

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE**



**Metody vzorkování povrchových a podzemních vod a pasivní  
vzorkovače z pohledu využití pro vzorkování chlorovaných ethylenů**

Bakalářská práce

Autor práce: Markéta Staňková

Vedoucí práce: Ing. Anna Petruželková, Ph.D.

2019

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Markéta Staňková

Územní technická a správní služba

Název práce

**Metody vzorkování povrchových a podzemních vod a pasivní vzorkovače z pohledu využití pro vzorkování chlorovaných ethylenů**

Název anglicky

**Methods of sampling surface and groundwater and passive samplers from the point of view of sampling for chlorinated ethylenes**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je poskytnout ucelenou literární rešerši na specifika vzorkování vodných matric s obsahem TOL a zhodnotit problémy s tím spojené.

### Metodika

1. získání literárních podkladů
2. zpracování literární rešerše na možnosti vzorkování povrchových/podzemních vod a pasivní vzorkovače
3. zhodnocení postupů pro vzorkování vodných matric s obsahem CE

**Doporučený rozsah práce**

cca 30 normovaných stran textu bez příloh

**Klíčová slova**

tetrachloreten, životní prostředí, polutanty, vzorkování

---

**Doporučené zdroje informací**

Bonifacio R. G., Nam G-U, Eom I-Y, Hong Y.S., 2017: Development of Solid Ceramic Dosimeters for the Time-Integrative Passive Sampling of Volatile Organic Compounds in Waters, Environ. Sci. Technol., 51 (21), pp 12557–12565

MŽP ČR, 2007: Metodický pokyn MŽP Vzorkování v sanační geologii, Věstník MŽP, č. 2, Příloha 2, únor 2007

---

**Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Ing. Anna Petruželková, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra aplikované ekologie

---

Elektronicky schváleno dne 19. 3. 2019

**prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 20. 3. 2019

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 16. 04. 2019

---

### **Čestné prohlášení autora**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením vedoucí bakalářské práce Ing. Anny Petruželkové, Ph.D. Veškerou použitou literaturu a informační zdroje, které jsou v textu citovány, jsem uvedla v seznamu použitých zdrojů v závěru práce.

V Praze, dne 25. 4. 2019

Podpis: .....

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala Ing. Anně Petruželkové, Ph.D, vedoucí bakalářské práce za odborné vedení, předané informace, všechny cenné rady, připomínky a veškerou vstřícnost a čas, který mi při konzultacích věnovala. Poděkování patří také mé rodině a příteli, za jejich neustálou podporu při studiu.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá metodami odběru vzorků těkavých organických látek (TOL) ve vodě, jako jsou například chlorované ethyleny (CE). V současné době jsou tyto látky velmi častými kontaminanty životního prostředí, zejména podzemních vod a horninového prostředí. Proto je důležité tyto znečišťující látky neustále sledovat a v daném prostředí správně kvantifikovat. Mezi základní metody vzorkování podzemních a povrchových vod, avšak s rozdílným postojem, řadíme metody tzv. konvenční (bodové) odběry a pasivní vzorkování.

Konvenční odběry jsou prováděny vždy na konkrétním stanoveném místě, a zároveň v konkrétním čase. Manipulace s nimi je obvykle snadná. Při vzorkování užívají pomocné zařízení v podobě čerpadla, či jiné techniky. Z důvodu jejich krátké expozice však poskytují často nepřesné výsledky. Alternativou jsou pasivní vzorkovače, které mají řadu výhod, mezi něž patří nízké náklady, snadná manipulace a užití bez zdroje elektrické energie. Hlavní výhodou je jejich integrativní povaha, která umožňuje poskytování informací o průměrné koncentraci znečišťujících látek v dlouhodobém časovém měřítku.

Při vzorkování vodných matric s obsahem těkavých organických látek je nutné dodržovat stanovené postupy, jako jsou předepsané normy či metodické pokyny.

## **Klíčová slova**

tetrachloreten, životní prostředí, polutanty, vzorkování

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with methods of sampling of volatile organic compounds in water, such as chlorinated ethylenes. At present, these substances are very common environmental contaminants, especially groundwater and rock environment. Therefore, it is important to continuously monitor these pollutants and to quantify them properly in the environment. Among the basic methods of sampling groundwater and surface waters, but with different attitudes, we include methods called conventional (point) sampling and passive sampling.

Conventional samplings are always performed at a specific location and at a specific time. Handling them is usually easy. When sampling, they use auxiliary equipment in the form of a pump or other technique. However, because of their short exposure, they often produce inaccurate results. An alternative is a passive sampler that has a number of advantages, including low cost, ease of handling and non-power use. The main advantage is their integrative nature, which allows the provision of information on the average concentration of pollutants in the long term.

When sampling volatile organic matter (TOL) matrices, procedures such as prescribed standards or guidelines should be followed.

## **Keywords**

tetrachloreten, environment, pollutants, sampling

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Cíl práce .....</b>	<b>2</b>
<b>3 Literární rešerše .....</b>	<b>3</b>
3.1. Chlorované ethyleny.....	3
3.1.1 Tetrachloroethylen .....	4
3.1.2 Trichloroethylen.....	5
3.1.3 cis-, trans-Dichloroethylen.....	5
3.1.4 1,1-Dichloroethylen .....	6
3.1.5 Vinylchlorid .....	7
3.2 Metody vzorkování vodných matric.....	8
3.2.1. Povrchové vody .....	9
3.2.2 Podzemní vody .....	11
3.3 Metody pasivního vzorkování .....	15
3.3.1 Rovnovážné (difúzní) pasivní vzorkovače .....	17
3.3.2 Integrativní (kinetické) pasivní vzorkovače .....	18
3.4 Pasivní vzorkovače pro monitorování TOL ve vodě.....	19
3.4.1 Solid Phase Microextraction.....	19
3.4.2 Stir Bar Sorptive Extraction.....	19
3.4.3 Semi-Permeable Membrane Device .....	20
3.4.4 Polar Organic Chemical Integrative Sampler .....	21
3.4.5 Chemcatcher .....	24
3.4.6 Membrane-enclosed Sorptive Coating Sampler .....	25
3.4.7 Ceramic dosimeter .....	26
3.4.8 Passive Diffusion Bag Sampler .....	27



3.4.9 Passive Flux Meter.....	28
3.4.10 Gore – Sorber.....	29
3.4.11 Sorbi – Cell.....	30
<b>4 Diskuse .....</b>	<b>31</b>
<b>5 Závěr a přínos práce .....</b>	<b>33</b>
<b>6 Přehled literatury a použitých zdrojů.....</b>	<b>34</b>
6.1 Seznam obrázků: .....	41
6.2 Seznam tabulek: .....	42

# 1 Úvod

Je obecně známo, že těžké organické sloučeniny (TOL) kontaminují nejen atmosféru, ale také vodní a půdní systémy. Mezi TOL patří například chlorované ethyleny (CE). Tyto látky se vyráběly ve velkém množství hlavně v druhé polovině 20. století, a patřily mezi nejpoužívanější odmašťovadla a rozpouštědla. Dnes jsou CE velmi častými kontaminanty životního prostředí, zejména podzemních vod a horninového prostředí. CE řadíme do skupiny tzv. DNAPL, což určuje i jejich šíření v horninovém prostředí. Na základě svých vlastností dokáží adsorbovat do půdy a šířit se půdním vzduchem v nenasycené zóně, nebo pronikat do podzemní vody, v níž mají schopnost hromadit se na nepropustném podloží, kde poté představují dlouhodobý zdroj znečištění. Na základě difúze se dokáží pohybovat proti směru proudění podzemní vody (Environment Agency, 2003).

V posledních několika desetiletích se zvýšil počet studií zabývajících se kontaminací CE (Vroblesky et Campbell, 2001; Olaniran et al. 2004; Ma et al. 2013; Bonifacio et al. 2017), což ukazuje na význam jejich dopadu na životní prostředí. Z tohoto důvodu je nezbytné tyto znečišťující látky monitorovat, a v daném prostředí správně kvantifikovat.

Mezi základní, avšak s rozdílným postojem, řadíme metody tzv. konvenční (bodové) odběry a pasivní vzorkování. Pomocí konvenčního odběru se zachycuje pouze aktuální stav kontaminace, což je důsledkem obvykle nepřesných výsledků. Následkem toho mohou maximální koncentrace projít sledováním bez zaznamenání, protože monitorování není kontinuální. Spolehlivou alternativou pro měření koncentrace konvenčním (bodovým) odběrem vzorků je aplikace pasivních vzorkovačů. Z důvodu jejich dlouhodobého použití mohou poskytovat spolehlivější a přesnější výsledky. Pasivním vzorkovačům se od roku 2015 do roku 2017 věnoval v rámci České republiky česko-norský projekt PASSES, jehož cílem bylo zaznamenat veškeré kontaminující látky nacházející se v podzemních vodách na určitých místech ČR (Rodsand, 2016).

Bakalářská práce se snaží shrnout metody vzorkování povrchových a podzemních vod z hlediska jejich kontaminace TOL.

## **2 Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce je poskytnout ucelenou literární rešerši na specifika vzorkování povrchových a podzemních vod s obsahem těžkých organických látek (TOL), jako jsou například chlorované ethyleny.

Bakalářská práce je rozdělena do následujících dílčích cílů:

- charakteristika jednotlivých chlorovaných ethylenů,
- základní popis způsobů vzorkování TOL ve vodním prostředí,
- zhodnocení a doporučení metod vzorkování pro CE.

## 3 Literární rešerše

### 3.1. Chlorované ethyleny

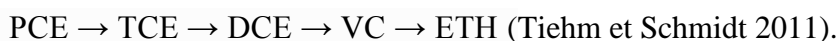
Chlorované ethyleny jsou látky, které mohou být za běžných podmínek vystaveny degradaci, naopak v anaerobních podmínkách často podléhají dechloraci (Tobiszewski et Namieśnik, 2012).

Anaerobní dechlorace je přírodní proces, který se běžně vyskytuje v přírodě. Jedná se o rozpad, neboli přeměnu prvků, která je ve výsledku zakončena stabilním prvkem, což znamená, že než dojde k celkové transformaci chlorovaných ethylenů (CE) na konečnou komponentu, probíhají změny CE mezi jednotlivými meziprodukty. Při této reakci dochází k postupnému nahrazování atomu chlóru atomem vodíku. Přeměna začíná tetrachloroethylenem (PCE) přes trichloroethylen, dichloroethylen, vinylchlorid a končí výsledným ethylenem, což je optimální neškodný prvek (Tiehm et Schmidt 2011).

Tato degradace může probíhat pouze v anaerobních podmínkách, kde může být PCE dechlorován. V aerobním prostředí se PCE vyskytuje v oxidačním stupni, tudíž nepodléhá oxidaci a degradace není možná (Minařík et al. 2005).

Do tohoto procesu se řadí několik skupin bakterií, avšak nejvýznamnější bakterie pochází z rodu Dehalococcoides, která je schopna kompletní reduktivní dechlorace z perchlorethylenu na ethylen. Pro tuto bakterii platí, že dechlorace z PCE na cDCE je rychlejší a příznivější, než dechlorace z cDCE na vinylchlorid. Transformace z vinylchloridu na konečný ethylen je naopak nejpomalejším dechloračním krokem celého procesu (Futagami et al. 2008).

