | 91,04 % |
| 8-P6        | 5.9.2011  | 375,95                     | 96,18                  | 25,58 % | 366,29            | 97,43 % | 270,10            | 71,85 % |
| 3-KL        | 13.7.2011 | 43,72                      | 9,33                   | 21,33 % | 38,08             | 87,11 % | 28,76             | 65,77 % |
| 8-KL        | 6.8.2012  | 10,29                      | 4,26                   | 41,42 % | 7,96              | 77,42 % | 3,70              | 36,00 % |
| 2-KL        | 22.6.2011 | 28,70                      | 8,23                   | 28,70 % | 25,21             | 87,85 % | 16,97             | 59,15 % |
| 1-KL        | 8.6.2011  | 33,71                      | 1,25                   | 3,69 %  | 30,16             | 89,47 % | 28,91             | 85,78 % |
| 4-KL        | 20.7.2011 | 64,31                      | 13,73                  | 21,35 % | 61,56             | 95,73 % | 47,84             | 74,38 % |
| 5-KL        | 15.8.2011 | 51,81                      | 13,08                  | 25,25 % | 47,74             | 92,13 % | 34,65             | 66,88 % |
| 6-KL        | 5.9.2011  | 18,97                      | 0,95                   | 4,99 %  | 16,45             | 86,73 % | 15,50             | 81,74 % |
| 7-KL        | 1.7.2012  | 21,73                      | 4,79                   | 22,07 % | 18,25             | 83,98 % | 13,45             | 61,91 % |
| 2-KP        | 13.7.2011 | 58,09                      | 17,04                  | 29,34 % | 38,08             | 65,56 % | 21,04             | 36,23 % |
| 3-KP        | 20.7.2011 | 83,53                      | 15,63                  | 18,71 % | 80,82             | 96,75 % | 65,19             | 78,04 % |
| 5-KP        | 5.9.2011  | 85,05                      | 16,36                  | 19,24 % | 73,47             | 86,38 % | 57,11             | 67,14 % |
| 6-KP        | 6.8.2012  | 27,06                      | 7,72                   | 28,54 % | 20,85             | 77,03 % | 13,12             | 48,50 % |
| 1-KP        | 8.6.2011  | 51,66                      | 1,81                   | 3,50 %  | 45,00             | 87,12 % | 43,19             | 83,62 % |
| 4-KP        | 15.8.2011 | 129,33                     | 47,08                  | 36,40 % | 115,13            | 89,02 % | 68,06             | 52,62 % |
| 10-KL       | 24.6.2013 | 508,07                     | 330,62                 | 65,07 % | 487,26            | 95,90 % | 156,64            | 30,83 % |
| 11-KL       | 29.7.2013 | 29,15                      | 23,12                  | 79,32 % | 23,65             | 81,12 % | 0,52              | 1,80 %  |
| 8-KP        | 24.6.2013 | 2247,50                    | 2001,10                | 89,04 % | 2183,62           | 97,16 % | 182,52            | 8,12 %  |
| 12-KL       | 18.5.2014 | 27,89                      | 22,80                  | 81,74 % | 25,51             | 91,47 % | 2,71              | 9,73 %  |
| 13-KL       | 23.5.2014 | 62,64                      | 56,21                  | 89,73 % | 58,50             | 93,39 % | 2,30              | 3,66 %  |
| 14-KL       | 29.5.2014 | 93,21                      | 80,66                  | 86,54 % | 89,16             | 95,66 % | 8,51              | 9,13 %  |
| 15-KL       | 27.7.2014 | 2,15                       | 1,88                   | 87,31 % | 1,27              | 59,28 % | 0,60              | 28,03 % |
| 16-KL       | 31.7.2014 | 3,58                       | 2,08                   | 58,05 % | 2,11              | 58,98 % | 0,03              | 0,93 %  |
| 17-KL       | 12.9.2014 | 48,86                      | 39,75                  | 81,37 % | 45,33             | 92,79 % | 5,58              | 11,42 % |
| 18-KL       | 15.9.2014 | 52,48                      | 49,04                  | 93,43 % | 49,21             | 93,76 % | 0,17              | 0,33 %  |
| 9-KP        | 18.5.2014 | 93,29                      | 79,23                  | 84,93 % | 89,35             | 95,78 % | 10,12             | 10,84 % |
| 10-KP       | 23.5.2014 | 85,64                      | 78,64                  | 91,83 % | 80,95             | 94,53 % | 2,31              | 2,70 %  |
| 11-KP       | 29.5.2014 | 254,34                     | 237,66                 | 93,44 % | 248,27            | 97,62 % | 10,61             | 4,17 %  |
| 12-KP       | 27.8.2014 | 35,69                      | -                      | -       | 30,61             | 85,76 % | -                 | -       |
| 13-KP       | 12.9.2014 | 320,26                     | 267,53                 | 83,53 % | 271,04            | 84,63 % | 3,51              | 1,10 %  |
| 14-KP       | 15.9.2014 | 543,19                     | 485,91                 | 89,45 % | 502,73            | 92,55 % | 16,82             | 3,10 %  |

Tabulka 5-11 - Objemy Qs izotopické separace a metody GROUND

### 5.2.4 Chapmanův filtr

Digitální filtr dle Chapmana je metoda separace, která na výběrovém vzorku dat v porovnání své účinnosti vzhledem k izotopické separaci selhala. Všechny hydrogramy  $Q_s$  dle Chapmana dosáhly hodnoty  $R_2$  pod 0,5, což hodnotíme jako „neshodu“ (Tabulka 5-12). Neúspěch digitálního filtru je zřejmý i ze souhrnného porovnání dosažených hodnot  $R_2$  v Grafu 5-13. Mezikvartilové rozpětí dosahuje hodnot od -0,2986 do -2,1219. Nejúspěšnější separace dle Chapmana je ze dne 27. 7. 2014 (subpovodí 15-KL), kdy shoda modelu byla na úrovni  $R_2 = 0,3627$ . Tato hodnota je však stále hodnocena jako „neshoda“ modelů. Průměr parametru  $ME = 0,4919$  značí, že Chapmanův filtr podhodnocuje hodnoty  $Q_s$ .

Chapmanův digitální filtr má dle parametrů  $R_2$  a  $ME$  velmi špatnou shodu s izotopickou separací. Respektive s ní jakékoliv shody nedosahuje.

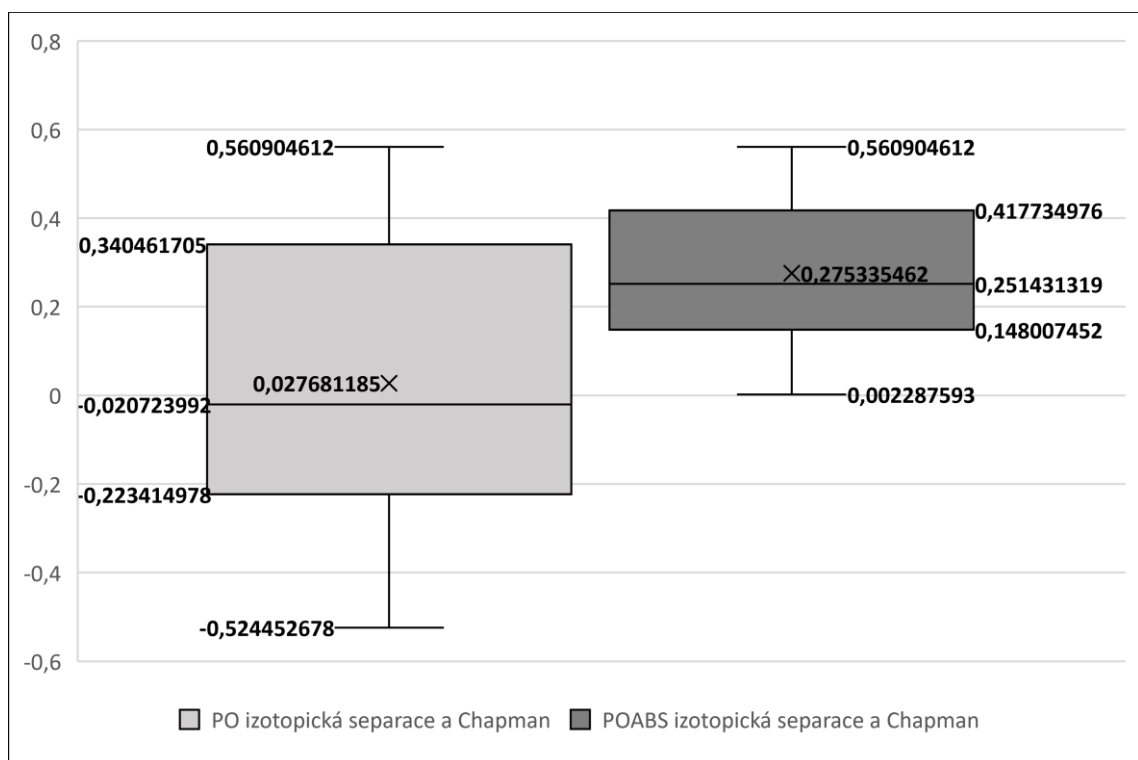


Graf 5-13 - Rozložení  $R_2$  koeficientů mezi  $Q_s$  izotopické separace a Chapmanovým filtrem

| S-O událost |           | ME     |                  | R2       |                  |
|-------------|-----------|--------|------------------|----------|------------------|
| Označení    | Počátek   | Ø ME   | Vyhodnocení Ø ME | Ø R2     | Vyhodnocení Ø R2 |
| 1-P6        | 8.6.2011  | 0,3543 | Podhodnocen      | -0,3733  | NESHODA          |
| 2-P6        | 22.6.2011 | 0,7038 | Podhodnocen      | -0,0267  | NESHODA          |
| 3-P6        | 13.7.2011 | 0,9603 | Podhodnocen      | -0,3532  | NESHODA          |
| 6-P6        | 4.8.2011  | 4,4499 | Podhodnocen      | -0,0757  | NESHODA          |
| 9-P6        | 3.5.2012  | 1,2737 | Podhodnocen      | -0,0687  | NESHODA          |
| 5-P6        | 30.7.2011 | 0,1677 | Podhodnocen      | -0,5340  | NESHODA          |
| 4-P6        | 20.7.2011 | 0,2490 | Podhodnocen      | -0,4830  | NESHODA          |
| 7-P6        | 15.8.2011 | 0,4026 | Podhodnocen      | -3,9666  | NESHODA          |
| 8-P6        | 5.9.2011  | 0,4539 | Podhodnocen      | -0,7615  | NESHODA          |
| 3-KL        | 13.7.2011 | 0,1710 | Podhodnocen      | -1,5414  | NESHODA          |
| 8-KL        | 6.8.2012  | 0,0360 | Podhodnocen      | -0,1097  | NESHODA          |
| 2-KL        | 22.6.2011 | 0,0641 | Podhodnocen      | -0,1166  | NESHODA          |
| 1-KL        | 8.6.2011  | 0,1196 | Podhodnocen      | -0,7706  | NESHODA          |
| 4-KL        | 20.7.2011 | 0,2033 | Podhodnocen      | -1,1370  | NESHODA          |
| 5-KL        | 15.8.2011 | 0,0954 | Podhodnocen      | -0,3111  | NESHODA          |
| 6-KL        | 5.9.2011  | 0,1273 | Podhodnocen      | -1,2781  | NESHODA          |
| 7-KL        | 1.7.2012  | 0,0727 | Podhodnocen      | -0,2612  | NESHODA          |
| 2-KP        | 13.7.2011 | 0,2105 | Podhodnocen      | -1,0379  | NESHODA          |
| 3-KP        | 20.7.2011 | 0,2843 | Podhodnocen      | -1,4813  | NESHODA          |
| 5-KP        | 5.9.2011  | 0,6223 | Podhodnocen      | -1,4951  | NESHODA          |
| 6-KP        | 6.8.2012  | 0,3191 | Podhodnocen      | -1,2891  | NESHODA          |
| 1-KP        | 8.6.2011  | 0,2126 | Podhodnocen      | -0,5022  | NESHODA          |
| 4-KP        | 15.8.2011 | 0,1873 | Podhodnocen      | -0,3738  | NESHODA          |
| 10-KL       | 24.6.2013 | 0,2091 | Podhodnocen      | -1,6220  | NESHODA          |
| 11-KL       | 29.7.2013 | 0,0670 | Podhodnocen      | -0,0625  | NESHODA          |
| 8-KP        | 24.6.2013 | 2,2601 | Podhodnocen      | -2,7373  | NESHODA          |
| 12-KL       | 18.5.2014 | 0,1151 | Podhodnocen      | -5,5212  | NESHODA          |
| 13-KL       | 23.5.2014 | 0,1993 | Podhodnocen      | -4,5890  | NESHODA          |
| 14-KL       | 29.5.2014 | 0,2499 | Podhodnocen      | -2,6429  | NESHODA          |
| 15-KL       | 27.7.2014 | 0,0300 | Podhodnocen      | 0,3627   | NESHODA          |
| 16-KL       | 31.7.2014 | 0,0307 | Podhodnocen      | 0,0942   | NESHODA          |
| 17-KL       | 12.9.2014 | 0,1003 | Podhodnocen      | -1,3216  | NESHODA          |
| 18-KL       | 15.9.2014 | 0,1726 | Podhodnocen      | -9,8933  | NESHODA          |
| 9-KP        | 18.5.2014 | 0,1661 | Podhodnocen      | -11,0687 | NESHODA          |
| 10-KP       | 23.5.2014 | 0,1736 | Podhodnocen      | -5,2877  | NESHODA          |
| 11-KP       | 29.5.2014 | 0,3443 | Podhodnocen      | -2,8741  | NESHODA          |
| 12-KP       | 27.8.2014 | -      | -                | -        | -                |
| 13-KP       | 12.9.2014 | 1,4590 | Podhodnocen      | -0,3796  | NESHODA          |
| 14-KP       | 15.9.2014 | 1,3756 | Podhodnocen      | -1,9482  | NESHODA          |

Tabulka 5-12 – Účinnost Chapmanova filtru dle R2 a ME

Porovnání parametru  $PO$  ukazuje výsledek, že mezikvartilové rozpětí rozdílů objemů  $Q_s$  izotopické separace a Chapmanovým digitálním filtrem vztažených k celkovému objemu za událost  $Q_t$  se pohybuje mezi 34,05 a -22,34 % (Graf 5-14). Z hlediska vyhodnocení parametru  $PO_{ABS}$  je konstatováno, že 75 % výsledků teplotní separace se pohybuje v odchylce do 41,77 % od výsledků separace izotopické. Značí to horší až mírně lepší shodu v porovnání této charakteristiky u výběrové sady dat. Souhrn celkových výpočtů zastoupení objemu staré složky v odtoku hodnocených událostí dle zvolených separací zahrnuje Příloha 7.4.



