

Případová studie

Perfluorované látky ve vodách

Anna Brichová, Lucie Takačová, Filip Urbánek

E1250 Environmentální případové studie

Zimní semestr 2020, Brno

Obsah

1. Úvod	5
2. Perfluorované látky	6
2.1. Základní charakteristika	6
2.2. Výskyt a osud PFOA a PFOS v životním prostředí	8
2.3. Expozice vodních organismů a toxicita PFAS	9
2.4. Legislativa	10
3. Metody stanovení	12
3.1. Extrakce	12
3.2. Kapalinová chromatografie (LC)	12
3.3. Hmotnostní spektrometrie (MS)	13
3.4. Stanovení perfluorovaných látek	13
4. Případová studie	15
4.1. Použité přístroje a zařízení	15
4.2. Použité chemikálie	15
4.3. Pracovní postup	15
4.4. Odběr a uchování vzorků	15
5. Diskuze a závěrečné otázky	27
6. Závěr	30
7. Reference	31

Zkratky

ČOV	čistírna odpadních vod
EU	Evropská Unie
LOEC	nejnižší koncentrace pozorovaného efektu
PFAS	per- a polyfluorované sloučeniny
PFOA	perfluorooktanová kyselina
PFOS	perfluorooktanosulfonát
POPs	perzistentní organické polutanty
ř.km	říční kilometr
US EPA	United states Environmental Protection Agency

1. Úvod

Perfluorované látky se řadí mezi persistentní organické sloučeniny, obsahující alkylové zbytky, jejichž vodíky ve vazbě C-H jsou nahrazeny fluory. Vazby C-F jsou charakteristické svou tepelnou stabilitou a odolností vůči degradaci, tudíž je můžeme řadit mezi vysoce stabilní látky mající široké využití. Dříve se hojně používaly k výrobě nátěrů a povrchových barev, hasících pěn (vytváří na povrchu hořlavé kapaliny vrstvu nepropustnou pro kyslík a tím hasí požár hořlavé kapaliny), pesticidů (vytváří na rostlinách film, který zvýší povrch rostliny a tím i vyšší účinek pesticidů) či pro povrchovou úpravu textilu a nádobí (Gore-tex či teflon) pro zajištění nepromokavosti a nepřilnavosti, obalů nebo papíru. K jejich širokému využití přispěla i jejich hydrofobní povaha a nízké povrchové napětí, které má ovšem za následek velký potenciál k bioakumulaci v organismech. Protože se váží především na proteiny, a ne na tuky, akumulují se v orgánech jako ledviny či játra. Do vodního prostředí se nejčastěji dostávají přes odpady z ČOV a při surovém zpracování hliníku¹.

Kvůli jejich toxicitě, bioakumulačnímu potenciálu a dálkovému transportu byly zařazeny na seznam Stockholmské úmluvy v roce 2009. Přičemž byla omezena i jejich výroba a používání. I přes tyto regulace, díky specifickým výjimkám, je možné tyto látky v omezené míře používat nadále. Najdeme je například ve fotografickém průmyslu nebo při výrobě teflonu, polovodičů a leteckých kapalin.

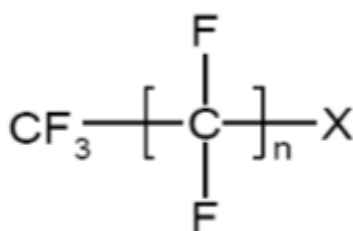
Cílem této studie je monitoring výskytu a environmentální koncentrace dvou zástupců perfluorovaných látek – perfluorooktanové kyseliny a perfluorooktanosulfonátu ve vodním toku řeky Svratka.

2. Perfluorované látky

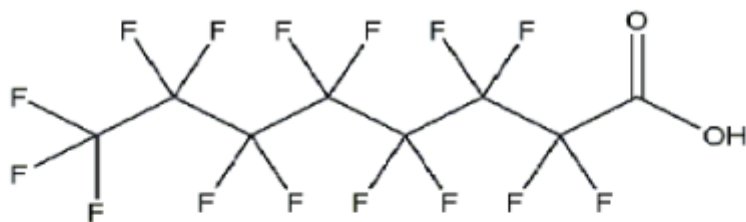
Per a polyfluorované sloučeniny (PFAS) jsou látky antropogenního původu. Tyto látky můžeme rozdělit do skupin podle jejich struktury na perfluorované sulfonové kyseliny, perfluorované karboxylové kyseliny, fluorotelomerové alkoholy, vysokomolekulární fluoropolymery a nízkomolekulární perfluoroalkanamidy². Mezi nejvýznamnější sloučeniny patří perfluorooktanová kyselina (PFOA) a perfluorooktanosulfonát (PFOS), které zároveň slouží jako referenční molekuly prvních dvou zmíněných skupin. PFAS našly využití jako surfaktanty a jako povrchová úprava kobereců, kůže, papíru, obalových materiálů nebo textilií³. Další využití našly, zejména PFOS, jako přísada v hasicích přístrojích určených k hašení hořlavých materiálů^{4,5}.

2.1. Základní charakteristika

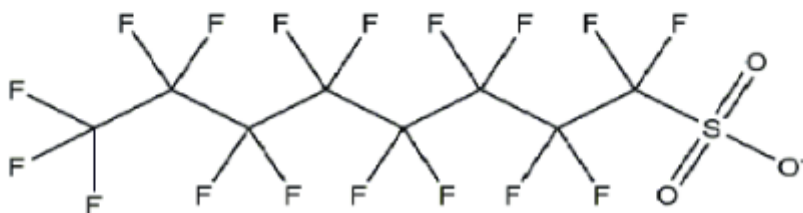
Perfluorované látky jsou organické molekuly, v nichž všechny alifatické vodíky, připojené k uhlíkovému skeletu, nahrazuje atom fluoru. Tyto sloučeniny jsou vysoce chemicky a tepelně stabilní díky vysokoenergetické vazbě uhlík-fluor a třem volným elektronovým pářům fluoru³. Díky své vlastnosti odpuzovat vodu i olej našly využití jako povrchová úprava kobereců, textilií nebo kuchyňského náčiní. Vyznačují se extrémní perzistencí v životním prostředí, kde jsou rezistentní vůči většině chemických a mikrobiologických procesů^{3,6}.



Obr.: Obecný vzorec perfluorovaných sloučenin.



Kyselina perfluoroktanová (PFOA)



Perfluoroktansulfonová kyselina (PFOS)

Obr.: Strukturní vzorce kyseliny perfluorooktanové a perfluoroktansulfonové (upraveno podle Post a kol.⁷).

V následující tabulce jsou zaznamenány charakteristické fyzikální a chemické znaky.

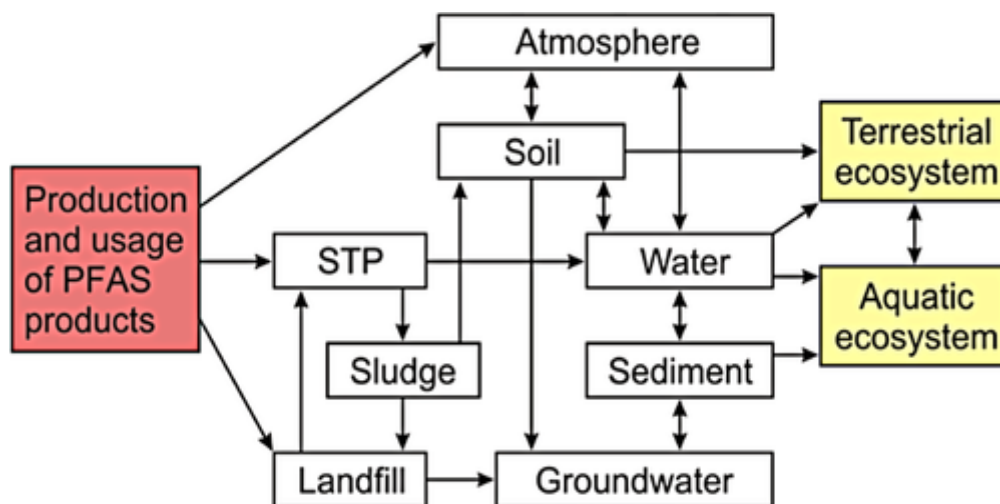
Tabulka 1: Fyzikální a chemické vlastnosti PFOA a PFOS⁶.