Celý proces výše zmíněné dechlorace lze vyjádřit následujícím vzorcem:



Do skupiny chlorovaných ethylenů se řadí 6 chlorovaných uhlovodíků, kterými jsou tetrachloroethylen (PCE), trichloroethylen (TCE), cis-1,2-dichloroethylen (cis-DCE), trans-1,2-dichloroethylen (trans-DCE), 1,1-dichloroethylen (1,1-DCE) a vinylchlorid (VC) (EPA, 2000).

Chlorované ethyleny jsou sestaveny z dvojice atomů uhlíku, které jsou vzájemně propojeny dvojnou vazbou. Fyzikální i chemické vlastnosti závisí na počtu substituovaných atomů chlóru. Přehled vlastností uveden níže (tabulka1). S narůstajícím počtem atomů chlóru se zvyšuje hustota a atomová hmotnost, přičemž se zároveň snižuje rozpustnost ve vodě a tlak nasycených par (EPA, 2000).

Sloučenina	Bod tání (°C)	Hustota [g/cc]	Log Kow	Log Koc	Max. hladina znečištění (µg/L)
<b>Tetrachloroethylen</b>	-22,7	1,625	3,14	2,82	5
<b>Trichloroethylen</b>	-87	1,462	2,42	2,10	5
<b>cis-1,2-Dichloroethylen</b>	-81	1,284	1,86	1,50	70
<b>trans-1,2-Dichloroethylen</b>	-50	1,257	2,09	1,77	100
<b>1,1-Dichloroethylen</b>	-94,7	1,175	1,79	1,48	7
<b>Vinylchlorid</b>	-157	0,9121	0,60	0,91	2

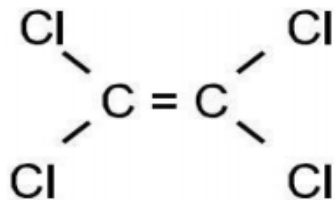
Tabulka 1: Fyzikální a chemické vlastnosti CE (upraveno dle Olaniran et al. 2004).

### 3.1.1 Tetrachloroethylen

PCE je bezbarvá organická sloučenina, s mírným chlórovým zápachem. Je to těžký, nehořlavý prvek, který slouží jako rozpouštědlo organických látek. Obvykle se ve vodě rozkládá velmi pomalu. Je produkována z průmyslu, v životním prostředí se za normálních podmínek nevyskytuje. Široké zastoupení má v textilním průmyslu, kde se používá pro chemické čištění, avšak využití má i v kovodělném průmyslu jako rozpouštědlo pro odmašťování kovů a v agrochemickém průmyslu, kde je produkován jako meziprodukt při výrobě pesticidů (Arnika, 2014).

Při kontaktu této látky s člověkem, nejčastěji prostřednictvím kůže, inhalace či požitím kontaminované vody, může dojít ke vzniku rakoviny plic, ledvin, tlustého

střeva, onemocnění jater, leukémie, a má negativní vliv také na srdce a nervový systém. Mezi časté příznaky patří nevolnost, závratě, ospalost, silné bolesti hlavy, potíže s pohybem a podráždění dýchacích cest, které mohou vést až k bezvědomí (Maquardt et al. 1999).

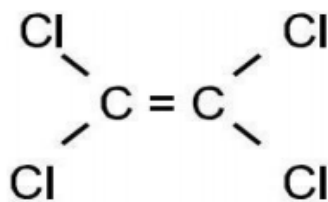


Obrázek 1: Strukturální vzorec PCE (Tobiszewski et Namieśnik, 2012).

### 3.1.2 Trichloroethylen

TCE je bezbarvá, mírně hořlavá kapalina, která patří mezi těkavé organické chemikálie s lehce nasládlým zápachem. Je využíván jako průmyslové rozpouštědlo a odmašťovadlo v chemických čistírnách či strojírenství k odstranění mastnoty z kovových dílů a odmašťování vodní páry, a zároveň jako extrakční rozpouštědlo tuků, olejů a vosků (Arnika, 2014).

Do lidského těla proniká vdechnutím, pozřením či přímým kontaktem s kůží. Při působení na lidský organismus se vyskytují bolesti hlavy, ospalost a nevolnost, což může vést ke kómatu až smrti. Dráždí oči, kůži, může docházet k poškození sluchu, zraku, oběhové soustavy, ledvin i jater. Je považován za lidský karcinogen z důvodu vzniku rakoviny jater, ledvin či lymfatických žláz (Marhold, 1986).

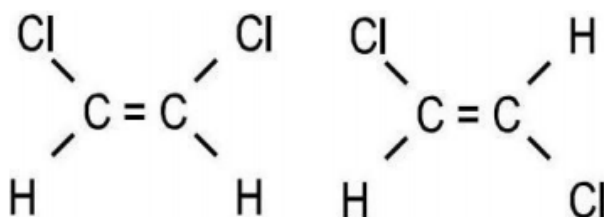


Obrázek 2: Strukturální vzorec TCE (Tobiszewski et Namieśnik, 2012).

### 3.1.3 cis-, trans-Dichloroethylen

1,2-DCE je bezbarvá, vysoce hořlavá, kapalná chemikálie se silným ostrým zápachem. Je to látka, která se do prostředí se uvolňuje během skladování nebo průmyslové výroby, tudíž se v přírodě nevyskytuje přirozeně. Je rozdělen na dvě formy, formu cis- a formu trans- podle navázání atomů Cl-. Většinou se tyto dvě

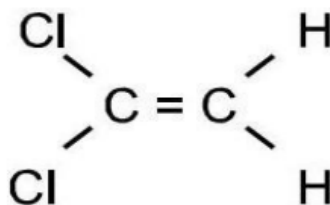
formy vyskytují společně ve směsi, avšak forma cis-1,2-DCE se vyskytuje častěji. Využívá se v zemědělství jako součást pesticidů, v medicíně jako anestetikum. Je také často používán jako rozpouštědlo na tuky, lepidla, oleje, vosky či pryskyřice. Do lidského těla může vstupovat dýcháním par či požitím kontaminované vody. Forma trans- je oproti formě cis- dvakrát rizikovější pro centrální nervovou soustavu, avšak na rozdíl od formy cis- není karcinogenní. Nadměrné množství v těle člověka může způsobit poškození dýchacích cest, trávicí soustavy či kardiovaskulárního systému, což může vést až k srdečnímu selhání (ATSDR, 1996).



Obrázek 3: Strukturální vzorce cDCE a tDCE (Tobiszewski et Namieśnik, 2012).

### 3.1.4 1,1-Dichloroethylen

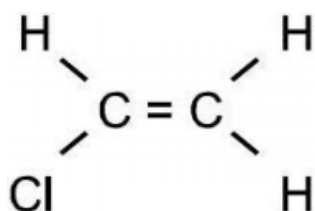
1,1-Dichloroethen je bezbarvá, vysoce hořlavá organická kapalina s mírným sladkým zápachem. Je rozpustná ve vodě, avšak rozpouští se velmi pomalu. Je to chemická látka vytvářena ve velkém množství člověkem, což znamená, že nevzniká přirozenou cestou. Používá se při výrobě syntetických vláken, povlakových pryskyřic, při použití lepidel či k výrobě plastů, jako jsou fólie či obalové materiály. Do lidského těla se může dostat vlivem inhalace, požitím jídla či při styku s kůží. Vystavení se jeho účinkům může mít nepříznivý dopad na centrální nervový systém. Při dlouhodobém působení této látky na lidský organismus dochází k poškození jater, ledvin a plic. Je řazen mezi karcinogeny, z důvodu vzniku rakoviny (ATSDR, 1995).



Obrázek 4: Strukturální vzorec 1,1DCE (Tobiszewski et Namieśnik, 2012).

### 3.1.5 Vinylchlorid

Vinylchlorid je bezbarvý, těkavý a jedovatý plyn s mírnou nasládlou vůní. Je vysoce hořlavý, při jeho hoření vzniká kyselina chlorovodíková a oxid uhličitý. Tento plyn je 2 krát těžší než vzduch. Při vysokých teplotách je velmi nestabilní, může dojít k jeho samovolné polymeraci. Používá se k výrobě plastových a vinylových produktů, obalových materiálů či povlaků, přičemž zejména při této výrobě je uvolňován do ovzduší. Při inhalaci této látky dochází k ospalosti, bolesti hlavy či závratím, které mohou vést k bezvědomí až smrti. Je řazen mezi karcinogen, z důvodu častého výskytu rakoviny jater, plic, mozku či jiného nádorového onemocnění (Arnika, 2014).



Obrázek 5: Strukturální vzorec VC (Tobiszewski et Namieśnik, 2012).



### 3.2 Metody vzorkování vodných matric

Klasický, neboli konvenční (bodový) odběr je způsob vzorkování, který se provádí z vodárenských toků či nádrží. Jeho podstatou je odběr v konkrétním daném čase, na konkrétním stanoveném místě (Ocelka et al. 2001).

Nutnou součástí tohoto vzorkování je vždy pomocné zařízení v podobě čerpadla, podtlaku či vzorkaře, které fungují za pomoci pohánění energie, což znamená, že oproti pasivnímu vzorkování nefungují na principu difúze (Kohout et Janků, 2014).

Tyto bodové odběry sebou nesou určité nevýhody. Jelikož nemohou být exponovány dlouhou dobu, jejich výsledky jsou v častých případech nepřesné. Tyto nedostatky zapříčiňuje nepravidelnost v zásobování sledovaných látek. Rozbor vzorků získává jen zbytkové složení v momentě odběru, tudíž není zřejmé, že zachytí periodickou kontaminaci. Z tohoto důvodu nemohou bodové odběry zachytit skutečný stav vody (Ocelka et al. 2001).

<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
snadné použití	vysoké náklady
rychlý odběr	nepřesné výsledky

Tabulka 2: Výhody a nevýhody aktivního vzorkování (Vrana et al. 2005; Roll et Halden, 2016).

### **3.2.1. Povrchové vody**

Vzorkování povrchových vod vychází ze dvou norem:

- norma ČSN EN ISO 5667-6. Odběr vzorků - Část 6: Návod pro odběr vzorků z řek a potoků (ČSN EN ISO, 2017).
- norma ČSN EN ISO 5667-4. Odběr vzorků - Část 4: Návod pro odběr vzorků z jezer a vodních nádrží (ČSN EN ISO, 2018).

#### **Postup a příprava odběru vzorků**

Před daným odběrem jsou obvykle zjištěny a zaznamenány podstatné údaje, kterými jsou teplota vody a její hloubka, průtok, pH vody a její konduktivita. Po naměření jsou tyto údaje následně dokumentovány. Při tvorbě plánu musí být zpracovány veškeré postupy a zajištěna bezpečnost práce (MŽP, 2006).

Vždy se postupuje od nejméně znečištěných oblastí, avšak daný odběr by měl být vždy odebrán z místa, v kterém se kontaminace nevyskytuje. Zároveň každé odběrové zařízení či pomůcky je nutné před odběrem zbavit veškerých nečistot, aby se předešlo vzájemné kontaminaci odebíraných vzorků. Bezprostředně před daným odběrem by měly být nasazeny čisté a jednorázové rukavice, které by neměly být v kontaktu se vzorkovacím médiem. V případě, že je jejich čistota ohrožena, musí být rukavice okamžitě vyměněny (EPA, 2013).

#### **Manipulace a skladování vzorků**

Vzorky pro rozbor těkavých organických látek (TOL) jsou vždy odebírány do skleněných vzorkovnic, které musí být plněny po hrdlo bez bublin, a během odběru je nutné předejít třepání. Pokud se bublina po uzavření vzorkovnice stále vyskytuje uvnitř, musí být vzorky znovu odebrány (EPA, 2013).