**Graf 5-14 - Rozložení vypočtených rozdílů  $Q_s$  [%] mezi izotopickou separací a Chapmanovým filtrem**

Z hlediska statistického vyhodnocení t-testem byla stanovena nulová hypotéza  $H_0$  = výsledky objemu  $Q_s$  izotopické separace a Chapmanova filtru si jsou rovnocenné. Pro její ověření byl použit dvouvýběrový t-test na střední hodnotu. Testovány byly vypočtené objemy  $Q_s$  [ $m^3$ ] (Tabulka 5-13). Na hladině významnosti  $\alpha = 5 \%$  t-test nevyvrátil nulovou hypotézu  $H_0$  a tudíž neprokázal, že výsledky izotopické separace a Chapmanova filtru vykazují signifikantní statistický rozdíl ( $t(37) = 0,85$ ,  $p = 0,4016$ ). Celkové vyhodnocení t-testu je zachyceno v Příloze 8-5.



| S-O událost |           |                            | Objem odtoku           |         |                   |         |                   |         |
|-------------|-----------|----------------------------|------------------------|---------|-------------------|---------|-------------------|---------|
| Označení    | Počátek   | Q Celkem [m <sup>3</sup> ] | Qs izotopická separace |         | Qs Chapman        |         | Qs rozdíl         |         |
|             |           |                            | [m <sup>3</sup> ]      | [%]     | [m <sup>3</sup> ] | [%]     | [m <sup>3</sup> ] | [%]     |
| 1-P6        | 8.6.2011  | 97,11                      | 10,88                  | 11,21 % | 45,21             | 46,55 % | 34,32             | 35,35 % |
| 2-P6        | 22.6.2011 | 129,17                     | 50,92                  | 39,42 % | 43,62             | 33,77 % | 7,30              | 5,65 %  |
| 3-P6        | 13.7.2011 | 145,79                     | 39,40                  | 27,02 % | 47,05             | 32,27 % | 7,65              | 5,25 %  |
| 6-P6        | 4.8.2011  | 573,45                     | 230,84                 | 40,25 % | 131,68            | 22,96 % | 99,16             | 17,29 % |
| 9-P6        | 3.5.2012  | 466,89                     | 200,90                 | 43,03 % | 160,52            | 34,38 % | 40,38             | 8,65 %  |
| 5-P6        | 30.7.2011 | 300,11                     | 108,83                 | 36,26 % | 147,71            | 49,22 % | 38,88             | 12,95 % |
| 4-P6        | 20.7.2011 | 255,11                     | 85,26                  | 33,42 % | 123,98            | 48,60 % | 38,72             | 15,18 % |
| 7-P6        | 15.8.2011 | 153,67                     | 10,33                  | 6,72 %  | 90,92             | 59,17 % | 80,59             | 52,45 % |
| 8-P6        | 5.9.2011  | 375,95                     | 96,18                  | 25,58 % | 184,73            | 49,14 % | 88,54             | 23,55 % |
| 3-KL        | 13.7.2011 | 43,72                      | 9,33                   | 21,33 % | 18,90             | 43,23 % | 9,58              | 21,90 % |
| 8-KL        | 6.8.2012  | 10,29                      | 4,26                   | 41,42 % | 4,71              | 45,79 % | 0,45              | 4,37 %  |
| 2-KL        | 22.6.2011 | 28,70                      | 8,23                   | 28,70 % | 15,34             | 53,47 % | 7,11              | 24,77 % |
| 1-KL        | 8.6.2011  | 33,71                      | 1,25                   | 3,69 %  | 18,62             | 55,23 % | 17,37             | 51,54 % |
| 4-KL        | 20.7.2011 | 64,31                      | 13,73                  | 21,35 % | 26,31             | 40,91 % | 12,58             | 19,57 % |
| 5-KL        | 15.8.2011 | 51,81                      | 13,08                  | 25,25 % | 26,30             | 50,77 % | 13,22             | 25,51 % |
| 6-KL        | 5.9.2011  | 18,97                      | 0,95                   | 4,99 %  | 9,70              | 51,13 % | 8,75              | 46,14 % |
| 7-KL        | 1.7.2012  | 21,73                      | 4,79                   | 22,07 % | 12,23             | 56,29 % | 7,44              | 34,22 % |
| 2-KP        | 13.7.2011 | 58,09                      | 17,04                  | 29,34 % | 21,98             | 37,84 % | 4,94              | 8,50 %  |
| 3-KP        | 20.7.2011 | 83,53                      | 15,63                  | 18,71 % | 33,96             | 40,65 % | 18,33             | 21,94 % |
| 5-KP        | 5.9.2011  | 85,05                      | 16,36                  | 19,24 % | 27,99             | 32,91 % | 11,63             | 13,67 % |
| 6-KP        | 6.8.2012  | 27,06                      | 7,72                   | 28,54 % | 7,66              | 28,31 % | 0,06              | 0,23 %  |
| 1-KP        | 8.6.2011  | 51,66                      | 1,81                   | 3,50 %  | 25,22             | 48,83 % | 23,41             | 45,33 % |
| 4-KP        | 15.8.2011 | 129,33                     | 47,08                  | 36,40 % | 57,87             | 44,74 % | 10,79             | 8,34 %  |
| 10-KL       | 24.6.2013 | 508,07                     | 330,62                 | 65,07 % | 249,19            | 49,05 % | 81,43             | 16,03 % |
| 11-KL       | 29.7.2013 | 29,15                      | 23,12                  | 79,32 % | 17,07             | 58,54 % | 6,06              | 20,78 % |
| 8-KP        | 24.6.2013 | 2247,50                    | 2001,10                | 89,04 % | 1121,03           | 49,88 % | 880,07            | 39,16 % |
| 12-KL       | 18.5.2014 | 27,89                      | 22,80                  | 81,74 % | 11,48             | 41,15 % | 11,32             | 40,59 % |
| 13-KL       | 23.5.2014 | 62,64                      | 56,21                  | 89,73 % | 41,18             | 65,74 % | 15,03             | 23,99 % |
| 14-KL       | 29.5.2014 | 93,21                      | 80,66                  | 86,54 % | 40,32             | 43,26 % | 40,33             | 43,27 % |
| 15-KL       | 27.7.2014 | 2,15                       | 1,88                   | 87,31 % | 0,67              | 31,22 % | 1,21              | 56,09 % |
| 16-KL       | 31.7.2014 | 3,58                       | 2,08                   | 58,05 % | 0,90              | 25,16 % | 1,18              | 32,90 % |
| 17-KL       | 12.9.2014 | 48,86                      | 39,75                  | 81,37 % | 18,92             | 38,73 % | 20,83             | 42,64 % |
| 18-KL       | 15.9.2014 | 52,48                      | 49,04                  | 93,43 % | 29,36             | 55,94 % | 19,68             | 37,50 % |
| 9-KP        | 18.5.2014 | 93,29                      | 79,23                  | 84,93 % | 55,23             | 59,20 % | 24,01             | 25,73 % |
| 10-KP       | 23.5.2014 | 85,64                      | 78,64                  | 91,83 % | 42,17             | 49,25 % | 36,46             | 42,58 % |
| 11-KP       | 29.5.2014 | 254,34                     | 237,66                 | 93,44 % | 132,10            | 51,94 % | 105,56            | 41,51 % |
| 12-KP       | 27.8.2014 | 35,69                      | -                      | -       | 13,17             | 36,91 % | -                 | -       |
| 13-KP       | 12.9.2014 | 320,26                     | 267,53                 | 83,53 % | 167,68            | 52,36 % | 99,85             | 31,18 % |
| 14-KP       | 15.9.2014 | 543,19                     | 485,91                 | 89,45 % | 295,58            | 54,41 % | 190,33            | 35,04 % |

Tabulka 5-13 - Objemy Qs izotopické separace a Chapmanova filtru

### 5.3 Souhrnné porovnání účinnosti metod separací

Při porovnání účinnosti všech metod na výběrový soubor událostí vzhledem k separaci izotopické je využito jednoduché grafické srovnání  $R2$  parametru v krabicovém grafu. Na základě *Grafu 5-15* a *Tabulky 5-14* bylo stanoveno, že nejuspěšnější metodou z hlediska shody hydrogramů  $Q_s$ , shody nástupů vzestupných větví, hodnot kulminací, vzhledu sestupných větví a dalších charakteristik shody, které zahrnuje  $R2$  koeficient, je metoda separace dle teploty. Jako jediná ze srovnávaných metod dosahuje vždy nad hodnotu 0,5 značící „dobrou shodu“ a téměř v 82 % nad 0,75, což je hranice výborné shody hydrogramů  $Q_s$ , neboli modelů separací.

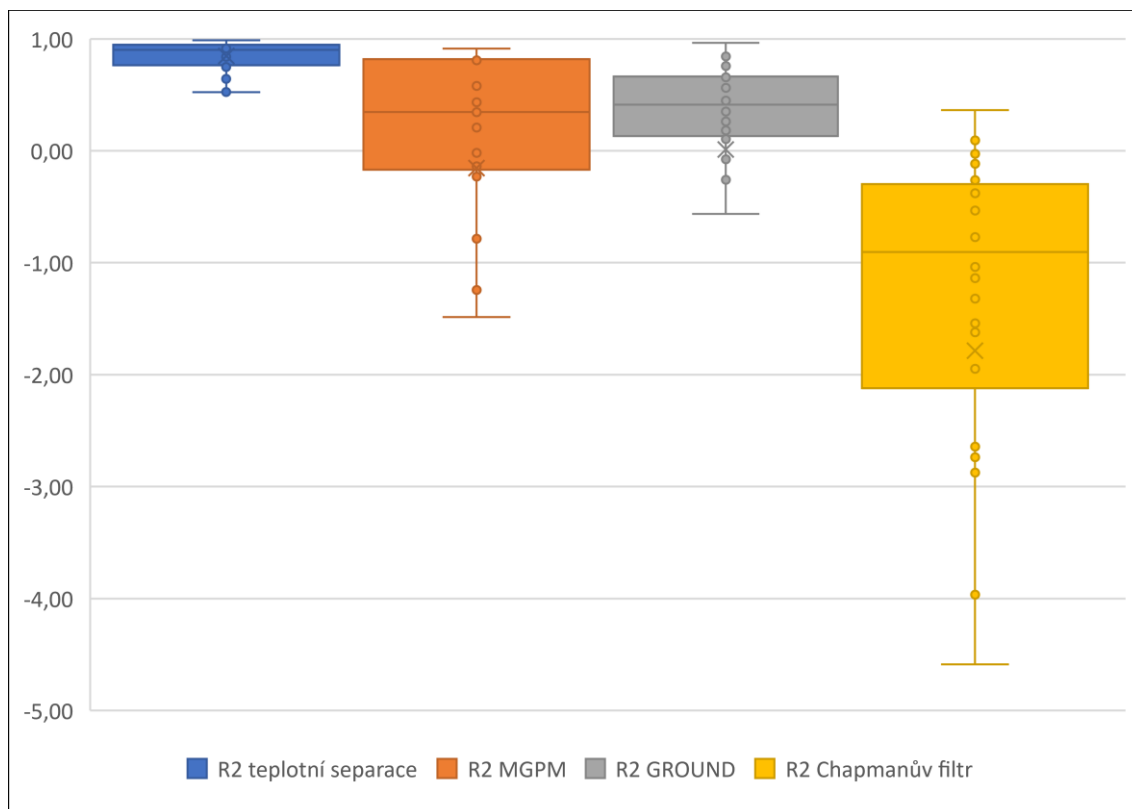
Metody MGPM a GROUND dosahují obdobné účinnosti, kdy však v nadpoloviční většině srážkoodtokových událostí není v parametru  $R2$  dosaženo dobré či výborné shody. Z hlediska vyovídající schopnosti metod dle koeficientu  $R2$  se může mluvit o jejich nízké účinnosti. Pro vlastní vyhodnocení poměrů složek odtoku dle získaných závěrů tyto metody neposkytují dobré informace o parametrech hydrogramů událostí. Pro své relativně jednoduché použití však mohou být oblíbeným nástrojem pro poskytnutí obecné představy o tvaru odtokové křivky staré a nové vody.

Metoda digitálního filtru dle Chapmana je hodnocena pro výběrový soubor jako nevhodná. Neposkytuje přesné informace o tvaru odtokových křivek a zkresluje pohled na srážkoodtokové události. Její použití není doporučováno ani z důvodu její jednoduché aplikace. Metody MGPM a GROUND poskytují objektivnější výsledky a složitost výpočtových kroků a náročnost na vstupy jsou si velmi podobné.

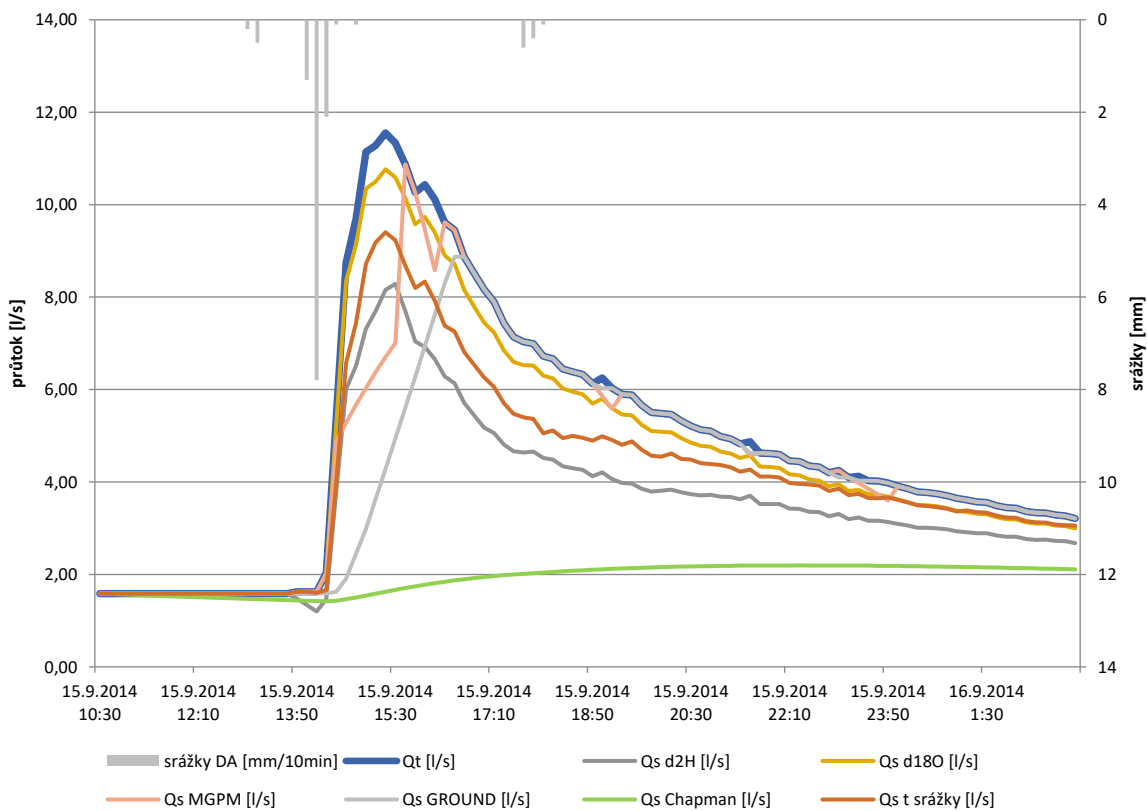
Přehled základních popisných charakteristik  $R2$  koeficientů vycházející z *Grafu 5-15* poskytuje *Tabulka 5-14*. Ukázka grafického srovnání hydrogramů  $Q_s$  použitých metod na událost 14-KP ze dne 15. 9. 2014 na subpovodí KP znázorňuje *Graf 5-16*.

| metoda            | medián  | průměr  | Q1      | Q3      | max    | min     |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|
| teplotní separace | 0,8989  | 0,8249  | 0,9468  | 0,7600  | 0,9879 | 0,5253  |
| MGPM              | 0,3478  | -0,1539 | 0,8191  | -0,1693 | 0,8191 | -1,4853 |
| GROUND            | 0,4119  | 0,0120  | 0,6657  | 0,1319  | 0,9646 | -0,5644 |
| Chapman           | -0,9042 | -1,7852 | -0,2986 | -2,1219 | 0,3627 | -4,5890 |

**Tabulka 5-14 - Základní popisné charakteristiky  $R2$  koeficientů použitých metod**



**Graf 5-15 - Souhrnné porovnání R2 parametru**

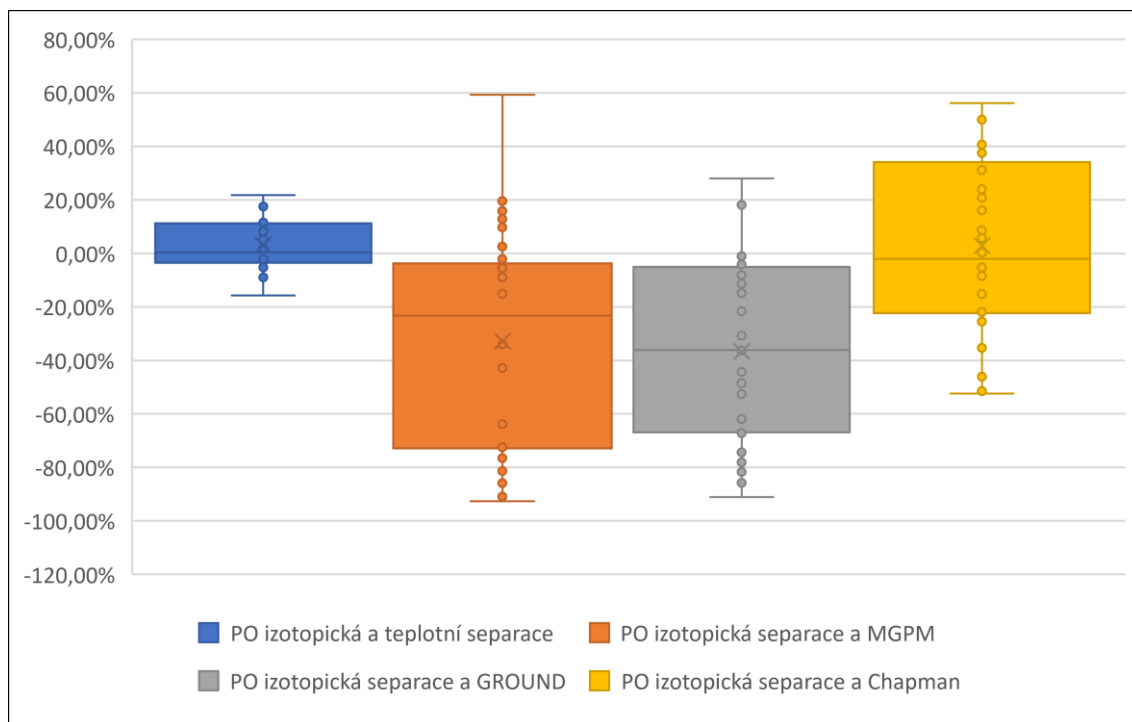


**Graf 5-16 – Grafické srovnání hydrogramů Qs použitých metod na událost 14-KP (15. 9. 2014)**

Pomocí souhrnného porovnání charakteristiky *PO* (Graf 5-17, Tabulka 5-15) se došlo k závěru, že nejnižších odchylek od izotopové separace dosahuje separace teplotní. Stejná metoda obstála nejlépe i z hlediska vyhodnocení absolutních hodnot této charakteristiky neboli  $PO_{ABS}$  (Graf 5-18, Tabulka 5-16).