Vlastnosti	PFOA	PFOS
Vzorec	$C_8HF_{15}O_2$	$C_8HF_{17}O_3S$
Forma za pokojové teploty a atmosférického tlaku	bílý prášek	bílý prášek
Molekulová hmotnost	414 g/mol	500 g/mol
Rozpustnost ve vodě při 25 °C	9.5×10^3 mg/L	680 mg/L
Bod tání	54 °C	nezměřitelný
Bod varu	192 °C	258–260 °C
Rozdělovací koeficient Koc	2.06	2.57

2.2. Výskyt a osud PFOA a PFOS v životním prostředí

Fluorované látky se v životním prostředí mohou přirozeně vyskytovat v menší míře jako produkty biologických a geochemických procesů⁸, zpravidla se ovšem do životního prostředí dostávají zapříčiněním člověka. Do životního prostředí se antropogenní PFAS mohou dostat skrze fluorochemický průmysl a jeho odpadní vody. Čistiřenský kal a odpadní voda ze skládek také přispívají velkou měrou ke kontaminaci životního prostředí fluorovanými látkami⁵.

Poly- a perfluorované látky jsou zpravidla těkavé či polotěkavé. Kvůli této vlastnosti mohou být tyto látky snadno transportovatelné vzduchem, tzv. long range transport. S tím souvisí nálezy výskytu PFAS v životním prostředí v odlehlých oblastech⁹. Ionizovatelné PFAS mohou být pravděpodobně transportovány především vodními toky. Tyto látky ovšem vykazují i hydrofobicitu, takže se ve vodě mohou navázat na organický materiál a sedimentovat¹⁰.



Obr. 1: Popis cesty PFAS v životním prostředí¹⁰. STP = čistírna odpadních vod.

K lidské expozici látkám PFAS může dojít především skrze gastrointestinální trakt. PFAS byly detekovány jak v pitné vodě, tak v potravinách¹¹⁻¹³.

PFAS jsou řazeny mezi persistentní organické polutanty, neboť splňují kritéria persistence, bioakumulace, toxicity, i potenciálního dálkového atmosférického přenosu¹⁴. Jejich degradace v prostředí není příliš významná a zároveň není příliš prozkoumána. Poločas rozpadu PFOS činí ve vodním prostředí více jak 41 let a poločas rozpadu PFOA ve vodě je více než 92 let¹⁵.

Hlavním mechanismem odbourávání perfluorovaných sloučenin je dehalogenace. Navzdory tomu, že dehalogenace je termodynamicky výhodná, tak při případných probíhajících biotických transformacích pravděpodobně nedochází k plné dehalogenaci a látky tedy dál zůstávají v prostředí^{9,16}.

Tabulka: Naměřené koncentrace v jednotlivých řekách zemí podle Kunacheva a kol^{17,18}.

PFOS		PFOA	
Země	Průměrná koncentrace (ng/l)	Země	Průměrná koncentrace (ng/l)
Anglie	14,4	Japonsko	30,7
Singapur	5,5	Anglie	10,6
Tchaj-wan	3,5	Šrí Lanka	10,5
Japonsko	3,2	Čína	7,4
Nepál	2,6	Turecko	5,7
Čína	1,7	Singapur	5,6
Malajsie	1,5	Malajsie	4,8
Švédsko	1,2	Laos	3,8
Turecko	1,0	Thajsko	2,3
Thajsko	0,8	Irsko	1,2
Medián	2,15	Medián	5,65

2.3. Expozice vodních organismů a toxicita PFAS

Bioakumulace či vliv na vodní organismy per- a polyfluorovanými látkami byl pozorován na mnoha různých místech. V Belgii analyzovali obsah PFOS v hvězdicích, krevetách, a krabech a našli rozmezí koncentrací 16-176 ng/g, 19-520 ng/g a 93-292 ng/g¹⁹. V rozsáhlé studii v oblasti Velkých jezer byly zaznamenány koncentrace PFOS jako nejvýznamější z PFAS skupiny ve zkoumaném bentosu. Výsledky naznačují probíhající biokoncentraci a biomagnifikanci, neboť v bentických bezobratlých byly detekovány až 1000x vyšší koncentrace než v okolní vodě a v predátorech byly stanoveny 10x vyšší koncentrace než v jejich obětech²⁰. Ovšem podle Nakata *a spol.*, PFOA se vyskytuje v organismech dokonce v až o jeden řád vyšších koncentracích²¹.

PFOA vykazuje efekt pro vodní rostliny stolítku (*Myriophyllum spp.*) v poměrně vysokých koncentracích, kterých lze v životním prostředí dosáhnout například haváriemi, nicméně taková expozice je spíše jednorázová²². Studie mikrokosmů zaměřená na sladkovodní

zooplankton ukázala změnu v biodiverzitě, kde převládali spíše větší jedinci. Nejcitlivějším organismem byla v této studii hrotnatka velká (*Daphnia magna*) s hodnotou LOEC 20 mg/l pro PFOA²³. V následující tabulce je znázorněna toxicita PFOS pro modelové vodní organismy. Je zřejmé, že zatímco nejvyšší koncentrace v přírodě byly naměřeny maximálně v desítkách ng/l, NOEC pro nejcitlivější hrotnatky se pohybovala ve stovkách µg/l, tedy s rozdílem řádově zhruba 10⁴.

Tabulka: Akutní toxicita PFOS pro sladkovodní organismy (d = dny, h = hodiny)²⁴.

Trofický level	Organismus	Délka testu	Endpoint	NOEC (mg/l)	EC50/IC50/LC50 (mg/l)
řasy	<i>Lemna gibba</i>	7d	biomasa	6,6	31,1
		7d	počet lístků	29,2	59,1
bezobratlí	<i>Daphnia magna</i>	48h	imobilita	0,8	67,2
	<i>Daphnia pulicaria</i>	48h	imobilita	13,6	134
obojživelníci	<i>Xenopus laevis</i>	96h	růst	20	59
ryby	<i>Pimephales promelas</i>	96h	přežití	3,2	5,4
	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	96h	přežití	-	7,8

2.4. Legislativa

V rámci *PFOA Stewardship Program* pod US EPA (2006) se osm hlavních producentů PFASs zavázalo k 95% redukcí emisí perfluorooktanové kyseliny a jejích prekurzorů do roku 2010 a eliminaci těchto sloučenin z emisí a produktů do roku 2015. Všichni producenti dosáhli stanovených cílů. V únoru 2020 na tento program US EPA navrhla dodatečná pravidla pro nakládání s PFAS s dlouhými řetězci, které se využívají při povrchových úpravách²⁵.

Stockholmská úmluva zahrnuje sloučeniny spojené s PFOA v Annexu A, který se zabývá zrušením produkce a užívání těchto sloučenin. Tyto sloučeniny byly přidány z důvodů jejich

vysoké stability a perzistence v životním prostředí a jejich snadném šíření napříč složkami životního prostředí. Sloučeniny PFOS byly zahrnuty v Annexu B a vztahuje se na ně tedy omezování jejich produkce a používání. Jsou extrémně perzistentní a může docházet k značné bioakumulaci, biomagnifikaci a k šíření napříč životním prostředím. Výjimka v povolení využívání PFOS nastává v zemědělství při použití jako aktivní přísada pro kontrolu mravenců poškozujících rostliny. Další výjimkou je použití v hasicích přístrojích²⁶.

Česká republika jako signatář Stockholmské úmluvy přijala rozhodnutí týkající se činností spojených s PFOA a PFOS sloučeninami a uplatnila je 3. prosince 2020. V Předkládací zprávě parlamentu ČR stojí, že omezení používání a výroby PFOS sloučenin nebude mít na průmysl v ČR dopad, neboť se zde tyto látky nevyskytují. Naproti tomu PFOA sloučeniny zde používány jsou, a je počítáno v rámci EU legislativy a s rozhodnutím Úmluvy, s jejich výjimkami pro výrobu a použití²⁷.

3. Metody stanovení

3.1. Extrakce

Jedná se o separační metodu, kde dochází k přechodu složky mezi dvěma vzájemně nemísitelnými fázemi. Lze tak získat látky z různých materiálů i fází. V obecném případě se může jednat z principu i o absorpci či adsorpci.

V této případové studii se jedná o extrakci z kapalně fáze (vzorky vody), přičemž se používá metoda extrakce pevnou fází (SPE). Principem je zachycování molekul látky na tuhém sorbentu, přes který protéká vzorek. Jedná se o tzv. chemickou filtraci, která je založena na mezimolekulové interakci. Látky jsou na sorbent vázány molekulárními interakcemi, jako například van der Waalsovými silami, vodíkovými vazbami, dipólovými interakcemi či kation-aniontové interakce. Nežádoucí příměsi mohou být selektivně odstraněny promytím pomocí daného množství vhodného rozpouštědla. Následně je extrakt zakonzentrován. Tím lze získat vysokou koncentraci analytu, kdy počáteční koncentrace mohou být ve stopovém množství, což je nesporná výhoda.