Vzorky jsou uloženy v temnu a chladu do doby jejich analýzy, aby se předešlo podmínkám, které by mohly způsobit změnu vlastností vzorku. Vzorky můžeme odebírat plněním přímo z povrchové vody, či pomocí sběrného zařízení. (obr. 6: postup odběru vzorku pomocí sběrného zařízení). V tomto případě nesmí dojít k vzájemnému dotyku přístroje s určenou vzorkovnicí pro vzorky. Ihned po odběru musí být vzorky umístěny do ověřených a jasně označených vzorkovnic, a následně uzavřeny. Musí se zabránit případné křížové kontaminaci, jinak musí být vzorek odebrán znovu (EPA, 2013).



Obrázek 6: Postup odběru vzorků z povrchových vod (foto autora).

### **Metody odběru vzorků**

Při výběru zařízení se vychází především z umístění odběrového místa. Odběry mohou být prováděny pomocí povrchových vzorkovačů, mezi které patří vzorkovnice, naběráky, vědra či konve, prostřednictvím uzavřených ponorných vzorkovačů, čerpacími zařízeními, automatickými vzorkovači, které jsou vhodné pro odběry kontinuálních nebo směsných vzorků, a v neposlední řadě pasivními difúzními vzorkovači. Vždy se preferují dobře přístupná místa, a ohled se bere především na hloubku toku a rychlosti proudění vody. Odběry vzorků se nejčastěji provádějí ze břehu, broděním pomocí brodicí tyče či lana, z mostů, lodí či pracovních plošin (MŽP, 2006).

### **Peristaltické čerpadlo**

Jedná se o podtlakové čerpadlo, které funguje na principu sání. Jelikož se nachází na povrchu a využívá daného podtlaku, dochází k omezení maximální hloubky a možnému odplynění vzorku, který je čerpán, což může ovlivnit koncentrace. Vzhledem k těmto důvodům se toto zařízení v některých situacích nedoporučuje a není využíváno k odběru vody a stanovení těkavých organických látek (TOL). Má však i jisté výhody, k dispozici je snadná manipulace, volba nastavení čerpaného množství a vzorek se během daného procesu nedostává do žádného kontaktu s částmi čerpadla (MŽP, 2006).

### **Automatické vzorkovače**

Automatické vzorkovače se využívají v místech, kde je vyžadován odběr vzorků bez obsluhy. Aby se zabezpečil správný a přesný odběr vzorků vody, musí být toto vzorkovací zařízení před daným nasazením vždy kalibrováno. Běžně se využívají pro odběr vzorků průtoku v proudu či hladině vody, nebo k odběru kompozitních vzorků, které jsou požadovány ze studijních dat (EPA, 2013).

### 3.2.2 Podzemní vody

Vzorkování podzemní vody vychází z:

- normy ČSN EN ISO 5667-11. Odběr vzorků – Část 11: Návod pro odběr vzorků podzemních vod (ČSN EN ISO, 2012).
- metodických pokynů MŽP (MŽP, 2006).

K odběru podzemní vody nám slouží mnoho objektů. Můžeme využít přirozené pramenné vývěry a jímky, naopak uměle vytvořené vývěry, drenážní rýhy, meliorační potrubí, vodárenské jímací zářezy, horizontální sběrače, bazény s minerální nebo termální vodou, kopané, vrtané či spouštěné studny až po strukturní, pozorovací či čerpací vrty (Kohout et Janků 2014).

Vzorkování podzemních vod se při vzorkování z objektu dělí na statické a dynamické.

- statické vzorky jsou odebírány z objektů vždy bez jejich předchozího čištění od sloupce vody.
- dynamické vzorky jsou na rozdíl od statických vzorků odebírané v průběhu, či neprodleně po čerpání vzorkovaného objektu. Charakter vzorků je v tomto případě stanoven umístěním vzorkovacího čerpadla při čištění objektu, čerpaným množstvím podzemní vody a propustností horninového prostředí (Bervic, 2006).

Při vzorkování podzemní vody můžeme rozlišit dva různé typy vzorků: prosté bodové vzorky a směsné vzorky.

- prosté bodové vzorky jsou potřebné pro zhodnocení hydrochemických dějů, které nastávají jak v přírodním, tak i v kontaminovaném horninovém prostředí. Zároveň jsou nezbytné pro získání dat nutných pro posudek vertikálního rozdělení sledovaných analytů.
- směsné vzorky slouží k průzkumu, vyhledávání, sledování vodních zdrojů a klasifikaci hydrogeologických struktur (MŽP, 2006).

## **Postup a příprava odběru vzorků**

Postup při odběru vzorků podzemních vod začíná vždy přípravou a následnou kontrolou daného místa, vzorkovnic a vybavení (Kohout et Janků, 2014).

Podstatnou částí celého postupu je změření úrovně hladiny vody, hloubky objektu a uvedení výšky odměrného bodu. Měření hloubky hladiny by mělo být prováděno vždy před každým vzorkováním a poskytuje informace o vertikálním rozložení, směru a rychlosti proudění (Sundaram et al. 2009).

Dalším důležitým krokem před odběrem je čištění vzorkovaného objektu. V případě čištění, kdy jsou objekty čerpány dlouhodobě, se čištění nerealizuje. V tomto případě se jedná především o jímané studny, prameny, sanační či otevřené vrtvy s nepřetržitým průtokem. Pro čištění vrtů můžeme využít dvě odlišné metody, kterými jsou tzv. objemová metoda a stabilizace terénních měření vybraných parametrů (MŽP, 2006).

Při plnění vzorkovnic je vždy nutné dbát na to, aby nedošlo k míchání či provzdušňování vzorku. U vzorkovnic je důležité, aby v nich nezůstaly žádné vzduchové bubliny, čímž se zabrání ztrátě TOL. V případě výskytu bubliny je nezbytné vzorek znovu odebrat. Každá vzorkovnice musí být vždy označena štítkem, jenž musí být čitelný a trvalý. Jsou plněny v pořadí od silně těkavých složek až po složky nepodléhající chemickým reakcím. Je doporučeno pořadí těchto látek: těkavé organické sloučeniny (TOL), biologický uhlík, vyčištěné organické halogeny, celkové organické halogeny (TOX), organický uhlík (TOC), extrahovatelné organické látky, celkové kovy, rozpuštěné kovy, fenoly, kyanidy, sírany, chloridy, dusičnany, amoniak a radionuklidy (OhioEPA, 2006).

Závěrem celého postupu je dokumentace v podobě protokolu, který zaznamenává veškeré činnosti a skutečnosti během odběru. Musí zahrnovat použité vybavení, povětrnostní podmínky v terénu, technické podmínky (stav a hloubku vrtu), postup čerpaného množství a postup prací při daném odběru vzorků (Bervic, 2006).

## **Objemová metoda**

Tato metoda spočívá ve výměně předem stanoveného objemu vody ještě před vlastním odběrem vzorků, kdy je nutné, na základě místních podmínek odebrat 3-5 objemů stagnující vody v daném objektu. Čištění probíhá pomocí čerpadla s vysokým výkonem nebo i kalování. Jelikož může vyvolat zvýšení turbidity odebraných vzorků, což vede ke zkreslení výsledků, nedoporučuje se tato metoda ke vzorkování metodou malého čerpaného množství (Bervic, 2006).

## **Stabilizace terénní měření vybraných parametrů**

Jako kritérium vyčištění objektu od sloupce vody se považuje ustálení parametrů, kam patří pH, vodivost, teplota, turbidita a obsah rozpuštěného kyslíku. Zároveň by měla nastat stabilizace hladiny ve vzorkovaném objektu. Délka čištění potřebná pro dosažení ustálení měřených veličin závisí na mnoha okolnostech. Pro přesně daný objekt by měla stanovena vždy určitá kritéria stabilizace a poté tyto podmínky již dále v čase neměnné (Bervic, 2006).

## **Prameny a vrty s trvalým přetokem**

Pro vzorkování pramenů lze využít spodem plněnou kalovku či přelivný válec, pouze však bez přítomnosti těkavých analytů. Obdobnou metodou můžeme vzorkovat otevřené vrty s trvalým přetokem (MŽP, 2006).

## **Metoda malého čerpaného množství**

Tato metoda je často označována pod pojmem micropurging, nízkotlaké čištění či minimální vyprazdňování. Jedná se o metodu odběru vzorků, která nepotřebuje odběr velkého množství vody. U této metody se využívá vždy čerpadlo, do kterého vstupuje voda nízkou rychlostí. Čerpá se obvykle malými průtoky v rozmezí 0,1 až 0,5 l/min. Tento odběr vzorku nese určité výhody, snižuje objem vody, aeraci či odplynění. Mezi nevýhody patří vyšší náklady na instalaci a větší množství času na instalaci (OhioEPA, 2006).

## **Dlouhodobě čerpané objekty**

Jedná se o vzorkování objektů v podobě studní a sanačních vrtů, které jsou čerpány dlouhodobě. Jde o odběr směšného vzorku ve všech situacích, bez toho, aniž by muselo být prováděno čištění objektu před samotným odběrem. Tyto objekty se vzorkují z přesně určeného ventilu, který je umístěný na potrubní armatuře. Když potrubí není ventil přesně určen, je možné provádět vzorkování přímo z vyústění výtlačného potrubí. K odběru vzorku dochází přímým plněním vzorkovnic. U těchto objektů se v některých situacích využívá i ohebná inertní trubička, která je jedním koncem zavedena do výtlačného potrubí, a zároveň druhým koncem jsou plněny vzorkovnice (MŽP, 2006).

## **Bezpečnostní opatření pro vzorkování v kontaminovaném území**

Toto vzorkování je vždy nutné provádět od nejméně znečištěných objektů k více znečištěným objektům. Z důvodu kontaminace je při manipulaci se vzorkovnicemi doporučeno používat jednorázové chirurgické rukavice a během odběru používat ověřené, jednorázové pomůcky či vzorkovače, přičemž je nutné dodržovat i stanovené řády a návody. V případě, že vzorkovnice obsahují vysoké koncentrace kontaminace, musí být skladovány odděleně. Jeden člen týmu by měl vždy na místě zajistit veškeré poznámky včetně fotografií (EPA, 2013).

### 3.3 Metody pasivního vzorkování

Pasivní vzorkování se začalo vyvíjet až v několika posledních letech. V současné době je jedním z největších trendů v oblasti monitorování kontaminujících látek (Zabiegala et al. 2010).

Nabízí využití pro těkavé organické látky, polární organické látky i nepolární organické látky (Rodsand, 2016).

Pasivní vzorkování nabízí oproti klasickému odběru velké množství výhod. Při použití těchto vzorkovačů není potřeba využívat další pomocné zařízení, jako jsou čerpadla, aspirátory či plynoměry. Pasivní vzorkovače jsou spolehlivými a nákladově efektivními nástroji, jejich manipulace je snadná, účinná a poskytují zjednodušený odběr vzorků (Zabiegala et al. 2010).

Výhody	Nevýhody
nízké náklady	nízká citlivost
užití bez zdroje energie	složitá kvalifikace
snadná manipulace	vysoký limit detekce
informace o dlouhodobém stupni kontaminace	neschopnost zachycení náhodných změn koncentrací

Tabulka 3: Výhody a nevýhody pasivního vzorkování (Zabiegala et al. 2010; Kohout et Janků, 2014).