Metody MGPM a GROUND mají opět přibližně stejnou vypovídající schopnost výsledků. Jejich mezikvartilové rozpětí dosahuje největších šíří a jejich průměr i medián jsou nejvzdálenější od referenčních hodnot izotopové separace. Hodnoceny jsou proto z tohoto pohledu jako nejméně úspěšné a nedostatečné.

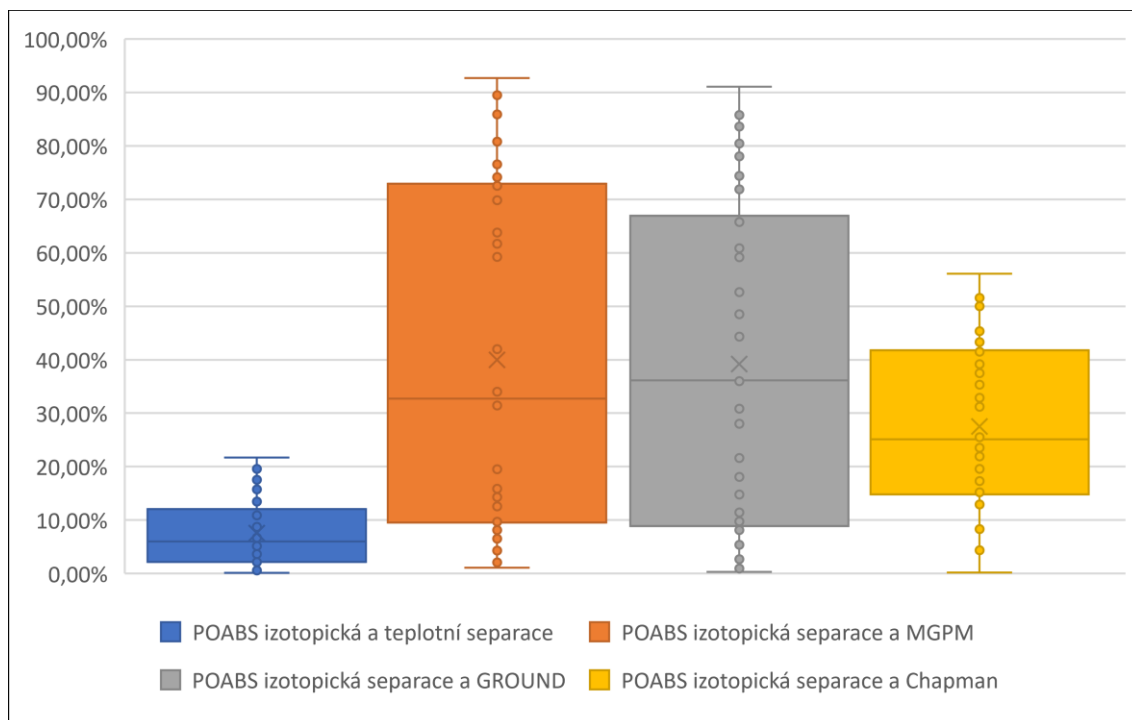
Chapmanův filtr se v těchto parametrech více blíží referenčním hodnotám a pro výběrový soubor poskytuje v tomto hodnocení lepší výsledky než metody MGPM a GROUND. Přesto jsou podávané výsledky touto metodou stále značně nepřesné.



**Graf 5-17 – Porovnání *PO* hodnocených metod separace**

| metoda            | medián   | průměr   | Q1       | Q3      | max     | Min      |
|-------------------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|
| Teplotní separace | 1,25 %   | 3,26 %   | -2,82 %  | 11,24 % | 21,72 % | -15,76 % |
| MGPM              | -23,23 % | -32,91 % | -72,91 % | -3,76 % | 59,23 % | -92,66 % |
| GROUND            | -36,11 % | -36,76 % | -66,94 % | -5,10 % | 28,03 % | -66,94 % |
| Chapman           | -2,07 %  | 2,77 %   | -22,34 % | 34,05 % | 56,09 % | -52,45 % |

**Tabulka 5-15 – Charakteristiky porovnání metod *PO* hodnocených metod separace**



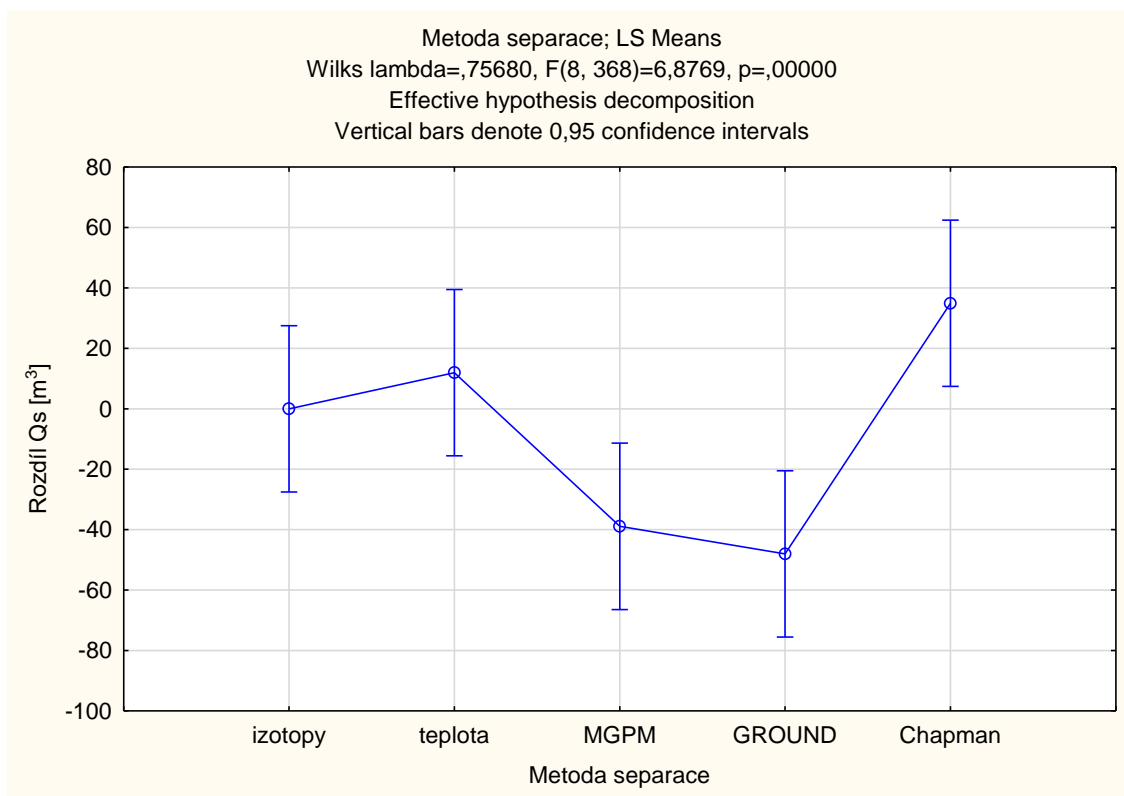
**Graf 5-18 - Porovnání PO<sub>ABS</sub> hodnocených metod separace**

| metoda            | medián  | průměr  | Q1      | Q3      | max     | min    |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Teplotní separace | 6,00 %  | 7,55 %  | 2,15 %  | 12,04 % | 21,72 % | 0,16 % |
| MGPM              | 32,70 % | 39,96 % | 9,54 %  | 72,91 % | 92,66 % | 1,09 % |
| GROUND            | 36,11 % | 39,19 % | 8,87 %  | 66,94 % | 91,04 % | 0,33 % |
| Chapman           | 25,14 % | 27,53 % | 14,80 % | 41,77 % | 56,09 % | 0,23 % |

**Tabulka 5-16 - Charakteristiky porovnání metod PO<sub>ABS</sub> hodnocených metod separace**

### 5.3.1 ANOVA

Testovaná hypotéza zní  $H_0$  = rozdíly mezi výsledky Qs jednotlivých metod a referenční izotopové analýzy jsou shodné. Výsledkem provedeného ANOVA testu je vyvrácení stanovené hypotézy  $H_0$  a konstatování, že alespoň jedna metoda vykazuje statisticky odlišné výsledky rozdílů Qs mezi hodnocenou metodou a referenční izotopovou metodou separace. Závěr vyplynul z faktu, že minimálně jedno rozpětí hodnot rozdílu není překryto v rámci 95 % konfidenčního intervalu ostatních metod (Graf 5-19).



**Graf 5-19 - Grafické vyjádření ANOVA testu**

| Tukey HSD test; variable Rozdíl Qs [m <sup>3</sup> ]<br>Homogenous Groups, alpha = ,05000<br>Error: Between MS = 7395,2, df = 185,00 |                 |                                     |      |      |      |
|--|-----------------|-------------------------------------|------|------|------|
| Cell No.   | Metoda separace | Rozdíl Qs [m <sup>3</sup> ]<br>Mean | 1    | 2    | 3    |
| 4  | GROUND          | -48,0477                            | **** |      |      |
| 3  | MGPM            | -38,9102                            | **** | **** |      |
| 1  | izotopy         | 0,0000                              | **** | **** | **** |
| 2  | teplota         | 11,9721                             |      | **** | **** |
| 5  | Chapman         | 34,9229                             |      |      | **** |

**Tabulka 5-17 - Rozdělení metod dle rozdílu Qs do homogenních skupin**

Metody separace byly na základě následně provedeného mnohonásobného porovnání dle testu „Tukey HSD“ rozděleny do homogenních skupin, které se svými průměry od sebe průkazně neliší. Rozdělení metod dle rozdílu Qs (Tabulka 5-17) nevykazuje zcela jednoznačné výsledky. Do tří homogenních skupin se shodnými průměry byly jednotlivé metody zařazeny následovně:

- 1) Izotopy, MGPM, GROUND
- 2) Izotopy, teplota, MGPM
- 3) Izotopy, teplota, Chapman

Dle tohoto postupu byly metody MGPM, teplota a izotopy přiřazeny do více skupin, což z logiky věci není možné, pokud by skupiny byly skutečně homogenními. Je to ovšem relativně častý výsledek „Tukeyho testu“, který je s největší pravděpodobností způsoben tím, že došlo k chybě druhého druhu při tomto mnohonásobném porovnání. Přesto lze při pohledu na *Graf 5-19* vyzorovat, že metody MGPM a GROUND se výrazněji odlišují od zbytku metod a lze očekávat, že s většími výběrovými soubory by tyto dvě metody utvořily homogenní skupinu, která by se průkazně odlišovala od ostatních metod (jinými slovy lze říci, že by to bylo statistické potvrzení jejich nadhodnocování oproti zbytku metod).

#### **5.4 Použití separace dle teploty**

S přihlédnutím na získané výsledky jednotlivých metod separací a jejich porovnání ( $R^2$ ,  $ME$ ,  $PO$ ,  $PO_{ABS}$ , porovnání  $Q_s$  a  $ANOVA$ ) je možné říci, že teplotní separace dosahuje z hodnocených metod nejshodnějších výsledků s metodou separace dle izotopů, která byla v této práci určena jako referenční. Jako většina metod má i tato metoda určité předpoklady, které ovlivňují kvalitu získaných výsledků. Jsou zde i určitá omezení, která naopak metodu limitují. Přesto lze s určitostí říci, že výhody vyplývající z použití teploty jako stopovače převažují. Zejména je možné využít ekonomicky příznivější a uživatelsky i přístrojově jednodušší měření teploty, a to za dosažení statisticky rovnocenných výsledků.

##### **5.4.1 Předpoklady a omezení použití**

Zásadním předpokladem pro správnou aplikaci separace pomocí teploty je nutné důkladně znát hodnocenou lokalitu a mít důsledně zmapovány a popsány vodní vstupy a výstupy v hydrologické bilanci (podzemní voda, hypodermický odtok ze svahu, pramenné vývěr atd.) daného povodí. Čím více informací a dat o lokalitě je k dispozici, tím lépe je možné teplotní separaci upravit a upřesnit.

Teplotní i izotopická separace hydrogramu je založena na kontrastním složení vstupů do rovnice vlastní separace. Pokud neexistuje rozdíl mezi vstupní teplotou staré vody a dešťové vody nebo teplotou půdy, tak teplotní separace hydrogramu odtoku není možná.

Pro správné nastavení teplotní separace je potřebné stanovit původ nové složky odtoku. Pro jeho definování lze využít separaci dle izotopů. Vzájemným porovnáním těchto metod, které bylo použito i v této práci, lze identifikovat původ nové vody, a tak zvolit tak vhodné znění rovnice teplotní separace pro danou srážkoodtokovou událost. Jsou tak zpřesněny výsledky nejen teplotní separace, ale recipročně lze zpřesnit také izotopovou separaci.

Ve vybraných případech může dojít k situaci, že není možné určit původ nové vody a zvolit tak vhodnou rovnici výpočtu separace dle teploty. V takovémto případě je nutné vyloučit chybu ve sběru a zpracování dat. Pokud je možno takovéto chyby vyloučit, přistoupí se k podrobnému posouzení SO etapy. Při pochopení souvislostí na daném povodí, je možné stanovit objektivní důvody, proč nebylo „shody“ dosaženo. Toto je případ události 12-KP, která je výše popsána.

#### **5.4.2 Samostatné použití**

Pro samostatné použití teplotní metody je potřebné stanovit parametr, který nám jednoznačně určí, který druh teplotní separace na jednotlivé události použít. Tento stav nám celkově zjednoduší sběr potřebných dat a sníží ekonomickou náročnost separace ve srovnání se separací dle izotopů.