3.2. Kapalinová chromatografie (LC)

Označuje se jako separační metoda, při které dochází k oddělování separovaných složek v daném vzorku. Jedná se o kvalitativní i kvantitativní analýzu vzorků. Chromatografie osahuje dvě vzájemně nemísitelné fáze, přičemž jedna je stacionární (SF - nepohyblivá) a druhá mobilní (MF - pohyblivá), která je unášena přes fázi stacionární. Stacionární fáze bývá pevná látka a mobilní fáze organické rozpouštědlo, případně vodné směsi daných rozpouštědel.

Čím vyšší je afinita vzorku ke stacionární fázi, tím je jeho zadrž větší a má pozdější eluci, což vede k separaci látek. Eluce je proces, během kterého přitéká mobilní fáze a vzorek je transportován kolonou. Ke zjištění mrtvého času (t_M) můžeme použít velmi nepolární rozpouštědlo (což může být aceton), který se v koloně téměř nezdrží. Tento čas udává nejkratší možný čas k projití vzorku samotnou kolonou.

Výhodou této chromatografie oproti plynové je její využitelnost při laboratorní teplotě, proto je vhodná i pro nestálé a netěkavé sloučeniny.

Obecně kapalinový chromatograf je složen ze zásobníků mobilní fáze a čerpadla se směšovacími zařízeními, které vhání mobilní fázi do dávkovacího zařízení, kde se rovněž dávkuje vzorek. Následně je unášen mobilní fází skrze kolonu obsahující sorbent (např. silikagel) vlivem tlaku z čerpadla. Výsledkem je graf zvaný chromatogram, ze kterého lze zjistit retenční časy (t_R) látek. Je to doba, která uplyne od nástřiku vzorku do dosažení maxima.

Klasická kapalinová chromatografie bývá již nahrazena vysoce účinnou kapalinovou chromatografií (HPLC) a to z důvodu její menší účinnosti. HPLC obsahuje především malá zrníčka sorbentu, což klade větší odpor mobilní fázi, a tak je potřeba pracovat při vysokém tlaku. Výhodou je pak i menší náročnost na množství mobilní fáze - separace probíhá při nízkých průtocích.

3.3. Hmotnostní spektrometrie (MS)

Jedná se o separační techniku, kdy se vzorek převádí na ionizovanou plynnou fázi a vzniklé ionty se separují podle hodnoty podílu jejich hmotnosti a náboje (m/z). Ionizované molekuly mohou vykazovat tyto reakce: $M \rightarrow M^+ + e^-$ nebo $M^+ \rightarrow A^+ + m^0$. Jedná se o všestrannou a rychlou metodu s využitím pro kvalitativní i kvantitativní chemickou analýzu látek. Jedná se i o citlivou analýzu, pomáhá v identifikaci látek, jejich struktury a jejich molekulové hmotnosti.

Hlavní princip instrumentace se skládá z kroků jako je odpaření vzorku a jeho ionizace, akcelerace iontů přímo do hmotnostního analyzátoru. Následuje separace iontů dle m/z a jejich detekce.

3.4. Stanovení perfluorovaných látek

V případě úpravy vzorků se můžeme setkat s metodou SPE s patronou styrendivinylbenzen a polymetakrylát se následně používá pro samotné zjištění koncentrace ve vodě metodou LC/MS. Lze tak dosáhnout meze detekce až v řádech desetin ng/l^{28} .

Rovněž se můžeme setkat s metodou využívající LC/MS/MS, což se používá při stanovení PFOS s alkylovými řetězci čítající 8 – 9 uhlíků, nebo při stanovení perfluorovaných karboxylových kyselin s řetězci obsahující 8 – 13 uhlíků, kde mez detekce může být dosažena rovněž v desetinách ng/l .

Co se týče kapalné chromatografie jsou zde uvedeny parametry²⁹:

Mobilní fáze: octan amonný ve vodě (rozpouštědlo A) a acetonitril (rozpouštědlo B)

Průtok: 0,2 ml/min

4. Případová studie

4.1. Použité přístroje a zařízení

Odběr vzorků: analytické váhy, ultrazvuková lázeň, zařízení pro SPE extrakci, přístroj pro extrakční techniku PSE, běžné vybavení laboratoře.

Kapalinová chromatografie: kapalinový chromatograf, kolona, hmotnostní spektrometr.

4.2. Použité chemikálie

Rozpouštědla: methanol, voda.

Chemikálie: kyselina octová, amoniak, bezvodý síran sodný, běžně dostupné chemikálie ve stopové analytické laboratoři.

Technické plyny: dusík, helium.

Standardy: standard perfluorooktansulfonát, standard perfluorooktanová kyselina.

Vzorky: vzorky vody z řeky Svratka.

4.3. Pracovní postup

4.4. Odběr a uchování vzorků

Vzorky byly odebrány ve vyznačených lokalitách v pondělí 7.12.2020 do skleněných lahví, které byly před odběrem vypláchnuty deionizovanou vodou.

Vzorky byly následně uchovány v lednici do času analýzy, max. 48 hodin.

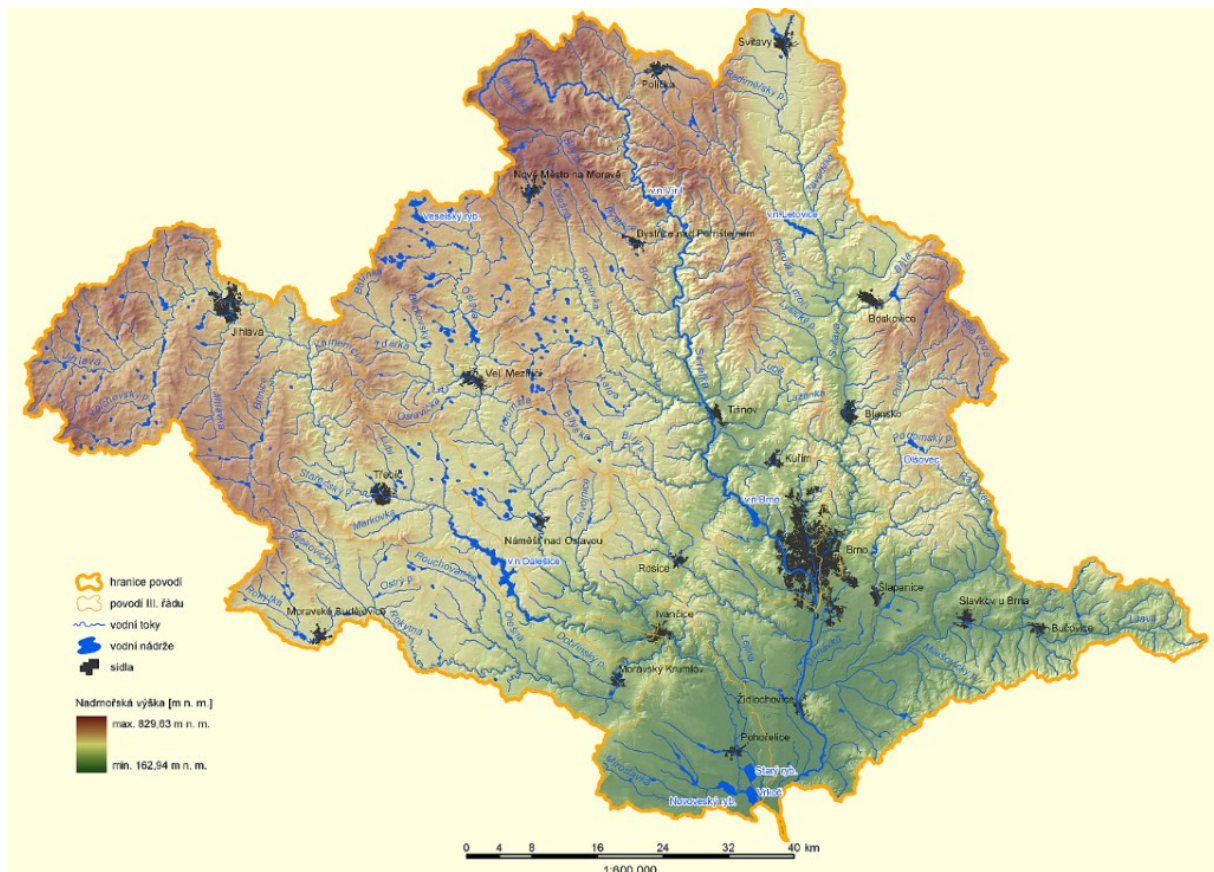
Řeka Svratka patří mezi nejvýznamnější moravské řeky, jak z hlediska hydrologického, ekosystémového, hospodářského, tak i z hlediska rekreačního.