Metoda odběru vzorků začíná v kanceláři, kde se vypracuje plán odběru. Plán obvykle zahrnuje cíle odběru, školení daného personálu, výběr chemikálií, které budou sledovány a určení opatření ke kontrole kvality. Po ukončení expozice jsou zařízení přesunuta k následnému zpracování do laboratoří (Alvarez, 2010).

Touto metodou se rozumí odběr vzorků z recipientů takovým způsobem, při němž jsou pasivní zařízení exponovány dlouhou dobu. To znamená, že se jedná o kontinuální odběr vody. Tímto způsobem je vždy naměřena průměrná koncentrace, která je dosažena v průběhu této doby (Vrana et al. 2005; Rodsand, 2016).

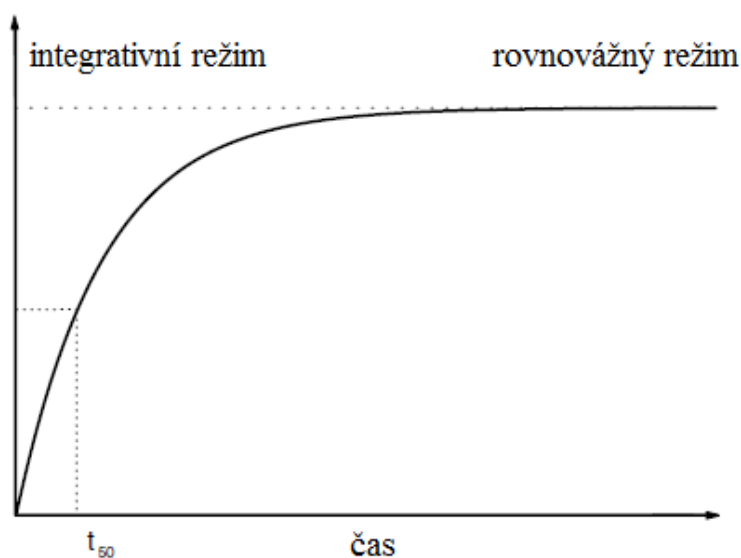
Pasivní odběr vzorku je založen na volném toku molekul analytu od vzorkovaného média na sorpční médium, během čeho dochází k oddělení těchto analytů, a průtok z jednoho média na druhé pokračuje až do doby, než dojde k rovnováze. Analyty jsou zachyceny přijímací fází, což může být rozpouštědlo, chemické činidlo či porézní adsorbent (Vrana et al. 2005).



Základní metody pasivního vzorkování dle jejich principu můžeme rozdělit do dvou skupin:

- Rovnovážné (difúzní) vzorkovače
- Integrativní (sorpční) vzorkovače (Vrana et al. 2005; Ouyang et al. 2007; Söderström et al. 2009; Zabiegala et al. 2010).

Akumulace látek lze u všech typů pasivních vzorkovačů vytyčit stejnou křivkou (obr. 7), která je však u jednotlivých typů rozdílná, jelikož každý typ má jinou strmost počáteční fáze, a liší se časem, za který je docíleno rovnováhy (Vrana et al. 2005).

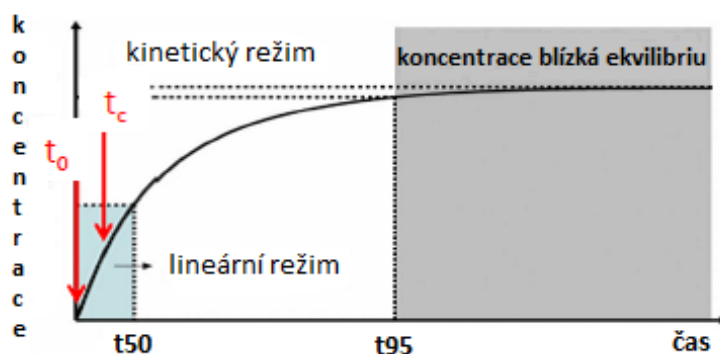


Obrázek 7: Dva hlavní režimy pasivních vzorkovacích zařízení (Vrana et al. 2005).

### 3.3.1 Rovnovážné (difúzní) pasivní vzorkovače

Rovnovážné pasivní vzorkovače mají oproti integrovaným vzorkovačům nižší kapacitu sběrného média, což zapříčiňuje krátkou dobu expozice, která se pohybuje v rozmezí několika hodin až měsíce. Celá tato technologie je založena na užití bez rozpouštědel. Nedoporučuje se zjišťovat průměrnou koncentraci látek během delší doby vzorkování (Vrana et al. 2005).

Koncentrace se stanovuje v blízkosti rovnovážného stavu mezi vzorkovačem a vzorkovacím médiem (obr. 8). Sloučeniny pronikají přes membránu do deionizované vody až do okamžiku, dokud není dosažena rovnováha (Rodsand, 2016).



Obrázek 8: Rovnovážné pasivní vzorkovače – koncentrace polutantu blízka rovnovážnému stavu (Rodsand, 2016).

Mezi rovnovážné pasivní vzorkovací metody patří Solid Phase Microextraction (SPME) a Stir Bar Sorptive Extraction (SBSE) (Vrana et al. 2005).

Mezi další rovnovážné pasivní vzorkovací techniky pro odběr nepolárních látek patří: Passive Diffusion Bag Sampler, Passive Flux Meter, Gore – Sorber a Sorbi – Cell (Verreydt et al. 2010).

Zařízení	Kontaminanty	Doba aplikace	Výhody	Nevýhody
<b>PDB</b>	většina TOL	14 dní až 1 rok	dlouhodobý monitoring	dlouhá doba ekvilibrace
<b>PFM</b>	TOL, sTOL, kovy, anionty	několik dní až několik měsíců	měření průtoku vody	velká velikost
<b>Gore-Sorber</b>	všechny TOL, většina sTOL	48 hodin	krátká doba ekvilibrace	krátký monitoring
<b>Sorbi - Cell</b>	TOL, BTEX	1 – 4 týdny	poskytuje přesná data	

Pozn: Semitékavé organické látky (sTOL).

Tabulka 4: Přehled rovnovážných pasivních vzorkovačů (upraveno dle Verreydt et al. 2010; Sorbisense A/S, 2010).

### 3.3.2 Integrativní (kinetické) pasivní vzorkovače

Integrativní pasivní vzorkovače představují zařízení, které mají schopnost pomocí sorpce v sobě shromažďovat vzorkované látky. Na rozdíl od rovnovážných pasivních vzorkovačů je nezbytné, aby byl daný odběr vzorků proveden vždy před dosažením rovnovážného stavu. Poté je stanovena průměrná koncentrace látek ve vzorkovací technice za celé období, kdy probíhalo dané vzorkování. Tento děj je znázorněn na obrázku (obr. 9). Tato koncentrace je zjištěna na základě rychlosti shromažďování látek ve vzorkovači a množství zadržených látek uvnitř vzorkovače (Rodsand, 2016).



Obrázek 9: Integrativní pasivní vzorkovače - průměr koncentrace polutantu (Rodsand, 2016).

Mezi nepoužívanější pasivní vzorkovací metody pro organické znečišťující látky patří: Semi-Permeable Membrane Device, Polar Organic Chemical Integrative Sampler, Chemcatcher, Membrane-enclosed Sorptive Coating Sampler a Ceramic dosimeter (Verreydt et al. 2010; Vrana et al. 2005).

Zařízení	Kontaminanty	Doba aplikace	Výhody	Nevýhody
<b>SPMD</b>	sTOL, některé TOL ( $K_{ow} > 3$ )	1 měsíc	vysoká vzorkovací frekvence	složitě čištění vzorku
<b>POCIS</b>	TOL, většina sTOL	14-30 dní	stimulace respirační expozice vodních organismů	biologické znečištění membrány
<b>Chemcatcher</b>	hydrofobních složek ( $K_{ow} > 4$ )	14 dní až 1 měsíc	vysoká rychlost adsorbce	časté zanášení
<b>MESCO</b>	PAHs, některé TOL	20 dní	použití bez rozpouštědla	nízká membránová stabilita
<b>Ceramic dosimeter</b>	PAHs, BTEX, chlorované uhlovodíky	14 dní až několik měsíců	robustní membrána	nízká citlivost

Pozn. Semitěkavé organické látky (sTOL).

Tabulka 5: Přehled integrativních pasivních vzorkovačů (upraveno dle Verreydt et al. 2010; Vrana et al. 2005).

### **3.4 Pasivní vzorkovače pro monitorování TOL ve vodě**

#### **3.4.1 Solid Phase Microextraction**

Solid Phase Microextraction (SPME) je univerzální metoda přípravy vzorků, která je velmi snadná, rychlá, používá se pro odběr či izolaci a nepotřebuje žádné užití rozpouštědla ani složité zařízení v podobě čerpadel či metrů. Vzhledem ke způsobu vzorkování analytů je SPME kombinací pasivní a dynamické metody. Není vhodná pro dlouhodobý monitoring. Čas, který je potřebný k dosažení rovnováhy, je v rozmezí několika sekund u těkavých látek a v rozmezí několika minut až půl hodiny pro perzistentní organické látky (POPs) (Kot et al. 2000).

#### **Složení**

Tento přístroj je svým vzhledem podobný injekční stříkačce. Vláknem je potaženo slabou vrstvou stacionární fáze, má malou velikost a válcový tvar, což nese jisté výhody. Je spojeno s nerezovou trubicí, která slouží jako přídatná mechanická pevnost sestavy vláken. Můžeme ho opakovaně měnit či použít (Aulakh et al. 2007).

#### **3.4.2 Stir Bar Sorptive Extraction**

Metoda Stir Bar Sorptive Extraction (SBSE) byla zavedena roku 1999 skupinou Pata Sandra pro odběr vzorků v kapalně fázi (Baltussen et al. 1999).

Používá se pro sledování polycyklických aromatických uhlovodíků (PAH), či organochlorové pesticidy (OPC) (Vrana et al. 2006).

Stejně jako u předchozí metody se jedná o metodu bez použití organických rozpouštědel. Na rozdíl od SPME má však delší dobu extrakce, protože množství povlaku je větší, a tudíž dosažení rovnováhy trvá delší dobu (Moein et al. 2014).

Doba extrakce závisí především na objemu daného vzorku, rychlosti míchání či velikosti míchací tyčinky (Horák et al. 2010).

#### **Složení**

Toto zařízení se skládá z míchací magnetické tyčinky, která je uložena ve skleněném pouzdře. Nedílnou součástí je také sorbent, který zachycuje veškeré analyty (Horák et al. 2010).

### 3.4.3 Semi-Permeable Membrane Device

Semi-Permeable Membrane Device (SPMD) je nejčastěji používaný pasivní vzorkovač pro odběr vzorků. Byl vyvinut společností J. N. Huckinse a jeho spolupracovníky v roce 1990 ke studiu biologické dostupnosti hydrofobní organické chemikálie pro vodní organismy (Ouyang et Pawliszyn, 2007).

Je považován za nejlepší dostupný pasivní vzorkovač, bylo prokázáno, že SPMD jsou nejvíce účinné, jelikož mají schopnost pasivní akumulace lipofilních látek (Namiesnik et al. 2005).

Je využíváno pro dlouhodobé sledování analýz kontaminujících látek. Expoziční doba může trvat v rozmezí několika týdnů až měsíců, avšak nejběžnější doba odběru vzorků vody je 15 až 30 dní (Esteve-Turrillas et al. 2007).

Používá se pro vzorkování neutrálních organických látek, které mají rozdělovací koeficient oktanol-voda  $\log K_{ow}$  větší než 3. Tato technologie je schopna zachytit biologicky dostupné organické látky, jako např: polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), chlorované pesticidy, polychlorované bifenyly (PCB), polybromované difenylétery (PBDE) organofosfáty, dioxiny a furany (Alvarez, 2010).