Pro stanovení parametru, u kterého by se prokázala závislost na původu nové složky odtoku, byly porovnány charakteristiky událostí (*Příloha 8-1*) se zjištěným převládajícím původem nové vody. Pro výběrový soubor hodnocených dat vykazuje nejlepší závislost parametr „doba růstu  $Q$ “, který odpovídá časovému intervalu mezi počátkem příčinné srážky a kulminací celkového průtoku  $Q_t$ . Soulad tohoto parametru a původu nové vody znázorňuje *Tabulka 5-18*. V tomto vztahu se nachází jeden kritický bod, kde se mění původ nového odtoku. V intervalu „doby růstu  $Q$ “ od 0 do 135 je registrována nová voda z příčinné srážky. Interval 135 až  $\infty$  značí přítomnost půdní vody z předchozí srážky. U chybové situace 12-KP se potvrzuje tvrzení, že původ nové vody není z příčinné srážky.



| Označení | Počátek   | Doba růstu Q [min] | Doba růstu Q /<br>intenzita srážek | Původ nové vody  | Metoda separace dle teploty |
|----------|-----------|--------------------|------------------------------------|------------------|-----------------------------|
| 15-KL    | 27.7.2014 | 30                 | 1,52                               | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 2-P6     | 22.6.2011 | 40                 | 1,56                               | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 1-P6     | 8.6.2011  | 40                 | 1,64                               | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 7-KL     | 1.7.2012  | 40                 | 2,23                               | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 8-KL     | 6.8.2012  | 40                 | 2,67                               | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 2-KL     | 22.6.2011 | 40                 | 3,41                               | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 2-KP     | 13.7.2011 | 50                 | 3,55                               | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 6-KP     | 6.8.2012  | 60                 | 3,55                               | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 16-KL    | 31.7.2014 | 60                 | 3,96                               | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 3-KL     | 13.7.2011 | 70                 | 4,98                               | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 9-P6     | 3.5.2012  | 80                 | 6,49                               | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 3-P6     | 13.7.2011 | 80                 | 6,87                               | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 6-P6     | 4.8.2011  | 100                | 7,50                               | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 11-KL    | 29.7.2013 | 100                | 7,67                               | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 13-KL    | 23.5.2014 | 100                | 12,09                              | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 10-KP    | 23.5.2014 | 100                | 17,09                              | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 14-KP    | 15.9.2014 | 110                | 17,09                              | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 18-KL    | 15.9.2014 | 130                | 19,61                              | příčinná srážka  | t srážky                    |
| 6-KL     | 5.9.2011  | 140                | 20,35                              | předchozí srážka | t půdy                      |
| 1-KP     | 8.6.2011  | 170                | 28,96                              | předchozí srážka | t půdy                      |
| 1-KL     | 8.6.2011  | 180                | 30,66                              | předchozí srážka | t půdy                      |
| 12-KP    | 27.8.2014 | 200                | 39,24                              | předchozí srážka | CHYBA                       |
| 5-KL     | 15.8.2011 | 200                | 51,69                              | předchozí srážka | t půdy                      |
| 4-KP     | 15.8.2011 | 220                | 59,44                              | předchozí srážka | t půdy                      |
| 5-KP     | 5.9.2011  | 270                | 62,50                              | předchozí srážka | t půdy                      |
| 12-KL    | 18.5.2014 | 310                | 63,58                              | předchozí srážka | t půdy                      |
| 8-P6     | 5.9.2011  | 340                | 163,72                             | předchozí srážka | t půdy                      |
| 7-P6     | 15.8.2011 | 370                | 176,03                             | předchozí srážka | t půdy                      |
| 17-KL    | 12.9.2014 | 470                | 235,97                             | předchozí srážka | t půdy                      |
| 8-KP     | 24.6.2013 | 490                | 279,86                             | předchozí srážka | t půdy                      |
| 9-KP     | 18.5.2014 | 570                | 321,33                             | předchozí srážka | t půdy                      |
| 14-KL    | 29.5.2014 | 610                | 350,23                             | předchozí srážka | t půdy                      |
| 4-KL     | 20.7.2011 | 620                | 385,09                             | předchozí srážka | t půdy                      |
| 13-KP    | 12.9.2014 | 640                | 422,62                             | předchozí srážka | t půdy                      |
| 11-KP    | 29.5.2014 | 680                | 514,58                             | předchozí srážka | t půdy                      |
| 3-KP     | 20.7.2011 | 710                | 578,39                             | předchozí srážka | t půdy                      |
| 4-P6     | 20.7.2011 | 760                | 646,11                             | předchozí srážka | t půdy                      |
| 5-P6     | 30.7.2011 | 870                | 720,25                             | předchozí srážka | t půdy                      |
| 10-KL    | 24.6.2013 | 1610               | 1087,50                            | předchozí srážka | t půdy                      |

Tabulka 5-18 - Vztah „doby růstu Q“ k původu nové složky odtoku

Tvorba odtoku z povodí je však téměř vždy závislá na více faktorech než pouze na jednom. S vysokou pravděpodobností se bude jednat o kombinaci parametrů, mezi kterými nebude chybět nasycení půdního profilu před příčinnou srážkou, doba trvání příčinné srážky a její celkový úhrn. Pro zapojení dalších důležitých charakteristik byla „doba růstu  $Q$ “ podělena intenzitou příčinné srážky, která zahrnuje již zmíněnou dobu trvání příčinné srážky a její celkový úhrn. Parametr nyní reflektuje nejen na předchozí nasycení, ale také na charakteristiky příčinné srážky, která se spolupodílí na původu nové složky odtoku. Jeho kritický bod se nachází přibližně na hodnotě 20, kdy v intervalu od 0 do 20 je registrována nová voda z příčinné srážky. Interval 20 až  $\infty$  značí přítomnost půdní vody z předchozí srážky.

Pro potvrzení korelace parametru a původu nové vody je nutné ověření našeho tvrzení na nové sadě dat ze sledovaných povodí. To však již tato práce nezahrnuje.

## 5.5 Souhrn výsledků

- Bylo prokázáno, že změnu teploty drenážní vody, která doprovází změnu průtoku, lze využít pro separaci odtoku letních srážko-odtokových událostí a určení původu a podílu „nové vody“.
- Navržené rovnice teplotní separace poskytují statisticky nejlépe odpovídající výsledky vzhledem k metodě izotopické ze všech testovaných metod v daném nastavení. Je však nutné upřesnit původ nové složky odtoku tak, abychom mohli použít vhodnou rovnici teplotní separace.
- Metoda separace odtoku dle teploty vody má omezující podmínky a je nutné mít kvalitně popsány všechny vstupy vod (podzemní voda, hypodermický odtok ze svahu, pramenné vývěry) do drenážního systému.
- V případě shodných nebo velmi blízkých hodnot teploty příčinné srážky a teploty půdy ztrácí teplotní separace svou vypovídající schopnost – nelze rozlišit původ vstupní vody do SO události.
- Monitoring izotopového složení i teploty vstupních a výstupních vod v povodí dokáže zvýšit vypovídající schopnost výsledků. Vzájemným propojením jejich měření vytváříme zajímavou kombinaci, ve které si obě metody separace recipročně pomáhají určit původ složky nové vody a eliminovat své omezující podmínky. Mluví se zde o výše zmíněných situacích, kdy izotopy infiltrované vody v půdě a příčinné srážky si jsou rovny. Poté není možné separaci dle izotopů použít – teplota se však může lišit, a tak je jí možné k separaci použít. Tento princip platí i opačně vzhledem k teplotě.
- Pro využití teplotní separace i bez nutnosti porovnání s izotopovou analýzou je v případě použitého výběrového souboru dat na sledovaných povodí možné využít parametr „doba růstu Q/intenzita srážek“. Při použití na jiných povodích však může vybraný parametr měnit svou kritickou hodnotu, nebo vztah k původu nové vody vykáže parametr zcela jiný.

## 6 ZÁVĚR

Cílem této disertační práce bylo použít teplotu vody jako přirozený stopovač pro metodu dvousložkové separace drenážního odtoku a porovnat účinnost teplotní metody ve srovnání s izotopovou analýzou a dalšími běžně používanými metodami separace odtoku. Jako zájmová území byla zvolena povodí Kopaninského potoka a povodí Dehtáře, která se řadí mezi experimentální povodí s kontinuálně měřenými charakteristikami. Lokality se nachází v oblasti krystalinika, které má svá specifika, a tudíž jsou zde uvedené výsledky a závěry platné především pro tuto oblast.

Tato práce přispívá k poznání možnosti využití změny teploty odtoku vody, která doprovází náhlou změnu odtoku, k separaci. Prostřednictvím vybraných metod porovnávání s vybranými používanými metodami separace byla stanovena účinnost metody separace pomocí teploty. Z dosažených výsledků bylo konstatováno, že z použitých metod dosahuje teplotní separace největší shody s výsledky separace dle izotopů. Zároveň byly také stanoveny předpoklady pro samostatné použití metody teplotní separace, její limity a možnosti.

Při správném nastavení a použití teplotní separace místo izotopů je možné snížit časovou, odbornou i ekonomickou náročnost separace, a to při zachování statisticky shodných výsledků.

Při řešení práce bylo důležité stanovení původu nové složky odtoku pro každou situaci. Původ nové vody ovlivňuje teplotu, která vstupuje do odtoku, a na základě toho byly upraveny rovnice teplotní separace. Shodné úpravy byly provedeny i u separace izotopické. Obě tyto metody jsou velmi provázané a liší se pouze charakteristikou, respektive stopovačem, který je pro separaci používán. V případech, kdy není možné rozlišit vstupní vodu pomocí jednoho stopovače, je možné využít stopovač druhý k doplnění a upřesnění původní metody.

## 7 SOUHRNNÉ SEZNAMY

### 7.1 Seznam literatury

1. AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. Hydrology handbook. [s.l.] : ASCE Publications, 1996. 784 s. ISBN 0-7844-0138-1.
2. BEDIENT, Philip B., HUBER, Wayne C. Hydrology and Floodplain Analysis. Third Edition. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2002. 763 s. ISBN 0-13-032222-9.
3. BEVEN, Keith John. Rainfall-runoff modelling: the primer. 2nd ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2012. ISBN 978-0-470-71459-1.
4. BLAIR, Anne, SANGER, Denise, HOLLAND, Frederick, WHITE, David, VANDIVER, Lisa, WHITE, Susan. Stormwater runoff – modeling impacts of urbanization and climate change. Shifting Shorelines: Adapting to the Future: The 22nd International Conference of The Coastal Society. 2010.
5. BOOTH, Derek B., HARTLEY, David, JACKSON, Rhett. Forest cover, impervious-surface area, and the mitigation of stormwater impacts. In: JAWRA: Journal of the American Water Resources Association. 2002, 835–845.
6. BROOKS, Kenneth N., et al. Hydrology and the management of watersheds. Ames : Wiley-Blackwell, 2003. 574 s. ISBN 0-8138-2985-2.
7. BRUTSAERT, Wilfried. Hydrology: an introduction. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 605 s. ISBN 13978-0-82479-8.
8. BYSTRICKÝ, Václav. Analýza časových řad nutrientů v celkovém i základním odtoku ve vybraném povodí. České Budějovice, 2012. Disertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
9. CASTANY, Gilbert. Importance de l'emmagasinement souterrain de l'eau dans l'établissement des bilans. In: AIHS UNESCO. 1970, s. 78-83.
10. CLEAN WATER SERVICES. Healthy Streams Plan. 2005, 104 s.
11. CONSTANTZ, Jim. Interaction between stream temperature, streamflow, and groundwater exchanges in alpine streams. Water Resources Research. 1998, vol. 34, issue 7, s. 1609-1615.

12. CONSTANTZ, Jim, STONESTROM, David. Heat as a tracer of water movement near streams. In: U.S. GEOLOGICAL SURVEY. Heat as a tool for studying the movement of ground water near streams. David Stonestrom, Jim Constantz. 2003, 1–6. U.S. Geological Survey circular, 1260.
13. CHAPMAN, Tom. A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation. *Hydrological Processes*. 1999, roč. 13, č. 5, 701–714.
14. ČURDA, J., JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2011): Vliv fyzickogeografických faktorů na extremitupovodní v povodí Vydry. *Geografie*, 116, č. 3, s. 335–353.
15. ČSN 75 4200. Hydromeliorace: Úprava vodního režimu zemědělských půd odvodněním. 1994.
16. DAŇHELKA, Jan. Operativní hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědí. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2007. 104 s. ISBN 978-80-86690-48-3.
17. DAVIS, Stanley, THOMPSON, Glenn, BENTLEY, Harold, STILES, Gary. Ground-Water Tracers – A Short Review. In: *Ground Water*. 1980, s. 14-23. DOI: 10.1111/j.1745-6584.1980.tb03366.x.
18. DEODHAR, M. J. *Elementary Engineering Hydrology*. Delhi: Pearson Education, 2009. 408 s. ISBN 978-81-317-0805-7.
19. DOLEŽAL, František, KVÍTEK, Tomáš. The role of recharge zones, discharge zones, springs and tile drainage systems in peneplains of Central European highlands with regard to water quality generation processes. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 29 (11-12), 2004, s. 775-785.
20. DOLEŽAL, František, SOUKUP, Mojmír, KULHAVÝ, Zbyněk.: Poznámky k hydrologii drenážního odtoku. *Vědecké práce. VÚMOP Praha*, 2000, str. 5-27.
21. DOLEŽAL, František, et al. Hydrologický výzkum v malých zemědělských povodích. In NOVÁK, Viliam; MYŠKA, Jiří. *Journal of Hydrology and Hydromechanics* : Vol. 54, No. 2. Varšava : Versita, 2006. s. 217–229
22. DOOGE, James. AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE. Linear theory of hydrologic systems: Technical Bulletin No. 1468. US Department of Agriculture, 1973.

23. DOSTÁL, Tomáš, JÁCHYMOVÁ, Barbora, KRÁSA, Josef, BAUER, Miroslav, KONEČNÁ, Jana, KVÍTEK, Tomáš, BYSTRICKÝ, Václav. Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce: Význam retence vody na zemědělském půdním fondu pro jakost vody a současně i průvodce vodním režimem krystalinika. Praha: Povodí Vltavy, státní podnik, 2017, s. 156-172. ISBN 978-80-270-2488-9.
24. ECKHARDT, Klaus. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes*. 2005-02-15, vol. 19, issue 2, s. 507-515. DOI: 10.1002/hyp.5675.
25. ECKHARDT, Klaus. Technical Note: Analytical sensitivity analysis of a two parameter recursive digital baseflow separation filter. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2012, vol. 16, issue 2, s. 451-455. DOI: 10.5194/hess-16-451-2012.
26. FÍDLER, J. Hydrologie drenážních odtoků. Závěrečná zpráva úkolu R-VI-11/3. Praha, Vysoká škola zemědělská, 1970.
27. FLETCHER, N.H. The physics of rainclouds. Cambridge University Press, 1966. ISBN 978-052-1050-135.
28. GENEREUX, David. Quantifying uncertainty in tracer-based hydrograph separations. *Water Resources Research*. 1998, vol. 34, issue 4, s. 915-919. DOI: 10.1029/98WR00010.
29. HORNBERGER, George M., et al. Elements of physical hydrology. Baltimore (Maryland): JHU Press, 1998. 312 s. ISBN 0-8018-5857-7.
30. GUSTARD, A., BULLOCK, A., DIXON, J. M. Low flow estimation in the United Kingdom: IH Report 108. Institute of Hydrology, 1992.
31. HAVRLANT, Miroslav, BUZEK, Ladislav. Nauka o krajině a péče o životní prostředí. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p., 1985. 132 s. ISBN 14-400-85.
32. HENDL, Jan. Přehled statistických metod zpracování dat: analýza a metaanalýza dat. Praha: Portál, 2004. ISBN 80-7178-820-1.

33. HEWLETT, J. D., HIBBERT, A. R. Factors Affecting the Response of Small Watersheds to Precipitation in Humid Areas. In: Soper E. E., Lull H. W. (eds) Forest Hydrology. Pergamon Press, London, 1967, s. 275–290.
34. HIRABAYASHI, Yuriko, KANAE Shinjiro, EMORI, Seita, OKI, Taikan, KIMOTO, Masahide. Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate. Hydrological Sciences Journal. 2008, 53(4), 754-772. DOI: 10.1623/hysj.53.4.754. ISSN 0262-6667.
35. HLADÍK, Jiří, VOPRAVIL, Jan, BATYSTA, Marek. Povodně a sucho – krajina jako základ řešení: Zemědělská půda v České republice. Praha: Nakladatelství Academia, Středisko společných činností Akademie věd ČR, 2015, 2015(2), 35-38.
36. HOEFS, Jochen. Stable isotope geochemistry. Sixth edition. Springer, 2009, 285 s. ISBN 978-3-540-70703-5.
37. IORGULESCU, I., BEVEN, K. J., MUSY, A. Data-based modelling of runoff and chemical tracer concentrations in the Haute-Mentue research catchment (Switzerland). In: Hydrological Processes. 2005, s. 2557-2573.
38. JANEČEK, Miloslav. Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2007. ISBN 978-80-254-0973-2.
39. JANDORA, Jan, STARA, Vlastimil, STARÝ, Miloš. Hydraulika a hydrologie. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 186 s. ISBN 80-214-2204-1.
40. JAIN, S.K. Evaluation of catchment strategies by modeling soil erosion/water quality in EPIC supported by GIS. M.Sc. thesis, Galway: National University of Ireland, Department of Engineering Hydrology, 1997.
41. JENKINS, Alan, PETERS, Norman, RODHE, Allan. Hydrology. MOLDAN, Bedřich a Jiří ČERNÝ. Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research. New York, c1994, 31 - 54. SCOPE report, 51. ISBN 0-471-93723-1.



42. KANTOR, Petr. Evaporace z povrchu půdy a z přízemní vegetace ve smrkových a bukových lesích. Vodohospodářský časopis, 1987, Roč. 35, č. 1, s. 81-93. ISSN 0042-790X.
43. KANTOR, Petr. et al. Lesy a povodně. Praha, MŽP, 2003, 48 s.
44. KENDALL, Carol, MCDONNELL, Jeffrey. Isotope tracers in catchment hydrology. New York: Elsevier, 1999, 870 s. ISBN 978-0-444-50155-4.
45. KILLE, Konrad. Das Verfahren MoMNQ, ein Beitrag zur Berechnung der mittleren langjährigen Grundwasserneubildung mit Hilfe der monatlichen Niedrigwasserabflüsse. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften. 1970, s. 89-95.
46. KIRCHNER, James W., TETZLAFF, Doerthe, SOULSBY, Chris. Comparing chloride and water isotopes as hydrological tracers in two Scottish catchments. In: Hydrological Processes. 2010, s. 1631-1645.
47. KLINER, K., KNĚŽEK, M. Metoda separace podzemního odtoku při využití pozorování hladiny podzemní vody. Vodohospodářský časopis SAV. Bratislava, 1974, 22 (5), s. 457-466.
48. KOBAYASHI, Daiji. Separation of the snowmelt hydrograph by stream temperatures. Journal of Hydrology. 1985, vol. 76, 1-2, s. 155-162.
49. KOBAYASHI, Daiji, SUZUKI, K. Comparison of snowmelt hydrograph separation by recession analysis and by stream temperature and conductance. Tracers in Hydrology: Proceedings of the Yokohama Symposium, July 1993. 1993, 49-56.
50. KOCUM, Jan. Tvorba odtoku a jeho dynamika v pramenné oblasti Otavy. Praha, 2012. Disertační práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie.
51. KOGOVSĚK, Janja, PETRIČ, Metka. Water temperature as a natural tracer – a case study of the Malenščica karst spring (SW Slovenia). Geologia Croatica. Zagreb, 2010, 63/2, s. 171-177.
52. KOPECKÝ, Josef. *Půdoznalství*. Praha: Ministerstvo zemědělství, 1928. Publikace ministerstva zemědělství.