Pramení v CHKO Žďárské vrchy. O jejích pramenech se stále vede diskuse, nejčastěji se uvádí pramen na západní straně Křivého javoru ve výšce 760 m.n.m. v katastru obce Fryšava pod Žákovou horou³⁰ a pramen nedaleko vrcholu Prostřední kopec v katastru obce Cikháj v nadmořské výšce 772 m.n.m.³¹. Protéká Hornosvrateckou vrchovinou, částmi Žďárské vrchy a Nedvědičká vrchovina. Severně od Tišnova přechází do Boskovické brázdy a po soutoku s Dyjí v Dyjsko-Svrateckém úvalu ústí do Věstonické nádrže, VD Nové Mlýny³².

Povodí Svratky přísluší do úmoří Černého moře. Celková délka toku je 173,9 km a plocha povodí činí 7 118,7 km².

Mezi její nejvýznamnější přítoky patří Fryšávka (Jimramov), Bystřice (Vír), Hodonínka (Štěpánov nad Svratkou), Nedvědička (Nedvědice), Loučka (Předklášteří), Besének (Tišnov), Lubě (Březina), Bílý potok (Veverská Bitýška), Svitava (Přízřenice), Bobrava (Popovice), Cézava (Židlochovice), Šatava (Uherčice) a Jihlava (Ivaň).

Průtoky jsou regulovány VD Vír I a II a VD Brno (Brněnská přehrada).



Obrázek 1: Přehledná mapa povodí Svatky (zdroj: DIBAVOD)³³.

Monitoring kvality povrchových vod je prvotním nástrojem, jak získat potřebná data pro hodnocení stavu a ochrany zdrojů pitné vody pro obyvatelstvo.

Tekoucí povrchové vody se podle normy ČSN 75 7221 Kvalita vod – Klasifikace kvality povrchových vod z roku 2017 rozřazují do pěti tříd kvality:

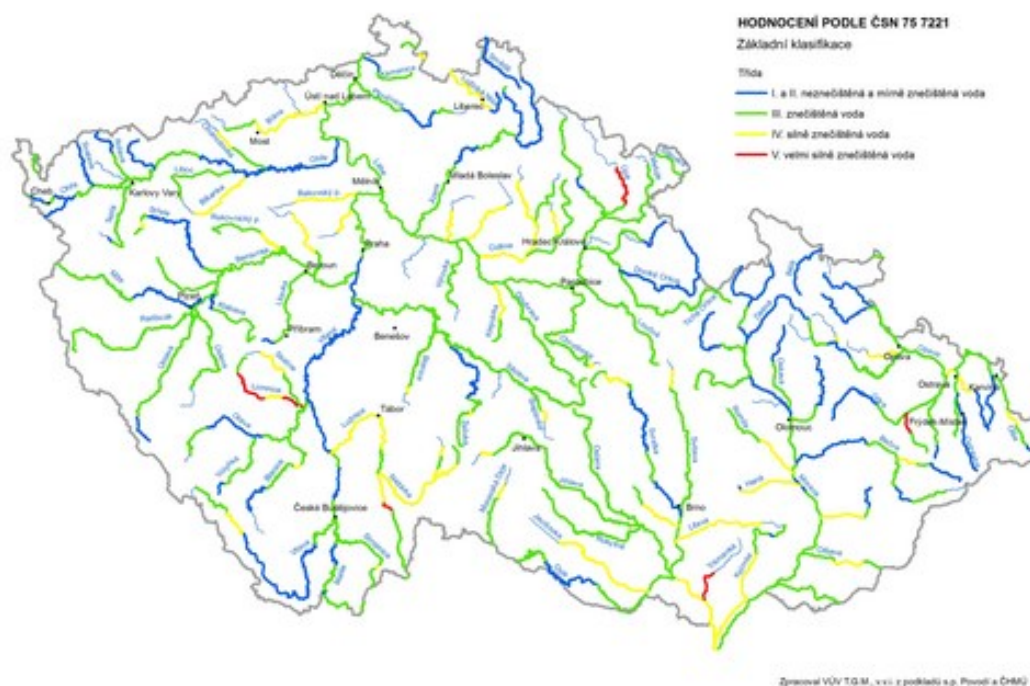
- neznečištěná voda – vhodná pro všechna užití, např. vodárenské účely, potravinářský průmysl, koupání, chov lososovitých ryb. Voda má velkou krajínotvornou hodnotu
- mírně znečištěná voda – využití pro vodárenské účely, chov ryb, vodní sporty, zásobování průmyslu vodou
- znečištěná voda – obvykle vhodná jen pro zásobování průmyslu vodou, pro vodárenské účely lze využít jen při dodatečné vícestupňové úpravě pro zlepšení jakosti
- silně znečištěná voda – voda omezeně vhodná pro průmysl
- velmi silně znečištěná voda - voda se obvykle nehodí pro žádný účel^{34–37}

V normě jsou definovány jednotlivé testovací skupiny, dle charakteru:

- Obecné, fyzikální a chemické ukazatele (konduktivita, rozpuštěný O₂, BSK₅, CHSKMn, ionty aj.)
- Specifické organické látky (PCB, PAH, další chlorované látky jako chlorbenzen, CCl₃ aj.)
- Kovy a metaloidy (těžké kovy, železo, mangan aj.)
- Mikrobiologické a biologické ukazatele (saprobní index, bakteriální znečištění, chlorofyl aj.)
- Radiologické ukazatele (celková objemová aktivita, uran, tritium aj.)³⁶

Tabulka 1: vybrané ukazatele jakosti vod dle ČSN 75 7221³⁶.

Obecné, fyzikální a chemické ukazatele dle ČSN 75 7221						
Ukazatel	Jednotka	Třída				
		I	II	III	IV	V
rozpuštěný O ₂	mg/l	> 8,5	> 7,5	> 6	> 4	<= 4
Konduktivita	mS/m	< 40	< 70	< 110	< 160	> 160
TOC	mg/l	< 7	< 10	< 16	< 20	>= 20
CHSK	mg/l	< 15	< 25	< 45	< 60	> 60
NH ₄ ⁺	mg/l	< 0,3	< 0,7	< 2	< 4	>= 4
NO ₃ ⁻	mg/l	< 3	< 6	< 10	< 13	> 13
P _{celkový}	mg/l	< 0,05	< 0,15	< 0,4	< 1	> 1



Obrázek 2: Hodnocení kvality povrchových vod dle ČSN 75 7221 v letech 2014-2015³⁷.

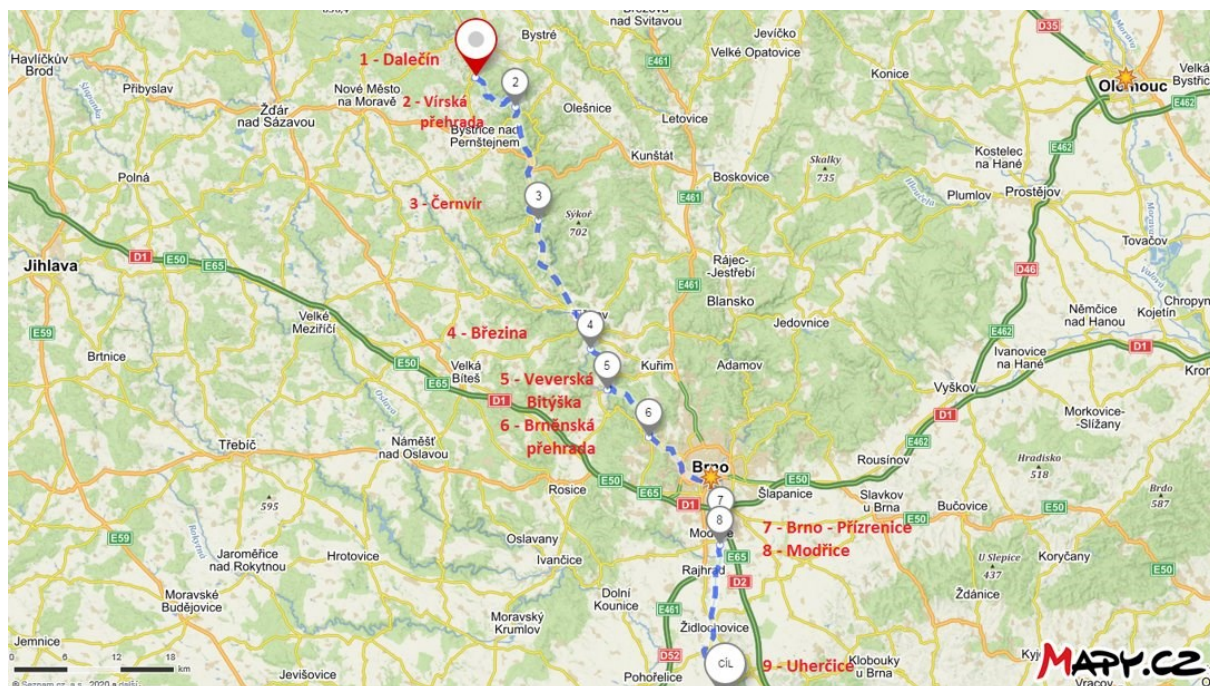
Tabulka 2: Zhodnocení lokalit dle ČSN 75 7221³⁶.