#### Možnost nasazení

SPMD zařízení se před expozicí upevňuje do nosičů různého provedení. Hlavním zařízením je nerezová nádobka 304, kterou můžeme využít ve čtyřech velikostech (malá, velká, studna a jednorázová). V závislosti na daných potřebách může obsahovat 1 až 5 nosičů. Malý koš (obr. 10) je určený pro 1 až 2 nosiče velký koš (obr. 11) pro 1 až 5 nosičů (Smith, 2019).



Obrázek 10: Malý koš SPMD (Smith, 2019).



Obrázek 11: Velký koš SPMD (Smith, 2019).

## Složení

Toto zařízení se skládá z polyetylénových trubek, neboli LDPE membrány s nízkou hustotou. Trubky jsou naplněny syntetickým čistým trioleinem, což je hlavní nepolární lipid s vysokou molekulární hmotností. LDPE potrubí je biologickou membránou (Namiesnik et al. 2005).

### 3.4.4 Polar Organic Chemical Integrative Sampler

Polar Organic Chemical Integrative Sampler, neboli POCIS je integrační vzorkovací zařízení, které vzniklo pro vzorkování hydrofilních organických chemikálií, mající log  $K_{ow}$  menší než 3. Jedná se především o léčiva, drogy, metabolity či polární pesticidy (Gong et al. 2018).

#### Možnost nasazení

Vzorkovače jsou na nosič připevněny pomocí šroubů. Nosič je schopen pojmout tři vzorkovače, které jsou zasazeny do vzorkovacího koše a jsou konstruovány pro jeden nebo tři nosiče. Součástí nosičů jsou kompresní kroužky používající se k těsnění membrán, k nimž jsou připojeny pomocí matic či klipů a jsou tvořeny z kovového materiálu (Smith, 2019).



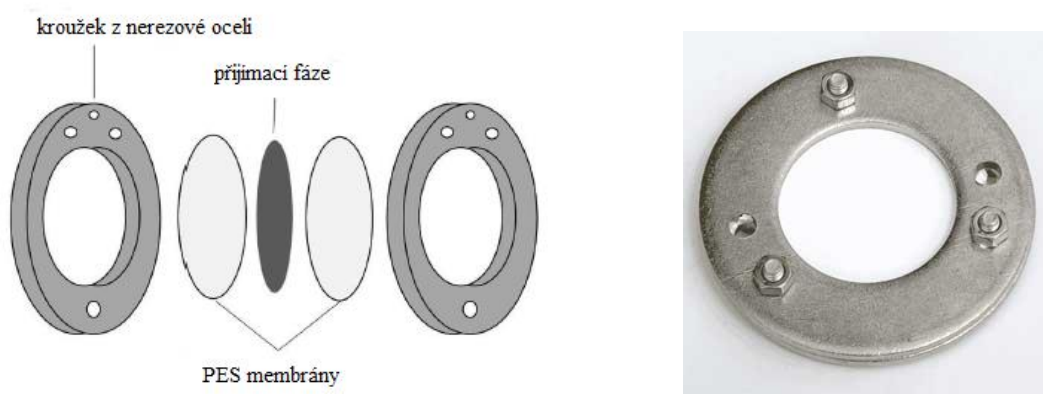
Obrázek 12: Malý koš POCIS (Smith, 2019).



Obrázek 13: Velký koš POCIS (Smith, 2019).

## Složení

POCIS vzorkovač se skládá ze dvou částí, kterými jsou pevný sorbent a dvě mikroporézní polyethersulfonové (PES) membrány. Konstrukce tohoto vzorkovače je uspořádána formou membrána-sorbent-membrána, což znázorňuje níže uvedený obrázek (obr. 14). Jelikož nemohou být membrány tepelně uzavřeny, je k dispozici těsnící médium (obr. 15), v podobě dvou sešroubovaných, tzv. kompresních kroužků, které zároveň slouží k tomu, aby se předešlo ztrátě sorbentu (Alvarez et al. 2004).



Obrázek 14: Schéma vzorkovače POCIS (Gong et al. 2018). Obrázek 15: POCIS ve skutečnosti (Smith, 2019).

## Sorbent

Pro vzorkování POCIS jsou používány běžně dva typy sorbentu, tzv. pesticidy – POCIS a farmaceutický – POCIS (Alvarez, 2010).

1. Pesticidy – POCIS využívá trojfázovou přísadu neboli Triphasic admixture, což je univerzální konfigurace, jejíž součástí je směs tří pevných sorbentů, které jsou Insolute ENV+ tvořící 80% hmotnosti sorbentu, S-X3 BioBeads a Ambersorb 1500, což je uhlíkový adsorbent, který je často nahrazován sorbentem Ambersorb 572 z důvodu velkých nákladů. Tato konfigurace slouží k zachycení hydrofilních organických látek, zejména pesticidů a hormonů, které se běžně vyskytují v odpadních vodách z domácností, průmyslu a zemědělství (Li et al. 2011).

2. Farmaceutický – POCIS je konfigurace určena pro monitoring léčiv. Je tvořena pouze jedním 200 mg sorbentem, tzv: Oasis HLB (kopolymerní styren-divinylbenzenová pryskyřice), což je univerzální extrakční sorbent, který je uzavřen mezi dvěma polyethersulfonovými membránami. Větší množství léků má sklon vázat

se na uhlíkaté složky (Ambersorb 1500) výše zmíněného sorbentu, a právě sorbent Oasis HLB dokáže velmi dobře sorbovat tento typ analytů (Li et al. 2011).

### **Membrána**

Přes polopropustnou membránu (velikost póru = 0,1  $\mu$ m) jsou pomocí difúzí transportovány polární organická rozpouštědla do sorbentu, kde dochází k akumulaci látek. Membrána slouží jako zábrana mezi sorbentem a okolním vodním prostředím. Hydrofobní mikročástice, mikroorganismy či makromolekuly větší než 10nm jsou vždy selektivně vyloučeny. Kvalita každého vzorku závisí na trvanlivosti membrány, které mohou být vyrobeny z různých materiálů, jako např: polyethylen, hydrofilní polypropylen či polyethersulfon (Alvarez et al. 2004).

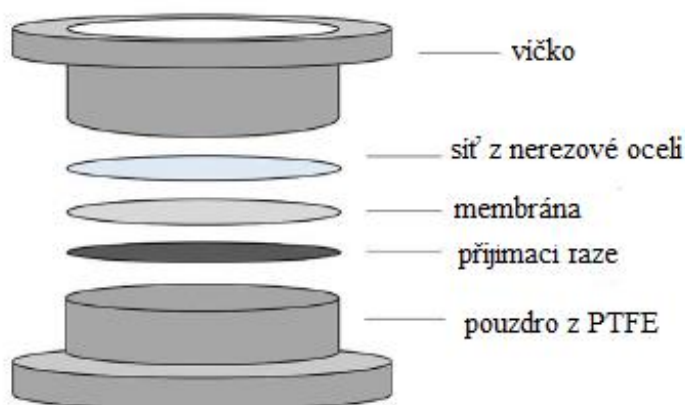


### 3.4.5 Chemcatcher

Chemcatcher je technologie, která se používá k monitorování koncentrace a míry znečištění kontaminovanými látkami. Jde o jednorázovou metodu s poměrně nízkými náklady. Slouží k zachycení polárních znečišťujících látek (pesticidy), nepolárních kontaminujících organických látek (polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU), polychlorovaných bifenyly (PCB), organochlorových pesticidů, triazinových pesticidů) i těžkých kovů (měď, rtuť, olovo, zinek) (Vrana et al. 2005).

#### Složení

Chemcatcher se skládá z těla vzorkovače z PTFE, tj. Polytetrafluorethylen, neboli fluorovaný polymer, další součástí je difúzní membrána z LDPE o průměru 47 mm a poslední součástí je přijímací fáze. Celé schéma vzorkovače uvedeno na ukázkou níže (obr. 16). K akumulaci znečišťujících látek se používá vždy sorbent, u této technologie většinou ve formě disku (Vrana et al. 2006).



Obrázek 16: Schéma vzorkovače Chemcatcher (Gong et al. 2018).

#### Sorbent

Nejvhodnější přijímací fází, neboli sorbentem je u tohoto vzorkování používán C18 Empore disk. Tato C18 je vysoce výkonná kapalinová fyzikálně-chemická separační metoda stacionární fáze materiálu (Seethapatly et al. 2008).

### 3.4.6 Membrane-enclosed Sorptive Coating Sampler

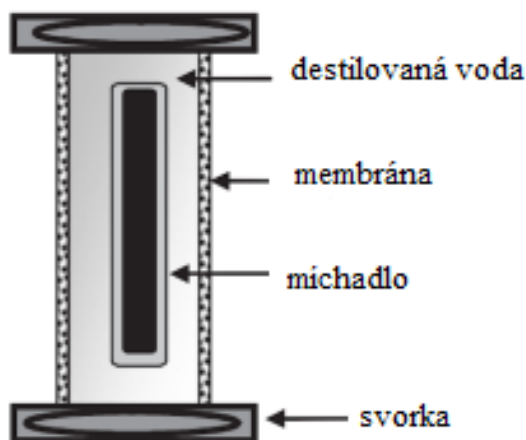
Membrane-enclosed Sorptive Coating Sampler je monitorovací zařízení, který je určený k integrativnímu pasivnímu vzorkování perzistentních, hydrofobních polutantů ve vodě. Vznikl úpravou techniky již dříve používaného zařízení SBSE (Vrana et al. 2006).

Doba expozice tohoto zařízení je relativně krátká, probíhá v rozmezí několika hodin až jednoho týdne (Verreydt et al. 2010).

#### Složení

Skládá se z magnetické míchací tyče uložené ve skleněném pouzdře, který je potažen vrstvou 22 mg PDMS (polydimethylsiloxan). Tloušťka sorpční vrstvy PDMS je 500 nm a její objem je 24 µl. Míchací tyč je uložena v dialyzní trubičce, která je vyrobena z regenerované celulózy (Vrana et al. 2006).

Trubička je naplněna 3 ml destilované vody a oba její konce uzavírá svorka. Míchací tyč se v membráně pohybuje volně a nepřetržitě (Namiesnik et al. 2005).



Obrázek 17: Schéma vzorkovače MESCO (Paschke et al. 2007).

Tento vzorkovač má nejhorší fyzickou odolnost, z tohoto důvodu se nedoporučuje pro dlouhodobou aplikaci v podzemních vodách (Verreydt et al. 2014).

### 3.4.7 Ceramic dosimeter

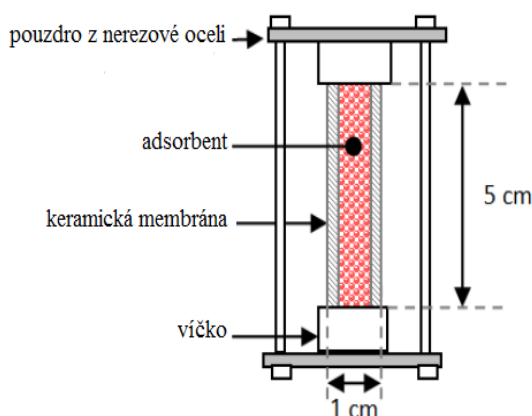
Keramické dozimetry jsou integrativní zařízení, jejichž účelem je sledování nepolárních látek v povrchových a podzemních vodách v dlouhodobém časovém měřítku. Byly vytvořeny pro polycyklické aromatické uhlovodíky, těžké chlorované uhlovodíky a těžké aromatické látky, ale mohou sloužit i pro jiné organické či anorganické látky (Martin et al. 2000).