53. KOVÁŘ, P., KŘOVÁK F.: Vliv změn hospodaření v povodí na extrémní odtokové procesy (Případová studie povodí Rusavy). In: In Neuhöferová, P. Meliorace v lesním hospodářství a v krajinném inženýrství. Praha: ČZÚ v Praze, 2006, s. 25-34.
54. KRAVKA, Miroslav. Základy lesnické a krajinářské hydrologie a hydrauliky. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2009. 114 s. ISBN 978-80-7375-338-2.
55. KULHAVÝ, Zbyněk. Vodní režim půd a možnosti jeho regulace: Regulace drenážního odtoku – rekonstrukce a modernizace odvodňovacích systémů. Úroda: Odborný časopis pro rostlinnou produkci. 2015, (7), 72-73. ISSN 0139-6013.
56. KULHAVÝ, Zbyněk, DOLEŽAL, František, SOUKUP, Mojmír. Separece složek drenážního odtoku a její využití při klasifikaci existujících drenážních systémů. In: VÚMOP, v.v.i. Vědecké práce: 12., 2001, s. 29-52. ISSN 1210-1672.
57. KULHAVÝ, Zbyněk, ČMELÍK, Milan. Drenážní odvodnění v odtokovém režimu malého povodí. In: ŠÍR, Miloslav a Miroslav TESAŘ. Hydrologie malého povodí 2011: 2.díl. Praha: Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, 2011, s. 285-291. ISBN 978-80-02-02290-9.
58. KUNDZEWICZ, Zbigniew W., KANAE, Shinjiro, SENEVIRATNE, Sonia I. et al. Flood risk and climate change: global and regional perspectives. Hydrological Sciences Journal. 2013, 59(1), 1-28. ISSN 0262-6667.
59. KUTÍLEK, Miroslav. Vodohospodářská pedologie. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 275 s.
60. KUTÍLEK Miroslav, Vodohospodářská pedologie. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1978, 296 s.
61. KUTÍLEK M., NIELSEN D. R. Soil hydrology. Catena Verlag, Cremlingen – Destedt, 1994, 370 s.
62. KVÍTEK, Tomáš, ed. Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce: význam retence vody na zemědělském půdním fondu pro jakost vody a

- současně i průvodce vodním režimem krystalinika. Praha: Povodí Vltavy, státní podnik, 2017. ISBN 978-80-270-2488-9.
63. KVÍTEK, Tomáš, ed. Modelování vlivu využívání půdy v geomorfologických zónách na odtok vody a koncentraci dusičnanů: Metodika. Praha: VÚMOP v.v.i., 2012, 89 s. ISBN 978-80-87361-17-7.
  64. KVÍTEK, Tomáš, ed. Zatravňování orné půdy s vysokým rizikem infiltrace – opatření pro cílené snižování koncentrací dusičnanů ve vodách: Metodika. Praha: VÚMOP, v.v.i., 2007. 112 s. ISBN 978-80-254-0972-5.
  65. LANGHAMMER, Jakub et al. Závěrečná zpráva GAČR 205/03/Z046, Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní. Praha, 2004, 87 s.
  66. LANGHAMMER, Jakub, ed. Změny v krajině a povodňové riziko: sborník příspěvků ze semináře Povodně a změny v krajině: PŘF UK, Praha, 5.6.2007. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 2007. ISBN 978-80-86561-87-5.
  67. LANGHAMMER, Jakub. Analysis of the relationship between stream regulations and the geomorphologic effects of floods. *Natural Hazards*, 54 (1), 121-139, 2009.
  68. LINSLEY, Ray, KOHLER, Max Adam, PAULHUS, Joseph. *Hydrology for engineers*. 3. vyd. New York: McGraw-Hill, 1982, 508 s. ISBN 00-703-7956-4.
  69. LUHMANN, Andrew James. *Water Temperature as a Tracer in Karst Aquifers*. 2011. Disertační práce. University Of Minnesota. Vedoucí práce E. Calvin Alexander, Jr.
  70. MARTIN, Jonathan, DEAN, Randolph. Temperature as a natural tracer of short residence times for groundwater in karst aquifers. *Karst Modeling*. Karst Waters Institute Special Publication 5, 1999, s. 236-242.
  71. MAŠÍN, Oldřich; KULHAVÝ, Zbyněk Hydrologické modelování malých zemědělských povodí. In *GEOinfo* : 5/98. Ostrava : Computer Press, 1998. s. 34-35.

72. MUL, Marloes L., MUTIIBWA, Robert K., UHLENBROOK, Stefan, SAVENIJE Hubert H.G. Hydrograph separation using hydrochemical tracers in the Makanya catchment, Tanzania. In: Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 2008, s. 151-156.
73. NASH, J.E., SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. In: Journal of Hydrology. 1970, s. 282-290. DOI: 10.1016/0022-1694(70)90255-6.
74. NOVOTNÝ, Ivan, VOPRAVIL, Jan, et al. Metodika mapování a aktualizace bonitovaných půdně ekologických jednotek: bonitace zemědělského půdního fondu. 4., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2013. ISBN 978-80-87361-21-4.
75. NUNES, J.P., DE LIMA, J.L.M.P., SINGH, V.P., DE LIMA, M.I.P., VIEIRA, G.N. Numerical modeling of surface runoff and erosion due to moving rainstorms at the drainage basin scale. Journal of Hydrology, 330 (3-4), 2006, s. 709-720.
76. PATERA, Adolf, et al. Úvod. In PATERA, Adolf, et al. Povodně: prognózy, vodní toky a krajina. Praha: ČVUT, 2002. s. 18-22. ISBN 80-01-02561-6.
77. PATERA, Adolf, KAŠPÁREK, Ladislav. Klasifikace povodní. In PATERA, Adolf, et al. Povodně: prognózy, vodní toky a krajina. Praha: ČVUT, 2002. s. 23-24. ISBN 80-01-02561-6.
78. PILGRIM, David Herbert, CORDERY, Ian.: Flood runoff. Chapter 9 In: Maidment, D. R. (ed.): Handbook of hydrology. New York: Mcgraw-hill, 1993, S. 9.4-9.6., S. 9.26- 9.31.
79. PODHRÁZSKÁ, Jana, TOMAN, František. Vliv hospodaření v povodí na změny odtokových poměrů. In: ROŽNOVSKÝ a LITSCHMANN. XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference: Lednice na Moravě 2.-4. září 2002. 2002, s. 352-356. ISBN 80-85813-99-8.
80. PRUDKÝ, Jan, SPITZ, Pavel. Poznatky získané analýzou faktorů ovlivňujících přirozenou retenci povodí. In .Protipovodňová prevence a krajinné plánování : Sborník z mezinárodní konference 18. a 19. března 2003 Pardubice. Pardubice : Česká společnost krajinných inženýrů, 2003. s. 136-142. ISBN 80-903258-1-5.

81. REDDY, P. Jaya Rami. A Textbook of Hydrology. New Delhi : Firewall Media, 2005. 530 s. ISBN 81-7008-099-1.
82. SÁŇKA, Milan, MATERNA, Jan. *Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR*. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2004, 84 s. ISSN 1213-3393.
83. SHAW, Elizabeth M. Hydrology in Practice. Third Edition. Abingdon : Taylor & Francis, 1994. 592 s. ISBN 0-7487-4448-7.
84. SCHILLING, K.E. Relation of baseflow to row crop intensity in Iowa. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 105 (1-2), 2004, s. 433-438.
85. SCHILLING, K.E., LIBRA, R.D. Increased baseflow in Iowa over the second half of the 20th century. *Journal of the American Water Resources Association*, 39 (4), 2003, s. 851-860.
86. SCHUELER, Thomas R. Site planning for urban stream protection. Metropolitan Washington Council of Governments, 1995, 232 s.
87. SCHUELER, Thomas R., HOLLAND, Heather K. *The Practice of Watershed Protection*. Center for Watershed Protection, 2000, 742 s.
88. SOCHOREC, Milan, HEJDUK, Stanislav, RAUS, Josef, KNOT, Pavel, SKLÁDANKA, Jiří. Vliv vegetačního pokryvu na velikost povrchového odtoku. In *Polní den "MendelGrass" 2013*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013, s. 56-59. ISBN 978-80-7375-758-8.
89. SOUKUP, Mojmír, PILNÁ, Eva, MAXOVÁ, Jana, KULHAVÝ, Zbyněk. Vláhový režim odvodněné půdy s regulací drenážního odtoku. In: *Soil and Water 4/2005*, VÚMOP Praha, 2005, str. 79–84, ISSN 1213-8673.
90. SUBRAMANYA, K. Engineering Hydrology. New Delhi : Tata McGraw-Hill, 2008. 434 s. ISBN 978-0-07-064855-5.
91. ŠANDA, Martin, CÍSLEROVÁ, Milena. Observation of subsurface hillslope flow proceeded in the Jizera Mountains region, Czech Republic. In: Elias, V., LITTLEWOOD, I. G. *Catchment hydrological and biochemical processes in the changing environment*. IHP-VI, Technical documents in hydrology, 37, 2000, 265-272. Paris: UNESCO.

92. ŠANDA, Martin, KULASOVÁ, Alena, CÍSLEROVÁ, Milena. Hydrological Processes in the Subsurface Investigated by Water Isotopes and Silica. In: Soil & Water Res. 4. 2009, s. 83-92.
93. ŠANTRŮČKOVÁ, Hana, MALÝ, Stanislav, CIENCIALA, Emil. Povodně a sucho – krajina jako základ řešení: Organická hmota a vodní retenční kapacita půd. Praha: Nakladatelství Academia, Středisko společných činností Akademie věd ČR, 2015, 2015(2), 69-72.
94. ŠEFRNA, Luděk. In: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní.: Sborník příspěvků semináře grantu GAČR 205/Z052/03. Praha, 2004, s. 196-212.
95. ŠILAR, Jan. Hydrologie v životním prostředí. Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, 1996. 136 s. ISBN 80-7078-361-3.
96. ŠVIHLA, V., DAMAŠKOVÁ, H., KYNCLOVÁ, J., ŠIMŮNEK, O. Výzkumný objekt Ovesná Lhota. Monografie. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 1992. 154 s.
97. ŚWIĄTEK, Dorota, OKRUSZKO, Tomasz, ed. Modelling of hydrological processes in the Narew Catchment. Berlin: Springer, 2011. ISBN 9783642190599.
98. TACHECÍ, Pavel, KVÍTEK, Tomáš, DOLEŽAL, František. Cesty a velikost odtoku povrchových a podpovrchových vod. Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce: Význam retence vody na zemědělském půdním fondu pro jakost vody a současně i průvodce vodním režimem krystalinika. Praha: Povodí Vltavy, státní podnik, 2017, s. 103-118. ISBN 978-80-270-2488-9.
99. TALLAKSEN, Lena M., VAN LANEN, Henny A. J. Hydrological drought: processes and estimation methods for streamflow and groundwater. Amsterdam: Elsevier, 2004. 579 s. ISBN 978-0-444-51767-8.
100. TESAR, Miroslav, ŠÍR, Miloslav, PRAŽÁK, Josef, LICHNER, Lubomir. Instability driven flow and runoff formation in a small catchment. Geologica Acta. 2004, 2(2), 147-156. ISSN 1695-6133.

101. TESARĚ, Miroslav, ŠÍR, Miloslav, VONDRKA, Aleš. Hydrodynamics of soil water flow using sodium and potassium ions as tracers. In: Studies of Hydrological Processes in Research Basins. Current Challenges and Prospects.: Book of Abstracts. St. Petersburg: ERB, 2012, s. 186-187.
102. VÁŇA, Milan, HOLOUBEK, Ivan, et al. Quality of the natural environment in the Czech Republic at the regional level: Results of the Košetice Observatory. Praha: ČHMÚ, 2001, 189 s. ISBN 80-858-1388-2.
103. VOPRAVIL, Jan, KULÍŘOVÁ, Petra, KULHAVÝ, Zbyněk. Povodně a sucho – krajina jako základ řešení: Voda v zemědělských půdách. Živa. 2015(3), 116-119.
104. WILSON, G. V., JARDINE, P. M., LUXMOORE, R. J., JONES, J. R. Hydrology of a forested hillslope during storm events. Geoderma, 46 (1-3), 1990, ISSN 0016-7061.
105. ZAJÍČEK, Antonín, KVÍTEK, Tomáš, KAPLICKÁ, Markéta. Teplota drenážní vody jako indikátor formování odtoku. Vodní hospodářství. 2009, roč. 59, č. 10, s. 369-374.
106. ZAJÍČEK, Antonín, KVÍTEK, Tomáš, KAPLICKÁ, Markéta, DOLEŽAL, František, KULHAVÝ, Zbyněk, BYSTRICKÝ, Václav, ŽLÁBEK, Pavel. Drainage water temperature as a basis for verifying drainage runoff composition on slopes. In: Hydrological Processes. 2011, s. 3204-3215.
107. ZAJÍČEK, Antonín, POMIJE, Tomáš, KVÍTEK, Tomáš. Event water detection in tile drainage runoff using stable isotopes and a water temperature in small agricultural catchment in Bohemian-Moravian Highlands, Czech Republic. Environmental Earth Sciences. 2016.
108. ZAJÍČEK, Antonín, TACHECÍ, Pavel, ŠANDA, Martin, KVÍTEK, Tomáš. Doba zdržení vody v systému půda-hornina. Retence a jakost vody v povodí vodárenské nádrže Švihov na Želivce: Význam retence vody na zemědělském půdním fondu pro jakost vody a současně i průvodce vodním režimem krystalinika. Praha: Povodí Vltavy, státní podnik, 2017, s. 131-138. ISBN 978-80-270-2488-9.
109. ŽLÁBEK, Pavel. Vliv uspořádání krajinné matrice na složky odtoku. České Budějovice, 2009. Disertační práce.

110. ZHENG, Fen-Li, HUANG, Chi-Hua, NORTON, L. Darrell. Effects of Near-Surface Hydraulic Gradients on Nitrate and Phosphorus Losses in Surface Runoff. *Journal of Environment Quality*. 2004, 33(6), 2174-2182. ISSN 1537-2537.
111. ZUMR, David, DOSTÁL, Tomáš, DEVÁTÝ, Jan. Identification of prevailing storm runoff generation mechanisms in an intensively cultivated catchment. In: *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 2015, 63(3), s. 246-254.