Jakost	vodivost	O ₂	TOC	CHSK	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	P _{celk}
Dalečín	I	I	I	II	I	II	II
Vír	I	I	II	II	I	II	III
Černvír	II	II	III	III	III	V	V
Březina	II	II	IV	II	III	IV	V
Veverská Bitýška	I	II	V	II	I	I	IV
Brněnská přehrada	I	II	III	II	II	I	III
soutok Svatka-Svitava	II	II	IV	IV	IV	IV	III
ČOV Modřice	III	III	V	IV	III	V	III

Horní tok Svatky

Z hlediska jakosti kvality povrchových vod patří horní tok Svatky do IV. třídy – silně znečištěná voda. V povodí VD Vír I se nachází 54 sídel, z nichž pouze 15 likviduje své odpadní vody v ČOV. V rámci zlepšení kvality surové vody pro vodárenské účely a odstranění komunálního znečištění v povodí VD Vír I je v krátkodobém až střednědobém plánu zabezpečení čištění

odpadních vod v dalších 19 obcích³⁸. Mezi největší znečišťovatele povrchových vod z hlediska vypouštění komunálních vod patří MARS Svatka a.s. – kovovýroba a Poličské strojírny a.s. Na území Svatky a především Poličky se též nacházejí staré ekologické zátěže. Mezi další původce znečištění se řadí také intenzivní zemědělská činnost.



Obrázek 3: Mapa testovaných lokalit (pro účely testování vynechána lokalita 9 – Uherčice)

Tabulka 3: Základní data jednotlivých lokalit

lokality	upřesnění lokality	km	souřadnice	teplota		pH	Ec
				vzduch	voda		
Modřice	pod ČOV	38,4	49.1214378N, 16.6267650E	2,2 °C	6,1 °C	7,1	0,68 mS
Přízřenice	soutok Svatka - Svitava	40,5	49.1414375N, 16.6280697E	2,3 °C	3,2 °C	7,9	0,64 mS
Brno	Brněnská přehrada - přístaviště	56,3	49.2300228N, 16.5162122E	2,1 °C	4,2 °C	7	0,33 mS
Veverská Bitýžka	náhon pod ČOV	59,9	49.2779700N, 16.4519400E	1,9 °C	3,0 °C	7,2	0,28 mS
Březina	pod ČOV	73,7	49.3193944N, 16.4263222E	-2,4 °C	2,8 °C	7,3	0,32 mS

Černvír	pod ČOV	93,8	49.4486944N, 16.3453783E	-2,8 °C	3,0 °C	7,2	0,36 mS
Vír	vývažiště pod VN Vír I	115	49.5626483N, 16.3099022E	-3,3 °C	6,8 °C	7	0,20 mS
Dalečín	pod ČOV	123,9	49.5927675N, 16.2486592E	-3,4 °C	1,8 °C	7,1	0,18 mS

Tabulka 4: Naměřená data výtoků upravených vod u jednotlivých ČOV

Modřice	ČOV	38,8	49.1244525N, 16.6269942E	2,2 °C	14 °C	7,1	1,67 mS
Veverská Bitýška	ČOV	60	49.2782764N, 16.4519856E	1,9 °C	12,3 °C	7,1	1,07 mS
Březina	ČOV	73,8	49.3198839N, 16.4258472E	-2,4 °C	13 °C	7,1	1,47 mS
Černvír	ČOV	93,8	49.4490625N, 16.3453408E	-2,8 °C	11,7 °C	7,2	1,42 mS

Testované lokality



Dalečín

Obec Dalečín se nachází cca 1,5 km od VD Vír I. Jedná se o poslední obec před Vířskou přehradou I. Převážná část území se nachází ve II. pásmu hygienické ochrany. Z tohoto důvodu je zde utlumen hospodářský rozvoj³⁹.

V obci má výrobní firma GAMA GROUP a.s. závod 2 Dalečín, vyrábějící plastové laboratorní a veterinární pomůcky.

Do ČOV Dalečín jsou sváděny odpadní vody od 488 obyvatel. V krátkodobém až střednědobém horizontu jsou zde plánovány úpravy pro splnění přísnějších limitů vypouštěných vod. Například srážení fosforu.

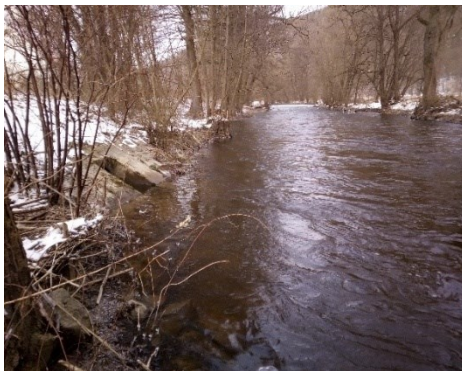
První odběrová lokalita se nachází na 123,9 ř.km, souřadnice 49.5927675N, 16.2486592E, nedaleko výpusti komunálních odpadních vod z ČOV. Dno je zde kamenité, bez sedimentů, hloubka 40 cm, průtok 3,8 m³/s. Rybí pásmo pstruhové. Na obou březích se nachází louky bez zemědělské intenzifikace.



VD Vír I

Vírská přehrada (VD Vír I) patří z hlediska kvality povrchových vod mezi nejdůležitější úsek řeky Svratky. Byla vybudována na 115 ř.km. Nachází se v I. pásmu hygienické ochrany, což v jejím okolí prakticky znemožňuje jakoukoliv průmyslovou i zemědělskou činnost. Poskytuje surovou vodu pro výrobu pitné vody. Zásobuje Novoměstsko, Bystřicko, Žďársko a Vírským oblastním vodovodem Brno a okolí.

Odběrové místo se nachází ve vývřišti pod VD Vír I na 115 ř.km, souřadnice 49.5626483N, 16.3099022E. Sem je vypouštěna hypolimnická voda. Z hlediska zachytu perfluorovaných látek se jedná o důležité hledisko, neboť hypolimnická voda se nachází v nejspodnější vrstvě vodního sloupce a je tudíž ve styku se sedimenty. Dno je kamenité se sedimentem, hloubka 100 cm. Průtok 4 m³/s. Druhotné pstruhové rybí pásmo.



Černvír (ČOV Nedvědice)

V městysu Nedvědice se do Svratky vlévá pravostranný přítok Nedvědička. Na jejím toku, cca 12 km od soutoku se Svratkou se nachází soustava uranových závodů DIAMO s.p., Dolní Rožínka, o.z. GEAM. Její součástí jsou dvě odkaliště, sloužící jako úložiště plaveného rmutu ze zpracování uranové rudy (Kaliště I) a galvanizačních kalů (Kaliště II). Do Nedvědičky zde ústí kanalizace z dekontaminační stanice, upravující důlní vody. Kontrola průsaků z odkališť je zajištěna soustavou vrtů. Průsaky jsou sváděny do jímek Čerpacích stanic průsakových vod a odtud jsou přečerpávány zpět do příslušných odkališť. V současné době zde probíhá rekultivace po ukončení těžby uranové rudy. Říčka Nedvědička je od městyse Rožná až k prameni ovlivněná zemědělskou činností.

Odběrové místo se nachází na 93,8 ř.km, souřadnice 49.4486944N, 16.3453783E v blízkosti vyústění ČOV. Dno je zde kamenité, hloubka cca 50 cm, minimum sedimentů, především v příbřežních zónách. Průtok 8 m³/s. Pstruhové rybí pásmo zde přechází v lipanové. Na březích z obou stran jsou louky bez intenzifikace, využívané jen jako krmivo pro hospodářská zvířata místního soukromého zemědělce.

Do ČOV Nedvědice, umístěné jižně po proudu u obce Černvír jsou sváděny odpadní vody z městysu Nedvědice a obce Černvír. Celkem cca 1500 obyvatel. K čištění odpadních vod dochází mechanicko-biologicky. Zahrnují nitrifikaci, denitrifikaci, aerobní stabilizaci kalu, gravitační odvodnění kalu a jeho následná aplikace na zemědělské pozemky⁴⁰. Mezi významné místní znečišťovatele patří MEZ a.s., Nedvědice, zabývající se výrobou elektromotorů a přidruženou dřevovýrobou. Devět kilometrů proti proudu se nachází Železářny Štěpánov nad Svatkou. V Nedvědici je také hasičská jednotka dobrovolných hasičů.