Jedná se o inertní dozimetr, u kterého oproti polymerním vzorkovačům nedochází k bobtnání. Z důvodu jeho jednoduchosti dochází ke snižování potřeby kalibrace, což vede ke zvýšení opětovné použitelnosti (Bonifacio et al. 2017).

#### Složení

Toto zařízení se skládá z trubky, která je vytvořena z keramického materiálu a obsahuje nasycený sorbent. Je uzavřena polyethylenovým (PTFE) uzávěrem na obou svých koncích. Membrána funguje buď na principu difúzní bariéry, nebo v podobě nádoby pro držení sorpčního materiálu. Veškeré rozpuštěné látky pronikají do přijímací fáze, neboli sorbentu vždy přes keramickou membránu. Její délka může být různá (Weiß et al. 2007).

Přínosem tohoto zařízení je, že hned jak se zachytí, kontaminanty se z adsorbčního lože uvolňují a pronikají zpět do vody, jakmile v ní klesá koncentrace (Martin et al. 2000).



Obrázek 18: Návrh dozimetru (Verreydt et al. 2014).



Obrázek 19: Ceramic Dosimeter (Weiß et al. 2007).

### 3.4.8 Passive Diffusion Bag Sampler

Passive Diffusion Bag Sampler, neboli PDB je vzorkovací zařízení s pasivním difúzním vakem, které se využívá pro sběr koncentrací těkavých organických látek z podzemních vod. Jedná se o odběr vzorků vody ze studní. Jejich použití není vhodné pro všechny možné analyty, jako jsou například anorganické látky. Vzorky PDB by neměly přijít do kontaktu s nevodnou fází kapaliny, aby se předešlo vzájemné kontaminaci. Slouží k jednorázovému využití, mají nízké náklady, jejich nasazení či obnovení je poměrně rychlé a snadné (USGS, 2001).

Jsou výhodnou alternativou odběru vzorků TOL, jelikož je relativně levná a dostupná. Není nutné provádět odstranění velké kapacity vody před nasazením a jejich aplikaci je možno zavést ve víceúrovňovém vrtu. PDB vzorky TOL nepotřebují k dispozici žádné pomocné zařízení v podobě čerpadla, či jiného zařízení (Ma et al. 2013).

#### Složení

Tento vzorkovač se skládá z ploché nízko hustotní trubky z polyethylenu, která je naplněna deionizovanou vodou, ukázka níže (obr. 20). Při spuštění PDB vzorkovače do podzemní vody pronikají TOL přes polyethylenovou membránu až do doby, dokud nenastane rovnováha mezi koncentrací TOL ve vodné fázi daného zařízení a koncentrací mimo vzorkovač (Ma et al. 2013).



Obrázek 20: PDB vzorkovače (USGS, 2001).

### 3.4.9 Passive Flux Meter

Passive Flux Meter je kinetický pasivní vzorkovač, fungující jako efektivní měřič pasivního toku, jehož aplikace se používá v monitorovacích studních či vrtech. Jeho účelem je zadržet proudění podzemní vody, a následně zachytit nečistoty v níž obsažené (Verreydt et al. 2010).

Slouží k měření kontaminantů střední velikosti, kam patří především chlorované ethyleny či palivové uhlovodíky (Haluska et al. 2018).

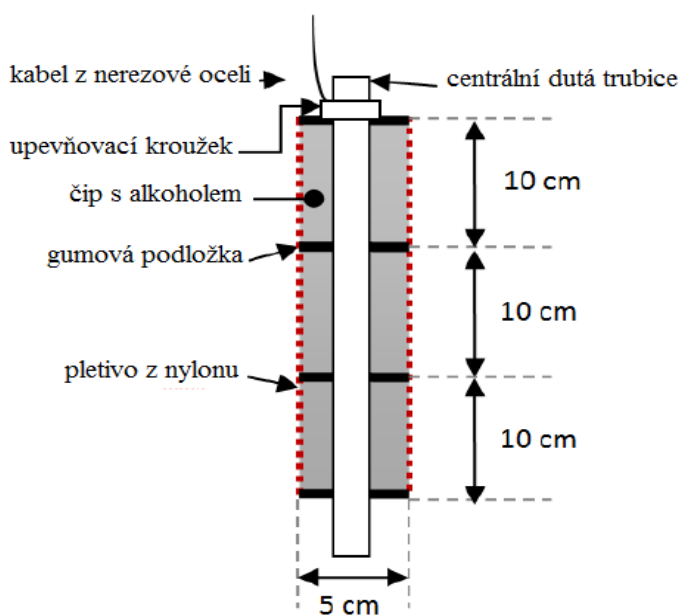
Expoziční doba nasazení je závislá na toku kontaminujících látek (Verreydt et al. 2013).

#### Složení

Skládá se z vodotěsné trubky, neboli mikroporézní membrány, která je propustná pro páry. Veškeré sloučeniny procházejí skrz membránu do adsorbentu, v níž je uložen. Adsorbenty jsou hydrofobní, což znamená, že mají schopnost odolávat hromadění vodní páry (ITRC, 2007).

#### Sorbent

Součástí tohoto vzorkovače je sorbent v podobě aktivního uhlí, sloužící k zachycení všech těkavých organických látek (Verreydt et al. 2010).



Obrázek 21: Návrh pasivního měřiče toku (Verreydt et al. 2014).

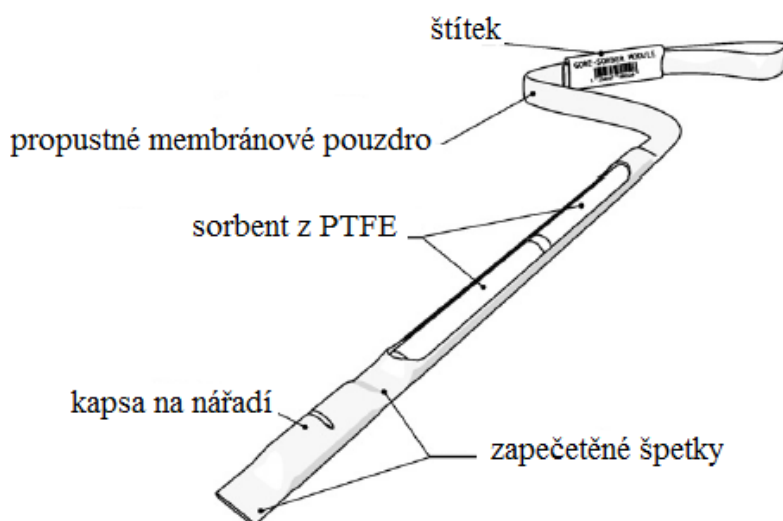
### 3.4.10 Gore – Sorber

Gore – Sorber je pasivní vzorkovač, který se využívá pro aplikaci v povrchových i podzemních vodách. Nejčastěji se používá pro monitoring vody, průzkum průniku par či klasifikaci místa. Mezi jeho výhody patří jednorázové použití, tudíž nevyžaduje žádné zbavení nečistot, při aplikaci nenarušuje vodní sloupec a jeho expoziční doba je krátká (ITRC, 2007).

Tento vzorkovač je poháněn na základě tlaku, který se vytváří uvnitř vzorkovače. To znamená, že není založen na průtoku podzemní vody jako výše uvedené vzorkovací zařízení (Verreydt et al. 2010).

#### Složení

Gore-Sorber se skládá z vodotěsné membrány zvané GORE-TEX, což je mikroporézní trubka propustná pro páry. Další částí je adsorbent, který slouží k zachycení a hromadění těkavých organických látek či polycyklických sloučenin, které do něho vstupují přes výše zmíněnou membránu (ITRC, 2007).



Obrázek 22: Schéma pasivního vzorkovače Gore – Sorber (Kot-Wasik et al. 2007).

### 3.4.11 Sorbi – Cell

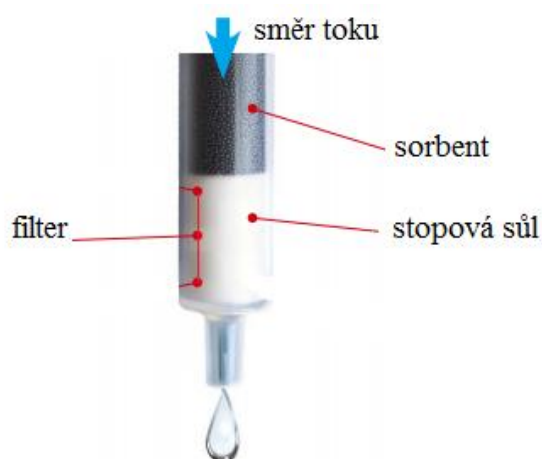
Sorbi – Cell představuje nový pasivní vzorkovač, který získal patent. Vznikl za účelem vzorkování těkavých organických látek (TOL) v povrchových i podzemních vodách. Stanovuje přesná a spolehlivá data, redukuje náklady, a zároveň čas, které souvisí s monitoringem daných vod (Sorbisense A/S, 2010).

Slouží ke vzorkování VOC, jako jsou konkrétně různé uhlovodíky, halogenáty, pesticidy či kovy. Nabízí i mnoho výhod, které zahrnují obsluhu jednou osobou, snadný způsob práce v terénu a vzorkovač nevyžaduje žádné jiné pomocné součásti (Jonge, 2018).

#### Složení

Je složen z náplně z polypropylenu, jehož součástí je efektivní sorbent, který slouží k adsorbci TOL, které prostupují výše zmíněnou náplní. Další součástí je stopová sůl, která v žádném případě nepoškozuje životnímu prostředí a nedílnou součástí je i mimořádný filtr, který se nachází mezi sorbentem a solí. Ukázka celé struktury složení níže (obr. 23) (Sorbisense A/S, 2010).

Po skončení odběru vzorků je Sorbi – Cell předán do laboratoře pro následující analýzu, kde se podrobně zjišťuje průměrná koncentrace všech analytů (Sorbisense A/S, 2010).



Obrázek 23: Schéma pasivního vzorkovače Sorbi – Cellu (Sorbisense A/S, 2010).

## 4 Diskuse

Vzorkování povrchových a podzemních vod vychází z metodických pokynů MŽP a norem.

Pasivní vzorkovače jsou relativně novou skupinou vzorkovacích zařízení, kterou je možné využít pro dlouhodobé vzorkování některých analytů. V současnosti jsou k dispozici pasivní vzorkovače pro nepolární organické sloučeniny (PAU, PCB, dioxiny), polární organické sloučeniny (rozpustné pesticidy), těžké organické látky (BTEX, chlorované uhlovodíky), anionty a kovy (Rodsand, 2016).

Podle výzkumu (Goreckiho et Namiesnika 2002) je efektivní alternativou pro odběr vzorků právě pasivní vzorkování. Jeho účelem je stanovení průměrných koncentrací a zkracuje dobu mezi odběrem a analýzou vzorku.

Časově integrovaný pasivní odběr vzorků TOL testoval (Weiß et al. 2007) za pomoci keramických dozimetrů. Byl použit dozimetr z keramické trubice, která byla naplněna nasyceným sorbentem, a zároveň sloužila jako difúzní bariéra pro TOL. Důležitými vlastnostmi této membrány byly s ohledem na časově integrovaný pasivní vzorkování její pórovitost, inertnost a tloušťka. Jejich funkcí bylo udržet strmý spád koncentrace mezi vnějškem a vnitřkem dozimetru, za účelem zajištění kontinuální difúze podél gradientu do vzorkovače. V této studii došel k závěru, že tento vzorkovač je vhodný pro PCE a jeho degradační produkty.