## 7.2 Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| <i>Obrázek 3-1 – Umístění zájmových povodí v rámci ČR</i> .....                | 30 |
| <i>Obrázek 3-2 – Geografické umístění zájmových povodí v rámci ČR</i> .....    | 31 |
| <i>Obrázek 3-3 – Povodí Kopaninského potoka</i> .....                          | 32 |
| <i>Obrázek 3-4 – Relativní četnost větru (1983–2002)</i> .....                 | 34 |
| <i>Obrázek 3-5 – Subpovodí P6</i> .....  | 35 |
| <i>Obrázek 3-6 – Povodí Dehtáře</i> .....                                      | 37 |
| <i>Obrázek 3-7 – Pedologické charakteristiky v subpovodí KL a KP</i> .....     | 39 |
| <i>Obrázek 5-1 – Schéma upřesnění izotopických a teplotních separací</i> ..... | 51 |

## 7.3 Seznam rovnic

|   |    |
|---|----|
| <i>Rovnice 2-1 – Rovnice hydrologické bilance</i> .....                     | 7  |
| <i>Rovnice 2-2 – Specifický odtok</i> .....                                 | 8  |
| <i>Rovnice 4-1 – Chapmanův filtr I</i> .....                                | 44 |
| <i>Rovnice 4-2 – Chapmanův filtr II</i> .....                               | 44 |
| <i>Rovnice 4-3 – Chapmanův filtr III</i> .....                              | 44 |
| <i>Rovnice 4-4 – Separace dle izotopů I</i> .....                           | 45 |
| <i>Rovnice 4-5 – Separace dle izotopů II</i> .....                          | 45 |
| <i>Rovnice 4-6 – Separace dle izotopů III</i> .....                         | 45 |
| <i>Rovnice 4-7 – Separace dle teploty I</i> .....                           | 46 |
| <i>Rovnice 4-8 – Separace dle teploty II</i> .....                          | 46 |
| <i>Rovnice 4-9 – Izotopická separace „dle příčinné srážky“</i> .....        | 47 |
| <i>Rovnice 4-10 – Izotopická separace „dle předchozí srážky“</i> .....      | 47 |
| <i>Rovnice 4-11 – Teplotní separace „dle příčinné srážky“</i> .....         | 48 |
| <i>Rovnice 4-12 – Teplotní separace „dle půdy“</i> .....                    | 48 |
| <i>Rovnice 4-13 – Kontrolní předpoklad <math>ME_1</math></i> .....          | 49 |
| <i>Rovnice 4-14 – <math>R_2</math> izotopické a teplotní separace</i> ..... | 49 |
| <i>Rovnice 4-15 – Nash-Sutcliffe koeficient</i> .....                       | 52 |
| <i>Rovnice 4-16 – Průměrná chyba</i> .....                                  | 53 |
| <i>Rovnice 4-17 – Charakteristika <math>PO</math></i> .....                 | 54 |
| <i>Rovnice 4-18 – Charakteristika <math>PO_{ABS}</math></i> .....           | 54 |

## 7.4 Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| <i>Tabulka 3-1 – Geomorfologické zařazení povodí Kopaninského potoka</i> .....                                  | 33 |
| <i>Tabulka 3-2 – Základní charakteristiky subpovodí P6</i> .....  | 35 |
| <i>Tabulka 3-3 – Základní charakteristiky subpovodí KL a KP</i> .....   | 38 |
| <i>Tabulka 3-4 – Hodnocené srážkoodtokové situace</i> .....   | 40 |
| <i>Tabulka 4-1 – Vyhodnocení hodnot NS koeficientu</i> .....  | 52 |
| <i>Tabulka 5-1 – Výsledky kontrolní podmínky ME<sub>1</sub></i> .....   | 57 |
| <i>Tabulka 5-2 – Výsledky R2 izotopické a teplotní separace „dle příčné srážky“</i> .....                       | 58 |
| <i>Tabulka 5-3 – Výsledky R2 izotopické separace „dle předchozí srážky a teplotní separace „dle půdy“</i> ..... | 60 |
| <i>Tabulka 5-4 – Charakteristiky mezi křivkami Qs pro simulaci události 12-KP</i> .....                         | 63 |
| <i>Tabulka 5-5 – Výsledky úprav rovnic teplotní a izotopické separace</i> .....                                 | 64 |
| <i>Tabulka 5-6 – Účinnost teplotní metody dle R2 a ME</i> .....   | 66 |
| <i>Tabulka 5-7 – Objemy Qs izotopické a teplotní separace</i> .....   | 69 |
| <i>Tabulka 5-8 – Účinnost metody MGPM dle R2 a ME</i> .....   | 71 |
| <i>Tabulka 5-9 – Objemy Qs izotopické separace a metody MGPM</i> .....  | 73 |
| <i>Tabulka 5-10 – Účinnost metody GROUND dle R2 a ME</i> .....  | 75 |
| <i>Tabulka 5-11 – Objemy Qs izotopické separace a metody GROUND</i> .....                                       | 77 |
| <i>Tabulka 5-12 – Účinnost Chapmanova filtru dle R2 a ME</i> .....  | 79 |
| <i>Tabulka 5-13 – Objemy Qs izotopické separace a Chapmanova filtru</i> .....                                   | 81 |
| <i>Tabulka 5-14 – Základní popisné charakteristiky R2 koeficientů použitých metod</i> .....                     | 82 |
| <i>Tabulka 5-15 – Charakteristiky porovnání metod PO hodnocených metod separace</i> ....                        | 84 |
| <i>Tabulka 5-16 – Charakteristiky porovnání metod PO<sub>ABS</sub> hodnocených metod separace</i>               | 85 |
| <i>Tabulka 5-17 – Rozdělení metod dle rozdílu Qs do homogenních skupin ANOVA</i> .....                          | 86 |
| <i>Tabulka 5-18 – Vztah „doby růstu Q“ k původu nové složky odtoku</i> .....                                    | 89 |

## 7.5 Seznam grafů

|   |    |
|---|----|
| <i>Graf 5-1 – Nesplnění podmínky ME<sub>1</sub> (událost 7-P6)</i> .....  | 57 |
| <i>Graf 5-2 – „Výborná shoda“ R2 izotopické a teplotní separace „dle příčné srážky (událost 2-P6)</i> .....                         | 59 |
| <i>Graf 5-3 – „Výborná shoda“ R2 izotopické separace „dle předchozí srážky a teplotní separace „dle půdy“ (událost 10-KL)</i> ..... | 60 |

|  |    |
|--|----|
| <i>Graf 5-4 – Nesplnění podmínky ME (událost 12-KP)</i> .....  | 62 |
| <i>Graf 5-5 – „Neshoda“ R2 izotopické separace „dle předchozí srážky“ a teplotní separace „dle půdy“ (událost 12-KP)</i> ..... | 62 |
| <i>Graf 5-6 – Simulace události 12-KP</i> .....  | 63 |
| <i>Graf 5-7 – Rozložení R2 koeficientu mezi Qs izotopickou a teplotní separací</i> .....                                       | 67 |
| <i>Graf 5-8 – Rozložení vypočtených rozdílů Qs [%] mezi izotopickou a teplotních separací</i> .....                            | 68 |
| <i>Graf 5-9 – Rozložení R2 koeficientu mezi Qs izotopické separace a metody MGPM</i> ....                                      | 70 |
| <i>Graf 5-10 – Rozložení vypočtených rozdílů Qs [%] mezi izotopickou separací a metodou MGPM</i> .....                         | 72 |
| <i>Graf 5-11 – Rozložení R2 koeficientu mezi Qs izotopické separace a metody GROUND</i>  | 74 |
| <i>Graf 5-12 – Rozložení vypočtených rozdílů Qs [%] mezi izotopickou separací a metodou GROUND</i> .....                       | 76 |
| <i>Graf 5-13 – Rozložení R2 koeficientů mezi Qs izotopické separace a Chapmanovým filtrem</i> .....                            | 78 |
| <i>Graf 5-14 – Rozložení vypočtených rozdílů Qs [%] mezi izotopickou separací a Chapmanovým filtrem</i> .....                  | 80 |
| <i>Graf 5-15 – Souhrnné porovnání R2 parametru</i> .....   | 83 |
| <i>Graf 5-16 – Grafické srovnání hydrogramů Qs použitých metod na událost 14-KP (15. 9. 2014)</i> .....                        | 83 |
| <i>Graf 5-17 – Porovnání PO hodnocených metod separace</i> .....   | 84 |
| <i>Graf 5-18 – Porovnání PO<sub>ABS</sub> hodnocených metod separace</i> .....   | 85 |
| <i>Graf 5-19 – Grafické vyjádření ANOVA testu</i> .....  | 86 |

## **7.6 Seznam příloh**

|  |     |
|--|-----|
| <i>Příloha 8-1 – Rozšířené charakteristiky hodnocených S-O událostí</i> .....  | 110 |
| <i>Příloha 8-2 – Souhrnné porovnání vlastností křivek Qs vybraných metod separací</i> .....  | 112 |
| <i>Příloha 8-3 – Výběrový t-test na střední hodnotu objemu staré složky odtoku (Qs) – izotopová separace x teplotní separace</i> ..... | 113 |
| <i>Příloha 8-4 – Výběrový t-test na střední hodnotu objemu staré složky odtoku (Qs) – izotopová separace x metoda MGPM</i> .....       | 114 |

|  |            |
|--|------------|
| <i>Příloha 8-5 – Výběrový t-test na střední hodnotu objemu staré složky odtoku (Qs) – izotopová separace x metoda GROUND .....</i>             | <i>115</i> |
| <i>Příloha 8-6 – Výběrový t-test na střední hodnotu objemu staré složky odtoku (Qs) – izotopová separace x Chapmanův digitální filtr .....</i> | <i>116</i> |

## 8 PŘÍLOHY

| S-O událost |           | Charakteristiky               |            |            |            |            |            |             |                         |                 |                  |                    |                   |                   |                   |                                 |
|-------------|-----------|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------------------|-----------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|
| Označení    | Počátek   | úhrn srážek do kulminace [mm] | IPS 1 [mm] | IPS 2 [mm] | IPS 3 [mm] | IPS 4 [mm] | IPS 5 [mm] | IPS 30 [mm] | Intenzita srážek [mm/h] | $\Delta t$ [°C] | $\Delta Q$ [l/s] | Doba růstu Q [min] | Doba srážek [min] | směrnice přímký Q | směrnice přímký t | celkový odtok [m <sup>3</sup> ] |
| 1-P6        | 8.6.2011  | 10,10                         | 16,40      | 16,40      | 16,40      | 16,50      | 25,40      | 59,52       | 10,10                   | 0,77            | 4,11             | 40,00              | 60                | 147,96            | 22,18             | 97,11                           |
| 2-P6        | 22.6.2011 | 28,40                         | 0,00       | 9,50       | 14,10      | 15,90      | 16,90      | 100,07      | 24,34                   | 2,11            | 66,33            | 40,00              | 70                | 2387,90           | 75,96             | 129,17                          |
| 3-P6        | 13.7.2011 | 16,00                         | 0,50       | 0,60       | 0,60       | 20,20      | 20,90      | 88,72       | 10,67                   | 1,33            | 9,92             | 80,00              | 90                | 205,71            | 38,30             | 145,79                          |
| 6-P6        | 4.8.2011  | 26,70                         | 0,10       | 0,30       | 8,40       | 9,00       | 26,60      | 116,72      | 14,56                   | 2,18            | 244,08           | 100,00             | 110               | 3906,90           | 39,24             | 573,45                          |
| 9-P6        | 3.5.2012  | 70,20                         | 0,40       | 0,40       | 0,40       | 0,40       | 0,40       | 49,85       | 52,65                   | 3,38            | 71,76            | 80,00              | 80                | 737,83            | 121,68            | 466,89                          |
| 5-P6        | 30.7.2011 | 20,60                         | 1,40       | 1,90       | 2,00       | 3,20       | 4,60       | 110,21      | 0,80                    | 1,31            | 2,09             | 870,00             | 1545              | 3,55              | 2,02              | 300,11                          |
| 4-P6        | 20.7.2011 | 28,20                         | 0,00       | 0,50       | 1,00       | 1,00       | 1,00       | 115,04      | 2,17                    | 1,77            | 2,16             | 760                | 780               | 4,14              | 3,31              | 255,11                          |
| 7-P6        | 15.8.2011 | 14,30                         | 3,80       | 3,90       | 8,00       | 8,20       | 8,30       | 103,23      | 2,26                    | 0,73            | 0,89             | 370                | 380               | 3,54              | 3,19              | 153,67                          |
| 8-P6        | 5.9.2011  | 34,30                         | 2,70       | 2,70       | 2,90       | 3,10       | 3,30       | 55,80       | 5,72                    | 1,60            | 2,40             | 340                | 360               | 13,34             | 5,36              | 375,95                          |
| 3-KL        | 13.7.2011 | 21,10                         | 0,40       | 0,40       | 11,60      | 22,80      | 23,20      | 65,84       | 14,07                   | 0,80            | 0,77             | 70                 | 90                | 18,48             | 6,40              | 43,72                           |
| 8-KL        | 6.8.2012  | 7,50                          | 10,20      | 10,40      | 11,00      | 12,40      | 12,40      | 52,55       | 15,00                   | 0,60            | 1,73             | 40                 | 30                | 82,99             | 21,60             | 10,29                           |
| 2-KL        | 22.6.2011 | 23,90                         | 0,00       | 0,00       | 1,10       | 2,90       | 11,00      | 82,03       | 17,93                   | 0,80            | 1,30             | 40                 | 80                | 68,31             | 7,20              | 28,70                           |
| 1-KL        | 8.6.2011  | 18,60                         | 9,30       | 9,30       | 9,30       | 10,60      | 14,10      | 53,01       | 5,87                    | 0,90            | 0,63             | 180                | 190               | 5,53              | 14,40             | 33,71                           |
| 4-KL        | 20.7.2011 | 24,70                         | 0,00       | 0,00       | 5,70       | 6,00       | 6,00       | 88,54       | 1,61                    | 0,50            | 0,87             | 620                | 920               | 1,80              | 1,80              | 64,31                           |
| 5-KL        | 15.8.2011 | 14,40                         | 3,40       | 3,40       | 6,70       | 6,90       | 6,90       | 70,87       | 3,20                    | 0,50            | 0,88             | 200                | 270               | 6,48              | 3,79              | 51,81                           |
| 6-KL        | 5.9.2011  | 19,50                         | 1,40       | 1,40       | 1,50       | 1,50       | 1,50       | 42,97       | 6,88                    | 0,30            | 0,36             | 140                | 170               | 4,01              | 3,84              | 18,97                           |
| 7-KL        | 1.7.2012  | 21,40                         | 0,00       | 0,00       | 0,40       | 1,80       | 1,80       | 50,41       | 25,68                   | 1,10            | 1,99             | 40                 | 50                | 95,38             | 31,68             | 21,73                           |
| 2-KP        | 13.7.2011 | 21,10                         | 0,40       | 0,40       | 11,60      | 22,80      | 23,20      | 65,84       | 14,07                   | 4,30            | 1,56             | 50                 | 90                | 56,12             | 309,60            | 58,09                           |
| 3-KP        | 20.7.2011 | 24,70                         | 0,00       | 0,00       | 5,70       | 6,00       | 6,00       | 88,54       | 1,68                    | 0,60            | 0,95             | 710                | 882               | 1,95              | 1,75              | 83,53                           |
| 5-KP        | 5.9.2011  | 19,50                         | 1,40       | 1,40       | 1,50       | 1,50       | 1,50       | 42,97       | 6,88                    | 2,50            | 2,18             | 270                | 170               | 12,04             | 53,49             | 85,05                           |
| 6-KP        | 6.8.2012  | 17,60                         | 10,20      | 10,40      | 11,00      | 12,40      | 12,40      | 52,55       | 17,60                   | 3,70            | 1,86             | 60                 | 60                | 38,41             | 133,20            | 27,06                           |
| 1-KP        | 8.6.2011  | 18,60                         | 9,30       | 9,30       | 9,30       | 10,60      | 14,10      | 53,01       | 5,87                    | 3,90            | 1,35             | 170                | 190               | 12,14             | 109,44            | 51,66                           |
| 4-KP        | 15.8.2011 | 14,40                         | 3,40       | 3,40       | 6,70       | 6,90       | 6,90       | 70,87       | 3,46                    | 2,50            | 2,14             | 220                | 250               | 14,65             | 90,00             | 129,33                          |