Březina (ČOV Tišnov)

Odběrové místo se nachází na 73,7 ř.km, souřadnice 49.3193944N, 16.4263222E nedaleko vyústění ČOV. Dno je zde štěrko-písčité s říčními nánosy. Hloubka 80 cm, mimo hlavní proud sedimenty složené z nánosů písku a listí. Průtok 7,4 m³. Parmové rybí pásma.

Levý břeh lemuje místní účelová komunikace, v blízkosti obou břehů jsou intenzivně obdělávaná pole. Ve vzdálenosti 300 m se nachází zemědělské družstvo. Na kanalizaci, přivádějící odpadní vody do ČOV Březina jsou kromě města Tišnov napojeny vesnice Březina, Heroltice, Vohančice, Železné, Předklášteří, Hradčany, Štěpánovice, celkem cca 13000 obyvatel. Technologie čištění odpadních vod zde zahrnuje mechanickou, biologickou část a kalové hospodářství. Intenzifikace procesu čištění zahrnuje chemické srážení fosforu⁴¹.

Mezi hlavní znečišťovatele ve městě Tišnov patří jatka Steinhauser s.r.o., Karlova pekárna s.r.o., Vitar s.r.o. – výrobce doplňků stravy, ČSAD Tišnov s.r.o., České dráhy – správa dopravních cest, Nemocnice Tišnov, Medstoma T s.r.o. – zubní lékařství a GDP Koral s.r.o. – laminátovna.

Na území města Tišnova se také nachází chemická a radiologická laboratoř při Hasičském záchranném sboru Tišnov a Sdružení dobrovolných hasičů.



Veverská Bítýška

Místo odběru vzorků se nachází na 59,9 ř.km, souřadnice 49.2779700N, 16.4519400E, v levostranném rameni řeky Svratky, při vyústění kanalizace ČOV. Dno je zde písčito-kamenitý nános, s vysokým nánosem sedimentů při břehu (až 100 cm).

Průtok v rameni byl 3,5 m³, hladina oproti normálnímu stavu vody snižená o cca 150 cm (odhad dle příbřežní vegetace a nánosů). Parmové rybí pásma. Půl kilometru proti proudu se nachází město Veverská Bítýška.

Kanalizací jsou do ČOV odváděny také odpadní komunální vody z obce Chudčice a v současné době je využívána 4000 obyvateli. ČOV po rekonstrukci je mechanicko-biologická se simultánní nitrifikací a denitrifikací, aerobní stabilizací kalu, strojním odvodněním kalu a chemickou eliminací fosforu⁴², což je důležité ve strategii potlačení výskytu sinic v Brněnské přehradě.

Mezi významné producenty odpadních vod patří především fa Hartmann – Rico a.s. – výrobce zdravotnických potřeb a kosmetiky. Dále firmy Bioster a.s. (zdravotní materiál), Nalim – lisování plastických hmot a výrobní družstvo KOVO. Ve městě působí Sdružení dobrovolných hasičů.

VD Brno – Brněnská přehrada

Odběrové místo na Brněnské přehradě je situováno u přístaviště Bystrc na 56,3 ř.km, souřadnice 49.2300228N, 16.5162122E. Dno je převážně písčité s malým nánosem sedimentu. Hladina snižená o cca 200 cm. Rybí pásma jezerního typu. Znečištění z komunálních, zemědělských, ale i přírodních zdrojů, které přináší řeka Svratka, má za důsledek eutrofizaci, která se zde v letních měsících projevuje nárůstem bioty, především sinic a řas.



Přízřenice (soutok Svatka/Svitava)

Místo odběrů vzorků se nachází poblíž soutoku řek Svatky a Svitavy v Brně – Přízřenicích na 40,5 ř.km, souřadnice 49.1414375N, 16.6280697E.

Dno je zde písčito-kamenité, mimo hlavní proud jsou četné nánosy. Břehy jsou svažité, na obou je udržovaná travní vegetace. Pravou (Svrateckou)

stranu lemuje cyklostezka Brno - Vídeň, levou (Svitavskou) místní komunikace. Průtok na soutoku je 19,7 m³. Parmové rybí pásma.

V povodí řeky Svitavy se nachází důležitá okresní města Svitavy a Blansko s rozvinutým průmyslem. Další města na toku Svitavy jsou Březová nad Svitavou, kde se nachází prameniště podzemní vody, která je odváděna I. a II. Březovským přivaděčem do Brna a je využívána jako pitná voda pro Brno, Letovice a Adamov⁴³. Je zde vyhlášeno II. ochranné pásmo vodního zdroje. Dalšími městy a obcemi na toku Svitavy jsou Brněnec, vesnice s významnou starou ekologickou zátěží, Letovice, Rájec-Jestřebí, Adamov a Bílovice nad Svitavou.



Koryto Svatky pod vyústěním ČOV Modřice

Pro odběr vzorků bylo vybráno místo pod vyústěním ČOV Brno – Modřice na 38,4 ř.km, souřadnice 49.1214378N, 16.6267650E. Dno je zde bahnité, břehy svažité a podemleté se špatným přístupem k řece. Průtok 20,8 m³.

Cejnové rybí pásma. Na obou stranách jsou intenzivně obhospodařované zemědělské

pozemky.

Na ČOV Brno – Modřice jsou přiváděny odpadní vody z rozsáhlé kanalizační sítě.

Je rozdělena na kmenové stoky:

Kmenová stoka A (7,48 km) – odvádí odpadní vody z Přízřenic, Horních a Dolních Heršpic, Bohunic, Starého Lískovce, Štýřic a Modřic.

Kmenová stoka B (15,92 km) – odkanalizovává Komárov, střed Brna, část Starého Brna, Nový Lískovec, Kohoutovice, Jundrov, Žabovřesky, Komín, oblast Jiráskovy čtvrti, Bystrc, Kníničky a zástavbu v oblasti Brněnské přehrady. Napojuje se do stoky D.

Kmenová stoka C (16,78 km) – jedná se o nejdelší stoku. Svádí odpadní vody z Kuřimi, Řečkovic, Medlánek, Lesné, Králova pole, Ponavy a části vnitřního Brna (Koliště, Vlhká). Zaústuje se do stoky D.

Kmenová stoka D (7,46 km) – zajišťuje odkanalizování části vnitřního města, Černých Polí, Zábřovic a Husovic. Napojuje se na stoku E.

Kmenová stoka E (13,06 km) – zajišťuje odvodnění Brněnských Ivanovic, Černovic, části Slatiny, Juliánova, Židenic, Maloměřic a Obřan.

Kmenová stoka F (6,24 km) – odkanalizovává území Chrlic, Tuřan, Holásek, části Brněnských Ivanovic, Slatiny a Líšně. Jsou do ní svedeny vody z obcí Podolí, Šlapanic, Bedřichova a dalších obcí východně od Brna⁴⁴.

Zpracování odpadních vod probíhá mechanicko-biologicky s nitrifikačním a dentrifikačním stupněm a chemickým srážením fosforu. Počet připojených obyvatel činí cca 420 000⁴⁵. Mezi hlavní znečišťovatele na území Brna se řadí společnosti ABB s.r.o. (elektromateriál), Královopolská slévárna s.r.o., Královopolská a.s., Nová Mosilana a.s. (textilní průmysl), Polygra a.s. (tiskárna), PREFA kompozity a.s., REMET s.r.o. (kovhutnictví, odpady), Saint-Gobain Glassolutions s.r.o. (stavebnictví), SAKO Brno, Teplárny Brno, ZETOR Kovárna⁴⁶.

5. Výsledky

Tabulka naměřených koncentrací ve stanovených lokalitách.

lokalita	PFOS (ng/l)	PFOA (ng/l)
Modřice	15,6	154
Přízřenice	10,7	31
VD Brno	< LOQ	< LOQ
Veverská Bitýška	< LOQ	< LOQ
Březina	< LOQ	< LOQ
Černvír	< LOQ	< LOQ
Vír	< LOQ	< LOQ
Dalečín	< LOQ	< LOQ

6. Diskuse a závěrečné otázky

- **Lze dohledat informace o stavu kontaminace vod v ČR?**

Ano, na stránkách českého hydrometeorologického ústavu na adrese hydro.chmi.cz/isarrow/, což je Informační systém Monitoringu kvality vod na území ČR představující sběrnou databázi vzorků kvality vod na území ČR⁴⁷. Momentálně se stránky upravují.