Keramické dozimetry použil ve své studii také (Bonifacio et al. 2017). Byl vyvinut pevný keramický dozimetr obsahující přijímací fázi v podobě pryskyřice, která byla vyvinuta pro monitorování TOL ve vodě, a osvědčila se jako účinná zábrana pro tyto látky. Na rozdíl od dříve citovaných zpráv, ve kterých byla použita keramika v podobě porézní membrány nasycené vodou (Weiß et al. 2007), byla keramika pro tuto studii použita v podobě hustého pevného materiálu, který je nepropustný pro vodu, ale umožňuje difúzi TOL v plynné fázi přes jeho mikropóry. V této studii došel (Bonifacio et al. 2017) k závěru, že se jedná o vhodný vzorkovač pro TOL, a lze jej použít pro monitorování vody za účelem získání časově integrovaných koncentrací.

Další zařazení pro monitorování TOL látek testoval (Vroblesky et Campbell, 2001) v podobě PDB vzorkovače, jehož tělo bylo naplněno deionizovanou vodou. Laboratorní testy ukázaly, že při použití PCE, TCE a cDCE látek je jejich



koncentrace schopna dosáhnout ekvilibrace se vzorkovačem PDB během 48 hodin. Některé další chlorované rozpouštědla však mohou vyžadovat delší dobu ekvilibrace. Tato metoda byla ve výsledku označena jako efektivní volba pro vzorkování TOL.

PDB zařízení doporučuje také (Ma et al. 2013) a (Rodsand, 2016), u nichž se toto zařízení osvědčilo jako spolehlivá alternativa pro odběr vzorků TOL v podzemních vodách. PDB vzorkovač byl zapuštěn do podzemní vody, kde TOL difundovaly přes LDPE membránu do doby ekvilibrace. Dle studie (Ma et al. 2013) bylo prokázáno, že koncentrace těkavých organických látek v daném vzorkovači se shodovala s koncentrací v podzemních vodách, tudíž došlo k rovnováze. Doba dosažení rovnováhy trvala 14 dní. Výsledky uváděly, že koncentrace TOL ve vzorkovači nebyly za jakýchkoliv podmínek během ekvilibrace zvláště ovlivněny, což naznačuje, že provádění vzorkování by mohlo při stěžejnějších podmínkách zkrátit dobu rovnováhy.

Další pasivní zařízení doporučuje (Verreydt et al. 2010), který testoval techniku Sorbi – Cell, poháněnou pomocí tlaku vytvořeného uvnitř vzorkovače. Vzorkovač se skládal z pouzdra, který byl naplněn sorbentem. Byly testovány sorbenty v podobě aktivního uhlí či na pryskyřice na bázi uhlíku. Velkou výhodou Sorbi – Cellu prokázala jeho robustnost. Je doporučen pro střednědobé až dlouhodobé vzorkování po dobu až 6 měsíců a bylo prokázáno, že stejně jako u keramických dozimetrů je možné Sorbi – Cellu použít pro stanovení hmotnostních toků v delším časovém intervalu.

## 5 Závěr a přínos práce

Tato bakalářská práce se snaží shrnout a popsat základní metody vzorkování povrchových a podzemních vod, s ohledem na jejich použitelnost pro těkavé organické látky, mezi které patří chlorované ethyleny. V důsledku těchto látek musí vzorkař i laboratoř při práci s nimi vždy zohlednit vysokou těkavost kontaminantu ze vzorku, a snažit se minimalizovat jejich úniky, především z důvodu jejich toxicity a karcinogenity.

Vzorkování povrchových a podzemních vod vychází z technických norem a metodických pokynů. Pro odběr vzorků můžeme využít tzv. metodu aktivního odběru např. za pomoci peristaltického čerpadla či automatických vzorkovačů. Nevýhodou aktivních odběrů vzorků je nemožnost monitorovat koncentraci znečišťujících látek po dlouhé období a riziko zkreslení koncentrací znečišťujících látek a i finanční náročnost metody. Odpovědí na tyto výzvy bylo zavedení pasivních vzorkovačů. Ve srovnání s klasickým konvenčním odběrem, pasivní vzorkovače poskytují mnohem reprezentativnější soubor dat, který vychází z dlouhodobého monitoringu. Nejdůležitější výhody použitelnosti pasivních vzorkovačů lze shrnout jako (1) jsou relativně snadno použitelné; (2) lze je použít ve většině vrtů; (3) lze je umístit v řadě, aby poskytovaly vertikální profil kontaminace; (4) menší citlivost na denní výkyvy proudění podzemní vody nebo koncentrace kontaminantů, z důvodu kumulativního měření během dlouhých monitorovacích období (3 až 9 týdnů); (5) snižují variabilitu odběr vzorků v terénu, takže poskytují vysoce reprodukovatelné údaje; (6) snadné použití, monitorovat bez nutnosti čerpání nebo elektrická energie; (7) eliminují produkci odpadní vody a tím i veškeré náklady na její odstranění; (8) ztráta koncentrace prostřednictvím těkání nebo křížové kontaminace.

Pro monitorování TOL ve vodě bylo vyvinuto mnoho pasivních vzorkovacích zařízení. Pro odběr vzorků těkavých organických látek, jako jsou CE v podzemních vodách, vznikly pasivní vzorkovače passive diffusion bag (PDB). Časově integrovaný pasivní odběr vzorků těkavých organických sloučenin ve vodě lze provést pomocí pevného keramického dozimetru. Jelikož tvoří jednoduchý vzorkovač, snižuje se potřeba kalibrace, což vede k možnosti opětovného využití. Nový pasivní vzorkovač pro odběr TOL povrchových i podzemních vod, který byl patentován, představuje Sorbi – Cell. Je řazen mezi spolehlivý pasivní vzorkovač, jelikož poskytuje přesná data a redukuje náklady včetně času.

## 6 Přehled literatury a použitých zdrojů.

**ALVAREZ D. A., PETTY J. D, HUCKINS J. N., JONES-LEPP T. L., GETTING D. T., GODDARD J. P., MANAHAN S. E., 2004:** Development of a passive, in situ, integrative sampler for hydrophilic organic contaminants in aquatic environments. *Environmental Toxicology and Chemistry* 23: 1640-1648.

**ALVAREZ D. A., 2010:** Guidelines for the use of the semipermeable membrane device (SPMD) and the polar organic chemical integrative sampler (POCIS) in environmental monitoring studies. *Techniques and Methods*. USGS, Virginia, 28 s.

**ARNIKA, ©2014:** Tetrachloroethylen (online) [cit.2019.01.10], dostupné z: <https://arnika.org/tetrachlorethylen-perchlor>.

**ARNIKA, ©2014:** Trichloroethylen (online) [cit.2019.01.10], dostupné z: <https://arnika.org/trichlorethylen>.

**ARNIKA, ©2014:** Vinylchlorid (online) [cit.2019.01.10], dostupné z: <https://arnika.org/vinylchlorid>.

**ATSDR, ©1995:** 1,1 – Dichloroethene (online) [cit.2019.01.10], dostupné z: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/tfacts39.pdf>.

**ATSDR, ©1995:** 1,2 – Dichloroethene (online) [cit.2019.01.10], dostupné z: <https://www.atsdr.cdc.gov/phs/phs.asp?id=462&tid=82>.

**AULAKH J. S., MALIK A. K., VARINDER K., SCHMITT-KOPPLIN P., 2007:** A Review on Solid Phase Micro Extraction - High Performance Liquid Chromatography (SPME-HPLC) Analysis of Pesticides. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* 35: 71-85.

**BALTUSSEN H. A., SANDRA P. J. F., DAVID F., CRAMERS C. A. M. G., 1999:** Stir Bar Sorptive Extraction (SBSE), a novel extraction technique for Aqueous samples: theory and principles. *Journal of Microcolumn Separations* 11: 737-747.

**BERVIC P., 2006:** Vzorkování podzemních vod (online) [cit.2019.01.20], dostupné z: <https://docplayer.cz/68284304-Vzorkovani-podzemnich-vod-ing-pavelbervic.html>.

**BONIFACIO R. G., NAM G. U., EOM I. J., HONG Y. S., 2017:** Development of Solid Ceramic Dosimeters for the Time-Integrative Passive Sampling of Volatile

Organic Compounds in Waters. Environmental Science & Technology 51: 12557-12565.

**ČSN EN ISO 5667-6:** Odběr vzorků - Část 6: Návod pro odběr vzorků z řek a potoků. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha, 2017. 32 s.

**ČSN EN ISO 5667-4:** Odběr vzorků - Část 4: Návod pro odběr vzorků z jezer a vodních nádrží. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha, 2018. 36 s.

**ČSN EN ISO 5667-11:** Odběr vzorků – Část 11: Návod pro odběr vzorků podzemních vod. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Praha, 2012. 32 s.

**ENVIRONMENTAL AGENCY, 2003:** An illustrated handbook of DNAPL transport and fate in the subsurface. Environment Agency, Bristol, 63 s.

**EPA, 2000:** Engineered Approaches to In Situ Bioremediation of Chlorinated Solvents: Fundamentals and Field Applications. EPA, Washington, D. C., 144 s.

**EPA, 2013:** Surface Water Sampling – operating procedure. EPA, Georgia, 22 s.

**EPA, 2013:** Groundwater Sampling – operating procedure. EPA, Georgia, 31 s.

**ESTEVE-TURRILLAS F. A., PASTOR A., YUSA V., GUARDIA DE LA M., 2007:** Using semi-permeable membrane devices as passive samplers. Trends in Analytical Chemistry 26: 703-712.

**FUTAGAMI T., GOTO M., FURUKAWA K., 2008:** Biochemical and genetic bases of dehalorespiration. The Chemical Record 8: 1–12.

**GONG X., LI K., WU Ch., WANG L., SUN H., 2018:** Passive sampling for monitoring polar organic pollutants in water by three typical samplers. Trends in Environmental Analytical Chemistry 17: 23-33.

**HALUSKA A. A., THIEMANN M. S., EVANS P. J., CHO J., ANNABLE M. D., 2018:** Expanded Application of the Passive Flux Meter: In-Situ Measurements of 1,4-Dioxane, Sulfate, Cr (VI) and RDX. Water 10: 1-20.

**HORÁK T., ČULÍK J., JURKOVÁ M., ČEJKA P., KELLNER V., DVOŘÁK J., HAŠKOVÁ D., 2010:** Možnosti využití moderních metod přípravy vzorků pro

plynově chromatografické analýzy při analýze nápojů a zejména piva. Část 2. – Extrakce na míchací tyčince. Kvasný Průmysl 56: 390-395.

**ITRC, 2007:** Protocol for Use of Five Passive Samplers to Sample for a Variety of Contaminants in Groundwater. ITRC, Washington, D. C., 121 s.

**JONGE H. D., 2018:** Innovative passive sampling technology for improved groundwater and surface water monitoring. Eurofins Environment Denmark.

**KOHOUT P., JANKŮ J., ©2014:** Vzorkování pro analýzu životního prostředí (online) [cit.2019.01.20], dostupné z: <https://uchop.vscht.cz/files/uzel/0011054/0028~~C6vKL8rOL0vMy4wvKMqPT8xLzKmsKo2vyizLL8nLzMgHiRaXFKWmZOpa6Abkp1Sl5gKVluWnJMYbGRiaAAA.pdf>.