| S-O událost |           | Charakteristiky               |            |            |            |            |            |             |                         |                 |                  |                    |                   |                   |                   |                                 |
|-------------|-----------|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-------------------------|-----------------|------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|
| Označení    | Počátek   | úhrn srážek do kulminace [mm] | IPS 1 [mm] | IPS 2 [mm] | IPS 3 [mm] | IPS 4 [mm] | IPS 5 [mm] | IPS 30 [mm] | Intenzita srážek [mm/h] | $\Delta t$ [°C] | $\Delta Q$ [l/s] | Doba růstu Q [min] | Doba srážek [min] | směrnice přímký Q | směrnice přímký t | celkový odtok [m <sup>3</sup> ] |
| 10-KL       | 24.6.2013 | 56,60                         | 0,90       | 4,90       | 4,90       | 4,90       | 4,90       | 108,90      | 2,78                    | 1,70            | 3,22             | 1610               | 1220              | 2,88              | 1,30              | 508,07                          |
| 11-KL       | 29.7.2013 | 8,50                          | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,40       | 1,80        | 5,10                    | 1,70            | 2,62             | 100                | 100               | 47,23             | 49,78             | 29,15                           |
| 8-KP        | 24.6.2013 | 56,60                         | 0,90       | 4,90       | 4,90       | 4,90       | 4,90       | 108,90      | 2,78                    | 2,00            | 3,18             | 490                | 1220              | 3,92              | 1,27              | 2247,50                         |
| 12-KL       | 18.5.2014 | 9,60                          | 3,70       | 7,00       | 7,00       | 7,80       | 11,50      | 60,90       | 1,11                    | 0,37            | 0,30             | 310                | 520               | 1,80              | 1,66              | 27,89                           |
| 13-KL       | 23.5.2014 | 7,80                          | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 1,70       | 65,70       | 5,85                    | 0,72            | 0,90             | 100                | 80                | 11,54             | 5,18              | 62,64                           |
| 14-KL       | 29.5.2014 | 10,70                         | 1,70       | 11,00      | 14,20      | 14,20      | 14,30      | 86,80       | 0,94                    | 0,80            | 1,26             | 610                | 680               | 3,72              | 2,56              | 93,21                           |
| 15-KL       | 27.7.2014 | 15,50                         | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,10       | 5,60       | 54,30       | 8,45                    | 0,50            | 0,47             | 30                 | 110               | 33,55             | 24,48             | 2,15                            |
| 16-KL       | 31.7.2014 | 18,20                         | 3,80       | 3,80       | 4,80       | 20,30      | 20,30      | 64,20       | 4,96                    | 0,50            | 0,46             | 60                 | 220               | 13,33             | 18,72             | 3,58                            |
| 17-KL       | 12.9.2014 | 32,20                         | 0,00       | 0,00       | 1,60       | 1,60       | 1,60       | 84,10       | 1,99                    | 0,80            | 0,58             | 470                | 970               | 1,83              | 2,81              | 48,86                           |
| 18-KL       | 15.9.2014 | 11,30                         | 0,70       | 16,40      | 16,70      | 50,70      | 50,70      | 128,80      | 16,95                   | 0,80            | 0,40             | 130                | 40                | 8,18              | 8,21              | 52,48                           |
| 9-KP        | 18.5.2014 | 9,60                          | 3,70       | 7,00       | 7,00       | 7,80       | 11,50      | 60,90       | 1,11                    | 0,30            | 0,56             | 570                | 520               | 1,43              | 1,49              | 93,29                           |
| 10-KP       | 23.5.2014 | 7,80                          | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 1,70       | 65,70       | 5,85                    | 5,10            | 0,72             | 100                | 80                | 15,37             | 146,88            | 85,64                           |
| 11-KP       | 29.5.2014 | 10,70                         | 1,70       | 11,00      | 14,20      | 14,20      | 14,30      | 86,80       | 0,94                    | 1,30            | 1,67             | 680                | 680               | 3,60              | 3,47              | 254,34                          |
| 12-KP       | 27.8.2014 | 18,70                         | 7,40       | 7,80       | 9,30       | 9,60       | 14,40      | 59,70       | 3,87                    | 0,40            | 1,05             | 200                | 290               | 7,92              | 4,80              | 35,69                           |
| 13-KP       | 12.9.2014 | 32,20                         | 0,00       | 0,00       | 1,60       | 1,60       | 1,60       | 84,10       | 1,99                    | 0,60            | 9,78             | 640                | 970               | 15,24             | 2,62              | 320,26                          |
| 14-KP       | 15.9.2014 | 11,30                         | 0,70       | 16,40      | 16,70      | 50,70      | 50,70      | 128,80      | 16,95                   | 1,70            | 9,97             | 110                | 40                | 143,54            | 81,60             | 543,19                          |

Kde: *IPS x* = index předchozích srážek v průběhu předchozích *x* dní před příčinnou srážkou hodnocené události

$\Delta t$  = změna hodnoty teploty vody v odtoku

$\Delta Q$  = změna hodnoty průtoku v odtoku

**Příloha 8-1 – Rozšířené charakteristiky hodnocených S-O událostí**

| S-O událost |           |              | Izotopická separace |           |                   | Teplotní separace |           |                   | MGPM          |           |                   | GROUND        |           |                   | Chapmanův filtr |           |                   |
|-------------|-----------|--------------|---------------------|-----------|-------------------|-------------------|-----------|-------------------|---------------|-----------|-------------------|---------------|-----------|-------------------|-----------------|-----------|-------------------|
| Označení    | Počátek   | Objem Q [m³] | Objem Qs [m³]       | ΔQs [l/s] | Max Qs [l/10 min] | Objem Qs [m³]     | ΔQs [l/s] | Max Qs [l/10 min] | Objem Qs [m³] | ΔQs [l/s] | Max Qs [l/10 min] | Objem Qs [m³] | ΔQs [l/s] | Max Qs [l/10 min] | Objem Qs [m³]   | ΔQs [l/s] | Max Qs [l/10 min] |
| 1-P6        | 8.6.2011  | 97,11        | 10,88               | 4,31      | 4,66              | 16,02             | 2,96      | 3,31              | 94,26         | 2,69      | 3,04              | 88,98         | 1,89      | 2,24              | 45,21           | 0,67      | 0,96              |
| 2-P6        | 22.6.2011 | 129,17       | 50,92               | 31,93     | 32,36             | 32,50             | 40,13     | 40,56             | 25,68         | 0,35      | 0,72              | 57,91         | 6,69      | 7,06              | 43,62           | 0,70      | 1,12              |
| 3-P6        | 13.7.2011 | 145,79       | 39,40               | 10,86     | 11,20             | 36,27             | 10,97     | 11,32             | 88,95         | 9,44      | 9,79              | 104,04        | 4,51      | 4,86              | 47,05           | 0,61      | 0,99              |
| 6-P6        | 4.8.2011  | 573,45       | 230,84              | 120,63    | 121,14            | 269,29            | 103,89    | 104,40            | 157,61        | 4,02      | 4,54              | 315,74        | 36,93     | 37,45             | 131,68          | 3,00      | 3,50              |
| 9-P6        | 3.5.2012  | 466,89       | 200,90              | 34,34     | 34,77             | 118,95            | 40,00     | 40,43             | 126,81        | 2,12      | 2,55              | 301,81        | 31,30     | 31,73             | 160,52          | 5,47      | 2,65              |
| 5-P6        | 30.7.2011 | 300,11       | 108,83              | 0,64      | 1,12              | 102,37            | 0,67      | 1,14              | 298,17        | 2,07      | 2,55              | 289,67        | 2,14      | 2,62              | 147,71          | 3595,63   | 0,88              |
| 4-P6        | 20.7.2011 | 255,11       | 85,26               | 1,19      | 1,64              | 94,57             | 0,84      | 1,29              | 248,02        | 2,13      | 2,58              | 240,42        | 2,10      | 2,55              | 123,98          | 932,40    | 0,85              |
| 7-P6        | 15.8.2011 | 153,67       | 10,33               | 0,84      | 1,55              | 9,28              | 0,78      | 1,49              | 150,03        | 0,86      | 1,58              | 150,24        | 0,92      | 1,64              | 90,92           | 1,35      | 0,95              |
| 8-P6        | 5.9.2011  | 375,95       | 96,18               | 2,02      | 2,67              | 129,96            | 1,28      | 1,92              | 368,76        | 2,96      | 3,60              | 366,29        | 3,03      | 3,68              | 184,73          | 3,12      | 1,10              |
| 3-KL        | 13.7.2011 | 43,72        | 9,33                | 0,52      | 0,66              | 5,38              | 0,67      | 0,81              | 41,95         | 0,80      | 0,94              | 38,08         | 0,64      | 0,78              | 18,90           | 1,01      | 0,84              |
| 8-KL        | 6.8.2012  | 10,29        | 4,26                | 0,70      | 0,82              | 3,07              | 0,79      | 0,91              | 4,37          | 0,02      | 0,13              | 7,96          | 0,51      | 0,62              | 4,71            | 0,75      | 0,86              |
| 2-KL        | 22.6.2011 | 28,70        | 8,23                | 0,79      | 0,91              | 2,61              | 1,26      | 1,42              | 25,94         | 0,93      | 1,09              | 25,21         | 0,72      | 0,88              | 15,34           | 2,48      | 0,96              |
| 1-KL        | 8.6.2011  | 33,71        | 1,25                | 0,58      | 0,76              | 2,41              | 0,49      | 0,68              | 32,48         | 0,60      | 0,77              | 30,16         | 0,47      | 0,65              | 18,62           | 1,94      | 0,97              |
| 4-KL        | 20.7.2011 | 64,31        | 13,73               | 0,62      | 0,79              | 12,56             | 0,56      | 0,73              | 62,96         | 0,84      | 1,02              | 61,56         | 0,83      | 1,01              | 26,31           | 46,09     | 0,96              |
| 5-KL        | 15.8.2011 | 51,81        | 13,08               | 1,20      | 1,37              | 8,85              | 0,57      | 0,74              | 51,49         | 0,90      | 1,05              | 47,74         | 0,85      | 1,00              | 26,30           | 1,47      | 0,93              |
| 6-KL        | 5.9.2011  | 18,97        | 0,95                | 0,35      | 0,49              | 1,36              | 0,29      | 0,43              | 17,91         | 0,36      | 0,50              | 16,45         | 0,32      | 0,47              | 9,70            | 0,82      | 0,96              |
| 7-KL        | 1.7.2012  | 21,73        | 4,79                | 0,70      | 0,82              | 5,36              | 0,80      | 0,92              | 19,97         | 1,29      | 1,41              | 18,25         | 0,52      | 0,65              | 12,23           | 40,28     | 0,87              |
| 2-KP        | 13.7.2011 | 58,09        | 17,04               | 0,90      | 1,03              | 14,25             | 0,72      | 0,85              | 41,95         | 0,80      | 0,94              | 38,08         | 0,64      | 0,78              | 21,98           | 0,65      | 0,77              |
| 3-KP        | 20.7.2011 | 83,53        | 15,63               | 0,73      | 0,93              | 16,13             | 0,70      | 0,88              | 83,53         | 0,97      | 1,16              | 80,82         | 0,95      | 1,15              | 33,96           | 450,92    | 0,97              |
| 5-KP        | 5.9.2011  | 85,05        | 16,36               | 1,58      | 1,87              | 18,20             | 1,57      | 1,86              | 85,05         | 2,19      | 2,48              | 73,47         | 2,00      | 2,29              | 27,99           | 1,32      | 0,93              |
| 6-KP        | 6.8.2012  | 27,06        | 7,72                | 1,01      | 1,16              | 4,71              | 1,26      | 1,41              | 7,04          | 0,10      | 0,24              | 20,85         | 0,94      | 1,08              | 7,66            | 0,75      | 0,89              |
| 1-KP        | 8.6.2011  | 51,66        | 1,81                | 1,32      | 1,53              | 9,95              | 0,71      | 0,92              | 34,02         | 0,24      | 0,45              | 45,00         | 0,94      | 1,14              | 25,22           | 5,28      | 0,53              |
| 4-KP        | 15.8.2011 | 129,33       | 47,08               | 1,20      | 1,48              | 24,37             | 1,52      | 1,80              | 63,32         | 0,45      | 0,73              | 115,13        | 1,96      | 2,25              | 57,87           | 1,44      | 0,57              |
| 10-KL       | 24.6.2013 | 508,07       | 330,62              | 1,90      | 2,23              | 331,45            | 1,69      | 2,02              | 490,27        | 3,23      | 3,55              | 487,26        | 55,03     | 3,53              | 249,19          | 0,86      | 1,12              |
| 11-KL       | 29.7.2013 | 29,15        | 23,12               | 1,54      | 1,71              | 25,50             | 2,01      | 2,18              | 20,29         | 0,09      | 0,26              | 23,65         | 1,03      | 1,00              | 17,07           | 0,05      | 0,23              |

| S-O událost |           |                           | Izotopická separace        |           |                   | Teplotní separace          |           |                   | MGPM                       |           |                   | GROUND                     |           |                   | Chapmanův filtr            |           |                   |
|-------------|-----------|---------------------------|----------------------------|-----------|-------------------|----------------------------|-----------|-------------------|----------------------------|-----------|-------------------|----------------------------|-----------|-------------------|----------------------------|-----------|-------------------|
| Označení    | Počátek   | Objem Q [m <sup>3</sup> ] | Objem Qs [m <sup>3</sup> ] | ΔQs [l/s] | Max Qs [l/10 min] | Objem Qs [m <sup>3</sup> ] | ΔQs [l/s] | Max Qs [l/10 min] | Objem Qs [m <sup>3</sup> ] | ΔQs [l/s] | Max Qs [l/10 min] | Objem Qs [m <sup>3</sup> ] | ΔQs [l/s] | Max Qs [l/10 min] | Objem Qs [m <sup>3</sup> ] | ΔQs [l/s] | Max Qs [l/10 min] |
| 8-KP        | 24.6.2013 | 2247,50                   | 2001,10                    | 11,24     | 13,46             | 1677,10                    | 6,87      | 9,09              | 2203,89                    | 12,52     | 14,74             | 2183,62                    | 167,55    | 14,07             | 1121,03                    | 2,73      | 4,39              |
| 12-KL       | 18.5.2014 | 27,89                     | 22,80                      | 0,30      | 0,38              | 21,36                      | 0,17      | 0,24              | 26,34                      | 0,35      | 0,44              | 25,51                      | 0,35      | 0,43              | 11,48                      | 0,05      | 0,13              |
| 13-KL       | 23.5.2014 | 62,64                     | 56,21                      | 0,57      | 0,71              | 57,05                      | 0,65      | 0,81              | 61,29                      | 0,70      | 0,87              | 58,50                      | 0,64      | 0,80              | 41,18                      | 0,24      | 0,24              |
| 14-KL       | 29.5.2014 | 93,21                     | 80,66                      | 0,99      | 1,11              | 68,10                      | 0,71      | 0,83              | 84,68                      | 0,76      | 0,88              | 89,16                      | 1,26      | 1,38              | 40,32                      | 0,21      | 0,32              |
| 15-KL       | 27.7.2014 | 2,15                      | 1,88                       | 0,46      | 0,47              | 1,96                       | 0,44      | 0,45              | 0,60                       | 0,01      | 0,02              | 1,27                       | 0,15      | 0,16              | 0,67                       | 0,01      | 0,02              |
| 16-KL       | 31.7.2014 | 3,58                      | 2,08                       | 0,26      | 0,27              | 2,39                       | 17,15     | 17,15             | 3,58                       | 0,00      | 0,00              | 2,11                       | 0,41      | 0,41              | 0,90                       | 0,46      | 0,46              |
| 17-KL       | 12.9.2014 | 48,86                     | 39,75                      | 0,46      | 0,48              | 29,14                      | 0,33      | 0,35              | 47,10                      | 0,56      | 0,58              | 45,33                      | 0,48      | 0,50              | 18,92                      | 0,13      | 0,14              |
| 18-KL       | 15.9.2014 | 52,48                     | 49,04                      | 0,36      | 0,63              | 49,64                      | 0,33      | 0,60              | 51,95                      | 0,42      | 0,69              | 49,21                      | 0,39      | 0,66              | 29,36                      | 0,05      | 0,28              |
| 9-KP        | 18.5.2014 | 93,29                     | 79,23                      | 0,43      | 0,63              | 80,79                      | 0,36      | 0,55              | 91,42                      | 0,51      | 0,70              | 89,35                      | 0,53      | 0,72              | 55,23                      | 0,20      | 0,25              |
| 10-KP       | 23.5.2014 | 85,64                     | 78,64                      | 0,49      | 0,62              | 86,26                      | 0,54      | 0,71              | 84,22                      | 0,70      | 0,87              | 80,95                      | 0,64      | 0,80              | 42,17                      | 0,10      | 0,24              |
| 11-KP       | 29.5.2014 | 254,34                    | 237,66                     | 1,50      | 1,86              | 210,03                     | 0,94      | 1,31              | 242,99                     | 1,56      | 1,93              | 248,27                     | 1,66      | 2,04              | 132,10                     | 0,28      | 0,57              |
| 12-KP       | 27.8.2014 | 35,69                     | 29,53                      | 0,86      | 0,99              | -                          | -         | -                 | 33,71                      | 1,02      | 1,14              | 30,61                      | 0,76      | 0,88              | 13,17                      | 0,10      | 0,22              |
| 13-KP       | 12.9.2014 | 320,26                    | 267,53                     | 8,36      | 8,62              | 222,96                     | 5,57      | 6,00              | 282,49                     | 8,83      | 9,26              | 271,04                     | 7,09      | 7,52              | 167,68                     | 1,23      | 1,54              |
| 14-KP       | 15.9.2014 | 543,19                    | 485,91                     | 8,11      | 9,53              | 493,95                     | 7,82      | 9,40              | 523,68                     | 9,29      | 10,87             | 502,73                     | 7,29      | 8,87              | 295,58                     | 1,02      | 2,20              |

**Příloha 8-2 - Souhrnné porovnání vlastností křivek Qs vybraných metod separací**



|                   |       |       |       |        |        |        |       |       |        |      |      |      |      |       |       |      |      |       |       |
|-------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| $Q_s \emptyset d$ | 10,88 | 50,92 | 39,40 | 230,84 | 200,90 | 108,83 | 85,26 | 10,33 | 96,18  | 9,33 | 4,26 | 8,23 | 1,25 | 13,73 | 13,08 | 0,95 | 4,79 | 17,04 | 15,63 |
| $Q_s$             | 16,02 | 32,50 | 36,27 | 269,29 | 118,95 | 102,37 | 94,57 | 9,28  | 129,96 | 5,38 | 3,07 | 2,61 | 2,41 | 12,56 | 8,85  | 1,36 | 5,36 | 14,25 | 16,13 |

|                   |       |      |      |       |        |       |         |       |       |       |      |      |       |       |       |       |        |        |        |
|-------------------|-------|------|------|-------|--------|-------|---------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| $Q_s \emptyset d$ | 16,36 | 7,72 | 1,81 | 47,08 | 330,62 | 23,12 | 2001,10 | 22,80 | 56,21 | 80,66 | 1,88 | 2,08 | 39,75 | 49,04 | 79,23 | 78,64 | 237,66 | 267,53 | 485,91 |
| $Q_s$             | 18,20 | 4,71 | 9,95 | 24,37 | 331,45 | 25,50 | 1677,10 | 21,36 | 57,05 | 68,10 | 1,96 | 2,39 | 29,14 | 49,64 | 80,79 | 86,26 | 210,03 | 222,96 | 493,95 |

$Q_s \emptyset d$  – průměrný objem staré složky odtoku dle referenční izotopické separace

$Q_s$  – objem staré složky odtoku dle teplotní separace

**$H_0$**  = výsledky  $Q_s$  [m<sup>3</sup>] izotopické a teplotní separace si jsou rovnocenné

**Dvou výběrový párový t-test na střední hodnotu**      **hladina významnosti 5 %**

|                         | <b>Izotopy</b> | <b>Teplota</b> |
|-------------------------|----------------|----------------|
| Stř. hodnota            | 125,027        | 113,055        |
| Rozptyl                 | 109218         | 79147,2        |
| Pozorování              | 38             | 38             |
| Pears. korelace         | 0,99654        |                |
| Hyp. rozdíl stř. hodnot | 0              |                |
| Rozdíl                  | 37             |                |
| t Stat                  | 1,33426        |                |
| P(T<=t) (1)             | 0,09514        |                |
| t krit (1)              | 1,68709        |                |
| P(T<=t) (2)             | 0,19027        |                |
| t krit (2)              | 2,02619        |                |

**t krit (2) > t Stat > -t krit (2)**       **$H_0$  nezamítnuta**

Na hladině významnosti  $\alpha=5$  % bylo prokázáno, že mezi výsledky  $Q_s$  izotopické a teplotní separace odtoku neexistuje signifikantní statistický rozdíl.