- **Jaká je situace v ČR – probíhá monitoring? Jsou dostupné informace o kontaminaci vod/pitných vod/balených vod?**

Monitoring většiny vod probíhá podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES s cílem dosáhnout dobrého stavu vod. Informace o kontaminaci vod lze nalézt na adrese hydro.chmi.cz/isarrow/, která je momentálně nedostupná⁴⁷. Pro balené vody není prozatím stanoven limit, ovšem Evropským úřadem pro bezpečnost potravin (EFSA) byl stanoven maximální limit na 8 ng/kg/týden⁴⁸.

- **Existují odhady o obsahu PFAS v pitné vodě? Jaké jsou nejčastější zdroje znečištění? Dal by se pak odhadnout denní příjem pro člověka?**

Minimální požadavek ukazatelů pro posouzení jakosti pitné vody:⁴⁹

Celková suma PFAS: 0,5 ug/l

Suma znepokojivých PFAS: 0,1 ug/l

Tudíž by koncentrace těchto látek měla být nižší než tyto hodnoty. Z komentáře ke stanovisku akademie věd s názvem *AVex, č. 2/2019 – Pitná voda - je a bude? se můžeme dočíst, že v 810 případech (z celkových 9173 vzorků povrchové vody) byla detekována koncentrace v rozmezí 0,01–0,02 µg/l, přičemž jak sám autor Stanoviska pan doc. RNDr. Martin Pivokonský, Ph.D. uvádí, nejvyšší koncentrace byla 0,289 µg/l^{50,51}. Pro odhad denního příjmu by bylo možné vzít průměr koncentrací přepočteného na 2 – 3 litry, což značí konzumaci vody na jednoho člověka za den.*

Zdroje znečištění tedy lze usoudit ČOV (které nejsou schopny znečištění zcela vyčistit), skládek a podzemní či povrchové vody, do kterých se znečištění dostane právě z průmyslových oblastí a z domácností, kde dochází k uvolňování PFAS z nádobí a oděvu/obuvi používající např. Gore-tex⁵².

- **Jsou PFAS na ČOV zachyceny? Jak by je bylo možné případně zachytávat? Existují i zařízení na úpravu pitné vody?**

ČOV nejsou schopné PFAS zachytit⁵³ a navíc se tyto látky nerozkládají, protože jsou stabilní. To způsobuje znečištění řek, jezer i zdrojů pitné vody⁵².

PFAS jsou zařazeny dle Jihomoravských ekologů mezi sledované látky nepředstavující hlavní problém. Navíc limitní hodnoty pro jejich obsah v kalech nejsou vyhláškou č. 437/2016 Sb. stanoveny.⁵⁴

Společnost Photon Water (dceřiná společnost Photon Energy) vyvíjí nanoremediační technologii používanou in situ (= v místě vzniku), která dokáže PFAS rozkládat přímo v podzemních vodách. Technologie se ještě testuje například v Austrálii (zprávy ze září 2020)⁵².

- **Specifikujte rizika PFC v životním prostředí, možné účinky na zdraví lidí a zvířat.**

Obě látky, PFOS a PFOA, jsou v prostředí vysoce stabilní a perzistentní, zároveň jsou i konečnými produkty degradace perfluorovaných látek. PFOS má navíc vysoký bioakumulační potenciál. Kvůli jejich fyzikálním vlastnostem se tyto látky neváží v tukových tkání, nýbrž se váží na proteiny. Lze je nalézt v játrech, svalech, krvi i v mozku v řadě živočichů, a to od těch

bezobratlých, přes ryby, ptáky až po savce včetně člověka. Jejich toxické účinky mohou způsobit hepatotoxicitu, úbytek váhy, poškození trávicího traktu až vznik nádorů či letalitu. Kvůli jejich prezistenci je poločas vyloučení z lidského těla stanoven na 9 let. Z toho lze usuzovat, že při vysoké expozici je možné, že z lidského těla se nevyloučí během celého života.⁵⁵

7. Závěr

Odběry vzorků proběhly v zimním období, za nízkých teplot, neovlivňujících vytěkávání PFSs z vod. Také průtoky v řece Svatce byly na běžných hodnotách, neovlivňujících stanovení pozorovaných látek nařazením v toku. V námi sledovaných lokalitách řeky Svatky byly perfluorované látky stanoveny v detekovatelných koncentracích na dvou lokalitách. Na soutoku řek Svatky a Svitavy v Přízřenicích a pod výtokem z čistírny odpadních vod v Modřicích. Stanovené hodnoty byly u obou sledovaných látek v řádech ng/l, a to konkrétně u perfluorooktanové kyseliny (PFOA) na stanovištích v Přízřenicích 12,1 ng/l a Modřicích 118 ng/l a u perfluorooktansulfonátu (PFOS) byly na lokalitách v Přízřenicích 10,7 ng/l a Modřicích 12,3 ng/l. Detekovatelné koncentrace byly naměřeny ve dvou posledních lokalitách dle našeho názoru především díky velkým aglomeracím na Blanensku (Letovice, Boskovice, Blansko, Adamov), ze kterých svádí vodu řeka Svitava a Brněnsku (Brno, Kuřim), jejichž odpadní vody do řeky Svatky vytékají právě z čistírny odpadních vod v Modřicích, nedaleko námi vybraného odběrového místa. V porovnání se studií, publikovanou v roce 2012 ⁵⁶ jsou tyto hodnoty srovnatelné. Dle našeho názoru především díky tomu, že stále nejsou zavedeny takové technologie čištění vody, které by perfluorované látky z odpadních vod odstraňovaly.

8. Reference

1. Havel, M. & Válek, P. fluoruhlovodíky (HFC). *Arnika* <https://arnika.org/fluoruhlovodiky-hfc> (2014).
2. Stahl, T., Mattern, D. & Brunn, H. Toxicology of perfluorinated compounds. *Environmental Sciences Europe* vol. 23 38 (2011).
3. Giesy, J. P. & Kannan, K. Perfluorochemical surfactants in the environment. *Environmental Science and Technology* vol. 36 147–152 (2002).
4. Čermáková, N. Expozice hasičů při provádění zásahů u požárů s použitím hasících pěn. (Masarykova Univerzita, 2018).
5. Bonato, M. *et al.* Pfas environmental pollution and antioxidant responses: An overview of the impact on human field. *International Journal of Environmental Research and Public Health* vol. 17 1–45 (2020).
6. Environmental Protection Agency Federal Facilities Restoration, U. & Office, R. *Technical Fact Sheet – Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) and Perfluorooctanoic Acid (PFOA)*. (2017).
7. Post, G. B., Gleason, J. A. & Cooper, K. R. Key scientific issues in developing drinking water guidelines for perfluoroalkyl acids: Contaminants of emerging concern. *PLoS Biol.* **15**, e2002855 (2017).
8. Karásková, P. Vlastnosti, výskyt a stanovení perfluorovaných látek v prostředí. (Masarykova Univerzita, 2010).
9. Butt, C. M., Berger, U., Bossi, R. & Tomy, G. T. Levels and trends of poly- and perfluorinated compounds in the arctic environment. *Science of the Total Environment* vol. 408 2936–2965 (2010).
10. Ahrens, L. & Bundschuh, M. Fate and effects of poly- and perfluoroalkyl substances in the aquatic environment: A review. *Environ. Toxicol. Chem.* **33**, 1921–1929 (2014).
11. Yim, L. M. *et al.* Perfluorinated compounds in tap water from china and several other countries. *Environ. Sci. Technol.* **43**, 4824–4829 (2009).
12. Wilhelm, M., Bergmann, S. & Dieter, H. H. Occurrence of perfluorinated compounds (PFCs) in drinking water of North Rhine-Westphalia, Germany and new approach to assess drinking water contamination by shorter-chained C4-C7 PFCs. *Int. J. Hyg. Environ. Health* **213**, 224–232 (2010).
13. Post, G. B., Louis, J. B., Cooper, K. R., Boros-Russo, B. J. & Lippincott, R. L. Occurrence and potential significance of perfluorooctanoic acid (PFOA) detected in New Jersey public drinking water systems. *Environ. Sci. Technol.* **43**, 4547–4554 (2009).
14. Swedish Chemicals Inspectorate (KemI) & Swedish EPA. *PERFLUOROOCTANE SULFONATE (PFOS): Dossier prepared in support for a nomination of PFOS to the UN-ECE LRTAP Protocol and the Stockholm Convention*. (2004).
15. EPA Federal Facilities Restoration, U. & Office, R. *Emerging Contaminants-Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) and Perfluorooctanoic Acid (PFOA) At a Glance*. (2014).
16. Lindstrom, A. B., Strynar, M. J. & Libelo, E. L. Polyfluorinated compounds: Past, present, and future. *Environ. Sci. Technol.* **45**, 7954–7961 (2011).