**KOHOUT P., JANKŮ J., ©2014:** Vzorkování pro analýzu životního prostředí (online) [cit.2019.01.20], dostupné z: <https://uchop.vscht.cz/files/uzel/0011054/0029C6vKL8rOL0vMy4wvKMqPT8xLzKmsKo2vyizLL8nLzMgHiRaXFKWmZOpa6oYhFCsUlKaA5cuqUkqTM0rjjQwMTQA.pdf>.

**KOT A., ZABIEGALA B., NAMIESNIK J., 2000:** Passive sampling for long-term monitoring of organic pollutants in water. Trends in analytical chemistry 19: 446-458.

**KOT-WASIK A., ZABIEGALA B., URBANOWICZ M., DOMINIAK E., WASIK A., NAMIESNIK J., 2007:** Advances in passive sampling in environmental studies. Analytica Chimica Acta 602: 141–163.

**LI H., HELM P., PATERSON G., METCALFE Ch., 2011:** The effects of dissolved organic matter and pH on sampling rates for polar organic chemical integrative samplers (POCIS). Chemosphere 83: 271-280.

**MA X., TAN Z., PANG L., LIU J., 2013:** Determination of VOCs in groundwater at an industrial contamination site using a homemade low-density polyethylene passive diffusion sampler. Journal of Environmental Sciences 25: 2338-2343.

**MARHOLD J., 1986:** Přehled průmyslové toxikologie. Zdravotnické nakladatelství, Praha, 760 s.

**MARQUARDT H., SCHAFFER S. G., MCCLELLAN R., WELSCH F., 1999:** Toxicology. Academic Press, America, 1330 s.

**MARTIN H., PIEPENBRINK M., GRATHWOHL P., 2000:** Ceramic dosimeters for time-integrated contaminant monitoring. The Journal of Process Analytical Chemistry 1: 68-73.

**MINAŘÍK M., SOTOLÁŘOVÁ M., MASÁK J., ČEJKOVÁ A., POHLUDKA M., SIGLOVÁ M., JIRKŮ V., 2005:** Aerobní mikroorganismy umožňující bioremediaci půdní matrice kontaminované TCE, DCE. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha, 5 s.

**MOEIN M. M., SAID R., BASSYOUNI F., ABDEL-REHIM M., 2014:** Solid Phase Microextraction and Related Techniques for Drugs in Biological Samples. Journal of Analytical Methods in Chemistry 10: 1-24.

**MŽP, 2006:** Vzorovací práce v sanační geologii - Metodický pokyn MŽP. MŽP, Praha. 84 s.

**NAMIESNIK J., ZABIEGALA B., KOT-WASIK A., PARTYKA M., WASIK A., 2005:** Passive sampling and/or extraction techniques in environmental analysis: a review. Analytical and Bioanalytical Chemistry 381: 279-301.

**OCELKA T., KOČÍ V., KOCHÁNKOVÁ L., ©2001:** Semipermeabilní membrány – popis perspektivní metodiky monitorování persistentních organických polutantů v povrchových vodách a vodárenských zdrojích (online) [cit.2019.01.25], dostupné z: <http://ekotoxikologie.sweb.cz/toxlab/knihovna/SPMD1.htm>.

**OhioEPA, 2006:** Ground Water Sampling - Technical guidance manual for ground water investigations. OhioEPA, Ohio, 69 s.

**OLANIRAN A. O., PILLAY D., PILLAY P., 2004:** Chloroethenes contaminants in the environment: Still a cause for concern. African Journal of Biotechnology 3: 675-682.

**OUYANG G., PAWLISZYN J., 2007:** Configurations and calibration methods for passive sampling techniques. Journal of Chromatography, A 1168: 226-235.

**PASCHKE A., VRANA B., POPP P., WENNRICH L., PASCHKE H., SCHUURMANN G., 2007:** Chapter 10: Membrane-enclosed sorptive coating for

monitoring of organic compounds in water. *Comprehensive Analytical Chemistry* 48: 231-249.

**RODSAND T., ©2016:** *Tretiruka.cz* (online) [cit.2019-02.10], dostupné z: <https://www.tretiruka.cz/news/metody-pasivniho-vzorkovani>.

**ROLL I. B., HALDEN R. U., 2016:** Critical review of factors governing data quality of integrative samplers employed in environmental water monitoring. *Water Research* 94: 200-207.

**SEETHAPATHY S., GORECKI T., LI X., 2008:** Passive sampling in environmental analysis. *Journal of Chromatography, A* 1184: 234-253.

**SMITH R. L., ©2019:** Semipermeable Membrane Device (SPMD) and its Deployment. *Environmental Sampling Technologies* (online) [cit.2019.02.10], dostupné z: <http://www.est-lab.com/spmd.php>.

**SMITH R. L., ©2019:** POCIS and its Deployment. *Environmental Sampling Technologies*. *Environmental Sampling Technologies* (online) [cit.2019.02.10], dostupné z: <http://www.est-lab.com/pocis.php>.

**SODERSTROM H., LINBERG R. H., FICK J., 2009:** Strategies for monitoring the emerging polar organic contaminants in water with emphasis on integrative passive sampling. *Journal of Chromatography, A* 1216: 623 – 630.

**SORBISENSE A/S, 2010:** A novel patented technology for passive sampling of VOCs from water. Sorbisen A/S, Denmark.

**SUNDARAM B., FEITZ A. J., CARITAT DE P., PLAZINSKA A., BRODIE R. S., CORAM J., RANSLEY T., 2009:** *Groundwater Sampling and Analysis – A Field Guide*, Geoscience Australia, 95 s.

**TIEHM A., SCHMIDT K. R., 2011:** Sequential anaerobic/aerobic biodegradation of chloroethenes - aspects of field application. *Current Opinion in Biotechnology* 22: 415-421.

**TOBISZEWSKI M., NAMIESNIK J., 2012:** Abiotic degradation of chlorinated ethanes and ethenes in water. *Environmental Science and Pollution Research* 19: 1994-2006.

**USGS, 2001:** User's guide for polyethylene-based passive diffusion bag samplers for obtain volatile organic compound concentrations in wells. USGS, Columbia, 67 s.

**VERREYDT G., BRONDERS J., VAN KEER I., DIELS L., VANDERAUWERA, 2010:** Passive Samplers for Monitoring VOCs in Groundwater and the Prospects Related to Mass Flux Measurements. *Ground Water Monitoring & Remediation* 30: 114-126.

**VERREYDT G., ANNABLE M. D., KASKASSIAN S., VAN KEER I., BRONDERS J., DIELS L., VANDERAUWERA P., 2013:** Field demonstration and evaluation of the Passive Flux Meter on a CAH groundwater plume. *Environmental Science and Pollution Research* 20: 4621-4634.

**VERREYDT G., BRONDERS J., VAN KEER I., 2014:** Lab and field screening of 5 selected passive samplers for the measurement of VOC fluxes in groundwater. *Journal of Agricultural Science and Applications* 3: 30-38.

**VRANA B., MILLS G. A., ALLAN I. J., DOMINIAK E., SWENSSON K., KNUTSSON J., MORRISON G., GREENWOOD R., 2005:** Passive sampling techniques for monitoring pollutants in water. *Trends in Analytical Chemistry* 24: 845-868.

**VRANA B., PASCHKE A., POPP P., 2006:** Calibration and field performance of membrane-enclosed sorptive coating for integrative passive sampling of persistent organic pollutants in water. *Environmental Pollution* 144: 296-307.

**VRANA B., MILLS G. A., KOTTERMAN M., LEONARDS P., BOOIJ K., GREENWOOD R., 2006:** Modelling and field application of the Chemcatcher passive sampler calibration data for the monitoring of hydrophobic organic pollutants in water. *Environmental Pollution* 145: 895-904.

**VROBLESKY D. A., CAMPBELL T. R., 2001:** Equilibration times, compound selectivity, and stability of diffusion samplers for collection of ground-water VOC concentrations. *Advances in Environmental Research* 5: 1-12.

**WEIß H., SCHIRMER K., BOPP S., GRATHWOHL P., 2007:** Chapter 12: Use of ceramic dosimeters in water monitoring. *Comprehensive Analytical Chemistry* 48: 279-293.



**ZABIEGALA B., KOT-WASIK A., URBANOWICZ M., NAMIESNIK J., 2010:** Passive sampling as a tool for obtaining reliable analytical information in environmental quality monitoring. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 396: 273-296.

**ZACHAŘ Z., 2011:** Zpráva o sanaci podzemní vody v areálu SAP s.r.o., Mimoň. AECOM, Praha.

## 6.1 Seznam obrázků:

Obrázek 1: Strukturální vzorec PCE (Tobiszewski et Namiešnik, 2012).

Obrázek 2: Strukturální vzorec TCE (Tobiszewski et Namiešnik, 2012).

Obrázek 3: Strukturální vzorce cDCE a tDCE (Tobiszewski et Namiešnik, 2012).

Obrázek 4: Strukturální vzorec 1,1DCE (Tobiszewski et Namiešnik, 2012).

Obrázek 5: Strukturální vzorec VC (Tobiszewski et Namiešnik, 2012).

Obrázek 6: Postup odběru vzorků z povrchových vod (foto autora).

Obrázek 7: Dva hlavní režimy pasivních vzorkovacích zařízení (Vrana et al. 2005).

Obrázek 8: Rovnovážné pasivní vzorkovače-koncentrace polutantu blízká rovnovážnému stavu (Rodsand, 2016).

Obrázek 9: Integrativní pasivní vzorkovače - průměr koncentrace polutantu (Rodsand, 2016).

Obrázek 10: Malý koš SPMD (Smith, 2019).

Obrázek 11: Velký koš SPMD (Smith, 2019).

Obrázek 12: Malý koš POCIS (Smith, 2019).

Obrázek 13: Velký koš POCIS (Smith, 2019).

Obrázek 14: Schéma vzorkovače POCIS (Gong et al. 2018).

Obrázek 15: POCIS ve skutečnosti (Smith, 2019).

Obrázek 16: Schéma vzorkovače Chemcatcher (Gong et al. 2018).

Obrázek 17: Schéma vzorkovače MESCO (Paschke et al. 2007).

Obrázek 18: Návrh dozimetru (Verreydt et al. 2014).

Obrázek 19: Ceramic Dosimeter (Weiß et al. 2007).

Obrázek 20: PDB vzorkovače (USGS, 2001).

Obrázek 21: Návrh pasivního měřiče toku (Verreydt et al. 2014).

Obrázek 22: Schéma pasivního vzorkovače Gore – Sorber (Kot-Wasik et al. 2007).

Obrázek 23: Schéma pasivního vzorkovače Sorbi – Cellu (Sorbisense A/S, 2010).

## **6.2 Seznam tabulek:**

Tabulka 1: Fyzikální a chemické vlastnosti CE (Olaniran et al. 2004).

Tabulka 2: Výhody a nevýhody aktivního vzorkování (Vrana et al. 2005; Roll et Halden, 2016).

Tabulka 3: Výhody a nevýhody pasivního vzorkování (Zabiegala et al. 2010; Kohout et Janků, 2014).

Tabulka 4: Přehled rovnovážných pasivních vzorkovačů (Verreydt et al. 2010; Sorbisense A/S, 2010).

Tabulka 5: Přehled integrativních pasivních vzorkovačů (Verreydt et al. 2010; Vrana et al. 2005).