**Příloha 8-3 - Výběrový t-test na střední hodnotu objemu staré složky odtoku ( $Q_s$ ) – izotopová separace x teplotní separace**

|                      |       |       |       |        |        |        |        |        |        |       |      |       |       |       |       |       |       |        |        |
|----------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| <i>Qs</i> ∅ <i>d</i> | 10,88 | 50,92 | 39,40 | 230,84 | 200,90 | 9,33   | 4,26   | 8,23   | 4,79   | 17,04 | 7,72 | 23,12 | 56,21 | 1,88  | 2,08  | 49,04 | 78,64 | 485,91 | 108,83 |
| <i>Qs</i>            | 94,26 | 25,68 | 88,95 | 157,61 | 126,81 | 298,17 | 248,02 | 150,03 | 368,76 | 41,95 | 4,37 | 25,94 | 32,48 | 62,96 | 51,49 | 17,91 | 19,97 | 41,95  | 83,53  |

|                      |       |       |       |       |        |       |         |       |       |       |       |        |         |       |       |       |        |        |        |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| <i>Qs</i> ∅ <i>d</i> | 85,26 | 10,33 | 96,18 | 1,25  | 13,73  | 13,08 | 0,95    | 15,63 | 16,36 | 1,81  | 47,08 | 330,62 | 2001,10 | 22,80 | 80,66 | 39,75 | 79,23  | 237,66 | 267,53 |
| <i>Qs</i>            | 85,05 | 7,04  | 34,02 | 63,32 | 490,27 | 20,29 | 2203,89 | 26,34 | 61,29 | 84,68 | 0,60  | 3,58   | 47,10   | 51,95 | 91,42 | 84,22 | 242,99 | 282,49 | 523,68 |

*Qs* ∅ *d* – průměrný objem staré složky odtoku dle referenční izotopické separace

*Qs* – objem staré složky odtoku dle metody MGPM

***H0*** = výsledky *Qs* [m<sup>3</sup>] izotopické separace a metody MGPM si jsou rovnocenné

**Dvou výběrový párový t-test na střední hodnotu**      **hladina významnosti 5 %**

|                         | <b>Izotopy</b> | <b>MGPM</b> |
|-------------------------|----------------|-------------|
| Stř. hodnota            | 125,027        | 166,976     |
| Rozptyl                 | 109218         | 131968      |
| Pozorování              | 38             | 38          |
| Pears. korelace         | 0,98233        |             |
| Hyp. rozdíl stř. hodnot | 0              |             |
| Rozdíl                  | 37             |             |
| t Stat                  | -3,5456        |             |
| P(T<=t) (1)             | 0,00054        |             |
| t krit (1)              | 1,68709        |             |
| P(T<=t) (2)             | 0,00108        |             |
| t krit (2)              | 2,02619        |             |

**t krit (2) > t Stat < -t krit (2)**      ***H0* zamítnuta**

Na hladině významnosti  $\alpha=5$  % bylo prokázáno, že mezi výsledky *Qs* izotopické separace a metody MGPM existuje signifikantní statistický rozdíl.

**Příloha 8-4 - Výběrový t-test na střední hodnotu objemu staré složky odtoku (*Qs*) – izotopová separace x metoda MGPM**

|                                |       |       |        |        |        |        |        |        |        |       |      |       |       |       |       |       |       |        |        |
|--------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| <i>Qs</i> $\emptyset$ <i>d</i> | 10,88 | 50,92 | 39,40  | 230,84 | 200,90 | 9,33   | 4,26   | 8,23   | 4,79   | 17,04 | 7,72 | 23,12 | 56,21 | 1,88  | 2,08  | 49,04 | 78,64 | 485,91 | 108,83 |
| <i>Qs</i>                      | 88,98 | 57,91 | 104,04 | 315,74 | 301,81 | 289,67 | 240,42 | 150,24 | 366,29 | 38,08 | 7,96 | 25,21 | 30,16 | 61,56 | 47,74 | 16,45 | 18,25 | 38,08  | 80,82  |

|                                |       |       |       |        |        |       |         |       |       |       |       |        |         |       |       |       |        |        |        |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| <i>Qs</i> $\emptyset$ <i>d</i> | 85,26 | 10,33 | 96,18 | 1,25   | 13,73  | 13,08 | 0,95    | 15,63 | 16,36 | 1,81  | 47,08 | 330,62 | 2001,10 | 22,80 | 80,66 | 39,75 | 79,23  | 237,66 | 267,53 |
| <i>Qs</i>                      | 73,47 | 20,85 | 45,00 | 115,13 | 487,26 | 23,65 | 2183,62 | 25,51 | 58,50 | 89,16 | 1,27  | 2,11   | 45,33   | 49,21 | 89,35 | 80,95 | 248,27 | 271,04 | 502,73 |

*Qs*  $\emptyset$  *d* – průměrný objem staré složky odtoku dle referenční izotopické separace

*Qs* – objem staré složky odtoku dle metody GROUND

***H0*** = výsledky *Qs* [m<sup>3</sup>] izotopické separace a metody GROUND si jsou rovnocenné

**Dvou výběrový párový t-test na střední hodnotu**      **hladina významnosti 5 %**

|                         | <b>Izotopy</b> | <b>GROUND</b> |
|-------------------------|----------------|---------------|
| Stř. hodnota            | 125,027        | 176,101       |
| Rozptyl                 | 109218         | 129643        |
| Pozorování              | 38             | 38            |
| Pears. korelace         | 0,98586        |               |
| Hyp. rozdíl stř. hodnot | 0              |               |
| Rozdíl                  | 37             |               |
| t Stat                  | -4,8351        |               |
| P(T<=t) (1)             | 1,1728E-05     |               |
| t krit (1)              | 1,68709        |               |
| P(T<=t) (2)             | 2,3456E-05     |               |
| t krit (2)              | 2,02619        |               |

**t krit (2) > t Stat < -t krit (2)**      ***H0* zamítnuta**

Na hladině významnosti  $\alpha=5$  % bylo prokázáno, že mezi výsledky *Qs* izotopické separace a metody GROUND existuje signifikantní statistický rozdíl.

**Příloha 8-5 - Výběrový t-test na střední hodnotu objemu staré složky odtoku (*Qs*) – izotopová separace x metoda GROUND**

|                                     |       |       |        |        |        |        |        |        |        |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $Q_s \text{ } \emptyset \text{ } d$ | 45,21 | 43,62 | 47,05  | 131,68 | 160,52 | 147,71 | 123,98 | 90,92  | 184,73 | 18,90 | 4,71 | 15,34 | 18,62 | 26,31 | 26,30 | 9,70  | 12,23 | 21,98 | 33,96 |
| $Q_s$                               | 88,98 | 57,91 | 104,04 | 315,74 | 301,81 | 289,67 | 240,42 | 150,24 | 366,29 | 38,08 | 7,96 | 25,21 | 30,16 | 61,56 | 47,74 | 16,45 | 18,25 | 38,08 | 80,82 |

|                                     |       |       |       |        |        |       |         |       |       |       |      |      |       |       |       |       |        |        |        |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|---------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|
| $Q_s \text{ } \emptyset \text{ } d$ | 27,99 | 7,66  | 25,22 | 57,87  | 249,19 | 17,07 | 1121,03 | 11,48 | 41,18 | 40,32 | 0,67 | 0,90 | 18,92 | 29,36 | 55,23 | 42,17 | 295,58 | 271,04 | 502,73 |
| $Q_s$                               | 73,47 | 20,85 | 45,00 | 115,13 | 487,26 | 23,65 | 2183,62 | 25,51 | 58,50 | 89,16 | 1,27 | 2,11 | 45,33 | 49,21 | 89,35 | 80,95 | 248,27 | 271,04 | 502,73 |

$Q_s \text{ } \emptyset \text{ } d$  – průměrný objem staré složky odtoku dle referenční izotopické separace

$Q_s$  – objem staré složky odtoku dle Chapmanova filtru

**$H_0$  = výsledky  $Q_s$  [m<sup>3</sup>] izotopické separace a Chapmanova filtru si jsou rovnocenné**

**Dvou výběrový párový t-test na střední hodnotu      hladina významnosti 5 %**

|                         | <b>Izotopy</b> | <b>Chapman</b> |
|-------------------------|----------------|----------------|
| Stř. hodnota            | 125,027        | 104,713        |
| Rozptyl                 | 109218         | 39551,7        |
| Pozorování              | 38             | 38             |
| Pears. korelace         | 0,9660         |                |
| Hyp. rozdíl stř. hodnot | 0              |                |
| Rozdíl                  | 37             |                |
| t Stat                  | 0,8484         |                |
| P(T<=t) (1)             | 0,2008         |                |
| t krit (1)              | 1,6871         |                |
| P(T<=t) (2)             | 0,4017         |                |
| t krit (2)              | 2,02619        |                |

**t krit (2) > t Stat > -t krit (2)       $H_0$  nezamítnuta**

**Na hladině významnosti  $\alpha=5$  % bylo prokázáno, že mezi výsledky  $Q_s$  izotopické separace a Chapmanova filtru neexistuje signifikantní statistický rozdíl.**

**Příloha 8-6 - Výběrový t-test na střední hodnotu objemu staré složky odtoku ( $Q_s$ ) – izotopová separace x Chapmanův digitální filtr**

## 9 ABSTRAKT

Tato disertační práce se zabývá možnostmi použití teploty vody jako přirozeného stopovače pro dvousložkovou metodu separace drenážního odtoku, navržením rovnice teplotní metody a stanovením účinnosti vzhledem k dalším běžně používaným metodám.

Možnost použití teploty pro separaci vyplývá ze zjištěného poznatku, že náhlá změna objemu drenážního odtoku je doprovázena i změnou jeho teploty. K řešení všech částí této práce byl používán výběrový soubor dat o srážkoodtokových událostech v povodí Kopaninského potoka a Dehtáře, respektive z jejich subpovodí P6, KL a KP. Ta se dají zařadit mezi malá povodí v oblasti krystalinika s rozlohou do 1 km<sup>2</sup>, jejichž vodní režim půd je ovlivněn plošným systematickým odvodněním.

Cíle práce byly dosaženo pomocí porovnávání jednotlivých výsledků separací vybraných metod. K tomuto účelu byly použité klasické statistické metody a srovnávací koeficienty.

Jedním z prvotních výsledků práce je zjištění potřeby blíže specifikovat původ nové složky odtoku ve sledovaných subpovodích, který ovlivňuje charakteristiky použitých stopovačů. S tímto souvisí důkladné poznání všech vstupů vod do odtoku. Na tomto základě byly upřesněny základní rovnice separace dle izotopů a separace dle teploty. Tato úprava je určující pro přesnost výsledných hodnot separací. Následující kroky porovnání výsledků separací potvrzovaly vysokou úspěšnost shody separací mezi izotopickou a teplotní metodou. Výsledky zbývajících metod byly horší, ze statistického hlediska až odlišné. Opakovaně se tímto způsobem potvrdilo, že teplotu lze velmi úspěšně použít jako přirozený stopovač pro separaci odtoku, a to i přes popsané omezující podmínky použití. Pro samostatné použití vhodné rovnice teplotní metody byl také určen vhodný parametr srážkoodtokových událostí, u kterého je očekávána schopnost stanovení původu nové vody.

Došlo se také ke zjištění, že současné použití teplotní a izotopické separace může recipročně eliminovat omezující podmínky obou metod a pomoci ke zpřesnění obou metod a stanovení původu nové složky odtoku.

## 10 SUMMARY

This dissertation deals with the possibility of using water temperature as a natural tracer for a two-component drainage separation method, proposing the equation of the temperature method and determining the efficiency due to other commonly used methods.

The possibility of using the separation temperature results from the knowledge that a sudden change in drainage volume is accompanied by a change in temperature. To solve all parts of this work, a collection of data on rainfall events was used in the basin areas of Kopaninský stream and Dehtaře, respectively from their sub-basins P6, KL and KP. These can be classified as small basins with an area of up to 1 km<sup>2</sup> located in the crystalline region.

The aim of the thesis was achieved by comparing individual results by separating selected methods. For this purpose, the classical statistical methods and comparative coefficients were used.

One of the primary results of this work is to find out the need to specify the origin of the new outflow component in the monitored subsystems, which affects the characteristics of the used trackers. This involves a thorough knowledge of all water inlets into the runoff. On this basis the basic equations of separation according to isotopes and separation according to temperature were specified. This adjustment determines the accuracy of the resulting separation values. The following steps to compare the separation results confirmed the high success rate of separation between isotope and temperature methods. The results of the remaining methods were worse, statistically different. It was repeatedly confirmed that the temperature can be very successfully used as a natural tracer for drain separation, despite the restrictive conditions of use described above. For a separate use of the appropriate temperature method equation, was also determines the appropriate parameter of rainfall events, where is expected the ability to determine the origin of new water.

It was also concluded that the simultaneous use of temperature and isotopic separation can reciprocally eliminate the constraints of both methods and help to refine both methods and determine the origin of the new water.

## **11 SEZNAM PUBLIKOVANÝCH PRACÍ**

### **11.1 Publikované práce**

1. ZAJÍČEK, Antonín, Tomáš POMIJE a Tomáš KVÍTEK. Event water detection in tile drainage runoff using stable isotopes and a water temperature in small agricultural catchment in Bohemian-Moravian Highlands, Czech Republic. Environmental Earth Sciences. 2016.
2. Zajíček, A., Kvítek, T., Pomije, T., Separation of drainage runoff during rainfall-runoff episodes using the stable isotope method and drainage water temperature, EGU General Assembly 2014, held 27 April - 2 May, 2014 in Vienna, Austria
3. KVÍTEK, Tomáš, BYSTRICKÝ, Václav, DUFFKOVÁ, Renata, POMIJE, Tomáš, et al. Modelování vlivu využívání půdy v geomorfologických zónách na odtok vody a koncentraci dusičnanů: metodika. 1.vyd. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, 2012.
4. POMIJE, Tomáš, ŽLÁBEK, Pavel, TACHECÍ, Pavel, KVÍTEK, Tomáš, DUFFKOVÁ, Renata. Modelové hodnocení různých protipovodňových opatření v malém povodí při extrémní srážko-odtokové události. Vodní hospodářství. 2011, (12), 449-453.

### **11.2 Přípravované práce**

1. POMIJE, Tomáš et al. Verification of the using of temperature to drainage runoff separation in in the crystalline of Czech Republic (připravováno)