17. Kunacheva, C. *et al.* Worldwide surveys of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorooctanoic acid (PFOA) in water environment in recent years. *Water Sci. Technol.* **66**, 2764–2771 (2012).
18. Karolína, L. Toxicita perfluorovaných uhlovodíků. (Univerzita Karlova, 2020).
19. Van de Vijver, K. I. *et al.* EXPOSURE PATTERNS OF PERFLUOROOCCTANE SULFONATE IN AQUATIC INVERTEBRATES FROM THE WESTERN SCHELDT ESTUARY AND THE SOUTHERN NORTH SEA. *Environ. Toxicol. Chem.* **22**, 2037 (2003).
20. Kannan, K. *et al.* Perfluorinated compounds in aquatic organisms at various trophic levels in a Great Lakes food chain. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **48**, 559–566 (2005).
21. Nakata, H. *et al.* Perfluorinated contaminants in sediments and aquatic organisms collected from shallow water and tidal flat areas of the Ariake Sea, Japan: Environmental fate of perfluorooctane sulfonate in aquatic ecosystems. *Environ. Sci. Technol.* **40**, 4916–4921 (2006).
22. Hanson, M. L. *et al.* Microcosm evaluation of the fate, toxicity, and risk to aquatic macrophytes from perfluorooctanoic acid (PFOA). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **49**, 307–316 (2005).
23. Sanderson, H., Boudreau, T. M., Mabury, S. A. & Solomon, K. R. Impact of perfluorooctanoic acid on the structure of the zooplankton community in indoor microcosms. *Aquat. Toxicol.* **62**, 227–234 (2003).
24. Giesy, J. P., Naile, J. E., Khim, J. S., Jones, P. D. & Newsted, J. L. Aquatic Toxicology of Perfluorinated Chemicals. doi:10.1007/978-1-4419-1157-5_1.
25. US EPA. Risk Management for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) under TSCA. *Assessing and Managing Chemicals under TSCA* <https://www.epa.gov/assessing-and-managing-chemicals-under-tsca/risk-management-and-polyfluoroalkyl-substances-pfas#tab-3> (2020).
26. Stockholm Convention. Listing of POPs in the Stockholm Convention. <http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/AllPOPs/tabid/2509/Default.aspx> (2019).
27. Vláda ČR. Předkládací zpráva pro parlament ČR. 1–4 (2020).
28. Kalivoda, J. & Čáslavský, J. *Netradiční halegonderiváty v životním prostředí: perfluorované sloučeniny*. <http://dspace.lib.vutbr.cz/xmlui/handle/11012/7312> (2008).
29. Paiano, V. *et al.* Liquid chromatography-tandem mass spectrometry analysis of perfluorooctane sulfonate and perfluorooctanoic acid in fish fillet samples. *J. Anal. Methods Chem.* **1**, (2012).
30. Vlček, V. & a kolektiv. *Vodní toky a nádrže*. (Academia, 1984).
31. Elektronický digitální povodňový portál. Svratka | Hydrologické údaje. https://www.edpp.cz/svr_hydrologicke-udaje/.
32. Grmela, J., Vitek, T. & Kopp, R. Water quality along the middle stretch of the river svratka and its tributaries. *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun.* **61**, 65–70 (2013).
33. VÚV TGM. Charakteristiky toků a povodí ČR. *Oddělení geografických informačních systémů a kartografie* <https://www.dibavod.cz/index.php?id=24> (2020).
34. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace. Klasifikace kvality povrchových vod. <https://www.vtei.cz/2017/12/klasifikace-kvality-povrchovych-vod/> (2021).
35. Hydrologická ročenka České republiky. Hydrologická bilance jakosti vody. <http://voda.chmi.cz/hr05/obsah/kap3.pdf> (2005).

36. Hrazdil, J. ČSN 75 7221 - Kvalita vod - Klasifikace kvality povrchových vod. *Technické normy* <https://shop.normy.biz/detail/503654> (2017).
37. Hydroekologický Informační Systém VÚV TGM. Jakost vody v tocích. <https://heis.vuv.cz/data/spusteni> (2016).
38. Ministerstvo zemědělství & Ministerstvo životního prostředí. *Národní plán povodí Dunaje*. www.eagri.cz, (2015).
39. WANET. Dalečín - Současnost obce. <https://www.mistopisy.cz/pruvodce/obec/2354/dalecin/soucasnost/>.
40. AQUATIS a.s. Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Jihomoravského kraje - Nedvědice. https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/PRVK_JMK/A_TextovaTabulkovaCast/CZ0643_Brno-venkov/A3_karty_obci/444_02_Nedvedice_Pernštejn_VK.pdf.
41. AQUATIS a.s. Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Jihomoravského kraje - Březina. https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/PRVK_JMK/A_TextovaTabulkovaCast/CZ0643_Brno-venkov/A3_karty_obci/421_01_Brezina_VK.pdf.
42. AQUATIS a.s. Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Jihomoravského kraje - Veverská Bítýška. https://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/PRVK_JMK/A_TextovaTabulkovaCast/CZ0643_Brno-venkov/A3_karty_obci/228_01_Veverska_Bityska_VK.pdf.
43. Brněnské vodárny a kanalizace a.s. Březovské přivaděče. <https://www.bvk.cz/o-spolecnosti/zasobovani-pitnou-vodou/brezovske-privadece>.
44. Brněnské vodárny a kanalizace a.s. Kanalizační síť. <https://www.bvk.cz/o-spolecnosti/odvadeni-a-cisteni-odpadnich-vod/kanalizacni-sit>.
45. Brněnské vodárny a kanalizace a.s. ČOV Brno - Modřice. <https://www.bvk.cz/o-spolecnosti/odvadeni-a-cisteni-odpadnich-vod/cov-brno-modrice>.
46. Veronica & Základní organizace Českého svazu ochránců přírody. Integrovaný registr znečišťování. (2021).
47. Ministerstvo životního prostředí. Aktuální monitorovací programy v ČR.
48. ALS Czech Republic. Stanovení chemických látek v balených vodách. [https://www.alsglobal.cz/aktuality/Stanoveni-chemickych-latek-v-balenych-vodach_1292#Perfluorovane_latky_\(PFAS\)](https://www.alsglobal.cz/aktuality/Stanoveni-chemickych-latek-v-balenych-vodach_1292#Perfluorovane_latky_(PFAS)) (2013).
49. Evropská unie. Směrnice Evropského parlamentu a rady (EU) 2020/2184 o jakosti vody určené k lidské spotřebě. *Úřední věstník Evropské unie* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32020L2184&qid=1613397072976&from=EN> (2020).
50. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR. Komentář ke stanovisku Státního zdravotního ústavu - Národního referenčního centra pro pitnou vodu. https://www.ih.cas.cz/wp-content/uploads/2019/06/Vyjadreni-k-Stanovisku-SZU_11_6_2019.pdf (2019).
51. Ústav pro hydrodynamiku AV ČR. Spor SZÚ a AV ČR o dokument AVex č. 2/2019 „Pitná voda – je a bude?“ . <https://www.ih.cas.cz/spor-szu-a-av-cr-o-dokument-avex-c-2-2019-pitna-voda-je-a-bude/> (2019).
52. Photon Energy Group. Společnost Photon Water uvádí na trh sanační technologii pro čištění

- oblastí kontaminovaných PFAS in situ. <https://www.photonenergy.com/cs/photon-water/novinky/spolecnost-photon-water-uvadi-na-trh-sanacni-technologie-pro-cistení-oblasti-kontaminovanych-pfas-in-situ.html> (2020).
53. Naše voda. Arnika: Škodlivými látkami je nejvíce znečištěn Kopaninský potok. <https://www.nase-voda.cz/arnika-skodlivymi-latkami-je-nejvice-znecisten-kopaninsky-potok/> (2020).
 54. Portál Jihomoravského kraje. Čistírenské kaly. *Jihomoravské Ekolisty* <https://www.kr-jihomoravsky.cz/Default.aspx?ID=5247&TypeID=2> (2019).
 55. Hájková, K., Tomaniová, M. & Hajšlová, J. *Perfluorované perzistentní kontaminanty v potravních řetězcích*. <http://www.phytosanitary.org> (2005).
 56. Kovářová J., Maršálek P., Bláhová J., Jurčíková J., Kasíková B., Svobodová Z.: *Occurrence of Perfluoroalkyl Substances in Fish and Water from the Svitava and Svratka Rivers, Czech Republic*, Bull Environ Contam Toxicol, 88, s. 456–460 (2012).

Příloha 1: Mezní hodnoty tříd kvality vody

https://www.dataplan.info/img_upload/7bdb1584e3b8a53d337518d988763f8d/csn-75-7221_tab1-1.pdf